

Comunicaciones

UNA INTRODUCCIÓN A LAS REDES DIGITALES DE
TRANSMISIÓN DE DATOS Y SEÑALES ISÓCRONAS

ANTONIO RICARDO CASTRO LECHTALER / RUBÉN JORGE FUSARIO



Alfaomega

COMUNICACIONES

COMUNICACIONES

Una Introducción a las Redes Digitales de Transmisión de Datos y Señales Isócronas

Castro Lechtaler - Fusario



Buenos Aires • Bogotá • México DF • Santiago de Chile

Castro Lechtaler, Antonio Ricardo

Comunicaciones : una introducción a las redes digitales de transmisión de datos y señales isócronas / Antonio Ricardo Castro Lechtaler y Rubén Jorge Fusario. - 1a ed. - Buenos Aires : Alfaomega Grupo Editor Argentino, 2013

736 p. ; 24x21 cm.

ISBN 978-987-1609-35-2

1. Informática. I. Fusario, Rubén Jorge II. Título.

CDD 005.3

Queda prohibida la reproducción total o parcial de esta obra, su tratamiento informático y/o la transmisión por cualquier otra forma o medio sin autorización escrita de Alfaomega Grupo Editor Argentino S.A.

Edición: Damián Fernández

Corrección: Juan Sosa, Silvia Mellino y Juan Mican

Diseño de interiores: Juan Sosa

Diagramación de interiores: Diego Linares

Corrección de armado: Oscar Iturralde

Dibujos: Oscar Iturralde

Diseño de tapa: Diego Ay

Internet: <http://www.alfaomega.com.mx>

Todos los derechos reservados © 2013, por Alfaomega Grupo Editor Argentino S.A.

Paraguay 1307, PB, oficina 11

Todos los derechos reservados © CASTRO LECHTALER, A. R. y FUSARIO, R. J.

ISBN 978-987-1609-35-2

Queda hecho el depósito que prevé la ley 11.723

NOTA IMPORTANTE: La información contenida en esta obra tiene un fin exclusivamente didáctico y, por lo tanto, no está previsto su aprovechamiento a nivel profesional o industrial. Las indicaciones técnicas y programas incluidos han sido elaborados con gran cuidado por el autor y reproducidos bajo estrictas normas de control. Alfaomega Grupo Editor Argentino S.A. no será jurídicamente responsable por: errores u omisiones; daños y perjuicios que se pudieran atribuir al uso de la información comprendida en este libro, ni por la utilización indebida que pudiera dársele.

Los nombres comerciales que aparecen en este libro son marcas registradas de sus propietarios y se mencionan únicamente con fines didácticos, por lo que Alfaomega Grupo Editor Argentino S.A. no asume ninguna responsabilidad por el uso que se dé a esta información, ya que no infringe ningún derecho de registro de marca. Los datos de los ejemplos y pantallas son ficticios, a no ser que se especifique lo contrario.

Los hipervínculos a los que se hace referencia no necesariamente son administrados por la editorial, por lo que no somos responsables de sus contenidos o de su disponibilidad en línea.

Empresas del grupo:

Argentina: Alfaomega Grupo Editor Argentino, S.A.

Paraguay 1307 P.B. "11", Buenos Aires, Argentina, C.P. 1057

Tel.: (54-11) 4811-7183 / 0887

E-mail: ventas@alfaomegaelitor.com.ar

México: Alfaomega Grupo Editor, S.A. de C.V.

Pitágoras 1139, Col. Del Valle, México, D.F., México, C.P. 03100

Tel.: (52-55) 5575-5022 – Fax: (52-55) 5575-2420 / 2490. Sin costo: 01-800-020-4396

E-mail: atencionalcliente@alfaomega.com.mx

Colombia: Alfaomega Colombiana S.A.

Carrera 15 No. 64 A 29, Bogotá, Colombia

PBX (57-1) 2100122 - Fax: (57-1) 6068648

E-mail: cliente@alfaomega.com.co

Chile: Alfaomega Grupo Editor, S.A.

General del Canto 370, Providencia, Santiago, Chile

Tel.: (56-2) 947-9351 – Fax: (56-2) 235-5786

E-mail: agechile@alfaomega.cl

A Loly, esposa y amiga de toda la vida.

A mis hijos, Ricardo, Marcela, Gabriela y Sol.

A mis hijos políticos, Patricia Corti, Darío Dran y Gabriel Martínez.

A mis nietos, Tomás, Andrés, Marcos y Victoria.

A. R. Castro Lechtaler

A mis hijos, Alejandro, Maximiliano y Romina.

A mi nieta, Guillermina Pilar.

R. J. Fusario

Mensaje del Editor

Los conocimientos son esenciales en el desempeño profesional. Sin ellos es imposible lograr las habilidades para competir laboralmente. La universidad o las instituciones de formación para el trabajo ofrecen la oportunidad de adquirir conocimientos que serán aprovechados más adelante en beneficio propio y de la sociedad. El avance de la ciencia y de la técnica hace necesario actualizar continuamente esos conocimientos. Cuando se toma la decisión de embarcarse en una vida profesional, se adquiere un compromiso de por vida: mantenerse al día en los conocimientos del área u oficio que se ha decidido desempeñar.

Alfaomega tiene por misión ofrecerles a estudiantes y profesionales conocimientos actualizados dentro de lineamientos pedagógicos que faciliten su utilización y permitan desarrollar las competencias requeridas por una profesión determinada. Alfaomega espera ser su compañera profesional en este viaje de por vida por el mundo del conocimiento.

Alfaomega hace uso de los medios impresos tradicionales en combinación con las tecnologías de la información y las comunicaciones (IT) para facilitar el aprendizaje. Libros como éste tienen su complemento en una página Web, en donde el alumno y su profesor encontrarán materiales adicionales, información actualizada, pruebas (test) de autoevaluación, diapositivas y vínculos con otros sitios Web relacionados.

Esta obra contiene numerosos gráficos, cuadros y otros recursos para despertar el interés del estudiante, y facilitarle la comprensión y apropiación del conocimiento.

Cada capítulo se desarrolla con argumentos presentados en forma sencilla y estructurada claramente hacia los objetivos y metas propuestas. Cada capítulo concluye con diversas actividades pedagógicas para asegurar la asimilación del conocimiento y su extensión y actualización futuras.

Los libros de Alfaomega están diseñados para ser utilizados dentro de los procesos de enseñanza-aprendizaje, y pueden ser usados como textos guía en diversos cursos o como apoyo para reforzar el desarrollo profesional.

Alfaomega espera contribuir así a la formación y el desarrollo de profesionales exitosos para beneficio de la sociedad.

Contenido

Capítulo 1

Las comunicaciones. Conceptos básicos	1
1.1 Reseña histórica del telégrafo.....	2
1.2 Reseña histórica de la telefonía.....	5
1.5 La computación y las comunicaciones - C&C.....	18
1.5.1 Breve historia de la computadora.....	18
1.5.2 La revolución informática.....	20
1.5.3 La incorporación de las comunicaciones al fenómeno informático	22
1.5.4 La teleinformática y las tecnologías de la información	23
1.6 La Sociedad del conocimiento	24
1.6.1 Las fuerzas de cambio.....	24
1.6.2 Análisis de las fuerzas de cambio	26
1.6.2.1 Los cambios tecnológicos y las nuevas tecnologías.....	26
1.6.2.2 Las nuevas ideas en la economía	29
1.6.2.3 El marco regulatorio de las telecomunicaciones: El proceso de globalización.....	31
1.6.2.4 Las fuerzas sociales.....	34
1.7 Convergencia.....	36
1.7.1 Conceptos generales	36
1.7.2 Análisis del concepto de convergencia.....	36
1.7.3 Convergencia y la globalización de la economía	39
1.8 La red Internet	40
1.8.1 Consideraciones generales	40
1.8.2 Antecedentes históricos	41
1.8.3 Funcionamiento de la red.....	43
1.8.3.1 Definición de la red Internet	43
1.8.3.2 Equipos que integran Internet y esquema de su topología.....	43
1.8.3.3 Identificación de los equipos en la red.....	44
1.8.4 Organizaciones que trabajan para Internet.....	49
1.8.4.1 La Internet Society	49
1.8.4.2 Internet Architecture Board (IAB).....	51
1.8.4.3 Internet Engineering Task Force (IETF).....	51
1.8.4.4 Internet Engineering Steering Group (IESG).....	52
1.8.4.5 Internet Research Task Force (IRT).....	53
1.8.4.6 Internet Research Steering Group (IRSG).....	53
1.8.4.7 RFC Editor	53
1.8.4.8 Proceso utilizado en Internet para la aprobación de normas y recomendaciones	53
1.8.4.9 Internet Corporation for Assigned Names and Numbers (ICANN)	56
1.8.4.10 Internet Assigned Numbers Authority (IANA).....	56
1.9 Los procesos de estandarización y los organismos de normalización	59
1.9.1 Consideraciones generales	59
1.9.2 Los organismos de estandarización	61
1.9.2.1 Unión Internacional de Telecomunicaciones (UIT)	61
1.9.2.2 Organización Internacional de Estándares (ISO)	61
1.9.2.3. Sociedad Internet (ISOC)	62
1.9.2.4. Instituto de Ingenieros Eléctricos y Electrónicos (IEEE)	62
1.9.3 Otros organismos vinculados a estas actividades	62
1.9.3.1 American National Standards Institute (ANSI)	62
1.9.3.2 Electronic Industries Alliance (EIA).....	63
1.9.3.3 ADSL Forum.....	63
1.9.3.4 MFA Forum	63
1.10 Resumen	63
1.11 Ejercicios propuestos	64
1.12 Temas a desarrollar por el lector.....	64
1.13 Contenido de la página Web de apoyo	64
1.13.1 Mapa conceptual del capítulo.....	64
1.13.2 Línea de tiempo.....	64
1.13.3 Videotutorial: La sociedad del conocimiento	64
1.13.4 Autoevaluación.....	64
1.13.5 Presentaciones*	64
1.13.6 Ejercicios resueltos*	64
Capítulo 2	
Transmisión de señales.....	65
2.1 Señales analógicas y señales digitales	66
2.1.1 Introducción.....	66
2.1.2 Definiciones	66
2.2 Transmisión de señales analógicas y digitales	66
2.3 Características de la transmisión de señales	69
2.4 Características de las señales utilizadas para la transmisión de señales	72
2.4.1 Aspectos generales.....	72
2.4.2 Función senoidal armónica simple	73
2.4.3 Función onda cuadrada.....	77
2.4.4 Valor eficaz y valor medio de una señal senoidal: factor de forma	77
2.4.5 Representación de señales armónicas mediante la serie de Fourier.....	80

2.4.5.1 Conceptos generales	80	2.8.5.4 Polar con retorno a cero (RZ).....	122
2.4.5.2 Condiciones de Dirichlet.....	80	2.8.5.5 Bipolar con retorno a cero.....	122
2.4.5.3 Desarrollo de la serie y cálculo de los coeficientes.....	80	2.8.5.6 Bipolar sin retorno a cero	123
2.4.5.4 Expresión compleja de la serie de Fourier	82	2.8.5.7 Codificación diferencial	123
2.4.5.5 Espectro de amplitud y de fase de una función periódica.....	82	2.8.5.8 Código Manchester	123
2.4.5.6 Análisis del espectro de amplitud de la señal del ejemplo 2-4	84	2.8.5.9 Código Manchester diferencial BIFASE	125
2.4.5.7 Concepto inicial de ancho de banda	86	2.8.5.10 Código MILLER.....	125
2.5 Unidades de medida usadas en las telecomunicaciones.....	87	2.8.5.11 Código HDB-3	128
2.5.1 Introducción.....	87	2.8.5.12 Regla de formación del código	128
2.5.2 Ganancia de un amplificador	87	2.8.5.13 Código 4B - 3T (4 binario - 3 ternario).....	129
2.5.3 Pérdida	88	2.8.6 Códigos normalizados por el UIT-T	129
2.5.4 Amplificadores o atenuadores en cascada.....	88		
2.5.5 El decibel	90		
2.5.6 El dBm	94		
2.5.7 El dBu	94		
2.5.8 El dBmV.....	95		
2.5.9 El Neper	95		
2.6 La transmisión de señales	95		
2.6.1 La transmisión en medios dieléctricos	95		
2.6.2 El espectro de frecuencias electromagnéticas	98		
2.6.2.1 Longitud de onda.....	98		
2.6.2.2 Espectro de frecuencia	100		
2.6.2.3 Bandas y gráfica del espectro de frecuencia	101		
2.6.3 La transmisión en medios conductores.....	102		
2.6.3.1 Características de la propagación en medios conductores	102		
2.6.3.2 Efecto pelicular.....	104		
2.7 Ancho de banda.....	108		
2.7.1 Definición de ancho de banda.....	108		
2.7.2 Concepto de ancho de banda.....	108		
2.7.3 Capacidad de un canal de comunicaciones	111		
2.7.4 Curva de ganancia de un amplificador	112		
2.8 Señales en banda base.....	113		
2.8.1 Definición	113	Técnicas de la transmisión de la información	137
2.8.2 Señales unipolares, polares y bipolares	113	3.1 Introducción	138
2.8.2.1 Señal unipolar.....	113	3.2. Elementos sobre la transmisión de la información.....	138
2.8.2.2 Señal polar	114	3.2.1 Introducción a las redes de telecomunicaciones	138
2.8.2.3 Señal bipolar	114	3.2.2 Estructura general de una red de telecomunicaciones...	140
2.8.3 Transmisión en banda base.....	115	3.2.3. Definiciones utilizadas en comunicaciones.....	142
2.8.3.1 Características generales de las transmisiones en banda base.....	115	3.2.4 Teleinformática	143
2.8.3.2 Características particulares de las transmisiones en banda base.....	115	3.2.4.1 Definición y concepto de teleinformática	143
2.8.4 Clasificación de las señales en banda base	118	3.2.4.2 Sistemas teleinformáticos.....	144
2.8.4.1 De acuerdo con el ancho de pulso.....	118	3.2.5 Conceptos utilizados en transmisión de datos	145
2.8.4.2 Según la polaridad	118	3.2.5.1 Definición y concepto de transmisión de datos	145
2.8.5 Códigos usados para señales en banda base	119	3.2.5.2. Definición y concepto de enlace y circuito de datos	148
2.8.5.1 Conceptos generales.....	119	3.2.6 Definiciones utilizadas en Informática	153
2.8.5.2 Sin retorno a cero (NRZ).....	120	3.2.6.1 Definición de byte	153
2.8.5.3 Polar sin retorno a cero (NRZ)	121	3.2.6.2 Definición de palabra.....	153

3.3.1.1 Velocidad de modulación	154
3.3.1.2 Velocidad binaria o velocidad de transmisión, o de información.....	155
3.3.1.3 Velocidad de transmisión en señales multinivel.....	157
3.3.1.4 Velocidad de transferencia de datos	158
3.3.1.5 Definición de tasa de errores	158
3.3.1.6 Velocidad real de transferencia de datos.....	159
3.3.1.7 Eficiencia o rendimiento de un sistema de transmisión de datos.....	159
3.4 Características de un enlace de datos.....	162
3.4.1 Utilización del ancho de banda	162
3.4.2 Relación entre ancho de banda y velocidad de modulación. Transmisión multinivel	163
3.4.3 La medida del ancho de banda en canales digitales.....	164
3.4.4 Conceptos de retardo, latencia y jitter. Su relación con el ancho de banda	165
3.5 Canales de comunicaciones	168
3.5.1 Conceptos generales.....	168
3.5.2 Canal físico.....	169
3.5.3 Canal de información.....	171
3.5.4 Canal ideal y canal real	171
3.5.5 Canales analógicos y canales digitales	172
3.5.6 Concepto de relación señal a ruido. Factor de ruido.....	173
3.5.7 Acondicionamiento de los canales de comunicaciones .	174
3.5.7.1 Aspectos generales.....	174
3.5.7.2 Eco.....	174
3.5.7.3 Ecualización	176
3.6 Capacidad de un canal.....	176
3.6.1 Elementos de teoría de la información. Medida de la información.....	176
3.6.2 Entropía.....	180
3.6.2.1 Fuente de memoria nula	180
3.6.2.2 Definición de entropía	181
3.6.2.3 Propiedades de la entropía	181
3.6.3 Capacidad de un canal	184
3.6.4 Tasa de información o velocidad de información	184
3.6.4.1 Definición y conceptos básicos.....	184
3.6.4.2 Relación entre la capacidad de un canal y la velocidad de transmisión.....	185
3.6.5 Uso de la medida de la información	186
3.7 Concepto de velocidad máxima de transmisión	187
3.7.1 Teorema de Nyquist.....	187
3.7.2 Teorema de Shannon-Hartley	188
3.7.3 Consideraciones particulares sobre el teorema de Shannon-Hartley	190
3.8 Ruido	192
3.8.1 Aspectos generales.....	192
3.8.2 Clasificación del ruido con respecto al sistema de comunicaciones	193
3.8.3 Distintos tipos de ruido	193
3.8.3.1 Introducción.....	193
3.8.3.2 Ruido blanco, gaussiano o de Johnson	194
3.8.3.3 Ruido impulsivo	197
3.8.3.4 Ruido de intermodulación	198
3.8.3.5 Diafonía	198
3.8.3.6. Ruido de línea o simple	199
3.9 Distorsión	199
3.9.1 Definición y conceptos generales.....	199
3.9.2 Distorsión por atenuación	199
3.9.3 Distorsión por retardo de grupo	203
3.9.4 Distorsión por efectos meteorológicos (enlaces inalámbricos)	204
3.10 Errores en el proceso de transmisión de datos	205
3.10.1 Conceptos generales.....	205
3.10.1.1 Definición	205
3.10.1.2 De operador a operador	206
3.10.1.3 De máquina a máquina.....	206
3.10.2 Tipos de errores	206
3.10.3 Tratamiento de los errores	207
3.10.4 Detección de errores por métodos de control de paridad	207
3.10.4.1 Consideraciones generales	207
3.10.4.2 Control de la paridad vertical.....	208
3.10.4.3 Control de paridad longitudinal o bidimensional	209
3.10.4.4 Control de paridad entrelazada o cíclica	210
3.10.5 Detección de errores por adición de información redundante	211
3.10.5.1 Conceptos generales	211
3.10.5.2 Detección de errores por el método de suma de verificación (checksum)	212
3.10.5.3 Detección de errores por el método de control por redundancia cíclica (CRC)	213
3.11 Corrección de errores	216
3.11.1 Consideraciones generales	216
3.11.2 Técnicas de corrección de errores	216
3.11.2.1 Consideraciones generales	216
3.11.2.2 Corrección hacia atrás	217
3.11.2.3 Corrección hacia adelante	217
3.11.3 Corrección de errores mediante el uso de técnicas especiales de transmisión	217
3.11.3.1 Retransmisión de los datos erróneos	217
3.11.3.2 Requerimiento automático de repetición	218
3.11.3.3 Corrección de errores hacia adelante	218
3.11.4 Corrección de errores mediante el empleo de códigos autocorrectores	219
3.11.4.1 Introducción	219
3.11.4.2 Distancia de Hamming	220
3.11.4.3 Código de Hamming	222
3.11.4.4. Código de Hagelbarger	223
3.11.4.5 Código de Bose-Chaudhuri	224

3.11.5 Influencia de la tasa de error en el diseño de un sistema de transmisión de datos	224	4.3.4.1 Descripción del modelo	250
3.12 Resumen.....	225	4.3.4.2 Principios considerados para la determinación del número de capas	251
3.14 Temas a desarrollar por el lector	227	4.3.4.3 Relaciones entre las distintas capas	252
3.15 Contenido de la página Web de apoyo.....	227	4.3.4.4 El modelo de la ISO y la arquitectura TCP/IP.....	254
3.15.1 Mapa conceptual del capítulo	227	4.3.5 Funciones y servicios de capa.....	255
3.15.2 Videotutorial: Capacidad de un canal.....	227	4.3.5.1 Introducción.....	255
3.15.3 Autoevaluación.....	227	4.3.5.2 Capa física.....	255
3.15.4 Presentaciones*.....	227	4.3.5.3 Capa de enlace	255
3.15.5 Ejercicios resueltos*	227	4.3.5.4 Capa de red	255
		4.3.5.5 Capa de transporte	256
		4.3.5.6 Capa de sesión.....	256
		4.3.5.7 Capa de presentación	256
		4.3.5.8 Capa de aplicación	257
Capítulo 4			
Redes de telecomunicaciones.....	229	4.4 Funciones ejecutadas por las redes de telecomunicaciones .. 258	
4.1 Introducción	230	4.4.1 Introducción	258
4.1.1 Aspectos generales	230	4.4.2 Conmutación	258
4.1.2 Clasificaciones de las redes según su modo de administrarlas.....	231	4.4.2.1 Conceptos generales.....	258
4.1.3 Clasificación de las redes telefónicas públicas.....	232	4.4.2.2 Conmutación de circuitos	260
4.1.4 Clasificación de las redes de computadoras	232	4.4.2.3 Conmutación de mensajes.....	262
4.1.5 Utilización de las redes de telecomunicaciones	233	4.4.2.4 Conmutación de paquetes.....	263
4.1.6 Factores de los que depende la eficacia de la comunicación.....	234	4.4.3 Transmisión	266
4.2 Topología de las redes de telecomunicaciones.....	234	4.5 La red telefónica conmutada	269
4.2.1 Elementos constitutivos de una red.....	234	4.5.1 Aspectos generales	269
4.2.1.1 Nodo	234	4.5.2 Características particulares de la red telefónica	276
4.2.1.2 Vínculos.....	235	4.5.3 Digitalización de la red	276
4.2.1.3 Equipo terminal.....	236	4.6 Características de la voz	277
4.2.2 Concepto de topología de una red	236	4.6.1 Definiciones	277
4.2.3 Aspectos generales que hacen a las distintas topologías	236	4.6.2 Propagación, intensidad y potencia del sonido	277
4.2.4 Topologías básicas.....	238	4.6.3 Percepción del sonido	280
4.2.4.1 En estrella	238	4.6.4 Transmisión de la voz por la red telefónica	283
4.2.4.2 En malla.....	239	4.7 Función conmutación en la red telefónica.....	286
4.2.4.3 En anillo	240	4.7.1 Características del proceso de conmutación	286
4.2.4.4 En bus o barra	242	4.7.2 Distintos tipos de conmutadores	287
4.2.4.5 Características comparativas de las topologías básicas....	243	4.7.3 Proceso de conmutación en la red telefónica	288
4.2.5 Topologías híbridas	243	4.7.4 Plan de numeración	290
4.2.5.1 Aspectos generales	243	4.7.4.1 Aspectos generales	290
4.2.5.2 Estrella/malla	244	4.7.4.2 Plan de Numeración Telefónico	292
4.2.5.3 Jerárquica (estrella/estrella)	244	4.8 Equipos terminales conectados a la red telefónica.....	294
4.2.5.4 Anillo/estrella.....	245	4.8.1 Introducción	294
4.2.5.5 Red bus/estrella	245	4.8.2 Teléfonos	294
4.2.5.6 Estrella/Anillo	246	4.8.3 Facsímiles	297
4.3 Arquitecturas de comunicaciones.....	247	4.9 Distintos usos de la red telefónica	298
4.3.1 Aspectos generales	247	4.9.1 Consideraciones generales	298
4.3.2 Concepto de conectividad.....	247	4.9.2 Circuitos conmutados	298
4.3.3 Clasificación de las arquitecturas de comunicaciones	248	4.9.2.1 Aspectos generales	298
4.3.3.1 Arquitecturas propietarias.....	249	4.9.2.2 Características especiales de los circuitos conmutados....	299
4.3.3.2 Arquitecturas abiertas.....	250	4.9.3 Los circuitos arrendados.....	300
4.3.4 El modelo de la ISO	250	4.9.3.1 Aspectos generales	300

4.9.3.2 Características especiales de los circuitos arrendados	300	4.14.3.2 Grado de servicio	328
4.9.4 Red soporte	301	4.14.3.3 Determinación del grado de servicio	329
4.9.5 Análisis de costos entre servicios comutados y servicios permanentes.....	301	4.15 Resumen.....	330
4.10 Circuitos de dos y de cuatro hilos	303	4.16 Ejercicios propuestos.....	331
4.11 Señalización en la red telefónica.....	305	4.17 Temas a desarrollar por el lector	332
4.11.1 Conceptos generales	305	4.18 Contenido de la página Web de apoyo.....	332
4.11.2 Definición.....	307	4.18.1 Mapa conceptual del capítulo	332
4.11.3 Funciones que cumple la señalización.....	307	4.18.2 Autoevaluación	332
4.11.4 Características de las señales transmitidas.....	307	4.18.3 Presentaciones*	332
4.11.5 Funcionamiento de los sistemas de señalización en la red telefónica.....	308	4.18.4 Ejercicios resueltos*.....	332
4.11.5.1 Generalidades	308		
4.11.5.2 Señalización en el par telefónico entre el teléfono y la central	308		
4.11.5.3 Señalización en los enlaces troncales entre centrales	309		
4.11.6 Sistema de señalización por canal común.....	312	Capítulo 5	
4.11.6.1 Características generales.....	312	Medios de comunicación.....	333
4.11.6.2 Características particulares.....	312	5.1 Introducción	334
4.11.6.3 Arquitectura de protocolos	313	5.1.1 Conceptos generales	334
4.11.6.4 Tareas que realizan los protocolos del sistema	314	5.1.2 Elementos caracterizantes de los medios de comunicaciones	335
4.11.6.5 Red de señalización	315	5.1.2.1 Ancho de banda	335
4.12 Red Inteligente.....	316	5.1.2.2 Forma de transmitir las señales	336
4.12.1 Conceptos generales	316	5.1.3 Distintos medios de comunicaciones	338
4.12.2 Definición, objetivo y alcance	317	5.1.3.1 Transmisión por conducción eléctrica.....	338
4.12.2.1 Definición.....	317	5.1.3.2 Transmisión por medios ópticos u ondas electromagnéticas	338
4.12.2.2 Objetivo	317	5.2 Cables de cobre	339
4.12.2.3 Alcance.....	317	5.2.1 Definición y distintos tipos	339
4.12.3 Funcionamiento	318	5.2.2 Los medios de transmisión basados en conductores de cobre	339
4.12.3.1 Conceptos generales.....	318	5.3 Líneas de cobre desnudos	340
4.12.3.2 Estructura de funcionamiento.....	318	5.3.1 Características generales	340
4.12.4 Servicios	319	5.3.2 Detalles constructivos y operativos	340
4.12.4.1 Conceptos generales.....	319	5.4 Cables de par trenzados.....	341
4.12.4.2 Clases y tipos de servicios.....	320	5.4.1 Características generales	341
4.13 Redes privadas virtuales	321	5.4.2 Características eléctricas	341
4.13.1 Concepto y definición	321	5.4.3 Detalles constructivos y operativos	343
4.13.2 Características principales.....	322	5.4.3.1 Estructura general	343
4.13.2.1 Físicas	322	5.4.3.2 Empleo y características de los conductores	344
4.13.2.2 Lógicas	322	5.5 Cables multipares	345
4.14 Ingeniería de tráfico.....	322	5.5.1 Definición y uso	345
4.14.1 Consideraciones generales.....	322	5.5.2 Distintos tipos	345
4.14.1.1 Definiciones.....	322	5.5.3 Cables multipares subterráneos o para instalación en ductos	345
4.14.1.2 Ejecución de las tareas de ingeniería de tráfico.....	324	5.5.3.1 Definición y uso	345
4.14.2 Medida del tráfico.....	325	5.5.3.2 Detalles constructivos	345
4.14.2.1 Definiciones y parámetros utilizados.....	325	5.5.3.3 Procedimientos de prueba de los cables	349
4.14.2.2 Concepto de hora pico	325	5.5.4 Cables multipares aéreos	351
4.14.2.3 Unidades de medida del flujo de tráfico	326	5.5.4.1 Definición y uso	351
4.14.3 Congestionamiento y grado de servicio.....	328	5.5.4.2 Detalles constructivos	351
4.14.3.1 Concepto de congestionamiento	328	5.6 Cables coaxiles.....	352

5.6.1 Definición y uso.....	352	5.10.4.3 Satélites de órbita media	386
5.6.2 Detalles constructivos.....	353	5.10.4.4 Satélites de órbita geoestacionaria.....	387
5.6.3 Características eléctricas	354	5.10.4.5 Satélites de órbitas altamente elípticas	388
5.6.3.1 Capacidad e inductancia.....	354	5.10.5 Componentes de un sistema de comunicaciones por satélite	389
5.6.3.2 Impedancia característica de los cables coaxiles.....	355	5.10.5.1 Aspectos generales.....	389
5.6.3.3 Atenuación.....	355	5.10.5.2 Segmento espacial o satélite	390
5.6.4 Respuesta de los cables coaxiles a la transmisión de señales digitales	356	5.10.5.3 Segmento terrestre o estaciones terrestres.....	392
5.6.5 Velocidad de propagación de las señales	358	5.10.5.4 Sistemas de seguimiento, telemetría y control	393
5.6.6 Designación de los cables coaxiles.....	358	5.10.6 Características de los sistemas de comunicaciones satelitales.....	394
5.6.7 Cables Coaxiles de Varios Conductores	358	5.10.6.1 Servicios fijos, con o sin conmutación.....	394
5.6.7.1 Definición y uso	358	5.10.6.2 Servicios de difusión (broadcast capacity)	394
5.6.7.2. Detalles constructivos.....	359	5.10.6.3 Servicios móviles	394
5.7 Cables de pares trenzados blindados y sin blindar	359	5.10.7 Formas de acceso al satélite.....	395
5.7.1 Conceptos generales sobre el cableado estructurado....	359	5.10.7.1 Aspectos generales.....	395
5.7.2 Características Generales de los Cables UTP y STP	362	5.10.7.2 Single Channel Per Carrier - SCPC	395
5.7.3 Características particulares de los cables UTP y STP	363	5.10.7.3 Multi Channel Per Carrier - MCPC	396
5.7.3.1 Aspectos generales.....	363	5.10.7.4 Companded Frequency Division Multiplex - CFDM	396
5.7.3.2 Cables de las categorías 1 a 4.....	363	5.10.7.5 Time Division Multiplexer Asynchronous – TDMA.....	396
5.7.3.3 Cables para uso en velocidades de 100 Mbps o mayores..	364	5.10.7.6 Satellite Switched/Time Division Multiplexer Asynchronous - SS TDMA	397
5.7.3.4 Características de cada norma.....	364	5.10.8 Eco.....	397
5.7.3.5 Parámetros más representativos de cada categoría o clase..	366		
5.8 Cables submarinos de cobre	366		
5.8.1 Definición y uso	366		
5.8.2 Breve reseña histórica.....	366		
5.8.3 Detalles constructivos.....	367		
5.9 Radiocomunicaciones.....	367		
5.9.1 Definición y uso	367		
5.9.2 Características de las ondas de radio	369		
5.9.3 Propagación de las Ondas de Radio.....	370		
5.9.3.1 Definición y conceptos generales	370		
5.9.3.2 Propagación por onda terrestre	371		
5.9.3.3 Propagación por onda reflejada espacial o ionosférica ..	372		
5.9.3.4 Propagación por onda directa	379		
5.10 Satélites.....	381		
5.10.1 Definición y uso	381		
5.10.2 Referencia histórica.....	381		
5.10.3 Las Organizaciones Internacionales para la Provisión de Servicios Satelitales.....	383		
5.10.3.1 Aspectos generales.....	383		
5.10.3.2 Consorcio INTELSAT.....	383		
5.10.3.3 INTERSPUTNIK.....	384		
5.10.3.4 INMARSAT	384		
5.10.3.5 ARABSAT	385		
5.10.3.6 EUTELSAT	385		
5.10.3.7 ASIASAT	385		
5.10.4 Clasificación de los distintos tipos de satélites	385		
5.10.4.1 Aspectos generales.....	385		
5.10.4.2 Satélites de órbita baja	386		
5.10.4.3 Satélites de órbita media	386		
5.10.4.4 Satélites de órbita geoestacionaria.....	387		
5.10.4.5 Satélites de órbitas altamente elípticas	388		
5.10.5 Componentes de un sistema de comunicaciones por satélite	389		
5.10.5.1 Aspectos generales.....	389		
5.10.5.2 Segmento espacial o satélite	390		
5.10.5.3 Segmento terrestre o estaciones terrestres.....	392		
5.10.5.4 Sistemas de seguimiento, telemetría y control	393		
5.10.6 Características de los sistemas de comunicaciones satelitales.....	394		
5.10.6.1 Servicios fijos, con o sin conmutación.....	394		
5.10.6.2 Servicios de difusión (broadcast capacity)	394		
5.10.6.3 Servicios móviles	394		
5.10.7 Formas de acceso al satélite.....	395		
5.10.7.1 Aspectos generales.....	395		
5.10.7.2 Single Channel Per Carrier - SCPC	395		
5.10.7.3 Multi Channel Per Carrier - MCPC	396		
5.10.7.4 Companded Frequency Division Multiplex - CFDM	396		
5.10.7.5 Time Division Multiplexer Asynchronous – TDMA.....	396		
5.10.7.6 Satellite Switched/Time Division Multiplexer Asynchronous - SS TDMA	397		
5.10.8 Eco.....	397		
5.11 Microondas	397		
5.11.1 Definición y uso	397		
5.11.2 Características generales	397		
5.11.3 Microondas analógicas.....	398		
5.11.3.1 Aspectos generales.....	398		
5.11.3.2 Estaciones repetidoras	399		
5.11.4 Microondas digitales	399		
5.11.4.1 Aspectos generales.....	399		
5.11.4.2 Métodos de modulación para señales digitales	399		
5.11.4.3 Los métodos PSK y QAM	399		
5.11.4.4 Relación entre el método de modulación y el ancho de banda	400		
5.11.4.5 Características de las microondas digitales	401		
5.11.5 Características de las antenas de microondas	401		
5.11.6 Equipo de reserva	402		
5.12 Guías de onda	402		
5.12.1 Definición y uso	402		
5.12.2 Características generales	402		
5.12.3 Aspectos técnicos	403		
5.13 Láser	404		
5.13.1 Definición y uso	404		
5.13.2 Características generales	405		
5.13.3 Principio de funcionamiento del láser	405		
5.13.3.1 Fluorescencia	405		
5.13.3.2 Emisión estimulada	406		
5.13.4 Distintos tipos de láser	406		
5.13.5 Evolución futura del láser	407		

5.13.6 Equipos de comunicaciones láser	407	5.16 Resumen.....	434
5.13.6.1 Características generales.....	407	5.17 Ejercicios propuestos.....	434
5.13.6.2 Estructura de un enlace	408	5.18 Temas a desarrollar por el lector	435
5.13.6.3 Características del equipamiento.....	409	5.19 Contenido de la página Web de apoyo.....	435
5.14 Fibras ópticas	409	5.19.1 Mapa conceptual del capítulo.....	435
5.14.1 Definición.....	409	5.19.2 Videotutorial: Fibras ópticas	435
5.14.2 Uso	409	5.19.3 Autoevaluación	435
5.14.3 Detalles constructivos de la fibra óptica.....	410	5.19.4 Presentaciones*	435
5.14.4 Principios de funcionamiento	411	5.19.5 Ejercicios resueltos*	435
5.14.4.1 La propagación de la luz	411		
5.14.4.2 Cono de aceptación	412		
5.14.4.3 Atenuación de la luz	413		
5.14.4.4 Ancho de banda de una fibra óptica.....	414		
5.14.5 Tipos de fibra óptica.....	416		
5.14.6 Pérdidas en las fibras ópticas.....	418		
5.14.6.1 Aspectos generales.....	418		
5.14.6.2 Pérdidas por dispersión modal.....	418		
5.14.6.3 Pérdidas por cromática.....	419		
5.14.6.4 Pérdidas por absorción y radiación	419		
5.14.6.5 Pérdidas por acoplamientos	419		
5.14.6.6 Pérdidas por dispersión de Rayleigh.....	420		
5.14.7 Cables ópticos mono y multifibra.....	421		
5.14.8 Sistema optoelectrónico	422		
5.14.8.1 Definición de sistema optoelectrónico	422		
5.14.8.2 Emisores de luz: LED y LASER	422		
5.14.8.3 Características del transmisor	423		
5.14.8.4 Receptores de luz: APD, PIN, PIN/FET	424		
5.14.8.5 Características técnicas de los fotodetectores APD, PIN, y PIN - FET.....	424		
5.14.8.6 Características del receptor	424		
5.14.8.7 Elementos accesorios en una instalación optoelectrónica.....	425		
5.14.8.8 Repetidores	425		
5.14.8.9 Empalmes	426		
5.14.8.10 Conectores	426		
5.14.8.11 Acopladores	427		
5.14.9 Aplicaciones especiales en las redes de datos	427		
5.14.9.1 Aspectos generales.....	427		
5.14.9.2 Fibra oscura	427		
5.14.9.3 Fibras con tecnología WDM, DWDM y CWDM	428		
5.14.9.4 Características de estas tecnologías	429		
5.15 Cables submarinos de fibra óptica	429		
5.15.1 Definición y estructura.....	429		
5.15.2 Tipos de cables submarinos y accesorios.....	429		
5.15.3 Elementos accesorios del cable	430		
5.15.3.1 Repetidores	430		
5.15.3.2 Derivador de ramales (Branch Unit).....	430		
5.15.3.3 Cajas de empalme	430		
5.15.4 Proceso de instalación del cable submarino	430		
5.15.5 Futuro del cable submarino	433		
Capítulo 6			
La capa física.....	437		
6.1 Introducción	438		
6.1.1 Conceptos generales	438		
6.1.2 Restricciones que se han de tener en cuenta para el transporte de señales.....	440		
6.1.3 Evolución en el concepto de redes y servicios de telecomunicaciones.....	441		
6.1.4 Características técnicas de las señales utilizadas en las redes NGN.....	442		
6.1.4.1 Generalidades.....	442		
6.1.4.2 Voz, video y señales isócronas	443		
6.1.4.3 Voz, video y señales isócronas comprimidas	443		
6.1.4.4 Datos confiables/Aplicaciones de misión crítica.....	443		
6.1.4.5 Datos no confiables (correo, navegación en Internet, etc.)	444		
6.2 Tipos de transmisión.....	444		
6.2.1 Método simplex	444		
6.2.2 Método semidúplex	445		
6.2.3 Método dúplex	445		
6.3 Modos de transmisión	446		
6.3.1 Introducción	446		
6.3.2 Transmisión en modo paralelo	447		
6.3.2.1 Definición.....	447		
6.3.2.2 Características de la transmisión en modo paralelo.....	447		
6.3.3 Transmisión en modo serie	448		
6.3.3.1 Definición.....	448		
6.3.3.2 Características de la transmisión en modo serie.....	449		
6.3.3.3 Receptor-Transmisor Asincrónico Universal (UART).....	450		
6.4 La capa física	450		
6.4.1 Generalidades.....	450		
6.4.2 Normalización de las interfaces de la capa física.....	451		
6.4.2.1 Aspectos generales	451		
6.4.2.2 Niveles de normalización	451		
6.5 Interfaces y buses en modo paralelo.....	453		
6.5.1 Generalidades.....	453		
6.5.2 Características técnicas de algunas interfaces o buses en modo paralelo	454		
6.5.2.1 Interfaz ATA	454		
6.5.2.2 Interfaz IEEE 1284 – Centronics	455		

6.6 Buses e interfaces en modo serie.....	458		
6.6.1 Recomendaciones RS 232-V.24	458	6.7.5.2 Características de calidad los relojes patrones	502
6.6.1.1 Consideraciones generales.....	458	6.7.6 Transmisión asincrónica.....	502
6.6.1.2 Características técnicas principales.....	459	6.7.6.1 Introducción.....	502
6.6.1.3 Principales limitaciones que presenta.....	459	6.7.6.2 Descripción del procedimiento asincrónico	502
6.6.1.4 Características de normalización para el nivel mecánico	460	6.7.6.3 Características de la transmisión asincrónica	503
6.6.1.5 Características de normalización para el nivel eléctrico	461		
6.6.1.6 Características de normalización para el nivel lógico....	461	6.8 Resumen.....	504
6.6.1.7 Descripción de algunos procedimientos de esta recomendación	466	6.7.7 Transmisión sincrónica.....	505
6.6.2 Recomendación V.35	468	6.7.7.1 Introducción.....	505
6.6.2.1 Aspectos generales	468	6.7.7.2 Descripción del procedimiento sincrónico	505
6.6.2.2 Características de normalización para el nivel mecánico ...	469	6.7.7.3 Características de la transmisión sincrónica	505
6.6.2.3 Características de normalización para el nivel eléctrico	469		
6.6.2.4 Características de normalización para el nivel lógico...	469	6.9 Ejercicios propuestos.....	506
6.6.3 Recomendación X.21	470	6.10 Temas a desarrollar por el lector	507
6.6.3.1 Consideraciones generales.....	470	6.11 Contenido de la página Web de apoyo	507
6.6.3.2 Características de normalización para el nivel mecánico ...	471	6.11.1 Mapa conceptual del capítulo	507
6.6.3.3 Características de normalización para el nivel eléctrico	471	6.11.2 Autoevaluación	507
6.6.3.4 Características de normalización para el nivel lógico...	472	6.11.3 Presentaciones*	507
6.6.4 Interfaz USB	475	6.11.4 Ejercicios resueltos*	507
6.6.4.1 Consideraciones generales.....	475		
6.6.4.2 Características particulares	476	Capítulo 7	
6.6.4.3 Características técnicas	477		
6.6.4.4 Características de normalización para el nivel mecánico ..	477	Modulación y digitalización de señales.....	509
6.6.4.5 Características de normalización para el nivel eléctrico...	480	7.1 Introducción.....	510
6.6.4.6 Características de las señales en banda base que utiliza ..	481	7.1.1 Conceptos generales	510
6.6.4.7 Conexión de dispositivos a través de hub.....	481	7.1.2 Particularidades del proceso de modulación	510
6.6.4.8 Características de normalización para el nivel lógico...	483	7.1.3 Particularidades del proceso de digitalización	511
6.6.4.9 Tipos de transmisión	486	7.2 Modulación.....	513
6.6.4.10 Características principales de la versión USB 3.0.....	486	7.2.1 Definición	513
6.6.4.11 Diferencias significativas entre las versiones 2.0 y 3.0.....	487	7.2.2 Clasificación de las técnicas de modulación.....	514
6.6.5 Interfaz FireWire-IEEE 1394.....	487	7.3 Modulación por onda continua	516
6.6.5.1 Consideraciones generales.....	487	7.3.1 Introducción	516
6.6.5.2 Características particulares	488	7.3.2 Modulación de amplitud	517
6.6.5.3 Características técnicas del cable y los conectores	488	7.3.2.1 Definición	517
6.6.5.4 Diferentes estándares.....	489	7.3.2.2 Variación del nivel de la onda portadora	517
6.6.6 Comparación entre USB y IEEE 1394	491	7.3.2.3 Por supresión de la onda portadora	519
6.7 Sincronismo.....	492	7.3.2.4 Proceso de un modulador en amplitud.....	519
6.7.1 Concepto de sincronismo	492	7.3.2.5 Fundamentos teóricos del proceso de modulación en AM..	520
6.7.2 La escala del tiempo.....	493	7.3.3 Modulación de frecuencia	523
6.7.3 Las funciones de las distintas señales de tiempo	494	7.3.3.1 Definición	523
6.7.4 Distintos tipos de sincronismo.....	495	7.3.3.2 Fundamentos teóricos del proceso de modulación en frecuencia	525
6.7.4.1 Sincronismo de bit	495	7.3.3.3 Caso práctico de modulación en frecuencia de una señal digital	527
6.7.4.2 Sincronismo de byte	498	7.3.3.4 Modulación de frecuencia de banda angosta	528
6.7.4.3 Sincronismo de trama.....	498	7.3.3.5 Modulación de banda ancha	528
6.7.4.4 Sincronismo de paquetes.....	499	7.3.4 Modulación de fase	529
6.7.4.5 Sincronismo de red.....	500	7.3.4.1 Definición	529
6.7.5 Los relojes utilizados en la red.....	500	7.3.4.2 Fundamentos teóricos del proceso de modulación de fase (PM).....	530
6.7.5.1 Los relojes patrones.....	500	7.3.4.3 Modulación multifase - MPSK - Multi Phase Shift Keying....	531
		7.3.4.4 Modulación multinivel.....	535

7.4 Equipos Módem	536
7.4.1 Distintos tipos de equipos módem	536
7.4.2 Características de los módem de rango vocal.....	536
7.4.2.1 Introducción	536
7.4.2.2 Definición de módem de rango vocal	537
7.4.3 Funciones de los módem de rango vocal.....	537
7.4.3.1 Funciones básicas.....	537
7.4.3.2 Funciones complementarias.....	539
7.4.3.3 Funciones especiales	541
7.4.4 Los canales telefónicos analógicos.....	543
7.4.4.1 Características de los canales telefónicos	543
7.4.4.2 Utilización de módem en los canales telefónicos analógicos	543
7.4.4.3 El sincronismo de los módems.....	544
7.4.4.4 Módems de baja velocidad	545
7.4.5 Módems de media y alta velocidad	547
7.4.5.1 La Red Internet y la necesidad de equipos modem más veloces	547
7.4.5.2 Características particulares de la Recomendación V.34	548
7.4.6 Módems de muy alta velocidad inteligentes (<i>smart modem</i>).....	552
7.4.6.1 Aspectos generales.....	552
7.4.6.2 Características principales	554
7.4.6.3 Funciones que prestan los módems inteligentes	555
7.4.6.7 Características técnicas y operativas de un módem ..	569
7.5 Módem banda base.....	569
7.6 Redes de acceso utilizando tecnologías xDSL.....	570
7.6.1 Concepto de redes de banda ancha	570
7.6.2 Características de la red de cables de cobre.....	571
7.6.3 Las Tecnologías xDSL.....	573
7.6.4 Tecnología ADSL.....	574
7.6.4.1 Generalidades	574
7.6.4.2 Arquitectura ADSL.....	575
7.6.4.3 Funcionamiento del ADSL.....	577
7.6.4.4 Las últimas versiones del estándar ADSL.....	580
7.6.4.5 Características del estándar ADSL: ventajas y desventajas..	582
7.7 Cable Módem.....	583
7.7.1 Introducción	583
7.7.1.1 Las redes de distribución de señales de televisión por cable.....	583
7.7.1.2 Los servicios que presta una Red de Distribución de Señales de Televisión por Cable	586
7.7.2 Arquitectura de una red híbrida de cable para la transmisión de televisión, datos, voz y otros servicios	587
7.7.2.1 Consideraciones generales	587
7.7.2.2 Estructura del circuito de datos con cable módem.....	588
7.7.2.3 Equipo del Sistema de Terminación del Cable Módem - CMTS.....	589
7.7.2.4 Equipo Cable Módem.....	590
7.7.3 Las especificaciones DOCSIS.....	592
7.7.3.1 DOCSIS, Cable Labs Europa y CableLabs	592
7.7.3.2 Características generales del estándar DOCSIS.....	594
7.7.3.3 Características de la prestación del servicio de conectividad a la Red Internet.....	594
7.7.3.4 Esquemas de protocolos utilizados en las normas DOCSIS.....	596
7.7.4 Comparación entre la tecnología XDSL y Cable Módem.	597
7.8 Modulación por pulsos.....	597
7.8.1 Definición	597
7.8.2 Clasificación de la modulación por pulsos.....	599
7.8.2.1 Modulación por pulsos analógica.....	599
7.8.2.2 Modulación por pulsos digital.....	599
7.8.3 Ventajas de la modulación por pulsos.....	599
7.8.4 Modulación de pulsos analógica	600
7.8.4.1 Concepto general	600
7.8.4.2 Modulación de pulsos por amplitud - PAM	601
7.8.4.3 Modulación de pulsos por variación del ancho del pulso - PDM.....	601
7.8.4.4 Modulación de pulsos por modificación de la posición del pulso - PPM.....	601
7.9 Digitalización	602
7.9.1 Introducción a las redes digitales	602
7.9.2 Antecedentes del muestreo: el Teléfono de Reis.....	604
7.9.3 Muestreo de señales	604
7.9.3.1 Proceso de muestreo	604
7.9.3.2 Aplicación del Teorema de Nyquist o del Muestreo....	606
7.9.3.3 Diferentes procesos de muestreo	607
7.9.4 Cuantificación	609
7.9.4.1 Conceptos generales y definición.....	609
7.9.4.2 Error de cuantificación	610
7.9.4.3 Distintos tipos de cuantificación	610
7.9.4.4 Compansión.....	612
7.9.4.5 Leyes de Cuantificación	614
7.9.5 Codificación	616
7.10 Modulación digital de pulsos	619
7.10.1 Diferentes tipos	619
7.10.2 Ventajas de la modulación digital.....	619
7.10.3 Modulación por pulsos codificados - PCM	620
7.10.3.1 Definición	620
7.10.3.2 Descripción	620
7.10.3.3 Ruido en los sistemas PCM.....	622
7.10.3.4 Características técnicas de los sistemas PCM.....	622
7.10.4 Variantes de la modulación por pulsos codificados ..	623
7.10.4.1 Conceptos generales	623
7.10.4.2 Modulación delta	623
7.10.4.3 Modulación delta adaptativa	626
7.10.4.4 Modulación PCM diferencial	626
7.11 Resumen	627
7.12 Ejercicios propuestos	627

7.13 Temas a desarrollar por el lector.....	628	
7.14 Contenido de la página Web de apoyo	628	
7.14.1 Mapa conceptual del capítulo	628	
7.14.2 Autoevaluación.....	628	
7.14.3 Presentaciones*.....	628	
7.14.4 Ejercicios resueltos*	628	
Capítulo 8		
Tecnologías para el transporte de señales.....	629	
8.1 Introducción	630	
8.1.1 La crisis del ancho de banda.....	630	
8.1.2 Exaflood: un fenómeno de las crisis del ancho de banda.....	631	
8.1.3 Los requerimientos de ancho de banda de distintos sectores	632	
8.1.4 Distintas variantes para mejorar la capacidad de un canal.....	633	
8.1.5 La idea de multiplexar.....	634	
8.2 Multiplexación.....	634	
8.2.1 Definición de multiplexación	634	
8.2.2 Uso de las técnicas de multiplexación.....	635	
8.2.3 Técnicas de multiplexación	636	
8.3 Multiplexación por división de frecuencia (FDM).....	636	
8.3.1 Definición y breve reseña histórica.....	636	
8.3.2 Esquemas de funcionamiento de la multiplexación por división de frecuencia.....	637	
8.3.3 Formación del esquema básico de multiplexación por división de frecuencia.....	638	
8.3.4 Formación de órdenes superiores de multiplexación de las jerarquías analógicas.....	640	
8.3.5 Utilización del concepto de multiplexación por división de frecuencia en otras aplicaciones.....	641	
8.3.5.1 Acceso múltiple por división de frecuencia - FDMA	641	
8.3.5.2 Utilización del espectro para los servicios de radiodifusión	641	
8.3.5.3 Multiplexación por división de longitud de onda - WDM, DWDM y CWDM.....	642	
8.3.5.4 Multiplexación por División de Frecuencias Ortogonales .	642	
8.4 Multiplexación por división de tiempo - TDM.....	643	
8.4.1 Introducción y definición.....	643	
8.4.2 Esquema de funcionamiento de la multiplexación por división de tiempo.....	644	
8.4.2.1 Procedimiento general	644	
8.4.2.2 Armado de las tramas.....	645	
8.4.3 Formación del esquema básico de multiplexación digital.....	647	
8.4.4 Sincronización	650	
8.4.5 Formación de órdenes superiores de multiplexación de la Jerarquía Digital Plesiócrona	650	
8.5 Multiplexación por división de tiempo estadística - (STDM)...	654	
8.5.1 Introducción	654	
8.5.2 Esquema de funcionamiento de la multiplexación por división de tiempo estadística.....	654	
8.6 Redes ópticas.....	655	
8.6.1 Introducción	655	
8.6.1.1 Reseña histórica	655	
8.6.1.2 Definición y características	658	
8.6.1.3 Ventajas de las redes ópticas.....	660	
8.6.2 Sistemas ópticos WDM, CWDM y DWDM	660	
8.6.2.1 Fibras ópticas	660	
8.6.2.2 Sistemas de transmisión por fibras.....	662	
8.6.2.3 Sistemas unidireccionales y bidireccionales.....	663	
8.6.2.4 Capacidad de las fibras	664	
8.6.2.5 Atenuación en la propagación de las señales ópticas.....	665	
8.6.2.6 Amplificador de Fibra Dopada con Erbio - EDFA.....	665	
8.6.2.7 Amplificador Raman	667	
8.6.2.8 Amplificador óptico de semiconductores.....	668	
8.6.2.9 Funciones que realizan los distintos tipos de hardware óptico	668	
8.7 Transmisión sincrónica	669	
8.7.1 Introducción	669	
8.7.2 Historia y características	672	
8.8 Comunicaciones por redes ópticas.....	674	
8.8.1 Topología de las redes ópticas de comunicaciones.....	674	
8.8.2 Funciones de transporte y conmutación en redes ópticas	676	
8.8.3 Clasificación de las Redes ópticas de Transporte	677	
8.9 Jerarquía digital sincrónica	678	
8.9.1 Características generales	678	
8.9.2 Estructura de las tramas SDH	680	
8.9.3 Contenedores Virtuales: Transporte de Señales PDH	682	
8.10 SONET - Synchronous Optical Network.....	684	
8.11 Interrelación entre SONET y SDH	685	
8.12 El futuro de las redes ópticas	686	
8.13 Resumen.....	687	
8.14 Ejercicios propuestos.....	687	
8.15 Temas a desarrollar por el lector	687	
8.16 Contenido de la página Web de apoyo.....	688	
8.16.1 Mapa conceptual del capítulo	688	
8.16.2 Videotutorial: Tecnologías para el transporte de señales	688	
8.16.4 Autoevaluación	688	
8.16.5 Presentaciones*	688	
8.16.6 Ejercicios resueltos*	688	
Siglas, acrónimos y abreviaturas.....	689	
Bibliografía	695	
Índice analítico	699	

Información del contenido de la página Web

El material marcado con asterisco (*) solo está disponible para docentes.

Capítulo 1

Las comunicaciones. Conceptos básicos

- Mapa conceptual
- Línea de tiempo
- Videotutorial: La Sociedad del conocimiento
- Autoevaluación
- Presentaciones*
- Ejercicios resueltos*

Capítulo 2

Transmisión de señales

- Mapa conceptual
- Autoevaluación
- Presentaciones*
- Ejercicios resueltos*

Capítulo 3

Técnicas de la transmisión de la información

- Mapa conceptual
- Videotutorial: Capacidad de un canal
- Autoevaluación
- Presentaciones*
- Ejercicios resueltos*

Capítulo 4

Redes de telecomunicaciones

- Mapa conceptual
- Autoevaluación
- Presentaciones*
- Ejercicios resueltos*

Capítulo 5

Medios de comunicaciones

- Mapa conceptual
- Videotutorial: Fibras ópticas
- Autoevaluación
- Presentaciones*
- Ejercicios resueltos*

Capítulo 6

La capa física

- Mapa conceptual
- Autoevaluación
- Presentaciones*
- Ejercicios resueltos*

Capítulo 7

Modulación y digitalización de señales

- Mapa conceptual
- Autoevaluación
- Presentaciones*
- Ejercicios resueltos*

Capítulo 8

Tecnologías para el transporte de señales

- Mapa conceptual
- Videotutorial: Tecnologías para el transporte de señales
- Autoevaluación
- Presentaciones*
- Ejercicios resueltos*

Hipervínculos de interés

Fe de erratas

Convenciones utilizadas en el texto.

	Conceptos para recordar: bajo este ícono se encuentran definiciones importantes que refuerzan lo explicado en la página.
	Comentarios o información extra: este ícono ayuda a comprender mejor o ampliar el texto principal.
	Videotutoriales sobre temas complementarios de la obra.
	Hipervínculos especialmente seleccionados.

Registro en la Web de apoyo

Para tener acceso al material de la página Web de apoyo del libro:

1. Ir a la página <http://virtual.alfaomega.com.mx>
2. Registrarse como usuario del sitio y propietario del libro.
3. Ingresar al apartado de inscripción de libros y registrar la siguiente clave de acceso

4. Para navegar en la plataforma virtual de recursos del libro, usar los nombres de Usuario y Contraseña definidos en el punto número dos. El acceso a estos recursos es limitado. Si quiere un número extra de accesos envíe un correo electrónico a webmaster@alfaomega.com.mx

Estimado profesor: Si desea acceder a los contenidos exclusivos para docentes por favor contacte al representante de la editorial que lo suele visitar o envíenos un correo electrónico a webmaster@alfaomega.com.mx

Prefacio a la primera edición

Hace ya algo más de treinta años, que con Rubén Fusario iniciamos una amistad que trascendió lo familiar para directamente relacionarse con nuestra pasión por la profesión de Ingeniería, carrera que habíamos abrazado en ese momento en la especialidad electrónica y que, posteriormente, nos llevó a especializarnos en los sistemas de comunicaciones y en la informática, especialidad que en ese momento recién se iniciaba.

Al margen de nuestra actividad profesional, que nunca hemos abandonado, nos vimos atraídos por la docencia universitaria que en la década de los años setenta hizo que nos conociéramos.

La docencia es una manera de retribuir a la comunidad todo lo que uno ha recibido de su formación profesional, en nuestro caso de grado y luego, de posgrado.

Así trabajamos en publicar nuestro primer libro, *Introducción a la Teleinformática*, que fue publicado en 1989 de una manera casi artesanal. A partir de allí, continuamos con otras obras hasta llegar a esta, 23 años después.

Ambos hemos estado siempre acosados por la falta de tiempo que en estas épocas es el signo común de un mundo en constante cambio y evolución. Más aún, en estas tecnologías donde los Profesores Universitarios necesitamos invertir una buena parte de nuestro tiempo para mantener una permanente actualización.

Sin embargo, paralelamente a esta actividad de escribir, que realizamos fuera de nuestras horas de actividades laborales, con Rubén, nos hemos abocado a formar investigadores en nuestros grupos dedicados a esta actividad la cual nos ha permitido generar una interesante cantidad de trabajos, presentados en diversos congresos nacionales e internacionales. Por tanto, poseen referato internacional y consecuentemente, han sido publicados.

Del resultado de esas actividades, surge la presente obra que como su subtítulo lo indica, está pensada para desarrollar un curso introductorio y necesario al estudio de las “Redes digitales de datos”.

Precisamente, nuestra experiencia en todos los años de docencia en temas vinculados con las telecomunicaciones nos ha permitido visualizar la necesidad de que previo al estudio de las redes en sí, es necesario que se conozcan los fundamentos que hacen a su funcionamiento y las leyes sobre las cuales aquellas funcionan.

Los profesionales especialistas en sistemas, informática o computación en muchas oportunidades deben tratar con las empresas de telecomunicaciones servicios o vínculos de las redes que estas operan. En dichas actividades, muchas veces gerenciales, el lenguaje y la estructura física con que las mismas cuentan son de fundamental importancia para saber qué y cómo negociar con ellas.

Muchas otras obras de colegas que escriben en lengua inglesa, luego traducidas al español, omitían mucho de estos aspectos enfocándose a desarrollar directamente las características de las redes de datos, el funcionamiento de sus protocolos y otras particularidades de las mismas.

Sin embargo, en cada edición sucesiva de sus obras, hemos observado gratamente que los temas que fuimos desarrollando en nuestras obras anteriores y profundizamos en esta, relacionadas con la teleinformática, fueron incluidas en sus nuevas ediciones en forma creciente habida cuenta de las necesidades expuestas.

También nos comprometemos a continuar este libro con otro complementario que será un trabajo sobre redes digitales de datos que ya tenemos en un estado muy avanzado.

En esta nueva obra, hemos buscado corregir errores que se habían deslizado en las ediciones anteriores, producir la actualización necesaria que en nuestra especialidad debe realizarse en forma continua y agregar otros temas buscando que le resulte más interesante al lector. También, en lo formal, hemos buscado que la totalidad de las muchas figuras del texto sea mucho más cuidada y prolífica.

Queremos volver a resaltar al igual que en otras oportunidades, que esta obra es fundamentalmente un libro de texto universitario, donde hemos tratado de seguir dándole la mayor prioridad a la comprensión didáctica de los distintos temas tratados y a la forma en la que ellos van apareciendo ante la mirada del lector.

Una palabra final respecto a la destrucción sistemática de la generación de libros técnicos en idioma español.

En nuestros países de Iberoamérica, publicar libros técnicos significa un doble esfuerzo. Por un lado, por parte de las editoriales que deben luchar contra el apropiamiento indebido del trabajo realizado y el capital invertido para que un libro esté en la calle; y por el otro, a los autores, para quienes generar un libro no les representa ningún ingreso que haga de esta actividad una forma de vida.

Poner un libro en la calle no solo significa el trabajo del autor, sino que detrás de él hay un conjunto de trabajadores de distintos gremios, tales como dibujantes, maquetadores, correctores de estilo, editores, productores, etc. Todo ello sin contar toda la cadena gráfica de impresión, compuesta por obreros de una de las actividades más viejas de la industria, como que empezó quizás antes que Gutenberg.

Lamentablemente, el uso del fotocopiado de los textos y, además, su distribución a través de las redes sociales están haciendo que, lentamente, los alumnos de habla hispana se estén quedando sin libros de texto por la falta de interés comercial de toda la cadena de producción.

Solo quedarán, si no se revierte esta situación de alguna manera, como elementos para el estudio a nivel universitario, apuntes de clase y textos en idioma inglés. Estos últimos disponen de un mercado más amplio y sus derechos de copyright gozan de mucho mayor respeto en sus países de origen.

Queremos agradecer muy especialmente a la dirección de Alfaomega Grupo Editor y a todo su equipo de producción por el empeño en darle a esta edición un aspecto renovado y a la generación del material de ayuda a los docentes confeccionado para la obra. Ellos nos han alentado en forma permanente durante la generación de esta tarea.

Finalmente, quedamos a la espera del juicio crítico de todos nuestros colegas, de nuestros alumnos (que son muchos) y de nuestros lectores habituales, a quienes rogamos que sean todo lo indulgentes, que puedan serlo.

Ciudad Autónoma de Buenos Aires, otoño austral de 2012

Antonio Ricardo Castro Lechtaler

Palabras introductorias a los lectores

Este nuevo libro que hoy presentamos a la comunidad universitaria es el fruto de nuestro trabajo en las aulas de distintas universidades argentinas, que nos han honrado ofreciéndonos la dirección de las cátedras vinculadas a las Comunicaciones y a las Redes Digitales; así como a otras de nuestro continente, a las que hemos podido llegar gracias a los distintos programas de cooperación entre los países de habla hispana.

La acogida favorable que dieron nuestros colegas y los estudiantes universitarios a nuestras dos últimas obras Teleinformática Aplicada, publicada en España y México por la Editorial McGraw-Hill Interamericana de España S. A. y Teleinformática para Ingenieros en Sistemas de Información publicada por la Editorial Reverté S. A. en Barcelona, nos ha llevado a aceptar el desafío recibido de los amigos de Alfaomega Grupo Editor para trabajar en un nuevo libro actualizado y adaptado a los nuevos requerimientos del saber, que hoy ponemos a vuestra consideración.

Este texto de comunicaciones está orientado fundamentalmente a los alumnos de las carreras de grado universitarias de Computación, Sistemas de Información e Informática. Soslayando algunos aspectos matemáticos, puede ser utilizado también en carreras terciarias no universitarias de las mismas especialidades.

Pensamos que, en otros casos, se adapta a cursos de posgrados relacionados con estas temáticas y puede ser utilizado como curso introductorio en las carreras de Ingeniería en Telecomunicaciones o Electrónica.

En todos nuestros libros, hemos dado la mayor prioridad a la comprensión didáctica de los distintos temas tratados y a la forma en la que ellos van apareciendo ante la mirada del lector. En particular, debido al uso que, en muchos casos, es posible darle a este texto en cursos donde no cuentan con una currícula con un fuerte contenido físico-matemático, que en muchas carreras resultan innecesarios, hemos optado por reducir el desarrollo de este tipo de contenidos sin que por ello se pierda rigor.

Como en otras obras, se les dado mayor importancia a los aspectos conceptuales, es decir, a aquellos temas que son independientes de los cambios tecnológicos se producen casi a diario.

Se abordan, además, otros conocimientos que llamamos en nuestros cursos volátiles, por cuanto son los que sufren a causa de los constantes cambios producto del avance continuo de estas tecnologías, cambios que se producen en forma constante. Ellos, si bien son tratados, requerirán una actualización en futuras reimpresiones.

También se ha evitado el uso de acrónimos y siglas, tan comunes en los libros de habla inglesa que obligan al lector a un ejercicio de adivinanza o a recurrir a las últimas páginas del libro para saber que se quiso decir. Pero como muchos de ellos son de uso tan común cuando los usamos, hemos convenido que al final de esta obra esté la explicación de su significado en su idioma original y en español, cuando la traducción tiene sentido práctico.

En lo que respecta a las palabras técnicas, que en esta especialidad se han ido creando, su mayoría en idioma inglés, solamente han sido traducidas cuando en el lenguaje común son utilizadas en nuestro idioma. Si no fuere así, hemos preferido evitar inventar expresiones que muy pocos entenderían.

La obra se presenta ahora en un tamaño moderno con gran cantidad de figuras que esperamos sean muy claras. Además, los docentes contarán con la ayuda suficiente para el dictado de las clases en forma didáctica y amena.

Esperamos que nuestros colegas, así como nuestros alumnos y lectores en general, consideren este libro como una obra actualizada y con una terminación prolífica.

Como siempre hemos tratado que los errores, que seguramente los habrá, estén acotados a un mínimo razonable. Gustosos aceptaremos que se nos señalen, si los hubiera, para que puedan ser corregidos.

Nuestros lectores, y Red Internet mediante, seguramente nos ayudarán a ir corrigiéndolos en futuras reimpresiones.

A.R. Castro Lechtaler - R. J. Fusario

Agradecimientos

Al escribir una obra, cualquiera sea esta, los agradecimientos y reconocimientos que los autores deben efectuar son necesariamente siempre muchos, y por distintas causas; la mayoría de ellas relacionada con el apoyo que se recibe durante la preparación de la misma. Cualquier autor puede dar fe de ello. Luego debemos resaltar la colaboración de muchas personalidades que nos han facilitado sus claustros o que nos han invitado a participar, estrechamente, en las actividades que dirigen, o al de todos aquellos a quienes molestamos pidiéndoles consejos, solicitándoles información, o más aún, pidiéndoles que revisaran parte de este trabajo.

En primer término debemos agradecer al Profesor Ingeniero HORACIO REGGINI quien nos inculcó el interés por estos temas. Nos llena de verdadero orgullo que una persona de su capacidad personal y de su sensibilidad humana y estética nos cuente entre sus amigos. Horacio es un profesional de muy alto nivel intelectual y con una proyección internacional que es un orgullo para la República Argentina.

Al señor Rector de la Universidad Tecnológica Nacional Ingeniero HÉCTOR BROTTO, quien desarrolla un trabajo continuo por una universidad autónoma, más preparada para afrontar los desafíos del tercer milenio, forjadora de juventudes, que piensen y defiendan los ideales de democracia y libertad que guían a nuestra patria, y a toda la comunidad iberoamericana. Él nos ha ayudado facilitando nuestra labor en los grupos de investigación que integramos, y en la labor docente diaria que desarrollamos.

También tenemos una deuda de gratitud con nuestros colegas y amigos de la Facultad Regional Buenos Aires de la Universidad Tecnológica Nacional que colaboran, diariamente, facilitando nuestra labor en los trabajos de investigación realizados en el área de las Redes de Telecomunicaciones. En primer lugar, al Decano de esa Casa, el Ingeniero GUILLERMO OLIVETO y al Director del Departamento de Ingeniería de Sistemas de Información, Ingeniero ANDRÉS BURSZTYN.

Al Decano de la Facultad de Ciencias Económicas de la Universidad de Buenos Aires, Doctor ALBERTO EDGARDO BARBIERI y al Director del Departamento Sistemas, Doctor CARLOS WALDBOTT DE BASSENHEIM con quienes hemos compartido nuestras actividades en el campo de la Informática desde siempre.

A todas las autoridades de la Escuela Superior Técnica del Ejército Argentino que nos han invitado a ocupar la cátedra en esa importante y destacada Universidad Nacional. La fina sensibilidad que han mostrado ha llevado a que hoy día recorran sus aulas, en forma conjunta, personal militar activo y alumnos civiles, sin más requerimientos que su idoneidad personal. Las democracias se forjan de esa manera, sin elitismos y mediante la integración de todos los grupos sociales en la cual se vive cotidianamente.

A nuestros compañeros de las cátedras de Redes de Información y Comunicaciones y a quienes integran los grupos de investigación y desarrollo que dirigimos con entusiasmo, gran capacidad profesional y responsabilidad: Ingenieros VÍCTOR ALSINA, DIEGO ARES, EDGARDO BARBERIO, GUSTAVO BIAU, PABLO CANTARINI, CÉSAR CICERCHIA, LUIS DEL FIORE, JAVIER DELEÓN, ALEJANDRO ECHAZÚ, ANTONIO FOTI, LUIS FUMAGALLI, ANÍBAL INTINI, FEDERICO KOVAL, JULIO LEPPEN y ROSENDRO E. PÉREZ. Ellos son muy buenos compañeros, pero fundamentalmente personas de bien, que nos honran con su colaboración.

A nuestros compañeros docentes de la Cátedra de Tecnología de Comunicaciones, en la Universidad de Buenos Aires, Facultad de Ciencias Económicas al Ingeniero ROSENDRO E. PÉREZ, amigo y compañero desde tiempos inmemoriales, y a las Ingenieras OLGA CAVALLI y PATRICIA SUSANA CROTTI eficientes, capaces y dedicadas en sus actividades profesionales.

Un agradecimiento especial por sus aportes y su tiempo a los profesionales JERÓNIMO F. ATENCIO, SEBASTIÁN CAÑÓN, HOMERO CORBO, JAVIER A. DELEÓN, ANTONIO FOTI, JORGE SINDERMAN y LUIS SENS. Ellos se han tomado la molestia de revisar borradores, aportar ideas y presentarnos sugerencias muy valiosas que hemos tenido siempre presente.

De la misma manera, a nuestro querido y viejo amigo, el Doctor JUAN CARLOS CHERVATÍN, Profesor Titular Consulto de la Universidad de Buenos Aires. Con Juan Carlos hemos compartido la idea de modernizar la forma de encarar la enseñanza universitaria y dedicaremos seguramente nuestros próximos esfuerzos en ese sentido.

Al Rector de la Universidad Nacional de Chilecito, Ingeniero NORBERTO CAMINOA que nos da ofrecido su sincera amistad y nos ha invitado, en varias oportunidades, a dar conferencias en la Universidad bajo su responsabilidad.

A los que nos acompañan en el Grupo de Investigación Redes Privadas Comunitarias que llevamos adelante trabajando sobre estas temáticas. Doctor CARLOS GARCÍA GARINO, Integrante del Grupo Responsable junto a los autores y a los investigadores Ingeniero JORGE GARCÍA GUIBOUT, Ingeniero HUGO BALLESTEROS, Ingeniero ALEJANDRO ARROYO ARZUBI, Ingeniero ANTONIO FOTI, Licenciado JULIO CÉSAR LIPORACE y Licenciado MARCELO CIPRIANO. Con ellos, hemos podido presentar trabajos de investigación que han obtenido referato internacional y se encuentran publicados; y por supuesto, también queremos agradecerle a la Agencia Nacional de Promoción Científica y Tecnológica del Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación Productiva de nuestro país, sin la cual no hubiésemos contado con los fondos necesarios para culminar con esos trabajos.

A nuestros amigo CARLOS RÍOS educador, pedagogo notable, pero por sobre todo, de espíritu sensible y dedicado a la formación de las futuras generaciones. Carlos es un amigo con quien los momentos de reflexión se transforman en horas de placer. Al Licenciado CARLOS TOMASINO, con quien hemos compartido y todavía, hoy lo hacemos, momentos profesionales y personales en un clima verdaderamente placentero y al Licenciado ERNESTO CHINKES a cargo del área de las Tecnologías de la Información y las Comunicaciones de la Universidad de Buenos Aires.

Al Ingeniero DANIEL CORRADO, Presidente & CEO para Argentina y Chile de Siemens Enterprise Comunications S.A., con quien empezamos a trabajar juntos en proyectos de consultoría en comunicaciones a mediados de la década de los años ochenta, y tuvo la gentileza de facilitarnos fotografías de equipamientos que hemos incluido en este texto; y a ANDREA MODARELLI de Motorola Solutions que también aportó material para su composición.

Debemos agradecer muy especialmente a ALFAOMEGA GRUPO EDITOR que nos ha ofrecido publicar en su importante y destacado grupo editorial y a un grupo importante de su per-

sonal ejecutivo. Al señor MARCELO GRILLO GIANNETTO con quien nos conocimos a finales de la década de los años noventa junto a su Presidente JORGE GIANNETTO a quien también tuvimos oportunidad y el placer de invitar, junto a Marcelo, a nuestra casa particular. Al señor CARLOS MÁRQUEZ a cargo de la oficina en Buenos Aires con quien hemos mantenido las más cordiales relaciones durante la generación de este libro.

ALFAOMEGA posee una orgullosa trayectoria continuada de más de 30 años. Han editado libros de gran calidad sobre ingeniería, administración, tecnología y computación. Precisamente, uno de los méritos más grandes fue el haber reparado en la necesidad existente en el ambiente universitario en contar con textos en idioma español; sea generado por autores y catedráticos de las mismas Universidades Latinoamericanas o a través de traducciones de gran calidad de las más prestigiadas obras de tecnología de editoriales internacionales.

En la actualidad ALFAOMEGA publica además de títulos propios de excelente calidad en diversas áreas de la ciencia y la tecnología, coedita obras selectas de destacadas editoriales de varios países y con diversos organismos internacionales pudiéndose citar entre ellos a la Organización Internacional del Trabajo - OIT, la Comisión Económica para América Latina y el Caribe - CEPAL, el Banco Mundial Internacional de Reconstrucción y Fomento - BIRF, y el Banco Interamericano de Desarrollo - BID.

A todos los que han trabajado en la producción de esta obra. Al señor OSCAR ITURRALDE, paciente, activo, eficiente, amigo de tantos años que hemos perdido la cuenta. Oscar se ha encargado de la composición interior de este texto, y, además, ha coordinado todas nuestras publicaciones; a DAMIÁN FERNÁNDEZ, nuestro Editor, quien en esta oportunidad ha tenido que atender nuestros llamados a impensables horas del día. Sin la colaboración y el cariño puesto por el trabajo por parte de ambos, difícilmente el libro hubiera visto las máquinas de la imprenta.

A todos los mencionados, nuevamente, muchas, pero muchas gracias por la calidad, el color, la calidez, la belleza y hasta por la música, que pareciera nos han hecho escuchar mientras hacíamos este trabajo.

Finalmente, quizás nuestro mayor agradecimiento, a nuestros alumnos y lectores que nos acompañan en todas nuestras actividades.

Ciudad Autónoma de Buenos Aires, otoño austral de 2012

Antonio Ricardo Castro Lechtaler

Rubén Jorge Fusario

PLAN DE USO DEL LIBRO

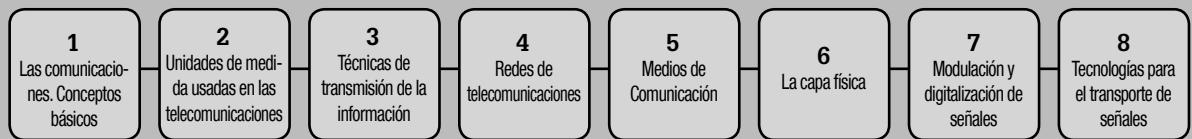
1. Curso de comunicaciones con poca base matemática sin estudios técnicos



2. Curso para técnicos con base matemática reducida



3. Curso universitario introductorio



1

Las comunicaciones Conceptos básicos

Contenido

1.1 Reseña histórica del telégrafo	2
1.2 Reseña histórica de la telefonía.....	5
1.3 Los sistemas de comunicaciones. Las ondas electromagnéticas y el nacimiento de la radio	11
1.4 Las invenciones del siglo xx que revolucionaron las comunicaciones y la informática	15
1.5 La computación y las comunicaciones - C&C	18
1.6 La Sociedad del conocimiento	24
1.7 Convergencia	36
1.8 La red Internet	40
1.9 Los procesos de estandarización y los organismos de normalización ...	59
1.10 Resumen.....	63
1.11 Ejercicios propuestos.....	64
1.12 Temas a desarrollar por el lector	64
1.13 Contenido de la página Web de apoyo	64

Objetivos

- Conocer una breve historia de las telecomunicaciones.
- Conocer las invenciones del siglo xx que revolucionaron las comunicaciones y la informática.
- Aprender cómo funciona el concepto de Sociedad del Conocimiento.
- Entender los conceptos de Convergencia en el ámbito de las telecomunicaciones.
- Entender el funcionamiento básico de las telecomunicaciones.
- Aprender conocimientos sobre la red Internet y los procesos de estandarización.
- Conocer los organismos de normalización.



Para ampliar este tema, importante e interesante, sugerimos la lectura de la obra *Los caminos de la palabra. Las telecomunicaciones de Morse a Internet*, de Horacio C. Reggini, Editorial Galápagos, Buenos Aires, 1996.

1.1 Reseña histórica del telégrafo

La palabra **telégrafo** está compuesta por dos vocablos de origen griego, *tele*, que significa lejano o a distancia, y *graphein*, que significa escritura o escribir. Ese es el sentido que le damos a este concepto: poder enviar mensajes escritos a distancia.

Si bien desde la Antigüedad se utilizaron muchos sistemas de comunicación a distancia, fue precisamente el descubrimiento de la electricidad y el magnetismo, y los fenómenos físicos derivados del estudio de ellos, a comienzos del siglo XIX lo que permitió que se pudieran transmitir a distancia, primero, mensajes escritos a través del telégrafo. Luego se transmitió el sonido por medio de la telefonía, después por la radio y por último, se propició la transmisión de cualquier tipo de señal que contenga información sea esta de voz, datos, textos o imágenes tanto fijas como en movimiento, como es el caso de la televisión o el cine, utilizando para ello cables metálicos o de fibra óptica, u ondas electromagnéticas.

En 1800 el físico italiano *Alessandro Volta* inventó la pila eléctrica que permitió por primera vez almacenar la energía eléctrica para utilizarla en variadas aplicaciones.

En 1820 el físico danés *Hans Christian Oersted* complementó ese trabajo con investigaciones sobre inducción generada por corrientes eléctricas. Oersted, que en esa época enseñaba e investigaba en la Universidad de Copenhague en Dinamarca, había comprobado que las corrientes eléctricas podían mover agujas imantadas, siempre que estas estuviesen próximas al conductor por el que circulaban.

Esto significa que existía una relación causa-efecto. La causa era la corriente eléctrica y el efecto, el movimiento de la aguja imantada. Nació así, en forma incipiente, el electromagnetismo. Conocido este descubrimiento por publicaciones dirigidas a científicos y académicos de todo el mundo de la época, distintos inventores usaron los trabajos publicados para continuar y mejorar sus investigaciones orientadas hacia el desarrollo del servicio telegráfico.

Sobre la base de este descubrimiento, los primeros en investigar cómo utilizar estos trabajos, destinados al desarrollo de aplicaciones prácticas orientadas hacia los servicios de telecomunicaciones con resultados prácticos, fueron los físicos alemanes *Carl Friedrich Gauss* y *Wilhelm Weber*.

En 1833 Gauss desarrolló un aparato que utilizaba una técnica para enviar mensajes usando un código de 25 letras basado en una matriz de cinco tres cinco. Mediante este código, y empleando un aparato equipado con una aguja que giraba a izquierda y derecha, se podían enviar mensajes. Estos se interpretaban según los movimientos de la aguja para saber el contenido de cada texto transmitido.

En ese año Gauss y Weber, instalaron la primera línea telegráfica electromagnética que unió el laboratorio de física de la Universidad de Göttingen y el observatorio astronómico de esa ciudad, ubicada en la Baja Sajonia de Alemania. Esta experiencia fue la primera en la que se utilizó, en forma de aplicación práctica, el fenómeno que se llamó electricidad, y que Volta había logrado acumular dentro de un elemento que se denominó pila. En el presente en los laboratorios de física, este descubrimiento aún se estudia de la misma manera que hace tantos años, y se conoce como Pila de Volta en honor a su descubridor.

El primer telégrafo para uso comercial fue desarrollado por *Charles Wheatstone* y *William Fothergill Cooke*, y patentado en el Reino Unido en 1837.

Comenzó a utilizarse sobre un recorrido ferroviario de 13 millas. Funcionó por primera vez el 8 de abril de 1837 en el ferrocarril Great Western entre las estaciones de Paddington y West Draytona. Este sistema se basaba en los trabajos realizados sobre electromagnetismo por el físico Oersted en 1820.



Carl Friedrich Gauss

Este desarrollo presentaba cinco agujas, cada una de las cuales identificaba un dígito. Con ellos se obtenía un número, que traducido por un diccionario de código significaba una palabra. De esa manera, palabra a palabra se reconstruía el texto transmitido. En 1845 se patentó un segundo modelo de solo dos agujas del telégrafo de Wheatstone y Cooke.

Sin embargo, pese a que Gauss se encontraba desarrollando el telégrafo desde 1832, y otros investigadores habían hecho progresos significativos como los señalados, el nacimiento de las telecomunicaciones públicas puede fijarse en 24 de mayo de 1844.

Ese día, Samuel Finley Breese Morse realizó la primera transmisión telegráfica por cable entre las ciudades de Washington y Baltimore, que recibió la atención general de la sociedad de ese momento que resultó histórico. El mensaje inaugural fue un pasaje de la Biblia (Del libro cuarto, llamado *Números*) que en inglés, tal como se transmitió, expresaba: *What hath God wrought!* (¡Lo que ha hecho Dios!).

Morse había viajado a Francia e Italia en 1811 y de nuevo en 1829 a estudiar pintura para perfeccionar su técnica, pues para esa época ya era un retratista y pintor muy reconocido en la ciudad de Nueva York.

En 1832 al regresar a su país de su segundo viaje en el paquebote *Sully*, en conversaciones que mantuvo con un poblador de Boston llamado Charles Jackson sobre los trabajos de Oersted, Morse concibió la idea del telégrafo sobre hilos, aplicando a las telecomunicaciones esos estudios sobre electromagnetismo.

Para esa época Morse pensaba en las ganancias que podría generar este tipo de inventos, concebidos para transportar la inteligencia en forma remota. Por otra parte, cabe señalar que parte del interés del Morse en mejorar la comunicación se debió a la muerte de su esposa, en forma prematura, a los 25 años. Esta noticia tardó dos semanas en llegarle y lo afectó profundamente.

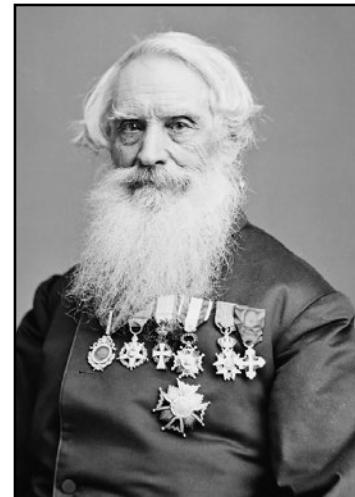
A partir de su llegada y entre 1832 y 1836, Morse se dedicó a desarrollar el telégrafo eléctrico. Para ello, formó un equipo de trabajo que estaba integrado, entre otros, por un inventor de la época llamado *Alfred Vail* y un profesor de la Universidad de Nueva York de nombre *Leonard Gale*. Este último conocía los trabajos publicados por *Joseph Henry*, un destacado investigador de origen escocés, que enseñaba Matemática y Filosofía natural en la Academia de Albany en Nueva York.

Vail, que a su vez estudiaba Teología en la Universidad de la ciudad de Nueva York (actual Universidad de Nueva York) y se había graduado en 1836, se ocupó de rediseñar el prototipo de Morse para que pudiera presentarse en una demostración pública. El nuevo prototipo exitoso se presentó el 6 de enero de 1838, sobre una línea de unos cinco kilómetros de extensión en el *Speedwell Iron Works*. Luego se hicieron demostraciones a miembros del Congreso, al entonces presidente Van Buren y a su gabinete en el Instituto Franklin de Filadelfia. En esa época se usaba un libro de códigos telegráficos como el que ya habían desarrollado Wheatstone y Cooke en 1837 en el Reino Unido.

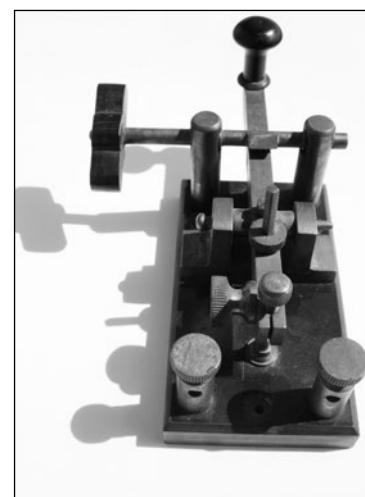
Estas demostraciones permitieron que en 1843 Morse obtuviera una subvención de U\$S 30 000 del Congreso de los Estados Unidos para construir una línea experimental entre Baltimore y Washington con la que realizó la histórica comunicación.

Las innovaciones que realizó Morse con ulterioridad fueron, por un lado, utilizar un solo cable de hierro desnudo que generaba la señal de retorno por tierra y, por el otro, cambiar la forma de transmitir la información.

Las transmisiones telegráficas se realizaban utilizando el ya mencionado diccionario telegráfico en el que las palabras se codificaban mediante dígitos, que luego el operador que los recibía debía decodificar.



Samuel Finley Breese Morse



Manipulador telegráfico
(Gentileza de Siemens Enterprise Communications S.A.)

Morse impuso un código muy simple, en el que las letras (no las palabras) se formaban por dos tipos de señales llamadas puntos y rayas. Ponía en práctica el primer desarrollo que utilizaba una lógica binaria, similar a los conceptos de corriente y no corriente que dieron paso al desarrollo de la computación. Mucho se ha discutido sobre el verdadero inventor del aún hoy llamado alfabeto Morse. Se dice que fue Alfred Vail el que en realidad creó este código más simple. De cualquier manera, y sin entrar en estas discusiones históricas, está claro que el código se denominó Morse y todavía se lo conoce como "Alfabeto Morse".

El 24 de mayo de 1844 también puede considerarse la fecha del nacimiento de uno de los desarrollos más importantes de nuestra era, los servicios de telecomunicaciones, tan significativos para la industria, el comercio, la educación y muchas otras actividades. El telégrafo fue un invento de una sencillez y una practicidad que lo hicieron imprescindible en países con una geografía dilatada como la de los Estados Unidos y muchos de los países latinoamericanos.

La obtención de su primera patente en 1838 más los éxitos ulteriores le permitieron a Morse ganar apoyo económico de otros socios que respaldaran sus proyectos. Él se dio cuenta muy rápidamente que era incapaz de manejar el negocio del telégrafo en forma adecuada. Así, en un principio se asoció con Amos Kendall, que era un antiguo director general de correos y muy amigo del entonces presidente Andrew Jackson.

En 1848 se formó un grupo con el objeto de explotar la patente, en el que figuraban Morse, Kendall y dos personas que habían ayudado a Morse a desarrollar los aspectos tecnológicos del invento: Leonard Gale y Alfred Vail.

El 1 de abril de 1851 un grupo de hombres de negocios de Rochester, Estado de Nueva York, creó la empresa *Western Union's*, predecesora de la *The New York and Mississippi Valley Printing Telegraph Company*. Esta comenzaba su operación con 550 millas de cables instalados, y una licencia inventada por Royal E. House para el uso de una máquina, antecesora de la teletipo, que permitía imprimir las letras, los números y los signos de puntuación contenidos en el Código Morse.

La denominada finalmente *Telegraph Company* mostraba en su nombre hacia dónde se orientaban sus servicios, con los que se inicia la gran era de las empresas de telecomunicaciones.

Cuando *Western Union* comenzó sus operaciones era una más de las 50 empresas que surcaban el noreste de los Estados Unidos. En esa época no había una interconexión de las líneas de las diferentes empresas, por lo que los mensajes que atravesaban más de una de ellas debían transferirse físicamente de una a otra.

El 8 de abril de 1856 la compañía tomó el nombre definitivo de *The Western Union Telegraph Company*, que quería indicar la unión de las líneas de las empresas del occidente de los Estados Unidos en un solo sistema. Para 1866 la empresa ya contaba con más de 2250 oficinas públicas y 120000 kilómetros de líneas de transmisión instaladas.

A fines de la década del sesenta y comienzos de la siguiente, el telégrafo ya estaba operando en las ciudades principales y era utilizado en forma normal por empresas, agencias de noticias, gobierno y particulares en general.

No obstante, había aspectos que el servicio telegráfico no resolvía. Para su uso era necesario concurrir a una oficina, es decir que no estaba a disposición de los usuarios en los lugares de trabajo o en los hogares.

La entrega a su vez estaba condicionada por la eficiencia de las oficinas receptoras. Si bien era significativamente más rápida que la del correo, no era instantánea y no era posible resolver las urgencias. Sin duda, estos aspectos recién iban a resolverse con el servicio telefónico.

El telégrafo progresaba con gran rapidez, pero existía la necesidad de que las redes telegráficas de distintos continentes pudieran conectarse entre sí. Este requerimiento hizo que naciera lo que incluso en el presente es uno de los medios de comunicación más importantes del planeta: el cable submarino.

Si bien desde los primeros años del funcionamiento del telégrafo se intentó la construcción de cables que pudieran transportar señales telegráficas bajo el agua, la primera experiencia comercial fue llevada a cabo por John y Jacob Watkins Brett. Ellos eran propietarios de una empresa que se llamaba *Anglo-French Telegraph Company*, y habían conseguido una concesión por diez años para instalar un cable que cruzara el Canal de la Mancha.

En 1850 hicieron una primera experiencia tendiendo un cable muy simple, construido de cobre aislado con un material llamado gutapercha. Esta tuvo una vida muy breve, pues se cortó muy rápido, pero sirvió para que se pudiera mantener la concesión otorgada. Al año siguiente, en 1851, hicieron un segundo intento con una protección de cables de hierro, que esta vez se logró que funcionara durante un período prolongado. A partir de estos desarrollos, el crecimiento de otros cables fue vertiginoso, y entre otros emprendimientos se establecieron enlaces de cables submarinos que unieron Gran Bretaña e Irlanda, Londres con París, e Inglaterra con Holanda.

El desafío siguiente fue tratar de cruzar el Océano Atlántico. En 1857 se realizó un primer intento fallido utilizando dos barcos para el tendido, uno proporcionado por el gobierno norteamericano llamado *Niágara*, y otro por el inglés, de nombre *Agamemnon*, y otros dos más, que hicieron de escolta, también proporcionados por estos gobiernos, el *Leopardy* y el *Susquehanna*.

La experiencia, que fue apoyada, entre otros, por el pionero Brett, Morse y por **William Thomson**, terminó en un fracaso al cortarse el cable a poco de comenzar su tendido. Luego de arduos intentos, en 1858 se logró unir por el Oeste la bahía de la Trinidad en Newfoundland, con el Este del océano en Doblas Bay, Isla de Valentia en Irlanda. En total se habían instalado unos 3700 kilómetros de cable submarino cubriendo ambas márgenes del Atlántico. El 16 de agosto se envió el primer telegrama por ese cable, entre la Reina Victoria y el presidente de los Estados Unidos, James Buchanan.

A partir de este desarrollo, el crecimiento de los enlaces de cables submarinos creció en forma exponencial, y en el presente los enlaces más utilizados en largas distancias, en especial entre los distintos continentes, se realizan a través de los cables de fibras ópticas.

1.2 Reseña histórica de la telefonía

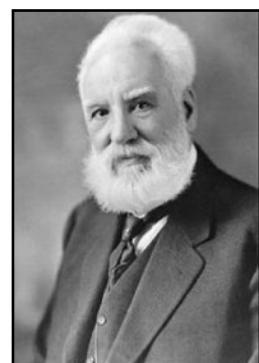
La palabra telecomunicaciones está compuesta de dos vocablos, uno de origen griego, *tele*, que significa lejano o a distancia, y otro de origen latino, *communicatio*, que significa comunicación o poner en común una cosa. Ése es el sentido que le damos a este concepto: poder comunicarnos a una distancia que exceda la simple presencia de dos personas o más. En particular, la palabra telefonía viene de la posibilidad de transmitir los sonidos a distancia “tele” y “phono”.

Otra de las fechas más importantes de la historia de las telecomunicaciones fue el 7 de marzo de 1876. Ese día la oficina de patentes de Estados Unidos otorgó al inventor **Alexander Graham Bell** la patente del primer teléfono que había inventado y que según la historia que nos ha llegado, se produjo en forma casual.

La realidad es que se había llegado a un punto importante de avance respecto de las investigaciones que se venían realizando para obtener un equipo que, como complemento del telégrafo, también permitiera transmitir la voz a distancia.



William Thomson (Belfast, 1824-Largs, 1907). Fue un famoso físico e investigador escocés. Se dedicó al campo de la electricidad y el magnetismo, así como a la termodinámica. Con ulterioridad, fue honrado por la Reina Victoria con el título de Lord Kelvin.



Alexander Graham Bell

Otro inventor de origen alemán, *Elisha Gray*, había desarrollado un equipo muy similar, pero llegó tiempo después que Bell a la citada oficina de patentes para su registro. Esto provocó un litigio por la posesión del derecho de la patente.

La circunstancia en la que Bell descubrió el teléfono se originó en la búsqueda que este inventor había emprendido desde hacía ya algún tiempo con el objeto de encontrar una manera de comunicarse con su esposa, que se había quedado sorda.

La oportunidad se presentó un día en el que, mientras trabajaba en su laboratorio en compañía del doctor *Thomas Watson*, derramó ácido sobre su mesa de trabajo. El ácido originó una reacción similar a la que se genera en una batería para producir corriente continua. Al generarse la corriente, esta activó el equipo que había desarrollado para establecer una comunicación, al que, para funcionar como lo hace un teléfono en la actualidad, solo le faltaba que se le colocara una batería.

Sin darse cuenta del fenómeno que se estaba produciendo y como necesitaba llamar a su colaborador, pronunció las palabras que pasaron a la historia como la primera comunicación telefónica realizada a través de un cable: "Mister Watson come here, I need you" (Señor Watson, venga aquí, lo necesito) a lo que su colaborador contestó: "I heard you, Mister Bell, I heard you" (Lo oigo, señor Bell, lo oigo).

El teléfono que desarrolló Graham Bell estaba compuesto de un transmisor y un receptor. Ambos estaban unidos por un conductor metálico.

La voz producía vibraciones sonoras, que actuaban sobre la membrana metálica del transmisor y generaban señales eléctricas por medio de un electroimán. Estas eran transmitidas por el cable, y en el receptor se reproducían por un proceso inverso. El modelo, así desarrollado, fue presentado por primera vez en 1876 en la Exposición de Filadelfia.

Entre julio y agosto de 1877, Graham Bell fundó la empresa *Bell Telephone Company*, para lo que se asoció con dos inversores: *Thomas Sanders* y *Gardiner G. Hubbard*; este último iba a ser su futuro suegro.

De manera simultánea, ese mismo año la *Western Union Telegraph Company* creaba su propia compañía de teléfonos y encargaba a Thomas Alva Edison el desarrollo de un modelo alternativo de teléfono al creado por Bell. El equipo que desarrolló Edison tenía un rendimiento mucho mayor en calidad de sonido e intensidad que el teléfono de Bell.

Las dos compañías norteamericanas mantuvieron una lucha por el control del mercado telefónico basada en aspectos técnicos, de patentes y por el control del territorio de explotación del nuevo servicio.

Luego que Bell procedió a patentar su invención, subsistía una controversia con Gray sobre la verdadera titularidad de la patente. Sin embargo, Bell ofreció vender los derechos de ella a la *Western Union Telegraph Company* por la suma de U\$S 110 000, ofrecimiento que esta empresa rechazó. Esto lo llevó a formar la empresa *Bell Telephone Company* en 1877 con el objeto de explotar su patente, lo que inició la era de la industria de las comunicaciones telefónicas comerciales públicas.

En 1879 la patente de Bell fue reconocida por la justicia como la única válida, y quedó la *Bell Telephone Company* como la empresa autorizada a explotar esa innovación tecnológica, aunque el diferendo continuó en sucesivas apelaciones a este fallo. Sin embargo, recién en 1893 la Suprema Corte de los Estados Unidos emitió el fallo final y definitivo del diferendo entre Gray y Bell, en el que reconoció de manera oficial que este último era el inventor del teléfono.

Mientras tanto, a partir de 1877 en varios países habla española con pocos meses de diferencia se realizaron las primeras experiencias con este nuevo servicio. La primera se realizó en



Bell y otros funcionarios de la empresa en la primera comunicación interurbana de larga distancia.

octubre de 1877 en la ciudad de La Habana, Cuba, pocos meses después de la demostración realizada por Bell. En esa ciudad se realizó una comunicación telefónica entre el cuartel de bomberos y el domicilio particular de un empresario llamado Muset.

En España el primer lugar en el que se pudo establecer una comunicación telefónica fue la ciudad de Barcelona. A fines de 1877, luego de unos ensayos realizados en una escuela industrial, personal del ejército estableció una comunicación entre el castillo de Montjuich y la Ciudadela. En Madrid, las primeras comunicaciones se efectuaron en enero de 1878, entre un edificio de telégrafos que usaba el ejército y los Palacios Reales de Madrid y Aranjuez.

En Argentina la primera comunicación telefónica se realizó en la ciudad de Buenos Aires el 17 de febrero de 1878, dos años después del descubrimiento del teléfono, y se estableció entre las oficinas del diario *La Prensa*, en la calle Moreno 119, y una sucursal de la empresa Telégrafos del Estado, situada en la esquina de las actuales calles Bartolomé Mitre y 25 de Mayo. La distancia entre ambos puntos era de seis cuadras. Con ulterioridad, en 1886 se realizó la primera comunicación interurbana entre la ciudad de Buenos Aires y la de La Plata, situada a unos 60 km.

En México durante marzo de 1878 se efectuó el primer enlace telefónico entre el Distrito Federal y la población de Tlalpan, una comunicación a una distancia de 16 kilómetros. Asimismo, el 15 de diciembre de ese año, se estableció oficialmente el servicio telefónico al otorgársele un permiso a la *Alfred Westrup & Co.* para que instalara una red que uniera las comisarías de policía, que en aquel entonces ascendían a seis, con la Inspección General, la oficina del gobernador de la ciudad y el Ministerio de Gobernación.

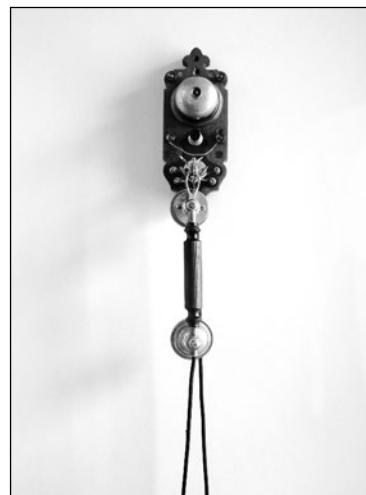
La primera empresa que se había formado con Bell y sus socios en 1877, *Bell Telephone Company*, no había podido reunir más de unos pocos cientos de abonados. Para tratar de mejorar los resultados y solucionar el problema inicial, Hubbard se dedicó a desarrollar el negocio en otras regiones del Este de los Estados Unidos. Junto a su otro socio, Thomas Sanders, convenció a inversores de los Estados de Massachusetts y Rhode Island para crear en febrero de 1878 una nueva empresa que se llamó *New England Telephone Company*. En junio de ese año estas dos empresas se unieron para formar una nueva que pasó a llamarse *National Bell Telephone Company*.

En julio de 1878, como estas empresas no tenían un gerenciamiento adecuado –de allí sus principales problemas de crecimiento–, buscaron una persona con conocimientos en el manejo del negocio. Asesorados los distintos socios de manera conveniente, convencieron a *Theodore Newton Vail*, que se desempeñaba por ese entonces como superintendente de la empresa estatal del servicio de correos por ferrocarril, para que se hiciera cargo de la gerencia general la empresa telefónica creada por Bell, Sanders y Hubbard.

También, en 1878, se genera el primer avance tecnológico significativo. Los sistemas telefónicos hasta ese momento se interconectaban mediante líneas directas, o a través de equipos muy primitivos, incluso para la época, llamados paneles de conmutación.

Estos presentaban matrices de luces que un operador debía atender cuando un abonado hacía encender una de ellas mediante un llamado de magneto que se debía efectuar a la central. Con cables de interconexión, y luego de interrogar al llamante, se lo conectaba a mano con el otro destinatario llamado, claro está, siempre que este último tuviese su luz apagada. Estos paneles no tenían números, que se fueron añadiendo en una etapa posterior y provocaron el nacimiento de las guías de abonados. Así se llegó al primer conmutador telefónico, que fue instalado en la ciudad de Hartford, Estado de Connecticut. Había nacido la conmutación.

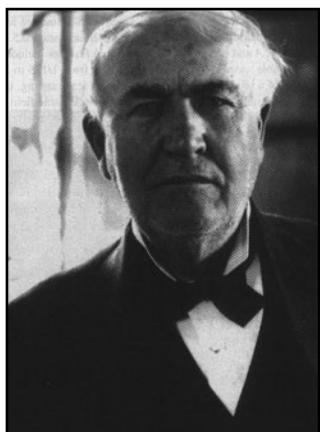
A fines de 1878, los inversores de la Bell lograron incorporar al directorio de la nueva empresa a un financista de Boston llamado *William Forbes*, que tenía una amplia experiencia en el manejo de organizaciones empresariales complejas y de gran tamaño.



Teléfono antiguo de pared
(Gentileza de Siemens Enterprise Communications S.A.)



Teléfono antiguo de mesa
(Gentileza de Siemens Enterprise Communications S.A.)



Thomas Alva Edison (Milan, 1847-West Orange, 1931). Fue uno de los inventores más prolíficos y llegó a acumular más de mil patentes a su nombre. Se inició como operador telegráfico y luego desarrolló varios equipos relacionados con ese servicio. Su fama creció con rapidez cuando inventó el fonógrafo en 1877. Entre sus desarrollos más conocidos está la lámpara incandescente, el mimeógrafo y los principios que permitieron desarrollar los tubos de vacío al descubrir el principio de emisor de electrones en metales calientes, conocido como "efecto Edison". Fue el fundador de la empresa *General Electric* junto a J. P. Morgan.

Este al poco tiempo fue designado presidente del directorio. Forbes logró una rápida recapitalización de la empresa y una consolidación de los negocios, manteniendo siempre a Vail como gerente general. Un año después, en 1880, la empresa tomó un nuevo nombre: *American Bell Telephone Company*.

En 1879 se hizo cada vez más intensa la competencia entre la empresa fundada por Bell y la Western Union, que también había empezado a prestar el servicio telefónico, que le era reclamado en forma creciente por sus clientes provenientes del servicio telegráfico.

La Western contaba con mayores recursos financieros y un mejor equipamiento, dado que desde el año anterior usaba la patente de Elisha Gray, que como se señaló, estaba en litigio con la obtenida por Bell, pero con las mejoras obtenidas por el famoso inventor **Thomas Alva Edison**. Sin embargo, infringía las patentes de Bell.

La presidencia de Forbes y la gerencia general a cargo de Vail fueron dando sus frutos. Fue así que el 19 de noviembre de 1879 se logró un acuerdo entre la *National Bell* y la *Western Union* con el objeto de poner fin a los litigios entre las dos empresas motivados por las luchas por el uso de las patentes. Ese acuerdo imponía obligaciones para ambas partes, pero permitía que el servicio telefónico pudiera tener el impulso que hasta ese momento no había podido lograr a causa de las disputas entre ambas empresas.

Por él, la Bell se comprometía a adquirir los usuarios telefónicos de la Western que en esa época ya superaban los 50 000 abonados, se abstendía de entrar en el negocio telegráfico, además de efectuar algunos pagos adicionales por *royalties* del orden del 20% bajo las formas de contratos de licencias de uso de equipos desarrollados por la Western. Esta, a su vez, aceptaba que Bell era el único inventor del teléfono, que sus patentes eran válidas y aceptaba retirarse del negocio telefónico.

Por esos tiempos, se buscaba desarrollar mecanismos que permitieran mejorar el servicio telefónico. Watson, que trabajaba en el desarrollo de equipos nuevos, para 1880 ya había logrado sesenta patentes vinculadas a este negocio.

En 1881 se produce de manera circunstancial otro cambio e importante avance tecnológico, que incluso ha repercutido en la tecnología utilizada para brindar el servicio telefónico hasta la actualidad.

Los medios físicos que transportaban las señales de voz eran los mismos cables metálicos de hierro que se utilizaban en forma simultánea para enviar las señales telegráficas. Estos, como se expresó, eran de hierro y con retorno por tierra. El hierro, a menudo, se oxidaba con rapidez, además, en los casos de las líneas utilizadas para el tráfico interurbano, al tener longitudes importantes, estas se comportaban como antenas que recogían todo tipo de señales de ruido. A ello, se sumaba la interferencia que generaban las mismas señales telegráficas de puntos y rayas.

En ese año, un cable que tenía una longitud aproximada de 50 millas y se utilizaba para unir las ciudades de Providence, en el Estado de Rhode Island, y Boston, en el de Massachusetts, estaba siendo reparado por un técnico de nombre John Carty. Este en un descuido unió dos hilos al mismo punto y la calidad de la transmisión mejoró en forma notable. Había nacido la línea de un par de hilos. Con ulterioridad, se produjeron nuevas mejoras tecnológicas. La primera fue trenzar el par unas doce veces por metro y luego, reemplazar el hierro por cobre. Se había descubierto lo que en el presente se conoce como cable de par trenzado.

Los cables de cobre nacieron a causa de que el precio del cobre se volvió más accesible para las empresas de telecomunicaciones. Así se comenzaron a construir líneas con alambres de cobre. Esto, además de mejorar la calidad de las señales, permitió extender la longitud de los circuitos, porque el cobre presenta mejores condiciones de conductividad que el hierro.



El cable era trenzado para evitar la inducción, que en la actualidad también se utiliza en los cables estructurados como par de cobre trenzado sin apantallar (*unshielded twisted pair wire*).

En el campo del desarrollo tecnológico y la fabricación de los primeros equipos de telecomunicaciones puede marcarse como un primer paso significativo la creación de la empresa Western Electric Manufacturing Co. en 1869 a cargo de Elisha Gray y Enos Barton.

Gray había sido el que había inventado otra versión del teléfono en el mismo tiempo que Bell, solo que al llegar dos horas más tarde a la oficina de patentes perdió la posibilidad de transformarse en su inventor. Era un distinguido profesor y reconocido inventor de Oberlin Collage, donde trabajaba en fenómenos vinculados con la electricidad. Para 1867 ya había obtenido más de 70 patentes y había trabajado en el desarrollo del telégrafo, en numerosos proyectos vinculados con la *Western Union Telegraph Company*.

Su socio Enos Barton era fundador de esa empresa junto a George Shawk. La compañía funcionaba en la ciudad de Cleveland, en el Estado de Ohio. El interés de Gray en participar de ella y, a su vez, el deseo de Shawk de desvincularse hicieron que Gray y Barton quedaran como únicos socios.

Mientras su cliente principal seguía siendo la Western Union, decidieron mudarse a la ciudad de Chicago donde comenzaron a fabricar todo tipo de equipos. Por esa misma causa, se incorporaron en su directorio tres miembros provenientes de la empresa telegráfica, entre ellos William Orton, que en ese momento era su presidente. Luego de su traslado, en 1872 tomó el nombre de *Western Electric Company*.

El 5 de junio de 1876 se inaugura en Filadelfia la Exposición del Centenario de los Estados Unidos. En ella, la Western Electric ganó un prestigio significativo al ganar cinco medallas de oro y presentar una amplia variedad de equipos eléctricos y telegráficos.

Por último en 1879 se llega a un acuerdo importante entre la *American Bell Telephone Company* y la *Western Union Telegraph Company* por el cual la *Western Electric Company* sería la principal proveedora de equipos de la Bell y se comprometía a vender equipos telefónicos solo a ella y, a su vez, la Bell solo adquiriría equipos de la Western.

En 1882, se da un paso todavía más adelante en el proceso de consolidación de la Bell bajo la presidencia de Forbes y la conducción de la empresa a cargo de Theodore Newton Vail. Se adquiere el paquete accionario de la empresa, *Western Electric Company*, y se logra con ello que se incorpore en el grupo de sus empresas.

De esta manera, comienza a formarse de hecho el famoso holding AT&T, en el que la Western pasa ser la única proveedora de equipamientos para las empresas del holding y, al mismo tiempo, por medio de contratos de *leasing*, provee y equipa a las empresas regionales donde la Bell no operaba como tal.

El otro problema que se presentaba en ese momento era la interconexión entre las empresas Bell instaladas en cada ciudad y las regionales independientes, pero vinculadas de alguna manera a la Bell. En los primeros años de la década del ochenta se proyectaron y construyeron las primeras líneas interurbanas.

Esto llevó a que el 3 de marzo de 1885 se cree con sede en el Estado de Nueva York, como compañía independiente aunque vinculada al gerenciamiento de la Bell, la empresa *American Telephone and Telegraph Company*. Esta tenía por objeto prestar los servicios interurbanos mediante la construcción o el alquiler de líneas telegráficas; también se hacía expresa mención del objetivo de enlazar por vía telefónica Estados Unidos con México y Canadá. Había comenzado una nueva era que consistió en el manejo monopólico de las comunicaciones públicas.

Cuando, en 1899, todos los activos de Bell locales fueron transferidos a la AT&T, esta pasó a ser cabeza de todas estas empresas y el *holding* adquirió el carácter de tal. En esos momentos en sus compañías controladas ya había unos 850 000 teléfonos instalados.



Gray patentó un teléfono con el nombre de *Improvement in Transmitters and Receivers for Electric Telegraph*. Patente N.º 174.465 del 7 de marzo de 1876, cuyo nombre hace mención al telégrafo.



Teléfono antiguo con magneto a manivela
(Gentileza de Siemens Enterprise Communications S.A.)



Como holding AT&T, *American Telegraph and Telephone*, se formalizará recién en 1899.



En esa época las palabras telegráfica y telefónica se usaban como sinónimos.



Central telefónica manual a clavijas
(Gentileza de Siemens Enterprise Communications S.A.)

Faltaba mejorar el área de investigación y desarrollo de equipos y tecnología. Ese nicho se completó con la creación los famosos Bell Laboratories en 1925, que fueron los que generaron la tecnología de los equipos fabricados por la *Western Electric Company*, que, a su vez, proveía a las empresas telefónicas del Grupo Bell. Hasta ese momento esa tarea era desarrollada por la Western.

Entre 1925 y 1984, fecha de su disolución, AT&T estuvo organizada como en el esquema empresario que se observa en la Fig. 1.1. Esta tenía una posición de dominio total en el mercado telefónico de Estados Unidos; y si bien coexistía con una cantidad importante de otras empresas, estas solo prestaban servicios en áreas de baja rentabilidad y de muy pocos abonados. Theodore Newton Vail, que fue gerente general de la Bell y con ulterioridad presidente de la AT&T de 1885 a 1887 y, otra vez, de 1907 a 1919 resumía la filosofía de trabajo del monopolio con un lema “una política, un solo sistema, un servicio universal”.

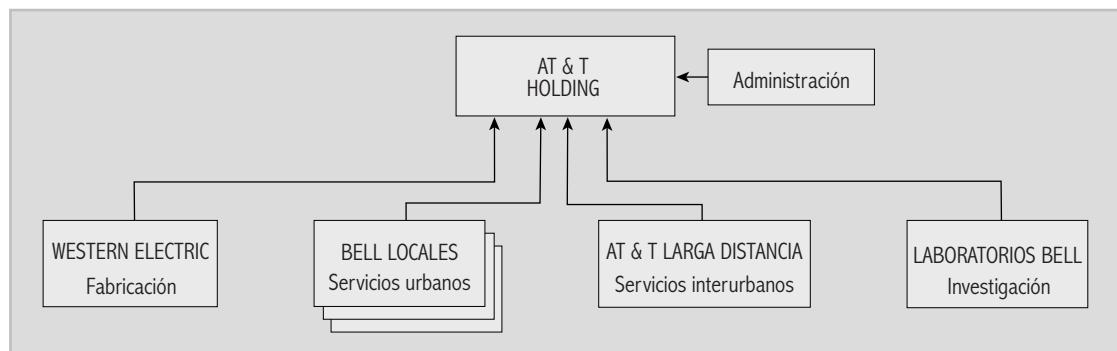


Fig. 1.1. Esquema empresario del holding AT&T entre 1925 y 1984.

El esquema de negocios estaba pensado en la filosofía de Vail de la siguiente manera, las empresas de servicios, es decir, las Bell locales –por lo general a razón de una por Estado– o la empresa que prestaba los servicios de larga distancia hacían sus requerimientos de desarrollo a los *Bell Laboratories*. Estos, recibidos los requerimientos, investigaban, desarrollaban prototipos, comprobaban su funcionamiento, redactaban las especificaciones y las normas técnicas, y pasaban a la Western Electric todos los elementos de juicio reunidos para que se pudiera comenzar la fabricación de los equipos. Una vez que estos estaban construidos se proveía a las empresas de servicios que los utilizaban. En la Fig. 1.2., se puede ver cómo funcionaba el esquema de negocios de la firma.

El primer problema que debió enfrentar la AT&T con las leyes antimonopolio se presentó en 1925. Hasta ese momento la *Western Electric* vendía sus productos al mercado internacional a través de una subsidiaria que se llamaba *International Western Electric Company*, que tenía empresas en 11 países fuera de Estados Unidos.

De manera paralela, en 1920, los hermanos Sosthenes y Herman Behn crearon una empresa que se llamaba *International Telephone & Telegraph* (ITT) que prestaba servicios en Cuba y Puerto Rico. El nombre que eligieron para su empresa estaba pensado para aprovechar la fama adquirida por la AT&T y de alguna manera provocar cierta confusión.

En 1925 AT&T tuvo que vender sus negocios internacionales a causa de una primera demanda que sufrió por monopolio. Así es como mediante un préstamo que facilitó el *National City Bank* y la Banca Morgan a la IT&T de los hermanos Behn, esta adquirió la totalidad de los negocios de aquella. La expansión de esta empresa fue muy rápida y comenzó a prestar servicios en muchos países del Caribe, América Latina y Europa.

Para ello, renombró su empresa como ITT *Standard Electric Corporation*, y utilizando una fórmula parecida a la de AT&T transformó la empresa no solo en operadora de servicios, sino en fabricante de equipos de telefonía de primer nivel.

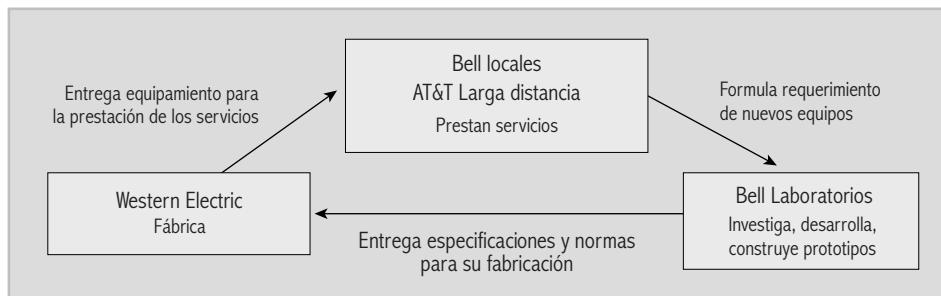


Fig. 1.2. Esquema de negocios para la AT&T.

1.3 Los sistemas de comunicaciones. Las ondas electromagnéticas y el nacimiento de la radio

Los sistemas de comunicaciones tienen por objeto transmitir la inteligencia generada por el hombre entre dos puntos geográficos distintos. Para ello, esta debe codificarse en señales que puedan propagarse por los medios de comunicación en forma de ondas electromagnéticas. En la Fig. 1.3., puede observarse un esquema muy simple de las distintas partes de un sistema de comunicaciones.

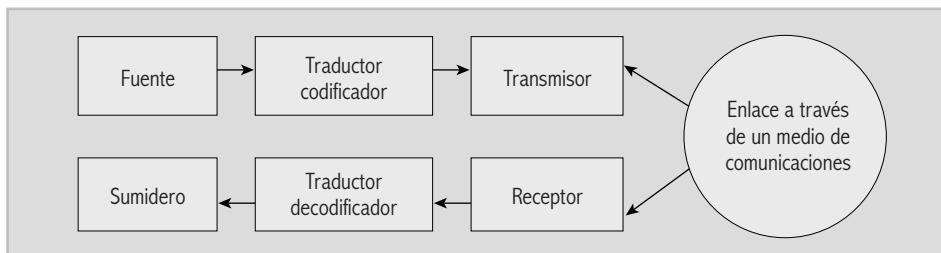


Fig. 1.3. Esquema de un sistema de comunicaciones elemental.

En ambos extremos se generará la información que el sistema deberá transmitir. Se denomina *fuente* el extremo que genera la información, mientras que el que la recibirá recibe el nombre de *sumidero*. Tanto la fuente como el sumidero podrán ser personas o máquinas.

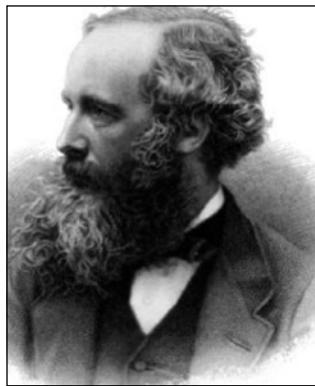
A continuación, deben existir los transductores-codificadores, que son los que se encargan de preparar la información para su transmisión a través de los medios de comunicación. Los transductores-codificadores enviarán la información a los transmisores y estos, al medio de comunicación.

Una vez que las ondas electromagnéticas llegan al extremo receptor se producirá el proceso inverso. Un receptor se encargará de enviar de nuevo la información que arribó por el medio a un transductor-decodificador y este pondrá el mensaje de forma que el sumidero lo reciba tal como la fuente lo ha enviado.

En casi todos los sistemas de comunicaciones, estas son bidireccionales, por lo tanto, los equipos, por lo general, cumplirán las funciones directas y las inversas de manera simultánea. Así la fuente deberá estar capacitada para ser a la vez sumidero, el codificador al mismo tiempo decodificador y el transmisor, receptor.

Si este ejemplo genérico lo lleváramos a un enlace telefónico inalámbrico, las distintas partes del enlace serían las que se pueden observar en la Fig. 1.4. La fuente y el sumidero serían las personas que están a ambos lados de la línea. Cuando uno habla actúa como fuente, y la otra cuando escucha actúa como sumidero.

El transductor-codificador puede ser un auricular con micrófono, por el que uno habla y escucha. El transmisor-receptor transmite y recibe la señal codificada y el enlace de comunicaciones se establece a través del aire por medio de ondas electromagnéticas transportando la voz.



James Clerk Maxwell

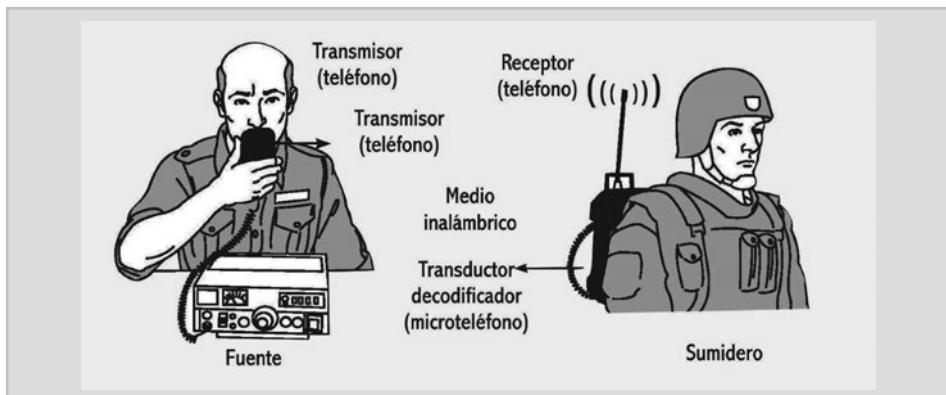


Fig. 1.4. Esquema de un enlace en un servicio telefónico inalámbrico.

A su vez, los medios de comunicación pueden clasificarse en conductores y dieléctricos. Por ejemplo, un medio conductor por excelencia es el cable de cobre, y un dieléctrico, el aire o el vacío. Las ondas electromagnéticas se propagan tanto por medios conductores como por medios dieléctricos, aunque no lo hacen de la misma manera.

En el primer caso, cuando la transmisión se efectúa sobre medios conductores es de aplicación la **ecuación de la difusión**, por cuanto las señales que se propagan a través de este tipo de medios lo hacen de la misma manera que se difunde el calor en una placa de metal plano. En el segundo caso, para los medios dieléctricos, la transmisión de las señales se efectúa tal como lo describe la **ecuación de onda**, también conocida como **ecuación de D'Alembert**. Oportunamente nos ocuparemos de ambas ecuaciones.

Una diferencia que es necesario señalar es que en los casos descriptos la velocidad de propagación es muy diferente, según el medio en el que se propaguen las ondas electromagnéticas. Es muy conocido el valor de la velocidad de luz en el vacío de $299\,792\,458 \text{ m s}^{-1}$ por lo que, generalmente, se habla de una velocidad aproximada de $300\,000 \text{ Km s}^{-1}$. En el aire esta velocidad disminuye en alrededor de un 0,03%, según sus características, humedad, temperatura, etcétera.

Sin embargo no es tan conocida la velocidad aproximada de las ondas electromagnéticas en los medios conductores, como es el caso del cobre. En estos casos, la velocidad de propagación depende de la temperatura y la geometría del conductor, y si estuviera aislado del material usado para esta función, pero puede señalarse como un valor aproximado del orden de $130\,000$ a $230\,000 \text{ Km s}^{-1}$, según los diferentes casos que pueden presentarse. En el caso particular de la propagación por medios dieléctricos, los primeros estudios realizados sobre estos fenómenos fueron teóricos y no prácticos.

James Clerk Maxwell fue uno de los investigadores más importantes en la historia científica de la humanidad. Albert Einstein, en el centenario de su nacimiento, dijo de él: "Su trabajo es el más profundo que la física ha experimentado desde los tiempos de Newton". Nació en 1831, en Edimburgo, Escocia, y falleció a los 48 años en 1879. Estudió en las universidades de

Edimburgo y Cambridge; y se desempeñó como profesor de física en la Universidad de Aberdeen desde 1856 hasta 1860. En 1871 fue designado primer profesor de física experimental en la Universidad de Cambridge.

Si bien este destacado investigador desempeñó un papel importante en el desarrollo de la **teoría cinética de los gases**, que permitió explicar su naturaleza, y trabajó en otros temas importantes, como aspectos que hacen a la termodinámica y la teoría del calor, su trabajo cumple es el desarrollo de la **teoría electromagnética** en el que la resumió en cuatro ecuaciones que en el presente llevan su nombre. En ellas se muestra la relación que hay entre los campos eléctrico y magnético en términos de las magnitudes espacio y tiempo. Estos conceptos fueron publicados en 1873, en su obra *Treatise on Electricity and Magnetism*.

Los trabajos de Maxwell se basaban en las experiencias realizadas por *Michael Faraday* en el laboratorio de la Royal Society, que dieron lugar a las leyes que explican los fenómenos ponderomotrices. Una de las consecuencias más importantes de sus trabajos es la que indica que el campo electromagnético se propaga con una velocidad finita, que depende del medio. En el caso del vacío, la velocidad de propagación coincide con la velocidad de la luz.

Maxwell falleció en forma muy prematura sin comprobar de manera experimental sus resultados teóricos. El primero en verificar las ecuaciones de Maxwell y observar la propagación de los campos magnético y eléctrico fue Hertz, en 1887.

Heinrich Rudolf Hertz había nacido en Hamburgo, Alemania en 1857 y, al igual que Maxwell, falleció prematuramente en Bonn en 1894. Comenzó a estudiar ingeniería, pero luego siguió estudios de física en la Universidad de Berlín, donde se doctoró en 1880. Se desempeñó como profesor en la Universidad de Karlsruhe y luego en la Universidad de Bonn. En reconocimiento a sus trabajos, en 1933 la unidad de medida de la frecuencia pasó a denominarse con su nombre.

Los trabajos científicos de Hertz fueron numerosos, pero el más significativo es el que se basó en los análisis sobre la teoría electromagnética que había desarrollado Maxwell. Desde 1883, mientras impartía conferencias de física teórica en la Universidad de Kiel, a instancias de dos de sus maestros y amigos, *Herman Helmholtz* y *Gustav Kirchoff*, comenzó a interesarse en las investigaciones sobre electricidad y magnetismo conocidas por esa época. En 1885 completó sus trabajos sobre las ondas electromagnéticas, cuando pasó a desempeñar funciones de profesor de física en el Politécnico de Karlsruhe.

Si bien en vida no publicó libro alguno, un año después de su fallecimiento se imprimió su única obra, en tres tomos, que se llamó *Gesammelte Werke*.

En 1887 pudo probar, en forma experimental, la teoría de Maxwell y la existencia de las ondas que en el presente se conocen como ondas hertzianas o de radio. Sus trabajos se publicaron en una revista tecnológica de temas relacionados con la electricidad; en ella se describía la forma en que las ondas electromagnéticas se propagaban por el espacio y cómo las había podido generar utilizando un oscilador creado por él.

Hertz había desarrollado y construido un oscilador elemental que apoyaba las investigaciones que realizaba en su laboratorio de Karlsruhe. Así entonces pudo demostrar en la práctica que las predicciones de Maxwell eran ciertas y que las ondas electromagnéticas no solo se propagaban a través del espacio, sino que también poseían propiedades similares a las de la luz, esto es, reflexión, difracción, refracción, polarización e interferencia.

Pese a que Hertz comprobó cómo se propagaban las ondas electromagnéticas, no llegó a imaginar nunca la aplicación y la importancia que tendrían sus investigaciones en los servicios de comunicaciones. Su gran mérito fue demostrar de manera experimental la **teoría electromagnética**. Sus experimentos permitieron el desarrollo inmediato de nuevas aplicaciones para los servicios de comunicaciones.



Los avances en la física se producen de dos maneras. Una es mediante investigaciones prácticas de laboratorio, en las que una vez efectuadas las observaciones se elabora la teoría que las justifique; la otra es describir una teoría con sus leyes y luego, buscar su comprobación en el laboratorio.



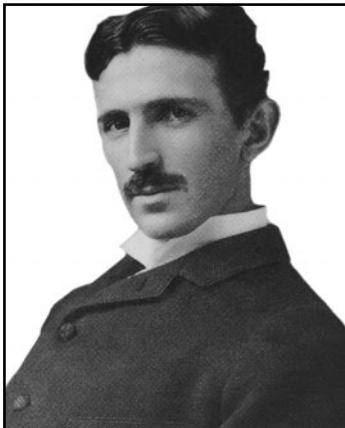
Michael Faraday



Heinrich Rudolf Hertz

Los trabajos de Hertz abrieron el campo de estudios orientados a aplicaciones concretas destinadas a servicios de telecomunicaciones nuevos, en particular, la telegrafía inalámbrica. Hubo varios que iniciaron trabajos con ese rumbo en forma simultánea. Incluso, como en el caso del teléfono, hay distintos criterios sobre el inventor de la radio.

Los primeros desarrollos sobre la radio se basaron en los trabajos previos de Maxwell y Hertz, y como fue ocurriendo con muchos de estos descubrimientos fueron varios los que comenzaron a presentar sus trabajos, en forma simultánea, y a registrar patentes para resguardarlos. Asimismo, como en los casos anteriores, surgieron controversias que en ocasiones duraron hasta décadas antes de resolverse.



Nikola Tesla



A pocos años de fallecer Tesla, en 1943, la Corte Suprema de los Estados Unidos revocó fallos anteriores y, de nuevo, adjudicó a Tesla la invención de la radio.



Guglielmo Marconi

Entre los trabajos más destacados y reconocidos se pueden mencionar los de *Nikola Tesla*, que trabajaba en San Luis, Estado de Misuri (EE.UU.) donde hizo su primera demostración pública de radiocomunicación en 1893; o los del profesor *Alexander Popov*, de la Universidad de San Petersburgo, quien en 1896 habría realizado un sistema de transmisión-recepción de mensajes telegráficos entre dos edificios de esa universidad, cuyo primer texto fue: "Heinrich Hertz". También fueron relevantes los desarrollos del italiano *Guglielmo Marconi*, quien en 1896 obtuvo la primera patente de un equipo de radio en el mundo otorgada por el Reino Unido.

La suerte de cada uno de estos investigadores fue diversa. Tesla patentó varios de sus desarrollos en Estados Unidos en 1897, pero la misma oficina de patentes revocó estas y le adjudicó la invención de la radio a Marconi. A su vez, Francia y Rusia desconocieron las patentes de Marconi. Sin embargo, la realidad fue que la historia le adjudicó a Marconi, como en el caso de Bell, el descubrimiento de la radio en forma casi unánime.

Guglielmo Marconi nació en Bolonia, Italia, en 1874 y falleció en Roma en 1937. De padre italiano y madre irlandesa, recibió una educación esmerada por maestros privados, y luego pasó por la universidad de su ciudad natal. Se interesó muy rápido en los trabajos de Maxwell y Hertz, y para continuar sus investigaciones construyó un laboratorio en su residencia llamada Villa Griffone, en la localidad Pontecchio muy próxima a Bolonia. Allí comenzó sus prácticas experimentales que le permitieron construir un transmisor en 1895, que se basaba en el modelo diseñado por Hertz. Con él logró realizar una transmisión que cubría una distancia del orden de los dos kilómetros.

Luego de obtener su patente en 1896, y debido a un marcado espíritu comercial fundó una empresa para prestar servicios de telegrafía inalámbrica denominada *Wireless Telegraph and Signal Company, Ltd.*, que en 1900 pasó a denominarse *Marconi's Wireless Telegraph Company, Ltd.*

En 1897 instaló la primera estación de radio del mundo en la Isla de Wight, en la costa sur de Inglaterra, frente a la ciudad de Southampton, y al año siguiente, una fábrica de equipos de comunicaciones en Chelmsford, Reino Unido.

En 1899 estableció una comunicación telegráfica entre Francia e Inglaterra. Con ulterioridad, en 1901, con un transmisor y receptor de señales de radio construido con muchísimas mejoras logró transmitir la letra "s" del código Morse a través del Océano Atlántico entre Poldhu, Cornwall, Inglaterra, y la costa Este de América del Norte en St. John, Terranova. Esta transmisión constituyó su éxito más notable, ya que se pudo enviar un mensaje a través de más de 3300 kilómetros de distancia.

Sobre la base de esas experiencias, y con el apoyo de sus empresas, logró prestar servicios de comunicaciones en el mar; servicios que los cables submarinos obviamente no podían prestar. Para ello, instaló una serie de estaciones costeras, que permitían comunicaciones telegráficas inalámbricas con las naves en alta mar.

Es conocido el famoso hundimiento del *RMS Titanic*, después de que ese navío chocara contra un tempano el 14 de abril de 1912. Sus operadores telegráficos Jack Philips y Harold Bride comenzaron a enviar pedidos de auxilio con la señal SOS (*Save Our Souls*) que había sido adoptada como

código de auxilio. Fueron varios los barcos que respondieron al pedido, entre otros, el *Mount Temple*, el *Frankfurt* y el *Olympic*, sin embargo, ninguno estaba lo suficientemente cerca.

El que respondió, y estaba a unos 107 kilómetros de distancia del *Titanic* era un barco de la Cunard Line's denominado *RMS Carpathia*, que arribó en solo cuatro horas. Este nuevo desarrollo de la ciencia y la tecnología permitió que parte del pasaje salvara su vida. Marconi, un gran maestro en el arte de manejar las relaciones públicas, recibió a los náufragos en el muelle de la ciudad Nueva York a su llegada. Estos lo saludaron con una frase que pasó a la historia: “*Ti debbiamo la vita*” (“Te debemos la vida”).

Por los trabajos realizados, en 1909, Marconi obtuvo, junto con el profesor de la Universidad de Strasburgo, Ferdinand Braun, el Premio Nobel de Física, por las contribuciones que ambos habían hecho a la telegrafía sin hilos.

Braun tenía ya una trayectoria importante en estas investigaciones vinculadas con la física, ya que había inventado el tubo de rayos catódicos mientras trabajaba en la firma Siemens & Halske. En Alemania el tubo de rayos catódicos aún en el presente se suele llamar tubo de Braun.

1.4 Las invenciones del siglo xx que revolucionaron las comunicaciones y la informática

A partir del comienzo del siglo xx, distintos descubrimientos e investigaciones hicieron que los sistemas de comunicaciones, ya sea los prestados utilizando medios de conductores (p. ej., cables de cobre) o medios dieléctricos (transmisiones de radio), experimentaran progresos continuos. Estos fueron, a su vez, realimentando el vértigo del siglo xx, que desembocó en la aparición de la computadora como herramienta para variadas aplicaciones, entre otras, mejorar y potenciar aún más los servicios de telecomunicaciones.

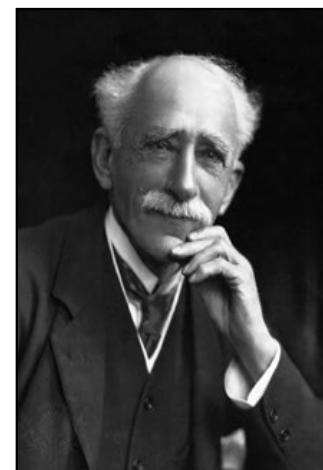
Algunos de estos inventos revolucionaron la transmisión de la voz, como fue el caso de la radio o la posibilidad de la transmisión de imágenes a través de la televisión. Otros permitieron asegurar los servicios de seguridad en vuelo, la conquista del espacio, la medicina o las investigaciones relacionadas con la biogenética, y, por qué no, propiciaron una verdadera revolución en la industria de los equipos electrónicos de uso personal y los utilizados en el hogar. Por último, debemos señalar la aparición de la computadora como herramienta de todos los días y todas las edades, que ha cambiados usos y costumbres, y posibilitó numerosas aplicaciones administrativas, tecnológicas o que realimentaron la propia investigación.

Uno de los primeros inventos en el comienzo del siglo xx fueron las válvulas termoiónicas. En 1904 **John Ambrose Fleming**, un ingeniero eléctrico que había trabajado en la empresa *Marconi Wireless Telegraph Company* y con Thomas Alva Edison, patentó la primera válvula de vacío: el diodo. Este desarrollo, que estuvo inspirado en las lámparas incandescentes que había inventado Edison, significó de hecho el comienzo de la ingeniería electrónica (Fig. 1-5).

El diodo es un elemento imprescindible en los rectificadores de corriente. En la actualidad, aunque se construyen de estado sólido en lugar de su origen valvular, aún son imprescindibles en muchos equipamientos electrónicos de todo tipo, en particular, en los rectificadores de corriente.

Los diodos están compuestos por dos elementos, cátodo (que está construido por un filamento que se calienta por medio de corriente eléctrica para que emita electrones) y ánodo, contenidos en un tubo de vidrio al vacío; no obstante, en el presente con las mismas ideas en cuanto a la manera en la que funcionan se construyen de un material semiconductor, como puede ser germanio o silicio, con dos contactos exteriores que hacen de ánodo y cátodo.

Solo dos años después, en 1906, **Lee De Forest** inventó la válvula triodo (Ver Fig. 1.6.) mientras trabajaba en el desarrollo de un nuevo receptor telegráfico. Esta nueva válvula termoiónica



John Ambrose Fleming (Lancaster, 1848 - Devon, 1945). Fue un destacado físico e ingeniero. Su formación académica sólida le permitió desempeñarse como profesor en la Universidad de Cambridge y en la de Nottingham. Trabajó en las empresas de Marconi y de Edison. Su invento sobre las válvulas termoiónicas lo realizó siendo el primer director del Departamento de Ingeniería Eléctrica de la *University College of London*.



Lee De Forest (Iowa, 1873 - Hollywood, 1961). Fue un típico inventor de comienzos del siglo xx. Llegó a acrestar más de 300 patentes a su nombre. Se lo considera, junto a Fleming, uno de los padres de la electrónica. Se doctoró en la Universidad de Yale en 1899.

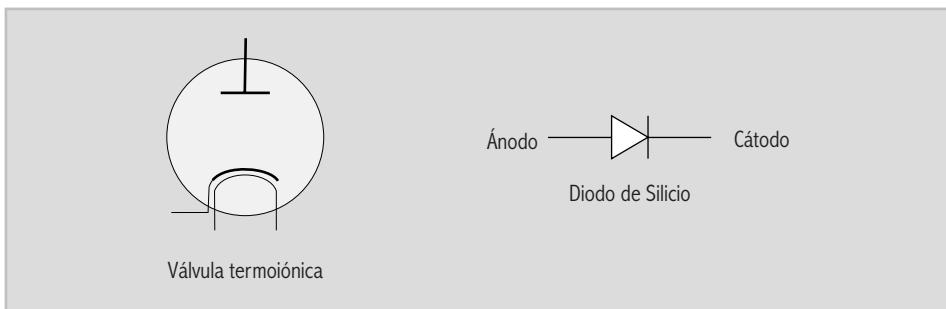


Fig. 1.5. Esquema de una válvula diodo y de uno construido con material semiconductor.

presentaba un elemento adicional al cátodo y al ánodo denominado grilla. El triodo permitió la construcción de los primeros amplificadores de señales. De Forest llamó a su invento *audion*.

Su funcionamiento es, básicamente, similar al del diodo. El cátodo al calentarse por el paso de corriente eléctrica emite electrones en dirección al ánodo. No obstante, aquí el tercer elemento, la grilla, con muy poca tensión aplicada a él regula ese flujo y lo controla; es decir, que lo aumenta o lo disminuye. Este mecanismo es el que genera la amplificación de la señal, mediante la polarización de la grilla. Como en el caso del diodo, con posterioridad este tipo de desarrollos también se construyó con materiales semiconductores.

A principios del siglo xx, Marconi había desarrollado las transmisiones telegráficas por radio en las que utilizaba el código Morse. Si bien hubo algunos intentos de poca calidad en años anteriores, fue a fines de 1906 que se pudo transmitir por radio una señal de audiofrecuencia por primera vez.

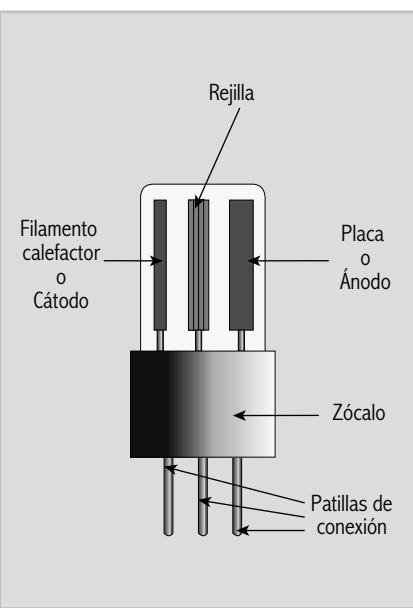


Fig. 1.6 Esquema de una válvula triodo.

Reginald Fessenden, un inventor nacido en Canadá que trabajaba en una empresa norteamericana denominada National Electric Signalling Company (NESCO), realizó una transmisión de radio desde una localidad denominada Brand Rock en el Estado de Massachusetts, que fue recibida por varios barcos en alta mar en la nochebuena de 1906. En ella, Fessenden tocó una canción, "O Holy Night", y leyó un pasaje de La Biblia. Para ello, usó un principio similar al que había utilizado Bell, que era transformar la onda sonora de la voz en una señal eléctrica pulsante como se genera en el teléfono, y luego la mezcló utilizando el principio denominado heterodino, con una portadora que la enviaba al aire ya modulada.

Luego de que De Forest inventara el triodo, conocido en la época como *audion*, Theodore Vail, por entonces cargo de la presidencia de la AT&T, se dio cuenta, rápidamente, de la importancia del descubrimiento. Los vínculos de líneas de larga distancia que permitían las comunicaciones interurbanas se habían extendido para

principios del siglo xx mediante el uso de las llamadas bobinas de carga o bobinas de Pupin, pero eso solucionaba el problema en forma muy parcial.

En 1907 Carty, que había descubierto el principio del par de conductores trenzados y en ese entonces estaba a cargo del departamento ingeniería de AT&T, que años después se transformó en los *Bell Laboratories*, había producido y trabajado en repetidores mecánicos para las líneas de larga distancia. Sin embargo, descubierto el triodo la Bell, entró con rapidez en conversaciones con De Forest y le compró los derechos de parte de su patente. Los ingenieros de la Bell desarrollaron entonces los que fueron los primeros amplificadores para circuitos telefónicos de larga distancia. Estos nuevos equipos permitieron la extensión de los circuitos interurbanos a miles de kilómetros de distancia.

El 29 de julio de 1914, a raíz de esas investigaciones y sus desarrollos, se pudo inaugurar el servicio telefónico de costa a costa. Para ello, se realizó un acto público como propaganda, en el que se realizó la primera conversación telefónica entre San Francisco en la costa oeste de Estados Unidos, y la ciudad de Nueva York, en el este. La conversación fue realizada entre Bell desde Nueva York, su antiguo ayudante el Dr. Watson en San Francisco, y también participó el presidente de la corporación Theodore Vail ubicado Georgia, en el centro del país. Ante la sorpresa de todos, Bell repitió la frase que pronunció en aquella fecha histórica en 1876: "Mr. Watson, come here. I want to see you". Se escuchaba así, otra vez, la primera conversación telefónica realizada de casualidad entre ambos.

Al año siguiente los mismos equipos de investigadores de la AT&T, trabajando de nuevo sobre el triodo, fabricaron el radioteléfono. La primera conversación telefónica con un concepto comercial vía radio se realizó entre Montauk Point, en el estado de Nueva York, y Wilmington, en Delaware, ambos sitios separados por alrededor de 400 kilómetros. Esa distancia luego se pudo prolongar a 1600 kilómetros, y, por último, el 21 de octubre de 1915 se efectuó la primera comunicación telefónica a través del Atlántico entre Arlington, en Virginia, y la Torre Eiffel en París.

En esos años, Edwin Armstrong inventó el receptor superheterodino. A diferencia de los heterodinos, estos mejoraron la calidad de los anteriores transformando cualquier frecuencia que se recibía en la antena en una única siempre del mismo valor. Con esta señal, llamada frecuencia intermedia, se continuaban después los procesos de amplificación hasta recibirla con la fuerza y la claridad suficientes como para poder escucharla. El proceso consistía en mezclar la señal de entrada en el receptor con una variable que generaba un oscilar interno del receptor y que transformaba la mezcla o heterodinación en una frecuencia que en los receptores de modulación en amplitud suele ser de 455 o 4.790 kHz y en los de modulación en frecuencia, de 10,7 MHz.

A las invenciones de las válvulas de vacío de De Forest y del receptor superheterodino, que permitía una calidad de recepción mucho mejor, siguió en forma casi inmediata la aparición de la radiodifusión comercial.

Dado que algunas radioemisoras transmitían, en forma experimental, durante los años anteriores a 1920, lo que generó algunas controversias sobre quiénes fueron los primeros en utilizar los servicios de la radio para uso masivo, suele aceptarse que Buenos Aires, Argentina, y Pittsburgh, Pennsylvania, fueron los lugares donde en forma casi simultánea se comenzaron a efectuar las transmisiones de manera continuada, como lo hacen en el presente las miles de distintas estaciones de radio en todo el mundo.

En Argentina el entusiasmo por la radio fue contagiado por el mismo Marconi que había llegado 1910 a Buenos Aires en el barco Princesa Mafalda, y había instalado en la localidad de Bernal, próxima a Buenos Aires, sus equipos de radio con los que pudo establecer una comunicación entre Argentina en América de Sur, y Canadá e Irlanda.

Luego de algunos años, el 26 de agosto de 1920 a las 21 horas, un grupo de pioneros de la radiodifusión, encabezado por Enrique Telémaco Susini e integrado por Miguel Mujica, César

Guerrico y Luis Romero, con un pequeño equipo transmitió la opera Parsifal de Wagner desde el Teatro Coliseo de Buenos Aires. Con ulterioridad, en 1921, la primera licenciataria de radiodifusión en ese país LOR Radio Argentina comenzó las transmisiones regulares desde distintos teatros, lo que le dio a esa emisora un marcado perfil cultural. El 12 de octubre de 1922, en ocasión de asumir la presidencia el Doctor Marcelo Torcuato de Alvear, se transmitió por radio el acto de su asunción al cargo, lo que podría considerarse la primera emisión periodística por radiodifusión en la República Argentina.

Pocos meses después, el 2 de noviembre de 1920 comenzó a transmitir la radio KDKA des- de la ciudad de Pittsburg. Uno de sus fundadores fue el ingeniero Frank Conrad que operaba inicialmente una estación 8XK, con un equipo de 75 W de potencia con el que se transmitía música. Ese día a la noche, con motivo de haberse celebrado la elección presidencial de Estados Unidos en la que resultó vencedor Warren Harding, ni bien se recibieron los resultados por telégrafo en la radioemisora, fueron difundidos de inmediato y escuchados en la costa este por el pequeño grupo de oyentes que tenían receptores.

Otros descubrimientos significativos que podemos señalar en las décadas del veinte y del treinta, que fueron importantes para el desarrollo, tanto de las comunicaciones como de la informática, fueron la televisión; la teletipo (que se transformó durante años en un servicio empresarial de extremo a extremo que solucionaba la falta de inmediatez del telégrafo y la necesidad de concurrir a sus oficinas para enviar los mensajes o de los mensajeros para recibirlos); el cable coaxial; las radios de frecuencia modulada (en las que la calidad aumentaba en grado significativo dado que en ellas se pueden controlar mejor los problemas derivados de ruido en las señales recibidas) y el radar, entre muchos otros.

En los últimos cincuenta años del siglo xx, tantos y tan variados fueron los descubrimientos, que solo a modo de enunciación pueden destacarse: la televisión en colores; los teléfonos celulares o móviles; las computadoras, en especial la computadora personal; la microelectrónica y la nanoelectrónica, esto es, los transistores, los circuitos integrados, los microprocesadores, las memorias RAM, etc.; los discos compactos; los sistemas de posicionamiento global o GPS; los distintos tipos de lenguajes de hipertexto, y muchos más, que harían la lista interminable.

1.5 La computación y las comunicaciones - C&C

1.5.1 Breve historia de la computadora

Sin duda, el desarrollo de computador como herramienta y las ciencias de la computación como medio de apoyo a las distintas disciplinas que interactúan con la investigación el desarrollo la industria la educación las relaciones sociales y éticas en la sociedad ha revolucionado la manera de pensar y producido lo que se ha dado en llamar La Revolución Postindustrial La Tercera Ola La Era Tecnotrónica La Revolución Tecnológica o más directamente La Revolución Informática.

Los antecedentes del computador como tal podrían remontarse a cientos de años atrás, pero podría decirse a modo de resumen que fueron el filósofo y matemático francés Blaise Pascal y el alemán Gottfried Wilhelm Leibniz los primeros que trabajaron con máquinas de calcular mecánicas.

Más hacia nuestro tiempo, en el siglo xix, los matemáticos ingleses Charles Babbage y su socia Augusta Ada Byron trabajaron en los principios de una computadora digital con el concepto actual de una máquina programable. Al principio, diseñaron una calculadora que utilizaba cintas perforadas imitando la época del trabajo en los telares. Posteriormente, la misma fue perfeccionándose y llegaron a construir una computadora elemental que incluía la circulación

de una corriente eléctrica de entrada a través de tarjetas perforadas una memoria para guardar los datos un procesador muy elemental que realizaba algunas operaciones matemáticas.

En 1880, el matemático norteamericano Herman Hollenrith desarrolló la primera máquina tabuladora que utilizaba tarjetas perforadas. Esta permitió, en 1890, procesar la información obtenida del censo de población que en Estados Unidos se había realizado en dicho año. Con ella, en solo dos años de trabajo, se hizo lo mismo que hasta ese momento llevaba trece. Esta máquina fue evolucionando y, desde 1924, Thomas J. Watson, presidente de la empresa IBM - *International Machines Corporation*, la transformó en su principal negocio.

Ya en el siglo xx Howard Aiken que por ese entonces dictaba clases en la Universidad de Harvard diseño un equipo electromecánico que mejoraba los trabajos de Babbage. Este introducía sistemas electromagnéticos que accionaban sistemas mecánicos con los que la máquina podía hacer cálculos matemáticos. Su proyecto obtuvo fondos proporcionados por Watson de la firma IBM y con ellos en 1944 construyó un equipo que se denominó Harvard Mark 1 y funcionó hasta 1959.

Sin embargo, el primer computador considerado totalmente electrónico digital y que podía manejar lógica binaria fue el construido con el mayor secreto en el Laboratorio de Investigaciones del Correo en Londres llamado Colossus. Comenzó a funcionar a fines de 1944 en plena guerra mundial y se trató de mejorarlo en una segunda versión al año siguiente. Fue utilizado entre otros por Alan Turing para hacer criptoanálisis sobre los mensajes cifrados enviados por los alemanes. Estaba construido por válvulas de vacío y no llegó a funcionar con el concepto de Máquina de Turing.

A su vez, con todas las urgencias que para el desarrollo de la Segunda Guerra Mundial significaba tener en funcionamiento un equipo que manejara información de cierta importancia. Hasta ese momento, a excepción del Coloso, las máquinas ejecutaban procesos analógicos y su funcionamiento era lento y poco práctico para un sinnúmero de aplicaciones.

Fue así que en el Laboratorio de la Universidad de Pennsylvania un grupo de investigadores dirigidos por John Presper Eckert y John William Mauchly construyeron la primera computadora para propósitos generales totalmente electrónico digital y programable que funcionaba como Máquina de Turing completa aunque no manejaba como el Colossus lógica binaria.

Se la llamó ENIAC (*Electronic Numerical Integrator And Computer*, Integrador y Computador Numérico Electrónico). Fue utilizada, inicialmente, para construir tablas de tiro de artillería y trabajó para el Laboratorio de Balística de las Fuerzas Armadas de Estados Unidos. Su existencia fue dada a conocer el 15 de febrero de 1946 cuando la Guerra ya había terminado. Dejó de funcionar el día 2 de octubre de 1955 luego de haber sufrido numerosas actualizaciones.

El mayor problema que presentaba era el tiempo muy pequeño que mediaba entre dos fallos. Este era derivado de la gran cantidad de tubos electrónicos de vacío que tenía en el orden de 17000 que obligaba a continuos reemplazos a causa de la gran cantidad de ellos que se inutilizaban por rotura del filamento. De allí, las interrupciones.

Los otros problemas que hacían de este equipo poco práctico era su programación pues la misma debía hacerse conectando *switches* y cables por medios de operadoras. Fue, precisamente, John Von Neumann quien propuso en un informe realizado a causa de contrato celebrado a través de la Universidad de Pennsylvania cuando describió un futuro diseño conocido como EDVAC (*Electronic Discrete Variable Automatic Computer*, Computadora Automática Electrónica de Variable Discreta).

Allí estaba expuesta la idea de la programación mediante la técnica de programa almacenado. Este tipo de diseño se conoce como Arquitectura de Von Neumann. Transformó a las computadoras en mucho más sencillas y flexibles y fue la base del diseño de las computadoras actuales.

1.5.2 La revolución informática

Cuando finalizó la Segunda Guerra Mundial en 1945, ya se encontraban funcionando los primeros equipos electrónicos digitales para el tratamiento de la información más comúnmente conocidos como computadores u ordenadores.

Por ese entonces se percibió la necesidad de manejar volúmenes crecientes de información y se hacía imperioso su tratamiento por medios automáticos. Ya no se pensaba en términos de la Revolución Industrial sino se estaba percibiendo que la humanidad entraba en otra etapa.

La Era Industrial había producido transformaciones substanciales, pero estas solo eran cambios que afectaban a la generación y uso de la energía a fin de obtener trabajo mecánico de una manera más eficiente. En la nueva etapa, se pudo percibir muy rápidamente que los cambios eran de otro tipo.

Se trataba de revolucionar los métodos tradicionales utilizados tanto en la agricultura como en la industria buscando mayor productividad mayores rendimientos técnicas más sofisticadas y mayor calidad.

Tanto el sector industrial como la agricultura comenzaron a adecuarse muy rápidamente al cambio tecnológico introducido por la aparición de la computadora y sus equipos asociados incorporando robótica sistemas automatizados de producción y equipamientos que solamente podían ser manejados por medio de computadoras y con un alto grado de capacitación del personal.

Todas las personas que participan de los nuevos procesos productivos (operarios capataces técnicos y profesionales) debían tener una preparación adecuada para manejar el equipamiento moderno por lo que fue necesario un profundo cambio en el proceso educativo.

Este cambio permitió introducir no solamente nuevos conocimientos para adaptarlos a los requerimientos de las empresas modernas sino también transformar la mentalidad del educando. El nuevo paradigma de profesional fue muy distinto del que tenían las generaciones anteriores a esta revolución tecnológica.

Por otra parte, el sector industrial deberá competir en mercados internacionales que por efectos de la globalización exigen cada día mayores niveles de calidad. Actualmente, el cumplimiento de estándares internacionales como puede ser por ejemplo: las normas ISO 9000 son una condición necesaria, pero no suficiente para poder competir adecuadamente.

El precio seguirá siendo una primera referencia, pero sin duda la calidad del producto final será el factor determinante para su subsistencia en el mercado.

Es evidente que esta nueva revolución o más precisamente esta nueva forma de cambio de la sociedad desencadenada inicialmente por la introducción del computador en la vida diaria está produciendo grandes transformaciones en las estructuras de los pueblos y las naciones: en sus estilos de vida en sus organizaciones sociales sindicales políticas religiosas y militares y en sus economías.

En la Revolución de las Nuevas Tecnologías, se busca ampliar la capacidad de pensar del ser humano y este es el hecho central que marca un punto de inflexión respecto de los dos procesos anteriores. Aquí la capacidad de mejorar el uso de la energía en cualquiera de sus formas no desempeña ningún rol. En este nuevo escenario, el computador y las comunicaciones actuando como un todo representan la estructura básica y la columna vertebral que regula su funcionamiento.

Ya no se trata de un proceso de crecimiento lineal como lo fue la revolución agrícola o geométrico como lo fue la revolución industrial sino de un proceso de crecimiento exponencial.

Y lo grave de estos procesos es que son fenómenos de difícil percepción por la mente humana. La razón es muy simple. Se trata de procesos en los que los costos bajan fuertemente la potencia sube aceleradamente y los desarrollos se multiplican uno tras otro.

La tecnología informática produce avances que, a su vez, se aplican en todas las disciplinas, pero mediante lo que se conoce como un fenómeno de realimentación positiva realimenta la propia investigación en los equipos y sistemas informáticos lo que luego produce nuevos avances amplificados en todos los otros sectores.

No tiene mucho sentido hablar de la tecnología actual de la misma manera que se hacía en la década de los ochenta solo unos pocos años atrás.

Muchos países del mundo ya han captado este mensaje y asumido debidamente sus deberes frente a la penetración de estos estilos postindustriales de las sociedades modernas. Nombres aparte, queda claro que hay un pensamiento que es importante tener siempre muy presente:

Los países que se marginen o que queden marginados de estos fenómenos serán los definitivos países subdesarrollados y periféricos de este siglo xxi; por el contrario, los que se percaten del cambio y se incorporen a él en cualquiera de sus formas serán interlocutores en el mundo del mañana.

Habría que preguntarse en qué consiste este fenómeno que coincidirá, cronológicamente, con otros tres de significativa trascendencia como son la explosión demográfica la crisis de los alimentos y el permanente fantasma de los costos de la energía.

El mundo deberá manejar cada vez más información y solamente usando el modo computacional podrá extraer de ella frutos incalculables. Además, las mayores exigencias de calidad en la producción industrial obligarán a utilizar aún más la robótica que consiste en introducir el mundo informático en la industria de la manufactura.

Por otra parte, la gestión gubernamental la empresa la enseñanza y en general todas las actividades humanas cuentan ya con la posibilidad de multiplicar en proporciones insospechadas el caudal de información procesada que luego se pondrá a disposición de los objetivos de cada una de las organizaciones.

Así, la empresa, el hospital, la estrategia militar, los proyectos espaciales, el aula o simplemente el hogar tienen a su alcance un instrumento capaz de optimizar a niveles nunca imaginados sus procesos de toma de decisión: el computador. La inserción de este elemento en todas nuestras actividades cotidianas ha sido tal que los costos y las necesidades de este sector han creado un nuevo mundo el de la microinformática que está presente tanto en la empresa como en el hogar.

¿Cuál sería entonces el mejor concepto para un modelo de desarrollo moderno y dinámico? Precisamente, el proceso de captación adecuación y dominio de las tecnologías informáticas constituye un aspecto de máxima trascendencia en cualquier modelo que se deseé llevar adelante.

Actualmente, las iniciativas de creatividad física en estos asuntos se hallan concentradas en unos pocos países que transitan por etapas que podríamos denominar postindustriales.

La producción de bienes de consumo en esta etapa de la Revolución Informática depende cada vez más de decisiones programadas por microordenadores.

Esto hace que la diferencia entre los países en vías de desarrollo y los desarrollados aumente con el paso del tiempo ya que los productos de los primeros son cada vez de peor calidad y más caros en relación con los productos de los segundos. Por estos y otros aspectos,

esenciales el manejo de la informática debe ser considerado como una herramienta que debe figurar en los planes políticos estratégicos de cualquier gobierno.

No se trata solamente de un problema tecnológico de investigación fabricación o mercado; se trata de un problema mucho más esencial como acaba de señalarse. Quizás sea este uno de los problemas políticos más importantes de este nuevo siglo que ha comenzado.

En realidad, el fenómeno informático es la expresión de un crecimiento acelerado de la capacidad de procesar información por parte del género humano.

Esta capacidad de procesamiento es la que convierte a la información en conocimiento. Por ello, la Revolución Informática como una parte sustancial de la Revolución de las Nuevas Tecnologías es solo la cobertura tecnológica de un proceso mucho más amplio y definitorio: el desplazamiento de la humanidad hacia el concepto de La Sociedad del Conocimiento.

1.5.3 La incorporación de las comunicaciones al fenómeno informático

En la etapa actual del desarrollo tecnológico, se puede decir que la informática y las comunicaciones se encuentran en un grado tan alto de integración que es muy difícil determinar con exactitud cuál es la frontera entre estas disciplinas.

Las tecnologías usadas para resolver los problemas de comunicaciones y los de informática son exactamente las mismas. Por otra parte, no habría necesidad de comunicaciones si no hubiera información que transmitir y no habría explotación de la información para la toma de decisiones sin un adecuado sistema de comunicaciones.

Esta interrelación que se da en la aplicación práctica de estas tecnologías también se puede apreciar en la construcción de los equipos.

Ya a comienzos de los años setenta, se intuía que el procesador delantero (*front-end processor*) de los poderosos computadores diseñados para manejar cientos de terminales llevaba inexorablemente a que estas dos disciplinas informática y comunicaciones se fundieran en una sola en la que los problemas de ambas se resolvieran con una perspectiva única.

Las grandes empresas productoras de hardware informático y de comunicaciones así lo han entendido y hoy se puede comprar material de comunicaciones fabricado por empresas que antes solo eran proveedoras de material informático. A la inversa, una computadora es muchas veces fabricada por empresas que eran típicamente proveedoras de material de comunicaciones.

Como consecuencia de lo expuesto, siempre será conveniente analizar la solución de los problemas informáticos bajo la óptica de las comunicaciones; y la de los problemas de comunicaciones sin descuidar sus repercusiones informáticas.

Koji Kobayashi miembro conspicuo de la comunidad informática y de comunicaciones y CEO de una de las empresas más importantes en estas disciplinas elaboró un concepto de una genialidad asombrosa.

Dice Kobayashi que existen tres factores clave para el progreso inmediato y futuro de la humanidad y los denominó H. C. & C.; es decir: el factor humano (H) el factor computador (C) y el factor comunicaciones (C).

Sin duda, y en esto se coincidirá la gran explosión de progreso e innovación, tendrá lugar cuando el ser humano eje fundamental del desarrollo se integre totalmente al complejo que Kobayashi denominó H. C. & C.

Esta conjunción de tecnologías señaladas inicialmente por este pensador conforma hoy un nuevo concepto más general y aún más amplio que los últimos autores han dado en llamar Tecnologías de la Información (TI).

Cuando el ser humano eje fundamental del desarrollo se integre en forma total y completa a este complejo la Sociedad del Conocimiento dará lugar a una gran explosión de progreso bienestar e innovación. Mucho de esto ya lo estamos percibiendo aunque no podamos ver aún que ese progreso se derrame hacia las clases más desprotegidas de la sociedad.

Por otra parte, las TI se pueden definir tanto por su acepción literal física y meramente descriptiva. La misma hace referencia al hardware al software a los lenguajes a las redes a las telecomunicaciones; como a una definición que hace más a la forma en la que se usan las Tecnologías de la Información en las organizaciones.

Este último concepto es el que hace que las Tecnologías de la Información constituyan una herramienta de alto valor agregado tanto por su excelencia como por sus resultados en las organizaciones en su lucha por la competitividad.

Ellas buscan en cada organización convertir estas nuevas tecnologías derivadas de un mejor y más intensivo uso de la información en un instrumento para generar negocios rentabilidad y capacidad de decisión estratégica en los niveles superiores de la conducción.

1.5.4 La teleinformática y las tecnologías de la información

La teleinformática expresión que proviene de las palabras telecomunicaciones e informática es el resultado de la irrupción de las técnicas de procesamiento distribuido de datos donde la importancia del puesto de trabajo individual desplazó al criterio de centro de cómputos preparado para la modalidad conocida como procesamiento por lotes.

No es necesario extenderse demasiado para entender a fondo la importancia del ser humano en todo este proceso. Sin él no habría proceso evolutivo alguno de la humanidad y si el progreso no tuviera por meta su bienestar estaríamos descuidando un aspecto ético de singular importancia.

Precisamente, la necesidad de distribución es la que ha obligado a pensar en la utilización conjunta de las técnicas informáticas y las redes de comunicaciones. Es el advenimiento de la integración del complejo H C & C que ya hemos señalado.

Por otra parte, el hecho de que sea posible transmitir voz textos datos e imágenes de video a través de un único medio físico establece un escenario cuyos fundamentos tecnológicos ya no se pueden ignorar. La era del cobre como único soporte físico ha muerto.

El estudio de los fenómenos eléctricos ha dado paso a la investigación y desarrollo de la problemática optoelectrónica. El arrollador avance de la fibra óptica y otras tecnologías avanzadas está permitiendo desarrollar en muy poco tiempo sistemas con un alto grado de integración y capacidad.

A todo lo expuesto, debemos añadir el espectacular crecimiento de la microinformática esa nueva concepción que con gran precisión y realidad Jean-Jacques Servan-Schreiber llama la revolución dentro de la revolución que ha generado el uso de sistemas interconectados de todos los tamaños y de distintos proveedores como una realidad impuesta por la necesidad.

Simultáneamente, y por las mismas razones antes expuestas, se produjo el progreso en la comunicación de datos que ha permitido a estos pequeños microordenadores conectarse a las redes públicas de transmisión de datos con commutación y a través de ellas a los grandes bancos de datos. Es así que desde un equipo de costo reducido se abre una inmensa ventana al mundo de la información a través de medios de comunicaciones hoy desarrollados para recibir este aluvión de información.

La microminiaturización del computador la disminución bien conocida de los costos de hardware y la proliferación de las técnicas de procesamiento de información por medios automáticos

todo ello combinado con las posibilidades de usar las comunicaciones como una palanca que multiplica este proceso han impulsado el desarrollo mediante un crecimiento que hemos ya llamado exponencial.

Los diversos estratos de la sociedad fueron tomando poco a poco conciencia de este crecimiento: primero los científicos, los investigadores y los militares, posteriormente, las empresas grandes y medianas los profesionales y la pequeña empresa y finalmente, el hombre de la calle.

Sin embargo, este crecimiento exponencial no se ha dado en todos los países con igual intensidad; lo anterior es solo válido para los países muy desarrollados y se encuentra en camino de serlo en los menos desarrollados.

Finalmente, hay que destacar que todo este proceso debe llamar la atención de la sociedad la cual debe ser educada en esta disciplina. Conviene tener en cuenta al analizar estos procesos qué fenómenos pueden acarrear en una sociedad no preparada si la misma desconoce los cambios que se están produciendo.

Bruno Lussato, en su libro *El desafío informático*, al respecto ha expresado: "Lo que sí es seguro es que todo proceso exponencial entraña algo de catastrófico aun cuando no fuese más que por el mero hecho de que no es controlable. Es por tal motivo que me siento intranquilo ante el desarrollo vertiginoso de la informática. No porque esté convencido de la catástrofe que puede acarrear sino porque ignoro como todo el mundo si dicho desarrollo será a la poste benéfico o maléfico".

La revista "The Economist" hace ya algunos años atrás planteaba algunos ejemplos (que fueron actualmente superados) que ratifican estos conceptos en cuanto al proceso exponencial que ha producido y sigue produciendo todo este cambio tecnológico de los últimos veinte años.

En una llamada *Guía de la Cibereconomía*, destaca procesos verdaderamente explosivos que se verifican en la humanidad a partir del auge de las Tecnologías de la Información:

- El costo por segundo de procesamiento de la información descendió tomando como referencia un índice = 100 en el año 1975 a un índice = 0,01 para 1995.
- El costo de tres minutos de comunicación telefónica entre Nueva York y Londres descendió de 250 U\$ en 1930 a 50 U\$ en 1950 y al orden de un dólar en 1995 (hoy día es de solo unos pocos centavos).
- La participación en el total de inversiones que las empresas de primera línea han efectuado en equipamiento referido a las Tecnologías de la Información ha pasado de un 8% en 1970 al 42% en 1996.
- Mientras en los Estados Unidos la cantidad de computadoras por cada 100 personas ascendía a 35 en 1995 en países de alto grado de desarrollo esas mismas cifras ascendían a 14 en Japón, 12 en Italia, 10 en Taiwán y solo 7 en Corea; y todos ellos a gran distancia de casi todos los países en vías de desarrollo.



La Sociedad del conocimiento

1.6 La Sociedad del conocimiento

1.6.1 Las fuerzas de cambio

Un conjunto de factores claves que fueron apareciendo, en forma simultánea, como trabajos teóricos en la década del sesenta y que se consolidaron mediante cambios de todo tipo, pero básicamente en los cambios tecnológicos que fueron apareciendo en las últimas décadas del siglo xx llevaron a importantes cambios en todos los frentes que hacen al mundo de la computación y las telecomunicaciones.

La revolución de las ideas producida por la globalización e impulsados por la creación y luego explosiva expansión de la Red Internet nos han llevado a los que llamaremos la Sociedad de la Información.

Luego definiremos a la Sociedad de la Información como:

Aquella que resulta como producto de la conjunción de las fuerzas sociales tecnológicas culturales y económicas y que a su vez genera distribuye utiliza y conceptualiza la información como parte fundamental de sus actividades cotidianas.

El concepto de Sociedad de la Información fue introducido antes del advenimiento masivo de la Red Internet y de la aparición de las más importantes innovaciones en la tecnología de la computación y las comunicaciones por un verdadero visionario Fritz Machlup. Machlup escribió un trabajo en 1962 que denominó *"The Production and Distribution of Knowledge in the United States"*, aun es posible adquirirlo *on-line*.

Posteriormente, trabajos más modernos sobre el concepto de Sociedad de la Información fueron desarrollados por el sociólogo japonés Yoneji Masuda a los que debemos sumar los conceptos ya expresados por Koji Kobayashi que hemos llamado los factores claves de esta nueva concepción vinculada al concepto de Sociedad de la Información.



 La Sociedad de la Información resulta como producto de la conjunción de las fuerzas sociales tecnológicas culturales y económicas y que, a su vez, genera, distribuye, utiliza y conceptualiza la información como parte fundamental de sus actividades cotidianas.

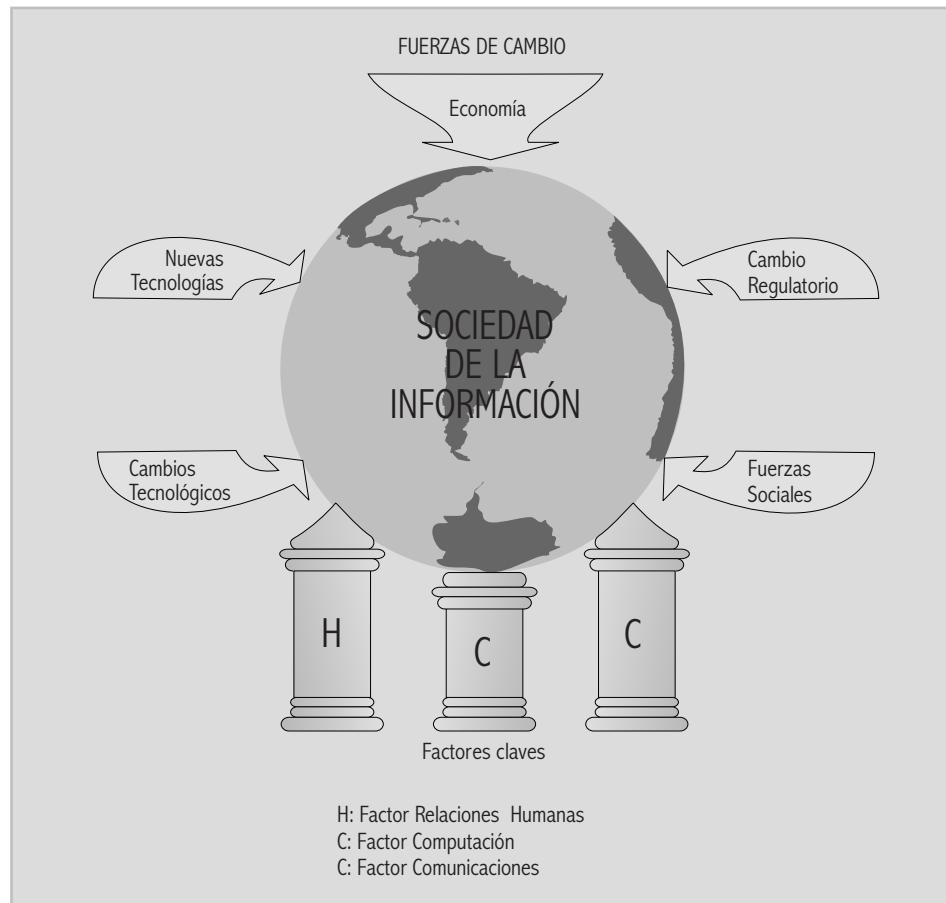


Fig. 1.7. Factores claves y fuerzas de cambio de la Sociedad de la Información.

La Sociedad de la Información está basada en las tecnologías de la Información. Esta necesitó otros factores que llamaremos fuerzas de cambio, es decir, aquellas que soportadas por la concepción H. C. & C permitió avanzar, en forma vertiginosa, hacia estos nuevos conceptos. Las fuerzas de cambios pueden ser sintetizadas en cinco aspectos centrales: Nuevas tecnologías, Cambios tecnológicos, Pensamiento Innovador, Cambios Regulatorio y acción de las llamadas Fuerzas Sociales.

La Fig. 5.3. muestra las principales fuerzas que conducen el pensamiento y la dirección hacia la que se mueve esta nueva Sociedad de la Información.

1.6.2 Análisis de las fuerzas de cambio

1.6.2.1 Los cambios tecnológicos y las nuevas tecnologías

El desarrollo y el avance constante de nuevas tecnologías han producido en forma paralela un profundo cambio tecnológico.

El proceso se va desarrollando de esta manera. La investigación va logrando avance tras avance en el campo teórico. Estos se trasladan, en forma inmediata, a la fabricación de componentes y partes de mayor *performance*. Una vez que las mismas se pueden enviar al mercado a precios razonables y calidades comerciales la industria empieza a desarrollar productos y desarrollos que generan profundos cambios en la forma de prestar los servicios de telecomunicaciones.

Si bien los campos de desarrollo son inmensos pude señalarse como centrales en lo vinculado a las tecnologías de la información y las comunicaciones los siguientes:

- **Nanotecnología**

Los procesos derivados de estas técnicas aplicadas a los materiales utilizados en los equipos de telecomunicaciones y la computación han permitido la microminiaturización del hardware de comunicaciones y computación.

Es así por ejemplo que la cantidad de transistores en un circuito integrado ha ido creciendo, en forma exponencial, según la llamada Ley de Moore.

Gordon Moore, mientras se desempeñaba como Director de Investigación y Desarrollo de la empresa Fairchild Semiconductor's, escribió un documento interno vinculado al número de componentes por circuito integrado desarrollado por esa empresa entre los años 1959 y 1964.

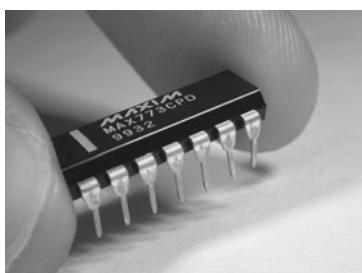
Posteriormente, publicó un artículo en la revista Electronics, en su número del 19 de abril de 1965 en el que afirmó que la tecnología mostraba que a futuro que el número de transistores por pulgada cuadrada en circuitos integrados se duplicaría cada 12 meses y que la tendencia continuaría durante las siguientes décadas.

Gordon Moore, que fuera cofundador de la empresa Intel algo más tarde, modificó su propia ley al afirmar que el ritmo bajaría ligeramente y que la densidad se doblaría aproximadamente cada 18 meses.

Esta progresión de crecimiento exponencial: doblar la capacidad de los microprocesadores cada año y medio es lo que se considera la Ley de Moore. Actualmente, se acepta que el valor más correcto es de 24 meses.

La Ley de Moore se puede expresar de la siguiente manera:

Cada 24 meses se duplica el número de transistores en un circuito integrado.



Componente con alta integración
(Gentileza de Siemens Enterprise Communications S.A.)



La Ley de Moore:
Cada 24 meses se duplica el número de transistores en un circuito integrado.

La Ley de Moore es de tipo empírica. Prevé un crecimiento exponencial; es decir, estima que cada dos años los circuitos integrados tendrán la posibilidad de aumentar al doble la cantidad de transistores por unidad de superficie.

En el año 2005 Moore dio nuevas predicciones sobre su ley. En un reportaje expresó que la ley no podrá sostenerse en forma indefinida y aclaró que cuando se llegue al nivel de átomos, seguramente, aparecerá una barrera que solo podría ser superada por alguna nueva tecnología.

Al respecto aclaró que a partir del año 2007 su ley dejará de cumplirse entre los próximos 10 o 15 años.

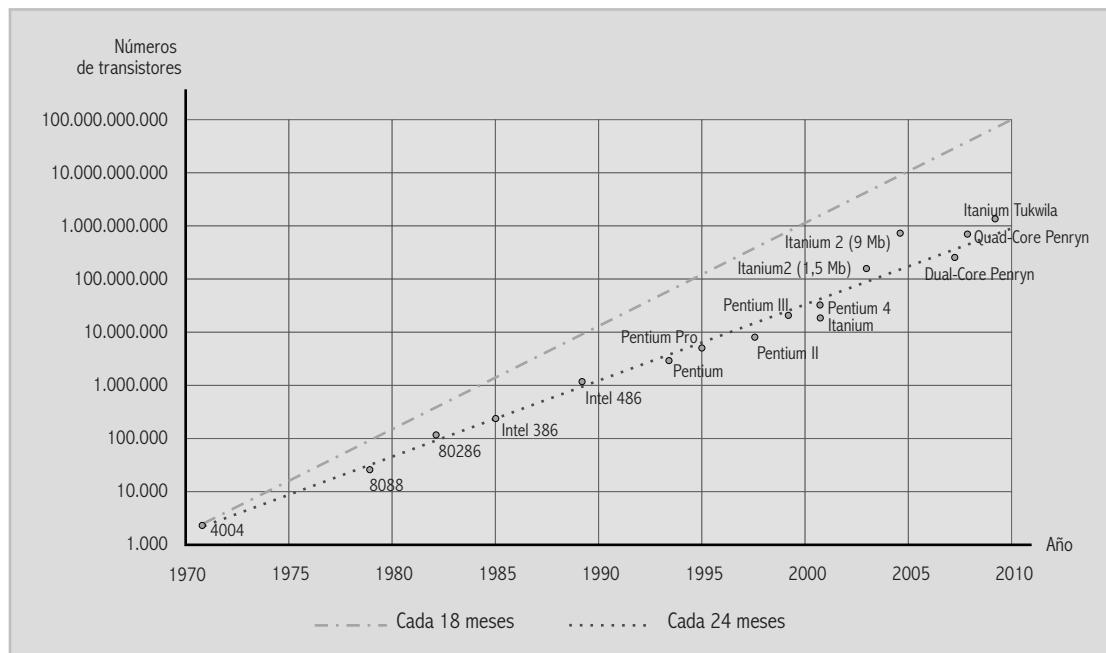


Fig. 1.8. Ley empírica de Moore.

Lo mismo ocurre con el tamaño de las memorias y el tiempo de acceso a ellas. Estos parámetros han ido disminuyendo, en forma continua y consecuentemente, la velocidad de procesamiento de microprocesadores aumentado en forma permanente.

Un corolario de esta Ley dice:

Los precios de los componentes conjuntos y equipos electrónicos y de computación bajan al mismo tiempo que las prestaciones de los mismos suben exponencialmente.

Una consecuencia directa de la Ley de Moore es que la computadora que hoy vale 3000 dólares costará la mitad al año siguiente y estará obsoleta en dos años. Pero que una computadora esté obsoleta no quiere decir que no podrá seguir usándose para muchas aplicaciones. A su vez, el costo de una nueva será, comparativamente, mucho menor y tendrá muchas más prestaciones.

Cuando se renueva una computadora que tenía una memoria RAM de 500 MB seguramente podrá otra memoria en su nuevo equipo de no menos de 2 GB.



Los precios de los componentes conjuntos y equipos electrónicos y de computación bajan al mismo tiempo que las prestaciones de los mismos suben exponencialmente.

En los últimos 30 años, el número de transistores en un circuito integrado se ha incrementado nada más y nada menos que aproximadamente 3300 veces.

Mucha gente le ha dado gran importancia a esta ley que también se ha aplicado a otros aspectos tecnológicos como la memoria o el ancho de banda y cierta corriente de economistas cree que el *boom* económico que ha vivido Estados Unidos en los últimos años se debe en gran parte al crecimiento en progresión geométrica de la productividad de las computadoras

- **La fibra óptica y la transmisión de señales por dicho medio**

La aparición comercial y masiva de la fibra óptica cambió los paradigmas hasta ese momento existentes en cuando al diseño de los sistemas de transmisión.

La transmisión de la información por medios conductores como es el cable de cobre dejó paso al uso de las técnicas de ondulatorias mediante el uso de las fibras. Físicamente, podrías decir que estamos dejando poco a poco de transmitir electrones (teoría corpuscular) para transmitir fotones (teoría ondulatoria).

- **Introducción de la computación en los equipos de telecomunicaciones**

Este concepto consiste en utilizar el computador para propósitos especiales como equipo con funciones de telecomunicaciones.

Muchos equipos de comunicaciones no son más que eso: computadores para propósitos especiales. Pueden mencionarse como ejemplos las centrales telefónicas por programa almacenado o los equipos comutadores de paquetes más conocidos por router, etcétera.

- **Tecnologías ópticas**

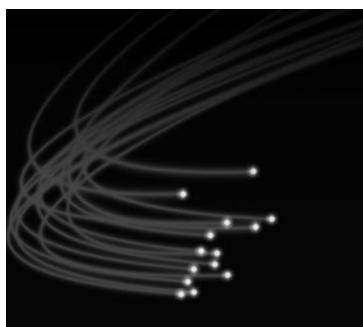
La aparición comercial y masiva de la fibra óptica cambió los paradigmas hasta ese momento existentes en cuando al diseño de los sistemas de transmisión fundamentalmente en los de media y larga distancia primero. Luego, en forma progresiva y a medida que los costos fueron disminuyendo, se ha llegado incluso a instalarse esta tecnología en las redes de área local.

Es así como los sistemas de microondas de media y alta capacidad fueron reemplazados por tendidos de fibra óptica primero en la modalidad de fibras monomodo y luego utilizando técnicas denominadas WDM (*Wavelength Division Multiplexing*, Multiplexación por División de Longitud de Onda).

WDM es una técnica que permite dividir el ancho de banda de la fibra. De esta manera, se pueden transmitir varias señales portadoras ópticas de diferente longitud de onda sobre una sola fibra permitiendo un mayor aprovechamiento del ancho de banda disponible.

Esta técnica se ha perfeccionado aun más y actualmente se dispone ya de una tecnología superadora llamada DWDM (*Dense Wavelength Division Multiplexing*, Multiplexación Densa por División de Longitud de Onda) que tiene una capacidad que llega al orden de los Tbps (Tera bits por segundo - 10^{12} bps). Entre otras aplicaciones los distintos continentes o dentro de ellos las grandes ciudades están unidos por enlaces construidos por cables con este tipo de tecnología.

Como se puede apreciar este fenómeno generado por las fibras ópticas se ha dado en llamar también la Revolución del Ancho de Banda pues este ha dejado de ser un problema técnico en cuando a la capacidad disponible en los vínculos que pueden ser utilizados por las redes de telecomunicaciones.



Fibras ópticas
(Gentileza de Siemens Enterprise Communications S.A.)

- **Nuevos servicios de telecomunicaciones**

Los estudios en el campo de la tecnología vinculada a la computación y a las comunicaciones han ido produciendo un profundo cambio en la microelectrónica que, a su vez, ha permitido contar con hardware de comunicaciones que facilita nuevos servicios. Sin estos adelantos no hubiera sido posible implementarlos en forma comercial.

Un ejemplo típico podría ser la llamada Telefonía IP que es la transmisión de la voz usando la tecnología de conmutación de paquetes.

Hoy existe el mercado numerosas empresas que prestan este tipo de servicios en forma comercial a costos reducidos lo que claramente facilita el comercio en especial cuando las distancias entre comprador y vendedor son extensas por ejemplo entre continentes.

Los equipos que operan con VoIP (*Voice over IP*, Voz sobre IP) convierten las señales de voz estándar en paquetes de datos comprimidos que son transportados a través de redes de datos en lugar de líneas telefónicas tradicionales.

Las señales de voz digitalizadas se encapsulan en paquetes IP que se pueden transportar como IP nativos o como datagramas IP transportados por cualquiera de los protocolos como *Ethernet Frame Relay ATM SONET o SDH*.

Actualmente, las normas empleadas para la voz sobre IP se basan en la norma de la UIT H.323 v2 u otras propietarias. La especificación H.323 define un conjunto de equipos denominados *Gateway* y *Gatekeeper*. Por otra parte, especifica la manera de establecer enrutar y terminar llamadas telefónicas a través de la Red Internet.

En la actualidad también existen otras especificaciones en los consorcios industriales tales como SIP ya mencionado SGCP e IPDC las cuales ofrecen facilidades adicionales para el control de llamadas y la señalización dentro de arquitecturas de voz sobre IP.

Las ventajas de este tipo de servicio es la menor utilización de ancho de banda lo que redundaría en una fuerte disminución de los costos telefónicos. Esto se debe al uso de un conjunto de codificadores de voz de mayor rendimiento que los usados en la red telefónica si bien es cierto que esto en alguna manera afecta la calidad de la señal recibida.

1.6.2.2 Las nuevas ideas en la economía

A finales de la década del noventa, se fue acuñado un concepto que se llamó la nueva economía. Este estaba concebido sobre la base de los cambios que se generaban basados en los siguientes elementos que fueron apareciendo en forma conjunta y que eran justificadas por un crecimiento permanente y continuo que se creía inmune a los ciclos económicos.

Algunos de los principios de estas ideas fueron los siguientes:

- Adelantos producidos por el conocimiento.
- Cambio tecnológico.
- Globalización de la economía y de los mercados financieros.
- Auge de las empresas denominadas .com.

Inclusive algunos economistas creyeron que la forma de hacer negocios anterior a estos conceptos había caído en desuso.

Sin embargo, durante la crisis del año 2001, una buena parte de las empresas llamadas .com creadas y fomentadas sobre la base de las ideas que se generaron a partir de los con-

ceptos que proponía la llamada nueva economía quebraron o literalmente desaparecieron del mercado. Este ejemplo desacreditó a muchas de las predicciones que se habían efectuado.

Pero aquí no se trata de juzgar si este concepto es correcto o no. Se trata de analizar si es una de las consecuencias de la Sociedad de la Información y como la economía está influenciada por los cambios tecnológicos.

Es indudable que la irrupción del conocimiento en la vida diaria actúa en las decisiones de empresas organizaciones e incluso en el hombre común y fundamentalmente por los cambios generados por la Sociedad del conocimiento provocados por sus factores claves: el hombre la computación y las comunicaciones.

Es por ello interesante analizar el trabajo de la Friedrich-Ebert-Stiftung que permite esclarecer de manera aproximada el carácter multifacético del concepto que analiza en cinco dimensiones distintas a saber:

- Macroeconómica: una nueva constelación macroeconómica en los EE.UU. en la que son posibles índices más altos de crecimiento sin inflación gracias a mayores índices en el crecimiento de la productividad (al momento de ser escrito este trabajo).
- Tecnológica: se impone un desarrollo tecnológico –la revolución de tecnologías de información– que convierte a la industria de la tecnología informática en la rama clave.
- Microeconómica y de mercado de capital: el significado creciente de una nueva tipología de empresa y nuevos criterios de valoración para empresas en los mercados de capital.
- Metaeconómica: es decir a) el significado creciente de información como insumo producto y principio estructural de la economía; b) el vínculo entre explosión tecnológica y la intensificación de las relaciones de economía de mercado y c) el vínculo entre explosión tecnológica y tercerización de la economía.
- Social: Se supone –ya casi en forma estereotipada– que la nueva economía se vincula con un desmejoramiento de la situación de los trabajadores, al menos de su gran mayoría.

Este trabajo nos ofrece definir de dos maneras formales el concepto de nueva economía vista desde una perspectiva puramente tecnológica:

- Es la suma de todas las actividades económicas que o bien pertenecen a la rama de tecnologías de información o bien basan sus ideas comerciales sobre una nueva utilización de estas tecnologías en especial la Red Internet.
- Es una economía en la que la rama de tecnologías de información que se convirtió en el sector clave por su rápido crecimiento su ritmo de innovación y también por la instalación de sus productos y servicios en todas las áreas económicas y que estructura la producción distribución y consumo en forma comparable a lo que logró a industria automotriz en la segunda mitad del siglo xx.

Y afirma que las características que signan la dinámica de la nueva economía definida por la rama de tecnologías de información son:

- La tecnología de la información no es una innovación aislada ni tampoco un manojo de innovaciones. Es una nueva dinámica de innovación que no está cerrada y tampoco se cerrará en un futuro próximo –al menos no en tanto la miniaturización de componentes microelectrónicos (Ley de Moore) en el área nano no choque con límites físicos absolutos.
- La revolución de tecnologías de información tiene una dinámica que la lleva hacia la evolución permanente.

- El motor de la industria es la capacidad de generar rendimientos permanentes, rápido aumento de los componentes microelectrónicos, y descenso de los costos de la elaboración y transmisión de información.
- Las inversiones en las redes de telecomunicaciones están relacionadas a los beneficios crecientes que estas generan.

Una explosión tecnológica no necesariamente debe conducir al mayor crecimiento de la productividad económica general.

1.6.2.3 *El marco regulatorio de las telecomunicaciones: El proceso de globalización*

El proceso de globalización de las comunicaciones y posteriormente las ideas de convergencia de sus distintos servicios comenzaron en el año 1974 cuando el Departamento de Justicia de los Estados Unidos de América inició las primeras acciones judiciales para deshacer el monopolio organizado por la AT&T.

En 1949 Departamento de Justicia inició un muy importante juicio antimonopolio contra AT&T y *Western Electric*. El gobierno de Estados Unidos acusó a AT&T de conspirar para restringir la fabricación distribución venta e instalación de todas las formas posibles de equipamiento telefónico por la violación de la Ley Antimonopolio de Sherman. Para finalizar con la posición dominante en el mercado de AT&T trató de separar la fabricación de equipamiento en todas sus formas de la provisión del servicio telefónico. Propuso que AT&T se retirara de la *Western Electric* y que a su vez esta vendiera el 50% de sus acciones a los Laboratorios Bell.

Esta demanda duró siete años y nunca se llegó a un fallo judicial por cuanto en 1956 hubo un acuerdo extrajudicial entre las partes por la cual al Sistema Bell le fue permitido seguir prestando, exclusivamente, Servicios de Comunicaciones Públicas sujetándose a ciertas regulaciones. A la *Western Electric* le fue prohibido fabricar equipos que no fueran los utilizados para el funcionamiento de la Bell. Y tanto al Sistema Bell como a la AT&T la *Western Electric* y a los Laboratorios Bell les fue exigido autorizar el uso de todas sus patentes a quien lo solicitare tanto del país como del extranjero mediante el pago de regalías moderadas.

El acuerdo de 1956 contó con el consentimiento del tribunal. Sin embargo, los ejecutivos del Sistema Bell no hicieron en ese momento una correcta apreciación sobre el futuro de la tecnología en cuanto a lo que se refiere a la electrónica las comunicaciones y la computación. La revolución de las nuevas tecnologías ya estaba en marcha. Fracasaron quizás en acertar en los cambios exponenciales que el progreso acelerado del siglo xx ya estaba produciendo.

Estas ataduras le impidieron por ejemplo desarrollar nuevas tecnologías innovadoras como lo había venido haciendo hasta entonces por cuanto si bien podían con ellas abastecerse no podía colocarlas en el mercado lo que hacía estos desarrollos poco eficientes en términos económicos. Por otro lado, los servicios se fueron diversificando pero el Sistema Bell tenía impedido ocuparse de otros negocios mientras que la competencia empezó a ocuparse de los servicios de telefonía locales y de larga distancia.

En 1974, nuevamente, el Ministerio de Justicia se ocupó de analizar una extensa demanda por monopolio que había presentado contra la AT&T la empresa MCI Inc. en marzo de dicho año. Después de analizar la situación, el mismo Ministerio inició en noviembre una nueva demanda contra AT&T *Western Electric* y los Laboratorios Bell incluyendo las 22 empresas Bell que prestaban servicios urbanos y estaban distribuidas por todo el país. Así comenzó el juicio civil más grande de la historia de Estados Unidos.

Las razones que fueron esgrimidas en la presentación del juicio fueron muy simples. El Departamento de Justicia alegó que AT&T monopolizaba las comunicaciones de larga distancia dándole tarifas especiales a las 22 Bell locales que hacía imposible a otros prestadores competir con ellas o directamente impidiéndoles la interconexión con el sistema de comunicaciones

nacional. Además, se acusaba a la *Western Electric* de prácticas monopólicas que impedían un mercado transparente y equitativo otra vez.

Entre 1974 y 1980, las partes intercambiaron documentos. El juicio mientras tanto cayó en manos de Juez Harold H. Greene que en 1978 había sido ascendido a Juez Federal de Distrito. Greene había antes ocupado un cargo en el Superior Tribunal de Justicia del Distrito de Columbia y, además, había trabajado activamente en tal carácter desde 1964 en las leyes de derechos civiles y similares vinculadas a la igualdad de derechos ciudadanos. Aunque hubo intentos previos por solucionar el diferendo como en 1965 Greene anunció el inicio del juicio para el 15 de enero de 1981 en su Corte Federal de la ciudad de Washington DC.

Luego de variadas situaciones típicas de juicios de este volumen y naturaleza el Gobierno hizo una proposición a la AT&T que incluía la obligación de disolver el monopolio proposición que es aceptada por el *holding*. Finalmente, se conviene el día 1 de enero de 1984 como la fecha en la que dicha disolución debe comenzar a tener efecto. El 8 de enero de 1982 las partes llegaron a ese histórico acuerdo que podría resumirse en los siguientes aspectos más importantes:

- Las 23 empresas operadoras de los servicios de telefonía del grupo conocidas como las hermanas Bell debían separarse del *holding* AT&T. Este podía mantener bajo su control a la empresa Western a los Laboratorios Bell y la empresa que se ocupaba de las comunicaciones interurbanas denominada *Long Lines Divisions*.
- Las empresas que se formaran para prestar el servicio telefónico no podían fabricar sus propios equipos.
- El tráfico telefónico interurbano quedaba en libre competencia y todos los que deseaban participar de este negocio debían tener igualdad de oportunidades.

El 1 de enero de 1984 el monopolio AT&T quedó disuelto. En la fecha de su disolución AT&T tenía inversiones del orden de \$40 mil millones de dólares e ingresos anuales por 33 mil millones. Se habían organizado para cumplir el acuerdo siete empresas regionales a las que AT&T les fue transfiriendo sus activos en las zonas de operación de cada una de ellas. A comienzos de ese año, ya estaba operando en forma independiente.

Las mismas se llamaron: Ameritech Corporation, Bell Atlantic Corporation, BellSouth Corporation, NYNEX Corporation, Pacific Telesis Group, Southwestern Bell Corporation y US West Inc. Sin embargo, al poco tiempo de funcionar como tales comenzaron las ventas fusiones y alianzas por lo que hoy muchas de ellas ya no existen con los nombres originales.

A partir de esa histórica fecha, comienza un proceso a nivel mundial que podría sintetizarse en los siguientes aspectos:

- Los servicios de telecomunicaciones se prestan poco a poco en competencia para una misma zona geográfica.
- En varios países las empresas estatales pasan a manos privadas.
- Aparecen muchos servicios impensados en la década de los ochenta y muchos más aun en la de los noventa.
- Las redes pasan a ser totalmente digitalizadas en su totalidad excepto los tramos correspondientes a la llegada de las líneas telefónicas a los usuarios individuales (la última milla).
- La computadora como herramienta pasa a ser un elemento catalizador del continuo cambio tecnológico que se generan en las redes de telecomunicaciones y en la demanda de nuevos servicios de comunicaciones.
- Aparece un concepto denominado TIC (Tecnologías de la Información y la Comunicación) con el que se estudia y analiza la interacción que genera la convergencia de la Informática y las Comunicaciones.

Durante mucho tiempo la tecnología que se utilizaba en los sistemas de comunicaciones en particular para el servicio telefónico hacía impensable concebir que para una misma zona geográfica existieran distintos proveedores en particular para telefonía.

La pregunta que nadie podía responder ante una sugerencia de cambiar ese paradigma era la siguiente: ¿Qué sentido tiene en una misma ciudad tener dos plantas externas con cables de cobre superpuestas?

Hoy es sabido que en muchas zonas geográficas hay varios prestadores. La razón está dada entre otras por los cambios tecnológicos que se han venido produciendo como podría ser el caso de la prestación de los servicios a grandes clientes a través de sistemas de alta capacidad utilizando como medio de comunicaciones la fibra óptica.

Esto, por un lado, no hace necesario llegar con cable de cobre hasta el usuario final; en otros la prestación de servicios como los de banda ancha permiten justificar la duplicación de redes aun utilizando cobre por el retorno de la inversión que este tipo de servicio genera.

También el traspaso de los servicios a capitales privados o mixtos es un fenómeno que se ha producido a nivel mundial. El caso más relevante sea quizás el de los países europeos. Cada uno de ellos tenía organizaciones ya históricas que se denominaban y conocían como PTT (*Postes Télégraphes et Téléphones*) que como su nombre lo indica incluían los servicios postales telegráficos y telefónicos en una sola empresa del Estado.

Estos fenómenos de diversificación de prestadores y aumento de servicios ha dado lugar a que los distintos Estados Nacionales hayan tenido en muchos casos que organizar Autoridades Regulatorias al estilo de la FCC (*Federal Communications Commission*) de los Estados Unidos.

En cuanto a la diversidad de los nuevos servicios, es necesario destacar que hasta hace unos años solo se conocía el servicio telefónico, télex y los servicios telegráficos.

Hoy la necesidad de tener que usar la Red Internet en todo tipo de aplicaciones desde las menores en el propio hogar hasta las que involucran a los Estados Nacionales o a las pequeñas y grandes empresas ha generado la necesidad de que los servicios de datos lleguen con precios adecuados hasta los domicilios de todas las partes necesitadas de interconectarse con ella.

Por otra parte, la transmisión de la televisión por aire si bien no es algo permitido las redes de cables o de televisión satelital cubren los países de un extremo al otro. Primero, usando técnicas analógicas y, actualmente, tal como se hizo con los servicios clásicos de comunicaciones digitalizándose en forma acelerada.

¿Mantendrán los operadores redes independientes para voz, datos y televisión por separado como sucede actualmente? ¿El marco regulatorio permitirá utilizar los adelantos tecnológicos pensando en los beneficios que pueda recibir el usuario final?

Todo indicaría que la tecnología está en camino a que en un futuro muy próximo mediante redes de redes de comunicaciones únicas se puedan prestar todo tipo de servicios a los usuarios finales.

En cuanto a la tecnología que utilizan las redes de telecomunicaciones se fue generando a fines del siglo xx un proceso de digitalización total en lo que se denomina la zona de la red (para mayores detalles, ver el Capítulo 2). Tanto las centrales de conmutación como los enlaces troncales ya están totalmente digitalizados en casi la totalidad de los países.

La llegada a los servicios de comunicaciones a los usuarios de tipo familiar o individual son aun analógicos en gran parte.

En lo que se refiere a los circuitos telefónicos, muchos de ellos ya permiten el uso de servicios de datos digitales utilizando las tecnologías denominadas xDSL. Estas tecnologías han dado nuevo valor agregado a las viejas plantas externas de cables de cobre, que algunos pensaban en la década de los noventa que iba a ser reemplazadas rápidamente por vínculos de fibra ópticas hasta todos los usuarios finales.

¿Cuál ha sido entonces el motor de todos estos cambios? ¿Qué está revolucionando las comunicaciones y porque no decirlo las distintos comportamientos de la sociedad? ¿A qué se deben los cambios en todos los ámbitos caracterizados por la rapidez y la profundidad?

Basta observar los comportamientos sociales, económicos, políticos y militares para darse cuenta que es el computador la herramienta que la ha producido y la sigue generando.

Mientras que de temas informáticos solo hablaban los especialistas unos pocos años atrás o aquellos que se ocupaban de investigaciones o actividades técnicas relacionadas con las ciencias exactas o la ingeniería tales como matemáticos físicos biólogos ingenieros y otras profesiones similares. Hoy se escucha opinar de temas computacionales a sociólogos, psicólogos, médicos, economistas y tantos otros con una propiedad que muchas veces llama la atención.

1.6.2.4 *Las fuerzas sociales*

Durante mucho tiempo la informática era un campo solo para los especialistas y las comunicaciones excepto algunos pocos servicios públicos estaban reservadas para el campo empresario exclusivamente como era el caso del servicio télex o el uso del facsímil.

Los costos de los computadores fueron inicialmente prohibitivos para cualquier organización empresarial o gubernamental de tamaño mediano o pequeña para establecimientos educativos de nivel secundario o primario o para un profesional independiente. Esto hacia difícil el uso del computador como herramienta de trabajo o como medio de difusión del conocimiento.

La aparición del computador personal y la Ley de Moore aplicada al corolario que hemos denominado de los costos decrecientes hizo que estos equipos bajaran rápidamente de precio y permitió la difusión de la informática y el uso de las comunicaciones en forma masiva.

Así fue que el computador irrumpió en las distintas formas de convivencia de los seres humanos comenzando con el aula siguiendo con su uso en las organizaciones empresariales las profesiones liberales y finalizando con su introducción en el hogar y hasta podríamos decir en la misma vida de las personas.

A su vez se pueden señalar dos fenómenos consecutivos. Primero, la globalización provocada entre otras causas por la aparición y uso de la Red Internet para los fines más diversos; y luego el paulatino reemplazo de las conexiones *dial-up* por las de banda ancha que permiten el manejo de cantidades importantes de información en tiempos reducidos.

Intercambiar imágenes textos videos fotografías pasa a ser algo común y rápido utilizando medios de comunicaciones cada vez más flexibles veloces y económicos.

Lo que inicialmente en el campo de las telecomunicaciones se llamó la crisis del ancho de banda a causa de las necesidades cada vez mayores de este recurso inicialmente escaso fueron desapareciendo con la instalación masiva de la fibra óptica y sus tecnologías asociadas y los nuevos desarrollos que permitieron una mejor utilización de los vínculos existentes de cables de cobre.

Es así que un gran número de grupos sociales de diversos orígenes comenzaron a usar en forma diaria el computador como medio de relación en la vida diaria y de trabajo cotidiano. Las razones de este cambio analizadas desde el punto de vista de la sociedad se pueden resumir en las siguientes causas:

- Costo accesible de los computadores personales.
- Mejora en la calidad de la educación.
- Introducción de los servicios de banda ancha a precios razonables.
- Oferta de cometidos atractivos para el hombre común el profesional empresario y en general para cualquier integrante de la sociedad.
- Amplia oferta de servicios de comunicaciones.

Como una consecuencia de la masividad del uso del computador en la sociedad ha aparecido y se han multiplicado de manera asombrosa un fenómeno conocido como el de las Redes Sociales.

Luego podemos definir como una Red Social, a la estructura constituida por un sitio integrado a la Red Internet que permite a los individuos que lo integran construir un perfil público o semipúblico dentro de un sistema definido y limitado; articular una lista de otros usuarios con los que comparten una conexión, ver y recorrer su lista de las conexiones con las limitaciones que se establezcan de las efectuadas por otros miembros dentro del mismo sitio. La misma se puede representar en forma de varios grafos en el cual los nodos representan los individuos que la integran y los conectores que enlazan los nodos las relaciones entre ellos.

El origen de las redes sociales se puede fijar en el año 1995 cuando Randy Conrads crea el sitio Web classmates.com con el objeto de mantener o reencontrar el contacto con sus antiguos compañeros de estudio en sus distintos lugares por los que pasó en su formación.

Posteriormente, en 2002, aparecen sitios Web fomentando círculos de amigos que estaban *on-line* en la Red. Y luego de experiencias diversas en 2004 nació la Red Social TheFaceBook creada por Mark Zuckerberg con la colaboración de Dustin Moscovitz y Chris Hughes compañeros suyos en la Universidad de Harvard en el ámbito de dicha universidad. Sin embargo si bien el fin inicial fue ser un punto de encuentro de todos los exalumnos de dicha casa de estudios inmediatamente adquirió fines mucho más amplios.

La popularidad que adquirió en menos de un mes llevó Zuckerberg a extenderla a otras universidades del mismo tipo como eran el MIT Stanford Columbia Yale Princeton y luego a gran parte de la comunidad universitaria del país. Era una especie de comunidad virtual tipo Myspace y su objeto era ser el punto de encuentro de todos los exalumnos de Harvard. Obviamente, su destino fue más amplio.

En 2005 TheFaceBook se transformó en Facebook y actualmente compite con productos generados por Google y MySpace por lo que se enfrenta a grandes desafíos para controlar el mercado. No obstante, ha sido una decisión acertada de su creador la de abrir la plataforma Facebook a otros desarrolladores. La red Facebook se extiende a varios idiomas y se puede acceder con conocimientos elementales de computación.

A los pocos meses de su creación, Facebook tenía más de 1 millón de usuarios; y en 2007 llegó a los 30 millones cifra que terminando ese año había llegado a 50 millones de usuarios convirtiéndose en el rival más directo de Myspace.com.

Facebook era una idea nueva. David Bohnett creador de Geocities la propuso en la década del ochenta. No obstante, el objetivo de concretar un sitio en la Web donde la gente compartiera sus gustos y sentimientos se pudo llevar a cabo con éxito a través de Facebook. Sitios de redes sociales tales como MySpace o Facebook han atraído a millones de usuarios en todo el mundo muchos de los cuales usan estos sitios en forma cotidianas.

1.7 Convergencia

1.7.1 Conceptos generales

La tendencia actual o el paradigma para el transporte de la información es en casi todos los casos el protocolo IP. Una red funcionando bajo este protocolo permite una cantidad importante de funciones comunes reduce costos y facilita la planificación y la operación.

El usuario de hoy espera que las facilidades y las interfaces sean similares para cualquiera de los servicios que esté utilizando sin tener que analizar qué red estará usando o en cuál estará transmitiéndose la información que desea enviar. Los servicios, a su vez, se deben adaptar a las características de los dispositivos y a los accesos a ser utilizados. Incluso deberá pensarse en procesos seguros, pero simplificados para la identificación del usuario.

Otro aspecto importante se refiere a la confiabilidad en todas transacciones. Estas deben ser seguras y eficientes independiente del acceso y de la calidad de la conexión. Un usuario no espera ningún virus, ningún gusano, ningún fraude y que nadie escuche sus comunicaciones excepto que él lo hubiese previamente autorizado.

También los usuarios esperan poder comunicarse en cualquier momento y en cualquier lugar. Aun estando en movimiento. Luego deberá tenerse en cuenta muy especialmente las opciones de transporte y prestación de los servicios por medios inalámbricos.

La intensificación de la competencia en la prestación de los servicios de telecomunicaciones entre los operadores de telefonía fija y móvil como la irrupción de aquellos que presentan servicios de televisor por cable y empresas dedicadas a la prestación de telefonía utilizando los distintos protocolos denominados VoIP permiten percibir el creciente interés de los distintos operadores en abordar áreas que estaban fuera de su oferta tradicional.

En particular, los operadores de la red móvil han ido buscando ofrecer servicios más avanzados con mayores requerimientos de ancho de banda para ofrecer alternativas competitivas a los operadores de los servicios de la red fija y de esa manera ampliar su participación en el mercado.

Un ejemplo es la posibilidad de recibir correos electrónicos o servicio de Internet en los equipos de telefonía móvil. Paralelamente, los operadores de las redes de televisión por cable buscan entrar en los servicios de banda ancha y la prestación de los servicios de telefonía.

Así, aparece el concepto de convergencia entendiendo por tal a la posibilidad del usuario de poder acceder a una amplia variedad de servicios de comunicaciones con calidad consistente independiente de su ubicación geográfica, del equipo terminal utilizado y sobre una sola red integrada de comunicaciones.

1.7.2 Análisis del concepto de convergencia

Este nuevo paradigma del mundo de las telecomunicaciones puede ser analizado desde cuatro puntos de vista: comercial servicios productos y red.

La convergencia comercial (también llamada etapa de preconvergencia) es una actitud que consiste en ofrecer varios productos como un paquete a un precio conformado como puede ser los servicios de voz (fija y móvil) Internet por banda ancha y mensajes de texto no haciendo referencia específica a la tecnología ofrecida y poniendo énfasis en la versatilidad de los equipos terminales ofrecidos para los servicios comercializados.

La convergencia de servicios consiste en que un solo proveedor puede ofrecer varios servicios que pueden ser accedidos desde diferentes clases de terminales. Así se podría enviar mensajes de texto desde un equipo móvil a uno fijo; o mirar televisión por cable desde un

computador conectado por banda ancha por medio del par telefónico; o usando este mismo medio ver una señal de video en el televisor o desde su propio terminal móvil.

También dentro de este concepto podemos mostrar los servicios número único y *follow-me*; es decir que a través de un número telefónico asignado por el proveedor del servicio el servicio telefónico está disponible en el lugar en el que está el usuario ya sea través de teléfonos fijos o móviles.

La convergencia de servicios presenta dos variantes. Una ya difundida en muchos países que es el denominado Triple Play que incluye utilizando un solo acceso local los servicios de Voz Internet por banda ancha y Video; la otra más completa aun llamada Cuádruple Play y más conocida por su expresión en inglés, *The Fantastic Four* que, además de los servicios anteriores, incluye la prestación de los servicios inalámbricos.

La Fig. 1.9. muestra un ejemplo de provisión en la modalidad de Cuádruple Play. En ella se puede observar un usuario que recibe los servicios de Telefonía Fija, Móvil, Televisión Digital y Banda Ancha; y a través de esta última, otros adicionales como pueden ser los de videoconferencia, recepción de señales de radiodifusión, telefonía IP y cualquier otro que sea soportado por una red de banda ancha con conectividad a la Red Internet.

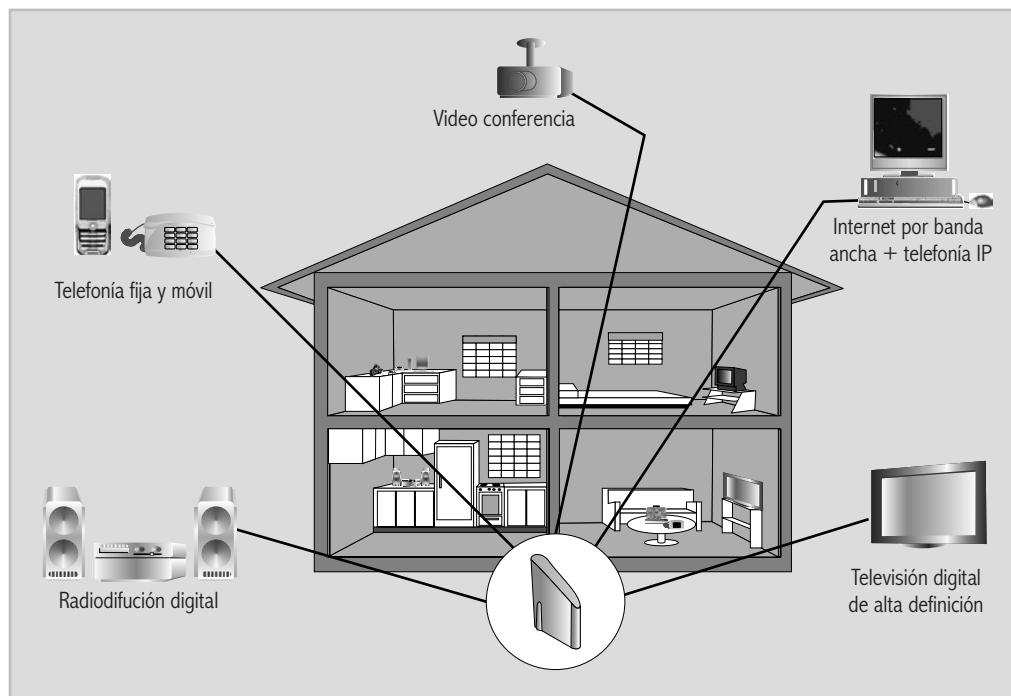


Fig. 1.9. Utilización del *The Fantastic Four* en una organización.

La convergencia de producto consiste en el uso de equipos para múltiples aplicaciones y diferentes formas de acceso a la red. La Fig. 1.10. nos muestra lo que ya es un ejemplo de convergencia de producto y servicios.

Un equipo que inicialmente solo se usaba en las primarias generaciones para recibir y transmitir señales de voz tanto de la y hacia la red fija o móvil hoy se puede utilizar en las más variadas aplicaciones. Es así que podemos recibir señales de radio y televisión usarlo como pager o recibir facsímeles operar con cartas de crédito o debito y otros servicios más que van más allá de las telecomunicaciones en sí.

La evolución de los equipos terminales será un reflejo de las características que vaya adoptando la red y de la evolución de los distintos tipos de acceso que vayan estando disponibles.

La convergencia de la red consiste en que se pase de una red a la otra sin que el usuario perciba los cambios y se mantenga la calidad de servicio.

Este concepto de convergencia de red está directamente vinculado a la denominada NGN (*Next Generation Network*, Red de la Siguiente Generación) entendiendo por tal a:

Una red basada en la tecnología de comutación de paquetes capaz de proveer servicios integrados incluyendo los tradicionales telefónicos; utilizando la banda ancha y muy ancha; explotando al máximo disponible los medios de comunicaciones actuales y empleando, intensivamente, Tecnologías con QoS (*Quality of Service*, Calidad del Servicio) de modo que el transporte sea totalmente independiente de la infraestructura de red utilizada. Además, con posibilidad de ofrecer acceso libre para usuarios de diferentes compañías de telecomunicaciones y apoyarse en el concepto de movilidad de forma que permita el acceso multipunto a cada usuario.

Este tipo de redes están caracterizadas entre otras por las siguientes particularidades:

- Transferencia de datos basadas en comutación paquetes o de tramas (802.x).
- Separación entre la provisión de los servicios de telecomunicaciones y el uso de las distintas interfaces posibles de acceso a la red núcleo.
- Posibilidad de soportar una amplia gama de servicios (Voz video y señales isócronas comprimidas y sin comprimir; Datos confiables aplicaciones de misión crítica; datos no confiables tales como el envío de correo electrónico navegación por Internet etcétera).

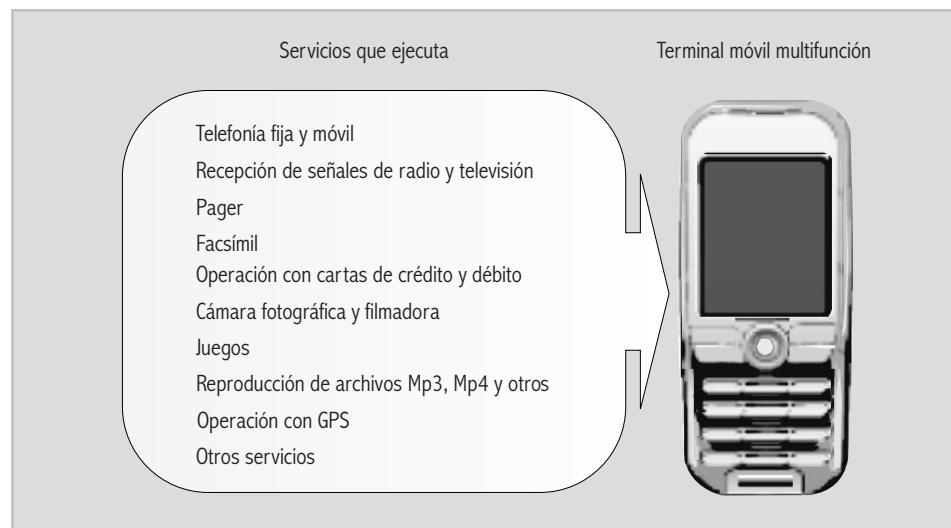


Fig. 1.10. Convergencia de producto y servicios en un terminal móvil.

- Capacidad de proporcionar banda ancha con Calidad de Servicio QoS y transparencia entre extremos de un enlace.
- Convergencia entre servicios fijos y móviles.
- Independencia entre las funciones relacionadas con el servicio y las distintas tecnologías utilizadas para el transporte de la información.

- Capacidad de adaptarse a las exigencias de los distintos marcos regulatorios incluyendo servicios que hagan a emergencias seguridad y aquellos que exigen respetar la intimidad.
- Capacidad para interfuncionamiento con redes de tecnologías anteriores.
- Posibilidad de brindar una amplia variedad de servicios sin que el usuario perciba diferencias entre unos y otros.
- Acceso sin restricciones a distintos proveedores de servicio diferentes.
- Esquemas de identificación resueltos a base a direcciones de IP.

1.7.3 Convergencia y la globalización de la economía

La aparición de un fenómeno denominado convergencia de las TIC mediante la cual el computador y su disciplinas asociadas como la informática y las comunicaciones generan un proceso de realimentación típico de la sociedad postindustrial. Uno de sus efectos más notorios es lo que se ha dado en llamar “globalización de la economía”. ¿Habrá globalización sin comunicaciones inalámbricas sin Internet sin computadoras o tantas otras cosas generadas por esta revolución de las nuevas tecnologías? La respuesta es decididamente “NO”.

Consideramos muy difícil de contestar si esta globalización, como expresaba, Lussato, es algo bueno o malo para la sociedad. Deberíamos tener en cuenta que como todas las cosas que el hombre genera estas son buenas o malas según quien las usa y como se las usa. Pero esa discusión no es motivo de esta obra.

Si podríamos señalar un efecto impensado que han generado las TIC en la sociedad globalizada. Fue un estudioso sobre las perspectivas del futuro de la humanidad John Naisbitt quien en 1994 publicó un libro denominado *La paradoja Global*.

Este trabajo describe un efecto inesperado que provoca el desarrollo y la difusión de las Tecnologías de la Información y las Comunicaciones.

Para ello, propone analizar lo que llama las dos paradojas de la Era de las Nuevas Tecnologías que pueden ser presentadas de la siguiente manera:

- Primera paradoja: “Mientras mayor es la economía del mundo más poderosos son sus actores más pequeños”.
- Segunda paradoja: “Mientras más universales nos hacemos más tribalmente actuamos”.

Naisbitt establece a partir de estas paradojas lo que podríamos llamar los cuatro problemas éticos básicos de la globalización:

- Corrupción generalizada en todo el planeta.
- Los negocios la economía y los derechos humanos.
- Los problemas del medio ambiente.
- La discriminación en los procesos de contratación.

Según este pensador, la comunicación global instantánea derivada de los procesos telemáticos en tiempo real nos ha dado la posibilidad de ver todo lo que pasa en el mundo desde nuestro asiento frente al televisor o frente a la pantalla de nuestro computador. La información que llega simultáneamente a cualquier parte del mundo en el mismo momento en que se producen los hechos otorga cada vez más poder a los individuos.



Conjunto de antenas para radioenlaces y telefonía celular
(Gentileza de Siemens Enterprise Communications S.A.)

La actividad política los políticos las empresas y los funcionarios de todo el mundo están bajo la lupa y por tanto cualquier contravención a la ética se conoce rápidamente y el público tiene derecho a demandar sanción.

Naisbitt ha lanzado una profecía basada en los fenómenos producidos por la propia globalización y en el poder que los medios teleinformáticos proporcionan al interactuar con los medios de comunicación social y la sociedad en general y con los individuos en particular. Ella podría sintetizarse en la expresión:

Va a dejar de ser negocio no ser ético

Naisbitt nos ha hecho ver que marchamos hacia un nuevo código de conducta ética universal para el siglo XXI. En muchos casos políticos, ejecutivos de alto nivel grandes corporaciones y todo tipo de figuras públicas no perciben este fenómeno. Sin embargo, todos los días nos enteramos a través de los medios de comunicaciones de muchas cosas que los actores señalados quisieron ocultar o callar.

En este siglo los secretos a la corta o a la larga dejen de ser tales con la misma rapidez que una persona ubicada en América se puede comunicar por un teléfono celular con otra del Lejano Oriente.

1.8 La red Internet

1.8.1 Consideraciones generales

En la actualidad se podría afirmar sin temor a error que en todas las disciplinas que se estudian en el mundo, sean las vinculadas a las llamadas ciencias duras, como la matemática, la física, la química, la biología, las ingenierías, la medicina, la bioquímica y muchas otras, así como las ciencias sociales, sean estas la economía, la política, el derecho, la sociología, la psicología, y cantidad de otras de toda índole, hay un antes y un después de la creación y afirmación de la red Internet, tal como se la conoce a partir de la última mitad de la década del noventa.

El proceso ha sido secuencial. Primero los cambios comenzaron con el desarrollo de la computadora. Luego continuaron cuando se llegó a un punto en el que ellas podían ser operadas por no especialistas de todas las edades; después aparecieron los cambios que generaron mediante su uso como herramienta. Así es que facilitaron, entre otras cosas, la construcción de equipos de telecomunicaciones inteligentes. Estos, a su vez, permitieron digitalizar prácticamente toda la red mundial de telecomunicaciones, cambiando además la forma de planificar, diseñar y operar. Por último, apareció la idea genial de la red Internet como herramienta de interconexión de computadoras de consumo masivo. Todo ello revolucionó al mundo. Ya nada es igual a como lo fue hace solo veinte años.

Si bien la invención de ciertos servicios de comunicación como el telégrafo, el teléfono, la radio, la televisión provocó grandes cambios, fue el uso de la computadora el que permitió modificaciones significativas en la sociedad, que permitieron su integración lenta pero firme y mostraron una capacidad sin precedentes de poder cambiar la historia de la humanidad.

En la actualidad Internet es la posibilidad de interconectar a los diferentes actores de la sociedad en forma inmediata, por medio de mecanismos de transmisión sencillos para los usuarios, con costos razonables, la mayoría de las veces sin necesidad de concurrir a lugares especiales para acceder a sus contenidos (salvo casos particulares). Este medio permite disseminar información sin importar la ubicación geográfica de sus reservorios o en qué lugar del planeta van a ser recuperados esos datos; involucrando tanto a personas como a instituciones,

empresas, organizaciones, y a todo otro tipo de actores de la sociedad del conocimiento en la que estamos sumergidos.

La red Internet representa uno de los ejemplos más claros de lo que se puede obtener cuando la inversión en un sector es sostenida, y la sociedad asume con seriedad el compromiso para investigación y desarrollo puesto al servicio de la humanidad, y orientado a mejorar la infraestructura de la información. De esta manera, los conocimientos que se generan son compartidos por países, universidades, comunidades, instituciones y otros diversos actores de la sociedad.

En el presente la red es una infraestructura para el manejo de la información extendida, con una historia compleja, que involucra aspectos tecnológicos, organizativos y comunitarios; y estamos convenidos de que todavía no vimos lo mejor.

1.8.2 Antecedentes históricos

En 1958, como respuesta al lanzamiento en la Unión Soviética del primer satélite terrestre conocido como Sputnik, Estados Unidos creó de inmediato ARPA (*Advanced Research Projects Agency*, Agencia de Proyectos Avanzados de Investigación), para encaminarse en las investigaciones que habían llevado a ese acontecimiento, que sin duda marcó un hito histórico en las exploraciones espaciales.

Dentro de las tareas que esa agencia realizaba se desarrollaban estudios sobre computadoras a los efectos de dar solución al problema de interconectar las máquinas que tenían instaladas en varias universidades que trabajaban para ella. Estas universidades, además, desarrollaban otros muchos proyectos de investigación en variados campos y sus laboratorios se encontraban diseminados a lo largo y ancho del territorio de ese país. De allí la necesidad de contar con una red de interconexión que cumpliera dos premisas básicas. Una, que cubriera un área geográfica extensa; y otra, que fuera transparente a los tipos de marcas y sistemas operativos de los distintos equipos, que cada punto de la red científica tuviera instalados.

La red se creó a finales de la década del sesenta con el nombre de ARPANET. Se financió con fondos del Ministerio de Defensa de Estados Unidos (DoD, *Department of Defense*), y la primera información pública sobre ella se dio a conocer en 1969.

En ese año se describió como una red de carácter experimental, que tenía conectados cuatro nodos, el primero se conectó en el Centro de Mediciones de Redes de la UCLA (*University of California, Los Angeles*, Universidad de California, Los Ángeles). En septiembre de 1969, un mes después, se conectó el segundo en el Instituto de Investigaciones de Stanford (SRI, *Stanford Research Institute*); el tercer nodo se conectó en la UCLA en la ciudad de Santa Bárbara y el cuarto en la Universidad de Utah. Durante los años siguientes, se fueron agregando rápidamente más computadoras a la red. El primer mensaje de *host* a *host* se transmitió a finales de 1969.

El proyecto ARPANET se creó sobre la base de tres trabajos de investigación independientes. Uno de ellos era un documento de 1964 sobre redes de conmutación de paquetes para transmisión segura de la voz en medios militares. Basado en este estudio, corrió el falso rumor según el cual el proyecto ARPANET se relacionaba con la creación de una red que pudiera resistir una guerra nuclear. Esto no fue así. Sin embargo, en los trabajos posteriores realizados en el proyecto ARPANET, se buscó la interconexión de redes destacando la necesidad de que esta tuviera robustez y capacidad de supervivencia, incluida la capacidad de soportar caídas de grandes porciones de cualquiera de las distintas redes que la constituyan.



ARPANET es un acrónimo, tomado del nombre original de la agencia del gobierno de Estados Unidos que impuso ARPA, que en la actualidad se denomina DARPA (*Defense Advanced Research Projects Agency*, Agencia de Proyectos de Investigación Avanzados de Defensa); el resto del acrónimo (NET) proviene de la palabra en inglés *network* (red).



En ARPANET, y luego en Internet, se entiende por nodo a cada equipo terminal de datos conectado a una red. En telecomunicaciones se prefiere hablar de nodos cuando se trata de equipos de conmutación.



La interconexión entre redes se conoce por la palabra *internetting*.

Esta red utilizó por primera vez una nueva idea en el campo de las telecomunicaciones que se denominó **comutación de paquetes**. Esta nació de los trabajos de Leonard Kleinrock, investigador al que se podría llamar “padre” de esta tecnología.

El 31 de mayo de 1961 Kleinrock presentó su proyecto de tesis de doctorado en el Departamento de Ingeniería Eléctrica del Instituto Tecnológico de Massachussets, al que llamó *Information Flow In Large Communications Nets* (Flujos de información en redes extensas de comunicaciones). Su proyecto fue aprobado en 24 de julio de ese año y eso le permitió completar esos estudios en 1963. En 1964 la editorial McGraw-Hill publicó un libro sobre sus trabajos, que se denominó *Communications Nets* (Redes de comunicaciones) y en su momento fue un clásico sobre redes de paquetes.

En sus comienzos, los enlaces se efectuaban sobre líneas analógicas arrendadas tomadas de la red telefónica comutada (RTC), que comunicaban solo a unos pocos cientos de computadoras en el territorio continental de Estados Unidos. Al principio la red experimentó muchos inconvenientes de tipo técnico relacionados con el diseño de los protocolos de comunicación. Estos eran lentos y muy poco eficientes. Por ello, se abordó el diseño de protocolos nuevos con el objeto de agilizar las comunicaciones de la red.

Para poner en funcionamiento la Red, se necesitaba la construcción de un conmutador de paquetes que primero debía especificarse de manera correcta y luego, diseñarse. Las normas estuvieron terminadas en 1968, y al año siguiente, se encargó a una empresa de la localidad de Cambridge, llamada BBN (Bolt, Beranek y Newman) que diseñe, especifique, construya y ponga en funcionamiento el primer conmutador de paquetes para la red ARPANET. La construcción se efectuó utilizando una minicomputadora de la empresa Honeywell. El primer conmutador de paquetes de la red se denominó IMP (*Interface Message Processor*, Interfaz para el Procesamiento de Mensajes).

A los efectos de contar con el software de comunicaciones necesario que posibilitara la intercomunicación de los conmutadores de paquetes IMP, desarrollados por BBN, en 1970 un investigador de la Universidad de California, Steve Crocker, diseñó un protocolo que se denominó *network control protocol* (NCP, protocolo de control de la red). A partir de 1971, los IMP se interconectaron entre sí utilizando este primer protocolo de interconexión de la red. En octubre de 1972, se organizó la ICC (*International Computer Communication Conference*) en la que Robert Kahn hizo una demostración exitosa sobre ARPANET, que fue la primera demostración pública de la nueva red.

El protocolo NCP diseñado por Crocker no tenía la funcionalidad que permitiera la interconexión independiente de las distintas redes interconectadas en ARPANET. Esto llevó a Kahn, que trabajaba en la misma universidad, a desarrollar un protocolo nuevo que pudiera solucionar los problemas que presentaba NCP. Para ello, a comienzos de 1973 invitó a Vinton Cerf a trabajar en conjunto con él para tratar de diseñar protocolos más eficientes, aprovechando la experiencia de Cerf, que ya había trabajado en la elaboración de Protocolo NCP.

La primera versión de sus trabajos con marcado éxito se presentó en septiembre de 1973 en una conferencia a la que Cerf había sido invitado para presidirla. Se realizó en la Universidad de Sussex, Inglaterra, con motivo de la reunión del INWG (*International Network Working Group*, Grupo de trabajo internacional en redes). Por último, en mayo de 1974, **Vinton Cerf** y **Robert Kahn** propusieron un nuevo núcleo para un conjunto de protocolos que luego sirvieron de base al desarrollo de lo que hoy se conoce como TCP/IP (*Transmission Control Protocol/Internet Protocol*). Se efectuó la publicación completa de ellos, en *Transactions of Communications* [CEKA74] de la IEEE de ese mes.

En 1984 el Ministerio de Defensa de Estados Unidos dividió la red así concebida en dos diferentes: una que mantuvo el nombre de ARPANET y otra nueva, restringida, de carácter y uso militares que se llamó MILNET. Ambas usaban la misma tecnología y estaban conectadas entre sí, pero el tráfico entre ellas se controló de manera rigurosa. La red MILNET luego se extendió a Europa con el nombre de MINET.

Una política abierta permitió que a esta red se fuesen conectando poco a poco instituciones académicas y comerciales, que utilizaban los mismos protocolos abiertos TCP/IP. ARPANET fue usada como base de una red que crecía cada día más, y que comenzó a llamarse *World Wide Internet* o simplemente por su última palabra, *Internet*.

1.8.3 Funcionamiento de la red

1.8.3.1 Definición de la red Internet

La red Internet se podría definir como: una red internacional formada por un conjunto de varias redes independientes, operadas en forma autónoma, que están interconectadas por medio de protocolos y procedimientos normalizados como estándares de Internet, que permiten comunicaciones entre dos equipos terminales *host-to-host* de cualquier par de máquinas que pertenezcan a algunas de las redes que la integran.

1.8.3.2 Equipos que integran Internet y esquema de su topología

Teniendo en cuenta los protocolos TCP/IP, Internet está básicamente compuesta por tres tipos de elementos constituyentes:

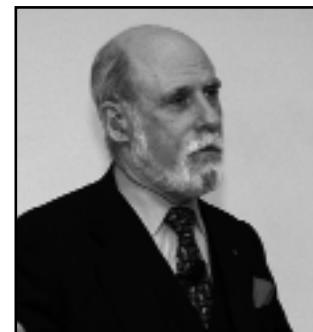
Equipos terminales de datos (en inglés, *host*, con independencia del tamaño que tengan). Son los dispositivos que teniendo una dirección IP, permiten su direccionamiento dentro de la red. Trabajan con los protocolos normalizados antes señalados. En cuanto a sus tamaños, pueden variar desde una simple computadora personal portátil a un aparato de gran porte (*mainframes*). Pueden incluir impresoras, escáneres, unidades de almacenamiento masivo, etcétera.

Routers o gateways, en algunos lugares se los llama por su palabra en español: *enrutadores*. En este caso, se prefiere no realizar la traducción de la palabra porque el vocablo en español es confuso y tiene poco uso. Sin embargo, puede denominarse como comutadores de paquetes. Los mismos son equipos que permiten conectar dos redes o más. En general, se trata de dispositivos especiales, gobernados por uno o varios procesadores, que están diseñados y programados para permitir lo que en comunicaciones se denomina en términos generales comutación. Su misión es orientar y gestionar el tráfico de paquetes; así, conocida la dirección de destino, permiten que los paquetes generados en un equipo fuente lleguen al equipo colector.

Redes. Son conjuntos de equipos terminales de datos administrados en forma unívoca, que pueden conectarse a través de vínculos de comunicaciones, como cables de cobre, cables coaxiales, enlaces de microondas, fibras ópticas (más modernas), a otros equipos similares ubicados en otras redes diferentes de las mismas características, mediante equipos routers que facilitan las tareas de comutación indispensables para la interconexión.

Cada una de estas redes consideradas como un solo conjunto integrado conforma la red Internet. En cada una de ellas, se pueden utilizar distintos conceptos de diseño, en general basados en las diferentes posibilidades tecnológicas disponibles y teniendo en cuenta las distancias a cubrir. Los distintos vínculos de alta capacidad que unen las diferentes redes que conforman en su conjunto la red Internet reciben el nombre de *backbone*.

En la Fig. 1.11., se observa un esquema de varias redes de distintas características que se unen a un *backbone* nacional a los efectos de interconectarse entre sí a ese nivel. Si las comunicaciones se dirigieran hacia otros destinos fuera del país, la interconexión se haría



Vinton Cerf (Connecticut, 1943). Se graduó como Bachelor en Matemática en la Universidad de Stanford en 1965 y se doctoró en la Universidad de California, Los Ángeles, en 1972. Se desempeñó en esa universidad en el primer nodo que integró la red ARPANET. Junto a Robert Kahn diseñó la suite de protocolos TCP/IP. En 1982 fue uno de los fundadores de la ISOC.



Robert Kahn (Nueva York, 1938). Se doctoró en la Universidad de Princeton en 1964. Trabajó en Bell Laboratories y fue profesor en el MIT. En 1972 se incorporó en el Proyecto DARPA. Junto con Vinton Cerf, fueron los inventores de los protocolos TCP/IP. Es Miembro de Número de la Academia Nacional de Ingeniería de Estados Unidos.



Se entiende por equipo terminal de datos o *host* a todos aquellos dispositivos que admiten una dirección IP y, por lo tanto, son direccionables dentro de la red (excluyendo los equipos routers dedicados).



Las direcciones IP corresponden en realidad a las interfaces de los equipos con las redes; así, si un equipo está conectado a dos redes, tendrá dos interfaces y, por consiguiente, dos direcciones IP.



Para más información de IPv4 e IPv6 consultar RFC 791 de septiembre de 1981, estandarizado por el DoD como MIL-STD-1777 y RFC 4291 de febrero de 2006.

desde un punto de presencia nacional a otro del país destino. Si fuera necesario conocer los datos sobre cómo alcanzar una ETD se podría dar el caso de que la comunicación llegara hasta una computadora denominada raíz-raíz que tiene todos los dominios de la red registrados.

1.8.3.3 Identificación de los equipos en la red

Como toda red de comunicaciones, Internet debe identificar todos los equipos terminales o host conectados a ella en forma única. Esta identificación es la que luego utilizará el IP (*Internet Protocol*) para posibilitar la función de conmutación.

Una de las características más notables de la red es que cada host tiene asignado un número que lo identifica dentro de ella, que se denomina dirección IP, compuesto por 32 bits en la versión que se denomina IPv4. Estos dígitos binarios, considerados como un solo conjunto de ceros y unos, representan un valor numérico en la aritmética de base dos.

Estas direcciones, se suelen representar por motivos prácticos de identificación por medio de cuatro números decimales separados por puntos, y que pueden variar entre 0 y 255. Por ejemplo, podría analizarse esta dirección: 157.92.1.5. Si transformamos cada dígito decimal en un número binario veríamos que 157 es igual a "0101 1101", 92 a "0101 0110", 1 a "00000001", y 5 a "00000101". Por lo tanto, la dirección 157.92.1.5 en realidad para el protocolo Ip es la siguiente: "01011101 01010110 00000001 00000101".

Se observa entonces cómo un número decimal de tres cifras comprendidas entre 0 y 255 permite representar todas las combinaciones posibles de 8 bits. Por lo tanto, con cuatro números de tres cifras cada uno se pueden representar cuatro conjuntos de ocho bits, que precisamente representan una dirección IP de 32 bits.

En la nueva versión denominada IPv6 se agregan doce octetos más, lo que hace que tenga 128 bits, lo que hará un total de 16 octetos. También en esta nueva versión se ha buscado representar de una manera simple las direcciones en forma de grupos de números, separados en este caso por dos puntos, de modo de hacer más sencilla la identificación de las direcciones también en un lenguaje más claro.

En este caso en lugar de números decimales se utilizan números hexadecimales. Estos por lo general son representados por los comprendidos del 0 al 9, más las letras a, b, c, d, e y f para los números que van del 10 al 15. Los números hexadecimales tienen la característica de que cuatro de ellos permiten representar todas las combinaciones de 16 bits. Por lo tanto, con 8 números hexadecimales se podrán representar los 128 bits que tienen las nuevas direcciones de este protocolo, dado que cada uno de los 8 números hexadecimales permite representar, como se expresó, 16 bits.

De esta manera a medida que este protocolo se vaya generalizando se solucionará de manera definitiva el problema de la cantidad de direcciones disponibles en la red, que con el protocolo IPv4 estaban quedando escasas.

Obsérvense las cantidades de direcciones que uno y otro protocolos tienen disponibles:

$$\text{Protocolo IPv4} = 2^{32} = 4.294.967.296$$

$$\text{Protocolo IPv6} = 2^{128} = 340.282.366.920.938.463.463.374.607.431.768.211.456$$

Un ejemplo de una dirección IPv6, que se ofrece en el documento de Internet RFC 4291 es el siguiente: abad: ef01: 2345:6789:abad:ef01:2345:6789. En los problemas resueltos de este capítulo, se describe la forma de transformar esta manera de identificación en los 128 bits que corresponden a la dirección expuesta.

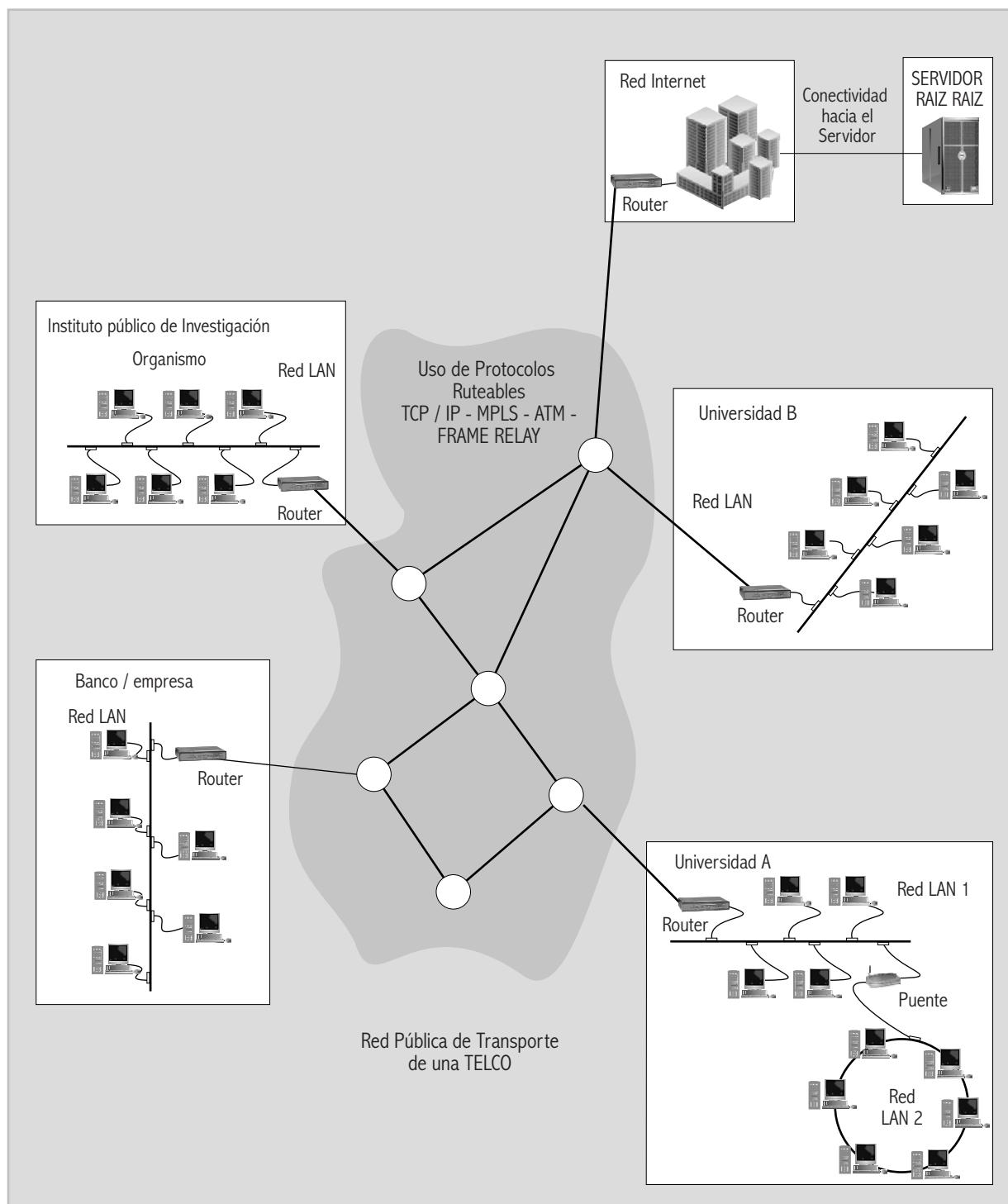


Fig. 1.11. Esquema de la formación de la red Internet mediante la interconexión de subredes.

Pese a estas formas para manejar las direcciones IP de manera más simple y práctica, tampoco esta notación es fácil de recordar. Por este motivo se utilizan nombres para individualizar los host, que con posterioridad se traducen en direcciones numéricas en el momento de utilizarse en la red, mediante lo que se llama *servidor de resolución de nombres de dominio*.

La tarea se realiza por un procedimiento jerárquico que se denomina DNS (*Domain Name System*, Sistema de nombres de dominio), que utiliza nombres separados por puntos. Para escribir las direcciones se comienza de derecha a izquierda escribiendo primero los denominados *dominios de alto nivel* y a su izquierda se van agregando subdominios cada vez más específicos, hasta identificar en forma única el nombre del host al que se quiere referenciar. Los dominios de alto nivel se clasifican en dos tipos, que se observan en la Tabla 1-1.

Tabla 1-1 Tipo de dominio de alto nivel

<i>En español</i>	<i>En inglés</i>	<i>Abreviatura utilizada</i>
Dominios de alto nivel genéricos	Generic Top Level Domain	<i>gTLD</i>
Dominios de alto nivel geográficos	Country Code Top Level Domain	<i>ccTLD</i>

Los dominios de alto nivel genéricos a su vez se dividen en dos tipos: sin sponsors (patrocinadores) y con sponsors. En la Tabla 1-2, se indican los *dominios de primer nivel genéricos* vigentes a principios de 1997.

Tabla 1-2 Identificación de dominios de alto nivel genéricos iniciales

<i>gTLD</i>	<i>Asignado a</i>	<i>Limitaciones</i>	<i>Autoridad de asignación de dominios</i>
edu:	Organizaciones educativas acreditadas por EE.UU.	Limitado	Educause
com:	Organizaciones comerciales.	Ilimitado	VeriSign Global Registry Services.
gov:	Organizaciones gubernamentales de EE.UU.	Limitado	US General Services Administration
mil:	Fuerzas Armadas de los EE.UU.	Limitado	DoD Network Information Center.
net:	Redes de proveedores de Servicios de Internet.	Ilimitado	VeriSign Global Registry Services.
org:	Organizaciones no comerciales.	Ilimitado	Public Interest Registry.
int:	Organismos internacionales reconocidos por tratados.	Limitado	Registro de Dominios de IANA

A partir de 2001 se fueron autorizando otros dominios de este tipo, algunos con el concepto de contar con sponsors. En la Tabla 1-3, se observa cuáles fueron agregados a los iniciales.

En cuanto a los ccTLD (*country code Top Level Domain, dominios de alto nivel geográfico*), conocidos por su abreviatura o su expresión en inglés, están constituidos por las dos letras asignadas a cada país según la norma ISO-3166. En particular, los utilizados para los países de habla española, portuguesa o que están ubicados en América y las antillas son los indicados en la Tabla 1-4.

Tabla 1-3 Identificación de dominios de alto nivel genéricos complementarios

<i>gTLD</i>	<i>Asignado a</i>	<i>Autoridad de asignación de dominios</i>
▪ biz:	Exclusivamente a organizaciones de negocios	NeuLevel Inc.
▪ info:	Utilizado para servicios de información	Afilias Limited.
▪ name:	Reservado para nombres de personas	Global Name Registry.
▪ pro:	Organizaciones militares de los Estados Unidos	DoD Network Information Center.
▪ aero:	Con Sponsor. Reservado a organizaciones del transporte aéreo	Société Internationale de Télécommunications Aéronautiques - SITA.
▪ coop:	Con Sponsor. Reservado para asociaciones cooperativas	Dot Cooperation LLC
▪ cat:	Con Sponsor. Reservado para la comunidad lingüística catalana	Fundación puntCat
▪ jobs:	Con Sponsor. Reservado a gerentes de recursos humanos	Employ Media LLC
▪ mobi:	Con Sponsor. Reservado a consumidores, proveedores de móviles	mTLD Top Level Domain Ltd.
▪ travel:	Con Sponsor. Organizaciones gubernamentales de los Estados Unidos	VeriSign Global Registry Services.
▪ pro:	Reservado a profesionales y entidades relacionadas	Public Interest Registry.
▪ museum:	Con Sponsor. Reservado para actividades con la industria del turismo	Tralliance Corporation

Tabla 1-4 Identificación de dominios de alto nivel genéricos geográficos

<i>ccDLD</i>	<i>País</i>	<i>Ubicación</i>	<i>ccDLD</i>	<i>País</i>	<i>Ubicación</i>
.ca	Canadá	América del norte	.cu	Cuba	Caribe
.us	Estados Unidos		.do	República Dominicana	
.mx	México		.ht	Haití	
.ar	Argentina		.pr	Puerto Rico	
.bo	Bolivia		.ag	Antigua y Barbuda	
.br	Brasil		.ai	Anguila	
.cl	Chile		.aw	Aruba	
.co	Colombia		.bb	Barbados	
.ec	Ecuador		.bs	Bahamas	
.gy	Guyana		.dm	Dominica	
.pe	Perú		.gd	Grenada	
.py	Paraguay		.jm	Jamaica	
.sr	Surinam		.kn	Saint Kitts and Nevis	
.uy	Uruguay		.ky	Islas Caimán	
.ve	Venezuela		.ic	Santa Lucía	
.gf	Guyana francesa		.ms	Monserrat	
.es	España	Europa	.tt	Trinidad y Tobago	América central
.pt	Portugal		.vc	San Vicente y las Granadinas	
.bz	Belice	América central	.ni	Nicaragua	
.cr	Costa Rica		.pa	Panamá	
.gt	Guatemala		.sv	El Salvador	
.hn	Honduras		.gq	Guinea Ecuatorial	Africa

Por lo general, estos dominios son administrados por cada uno de los países que los detentan. En algunos casos ellos solo registran host de personas o instituciones que pertenecen exclusivamente al propio país. En otros casos hay naciones que admiten pedidos de registro de no residentes en ellas. En muchas circunstancias los países suelen adicionar a su dominio de alto nivel geográfico un subdominio tomado de la lista de dominios de alto nivel genéricos, aunque no siempre ocurre así.

Por último se debe identificar el host en forma inequívoca a la izquierda de todas las denominaciones, según la modalidad adoptada en cada caso.

La mayoría de los host situados en Estados Unidos utilizan solamente los dominios de primer nivel genéricos (en muy pocos países se usa este método). Un ejemplo podría ser del tipo: home.netscape.com. En este ejemplo, home es el nombre del servidor de la empresa netscape, registrado en el dominio de alto nivel genérico .com. Para ello la empresa debió registrar el nombre netscape en ese dominio genérico, y luego asignarle a ese servidor el nombre "home", entre las direcciones IP que tenía asignadas y disponibles.

Sin embargo, algunos usuarios de Estados Unidos prefieren utilizar el dominio geográfico .us, precedido por el código de dos letras con el nombre de la localidad o el Estado en que se encuentran ubicados. Otro ejemplo de este caso podría ser el siguiente: **ns.sf.ca.us**. Se trataría de un *host de nombre ns*, que se encuentra en la ciudad de San Francisco, .sf, en el Estado de California, .ca.

En lo que respecta a distintos usos en el resto de los países, se utilizan directamente los dominios geográficos, que son los casos más comunes, que usan todos los países a excepción de Estados Unidos.

En muchos países, como Australia, el Reino Unido, México, Argentina, se anteponen casi siempre los *dominios de primer nivel genéricos* a los *dominios geográficos*. Un host situado en Australia podría tener una dirección de este tipo: **stella.edu.au**, donde **stella** es el nombre del servidor registrado en el subdominio de educación de Australia. Otro ejemplo, podría ser el host de la editorial de esta obra, situado en México que podría tener una dirección de este tipo: **apolo.alfaomega.com.mx**, donde **apolo** es el nombre del servidor de la empresa **Alfaomega**, registrado en el subdominio **.com** bajo el dominio geográfico **.mx**, de México.

Por último, en muchos países hay una mezcla de ambos tipos de direcciones. Por ejemplo, En Argentina algunas universidades, como la Universidad de Buenos Aires, ponen sus dominios específicos directamente antes del *dominio geográfico* y no emplean un dominio de primer nivel, mientras que otras, como la Universidad Nacional de La Plata, utilizan un subdominio del tipo de los *dominios de primer nivel genéricos* antes del dominio geográfico. Así, la primera utiliza la dirección www.uba.ar y la segunda, www.fi.unlp.edu.ar.

Por otra parte, para el funcionamiento correcto de la red es imprescindible que haya servidores que almacenen todos los registros de todas las direcciones y los dominios otorgados en la red. De esta manera se puede lograr una administración correcta de la función de conmutación, es decir que cuando un usuario de un host requiera conectarse con otro, los comutadores de paquetes o routers que tengan que encaminar el enlace conozcan de qué forma deben circular para llegar a su destino final.

Los protocolos de Internet están desarrollados para que cada equipo conectado a ella tenga una sola dirección, por lo general, denominada con el nombre del protocolo de red llamado IP. Los nombres de dominio solo cumplen una función nemotécnica a los efectos de poder recordarlos con más facilidad.

No obstante, para ubicar la dirección sobre la base del dominio, Internet posee un DNS. Este es un sistema de bases de datos, distribuidas y ordenadas en forma jerárquica, que permite, mediante un conjunto de palabras o de cadenas de letras con las que se conoce un equipo, hallar su dirección IP. Así, ante una dirección del tipo www.internic.net el citado sistema permite que se pueda llegar a ella, que en este ejemplo sería 207.151.159.3.

Para lograr este tipo de resultados, se utilizan miles de computadoras ubicadas en lugares estratégicos de la red, por lo general operadas por los proveedores de servicios de Internet (*Internet service providers*), que se denominan *domain name resolvers*, expresión que no convendría traducir, pero que se puede interpretar como equipos que ayudan a analizar las direcciones de nombres, y encontrar a partir de ellas las direcciones IP.

Pese a ello sucede que en muchos casos, para encontrar y resolver una dirección es necesario llegar a ciertos servidores que se denominan "raíz". Ellos son los que contienen la totalidad de las direcciones de la red. Esta información es crítica, porque es la única manera de acceder siempre y en forma unívoca a la dirección de un host. Por esta causa estos equipos raíz son especialmente administrados y están replicados de manera estratégica en la red de forma de evitar que la caída de alguno de ellos no signifique paralizar el funcionamiento de Internet.

La responsabilidad del funcionamiento de estos equipos es de un organismo que se denomina ICANN (*Internet Corporation for Assigned Names and Numbers*) que cuenta con el asesoramiento de un comité especial llamado DNS (*Root Server System Advisory Committee*).

En la actualidad hay 13 servicios de raíz distribuidos en Internet, cada uno a cargo de un operador perfectamente identificado, y con una única dirección IP (Tabla 1-5). En algunos casos, estas direcciones se comparten en varios equipos que replican el servicio para hacerlo más ágil en varias ubicaciones geográficas diferentes, pero siempre operadas por el mismo grupo autorizado. Algunos trabajan solamente como servidores raíz del protocolo IPv4 y otros, además, con el nuevo IPv6.

1.8.4 Organizaciones que trabajan para Internet

1.8.4.1 La Internet Society

Internet no tiene una autoridad única, llámese presidente, directorio, o más concretamente alguien con esa misión específica de dirigirla. Esto podría dar lugar a que en realidad pareciera que la red se maneja sin conducción alguna. Sin embargo, no es tan así, y de hecho hay varias organizaciones que trabajan en forma coordinada, que hacen que la red funcione de manera continua, eficiente y sin mayores inconvenientes.

Una de ellas es la ISOC (*Internet Society*) constituida como una organización no gubernamental, sin fines de lucro. Se fundó 1991 y procedió a registrar su estatuto, que formalizó su constitución, en enero de 1992 ante las autoridades judiciales del Distrito de Columbia, Estados Unidos. La pertenencia a ella es voluntaria y sus miembros pueden ser individuos o empresas. Su conducción está a cargo de una junta administrativa denominada *Board of Trustees*, constituida por un presidente, un vicepresidente, un secretario, un tesorero y una secretaría, y desde el punto de vista funcional depende de un director ejecutivo. También hay un consejo asesor y varios comités que se dedican cada uno de ellos a actividades específicas.

La *Internet Society* se ha fijado como misión: asegurar el desarrollo de la red; permitir que pueda utilizarse para beneficio de todas las personas del mundo; garantizar su existencia; ser un centro de cooperación y coordinación global para el desarrollo de protocolos y estándares compatibles; asegurar la evolución, y propender al uso de estándares abiertos.



Si bien las redes que forman Internet pueden tener una autoridad única, la red de redes en sí no tiene un organismo de dirección como una empresa o un país.



La Sociedad Internet (ISOC) tiene sus oficinas en la ciudad de Reston, Estado de Virginia, Estados Unidos.

Tabla 1-5 Lista de servidores raíz de la red Internet

<i>Servidor</i>	<i>Operado por</i>	<i>Ubicación</i>	<i>Direcciones IP</i>
A	VeriSign Naming and Directory Services	Dulles, Virginia, EE.UU.	IPv4:198.41.0.4
B	Information Sciences Institute	Marina Del Rey, California, EE.UU.	IPv4: 192.228.79.201 IPv6: 001:478:65::53
C	Cogent Communications	Herndon, Virginia; Los Ángeles; Nueva York y Chicago	IPv4:192.33.4.12
D	University of Maryland	College Park, Maryland, EE.UU.	IPv4:128.8.10.90
E	NASA Ames Research Center	Mountain View, California, EE.UU.	IPv4:192.203.230.10
F	Internet Systems Consortium, Inc.	Opera 37 sitios: Ottawa; Palo Alto; San José, Nueva York; San Francisco; Madrid; Hong Kong; Los Ángeles; Roma; Auckland; San Pablo; Beijing; Seúl; Moscú; Taipei; Dubai; París; Singapur; Brisbane; Toronto; Monterrey; Lisboa; Johannesburgo; Tel Aviv; Jakarta; Munich; Osaka; Praga; Amsterdam; Barcelona; Nairobi; Chennai; Londres; Santiago de Chile; Dhaka; Karachi y Turín.	IPv4: 192.5.5.24 IPv6: 2001:500::1035
G	U.S. DOD Network Information Center	Viena, Virginia, EE.UU.	192.112.36.4
H	U.S. Army Research Lab	Aberdeen, Maryland, EE.UU.	IPv4: 128.63.2.53 IPv6: 2001:500:1::803f:235
I	Autonomica/NORDUnet	Opera 29 sitios: Estocolmo; Helsinki; Milán; Londres; Génova; Amsterdam; Oslo; Bangkok; Hong Kong; Bruselas; Frankfurt; Ankara; Bucarest; Chicago; Washington DC; Tokio; Kuala Lumpur; Palo Alto; Jakarta; Wellington; Johannesburgo; Perth; San Francisco; Nueva York; Singapur; Miami; Ashburn (EE.UU.); Mumbai y Beijing	IPv4:192.36.148.17
J	VeriSign Naming and Directory Services	Opera 21 sitios: Dulles, Virginia (2 ubicaciones); Sterling Virginia (2 ubicaciones); Mountain View, California; Seattle; Washington; Atlanta, Georgia; Los Ángeles, California; Sunnyvale, California; Amsterdam; Estocolmo; Londres; Tokio; Seúl; Singapur; Sidney; San Pablo; Brasilia; Toronto y Montreal	IPv4:192.58.128.30
K	Reseaux IP Europeens -Network Coordination Centre	Londres; Amsterdam; Frankfurt; Atenas; Doha; Milán; Reykjavík; Helsinki; Génova; Poznan; Budapest; Abu Dhabi; Tokio; Brisbane; Miami; Delhi; Novosibirsk.	IPv4: 193.0.14.129 IPv6: 2001:7fd::1
L	Internet Corporation for Assigned Names and Numbers	Los Ángeles, California, EE.UU.	IPv4:198.32.64.12
M	WIDE Project	Tokio; Seúl; París y San Francisco.	IPv4:202.12.27.33 IPv6: 2001:dc3::35

Para ello prestó su apoyo jurídico y fiscal a un conjunto de organizaciones, que si bien están bajo su órbita, poseen una libertad de trabajo muy amplia y son independientes. Ellas se constituyeron para cubrir necesidades de la red, y en el presente cumplen un papel fundamental en la estructura mundial de Internet. Algunas tienen una constitución refrendada en la justicia y otras funcionan de hecho y apoyadas por la *Internet Society*.

Estas organizaciones son las siguientes:

- *Internet Engineering Task Force (IETF)*
- *Internet Architecture Board (IAB)*
- *Internet Engineering Steering Group (IESG)*
- *Internet Research Steering Group (IRSG)*
- *Internet Research Steering Group (IRTF)*
- *RFC Editor*

La *Internet Society* tiene una fuerte interacción con la *Internet Corporation for Assigned Names and Numbers (ICANN)*. Con el IANA asignan y mantienen la base de datos de direcciones de red y nombres de dominio, que son necesarios para el funcionamiento de Internet.

1.8.4.2 Internet Architecture Board (IAB)

La IAB (*Internet Architecture Board*) fue constituida estatutariamente por la *Internet Society* como una de sus organizaciones especiales en junio de 1992. Su origen se remonta a 1979, época en que Vinton Cerf aún trabajaba en el Proyecto DARPA y había procedido a constituir un comité técnico consultor con funciones bastante similares a las actuales. En esa oportunidad este se denominó ICCB (*Internet Configuration Control Board*).

Su misión es supervisar la arquitectura de la red, incluidos sus protocolos y otros estándares. Actúa como organismo técnico de decisión final para controversias que pueda haber dentro del IESG (*Internet Engineering Steering Group*). Sus decisiones solo están sujetas a una apelación única ante el *Board of Trustees* de la ISOC.

También desarrolla las siguientes actividades:

- Aprueba las designaciones que propone el Comité de Nominaciones, denominado Nomcom.
- Actúa como última instancia ante una apelación a una decisión tomada por el IESG.
- Nombra y supervisa al editor de los RFC (*Request for Comments*).
- Aprueba las convocatorias que efectúa el IANA.
- Es un cuerpo consultivo de la ISOC.
- Supervisa los distintos enlaces que puede efectuar el IETF con cuerpos generadores de estándares.

Está a cargo de un presidente, que recibe el nombre de *Internet Architect*, y está formada por voluntarios de una amplia y variada gama de organizaciones gubernamentales, comerciales, educativas, etc., pero que solo actúan a título personal. Esta organización es autónoma, se autofinancia, aunque también recibe apoyo económico de la ISOC.

1.8.4.3 Internet Engineering Task Force (IETF)

La IETF (*Internet Engineering Task Force*, Equipo de trabajos técnicos de Internet) es un grupo conformado por técnicos, administradores de red, investigadores, usuarios y otros voluntarios. Estos se organizan en grupos de trabajo, que se dedican a discutir, definir e implementar aspectos técnicos de la red, como protocolos, especificaciones y tecnologías necesarias para su funcionamiento. Estos grupos de tareas, que son de participación abierta, están

divididos en diversas áreas; por ejemplo, aplicaciones, Internet, encaminamiento, transporte, servicios a los usuarios y otras.

El IETF no es una organización en sentido formal pues no tiene estatuto, personería jurídica ni directorio. Funciona como una actividad apoyada por la ISOC, que le provee muchos servicios, seguros, apoyo logístico y financiero para hacer funcionar una pequeña secretaría para la coordinación de sus actividades, administrada por un director ejecutivo.

Se organiza en unidades denominadas áreas. Cada una de ellas tiene un director (*AD, Area Director*) que pertenece al IESG, y es nominado por un comité llamado Nomcom, para su designación ulterior por el IAB (*Internet Architecture Board*). Cada área, a su vez, está formada por grupos de trabajo, denominados WG (*Work Group*), que se ocupan de estudiar aspectos muy específicos de la red. Los que desean participar de estos grupos de trabajo no necesitan una admisión formal, pueden gestionar su inclusión mediante una solicitud que puede efectuarse por correo electrónico.

La característica más relevante del IETF es que está abocado a los problemas más inmediatos que puedan necesitar tratamiento y consideración. Sus grupos de trabajo son coordinados por el denominado IESG (*Internet Engineering Steering Group*, Grupo de Iniciativas Técnicas de Internet) al que le presentan el resultado de sus trabajos para su aprobación y revisión.

Se podrían señalar como sus tareas específicas vinculadas con Internet las siguientes:

- Identificar y proponer soluciones relacionadas con problemas de índole operacional y técnico.
- Especificar, desarrollar, señalar la forma que deben utilizarse protocolos, que deben solucionar problemas de corto plazo vinculados con la arquitectura.
- Hacer recomendaciones al IESG respecto de la normalización y el uso de protocolos.
- Facilitar la transferencia de tecnología al IRTF (*Internet Research Task Force*).
- Proveer un foro de intercambios de información dentro de la Comunidad Internet entre distribuidores de equipamiento, usuarios, investigadores, contratistas de instalaciones y administradores de la red.

1.8.4.4 Internet Engineering Steering Group (IESG)

El IESG es la parte de la ISOC responsable de las actividades técnicas que desarrolla el Grupo de Tareas de Ingeniería de Internet (IETF). Administra el proceso de definición y aprobación de los estándares de la red. Para ello, se atiene a las disposiciones, las reglas y los procedimientos que al efecto dispone el Board of Trustees de la ISOC.

Esta organización ratifica o corrige los trabajos que ejecuta y presenta el IETF por medio de los distintos grupos de trabajo (WG) y se asegura que estos antes de transformarse en RFC sean correctos. Este grupo se maneja por consenso y sus tareas están vinculadas a la supervisión y el control del trabajo de los WG, cuyos directores son miembros de esta organización. En muchas oportunidades el IETF solicita a esta organización opiniones sobre el desarrollo de un trabajo en marcha determinado.

Se podría afirmar que este grupo es de gran importancia en todo lo que tiene que ver con las funciones de asesoramiento técnico, que otros organismos de Internet pueden requerir o necesitar, en muchas ocasiones en forma obligatoria y previa a la aprobación de cambios o modificaciones que hagan al funcionamiento de ella.

Sus miembros son nominados por un comité dirigido por la ISOC e integrado por muchas otras personas u organizaciones que se denominan Norcom, que con ulterioridad deben ser aprobados por el IAB.

1.8.4.5 Internet Research Task Force (IRTF)

Así como el IETF se ocupa de las tareas y las necesidades de la red en el corto plazo, las actividades de investigación y decisiones orientadas al largo plazo están a cargo de la IRTF (*Internet Research Task Force*, Equipo de investigación de Internet). Por ese motivo, no está involucrado en el proceso de elaboración de estándares para la red. Cuando en alguna de sus actividades llega a resultados a partir de los que se puede derivar la necesidad de elaborar alguna especificación técnica, traslada sus investigaciones al IETF para que continúe con este trabajo.

Este grupo de tareas está coordinado por el IRSG (*Internet Research Steering Group*), que también actúa bajo la órbita de la junta directiva de la Arquitectura de Internet. Forma grupos de investigación para cada área de interés aprobada y se organiza en Grupos de Trabajo con una estructura y una forma de operación similares a las del IETF.

El grupo de tareas para las investigaciones de Internet es otra organización formada por voluntarios, que se dedica a realizar tareas de investigación a largo plazo. A diferencia del IETF, en esta organización, dada la necesidad de que sus participantes tengan cierto nivel de aptitudes y preparación profesional, la participación en los WG no siempre es abierta a cualquier interesado. Si bien hay casos en que lo es, en otros la admisión debe ser aprobada por los directores de los grupos de trabajo.

Está dirigida por un presidente “chair” que es designado por el IAB y nominado por el Nrcom, y que debe trabajar en estrecho contacto con el IRSG. Además, supervisa y coordina los grupos de investigación y luego sus resultados suelen publicarse en revistas de investigación y técnicas de alto nivel académico.

1.8.4.6 Internet Research Steering Group (IRSG)

Este grupo actúa como consultor de las tareas que desarrolla el Grupo de Tareas para las Investigaciones de la Red Internet (IRTF). Sus miembros son los directores de los grupos de trabajo del IRTF. Se encarga de desarrollar talleres para investigar cuáles deben ser las prioridades de los temas a investigar para mejorar el funcionamiento de la red.

1.8.4.7 RFC Editor

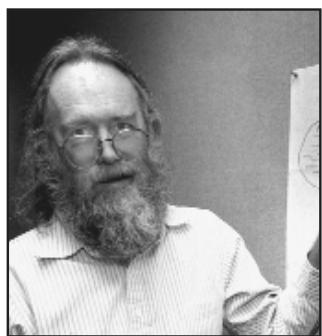
Todos los documentos producidos y vinculados a Internet se denominan RFC (*Request For Comments*), y son editados por una autoridad que se denomina RFC Editor. Ellos componen un conjunto de notas técnicas y organizativas que comenzaron a editarse en 1969 cuando comenzó la red ARPANET. Esta serie de documentos describe aspectos que hacen a la interconexión de las redes, los protocolos, los procedimientos, los programas, los conceptos, los anales de las reuniones que se realizaron, las opiniones y hasta notas de humor.

El editor de RFC es el responsable de la revisión editorial, la redacción final de los documentos y su publicación en la página correspondiente de la red, <http://rfc.net/>, en la que se encuentra la totalidad de esos documentos.

Merece un párrafo aparte la tarea que desarrolló desde su inicio hasta su fallecimiento en 1998 **Jon Postel** al que la red le honró numerosos tributos de muchas maneras por su labor esforzada y eficiente a cargo de tan importante actividad.

1.8.4.8 Proceso utilizado en Internet para la aprobación de normas y recomendaciones

El proceso de generación de estándares para la normalización y el uso en Internet es una actividad que está bajo la responsabilidad primaria de la Internet Society, que delega la administración y la organización de estas actividades en el IAB (*Internet Architecture Board*), y en el IETG (*Internet Engineering Task Group*).



Jon Postel (1943-1998). Puede definírselo como uno de los bohemios y más interesantes pioneros de Internet. Trabajó en el desarrollo de los protocolos TCP/IP desde su creación. Inauguró la serie de RFC el 7 de abril de 1969 y desarrolló la tarea de editor hasta su fallecimiento. Editó más de 2400 documentos. También tuvo a su cargo el IANA (*Internet Assigned Numbers Authority*), en la actualidad dependiente del ICANN.

Los objetivos que regulan la confección de estándares de Internet son los siguientes:

- Excelencia técnica.
- Testeo e implementación previa.
- Confección de la documentación clara, concisa y de fácil comprensión.
- Transparencia e igualdad.
- Confección de estándares en el momento oportuno.

Todos los estándares utilizados en la red son publicados por el editor mediante los denominados Request for Comments ya descriptos. Todos ellos están en la red, son de libre disposición y pueden obtenerse mediante el acceso a la página <http://www.rfc-editor.org/rfc.html>.

En la confección de estándares hay dos conceptos que tienen una importancia central para entender su proceso de realización. Ellos son:

- STATE. Se refiere al nivel de avance que tiene el desarrollo de un estándar. Las especificaciones de Internet atraviesan distintas etapas de desarrollo, prueba y aceptación. Dentro del proceso de estándares de Internet, estas etapas se denominan formalmente "niveles de madurez".
- STATUS. Está vinculado al nivel de aceptación que tiene para las autoridades de la red.

Los estatus son los siguientes:

Estándar propuesto. Es el estado inicial de un futuro estándar. Para tener este nivel inicial se consideró que es una idea que ha recibido aceptación significativa en la comunidad de Internet y por lo tanto hay interés suficiente para considerarla valiosa. Es necesario que el IETF tome una acción especial para que una propuesta alcance este primer nivel. También el IESG puede requerir la implementación o la experiencia operacional previa a otorgar el state a un estándar propuesto cuando pueda afectar materialmente los protocolos centrales que hacen al funcionamiento de Internet.

Draft estándar. Una especificación puede alcanzar el nivel Draft (provisoria) cuando al menos en dos implementaciones independientes e interoperables desde bases de código diferentes ha sido probada, para lo cual se ha obtenido suficiente experiencia operacional exitosa.

El director del grupo de trabajo (WG) que se ocupó de estudiar y desarrollar esta especificación es responsable de documentar el trabajo realizado.

Un draft estándar debe conocerse de manera adecuada y presentar una estabilidad suficiente, tanto en su semántica como en las bases para el desarrollo de una implementación.

Estándar de Internet. Una especificación será llevada a estándar de Internet cuando se haya obtenido una implementación significativa y experiencia operacional exitosa. Se caracteriza por poseer un alto nivel de madurez técnica y una creencia generalizada de que el protocolo o el servicio especificados proveen un beneficio significativo a la comunidad de Internet. Este *state* le asigna al estándar un número de serie STD, y este a su vez retiene su número RFC.

Hay especificaciones que no se encuentran en los distintos estados de madurez de la confección de estándares. A estos casos se los denomina *off-track*, fuera del proceso de estandarización, y pueden ser tres: experimentales, informativos e históricos.

Experimentales. En los casos típicos la designación de "experimentales" se refiere a una especificación que es parte de algún esfuerzo de investigación o desarrollo. Esta especificación



STD es la abreviatura de standard. Cada protocolo tiene un número de STD y además, al ser publicado, otro correspondiente al RFC.

se publica para información general en la comunidad técnica de Internet. Una especificación experimental puede ser resultado de un esfuerzo de investigación de Internet (p. ej., un grupo de investigación del IRTF), un grupo de trabajo del IETF o bien puede ser una contribución individual.

Informativos. Una especificación informativa es una publicación que tiene por objeto informar a la comunidad de Internet acerca de un asunto de interés general. No representa un consenso y tampoco se trata de una recomendación. Suele tener el propósito de facilitar la publicación oportuna de documentos de muy amplio espectro y provenientes de gran cantidad de fuentes.

Históricos. Son casos de especificaciones que precedieron a una especificación más reciente, que suelen considerarse obsoletas por cualquier otra razón.

Especificaciones técnicas y estados de aplicabilidad. En cuanto a las especificaciones técnicas sujetas a los procesos de estandarización, hay dos categorías denominadas *especificación técnica* (TS, *Technical Specification*) y *estados de aplicabilidad* (AS, *Applicability Statement*).

Se entiende por una **especificación técnica** cualquier protocolo, servicio, procedimiento, convención o formato que describe los aspectos relevantes de su objeto o puede dejar uno o más parámetros u opciones sin especificar.

Una **descripción de aplicación** es un documento que especifica cómo y bajo qué circunstancias pueden aplicarse una o más especificaciones técnicas para sostener una capacidad particular de Internet. Puede contener valores particulares o los rangos de los parámetros de las ET, o subfunciones de un protocolo que se deben implementar.

En cuanto a los niveles de requerimiento de una especificación técnica, vinculada con su status, son los que se detallan a continuación y corresponden al grado de aceptabilidad o necesidad de implementación en las redes de los usuarios.

- *Requerido (required).* Este nivel implica que la especificación técnica logre un grado de conformidad mínima. Por ejemplo, IP e ICMP pueden ser implementadas por todos los sistemas de Internet utilizando la suite de protocolo TCP/IP.
- *Recomendado (recommended).* Este nivel no requiere una conformidad mínima, pero la experiencia o el conocimiento técnico generalmente aceptado sugieren que es deseable su aplicación. Se recomienda a los proveedores que incluyan las funciones, las características y los protocolos de ellos en sus productos. Deberían omitirlas solo si se justifica esta omisión por alguna circunstancia en particular. Por ejemplo, el protocolo TELNET debería ser implementado por todos los sistemas que se beneficiarían con un acceso remoto.
- *Electivo (elective).* Su implementación es solo opcional, por lo que no hay una necesidad explícita de aplicación de la ET. Sin embargo, un proveedor particular puede decidir implementarla, o un usuario en particular puede decidir que resulta necesaria en un contexto determinado. Por ejemplo, la DECNET DIB puede considerarse valiosa en el medio donde se utiliza el protocolo DECNET.
- *De uso limitado (limited use).* En estos casos se considera apropiado su uso solo en circunstancias limitadas o únicas. Por ejemplo, el uso de un protocolo con una designación de "experimental" debería estar limitado solo a los que se encuentran activamente involucrados en el experimento.
- *No recomendado su uso (not recommended).* Se aplica cuando una especificación técnica no se considera apropiada para el uso general. Suele deberse a su funcionalidad limitada, naturaleza particular o status histórico.

1.8.4.9 Internet Corporation for Assigned Names and Numbers (ICANN)

La ICANN (Corporación de la Red Internet para la Asignación de Nombres y Números) es una organización civil internacional sin fines de lucro. Es el organismo responsable de asignar direcciones numéricas para uso del protocolo de Internet (IP), además tiene la función de gestionar y administrar el sistema de Nombres de Dominio de Primer Nivel Genéricos (gTLD), y de Códigos de Dominios de Países de Primer Nivel (ccTLD), como también el sistema de servidores raíz.

Sus misión es preservar la estabilidad operacional de Internet, promover la competencia, lograr una amplia representación de las comunidades mundiales de Internet, y desarrollar las normativas adecuadas, para que el cumplimiento de su misión se realice mediante procesos "de abajo hacia arriba" y basados en el consenso.

Más concretamente, ICANN se debe ocupar de:

- Coordinar la ubicación y la asignación de los tres conjuntos de identificación únicos de la red, que son:
 - Los nombres de dominios.
 - Las direcciones del protocolo Internet (IP) y el sistema autónomo de números (AS).
 - Los protocolos para los puertos y los números de parámetro.
- Coordinar la operación y la evolución del sistema de servidor de nombres de raíz de DNS.
- Coordinar el desenvolvimiento de una política vinculada de manera razonable y apropiada con estas funciones técnicas.

Esta organización fue creada el 18 de septiembre de 1998. Ocupa el mismo edificio en que trabajaba Jon Postel, en Marina del Rey, California, donde funciona el Instituto de Ciencias de la Información de la Universidad del Sur de California (University of Southern California); Estado bajo cuyas leyes fue registrado su estatuto.

Su constitución como organización se originó promovida por una agencia de la Secretaría de Comercio de los Estados Unidos que en enero de 1998 puso a discusión de la comunidad de Internet un documento que se denominó Green Paper en el que se proponía privatizar la asignación de direcciones numéricas, los nombres de dominio de primer nivel, como la administración del sistema de servidores raíz.

El 6 de noviembre de 1998 se formalizó su constitución mediante la aprobación de su estatuto de funcionamiento, que vincula al ICANN, por medio de contratos, con el gobierno de los Estados Unidos; se ocupa fundamentalmente de realizar y establecer las políticas de estas actividades, mientras que el trabajo técnico sigue a cargo del Internet Assigned Numbers Authority (IANA).

El IANA fue originalmente la autoridad responsable de la administración y la asignación de las direcciones IP así como las direcciones DNS, incluidos los dominios de alto nivel y el sistema de servidor de nombres de raíz. Una vez constituido el ICANN, el IANA continuó vinculado a las mismas tareas, además colabora de manera activa con el Internet Engineering Task Force (IETF).

1.8.4.10 Internet Assigned Numbers Authority (IANA)

IANA como Departamento de la ICANN es la encargada de coordinar algunos de los aspectos claves que permiten mantener la Red Internet funcionando sin problemas.

Mientras que Internet tiene como característica esencial ser una red en todo el mundo libre de la coordinación central, hay una necesidad técnica en algunas partes claves de ella que deben ser coordinadas a nivel mundial. Esa función se lleva a cabo a través de IANA. Precisamente, esta asigna y mantiene sistemas de numeración y códigos únicos que se utilizan como normas técnicas y protocolos para que la red pueda ser conducida.

Las variadas actividades del IANA pueden ser agrupadas en tres categorías:

- Nombres de dominio

En ese aspecto se ocupa entre otras actividades de:

- ser responsable de la operación y del mantenimiento de un conjunto de aspectos claves de los servicios de nombres de dominios - DNS, incluyendo los que hacen a la zona de raíz, como a la administración de los dominios de primer nivel genéricos .int y .arpa.
- coordinar, globalmente, la raíz de los DNS. Esta es la parte de más alto nivel de la jerarquía de los DNS e implica la responsabilidad administrativa de los dominios de alto nivel, los que son el último segmento de un nombre de dominio, tal como pueden ser: .edu, .com, .mx, .es, .ar, etcétera.
- mantener un número de dominios especiales que están reservados para futuros usos o administrados para propósitos de demostración.

- Recursos de numeración

Es responsable primario de la coordinación global de los sistemas direcciones del protocolo de Internet, como así también, de los Números de Sistemas Autónomos se utilizan para enrutar el tráfico de la Red.

Cabe aclarar que se ha producido el agotamiento del espacio de direcciones a partir de la década de los noventa. Previendo esta situación, se comenzó con el estudio tendiente a cambiar las direcciones IPv4 por otro esquema que resultara más eficiente, flexible y que tuviera una cantidad de direcciones disponibles muy superior a la IPv4.

Fue entonces cuando a principios de los años noventa la *Internet Engineering Task Force* (IETF) tomó el problema del IPv4 para construir un nuevo esquema que se conoce como IPng (*IP Next generation*), cuyo resultado final fue la creación del estándar IPv6, el cual ya funciona en numerosos países conectando universidades, centros de investigación, compañías, etcétera.

En la Fig. 1.12., podemos observar cómo se fue produciendo, a comienzos de 2011, el agotamiento de las direcciones IPv4 que tenía disponibles para asignar el IANA.

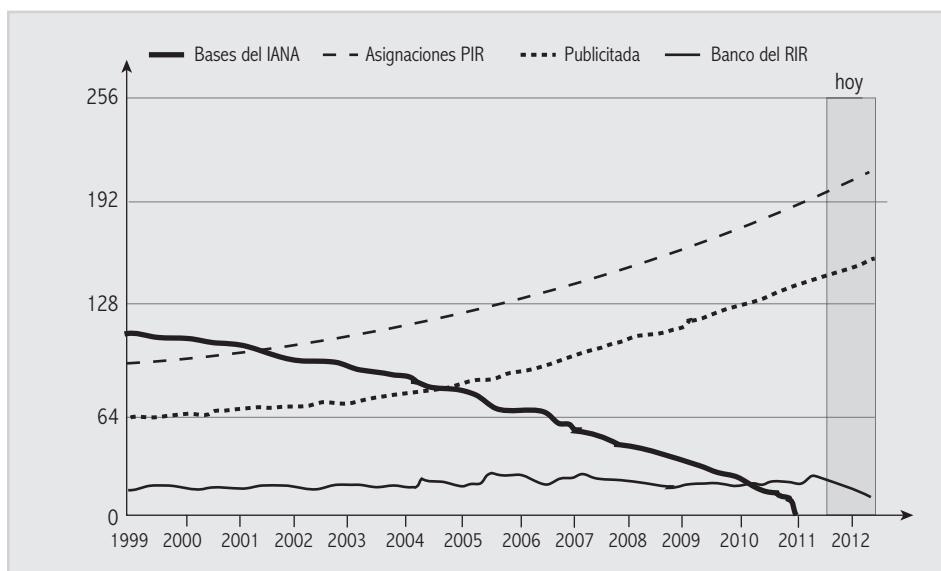


Fig. 1.12. Variación de los bancos de registros y asignación de números de Internet.

Actualmente, conviven los dos tipos de protocolo de Internet (IP). La versión 4, conocida como IPv4 que se comenzó a utilizar el 1 de enero de 1983 y sigue siendo la más popular y la versión 6, conocida como IPv6 que comenzó su distribución el 14 de julio de 1999.

Las direcciones IPv4, como se expresó en el apartado 1.8.3.1, poseen un conjunto de 32 bits que normalmente se describe con 4 números decimales (no mayores a 255) separados por un punto, como podría ser, por ejemplo, 192.0.2.53. Cada número puede ser representado por un conjunto de ocho bits, que suma los 32 que contiene cada dirección.

Las direcciones IPv6, como se expresó en el apartado 1.8.3.1, que contienen un conjunto de 128 bits cada una, se describen con ocho grupos de cuatro dígitos hexadecimales separados por dos puntos (ver RFC 4291. Existen ciertas reglas adicionales, cuando alguno de los números hexadecimales compuestos de cuatro cifras, todas ellas son ceros).

Obsérvese que un número hexadecimal cualquiera requiere para su representación cuatro bits. Luego un grupo de cuatro requerirá 16 bits para ser representado. Finalmente, ocho grupos de cuatro cifras permitirán representar 16×8 dígitos binarios. Es decir que los 128 bit que contiene una dirección IPv6, por ejemplo: a85d:ec01:2d45:6:479:ab8d:e0c1:2d45:6:b89.

Las direcciones IPv4 e IPv6 se asignan, generalmente, de una manera jerárquica. Los usuarios reciben las asignaciones de direcciones IP de los Proveedores de Servicios Internet (ISP). A su vez, los ISP obtienen los mismos de Registro Local de Internet (LIR, *Local Internet Registries*), o de Registro Nacional de Internet (NIR, *National Internet Registries*), o de su registro regional que dependerá de su ubicación geográfica. Estos últimos son conocidos como Registros Regionales de Internet (RIR).

Los Registros Regionales de Internet distribuyen las direcciones IP en cinco agencias según la zona geográfica que corresponda por delegación del IANA. Los mismos son los que se pueden observar en la Fig. 1.13.

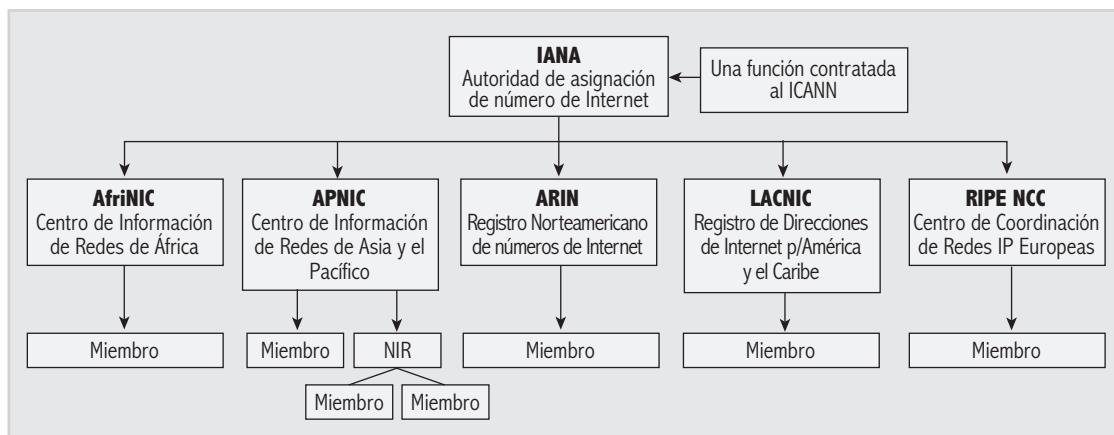


Fig. 1.13. Organismos que administran las direcciones IP.

Para América y el Caribe, la responsabilidad es de una agencia denominada *Latin American and Caribbean IP Address* (LACNIC) y para Europa la llamada *Réseaux IP Européens Network Coordination Centre* (RIPE NCC).

La Fig. 1.14. muestra, geográficamente, las zonas de responsabilidades de cada una de las agencias respectivas.

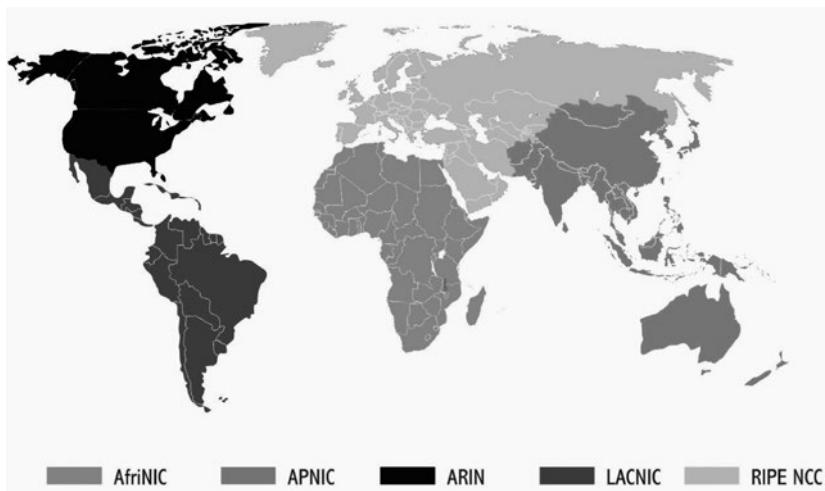


Fig. 1.14. Responsabilidades por Zonas Geográficas Registros Regionales de Internet.

La Tabla 1-6, describe la denominación y zona de influencia de los distintos Registros Regionales funcionando.

Tabla 1-6 Registros regionales de Internet

Denominación del registro	Abreviatura	Área cubierta
African Neyork Information Centre	AfriNIC	África
Asia-Pacific Network Information Centre	APNIC	Asia/Pacífico
American Registre for Internet Number	ARIN	Norte América
Latin American and Caribbean IP Address	LACNIN	América Latina y Caribe
Reseaux IP Européens Network Coordination Centre	RIPE NCC	Europa, Medio Oriente y Asia Central

- Registros de protocolos
Tiene la responsabilidad de mantener códigos y números contenidos en una variedad de protocolos de Internet.
Este servicio lo provee en coordinación con la *Internet Engineering Task Force* (IETF).

1.9 Los procesos de estandarización y los organismos de normalización

1.9.1 Consideraciones generales

La estandarización es un proceso de elaboración de normas sobre una actividad, un producto o un proceso específico con el objeto de ordenar su especificidad, simplificar los modelos de partes o sistemas, permitir la interoperabilidad de estos o la capacidad de intercambio de las partes, con el objeto de mejorar las actividades científicas, industriales o económicas al ordenarlas y potenciarlas, así como facilitar el comercio y el manejo y la transferencia de la tecnología.

La ISO lo define de la siguiente manera:

Un estándar es un acuerdo documentado que contiene especificaciones técnicas u otros criterios precisos, para ser usados en forma consistente, como definiciones, reglas o guías, con el objeto de asegurar que los materiales, productos, procesos y servicios cumplan con el propósito para el cual van ser utilizados.

En el caso particular de las comunicaciones y los equipos y sistemas computacionales, se vinieron desarrollando procesos diferentes, aunque en la actualidad, como ocurre con la tecnología y los servicios que se prestan a través de ella, hay criterios convergentes.

En la industria de las comunicaciones la normalización y la estandarización fueron preceptos seguidos con fidelidad por industriales y operadores de los servicios. Sería imposible pensar, por ejemplo, en una red telecomunicaciones como la red telefónica mundial que presta este servicio en el presente si no hubiera normas claras y únicas que permitieran la interconexión de países y operadores diferentes. El proceso casi siempre ha sido el mismo. Primero se establece la norma mediante consensos internacionales, se aprueba el estándar oficialmente, y luego se procede a la fabricación, para después proceder a su implementación por medio de los distintos equipamientos que cumplen con esta norma. En la industria de la computación el proceso ha sido inverso. Cada fabricante o desarrollador trabajó y promocionó sus resultados, y por lo general fue el mercado el que decidió cuál debe ser el estándar adecuado.

En un caso se habla de **estándar de jure**, y en el otro **estándar de facto**. Con las comunicaciones casi siempre se trabajó pensando en la primera opción; y en la computación, pensando en la segunda. También hay otro tipo de estándares confeccionados por determinados fabricantes para su línea de equipos exclusivamente, sin entrar en competencia en el mercado con terceras partes. En esos casos particulares se habla de **estándares propietarios**.

Para poner un caso que facilite una explicación, en telefonía se podría señalar el uso de un aparato telefónico. Si se tuviera que adquirir uno a nadie se le ocurriría pensar si una vez conectado en la red, va a funcionar o no. Se da por descartado que así será. Sin embargo, no se podrá instalar cualquier sistema operativo en cualquier computadora. Si el sistema operativo es propietario se necesitará un hardware adecuado para su instalación.

Cabría hacer un análisis de cuál de los dos procedimientos de trabajo es el más conveniente, útil y económico. Y aquí, como ocurre en la mayoría de los criterios que se adoptan en la ingeniería, caben distintas interpretaciones y variadas conclusiones. Para ello baste ver cómo se fueron comportando tanto las comunicaciones como la computación.

Cuando se adopta un estándar de jure, se logra un ahorro de esfuerzos, se amplía en un primer momento el tamaño del mercado y la interoperabilidad es inmediata. Sin embargo, el contrapeso es que el avance de la tecnología está en forma directa y exclusiva en manos de los que elaboran las especificaciones técnicas. Esto puede provocar un avance muy lento desde el punto de vista tecnológico y científico, pero resulta económico y útil para el usuario.

Cuando cada empresa lucha en el mercado por imponer su propio estándar, se generan costos duplicados, demoras iniciales en los desarrollos tecnológicos y en muchos casos compras improductivas en tecnologías que al poco tiempo de ser adquiridas desaparecen del mercado. Sin embargo es evidente que estos criterios aceleran los adelantos tecnológicos, por cuanto muchos son los que luchan por mejoras de equipamientos y sistemas para imponer sus propios desarrollos.

En la actualidad se está dando un proceso de convergencia. La industria de la informática tiende con mayor intensidad a la elaboración de normas y especificaciones técnicas de jure, que simplifican el manejo de la tecnología. Nadie dudaría en elegir una placa de una marca,

una memoria de otra y un disco rígido de una tercera. Asimismo, no dudaría que cuando se proceda a armar el equipo con diversos componentes de distintos fabricantes este va a funcionar en forma correcta y sin el menor inconveniente.

1.9.2 Los organismos de estandarización

Hay cuatro organismos principales de estandarización para las comunicaciones y la computación que se describen a continuación.

1.9.2.1 Unión Internacional de Telecomunicaciones (UIT)

La Unión Internacional de Telecomunicaciones (*International Telecommunications Union (ITU)*) es una organización internacional del sistema de las Naciones Unidas en la que los gobiernos y el sector privado coordinan los servicios y las redes mundiales de telecomunicaciones. Fue fundada en 1865 durante la Primera Convención Internacional Telegráfica por 20 miembros iniciales.

En la actualidad, luego de más de 135 años de vida, sus objetivos fundamentales aún son los mismos y están plenamente vigentes.

Son objetivos de la Unión:

- Mantener y extender la cooperación internacional entre todos los Estados miembros para mejorar el uso correcto de todos los servicios de telecomunicaciones.
- Promover y aumentar la participación de entidades y organizaciones vinculadas con las telecomunicaciones en la interacción con la sociedad, entre ellas y con los estados miembros.
- Ofrecer asistencia técnica a los países en vías de desarrollo en el campo de telecomunicaciones, y mejorar el acceso a los servicios de telecomunicaciones en esos países.
- Promover el desarrollo de instalaciones técnicas y su operación más eficiente, con el objeto de mejorar la eficiencia de servicios de comunicaciones electrónicas, incrementar la utilidad de estos y hacerlos más accesibles al público en general.
- Promocionar los beneficios de las nuevas tecnologías de comunicaciones a todos los habitantes del mundo.
- Promover la aprobación de estándares en temas de telecomunicaciones de uso internacional, orientados a mejorar la economía mundial.

En 1989 se celebró en Niza, Francia, la Conferencia Anual de Ministros Plenipotenciarios de la Unión. Allí se reconoció la importancia de la ayuda técnica para los países en vías de desarrollo, además de sus actividades tradicionales en los campos de la normalización y el gerenciamiento del espectro de frecuencias a nivel internacional. Como resultado de la reunión, se procedió a una reorganización en tres sectores que en la actualidad son los que se detallan a continuación:

- Sector de Normalización de las Telecomunicaciones, ITU-T.
- Sector de Normalización de las Radiocomunicaciones, ITU-R.
- Sector para el Desarrollo de las Comunicaciones, ITU-D.

1.9.2.2 Organización Internacional de Estándares (ISO)

La Organización Internacional para la Estandarización (*International Organization for Standardization (ISO)*) es una organización vinculada a las Naciones Unidas que produce normas internacionales industriales y comerciales, que se conocen como normas ISO. Su finalidad es la coordinación con las distintas normas nacionales, en consonancia con el Acta



International Telecommunications
Union:
<http://www.itu.int/home/index.html>

Final de la Organización Mundial del Comercio, con el propósito de facilitar el intercambio de bienes y servicios, facilitar el intercambio de información y contribuir a la transferencia de tecnologías.

Sus miembros pueden ser de tres tipos diferentes:

- **Países:** representados por sus organismos nacionales de normalización a razón de uno por país.
- **Miembros correspondientes:** son organizaciones de un país que no tienen una actividad completa de nivel nacional, pero están interesadas en informarse sobre el trabajo de la organización.
- **Miembros abonados:** es una categoría para países con economías muy pequeñas que pagan cuotas reducidas, pero que les permiten tener contacto internacional con estas actividades.



Organización Internacional de estándares:

<http://www.iso.org/iso/en/ISOOnline.frontpage>



Sociedad Internet:

<http://www.isoc.org>



Instituto de Ingenieros Eléctricos y Electrónicos:

<http://www.ieee.org/portal/site>



American National Standards Institute:

<http://www.ansi.org/>

1.9.2.3. Sociedad Internet (ISOC)

Como ya se describió en 1.7.4.1., esta sociedad tiene, entre otras funciones, la responsabilidad de confeccionar las normas vinculadas con el funcionamiento de Internet. En el apartado 1.7.4.8. se describe el procedimiento para su confección.

1.9.2.4. Instituto de Ingenieros Eléctricos y Electrónicos (IEEE)

El Instituto de Ingenieros Eléctricos y Electrónicos es una organización técnico-profesional sin fines de lucro de alcance mundial dedicada a promover la creatividad, el desarrollo, la integración, compartir y aplicar los avances en las tecnologías de la información, la electrónica y las ciencias en general, para beneficio de la humanidad y de los mismos profesionales de estas disciplinas. Como tal es la más grande del mundo, y sirve a los intereses de más de 382.000 miembros en cerca de 150 países.

Acorde con su lema, "Vinculando al Mundo, Networking the World", el IEEE fomenta la innovación tecnológica, contribuye con el desarrollo profesional de sus miembros y promueve la comunidad profesional mundial.

Su creación se remonta a 1884 y entre sus fundadores se encontraban personalidades de la talla de Thomas Alva Edison, Alexander Graham Bell y Franklin Leonard Pope. La integran profesionales formados en las nuevas tecnologías, como la Ingeniería Eléctrica, la Electrónica, los Sistemas de información y las Telecomunicaciones.

Algunos de sus estándares son clásicos en las tecnologías vinculadas con la informática y las comunicaciones, como el tan conocido 802.3 y siguientes, utilizados para el desarrollo de redes de área local.

1.9.3 Otros organismos vinculados a estas actividades

Hay otros organismos o foros de trabajo para temas más específicos que también son importantes por los resultados que aportan.

1.9.3.1 American National Standards Institute (ANSI)

El Instituto Estadounidense de Estándares Nacionales (ANSI) fue fundado en octubre de 1918. Tiene por objetivo coordinar el desarrollo y el uso de patrones, así como la utilización voluntaria de estos mediante acuerdos efectuados por consenso. Su misión es aumentar la competitividad de las empresas de ese país a nivel internacional, mejorar la calidad de vida y salvaguardar la integridad de las normas y las especificaciones que se aprueben en su seno.

1.9.3.2 Electronic Industries Alliance (EIA)

La alianza de Industrias de Electrónica (EIA) es una organización de comercial nacional que involucra todo el espectro de los fabricantes de equipamiento electrónico de los Estados Unidos. Comprende más de 1.300 empresas de productoras de bienes y servicios electrónicos, desde los más simples hasta los de más alta tecnología. La tan conocida norma RS – 232 Interfaz Serie Standard usada en todo tipo de equipos de computación está confeccionada y es actualizada por esta organización.



Electronic Industries Alliance:
<http://www.eia.org>

1.9.3.3 ADSL Forum

El ADSL Forum es un consorcio formado por grupos de personas y organizaciones interesados en la confección y el perfeccionamiento de los estándares para los servicios ADSL.



Foro ADSL:
<http://www.adsl.com>

1.9.3.4 MFA Forum

Durante la década de 1990 se fueron formando varios foros específicos, cada uno de ellos con el objeto de generar especificaciones técnicas o mejoras tecnológicas sobre un conjunto de tecnologías nuevas que se desarrollaron vinculadas con la transmisión de datos utilizando la conmutación de celdas, tramas o paquetes.

Surgieron así el Foro ATM, el Frame Relay y otros con prácticamente el mismo objeto. En agosto de 2005 estos esfuerzos se unieron en una única y nueva organización que se llama MFA Forum, cuyo nombre es un acrónimo de las tres tecnologías más significativas y convergentes: *Multiprotocol Label Switching* (MPLS), *Frame Relay* y *Asynchronous Transference Mode* (ATM).



Foro MFA:
<http://www.Mfaforum.org>

1.10 Resumen

En este capítulo se presentaron los conceptos básicos de las comunicaciones encabezados con una breve reseña histórica del telégrafo y de la telefonía en general desde sus comienzos hasta la actualidad.

También, se explicó cómo la inteligencia generada por el hombre se codifica en señales para que, a su vez, puedan propagarse por los medios de comunicación en forma de ondas electromagnéticas. Asimismo, por un lado, se presentaron las invenciones del siglo XXI que revolucionaron las comunicaciones, con respecto a la transmisión de la voz, la radio y la posibilidad de la transmisión de las imágenes, como en el caso de la televisión; y por otro lado, la informática, con la invención de la computadora y las tecnologías de la información.

Además, se trattaron las consideraciones generales de la red de Internet con sus respectivos antecedentes históricos y las organizaciones que trabajan para Internet.

Para concluir, se caracterizaron los procesos de estandarización, como un proceso de elaboración de normas, y los organismos de normalización para las comunicaciones y la computación.

1.11 Ejercicios propuestos

- 1) Redacte una biografía breve de los siguientes investigadores: Alessandro Volta, Hans Christian Oersted, Carl Friedrich Gauss, Charles Wheatstone, Guglielmo Marconi.
- 2) ¿Qué unidades llevan los nombres de Volta, Henry, Tesla y Gauss? ¿En qué leyes fundamentales de la física se encuentran?
- 3) ¿Quién descubrió la gutapercha y cuál es su origen? ¿Cuáles son los aislantes más utilizados en la actualidad para recubrir los cables de cobre?
- 4) Luego de la instalación del primer cable submarino transatlántico, ¿qué emprendimientos importantes realizados entre 1858 y 1881 puede señalar?
- 5) ¿Cuál es la cadena de bit que se corresponde con la dirección en el protocolo IPv6 en números hexadecimales que se indica a continuación?
abcd.ef01.2de5.6cf9.a45d.ef01.2105.6339
- 6) Describa las características de los cables denominados UTP (Unshielded Twisted Pair Wire) ¿Cuántos tipos de cables de esta clase existen, y qué características tiene cada uno de ellos?
- 7) ¿Qué significa en el lenguaje de la economía la palabra holding? Ponga ejemplos vinculados con las empresas del sector telecomunicaciones a nivel nacional y mundial.
- 8) ¿Qué se entiende en las telecomunicaciones como prestación de un servicio universal?

- 9) ¿Cuál es la página de Internet del Physics Laboratory of the National Institute of Standards and Technology? ¿Qué información contiene?
- 10) ¿Cuáles son las autoridades regulatorias en los países de habla hispana que usted podría identificar, como la FCC? ¿Qué responsabilidades tienen y qué actividades realizan?
- 11) ¿Cuáles fueron los libros más importantes sobre las perspectivas del futuro de cara a la sociedad de la información? ¿Qué escribieron al respecto Peter Drucker y John Naisbitt?
- 12) ¿Cuáles fueron los libros más importantes que se han escrito sobre las perspectivas del futuro de cara a la sociedad de la información? ¿Qué escribió al respecto Peter Drucker y que John Naisbitt?
- 13) ¿Cuáles son las principales ventajas de la versión 6 de TCDP/IP, respecto de las versiones 4 actualmente vigentes en Internet?
- 14) ¿Cuál es la arquitectura de la red Internet, que son los sistemas autónomos y que finalidad tiene?
- 15) ¿Cómo se obtiene las direcciones IPV4 en la actualidad para empresas e ISP?
- 16) ¿Qué organizaciones regulan la actividad en el área comunicaciones en nuestro país y cuales son sus principales funciones?
- 17) ¿Qué diferencias existen entre una computadora OPC respecto de un servidor de red?
18. ¿Qué calidad de servicios ofrecen los protocolos IP, TCP y UDP?

1.12 Temas a desarrollar por el lector

1. Investigue cuáles son los cables submarinos más importantes que unen los países de América entre sí y con Europa. ¿Quién los opera y qué capacidad tienen?
2. ¿Cuáles fueron los comienzos de la prestación del servicio telefónico en su país?
3. ¿Qué empresas trabajaron? ¿Qué empresa o empresas prestan esos servicios en la actualidad, y cómo lo hacen (en competencia o en monopolio, con predominio estatal o privado)? ¿Cuál es el organismo actual que regula el control de las comunicaciones?
4. Investigue cuáles fueron las computadoras más importantes de la segunda generación y qué empresas las comercializaban. ¿Qué cantidad de memoria tenían y cuáles eran los periféricos que utilizaban?

1.13 Contenido de la página Web de apoyo

El material marcado con asterisco (*) solo está disponible para docentes.



1.13.1 Mapa conceptual del capítulo

1.13.2 Línea de tiempo

1.13.3 Videotutorial: La Sociedad del conocimiento

1.13.4 Autoevaluación

1.13.5 Presentaciones*

1.13.6 Ejercicios resueltos*

2

Transmisión de señales

Contenido

2.1 Señales analógicas y señales digitales.....	66
2.2 Transmisión de señales analógicas y digitales.....	66
2.3 Características de la transmisión de señales.....	69
2.4 Características de las señales utilizadas para la transmisión de señales.....	72
2.5 Unidades de medida usadas en las telecomunicaciones.....	87
2.6 La transmisión de señales	95
2.7 Ancho de banda.....	108
2.8 Señales en banda base	113
2.9 Filtros	130
2.10 Resumen.....	134
2.11 Ejercicios propuestos.....	134
2.12 Temas a desarrollar por el lector	136
2.13 Contenido de la página Web de apoyo	136

Objetivos

- Aprender acerca de la transmisión de señales analógicas y digitales y sus características principales.
- Conocer las unidades de medida que se utilizan en telecomunicaciones.
- Descubrir la forma en la que se transmiten las señales en medios dieléctricos y en medios conductores.
- Entender los conceptos de ancho de banda y señales en banda base.
- Conocer la definición de filtros y su clasificación.

2.1 Señales analógicas y señales digitales

2.1.1 Introducción

Las redes de telecomunicaciones se deben diseñar pensando en que puedan transmitir todo tipo de informaciones inteligentes, como voz, audio, datos, textos, imágenes y video. Para ello las informaciones se codifican en la fuente y se transforman en señales analógicas o digitales que puedan ser transmitidas por ellas. A su vez, las señales según el codificador que se utilice en la fuente pueden ser de tipo eléctrico, óptico o electromagnético.

Sin embargo, no es lo mismo transmitir señales analógicas que digitales. Asimismo, es importante distinguirlas con claridad porque su comportamiento es muy distinto en los diferentes elementos tecnológicos del hardware necesarios para su funcionamiento, y en la manera en que van a ser diseñadas las redes para posibilitar su transmisión.

Las mismas pueden clasificarse en su totalidad, o en parte de ellas, en redes analógicas o digitales. De hecho en el presente muchas redes no son totalmente analógicas ni totalmente digitales. La red telefónica conmutada es un ejemplo de ello.

En su inicio las redes eran analógicas, pero en el presente casi la totalidad de las redes es digital, por lo que la diferenciación entre analógico y digital es un aspecto más histórico que práctico en el estudio de los sistemas de telecomunicaciones.

De todas maneras debe quedar claro que tanto la voz y el audio, como las imágenes y el video son fenómenos en su origen totalmente analógicos, por lo tanto, en algún momento deben digitalizarse. La diferencia entre los procesos de digitalización está dada en el nivel de fidelidad que se pretende alcanzar, y en si se efectúan en la misma fuente o en la red de comunicaciones.

Dos ejemplos concretos que en la actualidad están cada vez más al alcance de los usuarios permiten realizar el proceso de digitalización en la misma fuente: los teléfonos y las cámaras fotográficas digitales. Hace solo unos años estos equipos terminales eran siempre analógicos. La transmisión de la voz o las imágenes generadas por las cámaras a través de redes digitales requería un proceso de digitalización que podía efectuado en la red, o por el usuario por medio de equipos auxiliares como el scanner. En el presente se pueden encontrar equipos a precios muy razonables que toman las señales analógicas y las digitalizan en el mismo terminal.

2.1.2 Definiciones

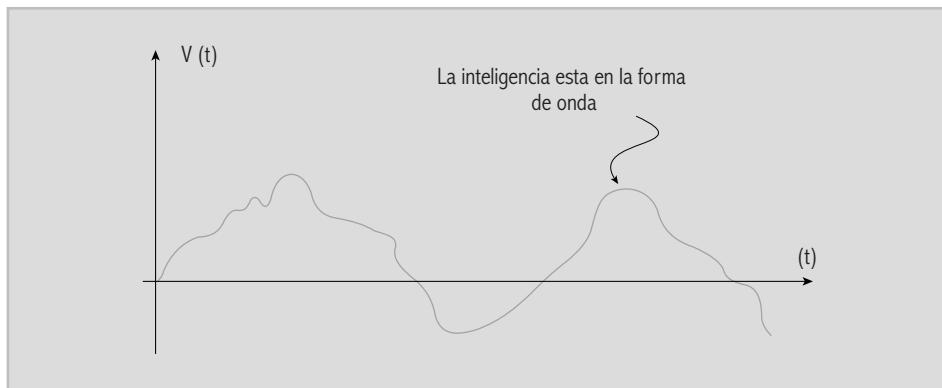
Las señales analógicas son las que pueden ser representadas por funciones que toman un número infinito de valores en cualquier intervalo de la variable considerada (Fig. 2.1A.).

Las señales digitales son las que pueden ser representadas por funciones que toman un número finito de valores en cualquier intervalo de la variable considerada (Fig. 2.1 B.).

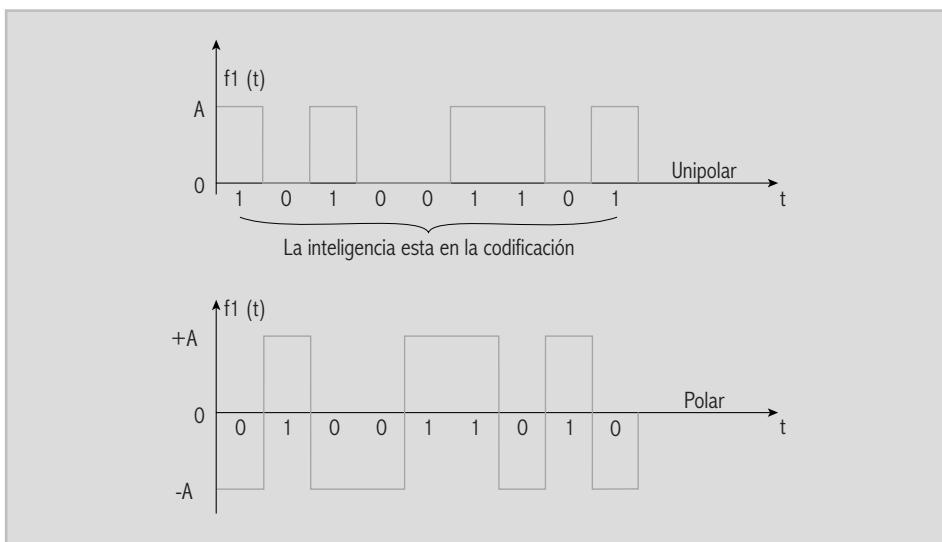
2.2 Transmisión de señales analógicas y digitales

Tanto los sistemas de comunicaciones analógicos como los digitales están capacitados para transportar señales de información que permitan brindar los servicios de telefonía, transmisión de textos y datos, imágenes y video.

En los sistemas analógicos, es la propia forma de onda de la señal transmitida la que contiene la información que se desea transmitir. En los sistemas digitales, es la codificación de la señal inteligente de datos, textos u otras la que contiene la información.

**Fig. 2.1 a.** Señal analógica

Como se expresó antes, hay servicios de comunicaciones en los que las señales generadas en la fuente son típicamente analógicas, como es el caso de la transmisión de voz. En otros, las señales son por completo digitales desde su origen, como es el caso de la transmisión de los datos producidos por los equipos informáticos en general; sin embargo, ambos tipos de señales pueden ser transmitidas por redes tanto analógicas como digitales.

**Fig. 2.1 b.** Señal digital.

Si la red es digital, las señales típicamente analógicas, como la voz, deben ser previamente digitalizadas para su transmisión. El equipo para efectuar esta transformación se denomina en forma genérica digitalizador o también equipo codec (codificador y decodificador).

En la Fig. 2.2., se observa el esquema de una red digital que se utiliza para la transmisión de la voz. En ese esquema se ve que el equipo terminal telefónico debe estar conectado a un digitalizador antes de que las señales pasen a la red digital.



En realidad, el equipo realiza las funciones directa e inversa; primero digitaliza la voz para que se la pueda introducir en la red digital y luego la vuelve a convertir en analógica para que el receptor pueda interpretarla.

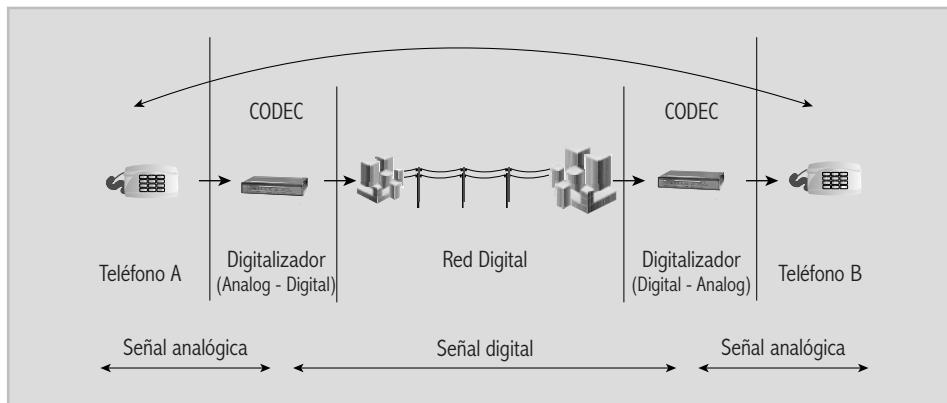


Fig. 2.2. Esquema de conexión de un equipo terminal analógico a una red digital.

Suele cometerse el error de llamar teléfono digital a aquellos que solo tienen el teclado digitalizado, los cuales son tan analógicos como los de disco.

Al igual que el digitalizador, el módem realiza las dos funciones: la directa, modular, y la inversa, demodular.

Cuando el módem es interno, puede dar la impresión de que es parte de la computadora. Sin embargo, es un equipo independiente en cuanto a las tareas que realiza.

Si el digitalizador está incluido en el equipo terminal telefónico, se puede decir que este ya está digitalizado y se trata de un teléfono digital. Sin embargo, en la red telefónica pública el equipo digitalizador está colocado sobre el borde de la red, antes de que esta procese las señales que recibe.

Cuando es necesario transportar señales digitales a través de redes analógicas, como es el caso típico de una computadora conectada a la red telefónica conmutada, las señales primero deben sufrir un proceso denominado modulación. El equipo que se utiliza para efectuar este proceso se denomina módem. En la Fig. 2.3., se observa el esquema de una red analógica de este tipo que permite conectar dos equipos terminales de datos.

En ella se ve que las computadoras deben estar conectadas a un módem para pasar las señales a la red analógica. En este caso, la red nunca provee el equipo terminal y el módem debe estar situado en las proximidades de la computadora. Por otra parte, el módem puede ser interno o externo al terminal digital.

Como se verá más adelante, hay diferentes tipos de módems, en la última década apareció el módem ADSL –Asynchronous Digital Subscriber Line–, que revolucionó el acceso a la red telefónica analógica al permitir velocidades típicas de banda ancha para conectarse a Internet.

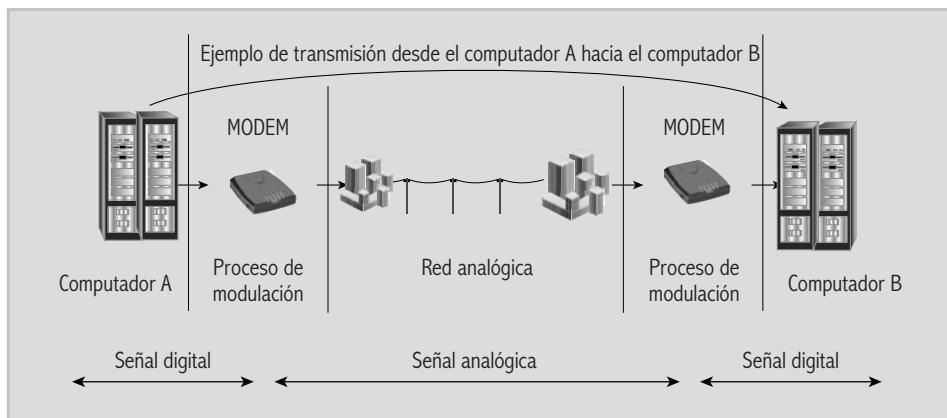


Fig. 2.3. Esquema de conexión de un equipo terminal digital a una red analógica.

2.3 Características de la transmisión de señales

Las telecomunicaciones o, simplemente, comunicaciones están constituidas por el conjunto de tecnologías que permiten la transmisión a distancia de señales de información.

La transmisión de información siempre se realiza desde una fuente, que es la que la genera, hacia un sumidero o colector, que es el que la recibe. Sin embargo, la información puede estar contenida, por ejemplo, en las palabras expresadas mediante la voz, o en los datos de salida de una computadora, por lo que es necesario transformarla en señales eléctricas, ópticas o electromagnéticas. Los dispositivos que se utilizan para realizar esta transformación son los transductores, que convierten ciertas formas de energía en otras; así, en el caso de la voz, los micrófonos convierten la energía acústica en energía eléctrica en la fuente y, por el contrario, los parlantes transforman energía eléctrica en energía acústica en el sumidero.

Por otra parte, el medio de comunicaciones, o canal de comunicaciones (para más detalles ver Capítulo 6), es el que permite que las señales generadas en el transductor de la fuente lleguen al transductor del sumidero. Además, el medio de comunicación debe transmitir la información con la mayor fidelidad posible.

En resumen, un sistema de comunicaciones está compuesto por los elementos siguientes:

- Una fuente y un sumidero o colector.
- Un transductor en la fuente y otro en el sumidero.
- Un medio o un canal de comunicaciones.



Intelligence puede traducirse por información; datos o mensajes transmitidos o pendientes de transmisión; correspondencia/modulación; señal. Intelligence level: (cintas perforadas) nivel de información. Intelligence sample: muestra de señal. Parte de una señal tomada para juzgar la señal completa. Intelligence signal: señal de información, señal de telecomunicación. Intelligence transmission: transmisión de información.

Una vez que pasan al canal de comunicaciones, las señales sufren cuatro tipos de fenómenos que deforman la información que llega al colector, pueden no permitir su interpretación correcta (caso de la voz), producir errores (caso de la transmisión de datos) o generar otros inconvenientes que afecten la calidad de la comunicación.

Estos fenómenos indeseables pueden ser:

- Atenuación.
- Distorsión.
- Ruido.
- Retardos de transmisión (*delay*).

Los dos primeros afectan de forma diferente las redes analógicas y las digitales. En las primeras, el efecto más notable es la atenuación, y en las digitales, la distorsión.

La atenuación se caracteriza por la disminución de la intensidad de la señal útil a medida que esta recorre el medio de comunicaciones. La atenuación aumenta en forma proporcional a la distancia recorrida desde la fuente y su efecto es la reducción de la amplitud de la señal.

Por ejemplo en los cables de cobre la atenuación depende de la frecuencia de operación, de la resistividad del conductor, de la longitud del circuito y del diámetro de este.

En las fibras ópticas, en cambio, su atenuación depende del tipo de fibra, como se verá más adelante. Las denominadas monomodo tendrán atenuaciones mucho menores que las que son multimodo.

La distorsión es un fenómeno producido por las características reactivas del medio de transmisión. Veremos que las líneas de comunicaciones se pueden comparar como si fueran circuitos electrónicos de características resistivas, inductivas o capacitivas, dependiendo de la frecuencia de operación y de las características constructivas de la línea física. En términos prácticos, el efecto es una deformación de la señal original.



Las características reactivas de un circuito eléctrico están dadas por los efectos de la inductancia (producida por las bobinas) y de la capacitancia (producida por los condensadores).

El ruido es toda perturbación o interferencia no deseada que se introduce en el canal de comunicaciones y se suma a la señal útil. Precisamente su característica principal es la aditividad, pues su intensidad se suma a la de la propia señal de información que se desea transmitir. Por otra parte, el efecto del ruido, que puede ser de origen endógeno o exógeno, es también el de una deformación, aunque de otro tipo.

Los retardos de transmisión, más conocidos por su expresión en inglés *-delay-*, se refieren al tiempo que la información tarda en propagarse desde la fuente hasta el sumidero. Cuando la transmisión se hace por medio de ondas electromagnéticas este fenómeno es menos significativo; sin embargo, se verá que en las transmisiones en que se utilizan satélites geosincrónicos los valores de retardos pueden producir inconvenientes en algunos servicios isócronos, como es el caso de la transmisión de la voz. Sobre cables de cobre su efecto no es significativo.

Por lo expuesto, podemos concluir que en el esquema de transmisión de los canales de comunicación, ya sean estos analógicos o digitales, se incorporan equipos que intentan resolver los problemas que producen esos fenómenos. Así, en las redes analógicas se utilizan amplificadores para intentar compensar la atenuación, mientras que en las redes digitales se utilizan repetidores regenerativos, que permiten regenerar los pulsos luego que estos sufren fundamentalmente el proceso de distorsión.

En las Figs. 2.4. y 2.5., se muestran esquemas de canales analógicos y digitales, respectivamente. En el ejemplo de la Fig. 2.4., el transductor de la fuente es el micrófono del teléfono, mientras que el del sumidero es el altavoz.

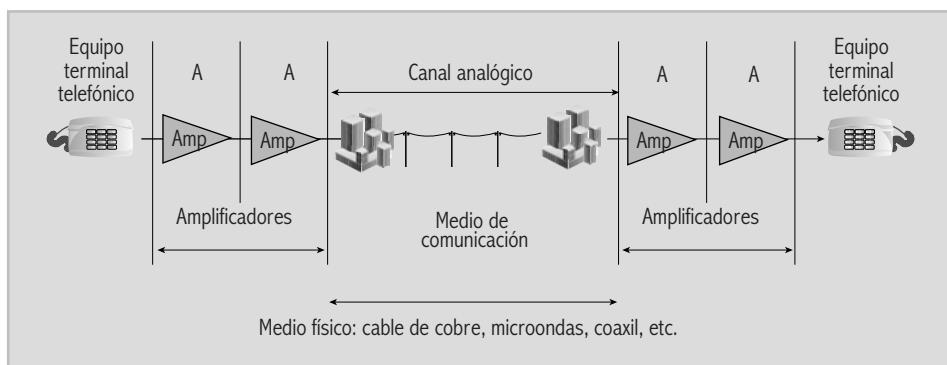


Fig. 2.4. Esquema de un canal analógico.

La cantidad de amplificadores que se deberá colocar en el recorrido del canal de comunicaciones dependerá de la distancia que debe cubrir cada circuito y de la atenuación de la línea.

En cuanto al ejemplo de la Fig. 2.5., los repetidores regenerativos se deberán situar en la práctica a distancias mucho menores cuando se utilicen cables de cobre. Sin embargo, depende del tipo de medio de comunicaciones que se usa; así, en el caso de las fibras ópticas monomodo se colocan a distancias importantes, del orden de varios kilómetros.

Como ya se dijo, las señales que se transmiten a través de un medio analógico deben amplificarse debido al fenómeno de la atenuación.

En la Fig. 2.6., se muestra cómo opera un amplificador. Las señales que llegan al amplificador están atenuadas respecto de su amplitud original, y las que salen de él tienen un nivel conveniente para que puedan ser detectadas e interpretadas correctamente en el colector.

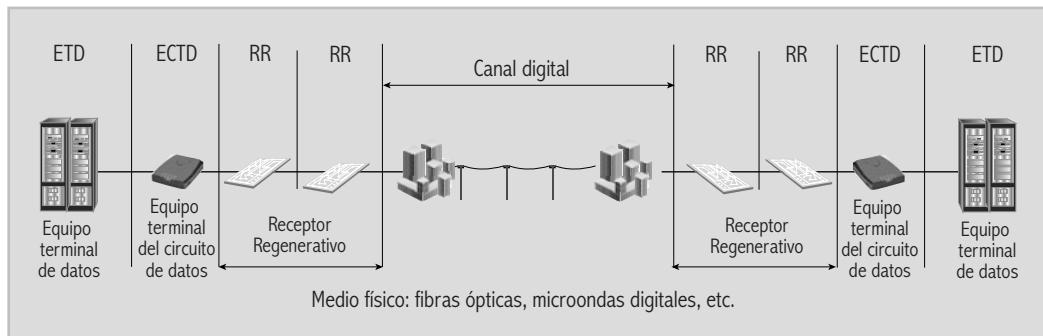


Fig. 2.5. Esquema de un canal digital.

Debe tenerse en cuenta que el ruido que acompaña a la señal analógica también es amplificado. Este fenómeno es imposible de evitar en este tipo de canales de comunicación. Por otro lado, el amplificador tiene su propio ruido interno, que se suma a la señal que debe amplificar.

En consecuencia, si en un canal analógico se añaden cada vez más amplificadores para resolver el problema de la atenuación, se llega a un punto en el que el ruido es tan grande, que la señal original se pierde. Es por ello que el alcance de un canal analógico es finito.

Como se verá en el apartado siguiente, esto no ocurre en los canales digitales, en los cuales colocando repetidores regenerativos a distancias adecuadas se puede lograr un enlace de alcance mucho mayor (teóricamente infinito).

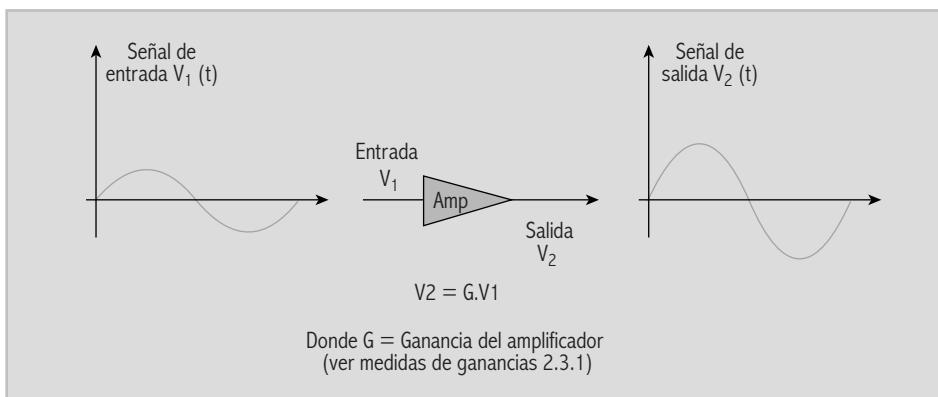


Fig. 2.6. Forma en que opera un equipo amplificador.

Cuando un canal transporta señales digitales, estas deben ser regeneradas debido a la distorsión que se produce en los pulsos transmitidos. Para ello se utilizan los repetidores regenerativos, que mantienen inalterada la forma de las señales hasta llegar al sumidero.

En la Fig. 2.7., se muestra cómo opera un repetidor regenerativo. Las señales que arriban a él se observan distorsionadas y las que salen tienen su forma original, y ninguna señal de ruido.

Como se puede observar, cada vez que se regenera un pulso, el ruido que llevaba la señal se elimina, pues los pulsos de salida tienen la misma forma que los emitidos por la fuente. Por este motivo se puede decir que el alcance de los canales digitales es teóricamente infinito.

Para que las señales digitales se puedan regenerar deben llegar al repetidor con un mínimo de energía a fin de que sean reconocidas. Así, se puede hablar de un umbral de detección tal, que por debajo de él la acción del repetidor no es efectiva. Por lo tanto, la distancia entre repetidores debe ser tal que la señal no se encuentre nunca por debajo de ese umbral.

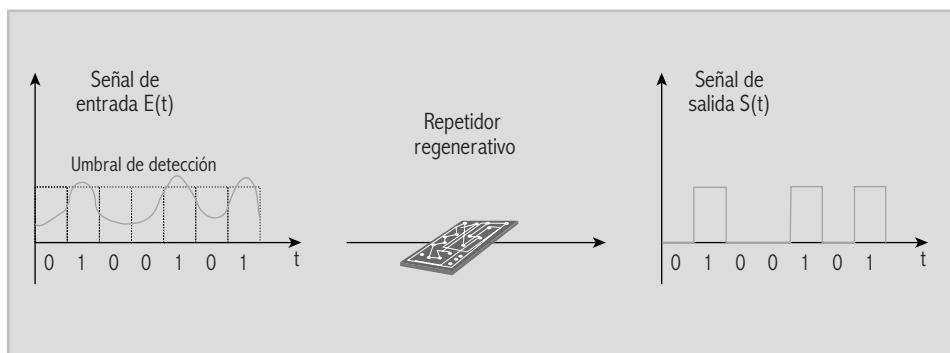


Fig. 2.7. Forma en que opera un equipo repetidor regenerativo.

Si se consideran las funciones que desempeñan los amplificadores en las redes analógicas y los repetidores regenerativos en las redes digitales, se puede deducir que existen incompatibilidades entre ambos tipos de canales. Así, si una señal digital previamente distorsionada entra a un amplificador, este amplificará la distorsión de la señal, y, análogamente, si una señal analógica entra a un repetidor regenerativo, este no produciría efecto útil alguno.

2.4 Características de las señales utilizadas para la transmisión de señales

2.4.1 Aspectos generales

Si bien la transmisión de señales inteligentes, tanto analógicas como digitales, se caracterizan por ser de forma variable, dado que las señales toman una determinada forma según la información a transmitir, sus características pueden estudiarse tomando como referencia la función senoidal armónica simple como ejemplo de una señal típica analógica, y a la señal conocida como onda cuadrada como ejemplo de una señal digital.

En ambos casos estos dos tipos de funciones tienen la característica de ser funciones periódicas.

Se dice que una función $f(t)$ es periódica cuando se verifica que,

$$f(t) = f(t + T) \quad (2 - 1)$$

y

$$\frac{\partial f(t)}{\partial t'} = \frac{\partial f(t + T)}{\partial t'} \quad (2 - 2)$$

Donde:

T = periodo de la función.

La Fig. 2.8. muestra una función analógica periódica de período T .

Obsérvese que la función $f(t)$ toma los mismos valores cada intervalo T , denominado período de dicha función.

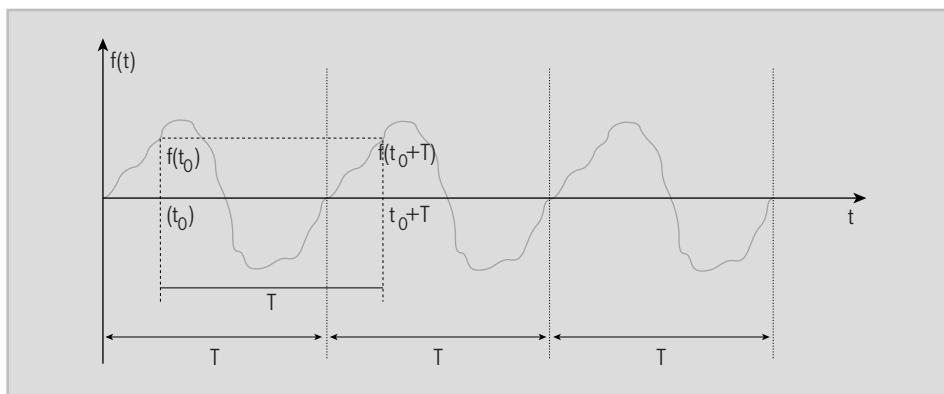


Fig. 2.8. Función analógica periódica.

2.4.2 Función senoidal armónica simple

La función senoidal armónica es una función periódica que nos permitirá conocer a través de su estudio las características que tienen las señales electromagnéticas, de importancia vital en las telecomunicaciones.

La función senoidal, en su expresión más general, tiene la siguiente forma:

$$f(t) = A \operatorname{sen}(\omega t + \Phi) \quad (2 - 3)$$

Donde:

A = amplitud.

ω = pulsación angular.

Φ = fase inicial.

T = período.

La Fig. 2.9. nos muestra tres ciclos de una función senoidal con ángulo de fase inicial igual a cero. La corriente eléctrica que alimenta los distintos equipos informáticos o los existentes en el hogar de tensión 220 Volt - 50 Hertz, o en otros países de 110 Volt - 60 Hertz es una típica señal senoidal armónica simple. Para entender adecuadamente el sentido de las constantes contenidas en ella, veamos cómo se genera.

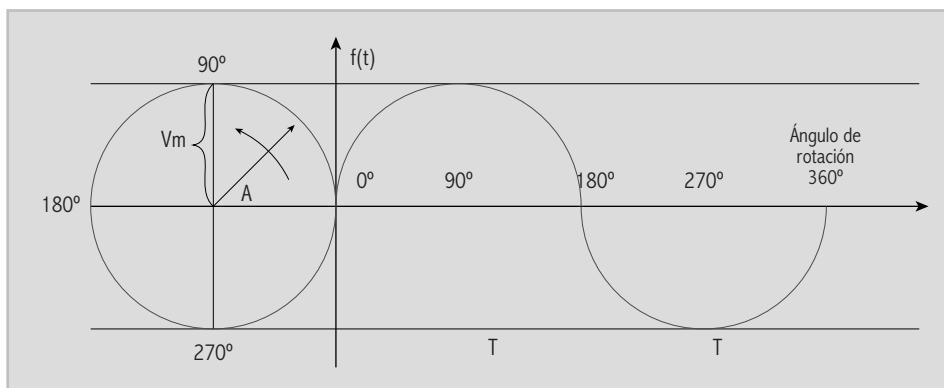


Fig. 2.9. Función senoidal armónica simple.

Supongamos un vector de longitud A (amplitud) que gira a velocidad angular constante ω , alrededor de un punto de aplicación O .

Se denomina *período* a la demora de la señal en completar un ciclo completo. En otras palabras, el tiempo que el vector A , tarda en dar una vuelta completa hasta llegar al mismo punto de partida. Por otro lado entendemos por ciclo a la parte de la señal comprendida en un período.

La velocidad angular del vector ω , se puede definir como:

$$\omega = \frac{\text{ángulo recorrido}}{\text{tiempo}} \quad (2 - 4)$$

Para un ángulo recorrido de 2π radianes, se habrá tardado en recorrerlo un tiempo igual al período T . Es decir que tendremos entonces

$$\omega = \frac{2\pi}{T} \quad (2 - 5)$$

Luego, operando convenientemente, tendremos que

$$T = \frac{2\pi}{\omega} \quad (2 - 6)$$

A su vez, la frecuencia es el número de ciclos completos por segundo. Por lo tanto, la frecuencia resultará la inversa del período T .

$$f = \frac{1}{T} \quad (\text{seg}) \quad (2 - 7)$$

Resultará, operando convenientemente;

$$\omega = 2\pi f \quad (2 - 8)$$

El tiempo T se mide en segundos y la frecuencia en Hertz. Es decir, dimensionalmente hablando, el Hertz resulta:

$$[\text{Hertz}] = \frac{1}{\text{seg}} \quad (2 - 9)$$

Analicemos cada una de las constantes de estas funciones.

Para ello observemos la Fig. 2.10.; en ella están representadas dos funciones de igual frecuencia y fase, pero distintos valores de amplitud, A_1 y A_2 .

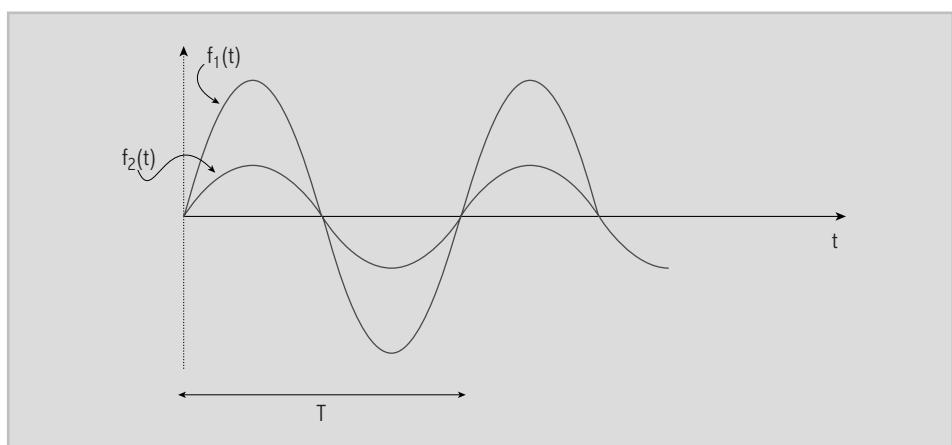


Fig. 2.10. Funciones senoidales de distinta amplitud con ángulo de fase igual a cero y la misma frecuencia.

Se observa que el período es el mismo, dado que la frecuencia ω , lo que es lo mismo, la pulsación es igual en ambas y se ha considerado un valor de ángulo de fase igual a cero. En la Fig. 2.11. se puede observar el mismo caso, pero con ángulos de fase distintos de cero aunque del mismo valor en ambas funciones.

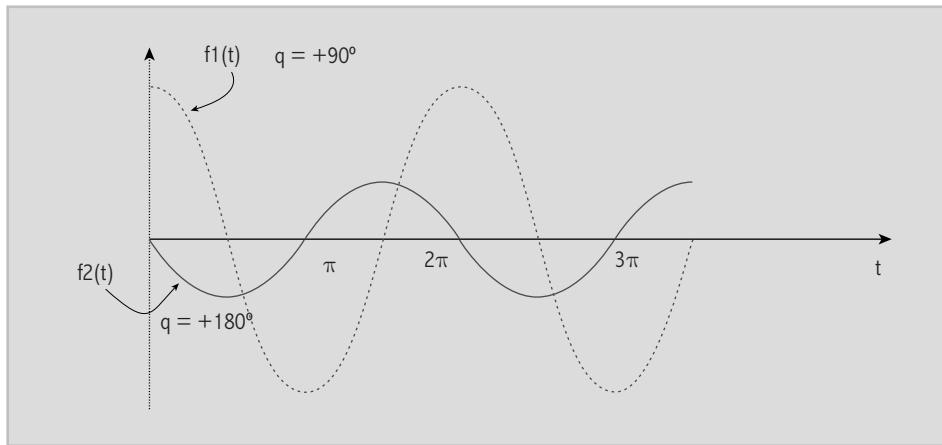


Fig. 2.11. Funciones senoidales de distinta amplitud con ángulo de fase distinto de cero y la misma frecuencia.

Veamos ahora dos señales sinusoidales de distintas frecuencias pero de igual amplitud y ángulo de fase inicial. Para ello consideremos una señal de frecuencia $f_1 = 4 \text{ Hz}$ y una segunda $f_2 = 8 \text{ Hz}$.

Calculemos primero el período de ambas funciones T_1 y T_2

$$T [\text{seg}] = \frac{1}{4\text{Hz}} = 0,25 \text{ seg} \quad T [\text{seg}] = \frac{1}{8\text{Hz}} = 0,125 \text{ seg}$$

Observemos en la Fig. 2.12. la forma de ambas señales para el caso planteado, en particular con ángulo de fase inicial igual a cero.

Analicemos ahora el papel que desempeña el ángulo de la fase inicial en una función senoidal.

Para ello representaremos la función armónica en su caso más general; es decir,

$$f(t) = A \operatorname{sen}(\omega t + \Phi) \quad (2 - 10)$$

Dicha función para el instante $t = 0$, resultará $\omega t = 0$, luego la expresión quedará de la siguiente forma;

$$f(0) = A \operatorname{sen} \phi \quad (2 - 11)$$

Luego el valor de la función en el instante $t = 0$ dependerá del valor del seno del ángulo ϕ .

Es evidente que si $\phi = 0$ resultará $\operatorname{sen} \phi = 0$, y por lo tanto $f(0) = 0$; y

Si $\phi = \frac{\pi}{2}$ resultará $\operatorname{sen} \frac{\pi}{2} = 1$, y por lo tanto $f \left(\frac{\pi}{2} \right) = A \operatorname{sen} \frac{\pi}{2} = A$.

En la Fig. 2.13., se representan dos funciones de igual amplitud y frecuencia, pero una con $\phi = 0$, y otra con $\phi = \frac{\pi}{2}$.

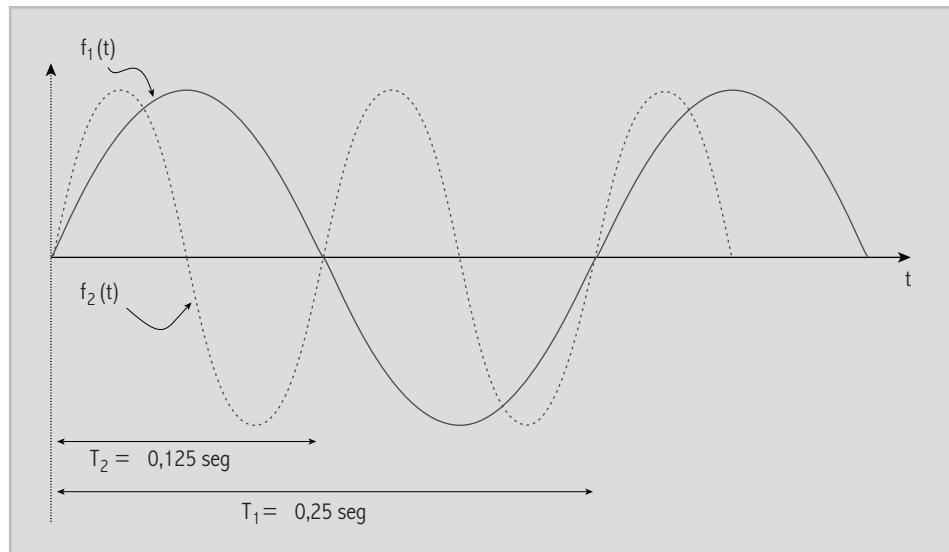


Fig. 2.12. Funciones senoidales de distinta frecuencia con ángulo de fase igual a cero y la misma amplitud.

$$\phi = \frac{\pi}{2}$$

Las expresiones de una y otra serán por lo tanto;

$$f(t) = A \operatorname{sen} (\omega t) \quad (2 - 12)$$

$$f(t) = 1 \quad \text{para } 0 < t < T/2$$

$$f(t) = A \operatorname{sen} \omega t + \frac{\pi}{2} \quad (2 - 13)$$

La expresión [2-11] podría también expresarse de la siguiente manera;

$$f(t) = A \cos (\omega t) \quad (2 - 14)$$

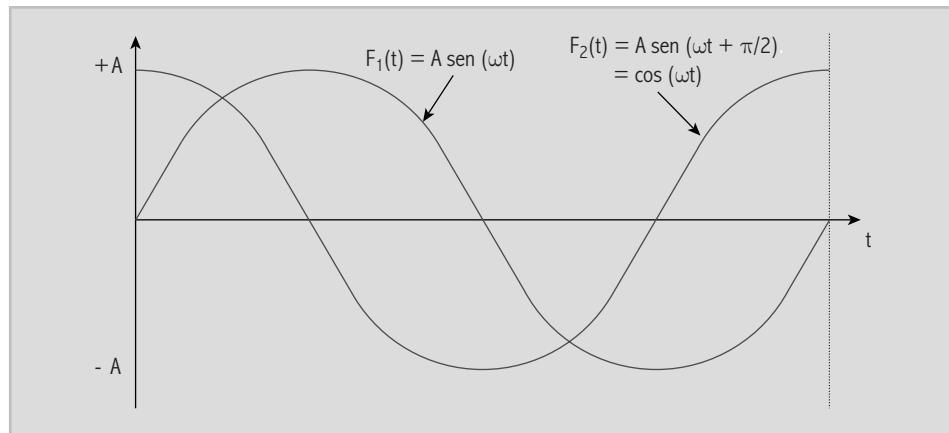


Fig. 2.13. Funciones senoidales de ángulos de fase igual a cero e igual a $\frac{\pi}{2}$.

2.4.3 Función onda cuadrada

Una de las formas más comunes de las señales digitales es la función onda cuadrada. Esta señal es generada, normalmente, por equipos denominados generadores de pulsos, que se basan en las técnicas de la electrónica digital. En la Fig. 2.14., se representa gráficamente una señal periódica onda cuadrada o rectangular.

La función onda cuadrada se define matemáticamente a través de las siguientes expresiones

$$f(t) = A \quad \text{para } 0 < t < \frac{T}{2} \quad (2 - 15)$$

$$\text{y,} \\ f(t) = -A \quad \text{para } \frac{T}{2} < t < T \quad (2 - 16)$$

$$\text{y,} \\ f(t) = 0 \quad \text{para } t = n\frac{T}{2}; \text{ donde } n = 1, 2, \dots, n \quad (2 - 17)$$

En esta función digital, los conceptos de amplitud, frecuencia y período tienen el mismo significado que en la función senoidal armónica simple. Sin embargo, en este caso la frecuencia también se denomina frecuencia de repetición de pulsos (FRP), y es igual, como se ha visto, a:

$$FRP = \frac{1}{T} \text{ (PPS)} \quad (2 - 18)$$

Donde: PPS es pulsos por segundo.

En el estudio de las señales digitales aparece un parámetro, muy importante, denominado ancho de pulso (ζ). Más adelante veremos que el ancho del pulso está relacionado con el ancho de banda necesario del canal de comunicaciones para transmitir la señal digital.

Además, a través del estudio y análisis de la onda cuadrada, utilizando como herramienta la serie de Fourier, demostraremos que este tipo de funciones se puede representar por una suma infinita de señales armónicas, tales que cada una es múltiplo entero de una primera función senoidal cuya frecuencia se denomina fundamental.

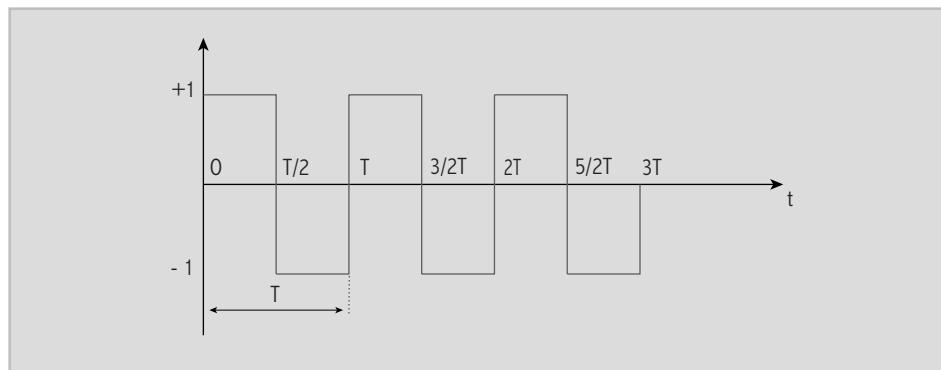


Fig. 2.14. Función onda cuadrada de amplitud A y período T.

2.4.4 Valor eficaz y valor medio de una señal senoidal: factor de forma

Analizaremos a continuación otras características de las señales senoidales empleadas muy frecuentemente en la electrónica y las comunicaciones, como el valor medio y el valor eficaz.

Para analizar la tensión o corriente en un circuito eléctrico es importante conocer el valor eficaz de las mismas, a efectos de poder calcular, por ejemplo, la potencia eléctrica y otros parámetros del circuito.

Se define como valor eficaz de la función $f(t)$:

$$Y_e = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T f(t)^2 dt} \quad (2-19)$$

Donde:

T : es el período de la señal.

$f(t)$: la función periódica.

Desde el punto de vista de la física, el valor eficaz de una señal senoidal armónica simple, como podría ser el que representa a la tensión variable que se aplica a nuestros equipos informáticos, puede interpretarse como el valor que debería tener una señal continua que ocasione el mismo efecto sobre la carga que la señal alterna.

A su vez, se define como valor medio de la función $f(t)$ el que resulta de la siguiente expresión:

$$Y_m = \frac{1}{T} \int_0^T f(t) dt \quad (2-20)$$

Conocidas las expresiones [2-19] y [2-20] es posible definir el concepto de factor de forma.

Dada una función $f(t)$ se denomina factor de forma FF a la relación entre el valor eficaz y medio de dicha función.

$$FF = \frac{Y_e}{Y_m} \quad (2-21)$$

Dado que el factor de forma de la onda cuadrada es igual a 1, el factor de forma de una señal $f(t)$ da una idea de la deformación que esa función presenta respecto de una función onda cuadrada de igual período. Cuanto mayor sea este factor para una función dada, más deformada será esta respecto de la función onda cuadrada. La función onda cuadrada se toma como una referencia a partir de la cual se puede medir la deformación de cualquier otra señal.

Ejemplo 2-1

Calcular el factor de forma de una onda cuadrada.

Para ello calcularemos el valor del factor de forma a partir de la definición de onda cuadrada de las expresiones [2-15], [2-16] y [2-17], para el caso particular de $A = 1$, y $-A = -1$.

$$f(t) = 1, \text{ para } 0 < t < \frac{T}{2}$$

y,

$$f(t) = -1, \text{ para } \frac{T}{2} < t < T \quad (2-23)$$

Calculemos y_e , teniendo en cuenta la simetría particular de la función sobre un período, y_e se calculará entonces para un semiperíodo, es decir:

$$Y_e = \sqrt{\frac{2}{T} \int_0^{T/2} f(t)^2 dt} = 1 \quad (2-24)$$

Para calcular y_m debemos considerar obligatoriamente el semiperíodo, de lo contrario su valor sería cero.

$$Y_m = \frac{2}{T} \int_0^{T/2} f(t) dt = 1 \quad (2-25)$$

Luego, FF resultará

$$FF = \frac{y_e}{y_m} = \frac{1}{1} = 1 \quad (2-26)$$

Ejemplo 2-2

Calcular el factor de forma de una onda sinusoidal armónica simple.

Dado que la función seno tiene igual simetría que la función onda cuadrada, valen las mismas consideraciones que en el caso anterior.

$$Y_e = \sqrt{\frac{2}{T} \int_0^{T/2} A \operatorname{sen}(\omega t)^2 dt} \quad (2-27)$$

Sacando A fuera de la integral y completando el diferencial, tendremos

$$Y_e = \sqrt{\frac{A^2}{\pi} \int_0^{\pi} \operatorname{sen}(\omega t)^2 d\omega t} \quad (2-28)$$

Operando convenientemente resulta

$$Y_e = \frac{A}{\sqrt{2}} \quad (2-29)$$

Para A = 1, resulta entonces

$$Y_e = \frac{1}{\sqrt{2}} = 0,707 \quad (2-30)$$

Calculemos de la misma manera en valor medio y_m ,

$$Y_m = \frac{2}{T} \int_0^{T/2} A \operatorname{sen}(\omega t) dt \quad (2-31)$$

Análogamente, si completamos el diferencial, tomamos A = 1 y procedemos a integrar tendremos,

$$Y_m = 0,637 \quad (2-32)$$

Luego el factor de forma de la función seno será,

$$FF = \frac{0,707}{0,637} = 1,1109 \quad (2-33)$$

Como se observa, el valor obtenido es mayor que uno (el de la onda cuadrada), porque la señal sinusoidal está deformada respecto a aquélla.

En otras palabras, el factor de forma nos indica el grado de alejamiento de la forma de onda considerada respecto de la onda cuadrada, es por ello que cuanto mayor es el FF mayor es su apartamiento respecto de la onda cuadrada.

2.4.5 Representación de señales armónicas mediante la serie de Fourier

2.4.5.1 Conceptos generales

La relación entre las distintas funciones periódicas es mucho más amplia que la que existe con el factor de forma de la función onda cuadrada. Por otra parte, cuando se trabaja con funciones digitales periódicas también es interesante analizarlas no como funciones del tiempo, tal como se las definió hasta ahora, sino estudiar su comportamiento en función de su frecuencia. Precisamente la denominada serie de Fourier permite llevar a cabo este análisis.

En efecto, toda función periódica que cumpla con las denominadas condiciones de **Dirichlet** admite su desarrollo en serie de **Fourier**.

Esto significa que funciones tales como la onda cuadrada, o la llamada diente de sierra, u otras de similares características, como cumplen las citadas condiciones admiten no solo una definición por medio de proposiciones, sino también una representación en serie de senos o de cosenos.

Las series de Fourier resultan uniformemente convergentes y, por lo tanto, tienen un conjunto de propiedades muy importantes como, por ejemplo, que pueden ser derivadas o integradas término a término, etc., operaciones que las funciones definidas a través de proposiciones no permiten realizar.

2.4.5.2 Condiciones de Dirichlet

Las condiciones de Dirichlet son necesarias y suficientes para que una función $f(t)$ pueda ser desarrollada en serie de Fourier. Ellas son:

- La función $f(t)$ debe ser periódica, de período T .
- La función $f(t)$ debe ser definida y unívoca, salvo un número finito de puntos, en el intervalo de integración.
- La función $f(t)$ y su derivada $f'(t)$ deben ser seccionalmente continuas en el intervalo de integración (o continuas por secciones).

2.4.5.3 Desarrollo de la serie y cálculo de los coeficientes.

Toda función que cumpla con las condiciones de Dirichlet admite ser representada por una serie de la forma:

$$f(t) = \frac{a_0}{2} + \sum_{n=1}^{\infty} a_n \cos(n\omega t) + b_n \sin(n\omega t) \quad (2-34)$$

Donde:

$$\omega = \frac{2\pi}{T} \text{ , siendo } T \text{ el período de la función } f(t).$$

Los coeficientes de la serie se calculan mediante las siguientes expresiones:

$$a_0 = \frac{2}{T} \int_{-T/2}^{+T/2} f(t) dt \quad (2-35)$$

$$a_n = \frac{2}{T} \int_{-T/2}^{+T/2} f(t) \cos(n\omega t) dt ; \text{ para } n = 1, 2, 3, \dots, n, \dots \quad (2-36)$$

$$b_n = \frac{2}{T} \int_{-T/2}^{+T/2} f(t) \sin(n\omega t) dt ; \text{ para } n = 1, 2, 3, \dots, n, \dots \quad (2-37)$$



Jean Baptiste Joseph Fourier (Auxerre, 1768 - París, 1830). Fue un célebre físico-matemático. En 1816 fue designado miembro de la Academia de Ciencias y en 1827, de la Academia Francesa. Fue un importante investigador sobre la teoría de la transmisión del calor, que se reflejó en su libro *La teoría analítica del calor*. Para el desarrollo de esta teoría, representó las funciones discontinuas como una suma de infinitos términos de senos y cosenos, la cual pasaría a denominarse serie de Fourier.



Peter Gustav Dirichlet (1805-1859). Fue un matemático y trabajó en la teoría de los números. Junto con Lobachevsky, fueron los primeros en dar el concepto de función como correspondencia entre dos conjuntos de números reales.

Ejemplo 2-3

Representar la serie de Fourier de la señal onda cuadrada indicada en la Fig. 2.15.

Para resolver este ejercicio habrá que calcular los coeficientes a_0 , a_n y b_n .

Cálculo de a_0 .

$$a_0 = \frac{2}{T} \int_{-T/2}^{+T/2} f(t) dt \quad (2-38)$$

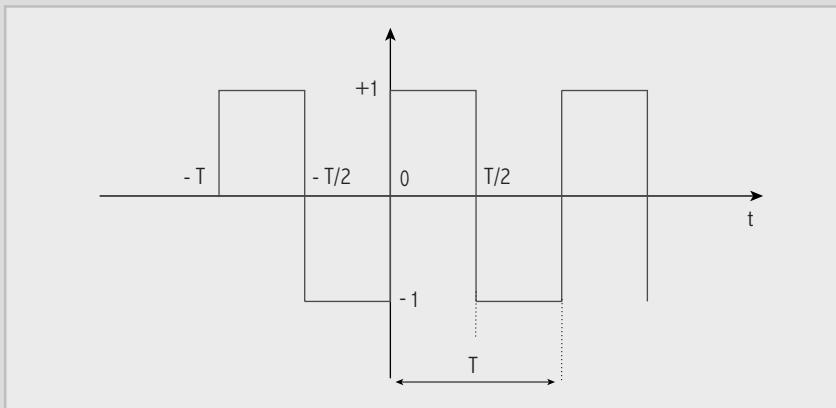


Fig. 2.15. Onda cuadrada a ser representada en serie de Fourier.

Como $f(t)$ es una función impar, simétrica respecto del origen, la integral en un período resultará nula; luego tendremos que $a_0 = 0$

Cálculo de los a_n .

$$a_n = \frac{2}{T} \int_{-T/2}^{+T/2} f(t) \cos(n\omega t) dt ; \text{ para } n = 1, 2, 3, \dots, n, \dots \quad (2-39)$$

Cálculo de los b_n .

$$b_n = \frac{2}{T} \int_{-T/2}^{+T/2} f(t) \sin(n\omega t) dt ; \text{ para } n = 1, 2, 3, \dots, n, \dots \quad (2-40)$$

Completemos el diferencial y tendremos,

$$b_n = \frac{2}{n\omega T} \int_{-T/2}^{+T/2} f(t) \sin(n\omega t) dn\omega t ; \text{ para } n = 1, 2, 3, \dots, n, \dots \quad (2-41)$$

Integrando tendremos,

$$b_n = \frac{2}{n\omega T} \left[\cos(n\omega t) \right]_{-\frac{T}{2}}^0 - \left[\cos(n\omega t) \right]_{0}^{\frac{T}{2}} \quad (2-42)$$

Luego el valor dependerá de que n sea par o impar; en efecto, si n es par, $b_n = 0$; si n es impar, resultará

$$b_n = \frac{4}{n\pi} , \text{ en consecuencia los coeficientes distintos de cero serán:}$$

$$b_1 = \frac{4}{\pi}, \quad b_3 = \frac{4}{3\pi}, \quad b_5 = \frac{4}{5\pi} \text{ y así análogamente.}$$

Luego la serie de Fourier de la función pedida será:

$$f(t) = \frac{4}{\pi} \operatorname{sen}(\omega t) + \frac{4}{3\pi} \operatorname{sen}(3\omega t) + \frac{4}{5\pi} \operatorname{sen}(5\omega t) + \cdots + \frac{4}{n\pi} \operatorname{sen}(n\omega t) + \cdots \quad (2-43)$$

y sacando factor común $\frac{4}{\pi}$, finalmente tendremos,

$$f(t) = \frac{4}{\pi} \operatorname{sen}(\omega t) + \frac{1}{3} \operatorname{sen}(3\omega t) + \frac{1}{5} \operatorname{sen}(5\omega t) + \cdots + \frac{1}{n} \operatorname{sen}(n\omega t) + \cdots \quad (2-44)$$

Este resultado demuestra que la señal onda cuadrada, como cualquier función que cumpla con las condiciones de Dirichlet, se puede expresar mediante la suma de infinitas funciones sinusoidales, todas de diferentes frecuencias. Cada una de ellas resultará igual a la del primer término multiplicada por un número entero creciente. La frecuencia f se denomina fundamental, y el resto de las mismas nf se denominarán armónicas de aquélla.

Si se tomaran solamente algunos términos de la serie, se tendría una aproximación a la función señalada, que será más precisa cuantos más términos de la serie se consideren. Como se expresó anteriormente, cuando se tomen los infinitos términos la serie representará fielmente a la función onda cuadrada original.

2.4.5.4 Expresión compleja de la serie de Fourier

Para analizar una señal en el dominio de la frecuencia es conveniente recurrir a la llamada expresión compleja del desarrollo en serie de Fourier. En efecto, es posible desarrollar una función que cumple las condiciones de Dirichlet mediante una expresión del siguiente tipo:

$$f(t) = \frac{1}{T} \sum_{n=-\infty}^{n=\infty} C_n e^{jn\omega t} \quad (2-45)$$

Donde:

$$C_n = \int_{-\frac{T}{2}}^{\frac{T}{2}} f(t) e^{-j\omega nt} dt \quad (2-46)$$

2.4.5.5 Espectro de amplitud y de fase de una función periódica

En el uso de señales digitales en los sistemas de comunicaciones muchas veces es necesario conocer el comportamiento de las funciones periódicas, no como funciones del tiempo sino de la frecuencia, o, lo que es lo mismo, de la pulsación a menos de una constante, y del ángulo de fase.

Para ello definiremos como amplitud del espectro a la expresión

$$|C_n| = \sqrt{a_n^2 + b_n^2} \quad (2-47)$$

Y a su vez, fase del espectro a la expresión

$$\phi_n = \operatorname{arc} \operatorname{tg} \left(-\frac{b_n}{a_n} \right) \quad (2-48)$$

De las expresiones [2-47], y [2-48] se puede observar que para cada valor discreto de n se tendrá un valor de amplitud $|C_n|$ y uno de fase ϑ_n . A partir de estas expresiones se podrán construir gráficos que muestren el comportamiento en amplitud y en fase; en particular:

- Amplitud del espectro en función de la pulsación $n\omega$.
- Fase del espectro en función de la pulsación $n\omega$.

Ejemplo 2-4:

Representar el tren de pulsos periódicos de la Fig. 2.16., mediante la serie de Fourier compleja y representar gráficamente los espectros de amplitud y de fase en función de $n\omega$.

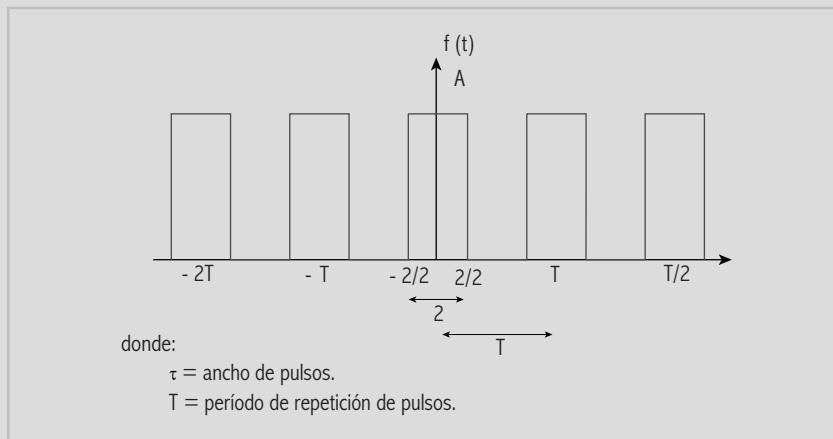


Fig. 2.16. Tren de pulsos periódicos.

Desarrollaremos la función en serie de Fourier compleja a partir de las expresiones [2-47]. y [2-48], es decir,

$$f(t) = \frac{1}{T} \sum_{n=-\infty}^{\infty} C_n e^{jn\omega t} \quad (2-49)$$

$$\text{Los } C_n \text{ se calcularán con la expresión } C_n = \int_{-\frac{T}{2}}^{\frac{T}{2}} f(t) e^{-jn\omega t} dt \quad (2-50)$$

Esta expresión para este caso tomará la forma siguiente

$$C_n = \int_{-\frac{T}{2}}^{\frac{T}{2}} A e^{-jn\omega t} dt \quad (2-51)$$

A partir de ella procederemos a integrar, y operando convenientemente la expresión anterior resultará

$$C_n = \frac{A\tau}{T} \frac{\operatorname{sen}(n\omega\tau)/2}{(n\omega\tau/2)} \quad (2-52)$$

De la expresión [2-52] se puede observar que C_n es real, de donde podremos deducir que el espectro de fase es cero. La simetría que posee la función que hemos desarrollado $f(t)$ nos permitió simplificar el análisis.

Analizando el espectro de amplitud se observa que el valor de C_n se anula por primera vez para $\frac{n\omega\tau}{2} = \pi$, de donde resulta $n\omega = \frac{2\pi}{\tau}$, el siguiente para $\frac{4\pi}{\tau}$ y en general para $\frac{2n\pi}{\tau}$, para $n = 1, 2, \dots, n$

En la Fig. 2.17., se puede observar el gráfico del espectro de amplitud del tren de pulsos analizado. Las frecuencias negativas de este ejemplo constituyen un resultado matemático pero no tienen sentido físico.

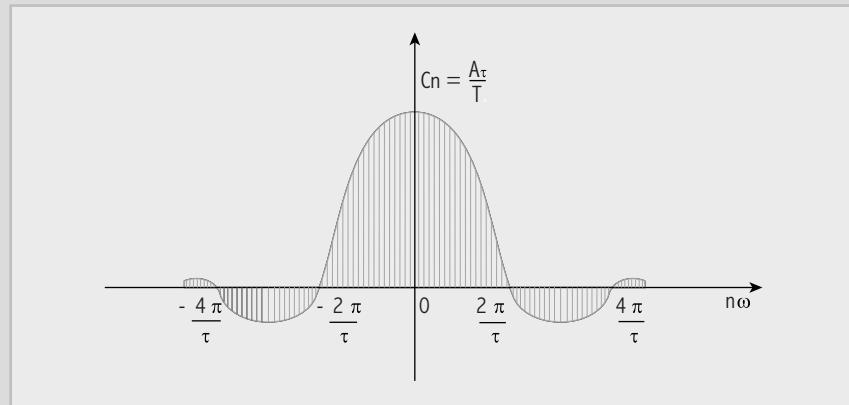


Fig. 2.17. Espectro de amplitud.

2.4.5.6 Análisis del espectro de amplitud de la señal del ejemplo 2-4

Efectuemos el análisis del espectro de amplitud de la señal del ejemplo 2-4 y a partir de consideraciones matemáticas saquemos conclusiones vinculadas con las comunicaciones.

La función de la expresión [2-52] se podría expresar como del tipo siguiente:

$$f(x) = \frac{\sin(x)}{x}, \text{ donde } x = \frac{n\omega\tau}{2} \quad (2-53)$$

Luego el límite de ella para $x \rightarrow 0$, nos dará el máximo de la función, luego,

$$\lim_{x \rightarrow 0} \frac{\sin X}{X} = 1 \quad (2-54)$$

Resultado que aplicado a la expresión [2-52] nos dará un máximo para $\frac{A\tau}{T}$, por otra parte.

Y el primer mínimo se tendrá cuando $C_n = 0$, es decir cuando $\frac{n\omega\tau}{2} = \pi$, de donde obtendremos que $n\omega = \frac{2\pi}{\tau}$.

Luego, para hallar el valor de n se debe conocer el período T y el ancho del pulso τ . Tenremos que

$$n \frac{2\pi}{T} = \frac{2\pi}{\tau}, \text{ luego resultará } n = \frac{T}{\tau}.$$

Observemos la Fig. 2.18., que muestra la relación entre el ancho del pulso del tren τ y el espectro de amplitud.

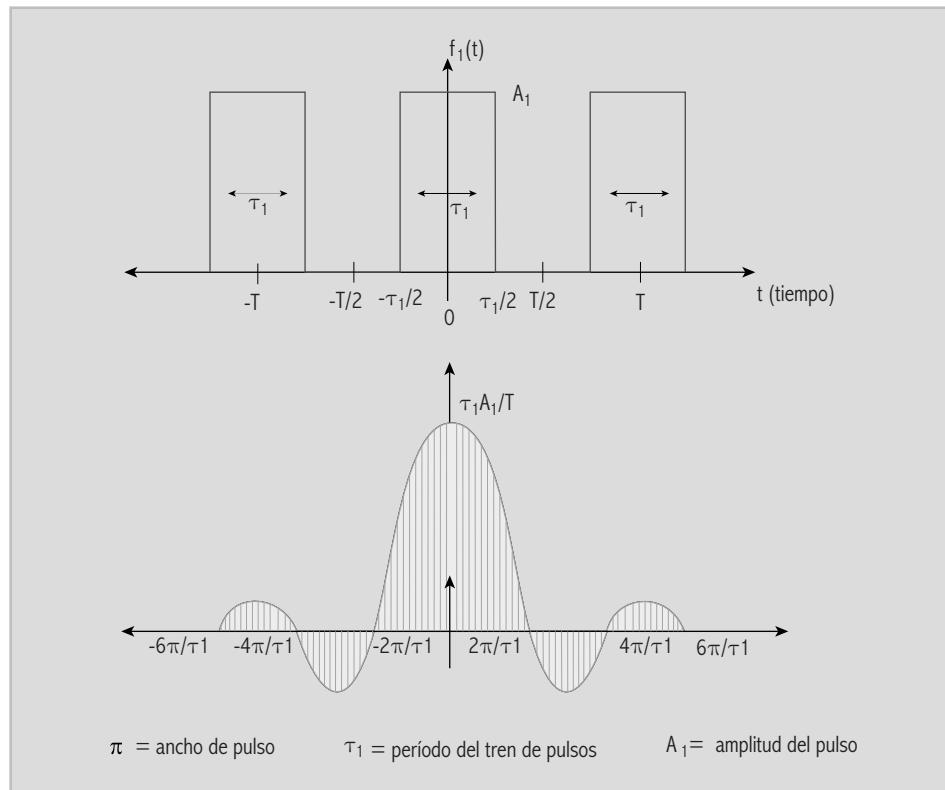


Fig. 2.18. Relación entre el ancho del pulso y el espectro de amplitud.

Y la Fig. 2.19., que muestra la relación entre el período del pulso del tren T y el espectro de amplitud.

- La separación entre componentes discretas del espectro es igual $\frac{2\pi}{T}$.

Luego, cuando aumenta la frecuencia del tren de pulsos las líneas del espectro se separan más y se extienden hacia frecuencias mayores. Esto significa que una variación más rápida de la señal $f(t)$ en el dominio del tiempo implica tener que considerar componentes de mayor frecuencia.

Expresado de otra manera, si la señal del tren de pulsos a considerar es de una frecuencia alta, la amplitud de las armónicas de las frecuencias altas será importante, y si no se tienen en cuenta estas frecuencias se cometerá un error considerable. Por el contrario, si la señal del tren es de frecuencia baja, las armónicas de frecuencias altas podrán despreciarse sin cometer grandes errores.

- Las líneas de mayor amplitud se concentran en la región de las frecuencias menores. Como la energía de una señal está directamente relacionada con la amplitud de las componentes del espectro, resulta comprensible que la mayor parte de la energía asociada a la señal esté concentrada en las frecuencias más bajas.
- Como conclusión de lo expresado se puede decir que cuando un tren de pulsos aumenta su frecuencia, también se incrementa la energía contenida en las frecuencias más altas. Por lo tanto, también crece la importancia de las armónicas de las frecuencias más altas del desarrollo en serie de Fourier de la señal, por cuanto estas transportarán más energía.

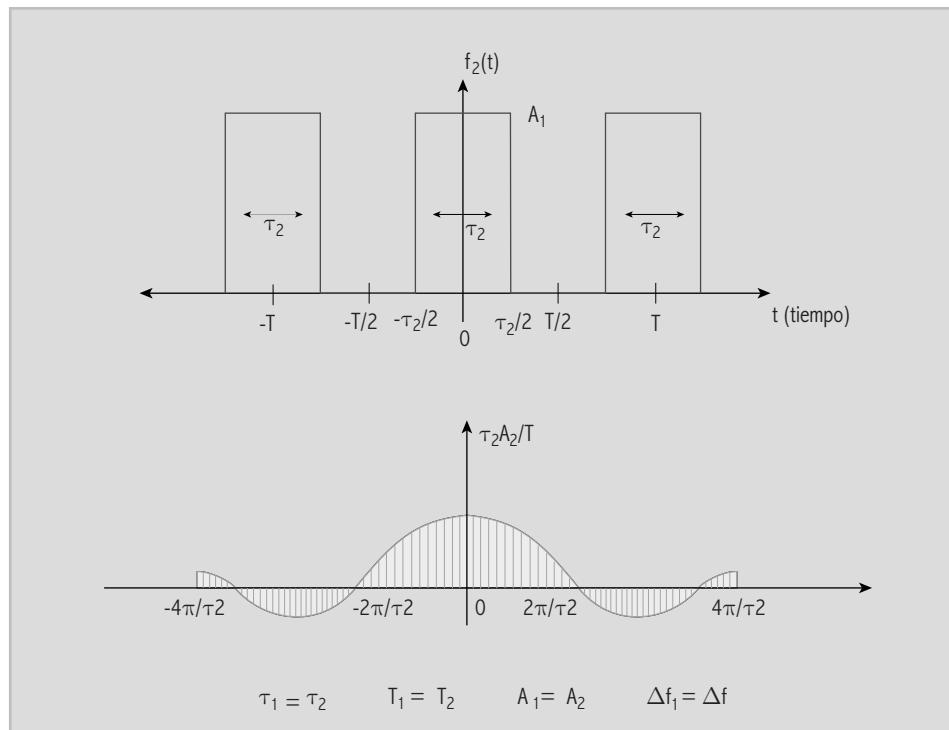


Fig. 2.19. Relación entre el período de pulso y el espectro de amplitud.

- En telecomunicaciones existe un concepto que reviste gran importancia y es el que se refiere al llamado ancho de banda.

Si bien este concepto será tratado oportunamente con mayor extensión en el punto 2.7, de este capítulo, podemos dar ahora una idea:

2.4.5.7 Concepto inicial de ancho de banda

Definiremos inicialmente como ancho de banda de una señal al intervalo de frecuencias $\Delta f = f_2 - f_1$, en el cual se concentra la mayor parte de su energía.

Para el caso que estamos analizando, podemos señalar que existe una relación inversa entre el ancho de un pulso τ y el ancho de banda Δf cubierto por el espectro de frecuencia. La mayor parte de la energía estará concentrada entre las frecuencias tal que,

$$0 < f < \frac{1}{\tau} \quad (2-55)$$

En consecuencia, el primer valor para el cual C_n se anula puede considerarse como una medida aproximada del ancho de banda, que es necesario para contener la mayor parte de la energía de la señal y, por lo tanto, como veremos más adelante, servirá para diseñar el sistema de comunicaciones.

Este valor resulta igual a

$$\omega = \frac{2\pi}{\tau} \quad (2-56)$$

Dividiendo esta última expresión por 2π obtendremos que el ancho de banda Δf será el comprendido entre la frecuencia cero y la que corresponde al primer punto donde la envolvente toma un valor nulo.

Las figuras 2-18 y 2-19 muestran que cuando el ancho del pulso aumenta, el ancho de banda tomado hasta el primer cero disminuye, y viceversa.

Los canales de comunicaciones, al poseer un ancho de banda acotado o finito, no permiten el pasaje de las infinitas armónicas necesarias para reconstruir la señal original, en el caso del ejemplo la función onda cuadrada a la salida del canal. Este no deja pasar nada a partir de cierta armónica, con lo cual la señal a la salida se encuentra distorsionada o deformada, lo que dará lugar a errores en la determinación de los unos y ceros que se han querido transmitir.

2.5 Unidades de medida usadas en las telecomunicaciones

2.5.1 Introducción

La transmisión de señales a través de medios de comunicaciones, como ya se explicó, sufren atenuaciones o pérdidas que en muchos casos obligan a amplificarlas a través de elementos pasivos o activos, para que lleguen a los receptores con valores que permitan su interpretación y decodificación. La potencia de la señal útil debe mantenerse en valores altos y adecuados en relación con el nivel del ruido y, al mismo tiempo, lo suficientemente bajos como para que la señal no sufra distorsiones que la tornen inutilizable.

Los amplificadores se caracterizan por un valor que definiremos, denominado ganancia, y las líneas de transmisión, que actúan como si fueran atenuadores, por otro valor que se denomina pérdida. Estas magnitudes están relacionadas con la potencia de la señal. Las variaciones de ella se miden utilizando unidades específicas denominadas decibel, dBm , dBu , $dBmV$, o $Neper$, unidades que son muy utilizadas en la electrónica.

Estas se utilizan para propósitos variados, entre otros, para expresar el nivel de la voz, o el de la potencia de los transmisores o receptores utilizados para enviar o recibir señales de radio, como las utilizadas en teléfonos celulares, sistemas de microondas o antenas satelitales de comunicaciones.

Indican la relación entre potencias, tensiones o corrientes. En particular, el decibel es un submúltiplo del bel, que ha caído en desuso debido a que representa un valor muy grande. El primero en utilizar estas unidades de carácter logarítmico fue Alexander Graham Bell, de allí su nombre. Existen varios conceptos y formas diferentes para definir este conjunto de unidades relacionadas con el bel; sin embargo, todas ellas apuntan a medir distintas relaciones entre magnitudes relacionadas con la potencia.

2.5.2 Ganancia de un amplificador

Sea un circuito amplificador como el de la Fig. 2.20., definiremos como ganancia la relación entre la potencia de salida y la potencia de entrada.

$$G = \frac{P_S}{P_E} \quad (2-57)$$

Como las potencias se miden en *Watt*, sus múltiplos o sus submúltiplos, la ganancia es un número que indica una relación entre la salida y la entrada de la señal.

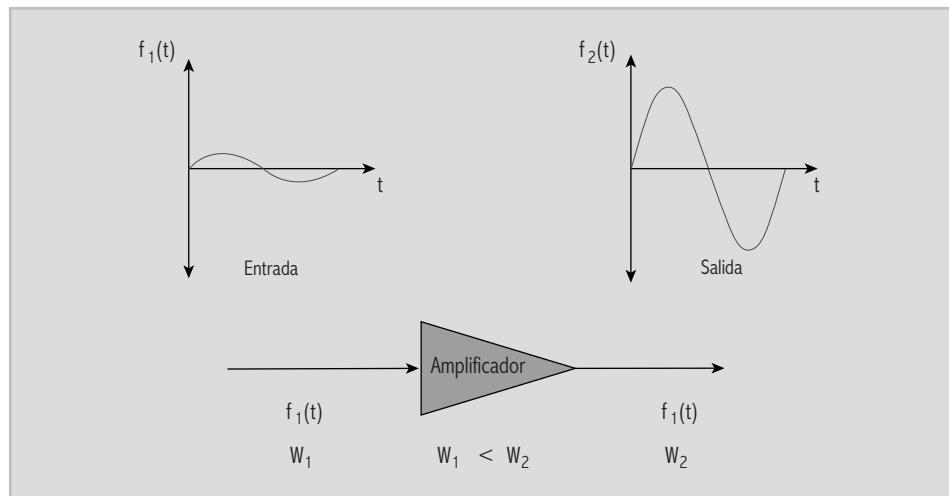


Fig. 2.20. Circuito bloque de un amplificador.

2.5.3 Pérdida

Cuando se diseñan líneas de transmisión o elementos de comunicaciones como podría ser las antenas, no se los hace para que actúen como atenuadores, pero este comportamiento es natural. A medida que la señal se va propagando, sea por un conductor o por un medio dieléctrico, la señal se va atenuando y por lo tanto la señal va perdiendo potencia. Tanto un medio como el otro se comportan como si fueran un atenuador.

Sea un circuito atenuador como el de la Fig. 2.21., definiremos como pérdida la relación entre la potencia de salida y la potencia de entrada.

$$P_{erd} = \frac{P_S}{P_E} \quad (2-58)$$

$$\text{Como } P_S < P_E, \text{ resulta } \frac{P_S}{P_E} < 1$$

Por lo que la expresión 2-58 se suele expresar por su valor inverso con signo negativo, es decir que así obtendremos un número entero negativo

$$P_{erd} = - \frac{P_E}{P_S} \quad (2-59)$$

2.5.4 Amplificadores o atenuadores en cascada

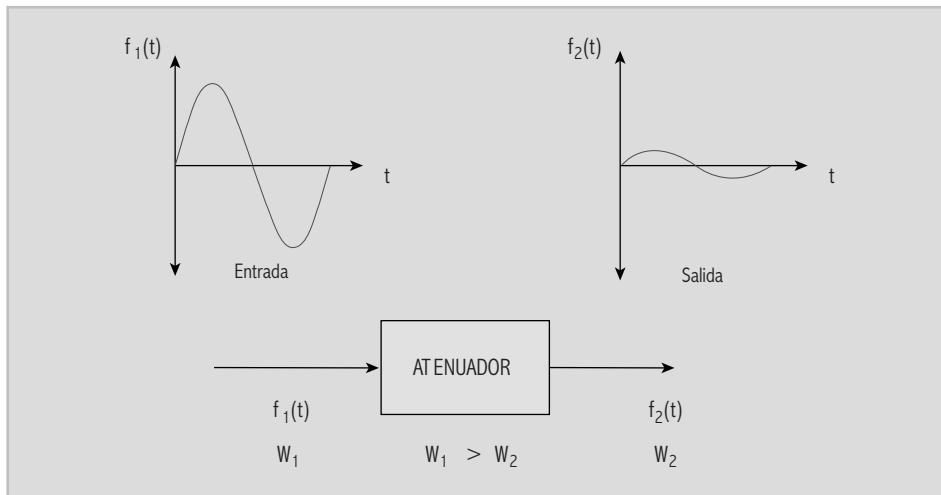
Sean dos amplificadores (o atenuadores) conectados en cascada, es decir uno a continuación del otro, la ganancia (o pérdida) de ambos será el producto de la ganancia de cada uno.

Sean dos atenuadores como nos muestra la Fig. 2.22., en cascada, la potencia de entrada del amplificador A_2 será la potencia de salida del amplificador A_1 .

La ganancia de A_1 , será

$$G_{A1} = \frac{P_{S1}}{P_{E1}} \quad (2-60)$$

Y la ganancia de A_2 ,

**Fig. 2.21.** Circuito bloque de un atenuador.

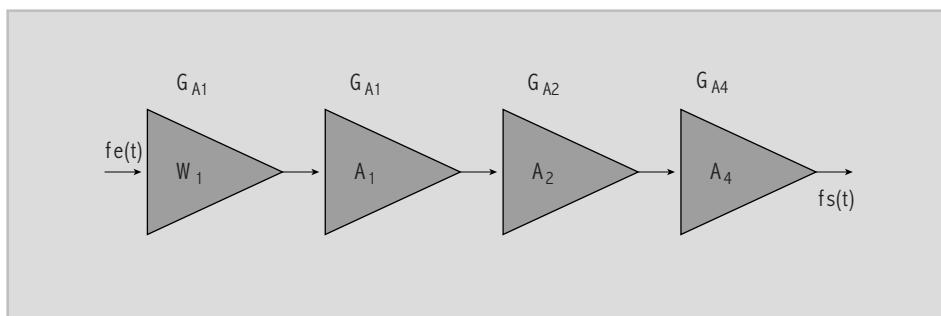
$$G_{A2} = \frac{P_{S2}}{P_{S1}} \quad (2-61)$$

Luego, la ganancia total será

$$G_{TOTAL} = \frac{P_{S1}}{P_{E1}} \cdot \frac{P_{S2}}{P_{S1}} \quad (2-62)$$

$$G_{TOTAL} = \frac{P_{S2}}{P_{E1}} \quad (2-63)$$

Que resulta de la definición de ganancia. Para considerar atenuadores, el razonamiento sería similar.

**Fig. 2.22.** Amplificadores en cascada.

Ejemplo 2-5

Calcular la ganancia de dos amplificadores conectados en cascada con los parámetros de diseño de la Fig. 2.23.:

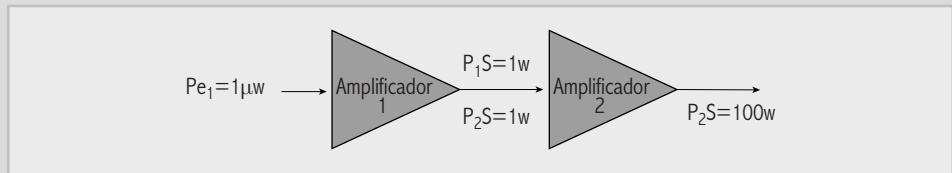


Fig. 2.23. Ejemplo de dos amplificadores en cascada.

Amplificador 1

Potencia de entrada = $1 \mu\text{W}$

Potencia de salida = 1 W

La ganancia del primer amplificador será:

$$G_{A1} = \frac{P_{S1}}{P_{E1}} = \frac{1\text{W}}{10^{-6}\text{W}} = 1 \cdot 10^6 = 1.000.000 \quad (2-64)$$

La ganancia del segundo será, como $P_{E2} = P_{S1}$,

$$G_{A2} = \frac{P_{S2}}{P_{S1}} = \frac{100 \text{ W}}{1\text{W}} = 100 \quad (2-65)$$

Por lo tanto, la ganancia total será:

$$G_{TOTAL} = 1.000.000 \cdot 100 = 100.000.000 = 10^8 \quad (2-66)$$

2.5.5 El decibel

Como se va visto, la ganancia expresada da valores poco prácticos, además de no tener relación con el comportamiento del oído humano.

Es por ello que siempre se prefiere usar el decibel, que se define como una unidad logarítmica.

Luego definiremos como ganancia en decibel a la expresión:

$$G(\text{dB}) = 10 \log_{10} \frac{P_2}{P_1} \quad (2-67)$$

Y pérdida en decibel a la expresión:

$$\text{Perd}(\text{dB}) = -10 \log_{10} \frac{P_1}{P_2} \quad (2-68)$$

Ejemplo 2-6

Con los datos del Ejemplo 2-5, calcular la ganancia en dB.

La ganancia del primer amplificador será:

$$G_{A1}(\text{dB}) = 10 \log_{10} \frac{P_{S1}}{P_{E1}} = 10 \log_{10} \frac{1\text{W}}{10^{-6}\text{W}} = 10 \log_{10} 10^6 = 6 \text{ dB} \quad (2-69)$$

La ganancia del segundo será:

$$G_{A2}(\text{dB}) = 10 \log_{10} \frac{P_{S2}}{P_{S1}} = 10 \log_{10} \frac{100 \text{ W}}{1\text{W}} = 10 \log_{10} 100 = 20 \text{ dB} \quad (2-70)$$

Por lo tanto, la ganancia total será:

$$G_{TOTAL} (\text{dB}) = 60 \text{ dB} + 20 \text{ dB} = 80 \text{ dB} \quad (2-71)$$

El ejemplo nos muestra que la ganancia total en decibel es igual a la suma de las ganancias de cada amplificador, y que los valores resultantes son mucho más manejables. Por esta razón, la ganancia se expresa casi siempre en decibel.

Por otra parte, podríamos, a modo de conclusión, expresar:

- El dB es una unidad de medida relativa que indica la relación de potencias. No tiene un valor patrón de comparación.
- Es una unidad de características logarítmicas. Esto significa, por ejemplo, que para obtener una ganancia en dB , de un valor doble al anterior, el aumento en potencia deberá ser considerablemente mayor.
- Sus características logarítmicas la convierten en una unidad de medida apta para determinar la potencia sonora, dada la respuesta logarítmica del oído humano, estudiada en la Ley de Weber-Fechner. Esta ley expresa que “la sensación subjetiva (o psicológica) es proporcional al logaritmo del estímulo físico”.

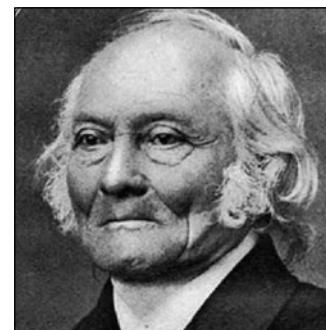
En 1834 **Weber** describió un principio que establecía una relación cuantitativa entre la magnitud de un estímulo físico, y como este es percibido por una persona. La ley tal, como se la conoce en el presente, fue perfeccionada por **Fechner** el 1860, y es de aplicación no solo al sonido sino a otros estímulos, como podría ser la sensación de soportar un peso determinado en las manos. Por esta razón, en las técnicas que se utilizan en el uso de equipamientos audiofrecuentes, los niveles de señal se expresan en decibeles.

- Cuando se habla de nivel de ruido y se da un valor en dB (que a primera vista puede parecer absoluto) lo que se quiere decir, si no se indica otra cosa, es que está medido en relación con el nivel de lo que se denomina umbral del oído humano normal. Es decir, un valor a partir del cual una persona normal empieza a oír un sonido.

Para tener una idea de valores analicemos la Tabla 2-1. En ella hemos tomado una relación de potencias en que la señal de entrada a un amplificador sea de 1 Watt . Allí se pueden observar los valores de la ganancia en dB , conociendo la potencia de salida del amplificador.

Tabla 2-1: Ejemplo de relación entre potencias y ganancias

P salida (watt)	10	100	1.000	10.000	100.000	1.000.000	10.000.000	100.000.000
Ganancia (dB)	10	20	30	40	50	60	70	80



Ernst Heinrich Weber (1795-1878). Fundó una nueva doctrina denominada psicofísica. Investigó en áreas como la acústica, el movimiento ondulatorio y el electromagnetismo, a raíz de lo cual la unidad del flujo magnético lleva su nombre.



Gustav Theodor Fechner (1801-1887). Fue físico y matemático alemán cuyas investigaciones se centraron el campo de la psicofísica de la que se lo señala como uno de sus fundadores. Estableció la fórmula logarítmica que expresa matemáticamente la relación entre la intensidad de una sensación y el estímulo que la genera.

Ejemplo 2-7

Se tiene dos enlaces de microondas, uno de acceso y otro de recepción entre dos estaciones terrestres y las antenas del satélite, como muestra la Fig. 2.24. La estación terrestre transmisora emite hacia el satélite con una potencia de $1W$. Si ella tiene una ganancia de $50\ dB$, y la antena de la estación receptora, una ganancia de $30\ dB$, ¿cuál será la potencia con que se recibirá la señal sabiendo que la atenuación de ambos enlaces es de $60\ dB$ cada uno?

Las antenas ganarán, en total,

$$G (dB) = 50\ dB + 30\ dB = 80\ dB \quad (2-72)$$

$$Perd (dB) = 80\ dB - 120\ dB \quad (2-73)$$

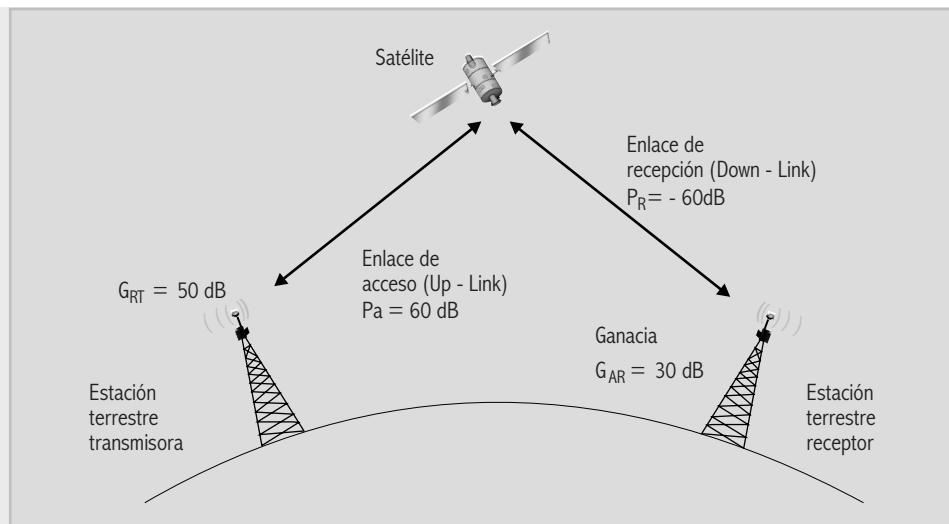


Fig. 2.24. Esquema de enlace.

$$\text{Perd} (\text{dB}) = -40 \text{ dB} \quad (2-74)$$

Luego tendremos que

$$\text{Perd} (\text{dB}) = -40 \text{ dB} = -10 \log_{10} \frac{P_2}{P_1} \quad (2-75)$$

Como P_2 es igual a 1 W , resultará,

$$\text{Perd} (\text{dB}) = -40 \text{ dB} = -10 \log_{10} \frac{1 \text{ W}}{P_1} \quad (2-76)$$

Luego La potencia de la señal en la tierra será igual a $P_1 = 0,0001 \text{ W} = 0,1 \text{ mW}$.



Georg Simon Ohm (1789-1854). Fue conocido por sus estudios de las corrientes eléctricas. Estudió en la Universidad de Erlangen. Fue Director del Instituto Politécnico de Nuremberg y profesor de Física Experimental en la Universidad de Munich. Descubrió la ley que relaciona la fuerza electromotriz, la corriente eléctrica y la resistencia. En 1827 publicó su libro *Die Galvanische Kette*.

Ahora analicemos brevemente la ley de **Ohm** compleja, para un circuito de corriente alterna. Observando la Fig. 2.25., tendremos que:

$$V [\text{Volt}] = I [\text{Ampere}] \cdot Z [\text{Ohm}] \quad (2-77)$$

$V [\text{Volt}]$ = tensión

$I [\text{Ampere}]$ = corriente

$Z [\text{Ohm}]$ = impedancia

La impedancia se puede expresar mediante un número complejo Z , tal que

$$Z = R + j(X_L - X_C) \quad (2-78)$$

Donde:

R = resistencia óhmica.

j = unidad imaginaria.

X_L = reactancia inductiva.

X_C = reactancia capacitativa.

Se puede observar que en el concepto de impedancia deben considerarse dos términos, uno real que es la resistencia óhmica, que no depende de la frecuencia, y un segundo imaginario.

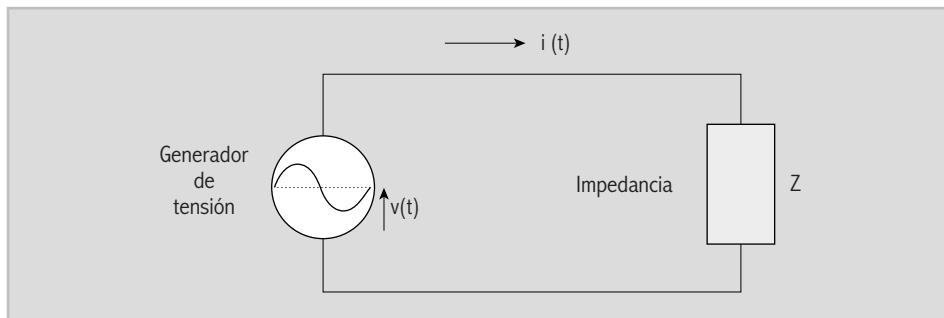


Fig. 2.25. Esquema de un circuito simple de c.a.

El término imaginario está compuesto, a su vez, por las reactancias inductiva y capacitiva. Sus valores son función de la frecuencia serán,

$$\text{Reactancia inductiva } X_L = \omega L \quad (2-79)$$

$$\text{Reactancia capacitiva } X_C = \frac{1}{\omega C} \quad (2-80)$$

Recordando que la pulsación resulta

$$\omega = 2\pi f \quad (2-81)$$

La reactancia puede expresarse de la siguiente manera

$$X_L = 2\pi f L \quad (2-82)$$

$$X_C = \frac{1}{2\pi f C} \quad (2-83)$$

Donde:

L = inductancia [Henrio].

C = capacitancia [Faradio].

X_L = reactancia inductiva.

X_C = reactancia capacitiva.

La potencia aplicada a la impedancia Z , resultará igual a

$$P [\text{Watt}] = V [\text{Volt}] \cdot I [\text{Ampere}] \quad (2-84)$$

Reemplazando en la [2-84], por la expresión de la [2-77], tendremos el valor de la potencia en función de la tensión y la impedancia:

$$P = \frac{V^2}{Z} \quad (2-85)$$

o

$$P = I^2 Z \quad (2-86)$$

Por lo tanto, la expresión que se utiliza para definir la ganancia en decibel podría ser la siguiente:

$$G (\text{dB}) = 20 \log \frac{V_S}{V_E} \quad (2-87)$$

$$G (\text{dB}) = 20 \log \frac{I_S}{I_E} \quad (2-88)$$

Y la que se utiliza para definir la pérdida en decibel podría ser:

$$Perd (dB) = -20 \log \frac{I_S}{I_E} \quad (2-89)$$

$$Perd (dB) = -20 \log \frac{V_S}{V_E} \quad (2-90)$$

2.5.6 El dBm

A diferencia del dB , que es una unidad de medida relativa, el dBm es una unidad de nivel absoluto, que mide la potencia (de salida o de entrada, según corresponda, para un circuito amplificador o atenuador) respecto de un valor fijo de $1 mW$.

$$dBm = 10 \log \frac{P_S [mW]}{1 mW} \quad (2-91)$$

Cuando la comparación se efectúa respecto de valores de potencia por debajo de $1 mW$, el resultado será siempre negativo. En algunos casos, en los que se usan potencias mayores, se toma como valor fijo $1 W$ y en ese caso la unidad se denomina dBW .

2.5.7 El dBu

El dBu es una unidad de nivel absoluto usada para comparar la tensión de salida respecto de un valor fijo de $0,775 V$.

$$dBu = 20 \log \frac{V_S [Volt]}{0,775 Volt} \quad (2-92)$$

Esta unidad es muy usada en telefonía. El valor de $0,775 V$ es un valor que resulta de aplicar una señal de una potencia de $1 mW$ sobre una impedancia de 600Ω [Ohm].

Relación entre el dBm y el dBu .

Se puede establecer una relación entre el dBm y el dBu . Veamos,

$$dBm = 10 \log \frac{P_S [mW]}{1 mW} \quad (2-93)$$

Pero como $W = \frac{V^2}{Z}$, si a una impedancia de 600Ω le aplicamos una potencia de $1 mW$, tendremos:

$$1 mW = \frac{0,775V^2}{600} \quad (2-94)$$

Reemplazando $1 mW$ por su valor, y la $P_S [W]$ por su expresión en [2-85], tendremos

$$dBm = 10 \log \frac{V^2 / Z}{(0,775V)^2 / 600} \quad (2-95)$$

Y operando convenientemente,

$$dBm = 10 \log \frac{V^2}{(0,775V)^2} + 10 \log \frac{600}{Z} \quad (2-96)$$

$$dBm = 20 \log \frac{V}{0,775V} + 10 \log \frac{600}{Z} \quad (2-97)$$

Y como $dBu = 20 \log \frac{V}{0,775V}$, resultará,

$$dBm = dBu + 10 \log \frac{600}{Z} \quad (2-98)$$

$$dBm = dBu + \text{Factor de Corrección} \quad (2-99)$$

El factor de corrección es distinto de cero, cuando la impedancia Z es distinta del valor patrón de 600Ω .

2.5.8 El dBmV

El $dBmV$ es una unidad de nivel absoluto que se utiliza para comparar la tensión de salida respecto de un valor fijo de $1 mV$.

$$dBmV = 20 \log \frac{V_S \{mV\}}{1mV} \quad (2-100)$$

2.5.9 El Neper

El neper es una unidad relativa usada como alternativa al dB . Se diferencia de esta última en que la base de los logaritmos usados es el número e, en lugar de la base 10, usada por aquella otra unidad de medida.

$$\text{Neper}(n) = \frac{1}{2} \ln \frac{P_S}{P_E} \quad (2-101)$$

Como el concepto es similar, se pueden establecer relaciones entre el dB y el *Neper*:

$$1 \text{ Neper} = 8,686 \text{ dB} \quad (2-102)$$

$$1 \text{ dB} = 0,115 \text{ Neper} \quad (2-103)$$

2.6 La transmisión de señales

2.6.1 La transmisión en medios dieléctricos

Cuando una antena de un equipo de radio transmite, lo hace en todas direcciones; aunque si estudiáramos en detalle las características de cada una de ellas en particular, se observaría que su geometría condiciona la forma de la onda irradiada.

Las antenas pueden ser direccionales o isotrópicas (igual radiación en todas las direcciones). Las direccionales tienen una importancia práctica importante, pues envían la máxima potencia en una o varias direcciones. En esas direcciones las estaciones receptoras tendrán una señal de valor más importante y, por lo tanto, de mejor calidad. Si la antena es isotrópica la potencia se irradia con iguales características en todas las direcciones.

Un ejemplo aproximado de radiación isotrópica está dado por el Sol. Este emite en todas las direcciones mediante ondas de características esféricas. Sin embargo, cuando estas ondas llegan a la tierra se observan como si en los hechos fueran ondas planas. De la misma manera, a corta distancia de la mayoría de las antenas y despreciando efectos secundarios que pueden estar presentes, las ondas se comportan como si fueran planas, de allí la importancia de estudiar la onda plana como un caso particular.

La transmisión de señales se puede realizar tanto en medios dieléctricos como en medios conductores. Analicemos la propagación de una onda plana en medios dieléctricos. Para comprender este fenómeno analizaremos cómo se propaga una onda plana.

En ella, los campos eléctrico y magnético forman entre sí un ángulo de 90° ; a su vez ambos son normales a la dirección de propagación, en este caso la del eje y, según se puede observar en la Fig. 2.26.

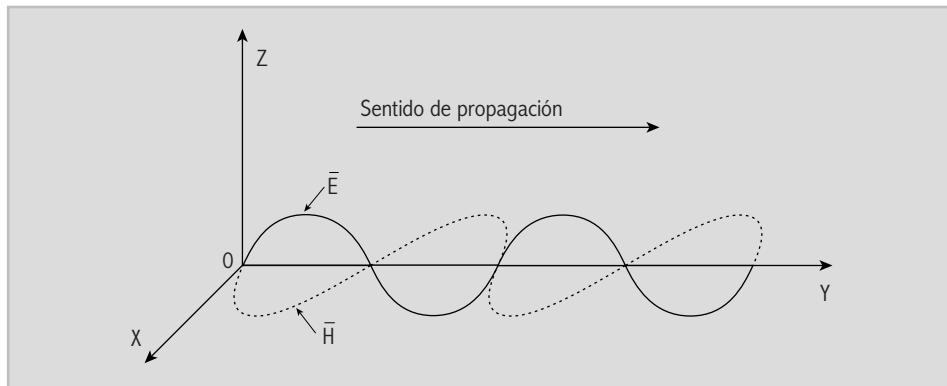


Fig. 2.26. Propagación de una onda plana.

Las ecuaciones de los vectores \vec{E} y \vec{H} serán las siguientes, teniendo en cuenta para este caso especial de una onda plana, y en la que los ángulos de fase inicial de los vectores campo eléctrico y campo magnético son iguales a 0, para $t = 0$,

$$E = E_0 \cos \omega t \quad (2-104)$$

$$H = H_0 \cos \omega t \quad (2-105)$$

Donde:

E_0 = amplitud de la intensidad del campo eléctrico.

H_0 = amplitud de la intensidad del campo magnético.

ω = pulsación de la señal. Valor igual a $\omega = 2\pi f$ (frecuencia).

En este ejemplo el vector campo eléctrico \vec{E} está orientado en la dirección O_Z y el vector campo magnético \vec{H} , en la dirección O_X . La dirección de propagación de la onda plana será en la dirección del eje O_Y y en esa misma dirección de desplazamiento se propaga su energía, que en electromagnetismo es representada por un vector denominado vector de pointing \vec{P} .

Se puede verificar que el valor de \vec{P} es el resultado del siguiente producto vectorial

$$\vec{P} = \vec{E} \wedge \vec{H} \quad (2-106)$$

Dimensionalmente resultará que

$$\frac{\text{Watt}}{\text{metro}^2} = \frac{\text{Volt}}{\text{metro}} \cdot \frac{\text{Ampere}}{\text{metro}} \quad (2-107)$$

La siguiente es la ecuación de propagación de los campos eléctricos y magnéticos, conocida también como ecuación de **D'Alembert**:

$$\frac{\partial^2 \vec{E}}{\partial y^2} = \epsilon \frac{\partial^2 \vec{E}}{\partial t^2} \quad (2-108)$$

y

$$\frac{\partial^2 \vec{H}}{\partial x^2} = \epsilon \frac{\partial^2 \vec{H}}{\partial t^2} \quad (2-109)$$



Jean le Rond D'Alembert (1717-1783). Fue matemático y filósofo. Miembro de la Academia Francesa y de la de Berlín, participó con Diderot en la publicación de la Enciclopedia. Su vinculación con las ondas proviene de su interés por el estudio de los diferentes modos de vibración de las cuerdas en relación con la música. Esto lo condujo al estudio de ecuaciones diferenciales en derivadas parciales. Una de sus obras más conocidas es un Tratado de Dinámica, donde enuncia un principio que lleva su nombre.

Donde:

ϵ = permitividad eléctrica [Faradio m⁻¹].

μ = permeabilidad magnética [Henry m⁻¹].

c = velocidad de la luz en el vacío [m seg⁻¹].

$\frac{\partial \vec{E}}{\partial t}$ es la derivada del vector campo eléctrico respecto del tiempo.

$\frac{\partial \vec{H}}{\partial t}$ es la derivada del vector campo magnético respecto del tiempo.

Tanto la velocidad de la luz como la constante dieléctrica y la permeabilidad dependen del medio de propagación. Así es que la velocidad de propagación de una onda resulta de la siguiente expresión:

$$v = \frac{1}{\sqrt{\epsilon}} \quad (2-110)$$

Operando convenientemente:

$$v^2 = \frac{1}{\epsilon} \quad (2-111)$$

$$\frac{1}{v^2} - \epsilon \quad (2-112)$$

Reemplazando en la ecuación de la onda, para ambos vectores tendremos la siguiente expresión en función de la velocidad de propagación:

$$\frac{\partial^2 \vec{E}}{\partial y^2} = \frac{1}{v^2} \cdot \frac{\partial^2 \vec{E}}{\partial t^2} \quad \text{y} \quad \frac{\partial^2 \vec{H}}{\partial x^2} = \frac{1}{v^2} \cdot \frac{\partial^2 \vec{H}}{\partial t^2} \quad (2-113)$$

La solución a la ecuación de onda es la siguiente

$$E(t; y) = E_0 \cos \omega t - \frac{y}{v} \quad (2-114)$$

$$H(t; x) = H_0 \cos \omega t - \frac{x}{v} \quad (2-115)$$

Donde:

E_0 = amplitud de la intensidad del campo eléctrico.

H_0 = amplitud de la intensidad del campo magnético.

v = velocidad de la luz en el vacío.

ω = pulsación de la señal. Valor que resulta igual a $\omega = 2\pi f$ (frecuencia).

Se puede observar que precisamente por estar propagándose es una función simultánea del espacio y del tiempo.

En este caso las soluciones para las expresiones de \vec{E} y \vec{H} muestran que ambos vectores son función de una sola coordenada por el caso particular considerado, a los efectos de la simplificación realizada en esta presentación, pero en su caso más general, las expresiones serían aún más complejas, por cuando ellos serían función de x, y, z y t .

$$\vec{E} = f(x, y, z, t) \quad (2-116)$$

$$\vec{H} = f(x, y, z, t) \quad (2-117)$$

La onda plana que se propaga en medios dieléctricos según las expresiones [2-113], [2-114] y [2-115]. Las componentes del campo eléctrico y magnético tienen igual forma, y en los dos casos son perpendiculares a la dirección de propagación de la onda.

Cuando las ondas se propagan en el vacío lo hacen a la velocidad de la luz, y en el aire, a una velocidad muy próxima.

2.6.2 El espectro de frecuencias electromagnéticas

2.6.2.1 Longitud de onda

Es importante considerar un parámetro que se denomina longitud de onda, y se representa con la letra λ .

Se denomina longitud de onda a la distancia en que la onda recorre un tiempo igual a un período.

$$\lambda = v T \quad (2-118)$$

Donde:

λ = longitud de onda.

v = velocidad de propagación.

T = período de la señal.

Reordenando, esta expresión podrá escribirse como sigue:

$$v = \frac{\lambda}{T} \quad (2-119)$$

y recordando que la frecuencia es la inversa del período, también podría expresarse así,

$$v = \lambda f \quad (2-120)$$

Si como caso particular resulta $v = c$ (velocidad de la luz), la ecuación toma la forma siguiente:

$$c = \lambda f \quad (2-121)$$

Donde la velocidad de la luz estará expresada en función de la longitud de onda y la frecuencia de la onda electromagnética. Obsérvese que siendo la velocidad de la luz una constante, también lo será el segundo miembro de la expresión. Por lo que puede deducirse que la frecuencia y la longitud de onda son magnitudes inversamente proporcionales.

A medida que aumenta la frecuencia de una señal, menor será su longitud de onda. En la práctica las velocidades de propagación en el vacío y en el aire son valores muy próximos, por lo que normalmente para calcular la longitud de onda de una señal se suele aproximar tomando el valor aproximado de 300.000.000 m seg¹.

La longitud de onda de una señal es un valor que tiene muchísima importancia práctica, porque la dimensión de las antenas de radio, cualquiera sea su geometría, guarda relación con este valor. Por otra parte, frecuencia y longitud de onda también indicarán la forma en que las señales se propagan y, por lo tanto, el alcance de una emisión, conocida la potencia de ella.

Ejemplo 2-8

Calcular la longitud de onda de una señal de radiodifusión que trabaja en la banda conocida comúnmente como de AM –modulada en amplitud–, si sabemos que la frecuencia de transmisión es de 1.110 kHz. ¿Cuál sería la longitud de su antena si la misma se desea construir en ¼ de longitud de onda de la señal?

En los sistemas de comunicaciones las antenas de transmisión de radio son los elementos que, mediante un fenómeno de resonancia, transforman en ondas electromagnéticas la potencia eléctrica que reciben de los transmisores conectados a ellas. Por el contrario, las antenas receptoras transforman las ondas electromagnéticas recibidas, que resuenan sobre ella, en potencia eléctrica que luego es amplificada en diversas etapas para su utilización por parte de los receptores.

Es sabido, además, que las antenas de equipos radioeléctricos tienen una buena eficiencia cuando su longitud física es aproximadamente la mitad o una cuarta parte de la longitud de onda de la señal electromagnética que se desea irradiar o recibir a través de ellas.

En este caso, la longitud de onda será igual a:

$$\lambda = vT \quad (2-122)$$

$$\text{como } T = \frac{1}{f} \quad (2-123)$$

Resultará que

$$\lambda = \frac{V}{f} \quad (2-124)$$

Reemplazando por sus valores tendremos,

$$\lambda = \frac{300.000.000 \text{ ms}^{-1}}{1.110.000 \text{ s}^{-1}} \quad (2-125)$$

Simplificando unidades y operando, tendremos

$$\lambda = 270,28 \text{ m} \quad (2-126)$$

Luego la señal de 1.110 kHz tendrá una longitud de onda de $270,28 \text{ m}$ (aproximadamente) por lo que una antena de $67,57 \text{ m}$ podrá irradiar con un rendimiento aceptable. Esta antena se denominará antena de cuarto de onda, pues su longitud resulta un cuarto de la longitud de onda de la frecuencia de transmisión. La mayoría de las radiodifusoras que trabajan en la banda de AM utilizan antenas de este tipo o de media onda, construidas en forma vertical. Por lo tanto, la altura de la antena de este ejemplo será de $67,57 \text{ m}$.

Ejemplo 2-9

Calcular la longitud de onda de una señal de radiodifusión que trabaja en la banda conocida comúnmente como de FM –modulación en frecuencia–, si sabemos que la frecuencia de transmisión es de $98,3 \text{ MHz}$. ¿Cuál sería la longitud de su antena si se la desea construir en $\frac{1}{2}$ de longitud de onda de la señal?

$$\lambda = \frac{V}{f} \quad (2-127)$$

Reemplazando por sus valores, tendremos

$$\lambda = \frac{300.000.000 \text{ ms}^{-1}}{98.300.000 \text{ s}^{-1}} \quad (2-128)$$

Simplificando unidades y operando, tendremos

$$\lambda = 3,05 \text{ m} \quad (2-129)$$

La longitud de una antena de media onda para esa frecuencia sería, aproximadamente, 1,52 m.

Ejemplo 2-10

Calcular la longitud de onda de una señal de telefonía celular que trabaja en la banda de 1.800 GHz.

$$\lambda = \frac{V}{f} \quad (2-130)$$

Reemplazando por sus valores tendremos,

$$\lambda = \frac{300.000.000 \text{ ms}^{-1}}{1.800.000.000 \text{ s}^{-1}} \quad (2-131)$$

Simplificando unidades y operando tendremos,

$$\lambda = 0,16 \text{ m} = 16 \text{ cm} \quad (2-132)$$

2.6.2.2 Espectro de frecuencia

La finalidad de todo sistema de comunicaciones es el de transmitir información para comunicar dos o más puntos, con la menor tasa de errores posible.

Un tipo de comunicaciones se denomina comúnmente punto a punto cuando se establece un vínculo entre dos equipos geográficamente distantes; o punto a multipunto, cuando desde un equipo se efectúan comunicaciones hacia varios puntos.

También existe el concepto de difusión, que es el caso de un equipo que solo transmite y muchos otros que solamente reciben. Este es el caso de las emisiones de estaciones públicas o privadas de radio, que porque utilizan esta modalidad reciben el nombre de radiodifusoras.

En muchos casos, como ya se expresó, las comunicaciones se realizan transmitiendo ondas electromagnéticas, ya sea a través de medios conductores (cables de cobre, coaxiales, etc.), como a través del espacio libre como ondas de radio, o utilizando fibras ópticas como ondas de luz.

Un elemento determinante en la caracterización de la energía electromagnética es la frecuencia de cada onda transmitida. El rango de frecuencias que se utiliza hoy tan amplio, que podría decirse que es casi infinito.

Nos atrevemos a expresarnos así porque se conocen y se han medido ondas de hasta 10^{22} Hertz, como es el caso de los rayos cósmicos. Recordando la expresión $c = \lambda f$, es posible determinar la longitud de onda de todas las frecuencias del espectro electromagnético. Sin embargo, para identificar las ondas de radio se utiliza preferentemente la frecuencia. Así, es frecuente oír decir que una radiodifusora se sintoniza, por ejemplo, en la frecuencia de 590 kHz en la banda AM; pero, cuando se habla de tecnologías asociadas a servicios de telecomunicaciones, es más común oír decir frases como esta: "Tengo un enlace de microondas para transmisión de voz a 64 Kbps".

Obsérvese que en ambos casos se hace referencia a la misma relación, pues c es una constante. En el primer caso se hace referencia a la frecuencia de transmisión, en el segundo, a su longitud de onda.

2.6.2.3 Bandas y gráfica del espectro de frecuencia

La clasificación de las frecuencias en segmentos, según sus características, es lo que se denomina espectro de frecuencias. La UIT lo ha dividido en bandas que reciben distintas denominaciones. Estas bandas se muestran en la Tabla 2-2.

Tabla 2-2 Bandas del espectro de frecuencias

Nro. de banda	Intervalo en Hertz o múltiplos	Longitud de onda hasta	Sigla	Nombre de la banda	Sigla
1	0 a 30 Hz	10.000 km	—	Frecuencias	
2	30 a 300 Hz	1.000 km	ELF	extremadamente bajas	Hz = Hertz
3	0,3 a 3 kHz	100 km	VF	Frecuencias de voz	
4	3 a 30 kHz	10 km	VLF	Frecuencias muy bajas	kH = 10^3 Hertz
5	30 a 300 kHz	1 km	LF	Frecuencias bajas	kh = kilohertz
6	0,3 a 3 MHz	100 m	MF	Frecuencias medias	
7	3 a 30 MHz	10 m	HF	Frecuencias altas	MH = 10^6 Hertz
8	30 a 300 MHz	1 m	VHF	Frecuencias muy altas	MH = megahertz
9	0,3 a 3 GHz	100 cm	UHF	Frecuencias ultraaltas	
10	3 a 30 GHz	10 cm	SHF	Frecuencias superaltas	GH = 10^9 Hertz
11	30 a 300 GHz	1 cm	EHF	Frecuencias extremadamente altas	GH = gigahertz
12	0,3 a 3 THz	100 mm	—	Luz infrarroja	TH = 10^{12} Hertz
13	3 a 30 THz	10 mm	—	Luz infrarroja	TH = terahertz
14	30 a 300 THz	1 mm	—	Luz infrarroja	
15	0,3 a 3 PHz	100 μ m	—	Luz visible	PH = 10^{15} Hertz
16	3 a 30 PHz	10 μ m	—	Luz ultravioleta	PH = petahertz
17	30 a 300 PHz	1 μ m	—	Rayos x	
18	0,3 a 3 EHz	100 pm	—	Rayos gamma	EH = 10^{18} Hertz
19	3 a 30 EHz	10 pm	—	Rayos cósmicos	EH = exahertz
20	30 a 300 EHz	1 pm	—	Rayos cósmicos	

El ser humano, a partir del conocimiento de la forma en que se propagan las ondas electromagnéticas, ha ido usando cada una de las frecuencias para distintas aplicaciones.

En la Fig. 2.27. se muestra una gráfica del espectro de frecuencias electromagnéticas en la que se indican las aplicaciones más importantes de cada uno de los intervalos de frecuencia. En la Tabla 2-3 se observan algunos usos más frecuentes de cada una de las bandas.

Tabla 2-3 Espectro electromagnético. Aplicaciones más comunes

Bandas según usos más frecuentes	Algunas aplicaciones	Longitud de onda (metros)	Frecuencia (Hertz)
Muy baja frecuencia	Audio, medicina, ultrasonidos	> 10 km	< 30 kHz
Onda larga	Comunicaciones submarinas	< 10 km	> 30 kHz
Onda media	Radio AM	< 650 m	> 650 kHz
Onda corta	Radio onda corta	< 180 m	> 1,7 MHz
Muy alta frecuencia	Radio FM	< 10 m	> 30 MHz
Ultraalta frecuencia	Radar, televisión	< 1 m	> 300 MHz
Microondas	Radar	< 30 cm	> 1,0 GHz
Infrarrojo cercano	Tel. celular, microondas, satélites	< 1 mm	> 300 GHz
Infrarrojo	Visores nocturnos	< 2,5 μ m	> 120 THz
Luz visible	Visión del ser humano	< 780 nm	> 384 THz
Ultravioleta	Ciencias forenses, control de plagas	< 200 nm	> 1,5 PHz
Rayos x	Medicina	< 10 nm	> 30 PHZ
Rayos gamma	Energía nuclear	< 10 pm	> 30 EHz

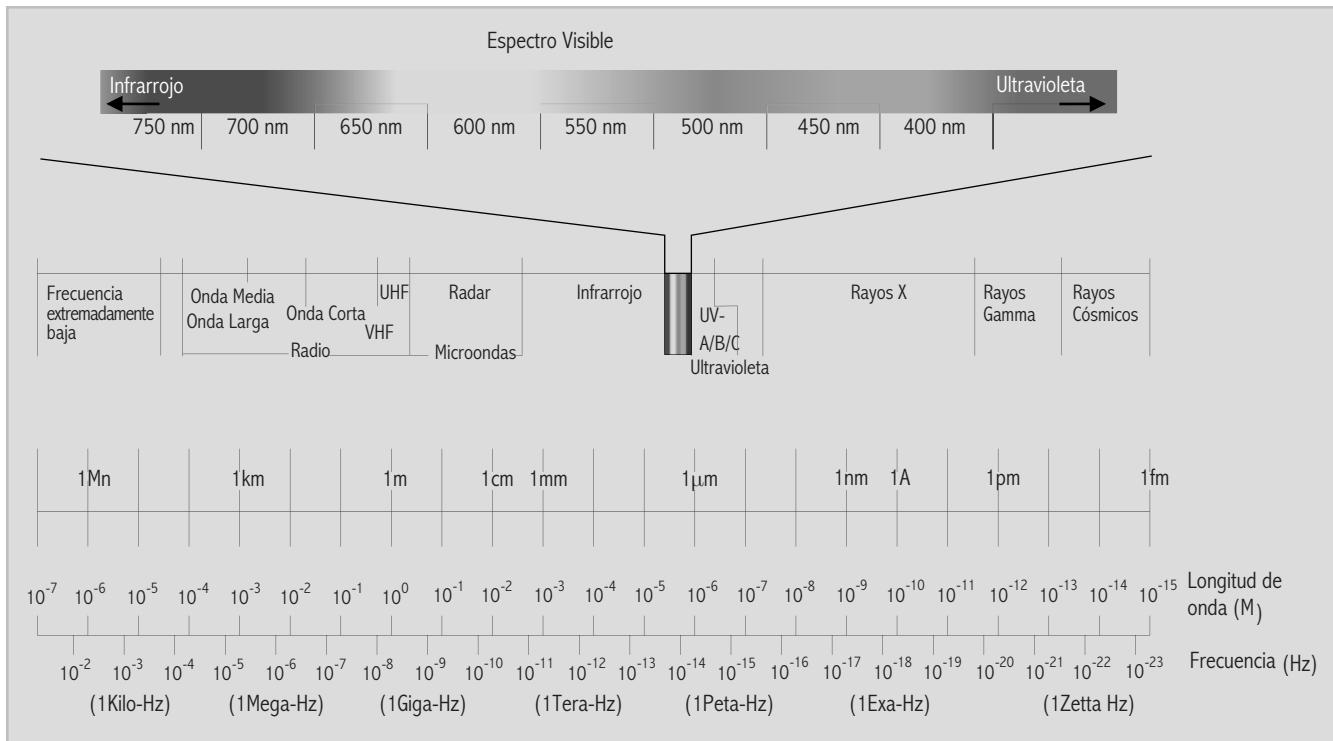


Fig. 2.27. Distribución de bandas del espectro electromagnético.

Se puede establecer una correspondencia entre los intervalos de frecuencia y los medios de comunicaciones que lo utilizan. En el capítulo 7 se estudiarán las características particulares de los medios de comunicaciones más importantes y su asociación con el espectro electromagnético.

Por otra parte, los intervalos de frecuencia se corresponden con intervalos de longitud de onda, relación que viene dada a través de la expresión [2-120].

En esta Fig. se puede apreciar qué lugar del espectro es el adecuado para el uso de las comunicaciones de radiofonía, radar, telefonía celular, televisión, microondas, comunicaciones satelitales y otras aplicaciones de comunicaciones.

Obsérvese que esta distribución está directamente vinculada con las características de propagación adecuadas a cada servicio y con la porción del espectro necesaria para su desarrollo.

2.6.3 La transmisión en medios conductores

2.6.3.1 Características de la propagación en medios conductores

Además de poder transmitirse por medio de ondas electromagnéticas, las señales se pueden transmitir a través de medios conductores, utilizando cables de cobre con distintas geometrías y estructuras de construcción, tales como cables de cobre trenzados, coaxiales, UTP y otros.

Una característica fundamental de conductor es que es una magnitud relacionada con la capacidad que tiene de conducir la corriente eléctrica. Esta se denomina conductancia y la representaremos con la letra G. Cuando estamos en presencia de un medio conductor podemos afirmar que esa magnitud es distinta de cero, es decir:

$$G \neq 0 \quad (2-133)$$

En casos ideales límites podríamos decir que si un material no conduce la corriente eléctrica tendrá un valor $G = 0$, y si fuera superconductor su valor sería $G \rightarrow \infty$.

La conductancia es la inversa de la resistencia eléctrica y se mide en Siemens [S].

$$G = \frac{1}{R} \quad (2-134)$$

Dimensionalmente será,

$$[S] = \frac{1}{\Omega} \quad (2-135)$$

La velocidad de propagación para el caso particular de la transmisión de señales mediante cables de cobre es un orden de magnitud correspondiente a la velocidad de la luz en el vacío. En particular, entre el 60% y el 85% de su valor, es decir para tomar un valor intermedio de $200.000.000 \text{ m seg}^{-1}$.

De muchos medios de comunicaciones se conoce el valor de lo que se denomina coeficiente de atenuación, que se indica con la letra griega α y se expresa en dB/km . Este coeficiente sirve para calcular la atenuación en un medio de comunicaciones a una distancia dada.

Para el caso de los cables de cobre, uno de los medios de comunicaciones aun hoy muy utilizado, la atenuación es función de las características de cada cable y de la frecuencia de la señal transmitida. Analicemos por qué las características de cada cable inciden en la atenuación de la señal. Para ello recordaremos la expresión 2-77 de la ley de Ohm compleja.

$$V = I \cdot Z \quad (2-136)$$

Donde

$$Z = R + j(X_L - X_C) \quad (2-137)$$

La resistencia a su vez depende la geometría del conductor y del metal con el que está construido. Ella es directamente proporcional a la longitud del cable entre puntos terminales del circuito, y a una constante que depende del metal, denominada coeficiente de resistividad del material que constituye el conductor, e inversamente proporcional a su sección.

$$R = \rho \frac{l}{S} \quad (2-138)$$

Donde:

R = resistencia óhmica [Ω].

ρ = resistividad del metal [$\Omega \text{ m}$].

l = longitud del cable entre extremos [m].

S = sección del conductor [m^2].

Como la inversa de la resistividad es la conductividad, podemos expresar:

$$\rho = \frac{1}{T} \quad (2-139)$$

Donde:

$$\delta = \text{conductividad del metal } \frac{S}{m} \quad (2-140)$$

Por lo que la [2-139] también puede expresarse de la siguiente manera:

$$R = \frac{l}{\tau S} \quad (2-141)$$



Jean Bernard Foucault (1819-1868). Descubrió las corrientes que se generan en metales bajo campos magnéticos variables, que hoy llevan su nombre. Son también conocidos sus trabajos con Armand Fizeau para determinar la velocidad de la luz. En 1851 alcanzó la celebridad al verificar la rotación de la tierra mediante un péndulo suspendido de un largo alambre en la torre del Pantheon de París, el cual reprodujo la rotación de la Tierra sobre su eje.

De la expresión 2-141 se puede deducir que la atenuación de un cable aumenta cuando se incrementa su longitud, y disminuye cuando se usan conductores de sección mayor. Otra manera de expresar el mismo fenómeno físico es diciendo que la intensidad de la señal será menor a medida que nos alejamos de su fuente. Por otra parte, obsérvese que cuanto mayor es la sección del conductor; si bien la atenuación disminuirá, también será mayor su peso y esto supone un mayor costo por kilómetro de línea.

Hay que destacar adicionalmente, que el denominado coeficiente de resistividad del conductor debe ser lo menor posible para lograr una menor atenuación, de ahí la necesidad de usar cobre casi con exclusividad. Los elementos que se pueden utilizar para transportar las señales eléctricas con una mínima atenuación por unidad de longitud son aquellos cuyos coeficientes de resistividad presentan los mejores valores.

Ellos son:

$$\text{Plata} = 1,6 \cdot 10^{-8} \Omega m$$

$$\text{Cobre} = 1,7 \cdot 10^{-8} \Omega m$$

$$\text{Aluminio} = 2,8 \cdot 10^{-8} \Omega m$$

La plata no se puede utilizar por razones de costo y el aluminio tiene, además de una mayor resistividad, poca maleabilidad, lo que hace poco conveniente su uso.

2.6.3.2 Efecto pelicular

Otro aspecto que hay que tener en cuenta como factor que aumenta la atenuación es la frecuencia, que además de estar incluida como elemento en la expresión de la impedancia también actúa a causa del denominado efecto pelicular.

Este fenómeno se origina en el siguiente hecho experimental. Cuando un trozo de metal es sometido a un campo magnético variable, dada su baja resistencia óhmica se generan en su interior corrientes eléctricas inducidas que pueden alcanzar valores altos. Estas corrientes se denominan corrientes de **Foucault**. Los valores de estas así generadas son mayores, cuanto mayor es la rapidez con que varía el campo magnético respecto del tiempo (frecuencia de variación).

Dada la alta temperatura que pueden alcanzar los metales con esta importante propiedad, esta tiene muchas aplicaciones industriales, como la fundición de metales en condiciones de alto vacío o el tratamiento superficial de los metales a efectos de lograr su endurecimiento, etcétera.

En los cables de cobre utilizados en comunicaciones, cuando se envían señales de frecuencias elevadas, aparece un efecto derivado de ellas, que se denomina efecto pelicular o también skin effect. En particular denominaremos efecto pelicular a lo siguiente:

Fenómeno físico por el cual la corriente tiende a circular por la superficie de los conductores metálicos cuando aumenta su frecuencia. Cuando la frecuencia es muy elevada, el valor de la corriente que circula por el eje longitudinal del conductor tiende a cero.

Este fenómeno se puede interpretar como si al aumentar la frecuencia de la corriente, se redujese la sección del conductor; o también, como si se produjera una disminución de la conductividad eléctrica del conductor. El primer punto de vista conduce a la definición de sección útil del conductor; y el segundo, al concepto de conductividad eléctrica relativa. El efecto pelicular permite definir una variable práctica denominada profundidad de penetración:

Es la distancia d , medida desde el borde de un conductor cilíndrico en dirección a su eje longitudinal, hasta la cual penetrará la corriente de una frecuencia f que circule por ese conductor.

Aceptando algunas simplificaciones, puede demostrarse que la profundidad de penetración es:

$$\delta = \frac{1}{\sqrt{\pi \sigma f}} \quad (2-142)$$

Donde:

δ = profundidad de penetración [metro].

σ = conductividad eléctrica del metal [$S m^{-1}$].

μ = permeabilidad magnética [Henry m^{-1}]

f = frecuencia [Hertz]

El valor de la denominada profundidad de penetración permite definir la sección útil del conductor, que será función de la frecuencia.

Definiremos la sección útil a una frecuencia dada a:

El área de la sección de un conductor que resulta de restar de su sección total el área de un círculo cuyo centro se encuentra en el eje longitudinal del conductor y cuyo radio es la diferencia entre el radio del conductor y la profundidad de penetración que corresponde a la frecuencia de trabajo.

La sección útil se calculará con la expresión siguiente,

$$\text{Sección útil} = \pi r_c^2 - \pi (r_c - \delta)^2 \quad (2-143)$$

Donde:

r_c = radio del conductor.

δ = profundidad de penetración.

En la Fig. 2.28. se muestra la superficie útil de un conductor metálico en tres situaciones distintas: la primera, cuando circula una corriente continua; la segunda, cuando circula una corriente de frecuencia f_1 , y la tercera, cuando circula una corriente f_2 ; tal que $f_2 >> f_1$.

Definiremos la conductividad eléctrica relativa, σ_R como sigue:

Valor de la conductividad eléctrica que tendría un conductor por el que circula una corriente de frecuencia f , si la corriente circulara usando toda su sección.

Obsérvese que para los casos de la Fig. 2.28., resulta:

$\sigma = \sigma_R$ para el primero; $\sigma > \sigma_R$ para el segundo; y $\sigma >> \sigma_{R1}$ para el tercer caso.

Ejemplo 2-11

Se desea saber cuál es el valor en milímetros correspondiente a la profundidad de penetración en un cable de cobre típico usado en telefonía, de 0,6438 mm de diámetro (este valor del diámetro se corresponde con calibre AWG 22 del *American Wire Gauge*) cuando se transmiten frecuencias del orden de 3,3 kHz, y cuál sería su valor si se transmitieran frecuencias del orden de 1 MHz. Calcular cuál es la superficie útil usada para transportar las señales en ambos casos.

Se sabe que el valor de la conductividad eléctrica del cobre es $\sigma = 5,8 \cdot 10^7 S m^{-1}$, y la permeabilidad de este material es $\mu = 4 \cdot 10^{-7} H m^{-1}$.

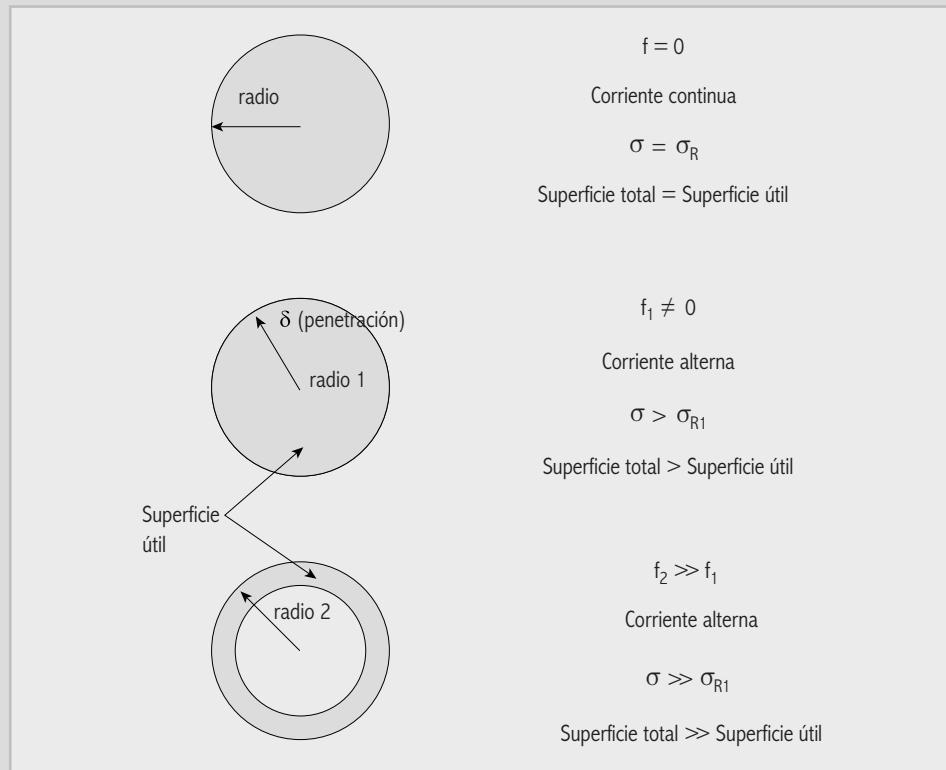


Fig. 2.28. Efecto pelicular en un conductor metálico.

Primero calcularemos la profundidad de penetración a la frecuencia de 3 kHz . Reemplazando por valores en la expresión [2-142], tendremos:

$$\delta_1 = \frac{1}{\sqrt{\pi \cdot 4\pi \cdot 10^{-7} \cdot 5.8 \cdot 10^7 \cdot 3.300}} \quad (2-144)$$

$$\delta = 0.00115 \text{ m} \quad (2-145)$$

$$\delta = 1.15 \text{ mm} \quad (2-146)$$

Para el caso correspondiente a la frecuencia de 4 MHz , tendremos,

$$\delta_2 = \frac{1}{\sqrt{\pi \cdot 4\pi \cdot 10^{-7} \cdot 5.8 \cdot 10^7 \cdot 4,000,000}} \quad (2-147)$$

$$\delta \equiv 0.000003305 \text{ m} \quad (2-148)$$

$$\delta = 0.03305 \text{ mm} \quad (2-149)$$

Obsérvese que en el primer caso la profundidad de penetración obtenida, $\delta_1 = 1,15$ mm, supera bastante el radio del conductor, que es igual a $0,3219$ mm (es decir, $\text{diámetro}/2 = 0,6438/2 = 0,3219$ mm); por lo tanto, en este caso no se verifica el efecto peculiar, pues la corriente circulará por toda la sección del conductor.

En el segundo caso, la profundidad de penetración obtenida, $\delta_2 = 0,0209 \text{ mm}$, es menor que el radio del conductor y, en consecuencia, la superficie útil será menor, y la resistencia eléctrica y la atenuación del medio aumentarán.

Calculemos ahora la sección útil para el segundo caso. Puesto que la sección útil es la sección total menos el área del círculo interior por donde no circula corriente, tendremos

$$\text{Sección real del conductor} = 3,14 \cdot (0,3219)^2 \quad (2-150)$$

$$\text{Sección real del conductor} = 0,3215 \text{ mm}^2 \quad (2-151)$$

$$\text{Sección útil} = 3,14 \cdot (0,3219)^2 - 3,14 \cdot (0,3219 - 0,03305)^2 \quad (2-152)$$

$$\text{Sección útil} = 0,0610 \text{ mm}^2 \quad (2-153)$$

Como se puede apreciar, a la frecuencia de 1 MHz la sección útil del conductor se reduce fuertemente. Como conclusiones podemos sostener que:

- La atenuación será función de la resistencia del conductor.
- A enlaces más largos, mayor atenuación.
- Una forma de disminuir la atenuación es aumentar el diámetro del conductor.
- A mayor frecuencia de la señal que será transmitida a través de conductor, mayor será la atenuación.

Los fenómenos de atenuación requieren un tratamiento en las redes de comunicaciones que consiste en la instalación de amplificadores.

Este problema es típico de las transmisiones de banda ancha utilizando el par telefónico. Cuando se quieren alcanzar velocidades altas, si el conductor no tiene el diámetro adecuado, el efecto de penetración o pelicular afecta la transmisión.

En los casos de cables de cobre, de uso típicos en los pares de abonados utilizados actualmente en los servicios de banda ancha residenciales, se puede definir una constante k de manera que contenga todos los elementos analizados. De esta manera, es posible calcular la atenuación (pérdida) en dB de un cable de cobre mediante la expresión:

$$\text{Perd } (\text{dB}) = \alpha \sqrt{f} \text{ dB} \quad (2-154)$$

Donde

f = frecuencia.

α = constante específica para cada cable (geometría y características).

Ejemplo 2-12

Si se conoce que un cable tiene una atenuación de 10 dB a una frecuencia de 100 KHz , calcular la atenuación de ese cable a una frecuencia de 1 MHz .

Conocida la atenuación a una frecuencia dada podríamos plantear la siguiente expresión:

$$\alpha = \frac{\text{Perd } (\text{dB})}{\sqrt{f}} \quad (2-155)$$

Si llamamos Perd^1 (dB) y f^1 , para el caso conocido y Perd^2 (dB) para la pérdida a la frecuencia f^2 , tendremos:

$$\frac{\text{Perd}^1}{\sqrt{f^1}} = \frac{\text{Perd}^2}{\sqrt{f^2}} \quad (2-156)$$

$$Perd^2 = Perd^1 \frac{\sqrt{f^2}}{\sqrt{f^1}} \quad (2-157)$$

$$Perd^2 = 31,6 \text{ dB} \quad (2-158)$$

Valor que es coherente con la teoría, es decir, a mayor frecuencia, mayores pérdidas en el conductor.

2.7 Ancho de banda

2.7.1 Definición de ancho de banda

El concepto de ancho de banda es uno de los más importantes en el campo de las telecomunicaciones. Denominaremos ancho de banda de una señal a lo siguiente:

Intervalo de frecuencias para las cuales la distorsión lineal y la atenuación permanecen bajo límites determinados y constantes. Los valores que se toman como valores de referencia pueden ser arbitrarios.

$$\Delta f = f_2 - f_1 \quad (2-159)$$

Si bien los límites pueden ser arbitrarios, en la generalidad de los casos se definen para una atenuación de 3 dB con respecto al valor que tiene la señal a la frecuencia de referencia, según se observa en la Fig. 2.29.

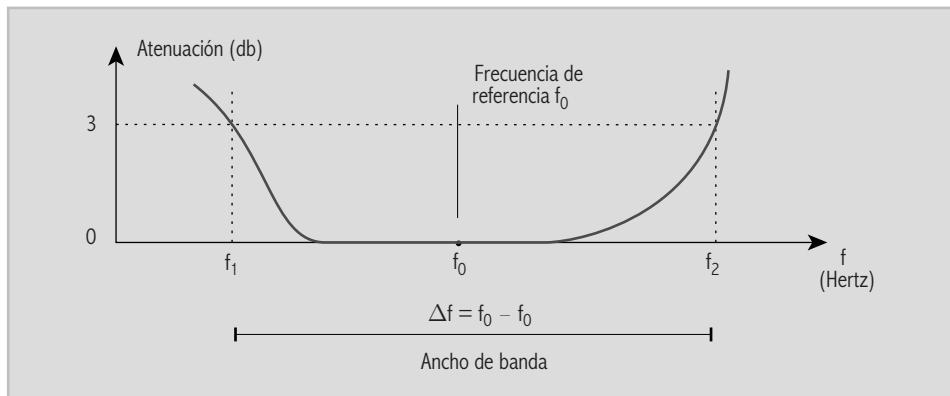


Fig. 2.29. Atenuación de una señal en función de su frecuencia.

Los valores de f_1 y f_2 se denominan límites inferior y superior del ancho de banda de una señal. Para ellos la atenuación de la señal es de -3 dB respecto al valor f_0 de referencia, que se encuentra a 0 dB .

2.7.2 Concepto de ancho de banda

La limitación más importante para el funcionamiento de un sistema de comunicaciones es precisamente el ancho de banda del canal.

El ancho de banda está directamente relacionado con la cantidad de información que puede pasar a través del intervalo de frecuencias que él define. En términos matemáticos, y si analizáramos la definición dada con el ejemplo 2-3, que hemos desarrollado para obtener la serie de Fourier de una señal onda cuadrada, podríamos señalar:

- Conocidos cuales son los límites que este define, inferior y superior, podríamos saber que armónicas están comprendidas en ese intervalo.
- Esas armónicas tendrán una atenuación a lo sumo de -3 dB . Las armónicas cuyas frecuencias estén por debajo o por arriba de ese valor tendrán una atenuación mayor y su participación para reconstituir el pulso serán de un valor prácticamente nulo.
- Si nosotros quisiéramos transmitir mayor cantidad de información por unidad de tiempo, es evidente que deberemos disminuir el período por cada bit transmitido. Recordemos la expresión [2-7],

$$T = \frac{1}{f} \text{ [seg]}$$

T_1 representa el período del pulso a transmitir y su inversa es la frecuencia del pulso; valor que será, además, el de la primera armónica del desarrollo en serie. Luego, si disminuimos T_1 para aumentar la cantidad de información, se incrementará la frecuencia f_1 , y, en consecuencia, la frecuencia de todas las siguientes armónicas f_2, f_3, f_4, f_n . Si suponemos, como ocurre en muchas oportunidades, que las primeras armónicas del desarrollo en serie son todas mayores al límite inferior del intervalo definido por el ancho de banda, dentro de él entrarán desde la fundamental o primera armónica, hasta una que llamaremos armónica de orden n .

Definímos ahora dos valores T , tal que

$$T_1 \gg T'_1 \quad (2-160)$$

Resultará,

$$f_1 \ll f'_1 \quad (2-161)$$

Representemos en un gráfico las frecuencias de las armónicas de un caso y del otro. La Fig. 2.30., nos muestra qué armónicas, que antes entraban dentro del ancho de banda, cuando se procede a aumentar la cantidad de información ahora están fuera de él. Luego, ellas estarán fuertemente atenuadas por el canal de comunicaciones y su aporte a reconstituir la señal será despreciable.

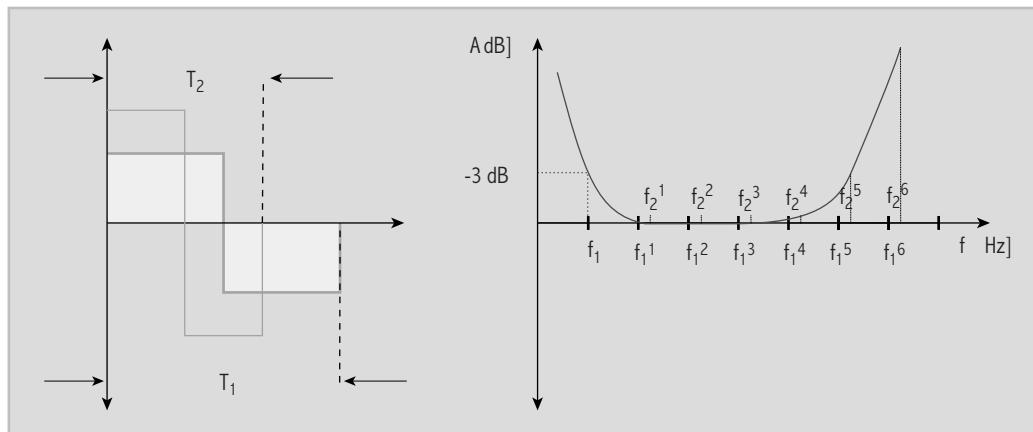


Fig. 2.30. Distribución de las armónicas de una señal dentro del ancho de banda del canal.

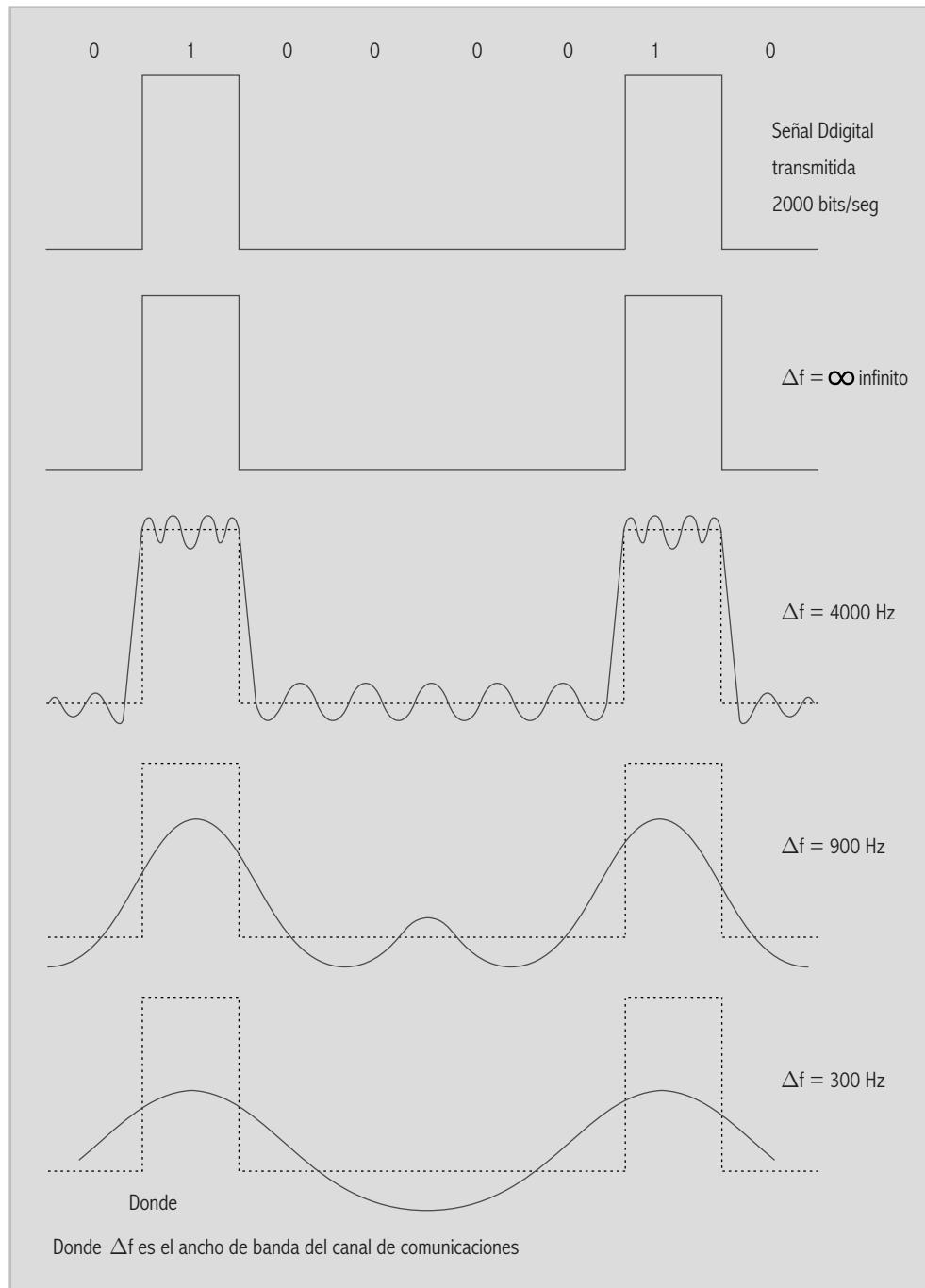


Fig. 2.31. Distorsión de una señal por efecto del ancho de banda.

- Las componentes de la serie de Fourier, cuyas frecuencias están comprendidas dentro del ancho de banda, es decir entre sus límites, sufrirán atenuaciones de hasta 3 dB.
- Las situadas por arriba y por debajo de ellos son atenuadas con más fuerza y el medio actúa como un filtro, que solo deja pasar, a efectos prácticos, las del ancho de banda señalado.

- Cuanto más atenuadas estén las distintas armónicas, la señal tendrá una mayor distorsión, es decir una mayor deformación en su forma. Desde un punto de vista práctico, esta distorsión se traducirá en una mayor cantidad de errores de transmisión lo que de alguna manera degradará a esta.

Cuando una señal cuadrada, rectangular o en general cualquier señal digital pasa a través de un soporte físico, siempre sufre una deformación producida por la limitación que origina lo que se denominaremos el ancho de banda pasante del medio.

En el ejemplo de la Fig. 2.31., se puede ver cómo la señal se deforma a medida que el ancho de banda disminuye. Podremos decir entonces que el medio de comunicaciones se comporta como un filtro pasa banda.

Estos filtros tienen la característica de dejar pasar las frecuencias comprendidas dentro de una banda, cuyos límites están dados, precisamente, por los valores más alto y más bajo de los indicados arriba.

Si el ancho de banda fuese teóricamente infinito, es decir,

$$f_1 = 0 \text{ y } f_2 = \infty \quad (2-162)$$

entonces todas las armónicas de la señal pasarían sin atenuación y, por lo tanto, la señal no sufriría deformación alguna. Sin embargo, en la práctica esto no sucede y a medida que el ancho de banda se reduce, mayor es la deformación de la señal.

2.7.3 Capacidad de un canal de comunicaciones

El concepto de capacidad de un canal en un sistema de telecomunicaciones está vinculado con la cantidad de información generada en la fuente; el sistema puede transmitir hacia el sumidero por unidad de tiempo con una tasa de errores razonable. Precisamente, la capacidad de un canal de un sistema de telecomunicaciones está dada por el ancho de banda disponible.

Al ser el ancho de banda un intervalo de frecuencias, su unidad de medida será $\frac{1}{seg}$. Si los canales son analógicos se mide en hertz o sus múltiplos (kHz, kilohertz; MHz, Megahertz; etc.), y cuando son digitales, en *bps* o sus múltiplos (Kbps, kilobit/seg; Mbps, Megabit/seg, etc.).

En el caso de un canal de voz es común hablar de canales de *3,1 kHz* y de *4 kHz*; en el caso de canales digitales de datos, son habituales los anchos de banda de *64 Kbps* y de *2,048 Mbps* (en los Estados Unidos este valor no se usa y en su lugar es común el de *1,544 Mbps*).

Luego, cuanto mayor es la cantidad de información que es necesario enviar, mayor deberá ser el ancho de banda requerido para transmitirla.

En el caso de transmisión de imágenes, por los que manejan archivos en modo gráfico se sabe que a igual contenido de información mayor es el tamaño del archivo. Por ejemplo, si tomamos una página de texto y la copiamos mediante un procesador de textos común, veremos que el tamaño del archivo generado no supera los *20 a 25 KB*; sin embargo, si capturamos la imagen de esa misma página mediante un escáner, el tamaño del archivo gráfico generado será del orden de los *200 KB*.

En la Tabla 2-4 se indican algunos de los anchos de banda aproximados que necesitan las aplicaciones más comunes.

La importancia del ancho de banda se podrá ver en los distintos capítulos de este texto, pero, a modo de resumen, podemos decir que las tarifas que se deben pagar para transmitir señales de voz, datos, textos e imágenes por los distintos medios de comunicaciones son, en

la mayoría de los casos, proporcionales al ancho de banda que es necesario usar para que la información llegue con la fidelidad y calidad adecuadas.

Tabla 2-4 Ancho de banda requerido por distintos servicios de comunicaciones

Nº	Formas de información	Ancho de banda [kHz]
1	Canal telefónico de voz (par de abonado)	3,1
2	Canal de voz analógico por onda portadora	4
3	Música de alta fidelidad (HI FI)	16
4	Disco compacto (CD)	22
5	Canal de voz digital	64/65
6	Canal de radio FM	200
7	Canal de televisión (CATV)	6
8	Teleconferencia (a través de redes digitales ISDN)	128/256

2.7.4 Curva de ganancia de un amplificador

Cuando se estudia el ancho de banda resulta muy conveniente relacionar siempre este concepto con la curva de ganancia de un amplificador de audiofrecuencia.

La ganancia de estos amplificadores en función de la frecuencia nunca es absolutamente constante, sino que presenta diferentes valores según el intervalo que se considere. Este hecho siempre se trata de corregir, pues una mayor ganancia, por ejemplo, en las frecuencias bajas, restará calidad a la señal porque la forma de onda en la salida será diferente de la que tenía cuando fue generada.

Precisamente, un amplificador es de mayor calidad que otro cuando, a igual ancho de banda, la curva de respuesta en frecuencia tiene características más planas. La Fig. 2.32. muestra la curva típica de ganancia de un amplificador en función de la frecuencia, que recibe el nombre particular de respuesta en frecuencia.

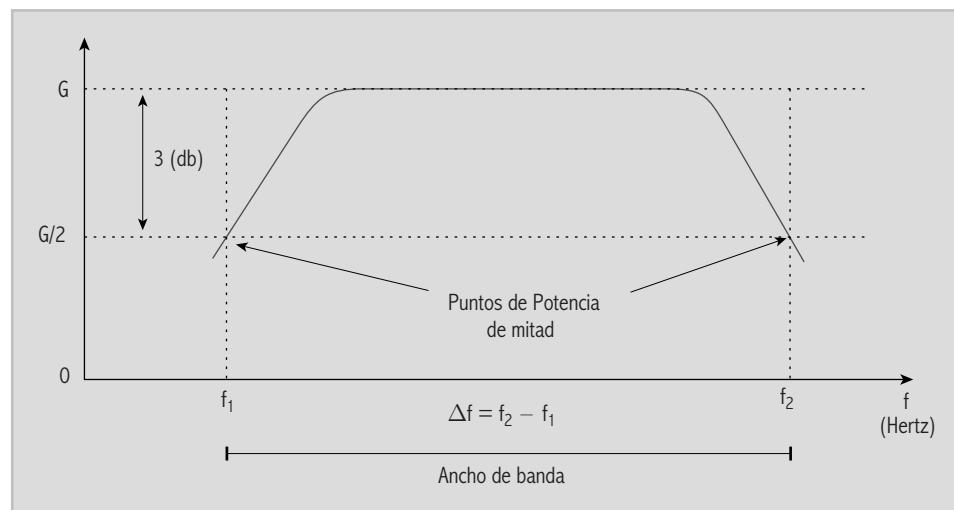


Fig. 2.32. Cueva de ganancia de un amplificador.

De lo expuesto se deduce que carece de sentido indicar la magnitud de la ganancia de un amplificador, a menos que se señale simultáneamente la frecuencia a la que fue medida.

Las frecuencias a las cuales la ganancia de potencia de un amplificador cae al 50% del valor correspondiente al de la frecuencia f_0 , se las conoce con el nombre de frecuencias de corte superior F_2 e inferior F_1 , y el intervalo $\Delta F = [F_2 - F_1]$ es el ancho de banda del amplificador.

Las frecuencias F_2 y F_1 constituyen, precisamente, los límites superior e inferior del ancho de banda definido por el hardware del equipo con que se haya efectuado la medida. En el caso de un equipo de música de alta fidelidad (HI-FI) el ancho de banda debería ser del orden de los 16 kHz, para que sea de una calidad aceptable.

2.8 Señales en banda base

2.8.1 Definición

Se denominan señales en banda base a: *aquellas señales que, generadas por una fuente de información, no sufren ningún proceso de modulación o tratamiento a su salida.*

Estas señales se pueden codificar de distintas formas, de allí el nacimiento de los denominados códigos en banda base o códigos de línea. Existen diferentes tipos de códigos en banda base, los que son utilizados según las características de la transmisión que se quiera realizar.

2.8.2 Señales unipolares, polares y bipolares

2.8.2.1 Señal unipolar

Se dice que la señal es unipolar cuando el valor que representa a un determinado dígito binario, sea este un cero o un uno, toma siempre la misma polaridad, positiva o negativa, mientras que el otro dígito toma el valor cero. La forma típica de esta señal se puede observar en la Fig. 2.33.

Dependiendo de la polaridad, se tendrán señales unipolares positivas o negativas. Esta condición de línea es equivalente a representar un 1 o un 0 por encendido o el apagado de una luz.

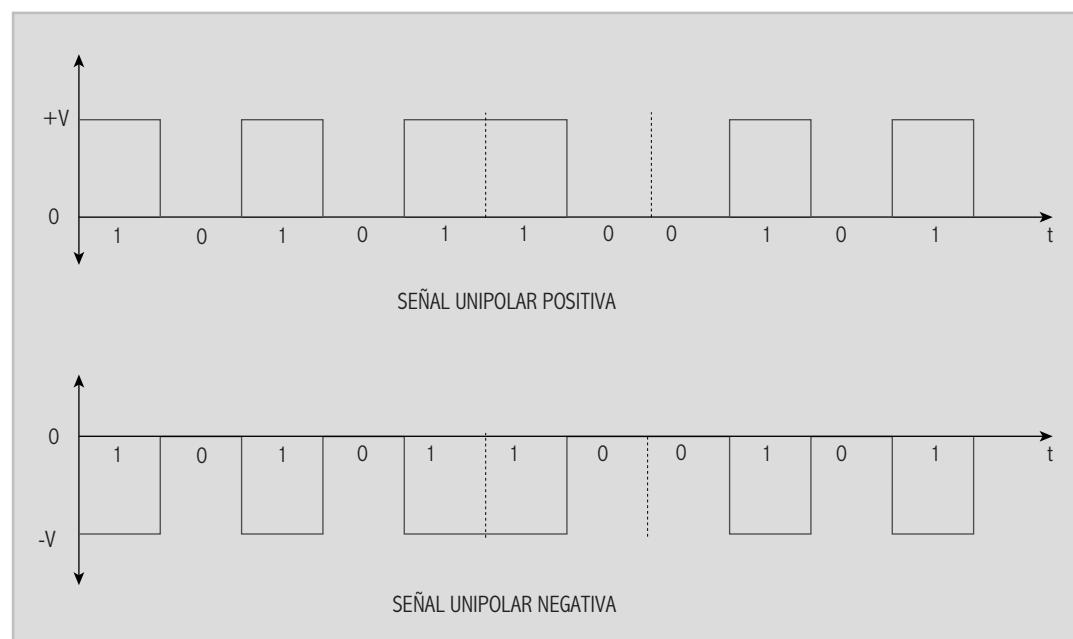


Fig. 2.33. Señales unipolares positiva y negativa.

2.8.2.2 Señal polar

Se dice que la señal es polar cuando los valores que representan a los dígitos binarios 1 y 0 se originan como consecuencia de la conmutación de la línea entre un valor positivo de tensión V_1 y el valor negativo de tensión $-V_1$.

La forma típica de esta señal se puede observar en la Fig. 2.34.

De esta forma, un valor binario cualquiera tendrá siempre una polaridad determinada, mientras que el otro binario presentará polaridad inversa. La señal en la línea nunca toma el valor cero.

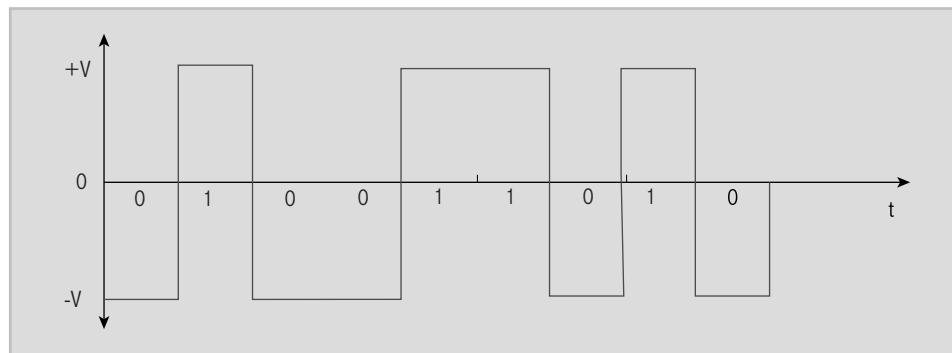


Fig. 2.34. Señal polar.

2.8.2.3 Señal bipolar

Se dice que la señal es bipolar en los casos en que un determinado dígito (cero o uno) va tomando valores alternados de polaridad, mientras que el resto del dígito siempre adopta el valor cero.

En el ejemplo de la Fig. 2.35. se puede observar una señal digital, en la que los unos toman en forma alternada los valores de polaridad positivos y negativos, mientras que los ceros no poseen polaridad alguna.

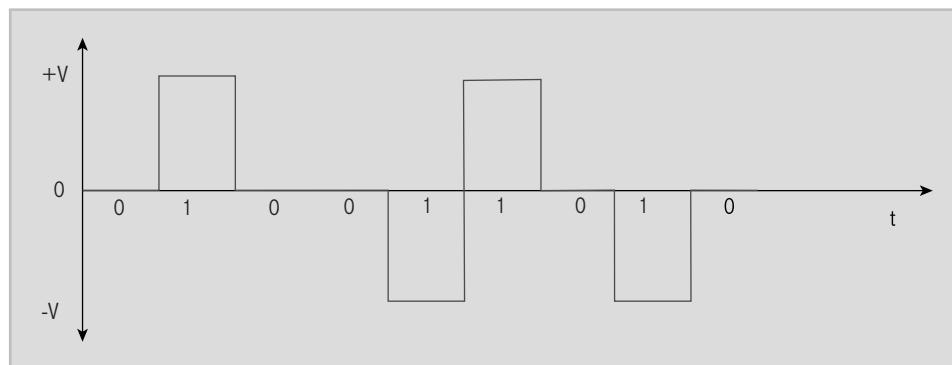


Fig. 2.35. Señal bipolar.

2.8.3 Transmisión en banda base

2.8.3.1 Características generales de las transmisiones en banda base

El uso de transmisiones en banda base suele ser frecuente por el bajo costo de los equipos usados, además de permitir extender el alcance de las interfaces digitales.

Cuando se usa este tipo de transmisión, los equipos de terminación del circuito de datos ETCD, que por costumbre se los denomina igualmente módem, no realizan la función de modulación sino la de codificación mediante los denominados códigos de línea.

Estos equipos, de muy sencilla construcción, como ya se expresó, y de muy bajo costo reciben el nombre comercial de módem banda base.

La utilización de códigos de línea como los que analizaremos a continuación tienen como misión fundamental solucionar los siguientes aspectos técnicos inherentes a las transmisiones en banda base:

- Eliminar o disminuir la componente continua de la señal.
- Transmitir una señal de sincronismo desde el transmisor hacia el receptor.
- Permitir detectar la presencia de señal en la línea.

Cuando, en particular, se desea enviar señales en la modalidad de banda base la señal es previamente codificada de forma de reducir a un mínimo la componente de continua, que todo pulso rectangular asimétrico puede presentar.

Los transformadores y de amplificadores, si fuese ese el caso, no dejarían pasar esta componente, lo que provocaría una fuerte deformación de la señal, hecho que originaría un aumento de la tasa de error.

En varios tipos de redes, como por ejemplo las denominadas redes de área local - Local Area Network, se transmite fundamentalmente en banda base debido a que los medios de comunicación empleados no pertenecen a redes públicas, como sería el caso si se utilizase la red telefónica conmutada (RTC).

Por lo tanto, es necesario que la señal en banda base sea codificada para adaptarla a la línea de transmisión y solucionar los problemas precedentemente indicados, de allí surge la existencia de los diferentes códigos de línea o códigos de banda base.

2.8.3.2 Características particulares de las transmisiones en banda base

La señal en banda base más simple para la transmisión de la información del usuario es la unipolar NRZ (*non return to zero*), que reconoce la siguiente regla:

Se dice que la señal no retorna a cero cuando durante todo el ancho de pulso la tensión permanece constante y no toma el valor cero.

La transmisión de un (uno) 1 corresponde a la emisión de un pulso. La transmisión de un (cero) 0 corresponde a la no emisión de un pulso.

Se dice que es unipolar, tal como se indicó en el punto 2.8.1.1, porque el 1 toma siempre la misma polaridad (positiva o negativa), mientras que el 0 no tiene polaridad. A este tipo de señal se la conoce también como señal ON/OFF.

Una señal eléctrica ON/OFF, correspondiente a una secuencia aleatoria de bits, tiene un comportamiento en el dominio de la frecuencia, que depende del formato del pulso transmitido, el ancho de pulso y la amplitud, así como de la probabilidad de ocurrencia de los unos y ceros en la secuencia. Esta señal se destaca por su valor alto de componente continua.



Cuando la señal se analiza mediante la serie de Fourier, la componente de continua resulta el término a_0 .

En caso de pulsos rectangulares con amplitud normalizada y ocurrencia equiprobable de unos y ceros, la distribución de potencia de la señal en el dominio de la frecuencia da lugar al espectro de amplitud, que se puede observar en la Fig. 2.36.

El espectro de potencia de la señal ON/OFF se caracteriza por una componente de frecuencia cero o corriente continua (en inglés, DC), y por la suma de los infinitos términos de la serie denominados armónicas, que se extienden por todo el rango de frecuencias, tal como se detalla en el punto 2.4.5.3 de este capítulo.

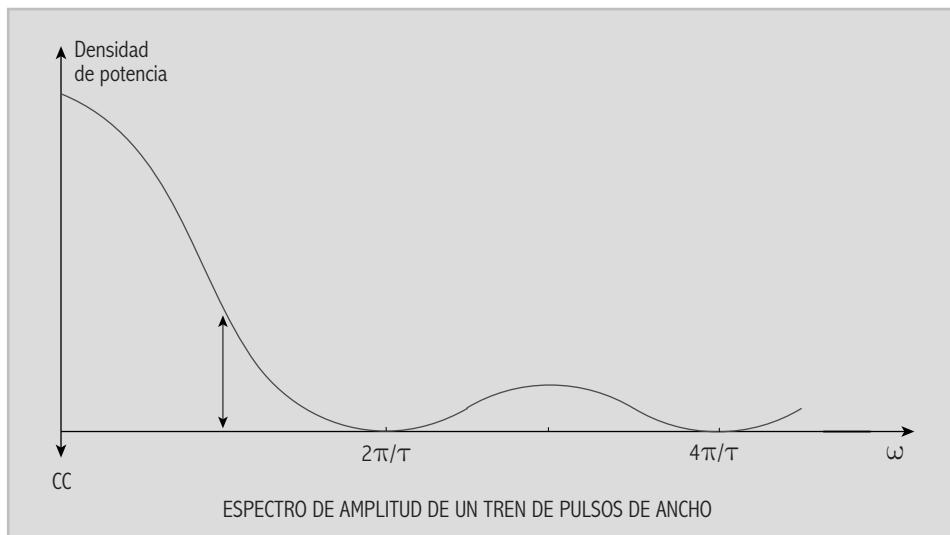


Fig. 2.36. Espectro de amplitud de un tren de pulsos.

La mayor parte de la potencia de la señal se halla distribuida entre los valores de frecuencia cero y $2\pi/\tau$, denominada frecuencia de señalización. Es necesario señalar la importancia de las frecuencias bajas, en especial las cercanas a cero, pues comprometen de una manera importante la transmisión de señales digitales en banda base.

La característica de tener un nivel de componente continua importante y componentes espetrales de baja frecuencia significativas, ocasionan que sea incompatible la transmisión de estas señales en líneas donde exista acoplamiento a través de transformadores, dado que estos no permiten el pasaje de corriente continua.

Tampoco se puede efectuar la telealimentación mediante corriente continua a través de circuitos como interfaces, repetidores, módems, etc., a través del mismo medio que transmite las señales de datos. Esto se debe a que la deformación de la señal sería muy importante.

Por otro lado, la presencia de los transformadores es inevitable para brindar, entre otras aplicaciones, las de acoplamiento, proporcionar aislación eléctrica entre transceptores y tierra, o permitir la conversión de valores diferentes de tensión alterna.

Otro inconveniente adicional relativo a las señales ON/OFF se presenta cuando se tiene que enviar señal de reloj, o de sincronismo, junto con la de datos. En otras palabras, el receptor se sincroniza a través de las transiciones de los pulsos recibidos. Este requerimiento es muy importante para redes locales, dado que la señal ON/OFF no posee la potencia suficiente a la frecuencia de señalización y en consecuencia impide recuperar la señal de reloj.

Por otro lado, si en la transmisión se incluye una larga secuencia de ceros o de unos, la señal en la línea permanece constante durante todo el tiempo que dura esa secuencia, por lo

cual las transiciones de la tensión o corriente correspondiente a cada pulso no se detectan en el extremo receptor. Esto origina que en el receptor no se pueda detectar la señal de reloj, es decir que se pierde el sincronismo en la transmisión.

Mediante los métodos existentes de codificación de señales en banda base se pueden superar estos inconvenientes. Además, con ellos se logran espectros de frecuencia mejor adaptados a las características de los medios de transmisión. La Fig. 2.36. describe el espectro de amplitud de una señal banda base binaria sin codificar. Observando la figura, surge que el espectro contiene frecuencias que se extienden desde cero hasta valores muy altos.

Cuando se opta por un medio físico de comunicaciones, por ejemplo un par de cables de cobre, cable coaxial, fibra óptica, etc., una de sus características fundamentales es el ancho de banda Δf , que permite transmitir una señal dentro de los límites de atenuación ya señalados (ver 2.4, Fig. 2.25.) de -3 dB . En estos casos, cuando hay importantes componentes de frecuencias altas, estas son fuertemente atenuadas y, por lo tanto, las señales quedan deformadas.

Cuando la señal ON/OFF se analiza en el dominio del tiempo, se observa que no tiene regularmente la cantidad suficiente de transiciones como para excitar un circuito recuperador de la señal de reloj.

Los métodos de codificación en banda base deben considerarse como una disposición diferente de la señal ON/OFF para poder adaptarla a las condiciones de la línea de transmisión.

Actuando sobre la forma de la señal eléctrica que representa los bits, se consigue alterar convenientemente el espectro de potencia de la señal transmitida.

Al contrario de lo que ocurre con el proceso de modulación, en el cual se realiza un desplazamiento del espectro de frecuencias de la banda base hacia frecuencias superiores, como se indicará con mayor detalle en el capítulo 4, en la transmisión en banda base se preserva el espectro de frecuencia original y se utiliza una codificación especial para adaptar la señal a la línea de transmisión.

Por otra parte, aparece un fenómeno denominado interferencia intersímbolos (ISI), que consiste en la superposición total o parcial de un símbolo o pulso y el siguiente, lo que ocasiona errores en el tratamiento de la señal. La Fig. 2.37. muestra un ejemplo de interferencia intersímbolos.

Un medio de particular interés siempre lo constituyen los canales telefónicos. Estos tienen un ancho de banda comprendido entre 300 a 3.400 Hz. En este tipo de canales es imposible transmitir señales en banda base, por las razones expuestas, excepto que se trate de pares de alambre sin cargar, que es un tipo especial de vínculos que suelen existir en las redes telefónicas para permitir los servicios de banda ancha sobre pares telefónicos.

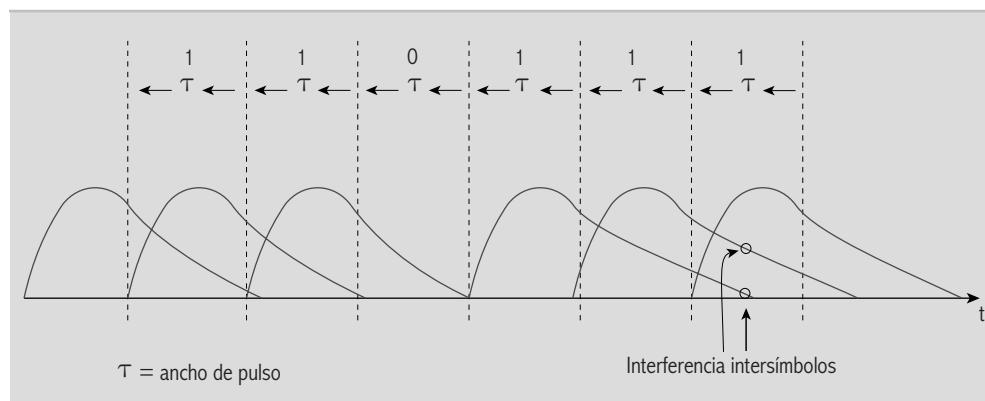


Fig. 2.37. Interferencia intersímbolos.

2.8.4 Clasificación de las señales en banda base

Las señales en banda base pueden clasificarse de diferentes formas:

2.8.4.1 De acuerdo con el ancho de pulso

- Cuando los bits están representados por pulsos que ocupan la totalidad del intervalo significativo ancho de pulso, tenemos la familia denominada NRZ (no retorno a cero).
- Por otra parte, se entiende como intervalo significativo de una señal, al tiempo existente entre dos instantes significativos de ella en la línea, tal como se puede apreciar en la Fig. 2.38.
- Cuando los bits se representan por pulsos que ocupan una parte, en general la mitad del intervalo significativo, tenemos las señales denominadas RZ (retorno a cero).

Un ejemplo de este tipo se puede apreciar en la Fig. 2.39.

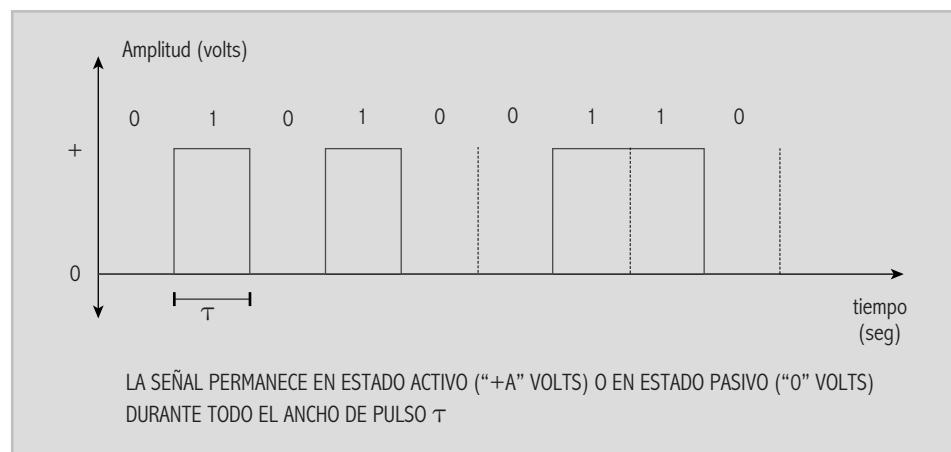


Fig. 2.38. Señal NRZ.

2.8.4.2 Segundo la polaridad

Como se explicó en el punto 2.8.1, las señales digitales pueden tomar diferentes valores de polaridad, por lo que se las puede clasificar en:

- Unipolares

Se denomina codificación unipolar a aquellos códigos cuyas señales tienen dos niveles, uno de los cuales es cero.

Se pueden presentar las combinaciones que se muestran en la Tabla 2-5.:

Tabla 2-5: Combinaciones en señales unipolares

0 y Nivel +	(Unipolar positiva)
-------------	---------------------

0 y Nivel -	(Unipolar negativa)
-------------	---------------------

- Polar.

Son códigos, cuyas señales tienen dos niveles de diferente polaridad, que son: $[+]$ y $[-]$.

Se denomina codificación polar a aquella que utiliza el nivel cero para representar el cero $[0]$ lógico y polaridad alternativa $[+]$ y $[-]$, al uno $[1]$ lógico.

- Bipolar.

Se denomina codificación bipolar a aquellos códigos cuyas señales tienen tres niveles de amplitud: $[+]$, $[0]$ y $[-]$.

En la Fig. 2.40. se ejemplifican los tres casos posibles, según la polaridad, y aplicados a la misma secuencia binaria.

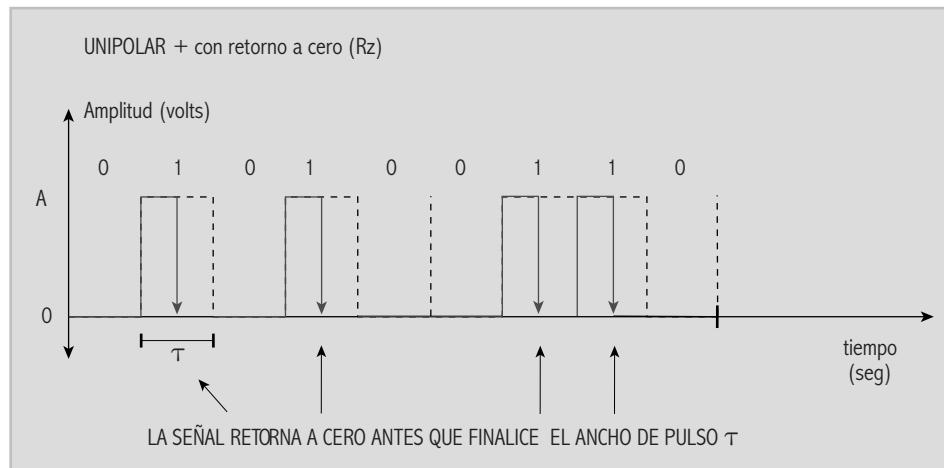


Fig. 2.39. Señal RZ.

2.8.5 Códigos usados para señales en banda base

2.8.5.1 Conceptos generales

Las señales en banda base se codifican mediante la representación de los símbolos digitales, ceros o unos, en señales eléctricas equivalentes que siguen reglas prácticas determinadas.

Mediante el empleo de las señales estudiadas en el punto anterior se construyen los diferentes códigos usados para señales en banda base.

En la Fig. 2.40., se detallan los códigos más sencillos sin retorno a cero (NRZ).

– Códigos de banda base:

- Unipolar sin retorno a cero (NRZ).
- Unipolar con retorno a cero (RZ).
- Polar sin retorno a cero (NRZ).
- Polar con retorno a cero (RZ).
- Bipolar con retorno a cero (RZ).
- Bipolar sin retorno a cero (NRZ).
- Codificación diferencial.
- Manchester.
- Manchester Diferencial.
- MILLER.
- HDB - 3.
- Código 4B3T (4 binario - 3 ternario).

2.8.5.2 Sin retorno a cero (NRZ)

En la Fig. 2.41., se puede observar una señal unipolar en banda base del tipo más simple usado en la práctica.

Un pulso de corriente continua y un estado de corriente nulo determinan el estado de cada bit. Se debe efectuar un muestreo de la señal a efectos de determinar el valor de cada bit de información, observando la presencia o la ausencia de corriente, dado que dos bits consecutivos del mismo valor no originan transición alguna.

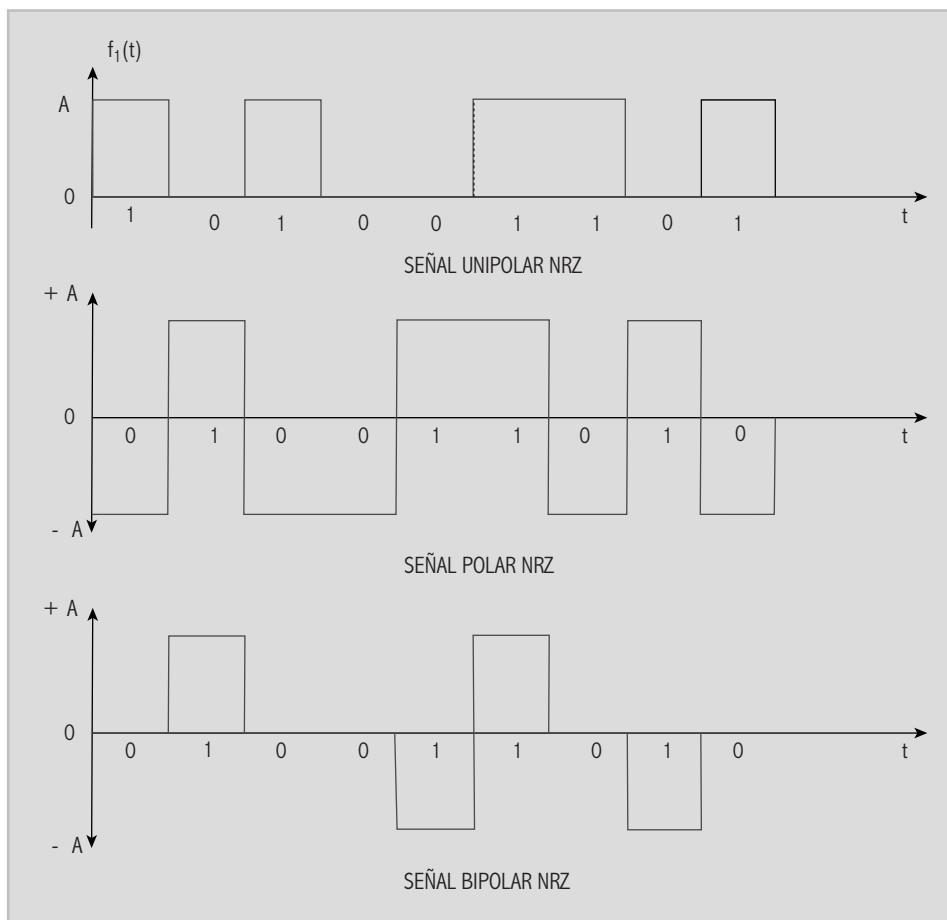


Fig. 2.40. Señales unipolares, polares y bipolares.

Para la transmisión de un 1, corresponde una condición de corriente, que se suele denominar nivel de marca, dado que este tipo de codificación tiene su origen en el equipamiento telegráfico.

Para la transmisión de un 0, corresponde una condición de no corriente, que también se suele denominar nivel de espacio.

Hay que recordar que se denomina sin retorno a cero, dado que durante todo el intervalo significativo (ancho de pulso) la señal de línea permanece en un estado determinado de marca o espacio.

2.8.5.3 Polar sin retorno a cero (NRZ)

En la Fig. 2.42., se puede observar una señal polar sin retorno a cero. Esta señal está graficada asignando polaridad positiva a los unos y negativa a los ceros.



Fig. 2.41. Señal unipolar positiva sin retorno a cero (NRZ).

Una corriente continua positiva y otra negativa determinan el estado de cada bit, durante todo el intervalo significativo. En este tipo de señales, si bien se pierde el sincronismo, se tiene la ventaja de que se requiere menor ancho de banda, dado que los pulsos son más anchos que los correspondientes a señales polares con retorno a cero.

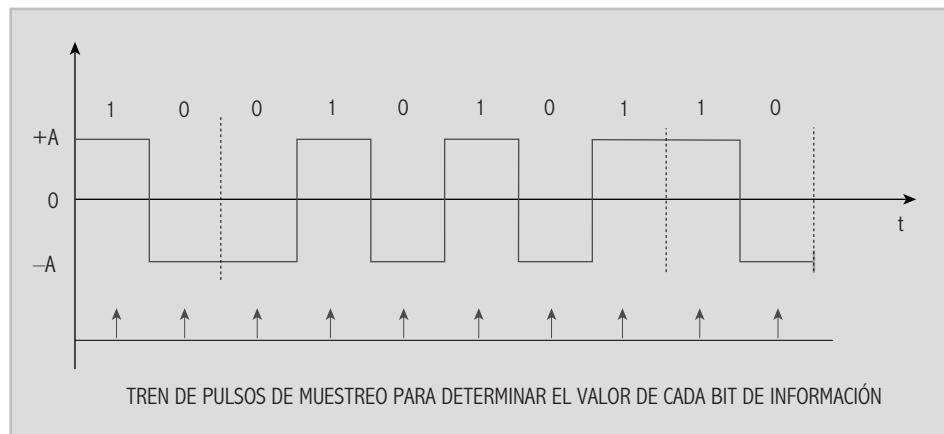


Fig. 2.42. Señal polar sin retorno a cero (NRZ).

Aquí también se debe usar un muestreo para conocer la presencia de cada bit de información observando la polaridad de la corriente, dado que no hay ninguna transición entre dos bits consecutivos iguales.

El umbral de decisión es cero.

2.8.5.4 Polar con retorno a cero (RZ)

Existirá una corriente positiva breve para los bits que lleven un 1 de información y posteriormente la corriente retornará a cero, durante el tiempo que corresponde a ese bit.

En forma idéntica ocurrirá cuando aparezca un bit que lleve un 0, solo que la corriente será negativa, según se puede observar en la Fig. 2.43.

Este tipo de señales se denominan autosincronizantes, debido a que en el receptor, la base de tiempo, también denominada reloj de recepción, queda únicamente sincronizada por la cadencia de los pulsos, positivos y negativos, que arriban desde el transmisor.

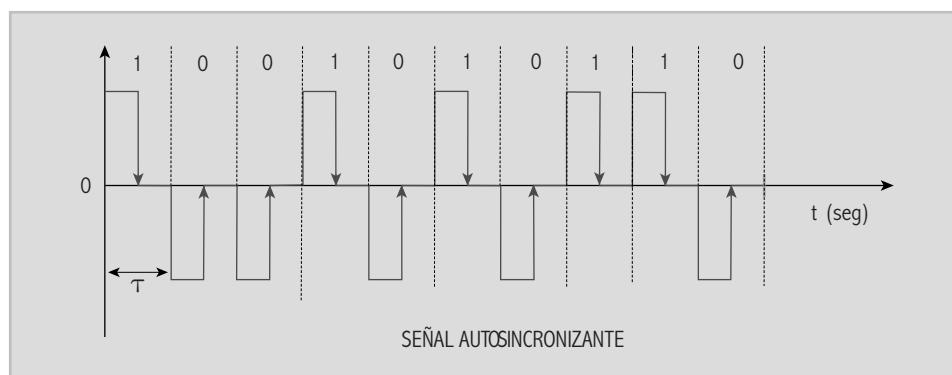


Fig. 2.43. Polar con retorno a cero señal autosincronizante.

2.8.5.5 Bipolar con retorno a cero (RZ)

En este tipo de señales bipolares se utiliza la bipolaridad solamente en forma alternada y para cuando se transmiten unos. Asimismo, se disminuye el ancho de los pulsos debido al retorno a cero de la señal antes de finalizado el intervalo significativo.

En una señal bipolar el retorno a cero solamente disminuye la energía transmitida, al ser los pulsos más angostos, pero no aporta nada a la recuperación de la señal de reloj. La transmisión de 0 corresponde a señales de no corriente, según se puede observar en la Fig. 2.44.

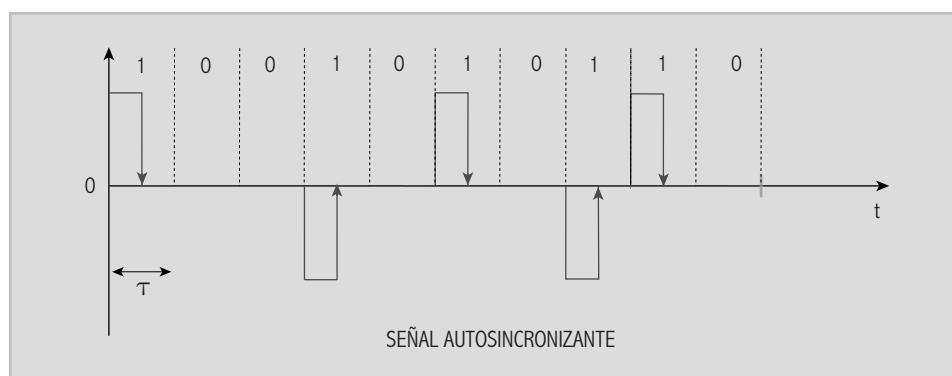


Fig. 2.44. Bipolar con retorno a cero (RZ).

2.8.5.6 Bipolar sin retorno a cero

Este tipo de código, también denominado Código AMI (*Alternative Mark Inversion*, Inversión alternativa de marcas), presenta la ventaja de utilizar pulsos de mayor duración que los bipolares con retorno a cero, en consecuencia, el requerimiento de ancho de banda es menor.

Por otro lado, desde el punto de vista del sincronismo tiene iguales características que los anteriores, según se puede observar en la Fig. 2.45.

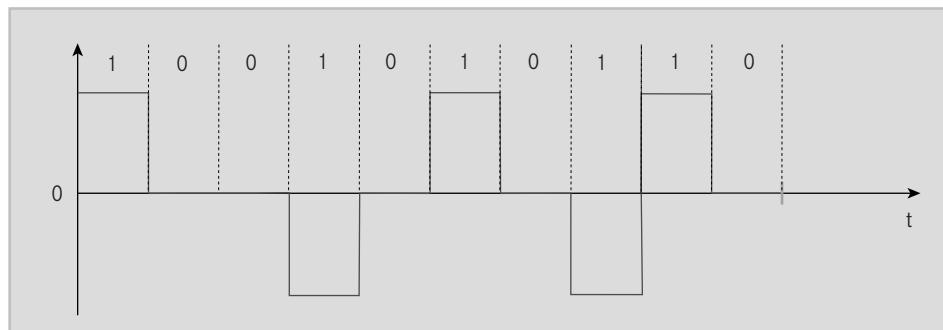


Fig. 2.45. Bipolar sin retorno a cero.

2.8.5.7 Codificación diferencial

En este tipo de codificación, tienen lugar dos etapas:

- La primera para formar una señal diferencial a ser transmitida a través del medio físico.
- La segunda, posterior a la primera, ocurre en el receptor para volver a armar la señal, que es recuperada de la anterior, según se puede observar en la Fig. 2.46.

El procedimiento es el siguiente:

- Una señal original polar, del tipo NRZ, debe ser muestreada.
- En el instante del muestreo en que se detecta un 1, se produce un cambio de estado o transición.
- Cuando lo que se detecta es un 0, significa una no transición.
- Para recuperar la señal original se debe efectuar un nuevo muestreo de la onda recibida, comparándose la polaridad de muestras adyacentes.
- Si ha habido una transición, se está en presencia de un 1; caso contrario, corresponderá a un 0.
- Por ejemplo, entre los estados t_3 y t_4 , no existe transición alguna, en consecuencia, corresponderá recibir un 0.

2.8.5.8 Código Manchester

Como se observa en la Fig. 2.47., el bit uno se representa por una transición positiva en la mitad del intervalo significativo y un bit cero con una transición negativa en la misma ubicación.

En la Fig. 2.48., se muestra la forma que tiene este código.

En este tipo de codificación no se utiliza la diferencia de valor de los niveles para representar los bits, sino que se emplean las fases positivas y negativas de los pulsos, denominadas transiciones. Esta técnica posibilita una transición de por lo menos una por bit, simplifica notablemente el problema de la recuperación de la señal de reloj.

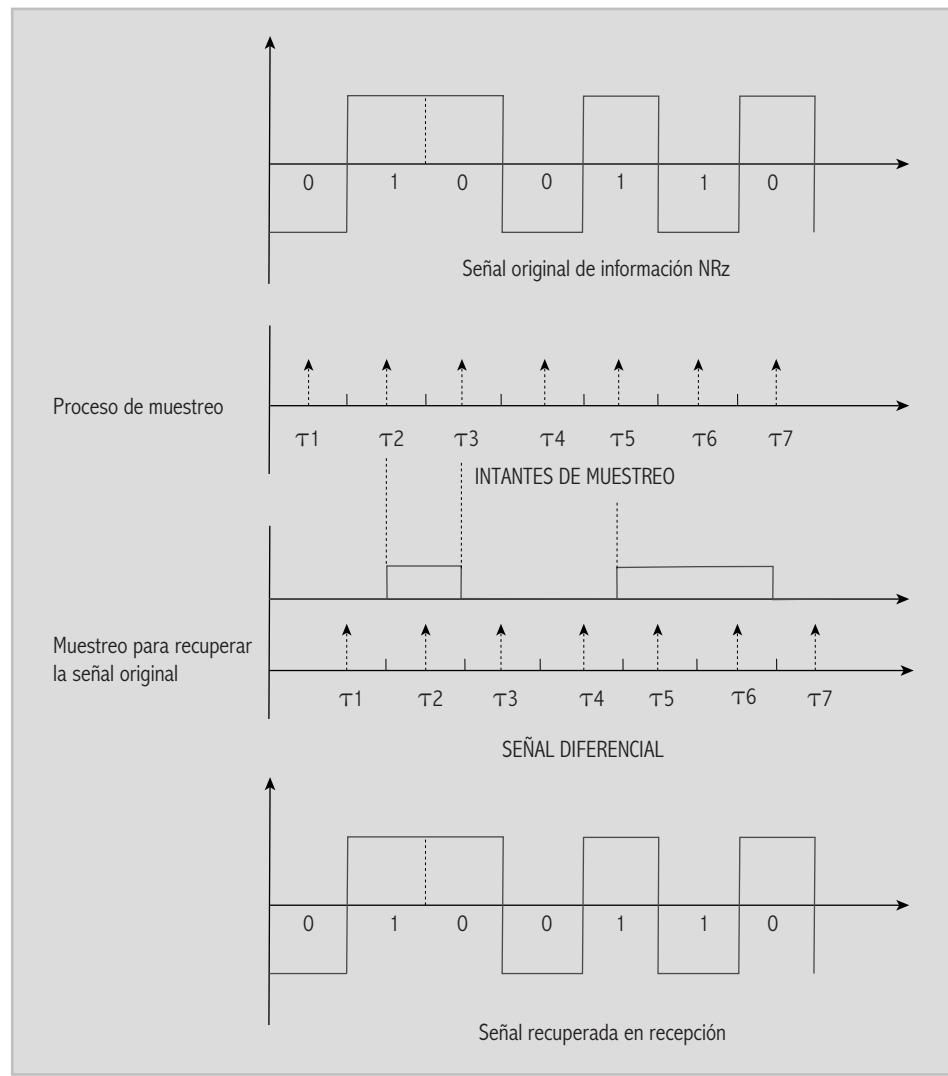


Fig. 2.46. Método de codificación de una señal diferencial.

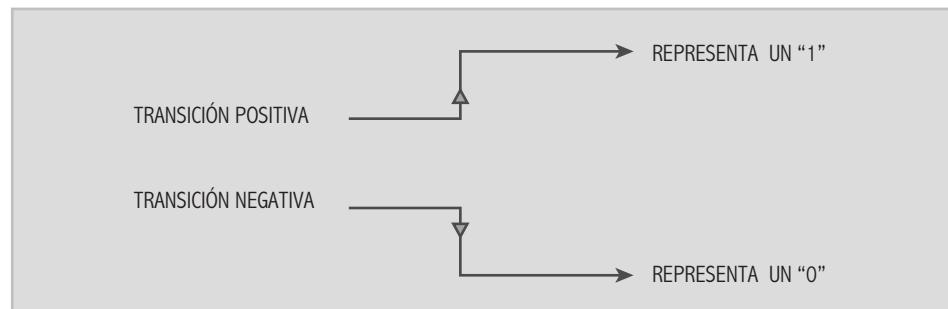


Fig. 2.47. Código Manchester. Representación de unos y ceros.

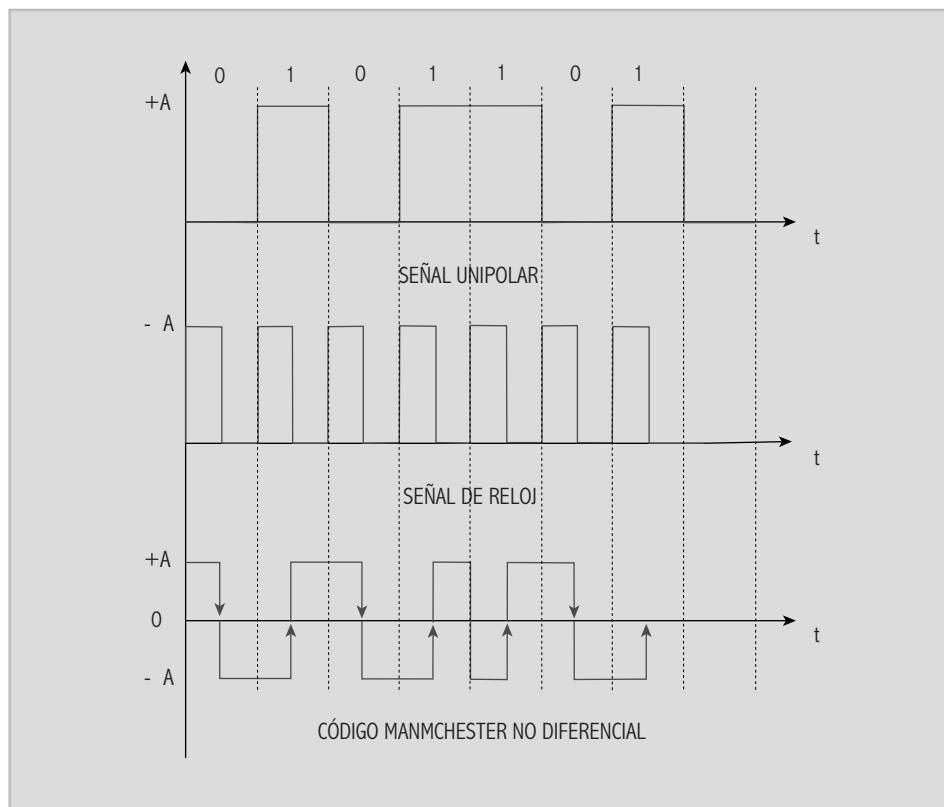


Fig. 2.48. Código Manchester.

Por otro lado, tiene la ventaja de que se puede eliminar la componente continua de la señal, si se toman valores de tensión positivo y negativo para representar los niveles de la señal.

La implementación de este código con circuitos lógicos se muestra en la Fig. 2.49.

2.8.5.9 Código Manchester diferencial BIFASE

Este código se caracteriza porque para la transmisión de un cero se efectúa una transición al comienzo del intervalo significativo y también en la mitad de dicho intervalo. Mientras que para el envío de un uno, no se efectúa ninguna transición al comienzo del intervalo; pero si en la mitad del mismo.

En la Fig. 2.50., se detalla un ejemplo de este código. Se denomina bifase porque la señal en la línea toma valores siempre distintos de cero.

El Manchester tiene la ventaja de que no es necesario identificar la polaridad de la transmisión para cada intervalo significativo.

2.8.5.10 Código MILLER

Este código, cuya representación se indica en la Fig. 2.51., para la transición de un uno emplea una transición en la mitad del intervalo significativo.

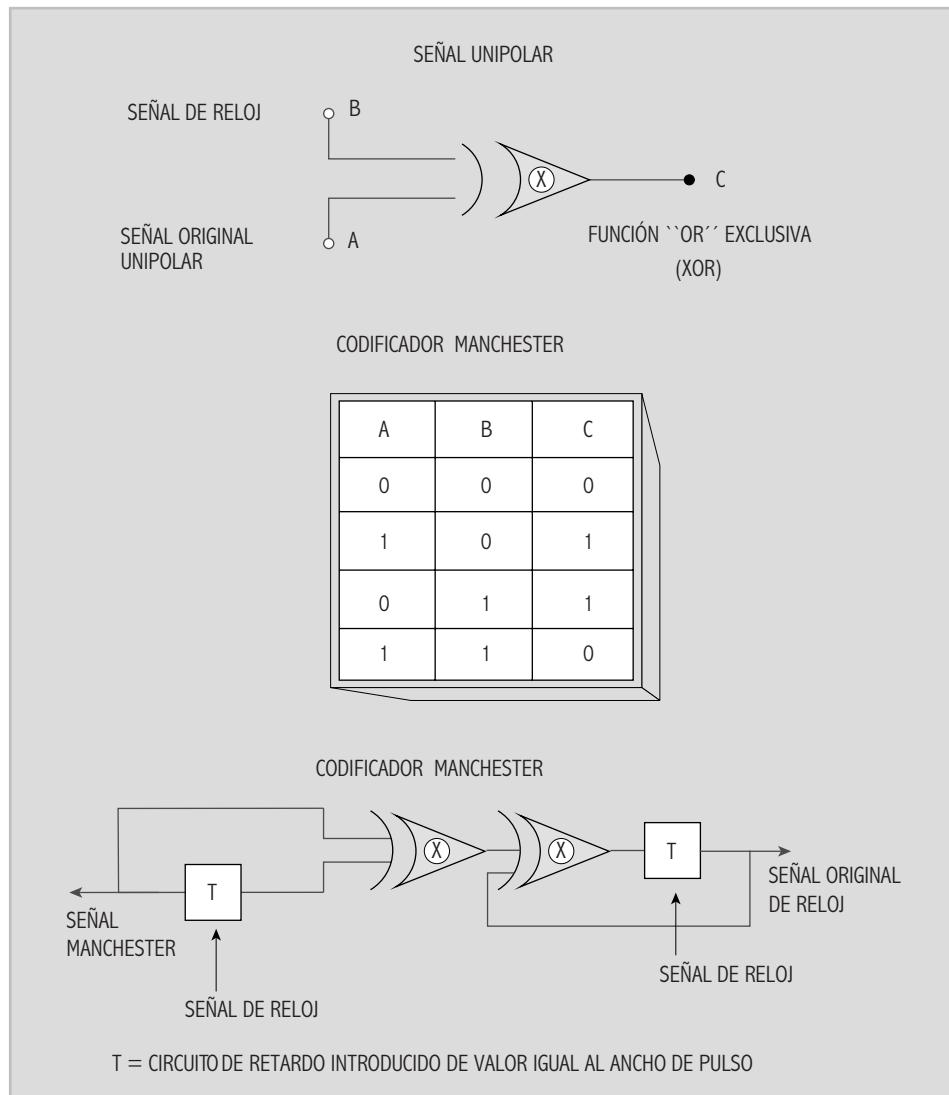


Fig. 2.49. Código Manchester. Implementación con circuitos lógicos.

Para el caso de un cero, existe una transición al final del intervalo si el bit siguiente es cero, caso contrario no habrá transición alguna.

El Código MILLER permite reducir considerablemente la contribución de las bajas frecuencias (y por lo tanto el problema que ello significa) y garantiza un número mínimo de transiciones de la señal en banda base como para recuperar la señal de reloj.

Por lo menos habrá una transición cada dos intervalos significativos.

Respecto del Código Manchester presenta la ventaja de concentrar la potencia de la señal en un ancho de banda mucho menor, con lo cual disminuye el requerimiento de ancho de banda en el canal de transmisión.

Asimismo, la implementación del codificador y decodificador de Miller, conocido también como modulador por retardo de fase, resulta más sencillo que el de Manchester.

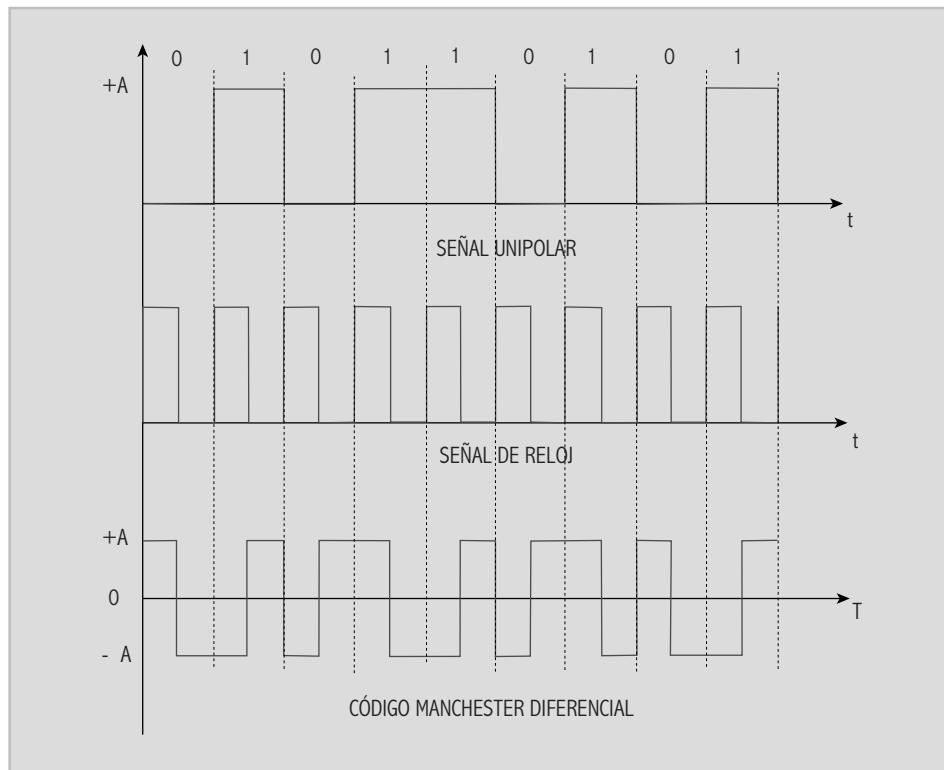


Fig. 2.50. Código Manchester. Diferencial bifase.

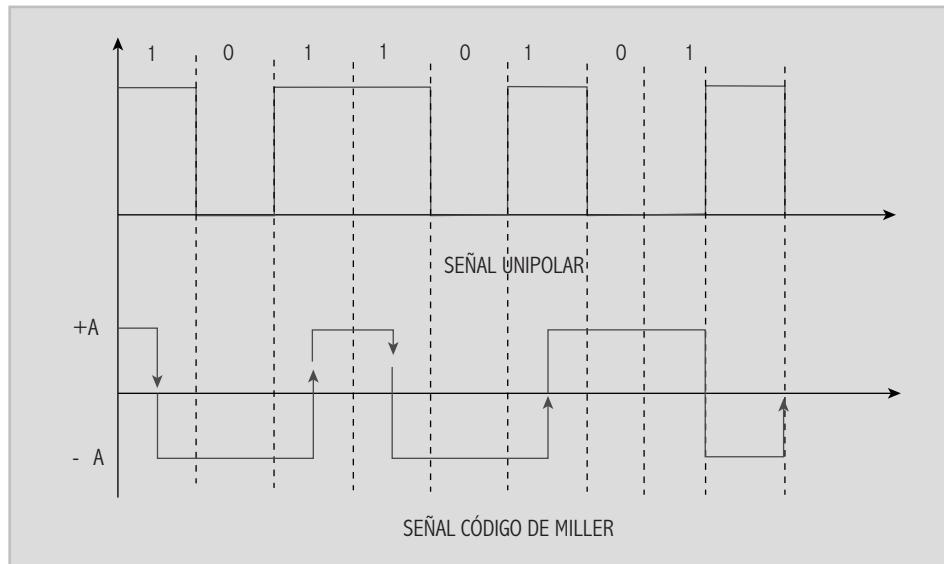


Fig. 2.51. Código Miller. Diferencial bifase.

2.8.5.11 Código HDB-3

El HDB-3 (*High Density Binary*, Binario de alta densidad) se basa en el denominado Código AMI. Es un código bipolar sin retorno a cero, que, como se indicó en el punto 2.8.3.2, utiliza tres niveles $[+]$, $[-]$ y $[0]$ para representar la información binaria.

El cero se representa siempre con polaridad cero, y el uno, con polaridad alternada $[+]$ y $[-]$.

Este tipo de señal no posee componente de continua, ni bajas frecuencias, pero su inconveniente es que cuando aparece una larga secuencia de ceros se pierde la posibilidad de recuperar la señal de reloj.

Es por ello que para limitar las largas secuencias de ceros se efectúan violaciones a la polaridad, tal como lo hace el Código HDB-3, que permite un máximo de 3 bits ceros consecutivos, e inserta como cuarto bit un uno denominado bit de violación.

Este código se emplea especialmente en transmisiones en las que se utiliza cable de cobre, dado que permite disminuir el corrimiento de fase de la señal digital, fenómeno que se produce en los procesos de regeneración que realizan los repetidores regenerativos y en la entrada a los equipos de recepción, cuando existe una larga secuencia de ceros.

La Fig. 2.52. contiene un ejemplo del Código AMI y la versión HDB-3 de la misma secuencia binaria. En esa figura se puede observar que el Código HDB-3, cuando tiene una secuencia de 4 ceros seguidos, reemplaza la secuencia por una nueva que puede ser $000V$ o $R00V$.

El pulso $V = 1$ se denomina violación y R , que siempre tiene igual polaridad que V , se denomina pulso de relleno.

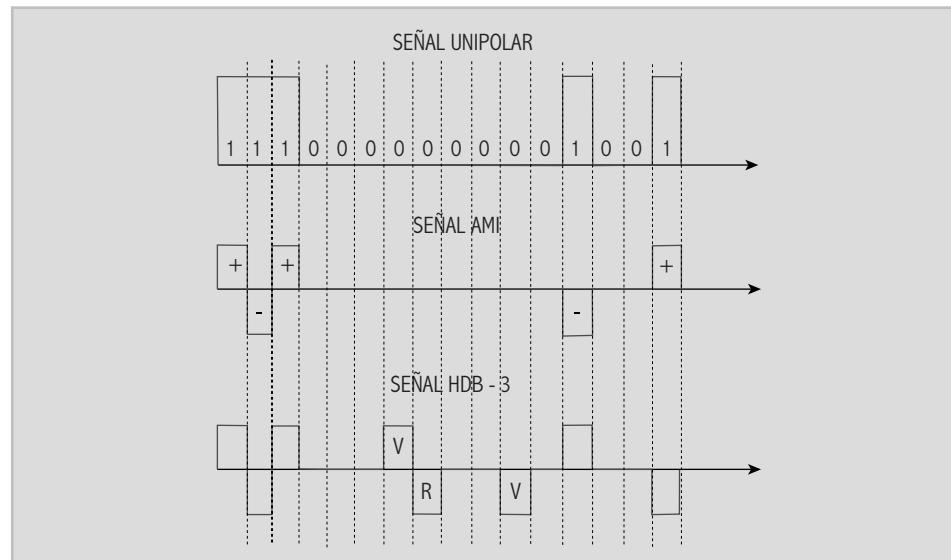


Fig. 2.52. Códigos AMI y HDB-3. Gráfico comparativo.

2.8.5.12 Regla de formación del código

- Para decidir qué secuencia emplear, $[000V]$ o $[R00V]$, se debe contar la cantidad de unos que hay entre la última violación y la actual. Si ese número es par, la secuencia de reemplazo será $[R00V]$; si es impar, se deberá usar $[000V]$.
- El primer pulso de violación de la serie siempre lleva la misma polaridad que el último bit uno transmitido.

- Esto sirve para que en la recepción pueda detectarse, dado que si fuera de datos debería tener polaridad inversa.
- Los pulsos de violación se transmiten con polaridad alternada entre sí.

De existir el pulso de relleno, llevará la misma polaridad que el de violación. La Tabla 2-6 muestra la regla de formación.

Tabla 2-6 Código 4B-3T (4 binario-3 ternario). Regla de formación

Señal binaria	Señal binaria
0000	0 -1 +1
0001	-1 +1 0
0010	-1 0 +1
0011	0 +1 -1
0100	+1 -1 0
0101	+1 0 -1
0110	+1 -1 +1
0111	0 +1 +1
1000	0 +1 0
1001	0 0 +1
1010	-1 +1 +1
1011	+1 0 0
1100	+1 0 +1
1101	+1 +1 0
1110	+1 +1 -1
1111	+1 +1 +1

2.8.5.13 Código 4B - 3T (4 binario - 3 ternario)

Como se expresó anteriormente, el código HDB-3 es el que se emplea frecuentemente hasta *34 Mbps* sobre cables de cobre.

Para transmisión a mayor velocidad, por ejemplo *140 Mbps* y sobre cable coaxial, se emplean otros códigos como el 4B - 3T - 4 binario a 3 ternario, que reduce la transmisión de 4 bits a 3 niveles, lo que reduce el ancho de banda necesario en un 25%, aproximadamente.

En la Fig. 2.53. se especifica la relación entre las señales ternaria y binaria en este código. Se puede observar que este es un código ternario, dado que reduce 4 bits a 3 bits, mediante el empleo de tres niveles.

2.8.6 Códigos normalizados por el UIT-T

El UIT-T ha normalizado diferentes códigos para la transmisión digital de señales, según el medio usado, el tipo de equipo y las velocidades empleadas.

En consecuencia, en los sistemas multiplex digitales se usan los códigos de la Tabla 2-7.

Tabla 2-7 Códigos usados en los sistemas múltiples digitales

Velocidad de transmisión	Código
2 Mbps	HDB-3
8 Mbps	HDB-3
34 Mbps	HDB-3 o 4 B3T
140 Mbps	4B3T o CMI

NOTA: estos códigos se emplean para esas velocidades y utilizando como medio de transmisión el cable coaxial.

CMI: código de inversión de marcas.

2.9 Filtros

2.9.1 Introducción

Tanto en los sistemas de comunicaciones como en muchos circuitos electrónicos surge a menudo la necesidad de transmitir señales que contengan un determinado intervalo de frecuencias, mientras que otras deben eliminarse. Esta función importantísima en los circuitos electrónicos es ejecutada por los filtros.

En particular, en los sistemas de comunicaciones, muchos medios de transmisión presentan para las señales que por ellos se transmiten características similares a los filtros.

Un estudio elemental de los filtros nos permitirá interpretar las características de determinados medios de comunicaciones, el funcionamiento de los enlaces que se establecen a través de ellos y la forma en que las señales se recibirán una vez transmitidas. Precisamente hay una relación directa entre los conceptos de ancho de banda y el de filtros.

2.9.2 Definición

Se denominan filtros: *los circuitos, sistemas o parte de redes de comunicaciones que presentan características selectivas respecto de las frecuencias*.

Básicamente significa que la atenuación en ellos es variable con la frecuencia, lo cual permite discriminar las señales que pasarán libremente a través de él y las que quedarán atenuadas o suprimidas.

Si la señal que se aplica a la entrada de un filtro posee una importante riqueza en contenido armónico, como podría ser el ejemplo de la onda cuadrada o rectangular, el filtro actúa de manera que solamente algunas componentes de determinadas frecuencias aparezcan a la salida.

2.9.3 Clasificación de los filtros

2.9.3.1 Generalidades

Estos dispositivos se clasifican en: pasa bajos, pasa altos, pasa banda y suprime banda. Sobre la base de la función principal de los filtros, que es permitir el paso libre de la banda de frecuencias que se desea; mientras que, por el contrario, deben presentar una atenuación elevada para las frecuencias indeseables.

Estos cuatro tipos básicos de filtros de que disponen los circuitos electrónicos están representados con sus símbolos y características técnicas en la Fig. 2.53.

- Filtros pasa bajos

Son aquellos que permiten el paso de señales de frecuencia cero hasta un cierto valor determinado, que se denomina frecuencia de corte superior del filtro. Es aquella para la cual la atenuación que produce el filtro es de 3 dB . Esto significa que en esos puntos la mitad de la potencia de la señal de entrada es eliminada por el filtro.

- Filtros pasa altos

Son aquellos que permiten el paso de señales desde una frecuencia denominada frecuencia de corte inferior, hasta una superior que en un filtro ideal se extiende hasta infinito.

- Filtros pasa banda

Son aquellos que permiten el paso de señales cuyas frecuencias se encuentran comprendidas entre dos, denominadas frecuencia de corte superior e inferior, respectivamente.

Se puede construir un filtro pasa banda o también un suprime banda mediante la utilización en forma combinada de filtros pasa bajos y pasa altos.

- Filtros suprime banda

Son aquellos que no permiten el paso de señales, cuyas frecuencias se encuentren comprendidas entre otras dos, denominadas "frecuencias de corte superior e inferior"

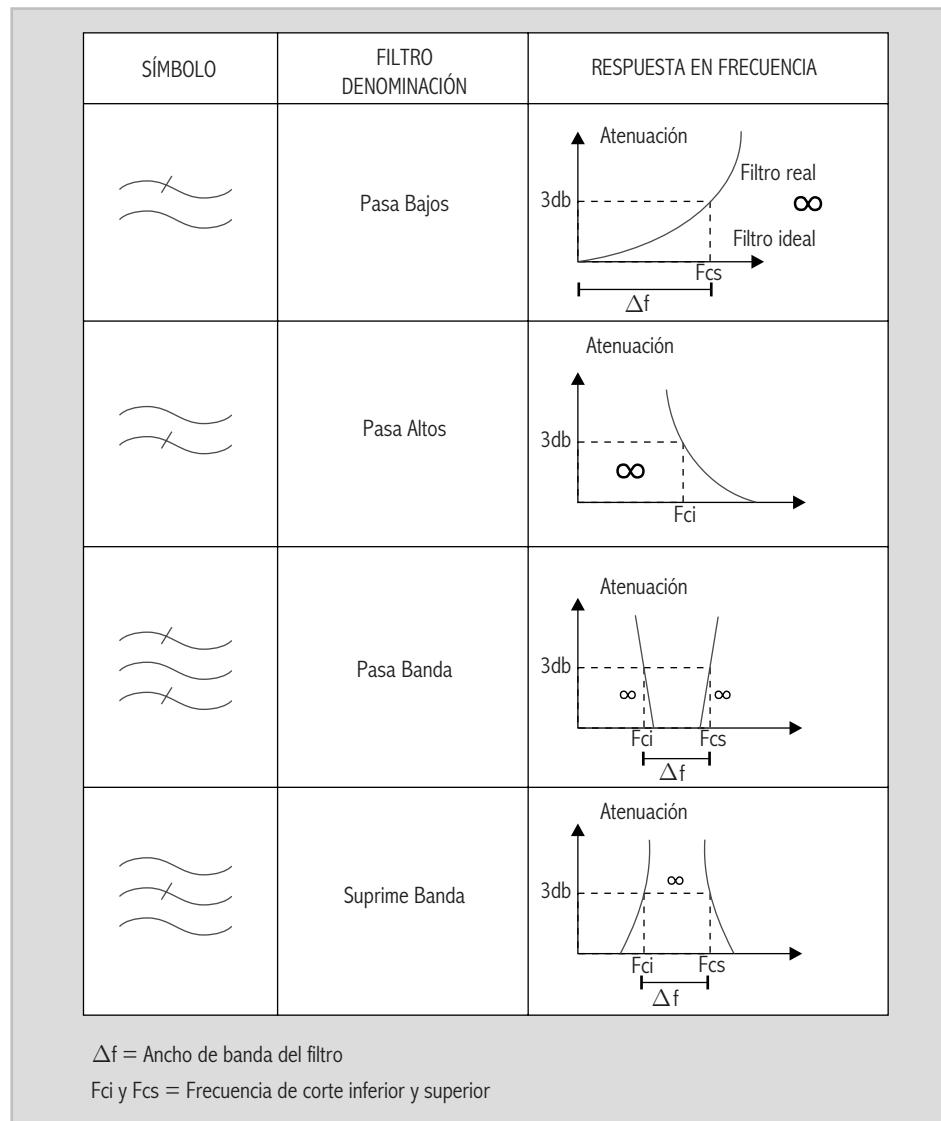


Fig. 2.53. Tipo de filtros.

2.9.4 Diseño de filtros

Los filtros pueden diseñarse usando una de las siguientes técnicas:

2.9.4.1 Filtros de bobina y condensador

El principio de construcción de estos filtros se basa en que la transmisión de una frecuencia no deseada a través de una red puede evitarse conectando en serie una impedancia de valor alto, o también instalando en paralelo una impedancia de bajo valor que derive esa frecuencia a tierra. En la Fig. 2.54. se describen las posibles estructuras de este tipo de filtros.

La impedancia de alto valor, que se halla instalada en serie en el circuito del filtro, se comporta oponiéndose al paso de la corriente correspondiente a las frecuencias no deseadas.

Por otro lado, la impedancia de bajo valor que se halla instalada en paralelo en el circuito del filtro se comporta como un camino de muy baja resistencia, por el cual las frecuencias no deseadas son derivadas a tierra y en consecuencia no alcanzan la salida del filtro.

Los valores de alta y baja impedancia se pueden obtener mediante la utilización de bobinas y capacitores de valores apropiados para la frecuencia de operación del filtro.

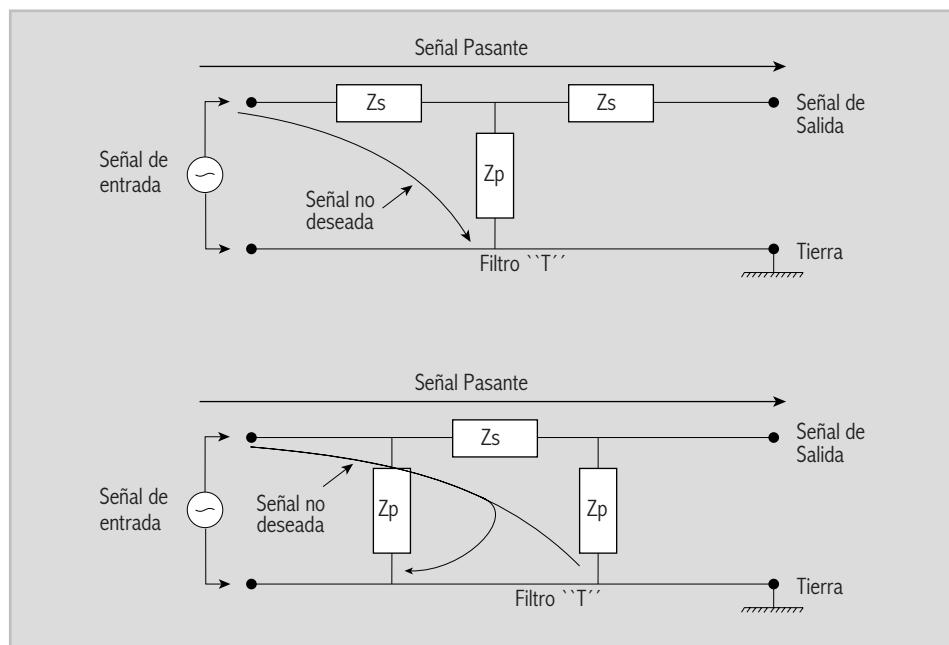


Fig. 2.54 Estructura de filtros constituidos por bobinas y condensadores.

2.9.4.2 Filtros de cristal

Los filtros de cristal son aquellos en los cuales las impedancias necesarias, en serie y paralelo, para construir el filtro se obtienen mediante el empleo de cristales piezoelectrinos.

Los cristales piezoelectrinos, como el cuarzo, tienen la particularidad de desarrollar una diferencia de potencial cuando están sometidos a esfuerzos mecánicos.

Si se corta una placa pequeña y delgada de un cristal piezoelectrino, la placa obtenida tendrá una frecuencia natural de resonancia propia. Si a su vez se le aplica una determinada tensión de alimentación, la placa vibrará a su frecuencia natural. En consecuencia, esa frecuencia

natural depende fundamentalmente de las dimensiones del cristal, del tipo de corte efectuado y también del modo de vibración.

Los filtros que emplean cristales se combinan con otros elementos electrónicos (bobinas, capacitores, resistencias, etc.) para obtener la respuesta en frecuencia deseada. La Fig. 2.55. muestra la estructura de un filtro de cristal.

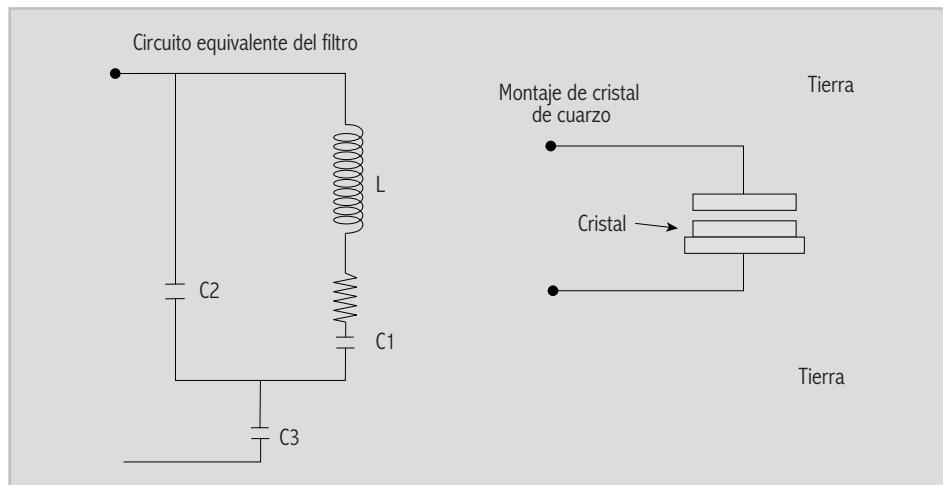


Fig. 2.55. Estructura de filtros de cristal.

2.9.4.3 Filtros activos

Los filtros activos son circuitos que están construidos por amplificadores y una red de realimentación formada por capacitores y resistencias. La denominación activos se debe a que utilizan fundamentalmente amplificadores operacionales, que son dispositivos activos en un circuito electrónico, a diferencia de las resistencias, bobinas y capacitores, que constituyen elementos pasivos del circuito. La Fig. 2.56. muestra la estructura de un filtro activo.

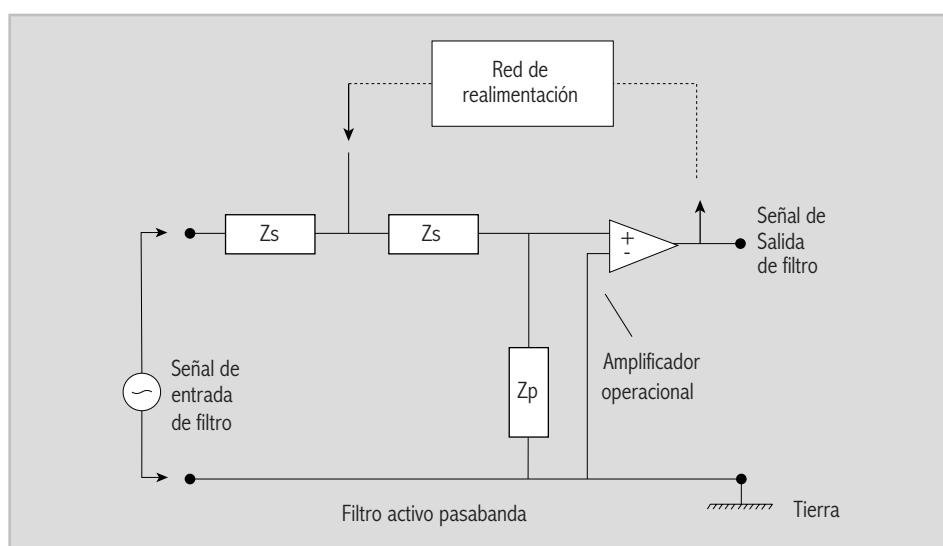


Fig. 2.56. Estructura de un filtro activo.

2.10 Resumen

En este capítulo se realizó una introducción a las características y los conceptos generales de las señales analógicas y de las señales digitales. Asimismo, se marcaron las diferencias entre una y otra ya que su comportamiento es muy diferente en los elementos tecnológicos del hardware necesarios para su funcionamiento y en la forma en la que las redes son diseñadas para posibilitar su transmisión.

También, se presentaron las unidades de medida utilizadas en las telecomunicaciones dado que la transmisión de señales puede atenuarse o sufrir pérdidas cuando se propaga en los medios de comunicación. Luego, se desarrolló el concepto de ancho de banda y, en paralelo, el de la capacidad de un canal de comunicaciones y la curva de ganancia de un amplificador.

Además, se trataron las consideraciones generales de las señales en banda base: unipolares, polares y bipolares; con sus respectivos códigos y clasificación. Para concluir, se realizó un estudio elemental de los filtros en los sistemas de comunicaciones.

2.11 Ejercicios propuestos

1. Graficar una señal analógica, indicar sus principales características y el modo por el cual transporta la información.
2. Indicar las ventajas más notables de la transmisión digital frente a la analógica. ¿Cuál es la principal desventaja de la primera respecto de la segunda?
3. Graficar una señal digital e indicar sus principales características, y el modo por el cual transporta la información. ¿Qué ventajas tiene en comparación con la señal analógica?
4. ¿En qué consiste un repetidor regenerativo?
5. ¿Por qué en las señales digitales hay más problemas de distorsión que de atenuación?
6. ¿Qué significa que el ruido sobre un canal de comunicaciones presenta características aditivas?
7. ¿Cuál es el efecto que produce el ruido sobre una señal analógica cuando esta es amplificada? ¿Es posible amplificar una señal analógica en forma indefinida?
8. Dibujar por separado las funciones periódicas $\sin x$, $y \cos x$, y la forma en que ambas se generan. Señalar en los dibujos cada uno de estos conceptos: ciclo, período, frecuencia, pulsación angular, longitud de onda, valor medio, valor eficaz.
9. Graficar un tren de pulsos, definir y señalar en el dibujo los siguientes conceptos: FRP, ancho de pulso, período y amplitud del pulso.
10. Hallar el valor medio de una señal cuya forma de onda es un diente de sierra, el período $T = 2$ seg y el valor máximo de tensión, 50 mV.

11. Hallar el valor medio y eficaz de una señal senoidal, representada por la función $y(t) = 5 \sin 6\omega t$, que circula por una línea de telecomunicaciones.

12. Dada la función tensión $V(t) = 7 \cos(1.000t + \omega/2)$. Dibujarla en un sistema de coordenadas, tal que la escala del tiempo sea en milisegundos. ¿Cuál es su frecuencia, amplitud, período y velocidad angular?

13. Una señal periódica está definida de la siguiente manera:

$$\begin{aligned} f(t) &= 1 & 0 < t < T/2 \\ f(t) &= 0 & -T/2 < t < 0 \end{aligned}$$

Para $T = 0,0001$ segundo. Obtener la serie de Fourier que la representa e indicar el significado de cada uno de sus términos. ¿Cuál es la frecuencia de la fundamental y la de sus primeras cinco armónicas? ¿Qué ancho de banda debería tener un canal para que las armónicas no se atenúen más de -3 dB?

15. ¿Cuál es el espectro de amplitud de la señal del ejercicio anterior? ¿Qué interpreta?

16. Dado un tren de pulsos con simetría par, hallar la expresión del espectro de amplitud de la serie compleja de Fourier

17. Sobre la base del resultado del problema anterior y teniendo en cuenta que la FRP es de 4 pps (pulsos por segundo) y el período 0,05 segundos, hallar el espectro de amplitud de la serie compleja de Fourier de ese tren de pulsos.

18. Indicar qué sucede si en el ejemplo del problema 16 se producen las siguientes variaciones:

Se aumenta al doble la FRP y no se varía el período.

Se disminuye el período a la mitad y no se varía la FRP.

Se disminuyen a la mitad el período y la FRP.

En todos los casos graficar el espectro de amplitud resultante.

19. Por una línea de transmisión de energía eléctrica de longitud total L circula una corriente alterna $i(t) = 14,14 \cos \omega t$ y se disipa una potencia media P . La resistencia total de la línea L es de 10 Ohm. Calcular P .
20. Demostrar que un dbm es igual a un dbu cuando la impedancia sobre la cual se mide es de 600 ohm.
21. Dado un canal de transmisión de datos coaxial con una atenuación a la frecuencia de operación de 0,8 dB/100 metros, y con una sensibilidad del receptor de -10 dbm. Calcular la potencia mínima que deberá tener el transmisor si la longitud del coaxial es de 1.200 metros. Indicar cuál es la potencia mínima del receptor en miliwatt.
22. Sobre la base del ejercicio anterior, indicar la ganancia de un amplificador que se debería colocar a mitad de camino entre el transmisor y el receptor, si se desea cambiar este último por otro de sensibilidad 100 veces menor.
23. Teniendo en cuenta el ejercicio anterior, calcular la sensibilidad mínima que debería tener el amplificador instalado en la mitad del enlace. Calcular la potencia de salida de una línea de transmisión de 1.000 metros donde la atenuación del cable coaxial es de 5 dB/100 metros y la potencia del transmisor que excita la línea es de 10 watt.
24. Dado un enlace de fibra óptica entre un emisor y un receptor con los siguientes parámetros:
Atenuación de la FO = 1,6 dB/km
Atenuación del conector = 0,6 dB
Potencia de transmisión = 3 dbm
Sensibilidad del receptor = -55 dbm
Calcular la distancia máxima entre receptor y transmisor, suponiendo un factor de diseño "FD = 10 dB" (margen de diseño), empleándose un conector en el transmisor y otro en el receptor.
25. Se tiene un enlace de 1.000 m entre un transmisor que entrega una potencia de 100 w y un receptor con una sensibilidad de 1 W. Se pretende utilizar las siguientes líneas de transmisión:
Usando coaxial fino RG 58 con $at = 5$ dB/100 m
Usando coaxial grueso RG 218 con $at = 0,8$ dB/100 m
Indicar cuándo se deberán utilizar amplificadores.
26. Dado un canal de transmisión de datos de coaxial entre un transmisor y un receptor con los siguientes parámetros:
Atenuación a la frecuencia de operación: 0,6 dB por 100 m
Sensibilidad del receptor: -10 dBm
Longitud del canal: 1.100 m
Factor de Diseño: 8 dB
Calcular la potencia mínima que deberá tener el transmisor expresada en miliwatt.
27. Se posee un enlace de comunicaciones en que el transmisor envía a la red una señal de 100 W. Luego de recorrer un primer tramo sobre un medio de comunicaciones, llega una estación satelital. En este primer tramo se atenúa 50 dB. La antena de la estación terrestre transmisora tiene una ganancia de 80 dB y la envía a un satélite geoestacionario. En el tramo de acceso al satélite la señal se atenúa 100 dB, lo mismo que al enviar este la señal a la estación terrestre receptora. Las antenas del satélite, receptora y transmisora, tienen una ganancia de 40 dB, y la estación terrestre que la recibe, una ganancia de 70 dB.
¿Con qué potencia llega la señal a esa estación? Dibuje el diagrama bloque entre los extremos.
28. A un amplificador entra una señal de 1 mW y a la salida se obtiene otra de 2 W. Calcule cuantos dBm tiene a la entrada y a la salida del amplificador y cual es la ganancia en dB.
29. Si por una línea de comunicaciones de longitud total L y resistencia total R circula una corriente periódica $i(t)$; y como resultado de ello la resistencia R disipa una potencia P . Indicar cómo se denomina. ¿Cuál es la expresión matemática de la corriente continua equivalente que al circular por R disipa exactamente la misma potencia P que la corriente alterna $i(t)$ mencionada?
30. Se tiene una computadora conectada a la red de corriente alterna de la que toma 250 Watt de potencia. La red maneja una tensión eficaz de 220 Volt. Se desea saber: corriente eficaz y resistencia óhmica del equipo. Suponer que tiene reactancia total nula.
¿Si el equipo tomara 500 Watt? ¿Qué corriente tomaría?
Investigue, para ambos casos, cuál debería ser el diámetro adecuado de los cables de alimentación que llegan hasta el tomacorriente, y los que, desde él, alimentan la computadora?
31. Para la construcción de una red telefónica se han utilizado cables de cobre de calibres AWG 23, 21 y 19. Se desea saber cuál es la superficie útil de esos cables a las frecuencias de 1 Mhz y de 2 MHz. Se sabe que el valor de la conductividad eléctrica del cobre es $\sigma = 5,8 \cdot 10^7$ S m⁻¹ y la permeabilidad de este material es $\mu = 4\pi \cdot 10^{-7}$ H m⁻¹.
32. ¿Cuál es el rango de variación de la longitud de onda para las señales portadoras de las emisoras de radio comerciales ubicadas en la banda de FM (88 Mhz a 108 Mhz)?
33. Un servicio de comunicaciones inalámbricas posee un transmisor que requiere una antena de media onda, con una disminución de su longitud en un 5%. Si la frecuencia de transmisión será de 12.500 kHz, ¿Cuál será la longitud de la antena requerida?

34. Para la secuencia siguiente, representar gráficamente las señales resultantes de aplicar los códigos Manchester Diferencial y Miller.

Secuencia binaria: 10101000111011001101

35. Dada la siguiente secuencia de bits, graficar las señales resultantes utilizando el código Manchester y el Manchester Diferencial para codificarla. Indicar sus principales características.

Secuencia binaria: 01100110

36. Para la secuencia siguiente, graficar las señales resultantes de aplicar los códigos denominados AMI y HDB - 3.

100100001100001110000000001000011

37. Se dispone de un tipo de vínculo cuyo ancho de banda va de 1 a 10 Mhz. Se lo empleará en tres servicios (S_1) distintos con la siguiente distribución del espectro:

S_1 de 1 a 3 Mhz, S_2 de 3 a 7 Mhz y S_3 de 7 a 10 Mhz.

¿Qué tipo de filtros utilizaría en los equipos que operan en cada servicio para que sean conectados al vínculo respetando la asignación establecida?

Dar las frecuencias de corte correspondientes. Se supone que se trata de filtros ideales.

Indicar cuál es el filtro que más se asemeja a una línea de transmisión y construir su curva de respuesta.

Indicar las principales características de los filtros activos en comparación con los pasivos.

2.12 Temas a desarrollar por el lector

1. Demuestre cómo se obtienen las ecuaciones de Maxwell y explique qué es la corriente de desplazamiento.

2. Averigüe cuáles son los valores de las siguientes constantes para distintos materiales.

ϵ = permitividad eléctrica [*Faradio m⁻¹*].

μ = permeabilidad magnética [*Henry m⁻¹*].

ρ = resistividad [$\Omega \text{ m}$].

σ = conductividad eléctrica [*Siemens m⁻¹*]

3. Describa y explique qué servicios se pueden prestar en el intervalo de frecuencias comprendido entre 800 MHz y 5 GHz. Estudie la forma en que se propagan las ondas electromagnéticas en ese rango de frecuencias.

4. Investigue en qué consiste el sistema de codificación American Wire Gauge.

5. Investigue cuál es la frecuencia superior que es necesario utilizar en los servicios de ADSL sobre pares de cobre, cuando se quiere trabajar hasta velocidades de hasta 2 Mbps.

6. Las fibras ópticas se caracterizan por tener gran ancho de banda disponible para aplicaciones en telecomunicaciones. Determine, previa investigación, cuántos canales de 3.100 Hz, como es el caso de un canal telefónico analógico, entrarían en una fibra monomodo utilizando solamente la llamada segunda ventana.

2.13 Contenido de la página Web de apoyo

El material marcado con asterisco (*) solo está disponible para docentes.



2.13.1 Mapa conceptual del capítulo

2.13.2 Autoevaluación

2.13.3 Presentaciones*

2.13.4 Ejercicios resueltos*

3

Técnicas de la transmisión de la información

Contenido

3.1 Introducción	138
3.2 Elementos sobre la transmisión de la información.....	138
3.3 Medidas de la velocidad en la transmisión de información ..	154
3.4 Características de un enlace de datos.....	162
3.5 Canales de comunicaciones.....	168
3.6 Capacidad de un canal.....	176
3.7 Concepto de velocidad máxima de transmisión	187
3.8 Ruido	192
3.9 Distorsión	199
3.10 Errores en el proceso de transmisión de datos	205
3.11 Corrección de errores	216
3.12 Resumen	225
3.13 Ejercicios propuestos	225
3.14 Temas a desarrollar por el lector	227
3.15 Contenido de la página Web de apoyo	227

Objetivos

- Conocer los elementos sobre la transmisión de la información.
- Analizar las diferentes medidas de la velocidad en la transmisión de información.
- Conocer las características de un enlace de datos.
- Entender la capacidad de un canal y el concepto de velocidad máxima de transmisión.
- Conocer los conceptos generales de ruido y distorsión.
- Analizar los principales métodos de detección y corrección de errores utilizados en los protocolos de comunicaciones actuales.

3.1 Introducción

En los sistemas de transmisión de datos utilizados en las redes de telecomunicaciones, se emplean técnicas específicas que se exponen en el presente capítulo. Se comenzará con una introducción general a las redes de telecomunicaciones, especialmente a su arquitectura y topología. Se analizarán los principales parámetros empleados en informática, como Byte, bloque, palabra, velocidades de transmisión y modulación; y se estudiarán los canales utilizados en la transmisión de datos, ideales y reales. En el caso de los canales reales, se verá en particular el efecto que sobre ellos producen el ruido, la atenuación y la distorsión, como factores que inducen la generación de errores.

Sobre la base de los estudios de Nyquist, Shannon y Hartley, se mostrará cómo se llega a determinar la capacidad de un canal de comunicaciones, con ruido y sin él.

También, ante la presencia de los errores en los canales reales, se analizarán los principales métodos de detección y corrección más utilizados en los protocolos de comunicaciones actuales.

Por último, también se incluye una introducción a la teoría de la información, la cual nos permite hallar la tasa de información de las fuentes y relacionarla con la capacidad de los canales de comunicaciones.

3.2. Elementos sobre la transmisión de la información

3.2.1 Introducción a las redes de telecomunicaciones

La necesidad de que varios usuarios de un mismo servicio de telecomunicaciones puedan comunicarse entre sí y, además, optimizar los medios instalados para ese propósito ha llevado al concepto de red de telecomunicaciones.

Definiremos como red de telecomunicaciones al conjunto de medios técnicos instalados, operados, organizados y administrados con la finalidad de facilitar a los usuarios los distintos servicios de comunicaciones disponibles.

Estas redes evolucionaron desde formas muy sencillas a partir del fin del siglo XIX, diseñadas para proporcionar básicamente el servicio telegráfico, hasta las redes más complejas, como las que proporcionan el servicio telefónico con conmutación, o hasta las actuales, que permiten una oferta de servicios de telecomunicaciones importante y más variada, de características muy diversas, como los derivados del uso de la red Internet.



Una red de telecomunicaciones es un conjunto de medios técnicos instalados, operados, organizados y administrados con la finalidad de facilitar a los usuarios los distintos servicios de comunicaciones disponibles.

En un principio las **redes de telecomunicaciones** se diseñaron con características diferentes según el servicio que se debía prestar. La primera de las redes especiales que se crearon para complementar la red telefónica fue la denominada **red télex**, servicio que nació en la década de 1930 y que ya ha sido prácticamente discontinuado. Luego se fueron construyendo **redes de datos** por conmutación de paquetes o de circuitos para propósitos especiales. Muchas de ellas aún funcionan en algunos países, y prestan servicios útiles. Si bien este tipo de redes tenía nodos de conmutación propios, tomaba los enlaces de la red telefónica, que por esa causa comenzó a denominarse **red soporte**.

El crecimiento de las redes de telecomunicaciones es un fenómeno que se mantuvo y se mantiene constante durante las últimas décadas. Es uno de los sectores más dinámicos de la economía en casi todos los países. La necesidad de comunicarse más, mejor y con mayores facilidades técnicas convirtió al sector de los servicios de telecomunicaciones en uno de los de mayor tasa anual de crecimiento en el mundo.

Por distintas razones, entre otras el avance constante de la tecnología, que se suman a una fuerte reducción de costos, las redes se han ido digitalizando en forma continua, y la red soporte sobre la que se apoya la red telefónica conmutada creció en el ancho de banda disponibles, que se utiliza para los servicios más variados.

En el presente las redes brindan velocidades adecuadas a la demanda, confiabilidad, algunas tecnologías más elaboradas y **calidad de servicio**. Estas características son fundamentales para las distintas prestaciones que se requieren, y que se han ido transformando en imprescindibles para el mundo de los negocios. A su vez, las redes deben tener una cobertura global, entendiendo por ella cualquier lugar del planeta en cualquier circunstancia de tiempo. De allí la importancia que tomaron las comunicaciones móviles, que en la actualidad trabajan integradas por completo a las redes fijas.

Una red de telecomunicaciones buena y eficiente pasó a ser una necesidad de supervivencia en cualquier país del mundo. En el presente, con la economía globalizada, más que la prestación de un servicio público como se entendía hace solo unos pocos años, las redes son una herramienta de importancia vital en todos los sectores económicos de un país. No se puede competir en la manufactura, la agricultura, los servicios o el comercio si no se poseen medios de comunicaciones eficientes, confiables y a costos razonables.

Las organizaciones gubernamentales, las empresas comerciales e industriales, los bancos, las universidades y las instituciones educativas, los centros de investigación y desarrollo, los sistemas vinculados con el cuidado de la salud, como hospitales e industria farmacéutica, y las aplicaciones comerciales en general comenzaron desde hace algunos años un proceso de descentralización de sus aplicaciones informáticas.

Estas suelen tener una fuerte distribución geográfica, tanto en lo que hace a sus procesos informáticos en sí, como al almacenamiento de la información, el control de sus aplicaciones, y sus sistemas de manejo de señales de voz, datos, textos, imágenes o sistemas multimedia.

En el presente mediante el uso de las redes de comunicaciones es normal que una consulta efectuada en Buenos Aires sobre las características técnicas de un producto, realizada mediante los sistemas de llamadas gratuitas, sea atendido por un operador situado en la Ciudad de México; o que una consulta por medio de una llamada desde París, referida a un consumo de una tarjeta de crédito emitida por una gran corporación internacional en Francia, sea atendida por una operadora en Buenos Aires.

En algunos casos, por el acento del operador, el usuario puede percibir que este no pertenece a su comunidad lingüística, aunque hable su idioma en forma correcta. En otros casos ni siquiera percibe este fenómeno.

La misión que todas las redes de telecomunicaciones deben cumplir con la mayor eficiencia es actuar de nexo entre las fuentes de la información que permiten brindar los distintos servicios vinculados a ella, y los usuarios o sumideros, entendiendo por tales aquellos lugares donde la información, una vez procesada u obtenida, será almacenada para su uso.

Cada vez que buscamos en alguna fuente de información a través de Internet, como un dato, un archivo, un clip de video o cualquier otra información para nuestro uso, y la almacenamos en nuestra computadora, esta cumple el papel de sumidero al que recurriremos cada vez que necesitemos usarla de nuevo.

Las redes de telecomunicaciones en casi toda su extensión manejan señales digitales, por lo general binarias, cualquiera sea la información que deban transportar. Esto significa que la voz, las señales de video, los textos y los datos tanto numéricos como alfabéticos deben transformarse en dígitos binarios (ceros y unos).

Por caso la voz, que cuando es recogida por un micrófono o un microteléfono es una señal eléctrica analógica, en algún momento debería digitalizarse para que se la pueda transportar por la red o almacenarse en alguno de los dispositivos vinculados a ella, o en ciertos equipos informáticos o soportes, como podría ser el disco rígido de una computadora. También debemos considerar que para que un sistema de comunicaciones maneje las letras de un texto, estas deberán convertirse, según el código que se utilice, en 7, 8 o más dígitos binarios por símbolo con idéntico fin.



La calidad de servicio se conoce por sus siglas en inglés QoS (*Quality of Service*) y es muy importante para prestaciones como el servicio telefónico por redes con conmutación de paquetes y redes IP/MPLS (*Internet Protocol/Multi Protocol Label Switching*).

Estas conversiones siempre son bidireccionales, es decir que para transportar una señal primero se la debe convertir de analógica en digital, por medio de un proceso denominado **digitalización**. Luego para volver a utilizarla es preciso transformarla otra vez en analógica. Al igual que en muchos casos es necesario transmitir señales digitales por redes analógicas. Para ello se necesita su conversión mediante un proceso denominado modulación.

3.2.2 Estructura general de una red de telecomunicaciones

La arquitectura de una red de telecomunicaciones está compuesta por tres zonas, con independencia de la mayor o la menor complejidad que pueda presentar. Estas se denominan:

- Zona de la red o núcleo.
- Zona de acceso.
- Zona del usuario.

La **zona de la red o núcleo** es la que se encarga de cumplir las funciones de conmutación y transporte de la información. Para ello dispone de nodos, por lo general de conmutación, unidos entre sí por vínculos troncales, que suelen ser de capacidad alta o media. La disposición en la que están ubicados los distintos nodos y los enlaces troncales definen lo que se denomina **topología de la red**.

La **zona de acceso** es la que permite que los usuarios se conecten a los nodos del núcleo. Para ello se usan vínculos alámbricos (ópticos o de cobre) e inalámbricos.

Estas dos zonas, consideradas en conjunto, constituyen lo que algunos especialistas también denominan **red de transporte**, en la que se pueden delimitar dos subredes. Una llamada **troncal o core** de muy alta velocidad y otra periférica, o **subred de acceso**.

Por último, la **zona del usuario** es aquella que contiene el o los equipos terminales que requiere un usuario para satisfacer sus necesidades de comunicación, y en algunos casos nodos de conmutación propios.

El caso más simple será un teléfono, alámbrico o inalámbrico, y quizás asociado a este un equipo facsímil o una computadora. Otras situaciones implican uno o varios teléfonos interconectados por una central telefónica más una red que permita interconectar varias computadoras. Por último, puede tratarse de una instalación mucho más importante que utilice servicios combinados de todo tipo y sus equipos terminales asociados.

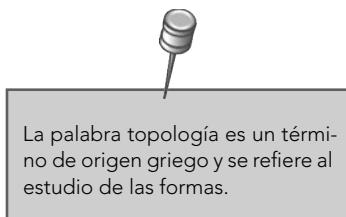
En la Fig. 3.1., se muestra un ejemplo del esquema de una red de telecomunicaciones como el señalado. Se puede observar la zona de red o núcleo y los nodos interconectados con enlaces troncales, en general de alta velocidad. Asimismo, se ven varias zonas de usuario con **distintas configuraciones**. Algunas son muy simples y otras tienen mayor complejidad. Por último, hay una zona intermedia o de acceso que está formada por vínculos de distinto tipo que unen la zona de red con la de usuario.

Los medios ubicados en la zona de acceso a la red son variados, y permiten la conexión tanto por medios alámbricos como inalámbricos u ópticos. La zona del núcleo nos muestra varios nodos de conmutación interconectados entre sí. Algunos incluso en forma redundante.

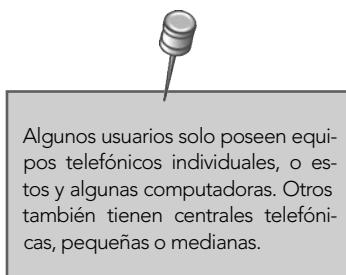
En las distintas zonas descriptas las redes de telecomunicaciones modernas están constituidas básicamente por los siguientes elementos:

Nodos

- Conmutación.
- Concentración.



La palabra topología es un término de origen griego y se refiere al estudio de las formas.



Algunos usuarios solo poseen equipos telefónicos individuales, o estos y algunas computadoras. Otros también tienen centrales telefónicas, pequeñas o medianas.

Enlaces de comunicaciones

- Troncales.
- De acceso.
- Locales.

Equipos terminales

- Telefónicos.
- Datos.
- Video.
- Otros.

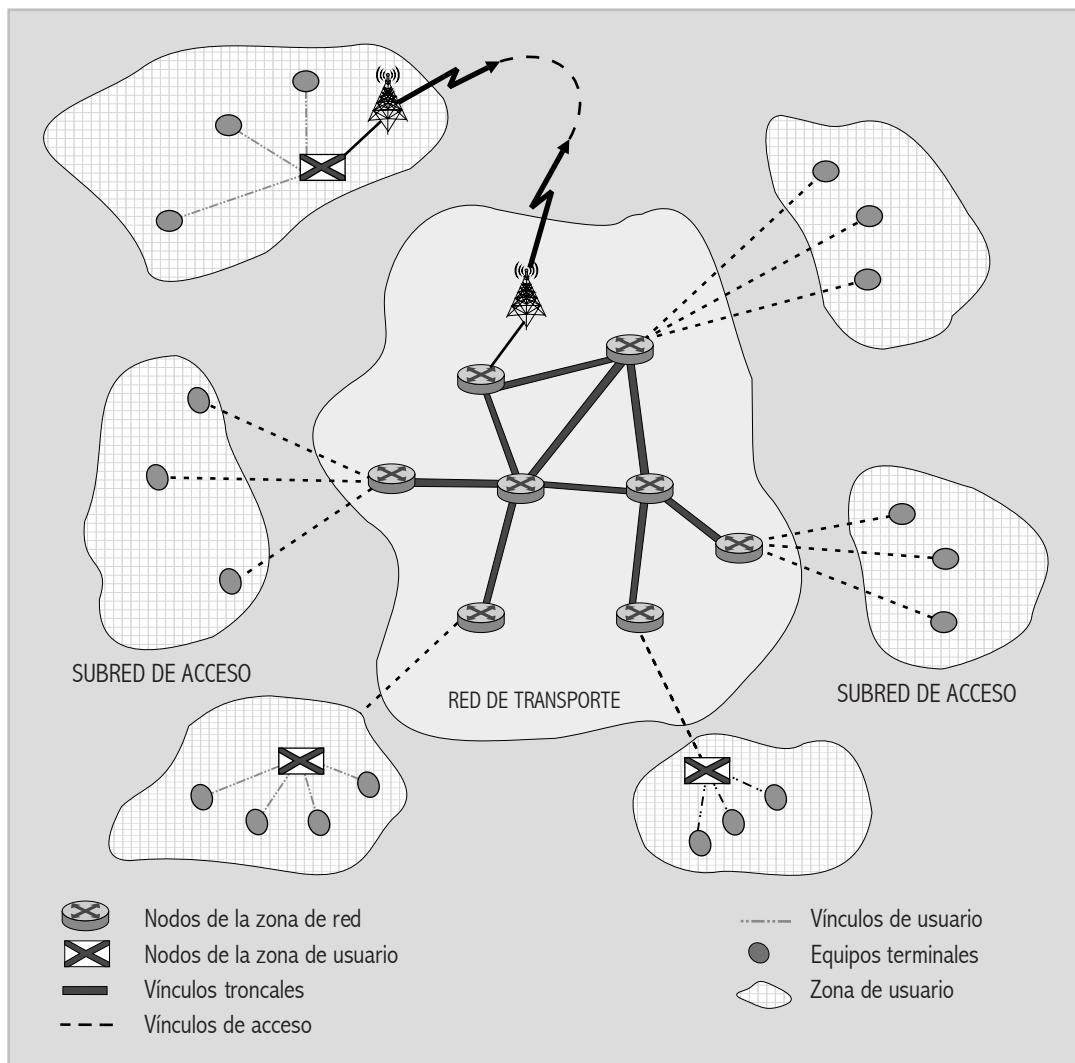


Fig. 3.1. Esquema de la estructura de red de telecomunicaciones.

Si el nodo commuta una llamada –sea esta de cualquier servicio que preste la red y utilizando cualquier tecnología, entre usuarios locales o remotos–, se denominará **nodo de comunicación**; ése es el caso de las centrales telefónicas, los routers, los switchs, etcétera.

Otros nodos, denominados **nodos de concentración**, solo sirven para interconectar vínculos de comunicaciones sin funciones de conmutación.

Para que la red funcione de manera integral, los nodos deben estar conectados unos con otros a través de vínculos que pueden ser alámbricos o inalámbricos. Los primeros requieren conductos o torres para su tendido e implementación; los segundos precisan antenas. De allí la necesidad de los **enlaces de comunicaciones**. Estos pueden estar aplicados a redes pequeñas y en el ámbito del usuario, como ocurre con las denominadas redes de área local LAN (*Local Area Network*, Red de Área Local), o las llamadas WAN (*Wide Area Network*, Red de Área Extendida), como es el caso de las subredes de acceso y la troncal.

3.2.3. Definiciones utilizadas en comunicaciones

Como se indicó antes, los nodos de las redes de telecomunicaciones cumplen funciones de **comutación** o **concentración** de los vínculos de comunicaciones.

Definiremos como vínculos de comunicaciones a los distintos medios físicos que permiten unir dos nodos cualesquiera de una red. Los vínculos se pueden establecer por **medios físicos**, como cables de cobre, coaxiales, fibras ópticas, cables submarinos, etc., o por **medios inalámbricos**, a través de equipos que permiten esas comunicaciones, como sistemas de microondas, satelitales, radioeléctricos, entre otros.

Los enlaces de comunicaciones permiten establecer **canales de comunicaciones**, también conocidos como **circuitos de comunicaciones**.

Un canal o un circuito de comunicaciones es un camino que se establece entre dos o más puntos de la red entre equipos que actúan como transmisores o receptores, o como ambos. Este concepto implica no solo un enlace físico sino también una conexión lógica. Una de las funciones más importantes necesaria en una red de telecomunicaciones es la función de **comutación**.

Se denomina comutación a la función que realiza un equipo determinado denominado en forma genérica comutador, que permite elegir un camino determinado, entre varios disponibles, a los efectos de que un usuario de la red pueda comunicarse con otro que él seleccionó.

Existen dos técnicas de comutación denominadas **comutación de circuitos** y **comutación de paquetes**. En la actualidad ambas están en uso en las redes digitales, aunque la tendencia es que todas las redes migren hacia redes por comutación de paquetes.

Ejemplos de equipos comutadores son las **centrales telefónicas** o los equipos conocidos como **routers** o **comutadores de paquetes**. En el capítulo 4 se describirán con mayor detalle ambas técnicas.

Cuando se desea comunicarse a través de la **red telefónica comutada** (RTC) con un número de teléfono determinado se usa la función de comutación, que es realizada por una o varias **centrales telefónicas** de las muchas que dispone la red. De manera análoga, cuando se trabaja en **Internet** y se busca una página de las tantas disponibles, la función de comutación es realizada en este caso por uno o varios **routers**, de los muchos existentes. Ellos nos permiten alcanzar la página buscada y acceder a ella.

Los *nodos de la red* tienen equipos de comutación que permiten realizar esta función importante. Sin embargo no todas las comunicaciones requieren el uso de la comutación.

Para efectuar una comunicación en una Red de Telecomunicaciones es necesario establecer un enlace de comunicaciones.

Definiremos como enlace de telecomunicaciones al vínculo que es necesario establecer y mantener entre dos equipos terminales, con el objeto de intercambiar en forma remota señales inteligentes que permitan utilizar uno de los tantos servicios de comunicaciones disponibles.

Los enlaces pueden ser de dos tipos, según la posibilidad que se tenga, o no, de elegir el equipo terminal con el que se desea establecer la comunicación. Así, tendremos enlaces conmutados y enlaces dedicados o arrendados.

Se indica que un enlace es con conmutación cuando el equipo terminal que origina la llamada tiene la opción de elegir, entre varios, el equipo terminal con el que se desea comunicar, a través de un equipo denominado conmutador.

En muchos casos se requieren enlaces permanentes entre dos puntos de la red, en cuyo caso no es necesaria esta función.

Llamaremos enlaces dedicados o arrendados a aquellos en que el equipo terminal que origina la llamada no tiene la opción de elegir el equipo terminal con el que se desea comunicar, por lo que siempre se vinculará con el mismo equipo en el otro extremo de la red.

En esos casos los nodos de la red actúan solo como concentradores de los vínculos que unen los puntos a enlazar por una razón técnica vinculada con la topología de las redes. Precisamente, como se verá, a ellos concurren los medios de comunicaciones usados para cumplir las funciones de transporte.

Un ejemplo son los enlaces dedicados utilizados para intercomunicar dos equipos router empleados en una sección de Internet. Estos son enlaces dedicados típicos.

También lo son los que se emplean para establecer comunicaciones telefónicas entre dos lugares fijos, en los que se obvia la necesidad de marcar un número determinado y en los que por lo general se requiere exclusividad, es decir que el enlace esté siempre libre y disponible.

Este es el caso, por ejemplo, de enlaces dedicados utilizados para conectar sucursales bancarias entre sí, que no desean correr el riesgo de encontrar las líneas telefónicas congestionadas en horas pico, e incurrir en demoras para establecer la comunicación. Este tipo de enlace telefónico se suele llamar por la expresión en inglés **hot line**.

3.2.4 Teleinformática

3.2.4.1 Definición y concepto de teleinformática

La palabra teleinformática es la contracción de las palabras telecomunicaciones e informática. Otro tanto ocurre con la palabra telemática. Se podría afirmar que en ella se reúnen los aspectos técnicos de ambas especialidades. Tradicionalmente estas técnicas se desarrollaron en forma independiente, pero en la actualidad su interdependencia es cada vez mayor.

Se podría definir la teleinformática como la especialidad que estudia el conjunto de técnicas necesarias para transmitir datos dentro de un sistema informático entre puntos situados en lugares remotos, a través de redes de telecomunicaciones.

En esencia, la teleinformática trata de estudiar todos los aspectos implicados en la conexión de computadoras, equipos informáticos auxiliares y equipos terminales de datos a redes de comunicaciones.

Por lo tanto, el problema fundamental que intenta resolver es lograr que una computadora pueda dialogar, a través de las redes de telecomunicaciones, con otros equipos similares situados geográficamente en puntos distantes, pero reconociendo las características esenciales de la información, como si la conexión fuera local.

Se llama enlace con conmutación cuando el equipo terminal que origina la llamada tiene la opción de elegir, entre varios, el equipo terminal con el que desea comunicarse a través de un conmutador.

Los enlaces dedicados o amenazados son en los que el que origina la llamada no tiene la opción de elegir el equipo terminal con el que se desea comunicar. Por esta razón, siempre se vinculará con el mismo equipo en el otro extremo de la red.



Los sistemas funcionales de comunicación de datos que implican formas de trabajo son sistemas teleinformáticos. Estos responden a necesidades concretas de los usuarios informáticos que trabajan en la modalidad fuera de planta o remota.

La teleinformática se ocupa, por medio de los **sistemas de comunicación de datos**, de establecer sistemas con finalidades específicas denominados sistemas teleinformáticos.

3.2.4.2 Sistemas teleinformáticos

Se entienden por sistemas teleinformáticos los sistemas funcionales de comunicación de datos que implican formas de trabajo. En general, responden a necesidades concretas de los usuarios informáticos que trabajan en la modalidad fuera de planta o remota.

La cantidad de sistemas de este tipo es muy diversa y responde a las necesidades de cada clase de usuario en particular.

Algunos de ellos son los siguientes:

- **Gestión remota de archivos**

Los sistemas teleinformáticos de gestión remota de archivos pueden definirse de la siguiente manera: sistemas teleinformáticos que permiten el acceso desde un equipo terminal de datos a la información almacenada en los archivos de un servidor.

Este sistema tiene por finalidad la recuperación de la información contenida en los archivos, su modificación, o una combinación de ambas. La expresión archivo incluye, en este caso, cualquier otra forma de mantener información accesible en un servidor, como las bases de datos u otra forma similar.

Por archivo se entiende una colección organizada de registros que pueden tener un objetivo y un formato comunes; asimismo, una base de datos es una colección de archivos organizada para satisfacer una aplicación.

La estructura de un archivo refleja la necesidad de la aplicación a la que será destinado. Una base de datos, en cambio, se organiza de forma que refleje la estructura de la información en sí. Ejemplos típicos de este sistema son:

- Sistemas de banca automática (como pueden ser la operación de cuentas corrientes o de ahorro desde terminales bancarias, el uso de cajeros automáticos, etc.).
- Reservas de pasajes.
- Sistemas de información a la dirección MIS (*Management Information Systems*).

- **Sistemas teleinformáticos interactivos**

Los sistemas teleinformáticos interactivos pueden definirse como sistemas teleinformáticos que se caracterizan por un diálogo continuo entre el equipo terminal de datos del usuario y un servidor donde suele encontrarse residente la información.

Algunas de las características de estos sistemas son:

Permiten que el usuario dialogue con la computadora y lleve a cabo una serie de procesos que requieren la modalidad de consulta y respuesta.

- El usuario planifica sus operaciones futuras en función de los resultados de operaciones precedentes.
- Este sistema es muy similar, en sus formas generales, al sistema de gestión remota de archivos.
- La razón de que se considere de forma particular es que en estos sistemas debe existir siempre una respuesta a cada consulta efectuada, o un diálogo, entre equipo terminal y el servidor u otro componente del sistema. De allí el carácter interactivo del sistema.

- **Sistemas teleinformáticos de control de procesos**

Los denominados sistemas teleinformáticos de control de procesos son aquellos en los que un servidor con la capacidad adecuada de procesamiento de información recibe datos sobre el estado de un proceso que está controlando, los procesa, obtiene resultados y luego, sobre la base de ellos, toma decisiones que pueden influir en el desarrollo del proceso.

Características de estos sistemas:

- Son muy especializados para cada tipo de aplicación.
- En condiciones normales, mediante sensores ubicados en forma estratégica, recogen medidas sobre el estado de un proceso y las comparan con el estado deseado. Como resultado de esa comparación realizan la acción correctora apropiada para asegurar que el sistema o el proceso en cuestión alcancen el nuevo estado esperado.
- Aunque sus formas son muy variadas, los sistemas teleinformáticos de control de procesos tienen en común las propiedades siguientes:
 1. Operan en tiempo real; esto es, el tiempo de respuesta a una medición de datos debe ser lo suficientemente pequeño para que la acción correctora, producto del proceso en la computadora, influya en el sistema con el que actúa.
 2. Los datos siempre se envían sobre un conjunto determinado de parámetros preestablecidos.
 3. Para cada sistema se debe efectuar un estudio en particular y, en función de él, se realiza el diseño adecuado.

Un ejemplo clásico de sistemas teleinformáticos de proceso son los sistemas de navegación de los cohetes portadores de vehículos espaciales. En estos casos solo la presencia de la computadora permitió que en fracciones de segundo se efectúen las correcciones de trayectoria necesarias para que el vuelo llegue a destino.

3.2.5 Conceptos utilizados en transmisión de datos

3.2.5.1 Definición y concepto de transmisión de datos

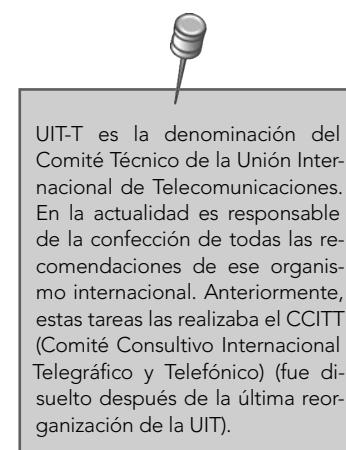
A diferencia de otros servicios de comunicaciones, los servicios de transmisión de datos presentan características especiales.

En su recomendación X.15, la UIT-T define la transmisión de datos como la acción de enviar datos a través de un medio de telecomunicaciones, desde el lugar de origen a otro de recepción.

Esta definición también vale si se la orienta a los medios que facilitan las comunicaciones. Luego, se entiende por transmisión de datos la transferencia de información codificada desde un punto a otro u otros, mediante señales eléctricas, ópticas, electroópticas o electromagnéticas.

Dos aspectos importantes a tener en cuenta son la distancia y la geografía del problema considerado, pues en función de estos parámetros puede ser necesario el uso de redes de comunicaciones o no.

Cuando la comunicación se produce entre puntos geográficos ubicados dentro de un mismo edificio o en una superficie reducida de terreno, se indica que la transmisión es **local** o **en planta**.



Este concepto no solo señala que por lo general se puede prescindir de utilizar para la interconexión de los distintos equipos terminales una **empresa de telecomunicaciones** (TELCO), sino que, además, la tecnología que se utiliza en estos casos tiene características especiales. Estas se denominan **red local** o en **planta**, o más precisamente **red de área local** o **Local Area Network**.

Cuando la transmisión tiene estas características, la propia organización suele construir e instalar sus propios medios de comunicaciones de acuerdo con sus necesidades. Por lo tanto, los problemas técnicos, cuando las distancias son cortas, resultan mínimos y no requieren consideraciones especiales.

Este es el caso sencillo de una central telefónica con su red correspondiente, o un servidor que a su vez tiene conectadas, dentro de un edificio o en una superficie geográfica reducida, una serie de computadoras personales. En la Fig. 3.2., puede verse esta disposición.

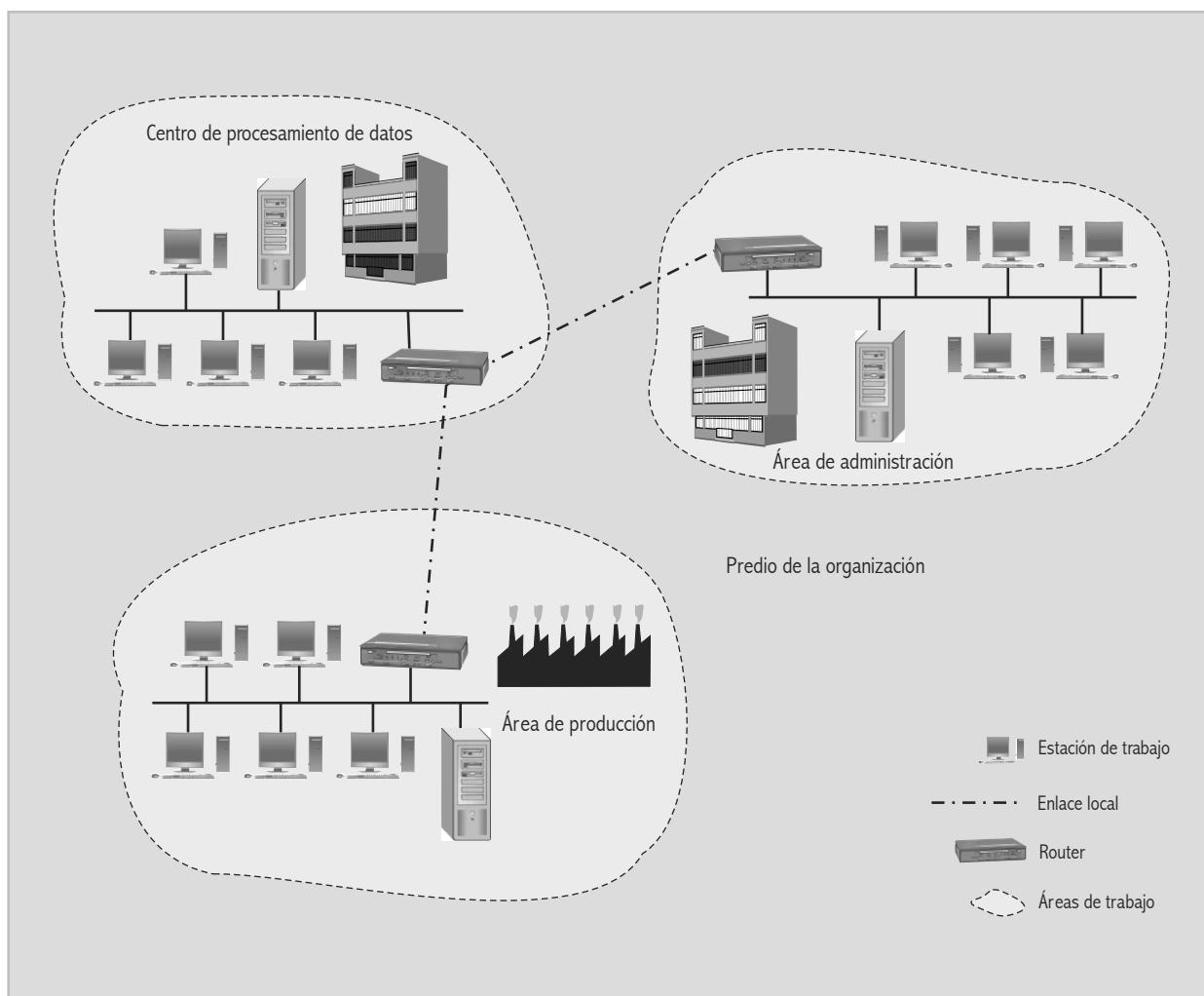


Fig. 3.2. Esquema de una red de área local para transmisiones locales o en planta.

Cuando una red de telecomunicaciones debe cubrir un área geográfica importante se utilizan técnicas de comunicaciones más sofisticadas. Estas redes se denominan **red de área extendida** o **WAN** y son operadas por empresas de telecomunicaciones nacionales o internacionales.

En el caso particular de empresas u organizaciones que tienen necesidad de interconectar lugares distantes, salvo casos muy especiales, no tiene sentido instalar una red de telecomunicaciones propia. Por lo general se recurre a las empresas que prestan este tipo de servicios, por cuanto es muy difícil justificar inversiones tan importantes. Estas redes se denominan **red remota** o **fuerza de planta**. Para organizarlas, las instituciones que deben contar con ellas requerirán la contratación de enlaces de comunicaciones, como muestra la Fig. 3.3.

Las precauciones técnicas a tomar en estos casos suele brindarlas el mismo proveedor de los servicios de telecomunicaciones, y resultan un problema a resolver en conjunto con el de la instalación de los medios informáticos. En la actualidad la amplia desregulación que existe a escala mundial en el campo de las telecomunicaciones permite la posibilidad de elegir entre varios proveedores.

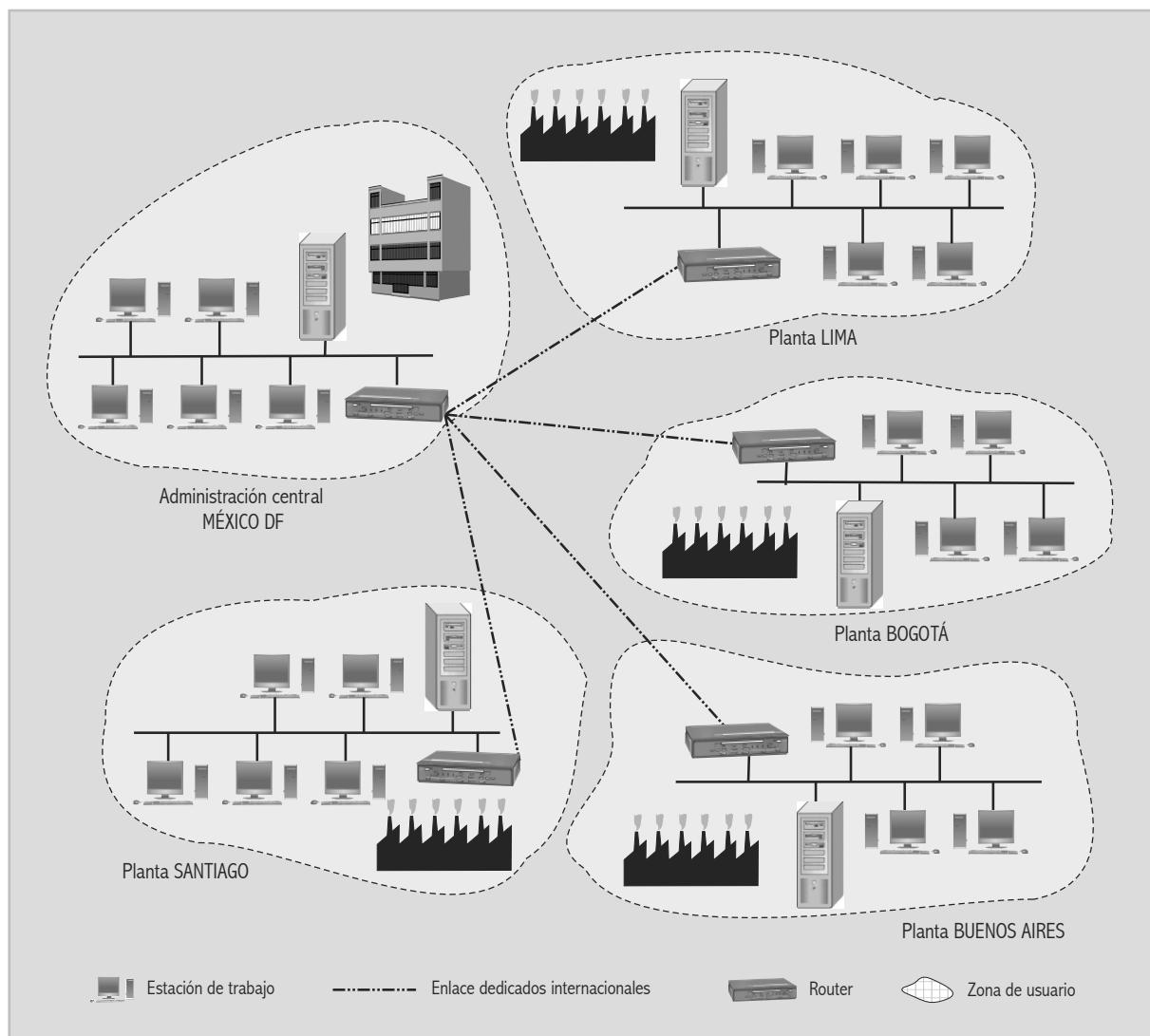


Fig. 3.3. Esquema de una red de área extendida para transmisiones remotas o fuera de planta.

3.2.5.2. Definición y concepto de enlace y circuito de datos

Es conveniente visualizar con rapidez los elementos que componen lo que denominaremos un **enlace de datos** y un **circuito de datos**, pues sobre ellos efectuaremos consideraciones especiales al hacer el estudio de sus distintas partes y componentes.

La finalidad de establecer un enlace de datos es permitir la intercomunicación de un equipo terminal de datos (ETD), denominado **fuente**, con otro equipo, denominado **colector** a través de un enlace de comunicaciones, que puede ser parcial o totalmente analógico o digital.

La necesidad de establecer este enlace radica en tener que resolver el problema siguiente: los equipos terminales de datos deben adaptar las señales digitales que generan al medio de comunicaciones que servirá para establecer el enlace entre fuente y colector.

Los equipos que se utilizan con interfaces entre los equipos terminales de datos y las redes de telecomunicaciones que establecerán el enlace se denomina ETCD (*Data Circuit Equipment*, Equipos Terminales del Circuito de Datos).

En la Fig. 3.4., se observa el esquema de un enlace de datos. En él se puede apreciar su tramo, denominado **círculo de datos**.

 Los equipos terminales de datos deben adaptar las señales digitales que generan al medio de comunicaciones que servirá para establecer el enlace entre fuente y colector.

 Un enlace de datos es el conjunto formado por la red de interconexión y distintas instalaciones terminales, que funciona según un modo específico y permite el intercambio de información entre instalaciones terminales.

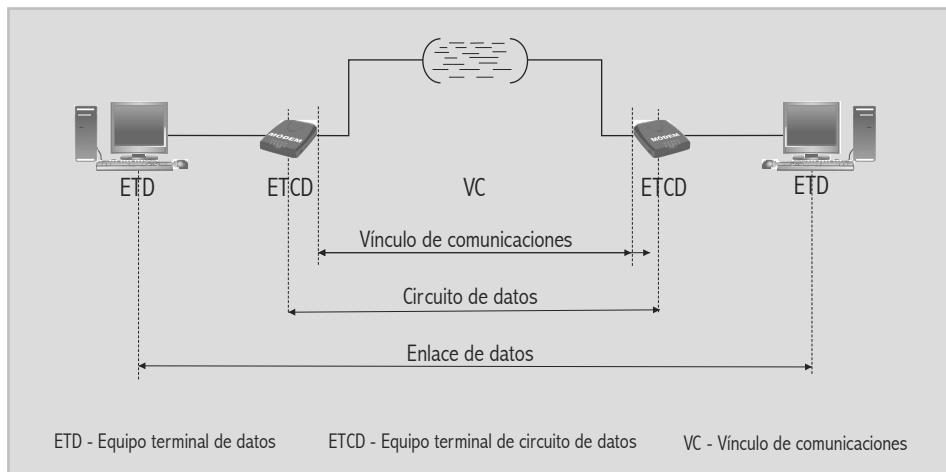


Fig. 3.4. Esquema de un enlace de datos.

Por enlace de datos (ED), se entiende un circuito que une el equipo terminal de datos (ETD) que actúa como fuente de datos, con el ETD colector de los datos.

Tanto al principio como al final del circuito las señales que salen del ETD o que llegan a él son digitales, cualquiera sea el tipo de red utilizada. Al ser generadas por equipos informáticos, esas señales son digitales y deben ser procesadas por ellos.

La UIT-T define al enlace de datos como el conjunto formado por la red de interconexión y distintas instalaciones terminales, que funciona según un modo específico y permite el intercambio de información entre instalaciones terminales.

En un circuito teleinformático, el enlace de datos está formado por:

- Equipos terminales de datos (ETD).
- Equipos terminales del circuito de datos (ETCD).
- Vínculo de comunicaciones (VC).

Por circuito de datos (CD), se entiende al camino formado por los equipos terminales del circuito de datos y la línea de comunicaciones.

La misión que cumple el circuito de datos es entregar en la interfaz con el equipo terminal de datos (ETD)/colector las señales en la misma forma y con idéntica información que recibió en la interfaz con el equipo terminal de datos (ETD)/fuente.

Los equipos terminales del circuito de datos son conocidos por distintos nombres según las tecnologías empleadas, y las características de la línea de comunicaciones a la que se van a conectar.

Uno de los casos más frecuentes en usuarios individuales es cuando se provee servicio de acceso a Internet por medio del uso de vínculos de la red telefónica conmutada (RTC). En la Fig. 3.5. se muestran dos casos diferentes de cómo se puede establecer el circuito de datos con esa finalidad.

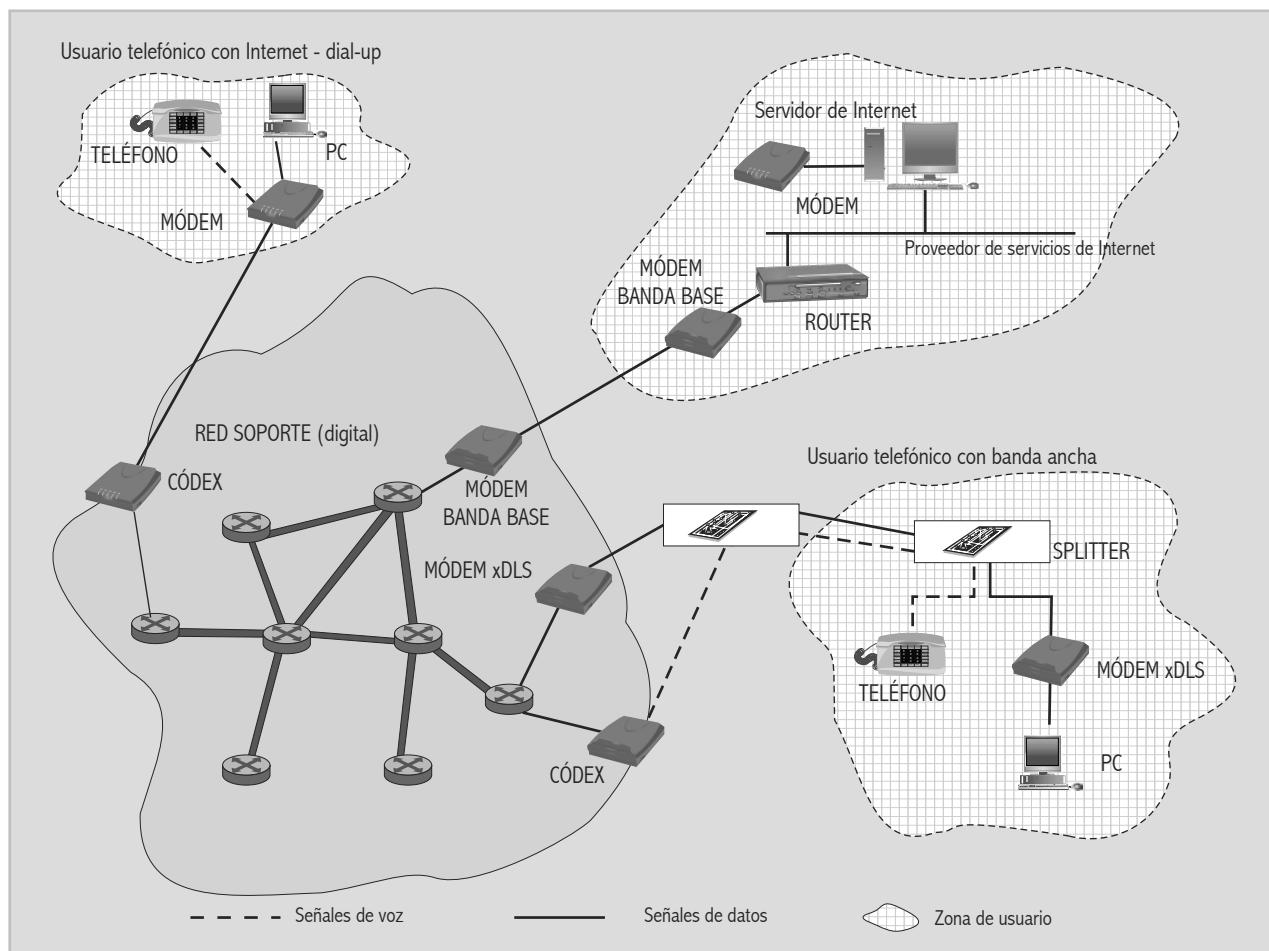


Fig. 3.5. Establecimiento de un circuito de datos a través de una línea telefónica.

Uno se establece a través de lo que se conoce como una conexión discada o **dial-up** (una expresión en inglés que es muy común en español). En la parte superior izquierda de la figura, se puede ver ese caso particular. En la zona del usuario, este tiene conectada su línea telefónica analógica a un módem, que en este caso es el ETCD. El módem tiene puertos para que se puedan conectar tanto el teléfono como una computadora personal. En este caso ambos

servicios no pueden utilizarse en forma simultánea, y cuando se habla por teléfono el módem no cumple función alguna como tal, y solo facilita la conexión.

A la derecha de la figura, se muestra el caso de la provisión a través del denominado par telefónico, del servicio de teléfono y de Internet de banda ancha. En este caso se pueden utilizar ambos servicios en forma simultánea.

En la zona del usuario, el par telefónico está conectado a un equipo que se conoce como **splitter** o **divisor de canales**. Este interconecta el par telefónico a través de la zona de acceso a la zona de la red con la zona del usuario. En este caso el par telefónico que actúa como vínculo de acceso tiene características mixtas. Esto es, un comportamiento analógico en la parte inferior del ancho de banda, y digital en su parte superior. Al **splitter** ubicado en la zona del usuario se conecta por un lado el **equipo terminal telefónico** y por el otro, el **ETCD**, que en este caso es un módem denominado de manera genérica **xDLS**, que a su vez se conecta la computadora personal.

Antes del ingreso en la zona de red, habrá otro **splitter** que vuelve a dividir el ancho de banda del par telefónico. La parte inferior, de características analógicas, se conectará a un **CODEC** (codificador-decodificador) instalado al ingreso en la zona de la red a los efectos de digitalizar las señales de voz. La parte del ancho de banda que corresponderá a las frecuencias superiores en las que son transportadas las señales digitales se conectará con otro módem xDLS. Este es el que maneja las señales digitales y, por lo tanto, el que actúa como equipo terminal del circuito de datos (ETCD).

Otro caso diferente es el que se observa en la Fig. 3.6. Se trata de la provisión del servicio de Internet a través de las redes de televisión por cable, más conocidas por su abreviatura **CATV** (*Cable Antenna Television*).

Las empresas que proveen CATV también ofrecen un servicio de banda ancha utilizando la red que distribuye las señales de televisión. La red de transporte de estas señales es de características analógicas en sus extremos, aunque para cubrir grandes distancias se utilizan fibras ópticas y las señales en muchos casos se digitalizan.

En la zona del usuario se entregan las señales por norma a través de cables coaxiales que también se conectan a **splitter** o **divisores**. La finalidad de este equipo es dividir el ancho de banda que se usará para proveer las señales de TV de las que se utilizarán para la transmisión de datos. Al splitter se le conectarán por un lado el o los televisores y por el otro un equipo conocido con el nombre de cable módem. Este equipo es el que administrará el circuito de datos y, por lo tanto, actuará como equipo terminal del circuito de datos.

Del lado del proveedor deberá ocurrir otro tanto; a la salida del splitter se encontrarán la empresa que provee los contenidos de televisión y la que presta el servicio de comunicación de datos a través de Internet. Estos últimos por lo general están conectados mediante un enlace digital dedicado con un proveedor de servicios de Internet de mayor jerarquía o capacidad.

Otro caso diferente sería el que se puede observar en la Fig. 3.7., en la que se muestra un ejemplo de cómo una organización puede obtener, a través de un vínculo digital brindado por la red soporte, un acceso a un proveedor de servicios de Internet.

En la parte superior izquierda de la figura se observa la zona del usuario o de la organización. En ella se distingue una red de área local a la que se conectará un número determinado de computadoras y un equipo conocido con el nombre de **router** o comutador de paquetes. Este último será el que se encargará de administrar el tráfico de datos hacia el proveedor del servicio. En condiciones normales la red soporte ofrecerá un enlace dedicado hasta la zona de usuario del ISP (*Internet Service Provider*, Proveedor de servicios de Internet).

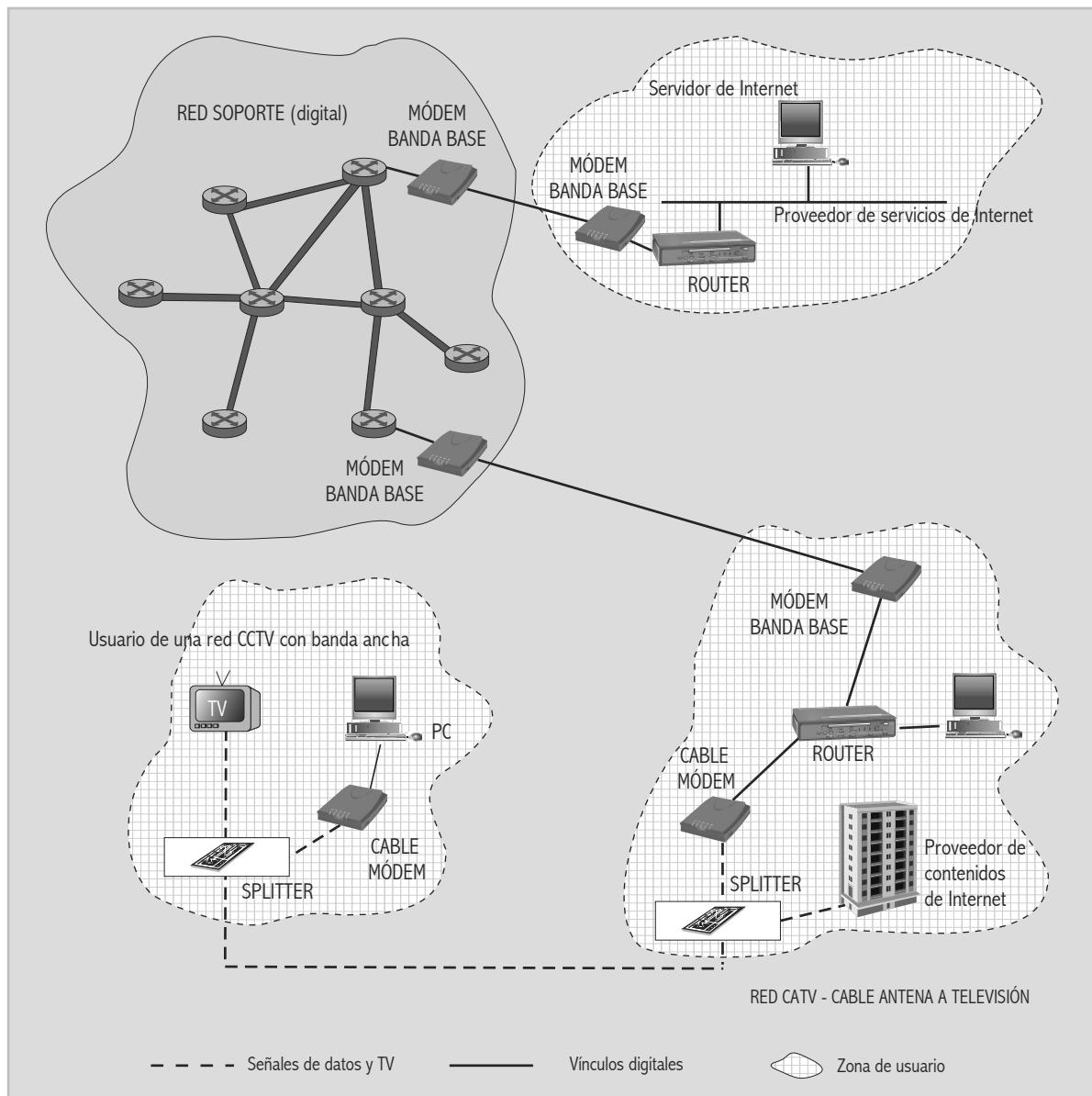


Fig. 3.6. Establecimiento de un circuito de datos a través de una red de televisión por cable.

En estos casos el vínculo dedicado es digital de extremo a extremo. Por lo tanto, por un lado habrá un vínculo digital que une a la zona del usuario final con la red soporte, y por otro, uno que desde ella conecta a la red de transporte con el proveedor de los servicios de Internet.

En ambos casos estos dos enlaces deberán ser controlados y administrados por módem banda base. Aquí son ellos los que actúan como equipos terminales del circuito de datos. Luego, el circuito de datos se establecerá entre ambos equipos módem.

Otro caso muy similar sería finalmente cuando el servicio de datos se presta a través de un proveedor de servicios inalámbricos, como se puede ver en la Fig. 3.8. En ese caso el usuario final recibirá el servicio por medio de un vínculo de radio de una frecuencia del orden de varios MHz.

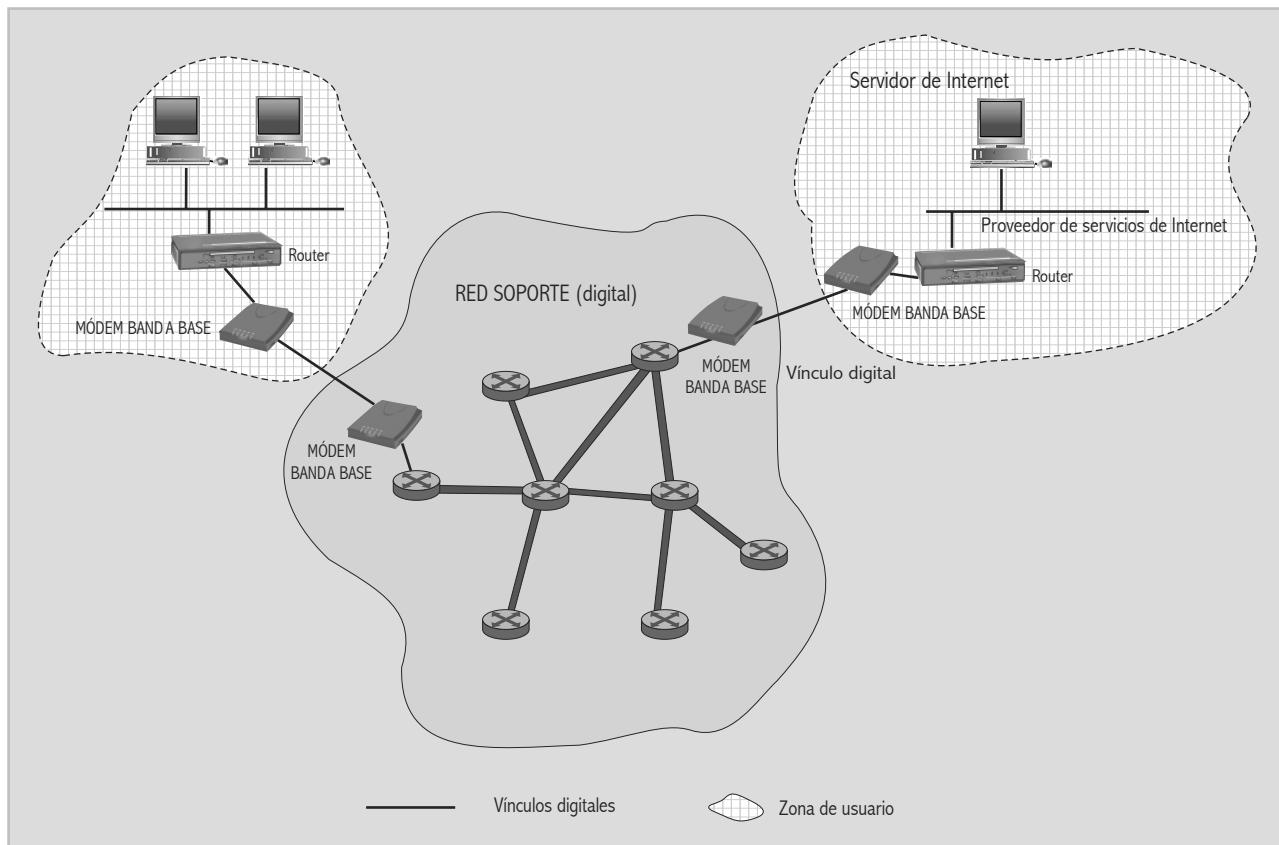


Fig. 3.7. Establecimiento de un circuito de datos a través de un vínculo dedicado digital.

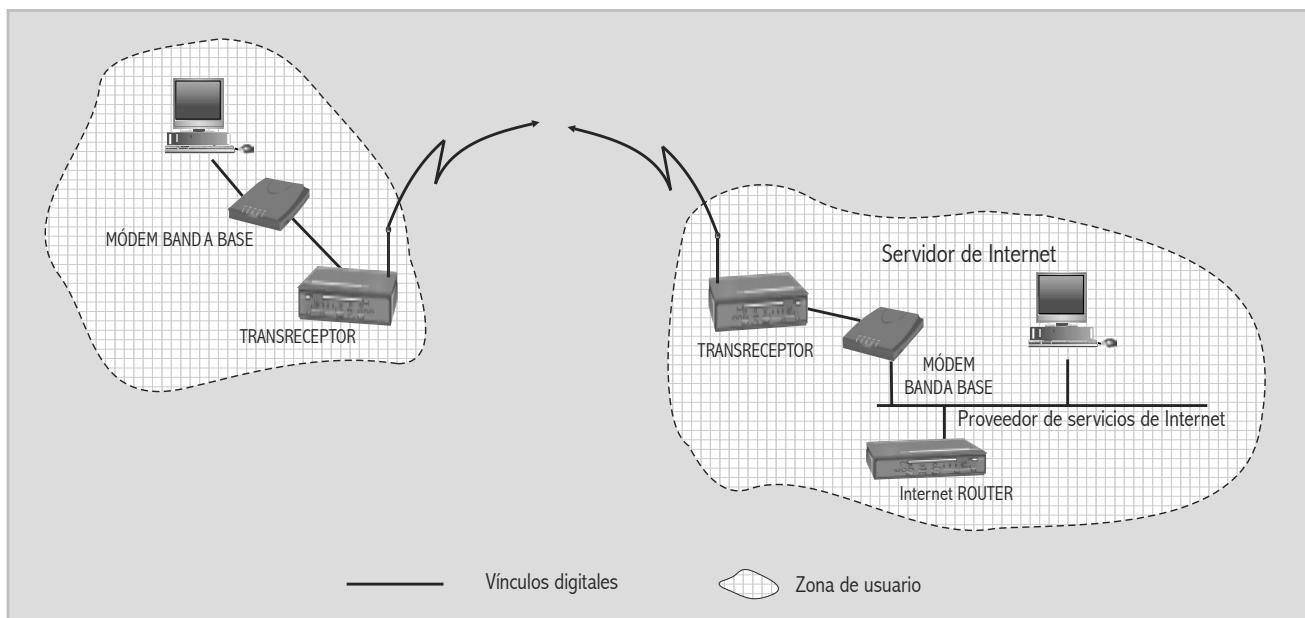


Fig. 3.8. Establecimiento de un circuito de datos a través de un vínculo inalámbrico.

En estos casos en la zona del usuario habrá un módem banda base que estará conectado por un lado a la computadora, y por el otro a un transceptor. Este último equipo será el que se encargará de establecer el vínculo radioeléctrico entre el usuario y el proveedor. Aquí no hay de por medio una red soporte o de transporte. El proveedor de servicios de Internet recibirá la señal a través de otro transceptor, que a su vez estará conectado al otro módem banda base. Entre ambos se establecerá el circuito de datos.

Por último, señalemos que la palabra módem es una contracción de las palabras **MODulator/DEModulator**, ya que **modular** y **demodular** son las funciones principales de estos equipos cuando conectan equipos terminales de datos a líneas analógicas.

Muchas veces cuando actúan de interfaces en otras redes, si bien se los denomina por analogía módem, no realizan ninguna de estas dos funciones. Cada uno de los equipos señalados trabaja con normas y tecnologías diferentes pero recibe este nombre por similitud a la forma de conectados adyacentes al equipo terminal de datos de un usuario final.

También conviene señalar que en muchos casos y por razones prácticas el usuario verá un solo equipo, por ejemplo, splitter-módem xDSL o transceptor-módem banda base. Sin embargo, desde el punto de vista de las funciones que cumple cada uno deben distinguirse sus funciones.

3.2.6 Definiciones utilizadas en Informática

3.2.6.1 Definición de byte

Dado que muchos sistemas de codificación utilizan 8 bits para codificar un carácter, el concepto inicial que se tiene sobre el byte es que siempre se necesita un conjunto de ocho bits para configurarlo.

El código que utilizan las computadoras personales es la causa de que este primer concepto se haya generalizado. Sin embargo, aquí daremos una definición más amplia y consideraremos otros conceptos que, en particular, se usan en los sistemas de transmisión de datos.

Definiremos un byte como el número de bits utilizados para representar un carácter en un sistema de codificación dado.

Según esta definición, un byte puede tener un número variable de bits, que depende de que se usen cinco, seis, siete, ocho o más bits para representar un carácter.

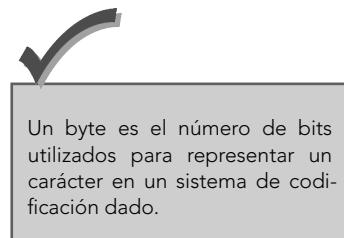
El byte se suele usar como unidad de medida para indicar la capacidad de almacenamiento de información en memoria o en equipos auxiliares. Así, el número de bytes indica precisamente la cantidad de caracteres que pueden almacenarse en ellos.

Numerosos protocolos de comunicaciones, que no siempre utilizan códigos cuyos bytes son de ocho bits, también suelen indicar la velocidad de transmisión en bytes por segundo. Al finalizar una sesión de, por ejemplo, correo electrónico, el sistema suele indicar esta velocidad.

Un hecho importante a tener en cuenta es que cuantos más bits utilice un sistema de codificación dado para representar un carácter, esto es, cuanto más largo sea el byte, mayor será la cantidad de información por carácter y, por lo tanto, mayor el tiempo que se tardará en transmitir, por ejemplo, un texto.

3.2.6.2 Definición de palabra

En el campo de las computadoras, se utiliza el concepto de palabra.



Definiremos una palabra como el número de caracteres (bytes) fijos que una computadora trata como una unidad cuando los transfiere entre sus distintas unidades o los somete a diversos procesos, como lectura, escritura en memoria, operaciones aritméticas, etcétera.

En esta definición el término carácter incluye letras, números y símbolos especiales o caracteres de control.

El concepto de palabra en realidad es un concepto típicamente informático.

Muchos fabricantes importantes de equipos informáticos utilizan la medida de cuatro bytes para formar una palabra, pero también existen los conceptos de media palabra (dos bytes) y de palabra doble (ocho bytes).

Así, se puede hablar de máquinas que tienen longitudes de palabra de 12, 24, 36 o 72 bits (en el caso de códigos de 6 bits por byte), o máquinas de 8, 16, 32 o 64 bits (en el caso de códigos de 8 bits por byte).


El bloque es el conjunto de bits que a los efectos de la protección y la corrección de errores, se considera una sola unidad.

3.2.6.3 Concepto de bloque

Otro concepto que se suele utilizar muy a menudo es el de bloque, y lo definiremos como

Conjunto formado por algunas decenas de bits que recibe un tratamiento único a los efectos de la transferencia de datos, que una computadora realiza entre su memoria y los equipos periféricos.

También se puede definir como el conjunto de bits que a los efectos de la protección y la corrección de errores, se considera una sola unidad.

Este concepto también es de uso común en sistemas de comunicaciones.

3.3 Medidas de la velocidad en la transmisión de información

3.3.1 Definiciones

3.3.1.1 Velocidad de modulación

El concepto de velocidad de modulación es un concepto típico entre los usados en telecomunicaciones y se define como la inversa de la medida del intervalo de tiempo nominal más corto entre dos instantes significativos sucesivos de la señal modulada.

También se suele definir como la inversa del tiempo que dura el elemento más corto de señal, que se utiliza para crear un byte.

$$V_m = \frac{1}{T} \quad (3-1)$$

Donde

T = duración del ancho del pulso (más corto).

En unidades resultará:

$$[V_m] = \frac{1}{[seg]} = [\text{Baudio}] \quad (3-2)$$

Esta velocidad se relaciona con la línea de transmisión.

Si los pulsos de la señal duraran todos igual, la velocidad de modulación medida en baudios resultaría igual al número de esos pulsos por segundo; o si se quiere al máximo número de transiciones de estados del canal por segundo.

En la Fig. 3.9., se pueden observar las características de transmisión de un carácter a través del servicio **Télex**.

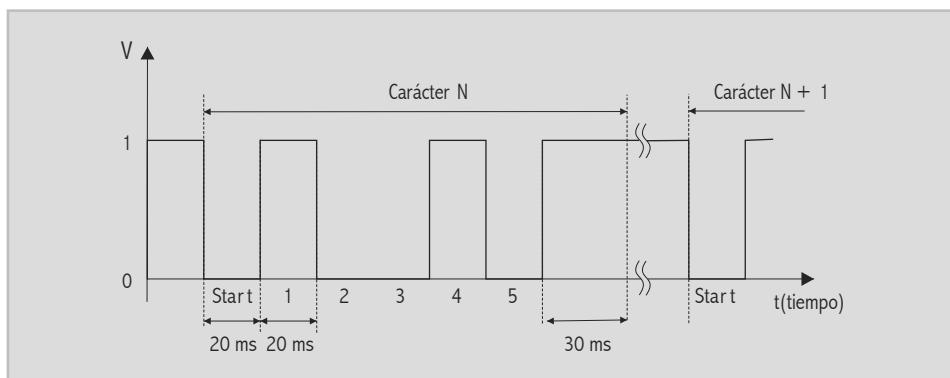


Fig. 3.9. Transmisión de un carácter en el servicio TÉLEX.

Ejemplo 3-1

Calcular la velocidad de modulación utilizada en el servicio télex.

La Fig. 3.6. muestra cómo se transmite un carácter o byte en este servicio. Calculemos la velocidad de modulación,

$$V_m = \frac{1}{T}$$

Siendo $T = 20 \text{ mseg} = 0,02 \text{ seg}$, tendremos,

$$V_m = \frac{1}{0,02 \text{ seg}} = 50 \text{ baudios}$$

Este servicio utiliza un código denominado Baudot, en el que cada carácter se representa por solo cinco bits.

En el presente el servicio Télex está fuera de uso porque fue superado por otros adelantos tecnológicos mucho más veloces y eficientes. Sin embargo, en este caso, se describe como un ejemplo típico de transmisión de un carácter en el que la duración de los pulsos que se necesiten para su transmisión no tienen todos valores iguales, por lo tanto, para el cálculo de la velocidad de modulación se debe tomar el más corto.



Máquina télex con lectora de cinta de papel
(Gentileza de Siemens Enterprise Communications S.A.)

3.3.1.2 Velocidad binaria o velocidad de transmisión, o de información

El concepto de **velocidad binaria** y el de **velocidad de transmisión o información** en general son motivo de cierta controversia.

La Recomendación R.140 de la UIT-T define la **velocidad binaria** como la **velocidad global de transmisión expresada en bits por segundo**.

Esta definición no parece demasiado clara, por lo que a continuación daremos la que llamaremos velocidad de transmisión.

En un canal de datos, se denomina velocidad de transmisión al número de dígitos binarios transmitidos en la unidad de tiempo, independientemente de que estos lleven información o no.

$$V_t = \frac{1}{T} \log n \quad (3-3)$$

$$[V_t] = [bps] \quad (3-4)$$

En un canal de datos, se denomina velocidad de transmisión al número de dígitos binarios transmitidos en la unidad de tiempo, independientemente de que estos lleven información o no

La velocidad binaria o de transmisión se mide en bits por segundo (bps), y está relacionada con el circuito de datos. Cuando las señales a transmitir son binarias, el valor absoluto de la velocidad de modulación, y el de la velocidad de transmisión para una misma señal son iguales. No así el concepto que cada una de ellas encierra.

Donde:

T = período de la señal medido en segundos.

n = número de niveles de señal.

Las señales digitales de comunicaciones se pueden clasificar en binarias, cuando $n = 2$, y multinivel, cuando $n > 2$. Por razones de índole práctica, las señales solo suelen utilizar valores de n que resultan de la siguiente expresión:

$$n = 2^M \quad (3-5)$$

La Fig. 3.10. muestra la forma de una señal binaria de período igual a 5 msec.



Central Télex
(Gentileza de Siemens Enterprise Communications S.A.)

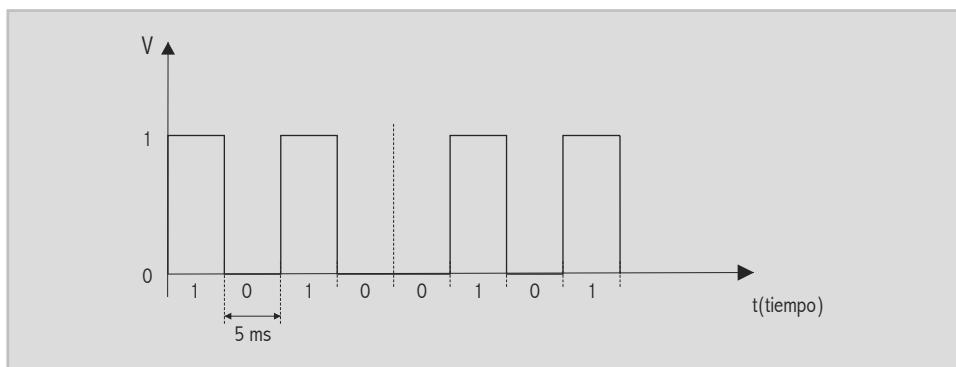


Fig. 3.10. Transmisión de una señal binaria.

Ejemplo 3-2

Calcular la velocidad de transmisión de la señal de la Fig. 3.7.

El período de la señal es de 5 msec, entonces habrá que obtener su valor en segundos. Luego, $5 \text{ msec} = 0,005 \text{ seg}$.

Como $n = 2$, dado que la señal es binaria, resultará,

$$V_t = \frac{1}{0,005} \log 2$$

Calculando resultará,

$$V_t = 200 \text{ bps.}$$

Cuando las señales son multinivel, es posible establecer una relación de cada uno de los niveles con dos, tres o más bits por cada uno de ellos.

En la Fig. 3.11. se observa la forma de una señal multinivel de período igual a 5 msec.

Ejemplo 3-3

Calcular la velocidad de transmisión de la señal de la Fig. 3.8. y la velocidad de modulación de las señales de las figuras 3-10 y 3-11.

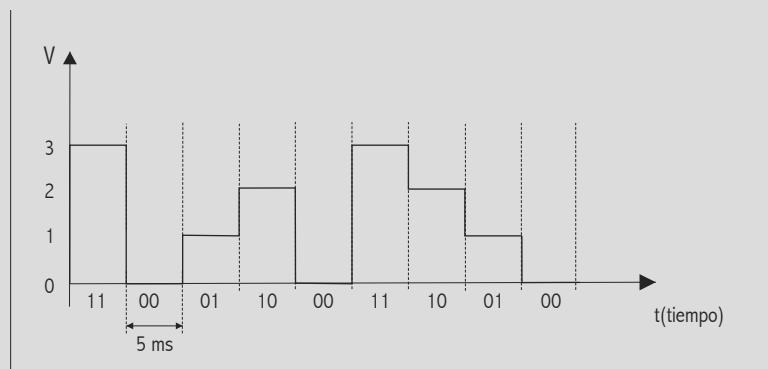


Fig. 3.11. Transmisión de una señal multinivel.

El período de la señal es de 5 mseg , entonces habrá que obtener su valor en segundos. Luego, $5 \text{ mseg} = 0,005 \text{ seg}$. La velocidad de modulación para ambos casos será igual, pues este valor en ambos ejemplos es el mismo. Es decir que V_m resultará,

$$V_m = \frac{1}{T}$$

Siendo $T = 5 \text{ mseg} = 0,005 \text{ seg}$, tendremos,

$$V_m = \frac{1}{0,005 \text{ seg}} = 200 \text{ baudios}$$

Calculemos ahora la velocidad de transmisión para $n = 4$; dado que la señal es multinivel, resultará,

$$V_t = \frac{1}{0,005} \log 4$$

Calculando resultará,

$$V_t = 400 \text{ bps.}$$

En este caso se puede observar que ambas tienen valores diferentes. Al ser la señal multinivel, la cantidad de información transmitida por señales idénticas es distinta. En este caso, el doble.

3.3.1.3 Velocidad de transmisión en señales multinivel

Cuando las señales son multinivel cada pulso transmitido puede contener más de un bit de información. Esto significa que puedo aumentar la velocidad de información sin incrementar la velocidad de modulación. En el ejemplo 3-3 se describió el caso de una señal de cuatro niveles. En la Fig. 3.11. para cada uno de esos niveles se muestra cuáles fueron los bits por pulso que se le pudieron haber asociado.

En teoría n puede tener cualquier valor, pero en la práctica debe responder a la fórmula siguiente:

$$n = 2^M \quad (3-5)$$

Para $M = 2, 3, 4$, y así. Para valores de $N = 2, 3$ y 4 , la razón se puede apreciar en la Tabla 3-1.

Cuando $M = 2$, resultará $n = 4$, por lo tanto, puedo asociar todas las combinaciones de dígitos binarios tomados de dos en dos. De manera análoga, cuando $M = 3$, lo podré hacer con tres y así. En cada uno de los casos presentados, los pulsos transportan más de un bit; esta situación suele denominarse díbit, tribit, cuadribit, etcétera.

Tabla 3-1 Asociación de bits para distintos valores de N		
<i>Nivel</i>	<i>Decimal</i>	<i>Cuadribit</i>
1	1	0000
2	2	0001
3	3	0010
4	4	0011
5	5	0100
6	6	0101
7	7	0110
8	8	1111
9	9	1000
10	A	1001
11	B	1010
12	C	1011
13	D	1100
14	E	1101
15	F	1110
16	G	1111
<i>Nivel</i>		<i>Dibit</i>
0		00
1		01
2		10
3		11
		<i>Tribit</i>
0		000
1		001
2		010
3		011
4		100
5		101
6		110
7		111

Parecería que para una velocidad de modulación dada, se podría aumentar en forma indefinida en número de niveles y así en forma paralela la velocidad de transmisión. Sin embargo, en la práctica para un canal de comunicaciones dado habrá un límite determinado por el nivel de ruido del canal. Como se describió antes, el ruido es una señal aditiva que se suma a la señal útil. Luego, a partir de cierto valor, resultará imposible identificar un nivel n del inmediato anterior $n-1$, o posterior $n+1$.

3.3.1.4 Velocidad de transferencia de datos

Se puede definir un concepto de velocidad que se relaciona con el enlace de datos, y se refiere a los bits que solo contienen información. Esta se denomina **velocidad de transferencia de datos**, y la Recomendación X.15 de la UIT-T la define como el número medio de bits por unidad de tiempo que se transmiten entre equipos correspondientes a un sistema de transmisión de datos.

$$V_{td} = \frac{\text{número de bits transmitidos}}{\text{tiempo empleado}} \quad (3-6)$$

Por lo general la V_{td} se mide en *bps* (bits por segundo).

En forma análoga, si en lugar de bits se consideran bytes, caracteres, palabras o bloques, u otra forma de medir la información, y en lugar de medir el tiempo en segundos se emplearan minutos u horas, se tendrían valores del tipo

$$V_{td} = \frac{\text{byte}}{\text{seg}} \text{ o } V_{td} = \frac{\text{bloque}}{\text{hora}}.$$

Siempre corresponde señalar entre qué puntos se consideró esta velocidad, por lo que deben indicarse los equipos terminales de datos que hacen de fuente o sumidero, o los equipos terminales del circuito de datos (módem) o intermedios de él.

La *velocidad de transferencia de datos* siempre se refiere a las señales digitales enviadas por la fuente y recibidas por el colector, por ello se relaciona con los bits que contienen información, se la puede expresar en bytes/seg, o V_{td} bloques/hora, etcétera.

3.3.1.5 Definición de tasa de errores

Cuando se transfiere información en un canal de comunicaciones entre dos puntos dados de un circuito, siempre podrá haber errores de transmisión. Estos podrán ser muy pocos o muchos, pero nunca cero para un tiempo razonable de transmisión.

La tasa de errores se relaciona con la cantidad de bits transmitidos de manera errónea en una sesión de transmisión de datos. La transmisión puede efectuarse por medios analógicos o digitales, pero la tasa de errores está referida siempre a la recepción en forma digital de los datos en el sumidero.

La tasa de errores se suele expresar mediante la sigla **BER** (*Bit Error Rate*).

A medida que un circuito teleinformático tiene mayor confiabilidad, menor será el valor de la tasa de errores. Asimismo, se denomina tasa de errores sobre un equipo terminal de datos, que actúa como sumidero, a la relación entre los bits recibidos de manera errónea respecto de la cantidad total de bits transmitidos.

Esto es,

$$BER = \frac{\text{Cantidad de bits con errores}}{\text{Cantidad de bits transmitidos}} \quad (3-7)$$

La tasa de errores siempre se expresa como una potencia de diez elevada a un número negativo, por ejemplo, para la red telefónica conmutada se indica que la tasa típica de errores



Se denomina tasa de errores sobre un equipo terminal de datos, que actúa como sumidero, a la relación entre los bits recibidos de manera errónea respecto de la cantidad total de bits transmitidos.

es del orden de $BER = 10^{-6}$, esto significa que podrá haber un bit con error cada millón de bits transmitidos.

En la red telefónica comutada la tasa que se calculó en este ejemplo suele denominarse tasa típica de la red. Esto significa que se puede prever que se producirá un bit con error cada 100.000 bits transmitidos.

Ejemplo 3-4

Una computadora recibe desde una fuente remota un total de 120 MB que corresponden a un archivo y a los datos de control que posibilitaron la transmisión. Si durante la transmisión se produjeron 480 bits con errores, ¿cuál es la tasa de errores, en BER, de esa transmisión? Se trabaja con un código de 8 bits por byte.

La cantidad de bits transmitidos resultará de $120.000.000 \cdot 8 = 960.000.000\text{ bits}$, luego, la tasa de errores será igual a

$$BER = \frac{480}{960.000.000} = 0,000005 = 5 \cdot 10^{-6}$$

$$BER = 5 \cdot 10^{-6}$$

3.3.1.6 Velocidad real de transferencia de datos

Por lo general interesa saber la cantidad de bits por unidad de tiempo que saliendo de la fuente llegan al colector, y además, este los acepta como válidos.

Este concepto define la denominada **velocidad real de transmisión de datos**, que se define por el número medio de bits por unidad de tiempo que se transmiten entre los equipos de un sistema de transmisión de datos, a condición de que el sumidero o receptor los acepte como válidos.

$$V_{td} = \frac{\text{número de bits transmitidos y aceptados como válidos}}{\text{tiempo empleado}} \quad (3-8)$$

Como se puede apreciar, esta definición es exactamente igual a la de velocidad de transferencia de datos, a excepción de que aquí se requiere que se midan solo los bits, los bytes, las palabras o los bloques sin errores de transmisión, que llegaron de la fuente transmisora al equipo que hace de sumidero, y que este los haya aceptado como válidos.

Este concepto se relaciona en forma directa con el rendimiento del canal de comunicaciones y, por lo tanto, con su eficiencia como tal.

3.3.1.7 Eficiencia o rendimiento de un sistema de transmisión de datos

En muchos casos el administrador de un sistema informático que trabaja en forma remota necesitará calcular el tiempo real que tardarán en realizarse determinadas operaciones, ya que estas pueden estar condicionadas por la disponibilidad de los medios que gestionan.

El ejemplo más simple de entender es el caso de un corresponsal remoto que durante la noche debe transmitir un conjunto de archivos a una computadora central, que puede estar disponible para esta tarea solo una determinada cantidad de tiempo.

En este caso se necesitará conocer la cantidad de bits a transmitir y la velocidad real de transferencia de datos, pues todas las demás variables solo dan valores aproximados.

Si se tuvieran esos datos, el tiempo a emplear se podría despejar de la ecuación 3-9, esto es:

$$\text{Tiempo a emplear [bps]} = \frac{\text{Longitud del archivo [bit]}}{V_{td} [\text{bps}]} \quad (3-9)$$



La velocidad real de transmisión de datos, en inglés, se denomina *throughput*, palabra que también se utiliza en el lenguaje corriente en otros idiomas.



La velocidad real de transmisión de datos se define por el número medio de bits por unidad de tiempo que se transmiten entre los equipos de un sistema de transmisión de datos, a condición de que el sumidero o receptor los acepte como válidos.

Este problema solo puede resolverse si se dispone de un valor lo suficientemente próximo al de la V_{rtd} valor este que no es posible medir, entre otras razones porque puede variar de un momento a otro de la transmisión. Sin embargo, puede obtenerse una aproximación que sea útil, y puede tomarse en cuenta la hora del día en que se efectuaron las transmisiones, pues la tasa de error suele variar con ella (por lo general durante la noche las tasas son menores que durante el día).

Por otra parte, puesto que para el cálculo de la velocidad de transmisión se consideran todos los bits transmitidos, tengan información o no, y para el cálculo de la velocidad de transferencia de datos solo se tienen en cuenta los bits de información transmitidos, está claro que:

$$V_t \gg V_{rtd} \quad (3-10)$$

Para transformar esta desigualdad en una igualdad, se deberá agregar al segundo miembro un factor $\alpha > 1$, tal que:

$$V_t = \alpha V_{rtd} \quad (3-11)$$

De manera análoga, mientras que en la velocidad de transferencia de datos se consideran todos los bits de información transmitidos, incluidos los que contienen errores, en la velocidad real de transferencia de datos solo se toman en cuenta los bits transmitidos aceptados como válidos, cuya cantidad sin duda será menor.

$$V_{rtd} \gg V_{td} \quad (3-12)$$

Luego podremos transformar esta desigualdad en igualdad mediante un factor $\beta \geq 1$, donde $\beta = 1$, si la transmisión fuera libre de errores; entonces, para todos los casos tendremos que:

$$V_{td} = \beta V_{rtd} \quad (3-13)$$

Ahora bien, si en la igualdad (3-11) reemplazamos V_{td} por el valor obtenido en (3-13), tendremos,

$$V_t = \alpha \beta V_{rtd} \quad (3-14)$$

Y si ahora hacemos $\alpha \beta = \gamma$, tendremos,

$$V_t = \gamma V_{rtd} \quad (3-15)$$

Definiremos como eficiencia o rendimiento ε de un enlace de datos **al cociente entre la velocidad real de transferencia de datos y la velocidad de transmisión**,

$$\varepsilon = \frac{V_{rtd}}{V_t} \quad (3-16)$$

De la expresión (3-15) es fácil deducir que ε es la inversa de γ . En efecto,

$$\frac{V_{rtd}}{V_t} = \frac{1}{\gamma} \quad (3-17)$$

Luego, resultará,

$$\varepsilon = \frac{1}{\gamma} \quad (3-18)$$

El concepto de eficiencia de un enlace de datos se relaciona, entonces, con la V_t y la V_{rtd} . La primera se conoce porque cuando se contrata un enlace de datos digital, su valor se acuerda con el proveedor (por ejemplo, cuando se contrata un enlace de 512 kbps esa es precisamente la velocidad de transmisión). Si el enlace es analógico, la velocidad de transmisión será a la que ambos módems se conecten entre sí, después de haber negociado la velocidad (por ejemplo, 50 kbps). En ese caso, la velocidad de transmisión se puede ver en la ventana que muestra el estado de la conexión a Internet.

Luego será necesario conocer el valor de la segunda. Para ello se pueden hacer distintas pruebas a varias horas del día, o aquellas en las que uno desea conocer el comportamiento del

vínculo sobre archivos de una longitud determinada y conocida, y el tiempo que se demora en su transmisión.

$$V_{itd} = \frac{\text{Longitud de un archivo conocido}}{\text{Tiempo empleado en recibirlo}} \quad (3-19)$$

Conocido este valor se podrá obtener la eficiencia del enlace utilizado.

Ejemplo 3-5

Se quiere conocer la eficiencia de un enlace dedicado establecido en una empresa, entre su centro de cómputos y una planta de producción vinculados en forma remota, entre las 22 y las 23 horas. El enlace tiene una velocidad de transmisión contratada de *250 Kbps*.

Se efectuaron las siguientes mediciones sobre archivos de diferente longitud y transferidos mediante el **Protocolo FTP** (*File Transfer Protocol*, Protocolo de transferencia de archivos) y se sabe que se trabaja con un código de 8 bits por byte.

- *8 MB* tiempo de transmisión de *320 seg.*
- *5 MB* tiempo de transmisión de *210 seg.*
- *9 MB* tiempo de transmisión de *450 seg.*

Las velocidades reales de transmisión son en cada caso las siguientes, y resultan de reemplazar valores en la expresión (3-19), recordando que *1 KB = 1.024 bytes*,

8 MB serán iguales a *8.388.608 bytes* y, por lo tanto, *67.108.864 bits*

$$V_{itd} = \frac{67.108.864 \text{ bits}}{320 \text{ seg}} = 209.715 \text{ bps}$$

5 MB serán iguales a *5.242.880 bytes* y, por lo tanto, *41.943.040 bits*

$$V_{itd2} = \frac{41.943.040 \text{ bits}}{210 \text{ seg}} = 199.718 \text{ bps}$$

9 MB serán iguales a *9.437.184 bytes* y, por lo tanto, *75.497.472 bits*

$$V_{itd3} = \frac{75.497.472 \text{ bits}}{450 \text{ seg}} = 167.772 \text{ bps}$$

Calculemos el promedio aritmético de estos valores para tener un valor medio,

$$\frac{[209.715 + 199.718 + 167.772] \text{ bps}}{3} = 192.405 \text{ bps}$$

Luego, como $\varepsilon = \frac{V_{itd}}{V_t}$, la eficiencia de este enlace dedicado resultará igual a,

$$\varepsilon = \frac{192.405 \text{ bps}}{250.000 \text{ bps}} = 0,7696$$

$$\varepsilon = 76,96\%$$

3.4 Características de un enlace de datos

3.4.1 Utilización del ancho de banda

Cuando se establece un canal de comunicaciones por un vínculo, este se define técnicamente según el tipo de señales que va a transportar. Estas pueden ser de características analógicas o digitales, y, por lo tanto, definirán al canal como analógico o digital. Cada uno de ellos tiene aspectos comunes y otros particulares, sobre todo por el hardware de comunicaciones que tiene asociado. Un ejemplo es el caso del uso de amplificadores en los canales analógicos, y otro el uso de los repetidores regenerativos en los canales digitales.

En todos los casos durante el proceso de transmisión, las señales sufren tres fenómenos que se producen en forma simultánea: atenuación, distorsión y ruido. En última instancia, estos son los que producen los errores de transmisión. En particular, el ruido y el ancho de banda son dos limitantes físicos de cualquier sistema de comunicaciones.

Para cada medio físico que va a utilizarse para establecer un canal de comunicaciones, se pueden definir dos conceptos diferentes de ancho de banda. Uno es el que podemos definir como **ancho de banda disponible**, y otro es el de **ancho de banda utilizable**.

El ancho de banda disponible de un canal de comunicación es el valor máximo de frecuencia que puede utilizarse para una dada tasa de errores.

En muchas ocasiones y por diversos motivos, del máximo disponible solo se utiliza una parte. Por ejemplo, en algunos casos, como podría ser en las transmisiones radioeléctricas, porque el ancho de los canales está definido por la autoridad que otorga las frecuencias y por el servicio de comunicaciones que se prestará; En otros, por razones de índole práctico, como es el caso del ancho de banda que se toma para digitalizar la red telefónica por conmutación de circuitos.

Se define como ancho de banda utilizable el valor ocupado del total disponible en un vínculo físico de comunicaciones.

Un caso típico es el de un par telefónico utilizado en la red telefónica. El ancho de banda disponible suele ser del orden de los MHz o aun mayor, según el diámetro del cable con que está construido el par, la longitud a la que está ubicado el usuario final, el aislamiento, etc. Sin embargo, el equipo codec ubicado a la entrada de la zona de la red solo digitaliza un ancho de banda de 3.100 Hz.

Esta subutilización del ancho de banda disponible hizo precisamente que las operadoras del servicio telefónico hayan implementado los servicios de Internet por banda ancha. De esta manera lograron optimizar al máximo el ancho de banda disponible en esos pares. Por esa razón, estos se revalorizaron en términos económicos. Sin perjuicio de lo expresado, y definido el ancho de banda, siempre se buscará tratar de utilizar el medio de comunicaciones de la manera más eficiente. Esto significa que para cada conjunto de datos dado, a ser transmitido o recibido, se buscará emplear la menor cantidad de tiempo posible en su transporte.

Algunas de las razones por las que se intenta que el tiempo de transmisión sea mínimo son las siguientes:

- Lograr que el procesamiento de la información sea más eficiente. Para ello, es necesario que llegue la mayor cantidad de datos por unidad de tiempo.
- Cuando se opera en tiempo real, por ejemplo, en una conexión a Internet, el operador espera una respuesta en el menor tiempo posible, que no demore su actividad.
- La mayoría de las comunicaciones se cobra en función de su duración, por tanto, cuanto menor sea el tiempo de transmisión, menor será su costo.

Por estas y otras razones, se busca transmitir a la mayor velocidad posible. Sin embargo, como ya se expresó, esta se relaciona en forma directa con el ancho de banda disponible y el nivel de ruido presente en el canal de comunicaciones que se use.

3.4.2 Relación entre ancho de banda y velocidad de modulación. Transmisión multinivel

Un aspecto que es necesario considerar es la relación entre la denominada **velocidad de modulación** y el ancho de banda utilizado.

Como se vio antes, cuanto mayor es la velocidad de modulación menor es el ancho del pulso T transmitido de cada uno de ellos. Este tiempo se relaciona de manera directa con la energía almacenada en el sistema eléctrico que posibilita la transmisión y la resistencia que esta opone al cambio de la polaridad que se produce en cada pulso transmitido.

Cuando se fuerza una determinada velocidad de modulación por encima de lo que permite el ancho de banda disponible, el canal de comunicaciones reacciona aumentando la tasa de errores. Así se puede afirmar que para cada canal de comunicaciones existe una relación entre tres parámetros que están unidos y relacionados en forma indisoluble:

- Ancho de banda.
- Tasa de errores.
- Velocidad de modulación.

Si aceptamos que en la mayoría de los casos el ancho de banda está dado por el canal que se usa y el servicio que está asociado a él, a cada velocidad de modulación que se elija le corresponderá una determinada tasa de errores.

Un ejemplo típico es el de un canal telefónico que tiene un ancho de banda utilizable de $3,1\text{ KHz}$. Si aceptamos como razonable un BER del orden de 10^{-6} , la velocidad de modulación quedará fijada en el orden de los 2400 a 3000 baudios. Si decidiésemos aumentar la velocidad de modulación y mantener constante el ancho de banda, se incrementaría la tasa de errores en forma automática.

Por lo tanto, un incremento de la velocidad de modulación sin un aumento del ancho de banda hace que la tasa de errores aumente. En algunas ocasiones esta puede ser tan elevada que hace inútil la comunicación.

Es por ello que se exploraron técnicas que sin alterar el esquema físico antes señalado permiten mejorar en grado sustancial la cantidad de información que se puede transmitir para un ancho de banda determinado.

Los dos procedimientos técnicos empleados con este fin son las **transmisiones multinivel** y los **sistemas de compresión de datos**.

También es importante destacar que, sin perjuicio de estas técnicas, un canal se puede hacer más eficiente si se mejora su nivel de ruido y se utilizan otras técnicas de transmisión, que incrementan la calidad del canal mediante un proceso que se denomina **ecualización**.

Las ventajas de las primeras son que su uso y aplicación están al alcance de los usuarios, mientras que las segundas dependen de la voluntad del proveedor de los servicios de transmisión de datos.

En el apartado 3.2.1.3, se señala cómo se puede aumentar la velocidad de transmisión sin incrementar la velocidad de transmisión. Para ello se usan señales multinivel, que permiten transmitir más de un bit por cada baudio enviado.

En la Tabla 3-1, se observa cómo se podrían construir con distintos niveles de las señales enviadas dubits, tribits y cuadribits. En el presente esta técnica se usa mucho en los módems para conexiones dial-up, en los que se obtienen valores aun mayores. Por ejemplo, los equipos de las recomendaciones V.34, V.90 y V.92, de la UIT, trabajan con señales multinivel de más de 9 bits por cada baudio transmitido y con sistemas especiales para detección y control de errores.

De esta manera, la transmisión multinivel resuelve de forma parcial, pero efectiva, el problema de enviar información a mayor velocidad por un canal de comunicaciones sin tener que aumentar el ancho de banda necesario.

3.4.3 La medida del ancho de banda en canales digitales

En los canales analógicos el ancho de banda siempre se refiere en Hertz, esto es, en $\frac{1}{\text{seg}}$. En cambio, por razones prácticas y técnicas en los canales digitales el ancho de banda se expresa en $\frac{\text{bit}}{\text{seg}}$.

Si en principio hiciésemos consideraciones de tipo dimensionales veríamos las siguientes expresiones para un canal analógico y otro digital:

$$[\Delta f] = \frac{1}{[\text{seg}]} = \text{Hertz} \quad (3-20)$$

$$[\Delta f] = \frac{[\text{bit}]}{[\text{seg}]} = \text{bps} \quad (3-21)$$

Sin embargo, desde el punto de vista de los sistemas de medidas físicos, el bit es adimensional. Luego, si se comparan (3-20) y (3-21) desde el punto de vista dimensional tendremos,

$$[\Delta f] = \frac{1}{[\text{seg}]} = \frac{[\text{bit}]}{[\text{seg}]} \quad (3-22)$$

Esto muestra que Hertz y bps tienen la misma dimensión.

Cuando se contrata un canal digital siempre se toma en cuenta su ancho de banda, considerando la velocidad de transmisión de ese canal en bps. Las razones son las siguientes:

- La velocidad del circuito de datos estará dada por la máxima velocidad de los equipos terminales del circuito de datos.
- Normalmente, el ancho de banda disponible del canal será mucho mayor que el ancho de banda que se va a utilizar, por lo que la tasa de errores estará siempre dentro de valores normales para el servicio de datos que se presta.

Para tener una idea y analizar el significado del ancho de banda medido en bps imaginemos una tubería como la que se muestra en la Fig. 3.12., en cuyos extremos están los equipos terminales del circuito de datos. Esta es el canal de comunicaciones digital que establecimos mediante los vínculos disponibles en una determinada red. Como se vio, estos pueden ser alámbricos o inalámbricos.

Observemos la Fig. 3.12. Supongamos que el canal está transmitiendo una trama compuesta por un conjunto de bits. Llamemos t_1 al instante de tiempo en que el primer bit sale del canal, y t_2 al momento en que lo abandona el último bit. Luego, el ancho de banda en ese canal resultará, siendo Q la cantidad de bits que contiene la trama transmitida, el cociente entre la cantidad Q de bits contenidos en la trama transmitida, dividido el intervalo de tiempo que resulta de la diferencia de tiempo entre el instante t_2 en que el último bit de la trama sale del canal, menos t_1 que es el medido en el momento en que el primer bit salió de ella.

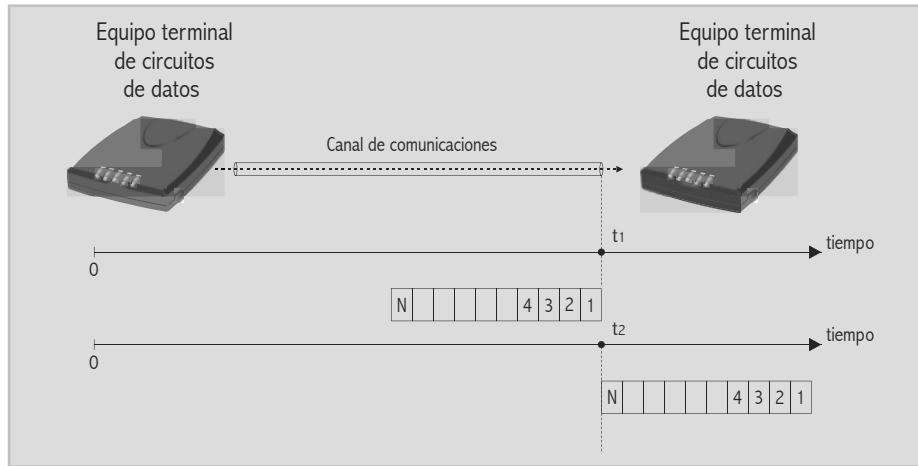


Fig. 3.12. Ancho de banda para canales digitales.

$$\Delta f = \frac{Q \text{ [bit]}}{t_2 - t_1 \text{ [seg]}} = bps \quad (3-23)$$

Esta expresión en realidad mide el ancho de banda utilizado. El vínculo podría tener un ancho de banda aun mayor, pero los equipos terminales del circuito de datos podrían limitarlo a un valor convenido entre los extremos del canal.

3.4.4 Conceptos de retardo, latencia y jitter. Su relación con el ancho de banda

Todo canal de comunicaciones en función del vínculo que se utiliza para definirlo tiene un **retardo** en la transmisión de la información. La razón de esto es que la información no se transmite a una velocidad infinita cualquiera sea el medio de comunicaciones elegido. En el mejor de los casos, si la información fuese transmitida a través de un medio dieléctrico como es el vacío, lo hará a una velocidad aproximada de $300.000 \text{ km/seg}^{-1}$. No obstante, como se analizó en el capítulo 2, si se utilizaran otros medios conductores, esta velocidad sería menor. Por otra parte, si las distancias a recorrer fuesen relativamente cortas, el tiempo que demoraría una señal en transmitirse podría ser despreciable. Sin embargo, no es así en todos los casos, y no todas las aplicaciones son insensibles a los retardos de transmisión.

Por lo tanto, toda transmisión tendrá un **retardo de transmisión** que estará condicionado por el medio de comunicaciones utilizado.

El retardo de transmisión será siempre función de la velocidad de propagación de la señal a transmitir.

Llamaremos retardo de transmisión R_t al tiempo que empleará la señal de comunicaciones para cubrir una distancia dada.



Llamaremos retardo de transmisión R_t al tiempo que empleará la señal de comunicaciones para cubrir una distancia dada.

$$R_t = \frac{\text{distancia}}{\text{velocidad de propagación}} \quad (3-24)$$

El retardo será una función de la velocidad de propagación de la señal, y esta, del medio que se utilice.

Cuando los enlaces se establecen entre dos equipos terminales en forma directa, el retardo de transmisión es el tiempo total que demora la señal en transmitirse entre ambos y es función

exclusivamente al medio de comunicaciones utilizado. Ese valor es prácticamente el caso típico de los enlaces punto a punto, o también, los que se establecen con la técnica denominada por conmutación de circuitos.

Por ejemplo, en los servicios de voz la UIT aconseja retardos no mayores a *150 mseg* para que los interlocutores de un enlace no tengan problemas en mantener una conversación fluida y clara. Este valor no se puede obtener en transmisiones satelitales en órbitas geosincrónicas.

En el ejemplo 3-6 se muestra el caso de una comunicación de ese tipo, y el retardo aproximado que tendrá esa comunicación.

Ejemplo 3-6

Se desea conocer el retardo aproximado de una comunicación telefónica que utilizará el satélite Hispasat 1D ubicado en la ventana orbital 30° Oeste, en **órbita geosincrónica**, y que está a una distancia de las estaciones terrenas extremos del enlace de 36.000 km. Se podrán despreciar los retardos sobre los vínculos terrestres por estar muy próximos a las estaciones satelitales.

La distancia total a recorrer será la misma para la **subida** (*up link*) al satélite y su **descenso** (*down link*): 36.000 km. Por lo tanto, la comunicación recorrerá en total 72.000 km.

Aplicando la ecuación (3-24), el retardo resultará igual a,

$$\Delta t = \frac{72.000.000 \text{ m}}{300.000.000 \text{ m}} = 0,240 \text{ seg}$$

seg

Como se ve, este valor excede el tiempo recomendado de *150 mseg*, por lo tanto, los interlocutores van a notar el retardo, que sin duda dificultará su comunicación. Por esta razón, en el presente los enlaces satelitales se usan para otros servicios en los que tienen gran utilidad, pero se los evita para proporcionar enlaces telefónicos, excepto que estos se utilicen como canales auxiliares de otros servicios.

Ejemplo 3-7

Se desea conocer el retardo aproximado de una comunicación telefónica que cuenta con un enlace terrestre establecido sobre cables de cobre, que tiene una distancia entre extremos de 5.500 km. Se sabe que la velocidad de propagación en ese circuito es de *235.000 m/seg*.

Aplicando la ecuación (3-24), el retardo resultará igual a

$$\Delta t = \frac{5.500.000 \text{ m}}{235.000.000 \text{ m}} = 0,0234 \text{ seg} = 23,5 \text{ mseg}$$

seg

En este caso el retardo es compatible con el tiempo recomendado de *150 mseg*, por lo tanto, los interlocutores no van a notar el retardo de transmisión.



A la órbita geosincrónica también se la conoce como órbita geoestacionaria. Está a una distancia de 35 768 km de la superficie terrestre en el Ecuador.

Además del retardo de transmisión provocado por la velocidad a la que viaja la información en función del medio de comunicaciones que se elija, en las aplicaciones en que se utiliza la técnica de **comutación de paquetes**, en cada nodo de conmutación habrá otra demora adicional. Esta se generará por la necesidad de procesar y administrar la información desde que entra a ese nodo hasta que luego de ser tratada se redirecciona al siguiente, y así sucesivamente hasta que llega a destino.

Las redes de comunicaciones digitales actuales deben prestar muchos **servicios isócronos**, esto es, aquellos que dependen del tiempo.

Esto hace que las comunicaciones sean muy sensibles al retardo. Sin embargo, el tiempo total que puede demorar una transferencia de datos en la red no solo depende del retardo provocado por la demora en recorrer el camino físico determinado por el vínculo que se utiliza, sino por otros factores que hacen a aspectos lógicos y otros elementos físicos que componen los circuitos establecidos. Algunas causas, entre otras, de retardos adicionales pueden ser las siguientes:

- Procesamiento en los nodos de conmutación de paquetes.
- Resolución de colas de espera.
- Saturación de memorias intermedias o buffer.
- Congestión en distintas partes de la red.

En algunos casos, estos retardos se pueden solucionar aumentando el ancho de banda. En otros, el problema subsistiría aunque se mejorara este parámetro. En muchos servicios los retardos pueden generar una disminución de la calidad del enlace, y hasta pueden hacerlo inservible para alguna de las aplicaciones a las que está destinado.

Un ejemplo podría ser el intercambio de datos en el servicio Web. En este una demora importante de algunos segundos quizás no sería muy significativa. No obstante, una demora de dos o tres segundos en una transmisión de la voz o en la recepción de un emisora de radio vía Internet o de una señal de video sí haría a estos servicios inaceptables.

En el primer caso es posible que si se aumenta el ancho de banda, el usuario no se dé cuenta de los problemas causantes de las demoras; no obstante, en otros, como los servicios de voz o las transmisiones de audio en tiempo real, un aumento del ancho de banda no produciría efecto alguno sobre la recepción de la señal.

Uno de los parámetros que se utilizan para definir los problemas de demoras que pueden aparecer en las redes se denomina **latencia**. Este tipo de retardo se debe a una suma de situaciones. Entre ellas podremos señalar la necesidad de procesar los paquetes, los posibles problemas de congestión que requieran que la información quede almacenada de manera transitoria en memorias intermedias o buffer, u otras circunstancias similares. En estos casos la información va llegando a cada nodo en forma de tramas, y dentro de ellas están contenidos los paquetes. Precisamente, ellos serán procesados resolviendo problemas conocidos en la matemática como de **teoría de colas**. De allí, la importancia que el estudio de este tema tiene para los especialistas en comunicaciones.

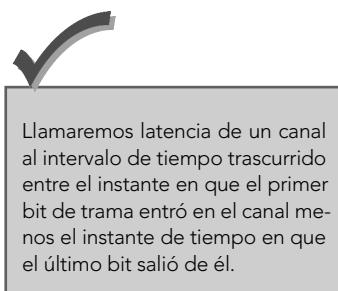
Ahora buscaremos definir el concepto de **latencia**. Este busca combinar por un lado el ancho de banda del canal, y por el otro los retardos que se pueden producir en él por todas las causas señaladas antes.

Observemos ahora la Fig. 3.13. Seguiremos llamando t_2 al instante en que el último bit de la trama sale del canal, y denominaremos t_3 al instante en que el primer bit de ella entró en él.

Llamaremos latencia de un canal al intervalo de tiempo transcurrido entre el instante en que el primer bit de trama entró en el canal menos el instante de tiempo en que el último bit salió de él.

$$\Delta T = t_3 - t_2 \quad (3-25)$$

Si analizamos las definiciones de ancho de banda y los retardos, la latencia combina ambos conceptos.



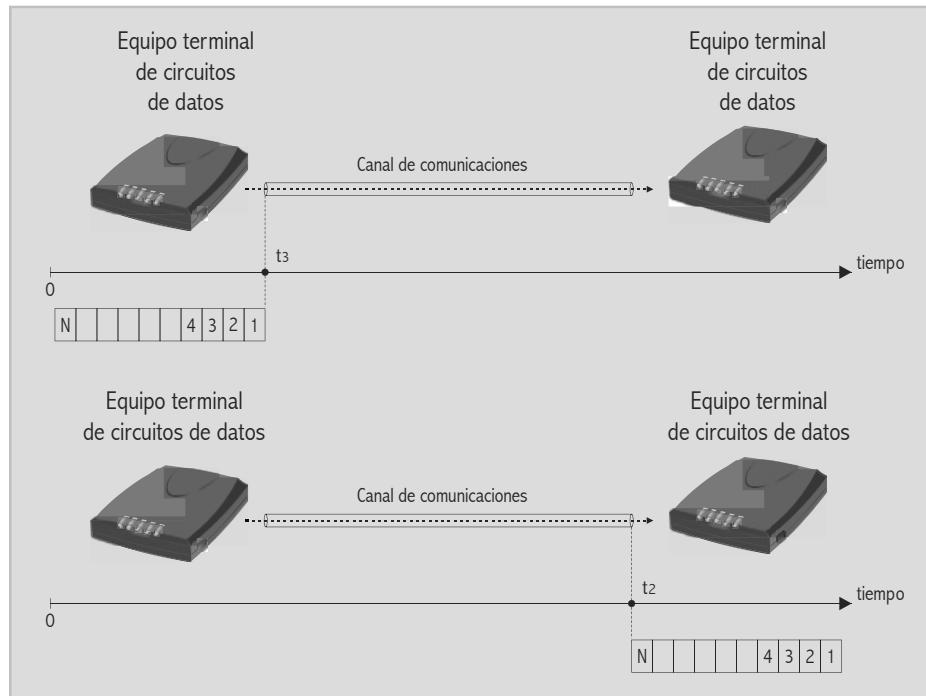


Fig. 3.13. Retardo total en canales digitales.

Cuando en el Capítulo 4 analicemos los conceptos de commutación de circuitos y commutación de paquetes, se verá con mayor claridad por qué los primeros tienen menor latencia que los segundos, aunque estos últimos tienen un comportamiento mucho más eficiente, y debido a los avances tecnológicos se utilizan cada vez más en forma excluyente.

De todas formas, si en un circuito de comunicaciones la latencia se mantiene para la transmisión de todas las tramas en un valor constante, la calidad del servicio no disminuye sensiblemente. No obstante, en muchos casos el valor de la latencia varía de trama a trama y este fenómeno afecta en gran medida la calidad en muchos servicios, en especial los que se señalaron como isocrónicos.

Las variaciones en los valores de la latencia reciben el nombre de **jitter**. En las redes digitales que requieren una determinada QOS (*Quality of Service*, Calidad de Servicio) siempre se especifica cuál es el valor máximo de jitter permitido. Estas variaciones no se producen por el retardo de transmisión sino por los retardos adicionales que señalamos (p. ej., el caso de las colas de espera en los nodos de transmisión de las redes por commutación de paquetes).

En esos casos y en aquellos en que los efectos del jitter esté dentro de los valores mínimos posibles, se suelen utilizar memorias intermedias o buffer. De esta manera, los paquetes se almacenan en estas, y luego se retransmiten a intervalos constantes.

3.5 Canales de comunicaciones

3.5.1 Conceptos generales

En el apartado 3.1.3, habíamos definido el concepto de canal de comunicaciones como el de un camino que se establece entre dos puntos o más de la red entre equipos que actúan como transmisores o receptores, o ambos. También se había señalado que este concepto implicaba no solo lo que hace al enlace físico sino también a una conexión lógica.



La expresión *jitter* no tiene una traducción exacta al español, pero podría interpretarse como "variación del retardo".

Una red de comunicaciones está formada por un conjunto de canales de comunicaciones que deben permitir unir e interconectarse a todos los corresponsales que forman parte de ella. A tal efecto cada uno de estos debe poseer un equipo terminal que satisfaga sus necesidades de comunicación y un medio físico que los una. Ese medio es precisamente el que conforma el **canal de comunicaciones**.

Los equipos terminales que están vinculados al canal deben ser capaces de actuar como entidades emisoras, que denominaremos **fuentes**, o como receptoras, que se llamarán **colectores**, o como ambas. Para su estudio, analizaremos el concepto de canal de comunicaciones en dos aspectos que manejan conceptos diferentes: el **canal físico** y el **canal de información o canal lógico**. Ambos conceptos tienen un objetivo común: transmitir la máxima cantidad de información con la menor tasa de errores.

3.5.2 Canal físico

Denominaremos canal físico a la parte del canal de comunicaciones que tiene que ver con las características físicas y eléctricas del medio de transmisión (ver Fig. 3.14.).

Este concepto está vinculado a las características físicas del medio y las técnicas de la **ingeniería de comunicaciones**. El canal físico se ocupa de los fenómenos relativos a la transmisión de señales.

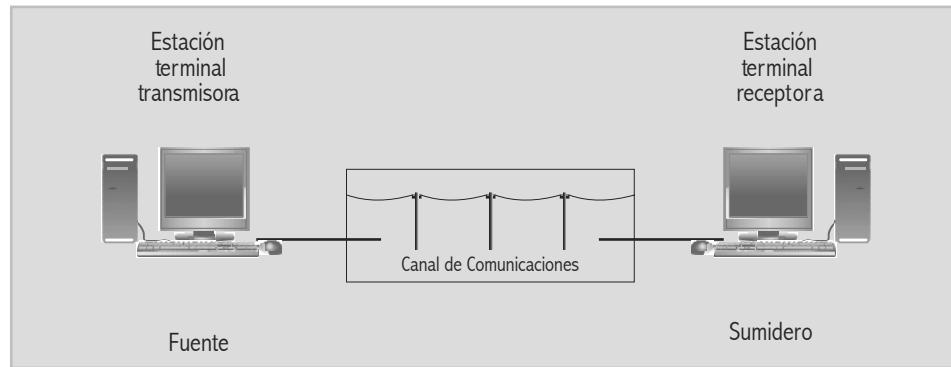


Fig. 3.14. Canal de comunicaciones.

Usa como criterio de eficiencia obtener una señal en el colector con **calidad, integridad** y **fidelidad**, esto es, **sin errores**, así como minimizar el efecto que producen los fenómenos de **ruido** y **distorsión**.

Los canales físicos pueden estar constituidos por diferentes medios de comunicaciones, cuyo estudio se detallará más adelante.

Desde el punto de vista físico, puede estudiarse la parte eléctrica de un canal como si fuera una **línea de transmisión**.

Sus características están determinadas por sus propiedades eléctricas, que son: **resistencia, inductancia y capacitancia**. Estos tres parámetros producen dos fenómenos ya descriptos en el Capítulo 2, denominados **atenuación** (producida por la resistencia eléctrica) y **distorsión** (producida por la inductancia y la capacitancia).

La resistencia en una línea de transmisión produce una disminución en la amplitud de la señal, **atenuación**, que se traduce en una reducción en la potencia de la señal, incluso hasta límites que no la hagan detectable, según se puede observar en la Fig. 3.15.

El canal físico es la parte del canal de comunicaciones que tiene que ver con las características físicas y eléctricas del medio de transmisión

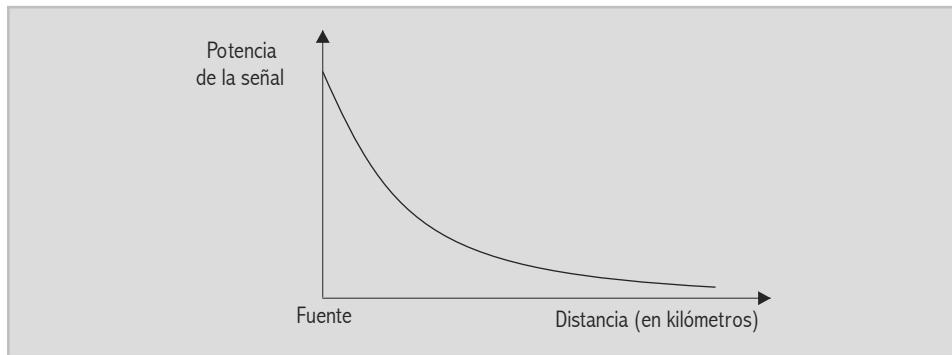


Fig. 3.15. Pérdida de potencia de una señal por atenuación.

La inductancia y la capacitancia tienen un efecto aun más perjudicial, pues deforman la señal, **distorsión**, lo que torna muy difícil su detección sin errores, en especial cuando se trata de señales digitales. En la Fig. 3.16. se muestra cómo se distorsiona una señal por efecto de un canal con inductancia.

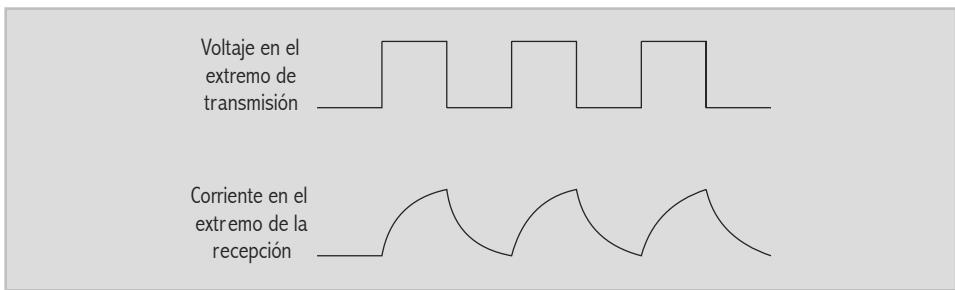


Fig. 3.16. Distorsión de la señal por efecto inductivo.

Otro factor que disminuye la calidad de un canal es la incorporación de adquisición de ruido durante el recorrido de la señal por el medio físico.

En todos los casos el ruido presenta características de **aditividad**. Esto significa que en la señal a transmitir, sea analógica o digital, el ruido se sumará produciendo una deformación. En la Fig. 3.17., se muestra cómo se suma el ruido a la señal útil en un ejemplo sobre una transmisión analógica y, en la Fig. 3.18., se observa el mismo efecto sobre una señal digital.

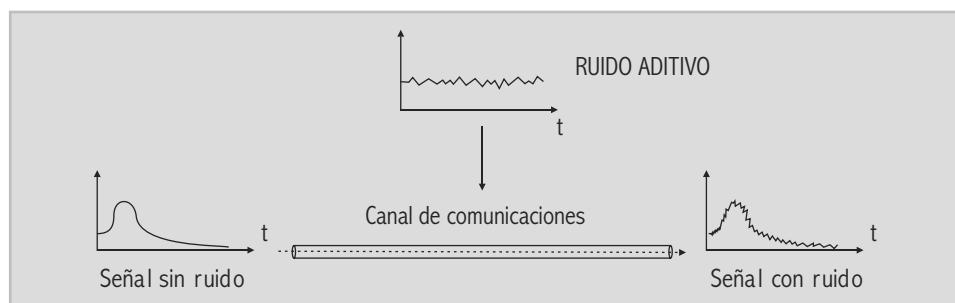


Fig. 3.17. Efecto aditivo del ruido sobre una señal analógica.

En ambos casos la deformación de las señales podrá llevar a incrementar la tasa de errores del canal.

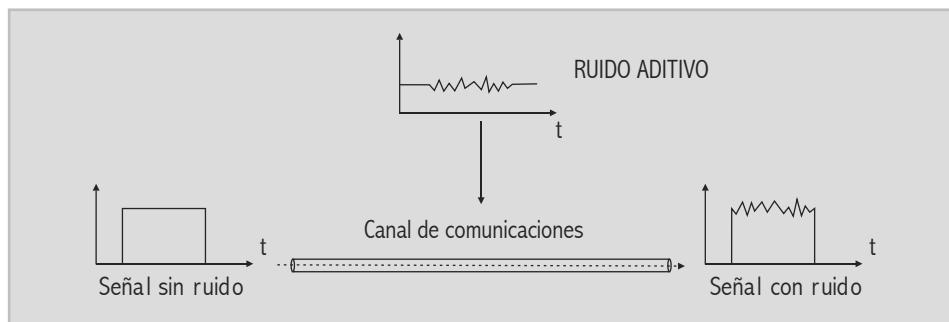


Fig. 3.18. Efecto aditivo del ruido sobre una señal digital.

3.5.3 Canal de información

Denominaremos canal de información a la parte del canal de comunicaciones que tiene que ver con las especificaciones técnicas y lógicas que hacen a la transmisión de la inteligencia.

Está vinculado a las técnicas relacionadas con la teoría de la información y la codificación. Se ocupa básicamente de evaluar y permitir administrar los recursos del canal físico de manera adecuada. Usa como criterio de eficiencia la **velocidad de transmisión de la información** y la **calidad** con que esta se transporta.

Su objetivo fundamental es preservar la **integridad de la información** mediante el uso de medios de codificación apropiados, y la introducción del concepto de transmisión con **redundancia**, necesaria para la detección y la corrección de errores.

Se entenderá como **información redundante** la que es necesario adicionar a la transmisión inteligente para que pueda llegar al colector en forma correcta y sin errores de transmisión.

3.5.4 Canal ideal y canal real

Un **canal ideal**, como su nombre lo expresa, es un concepto teórico que se utiliza como una abstracción para luego introducirse en la forma en que realmente trabaja un **canal real** de comunicaciones.

Entenderemos por canal ideal o continuo a aquel canal de comunicaciones que al aplicársele en la entrada una señal continua, reproduce en su salida exactamente la misma señal.

Los canales reales logran ese objetivo solo de manera aproximada, pues el ruido (que tiene características aditivas, respecto de la señal útil) modifica la forma de la onda de entrada en el canal.

Para estudiar un canal real es posible imaginarlo como un canal ideal al que se le agregó una señal producida por un generador de ruido.

Para el estudio de una canal real recurriremos a la Fig. 3.19. En ella se puede observar el esquema de formación de este. Consideraremos entonces canal ideal, y a este le agregaremos una señal proveniente de un supuesto generador de ruido.

El canal ideal o continuo es aquel canal de comunicaciones que al aplicársele en la entrada una señal continua, reproduce en su salida exactamente la misma señal.

Obsérvese que hemos tomado en cuenta estas consideraciones solo para determinar el efecto que produce el ruido sobre la forma de la señal.

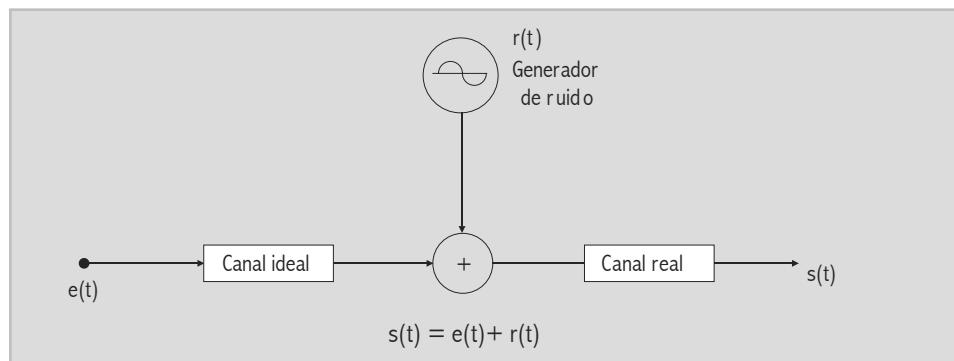


Fig. 3.19. Estructura de un canal real.

3.5.5 Canales analógicos y canales digitales

Según el tipo de señales que transporten, los canales se pueden clasificar en **analógicos** o **digitales**.

En el presente los **canales analógicos** solo existen como tales en la red telefónica conmutada para transportar las señales de voz en el tramo que une las centrales de conmutación, o nodos de esa red, con los teléfonos ubicados en los domicilios de los usuarios individuales de ella. También se utiliza este tipo de canales en las redes de distribución de señales de televisión denominadas **CATV (cable antenna television)**, y cuando se utilizan pares telefónicos para la provisión del servicio de banda ancha.

En el caso de la **red telefónica**, si bien el espectro de la voz abarca aproximadamente desde un valor mínimo de **30 Hz** hasta valores de **12 000 Hz**, los circuitos telefónicos no están preparados para transmitir en forma continua toda esa gama de frecuencias. La razón práctica es que la mayor potencia de la voz está comprendida entre **300 y 3300 Hz**. Por lo tanto, carecería de sentido utilizar mayor ancho de banda para un servicio que no lo necesita. En la Fig. 3.20., se observa la distribución espectral (en frecuencia) de la voz en función de la potencia emitida.

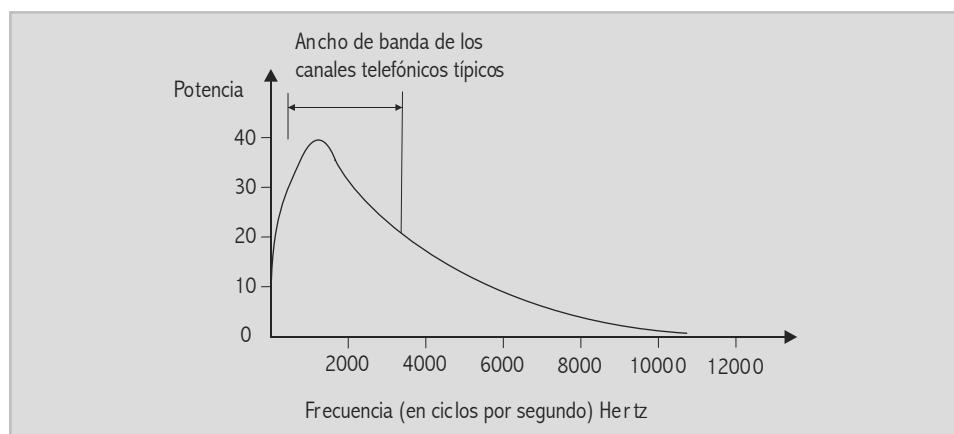


Fig. 3.20. Potencia de una señal de frecuencia vocal en función de la frecuencia.

Esta curva permite comprobar que no se necesitan canales con anchos de banda mayores que 3000 Hz para entender lo que se habla y además reconocer a la persona que lo hace. Es por ello que las empresas telefónicas que entregan al usuario final una señal analógica solo ofrecen el ancho de banda antes mencionado.

Cuando se transmiten datos por líneas analógicas que tienen un ancho de banda como el señalado, como es el caso del uso de **módem dial-up**, solo se pueden alcanzar velocidades de modulación del orden de alrededor de 3000 a 3300 baudios, en líneas de muy buena calidad.

En el caso de los canales analógicos, el problema más importante a resolver es el del ruido. Si bien también puede sufrir distorsión, esta influye en una medida mucho menor.

En el presente los **canales digitales** se usan en la totalidad de la **red de transporte**, también llamada **red soporte**, para cualquier tipo de servicio. En ellos el mayor problema que se puede encontrar está en los fenómenos de distorsión. De hecho, cuando los canales de voz ingresan en la zona de la red son inmediatamente digitalizados por los equipos códec. Estos canales se digitalizarán según las normas más comunes en **velocidades de 64000 bps –canales B– o 56000 bps**, más usados en los Estados Unidos y Japón.

3.5.6 Concepto de relación señal a ruido. Factor de ruido

Se denomina relación señal a ruido y se expresa en decibeles la relación entre la potencia de la señal y la potencia de ruido.

$$\text{Relación señal / ruido} = 10 \log_2 \frac{S}{N} \quad (3-37)$$

donde:

S = potencia media de la señal (*signal*) útil.

N = potencia media de ruido (*noise*).

Los canales de comunicaciones y los dispositivos electrónicos conocidos, como los amplificadores, se caracterizan por un parámetro denominado **factor de ruido**. Este se define por la siguiente expresión:

$$F = \frac{\text{relación señal / ruido de entrada}}{\text{relación señal / ruido de salida}} \quad (3-38)$$

De acuerdo con la expresión (3-38) el factor de ruido, resultará:

$$F = \frac{S_1 / N_1}{S_2 / N_2} \quad (3-39)$$

No obstante, como la potencia de la señal a la salida será igual a su potencia a la entrada por la ganancia del amplificador,

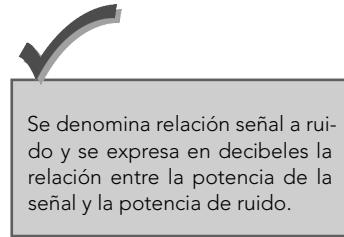
$$S_2 = S_1 \cdot G \quad (3-40)$$

Reemplazando en (3-39), tendremos,

$$F = \frac{S_1 / N_1}{S_1 G / N_2} \quad (3-41)$$

Asimismo, si se simplifica el factor de ruido resultará:

$$F = \frac{N_2}{G / N_1} \quad (3-42)$$



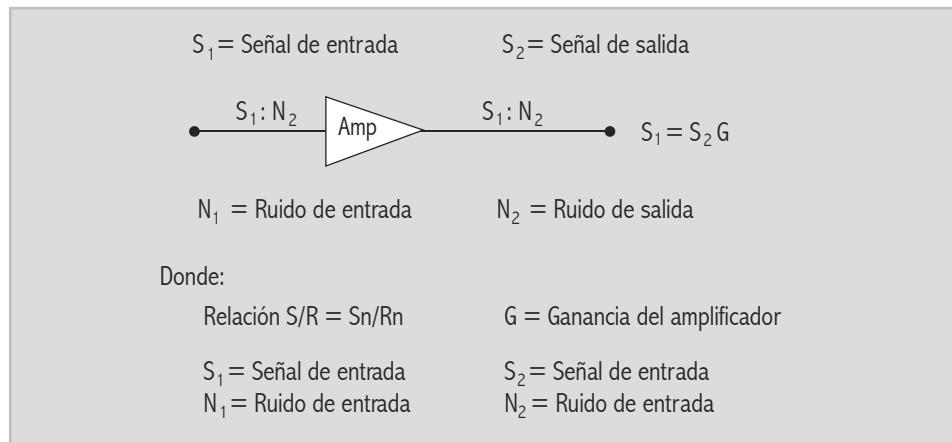


Fig. 3.21. Factor de ruido.

En la Fig. 3.21., se puede observar que la ventaja de definir el **factor de ruido** está en la manera en que la potencia de la señal se simplifica en la expresión (3-41). Por lo tanto, queda una relación que depende exclusivamente de la ganancia y del ruido propio del canal, y, como en el caso señalado, del ruido que pueda adicionar el amplificador.

Cuando se supone un circuito ideal, este no introducirá ruido alguno y, en consecuencia, N_2 será igual a $G N_1$ siendo el factor de ruido igual a uno ($F = 1$). A medida que aumenta el ruido en el canal, su factor será mayor que la unidad y en consecuencia constituirá un parámetro importante para comparar canales de comunicación.

En la transmisión de señales digitales no se emplea como parámetro de medición la relación señal/ruido sino que se utiliza en su lugar el BER (*Bit Error Rate*, Tasa de errores), que ya se definió en el punto 3.2.1.5. de este capítulo.

3.5.7 Acondicionamiento de los canales de comunicaciones

3.5.7.1 Aspectos generales

Los canales de comunicaciones presentan fenómenos físicos que alteran sus características y requieren que se los corrija a los efectos de lograr colocarlos en las mejores condiciones para el servicio que deben prestar.

En particular, la generación de señales de retorno denominadas **eco** y otros fenómenos, como la atenuación y la distorsión, que producen un comportamiento **no lineal** de la curva de respuesta en frecuencia, obligan a introducir equipos especiales en el canal de comunicaciones. Estos tienen por finalidad acondicionarlo para que quede en las mejores condiciones para su funcionamiento.

Los canales de comunicaciones acondicionados presentan una mayor inteligibilidad para las comunicaciones telefónicas y una menor tasa de errores en las comunicaciones de datos.

3.5.7.2 Eco

Se denomina eco a una señal no deseada que se origina por medio de una onda reflejada en el colector, producida por la propia señal generada en el equipo terminal, que funciona como fuente de la información, o bien, ciertos obstáculos que encuentra la señal útil, como consecuencia de desacoplamientos en las impedancias del circuito establecido.

Como su nombre lo indica, el eco es el **reflejo** de la energía de las propias señales generadas en la fuente; para el caso de una conversación telefónica, se trata de la voz del usuario que usa el canal en ese momento.

Tiene el mismo sentido que vulgarmente se usa para el caso de las señales acústicas, que reverberan en lugares cerrados. En la Fig. 3.22., se muestra el esquema de este fenómeno.

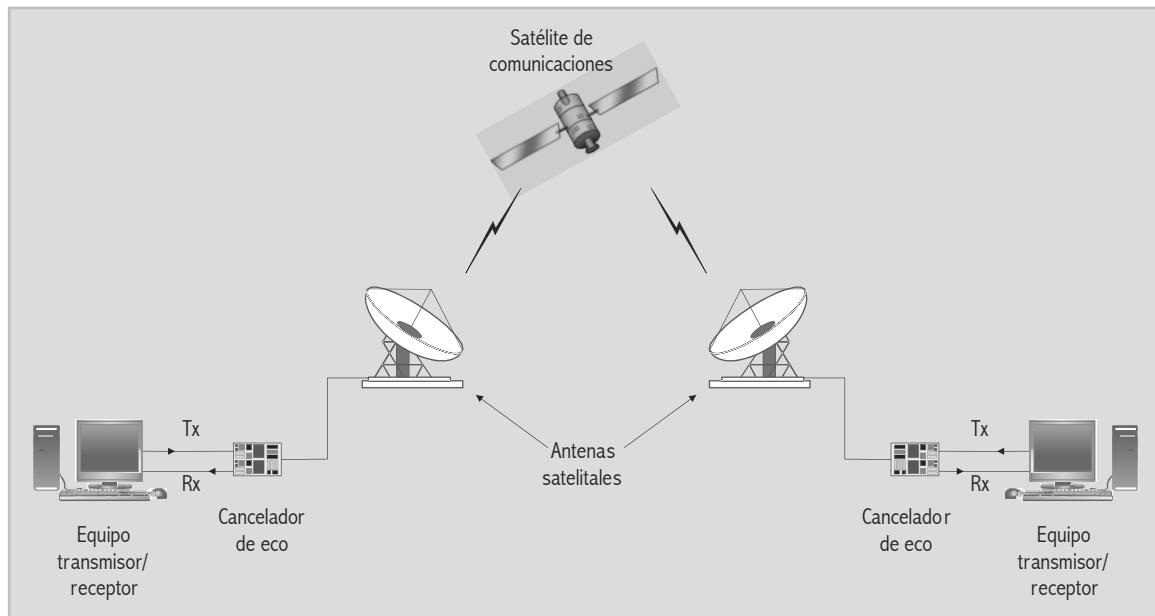


Fig. 3.22. Ejemplo de enlaces con posibilidades de eco.

En particular, este es de mayor significación en los circuitos que tienen una trayectoria muy extensa en los enlaces terrestres, y en especial en los que utilizan vínculos satelitales. Esta reflexión que se produce sobre el canal de comunicaciones, debe eliminarse mediante la inserción en el canal de equipos denominados **supresores de eco**.

En los canales destinados al servicio telefónico representa una seria incomodidad para los usuarios, y en los canales de datos genera innumerables errores. Ese fenómeno se caracteriza por dos parámetros: su **intensidad** y su **retardo**.

Cuanto mayor es el retardo de la señal producida por el eco, mayor es su capacidad para producir una sensación de incomodidad en el usuario que utiliza el canal, por lo tanto, la atenuación a que debe someterse la señal del eco debe ser mayor. Por ejemplo, un supresor para una señal de eco que llegue con un retardo de *20 mseg* debe producir una atenuación de este de *11 dB*; en cambio, si el retardo fuese de *50 mseg*, la atenuación mínima que debería producir el supresor no debería ser menor que *20 dB* para producir el mismo efecto en el usuario del canal de comunicaciones.

Estos equipos bloquean las señales de eco, pero también provocan una pérdida en la calidad de los circuitos. En los sistemas de transmisión de datos los fenómenos relacionados con el **eco** tienen consecuencias mucho mayores que las que se producen en los circuitos de voz.

El retorno de las señales enviadas hacia el receptor en los circuitos de datos provoca fenómenos conocidos como **interferencias intersímbolos**. Estas consisten en la superposición de los dígitos enviados y los que se reflejan por la línea, impidiendo la detección de las señales digitales transmitidas.

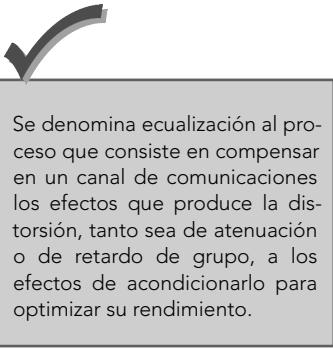


Nótese que en un solo salto, para el caso de satélites ubicados en órbitas geosincrónicas, la distancia es del orden de 72000 km.

Los equipos módem de datos utilizan supresores de ecos que buscan minimizar estos efectos. En ese sentido, para lograr la cancelación del eco, los equipos verifican su presencia (retrasado respecto de la señal original), y producen una señal igual, pero de sentido inverso, sobre el canal que recibe la información.

A partir de la **Recomendación V.32 de la UIT-T**, todos los módems deben tener el hardware necesario como para producir la cancelación del eco. También los satélites de comunicaciones tienen incorporados estos equipos.

Los sistemas de señalización y los nodos de conmutación deben tener en cuenta el funcionamiento de los supresores de eco, y coordinar su funcionamiento con estos equipos.



3.5.7.3 Ecualización

Se denomina ecualización al proceso que consiste en compensar en un canal de comunicaciones los efectos que produce la distorsión (ver apartado 3.7 de este capítulo), tanto sea de atenuación o de retardo de grupo, a los efectos de acondicionarlo para optimizar su rendimiento.

Los equipos que realizan estas funciones se denominan **ecualizadores**. Estos pueden formar parte de otros equipos, como los módem de datos, o ser equipos independientes, que se colocan en forma expresa sobre un canal para mejorarlo.

En particular los ecualizadores pueden ser de dos tipos: de atenuación y de fase; aunque a menudo, un mismo equipo realiza las dos funciones.

La tarea de estos es básicamente compensar la relación entre la **atenuación y la distorsión, en función de la frecuencia**, buscando que las primeras se mantengan todo lo constante que sea posible para todo el intervalo de frecuencias usadas por el canal de comunicaciones. En particular, los efectos causados por la falta de linealidad de la **curva de respuesta en frecuencia** provocan que el comportamiento del canal sea diferente a distintas frecuencias. Los ecualizadores tienden a corregir estos problemas.

Los equipos módem de datos poseen ecualizadores denominados **adaptativos**, que se ubican en la sección de recepción de estos y proporcionan la ecualización de la señal analógica recibida. Para ello ajustan en forma automática sus características de **ganancia** y **retardo**, mejorando con ello el comportamiento de las líneas telefónicas.

De esta manera estos equipos logran mejorar la **tasa de errores-BER**, y tienen la capacidad para ir ajustando en cada instante las características del canal de comunicaciones, a los efectos de lograr su mejor rendimiento.

La mejora constante de su rendimiento, que se ha ido operando en sus nuevos diseños por el uso de técnicas electrónicas modernas, permitió que en las nuevas recomendaciones de los módems de datos se logren velocidades de transmisión cada vez más altas.

3.6 Capacidad de un canal

3.6.1 Elementos de teoría de la información. Medida de la información

Las redes de comunicaciones tienen por objeto intercambiar información. Por lo tanto, es importante dar un concepto previo de qué se puede entender por información. Al respecto hay muchas formas de dar una idea sobre este concepto.

La más simple es pensar que información es aportar datos sobre algo que es desconocido para el receptor. Ella puede transmitirse mediante una conversación, una transferencia de archivos de texto, o por medio de un clip de video. Por ejemplo, llamo por teléfono y aviso



Capacidad de un canal

que mi tren está llegando mañana a medio día, o esa misma información la envío por correo electrónico. La llegada de una información también se puede producir como consecuencia de la recepción de un mensaje.

Entenderemos por mensaje un conjunto de datos que proviene de una fuente de información.

Fue precisamente la denominada **teoría de la información** una ciencia desarrollada por **Claude Shannon** en sus trabajos sobre la teoría matemática de la comunicación. En ellos se planteaba, entre otros objetivos, cómo hacer lo más eficiente posible la transmisión de información de dos puntos de una red de comunicaciones. Estos trabajos fueron desarrollados en el siglo xx, y dieron origen a la teoría de la información.

La **teoría de la información** estudia cuatro aspectos:

- Cómo se mide la información.
- Cuál es la capacidad de un canal de comunicaciones para transferir información.
- Otros aspectos relacionados con la codificación de la información.
- La manera de utilizar los canales a plena capacidad con una tasa de error mínima.

Un hecho que se sabe con seguridad que va a ocurrir no contiene información alguna. Por lo tanto, un suceso contendrá mayor cantidad de información cuanto menor sea la probabilidad de que se produzca. Sin embargo, hay otra forma mucho más precisa para conceptualizar la información.

Definiremos como información a un conjunto de datos que permiten aclarar algo sobre aquello que se desconoce.

La recepción de mensajes distintos, cada uno de ellos con un grado de incertidumbre diferente sobre los acontecimientos descriptos, nos conduce a la conclusión de que cada uno de ellos lleva valores de cantidad de información diferentes. Sobre la base de las consideraciones efectuadas, podemos dar una definición de medida de la cantidad de información que contiene el suceso descripto en un mensaje, de la siguiente manera: sea un suceso S que se pueda presentar con una probabilidad de ocurrencia $P(S)$, indicaremos que la cantidad de información de que contiene ese suceso será igual a la inversa del logaritmo de la probabilidad de que ese suceso se produzca.

$$I(S) = \log_2 \frac{1}{P(S)} \quad [\text{Shannon}] \quad (3-43)$$

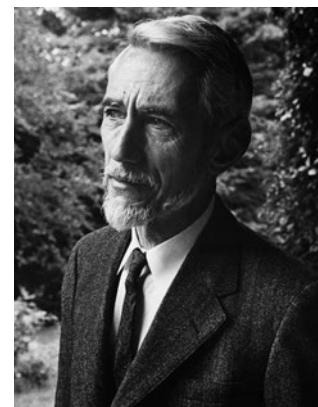
La elección de la base del logaritmo que interviene en la definición de la cantidad de información, implica determinar la unidad con la que se medirá ese parámetro.

Por ejemplo, si tomamos **logaritmo en base 2**, la unidad correspondiente, como hemos definido, es el **Shannon**. Si se tomara el **logaritmo decimal**, la unidad se llamaría **Hartley**, y si fuese el **logaritmo natural –base e–**, su nombre sería **Nat**. En efecto,

$$I(S) = \log_{10} \frac{1}{P(S)} \quad [\text{Hartley}] \quad (3-44)$$

$$I(S) = \log_e \frac{1}{P(S)} \quad [\text{Nat}] \quad (3-45)$$

La relación entre las distintas unidades es la que se muestra en la Tabla 3-2.



Claude Elwood Shannon (1916-2001). Estudió Ingeniería Eléctrica y Matemática Aplicada en la Universidad de Michigan y en 1940 se doctoró en el MIT. En el periodo 1941-1957, trabajó como investigador de los Laboratorios Bell y luego, como profesor del MIT, entre 1958 y 1980. Escribió un famoso artículo en el *Bell System Technical Journal* de octubre de 1948, que denominó "A Mathematical Theory of Communication" (Teoría Matemática de la Comunicación), que dio origen a la teoría de la información. En 1949 publicó una de las mayores contribuciones al desarrollo de la teoría matemática aplicada a la criptografía, que se denominó "Communications Theory of Secrecy Systems" (Teoría del Secreto en los Sistemas de Comunicaciones).

Tabla 3-2 Relación entre las distintas unidades de medida de la información

1 Hartley = 3,32 Shannon
1 Nat = 1,44 Shannon
1 Hartley = 2,30 Nat



Ralph Vinton Lyon Hartley (1888-1970). Fue un investigador destacado en el área de la Electrónica y uno de los fundadores de los principios de la Teoría de la Información. Estudió en la Universidad de Utah y en la de Oxford. Se desempeñó en el Laboratorio de Investigación de la *Western Electric Company* y con posterioridad en los laboratorios Bell.

La unidad más habitual para medir la cantidad de información es el Shannon. Partiendo de estas definiciones, y de los trabajos de Shannon, se puede considerar que un hecho que se sabe con seguridad que va a ocurrir **no contiene información alguna**, por cuanto $P(S)$ es igual a uno, y el logaritmo de uno es cero, cualquiera sea la base elegida.

En la teoría de la probabilidad, esta situación se conoce con el nombre de **certeza**, esto es, probabilidad igual a uno. Por lo tanto, en esa línea podríamos afirmar que un suceso contendrá mayor cantidad de información cuanto menor sea la probabilidad de que se produzca.

Un ejemplo clásico de estos conceptos serían dos informaciones parecidas pero con contenidos de información diferentes, por ejemplo, los mensajes “llovió en el desierto de Sahara” y “llovió en la selva del Amazonas”. Es evidente que la probabilidad de ambos sucesos es muy diferente. La primera, por su baja probabilidad de que se produzca, contiene mucha más información que la segunda, pues se sabe que en la selva del Amazonas llueve casi a diario. De allí surge el concepto de **cantidad de información de un mensaje** que será motivo de un tratamiento posterior en esta obra.

Ejemplo 3-8

Analizar la cantidad de información que tienen los mensajes siguientes para un investigador que está trabajando en una base en la Antártida, y que pregunta por el pronóstico del tiempo en su zona para las próximas veinticuatro horas. Supóngase que puede recibir cuatro mensajes diferentes de una fuente de información originada de su servicio meteorológico. ¿Cuáles tendrán más información?

Mensaje N° 1: Muy frío y nublado.

Mensaje N° 2: Muy frío y soleado.

Mensaje N° 3: Frío y nublado.

Mensaje N° 4: Templado y soleado.

NOTA: Es evidente que el primer mensaje contiene mucha menor información que el segundo y así siguiendo hasta el cuarto, que como se observa para el caso del ejemplo, es muy improbable.

Si se sabe por estadísticas meteorológicas que en la Antártida el 92% de los días del año presenta las características del caso 1, el 7% de los días es frío y soleado, el 0,9% de los días es frío y nublado, y solo el 0,1% de los días del año es templado y soleado, ¿cuál es la cantidad de información que contiene cada uno de los cuatro mensajes?

$$I(1) = \log_2 \frac{1}{0,92} = 0,12 \quad \text{Shannon}$$

$$I(2) = \log_2 \frac{1}{0,07} = 3,84 \quad \text{Shannon}$$

$$I(3) = \log_2 \frac{1}{0,009} = 6,79 \quad \text{Shannon}$$

$$I(4) = \log_2 \frac{1}{0,001} = 9,96 \quad \text{Shannon}$$

El ejemplo anterior muestra que la medida de la información se relaciona con la posibilidad de que la fuente pueda elegir entre varios mensajes el más probable. Luego, como la fuente puede seleccionar entre varios mensajes el que será transmitido, es evidente que el usuario receptor tendrá incertidumbre respecto del mensaje que podrá recibir.

Podemos suponer razonablemente que cada mensaje podrá tener asociada una probabilidad de que se produzca, de forma que cuanto mayor sea esa probabilidad de que ese mensaje sea cierto, menor será la información que contenga para el usuario.

Cuando se usa la lógica binaria, que es el caso de los equipos informáticos, ambos sucesos son equiprobables. En ese caso, la unidad de medida de la información que resulta de estas operaciones es igual a 1 Shannon. Ella suele confundirse con el pulso digital que se recibe. Es lo que suele denominarse **bit**. El nombre de bit como contracción de las palabras **binary digit** fue sugerido por **J. W. Tukey**.

Ejemplo 3-9

Calcular la cantidad de información que contiene una señal binaria que puede expresarse solo por dos valores, como corriente y no corriente.

La cantidad de información resultará de

$$I(S) = \log \frac{1}{P(S)}$$

Donde $P(S) = \frac{1}{2}$, luego tendremos,

$$I(S) = \log_2 \frac{1}{2}$$

Operando de manera conveniente resultará,

$$I(S) = 1 \text{ Shannon}$$

Luego, podremos dar otra definición de Shannon, que indica que el Shannon es la cantidad de información contenida en un suceso equiprobable.

Obsérvese que la expresión dígito binario, que se puede abbreviar por la de **bit**, indica los dos casos en que pueden representarse los estados de corriente y no corriente, luz y oscuridad, o finalmente los números 1 y 0, símbolos que se usan en la matemática cuando el sistema de numeración es de base dos.

En todo el razonamiento efectuado hemos supuesto que los estados uno y cero eran equiprobables, esto es, que cada uno tiene un 50% de probabilidad de producirse. Esta probabilidad puede y suele ser distinta. Por lo tanto, la cantidad de información puede ser mayor o menor que un **Shannon**. Luego, no siempre la transmisión de un cero o un uno es igual a un Shannon. Solo es así cuando la transmisión de ambos dígitos es equiprobable.

Sin embargo, durante mucho tiempo el término **bit** significó tanto la unidad de información, en el presente denominada Shannon, como los dígitos binarios que constituyen un mensaje. Por lo tanto, fue frecuente, y aún lo es, denominar **bit** a los **dígitos binarios** que son elementos de un mensaje y de la información asociada con ellos.

Es por ello que en teoría de la información a estos elementos de un mensaje –ceros y unos–, que son independientes de la información asociada, se los llamaba **binit**s para diferenciarlos precisamente de la unidad de información que era el bit.

Por último, estas confusiones se resolvieron mediante la adopción de la norma confeccionada por la Organización Internacional de Normalización **ISO-2382/XVI**, que establece el vocabulario a utilizar en la teoría de la información.

Esta norma define al **Shannon** como unidad de medida de la información para cuando el logaritmo es de base 2, y reserva el término **bit** para identificar el dígito binario, también llamado **binit**.



John Wilder Tukey (1915, 2000). Este investigador se formó en ciencias químicas, y luego se doctoró en Matemática en la Universidad de Princeton en 1939. Sus trabajos se orientaron a la estadística. Alternó sus actividades entre la Universidad de Princeton y los Laboratorios Bell, donde trabajó junto a Hamming y Shannon. La introducción de la palabra *bit* fue acuñada durante sus trabajos junto a John von Neumann en el diseño de computadoras. Sin embargo, en el campo de Matemática es más conocido por su trabajo junto a J. W. Cooley publicado en 1965 en el *Mathematics of Computation*, en el que introdujeron el algoritmo de la transformada rápida de Fourier.



El Shannon es la cantidad de información contenida en un suceso equiprobable.

Ejemplo 3-10

Calcular la cantidad de información que contiene un tren de pulsos como el que se indica en la Fig. 3.23.

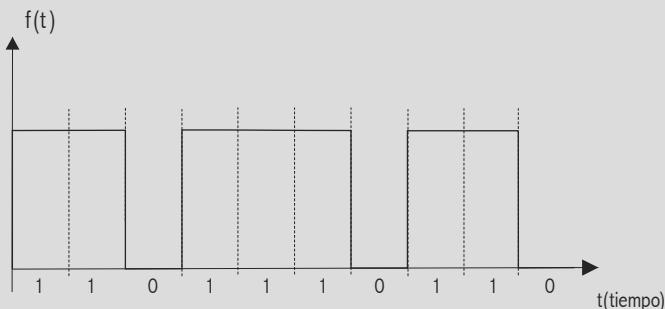


Fig. 3.23. Tren de pulsos compuesto de bits no equiprobables.

En este ejemplo se puede apreciar que los bits transmitidos en el tren de pulsos de la figura no son equiprobables. La probabilidad de aparición de un bit 1, es de 0,80, y de un bit 0, es de 0,20.

Luego, la cantidad de información de cada bit, cero o uno, será

$$I(1) = \log_2 \frac{1}{\left(\frac{8}{10}\right)} \quad \text{y} \quad I(0) = \log_2 \frac{1}{\left(\frac{2}{10}\right)}$$

Reemplazando y operando, tendremos $I(1) = \log_2 1,25$ e $I(0) = \log_2 5,00$

Luego, la información transmitida será $I(1) = 0,32 \text{ Shannon}$ e $I(0) = 2,32 \text{ Shannon}$

Los resultados obtenidos muestran que la información con menor probabilidad de aparición posee mayor cantidad de información. Para saber si un dígito binario contiene información o no, se puede aplicar una regla empírica, que consiste en verificar si la información transmitida se altera en caso de suprimir el bit en cuestión. Los bits que contienen información son aquellos que combinados forman códigos que representan letras, números y símbolos especiales. Por el contrario, no lo serán, entre otros, los que indiquen la paridad con el fin de detectar errores, los empleados para mantener el sincronismo o los que se usan para discriminar dónde empiezan y terminan los caracteres en las transmisiones denominadas asincrónicas, etc. En el primer caso es evidente que los bits llevan información, mientras que, por ejemplo, en el caso del bit de sincronismo este solo es un elemento auxiliar, que facilita la transmisión.



Se definirá como fuente de memoria nula la que emite símbolos que son estadísticamente independientes uno de otro.

3.6.2 Entropía

3.6.2.1 Fuente de memoria nula

Se definirá como fuente de memoria nula la que emite símbolos que son estadísticamente independientes uno de otro.

Supongamos que una fuente de memoria nula puede emitir distintos símbolos, cada uno de ellos con cierta probabilidad asociada.

La descripción de este fenómeno conduce al concepto matemático de variable aleatoria: una función $I(x_k)$ en la cual para cada valor de la variable x tendremos asociado un valor de probabilidades p_k . Esto significa que podemos establecer las relaciones que muestra la Tabla 3-3.

3.6.2.2 Definición de entropía

Sea una variable aleatoria definida como se muestra en la Tabla 3-3.

Tabla 3-3 Variables aleatorias y su probabilidad					
Variable aleatoria	$I_{(x)}$	X_1	X_2	X_k	X_{k+1}
Probabilidad	$P_{(k)}$	$P_{(X1)}$	$P_{(X2)}$	$P_{(Xk)}$	$P_{(Xk+1)}$

La **esperanza matemática** de la variable aleatoria será

$$E(x_k) = \sum_{k=1}^n I(x_k) p(x_k) \quad (3-46)$$

La cantidad de información en Shannon de la variable aleatoria será la de la expresión (3-43)

$$I(x_k) = \log_2 \frac{1}{p(x_k)} \quad (3-43)$$

Operando,

$$I(x_k) = -\log_2 P(x_k) \quad (3-47)$$

Reemplazando en (3-46) con el valor obtenido en (3-47), tendremos,

$$E(x_k) = -\sum_{k=1}^n \log_2 P(x_k) p(x_k) \quad (3-48)$$

Luego, definiremos como **entropía de una fuente de memoria nula H** al valor que resulta de la expresión

$$H = -\sum_{k=1}^n \log_2 P(x_k) p(x_k) \quad (3-49)$$

La entropía de una **fuente de memoria nula** se mide en $H = \text{Shannon/símbolo}$, y representa la **incertidumbre media** en la posibilidad de que se produzca cada símbolo.

Ejemplo 3-11

Sea una fuente de memoria nula que emite cuatro símbolos x_1, x_2, x_3 y x_4 . Cada uno de ellos tiene las siguientes probabilidades asociadas: $p(x_1) = 0,2; p(x_2) = 0,3; p(x_3) = 0,4$ y $p(x_4) = 0,1$. Averiguar la entropía de la fuente.

La entropía de la expresión (3-49), resultará igual a

$$H = -\sum_{k=1}^n \log_2 P(x_k) p(x_k)$$

Reemplazando por sus valores tendremos

$$H = -[p(x_1) \log_2 p(x_1) + p(x_2) \log_2 p(x_2) + p(x_3) \log_2 p(x_3) + p(x_4) \log_2 p(x_4)]$$

Reemplazando por sus valores tendremos

$$H = -[0,2 \log_2 0,2 + 0,3 \log_2 0,3 + 0,4 \log_2 0,4 + 0,1 \log_2 0,1]$$

Operando, por último tendremos que la entropía de la fuente señalada será igual a

$$H = 1,84 \text{ Shannon/símbolo}$$

3.6.2.3 Propiedades de la entropía

La entropía como función matemática satisface las siguientes propiedades:

Continuidad.

Tiene el significado de que pequeños cambios en la probabilidad de un suceso, implican pequeñas alteraciones en la cantidad de información.

- Simetría.

El orden en que se presentan los distintos sucesos no altera la entropía del sistema.

- Aditividad.

Las entropías de distintas partes de un mismo sistema se pueden sumar.

- Maximilidad.

Se puede demostrar que la entropía es una función maximizable.

Como corolario de esta propiedad se puede demostrar que si los símbolos que genera una fuente de memoria nula son equiprobables, entonces la entropía es máxima.

En efecto, sea

$$p(x_1) = p(x_2) = p(x_3) = p(x_4) = \dots = p(x_N) = \frac{1}{N} \quad (3-50)$$

Entonces, la fuente de memoria nula que puede emitir N símbolos con igual probabilidad tendrá una entropía de valor máximo cuya expresión será

$$H = \log_2 N \text{ Shannon / símbolo} \quad (3-51)$$

La Fig. 3.24. permite observar la función entropía de una fuente binaria [1 o 0] de memoria nula para el caso de que el símbolo 1 se presente con probabilidad igual a $p(x)$ y el símbolo 0, con $p(1-x)$.

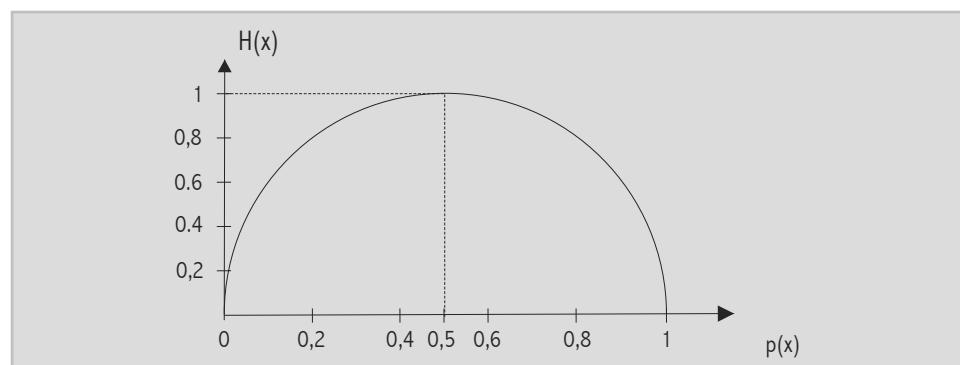


Fig. 3.24. Función entropía de una fuente binaria de memoria nula.

Ejemplo 3-12

Sean cuatro fuentes binarias de memoria nula. Verificar que la entropía se va maximizando a medida que la probabilidad de que se produzcan ambos símbolos toma valores más similares.

$$\text{Fuente A: } p(x_1) = 0,10 \quad p(x_2) = 0,90$$

$$\text{Fuente B: } p(x_1) = 0,25 \quad p(x_2) = 0,75$$

$$\text{Fuente C: } p(x_1) = 0,50 \quad p(x_2) = 0,50$$

$$\text{Fuente D: } p(x_1) = 0,01 \quad p(x_2) = 0,99$$

$$H_A = -[0,10 \log_2 0,10 + 0,90 \log_2 0,90] = 0,47$$

$$H_B = -[0,25 \log_2 0,25 + 0,75 \log_2 0,75] = 0,89$$

$$H_C = -[0,50 \log_2 0,50 + 0,50 \log_2 0,50] = 1,00$$

$$H_D = -[0,01 \log_2 0,01 + 0,99 \log_2 0,99] = 0,35$$

Operando en forma conveniente obtendremos los siguientes valores:

$$H_A = 0,00 \text{ Shannon / símbolo}$$

$$H_B = 0,00 \text{ Shannon / símbolo}$$

$$H_C = 1,00 \text{ Shannon / símbolo}$$

$$H_D = 0,00 \text{ Shannon / símbolo}$$

Los valores obtenidos permiten observar que,

$$H_C > H_B > H_A > H_D$$

Es decir que la entropía se maximiza a medida que los valores de la probabilidad de que se produzca cada símbolo está más próxima.

Ejemplo 3-13

Calcular la entropía de una fuente binaria de memoria nula con **probabilidad** $p(x)$ para el **símbolo 1**, y **probabilidad** $p(1-x)$ para el **símbolo 0**. Representar gráficamente los resultados.

En (3-49) se define la expresión de la entropía de una fuente de memoria nula; luego, para este caso en particular tendremos que para los valores cero y uno

$$H(x) = -[p(0) \log_2 p(0) + p(1) \log_2 p(1)]$$

Reemplazemos, $p(0) = (1-x)$; y $p(1) = x$, en la expresión anterior, tendremos,

$$H(x) = -[p(1-x) \log_2 p(1-x) + p(x) \log_2 p(x)]$$

No obstante, además, en los valores límites resultarán

$$H(x) = 0 \text{ para } x = 0, \text{ y } H = 0 \text{ cuando } x = 1$$

Por cuanto

$$x \log_2 x \rightarrow 0 ; \text{ cuando } x \rightarrow 0$$

Además, para $x = 0,5$ la función **entropía** se maximiza, y resulta el valor máximo, esto es, $H(x) = 1$.

En consecuencia, podemos afirmar que para una fuente discreta, cuyos símbolos son estadísticamente independientes, la expresión de la entropía permite describir la fuente desde el punto de vista de la cantidad media de información que produce. Es por ello que esta cantidad media de información se denomina **entropía de la fuente**.

Este es un concepto muy útil, dado que los sistemas de comunicaciones no se diseñan para transmitir un mensaje en particular, sino que deben posibilitar la transmisión de todos los mensajes.

Es por ello que el simple conocimiento de la cantidad de información de un mensaje (I) resulta insuficiente cuando se trata de analizar un sistema de comunicaciones.

En el ejemplo de la Fig. 3.24. se puede observar que el límite inferior, para $H = 0$, indica que la fuente no entrega información (en promedio).

Esto corresponde a una fuente que tiene un solo símbolo con $P = 1$ (probabilidad igual a uno) y todos los demás símbolos con probabilidad cero.

Por otro lado, la entropía máxima tiene lugar cuando $H = \log x$, donde x es el número de símbolos de la fuente, en particular todos los símbolos equiprobables.

Por lo tanto, al no existir un símbolo preferencial, corresponde el máximo de incertidumbre o de libertad de elección. Cabe señalar que la probabilidad de cada símbolo es $1/x$ cuando la entropía es máxima.

3.6.3 Capacidad de un canal

La capacidad de un canal se relaciona con la velocidad de transmisión máxima en bps que puede admitir un canal, por lo tanto, la definiremos como la máxima velocidad de transmisión de datos que se pueden cursar por él casi libres de errores.

$$C = V_{tmáx} \text{ [bps]} \quad (3-52)$$

C = capacidad de un canal.

$V_{tmáx}$ = velocidad de transmisión de datos máxima.

Para considerar un canal libre de errores por completo deberíamos regresar al concepto de **canal ideal**. Los canales reales siempre tendrán errores. Ellos podrán ser de distinto valor, mayores o menores, según las condiciones en que esté acondicionado cada uno y en función del medio de comunicaciones utilizado.

Sin embargo, para esta definición tomaremos los canales conocidos por sus siglas en inglés, como AWGN (*Additive White Gaussian Noise*). Esto es, **canales con ruido blanco gaussiano aditivo** (ver apartado 3.7, de este capítulo).

3.6.4 Tasa de información o velocidad de información

3.6.4.1 Definición y conceptos básicos

El concepto de entropía por sí solo no basta para relacionarlo directamente con la capacidad de un canal de comunicaciones, dado que varias fuentes pueden tener la misma entropía pero una de ellas ser más rápida que las demás y que, al entregar más símbolos por unidad de tiempo, introduzca en el canal de comunicaciones mayor cantidad de información.

Por lo tanto, desde el punto de vista del canal de comunicaciones, la descripción de la fuente dependerá no solo de la **entropía**, sino más bien de la denominada **tasa de información**.

Entonces, definiremos como **tasa de información** y la indicaremos con Γ , al cociente entre la entropía de la fuente y la duración media de los símbolos que esta envía, esto es,

$$\Gamma = \frac{H(x)}{\tau} \quad (3-53)$$

Donde:

τ = duración media de los símbolos.

En unidades, resultará,

$$[\Gamma] = \frac{[Shannon \cdot símbolo]}{[segundo]} \quad (3-54)$$

Simplificando,

$$[\Gamma] = \frac{[Shannon]}{[segundo]} \quad (3-55)$$

De la expresión (3-55) se deduce que la **tasa de información se mide en Shannon por segundo**. Luego, si la fuente fuera **digital de elementos binarios equiprobables**, la cantidad de información en Shannon coincidiría con lo que sea ha definido como bit, por lo que resulta que la tasa de información se podrá expresar en bit/segundo, que abreviaremos **bps**. La tasa de información no es más que lo que se definió como velocidad de transmisión o de información. La expresión tasa viene del inglés rate, por lo que en adelante preferiremos denominarla velocidad de información, que es un sinónimo.

A su vez, la inversa de τ , es decir, de la duración media de los símbolos, es lo que hemos definido en 3.2.1.1. como **velocidad de modulación**.

Ejemplo 3-14

Calcular la velocidad de transmisión de un sistema telegráfico sabiendo que un punto tiene una duración media de 0,1 seg y una raya 0,3. A su vez, la posibilidad de que se produzca un punto es 0,4 y la de que se produzca una raya es 0,6.

Calculemos la duración media de los símbolos utilizados, en función de la probabilidad de que se produzcan y de su duración,

$$\tau = 0,1 \cdot 0,4 + 0,3 \cdot 0,6 = 0,22 \left[\frac{\text{seg}}{\text{símbolo}} \right]$$

A su vez, la entropía será igual a,

$$H = -[0,4 \log_2 0,4 + 0,6 \log_2 0,6 = 0,4 \cdot 0,91 + 0,6 \cdot 0,51] =$$

$$H = 0,67 \text{ Shannon/símbolo}$$

Luego, la velocidad de transmisión será igual a,

$$V_t = 3,04 \text{ bps}$$

Ejemplo 3-15

Una fuente utiliza un código de 128 símbolos equiprobables, cada uno compuesto de 7 bit, como sería el denominado **código USASCII** (*United States of America Standard Code for Information Interchange*, Código Estándar de los Estados Unidos para el Intercambio de Información).

La duración de cada símbolo es de 0,1 mseg. La información se transmite en tramas en bloques de 32 símbolos. Calcular la velocidad de transmisión.

$$H = 7 \text{ bit} \cdot 128 \text{ símbolos} = 896 \text{ bit} \cdot \text{bloque}$$

$$\tau (\text{de cada bloque}) = 128 \text{ símbolos} \cdot 0,1 \text{ mseg} = 12,8 \text{ mseg/bloque}$$

$$V_t = 70.000 \text{ bps}$$

3.6.4.2 Relación entre la capacidad de un canal y la velocidad de transmisión

Como vimos, la tasa de información representa la cantidad de información producida por una fuente en un tiempo determinado.

Por otro lado, como se demostrará en el teorema de Shannon-Hartley, la capacidad de un canal **C** medida en bps nos indica la cantidad de información que el canal puede transportar por unidad de tiempo en un canal real.

Ese valor dependerá de las características propias del canal, en particular de la **relación señal a ruido** y del **ancho de banda**, y resultará independiente de la tasa de información de la fuente.

Tabla 3-4 Elecciones posibles en función del número de bits utilizados

Distancia de Hamming	Distancia de Hamming
1	2
2	4
3	8
4	16
5	32
6	64
7	128
8	256

La relación entre la tasa de información y la capacidad del canal quedará establecida sobre la base de la tasa de errores (BER) del sistema, de forma que se puede concluir que si la tasa de información es mayor que la capacidad del canal no es posible transmitir sin errores.

De todo lo anterior se deduce que, en el diseño de cualquier sistema de comunicaciones, en primer lugar es necesario calcular la velocidad de transmisión o de información máxima y, en segundo lugar, proceder a determinar la capacidad del canal de comunicaciones.

3.6.5 Uso de la medida de la información

Se sabe que con 1 bit es posible identificar en forma única dos situaciones posibles. Para ello se le podrá asignar a la primera un 1, y a la otra un 0, o al revés. Luego es importante determinar cuántos bits se necesitan para efectuar una elección entre todas las que sean posibles.

En la Tabla 3-4 se muestran los casos posibles utilizando 1, 2, 3, ... bits, y así.

En general, se puede deducir con facilidad que el número de elecciones n posibles será

$$n = 2^M \quad (3-56)$$

donde:

n = número de posibilidades a elegir.

M = número de bits necesarios para discriminar entre n posibilidades.

Ejemplo 3-16

En un torneo deportivo octogonal, un mensaje con una cantidad mínima de bits debe indicar el ganador. Veremos que se requerirán dos bits, como lo muestra la Tabla 3-4.

En la Fig. 3.25. se representan los ocho equipos con letras de la A a la H. Los resultados de la primera ronda generarán un bit para saber quién ganó cada uno de los cuatro partidos. Los de la semifinal generarán un segundo bit.

Si el equipo A termina ganando el campeonato se deberá transmitir un bit más, luego, para identificar de los ocho equipos al ganador se deberán enviar tres bits.

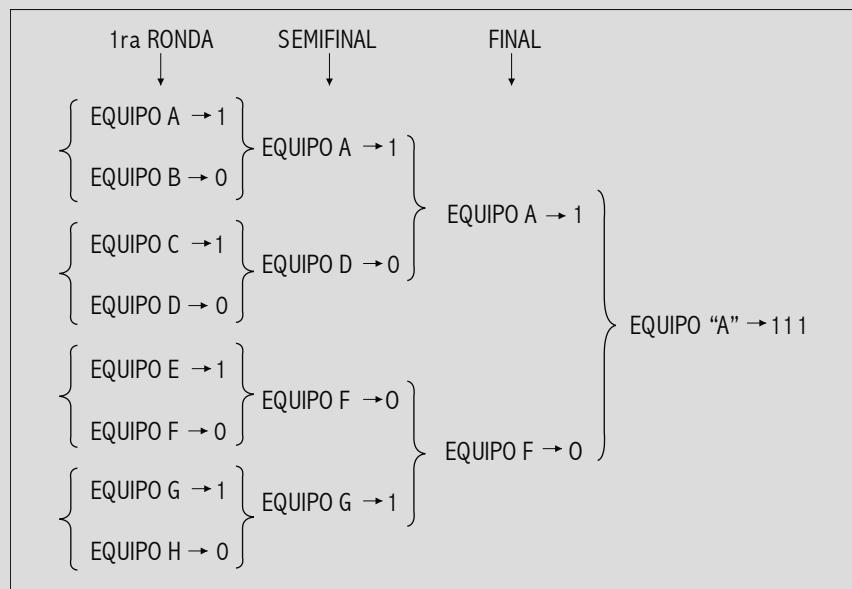


Fig. 3.25. Información por transmitir en función del número de posibilidades.

Este ejemplo permite concluir que para elegir una opción de entre ocho igualmente probables, es necesario utilizar tres bits.

La expresión (3-56) es similar a la anterior (3-5). Ellas fueron de gran utilidad cuando se estudió la manera de mejorar la llamada velocidad binaria o velocidad de transmisión en un circuito de transmisión de datos, sin alterar la velocidad de modulación o de señalización (ver apartado 3.2.1.3 de este capítulo).

También ella es de suma utilidad para determinar el número de bits necesarios para definir determinados códigos de transmisión o de uso en computadoras; por ejemplo, si se utilizan códigos de 8 bits por byte es posible codificar 256 caracteres o posibilidades distintas para su utilización.

Ejemplo 3-17

Sea el caso de la transmisión de un símbolo perteneciente a un alfabeto que tiene 32 símbolos diferentes e igualmente probables (equiprobables). Determinar cuál será la cantidad de información obtenida con la recepción de uno de ellos.

De acuerdo con la expresión (3-56), cada símbolo se compone de cinco bits. Luego, la posibilidad de que se produzca cada símbolo será

$$P(s) = \frac{1}{32} = \frac{\text{número de veces que se produce el símbolo}}{\text{número total de símbolos diferentes}}$$

Si todos los símbolos tienen igual probabilidad de producirse, es decir que son equiprobables, entonces la cantidad de información por cada símbolo recibido será:

$$I(s) = \log_2 \frac{1}{P(s)} = \log_2 \frac{1}{1/32} = \log_2 32 = 5 \text{ Shannon}$$

La información por cada bit que compone cada símbolo valdrá,

$$1 \text{ bit} = 1 \text{ Shannon}$$

3.7 Concepto de velocidad máxima de transmisión

3.7.1 Teorema de Nyquist

Para el caso de un canal ideal (sin ruido), el Teorema de Nyquist expresa y permite demostrar que no se puede sobrepasar una velocidad de pulsos máxima (velocidad de modulación), y que esta resultará función de la frecuencia máxima de transmisión.

En la década de 1920, mientras estudiaba líneas telegráficas, Harry Nyquist determinó que la cantidad de pulsos por unidad de tiempo que podían pasar a través de un canal de ese tipo era función de la frecuencia máxima utilizada.

A partir de estos estudios se demostró el que se conoce como teorema de Nyquist o del muestreo. En él se analiza la cantidad de muestras por unidad de tiempo, o frecuencia de muestreo que es necesario tomar para que una señal pueda reconstruirse en forma única.

Sea una señal limitada en su ancho de banda y con una frecuencia máxima $f_{máx}$, entonces,

$$f_N > 2f_{máx} \quad (3-57)$$

Donde:

f_N = frecuencia de Nyquist o de muestreo.

Si la señal a participar del muestreo está definida en un ancho de banda Δf , entonces la frecuencia de muestreo será igual a

$$f_N = 2 \Delta f \quad (3-58)$$

El efecto de filtro pasa bajo que produce un canal de comunicaciones, nos permite afirmar que si se quisieran transmitir señales con frecuencias superiores a la de Nyquist $f_N = 2 \Delta f$, el resultado sería exactamente el mismo, por cuanto las componentes de las frecuencias más altas serían filtradas y por lo tanto no podrían recuperarse. Por lo tanto, la capacidad del canal que maneje señales binarias queda determinada con exclusividad por el ancho de banda (ver Fig. 3-58).

A partir de este teorema se determina que la capacidad de un canal sin ruido de ancho de banda finito Δf resulta cuando se envían señales binarias igual a

$$C = V_{\text{máx}} = 2 \Delta f \text{ [bps]} \quad (3-59)$$

Donde:

C = capacidad del canal.

$V_{\text{máx}}$ = velocidad máxima de transmisión de datos con señales binarias.

Δf = ancho de banda de la señal.

Para señales multinivel, la situación es distinta. Precisamente en la misma época que Nyquist, Hartley estudió esa situación y llegó a determinar en esos casos que el canal de comunicaciones también está limitado por el rango de las amplitudes que puede tomar la señal y la precisión con que el receptor puede distinguir esos niveles de amplitud.

Luego, para señales multinivel, la capacidad de un canal ideal será igual a

$$C = V_{\text{máx}}^M = 2 \Delta f \log_2 n \text{ [bps]} \quad (3-60)$$

Donde:

$V_{\text{máx}}^M$ = capacidad de un canal con señales multinivel.

Hartley no logró determinar el valor de n , pues este tomará valores que deben analizarse para un canal real. Precisamente los trabajos de Shannon fueron el sentido de obtener una ley para canales del tipo AWGN (Ruido blanco gausseano limitado en banda) ya señalado.

3.7.2 Teorema de Shannon-Hartley

La expresión (3-60) nos muestra que si un canal fuese ideal, se podría aumentar de manera indefinida la capacidad con solo incrementar el número de niveles de la señal.

Analicemos ahora el caso de canales continuos con ruido, y supongamos la presencia de ruido para el caso de un **canal con ruido blanco gaussiano aditivo**. La presencia de este, precisamente, es característico de un **canal real** de transmisión.

En todos los casos el ruido presenta características de **aditividad**. Esto significa que sea la señal a transmitir analógica o digital, el ruido se sumará a ella. En la Fig. 3.26. se observa cómo se suma el ruido a la señal útil en un ejemplo sobre una transmisión analógica.

Como se expresó, en el caso del **canal ideal** se podría aumentar el número de niveles tanto como se quisiera, ya que siempre sería posible distinguir un nivel del siguiente.

Para el caso de un **canal real** el aumento indefinido del número de niveles es imposible, pues este queda limitado a la probabilidad de que se pueda distinguir el nivel $[n]$ del siguiente $[n + 1]$ sin que el receptor que detecta las señales recibidas cometa un error al decidirse por un nivel u otro (Fig. 3.27.).

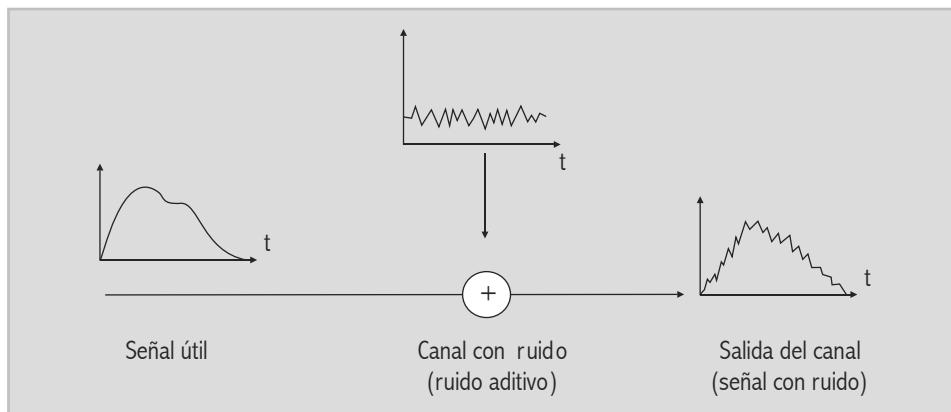


Fig. 3.26. Características de aditividad del ruido.

Precisamente, el número de niveles que es posible implementar estará limitado por el valor de una relación de importancia fundamental en el estudio de los canales de comunicación: la denominada relación **señal/ruido**.

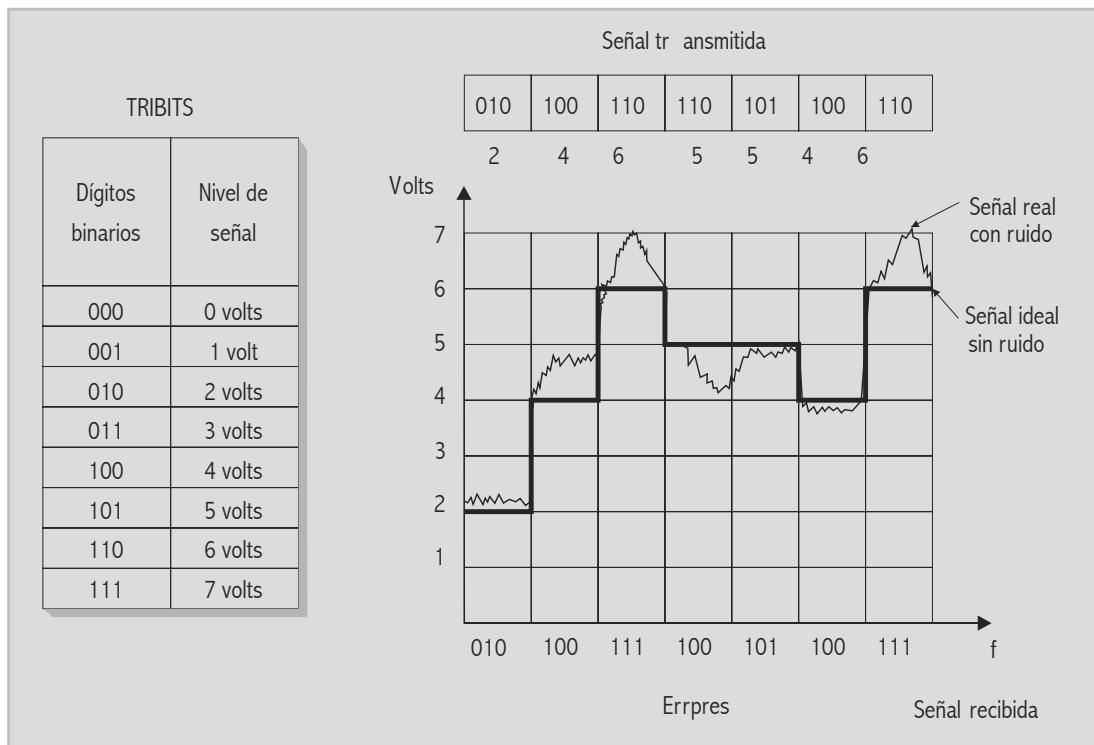


Fig. 3.27. Limitación del número de niveles de una señal en función del ruido.

En efecto:

$$\frac{S}{N} = \frac{\text{Potencia de la señal}}{\text{Potencia del ruido}} \quad (3-61)$$

El cociente **S/N** es un factor importante en todo sistema de comunicaciones, dado que cuantifica la medida en que la señal útil supera al ruido. El **teorema de Shannon-Hartley** se refiere a la capacidad de un canal real de comunicaciones continuo. Hartley contribuyó al desarrollo de la teoría de la información. Los trabajos de Shannon se basaron en parte en un trabajo que este investigador publicó en el *Bell System Technical Journal* de julio de 1928.

En 1948 Claude Shannon completó los estudios de Nyquist y Hartley, y los amplió a un canal sujeto a ruido blanco gaussiano aditivo para determinar el máximo número de estados significativos de la señal.

Para establecer la capacidad de un canal con ruido, el problema consistirá en determinar cuál es el valor máximo que podrá tomar n , esto es, el número de estados de la señal.

En efecto,

$$C = V_{\max}^M \log_2 n_{\max} [\text{bps}] \quad (3-62)$$



La capacidad máxima de un canal real depende del ancho de banda del mismo y de la relación señal a ruido que posee.

Donde se puede observar que para este caso el valor de n deberá ser el **máximo** que posibilite la relación señal/ruido. A este lo denominamos n_{\max} .

Shannon demostró que el número máximo de niveles tiene que ver con la relación señal/ruido. Si aceptamos sin demostración que esa relación está dada por la expresión (3-63) obtenida por este investigador, entonces:

$$n_{\max} = \left(1 + \frac{S}{N}\right)^{1/2} \quad (3-63)$$

Entonces, si reemplazamos en la expresión (3-62) n_{\max} por su valor en (3-63), tendremos:

$$C = 2 \Delta f \log_2 \left(1 + \frac{S}{N}\right)^{1/2} [\text{bps}] \quad (3-64)$$

y simplificando en la expresión (3-64), tendremos:

$$C = \Delta f \log_2 \left(1 + \frac{S}{N}\right) [\text{bps}] \quad (3-65)$$

donde:

S = potencia media de la señal continua transmitida por el canal.

N = potencia media ruido blanco gaussiano aditivo.

Δf = ancho de banda del canal de comunicaciones.

Esta es la expresión de la **ley de Shannon-Hartley**, que determina la capacidad de un canal continuo que tiene un ancho de banda Δf y **ruido blanco gaussiano aditivo limitado en banda**.

3.7.3 Consideraciones particulares sobre el teorema de Shannon-Hartley

El teorema de Shannon-Hartley es de importancia fundamental para el análisis de los sistemas de comunicaciones.

Tiene dos aspectos relevantes:

- Permite calcular la velocidad máxima de transmisión de datos en un canal con ruido (con distribución estadística de tipo gaussiano).
- Relaciona dos parámetros fundamentales en todo canal de comunicaciones, que son el ancho de banda Δf y la relación señal/ruido S/N .

Se puede observar que la capacidad de un canal continuo depende del ancho de banda del medio físico empleado para establecer el canal y de la relación señal/ruido a través de su logaritmo de base dos. También es factible determinar que la influencia de la variación de la relación señal/ruido tiene un efecto menor que el ancho de banda (en la determinación de la capacidad del canal), pues se relaciona por medio de su logaritmo.

Ejemplo 3-18

Se desea transmitir datos en un canal de comunicaciones con una relación señal a ruido igual a 100. Calcular la capacidad de ese canal a partir del teorema de Shannon-Hartley. Para ello se tomará el ancho de banda de un canal telefónico de 3.400 Hz.

Si $\Delta f = 3.400 \text{ Hz}$, la capacidad del canal será

$$C = \Delta f \log_2 (1 + S/N)$$

$$C = 3.400 \log_2 (1 + 100) = 3.400 \cdot 6,65$$

$$C = 22.637 \text{ bps}$$

En la práctica, tener una relación de señal a ruido igual a cien, significa que la señal útil debe superar cien veces a la potencia media de ruido.

Ejemplo 3-19

Calcular ahora suponiendo que se mejoró la relación señal ruido al valor de 1:1.000.

En ese caso, aplicando idéntica fórmula, el valor obtenido sería de:

$$C = 33.888 \text{ bps}$$

El teorema de Shannon permite calcular la velocidad máxima teórica de transmisión. En el caso de la utilización de equipos módem de datos para conexiones dial up, de la Recomendación V.90/V.92 de la UIT-T, en la práctica se llega a los valores **límite** de ese teorema.

Las posibilidades de obtener velocidades aun mayores en la capacidad de los canales telefónicos están dadas por el tipo de medios de comunicaciones empleados en la construcción de las actuales redes de telecomunicaciones que pueden mejorar la relación señal/ruido.

Sin embargo, la aparición de otros servicios, con el uso de banda ancha por esos medios paralizó el desarrollo de nuevas mejoras en este tipo de equipos por ser ya innecesarias en la práctica. En la Fig. 3.28. se muestra un ábaco que permite calcular la capacidad de un canal usando el teorema de Shannon-Hartley.

El teorema de Shannon-Hartley involucra los canales ideales como un caso particular. En efecto, si aplicáramos la expresión a un canal con potencia de ruido cero, este tendría una capacidad infinita.

De él también se puede deducir que si se incrementara el ancho de banda de un canal, en principio la capacidad del canal aumentaría en la misma proporción.

Sin embargo, en los canales reales, es decir, con ruido, existe un límite para incrementar esa capacidad utilizando como variable de ajuste el aumento del ancho de banda. Ese límite se debe a que cuando se incrementa el ancho de banda también aumenta la potencia de ruido, dado que este es función del ancho de banda, con lo que volvería a disminuir la capacidad del canal.



El canal ideal no tiene ruido y, en consecuencia, su ancho de banda tiende a infinito.

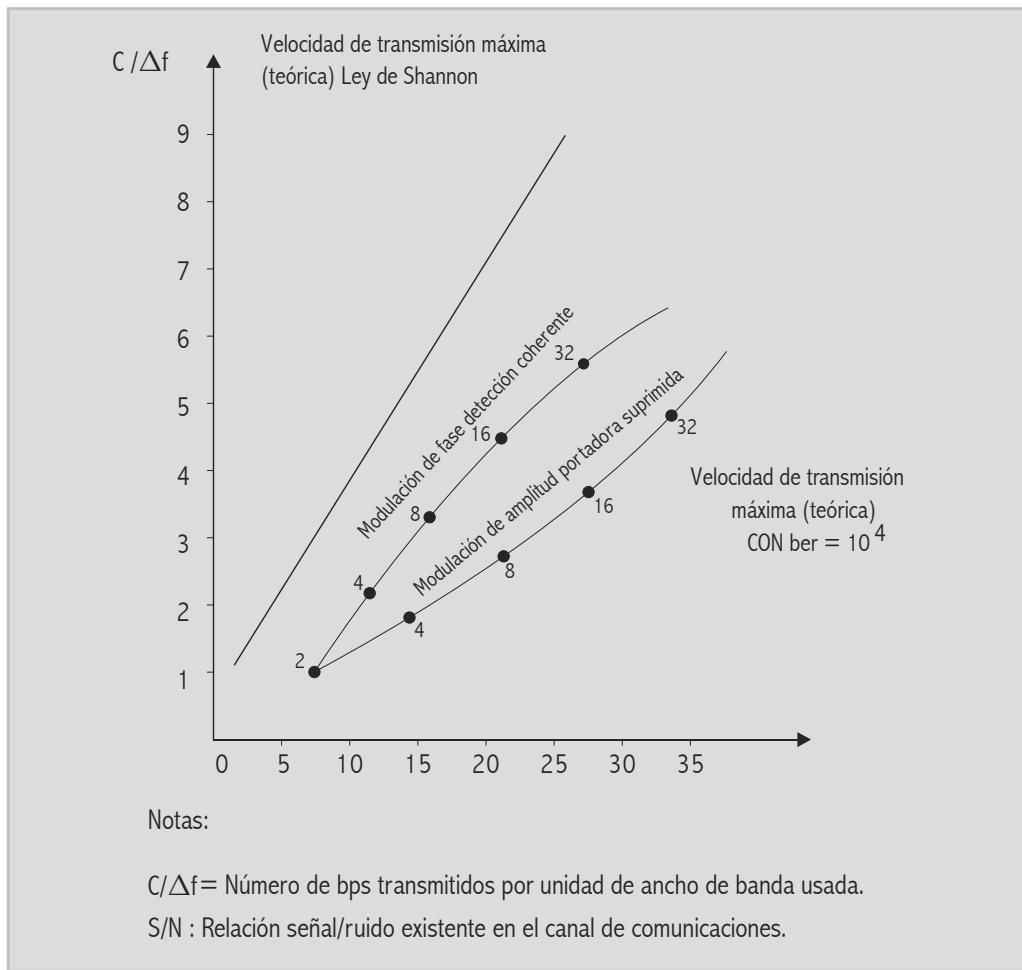


Fig. 3.28. Teorema de Shannon-Hartley. Ábaco para el cálculo.

3.8 Ruido

3.8.1 Aspectos generales

El ruido y la distorsión son fenómenos adversos para la propagación de señales en los sistemas de comunicaciones, cuyo rendimiento reducen. Son dos los parámetros básicos que miden el comportamiento de los sistemas de comunicaciones frente al ruido y la distorsión:

- La relación **señal a ruido** en los sistemas analógicos.
- La **tasa de error** en los sistemas digitales.

Definiremos ruido como todo fenómeno que, adicionado a la señal que se transporta desde la fuente, afecta la calidad de la información recibida en el colector.

El ruido tiene como características principales que varía en forma aleatoria con el tiempo, y está originado por la superposición de eventos externos e internos al sistema de comunicaciones.

Aun suponiendo que un canal se puede blindar o proteger de alguna forma contra toda interferencia exterior, se mantendrá un ruido conocido como fluctuación o **ruido térmico** propio del sistema de comunicaciones. En la Fig. 3.29. se puede observar una forma de onda de ruido típica.

En realidad es imposible efectuar predicciones exactas de la magnitud de este efecto en cualquier instante en particular, debido fundamentalmente a la gran cantidad de eventos que deben considerarse en forma simultánea. No obstante, se puede hacer una descripción satisfactoria de la forma de onda del ruido en términos estadísticos.

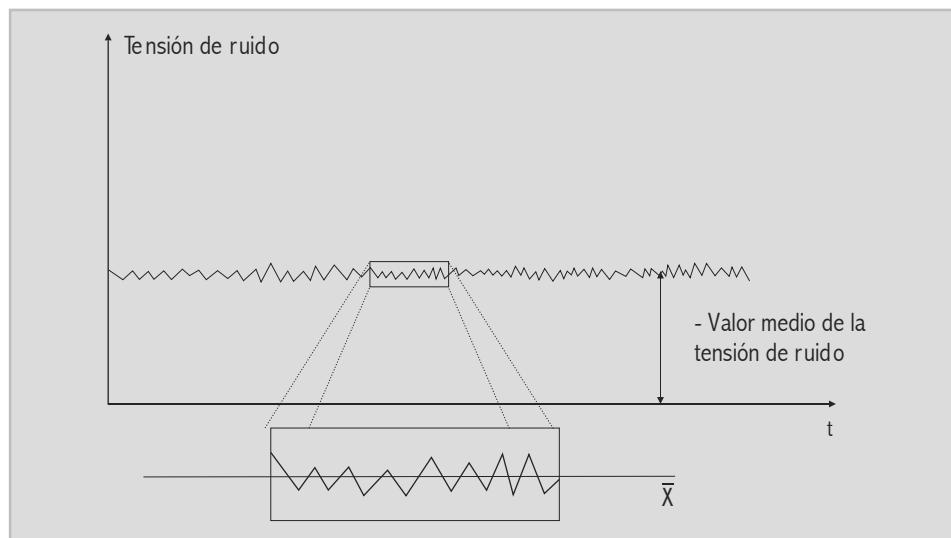


Fig. 3.29. Forma de onda de ruido típica.

3.8.2 Clasificación del ruido con respecto al sistema de comunicaciones

El ruido se puede clasificar en **endógeno** –si proviene de elementos propios del sistema de comunicaciones– o **exógeno** –si es ajeno al sistema.

Se denomina ruido endógeno al producido por variables propias del sistema de comunicaciones, que no pueden ser controladas por este.

Se llama ruido exógeno al producido por elementos externos al sistema de comunicaciones, pero que se produce por acoplamientos a él. En algunas situaciones este tipo de ruido puede atenuarse e incluso evitarse por completo.

3.8.3 Distintos tipos de ruido

3.8.3.1 Introducción

El ruido se puede estudiar y clasificar en función de los agentes que lo producen y los efectos nocivos que causa en el sistema de comunicaciones; incluso dentro de este concepto se pueden incluir efectos no deseados de otros procesos, como es el caso del error de cuantificación.

En la Fig. 3.30. se observa una clasificación de distintos tipos de ruidos.

Ruido blanco o gaussiano

Ruido impulsivo

Ruido de intermodulación

Diafonía

Ruido en línea

Fig. 3.30. Distintas clases de ruido.

3.8.3.2 Ruido blanco, gaussiano o de Johnson

El movimiento de las partículas cargadas en los conductores hacen que estos cuerpos irradién energía en forma de ondas electromagnéticas. Se verificó que la potencia radiada es proporcional a la temperatura absoluta a la que se encuentran las partículas.

En los canales constituidos por medios de comunicaciones formados por cables metálicos este fenómeno reviste importancia particular. Los movimientos aleatorios de los átomos y los electrones radian energía electromagnética, parte de la cual se canaliza por los conductores hasta llegar al receptor. Allí aparecerá como una tensión de ruido superpuesta a la señal útil.

La tensión de ruido tiene un **valor cuadrático medio que es proporcional al ancho de banda empleado**, es por ello que este debe ser el menor posible a efectos de disminuir este fenómeno.

A estas tensiones indeseables se las conoce como **ruido blanco**, pues la densidad del ruido es constante sobre todas las frecuencias de interés en las redes eléctricas convencionales. Este hecho tiene analogía con el espectro de la luz blanca, de donde toma su nombre. También se lo conoce como **ruido gaussiano o ruido de Johnson**.

Luego, definiremos como ruido blanco al producido por el movimiento aleatorio de las partículas con carga eléctrica, en particular los electrones, en los medios conductores.

Cada partícula en movimiento tendrá una energía cinética que será proporcional a la temperatura absoluta, y a una constante denominada constante de Boltzmann. En el caso particular del ruido generado por la resistencia de un conductor la potencia de ruido térmico además será proporcional al ancho de banda del canal; luego, energía de ruido térmico resultará,

$$E_R = \Delta f \ k \ T \quad (3-67)$$

Donde:

E_R = potencia del ruido en Watt.

$k = 1,38 \cdot 10^{-23}$ Joule/Kelvin (constante de Boltzmann).

T = grados Kelvin.

Δf = ancho de banda [Hz].

Obsérvese que el valor de la resistencia del circuito no desempeña papel alguno en la generación de la potencia de ruido. La energía del ruido térmico en función del ancho de banda de la ecuación (3-67) resultará igual a

$$\frac{E_R}{\Delta f} = kT \quad (3-68)$$

En términos dimensionales resultará,

$$\frac{[E_R]}{[\text{Hz}]} = [\text{Joule}][\text{seg}] = [\text{Watt}] \quad (3-69)$$

Luego, en la ecuación (3-68), reemplazando según la (3-69), tendremos,

$$P_R = \frac{E_R}{H_Z} \quad (3-70)$$

Definiremos como potencia del ruido térmico al valor,

$$P_R = \frac{E_R}{\text{seg}} \quad (3-71)$$

Y recordando la (3-68), resultará,

$$P_R = kT \quad (3-72)$$

En comunicaciones se acostumbra a expresar la potencia en dBm , para ello, recordando la expresión que define el dBm de la ecuación (2-93), tendremos,

$$dBm = 10 \log \frac{P_S[mW]}{1mW} \quad (2-93)$$

$$P_R [dBm] = 10 \log k + 10 \log T \quad (3-73)$$

Calculemos ahora la potencia de ruido en dBm por Hz de ancho de banda para una temperatura de $20^\circ C$, para lo cual reemplazaremos en (3-68) por sus valores

$$P_R [dBm] = 10 \log (1,38 \cdot 10^{-23}) + 10 \log (273 + 20) \quad (3-74)$$

$$P_R [dBm] = -228,6 + 24,66 \cong -204 \text{ dBm} \quad (3-75)$$

Si consideramos la temperatura de $20^\circ C$ como un valor ambiente normal, luego, para valores de anchos de banda diferentes a $1 Hz$, tendremos la expresión final de cálculo,

$$P_R [dBm] = -204 \text{ dBm} + 10 \log \Delta f \quad (3-76)$$

Y para otras temperaturas diferentes, (3-72) resultará la expresión más general,

$$P_R [dBm] = -228,6 + 10 \log T + 10 \log \Delta f \quad (3-77)$$

Ejemplo 3-20

Se desea conocer la potencia de ruido térmico en dBm de un canal de voz de 4.000 Hz y de un canal de video de 6 MHz de ancho de banda a temperatura ambiente de $20^\circ C$. Calcular el mismo valor pero suponiendo que la temperatura aumentó a un valor de $35^\circ C$.

A $20^\circ C$ la potencia de ruido para un canal telefónico será igual a

$$P_R [dBm] = -204 \text{ dBm} + 10 \log 4.000$$

$$P_R [dBm] = -204 \text{ dBm} + 36 \text{ dBm}$$

$$P_R [dBm] = -168 \text{ dBm}$$

A $20^\circ C$, la potencia de ruido para un canal de video será igual a

$$P_R [dBm] = -204 \text{ dBm} + 10 \log 6.000.000$$

$$P_R [dBm] = -204 \text{ dBm} + 67,8 \text{ dBm}$$

$$P_R [dBm] = -136,2 \text{ dBm}$$

Calculemos ahora los mismos valores a la temperatura de $35^\circ C$. A ella, expresión de la potencia de ruido en dBm tomada de la ecuación (3-36), resultará

$$P_R [dBm] = -228,6 + 10 \log (273 + 35) + 10 \log \Delta f$$

$$P_R [dBm] = -228,6 + 24,9 + 10 \log \Delta f$$

$$P_R [dBm] = -203,7 + 10 \log \Delta f$$

A $35^\circ C$, la potencia de ruido para un canal telefónico será igual a

$$P_R [dBm] = -203,7 + 36$$

$$P_R [dBm] = -167,7 \text{ dBm}$$

A $35^\circ C$, la potencia de ruido para un canal de video será igual a

$$P_R [dBm] = -203,7 + 67,8$$

$$P_R [dBm] = -135,9 \text{ dBm}$$



Dentro del ruido blanco, gaussiano o de Johnson, se conoce como ruido de granalla al producido por los elementos activos exclusivamente, como en el caso de válvulas electrónicas, transistores, circuitos integrados, etcétera.

De los resultados obtenidos se puede apreciar que los cambios de temperatura tienen poca influencia en los valores finales; no así los anchos de banda considerados.

La consideración de la independencia del ruido con la frecuencia solo es válida cuando, por ejemplo, como en el ruido de granalla, el tiempo de tránsito del electrón se supone despreciable.

Si se tienen señales analógicas o digitales como las graficadas en la Fig. 3.31., se puede observar que el ruido blanco se suma a la señal a transmitir formando un **ruido de fondo** de bajo nivel, que puede llegar a producir errores si los niveles de la señal útil son bajos.

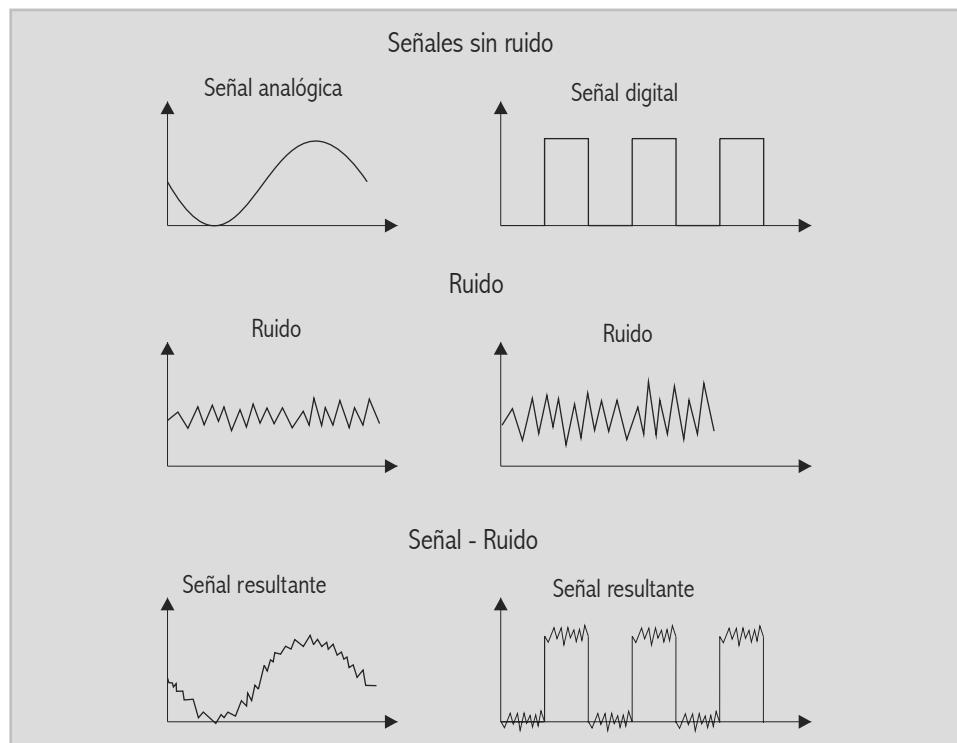


Fig. 3.31. Efectos del ruido blanco sobre las señales.

En las transmisiones a través de enlaces, en que se utiliza como uno de los medios de comunicaciones un satélite, suelen manejarse niveles bajos de recepción en las señales útiles. En estos casos este ruido produce efectos mayores.

El estudio de los efectos de este ruido se basa en la **distribución normal de Gauss**. Ello se debe a que es imposible hacer predicciones exactas acerca de la magnitud de este efecto en cualquier instante en razón de que su comportamiento no es del tipo **determinativo**, sino **estadístico**.

Sin embargo, dado que el número de eventos considerados es muy alto, el comportamiento medio se define de manera acertada en términos estadísticos usando la **distribución de Gauss**, cuya gráfica se indica en la Fig. 3.32.; la frecuencia de emisión está representada por el eje de abscisas.

Mediante la distribución normal podemos hallar la probabilidad de que la onda de ruido alcance un valor particular en un instante determinado. Una propiedad de la distribución de Gauss es que siempre habrá una probabilidad finita, aunque pequeña, de que se pueda exceder cualquier nivel.

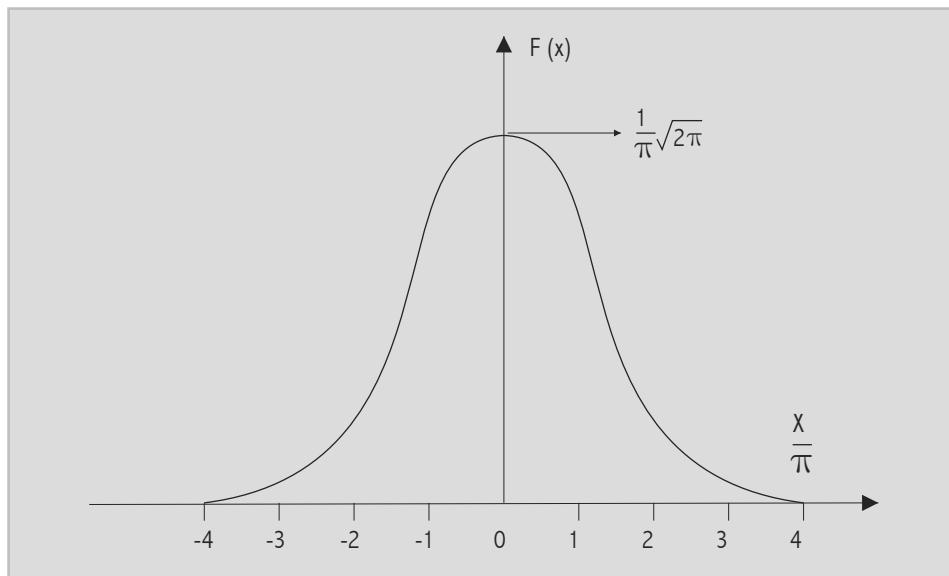


Fig. 3.32. Distribución de Gauss.

El ruido blanco se extiende a todo el espectro de frecuencias, al menos hasta las frecuencias límite, que por lo general están fuera de las bandas utilizadas en las radiocomunicaciones.

Sin embargo, en los sistemas de comunicaciones reales, tanto las señales útiles como el ruido se transmiten a través de circuitos selectivos (filtros) que solo permitirán que aparezcan a la salida del sistema las frecuencias de paso de esos filtros.

Por lo tanto, se indica que el ruido está **limitado en banda**, y corresponde al ancho de banda que el canal de comunicaciones deja pasar. Las frecuencias por encima y por debajo de ese ancho de banda son atenuadas por el canal.

3.8.3.3 Ruido impulsivo

Se denomina ruido impulsivo al que se produce a intervalos irregulares, con picos de corta duración pero de gran amplitud, y que no aparece en forma continua. Muchas veces es difícil localizar su origen.

Su presencia provoca numerosos problemas en las redes digitales. En muchos casos produce la invalidación de los datos transmitidos. En algunas circunstancias son provocados por la propia señalización de los canales telefónicos.

En particular este ruido no produce efectos significativos importantes en los canales analógicos. Sin embargo, puede ser de muy alto nivel en las **centrales de conmutación telefónica de tecnología electromecánica**. En ellas es introducido por los selectores electromecánicos que forman parte de estas, y por el acoplamiento de impedancias que se produce a través de las baterías que usa la propia central.

En la Fig. 3.33., se puede observar el efecto del ruido impulsivo en un canal digital.

Los equipos módems pueden tener ciertas facilidades para eliminar o discriminar el ruido impulsivo hasta un cierto valor.

Si este tipo de ruido se torna muy perjudicial al sistema, en los canales deberán colocarse contadores de ruido impulsivo para observar estadísticamente las horas del día en que este afecta la transmisión en mayor medida.



Se denomina ruido impulsivo al que se produce a intervalos irregulares, con picos de corta duración pero de gran amplitud, y que no aparece en forma continua.



Las centrales de conmutación telefónica de tecnología electromecánica, ya casi no existen en las redes públicas. Solo quedan casos aislados en las centrales privadas de usuarios que aún no renovaron su equipamiento. Esta situación permitió el mejoramiento sustancial de la relación señal/ruido en los canales telefónicos y, por lo tanto, la posibilidad de alcanzar velocidades más altas en conexiones dial-up con respecto a las que se obtenían hace unos pocos años.

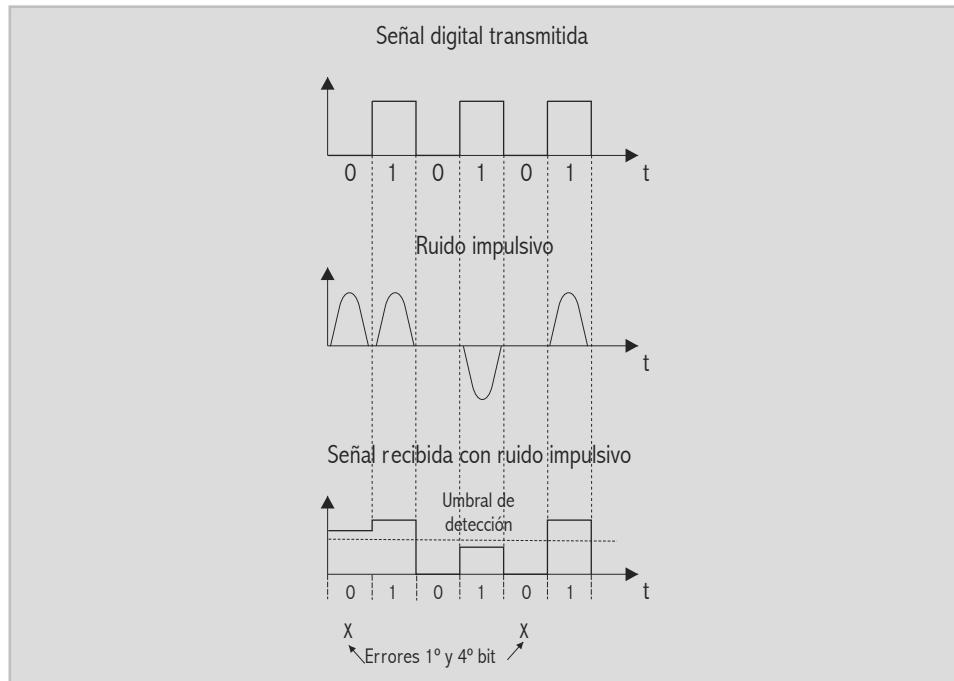


Fig. 3.33. Efecto del ruido impulsivo en transmisiones digitales.

Se denomina ruido de intermodulación al que se produce cuando se aplican varias señales senoidales a un dispositivo no lineal; o cuando varias señales multiplexadas en frecuencia por el mismo canal sufren desplazamientos de sus portadoras, ocupando las bandas de protección y encimándose a las señales contiguas.

Se denomina diafonía al ruido que se produce por el acoplamiento indeseado entre dos señales a causa de la inducción electromagnética mutua, por lo general producida entre conductores. Esta se conoce vulgarmente como *crosstalk*.

Los pulsos de ruido al presentarse, en general en ráfagas, también son conocidos por la expresión en inglés **burst**. Se suelen presentar como su expresión en inglés, en ráfagas o en forma dispersa en el tiempo, con duraciones variables. Cuando se presentan en los canales digitales normalmente afectan a varios bits seguidos.

3.8.3.4 Ruido de intermodulación

Se denomina ruido de intermodulación al que se produce cuando se aplican varias señales senoidales a un dispositivo no lineal; o cuando varias señales multiplexadas en frecuencia por el mismo canal sufren desplazamientos de sus portadoras, ocupando las bandas de protección y encimándose a las señales contiguas.

En el caso señalado aparecen frecuencias adicionales que no están relacionadas de manera armónica con las frecuencias de la señal. Los productos de la intermodulación afectan en forma especial los sistemas multiplexados en frecuencia.

En general, la alta temperatura puede ser uno de los factores que más afecta la estabilidad de los circuitos. Cuando es de un valor importante, las señales no se mantienen dentro de banda, y producen desplazamientos de las frecuencias de las portadoras, que resultan indeseables cuando generan este tipo de ruido.

3.8.3.5 Diafonía

Se denomina diafonía al ruido que se produce por el acoplamiento indeseado entre dos señales a causa de la inducción electromagnética mutua, por lo general producida entre conductores. Esta se conoce vulgarmente como *crosstalk*.

Un ejemplo de ello son los pares telefónicos que corren paralelos muchos kilómetros o los circuitos eléctricos de alta tensión, instalados próximos a la ruta telefónica.

Para eliminar el efecto de la diafonía al que están expuestos los canales telefónicos constituidos por cables de cobre, se suelen realizar transposiciones. Estas consisten en cambiar la posición de los conductores de una ruta telefónica para compensar las inducciones electromagnéticas mutuas que se producen entre esos conductores.

En la Fig. 3.34. se muestra una forma práctica de realizar una transposición. Para evitar el corte de los alambres, se levanta uno de ellos alrededor de dos centímetros, mientras que el otro se baja otro tanto, en el punto de transposición.

La diafonía también se presenta cuando los filtros que forman parte de un canal de comunicaciones son de poca calidad o se encuentran mal diseñados.

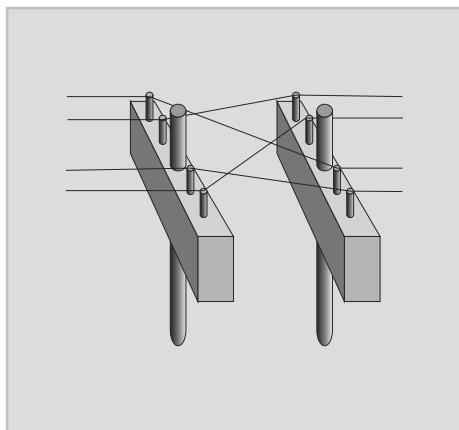


Fig. 3.34. Esquema de una trasposición en un tendido aéreo de cables de cobre.

línea mediante la utilización de filtros especiales denominados **filtros de línea**, que eliminan las frecuencias de 50 Hz o 60 Hz correspondientes a las tensiones de alimentación.

3.8.3.6. Ruido de línea o simple

Se denomina ruido simple o de línea, al que se produce por la presencia de líneas eléctricas de energía que se utilizan en las instalaciones eléctricas, para iluminación y alimentación de equipos y/o sistemas eléctricos y electrónicos.

Cuando estas líneas están cerca de canales de comunicación, por efecto de la inducción electromagnética afectan las transmisiones de señales que circulan por ellas.

Las líneas de alta tensión y los transformadores de potencia son las fuentes principales de este tipo de ruido. Se puede reducir y en ciertos casos hasta eliminar el ruido de

Se denomina ruido simple o de línea, al que se produce por la presencia de líneas eléctricas de energía que se utilizan en las instalaciones eléctricas, para iluminación y alimentación de equipos y/o sistemas eléctricos y electrónicos.



Normalmente, al nivel del usuario final trabaja las líneas eléctricas de energía con tensiones y frecuencias típicas de 220 Volt/50 Hertz o 110 Volt/60 Hertz. Sin embargo, si se estuviera cerca de una línea de alta tensión, usada para transportar energía eléctrica a gran número de usuarios, los problemas podrían ser mucho mayores.

3.9 Distorsión

3.9.1 Definición y conceptos generales

Definiremos como distorsión la deformación que sufre una señal eléctrica a causa de elementos del propio circuito, como resistencias, condensadores o bobinas, o de otros externos a él.

La distorsión puede producirse por varias causas:

- Por atenuación
- Por retardo de grupo
- Por efectos meteorológicos



La distorsión es la deformación que sufre una señal eléctrica a causa de elementos del propio circuito, como resistencias, condensadores o bobinas, o de otros externos a él.

3.9.2 Distorsión por atenuación

Llamaremos distorsión por atenuación a la que se produce a causa de las características resistivas y reactivas del canal físico de comunicaciones.

Si recordamos la expresión (2-137), podemos observar que la impedancia de un canal de comunicaciones se puede expresar mediante un número complejo Z , tal que

$$Z = R + j(X_L - X_C)$$

(2-137)/(3-78)

donde:

 R = resistencia óhmica. j = unidad imaginaria. X_L = reactancia inductiva. X_C = reactancia capacitativa.

A su vez, de la (2-138) sabemos que la resistencia óhmica R es directamente proporcional a un coeficiente, que depende del material que constituye el conductor denominado resistividad y de la longitud de este. A su vez, su valor es inversamente proporcional a su sección.

Luego, se puede deducir que la atenuación de un canal físico formado por un conductor metálico se incrementa cuando aumenta su longitud, y disminuye cuando se usan conductores de mayor sección.

En este último caso, a mayor sección mayor peso del conductor, por lo tanto, se eleva el costo por kilómetro. Otra manera de expresar el mismo fenómeno físico es indicar que a medida que nos alejamos de la fuente que origina la señal la intensidad de ella es menor.

Luego, para contrarrestar la atenuación producida por la resistencia en canales analógicos, se utilizan circuitos amplificadores, como se puede observar en la Fig. 3.35.

La resistencia R óhmica en sí es un parámetro independiente de la frecuencia. Cuando en un medio conductor la resistividad tiende a cero, se indica que estamos en presencia de un **superconductor**. Sin embargo, en los casos que hemos descripto, la presencia de la resistencia se debe a que la falta de perfección los conductores hace que cuando circula una corriente eléctrica por ellos disipen energía en forma de calor.

En cuanto a las reactancias inductiva y capacitativa, su valor sí es función de la frecuencia. En efecto, recordando las expresiones (2-82) y (2-83), podemos observar que

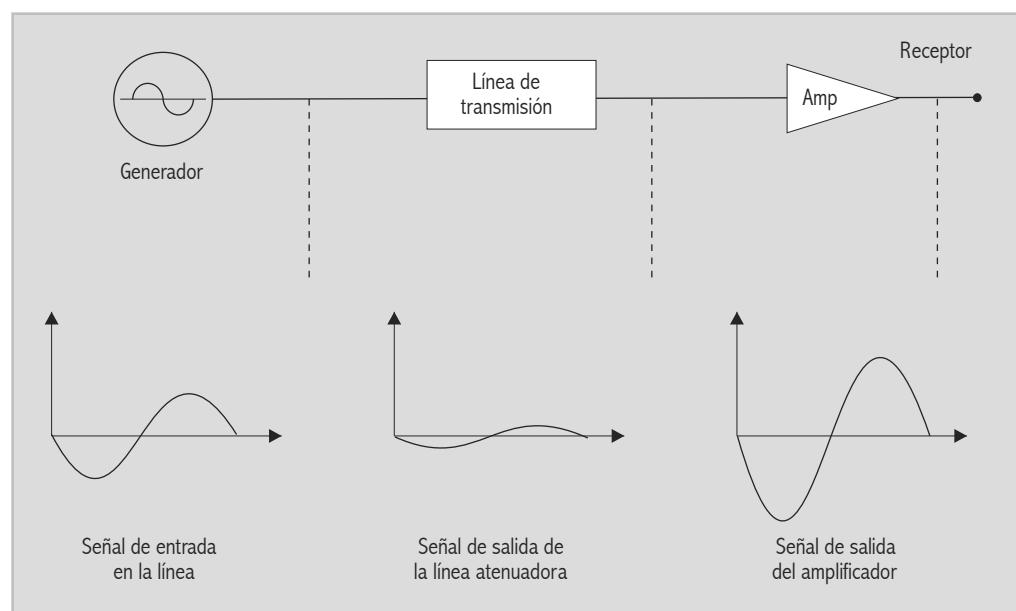


Fig. 3.35. Efectos de la resistencia eléctrica en una línea de transmisión.

$$X_L = 2\pi fL \quad (2-82)/(3-79)$$

$$X_C = \frac{1}{2\pi fC} \quad (2-83)/(3-80)$$

Reemplazando, en la (2-137/3-78), la impedancia quedará igual a

$$Z = R + j \left(2 fL - \frac{1}{2\pi fC} \right) \quad (3-81)$$

Como se puede apreciar de la expresión (3-81), la parte compleja de la impedancia varía según la frecuencia. Luego, para cada frecuencia corresponderá una impedancia distinta. Además, si la corriente fuera continua, esto es, de frecuencia nula, la parte imaginaria de esa expresión se anularía. En ese caso particular, la impedancia y la resistencia óhmica resultarían iguales.

En los canales de comunicaciones las señales están definidas en un intervalo de frecuencias, y para el caso particular tendremos valores diferentes de impedancia; en consecuencia, la señal transmitida tendrá también diversos niveles de atenuación, según su valor.

En general los módems están preparados para corregir este fenómeno dentro de ciertos límites. Como se comprenderá con facilidad, es ilógico pensar que los módems puedan recibir sin problemas señales de 1 kHz con una atenuación de -4 dB y después otra de 2,8 kHz con -20 dB de atenuación.

En la Fig. 3.36. se pueden observar las características de la atenuación en función de la frecuencia para un canal telefónico ideal de frecuencia vocal. Las frecuencias por debajo de 300 Hz y por arriba de 3400 Hz no son necesarias para la recepción inteligible de la voz, por lo que la atenuación aumenta fuera de la banda de 300 a 3400 Hz.



Se denomina superconductividad al fenómeno que presentan ciertos conductores que no muestran resistencia al flujo de una corriente eléctrica. Fue descubierto en 1911 por el físico holandés Heike Kamerlingh Onnes mientras trabajaba con una muestra de mercurio que se encontraba a una temperatura de 4,2° Kelvin (-268,8 °C), observó que la resistencia desaparecía de forma abrupta. Despues fue desarrollado por Karl W. Meissner y R. Ochsenfeld en 1933 sus trabajos dieron lugar al estudio de "física a bajas temperaturas", aunque también se verifica a temperaturas más altas. En 1987, Georg Bednorz y Alex Mueller recibieron el premio Nobel en Física por el descubrimiento de materiales que se comportan como superconductores a temperaturas mayores que las pensadas en principio.

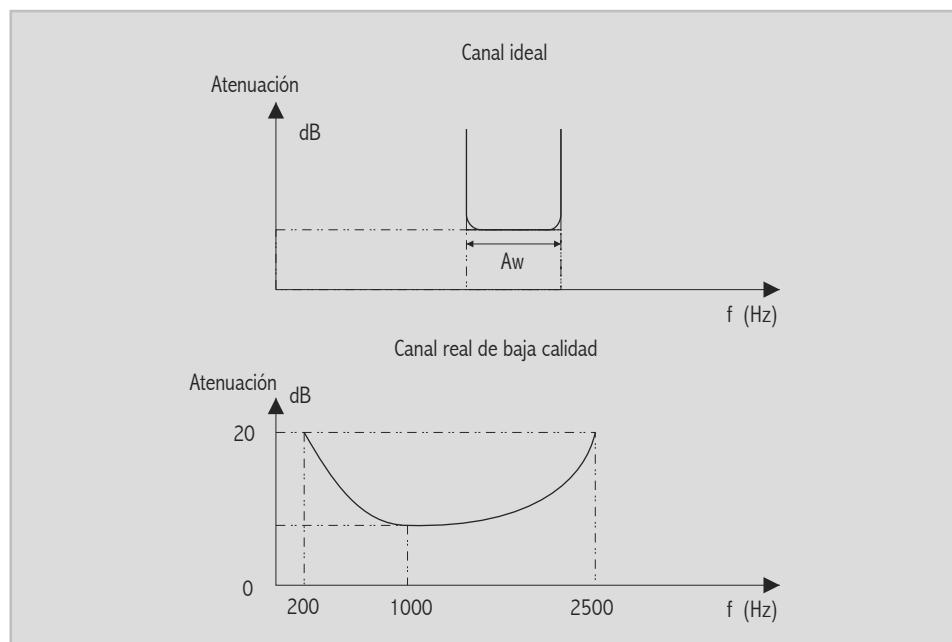


Fig. 3.36. Características de la atenuación/frecuencia en canales vocales y reales.

Asimismo, se grafican las características típicas de la atenuación en función de la frecuencia para un canal telefónico real. Es por ello que existen circuitos especiales llamados compensadores o **ecualizadores** (ver apartado 3.4.7.3 de este capítulo), que en la mayoría de los casos están incluidos en los circuitos de los módems para corregir esta irregularidad.

Las Normas Internacionales de la UIT-T fijan límites a los que se deben ajustar las características de las líneas. Por ejemplo, los circuitos de **calidad normal** deben cumplir con la **Recomendación M. 1040** de la UIT-T, y los circuitos denominados de **calidad especial**, con la **Recomendación M. 1020** de la UIT-T.

Analicemos el ejemplo de la norma M. 1020 de calidad especial y los valores máximos permitidos. En la Fig. 3.37. se muestran los valores aceptados de distorsión por atenuación, expresados en dB para este tipo de canales. Esta figura se complementa con dos más, la Fig. 3.38., en la que se expresan los máximos en milisegundos para retardos de grupo, y la 3-39. En esta última se graficó el ruido aleatorio permitido expresado en dBm , para que un canal de comunicaciones sea de la calidad señalada.

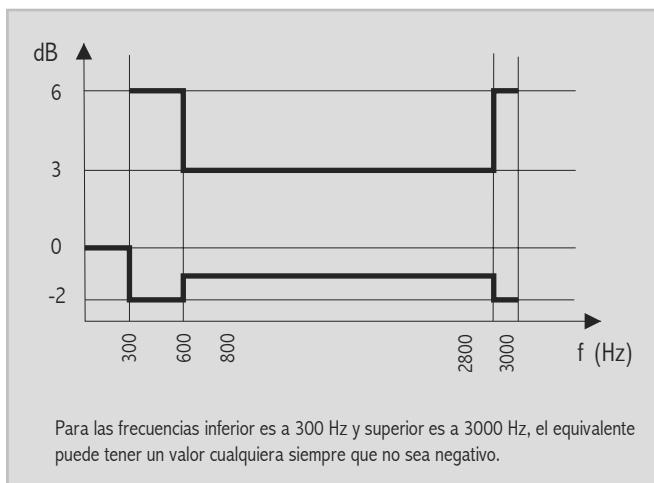


Fig. 3.37. Recomendación M.1020. Distorsión por atenuación.

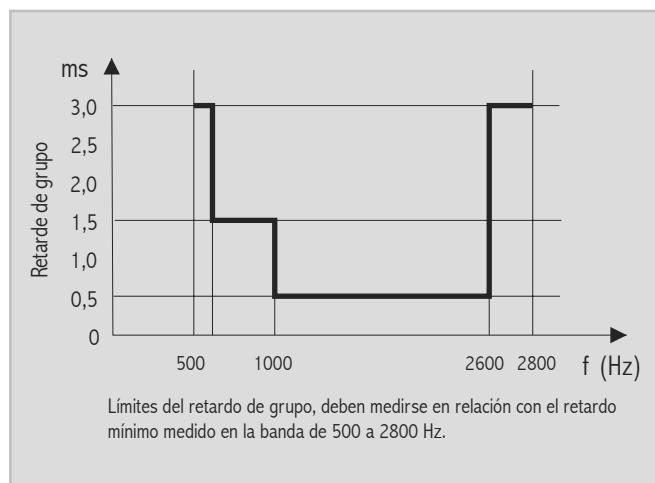


Fig. 3.38. Recomendación M.1020. Distorsión por retardo de grupo.

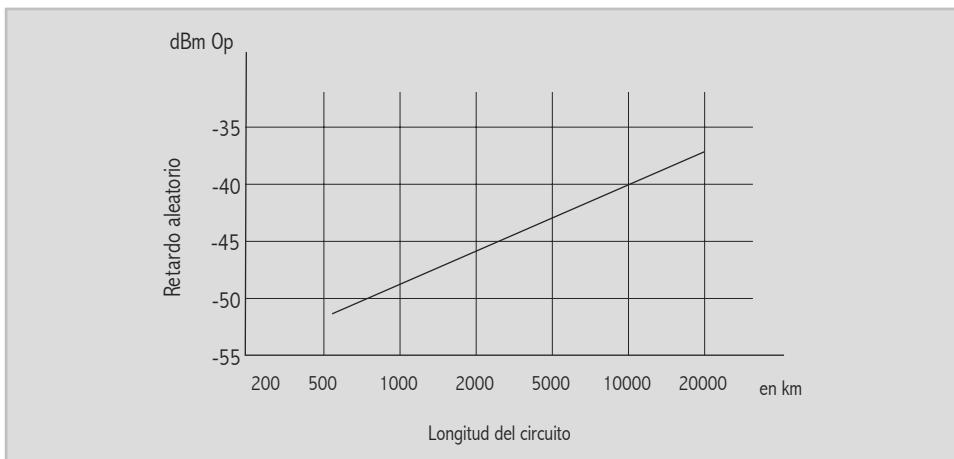


Fig. 3.39. Recomendación M.1020. Ruido aleatorio.

Como caso particular puede ocurrir que a una frecuencia denominada **frecuencia de resonancia** la reactancia inductiva sea igual a la reactancia capacitiva.

En ese caso resultará:

$$X_L = X_C \quad (3-82)$$

Luego, la impedancia y la resistencia óhmica resultarán iguales, $Z = R$. La frecuencia a la que se produce el efecto de resonancia resultará de reemplazar en la expresión (3-82) por los valores de las reactancias inductiva y capacitiva, por lo que si se opera en forma conveniente tendremos

$$f_r = \frac{1}{\sqrt{2\pi LC}} \quad (3-83)$$

A esa frecuencia el canal no tendrá efecto reactivo alguno.

3.9.3 Distorsión por retardo de grupo

Llamaremos distorsión por retardo de grupo, o de fase, a **la que se produce como consecuencia de que las distintas partes componentes de una señal se propagan en el canal a velocidades diferentes, y arriban al colector en un intervalo de tiempo distinto de cero**.

La velocidad de propagación de las señales es función de la frecuencia. Al estar definidas las señales por un intervalo de frecuencias, para cada frecuencia del intervalo habrá una velocidad diferente.

En las líneas que poseen características inductivas, las frecuencias más bajas viajan más rápido que las frecuencias más altas.

Recordando la expresión de la reactancia inductiva:

$$X_L = 2\pi f \cdot L \quad (3-84)$$

Se puede observar que esta es directamente proporcional a la frecuencia. Luego, resulta que para las señales que tienen frecuencias más altas mayor será el valor de X_L , con lo que se incrementa el valor de la impedancia de la línea a esa frecuencia, frente a otras de menor valor.

Por otro lado, en las líneas que poseen características capacativas la situación es inversa. Las frecuencias más altas viajan a velocidades mayores que las más bajas.

Recordando la expresión de la reactancia capacitativa:

$$X_C = \frac{1}{2\pi f \cdot C} \quad (3-85)$$

Se puede observar que esta es inversamente proporcional a la frecuencia. Luego, resulta que para las señales que tienen frecuencias más bajas, mayor será el valor X_C , con lo que se incrementa el valor de la impedancia de la línea a esa frecuencia, frente a otras de mayor valor.

Los circuitos **compensadores** o **ecualizadores** tienen capacidad para corregir este efecto nocivo dentro de ciertos límites.

Las normas internacionales de la UIT-T especifican los límites permitidos de este tipo de distorsión. Los valores de retardo de grupo permitidos según la calidad de cada canal se expresan en **milisegundos** (Fig. 3.40.).

Los canales de frecuencia de voz en realidad son canales pasabanda que tienen un ancho de banda aproximado de **3.100 Hz**. Si se aplica en ellos un impulso, a su salida se obtendrá una señal, compuesta por un conjunto de ecos adyacentes al impulso de entrada.

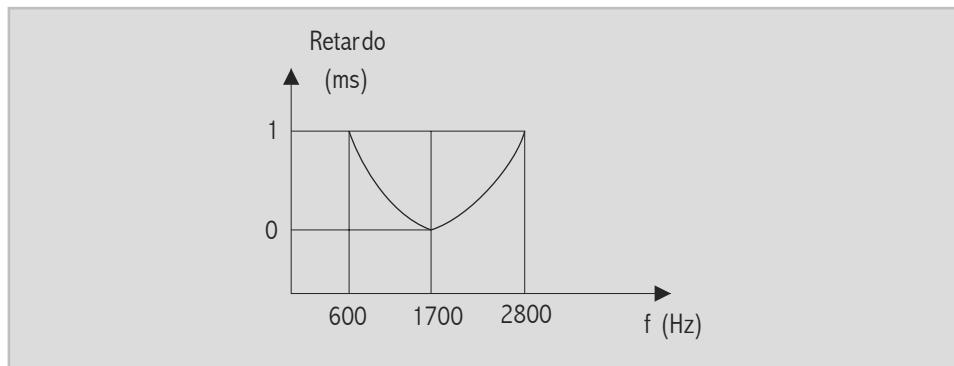


Fig. 3.40. Distorsión de retardo de grupo en circuitos telefónicos.

Es así como se presenta un efecto no deseado denominado **dispersión en el tiempo de la señal**. Esta dispersión aumenta en grado significativo la atenuación y la distorsión por retardo de grupo de la señal.

En consecuencia, cada elemento de señal recibido está constituido por un componente principal transmitido en forma directa, seguido de varios **ecos**, producidos por diferentes desadaptaciones en la línea.

El efecto inmediato del retardo de grupo es la interferencia intersímbolos, que se produce entre dos elementos (bits) de señales contiguas. Es por ello que existe un límite para la tasa a la que puede transmitirse la señal, para un nivel de interferencia intersímbolos dado.

La interferencia intersímbolos originará que un elemento individual de la señal se alargue hasta causar solapamiento e interferencia con el símbolo vecino.

Por lo general la porción dispersa de un elemento de la señal que causa interferencia contiene solo una fracción de la energía total, pues la mayor parte de ella se encuentra ubicada en el intervalo de tiempo correcto.

3.9.4 Distorsión por efectos meteorológicos (enlaces inalámbricos)

Se denomina distorsión por efectos meteorológicos la que se produce a causa de lluvias, nieve, tormentas de polvo u otras condiciones similares que afectan el medio de propagación y producen cambios bruscos en la señal.

Se denomina distorsión por efectos meteorológicos la que se produce a causa de lluvias, nieve, tormentas de polvo u otras condiciones similares que afectan el medio de propagación y producen cambios bruscos en la señal.

Este tipo de distorsión afecta en particular la transmisión por medios radioeléctricos de alta frecuencia –HF– y sobre todo los circuitos que utilizan microondas de **muy alta y ultra-alta frecuencia –VHF y UHF**.

Estos efectos en general se producen en períodos cortos. En algunos casos es posible corregirlos en forma automática, o bien manual, cuando los operadores están atentos.

Por ello, para minimizar sus efectos, es importante conocer con anticipación cuál es la posibilidad de que se puedan presentar condiciones meteorológicas límite que afecten las comunicaciones para cada situación geográfica; en caso de que existan, saber cuáles son las épocas más probables de que estos fenómenos se produzcan. Si el defecto no se corrige, la tasa de error puede crecer a límites no tolerables para un sistema de transmisión de datos.

A diferencia de los circuitos telefónicos alámbricos, que no varían en grado apreciable en el tiempo en cuanto a sus características de atenuación y retardo, los enlaces inalámbricos sí lo hacen.

En particular en los de **alta frecuencia (HF)** o en los **enlaces de microondas**, esas características pueden cambiar de manera notoria con la situación meteorológica, durante un lapso de tiempo variable, y afectar la confiabilidad del enlace.

En estos últimos tipos de enlaces descriptos, cuando el medio dieléctrico que separa las antenas (alineadas desde el punto de vista óptico) está afectado por una variación, la amplitud de la señal puede tener variaciones importantes. Estas variaciones del dieléctrico son producidas, entre otros casos, por el polvo en suspensión (tormenta de polvo), la nieve, el granizo o fuertes tormentas de agua.

3.10 Errores en el proceso de transmisión de datos

3.10.1 Conceptos generales

3.10.1.1 Definición

Se denomina error de transmisión toda alteración o mutilación en un mensaje recibido, que hace que no sea una réplica fiel del mensaje tal como fue transmitido.

Los errores pueden alterar el contenido del mensaje de tal forma que este se vuelva **inválido**, o bien, que sea **útil** a pesar de todo, por cuanto se puede interpretar el contenido, y aquellos no invalidan el sentido de lo que se quiso transmitir.

En la Fig. 3.41., se pueden observar dos mensajes transmitidos con errores. El primero de ellos contiene dos letras erróneas, sin embargo, es inteligible para el usuario receptor, que lo puede interpretar de manera correcta.



Se denomina error de transmisión toda alteración o mutilación en un mensaje recibido, que hace que no sea una réplica fiel del mensaje tal como fue transmitido.

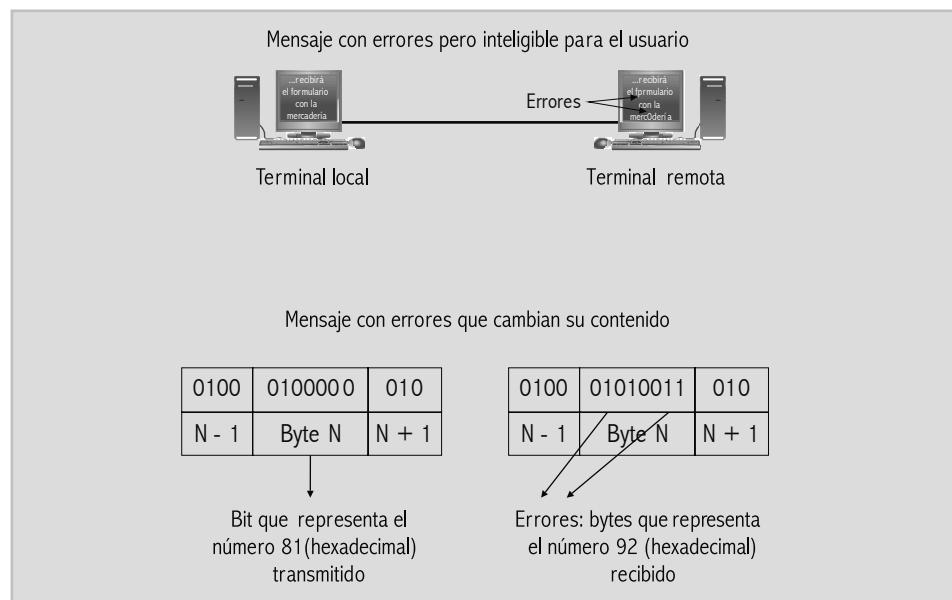


Fig. 3.41. Transmisión de mensajes con errores.

En el otro mensaje, a pesar de que solo se invirtió un bit, se cambió en grado sustancial el significado de la información transmitida.

Todo sistema de transmisión de datos debe proveer los medios necesarios para detectar los errores y recuperar los datos que se perdieron a causa de ellos.

Existen dos tipos de transmisiones a considerar, según los receptores tengan raciocinio o no. De operador a operador, y de máquina a máquina.

3.10.1.2 De operador a operador

Cuando la comunicación se efectúa de operador a operador en forma directa, operando las máquinas correspondientes, la intervención de estos permite la detección y la corrección directa de los errores; asimismo, son ellos los que regulan los procedimientos de corrección y retransmisión.

3.10.1.3 De máquina a máquina

Cuando no intervienen los operadores, solo se usa la inteligencia presente en el sistema para detectar los errores en forma automática, analizarlos, aceptarlos o rechazarlos de manera parcial o total. En la Fig. 3.42. se detallan los métodos más importantes empleados para la detección y la corrección de los errores que se utilizan en los sistemas de transmisión de datos.

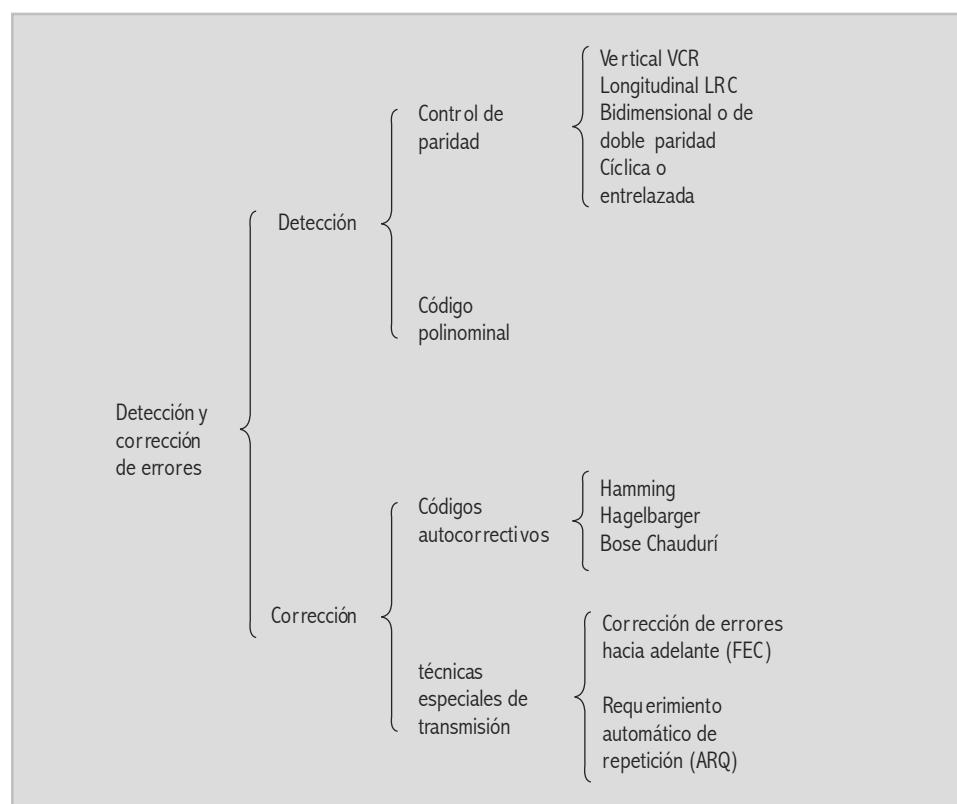


Fig. 3.42. Métodos de detección y corrección de errores.

3.10.2 Tipos de errores

Los errores se pueden clasificar, según su distribución en el tiempo, en los siguientes tipos:

- Errores aislados o simples.

Son aquellos que afectan a un solo bit por vez; asimismo, son independientes entre sí, en cuanto al momento en que se producen.

- Errores en ráfagas.

Son los que afectan a varios bits consecutivos, y se presentan en períodos de tiempo indeterminados.

- Errores agrupados.

Son aquellos que se producen en tandas sucesivas de cierta duración, y que no afectan necesariamente a varios bits seguidos.

3.10.3 Tratamiento de los errores

Una forma de disminuir, **detectar** y **corregir** errores de transmisión, es enviar **datos adicionales** en el contenido del mensaje. El contenido superabundante de información a los efectos de la detección y la corrección de errores se denomina redundancia. Cuanto mayor es la cantidad de bits adicionales que no llevan información, si bien se logra una mayor protección contra errores, disminuye la eficiencia del proceso de transmisión.

Es así como en la transmisión sincrónica existe el compromiso entre el tamaño de los bloques de cada mensaje y la eficiencia de la transmisión. Cuanto más pequeños sean los bloques, se hace menos probable la necesidad de retransmitirlos, pero disminuye en grado apreciable la eficiencia de la transmisión.

Asimismo, cuando los bloques de mensajes son largos, con el objeto de aumentar la eficiencia, una mayor proporción de estos bloques tendrá errores y será necesario su retransmisión, lo que a la larga puede disminuir aún más su eficiencia.

En las transmisiones por la red telefónica comutada, la tasa de error varía según la hora del día. Es por esto que cuando la tasa de error se torna muy elevada, lo más razonable es disminuir la velocidad de modulación.

3.10.4 Detección de errores por métodos de control de paridad

3.10.4.1 Consideraciones generales

El control de errores implica técnicas de diseño, fabricación de equipos y enlaces de transmisión de datos que reduzcan el porcentaje de errores. Además, incluye metodologías para detectarlos y corregirlos.

Una metodología posible es **no tomarlos en cuenta**, que parece algo trivial, pero no lo es tanto en cuanto que en muchos casos, por el tipo de información a trasmisir y el uso que esta recibirá, no es necesario que los errores se tomen en cuenta. Esta metodología reduce los costos y aumenta el procesamiento total.

Otra metodología empleada es la **prueba de eco**, que consiste en que cada vez que se recibe un carácter o una unidad menor de información, se retransmite de vuelta al transmisor de donde provino. En esta última estación se compara la información enviada con la transmitida desde el receptor.

Este método desperdicia capacidad de transmisión pues, como mínimo, un mensaje se transmite dos veces, y en alguna oportunidad muchas más.

Muchas veces, si el error se produce en el viaje de retorno, es una pérdida de tiempo innecesaria. Se usa en líneas de baja velocidad, y si bien da cierto grado de protección, no tiene la eficiencia de otros métodos más refinados.

La detección de errores mediante el método de **control de paridad** se basa agregar otros **bits de control** adicionales en la secuencia de **bits de información** transmitidos. Estos bits

de control no transportan información alguna, sino que solo se utilizan para la verificación de la paridad de la secuencia de bits de datos.

Para la verificación de la paridad existen tres métodos posibles:

- Control de paridad vertical (VCR).
- Control de la paridad longitudinal, o bidimensional (LCR).
- Control de la paridad entrelazada o cíclica.

La paridad en cualquiera de los métodos que usan este sistema, puede ser **par** o **impar**. En la Fig. 3.43. se indican ejemplos de ambos casos, para una longitud arbitraria de bits a considerar.

En la **paridad par**, si el número de **unos** de la palabra de información a transmitir es **impar**, el bit de control que se debe agregar será un **uno**, para que la suma total de ellos resulte un número **par**.

Por otro lado, si la paridad adoptada fuera **impar**, el bit de control que se debería agregar sería un **cero**, para que la suma total de ellos resulte un número **impar**.

Paridad par será "0", carácter resultante	0	01101101100
Paridad impar será "1", carácter resultante	1	01101101100

Fig. 3.43. Ejemplos de paridad par e impar.

3.10.4.2 Control de la paridad vertical

El método conocido como VRC (Vertical Redundancy Check, Control de la paridad vertical), se aplica a cada carácter o byte, y su uso se relaciona fundamentalmente con el código ASCII.

Consiste, básicamente, en el agregado de un bit adicional al conjunto de 7 bits que constituyen un carácter en el código mencionado.

De acuerdo con lo explicado antes, existen dos formas de definir la paridad de un carácter; mediante la paridad par o impar.

En el código ASCII, se agrega un bit adicional, denominando expresamente **bit de paridad**, a los 7 bits que conforman la información a transmitir. En estos casos el carácter final con el bit de paridad incluido quedará conformado por 8 bits. En la Fig. 3.44., se puede observar un ejemplo de este código, con bit de paridad. En el transmisor se efectúa el cálculo del bit de paridad correspondiente a cada carácter, y se agregan a los 7 bits de información.

Este nuevo carácter de 8 bits de información se transmite, y al recibirse en el receptor, se calcula otra vez la paridad comparándola con el criterio utilizado en el transmisor.

El inconveniente grave de este método es que no permite detectar la **doble inversión** de bits, que consiste en que se produzca un **doble error** en un **byte**, que afecte de manera simultánea a un **uno** y lo transforme en **cero**, y al revés.

Si esto último ocurriese, la paridad resultante del carácter sería correcta, pero, como es evidente, el dato transmitido resultaría erróneo. En la Fig. 3.45. se muestra este caso.

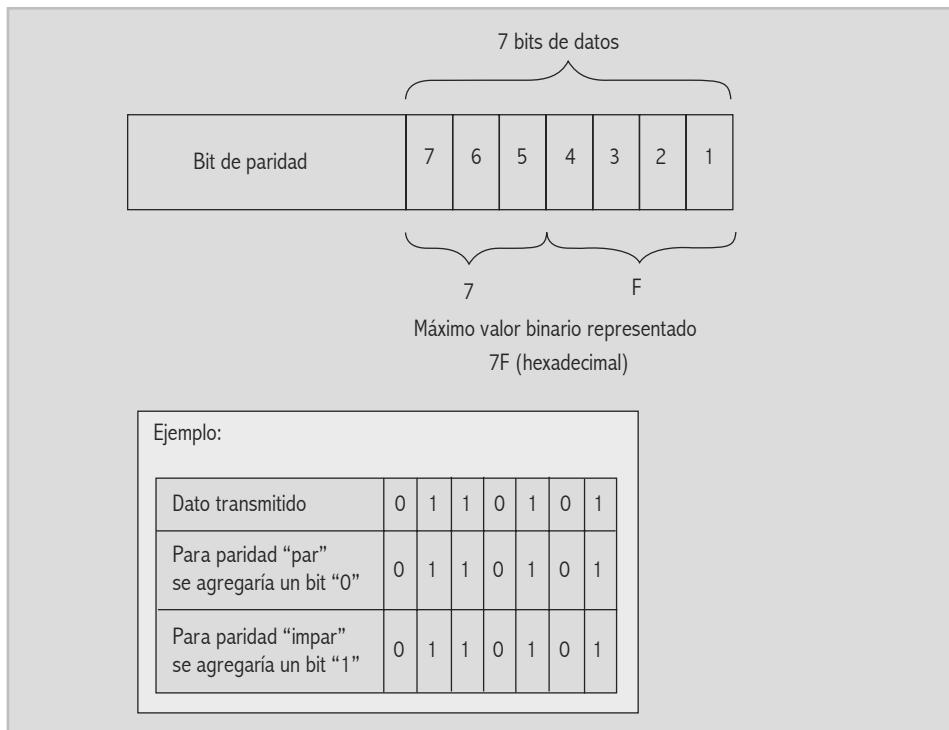


Fig. 3.44. Código ASCII con bit de paridad.

3.10.4.3 Control de paridad longitudinal o bidimensional

El método conocido como LRC (*Longitudinal Redundancy Check*, Control de la paridad longitudinal), se aplica a un conjunto compuesto por bloques de **N caracteres de 7 bits** cada uno.

En la Fig. 3.46., se muestra un ejemplo donde $N = 5$. Obsérvese que por cada carácter de 7 bits transmitidos, se agregó un **bit de paridad vertical**, que en este caso es par, con lo que el carácter transmitido tendrá finalmente un total de 8 bits.

Al finalizar el bloque de N caracteres, se transmitirá un carácter completo denominado **carácter de control del bloque**, más conocido por su expresión *block check character* (BCC).

- El carácter de control del bloque está calculado de la siguiente manera:
Se toman los bits ubicados en la posición número uno, y se calcula el bit de paridad para todo el bloque correspondiente a esa posición. Ése será el bit número uno del carácter que hemos denominado **BCC**.
- Luego se toman los bits ubicados en la posición dos, y se realiza la misma tarea, y así se continúa.
- Hasta que por último se obtiene el bit de paridad longitudinal de todos los bits de paridad vertical, completándose el carácter **BCC** mencionado antes.

Este procedimiento, usado básicamente en las transmisiones asincrónicas, también se conoce por el nombre de **control de suma de bloque** o por su expresión *block sum check* (BSC).

Carácter transmitido con bit de paridad par	0	1101111
	Paridad	Dato
Carácter recibido con doble inversión bit 5 y bit 7 (doble error)	0	1101010
	Paridad	Dato

Ambos caracteres son recibidos con bit de paridad correcto

Fig. 3.45. Carácter con doble inversión de bits.

	Dato 1	Dato 2	Dato 3	Dato 4	Dato 5	
Bit Nº 1	1	1	0	1	0	→ [1]
Bit Nº 2	1	1	0	1	1	→ [0]
Bit Nº 3	1	1	0	1	0	→ [1]
Bit Nº 4	0	0	0	0	1	→ [1]
Bit Nº 5	0	0	0	1	0	→ [1]
Bit Nº 6	1	0	1	1	1	→ [0]
Bit Nº 7	0	0	1	1	0	→ [0]
Bit de paridad vertical	0	1	0	0	1	→ [0]

BCC

Fig. 3.46. Ejemplo de control de paridad longitudinal.

En la Fig. 3.47., se describe cómo este método permite encontrar un error en el tercer bit del cuarto byte transmitido.

En esa figura cada byte está representado por una fila, y los bits de datos están ubicados de izquierda a derecha.

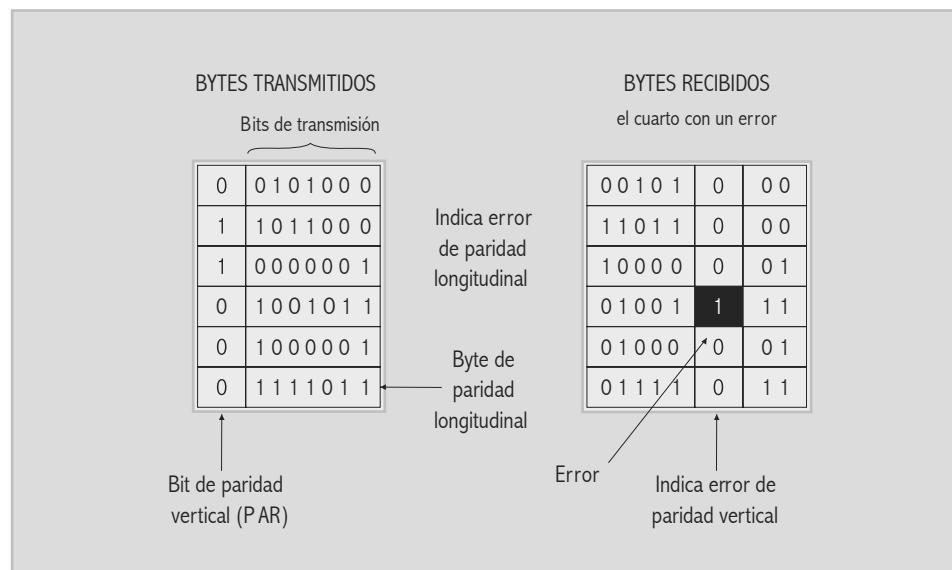
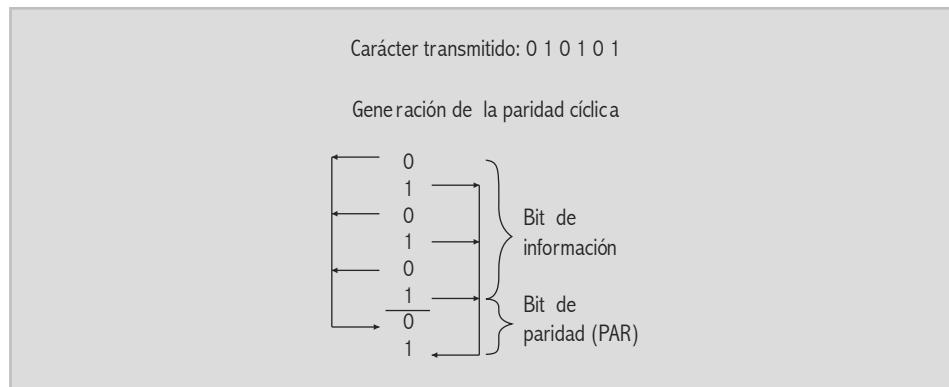
El bit de la izquierda de cada fila es el bit de paridad vertical, y la última fila es el byte de paridad longitudinal, que hemos denominado carácter BCC o block sum check (BSC).

3.10.4.4 Control de paridad entrelazada o cíclica

El método conocido como de **paridad entrelazada o cíclica** es un procedimiento que proporciona un nivel de detección de los errores de calidad superior que la del método conocido como **control de la paridad vertical**, y menor que la del método de **control de la paridad longitudinal**.

Este método requiere dos bits adicionales para el control de la paridad. En la Fig. 3.48. se puede observar una palabra de seis bits de información, y un esquema en el que se indica gráficamente la forma en que trabaja este procedimiento.

El **primer** bit de paridad proporciona la paridad de los bits **primero, tercero y quinto**, mientras que el **segundo** proporciona la paridad de los bits **segundo, cuarto y sexto**.

**Fig. 3.47.** Método de paridad bidimensional.**Fig. 3.48.** Prueba de paridad cíclica.**3.10.5 Detección de errores por adición de información redundante****3.10.5.1 Conceptos generales**

Cuando se deben transmitir datos en las redes de área extensa (WAN) o en las de área local (LAN), para la detección de errores de transmisión, se utilizan esquemas que consisten en adicionar al mensaje o el paquete información redundante que permita determinar si se produjo un error en ese proceso o no.

Los bits que se adicionan al mensaje se denominan redundantes, pues no le agregan información nueva. La determinación de ellos surge de alguna operación que se realiza en el equipo transmisor, según la técnica que se desee utilizar y el grado de certeza que se quiera obtener de la operación de detección.

Para ello, los nodos que transmiten y reciben la información utilizan un determinado algoritmo de cálculo, que deben conocer perfectamente ambos. Este se utilizará para comparar la información que llega al receptor con la que salió de la fuente.

El procedimiento general suele ser el siguiente:

- Conocido el mensaje o paquete a transmitir, el nodo transmisor le aplica el algoritmo definido.
- Como consecuencia de esa operación se genera la información redundante que va a estar compuesta por k bits.
- El transmisor envía la información más los k bits redundantes hacia el receptor.
- El receptor separa la información de los k bits redundantes.
- Aplica el algoritmo al contenido de la información.
- Si los bits redundantes recibidos coinciden con los calculados en el receptor se acepta la información como válida.
- Si no hay coincidencia, esta se rechaza.

Los procedimientos de detección de errores están especificados en los denominados protocolos de funcionamiento de la red. En ellos se describen con precisión la forma en que se tratarán los datos a los efectos de la detección y la corrección de errores.

Los dos procedimientos más utilizados son el denominado **algoritmo de suma** o **checksum**, y el de **control de redundancia cíclica** o **método polinomial**.

3.10.5.2 Detección de errores por el método de suma de verificación (checksum)

Concepto general del procedimiento. La suma de verificación o checksum es una forma de control por redundancia medida muy simple que permite proteger la integridad de datos, verificando que no se hayan corrompido.

Este método se emplea en numerosos protocolos utilizados en redes de área extensa, en especial en los usados en Internet, en particular en la suite conocida como **TCP/IP** (*Transfer Control Protocol/Internet Protocol*). Además, también se emplea para verificar errores en las comunicaciones entre dispositivos, manejar archivos comprimidos y datos almacenados, usar en discos portátiles, etcétera.

Como su nombre lo indica, el procedimiento para generar los bits redundantes se sustenta en algoritmos basados en la utilización de **operaciones de adición binaria**.

Forma de ejecutar el procedimiento. Hay distintas variantes para el cálculo de los bits que se adicionarán al mensaje o paquete. Una forma general que describe el procedimiento sería la siguiente:

- Se procede en el equipo fuente a sumar los bytes adyacentes, o bien se ordenan estos de dos en dos formando palabras de 16 bits.
- Con el resultado obtenido, que serán 8 o 16 bits, se calcula el complemento a 1.
- El valor obtenido se coloca en el campo que el protocolo correspondiente tiene asignado para los bits de verificación.
- Al llegar al equipo colector, se procede de la misma manera y se obtiene de nuevo un conjunto de bits de verificación.
- Si estos coinciden con los recibidos, se considerará que la transmisión se efectuó sin errores y, por lo tanto, se aceptará el paquete o mensaje; caso contrario, se rechazará.

El proceso de complemento a 1 consistirá en convertir todos los unos a ceros; y todos los ceros a unos.

Ejemplo 3-21

Se desea mandar un mensaje compuesto por cinco bytes de 8 bits cada uno. Estos serán los siguientes:

$S_1 = 00100110$	$S_2 = 01100100$	$S_3 = 00100101$	$S_4 = 01000100$	$S_5 = 00100100$
------------------	------------------	------------------	------------------	------------------

Calcular el campo checksum que contendrá los bits de verificación.

$$S_1 + S_2 + S_3 + S_4 + S_5 = \text{Complemento a 1 de [Sum TOTAL]} = \text{checksum}$$

00100110	S_1
01100100	S_2
10001010	$S_1 + S_2$
00100101	S_3
10101111	$S_1 + S_2 + S_3$
01000100	S_4
11110011	$S_1 + S_2 + S_3 + S_4$
00100100	S_5
10010111	$S_1 + S_2 + S_3 + S_4 + S_5$
01101000	Complemento a 1

Campo que se envía conjuntamente con los S_1, S_2, S_3, S_4 y S_5

Luego, el campo de checksum será **01101000**.

3.10.5.3 Detección de errores por el método de control por redundancia cíclica (CRC)

Concepto general del procedimiento. Este método, también conocido como **polinomial**, permite la verificación de todos los bits del mensaje mediante la utilización de un **algoritmo matemático** determinado. Básicamente, consiste en dividir, en el equipo transmisor, el mensaje de información que se quiere enviar por un polinomio conocido en ambos extremos del canal de comunicaciones, denominado **generador**.

Como resultado de esta división en el equipo transmisor se obtendrán dos polinomios denominados **cociente** y **resto**. Este último se transmite con la secuencia de bits sobre la que se quiere efectuar el control de errores. En el receptor se reciben el mensaje a controlar y el polinomio que resultó del **resto** de la división.

En el receptor se procede en idéntica forma que en el transmisor. El mensaje a controlar se divide por el polinomio **generador**, y se obtiene un **nuevo resto**. Por último, se comparan los restos obtenidos en el receptor, con el resto obtenido en el transmisor, que es transmitido junto con el mensaje. Si no hubo errores, **ambos restos deben ser iguales**.

Este método se basa en la detección de errores por medio de operaciones aritméticas con polinomios, mediante la técnica conocida como **módulo 2**.

En ella no hay términos de acarreo para la suma, ni de préstamo para la resta; estas operaciones se conocen como de **or exclusivo**.

Veamos un ejemplo de suma y uno de resta según este método:

Ejemplo de suma:

$$\begin{array}{r} 11101001 \\ + \underline{10011100} \\ \hline 01110101 \end{array}$$

Ejemplo de resta:

$$\begin{array}{r} 11010001 \\ - \underline{10010110} \\ \hline 01000111 \end{array}$$

Por otra parte, un mensaje de tipo 11011011 sería asimilable a un polinomio del tipo:

$$1.X^7 + 1.X^6 + 0.X^5 + 1.X^4 + 1.X^3 + 0.X^2 + 1.X^1 + 1 \quad (3-86)$$

Obsérvese que los términos correspondientes a los bits de valor **cero** se anulan, y que los que corresponden a los bits de valor **uno** toman la forma de X elevada a una potencia, que corresponde a la ubicación del bit dentro de la secuencia a transmitir.

Forma de ejecutar el procedimiento

- Definimos un polinomio $M(x)$ de grado n , a transmitir.
- Definimos un polinomio $G(x)$ de grado r (generador).
- Definimos un polinomio auxiliar del mismo grado que el generador de la forma X^r .
- Debe ser $n \gg r$.
- Se genera un polinomio que contenga $(r+n)$ bits, de la forma: $M(x)X^r$ (recuérdese que $M(x)$ es de grado n).
- Se divide el nuevo polinomio generado de la forma: $M(x)X^r$ por el polinomio generador $G(x)$ (empleando el álgebra de módulo 2).
- De esa división se obtendrá un polinomio resto $R(x)$ (que siempre deberá tener un número de bits igual o menor que r , grado del polinomio resto).
- Por último, se procede a obtener un polinomio que denominaremos $T(x)$, que es el polinomio a transmitir compuesto por: $M(x) + R(x)$.

Este resulta de restar, por el método antes señalado de módulo 2 los bits correspondientes al polinomio $M(x)X^r$, los correspondientes al polinomio resto $R(x)$ (ver ejemplo 3-22, apartado e).

Por lo tanto, los pasos serán:

$$1^{\circ} \frac{X^r M(x)}{G(x)} = C(x) + R(x) \quad (3-87)$$

Donde:

$C(x)$ es el cociente de la división que no tiene utilidad alguna.

$$2^{\circ} T(x) = X^r M(x) + R(x) \quad (3-88)$$

3º Como se puede observar, el polinomio $T(x)$ será siempre divisible por el polinomio generador $G(x)$.

4º Si se introducen errores en la transmisión se recibirá:

$$T(x) = T(x) + E(x) \quad (3-89)$$

Donde $E(x)$ será la componente de error, y entonces el polinomio recibido deja de ser divisible por el polinomio generador, siempre que este último sea bien escogido (por ello, el uso de estos polinomios normalizados). En general resultará muy poco probable que $E(x)$ no sea detectable, como se verá a continuación.

Ejemplo 3-22

Se desea mandar un mensaje compuesto por la siguiente secuencia de bits, **1100000111**. Este se controlará por medio del siguiente polinomio generador:

$$G(x) = X^5 + X^4 + 1$$

Calcular el resto y la secuencia completa que se debería transmitir, para luego poder controlar la presencia de errores en el receptor.

a) Definimos el polinomio $M(x)$ de grado n , a transmitir.

$$1.X^9 + 1.X^8 + 0.X^7 + 0.X^6 + 0.X^5 + 0.X^4 + 0.X^3 + 1.X^2 + 1.X^1 + 1$$

b) Definimos un polinomio $G(x)$ de grado r (generador).

$$G(x) = X^5 + X^4 + 1$$

Para $r = 5$.

c) Definimos un polinomio auxiliar del mismo grado que el generador de la forma **xx**.

$$X^r = X^5$$

d) Formemos un polinomio de la forma: $M(x) X^r$.

$$1.X^{14} + 1.X^{13} + 0.X^{12} + 0.X^{11} + 0.X^{10} + 0.X^9 + 0.X^8 + 1.X^7 + 1.X^6 + 1.X^5$$

e) Efectuemos la división del nuevo polinomio generado de la forma $M(x) X^r$, por el polinomio generador $G(x)$, empleando el **álgebra de módulo 2**.

$$\begin{array}{r} 110000011100000 \mid 11001 \\ \underline{110001} \\ 00000101110 \\ \underline{110001} \\ 0111110 \\ \underline{1100010} \\ 00111100 \\ \underline{110001} \\ 0011010 \end{array}$$

Por lo tanto, el resto resultará: **11010**

La secuencia a transmitir sería la siguiente: **1100000111-11010**

Polinomios generadores. En particular, tres polinomios se convirtieron en normas de uso internacional. En los tres, el término $(x + 1)$ está contenido como factor primo.

⇒ Polinomio **CRC-16**

Un ejemplo de ellos es la norma denominada CRC-16, que se usa para caracteres codificados con 8 bits y cuyo polinomio generador es el siguiente:

$$P(x) = X^{16} + X^{15} + X^2 + 1 \quad (3-90)$$



Por razones didácticas, el resto ha sido separado por un guión de la secuencia original.

Este polinomio generador es capaz de detectar entre otros:

- Errores simples: 100%
- Errores dobles: 100%
- Errores impares (con número impar de bits): 100%
- Errores en ráfagas:
 - 100% (ráfagas menores que 17 bits).
 - 99,997% (ráfagas de hasta 17 bits).
 - 99, 998% (ráfagas mayores que 17 bits).

⇒ Polinomio normalizado por la UIT-T

Sobre la base de pruebas prácticas con diversas opciones, el CCITT normalizó el siguiente polinomio generador.

$$P(x) = X^{16} + X^{12} + X^5 + 1 \quad (3-91)$$

Su rendimiento es igual al anterior.

⇒ Polinomio **CRC-12**

El tercer polinomio es el denominado CRC-12 y está indicado para caracteres codificados con 6 bits. Su forma es la siguiente:

$$P(x) = X^{12} + X^{11} + X^3 + X^2 + X^1 + 1 \quad (3-92)$$

3.11 Corrección de errores

3.11.1 Consideraciones generales

Hasta aquí solo consideramos la **detección de los errores**; sin embargo, a partir de que se verifica su presencia, se puede optar entre **corregirlos o no**.

Otra vez podemos expresar que no tomarlos en cuenta es un enfoque trivial, pero que en muchas oportunidades, por el tipo de información a transmitir y el uso que esta recibirá, no es imprescindible atender a los errores en esa etapa a nivel de la comunicación dado que puede existir otro protocolo de nivel superior que si corrija errores.

3.11.2 Técnicas de corrección de errores

3.11.2.1 Consideraciones generales

En la mayoría de los sistemas teleinformáticos, la corrección de los errores es un hecho casi imprescindible. Hay dos estrategias fundamentales para la corrección de errores:

- Corrección hacia atrás.
- Corrección hacia adelante.

Si bien es casi imposible corregir todos los errores, la mayoría de las técnicas en uso, como se vio en el apartado 3.9.3.3. de este capítulo, llega a valores de corrección del 99,99%.

En las aplicaciones que aceptan que no se corrijan los errores se pueden producir problemas graves en el funcionamiento. Imaginémonos por un momento una aplicación bancaria, y nos daremos cuenta del daño que se podría producir si este tema no se resolviera de manera adecuada. De allí la importancia que reviste este tema en el diseño de cualquier sistema.

3.11.2.2 Corrección hacia atrás

Este método consiste en el uso de sistemas detectores de errores, como los vistos en apartado anterior. En esos casos una vez que el equipo receptor detecta el error, solicita al equipo transmisor la repetición del bloque de datos transmitido, de allí la llamada corrección **hacia atrás**.

Este sistema implica la retransmisión de los datos tantas veces como sea necesario, hasta que se reciban libres de errores. De allí la importancia ya señalada en capítulos anteriores de una buena selección de la velocidad de modulación para el caso de las transmisiones por canales analógicos, usando módems de datos.

Se puede apreciar con claridad que cuando se eligen velocidades muy altas respecto de las que el canal de comunicaciones realmente puede soportar, los errores provocan una pérdida de tiempo mayor que la ganancia que se presumía se iba a obtener.

En otras palabras, se produce la paradoja de que al aumentar la velocidad de modulación, disminuye la velocidad real de transferencia de datos (que es en última instancia la que interesa al administrador del sistema informático).

3.11.2.3 Corrección hacia adelante

Esta técnica, denominada **Forward Error Control** (FEC), se basa en el uso de **códigos autocorrectores** diseñados sobre la base de sistemas de codificación redundante, que corren los errores detectados en la misma estación que recibió el bloque de datos.

Desde ya, estos métodos que hacen innecesaria la retransmisión no son neutros al usuario, pues para posibilitar la corrección en destino, deben enviar un número de bits varias veces superior a los necesarios usando códigos convencionales.

Sin embargo, en muchas aplicaciones es preciso usar este tipo de códigos, porque no resulta posible o conveniente pedir la retransmisión de los datos enviados al equipo terminal de datos receptor, ya sea por razones de seguridad o por necesidades de la misma operación del sistema informático asociado. Como podría ser el caso de un submarino en operaciones, que debería transmitir en una sola oportunidad, con el objeto de evitar que se detecte su posición con equipos radiogoniómetros. En el apartado siguiente, se verán precisamente las características de este tipo de códigos autocorrectores.

3.11.3 Corrección de errores mediante el uso de técnicas especiales de transmisión

3.11.3.1 Retransmisión de los datos erróneos

Diversos dispositivos de las redes de transmisión de datos poseen capacidad para detectar errores, y cuando los detectan, piden su retransmisión inmediata. Este método de detección del error y su retransmisión es la manera menos costosa y más sencilla de reducir errores en la transmisión.

La corrección por retransmisión requiere una tecnología sencilla y poca capacidad de memoria. Una vez detectada la existencia de un error (por intermedio del bit o los bits de paridad, o por el uso de códigos de redundancia cíclica), el método consiste simplemente en pedir la retransmisión del carácter o los grupos de caracteres hacia el receptor.

3.11.3.2 Requerimiento automático de repetición

El **sistema automático de retransmisión**, también conocido como *Automatic Retransmission Request (ARQ)*, solo se utiliza entre dos estaciones. Este sistema se suele denominar **control por medio del eco** o **echo checking**.

Consiste en la transmisión de pequeños bloques de datos, luego de lo cual el sistema espera que la estación receptora le envíe un nuevo requerimiento para la transmisión de un

nuevo bloque de datos. Si el receptor hubiera detectado un error, le solicitará la retransmisión del bloque anterior. Cada bloque tiene 8 caracteres de 7 bits cada uno.

En el caso de detectarse un error, el proceso puede llegar a repetirse hasta un determinado número de veces, en general 32, pasando luego el equipo a la posición reencendido (*restart*).

La mayor ventaja de este método es que prácticamente **garantiza una transmisión de datos libre de errores**, asumiendo que el enlace es posible.

Las desventajas son:

- El enlace es posible solo entre dos estaciones al mismo tiempo.
- El sistema ARQ es más lento que el denominado **corrección de errores hacia adelante (FEC)**, sobre todo cuando existan errores que corregir, y será mucho más lento a medida que se incremente el número de errores.
- La estación receptora debe tener en operación un equipo transmisor, para acusar recibido y solicitar la retransmisión.

Sin embargo, siempre que pueda usarse este método resulta el más efectivo, y, por lo tanto, el de uso más frecuente. En particular, resulta efectivo para la transmisión de bloques de hasta 512 bytes.

3.11.3.3 Corrección de errores hacia adelante

El **sistema de corrección de errores hacia adelante**, también conocido como **forward error correction (FEC)**, se emplea en los casos en que hay más de una estación receptora y no se necesitan réplicas por parte de estas últimas.

Funciona en el modo denominado **división de tiempo** (*time diversity*) y permite que cada mensaje se envíe dos veces, intercalando los caracteres en diferentes instantes. En consecuencia, la estación receptora tiene dos oportunidades de recibir cada carácter en forma correcta.

Este procedimiento agrega la redundancia suficiente, tal que pueda permitir que el receptor detecte la presencia de un error, además de ubicar la posición del bit donde este se ha cometido. Para realizar esta última operación, la cantidad de bits que es necesario adicionar es mucho mayor que la que se necesitaría para detectar solo la presencia de errores.

Por ejemplo, si se desean enviar los caracteres indicados en la Fig. 3.49., del 1 al 9, el transmisor enviará el mensaje tal como se indica en la figura. La estación receptora examinará primero la **serie D_x** y luego la **serie R_x**.

Para un mismo carácter pueden suceder los casos indicados en la Fig. 3.50.

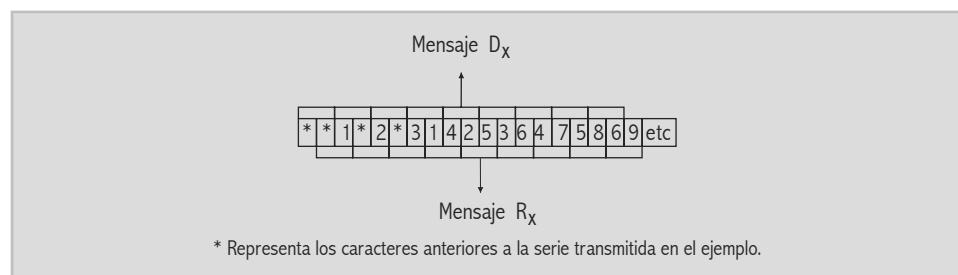


Fig. 3.49. Transmisión FEC.

OPERACIÓN DEL FEC		OPERACIÓN DEL FEC
Serie D _X	Serie R _X	
Sin error	Sin error	Se ordena imprimir el carácter
Con error	Sin error	Se ordena imprimir el carácter de la serie R _X
Sin error	Con error	Se ordena imprimir el carácter de la serie D _X
Con error	Con error	Se ordena imprimir el carácter especial que indica error en la recepción

Fig. 3.50. Posibles operaciones del FEC.

Las ventajas del **sistema FEC** con respecto al **ARQ** son las siguientes:

- Se pueden transmitir mensajes a varias estaciones receptoras.

Este método se conoce en telecomunicaciones como transmisión por difusión (*transmission broadcasting*). Es muy similar al que se emplea en las redes de área local que trabajan con la norma 802.3 de la IEEE, más conocida como **Ethernet**.

No obstante, existe una variedad del **sistema de corrección de errores hacia adelante** denominada SEL/FEC, por medio de la cual la estación transmisora emite el código correspondiente solo a determinadas estaciones receptoras. Estas en consecuencia serán las únicas habilitadas para recibir el mensaje.

- No requiere el empleo de transmisores en las estaciones receptoras.
- Menor tiempo de transmisión.

Este método se usa en ciertas aplicaciones especiales, como en el caso de canales unidireccionales sin retorno, o en enlaces satelitales, que como presentan un tiempo de retardo de las señales muy prolongado, se procede a transmitir muchos mensajes en una sola dirección.

En este último caso también se usa un método combinado ARQ/FEC, de manera de recibir una confirmación de lo transmitido en sentido inverso al cabo de cierto número de mensajes.

3.11.4 Corrección de errores mediante el empleo de códigos autocorrectores

3.11.4.1 Introducción

Los métodos de corrección de errores mediante el empleo de autocorrección se basan en códigos con suficiente redundancia, de forma que una vez que se detecta el error, se lo puede corregir sin necesidad de proceder a la retransmisión correspondiente.

La redundancia se extiende desde unos pocos bits hasta llegar en algunos casos al doble o aun a una cantidad mucho mayor de los necesarios para transmitir un carácter.

Estos métodos no son sencillos y los hay de distintos tipos; los más conocidos son los códigos de **Hamming**, **Hagelbarger** y **Bose-Chaudhuri**, entre los más conocidos.

Para interpretar el funcionamiento de estos códigos, también llamados **códigos de acción progresiva**, primero debemos analizar el concepto denominado **distanzia de Hamming**.



La corrección de errores en los protocolos y redes comerciales actuales se efectúa por retransmisión del "paquete" dañado por un error.

3.11.4.2 Distancia de Hamming

Se define como distancia de Hamming al número de bits en que difieren dos secuencias binarias S_1 y S_2 de la misma longitud.

Sea por ejemplo la secuencia S_1 , que corresponde a la letra **B** en el alfabeto internacional N ° 5 de la UIT-T, y otras secuencias S_2, S_3, S_4 y S_5 correspondientes a otras letras del mismo alfabeto. Si comparamos **bit a bit** de igual peso, la primera de las secuencias con las restantes, la distancia de Hamming estará dada por la cantidad de bits en que difieren uno a uno, los respectivos conjuntos.

En la Fig. 3.51. se muestra el ejemplo antes descripto. Se ha tomado a los efectos de la comparación y el cálculo de la **distancia de Hamming** al conjunto S_1 , y esta se ha determinado respecto de los otros conjuntos allí explicitados. Se puede observar que en estos ejemplos la distancia de Hamming varía de 1 a 4.

Conjunto	Representa	Secuencia binaria	Distancia de Hamming
S_1	B	0100001	---
S_2	C	1100001	1
S_3	D	0010001	2
S_4	E	1010001	3
S_5	U	1010101	4

Fig. 3.51. Distancias de Hamming tomadas para la secuencia correspondiente al símbolo "B".

Tabla 3.5 Representación en bits de la numeración octal

Decimal	3 bits
0	000
1	001
2	010
3	011
4	100
5	101
6	110
7	111

Esta se relaciona con la probabilidad de error. En efecto, cuanto mayor sea la distancia mínima entre los símbolos de un código dado, menor será la probabilidad de cometer errores. Sin embargo, aumentar la distancia de Hamming significa codificar menos símbolos con igual número de bits.

En otras palabras, al aumentar la redundancia se logra disminuir la probabilidad de cometer errores.

Para demostrar este concepto, usaremos el denominado **ejemplo del cubo**. Si consideramos los ocho vértices de un cubo, se podría asignar a cada uno de ellos un conjunto de tres bits diferentes entre sí, que estarán en correspondencia con los nuevos decimales 0, 1, 2, ..., 6 y 7.

Supongamos que ese código es del tipo numérico, y al efecto de representar los símbolos que corresponden al alfabeto fuente usamos un sistema numérico de base octal, como se puede observar en la Fig. 3.52.

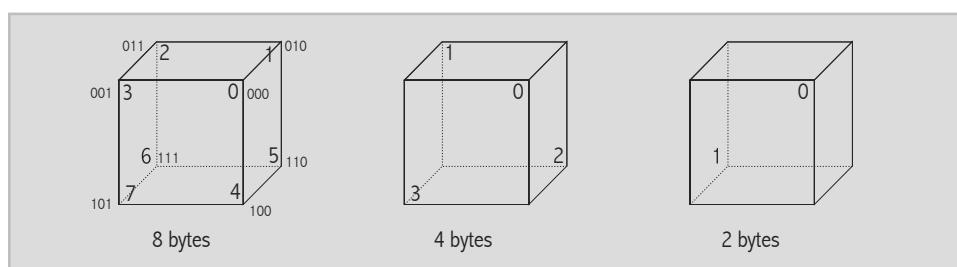


Fig. 3.52. Modelo geométrico del cubo.

En el cubo de la izquierda a cada vértice le corresponde un byte distinto, que se diferencia de los adyacentes en un solo dígito. Por esa razón indicaremos que la **distancia de Hamming** en este caso es igual a uno, $H = 1$.

Para este valor de Distancia de Hamming no es posible detectar ni corregir error alguno, pues al verificar la alteración de un bit, el nuevo conjunto así obtenido corresponde a otro símbolo del alfabeto código que hemos establecido.

Si ahora consideramos el cubo central, con solo 4 bytes que representan a otros tantos elementos de un alfabeto fuente, y una distancia de Hamming igual a dos, $H = 2$, este permitirá detectar la presencia de un bit erróneo, pero no corregirlo.

En efecto, al alterarse un solo bit, la combinación alterada no corresponde a símbolo alguno. Luego, permite deducir que se cometió un error.

Obsérvese que para que esto sea posible, los vértices adyacentes a las representaciones válidas están libres de símbolos. Esta situación es la que se produce cuando se usa un bit de paridad, que permite detectar un error pero no corregirlo.

Si finalmente consideramos el cubo situado más a la derecha, con solo 2 Bytes que representan a otros tantos elementos de un alfabeto fuente, y una distancia de Hamming igual a tres, $H = 3$, este permitirá detectar la presencia de hasta dos bits erróneos, y corregir hasta un bit con error.

En este caso no solo pudimos detectar el o los dos errores, sino, además, hasta corregir uno de ellos; pues si se supiera que hay un solo bit equivocado, podremos determinar el byte con error, y luego efectuar la corrección correspondiente.

Este ejemplo simple nos permite inferir que la capacidad de detección y corrección de errores es función al valor de \mathbf{H} "; valor este que hemos denominado distancia de Hamming.

En la Fig. 3.53. se indica la relación entre el valor de \mathbf{H} y la capacidad de detección y corrección de errores.

Distancia de Hamming	Errores	
	Corrección	Corrección
1	no	no
2	uno	no
3	dos	uno
4	tres	uno

Fig. 3.53. Detección y corrección de errores en función del valor de H.

3.11.4.3 Código de Hamming

Este código autocorrector permite detectar y corregir errores mediante el empleo de bits de paridad con determinadas combinaciones únicas de bits de información.

Para demostrar la formación de una estructura que utiliza este código, emplearemos un carácter de 4 bits I_3, I_5, I_6 e I_7 de información, e intercalaremos 3 bits de verificación de paridad P_1, P_2 y P_4 .

El **carácter resultante** de siete bits será el indicado en la Fig. 3.54. La relación entre los bits de información y de paridad están señalados en la Fig. 3.55.

Bits de información			I_3		I_5	I_6	I_7
Bits de paridad	P_1	P_2		P_4			
Caracter resultante	P_1	P_2	I_3	P_4	I_5	I_6	I_7

Fig. 3.54. Formación del Código Hamming para un carácter de 4 bit.

Bits de paridad	Bits de información		
P_1	I_3	I_5	I_7
P_2	I_3	I_6	I_7
P_4	I_5	I_6	I_7

Fig. 3.55. Bits de información y paridad. Relación entre ambos.

Si el carácter de 4 bits de información a transmitir es, por ejemplo, **0 0 1 1**, en la Fig. 3.56. se calcula el código de Hamming equivalente al carácter original. Supongamos que se produce durante la transmisión un error en el **bit I_6** , que en lugar de ser 1 se recibe un 0.

Carácter original	I_3	I_5	I_6	I_7			
	0	0	1	1			
Cálculo de bits de paridad (PAR)	Bits de información asociados			Bits de paridad (PAR)			
P_1	0	1	1	1			
P_2	0	1	1	0			
P_4	0	1	1	0			
Código de Hamming formado	P_1	P_2	I_3	I_4	I_5	I_6	I_7
	1	0	0	0	0	1	1

Fig. 3.56. Ejemplo de aplicaciones del Código Hamming.

Bits de verificación indicadores de uno de paridad				Posición numérica del bit erróneo
P ₄	P ₂	P ₁		
0	0	0		Ninguno
0	0	1		P ₁
0	1	0		P ₂
0	1	1		P ₃
1	0	0		P ₄
1	0	1		P ₅
1	1	0		P ₆
1	1	1		P ₇

Indica error de paridad en P₄ y P₂ debido a que el bit de información 16 recibido es incorrecto.

Nota: cada "1" de la tabla significa que el bit de paridad o verificación indica un error de paridad. No es el valor real del bit de verificación.

Fig. 3.57. Modelo geométrico del cubo.

Dado que este bit es verificado por los **bits P₂ y P₄**, ambos tendrán paridad impar en sus respectivas combinaciones, con lo cual queda identificado el bit erróneo recibido, que será **I₆**.

En la Fig. 3.57. se puede observar una tabla en la que se dispusieron los bits de paridad en forma adecuada. Los que tienen paridad impar forman un número binario que indica de manera única la posición del bit erróneo. En nuestro ejemplo esa combinación es **1 1 0**, y corresponde al bit **I₆**.

Este código tiene una distancia de Hamming de $H = 3$, lo que le permite detectar y corregir el error en un solo bit. Para corregir el error, en el receptor se invierte simplemente el valor del bit incorrecto recibido.

3.11.4.4. Código de Hagelbarger

Este código permite corregir hasta 6 bits consecutivos, mientras que el código de Hamming corrige en un bloque de determinadas dimensiones solo un bit. El **código Hagelbarger** exige que al grupo de errores le sucedan **por lo menos 19 bits válidos** antes de comenzar otra serie de bits erróneos.

En la Fig. 3.58., se describe un **codificador Hagelbarger**. Se puede observar que los bits entran en un registro de desplazamiento serie.

Por otro lado, el **bit I₁** y el **bit I₄** de ese registro son examinados por un generador de bits de paridad par. En consecuencia, con cada pulso de reloj en la línea de transmisión se obtendrán alternativamente un bit de información, proveniente del registro de desplazamiento, seguido de un bit de paridad originado en el generador mencionado.

El reloj efectúa las tareas de sincronismo necesarias para el funcionamiento del codificador. Con cada pulso del reloj se desplazan una posición los bits del registro de desplazamiento, se produce un bit de paridad en el generador y la llave electrónica comuta su posición de 1 a 2 o de 2 a 1.

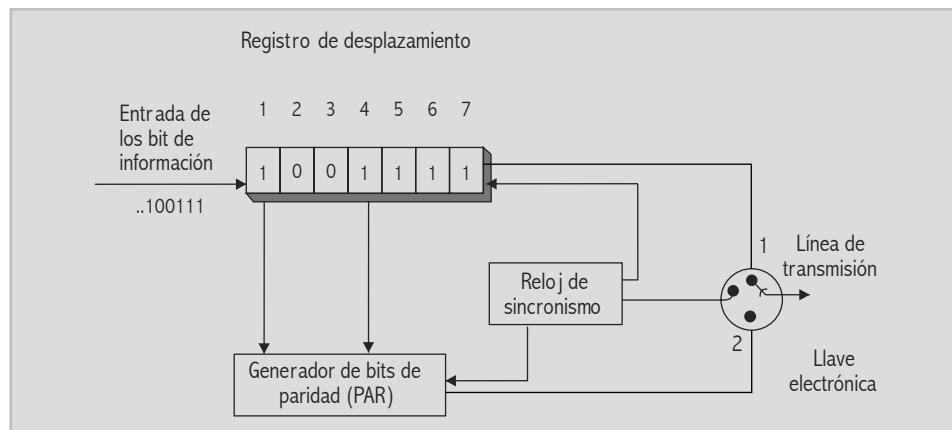


Fig. 3.58. Codificador Hagelberger.

3.11.4.5 Código de Bose-Chaudhuri

El **código de Bose-Chaudhuri** tiene una distancia de $H = 5$; en consecuencia puede detectar hasta cuatro errores, y corregir hasta dos bits.

Existen varias versiones del código, pero la primitiva preveía la introducción de 10 bits adicionales por cada 21 bits de información transmitida.

3.11.5 Influencia de la tasa de error en el diseño de un sistema de transmisión de datos

La presencia de errores en el diseño de todo sistema de transmisión de datos no puede omitirse nunca.

Es por ello que cuando una organización diseña o implanta un sistema determinado con su tecnología asociada correspondiente, deben tenerse presentes los aspectos que siguen:

- ¿Cuál es la tasa de error, tanto para las comunicaciones locales como para las remotas?
- ¿Cuáles serán los medios para recuperar la información afectada por errores?
- ¿Cuál es la cantidad de información a transmitir por unidad de tiempo; que se corresponde con el concepto definido como **velocidad real de transferencia de datos**? (ver capítulo 3, apartado 3.2.1.6).
- ¿Cuál es la velocidad de transmisión necesaria para satisfacer los requerimientos del sistema?

Sobre la base de ello, se deberá determinar:

- El ancho de banda del canal que será necesario usar.
- El tipo de control de errores que se requiere.
- Los medios de comunicaciones, y elementos técnicos, que podrán cumplir con esos requerimientos.

$$S_{Rx} = Pt_x - Atenuación + Ganancia$$



Téngase presente que la tasa de error suele ser menor en las comunicaciones locales y aumenta para las remotas.

3.12 Resumen

En este capítulo se presentaron los elementos principales sobre la transmisión de la información y se realizó una introducción a las redes de telecomunicaciones y a la estructura general de una red de telecomunicaciones junto con otras definiciones vinculadas a la comunicación y la teleinformática.

También, se definieron las diferentes medidas de la velocidad en la transmisión de información y se analizaron las características de un enlace de datos. Luego, se desarrolló el concepto de canales de comunicaciones diferenciando entre: físico, de información, ideal o real y analógicos o digitales, y otras particularidades.

Además, se destacaron la capacidad de un canal, la velocidad máxima de transmisión aplicando el Teorema de Nyquist o Shannon-Hartley y los aspectos generales del ruido y distorsión.

Por último, se presentaron los tipos de errores en el proceso de transmisión de datos y, asimismo, las consideraciones frecuentes para la corrección de los errores que sea necesaria, a través de técnicas generales y especiales de transmisión.

3.13 Ejercicios propuestos

1. Representar gráficamente la señal de transmisión típica del servicio télex, sabiendo que la velocidad de modulación $V_m = 50$ baudios. Hallar el ancho de pulso y el tiempo de transmisión de un carácter.
2. Con los datos del ejercicio anterior, calcular la cantidad de caracteres que se transmiten durante dos minutos si se supone que estos se envían sin tiempo muerto, es decir, uno a continuación del otro.
3. Indicar en qué condiciones la velocidad de modulación es igual a la velocidad de transmisión.
4. En un canal se desea calcular la velocidad de transmisión, para el caso de utilizar tribits y tener pulsos de ancho $\sigma = 416,66$ ms.
5. Para un sistema que transmite a 2.400 baudios se quiere aumentar la velocidad a 7.200 bps. Indicar cómo se logra y cuál es el ancho de pulso resultante.
6. Calcular el tiempo total de transmisión de 1.000 caracteres enviados uno a continuación de otro en un sistema de transmisión asincrónica de 75 baudios. El código utilizado es el Seudobaudot.
7. Calcular la relación señal a ruido para los siguientes casos de distintos anchos de banda y capacidades de los canales:

$\Delta f = 3.000$ Hz
 $C = 10.000$ bps
 $\Delta f = 10.000$ Hz
 $C = 10.000$ bps
 $\Delta f = 1$ kHz
 $C = 10$ Kbps

Luego de obtener los resultados, indicar:

a) ¿Cómo varía la relación señal/ruido en función del ancho de banda?

b) Teniendo en cuenta que en un canal telefónico el valor de la relación señal/ruido típico es de 30 dB, ¿cuál es el límite superior de la tasa de transmisión de datos confiable?

c) ¿Cuál sería la capacidad de estos canales si fuesen ideales?

8. Calcular la máxima velocidad de transmisión en bps de un canal telefónico e indicar qué tipo de módem alcanza esa velocidad.

$$f = 3.000 \text{ Hz}$$

$$S/N = 30 \text{ dB}$$

9. Calcular la potencia del ruido de Johnson, llamado también ruido térmico, presente en una señal que atraviesa un conductor sometido a la temperatura ambiente de 20° C, cuyo ancho de banda Δf es igual a 3 kHz. La expresión de cálculo a aplicar es: $P = KT \Delta f$; donde:

$$K = 1,38 \cdot 10^{-23} \text{ Joule/Kelvin.}$$

T = Temperatura absoluta.

Δf = Ancho de banda.

10. Sea un amplificador con factor de ruido $F = 2$ y ganancia $G = 10$. Si la potencia de ruido a la entrada corresponde al ruido térmico calculado para una señal de ancho de banda de 4.000 Hz a temperatura ambiente, ¿cuál es la ganancia del amplificador?

11. En la entrada de un amplificador cuyo $F = 5$ está presente una relación $S/N = 30$ dB. ¿Cuál será la relación S/N de la señal de salida en dB? ¿Cuál es la ganancia del amplificador?

12. Cuando se consideran varias etapas amplificadoras, el factor de ruido total se calcula en función de los factores de ruido de cada una de las etapas, consideradas cada una de ellas en forma individual por medio de la expresión: ¿?

13. Si se tiene un amplificador de dos etapas, tal que la etapa A tiene los siguientes valores: $F_a = 2$ y $G_a = 10$; y la etapa B los siguientes valores: $F_b = 3$ y $G_b = 100$, ¿cuál de estas etapas debe ser la primera para tener un factor de ruido F menor? ¿Qué conclusiones saca?

14. Dada una línea telefónica con los siguientes parámetros distribuidos:

$$C = 0,058 \text{ mF/km}.$$

$$L = \text{mH/km}.$$

¿A qué frecuencia la impedancia es resistiva?

15. En una red de transmisión de datos, se reciben 20 bytes erróneos en 200.000 bytes totales, ¿cuál es la tasa de errores BER?

16. Dado el siguiente conjunto de bits a transmitir 1 0 1 1 0 1 0 1 1 0 1, y teniendo como polinomio generador $G(x) = x^4 + x + 1$, aplicar el método para el control de errores denominado CRC y determinar la información que debería transmitirse.

17. Efectuar el mismo cálculo para el siguiente conjunto de bits 1 0 1 1 0 0 0 1 1 1 0 0 0 1 y el siguiente polinomio generador: $G(x) = x^{12} + x^{11} + x^3 + x^2 + x + 1$.

18. Hallar la relación existente entre las siguientes unidades de medida de la cantidad de información: Nat, Hartley y Shannon.

19. Calcular la información entregada por una letra entre 32 equiprobables.

20. Dado un tren de pulsos correspondientes a la secuencia 1010100000, calcular la información suministrada con la aparición de un uno o de un cero.

21. Dados 3 mensajes con la siguiente probabilidad de que se produzcan:

$$p_1 = 20\%$$

$$p_2 = 50\%$$

$$p_3 = 30\%$$

Calcular la cantidad de información suministrada por cada uno de ellos; dar la respuesta en Nat y en Shannon. Calcular la información media por mensaje de esta fuente.

22. Se tiene un alfabeto de 64 símbolos diferentes y equiprobables, y se desea transmitir un mensaje.

Calcular:

- a) La probabilidad de que se presente un símbolo.
- b) La cantidad de información obtenida con la recepción de ese símbolo.
- c) La cantidad de información de una palabra formada por 6 símbolos.

23. Calcular la cantidad de información necesaria para especificar una carta determinada de un mazo de 40 cartas españolas.

24. Suponiendo una fuente de símbolos A B C E F, donde cada uno tiene asociado la probabilidad siguiente:

$$A = 1/4$$

$$B = 1/4$$

$$C = 1/8$$

$$E = 1/4$$

$$F = 1/8$$

Calcular la información suministrada con el mensaje: CAFÉ.

25. Si se tira una moneda a cara o cruz, calcular la información asociada y determinar la información en el caso de que salgan 5 caras seguidas. Comparar ambos resultados.

26. Suponiendo una imagen de 600 líneas horizontales y 300 puntos discretos por línea, donde cada punto tiene 8 niveles equiprobables de brillo y un vocabulario de 100.000 palabras equiprobables, demostrar el proverbio que dice que una imagen vale más que mil palabras.

27. Se tiene una fuente binaria con igual probabilidad de presentación. Calcular la entropía H y representar gráficamente la curva correspondiente que la relaciona con la probabilidad de que se produzca cada símbolo.

28. Calcular la tasa de información T [bps] de una fuente telegráfica sabiendo que:

$$\text{P punto} = 2/3 \quad \text{P raya} = 1/3$$

$$\text{T punto} = 0,2 \text{ s} \quad \text{T raya} = 0,4 \text{ s}$$

29. Se transmite una imagen de 250 líneas horizontales y 150 puntos por línea. Si cada punto tiene 64 niveles equiprobables de brillo, calcular la información de la imagen y el tiempo total de transmisión si se utiliza un canal que permite enviar información a razón de 1.000 Shannon/s.

30. El idioma inglés tiene 27 símbolos (26 letras más un espacio). Calcular la entropía de una fuente H [bits/símbolo] de memoria nula para los siguientes casos:

a) Todos los símbolos son equiprobables.

b) Cada símbolo tiene probabilidad p diferente. (Véase la hoja con las estadísticas del idioma inglés).

31. Calcular la cantidad de palabras que es necesario pronunciar para transmitir la misma cantidad de información que contiene una imagen que posee 400 líneas horizontales y 500 puntos por línea. A cada punto se le asocian 16 niveles discretos equiprobables de brillo. Para describir esa imagen supondremos un vocabulario de 100.000 palabras equiprobables.

32. Una imagen de TV tiene 625 líneas con 500 puntos por línea. Cada punto tiene 128 niveles equiprobables de brillo. Se transmiten 25 imágenes por segundo. Calcular la cantidad de información transmitida en la unidad de tiempo.

33. Decodificar las siguientes transmisiones asincrónicas de secuencias de bits en alfabeto internacional N° 5 (versión internacional de referencia) con autoverificación por paridad par

y 2 bits de parada. La dirección de transmisión, que se debe tener en cuenta para la consideración del peso de cada bit, se representa con una flecha.

a) 1^a secuencia: β 0101010110001010111100111001011

b) 2^a secuencia: β 00100101111010100110110001000111
100010011111

3.14 Temas a desarrollar por el lector

1. Buscar métodos que permitan, por hardware y software, la conversión entre los códigos ASCII a PC-8 y al revés. Genere usted un ejemplo concreto.

2. Estudie y saque conclusiones sobre los códigos que utilizan con mayor frecuencia las computadoras personales, los routers y algunas de las grandes computadoras (HOST).

3. Averigüe los distintos códigos que usan los equipos terminales que se emplean en las operaciones de las redes públicas de datos en su país, con protocolos como el X.25 de la UIT-T y otros como la red télex. Saque conclusiones.

4. Obtenga una expresión para el cálculo de la capacidad de detección y corrección de errores, empleando la distancia de Hamming mínima de un alfabeto código.

5. Construya la tabla de verdad de la compuerta digital OR-EXCLUSIVA, que se emplea en el hardware para la implementación de método de control de redundancia cíclica (CRC). ¿En qué otros sistemas digitales se aplica?

3.15 Contenido de la página Web de apoyo

El material marcado con asterisco (*) solo está disponible para docentes.



3.15.1 Mapa conceptual del capítulo

3.15.2 Videotutorial: Capacidad de un canal

3.15.3 Autoevaluación

3.15.4 Presentaciones*

3.15.5 Ejercicios resueltos

4

Redes de telecomunicaciones

Contenido

4.1 Introducción	230
4.2 Topología de las redes de telecomunicaciones.....	234
4.3 Arquitecturas de comunicaciones.....	247
4.4 Funciones ejecutadas por las redes de telecomunicaciones.....	258
4.5 La red telefónica conmutada	269
4.6 Características de la voz	277
4.7 Función conmutación en la red telefónica.....	286
4.8 Equipos terminales conectados a la red telefónica.....	294
4.9 Distintos usos de la red telefónica	298
4.10 Circuitos de dos y de cuatro hilos	303
4.11 Señalización en la red telefónica.....	305
4.12 Red Inteligente.....	316
4.13 Redes privadas virtuales	321
4.14 Ingeniería de tráfico	322
4.15 Resumen.....	330
4.16 Ejercicios propuestos.....	331
4.17 Temas a desarrollar por el lector	332
4.18 Contenido de la página Web de apoyo	332

Objetivos

- Conocer los aspectos generales de la topología de las redes de comunicaciones.
- Entender la arquitectura de las comunicaciones.
- Analizar las funciones ejecutadas por las redes de telecomunicaciones.
- Conocer las características de la red de telefonía conmutada y de la voz.
- Describir los equipos terminales conectados a la red telefónica y los circuitos de dos y cuatro hilos.
- Reconocer los distintos usos de la red telefónica.
- Conocer los aspectos principales de la señalización en la red telefónica, la red inteligente, las redes privadas virtuales y la ingeniería de tráfico.

4.1 Introducción

4.1.1 Aspectos generales

Bajo la denominación de redes de telecomunicaciones se agrupa a la totalidad de los elementos de hardware y software que permiten conformar distintos tipos de redes de comunicaciones con el objeto de intercambiar información entre dos puntos geográficos remotos utilizando diversas tecnologías.

En la actualidad, casi todas ellas están digitalizadas por lo que podríamos decir, en términos absolutos, que lo que se está intercambiando son bits con independencia del contenido de información que los mismos transportan.

Inicialmente, la necesidad de transmitir la voz a través de redes de telecomunicaciones hizo que se pensara solamente en la prestación del servicio telefónico, y para ello lo más conveniente fue la construcción de redes analógicas, ya que la voz es un fenómeno de este tipo.

Por otra parte, en la época en que estas redes se construyeron, la tecnología no hubiera permitido la implementación de otro tipo de redes, precisamente por la ausencia del computador, factor fundamental de cualquier red digital.

Hoy esta situación ha variado y pueden señalarse los siguientes aspectos para ser tenidos en cuenta respecto a las redes de telecomunicaciones:

- Cualquiera sea su tecnología o su finalidad son totalmente digitales.
- Las razones que han llevado a la digitalización de las redes han sido adoptadas sobre la base de estudios y consideraciones de la ingeniería de comunicaciones y las principales son:
 - Simplicidad, robustez y bajo costo del diseño y fabricación del hardware con tecnología digital.
 - Las características señaladas se refieren tanto a los equipos terminales, como a los equipos de transmisión, conmutación o a cualquier otro que sea necesario para la construcción de una red.
 - Facilidad de mantenimiento.
 - Cambia el concepto de reparar por el de reemplazar cualquier módulo que se halle defectuoso.
 - Posibilidad de regenerar las señales digitales, en comparación con las analógicas que pueden ser amplificadas solamente.
 - Posibilidad de ajustar la calidad del servicio.
 - Posibilidad de integrar todos los servicios (voz, datos, textos, imágenes, video, alarmas, etc.) en la misma red.
- El crecimiento de las comunicaciones digitales se ha intensificado debido, en gran parte, a las aplicaciones derivadas del procesamiento y la transmisión de datos.
- Cualquiera sea el contenido de la información, la misma es susceptible de digitalizarla y transformarla en un conjunto de bits. Tanto la voz, los datos, los textos, las imágenes fijas o en movimiento, las alarmas o cualquier otro servicio de comunicaciones podrá ser manejado en forma digital.

Actualmente, una nueva y amplia gama de requerimientos de comunicaciones y las posibilidades derivadas de la introducción de nuevas tecnologías han hecho posible que se piense en Redes de Telecomunicaciones digitales que funcionen a altas velocidades.

Estas redes prestan muchos servicios, entre los cuales se pueden señalar:

- Telefonía (fija y móvil).
- Transmisión de datos.
- Correo electrónico (vocal y escrito).

- Fаксимил.
- Almacenamiento y retransmisión de mensajes.
- Televisión (con distintos grados de definición).
- Alarmas.
- Telemedición.
- Teletrabajo.
- Telecontrol.

Los viejos servicios, como la telefonía, han sido además potenciados por la digitalización. Estos son los denominados, genéricamente, hiperservicios y en otros casos, más exactamente, VAS (*Valued Added Services*, Servicios de Valor Agregado). Muchos de ellos eran imposibles de prestar con las tecnologías analógicas anteriores.

4.1.2 Clasificaciones de las redes según su modo de administrarlas

Las redes de telecomunicaciones se pueden clasificar de acuerdo con su modo de administración en redes públicas y redes privadas:

Una red de telecomunicaciones tiene carácter público cuando las solicitudes de servicio o los requerimientos necesarios para ser usuario de la misma, no tienen otra restricción más que las disponibilidades de los medios técnicos.

Muchas veces son confundidas las características del operador con lo que se denomina la correspondencia de la red. El operador puede ser el Estado o un privado, solo basta que la red no tenga restricción para que un usuario sea parte de ella; de esta manera, se puede decir que es de correspondencia pública.

La tendencia actual está orientada a que los operadores de estas redes públicas, y de los servicios de telecomunicaciones en general, sean empresas privadas.

Las redes privadas corresponden a otro concepto diferente:

Una red de telecomunicaciones tiene carácter privado cuando es operada para un fin determinado y sus usuarios pertenecen a una o varias corporaciones que tienen intereses específicos en la misma.

Las redes privadas de telecomunicaciones se organizan para determinados fines, entre los cuales se pueden destacar:

- **Redes para aplicaciones específicas.**

Son aquellas que se utilizan para resolver una problemática concreta, que puede involucrar a una o a varias organizaciones o empresas. Un ejemplo de ellas son las redes de reserva de pasajes aéreos de una o varias compañías, que actúan en conjunto.

- **Redes de empresas u organizaciones.**

Son aquellas que, como su nombre lo indica, responden a las necesidades de una organización o empresa, interconectando sus instalaciones y brindando un servicio dedicado y orientado a las aplicaciones que les resultan comunes. Por ejemplo, la Red de la Universidad de Buenos Aires, la Red del Colegio de Escribanos de la Provincia de Buenos Aires, etc.

- **Redes multiorganizativas.**

Son aquellas que, a diferencia de las anteriores, responden a las necesidades de una aplicación común a varias empresas o a un determinado conjunto de intereses comunes. Ejemplos de estos casos son las redes de cajeros automáticos de varios bancos

diferentes o las redes orientadas a conjuntos específicos, como pueden ser aquellos que tienen intereses comunes con la administración de justicia (redes jurídicas).

- **Redes para usos militares.**

Son aquellas diseñadas para uso exclusivo de las Fuerzas Armadas. En estos casos, los métodos, los procedimientos de operación, los sistemas criptográficos y de seguridad están orientados a mantener el secreto de las operaciones y del contenido de la comunicación.

4.1.3 Clasificación de las redes telefónicas públicas

Las redes telefónicas públicas son operadas en cada país por una o varias administraciones técnicas especializadas, de propiedad estatal, privada o mixta, por medio de concesiones otorgadas por las leyes locales que reglamentan dicho servicio.

Se las clasifica según su área de cubrimiento geográfico. Esta razón está vinculada normalmente a la topología en que la red está diseñada y, en muchos casos, también está relacionada con la forma en que se aplican las tarifas que las regulan.

- **Redes urbanas.**

Son aquellas que cubren las necesidades geográficas de un pueblo, una ciudad o un área densamente poblada. Pueden incluir a varias ciudades. Se caracterizan por tener una tarifa única para toda el área, sin importar la ubicación de los usuarios (distancia geográfica); su única condición es que ellos estén dentro del área considerada.

- **Redes interurbanas.**

Son aquellas que enlazan a dos o más ciudades o áreas urbanas diferentes. Actualmente existe la tendencia de que las tarifas deben ser planas, en cuanto a la distancia y al tiempo de la comunicación. Sin embargo, el servicio telefónico interurbano aún se tarifa en muchos países, en función de la distancia existente entre los usuarios intercomunicados y el tiempo que dura la comunicación; de esta manera hay, en muchos casos, más de una tarifa.

- **Redes internacionales.**

Son aquellas que interconectan a usuarios ubicados en países diferentes. Los vínculos que enlazan a las redes de cada país son mayoritariamente enlaces satelitales o cables submarinos de fibra óptica. En los enlaces denominados fronterizos (que unen dos países que tienen fronteras comunes), es frecuente el uso de otros medios más simples, tales como sistemas de microondas digitales o la directa unión de las redes de cables. Estas redes tienen como principios de tarificación acuerdos entre las administraciones de los distintos países, basados en los medios técnicos usados y en las conveniencias comerciales de cada uno de ellos.



Es interesante destacar que las comunicaciones internacionales entre los países latinoamericanos suelen tener tarifas muy superiores a las que cada uno de ellos tiene con muchos de los países desarrollados. De allí, que se pueda pensar que la unión entre ellos, en muchos casos, es más declarativa que explícita.

4.1.4 Clasificación de las redes de computadoras

Estas redes se pueden clasificar según el tipo de estándar adoptado, por las tecnologías usadas y por el área geográfica que pueden cubrir.

- **LAN (Local Area Network, Redes de Área Local).**

Son aquellas diseñadas para cubrir las necesidades de un área geográfica reducida, generalmente un edificio o un conjunto de ellos próximos entre sí. Ejemplos de este tipo de redes son los campus educativos, empresas o plantas industriales. Están construidas y operadas por las mismas empresas u organizaciones a las que prestan sus

servicios. Se instalan para satisfacer sus necesidades internas. Utilizan estándares desarrollados por la IEEE o por algunos otros propietarios.

Cuando una organización desea interconectar dos o más redes de este tipo, situadas en lugares geográficamente distantes, debe recurrir al uso de otras tecnologías disponibles. Son las utilizadas por las Redes de Área Extendida. En ese caso, los servicios para posibilitar la conectividad obligan a recurrir a redes públicas de comunicaciones, que alquilan los enlaces necesarios

- **MAN (Metropolitan Area Network, Redes de Área Metropolitana).**

Son aquellas diseñadas para cubrir las necesidades de una ciudad, o un grupo de ellas, en una extensión geográfica cuyo perímetro es de cien kilómetros de radio y cuya finalidad es unir equipos terminales a velocidades similares a las que se pueden obtener en una Red de área local - LAN. Están construidas y operadas por las empresas que prestan los servicios públicos de telecomunicaciones o por las mismas empresas dueñas de las redes de área local que intercomunican. Utilizan, también, estándares desarrollados por la IEEE o por otros propietarios.

Actualmente, este tipo de redes están siendo suplantadas por las nuevas tecnologías digitales de alta capacidad, que utilizan como medio de comunicaciones la fibra óptica y los enlaces inalámbricos. A tal efecto, se aprovechan vínculos que se instalan para uso de la red telefónica, como es el caso de los sistemas de transmisión que emplea la tecnología denominada Jerarquía Digital Sincrónica - SDH (esta tecnología será desarrollada en el Capítulo 5 de esta obra).

- **WAN (Wide Area Network, Redes de Área Extendida).**

Son aquellas diseñadas con la capacidad suficiente para cubrir la totalidad del planeta. Están construidas y operadas tanto por las empresas que prestan los servicios públicos de telecomunicaciones de cada país, como así también por empresas u organizaciones que normalmente utilizan a la red telefónica comutada como red soporte. Utilizan estándares internacionales, en la mayoría de los casos desarrollados por la UIT – T y, en algunos otros, por organizaciones que ofrecen estándares abiertos.

La red Wan más extensa del mundo es la Red Internet.

4.1.5 Utilización de las redes de telecomunicaciones

El empleo de las redes de telecomunicaciones tiene variadas características y necesidades de acuerdo con el uso que se les otorgue a las mismas. Algunos son:

- **Necesidad de alta disponibilidad.**

Las necesidades de una disponibilidad elevada de los medios de comunicaciones obligan a los diseñadores a incorporar en la red equipos y enlaces de alta confiabilidad y baja tasa de errores. Por ejemplo, asegurar que una red tendrá una disponibilidad del 99,97% anual, significará que, como máximo, no podrá estar más de unas pocas horas inactiva en el año.

- **Uso en forma continua.**

En muchos casos es necesario usar los medios de comunicaciones en forma continua, es decir las veinticuatro horas, los trescientos sesenta y cinco días del año. Un ejemplo típico de esta situación es la conexión que requiere un cajero automático con el centro de operaciones que maneja las cuentas de sus usuarios. En esos casos es conveniente contratar líneas dedicadas o arrendadas.

- **Empleo por demanda.**

En general, los servicios de telecomunicaciones se requieren por demanda; es decir, que la necesidad de la comunicación nace en un determinado momento y en un determinado lugar. La red telefónica commutada brinda de la mejor manera este tipo de servicio no solo para telefonía, sino también para muchas otras como podrían ser las comunicaciones de datos, textos, imágenes e, incluso, video.

Si se procede a la selección de un destino final mediante marcado o si se navega a través de la red Internet se puede establecer el enlace deseado. Este proceso, que hoy está potenciado fuertemente por la telefonía móvil, se realiza por intermedio del empleo de los canales telefónicos normales que tienen las compañías telefónicas de cada país.

4.1.6 Factores de los que depende la eficacia de la comunicación

- **Velocidad de transmisión.**

Es necesario saber exactamente cuál es la velocidad adecuada para la aplicación que se está usando. Cuando se trata del empleo de canales telefónicos puede suceder que si se habla demasiado rápido se pierdan palabras. Sin embargo, si se habla demasiado despacio la conversación tomará más tiempo del que se necesita, encareciendo el servicio.

- **Entendimiento.**

Si en el uso de canales de voz los lenguajes que se hablan son diferentes, y cada interlocutor no conoce el lenguaje del otro, el diálogo es imposible. De la misma manera ocurre en los casos en que deben conectarse dos computadores; si estos no emplean el mismo protocolo de comunicaciones, las mismas serán de imposible ejecución.

- **Interpretación.**

La interpretación está relacionada con el factor anterior, pues en cierta forma lo complementa. Entender el diálogo no significa que el problema de la comunicación esté resuelto; será necesario, además, que este se interprete en forma correcta, en caso contrario se podrían llevar a cabo acciones erróneas.

- **Versatibilidad.**

La versatibilidad proviene de la posibilidad de comunicarse con diferentes personas (o computadores), en una variedad de temas diferentes.

- **Control.**

Si todos los interlocutores de un sistema de comunicaciones tratan de hablar simultáneamente, la comunicación será imposible de realizar. Por lo tanto, es imprescindible llevar a cabo un control del tráfico de comunicaciones, cualquiera sea la forma elegida para establecer un enlace.

4.2 Topología de las redes de telecomunicaciones

4.2.1 Elementos constitutivos de una red

4.2.1.1 Nodo

Llamaremos nodo en una red de telecomunicaciones a:

Todo punto de una red al que concurren dos o más vínculos de comunicaciones, equipado con facilidades que permitan la función de conmutación.

Los nodos pueden ser de dos tipos:

- **Nodos de conmutación.**

Son aquellos que conmutan líneas o paquetes sobre la base de principios de enrutamiento establecidos en el propio nodo. Un ejemplo posible son las centrales telefónicas o los router.

- **Nodos terminales.**

Son aquellos que permiten conectar los equipos terminales. Estos originan o reciben la información ya sean paquetes o comunicaciones de otro tipo, como puede ser una comunicación de voz.

4.2.1.2 Vínculos

Llamarémos vínculo en una red de telecomunicaciones a:

Los distintos medios físicos que permiten unir dos nodos cualesquiera de una red.

Obsérvese la diferencia entre un vínculo y un enlace:

Un vínculo está constituido por un medio físico que al unir dos nodos refiere a un tipo de topología en particular.

Un enlace requiere que sea primero establecido y luego mantenido, aunque para tal fin se esté utilizando un vínculo, un nodo o varios.

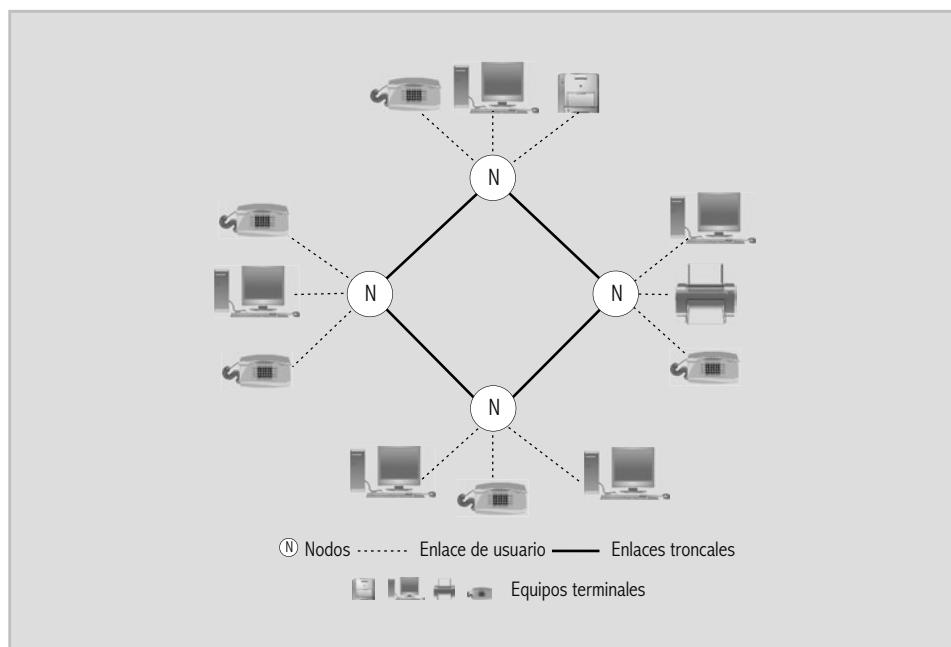


Fig. 4.1. Elementos de una red.

Se denomina vínculo troncal al que une dos nodos entre sí; y vínculo de abonado o de usuario al que une un equipo terminal con el nodo al cual es tributario.

4.2.1.3 Equipo terminal

Llamaremos equipo terminal en una red de telecomunicaciones a:

Un conjunto compuesto por partes de características electrónicas, que permite ingresar o extraer información inteligente de una red, como señales de voz, datos, textos, imágenes, etc., a través de un enlace de comunicaciones.

4.2.2 Concepto de topología de una red

La palabra topología es un término de origen griego, que se refiere al estudio de las formas. Se emplea en el diseño de redes de comunicaciones para referirse a la manera en que están conectados los nodos y los vínculos de una red.

Una red de comunicaciones está formada básicamente por dos elementos: nodos y vínculos. La Fig. 4.1. muestra una estructura de red basada en estos dos componentes.

Por lo tanto definiremos como topología de una red a:

La forma en que los nodos se conectan entre sí y con los vínculos de comunicaciones.

Normalmente, tanto las redes de área extendida como las redes locales se apoyan en las topologías siguientes:



La topología de la red define la forma en la cual se vinculan los nodos.

- Estrella.
- Malla.
- Anillo.
- Barra o bus.

A estas se las denomina topologías básicas, pero existen, mediante combinación de ellas, las topologías mixtas o híbridas.

4.2.3 Aspectos generales que hacen a las distintas topologías

Si, hipotéticamente, una red de comunicaciones no tuviera nodos de conmutación, se requeriría un número elevado de enlaces, ya que se necesita uno para cada equipo o nodo terminal conectado a la red.

En la Fig. 4.2. se presentan tres ejemplos. En el primero se grafica una red con solo tres usuarios, en el segundo caso con cuatro y en el último con cinco usuarios. Analicemos en cada caso el número de vínculos que se necesitaría para que los usuarios se puedan comunicar entre todos.

En el primero, se necesitaría solamente un número de vínculos igual al número de usuarios; sin embargo, en el último de los ejemplos se necesitarían diez vínculos para solo cinco usuarios.

Como se puede observar, el número de vínculos necesarios para interconectar todos los equipos terminales crece con mucha rapidez, a medida que aumenta el número de estos.

En la Tabla 4-1, se calculan algunos ejemplos. Nótese que si se tuviera una red con tan solo mil abonados, para vincular a "todos contra todos" se necesitarían aproximadamente medio millón de vínculos.

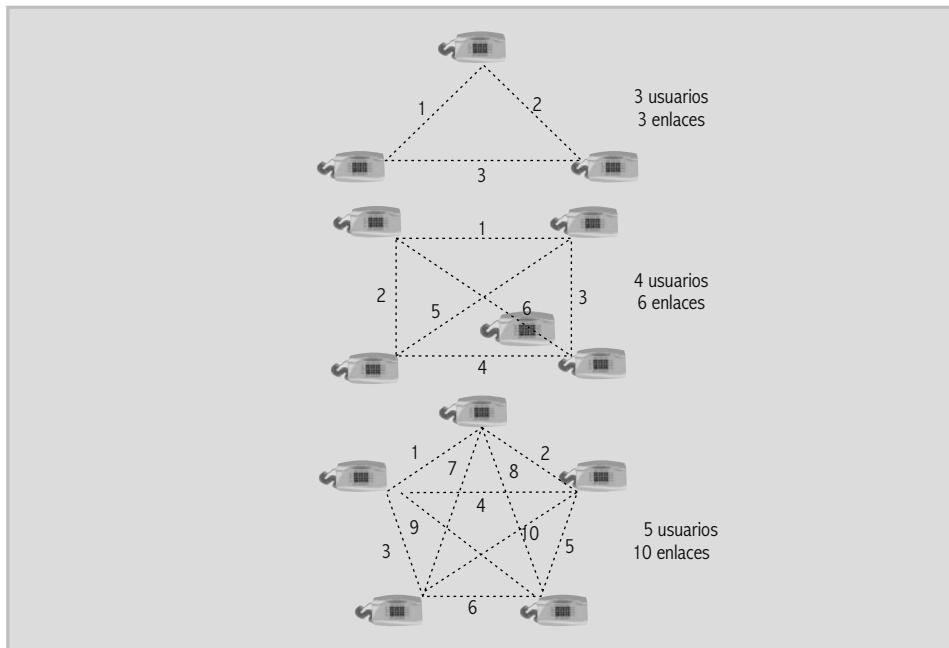
En forma genérica, si fuera N el número de equipos a interconectar, el número de vínculos para conectar a "todos contra todos" resultaría de la expresión:

$$N_e = \frac{n(n-1)}{2} \quad (4-1)$$

Si operamos de manera conveniente, obtendremos:

$$N_e = \sum_{n=1}^N (n - 1) \quad (4 - 2)$$

Si a partir de la expresión (4 - 2) calculáramos la cantidad de vínculos que son necesarios (sin usar nodos de conmutación –ver 4.3.5.2–) para comunicar N equipos terminales entre sí; los valores que se obtendrán podrían coincidir con los que se observan en la Tabla 4-1.



La malla regular tiene una cantidad de enlaces definidos por la siguiente expresión:

$$N = \frac{n(n - 1)}{2}$$

donde n es el número de nodos.

Fig. 4.2. Vinculación entre cantidades de usuarios diferentes.

Tabla 4-1 Relación terminales - vínculos en conexión todos contra todos

Número de equipos terminales	Número de enlaces
2	1
3	3
4	6
5	10
10	45
50	1225
100	4950
1000	499500

Para instalar una red de comunicaciones, con un número importante de equipos terminales conectados a ella, es prácticamente imposible construirla estableciendo vínculos entre todos los usuarios, por razones técnicas y económicas. Por ello, cuando la cantidad de equipos terminales es elevada se deben instalar nodos de conmutación que permitan disminuir el número de vínculos necesarios.

La topología que se decida emplear para instalar estos nodos dependerá, entre otros factores, de:

- La topografía del lugar.
- El costo de los vínculos.
- La flexibilidad que se desee lograr para incorporar nuevos usuarios a la red.
- La performance que desee obtener de la red.

Las distintas topologías se pueden dividir en dos tipos: básicas e hibridas.

4.2.4 Topologías básicas

4.2.4.1 En estrella

Se denomina red con topología en estrella a:

Las redes que están diseñadas con un nodo central, que actúa como concentrador y distribuidor de todo el tráfico de comunicaciones existente, al que están conectados todos los equipos terminales correspondientes.

En las redes telefónicas conmutadas, las centrales telefónicas están conectadas a los usuarios mediante este tipo de topología. En ese caso, el número de equipos terminales conectados a cada una de ellas puede variar, desde unos pocos hasta varios miles. En el caso de las centrales instaladas en la red telefónica pública conmutada, esta cantidad llega a más de 10.000 equipos terminales telefónicos por cada una de ellas.

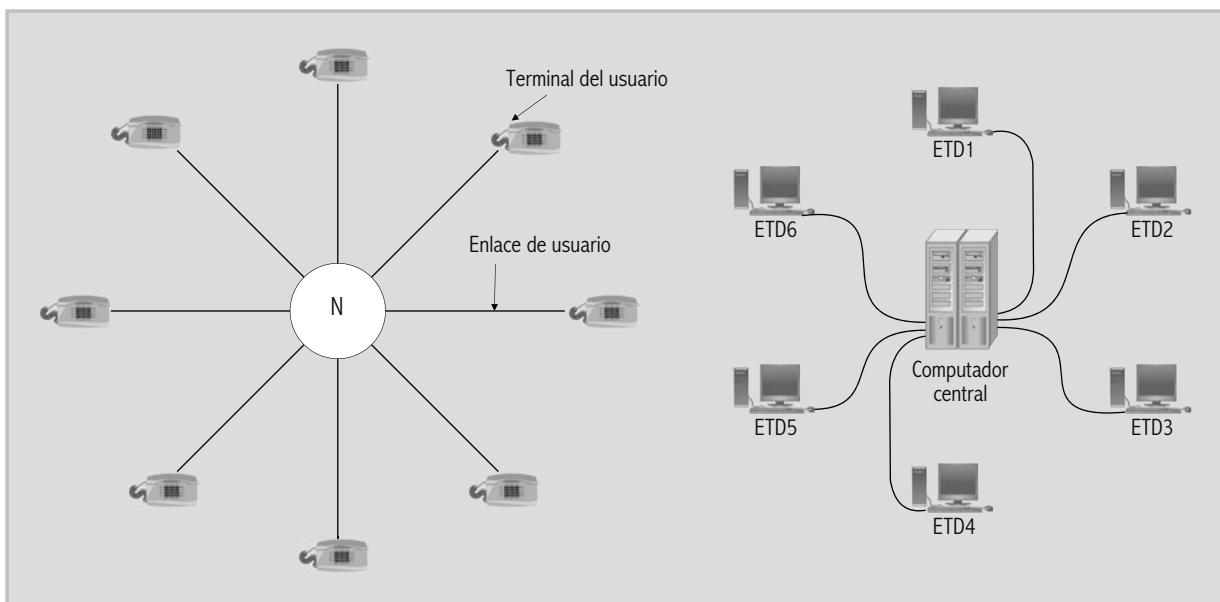


Fig. 4.3. Topología estrella.

La Fig. 4.3. muestra un ejemplo de la topología estrella de una red telefónica y de una red de datos.

El número de usuarios tributarios de cada nodo dependerá de la posibilidad que tenga el equipo de conmutación allí situado para manejar equipos terminales y, también, de la cantidad de tráfico para el que están diseñados.

Los conmutadores actuales de las redes públicas están basados en un computador central especialmente preparado y programado para la conmutación de circuitos o de paquetes. En otros casos, por su característica de programables, pueden cumplir otras funciones además de las señaladas, tales como el procesamiento de datos en modo local u otras funciones adicionales –la conversión de protocolos, que permite conectar terminales de diferentes proveedores; adaptación de velocidades entre terminales; evaluaciones estadísticas de tráfico; facturación; etc.–.

Una característica importante de este tipo de configuración es el número de caminos de conmutación simultáneos que pueden establecerse entre los equipos terminales. Este parámetro brinda también una idea de la importancia de cada nodo.

Evidentemente, esta topología resulta ideal cuando el objetivo consiste en conectar muchos computadores de tipo personal con uno solo, el cual puede brindar, además de funciones relacionadas con la conectividad, otras tales como capacidad para almacenar archivos usados por toda la red, correo electrónico, capacidad para generar archivos de *back up*, etc.

En los casos de redes informáticas organizadas y diseñadas como redes estrella y compuestas solo por equipos terminales de datos, los sistemas están basados en un nodo compuesto por un computador central o *host*, que está conectado a equipos terminales tradicionales. Estos *host* actúan como controlador del flujo de información hacia y desde cada dispositivo periférico del sistema, lo que hace posible tener incorporado un procesador de comunicaciones delantero.

4.2.4.2 En malla

Se denomina red con topología en malla a:

Las redes que están diseñadas sin un nodo, o equipo terminal central, donde todos están conectados entre sí, de manera que no existe una preeminencia de uno sobre los otros en cuanto a la concentración del tráfico.

En muchos casos, la malla es complementada por vínculos entre nodos no adyacentes, que se instalan para mejorar las características del tráfico. A estas se las denomina redes en malla total (Fig. 4.4.). Este tipo de redes pueden organizarse con equipos terminales solamente en lugar de nodos, para aquellos casos en que se trate de redes de transmisión de datos.

Para las redes telefónicas públicas ubicadas en grandes ciudades, los nodos existentes pueden conectarse entre sí con este tipo de configuración. Esta configuración es especialmente apta para ser usada cuando varios nodos deben cubrir una zona geográfica extensa. Estas redes permiten, en caso de una interrupción entre dos nodos o equipos terminales de red, mantener el enlace usando otro camino, con lo cual aumenta significativamente la disponibilidad de los vínculos. Cuando una red malla regular pierde uno o más vínculos se convierte en una red malla irregular (Fig. 4.5.).

Las Redes de Datos de Área Extendida - WAN tienen, en general, una topología de malla irregular.

Las principales características de esta topología son:

- Baja eficiencia de los vínculos, debido a la existencia de redundancia.
- Por otra parte, la redundancia de vínculos presenta la ventaja de posibilitar caminos alternativos para la transmisión de datos y, en consecuencia, aumenta la confiabilidad de la red.
- Como cada estación está unida a todas las demás, existe independencia respecto de la anterior. Esta situación no se presenta en otras redes, como por ejemplo en la red anillo (ver 4.2.4.3.).

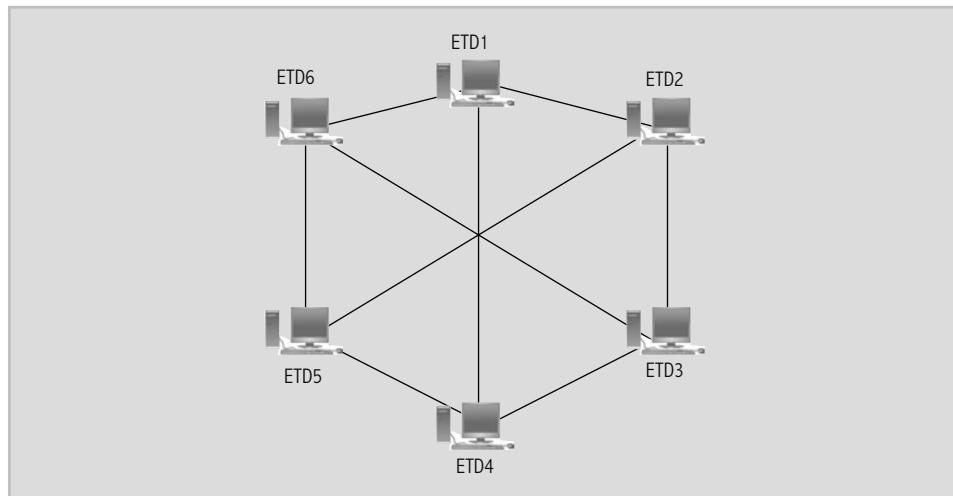


Fig. 4.4. Topología malla total.

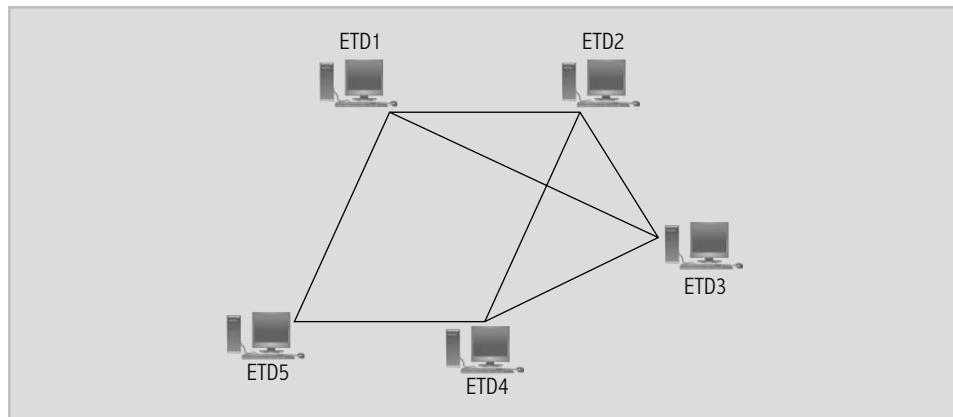


Fig. 4.5. Topología malla irregular.

4.2.4.3 En anillo

Se denomina red con topología en anillo a:

Las redes diseñadas de forma tal que cada equipo terminal está conectado a los dos que tiene adyacentes, hasta formar entre todos ellos un círculo.

Esta topología es muy utilizada en las denominadas Redes de Área Local - LAN, donde los nodos y los terminales son un mismo tipo de equipo, que se denomina Estación de Trabajo (*Workstation*), o Servidor de Archivos (*File Server*).

En este tipo de topología si un nodo o un elemento de la red se detienen, toda la red podría dejar de funcionar; sin embargo, se han diseñado técnicas para mejorar la confiabilidad de estas redes y existen implementaciones que solucionan este tipo de problema.

Otro inconveniente propio de la configuración de la red anillo radica en que puede quedar disminuida notablemente la velocidad de la red. Por ejemplo, como los datos tienen un sentido único de circulación, si estos van hacia la derecha del nodo transmisor y el nodo receptor se encuentra a la izquierda de aquel, el mensaje deberá pasar por toda la red antes de llegar al receptor.

El mensaje que entra en una red anillo debe contener la dirección donde debe ser entregado. La misma se denomina dirección del destinatario. El mensaje, circulará de un terminal a otro, hasta ser reconocida la dirección a quien se le envía el recado. En ese caso dicha extensión almacenará su contenido.

Por último, la estación que transmitió el mensaje es la que al recibirlo nuevamente (porque ha recorrido el anillo) lo retira del medio. A continuación, envía un mensaje denominado *token* hacia la estación vecina para posibilitar que esta u otra estación se apoderen del mismo y proceda a transmitirlo.

Existen dos tipos de topología en anillo:

- **Anillo con control distribuido.**

Es la que se puede observar en la –Fig. 4.6. Se organiza de forma tal que cada estación está conectada solo a otras dos y los datos pasan de un nodo de la red al siguiente mediante repetidores conectados entre sí de manera secuencial –con cables u otro medio físico de transmisión– hasta cerrar un círculo o anillo.

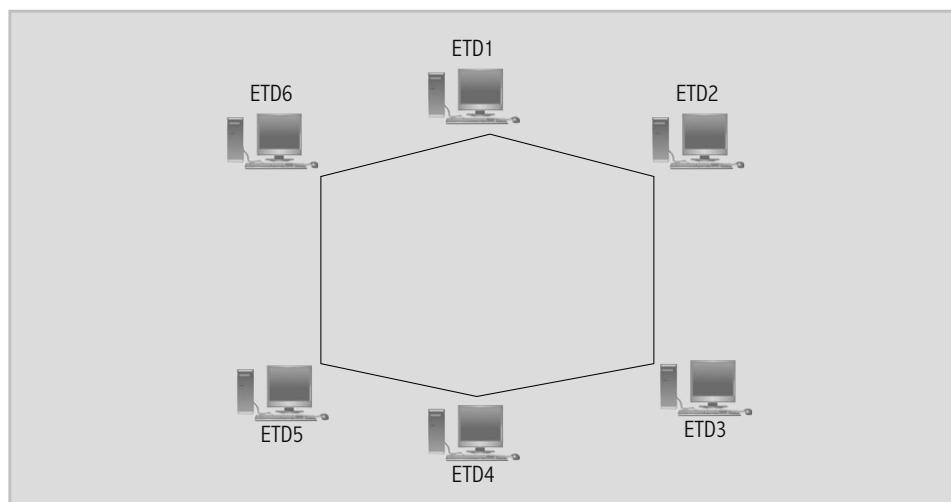


Fig. 4.6. Topología anillo con control distribuido.

Se debe destacar en esta topología que el control en el anillo está distribuido entre todas las estaciones. Por lo tanto, ninguna prevalece sobre el resto.

Esto proporciona más flexibilidad y confiabilidad ya que el control distribuido es la tendencia actual de las formas de control de redes.

- **Anillo con control centralizado (Lazo o bucle).**

Se presenta cuando uno de los nodos, o estaciones de la red, posee mayores atributos que el resto, es decir, una mayor jerarquía y, por consiguiente, la responsabilidad de efectuar el control de las comunicaciones.

Una red anillo con control centralizado se puede observar en la –Fig. 4.7.

Todos los nodos están conectados cerrando un anillo, pero con una estación de control que es la que determina en cada instante qué nodo utilizará el medio de transmisión..

Se podría llegar a considerar a un lazo o bucle como una variedad de la red bus (ver apartado 5.2.5 de esta obra), si consideramos a esta cerrada en sus extremos. La facilidad de control puede considerarse una ventaja o un inconveniente, dado que existe una cierta dependencia del elemento controlador.

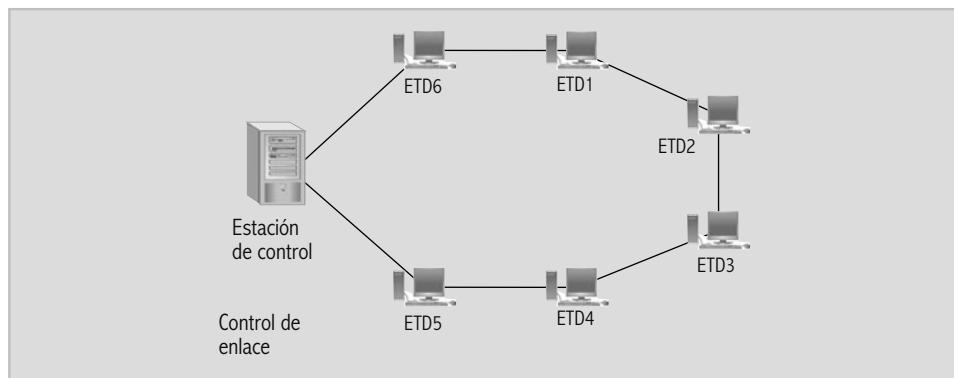


Fig. 4.7. Topología anillo con control centralizado.

En definitiva, será el modo de empleo de la red el que determinará la necesidad de contar con control distribuido o centralizado.

4.2.4.4 En bus o barra

Se denomina red con topología en bus o barra a:

Las redes en las cuales cada equipo terminal está conectado a un bus o barra, por el que circula toda la información que tiene como destino un equipo de la red, y que se distribuye por el procedimiento de difusión.

Este tipo de topología es la más utilizada en las denominadas Redes de Área Local - LAN, que utilizan la norma 802.3 de la IEEE, denominada comúnmente *Ethernet*.

Un ejemplo de red en bus se puede observar en la –Fig. 4.8. Este tipo de topología responde al criterio de que el bus tiene un carácter pasivo. Esto se debe a que las placas de red no están intercaladas en el medio de transmisión, como en el caso de la topología anillo, o como en el caso del nodo central en la topología estrella. Los equipos conectados al bus no toman decisiones sobre enrutamiento o direccionamiento. La responsabilidad de la administración de la red recae en cada nodo, a través del protocolo de comunicaciones empleado. Por otro lado, cada nodo de la red está conectado a un medio único y pasivo de comunicaciones, como puede ser un cable coaxial, un cable de cobre del tipo UTP o una fibra óptica.

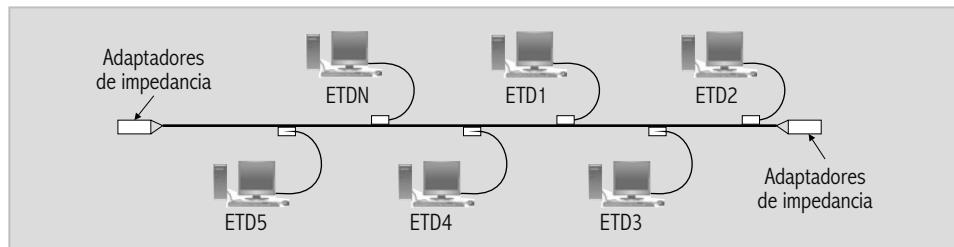


Fig. 4.8. Topología barra o bus.

Un nodo no depende del siguiente para que el flujo de información continúe; la diferencia con la topología en anillo resulta en que en esta última sí se requiere que cada nodo pase el mensaje al siguiente, o, como en el caso de la topología estrella, que cada nodo central controle totalmente las comunicaciones.

Este tipo de topología permite que los mensajes sean transmitidos a todos los nodos simultáneamente a través del bus. Cuando un nodo reconoce que un mensaje va dirigido a él, lo rescata del canal. Como consecuencia de esta independencia, aumenta notablemente la confiabilidad del sistema dado que el medio es pasivo totalmente. Sin embargo, el precio que se debe pagar es que cada nodo debe transmitir, recibir y resolver problemas relativos a la colisión de mensajes.

Una particularidad de este tipo de configuración, respecto de las anteriores, es que una estación no ofrece recursos a las demás, sino que usa los propios. Por lo tanto, ofrece la ventaja de que se la puede agregar o suprimir en cualquier momento sin ninguna modificación que pueda afectar el funcionamiento del resto de la red.

Al igual que la red anillo con control distribuido, el bus no tiene controlador central, pero cuenta con dispositivos transreceptores en cada punto de conexión con el mismo, y adopta una configuración que se denomina transmisión multipunto.

Cabe destacar que estos transreceptores no actúan como regeneradores de la señal, como ocurre en la topología anillo; por ello, a medida que el mensaje recorre el medio y se aleja de la estación transmisora, se produce una degradación de las señales eléctricas y, en consecuencia, habrá una longitud máxima admisible para el medio de transmisión.

4.2.4.5 Características comparativas de las topologías básicas

La Tabla 4-2 muestra comparaciones respecto de las características de cada una de las cuatro topologías analizadas.

Tabla 4-2 Comparativo de las topologías básicas

Característica	Estrella	Malla	Anillo	Bus
Número de nodos	*Bajo / Medio	Alto	Medio/Alta	Medio/Alta
Confiabilidad	Media	Media	Baja	Media
Facilidad de reconfiguración de la red	Baja	Alta	Baja	Alta
Facilidad de localización de las fallas	Alta	Baja	Alta	Baja
Cantidad de enlaces necesarios	Alta	Alta	Baja	Baja

De la Tabla 4-2, se puede deducir que cada una de ellas presenta ventajas y desventajas relativas respecto de las otras, que hace que se elija una topología dada, según los requerimientos tecnológicos que cada aplicación requiera.

4.2.5 Topologías híbridas

4.2.5.1 Aspectos generales

Las configuraciones híbridas surgen por combinación de una o más de las topologías llamadas básicas; es decir, estrella, malla, anillo y bus. Tienen por finalidad superar ciertas limitaciones propias de estas últimas, como ser:

- Incompatibilidad con el medio de transmisión.
- Limitación en el número de estaciones.
- Limitación en el alcance de las redes.
- Dificultades de operación y/o mantenimiento.
- Baja disponibilidad.

4.2.5.2 Estrella/malla

Son aquellas que combinan las topologías estrella y malla en una única estructura de red. Presentan características de ambas topologías.

La red telefónica comunitada presenta este tipo de combinación de topologías. Las centrales de conmutación urbanas con los abonados constituyen una red estrella, pero, a su vez, están conectadas entre sí en malla irregular.

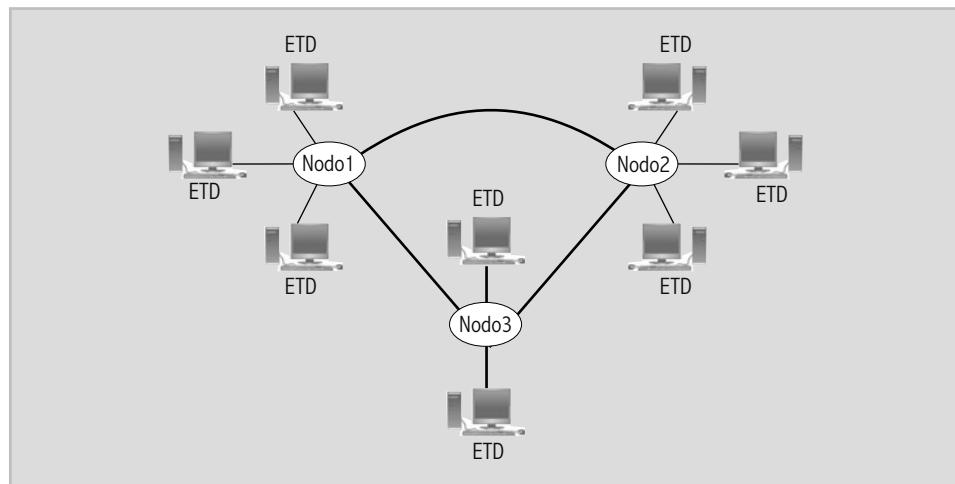


Fig. 4.9. Topología estrella/malla.

4.2.5.3 Jerárquica (estrella/estrella)

Son aquellas en las que ciertos nodos son tributarios de otros de mayor jerarquía.

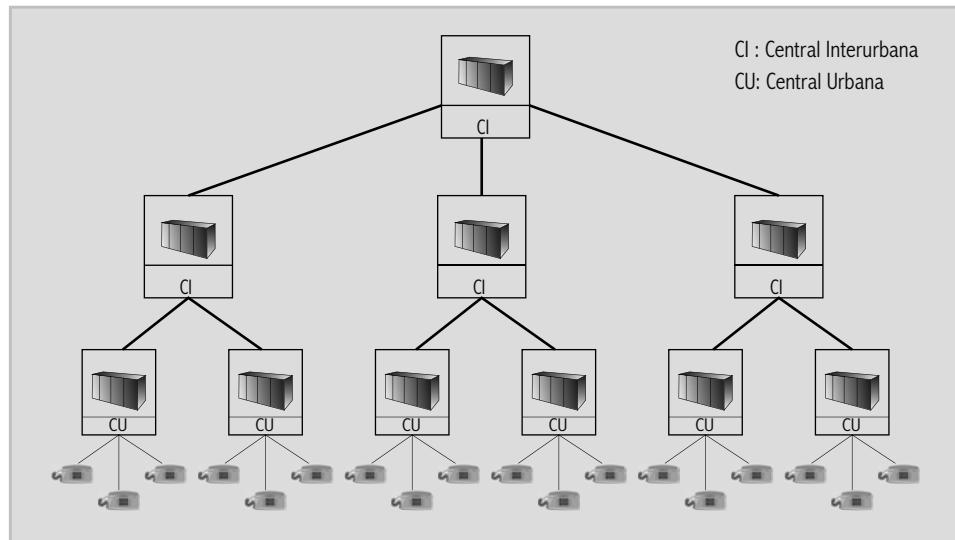


Fig. 4.10. Topología jerárquica.

Son típicas en el diseño de las redes telefónicas públicas, como es el caso de la conexión de los nodos de comutación interurbanos, que se conectan entre sí con tal disposición. También, son típicas en algunas redes de computadoras, que trabajan en la modalidad de procesamiento distribuido. Desde un punto de vista exclusivamente topológico, en muchos casos son redes de características mixtas.

Un ejemplo de red con topología jerárquica se puede observar en la –Fig. 4.10. En ella, podemos ver las estructuras típicas empleadas en las redes telefónicas públicas nacionales.

4.2.5.4 Anillo/estrella

Estas redes combinan características de ambas. Se trata en realidad de una topología lógica correspondiente a un anillo con disposición física de una estrella. Esta configuración es utilizada especialmente cuando el mantenimiento del anillo puede tornarse difícil, porque la existencia de muchos nodos, y/o el tendido del vínculo físico, se torna complicado por lo irregular del área. En este caso, se recurre a un tendido de vínculos, que conecta cada estación con un centro de red normalmente denominado hub, que solo brinda conectividad pero que no posee funciones de comutación.

Este tipo de redes con centros de red (con o sin comutación) facilita las tareas de mantenimiento y detección de fallas, que pueden realizarse principalmente en ese punto. No obstante, la red conserva funcionalmente la topología del anillo.

Un ejemplo de red con configuración híbrida anillo/estrella se muestra en la –Fig. 4.11.

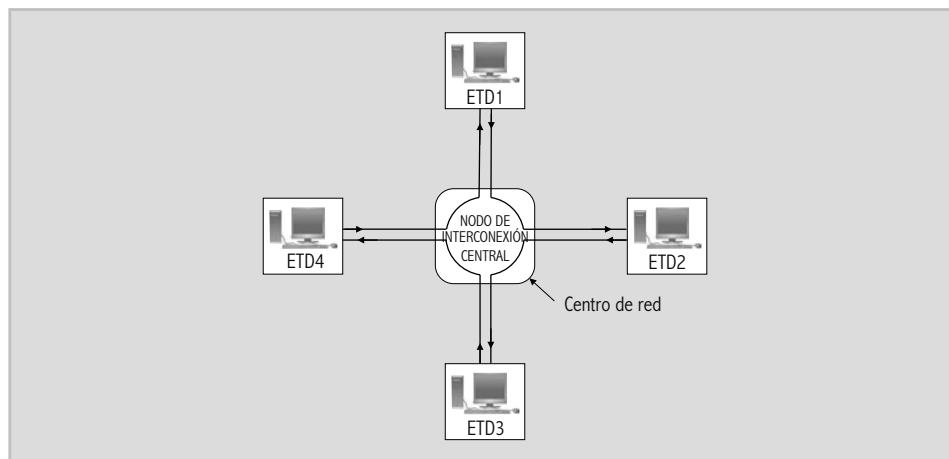


Fig. 4.11. Topología híbrida estrella/malla.

Se puede observar que la longitud de los cables de conexionado es mayor que para la topología anillo pura. Este es el precio que se debe pagar por tener un centro de red en el cual se puede verificar y controlar la misma.

4.2.5.5 Red bus/estrella

Las configuraciones híbridas bus/estrella tienen un conexionado que desde el punto de vista lógico es un bus, pero los medios de transmisión están conectados físicamente en una topología estrella. Un ejemplo de este tipo se puede observar en la –Fig. 4.12. Estas redes son utilizadas cuando el medio de transmisión que se emplea es la fibra óptica, ya que presenta dificultades para implementar un enlace tipo punto a multipunto, típico de la topología bus.

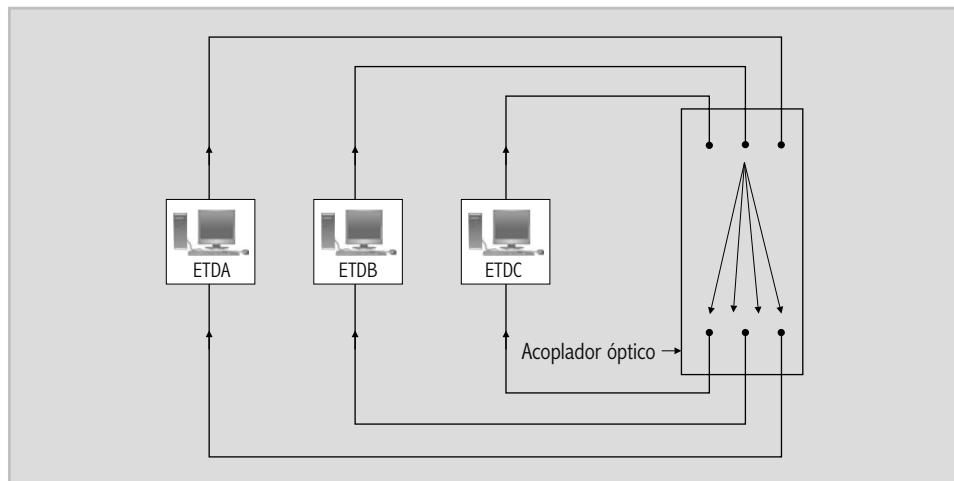


Fig. 4.12. Topología híbrida bus/estrella.

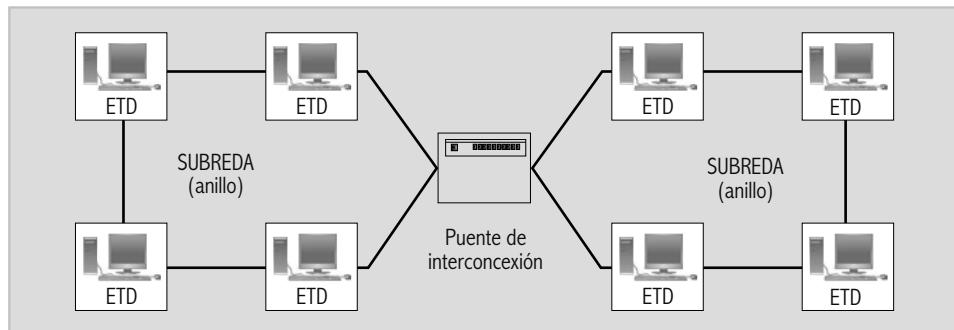
Precisamente, la solución para estas dificultades está en configurar la red con topología híbrida bus/estrella, donde se utiliza un acoplador central para los cables ópticos, que permiten difundir la señal de transmisión óptica hacia cada una de las estaciones a través de sus respectivos cables de conexión. De esta manera, se puede afirmar que esta topología soluciona el problema de incompatibilidad existente en el empleo de cable de fibra óptica en redes bus.

Asimismo, en la Fig. 4.12. se puede observar que la estación B transmite simultáneamente hacia las estaciones A y C, a través del acoplador óptico. Sin embargo, razones de una mayor eficiencia y a los efectos de una mejor distribución del tráfico, se recurre a reemplazar este tipo de equipos por centros de red con comutación denominados switch. Estos evitan que los paquetes deban recorrer todos los tramos de la red en los que, dado su presencia, aumentarían significativamente el número de colisiones en forma innecesaria.

4.2.5.6 Estrella/Anillo

Esta configuración permite conectar varias subredes entre sí, aumentando la confiabilidad del sistema ante posibles fallas de algunos nodos.

Un ejemplo de red híbrida en configuración estrella/anillo, se puede observar en la –Fig. 4.13.



4.13 Topología híbrida estrella/anillo.

La confiabilidad final, en estos casos, dependerá principalmente de la capacidad que posea el puente de interconexión que une ambas subredes.

4.3 Arquitecturas de comunicaciones

4.3.1 Aspectos generales

Las redes de telecomunicaciones necesitan herramientas que posibiliten en forma ordenada –sin importar cuáles sean los equipos terminales que deban interconectar– establecer una comunicación, controlar el flujo de datos entre las estaciones que están conectadas para que puedan intercambiar información, y, cuando el diálogo finalizó, liberarla.

Cada red está gobernada por lo que se denomina una arquitectura de la red. La misma está conformada por un cuerpo ordenado de normas, que podrá tener un mayor o menor grado de complejidad y dependerán del tipo de enlace que se quiere establecer. Estas se encargarán de fijar las reglas fundamentales para que los equipos terminales puedan comunicarse entre sí.

Denominaremos arquitectura de comunicaciones o, simplemente, arquitectura de red a:

Las normas, protocolos, servicios de red y otras especificaciones técnicas que, conformando un solo cuerpo ordenado, posibilitan las comunicaciones entre equipos terminales de datos a través de una red de comunicaciones.

En la mayoría de los casos, estas normas están ordenadas en forma de capas, donde cada una de ellas cumple una función específica para facilitar la comunicación. Las capas funcionan sobre la base de determinados procedimientos llamados protocolos de comunicaciones, que mediante un conjunto de reglas muy detalladas permiten su adecuado funcionamiento. Cuando una capa n pertenece a una determinada arquitectura de comunicaciones, el protocolo que hace a su funcionamiento se llama estructurado y, además, se lo conoce como protocolo de capa n , ya que regula el funcionamiento de esa capa en particular.

Existen varios estándares de arquitecturas de comunicaciones. La Organización Internacional de Estándares, conocida comúnmente como ISO (*International Standard Organization*), y la Unión Internacional de Telecomunicaciones–UIT han afianzado de manera conjunta el término interconexión de sistemas abiertos para denominar a un conjunto de estándares, que son tomados en algunos casos para desarrollar arquitecturas compuestas por los protocolos de capas que siguen sus normas.

Los documentos elaborados por ambas Organizaciones Internacionales, y tomados como modelos de referencia, son un amplio conjunto de especificaciones que están fundamentadas básicamente en dos normas iniciales. Ellas son:

Norma: ISO N° 7498-Reference Basics Model of Open Systems Interconnection of ISO (Modelo Básico de Referencia para la Interconexión de Sistemas Abiertos de la ISO).

Recomendación: X.200-Reference Model of Open Systems Interconnection for ITU-T Applications (Modelo de Referencia de Interconexión de Sistemas Abiertos para aplicaciones de la UIT-T).

En otros casos, los conceptos que estas especificaciones contienen son tomados como Modelo de Referencia para la confección de otras arquitecturas. Si bien estas normalmente no responden de manera estricta al modelo de la ISO y de la UIT, lo toman como base de referencia para el desarrollo y diseño de ellas.

4.3.2 Concepto de conectividad

El rápido crecimiento de la industria de fabricación de sistemas informáticos, llevó a las empresas a desarrollar diferentes arquitecturas para la realización de sistemas distribuidos, que solamente aceptaban la interconexión con equipos similares del mismo fabricante.

En un principio los sistemas fueron cerrados o propietarios, pues solo aceptaban las normas de interconexión establecidas por ellos mismos, de modo que no existía compatibilidad con el hardware y el software de otros fabricantes. En esos casos los protocolos de comunicación se desarrollaban sobre la base de las características de un computador, o una familia de ellos, y difícilmente otra familia de productos podía conectarse al sistema.

Como consecuencia de esta situación, algunas empresas desarrollaron productos denominados de conectividad que permitían, mediante un hardware y un software adecuado, emular el comportamiento de determinados equipos informáticos. Mientras el número de sistemas fue reducido, se hacía posible integrar bajo un mismo procesador una cierta cantidad de dispositivos. Los equipos que desarrollan estas funciones reciben el nombre de emuladores.

El desarrollo de las nuevas técnicas de computación y de interconexión a las redes, además de la explosiva proliferación del número de computadores y sus equipos asociados, prácticamente dejaron fuera de uso el concepto de sistema cerrado. Fue así que los usuarios sintieron la necesidad de llevar a la práctica todas las potencialidades que ofrecen los computadores, provocando, además, el interés de algunos fabricantes, que consideraron beneficioso fijar normas que permitiesen la interconexión de sistemas con marcas y modelos distintos. Estos sistemas se denominaron abiertos con el objeto de integrar así las funciones operacionales correspondientes a todos los niveles de diferentes tipos de equipos.

Sin embargo, por razones de índole comercial y a veces práctica, subsisten otras arquitecturas que pertenecen a firmas comerciales o directamente a organizaciones gubernamentales, que por su potencialidad y requerimientos especiales han confeccionado sus propias normas de funcionamiento.

Actualmente, la proliferación de los sistemas distribuidos y los requerimientos de trabajo entre equipos de distintos proveedores –situados a su vez en diferentes tipos de redes, con arquitecturas que no resultan compatibles entre sí– han dado paso al concepto de conectividad ya señalado.

Por lo tanto, entenderemos como conectividad a:

La posibilidad de interconectar equipos de diferentes marcas y proveedores, integrándolos en redes que funcionen de manera armónica y coordinada, como si hubieran sido diseñados todos con los mismos estándares.

De allí la importancia de la relación entre las arquitecturas abiertas y las arquitecturas propietarias, que interconectan a los computadores. Las primeras tienen como fundamento teórico básico el modelo de capas o niveles, normalizado por la ISO y la UIT-T. Muchas de las otras arquitecturas en uso, que no fueron confeccionadas usando dicho modelo, son anteriores al mismo.

El modelo de la ISO es una arquitectura de referencia, más que una arquitectura de red. Es decir, sienta las bases para que la interconexión resulte muy simple, por cuanto indica a cada capa del modelo qué funciones debe cumplir. De esta manera, facilita el diseño de los protocolos y hace más sencilla la interconexión. Sin embargo, la ISO también ha generado normas que describen el funcionamiento de cada una de las capas del modelo, basadas precisamente en él. No obstante, su uso es muy escaso en términos prácticos.

En resumen, las distintas arquitecturas contienen especificaciones técnicas, que permitirán para cada caso particular confeccionar el software de comunicaciones o construir el hardware correspondiente, que ejecute los protocolos programados.

4.3.3 Clasificación de las arquitecturas de comunicaciones

Las arquitecturas de comunicaciones pueden ser clasificadas en propietarias y abiertas. Llamaremos propietarias a las que han sido desarrolladas por algún fabricante de equipamiento y

están orientadas a sus productos; y llamaremos abiertas a aquellas que buscan facilitar la conectividad cualquiera sea la marca o modelo del equipo terminal que se quiera conectar a la red.

4.3.3.1 Arquitecturas propietarias

Entre las arquitecturas más importantes de este tipo podemos distinguir las siguientes:

- **Arquitectura SNA-Arquitectura de Redes de Sistemas
(Systems Network Architecture).**

Como se mencionó anteriormente, esta arquitectura de red ha sido desarrollada por la empresa *International Business Machines*-IBM, para permitir la interconexión en red de sus equipos informáticos. Es una típica arquitectura propietaria, que fue diseñada en la década de los años 70, cuando la disminución de los costos del *hardware* de comunicaciones hizo posible la interconexión de los computadores en redes.

Esta arquitectura fue inicialmente desarrollada para la interconexión de redes de computadoras con una fuerte centralización. Estaba basada, en su momento, en un procesador central de presencia importante, al que se podían conectar computadores de tamaños medianos –hoy denominados Minicomputadores– que, a su vez, también podían tener o no tributarios más pequeños programables, o estaciones bobas.

Los computadores más importantes siempre estaban complementados por procesadores de comunicaciones delanteros programables, que podían manejar todos los aspectos que tenían que ver con la administración y el manejo de la red.

De esta manera, se facilitaba mucho el trabajo del computador central. La empresa pudo producir toda una gama de productos SNA compatibles diseñados bajo los estándares que respondían a esa arquitectura. De hecho, el modelo OSI-Interconexión de Sistemas Abiertos –de la Organización Internacional para las Normalizaciones-ISO y de la Unión Internacional de Telecomunicaciones-UIT-T– fue configurado, justo es decirlo, tomando a la arquitectura SNA como base de trabajo. Tanto el concepto de modelo de capas, como el interfuncionamiento entre capas pares fue tomado de esta arquitectura.

Esta arquitectura ha evolucionado permanentemente y de los conceptos iniciales de la primera versión, que fue lanzada al mercado en 1974, se ha llegado a esquemas que son compatibles con la filosofía de trabajo usada en la actualidad para el manejo de las redes de computadoras. El estudio completo de esta arquitectura merecería un texto especial para poder comprenderla adecuadamente. Finalmente, se puede decir que es, además, la primera que incorporó el concepto de protocolos de enlace orientados al bit, hoy prácticamente usados con exclusividad para las comunicaciones sincrónicas.

- **Arquitectura DNA-Arquitectura para Redes Distribuidas
(Distributed Network Architecture).**

Esta arquitectura ha sido desarrollada por la empresa *Digital Equipment Corporation*-DEC para sus equipos informáticos que trabajan en red, y es conocida también por sus siglas DECnet. Es, al igual que la arquitectura anterior, una típica arquitectura propietaria.

Utiliza un modelo capas que emplea para el nivel de enlace el protocolo Digital Data Communications Message Protocol-DDCMP, el cual está orientado al carácter.

Básicamente la Arquitectura DNA se basa en siete capas –en esencia muy similares a la arquitectura OSI– denominadas genéricamente niveles. Ellas son: Enlace Físico, Enlace de Datos, Transporte, Control de Sesión y Servicios de Red, Aplicación de Red, Gestión de Red y Usuario.

- **Arquitectura DSE-Ambiente de Sistemas Distribuidos (*Distributed System Environment*).**

Ha sido desarrollada por la empresa francesa CII Honeywell Bull para los sistemas informáticos distribuidos, que se utilizan en los equipos de dicha firma.

Las funciones están divididas en capas denominadas estratos. Los cinco estratos que la conforman son: Enlace, Encaminamiento, Transporte, Sesión y Presentación.

4.3.3.2 Arquitecturas abiertas

Entre las arquitecturas más importantes podemos distinguir:

- **Arquitectura OSI-Interconexión de Sistemas Abiertos (*Open Systems Interconnection*).**

Esta arquitectura, que se ha transformado en un modelo de referencia más que en un estándar internacional, ha sido diseñada conjuntamente por la Organización Internacional para las Normalizaciones-ISO y por la Unión Internacional de Telecomunicaciones-UIT-T.

Sus detalles están contenidos, como ya se señaló, en la Recomendación X.200 y siguientes de la UIT-T.

- **Arquitectura DARPA-Agencia de Proyectos de Investigación Avanzados para la Defensa (*Defense Advanced Research Project Agency*).**

Fue desarrollada por requerimientos del Departamento de Defensa de los Estados Unidos de Norteamérica, conocido como *US-Department of Defense*-DoD. Dicho Ministerio está mundialmente considerado el mayor comprador de computadores y equipos asociados a ellos del mundo entero, para sus necesidades específicas.

Comenzó su desarrollo como un programa experimental, que el citado Ministerio lanzó en la década de los años 60 para facilitar la investigación y la interconexión de computadores de distintas marcas y modelos, ubicados en universidades de los Estados Unidos de Norteamérica.

El primer desarrollo práctico se concretó en el año 1969, y fue el que dio lugar a un proyecto denominado ARPANET. Curiosamente esta arquitectura, que es una de las más difundidas en el mundo entero, no responde al modelo de la arquitectura OSI-Interconexión de Sistemas Abiertos.

Esta arquitectura, luego de sucesivas denominaciones y desdoblamientos – como fue la separación de la parte estrictamente militar en una red denominada MILNET– finalmente se transformó en lo que hoy todos conocemos como la Red Internet (versión 1).

La base de los protocolos usados en esta red es la arquitectura DARPA. Pertenece a esta arquitectura, la suite de protocolos conocidos como TPC/IP-Protocolo de Control de Transmisión / Protocolo de Interconexión o *Transmission Control Protocol/Internet Protocol*.

En el apartado 4.3.4.4, se muestra la relación entre las capas del modelo de la ISO y esta arquitectura.

En este contexto, la palabra *suite* se refiere a que existe un conjunto de cada uno de estos protocolos de capa, que están adaptados para cada fabricante de *hardware*, pero que interfuncionan entre ellos como si fuera un solo estándar.

4.3.4 El modelo de la ISO

4.3.4.1 Descripción del modelo

El modelo de la ISO está compuesto por siete capas, donde para cada una de ellas debe estar definido un protocolo –denominado técnicamente protocolo de capa– orientado a satisfacer las funciones que cada una debe cumplir.

El modelo capas representa una forma de facilitar las comunicaciones, distribuyendo la totalidad de las funciones que se necesitan cumplir para lograr una comunicación segura y eficiente entre las mismas.

Una de las características más importantes del modelo es que cada capa es totalmente independiente de las otras. Este hecho permite efectuar modificaciones o cambios en cada una de ellas, sin afectar el funcionamiento o diseño de las demás.

Las siete capas del modelo están representadas en la Fig. 4.14., donde se puede apreciar el orden y la denominación de cada una de ellas.

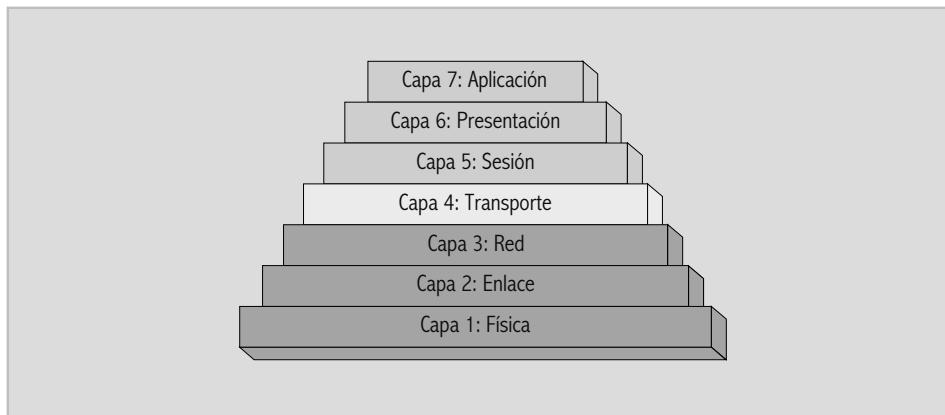


Fig. 4.14. Capas del modelo ISO.

La cantidad de capas que debía tener el modelo fue motivo de una intensa discusión en el seno de las comisiones que redactaron las normas. Se discutió mucho sobre si eran necesarias cinco o siete capas. Finalmente, se arribó al modelo que se describe en las normas ISO de siete capas.

La realidad mostró que la Capa 5: Sesión y la Capa 6: Presentación, fueron usadas en muy pocas aplicaciones. Por otro lado, en las primeras tres capas se observa una cantidad muy grande de funciones.

En algunos casos prácticos las mismas se han desdoblado, como es el caso de la Capa 2: Enlace, en las normas para las Redes de Área Local-LAN normalizadas por la IEEE.

4.3.4.2 Principios considerados para la determinación del número de capas

Los principios en que se basó el modelo de referencia para determinar el número de capas fueron los siguientes:

- El número de capas no debe ser tan grande, es decir, que no dificulte más de lo necesario la descripción y la integración técnica de ellas.
- El número de capas debe estar relacionado con las funciones para ejecutar. Las funciones que son muy diferentes deben estar en capas diferentes y las funciones similares deben reunirse en una misma capa.
- Las fronteras entre una capa y otra deben establecerse tratando de minimizar el flujo de información a través de la interfaz correspondiente, y, además, en puntos tales en donde la experiencia mejor indique que la misma es satisfactoria.
- Al crearse una capa, debe tenerse en cuenta que sus funciones sean, fácilmente localizables a fin de que, en caso de que sea necesario rediseñarla (por ejemplo por avances

en la tecnología, tanto sea por causa del *hardware* como del *software*), no se alteren los servicios esperados u ofrecidos a las capas adyacentes.

- La frontera entre una capa y otra debe estar en donde resulte útil normalizar la interfaz correspondiente a ambas.

4.3.4.3 Relaciones entre las distintas capas

Las siete capas del modelo se pueden agrupar en tres grupos bien diferenciados, según se puede observar en la –Fig. 4.15.

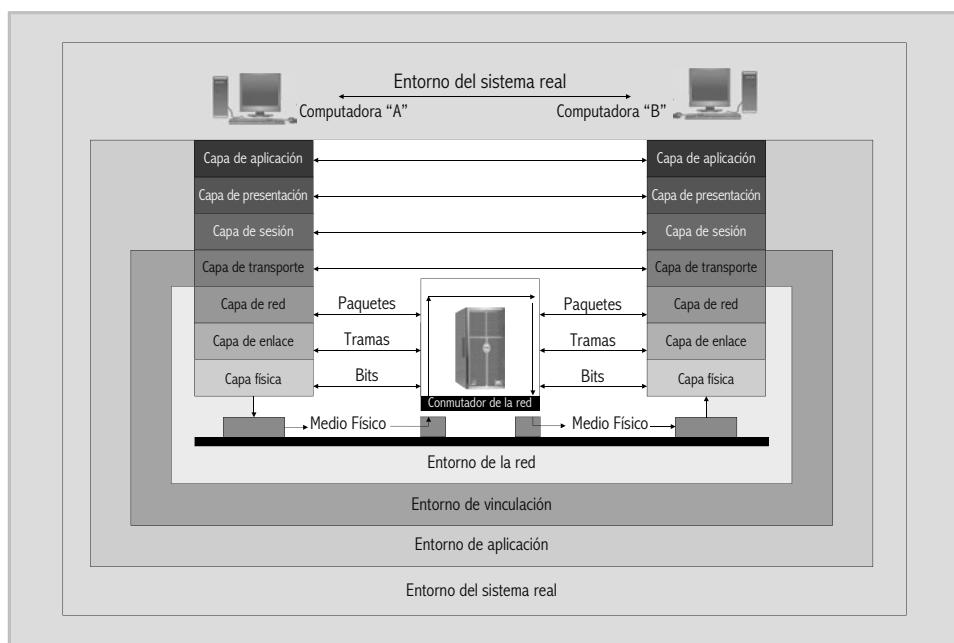


Fig. 4.15. Relación entre las distintas capas.

El primer grupo comprende las tres primeras capas, física, enlace y red. Ellas en conjunto son denominadas entorno de la red, o subred de comunicaciones (en inglés se expresa como *communication's subnet* o, más directamente, *subnet*). Son las que interactúan con las redes de comunicaciones o la porción de la red que tiene la responsabilidad de transmitir la información desde el equipo terminal que transmite la información hasta el que la recibe. Las tres capas superiores –sesión, presentación y aplicación–, que son procesadas en los equipos terminales que intervienen en la comunicación, reciben el nombre genérico de entorno de la aplicación.

Finalmente, la capa de transporte es la primera capa que comunica los equipos terminales de extremo a extremo (la expresión es más conocida como *end to end*), y actúa como separadora de los otros dos subconjuntos. Por tal razón se la denomina entorno de vinculación. En algunas oportunidades, por ser también procesada en los equipos terminales, se la agrupa en el segundo conjunto, pero separándola de las otras tres.

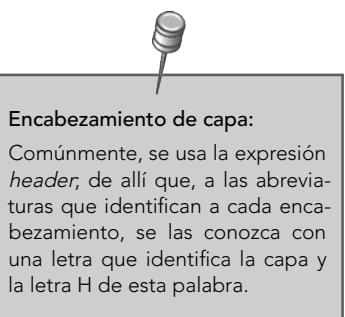
Un observador que estuviera ubicado en el equipo terminal que actúa como fuente podría observar cómo los datos que la fuente va enviando a la red son procesados por cada protocolo de capa y cómo cada uno de ellos le va añadiendo la información necesaria para permitir el procesamiento por los protocolos de la capa par del equipo que corresponda. Este puede ser

un conmutador para las primeras tres capas, o el equipo terminal que actuará como colector.

Este conjunto de datos se denomina encabezamiento de capa, y se suma uno a otro a medida que se llega desde la capa de aplicación hasta la capa física; esta última capa finalmente procederá a entregarlos al medio para su transmisión hacia el otro extremo.

A su vez, el conjunto de información compuesta por los correspondientes encabezamientos y por los datos reciben distintos nombres, según el nivel en que están situados.

- A nivel de la capa de transporte se denominan mensajes.
- A nivel de la capa de red se denominan paquetes.
- A nivel de la capa de enlace son tramas.
- A nivel de la capa física se habla simplemente de *bits*.



Las capas similares en cualquier parte del esquema de transmisión se denominan capas pares. La Fig. 4.15. permite observar la forma en que se comunican estas capas y la Fig. 4.16., el concepto de capa par..

En las figuras 4.15 y 4.16, se puede también observar que existen equipos que solo trabajan en las primeras tres capas solamente. Estos son los comutadores o router de la red.

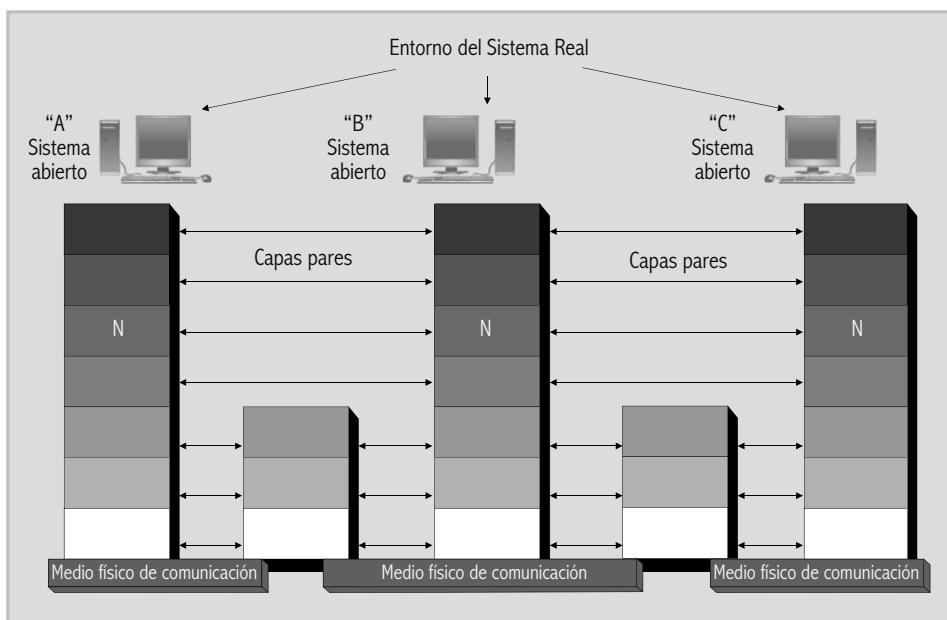


Fig. 4.16. Estratificación en sistemas abiertos y entes pares.

Como se describió con anterioridad, solamente a partir de la capa 4 los equipos se comunican de extremo a extremo.

Si el modelo usara las siete capas, los datos originales generados por la fuente irían acompañados por los siete encabezamientos. Cada uno de ellos es generado por los siete protocolos de capa antes de ingresar al medio físico. De allí que se ha buscado simplificar el modelo.

La Fig. 4.17. muestra la forma en que se van armando los diferentes subconjuntos en cada capa, hasta llegar al medio físico para su transmisión.

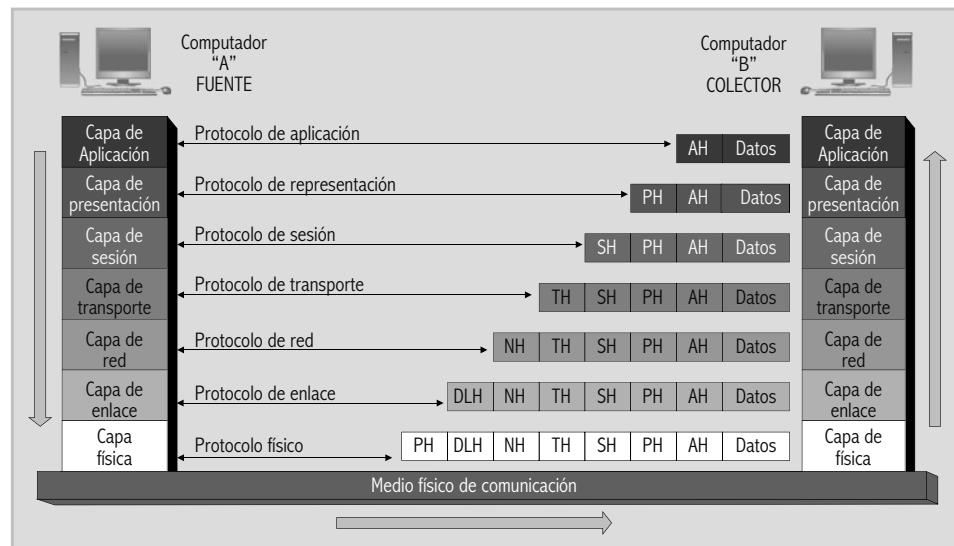


Fig. 4.17. Modelo de transferencia entre distintos niveles del modelo OSI.



El modelo TCP/IP tiene 4 capas mientras que el modelo OSI siete. Solo coinciden en las capas 3 y 4, Internet (red) y transporte.

4.3.4.4 El modelo de la ISO y la arquitectura TCP/IP

Es interesante observar la relación que existe entre el modelo de la ISO y la arquitectura DARPA, conformada básicamente por la suite de protocolos TCP/IP –tal como se describió en el apartado 4.3.3.2–.

La observación de ambos modelos nos permite apreciar que esta arquitectura no posee los niveles de sesión y de presentación.

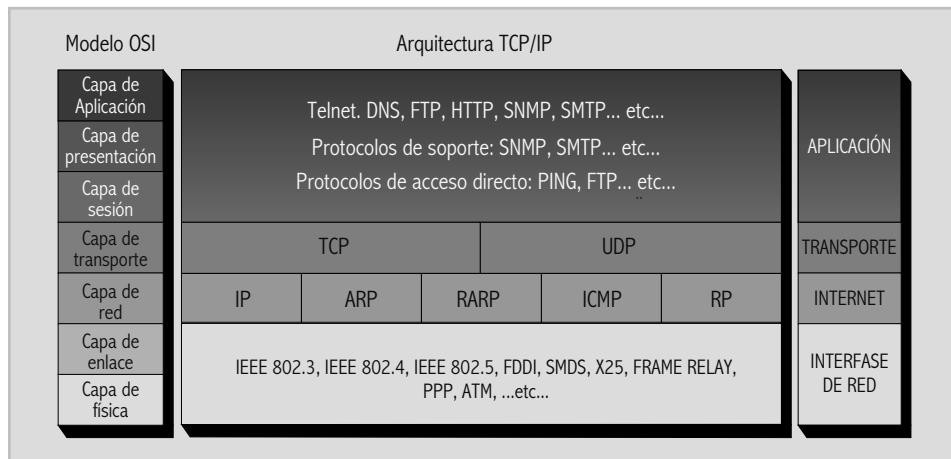


Fig. 4.18. Comparación entre el modelo OSI y la arquitectura TCP/IP.

A su vez, las capas físicas y de enlace poseen numerosas interfaces, que permiten adaptarse a las variantes de arquitecturas de hardware que se pueden presentar.

4.3.5 Funciones y servicios de capa

4.3.5.1 Introducción

Los protocolos de capa deben proporcionar servicios, denominados servicios de capa, a la capa inmediata superior. Para ello deben realizar funciones que, como resultado de las mismas, se presten los mencionados servicios. Analicemos para cada capa del modelo su objeto de existencia, las funciones que realiza para proporcionar los servicios de capa requeridos y, finalmente, sus características.

4.3.5.2 Capa física

Es la que conecta al computador con el medio de comunicaciones, y permite que los *bits* sean transferidos desde este hacia la red y viceversa (comunicación con conmutación) o hacia otro computador (comunicación punto a punto, sin conmutación).

En particular, establece las especificaciones mecánicas, eléctricas y lógicas, que permiten ejecutar los procedimientos necesarios para el ingreso de la información al medio y la recepción desde el medio hacia el computador, controlando y codificando la corriente de bits hacia su destino.

La capa física tiene por objeto:

Proporcionar los medios mecánicos, eléctricos, funcionales y de procedimiento, necesarios para comenzar, mantener y finalizar la conexión física para la transmisión de *bits* a lo largo de un canal de comunicaciones entre entes de la capa de enlace de datos (por ejemplo, entre el equipo terminal de datos-ETD y el equipo terminal del circuito de datos-ETCD), e interconectar a los entes de la capa física por un medio físico.

4.3.5.3 Capa de enlace

Es la responsable de establecer, mantener y liberar el enlace entre el equipo terminal que actúa como fuente y el que hará de colector. Permite, de esta manera, la transferencia ordenada de las tramas generadas por el primer equipo; facilita el flujo de información y detecta y corrige los errores que pudieron haberse cometido, conteniendo en su interior la dirección de destino (si fuera en caso de una comunicación punto, multipunto, sin conmutación).

Esta capa, de manera conjunta con la capa física, normalmente son las mínimas necesarias para hacer posible una transferencia de datos, usando medios de telecomunicaciones.

La capa de enlace tiene por objeto:

Proporcionar los medios funcionales y de procedimiento para establecer, mantener y liberar conexiones de enlace entre entes de red; transferir unidades de datos del servicio de enlace; detectar y, eventualmente, corregir errores de transmisión, que se producen en la capa física; y permitir a la capa de red controlar la interconexión de los circuitos dentro de la capa física.

4.3.5.4 Capa de red

Es la que permite dirigir el tráfico de paquetes desde la fuente hasta una estación colectora remota, mediante mecanismos de conmutación. Establece el camino que estos deben seguir; es decir, que usa la dirección física del equipo al cual se le va a transferir la información y encamina aquellos hacia su destino de la manera más eficiente.

La capa de red tiene por objeto:

Proporcionar los medios para establecer, mantener y liberar las conexiones de red; facilitar los medios funcionales y de procedimiento, para intercambiar unidades de datos del servicio de red por conexiones de red (entre entes de las capas de transporte). Asegura, también, la independencia de las unidades de transporte, respecto de los factores de encamina-

miento y retransmisión asociados con el establecimiento y explotación de una conexión de red determinada.

En el modelo OSI se define el concepto de subred, que es de gran importancia en la compresión del mismo.

Se entiende por Subred:

Al conjunto de uno o varios sistemas intermedios, que permiten la retransmisión, y a través de los cuales los sistemas abiertos pueden establecer conexiones de red.

En otras palabras, dentro del modelo OSI, el concepto de subred es la representación de una red de comunicación de datos real, sea esta el Sistema Nacional de Telecomunicaciones de un país determinado, una red privada, una red de área local o de área metropolitana.

En función de este concepto, se define como conexión de subred:

Al trayecto de comunicaciones a través de una subred, que es utilizado por entes de la capa de red para suministrar una conexión de red.

4.3.5.5 Capa de transporte

Es la que permite mantener la integridad de los datos de extremo a extremo (fuente a colector), facilitando el enrutamiento, la segmentación y, luego, su unión en el mensaje original transmitido. Si es necesario, recupera errores. Esta capa maneja mensajes.

La capa de transporte tiene por objeto:

Efectuar la transferencia transparente de datos entre entes de la capa de sesión; liberar a dicha capa de toda preocupación, respecto de los detalles necesarios, para conseguir una transferencia de datos segura y rentable; y optimizar el uso del servicio de red disponible, para ofrecer la calidad de funcionamiento que necesita cada ente de la capa de sesión a un costo mínimo.

4.3.5.6 Capa de sesión

Es la que maneja las disponibilidades de la red, controlando las memorias intermedias y verificando que la capacidad de procesamiento de esta no se vea saturada por la cantidad de datos que se le transfieren; provee la sincronización entre los equipos terminales y también se ocupa de verificar, si fuera el caso, la autenticidad del usuario y el tipo de diálogo (símplex, semidúplex o dúplex).

La capa de sesión tiene por objeto:

Facilitar el medio necesario para que los entes de la capa de presentación en cooperación organicen y sincronicen su diálogo y procedan a su intercambio de datos. Proporciona los servicios para establecer una conexión de sesión entre dos entes de la capa de presentación y facilita interacciones ordenadas de intercambio de datos.

4.3.5.7 Capa de presentación

Se ocupa de la sintaxis de los datos, de la conversión de códigos (transcodificación), de la encriptación o desencriptación (si fuera necesario su uso), de la compresión y descompresión de la información, y de todo otro tipo de funciones que se refieran a la modificación de los datos que, originalmente, fueron enviados por el computador, con el objeto de que se pueda realizar alguna tarea que resulte conveniente y necesaria para adaptar la comunicación a determinadas particularidades.

La capa de presentación tiene por objeto:

Permitir la representación de los datos que han de transferirse entre entes de la capa de aplicación; representar la estructura de datos a la que los entes de la capa de aplicación se refieren en su comunicación; y proporcionar elementos sintácticos comunes para ser utilizados por los

entes de la capa (con independencia de la sintaxis particular que pueda usar cada ente de la misma). Además, tiene por objeto facilitar la transformación entre las sintaxis particulares y la sintaxis común, para posibilitar la comunicación entre entes diferentes de la capa de aplicación.

4.3.5.8 Capa de aplicación

Es la que controla y ejecuta las actividades que requiere una determinada aplicación para que pueda ser transmitida hacia el otro extremo, interactuando con el equipo terminal que genera o recibe la información para ser procesada por los usuarios; facilita la transferencia de archivos y de mensajes de correo, emula terminales virtuales y permite el acceso a bases de datos remotas o tareas que hacen al gerenciamiento de la red.

La capa de aplicación tiene por objeto:

Servir de ventana a los procesos de aplicación ejecutados por los computadores, su hardware y software asociados, y que usan el modelo de la ISO para su comunicación con otros computadores, a los efectos de intercambiar información significativa.

Dentro de las características de esta capa, podemos citar:

- Compatibilización de las funciones en terminales diferentes.
- Compatibilización de las funciones de aplicación características del uso local del terminal.
- Transferencia de archivos.
- Procedimientos remotos.
- Administración de archivos.
- Correo electrónico.

Se trata del nivel superior del modelo ISO, en el que se llevan a cabo todas las funciones específicas de comunicación entre los diferentes procesos de aplicación que forman el sistema. Si los procesos se encuentran instalados en la misma máquina, la comunicación se realizará de la manera habitual; en caso de hallarse en equipos diferentes, será necesario recurrir al sistema de interconexión.

De esta manera, la comunicación entre los procesos se efectúa mediante determinado protocolo. Estos han sido agrupados por la Organización Internacional de Normalización (ISO) en los grupos indicados en la Tabla 4-3.

Tabla 4-3 Protocolos gestionados por el nivel aplicación

Grupo 1
Protocolos del gestión del sistema Orientados a la gestión del sistema de interconexión
Grupo 2
Protocolos del gestión del aplicación Efectúan el control de las funciones de gestión, de los procesos de aplicación
Grupo 3
Protocolos del sistema Para efectivizar las comunicaciones entre aplicaciones
Grupo 4
Protocolos específicos para aplicaciones Dedicados especialmente para determinadas aplicaciones

4.4 Funciones ejecutadas por las redes de telecomunicaciones

4.4.1 Introducción

Las redes de telecomunicaciones, cualquiera sea la tecnología con la que hayan sido construidas y el uso para el hayan sido diseñadas, deben realizar ciertas funciones y, consecuentemente, tener el equipamiento que pueda realizar las mismas.

Las funciones son:

- Conmutación.
- Transmisión.

En algunas redes, como es el caso de la red telefónica, es necesario contar con una función adicional que es la señalización.

4.4.2 Conmutación

4.4.2.1 Conceptos generales

Cuando se analizó el concepto de topología de una red, en la Tabla 4.1 se demostró que si se quisieran conectar 1000 equipos terminales, “todos contra todos”, se hubieran requerido un total de 499.500 vínculos, valor que se obtenía a partir de la expresión (4 – 2).

Muy al principio de su historia, la red telefónica utilizaba ese método de interconexión dado que la cantidad de usuarios era mínima. Sin embargo, rápidamente se llegó a la necesidad de utilizar conmutadores, los cuales son equipos de telecomunicaciones que realizan la función de conmutar las conexiones entre los usuarios. Por lo tanto:

Se entenderá por conmutar a la función que realiza un determinado hardware de comunicaciones, que permite seleccionar un camino entre muchos posibles, entre un puerto de ingreso y otro de salida, que facilite el establecimiento de un enlace entre dos equipos terminales utilizando vínculos de comunicaciones.

El equipo que realiza esta función se denomina conmutador. Ejemplos de conmutadores son los distintos tipos de centrales telefónicas, los *router*, *switch*, etc.

La totalidad de las señales para ser conmutadas, si bien podrían ser analógicas o digitales, transportan la voz; sin embargo, en la actualidad, están totalmente digitalizadas.

Existen tres técnicas básicas de conmutación que son la conmutación de circuitos, la conmutación de mensajes y la conmutación de paquetes.

En los casos de los servicios conmutados, la transferencia de información mediante el establecimiento de comunicaciones entre equipos terminales de datos –que utilizan arquitecturas basadas en los modelos de capas– pueden efectuarse mediante dos tipos de servicios: Servicios orientados a la conexión y servicios no orientados a la conexión.

Las analogías más rápidas, para entender la diferencia entre unos y otros, están en la similitud que uno puede encontrar en los siguientes ejemplos:

- Servicios orientados a la conexión → similitud con el servicio telefónico.
En el servicio telefónico, al igual que en los servicios orientados a la conexión, deben efectuarse tres acciones. Primero debe establecerse la comunicación, luego hablar transmitiendo la información y, finalmente, se procede a la desconexión del servicio.
- Servicios no orientados a la conexión → similitud con el servicio postal.
En el servicio postal, se prepara el sobre que contendrá la información, se coloca la dirección del receptor; se deposita la carta en un buzón y, a partir de allí, se deberá



Los equipos *router* y los denominados *switch* son utilizados en las redes de datos. Se trata de conmutadores que, a diferencia de las centrales telefónicas tradicionales, utilizan una tecnología denominada conmutación de paquetes. Las centrales telefónicas tradicionales utilizan otra tecnología denominada conmutación de circuitos.

proceder a cumplir con el servicio deseado. Sin embargo, no estaremos seguros de que la carta haya o no llegado a destino.

En los servicios orientados a la conexión, las fases necesarias para la transferencia de la información son:

1. Listo para establecer una conexión.
2. Establecimiento de la conexión.
3. Transferencia de los datos.
4. Liberación de la conexión.
5. Listo para establecer una nueva conexión.

Las características particulares de este servicio son:

- La información llega siempre al receptor en el mismo orden en que fue enviada por la fuente. Si fuesen mensajes transmitidos, llegarían respetando la secuencia de transmisión.
- Se lleva un control permanente de todas las sesiones y se busca asegurar que la información llegue al receptor sin errores.
- Cuando el servicio asegura la fiabilidad de la información (en este caso, ello sucede en la mayoría de las situaciones), el receptor notifica a la fuente que la información ha sido recibida y, además, correctamente.
- Los sistemas de este tipo son más caros y tienen un trabajo de red adicional, dado la gran cantidad de funciones que se deben ejecutar durante el proceso de transferencia de la información.
- Es ideal en las redes de transmisión de datos de área extensa que usan vínculos de la red telefónica (utilizada como red soporte), donde la tasa de errores puede ser mayor y puede resultar conveniente garantizar la integridad de los datos.
- Muchos servicios actuales no necesitan de la calidad y fiabilidad de los sistemas orientados a la conexión, pues estos presentan retardos no deseables. En este caso, se dice que son servicios con conexión sin fiabilidad, como es en algunos casos de transmisión digital de la voz.
- En aquellos servicios que son dependientes del tiempo, como es la transmisión de la voz y el video (las denominadas señales isocrónicas), requieren que no existan retardos importantes ni variables (*jitter*).

En los servicios no orientados a la conexión, las fases necesarias para la transferencia de la información son:

1. Listo para establecer una conexión.
2. Transferencia de los datos.
3. Listo para establecer una nueva conexión.

Las características particulares de este servicio son:

- La información llega al receptor no siempre en el mismo orden en que fue enviada por la fuente.
- Si se trata de archivos, su integridad no está asegurada en cuanto a que no llegará todo en un solo mensaje; este se puede recibir en dos o más bloques.
- El servicio no asegura la fiabilidad de la información, es decir, no hay control de errores.
- Los sistemas de este tipo son más simples y baratos, pues funcionan como un buzón de correo, donde se supone que, una vez transmitido el mensaje, llegará a destino.

- Es ideal en las redes de tipo local, que usan vínculos propios confinados a un edificio o distancias muy cortas.
- En estas redes la tasa de errores es muy baja –y del orden de un BER mejor que 10^{-8} –, como es el caso de las Redes de Área Local–LAN. En algunos casos hasta puede ser que no sea necesario garantizar la integridad de los datos.
- El servicio de transmisión de datos no orientado a la conexión, sin acuse de recibo, también es denominado servicio de datagramas.
- Existen servicios de un tipo especial de datagramas denominados datagramas con asentimiento. En este caso, funcionan de la misma manera que la correspondencia certificada con acuse de recibo, donde además de certificar en el domicilio la llegada de la misma, se envía, por cuerda separada, un mensaje a la fuente avisándole que dicho mensaje fue recibido. Sin embargo, en estos casos no se abre juicio sobre la calidad en que dicho mensaje llegó.

4.4.2.2 Comutación de circuitos

Las redes por comutación de circuitos son aquellas en que los conmutadores establecen un camino físico determinado para cada comunicación solicitada, a través de dos o más nodos de la red, en la que se utilizan los recursos que la misma habilita para su establecimiento durante todo el tiempo que dura la comunicación –desde que la misma es establecida hasta que ella es liberada–.

Si en parte del tiempo que dura la misma, el enlace se encuentra inactivo por no utilizarse para transmitir información, la comunicación continua establecida consumiendo recursos de la red. Esta particularidad hace este tipo de comutación bastante ineficiente.

La red telefónica comutada, desde su creación, es un ejemplo típico de una Red por comutación de circuitos, aunque actualmente se está comenzando a reemplazar esta tecnología por la de comutación de paquetes. Si bien la comutación de circuitos ha sido pensada para la transmisión de la voz, existen algunas redes especiales para la transmisión de datos que también utilizan la misma.

En la comutación de circuitos, una comunicación implica el desarrollo de tres fases:

- establecimiento de la comunicación.
- transferencia de la información.
- Desconexión de la comunicación.

Este tipo de redes prestan servicios del tipo orientados a conexión (*Connection Oriented CO*), dado que previo a la transmisión de la información se debe establecer la comunicación fechada con el otro extremo. En ellas, la fase de establecimiento de la comunicación tiene por objeto encontrar el camino entre ambos extremos.

Los equipos son denominados llamante y llamado. Para establecer el circuito se da intervención a uno, o varios, de los distintos conmutadores disponibles en la red. Una vez que los mismos han logrado establecer el camino físico y la conexión lógica, el canal de comunicaciones estará operable.

Una vez establecido el canal de comunicaciones por un determinado camino, el ancho de banda será constante durante todo su recorrido. Por lo tanto, esta tecnología es absolutamente transparente a la información que se transporta. Durante la fase de transferencia de la información no existirá ningún procesamiento o almacenamiento intermedio a ella, ni habrá conversión de códigos. La velocidad de transmisión será constante en todo el canal de comunicaciones, durante todo el tiempo que dure la comunicación.

Esta característica hace que el retardo de transmisión, o delay, sea despreciable (excepto en casos particulares muy especiales, como por ejemplo, si el canal establecido incluyera un vínculo satelital); sin embargo, no es así el retardo producido para el establecimiento de la comunicación. Este tiempo se cuenta desde el momento que se inicia el procedimiento para establecer la comunicación y hasta que la red deja establecido el circuito.

En la red telefónica, para establecer una comunicación se demora, normalmente, algo menos de un segundo. Sin embargo, para casos más específicos, como podría ser tanto el establecimiento de un canal internacional como una comunicación con un equipo móvil, pueden llegar a necesitarse tiempos que van de uno a varios segundos.

Otra particularidad es que una vez establecido el camino a través de los distintos conmutadores, que son necesarios para llegar a destino, este permanece inalterable hasta que la comunicación es liberada. Este tipo de redes, desde el punto de vista del concepto del modelo de capas, trabaja solamente en la capa física.

La Fig. 4.19. nos muestra un canal de comunicaciones establecido sobre una red que utiliza la tecnología de conmutación de circuitos. En la misma, se puede observar que entre los equipos terminales, en este caso teléfonos, se establecen caminos físicos y una conexión lógica que va uniendo los distintos nodos de conmutación de la red que ha sido necesario realizar para establecer el canal de comunicaciones. A su vez, a través de él se han ido tomando los medios físicos necesarios para lograr la comunicación.

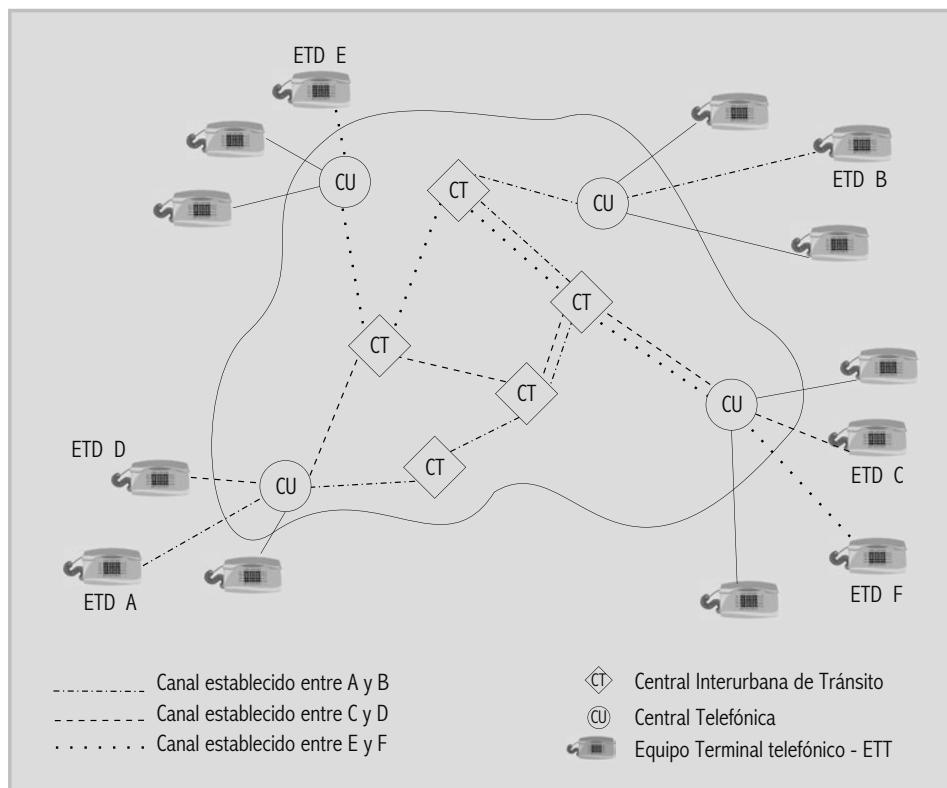


Fig. 4.19. Canal establecido por una red de conmutación de circuitos.

En la figura anterior, se pueden observar los caminos que siguen los tres circuitos establecidos entre los terminales A con B, C con D y E con F.

En este tipo de tecnología cada usuario tiene asociado un número o dirección única en toda la red, que permite su ubicación inequívoca dentro de ella y que es utilizada en la fase de establecimiento de la comunicación. Esta información es empleada por el equipo terminal, que inicia la comunicación a los efectos de establecer el canal de comunicaciones con el equipo que será el destino de la misma.

En la fase de transferencia de la información, los equipos llamante y llamado intercambian la información según el tipo de servicio utilizado en la conexión establecida.

La cantidad de información que puede ser intercambiada entre ambos equipos siempre está prefijada por la red sobre la base del diseño de la misma. Si el intercambio fuera de datos, la cantidad a transferir por unidad de tiempo estará limitada por la tasa de transferencia máxima de diseño del circuito establecido. Expresado de otra forma, el canal de comunicaciones que se ha de establecer tendrá un ancho de banda (el concepto ha sido desarrollado en el Capítulo 3 de esta obra) constante para cada circuito.

La fase de desconexión de la comunicación comienza cuando uno de los equipos da por finalizada la misma. Ella consiste en liberar todos los recursos utilizados en los commutadores, que estaban siendo usados para mantener establecida la conexión.

En las redes por commutación de circuitos se requiere intercambiar información para su funcionamiento en forma de mensajes, que forman parte de las funciones denominadas de señalización.

4.4.2.3 Comutación de mensajes

Las redes por commutación de mensajes son aquellas que están diseñadas para permitir la transmisión de bloques de información digitalizada –donde cada uno de ellos debe contener la dirección origen y la de destino–, mediante procesos de almacenamiento y retransmisión de la información, que realiza cada nodo de la red hasta alcanzar el destino final donde procede a entregar el bloque recibido al usuario final.

La técnica de commutación de mensajes está basada en el almacenamiento de los mensajes en los nodos, en donde son encolados a la espera del momento más oportuno para ser retransmitidos hacia el nodo siguiente, y así hasta llegar a su destino. De alguna manera esta tecnología es muy similar, como se verá oportunamente, a la commutación de paquetes no orientada a la conexión.

La Fig. 4.20. nos muestra la estructura de una red por commutación de mensajes y la forma en que se produce la commutación mediante el proceso de almacenamiento y retransmisión. Cada mensaje está representado, por ejemplo, con las siglas A1-C. Ellas indican que se trata del mensaje 1 del ETD A, que está destinado al EDT C, y así en cada caso. Ese mensaje, más otros del mismo equipo, llegarán al nodo 1, y lo mismo ocurrirá con los que envía a este el equipo B. El Nodo 1 almacena todos los mensajes que le van llegando de los equipos que administra, y arma las colas según el destino final de cada uno. Posteriormente, los retransmite al nodo más conveniente, que permita alcanzar, en cada caso, su destino de la mejor manera.

También cabe destacar los siguientes aspectos de interés:

- Cada nodo de commutación debe tener una capacidad de almacenamiento de mensajes correctamente dimensionada para el servicio que se desee prestar. Si así no fuera, la red presentaría una importante vulnerabilidad que provocaría congestión en la red y, por lo tanto, retardos importantes.

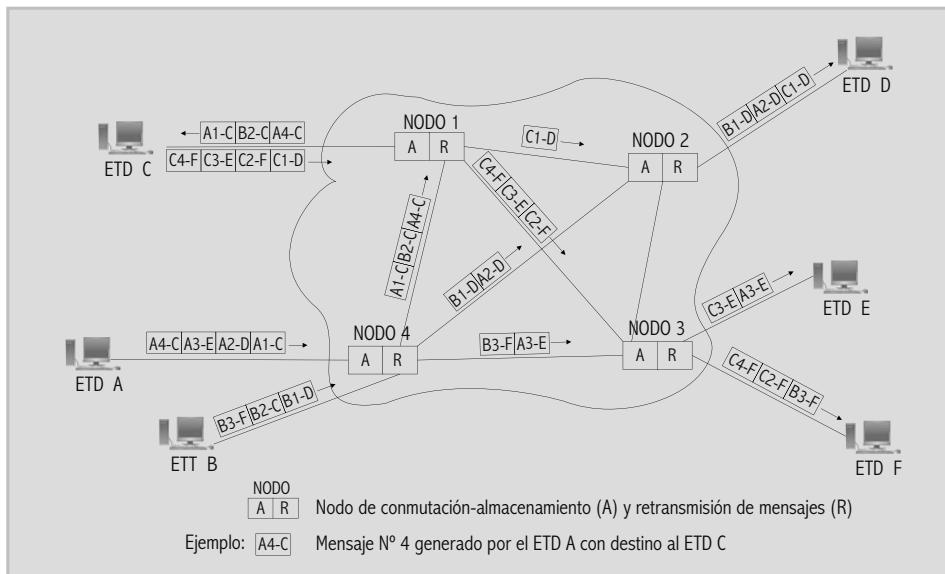


Fig. 4.20. Esquema de funcionamiento de una red por conmutación de mensajes.

- Cada usuario que está conectado a un nodo va enviando a este los mensajes que desea transmitir. Estos podrán ser enviados a usuarios diferentes. A tal efecto el mensaje debe tener identificado su destino final.
- Los nodos agrupan y encolan los mensajes que van a seguir rutas similares en su memoria buffer. La transmisión de un nodo a otro intermedio, y del último al receptor, se realizará en el momento más oportuno hasta completar el proceso de transmisión.

Si las aplicaciones que se corren en este tipo de redes no son vulnerables a retardos, las mismas resultan para ellas eficientes y económicas. Este tipo de redes, desde el punto de vista del concepto del modelo de capas, trabaja en las tres primeras capas del modelo: Física, enlace y red.

4.4.2.4 Conmutación de paquetes

Las redes por conmutación de circuitos, si bien actualmente manejan información digitalizada en la totalidad de su topología, también pueden establecer canales de comunicaciones analógicos. De hecho, la Red Telefónica, hasta la década de los años 70, era en su mayor parte analógica, incluyendo los propios Nodos de Comutación.

Por el contrario, la Conmutación de Paquetes solo puede funcionar con señales digitales. A tal efecto, este tipo de redes inicialmente fueron diseñadas de manera específica para la transmisión de datos, pero en la actualidad son utilizadas para una gran variedad de servicios, incluyendo la transmisión de la voz y video.

Las redes por conmutación de paquetes son aquellas en las que los mensajes para ser transmitidos (compuestos por una sucesión de bits) son divididos en el equipo transmisor en mensajes de tamaño más reducido, denominados paquetes. A estos, se les adiciona toda la información necesaria para que los conmutadores puedan definir la ruta adecuada y alcanzar el equipo destino, a través de los nodos de la red, y otra información adicional, necesaria para que en su destino se pueda rearmar nuevamente el mensaje en el mismo orden en que fue dividido.

Las redes por conmutación de paquetes, desde el punto de vista del concepto del modelo de capas, trabaja en las tres primeras capas del modelo: Física, enlace y red.

Como se explico anteriormente, también las redes por conmutación de paquetes pueden ser de dos tipos diferentes: Orientadas a la Conexión o No Orientadas a Conexión.

Las redes por conmutación de paquetes orientadas a la conexión son aquellas que, antes de comenzar a intercambiar información entre los equipos terminales, deben establecer un circuito. Para ello se deben conocer las direcciones del equipo llamante y las del equipo llamado. El circuito que se establece es denominado Circuito Virtual, pues comparte recursos de la red con otros similares.

A diferencia de las redes por conmutación de circuitos, en las que la conexión es física, aquí se establece una conexión lógica, de allí el nombre de circuito virtual. Existen dos tipos de circuitos virtuales: Circuitos Virtuales Comutados, de características similares a un circuito comutado telefónico y Circuitos Virtuales Permanentes, análogos a los circuitos dedicados o arrendados (ver apartados 4.10.2 y 4.10.3) sobre aquella red.

Los circuitos virtuales permanentes se establecen a través de los sistemas de gestión de la red sin la participación del usuario. Cuando un equipo A tiene establecido un circuito virtual permanente con otro B, cada vez que envía al nodo inicial un paquete, este automáticamente lo hará llegar al equipo B, sin necesidad de establecer la conexión.

En el caso de los circuitos virtuales comutados, el equipo llamante debe conocer la dirección de destino y realizar el procedimiento necesario para establecer un circuito virtual.

Para ello, la red utiliza paquetes especiales que, normalmente, no contienen información para ser trasferida o, si la tienen, es de un tamaño muy pequeño. También en estos casos se cumplen los tres pasos, que son el establecimiento del circuito, la transferencia de la información y, cuando esta finalizó, el procedimiento de liberación del mismo.

Tanto en uno como en otro tipo de circuitos, los paquetes viajan por un único camino, ya sea porque, en el caso de los circuitos virtuales permanentes, este ha sido establecido por el operador de la red o porque, en el caso de los circuitos comutados, cada uno determina el recorrido en función del estado de la red en el momento del establecimiento de la comunicación. En este último caso, al efectuarse un llamado por parte de un usuario que desea iniciar una comunicación, la red busca un camino posible entre todos los existentes, según la topología que tenga esta, y, una vez aceptada la comunicación por parte del usuario destino, el camino será siempre el mismo hasta su liberación..

La Fig. 4.22. nos muestra una red de conmutación de paquetes que funciona con un protocolo orientado a la conexión. Se muestra cómo quedan establecidos los circuitos virtuales entre equipos terminales, y cómo estos van transmitiendo los paquetes entre fuente y destino.

En la figura anterior podemos observar dos circuitos virtuales establecidos. Uno, entre los equipos A y D; y el otro circuito entre E y C. Cada paquete se ha identificado con el circuito virtual por el que circulará, y se ha colocado un número simbólico de identificación del paquete, para poder continuar el camino que seguirá la información transmitida desde la fuente al sumidero.

Las redes por conmutación de paquetes no orientadas a la conexión son aquellas en las que los paquetes –aquí denominados con más propiedad datagramas– son entregados a la red para que los haga llegar a destino. La red direccionará cada datagrama por el camino que, en cada momento de la transmisión, encuentre más apropiado, en función al volumen de tráfico que está manejando cada conmutador de paquetes, o como vaya detectando, cada nodo, la congestión que podrá haber en cada sector de la red.

Por lo tanto, cada uno de los datagramas deberá contener siempre la dirección de destino. Así, cuando arriba uno de ellos los conmutadores pueden verificar si el mismo contiene errores. Luego, revisan su encabezamiento para determinar la dirección de destino, a los efectos de poder tomar una decisión de conmutación, es decir, seleccionar el camino de salida del nodo adecuado.

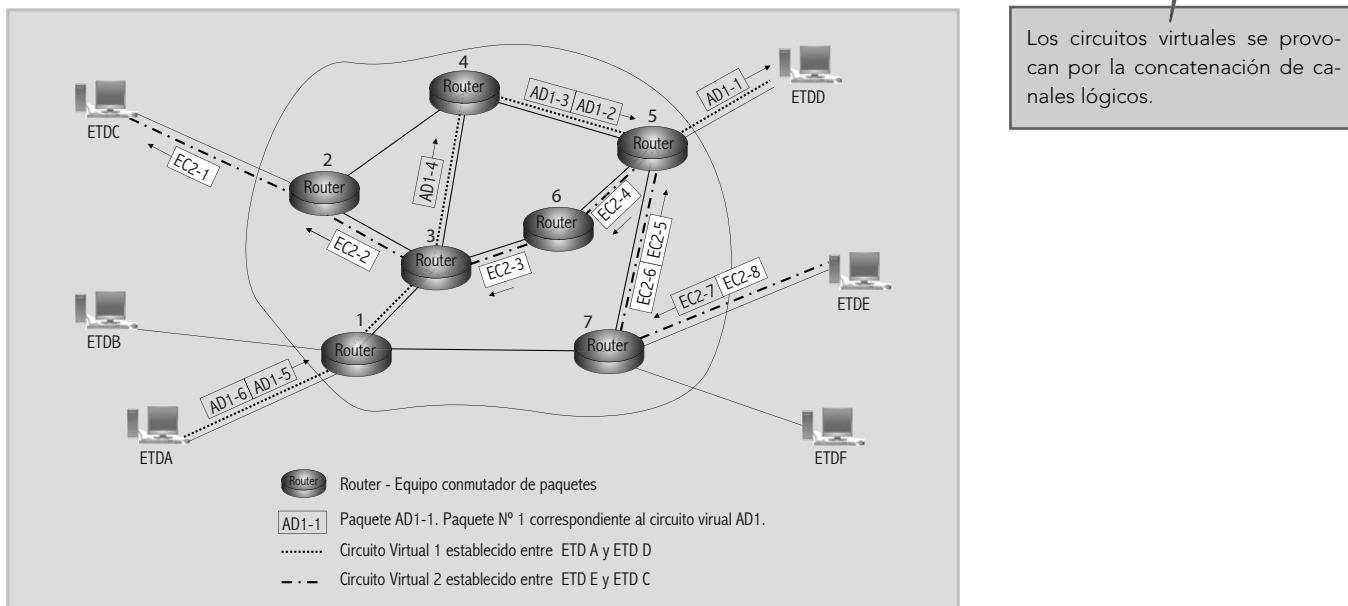


Fig. 4.21. Circuitos virtuales en una red por conmutación de paquetes.

Si se verifica que el paquete tiene errores, será descartado de inmediato. Para realizar todas estas operaciones, el mismo es almacenado en una memoria intermedia, hasta que es reenviado a la red nuevamente por el camino seleccionado hacia su destino. Cuando se trabaja con redes no orientadas a la conexión se dice que el servicio ofrecido es de máximo esfuerzo (*best effort*).

En las redes que trabajan con el concepto de *best effort*, cuando un paquete es descartado por haber sido detectado algún error, alguna capa superior a la de red del modelo deberá ordenar su reemplazo o retransmisión si el servicio que presta lo hace necesario.

Por ejemplo, en la arquitectura TCP/IP, si un datagrama IP que transporta un segmento TCP se pierde o no llega a destino por alguna causa (dirección equivocada, errores, etc.), el encargado de transmitir nuevamente los datos será el protocolo TCP, que generará nuevamente otro segmento similar y se lo entregará a la capa de red para que lo envíe otra vez a destino, utilizando un nuevo datagrama IP.

Obsérvese que en estos casos, dos paquetes consecutivos pueden llegar en un orden diferente al que fueron transmitidos, por haber seguido caminos diferentes o porque uno debió ser retransmitido al ser descartado por sus errores de transmisión.

También en ese caso, una capa superior del modelo deberá volver a ponerlos en el orden correspondiente para que el mensaje retome la coherencia con la que fue enviado.

La Fig. 4.22. nos muestra una red de conmutación de paquetes y la manera en que son transmitidos los distintos datagramas en que fue dividido un mensaje. En dicha figura cada datagrama está identificado solamente por el equipo que lo originó, el destino final y un número de orden. En algunos casos se puede apreciar que los paquetes toman caminos diferentes.

Este hecho, también puede hacer que lleguen en un orden distinto al inicial, es decir, al que tenían cuando fueron enviados a la red. En esos casos, tal como se expresó, no es la red sino el equipo terminal receptor el que los deberá acomodar en el orden correcto, usando algún protocolo de capa superior a la capa tres.

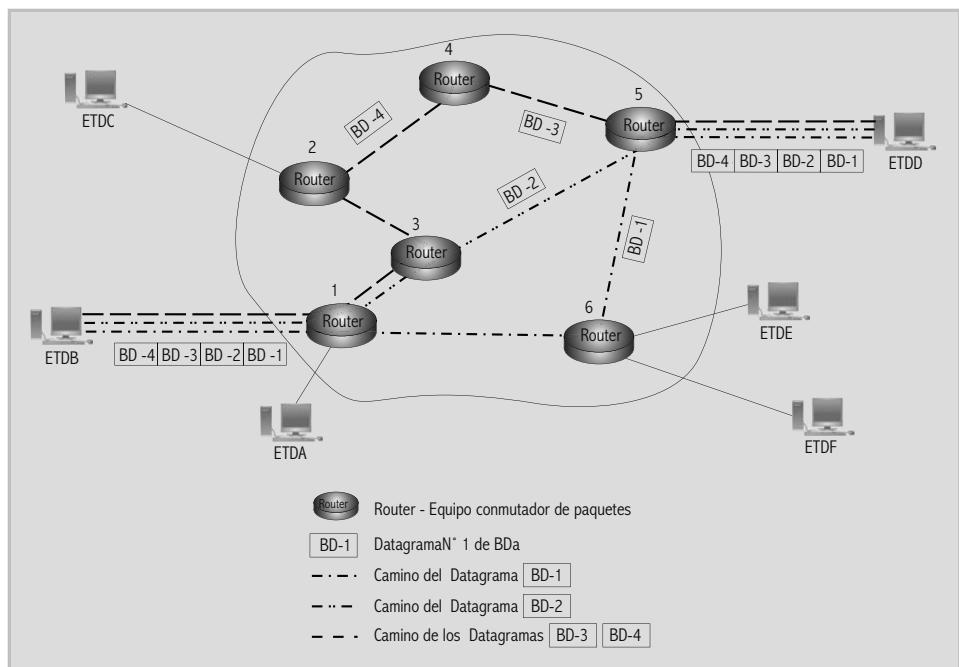


Fig. 4.22. Transmisión de datagramas en una red por conmutación de paquetes.

4.4.3 Transmisión

Se denominan sistemas de transmisión a:

Aquellos sistemas que tienen la capacidad de transportar la información entre los extremos de una red de telecomunicaciones, facilitando la comunicación entre los distintos nodos de la red, o entre ellos y los equipos terminales, mediante vínculos cuya capacidad debe estar en relación directa con el tráfico que ellos deben administrar.

La definición nos muestra que en los sistemas de transmisión se deben considerar dos casos: Los vínculos entre los equipos terminales y los nodos de acceso a la red; y los vínculos que unen dos nodos entre sí.

Los primeros forman parte de la red de acceso y su capacidad depende del tipo de equipo terminal que interconectará a la misma. En el caso particular de la red telefónica, el acceso para un usuario común es normalmente un par telefónico, también llamado local *loop*.

Los enlaces entre nodos de la red se denominan vínculos troncales. Su capacidad es de otro orden de magnitud mucho mayor y se materializa, en general, a través de cables de fibra óptica, microondas, cables coaxiales, satélites, sistemas radioeléctricos y, excepcionalmente, cables multipares de cobre.

Un sistema de transmisión está compuesto por una fuente de información con su correspondiente transductor, un transmisor, un medio de comunicaciones –que permite establecer el canal de las mismas–, un receptor y un sumidero con su correspondiente transductor inverso.

La Fig. 4.23. muestra un esquema simplificado de un sistema de transmisión.

El transmisor tiene la función de procesar adecuadamente la señal generada por la fuente. Para ello, deberá realizar alguna operación para que la misma se adapte al medio de comunicaciones que se vaya a utilizar –como podría ser digitalizarla, codificarla, modularla, etc.–.

Un ejemplo puede ser el caso de una fuente que entrega una señal eléctrica para ser transmitida por una fibra óptica. En ese caso, además de otras operaciones, el transmisor deberá estar capacitado para transformar las señales eléctricas en ópticas.

Otro ejemplo muy común es cuando un computador se conecta a la Red Internet a través de un circuito telefónico comutado. Allí, el módem deberá transformar las señales digitales en analógicas, mediante un proceso de modulación.

El medio de comunicaciones permite establecer el canal correspondiente. Este, cualquiera sea, estará sujeto a los fenómenos de atenuación, distorsión, interferencia y ruido (ver Capítulo 2, apartado 2.3).

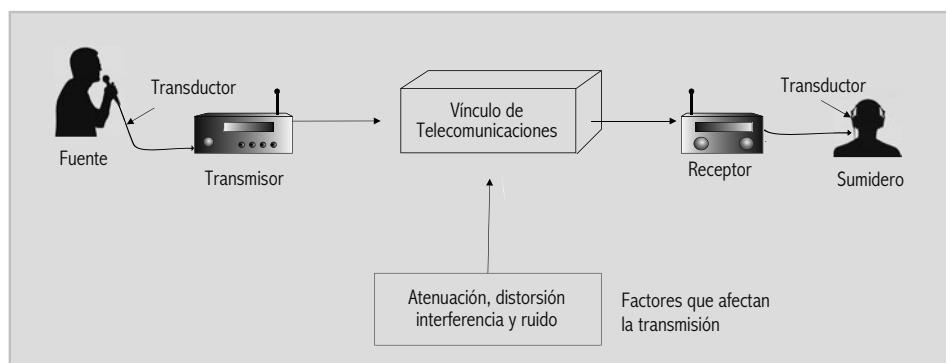


Fig. 4.23. Esquema de un sistema de transmisión.

El elemento que mejor caracteriza a un medio de comunicaciones es su capacidad. No tiene la misma capacidad una fibra óptica que un par de cables de cobre. Si analizamos este concepto, veremos que se puede hablar con más precisión de capacidad disponible y utilizable.

Llamaremos capacidad disponible de un vínculo al ancho de banda total que se puede utilizar para transmitir información.

En el caso de vínculos analógicos, que actualmente cumplen un papel solamente residual, el ancho de banda se expresa básicamente en Hz. En el caso de vínculos digitales, el ancho de banda se expresa básicamente en bps o en algún múltiplo más adecuado a la capacidad del mismo, –es decir, en Kbps, Mbps, Gbps, etc.–.

Llamaremos capacidad utilizable de un vínculo al ancho de banda que es posible utilizar del mismo, para transmitir información tal como este se encuentra equipado.

Cuando la capacidad de un determinado medio instalado se desea referir en la red telefónica, se suele expresar la misma en la cantidad de canales de voz que este puede transportar. Si se expresara así, debe señalarse que cada canal se toma con un ancho de banda de 64 Kbps ó 56 Kbps. El primer valor es utilizado, normalmente, en las normas de la Unión Internacional de Telecomunicaciones y en los países que siguen sus normas más estrictamente –como los europeos y latinoamericanos–. Este tipo de canales, sobre los que volveremos oportunamente, se denominan canales B.



Se denominan sistemas monocanal a aquellos vínculos, analógicos o digitales, que transportan un solo canal de 4 KHz, en el primer caso, o de 64 Kbps, en el segundo. Se utilizan solamente en casos muy especiales, como por ejemplo, para comunicar centrales muy pequeñas ubicadas en áreas rurales.

Los canales de 56 Kbps son similares en cuanto a su uso, pero responden a las normas utilizadas en los Estados Unidos de Norteamérica, que han sido confeccionadas por los Laboratorios Bell.

En los enlaces troncales, el ancho de banda total del canal de comunicaciones que por el mismo se establece, se divide en subcanales de menor ancho utilizando equipos que reciben el nombre de multiplexores.

Dejando de lado este tipo de canales, que cuando son únicos sobre un medio de comunicaciones reciben el nombre de monocanales, la capacidad mínima de todo sistema de transmisión comienza por la construcción de lo que se denomina grupo básico (en el Capítulo 5 se desarrollará con más detalle este concepto).

Un grupo básico de características digitales puede tener dos variantes, en cuanto a la capacidad del mismo se refiere, según el tipo de norma –siguiendo el mismo criterio que se señaló en los párrafos anteriores-. En la norma europea el mismo tiene una capacidad de 2048 Mbps, ó 30 canales de voz de 64 KHz cada uno; y en la norma usada en los Estados Unidos de Norteamérica este tiene una capacidad de 1544 Mbps, ó 24 canales de voz de 56 KHz cada uno.

Para que en un mismo medio se puedan transmitir varios canales en forma simultánea, se debe realizar un proceso denominado multiplexación, utilizando, como ya se indicó, equipos que reciben el nombre de multiplexores.

Los sistemas de transmisión utilizan, para establecer los vínculos físicos, algunos de los siguientes medios de comunicaciones (en el Capítulo 6 se desarrollarán con más detalle estos conceptos):

- **Cables de cobre multipares.**

Esta tecnología, si bien tiene muchos años de utilización, actualmente está siendo reutilizada brindando los servicios digitales de banda ancha. Un caso particular son los cables *Unshielded Twisted Pair*-UTP, empleados asiduamente en la construcción de Redes LAN. En muchos casos, las redes de cables de cobre multipares originales, que se utilizaban en la red telefónica eran de muy pequeño diámetro y fueron reemplazados por cables similares, pero mejor aislados y de diámetros mayores.

- **Cables coaxiales.**

Esta tecnología no tiene uso en la red telefónica, pero se utiliza en las redes de televisión por cable. Sin embargo, pueden existir aún en algunos tramos de las redes interurbanas, en los que esta tecnología se utiliza como soporte de servicios complementarios.

- **Microondas.**

Los sistemas de microondas prestan servicio en todo tipo de redes: Urbanas, interurbanas e, incluso, en vínculos internacionales, aunque están siendo reemplazados por fibras ópticas. En particular, en muchos casos se utilizan en los llamados enlaces fronterizos, donde se enlazan localidades próximas de países limítrofes. Son utilizados de manera complementaria como tecnología central en la conformación de los sistemas satelitales, formando parte de su configuración.

- **Fibras ópticas.**

Las fibras ópticas, por la gran capacidad que brindan, son, en la actualidad, el medio por excelencia utilizado para establecer todo tipo de sistemas de transmisión. Son utilizadas en redes urbanas, interurbanas e internacionales. Se emplean en forma excluyente en la construcción de cables submarinos. Cabe destacar que estos últimos tienden a reemplazar a los enlaces satelitales.

- **Satélites.**

Los sistemas satelitales se utilizan especialmente en la red telefónica, cuando es necesario establecer vínculos con zonas geográficas de muy difícil acceso. Su uso es muy intenso en la difusión de señales de televisión. También son empleados para brindar servicios inalámbricos, mediante los denominados satélites de órbita baja. Estos ofrecen servicios de telefonía móvil con cubrimiento planetario.

- **Equipos radioeléctricos (en general).**

Los sistemas radioeléctricos utilizan ondas electromagnéticas para la propagación de las señales, y se caracterizan especialmente por dos aspectos: Su frecuencia de trabajo y la potencia que pueden colocar en la antena transmisora. Tanto la frecuencia como la potencia están directamente vinculadas a los servicios que pueden prestar, sea en la distancia que se ha de cubrir, las horas del día en que mejor pueden operar o los tipos de antenas que deben utilizar.

4.5 La red telefónica conmutada

4.5.1 Aspectos generales

Los sistemas que permiten las comunicaciones telefónicas fueron inventados hace ya más de un siglo, y constituyen uno de los pilares en que se sustenta la vida y la economía mundial.

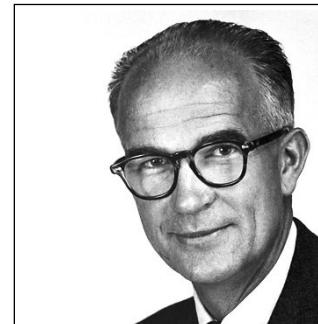
Muchas de las características de las redes de telecomunicaciones digitales actuales usadas para la transmisión de voz, datos, textos, imágenes fijas y en movimiento, así como para todo otro tipo de información, se han originado a través de un proceso de cambio, que se ha venido realizando en forma continua a partir de la llamada red telefónica conmutada, conocida también POTS (*Plain Old Telephone Service*). Esta red nació a fines del siglo xix a partir de la introducción en los servicios de telegrafía y telefonía.

Esta red, a través de un proceso evolutivo, continuo y exponencial, ha llegado a la situación actual en que se ha confundido con un conjunto de otras redes diferentes, que permiten brindar una amplia variedad de servicios. De alguna manera, todas ellas están integradas a la red telefónica, que se ha ido transformando en lo que se denomina actualmente Red Soporte. Esto es así, por cuanto una parte importante de su estructura brinda servicios que van mucho más allá de la telefonía.

La modernización de la red se fue produciendo en todas sus áreas, pero en especial, en aquellas que brindan, dentro de la misma, los servicios de conmutación y de transmisión. Originalmente, la red telefónica manejaba en todas sus etapas señales analógicas. Por un lado, porque las señales que se debían transmitir inicialmente, como la voz, son esencialmente de esas características; y, por el otro, por el hecho de que la tecnológica eléctrica y electrónica no estaba suficientemente desarrollada como para manejar la información en modo digital. Es entonces que, en forma paralela a la aparición del computador, también hace su irrupción la tecnología de estado sólido, que se ha transformado en el descubrimiento clave que dio origen a la electrónica digital.

Recién en 1947, se construyó por primera vez en forma práctica el primer transistor. La tarea se realizó en los Laboratorios Bell. Las investigaciones habían sido llevadas a cabo por William Bradford Shockley, John Bardeen y Walter Houser Brattain, quienes por ese trabajo fueron honrados con el Premio Nobel de Física.

Estas y sucesivas evoluciones, que continuaron con los circuitos integrados, los microprocesadores, y otros desarrollos de la microelectrónica, a través de diferentes procesos de microminiaturización, han logrado llegar al hardware de estado sólido actual de alta calidad, que permite el manejo eficiente de las señales digitales.



William Bradford Shockley (1910-1989). Se doctoró en el MIT en 1936. En 1938 se incorporó a los Laboratorios Bell y obtuvo su primera patente en el mismo año. En 1950 publicó su obra más importante Electrons and Holes in Semiconductors. Sus trabajos de investigación se centraron en el estudio de las bandas de energía en los sólidos. En 1956 recibió el Premio Nobel de Física.



John Bardeen (1908-1991). Inició su formación en la Universidad de Wisconsin y completó sus estudios en Princeton en 1936, donde obtuvo su doctorado. En 1945, se incorporó al grupo de investigación en estado sólido de los Laboratorios Bell, donde permaneció hasta 1951, cuando fue nombrado Profesor de Ingeniería Eléctrica y de Física en la Universidad de Illinois. Sus principales campos de investigación fueron la conducción eléctrica en semiconductores y metales, las propiedades de la superficie de los semiconductores, la teoría de la superconductividad y la difusión de los átomos en los sólidos. En 1956 recibió el Premio Nobel de Física.



Walter H. Brattain (1902-1987). Inició sus estudios en la Universidad de Oregon y se doctoró en la Universidad de Minnesota en 1929, cuando se incorpora a los Laboratorios Bell. Sus trabajos de investigación se orientaron a las propiedades superficiales de los sólidos y al estudio de las superficies de los semiconductores. En 1956 recibió el Premio Nobel de Física.

Por otra parte, a mediados de la década del setenta comenzó el uso de los medios inalámbricos en forma masiva, mediante la introducción de los sistemas de microondas, primero analógicos y luego digitales.

Las nuevas instalaciones de sistemas de microondas permitieron que se comenzara a operar con sistemas de pequeña y media capacidad (desde un canal de voz a unos pocos cientos de ellos), para su uso en las grandes troncales interurbanas, y culminó con los sistemas conocidos como de alta capacidad que, formando anillos, permitían transportar una cantidad importante de canales (más de 7000 canales telefónicos digitales por enlace) de voz a distancias de miles de kilómetros.

Todos estos adelantos tecnológicos fueron impulsados por un proceso que fue generado por la introducción de las llamadas nuevas tecnologías de la información, y por los procesos de modernización en la explotación y administración de las redes. (Tal como la introducción en las redes telefónicas del computador por programa almacenado; o, dicho de otra forma, de la informática en el ámbito de las telecomunicaciones). Fue así que se crearon las condiciones necesarias para la revolución que se fue produciendo y convirtiéndose en total y masiva.

También hay que destacar que la forma de transportar la información ha evolucionado de manera rápida. Inicialmente, la transmisión de señales dentro de la red se hacía exclusivamente por medio de señales eléctricas. Posteriormente, con la evolución de la tecnología y con la introducción de la fibra óptica como medio de transmisión, se comenzó a usar en forma simultánea señales eléctricas y ópticas.

Hoy no solo hay que hablar del empleo de las señales ópticas en los medios de transmisión, sino también en los equipos de comunicaciones relacionados, por ejemplo, con las funciones de conmutación. Estamos hablando de multiplexores, conmutadores de paquetes, amplificadores de señales, entre otros, cuyo hardware maneja señales totalmente ópticas. Es decir, que en muchas secciones de las redes no se necesita efectuar conversiones como se hacía antes para amplificar una señal en una fibra, por ejemplo, que requería pasar la señal de óptica → eléctrica → óptica.

Todos estos cambios han significado una revolución dentro de la propia revolución tecnológica, que ha convertido al sector de las telecomunicaciones en uno de los de más rápido crecimiento de la economía global, y del sector tecnológico en particular.

Si analizamos, de manera específica y dentro del concepto de telecomunicaciones, a la red telefónica, entendemos que esta puede ser considerada, sin lugar a dudas, la máquina más compleja y completa fabricada por el hombre. Pensemos que ella cubre toda la superficie de la tierra y gran parte de su espacio exterior. Como tal, se comporta como una única máquina, que está administrada por muchos operadores.

Cuando se inicia una comunicación que puede tener por correspondientes en ambos extremos equipos terminales fijos o móviles –y que, a su vez, pueden estar ubicados a miles de kilómetros uno de otro– la misma se establece a través de una única red. Esta se encuentra perfectamente estandarizada para permitir esta interoperabilidad.

Una comunicación puede ser local, dentro de una misma ciudad, interurbana, internacional, puede realizarse de un equipo fijo a otro o, quizás, a otro equipo móvil –o viceversa–, pero siempre el enlace se establecerá a través de los distintos operadores que administrarán cada sección de la red que sea necesario utilizar en cada caso.

Solo con ver algunos números es suficiente para darse cuenta de la magnitud del negocio de las comunicaciones y de las dimensiones de las que estamos hablando.

A fines del año 2011 se estimaba que había en todo el mundo, aproximadamente, un total de 7 215 000 000 de equipos telefónicos conectados a la red. De ellos, 1 215 000 000 pertenecerán a la red fija por cable y 6 000 000 000 a la red móvil, que opera por medio de señales inalámbricas.”.

La Tabla 4-4 muestra la situación comparativa de un conjunto de importantes variables de la red telefónica comutada y otras asociadas a ella estimadas para fines del año 2011.

Tabla 4-4 Situación de la red telefónica comutada para fines de 2011

Variables	Año 2011
Población mundial aproximada	7.000.000.000
Cantidad de líneas telefónicas totales	7.215.000.000
Cantidad de líneas fijas totales	1.215.000.000
Cantidad de líneas móviles totales	6.000.000.000
Cantidad de Computadoras Personales conectadas a Internet	2.390.000.000*

*Fuente UIT y estimaciones propias (valores estimados).

Por otra parte es muy importante analizar qué ha ocurrido en los últimos años, tanto con la cantidad de equipos terminales conectados a la red fija, los conectados a la red móvil, así como también el crecimiento de los servicios digitales asociados a la Red Internet.

En la Tabla 4-5, se pueden observar los valores vinculados a la Red Telefónica Mundial entre 2005 y 2011.

Tabla 4-5 Variación de la red telefónica comutada 2005 - 2011

Variables	Año 2005	Año 2008	Año 2011
Población mundial	6.453.628.000	6.750.000.000	7.000.000.000
Líneas telefónicas totales	3.431.801.200	4.840.000.000	7.215.000.000
Líneas fijas totales	1.263.367.600	1.290.000.000	1.215.000.000
Líneas móviles totales	2.168.433.600	3.400.000.000	6.000.000.000
Computadoras Personales a Internet	1.018.057.389	1.500.000.000	2.390.000.000*

*Fuente UIT y estimaciones propias (valores estimados).

Si analizamos y comparamos estos valores se pueden extraer las siguientes conclusiones:

- La cantidad mundial de líneas fijas detuvo su crecimiento y comenzó un leve declive.
- En el año 2002 se produce una explosión en la cantidad de líneas de telefonía móvil instaladas. La cantidad de líneas móviles supera la cantidad de líneas fijas.

Las razones son varias, pero se pueden destacar las siguientes:

- El teléfono móvil permite llevar el extremo de la red telefónica hasta el propio usuario final, dándole la libertad de estar comunicado en todo momento y en casi cualquier lugar.
- No se requiere la instalación de planta externa (red de cables). Esto permite que en numerosos países, en los que existían problemas para la construcción de plantas externas, se pueda brindar rápidamente el servicio telefónico.
- El acercamiento a la red de muchos grupos sociales que no tenían llegada a la red telefónica, por vivir en lugares de difícil acceso.
- El rápido crecimiento, que irá en los años venideros aumentando aún mas, de la cantidad de computadoras conectadas a la Red Internet, en especial a través de servicios de banda ancha.

Este tipo de servicio será una de las fuentes más importantes de los operadores de telecomunicaciones, junto a los de distribución de señales de televisión a domicilio.

También es interesante analizar el crecimiento de la red en valores relativos. Para ello, es necesario conocer estos valores por cada 100 habitantes. Las figuras 4.24, 4.25 y 4.26 nos ofrecen estas cantidades para líneas fijas, líneas móviles y de usuarios de Internet. De estos gráficos se pueden sacar las siguientes conclusiones:

- La cantidad mundial de líneas fijas por cada 100 habitantes está disminuyendo lentamente.

Como la población mundial aumenta, esta disminución, que es solo porcentual, se compensa con el mencionado aumento, pero, sin embargo, está marcando una tendencia. Esta red está llegando a su máximo desarrollo.
- En los países más desarrollados la disminución es notoria. De un máximo de 57 líneas por cada 100 habitantes, en la actualidad ese valor ha descendido hasta llegar al orden de las 49 líneas.
- En los países con menor desarrollo hay, aún, un pequeño crecimiento. Se han alcanzado valores de 17 líneas por cada 100 habitantes.
- Dada la mayor cantidad de líneas de los países más desarrollados, respecto de los que están en vías de desarrollo, los totales mundiales relativos también están en descenso.

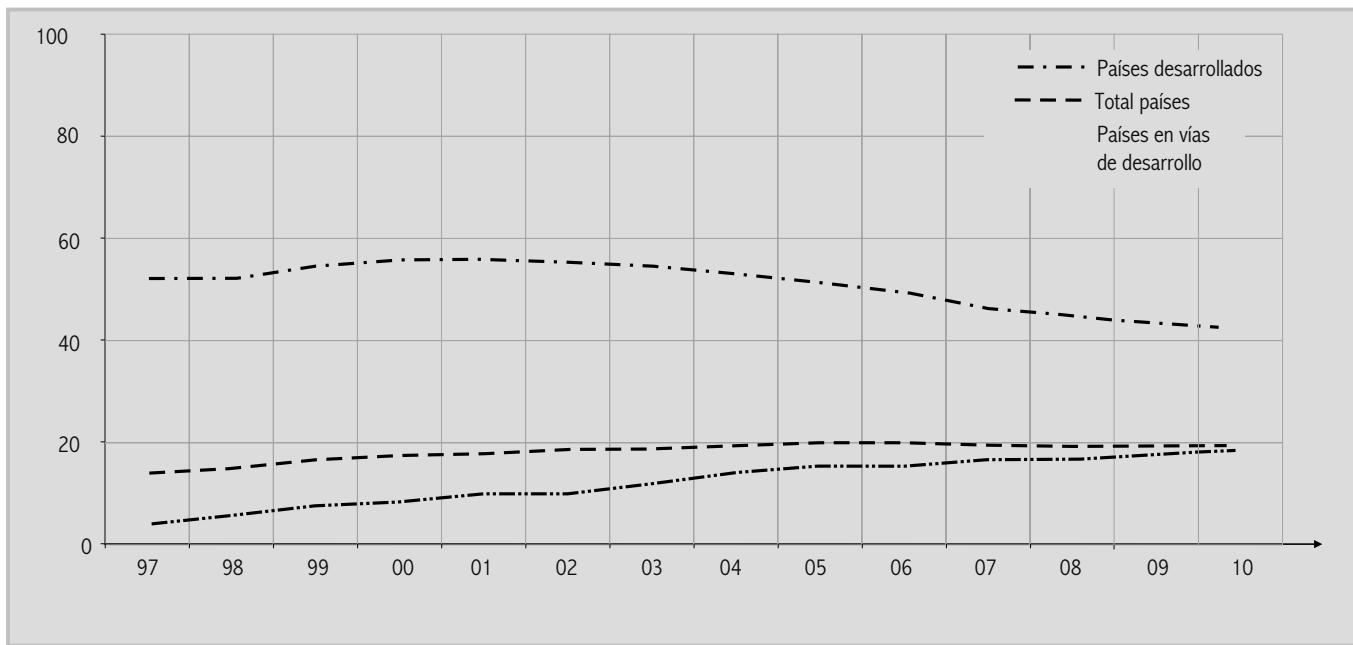


Fig. 4.24. Densidad de teléfonos fijos por cada 100 habitantes.

En la Fig. 4.25. se puede observar la cantidad de líneas móviles por cada 100 habitantes. Asimismo, de este gráfico se pueden sacar las siguientes conclusiones:

- La cantidad mundial de líneas por cada 100 habitantes está en constante crecimiento en los dos casos analizados.

Pero aparece otra clara tendencia que nos hace ver que la red telefónica comunicada sigue creciendo con valores muy importantes, pero exclusivamente en lo que se refiere a la telefonía móvil.

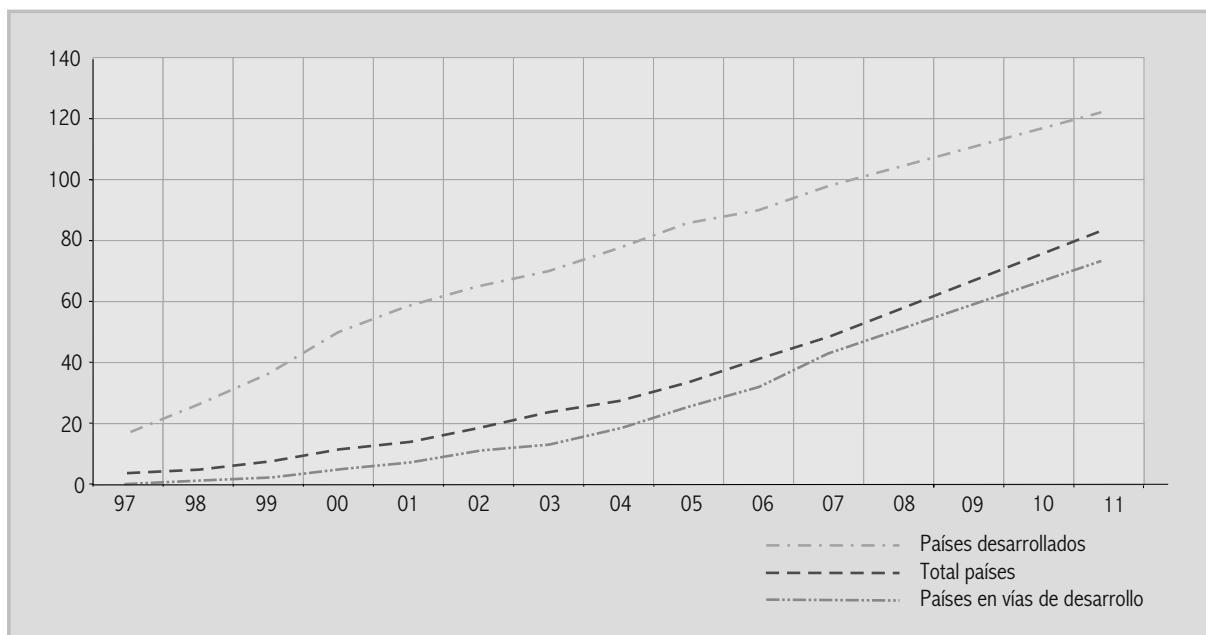


Fig. 4.25. Densidad de teléfonos móviles por cada 100 habitantes.

- En los países menos desarrollados, el crecimiento muestra tasas mayores. De un valor de 34 líneas por cada 100 habitantes, se ha pasado a valores en el orden de las 50 líneas.
- Hay una explicación técnica para estos valores. En muchos países, en especial en los africanos y en los asiáticos, la construcción de plantas externas para telefonía fija es de muy difícil realización. En cambio, la instalación de elementos para hacer la telefonía móvil es más económica y más simple de mantener.

En cuanto a la cantidad de computadores conectados a la Red Internet, la Fig. 4.26. nos muestra las cantidades por cada 100 habitantes. De este gráfico se pueden sacar las siguientes conclusiones:

- La cantidad de usuarios de la Red Internet continúa creciendo de manera significativa, tanto en los países desarrollados como en aquellos en vías de desarrollo.
- Sin embargo, la brecha entre ambos grupos se sigue manteniendo pese al incremento que se observa en los países de menor desarrollo relativo.

Si a todo esto sumamos que la red telefónica brinda, como ya se expresó, soporte a otro tipo de redes, se verá realmente la complejidad de la misma. Tan importante es esta red, que su grado de crecimiento puede ser usado como un indicador muy importante del desarrollo económico y tecnológico que ha alcanzado una determinada comunidad. Para ello, se suele utilizar la densidad de teléfonos que tiene por cada 100 habitantes, también llamada teledensidad telefónica (de equipos fijos y móviles).

La Tabla 4-6 muestra los datos del grado de desarrollo de la red telefónica al año 2006, en un conjunto representativo de países. En la misma encontramos referencias tanto de las líneas fijas, como de las móviles.

Para analizar los indicadores, los países que se han incorporado a la tabla se han separado en dos grupos. Uno incluye un grupo importante de pueblos latinoamericanos, y el otro incluye aquellos países con economías importantes de América y Europa.

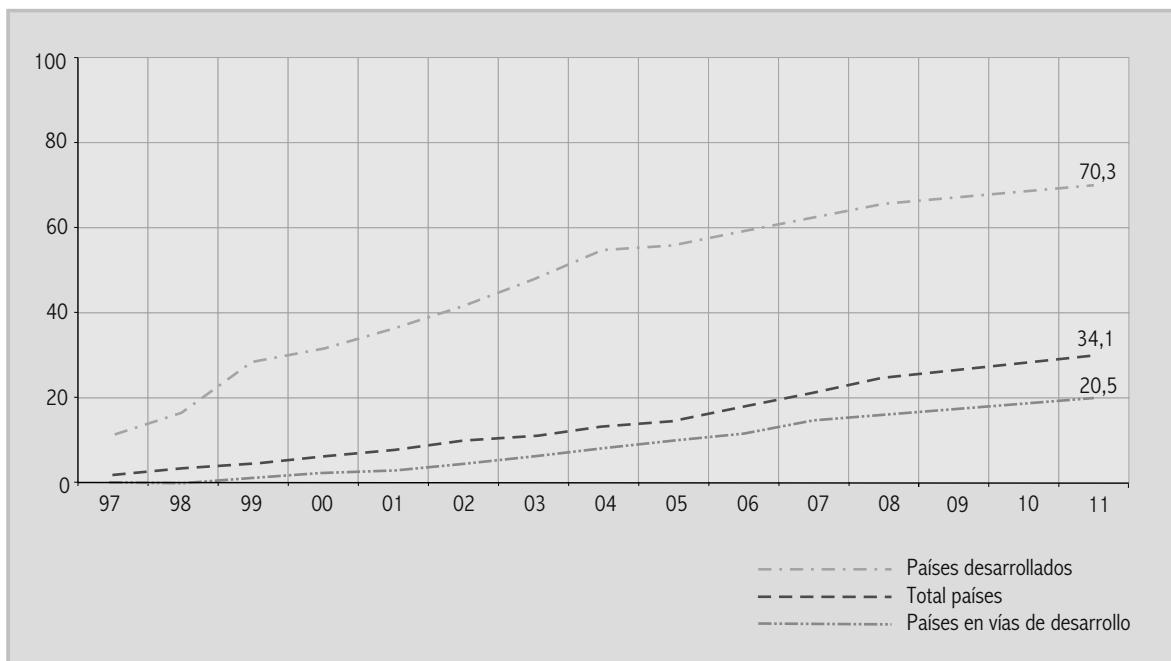


Fig. 4.26. Densidad de computadores conectados a la Red Internet por cada 100 habitantes.

Obsérvese que en el primer grupo, el valor más alto de teledensidad fija corresponde a Costa Rica con 30,22, si bien la mayoría de los valores oscilan entre 10 a 20. Por el contrario, para el segundo grupo, el valor más bajo es Portugal con 40,15, mientras el resto de los países supera largamente los 55 teléfonos por cada 100 habitantes.

Otro tanto ocurre en la teledensidad de móviles. Aquí, el valor más alto corresponde a la Argentina con 80,52, si bien la mayoría de los valores oscilan entre 40 a 60. Sin embargo, para el segundo grupo, el valor más bajo es Canadá con 57,57, mientras el resto de los países supera largamente los 80 teléfonos por cada 100 habitantes.

Es por ello que se puede decir con seguridad que cualquier comunidad moderna es altamente dependiente del grado de desarrollo de sus telecomunicaciones; y, en muchos casos, es el primer parámetro que se ha de considerar antes de efectuar importantes inversiones de capital.

Comunidades con comunicaciones deficientes o de alto costo operativo son barreras infranqueables, que bloquean cualquier análisis previo cuando se analiza una radicación de capitales en una determinada zona geográfica.

La importancia económica y social de la red telefónica, que interconecta subscriptores que posean equipos fijos o móviles, es actualmente mucho mayor que unos años atrás. Pensemos por un momento qué ocurriría si la misma dejara de funcionar solamente unos minutos en todo el mundo. Esta es una de las razones que ha llevado a la desregulación de los servicios. Actualmente, en casi todos los países existen muchos operadores de la red, todos interconectados entre sí.

En el caso de las redes fijas, las limitaciones para determinar el número máximo de operadores en una zona geográfica concreta es, normalmente, establecida en cada caso por la autoridad de regulación, sobre la base de consideraciones económicas. Sin embargo, en el caso de las redes móviles, hay un limitante adicional físico, que es la disponibilidad en la asignación de bandas de frecuencia.

Tabla 4-6 Situación de telecomunicaciones al año 2010 América y Europa (muestra parcial)

Variables	Población en miles	Líneas fijas		Líneas móviles	
		Total	Por 100	Total	Por 100
Argentina	40.600	10.000.00	24,63	57.400.000	141,37
Belice	333	30.300	9	195.000	58,55
Bolivia	10.500	850.000	8	7.200.000	68,57
Brasil	194.000	42.200.000	21,75	203.000.000	104,64
Chile	17.200	3.500.000	20,35	20.000.000	116,27
Colombia	47.000	6.810.000	14,50	43.500.000	92,55
Costa Rica	4.600	1.490.000	32,40	3.100.000	67,39
Cuba	12.000	1.200.000	10	1.003.000	8,36
Ecuador	14.300	2.090.000	14,61	15.000.000	104,90
El Salvador	7.000	1.000.000	14,28	7.700.000	110,00
Guatemala	14.400	1.500.000	10,41	18.100.000	125,70
Haití	10.100	50.000	49,50	4.000.000	39,60
Honduras	8.100	670.000	8,27	9.600.000	118,52
México	109.000	20.000.000	18,34	91.400.000	83,85
Nicaragua	6.000	260.000	4,33	3.800.000	63,34
Panamá	3.600	500.000	13,88	6.500.000	180,55
Paraguay	6.500	405.000	6,23	6.000.000	92,30
Perú	30.000	3.200.000	10,66	29.200.000	97,33
R. Dominicana	10.000	1.000.000	10	8.900.000	89,00
Uruguay	3.600	965.000	26,80	4.500.000	125,00
Venezuela	29.000	7.100.000	24,45	28.000.000	96,55
Alemania	83.000	46.000.000	55,42	106.000.000	127,71
Canadá	34.200	17.100.000	50	24.100.000	70,46
España	46.100	20.000.000	43,38	46.152.000	106,39
Estados Unidos	310.000	152.000.000	49,03	280.000.000	90,32
Francia	60.723	36.200.000	59,61	64.000.000	105,39
Italia	63.000	22.000.000	34,92	82.500.000	130,95
Portugal	10.700	4.500.000	42,05	15.200.000	142,05
Reino Unido	62.500	34.000.000	54,40	81.000.000	129,60
Suiza	8.000	4.400.000	55	9.600.000	120,00

*Fuente UIT y estimaciones propias (valores estimados).

Muchas veces, los operadores de los servicios de telecomunicaciones pueden ser clasificados en dos grandes grupos. Aquellos que poseen una red de medios propios, y aquellos que prestan servicios alquilando esos medios.

En cada país existe un marco regulatorio que ordena las actividades de unos y otros. Es este el que debe establecer la forma, las características y las obligaciones de cada uno en cuanto a la interconexión de sus respectivas redes –en especial en lo que se refiere a los operadores con medios propios instalados–. La interconexión entre ellos a nivel nacional, y de ellos con operadores de países terceros, debe estar perfectamente regulada a través de normas y tarifas que hagan al negocio rentable y sustentable en el tiempo para todos los actores involucrados en él. Es por ello, que esta tarea deber ser analizada y ejecutada muy cuidadosamente.

Finalmente, cabe recordar que la red telefónica es soporte para la prestación de otros servicios, tales como la transmisión de datos, video, textos e imágenes. Sus medios físicos fijos están instalados cubriendo, normalmente, superficies geográficas importantes; y, en todos los casos, con llegada directa al usuario final. Esta topología le da la característica especial de poder ser utilizada para un sin número de aplicaciones diversas, gracias a la amplia cobertura de la red.

4.5.2 Características particulares de la red telefónica

Es interesante analizar las características particulares de la red telefónica comutada por su carácter universal y por su gran desarrollo geográfico. Estas son:

- **La red está siempre allí, donde uno la necesita.**

Resulta muy difícil que no se encuentre disponible un equipo terminal fijo de la red telefónica comutada en algún punto geográfico del planeta. Pero aun si no hubiera uno de ese tipo, siempre será posible utilizar la telefonía móvil terrestre o satelital.

Esta característica hace a la red muy interesante, pues permite establecer puntos terminales de circuitos de transmisión de datos. Si en algún punto geográfico la red no estuviera presente, otras posibilidades podrían ser muy complejas.

- **Los costos son bajos o razonables.**

Los costos de la red telefónica comutada, en casi todos los países, son muy accesibles de acuerdo con las condiciones económicas de cada uno. La UIT-T, establece parámetros para el establecimiento de las tarifas de todos los servicios. Si estos parámetros son respetados por las administraciones de cada país, estas afirmaciones son válidas.

Sin embargo, en algunos pocos casos, las tarifas son distorsionadas con impuestos o sobrecargas adicionales no recomendadas internacionalmente. Si es así, esta afirmación podría dejar de tener sentido práctico.

En estas últimas situaciones, las variaciones tarifarias provocan distorsiones en el uso de las distintas posibilidades que se ofrecen a los usuarios.

Estas traen, posteriormente, deformaciones en la demanda, que se traducen en necesidades de nuevas inversiones que, en la mayoría de los casos, resultan económicamente inefficientes.

- **El sistema telefónico es abierto para la transmisión de datos.**

Esta condición permite que el uso de la red no necesite de autorizaciones especiales, ni de requerimientos adicionales, ante las administraciones para la transmisión de datos (básicamente para la modalidad de comunicaciones discadas o *dial-up*). Sin embargo, en algunos casos, puede requerirse algún tipo de autorización para su uso.

La obtención del hardware necesario para operar con la red no presenta complicaciones técnicas importantes. Los equipos fundamentales son de fácil obtención en el mercado teleinformático, tanto en el orden nacional como en el internacional.

4.5.3 Digitalización de la red

Las redes telefónicas fueron construidas inicialmente en todo el mundo mediante tecnologías de características analógicas. Esto fue así porque la voz es un fenómeno típicamente analógico y, además, porque el dominio de las técnicas digitales no permitían su uso para estas aplicaciones.

Con la consolidación del uso y la tecnología de los elementos activos de estado sólido, como el transistor, los circuitos integrados y, finalmente, los microprocesadores, –con distintos grados de integración–, la digitalización avanzó muy rápidamente.

Las altas velocidades que se han ido alcanzando en estos elementos, y el aumento exponencial de la cantidad de instrucciones por segundo que los mismos pueden procesar y manejar, han justificado plenamente el cambio y la inversión que significó la digitalización de las redes.

La tarea que hoy ocupa a los administradores de la red telefónica no es ya la digitalización de las redes– proceso terminado en, prácticamente, todo el mundo–, sino ofrecer servicios telefónicos y de transmisión de datos a velocidades cada vez mayores.

La digitalización de la red ha traído numerosas ventajas, fundamentalmente, en el orden de lo económico y tecnológico.

Por otra parte ha cambiado el concepto inicial por el que había sido construida la red. De ser una red preparada para transportar la voz, se ha pasado a una red en condiciones de transportar solamente bits, cualquiera sea la naturaleza de la información.

4.6 Características de la voz

4.6.1 Definiciones

La red telefónica, así como también los equipos de comunicaciones que la integran, los aparatos telefónicos y los medios de comunicaciones que se utilizan en ellas, han sido diseñados para transportar las señales del sonido generado por la voz. Si bien esta red puede transportar otro tipo de información, el esfuerzo puesto en su diseño y administración está básicamente orientado para cumplir esa función primordial. Por lo tanto, es importante conocer las características de las señales generadas por la voz:

Llamaremos sonido a la propagación, por medio de ondas, de fenómenos audibles o casi audibles, a través de un fluido o de medios elásticos. A diferencia de las ondas electromagnéticas, que se pueden propagar en el vacío, el sonido necesita siempre de un medio para poder hacerlo.

También se llama sonido a la sensación que se produce en el órgano del oído de un observador, como consecuencia del movimiento ondulatorio producido por la presión de las moléculas de aire sobre él.

El concepto de sonido tiene dos formas diferentes de analizarse. Una es la relación que se puede establecer con variables medibles –como la presión, la energía sonora y los fenómenos relacionados con su propagación–; y la otra está relacionada con la sensación psicológica que ese sonido produce en cada individuo –que puede, y de hecho es, normalmente diferente-. La primera definición está vinculada al concepto de fenómeno cuantificable a través de medidas físicas, y la segunda, a percepciones que dependen de cada caso analizado.

De esta manera, la presión sonora nos dará un valor único, pero la sensación psicológica dependerá de quien la experimente. Es decir, a una determinada presión sonora una persona tendrá una sensación vinculada a un sonido, que podrá diferir de la que experimenta otra con idéntico suceso.

4.6.2 Propagación, intensidad y potencia del sonido

La propagación del sonido genera una presión sonora o acústica. La energía provocada por las ondas sonoras produce un movimiento ondulatorio de las partículas del aire, que ocasiona una variación en la presión estática del mismo. Precisamente, el nivel de presión sonora determina la intensidad del sonido.

El sonido se propaga mediante el transporte de energía, pero sin transporte de materia, mediante ondas mecánicas a través de medios sólidos, líquidos o gaseosos. Esas ondas generan vibraciones en la dirección de propagación, pues el transporte de energía se efectúa por medio de ondulaciones longitudinales, que van produciendo variaciones de presión en el medio.

La velocidad de propagación de una onda no depende de su frecuencia ni de su longitud de onda, pero sí de las características del medio y de la temperatura a la que este se encuentre. Cuando el medio es el aire, la velocidad de propagación de las ondas que transportan el sonido es de aproximadamente 340 m/s.

Al propagarse, las ondas sonoras sufren una atenuación, que es directamente proporcional al cuadrado de la distancia recorrida. De allí que aunque la potencia de emisión de la fuente sea importante, el alcance es relativamente reducido. Para proporcionar un nivel de sonido audible en un lugar abierto de gran extensión, se necesita una potencia muy importante.

La intensidad de un sonido está vinculada a la presión sonora. A mayor presión sonora, mayor sensación de intensidad del sonido y viceversa.

Definiremos como:

Intensidad de un sonido a la presión sonora por unidad de superficie normal a la dirección de propagación.

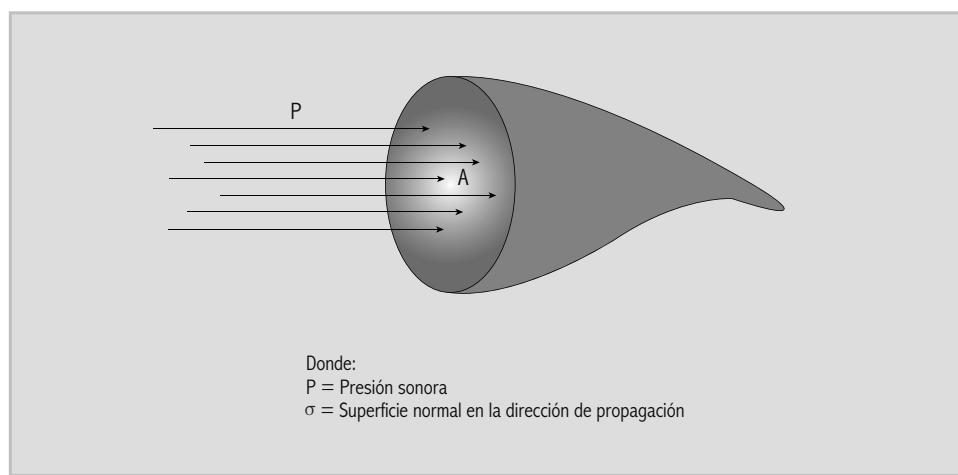


Fig. 4.27 a. Intensidad del sonido (IS).

$$IS = \frac{P}{\sigma} \quad (4-3)$$

La presión sonora se mide en [Newton], y la superficie en [m^2]. Luego, la intensidad del sonido, así definida, se medirá en [Pascal]:

$$[Pascal] = \frac{[Newton]}{[m^2]} \quad (4-4)$$

Se puede definir un intervalo de intensidades de sonido posibles dentro de las cuales se utiliza el oído humano. Este intervalo se fija entre los valores que se corresponden con el llamado umbral de audición y umbral de dolor:

Se denomina umbral de audición a la intensidad mínima de sonido capaz de impresionar al oído humano.

Esta definición merece algunos comentarios. Su valor no es el mismo para todas las personas. Cuando se fija un valor absoluto, se debe suponer una persona que tiene un nivel de audición normal (estadísticamente, se obtiene este valor cuando se estudia un número importante de personas). El valor que se toma como referencia de presión sonora, para determinar el umbral de audición, es 20 μPa .

Se denomina umbral de dolor a la intensidad máxima de sonido a partir de la cual este produce en el oído sensación de dolor.

Su valor promedio oscila alrededor de los 100 Pascal.

La percepción del volumen en un ser humano sigue una escala logarítmica, razón por la cual en lugar de usar valores absolutos de potencia o de presión, se usan valores relativos. Normalmente, y por este motivo, se utiliza como unidad el decibel.

Este, como ya se explicó, es adimensional y relativo, y permite medir valores absolutos, cuando se especifica a qué unidades está referido.

La recta de la Fig. 4.27. relaciona los valores de la presión medidos en Pascal (escala logarítmica), con los niveles de sonido medidos en decibel.



El símbolo μPa representa un micropascal, que es un submúltiplo de la unidad de presión. La unidad de presión en el SI (Sistema Internacional) es el pascal [Pa]. Un pascal es igual a la fuerza de un newton cuando actúa sobre una superficie de 1 m^2 . Como referencia, se considera una presión atmosférica normal al valor de 101 325 Pa. Por razones de simplicidad, se utiliza su múltiplo, el hectopascal. Entonces, ese valor normal se transforma en 1 013 hPa (valor que dimensionalmente coincide con los milibares).

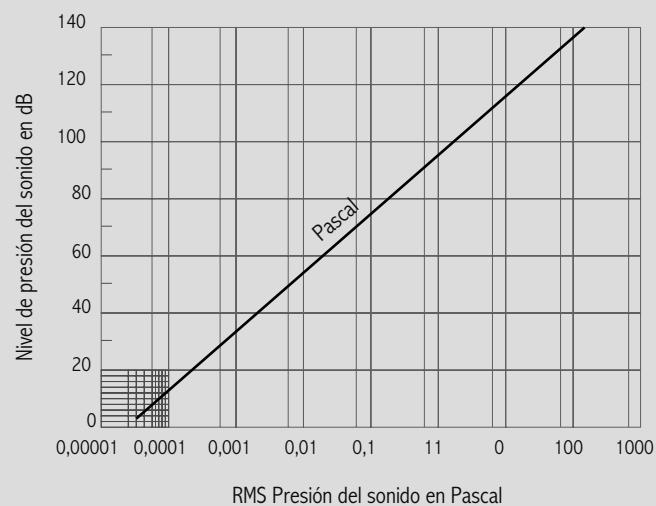


Fig. 4.27 b. Ábaco de relación entre presión del sonido en dB y valores en Pascal.

Se puede observar que se toma un valor de 0 dB para el umbral de audición, que se corresponde con una presión sonora de 20 μPa (valor de potencia, que corresponde a una intensidad de $10-12 \text{ W/m}^2$). Asimismo, se toma para el umbral del dolor un valor de 130 dB, que corresponderá a 100 Pa (valor de potencia aproximado a una intensidad de 1 W/m^2).

Para medir distintos valores de ruido, se utilizan medidores de niveles de presión sonora. En estos decibelímetros acústicos, el 0 está referido al umbral de audición al que nos hemos referido, y que en valores absolutos corresponde a 20 μPa . Así, existen distintos tipos de equipos, según el rango de intensidad de sonido que se vaya a medir.

La Tabla 4-7 muestra valores de nivel de sonido medidos en dB para distintas excitaciones de diferentes tipos de ruido.

Tabla 4-7 Valores de potencia acústica de diferentes sonidos

Variables	Presión sonido	Nivel sonido
	Pa	dB
Turbina de un avión	200	140
Umbral de dolor	20	120
Máquina de taladrar o remachar	2	100
Esquina de una ciudad con mucho ruido	0,2	80
Oficina muy ruidosa	---	70
Conversación en grupo	0,02	60
Automóvil a marcha normal	---	50
Radio a volumen moderado	0,002	40
Conversación íntima	0,0002	20
Susurros	---	10
Umbral de audición	0,00002	0

Por otra parte, podemos analizar el concepto de potencia acústica. Esta se encuentra determinada por la amplitud de la onda mecánica que transporta el sonido. Cuanto mayor sea la amplitud de la onda, mayor será la cantidad de energía (potencia acústica) que genera. Entonces:

Llamaremos potencia acústica a la cantidad de energía radiada por una fuente determinada en forma de ondas por unidad de tiempo.

La potencia del sonido se mide en [Watt]. La potencia acústica depende, en cada caso, del valor generado por la fuente del sonido. Su medida se puede hacer en la propia fuente –si fuera un amplificador de audiofrecuencia– o a cierta distancia de ella, midiendo la presión que las ondas sonoras producen en el medio de propagación (normalmente el aire). Si se tratara de la voz, la misma, respecto del Watt, representa un valor muy pequeño. De allí la necesidad de usar amplificadores de audiofrecuencia, cuando se desea reproducir un sonido en un lugar de dimensiones importantes.

4.6.3 Percepción del sonido

La percepción que tiene el hombre de una potencia acústica, como ya se expresó, es lo que conocemos como intensidad del sonido o volumen:

Llamaremos volumen o intensidad (*loudness*) a la percepción subjetiva que tiene el ser humano de un determinado sonido.

Si en un lugar determinado, respecto de la fuente que origina el sonido, se tiene una determinada percepción en volumen de él y, a su vez, se desea duplicar esa sensación de intensidad, habrá que duplicar también la ganancia en dB y no la potencia (por ejemplo, de un amplificador de audiofrecuencia).

Un sonido no solo está caracterizado por la intensidad de potencia con la onda que lo transmite, sino que dicha onda podrá corresponder a una única frecuencia –como es el caso de la vibración de un diapasón– o a un conjunto de ellas. En este último caso el mismo estará caracterizado por un ancho de banda.

La frecuencia de un sonido está vinculada a la variación de la presión sonora. Normalmente, esta magnitud, cuando se hace referencia al sonido, se suele conocer como tono.

Cuando en un recinto hay silencio, la presión atmosférica se mantiene en un período corto constante. Cuando se emite un sonido, esta sufre pequeñas variaciones provocadas por la pre-

Un diapasón es una pieza construida con acero en forma de U, que tiene la propiedad de que, al hacerlo vibrar golpeándolo contra un objeto duro, genera una onda de una frecuencia exacta. El más conocido es el de frecuencia 440 Hz, que se corresponde con la nota la y se utiliza para la afinación de instrumentos musicales.

sión sonora. La diferencia entre ambas radica en que mientras que la presión atmosférica cambia muy lentamente, la presión sonora alterna muy rápidamente entre valores menores y mayores a la presión atmosférica. Precisamente, el número de veces que se repite el fenómeno por unidad de tiempo es lo que denominaremos frecuencia. El oído humano no está en condiciones de percibir todas las frecuencias, sino solo un intervalo de ellas. En general, es sensible a las comprendidas entre los 20 y los 20 000 Hz. Entonces:

Se denomina audiofrecuencia al intervalo que está comprendido entre los 20 Hz y los 20 000 Hz.

Debe señalarse que las audiofrecuencias, al ser ondas mecánicas, no tienen capacidad radiante, es decir, no se comportan como ondas electromagnéticas.

Es necesario advertir que no todas las personas tienen la misma sensibilidad en todo el intervalo de las audiofrecuencias. El espectro audible varía según cada persona y depende fuertemente de la edad y de la calidad de vida que haya llevado cada individuo en cuanto a su cuidado de su capacidad auditiva. Normalmente, solo un oído sano y joven es sensible a todo el intervalo de audiofrecuencias.

También debe señalarse que el umbral de audición no es totalmente constante, sino que varía de acuerdo con la frecuencia. En frecuencias bajas, del orden de 30 a 100 Hz, la presión sonora debe ser mayor para llegar al umbral, a diferencia de las frecuencias mayores.

La Fig. 4.28. muestra distintas curvas para iguales niveles de audición de acuerdo con la frecuencia. La curva inferior es la que corresponde al umbral de audición y la ubicada en la parte superior, la que corresponde al umbral del dolor.

Estas curvas, denominadas Robinson-Dadson, fueron obtenidas en forma experimental y representan niveles de igual intensidad del oído humano para distintas frecuencias. Han sido adoptadas como estándar internacional y se conocen como ISO 226.2003.

Las curvas se refieren a valores en una unidad denominada phons, que se corresponde con la intensidad que es necesaria en dB, a una frecuencia de 1 kHz.

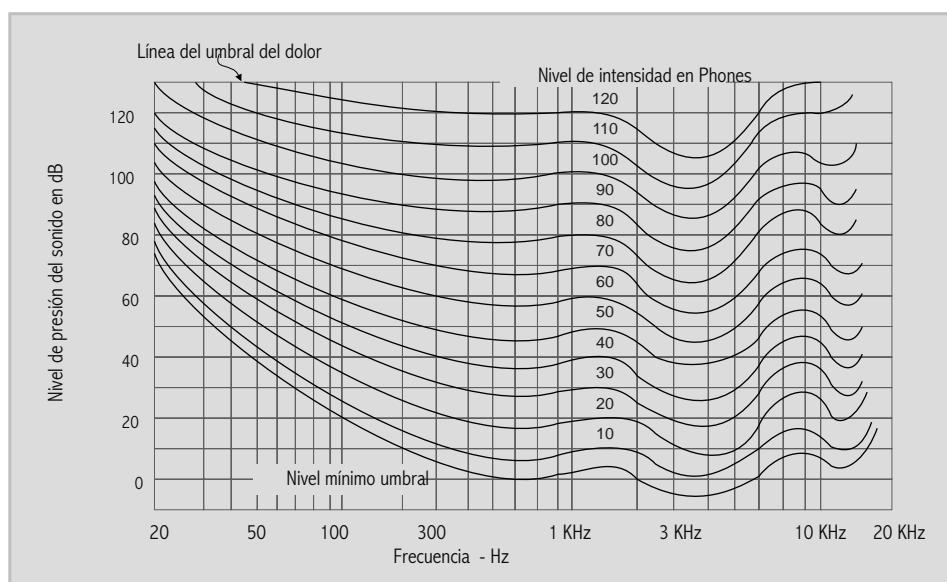


Fig. 4.28. Curvas de Robinson-Dadson. Igual intensidad en función de la frecuencia.

Si observamos la curva de 40 phons, podemos deducir que las potencias acústicas son necesarias para que la intensidad sea percibida igual a distintas frecuencias. En este ejemplo, a 100 Hz se necesita una presión acústica de 50 dB; pero para 20 Hz se necesitará un valor mayor a 90 dB.

Es importante conocer que la capacidad de oír a una determinada frecuencia se altera cuando el oído se expone a sonidos o ruidos muy fuertes. Estas situaciones pueden dañar, severa e irremediablemente, la capacidad de audición; de allí las medidas de uso de protectores auditivos, que las leyes vinculadas a la Seguridad e Higiene del Trabajo exigen para ambientes muy ruidosos.

Normalmente, este tipo de ruidos intensos afectan la audición en el intervalo de frecuencias comprendidas entre 2 000 a 4 000 Hz, lo que perjudica la capacidad de comprensión de la palabra. Las frecuencias próximas a las audiofrecuencias han tomado mucha importancia por variadas razones.

Se denomina ultrasonidos a las ondas acústicas superiores a los 20 000 Hz; e infrasonidos a las inferiores a los 20 Hz.

Algunos sonidos pueden ser generados por equipos que se denominan osciladores de audiofrecuencia. Estos generan señales en una sola frecuencia, y su intensidad puede regularse a través de un amplificador que aumenta o disminuye su volumen.

Las señales consisten en ondas sinusoidales puras, o casi puras, que son reproducidas por el diafragma de un parlante o altavoz que poseen dichos equipos.

La frecuencia de las ondas generadas por ellos, se conoce por el nombre de tono. Tono y frecuencia son, en realidad, prácticamente sinónimos, aunque la expresión y el concepto de tono son diferentes:

Se denomina tono (en inglés, se lo conoce como *pitch*) al sonido que es percibido por el oído y que se corresponde con la frecuencia de la fundamental o primera armónica generada por una cuerda vibrante que, además, puede contener otras armónicas superiores.

Mientras la frecuencia fundamental puede ser medida con precisión, el tono puede ser solo percibido por el oído cuando contiene armónicas. Como se ve, el concepto de tono está más vinculado a un intervalo de frecuencias. Así, podemos decir que un hombre habla en un tono más grave y que una mujer tiene un tono más agudo. Un ejemplo típico son los distintos tipos de tono que pueden tener los cantantes de ópera.

La Tabla 4-8 muestra cómo se ubican por sus tonos los distintos tipos de voces masculinas y femeninas de cantores líricos.

Por otra parte, en el caso particular de la voz, e incluso de muchos instrumentos (como podría ser el caso del piano), cuando generan sonidos no emiten ondas sinusoidales puras, es decir, señales de frecuencias únicas.

Tabla 4-8 Distintos tipos de tono según voces masculinas y femeninas

Tono	Voces femeninas	Voces masculinas
Más grave	Contralto	Bajo
	Mezzosoprano	Barítono Tenor
Más agudo	Soprano	Contratenor

Si todos los sonidos fuesen ondas sinusoidales puras, el sonido no tendría variedad. Precisamente, y como esta situación no ocurre, la emisión de sonidos como la voz presenta una tercera característica que se suma a la intensidad y al tono: El timbre.

El timbre es precisamente lo que permite diferenciar la voz de una persona, de otra diferente. Imitar la voz de una persona no es más que reproducir su timbre.

Definiremos como timbre a aquel atributo de sensación del sonido, por el cual un oyente puede juzgar que dos sonidos que tienen la misma intensidad e igual tono son distintos.

El timbre, la intensidad y el tono son los tres atributos que caracterizan a un sonido.

La voz es un caso particular del sonido causado por la vibración de las cuerdas vocales, que producen información inteligente, y que puede ser usada y comprendida por otras personas.

Precisamente, la red telefónica es la que permite que la voz se pueda transmitir desde lugares relativamente próximos, hasta lugares a miles de kilómetros de distancia de su fuente.

4.6.4 Transmisión de la voz por la red telefónica

La red telefónica está diseñada para transportar la voz, de manera que permita una adecuada compresión de la inteligencia que transporta entre la fuente y el sumidero que la recibe.

Por otro lado, es importante conocer cuál es el comportamiento del oído humano en general, y la forma de la curva de ganancia de la voz en particular.

El oído puede captar variaciones en frecuencia dentro de un rango que oscila, aproximadamente, entre los 20 a los 20 000 Hz. Sin embargo, estos valores son los extremos máximos, y solamente personas muy jóvenes, o aquellas que tienen los órganos auditivos muy cuidados, pueden escuchar dentro de esos límites.

En términos generales, la mayoría de las personas solo puede discernir sonidos en valores bastante menores. El rango descripto, y cualquiera que se refiera a la audición de una persona, puede ser representado de manera técnica con el concepto de ancho de banda, visto oportunamente (ver capítulo 3, apartado 3.3).

La Fig. 4.29. muestra los límites auditivos del oído humano. Esta curva ha sido obtenida mediante estudios de grupos de personas especialmente entrenadas, y muestra valores que podrían ser tomados como límite.

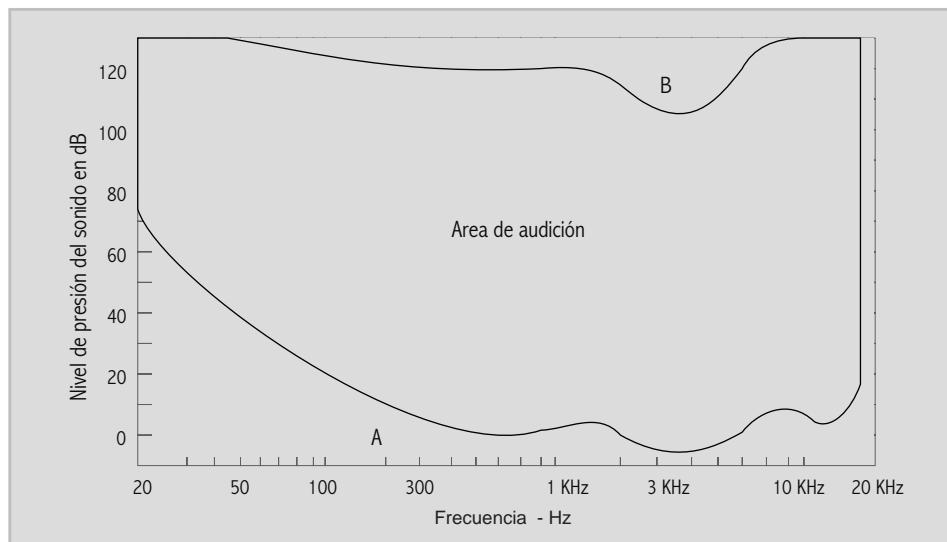


Fig. 4.29. Límite de audición del ser humano promedio.

Así podríamos referirnos a un ancho de banda f $\sim 20\,000$ Hz, aproximadamente, para ese caso límite señalado. Por otra parte, el ancho de banda dentro del cual las personas tienen capacidad auditiva va disminuyendo con la edad, y se resiente mucho más en el caso de aquellas que hayan trabajado en ambientes muy ruidosos, que hayan practicado tiro sin colocarse las adecuadas protecciones, que hayan escuchado música a muy alto volumen, o, en términos más generales, que hayan estado sometidas a ruidos de intensidades elevadas. En esos casos, el deterioro de los tímpanos resiente el ancho de banda, y esto afecta tanto el límite superior como el inferior del intervalo de audición.

Otro elemento que daña de manera muy significativa la respuesta auditiva es el constante uso de auriculares para escuchar música u otro tipo de sonidos, tales como la radio. Esta costumbre actual, que se inicia en los años tempranos de la adolescencia, y muchas veces se prolonga muchos años más, produce los mismos efectos que los señalados en los casos anteriores.

En los adultos, el límite inferior suele estar en el orden de los 200 Hz, y el superior sufre atenuaciones muy severas (por arriba de los 2 000 a 4 000 Hz). Precisamente, el uso de audífonos en muchas personas mayores busca solucionar estos problemas descriptos. Puede también señalarse, que esta caída de la audición es mucho más importante en el varón que en la mujer.

La voz es generada por las cuerdas vocales. Estas, al vibrar, generan los sonidos que permiten el habla. Estas vibraciones no se producen en todo el rango de frecuencias audibles, sino que tienen un ancho de banda menor, que está comprendido aproximadamente entre los 200 y 5 000 Hz. De esta manera, el ancho de banda aproximada de la voz se encuentra alrededor de los 5 000 Hz.

Dentro de esos valores, la potencia tampoco es uniforme en todo el intervalo descripto, sino que sigue una curva similar a la imagen de la Fig. 4.30. (que fue analizada con anterioridad) y, más exactamente, como se puede observar ahora en la Fig. 4.30.

Dicha curva no es exactamente igual para todas las personas. En particular, para los hombres la curva está inclinada hacia las frecuencias graves, y en el caso de las mujeres, hacia las frecuencias agudas. La Tabla 4-8 mostraba el registro vocal de los cantantes y, de alguna manera, esas diferencias también se pueden apreciar en la voz de las personas.

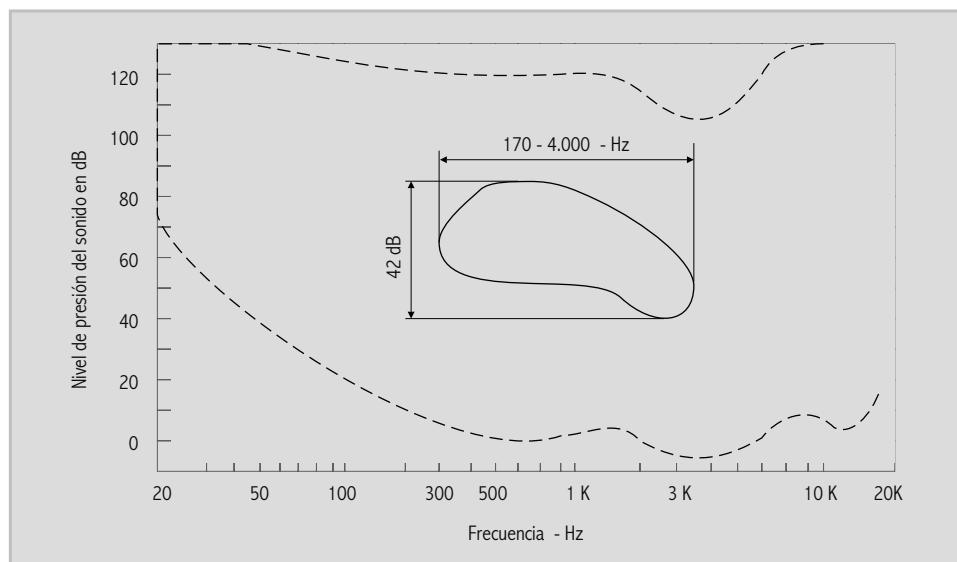


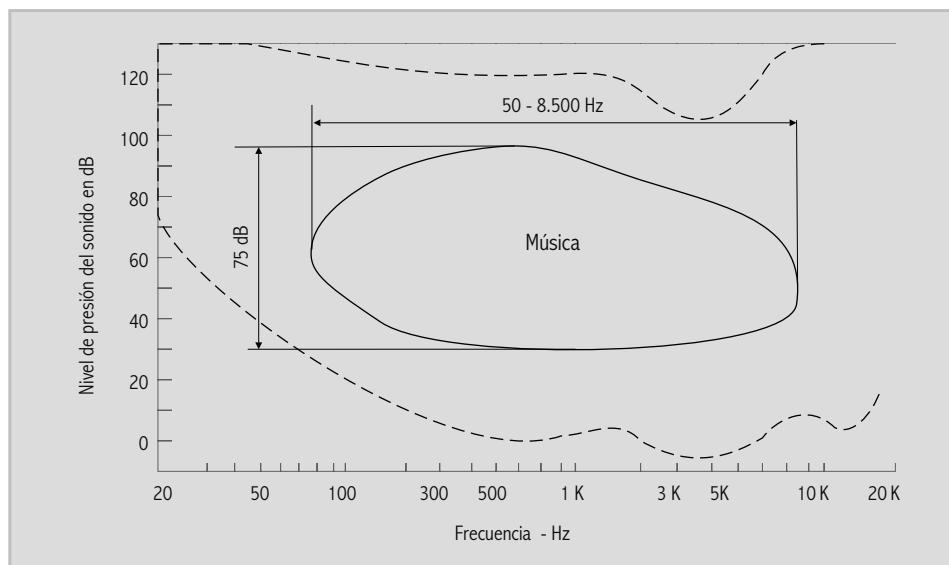
Fig. 4.30. Región auditiva típica generada por la voz.

La observación de las curvas de la Fig. 4.30. nos permite apreciar que la mayor parte de la potencia está comprendida en el intervalo de los 200 a los 4 000 Hz para ambos casos; y que la intensidad sonora que se obtiene varía entre los 40 a los 80 dB, aproximadamente.

Por tal razón, la red telefónica comunitada solo está diseñada para transportar, de todos los intervalos de frecuencias antes descriptos, el intervalo que contiene las potencias mayores, es decir los anchos de banda no mayores de 3 100 a 3 300 Hz.

En el rango de 200 a 3 500 Hz está la mayor parte de la información que permite discernir el sentido de lo que se quiere expresar. De allí que los canales telefónicos estén solamente diseñados para transportar ese ancho de banda en particular.

Con respecto a la música, la Fig. 4.31. muestra la región auditiva típica aproximada para los sonidos más frecuentes. En este caso, se puede observar que ellos, normalmente, pueden alcanzar los 9 000 Hz, como mínimo.



Un filtro pasa banda tiene mínima atenuación en la banda pasante y máxima en el resto de las frecuencias.

Fig. 4.31. Región auditiva típica generada por la música.

Los canales telefónicos actúan como filtros pasa banda. Atenuan fuertemente frecuencias inferiores a 300 Hz y las superiores a 3400, aproximadamente. En el caso de la voz, y más aún si se quiere transmitir música, este efecto hará que los sonidos no se puedan transmitir con la fidelidad exacta con la que son generados.

Analicemos brevemente el comportamiento de un canal telefónico con el ancho de banda descripto, a la luz de los conceptos de intensidad, tono y timbre estudiados en el apartado 4.3.2.1.

El primer caso que se puede presentar es el que se produce a causa de una severa atenuación en el vínculo físico que une a los correspondientes de una comunicación. Las causas pueden ser diversas. Aquí analizaremos el resultado desde el punto de vista del usuario que está utilizando la red telefónica. En ese caso, el problema que se presentará dependerá de cuán importante es la disminución de la intensidad del sonido. Si la misma afectara la interpretación del contenido de la información que se desea transmitir, el problema podría tener dos soluciones.

La solución más simple se podría lograr si el aparato telefónico está equipado con un amplificador de audiofrecuencia. Algunos aparatos lo suelen tener, generalmente aquellos preparados

para ser usados con manos libres. En estos casos, si se aumenta la intensidad a través del amplificador que contiene el teléfono, el problema podría solucionarse o, al menos, disminuirse.

Otro problema puede presentarse cuando el volumen es aceptable, pero no se tiene la intelligibilidad suficiente como para entender los sonidos que se están emitiendo desde una fuente. Un primer nivel de dificultad se presenta cuando no se puede diferenciar una voz de otra que se supone conocer. En ese caso, estamos ante un problema derivado de la calidad de la señal vinculada al timbre de la voz. Sería todavía más grave si directamente no se puede entender la intelligencia que se quiere transmitir. En esos casos, un amplificador de nada serviría. Allí el problema está relacionado con el tono. Estamos en presencia de un canal de comunicaciones que no tiene el ancho de banda suficiente como para que los sonidos se puedan reproducir adecuadamente. Ese canal se ha establecido entre los usuarios con un ancho de banda mucho menor a los 3 100 Hz esperados por el diseño de la red.

En los dos problemas descriptos una solución posible consiste en cortar la comunicación y establecer el enlace nuevamente.

En muchos casos, la red telefónica conmutada para cada llamada tiene una elección de encaminamiento diferente. Podrá entonces suceder, que el nuevo camino podría tener menor atenuación y el ancho de banda correcto; por lo tanto, el problema quedaría así resuelto. Cuando esto no sucede, el inconveniente está normalmente en la red de acceso y requiere el auxilio de la TELCO que brinda el servicio.

4.7 Función conmutación en la red telefónica

4.7.1 Características del proceso de conmutación

Actualmente una central telefónica que utiliza la tecnología de conmutación de circuitos podría ser definida como un computador para propósitos especiales. Su misión será la comunicación de líneas.

La Fig. 4.32. muestra un diagrama en bloque simple de una central telefónica que funciona por programa almacenado.

Si analizamos la disposición del hardware veremos que tendrá una matriz de conmutación, memoria RAM, discos rígidos, consola de operación, puertos de ingreso provenientes de los usuarios, y puertos de salida hacia las troncales que tenga conectadas mirando hacia la red de transporte, entre otros.

El software, a su vez, estará compuesto por un sistema operativo y programas aplicativos, como por ejemplo, los que permiten realizar la conmutación de líneas y aquellos que hacen a la facturación de las llamadas.

Un abonado, para establecer un enlace con otro de la red, ingresará por un puerto y generará el requerimiento a la central a través del discado. Esta, a su vez, mediante la utilización de la unidad de control con su software asociado, ordenará a la matriz de conmutación que genere una interconexión entre los puertos de entrada y salida que satisfaga el requerimiento.

Simultáneamente, otros sistemas, como el de facturación, comenzarán también a operar para cumplir otros servicios asociados a la red. Para que la comunicación llegue hasta el destino final se requiere del funcionamiento coordinado de todos los sistemas vitales de la red. Estos son: Los sistemas de conmutación, de transmisión –que permite que la señal vaya recorriendo los distintos segmentos de la misma– y, fundamentalmente, el de señalización –que dirige toda la operación de extremo a extremo para que la red actúe en forma coordinada a los requerimientos de los abonados a ella–.



Distribuidor de Líneas Telefónicas
(Gentileza de Siemens Enterprise Communications S.A.)

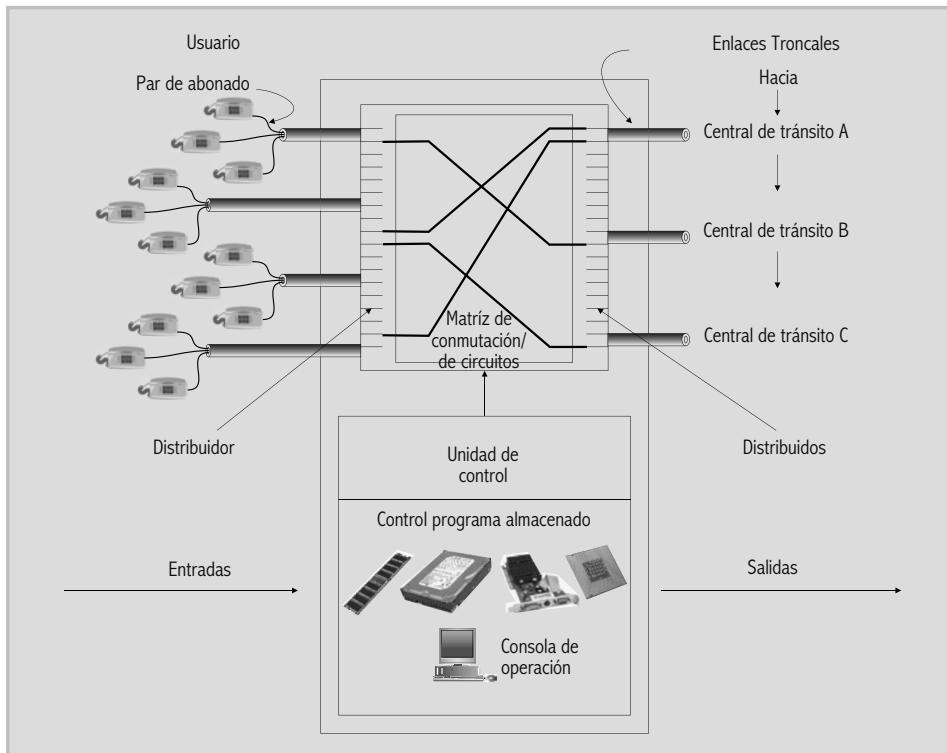


Fig. 4.32. Esquema de bloques de una central por conmutación de circuitos.

4.7.2 Distintos tipos de conmutadores

Como ya se ha detallado cuando se desarrolló el concepto de topología de una red, los conmutadores están ubicados en los nodos. En particular, la red telefónica tiene, por las funciones que se desempeñan dentro de ella, tres tipos de conmutadores. Ellos son:

- **Centrales locales (*Local Exchange o, también, Central Office*)**

Son centrales públicas que están directamente vinculadas al usuario final y, por lo tanto, son las que realizan las actividades iniciales para establecer un enlace.

Cuando una localidad dentro de la red no justifique, por su tamaño o su tráfico, una central telefónica, se instala una Unidad Automática.

Una Unidad Automática es un equipamiento de hardware de comunicaciones, que concentra las líneas provenientes de un conjunto de usuarios, pero sin unidad de control, y deriva los pedidos de conmutación a la central telefónica local de la cual es tributario.

Precisamente la automatización total de las redes telefónicas, y su funcionamiento por medio de sistemas por programa almacenado, permiten este tipo de equipamiento que simplifica el mantenimiento y la operación de la red.

- **Centrales privadas.**

Más conocidas por sus siglas PABX (*Private Automated Branch Exchange*). Son centrales telefónicas de mediana capacidad instaladas en empresas u organizaciones privadas, que tienen la característica de no pertenecer al operador de la red pública.



Selector de una central telefónica paso a paso (Strowger)
(Gentileza de Siemens Enterprise Communications S.A.)



Central telefónica digital
(Gentileza de Siemens Enterprise Communications S.A.)

Están conectadas directamente a las empresas por medio de enlaces troncales digitales, cuya capacidad se establece en función del tamaño de la misma.

Actualmente, son de tecnología totalmente digital. Por lo tanto, si los equipos terminales conectados a ella son teléfonos digitales, la comunicación, desde el mismo puesto del usuario final hasta la red pública, estará también totalmente digitalizada.

- **Centrales de tránsito (*Tandem Exchange o Toll Center*).**

Son aquellas que interconectan a las centrales locales de la red. De esta manera, le facilitan el encaminamiento hasta la central local, de la que es tributario el usuario final destinatario de la comunicación. Estas no poseen usuarios conectados a ellas, sino que conmutan centrales locales o interurbanas.

Como en algunos casos estas centrales interconectan distintas áreas urbanas, localidades distantes o un país con otro, se las conoce como Centros Automáticos Urbanos, o Interurbanos o Internacionales, respectivamente.

Los primeros se ocupan de encaminar el tránsito entre centrales urbanas. Esto ocurre solamente cuando el área que se ha de cubrir por esa parte de la red es muy extensa. Los segundos se ocupan de encaminar el tránsito entre ciudades diferentes, y los últimos manejan la conmutación entre una red nacional con otras de países terceros.

Un usuario de la red estará siempre conectado a una central privada, a una pública o a una Unidad Automática.

Los conmutadores también se clasifican en manuales y automáticos. Pero esta clasificación actualmente no tiene sentido, pues la casi totalidad de los conmutadores en todo el mundo son automáticos. Esto no significa que muchas centrales telefónicas automáticas no tengan una operadora para derivar las llamadas o atender requerimientos especiales.

4.7.3 Proceso de conmutación en la red telefónica

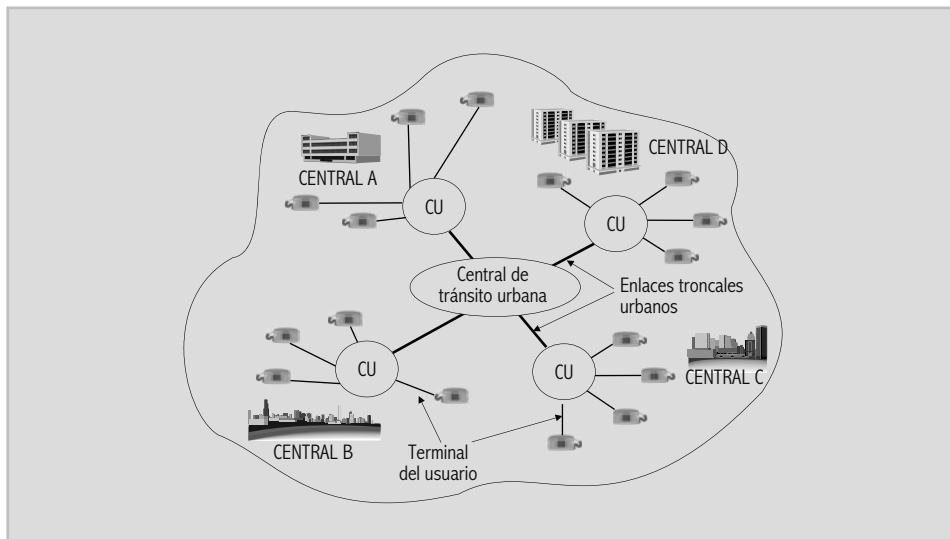
La red telefónica funciona con una topología estrella/malla y estrella/estrella. Los núcleos básicos de la red son las llamadas centrales urbanas, que conectan a sus abonados en una configuración en estrella y pueden tener hasta 100 000 de ellos. En ciudades o pueblos pequeños, esta cantidad puede ser sustancialmente menor o tener instaladas Unidades Automáticas que son operadas en forma remota desde las centrales urbanas.

Como se busca que la red de vínculos troncales sea siempre lo más simple posible, para evitar la instalación de vínculos innecesarios, las centrales urbanas se conectan a centrales de tránsito, que facilitan las comunicaciones entre los usuarios que están conectados a cada una de ellas.

La Fig. 4.33. muestra un ejemplo supuesto de ciudad, que posee una red telefónica con cuatro centrales locales unidas entre sí a través de una central de tránsito urbano. Es el caso típico de una ciudad con un número importante de centrales urbanas, que requieren una central de tránsito para evitar estar conectadas "todas contra todas". Si así se hiciese, la construcción de tantos vínculos troncales urbanos se haría muy costosa y complicada. Las centrales de tránsito urbanas facilitan la conectividad.

Los abonados o usuarios finales se conectan, a su vez, a las centrales urbanas por enlaces de usuario o local loop que, más específicamente, se suelen denominar también en este tipo de redes pares de abonado.

Las líneas o pares de abonado forman lo que se denomina red de distribución o planta externa. Estas líneas sirven para conectar los aparatos de los abonados con la central de conmutación. Están conformadas, fundamentalmente, por cables multipares constituidos por pares de alambre de cobre aislados.



Central telefónica digital Hp4000
(Gentileza de Siemens Enterprise Communications S.A.)

Fig. 4.33. Ejemplo de red telefónica urbana.

Las centrales de tránsito tienen la finalidad de simplificar la topología de la red y hacer más económico su desarrollo. A su vez, las redes urbanas están interconectadas entre sí por medio de sistemas de transmisión constituidos por variados tipos de vínculos.

La red, por razones geográficas y comerciales, se ordena en varias áreas de explotación que, generalmente, coinciden con poblaciones o áreas urbanas importantes.

Cuando un abonado de una ciudad se quiere conectar con otro situado en un área diferente, su central urbana lo debe conectar con la central de tránsito interurbana, para que esta direccione la llamada hacia el destino solicitado.

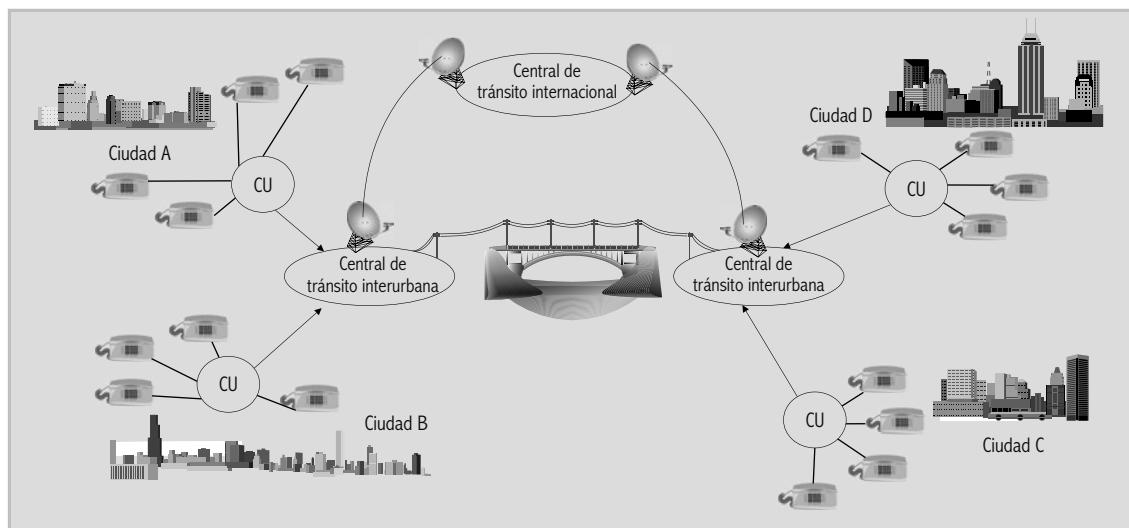


Fig. 4.34. Ejemplo de interconexión de centrales de tránsito.

La Fig. 4.34. muestra la estructura de una red nacional construida sobre la base de tres centrales de tránsito interurbanas, a las que están conectadas las diversas centrales urbanas de la red. En este ejemplo se ha supuesto que las ciudades, por su tamaño, no han justificado la instalación de centrales de tránsito urbanas.

La Red Telefónica Pública Comutada Mundial-RTPCM, considerada en su conjunto, tiene una topología de tipo jerárquica. Sin embargo, parcialmente, y tal como se ha venido desarrollando, las conexiones entre los usuarios y los nodos de la red, y entre estos últimos entre sí, establecen una topología del tipo estrella/malla y malla/malla, en donde no todos los nodos tienen la misma jerarquía.

El objeto que se persigue con una topología jerárquica de red es, fundamentalmente, usar para cada enlace comutado que se desea establecer el menor ancho de banda/kilómetro recorrido en los vínculos que deban ser utilizados.

La Fig. 4.35. muestra un caso típico de una red nacional con conexión internacional. En ella se pueden apreciar seis planos de trabajo que se comportan jerárquicamente.

En un primer plano, están los usuarios que se podrán conectar en forma directa a las centrales urbanas o a unidades automáticas. A su vez, según su ubicación, las centrales urbanas tendrán conectividad con centrales de tránsito urbanas o directamente con centrales de tránsito interurbanas y, estas últimas, con las centrales de tránsito internacionales que le dan a la red nacional conectividad internacional.

Por arriba de todo estará el sistema de control y señalización, que es el que ordenará el tráfico de la red y regulará su funcionamiento. Los vínculos de la red normalmente están duplicados hacia las centrales de tránsito, y entre ellos, por dos razones. La primera es para dividir el tráfico de manera de no saturar un vínculo, usando uno de ellos como ruta de desborde; y la segunda, como medida orientada a tener redundancia en la red por razones de seguridad.

La vinculación de una red nacional entre sus distintos nodos, como con otras redes nacionales, se realiza en el ámbito nacional a través de organismos nacionales competentes; asimismo, en el ámbito regional o internacional se realiza mediante diversos acuerdos. En muchos de ellos participa e interviene activamente la Unión Internacional de Telecomunicaciones.

En particular, en lo que hace al denominado Plan de Encaminamiento internacional, se determina con precisión los códigos de todos los países miembro y los caminos que debe recorrer una comunicación, una vez conocidos sus extremos. De la misma manera actúan los organismos nacionales para confeccionar los planes de numeración de cada país.

4.7.4 Plan de numeración

4.7.4.1 Aspectos generales

El Plan de Encaminamiento establece las rutas, y sus alternativas, para cada uno de los enlaces posibles dentro de las redes nacional e internacional. A su vez, este da lugar a un Plan de Numeración que está construido sobre la base del orden jerárquico y que, precisamente, se desprende de la topología de la red.

Los Planes de Numeración guardan para cada país características muy similares –excepto el usado en los Estados Unidos de Norteamérica, que tiene características y particularidades que lo hacen diferente a casi todo el resto de los países). La estructura de una Red Nacional típica tiene una topología similar a la que se puede observar en la Fig. 4.25. (analizada con anterioridad).

En ella podemos observar los siguientes aspectos de interés:

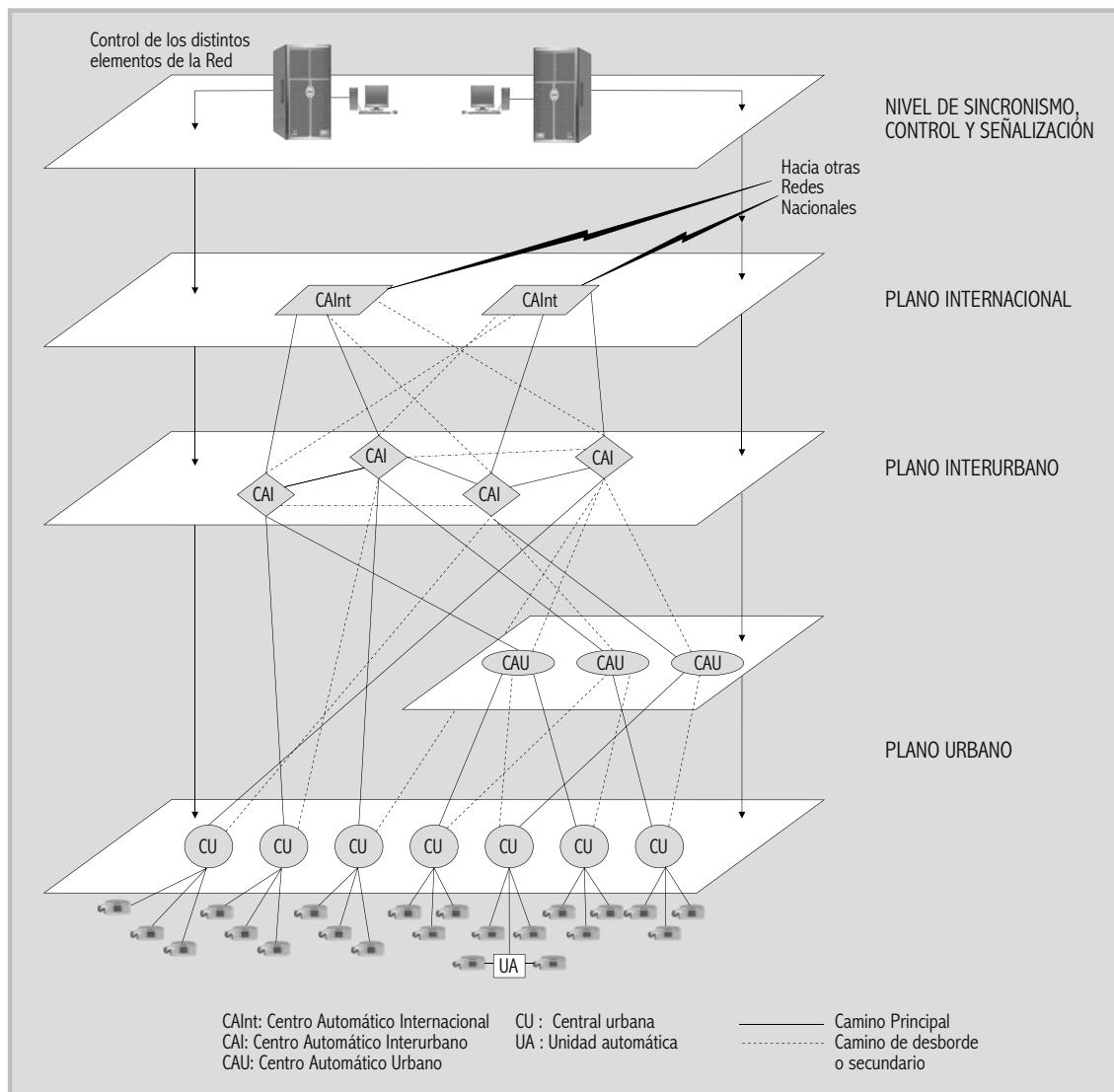


Fig. 4.35. Estructura de una red nacional.

- Los usuarios, a través de sus equipos terminales, estarán siempre conectados a una Central Urbana, o a una Unidad Automática.
- Cada Central Urbana estará conectada a dos Centrales de Tránsito. Pueden ser de tránsito urbano o, directamente, interurbano.
- Cada Central de tránsito, a su vez, estará conectada a otras similares de igual o de mayor jerarquía.

En lo que concierne a los enlaces internacionales, cada país podrá tener una o varias Centrales de Tránsito Internacionales. Estas normalmente están conectadas a las Centrales de Tránsito Interurbanas.

En muchos casos, entre dos países con vínculos próximos, terrestres o marítimos, e intereses comunes importantes se establecen los denominados enlaces fronterizos. Estos están constitui-

dos por vínculos que unen a dos o más ciudades separadas por una frontera común. Las mismas reciben un tratamiento especial tanto en lo relacionado al encaminamiento, que es directo entre ellas, como en lo relacionado a las tarifas, que son normalmente preferenciales.

Para el establecimiento de comunicaciones internacionales existen dos posibilidades:

- La primera es mediante un acuerdo directo entre los dos países. En él, se fijan las condiciones técnicas, las económicas y los vínculos, que se usarán para enlazar sus centrales de tránsito internacionales. En ese caso, cuando desde un país a otro se cursa una comunicación, un vínculo de comunicaciones directo –que será en la mayoría de los casos un cable submarino de fibra óptica o un satélite– permitirá establecer el enlace en forma directa.
- La segunda, resuelve la situación de países que no tienen acuerdos directos. En ese caso, la comunicación se efectúa a través de la denominada Red Intercontinental de Tránsito.

Esta red tiene varios nodos de conmutación fijados por la UIT, entre los cuales los más importantes son:

- Nueva York, Estados Unidos de Norteamérica.
- Londres, Inglaterra.
- Moscú, Rusia.
- Tokio, Japón.
- Sydney, Australia.

Cada país debe estar conectado al menos a uno de ellos, para poder tener comunicaciones completas con todos los países o regiones del planeta. En muchos casos, se puede estar conectado a más de uno, para que el encaminamiento de las comunicaciones internacionales sea más económico.

4.7.4.2 Plan de Numeración Telefónico

Como ya se expresó, de la función de conmutación surge el llamado Plan de Numeración Telefónico. La Unión Internacional de Telecomunicaciones es la que establece y mantiene el Plan Mundial de Numeración para la Red Telefónica Pública Comutada-RTPC. Dicho plan establece que todo número telefónico deberá estar compuesto por las siguientes partes:

- **Código de país.**

Este número puede tener hasta tres cifras. La primera de ellas debe ser el dígito que corresponde a la región del planeta al que pertenece el país. A su vez, el número de país puede tener uno, dos o tres dígitos.

En la Tabla 4-9 se pueden observar los distintos Códigos de País de los países iberoamericanos y de los americanos de habla inglesa, francesa y holandesa.

A los efectos de la asignación del código de país de la Red de Telecomunicaciones Internacional, las regiones del mundo han sido divididas de la siguiente forma:

- Región 1: América del Norte, excepto México y parte del Caribe.
- Región 2: África.
- Región 3 y 4: Europa Occidental y Groenlandia.
- Región 5: Resto de América y parte del Caribe.
- Región 6: Oceanía y la parte sur de Asia.
- Región 7: Europa Oriental, Rusia, y los países ex miembros de la Unión Soviética.
- Región 8: Asia.
- Región 9: Medio oriente y el subcontinente Indio.



Algunos países del Caribe forman parte de la Red Nacional de los Estados Unidos de Norteamérica y, por lo tanto, si bien no pertenecen a la Región N° 1, llevan el prefijo de ese país.

Recordemos que cada código de país debe siempre empezar con el número que corresponde a la región a la que pertenece el mismo. Ejemplo: España +34; Guinea Ecuatorial +240, China +86, etc.

Tabla 4-9 Códigos de Países Iberoamericanos y Americanos de Lengua Inglesa

País	Código	Región	País	Código	Región
Anguila	1	5	Guayana Francesa	594	5
Antigua	1	5	Guinea Ecuatorial	240	5
Antillas Holandesas	599	5	Guyana	592	5
Argentina	54	5	Haití	509	5
Argentina (Islas Malvinas)	500	5	Honduras	504	5
Aruba	297	5	Islas Caimán	1	5
Bahamas	1	5	Islas Saint Kitts	1	5
Barbados	1	5	Islas San Pedro y Michelon	508	5
Belice	501	5	Islas Turcos y Caicos	1	5
Bolivia	591	5	Islas Vírgenes Británicas	1	5
Brasil	55	5	Jamaica	1	5
Canadá	1	5	Martinica	596	5
Chile	56	5	México	52	5
Colombia	57	5	Montserrat	1	5
Costa Rica	506	5	Nicaragua	505	5
Cuba	53	5	Panamá	507	5
Domínica	1	5	Perú	51	5
Ecuador	593	5	Portugal	351	5
El Salvador	503	5	San Vicente	1	5
España	34	5	Santa Lucía	1	5
Estados Unidos	1	5	Surinam	597	5
Granada	1	5	Trinidad & Tobago	1	5
Guadalupe	590	5	Uruguay	598	5
Guatemala	502	5	Venezuela	58	5

Cuando se debe referir el código de país, dentro de un número de teléfono completo, se an-
tepone el signo + (como se ha realizado en los ejemplos anteriores).

- **Código Nacional de Área.**

Este código tiene por objeto facilitar el encaminamiento dentro de una red nacional y, en muchos casos, ser un elemento que simplifique la tarificación. Puede tener hasta varios dígitos. En los Estados Unidos de Norteamérica todos los códigos de área tie-
nen siempre tres dígitos. La cantidad de estos da una idea de la importancia que tiene, dentro de la estructura jerárquica de la red telefónica, la central urbana de la que es tributario.

En muchos países se ha optado por asignar siempre, a la totalidad del número nacional de un abonado, diez dígitos. Si en el modo local el número tiene ocho dígitos, el código de área no podrá tener más que dos. Si por el contrario tiene seis dígitos, los otros cuatro corresponderán al código de área.

- **Número de abonado local.**

El número de abonado local puede variar entre cinco y ocho dígitos en las redes totalmente automáticas. Como ya se explicó, su longitud dependerá de la importancia del centro urbano al que pertenezca.

En forma independiente al número completo que posea cada abonado a la red telefónica, se deben considerar los denominados Códigos de Acceso. Estos son números que, antepuestos al número telefónico del abonado con el que se quiere establecer una comunicación, permiten:

- El acceso a una Central de Tránsito Interurbana para establecer una comunicación con otro usuario, que está ubicado en otra ciudad o área geográfica del mismo país. En ese caso, el código se denomina Código de Acceso Interurbano.
- El acceso a una Central de Tránsito Internacional para establecer una comunicación con un abonado de otro país. En ese caso, el código se denomina Código de Acceso Internacional.

Estos códigos varían de país en país. En general, en muchos países se utiliza:

- Como Código de Acceso Interurbano el número 0.
- Como Código de Acceso Internacional los números 00.

Como una variante de estos últimos puede señalarse que en Francia se utiliza el número 19 y en los Estados Unidos de Norteamérica, el 011.

4.8 Equipos terminales conectados a la red telefónica

4.8.1 Introducción

Los equipos terminales más comúnmente conectados a la red telefónica conmutada son los teléfonos, los equipos facsímil y las computadoras (a través de módem de datos). En el caso particular de los equipos facsímil, en gran parte son reemplazados por el uso del servicio de correo electrónico. Sin embargo, aún existe un importante uso de ellos para muchas aplicaciones a través de la red telefónica.

4.8.2 Teléfonos

Los terminales telefónicos se pueden clasificar en dos grandes grupos: Los equipos normalizados, que pueden ser conectados directamente a la red telefónica, y los equipos propietarios, que solamente pueden ser conectados a las centrales privadas para las cuales han sido diseñados. Estos últimos, también pueden operar en la red pública, pero a través de la central privada con la que son compatibles.

Los elementos constitutivos básicos son los mismos en ambos casos; pero los equipos de características propietarias pueden tener partes adicionales, que les permiten cumplir una gama más amplia de funciones especiales.

- **Elementos constitutivos básicos.**

Los elementos constitutivos básicos, que conforman un teléfono, son los siguientes:

- La base o soporte. Es la que contiene todos los elementos mecánicos y electrónicos que posee el aparato. Normalmente, está construida en materiales plásticos, aunque hoy los hay de variados tipos y productos.
- El microteléfono (*handset*). Es la parte del aparato que permite recibir y transmitir desde una posición y ubicación ergonómica en la cabeza del operador.

- El cable de conexión (*Handset cord*) a la red. Estos cables, actualmente, están dotados en ambos extremos por medio de conectores normalizados RJ 11 ó RJ 45. Un extremo se conecta al teléfono y el otro a la red.
 - Dial o conjunto para el discado. Permite introducir los dígitos que son necesarios para establecer la comunicación o aportar elementos de señalización. Los hay de dial giratorio (los más antiguos) y de teclado digital.
 - Horquilla (*Switch hook*). Es la parte del aparato, que permite habilitar o deshabilitar el uso del microteléfono.
 - Campanilla de llamada. Es el elemento que alerta la llegada de una llamada.
- Funciones que cumplen.

Los aparatos telefónicos tienen funciones básicas y funciones especiales.

Las funciones básicas son:

- Recibir las señales eléctricas transmitidas por la red y transformarlas en señales acústicas que puedan ser escuchas por el oído humano; y viceversa, transformar las señales acústicas generadas por la voz en señales eléctricas que puedan ser enviadas a la red.
- Tener la capacidad para enviar información de señalización que permita establecer la comunicación. Esta información puede ser enviada en la modalidad por pulsos o por tonos.

Las funciones especiales son muy variadas. Algunas, las menos sofisticadas, pueden ser usadas en la red pública sin inconvenientes; sin embargo, otras son, solamente, de uso exclusivo en centrales privadas.

En estos casos, los equipos telefónicos tienen características propietarias; es decir, que solamente pueden ser usados conectados a las centrales para las que fueron diseñados.

Las funciones especiales que permiten el uso de los aparatos telefónicos en la red pública son:

- Modalidad manos libres. Permite establecer la comunicación sin usar el microteléfono. Para ello, el teléfono debe poseer un parlante y un micrófono fijo en el aparato.
- Rellamada del último número discado.
- Retención de llamada. Es decir, retener la llamada cortando el uso del microteléfono, para efectuar, por ejemplo, una consulta privada y volver a establecer la comunicación.
- Almacenamiento de números telefónicos. En estos casos, el aparato posee una memoria que permite almacenar nombres de personas y sus correspondientes números telefónicos.
- Visores digitales. Indican algunas de las funciones que realiza el teléfono.

Las funciones especiales, permitidas solamente por equipos propietarios, están normalmente referidas a las prestaciones especiales que tiene el equipo de conmutación al cual están conectados, y forman parte de los denominados hiperservicios que normalmente estas centrales pueden cumplir.

- Procedimientos de discado.

Para el establecimiento de la comunicación telefónica es necesario enviar hacia la central, de la cual es tributario el equipo terminal de datos desde el que se quiere establecer el enlace, las señales adecuadas.

Estas pueden ser de dos tipos diferentes por lo que, en el caso de los módems que poseen la facilidad de discado automático, deben ser tenidas en cuenta al momento



Teléfono digital OpenStage 40
(Gentileza de Siemens Enterprise Communications S.A.)

de adquirir este tipo de equipo (lo mismo ocurre cuando es necesario adquirir un equipo terminal telefónico). Entonces, los dos tipos de señales son:

- Señales de pulsos.

Son las que se generan desde los teléfonos que tienen dial rotativo o desde algunos teléfonos modernos que poseen teclado digital. Las señales generadas por el dial son pulsos de corriente/no-corriente. Los mismos tienen una duración estándar, tal como se puede observar en la –Fig. 4.36.

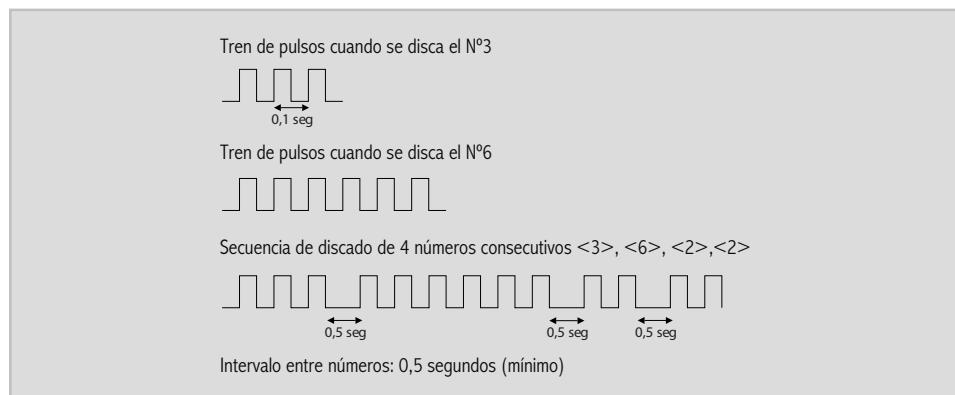


Fig. 4.36. Señalización por pulsos.

- Señales multifrecuentes.

Son las que se generan, en todos los casos, desde los teléfonos que tienen teclado digital. Las señales generadas por cada tecla son tonos de distinta frecuencia, tal como se puede observar en la –Fig. 4.37.

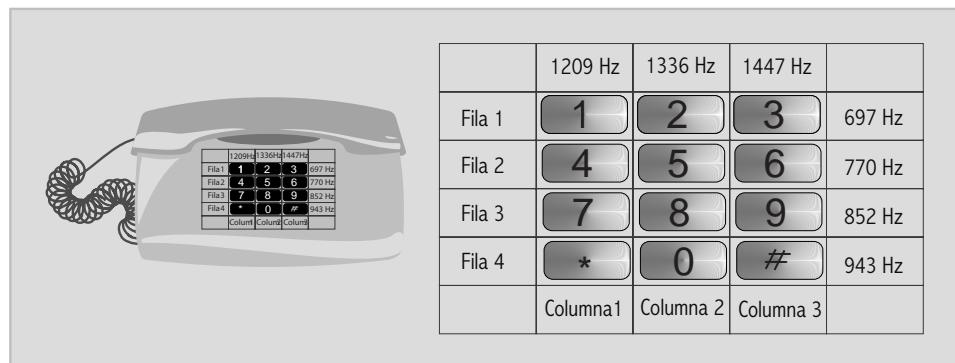


Fig. 4.37. Señalización por tonos. Frecuencia de los tonos.

Este sistema es más evolucionado que el anterior. Cuando por ejemplo, se discá el número 1, se envían simultáneamente dos tonos: Uno de 1209 Hz y otro de 697 Hz.

Los tonos (frecuencias) han sido seleccionados, a los efectos de la normalización, en forma muy cuidadosa de manera de obtener los mejores resultados.

4.8.3 Facsímiles

- Aspectos generales.

El facsímil es un equipo terminal que permite la transmisión a distancia de documentos, cuyo soporte de la información es el papel. Esta circulación de la información se logra al convertir su contenido en señales eléctricas.

Su uso se ha generalizado en la última década, a partir del desarrollo tecnológico de equipamientos. Estos trabajaban a una velocidad de transmisión razonables y lo-graban, además, una calidad aceptable en la información recibida.

- Tipos y clases de equipos.

Los equipos facsímiles han sido clasificados por la UIT-T en cuatro grupos, que se cono-cen como Clases I a IV.

Las dos primeras clases están prácticamente fuera de uso. En cambio, los equipos de la Clase III marcaron un punto de inflexión, que hizo a este servicio de gran popularidad y permitió que se generalizase su uso.

Estas máquinas, actualmente muy difundidas, usan un módem de datos que trans-mite a velocidades, normalmente, no menores a 9 600 bps con modulación QAM. De esta manera, se obtienen tiempos de transmisión de un minuto, o aún menos, para una página de tamaño A4. La Recomendación T.4-UIT-T es la que describe las características de estas máquinas.

La mejora en la velocidad de los equipos módem de datos ha hecho que actualmente existan equipos que trabajan a 14 400 bps, en la medida que el equipo corresponsal tenga un módem capaz de manejar esa velocidad (también normalizada por la UIT-T).

Actualmente, la disponibilidad de módem de la Recomendación V.34 hace posible au-mentar la velocidad de transmisión a 33 600 bps. Sin embargo, debe señalarse que, dada la gran cantidad de equipos que operan a velocidades menores (9 660 ó 14 400 bps), segura-mente será una limitación para estos equipos que estarán muy rápidamente en el mercado.

Cuando se da el caso de una comunicación entre equipos que poseen distintos tipos de módem de datos, estos, en la etapa de negociación de la velocidad, fijan la misma que sea compatible para ambos. Los equipos de la Clase III seguirán por bastante tiempo en servicio, pues son aptos para trabajar sobre líneas que tengan una terminación (*Local loop*) analógica.

Los equipos de la Clase IV han sido normalizados en la Recomendación T.6-UIT-T, que describe las características de estas máquinas. Los equipos de esta clase trabajan sobre terminaciones de red digitales usando los canales B, que operan a 64 Kbps y han sido diseñados para ser usados en las Redes Digitales de Servicios Integrados.

Estos equipos, además de reducir su tiempo de transmisión para una página nor-malizada a unos pocos segundos, utilizan una mayor resolución, en comparación con los grupos anteriores. Por lo expresado anteriormente, no pueden trabajar sobre ter-minaciones analógicas.

Si bien este tipo de equipos resultará de uso limitado hasta que no se cuente con ter-minaciones digitales en la red telefónica, muchas empresas, que ya poseen sus centrales privadas-PABX conectadas por vínculos digitales a la red, utilizan este tipo de equipos.

La condición de uso es que el corresponsal posea las mismas facilidades. Para grandes em-presas con un alto volumen de tráfico, la reducción que significa, tanto en el tiempo de comunicación como en el costo del servicio telefónico, resulta muy importante.

4.9 Distintos usos de la red telefónica

4.9.1 Consideraciones generales

Las redes telefónicas son, actualmente, uno de los medios más empleados para la transmisión de datos. Las principales razones son:

- El servicio telefónico está disponible en todo el mundo.
- Importantes inversiones de capital han sido destinadas para desarrollar e instalar equipos y sistemas de transmisión, que pueden proporcionar ese servicio.
- El costo de una red privada se ha tornado accesible mediante la contratación de circuitos arrendados de la red telefónica, que a esos efectos actúa como red soporte.
- Es un servicio que está normalizado internacionalmente, lo que permite diseñar de manera rápida equipos e interfaces con los equipos terminales y producir la necesaria adaptación entre ambos servicios.
- Es un sistema de costos muy aceptables, en relación con la inversión que requiere este tipo de tráfico.

El uso de la red telefónica puede hacerse de varias maneras diferentes:

1. Mediante el uso de los denominados circuitos conmutados o dial up.
2. Mediante el uso de circuitos arrendados.
3. Como red soporte.
4. Servicios de banda ancha al usuario final.

Cada una de estas posibilidades tiene distintas variantes y deben ser seleccionadas medianamente adecuadas consideraciones técnicas.

4.9.2 Circuitos conmutados

4.9.2.1 Aspectos generales

El empleo de circuitos conmutados sobre la red telefónica representa uno de los usos más extendidos para hacer efectiva una comunicación, sea de voz o de datos.

Precisamente, la flexibilidad de la red telefónica radica en la posibilidad de establecer, a partir de un punto sobre la red en donde está instalado un Equipo Terminal (en este caso denominado A), circuitos diferentes con otros equipos (los que en la Fig. 4.38. se denominan B y C).

La comunicación se establece de la siguiente manera:

- A partir del equipo terminal de datos, que hemos denominado A–origen, desde donde se debe proceder a iniciar la comunicación y a través de él mismo.
- Si la comunicación es de voz, directamente el aparato telefónico tendrá todos los elementos necesarios para establecer la comunicación. Si esta es de datos, se requerirá un equipo módem.

Actualmente, estos equipos están ya incluidos en el hardware de cualquier computadora que se quiera interconectar, y el inicio de la comunicación tiene la simplicidad de una comunicación de voz. Para ello, los equipos tienen incorporado en el sistema operativo el software de comunicaciones adecuado.

La Fig. 4.38. muestra la estructura de un circuito conmutado para el uso en comunicaciones de voz o de datos.

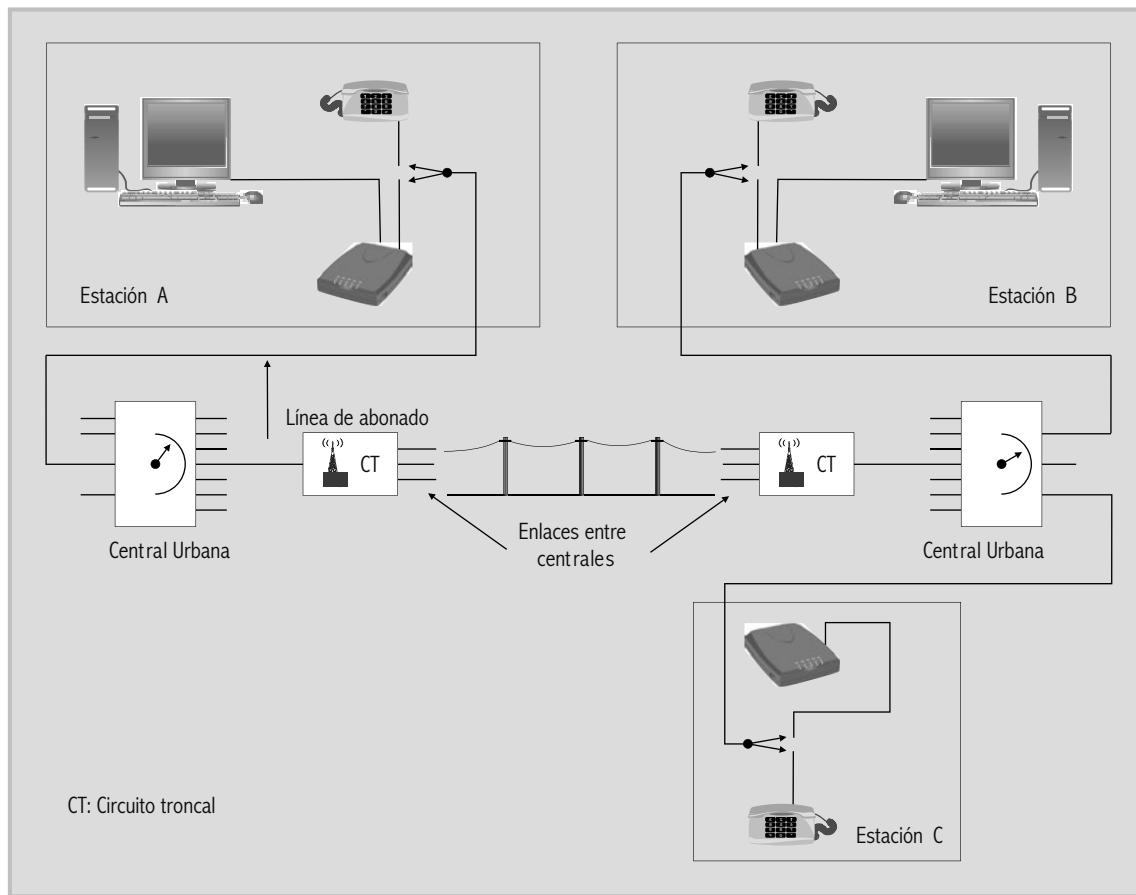


Fig. 4.38. Estructura de un circuito conmutado para la transmisión de datos.

4.9.2.2 Características especiales de los circuitos conmutados

Cuando se establece un circuito conmutado, la red instala un determinado enrutamiento. Es decir que determina por qué rutas se van a establecer los distintos circuitos que formarán el enlace entre los extremos. Estos circuitos tienen las siguientes particularidades::

- Esta transmisión no puede ser pre acondicionada, ya que es posible que el enruteamiento y los circuitos que se emplean cambien en cada comunicación que se establezca (se ignora el camino que seguirá).
- En los casos en que la comunicación sea muy deficiente, convendrá volver a efectuar la llamada para buscar la posibilidad de un enruteamiento diferente, a los efectos de tratar de mejorar la calidad del circuito.
- El enlace se desconecta una vez que se termina la comunicación.
- La tarifa que se ha de abonar, estará relacionada con el tiempo que dure la comunicación y con los costos establecidos entre los puntos de origen y destino de la misma.
- Tienen poca calidad, en comparación con los circuitos arrendados.
- A menudo, en estos circuitos existe ruido impulsivo. Cuanto mayor sea el número de centrales que estén incluidas en el enruteamiento del circuito establecido, mayor será el ruido. Este problema no es habitual en la actualidad, gracias a la digitalización de la red en la mayoría de los casos.

- Los sistemas de señalización de estos circuitos están dentro de la banda de transmisión, por lo que los equipos usados en datos no deben producir interferencias entre ellos.
- La velocidad de modulación que se alcanza en estos circuitos puede llegar hasta los 3300 Baudios, que se corresponde con velocidades de transmisión de hasta 52 000 bps.

4.9.3 Los circuitos arrendados

4.9.3.1 Aspectos generales

El uso de circuitos arrendados sobre la red telefónica representa una de las aplicaciones más extendidas. Esto es así porque, a diferencia de los circuitos conmutados, se puede obtener mejor calidad de transmisión, lo cual hace efectiva una comunicación entre dos puntos geográficos fijos (en especial, si esa comunicación es exclusivamente de datos).

La Fig. 4.39. muestra la estructura de un circuito arrendado, para el uso en comunicación de datos, mediante el uso de la red telefónica conmutada. Allí se puede observar cómo la estación A establece una comunicación de datos con la estación B, siempre que los usuarios estén ubicados sobre puntos en que existan facilidades de la red telefónica conmutada.

Si fuera una comunicación de datos, el equipo módem deberá complementar al equipo terminal de datos y conformar las estaciones de origen y destino de los mismos. La comunicación, en este caso, se establece en forma automática, al encender los equipos informáticos y los correspondientes módems ubicados en ambos extremos (por lo tanto, la facilidad está a disposición de los usuarios las 24 horas del día, los 365 días del año).

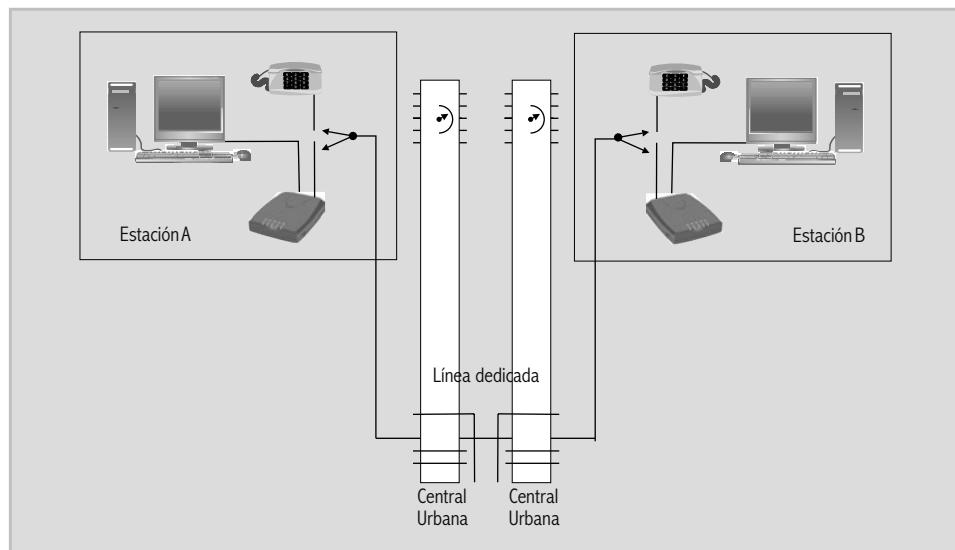


Fig. 4.39. Estructura de un circuito arrendado para la transmisión de datos.

4.9.3.2 Características especiales de los circuitos arrendados

Estos circuitos poseen un enrutamiento que se elige, especialmente, cuando el usuario contrata el circuito a la empresa telefónica local, de forma que se puedan obtener las mejores condiciones técnicas.

Este hecho le otorga las siguientes particularidades:

- Están conectados a través de las centrales urbanas, a las que tributan las líneas de abonado de las estaciones que están conectadas entre sí. Pero estas no pasan por sus dispositivos de conmutación. Por esta razón, nunca están afectadas por ruido impulsivo, como puede ser el caso de las líneas conmutadas.
- En muchos casos, poseen dispositivos especiales que disminuyen las perturbaciones y la distorsión. Los dispositivos que corrigen la distorsión de frecuencia reciben el nombre de ecualizadores.
- Al seleccionar el enrutamiento, se busca obtener las menores pérdidas y el mejor par de abonado (y/o troncal) de entre los disponibles. De la misma manera, se procede con los circuitos interurbanos (si fuera el caso).
- Se puede trabajar con mayores velocidades de modulación, que en los circuitos conmutados.

4.9.4 Red soporte

La red telefónica, por su tamaño y por su cobertura geográfica, representa una de las mejores opciones para la construcción de comunicaciones de otras redes especiales o particulares, (por ejemplo, de tipo empresarial) sobre sus medios. La realización de este tipo de redes se planifica y se lleva a cabo mediante la contratación, a los operadores de la red telefónica pública, de circuitos arrendados de cuatro hilos, generalmente en la modalidad punto a punto.

Actualmente, la totalidad de los circuitos que se contratan son digitales. Al ser solicitados por el comitente, este debe indicar básicamente los puntos que deben ser unidos (inicial y final) y el ancho de banda que se requiere (en bps o, mejor aún, por sus múltiplos –es decir Kbps, Mbps y Gbps–). Una vez contratado, el mismo el usuario lo podrá utilizar para soportar otras aplicaciones, que pueden ser o no diferentes a la telefónica.

Los canales que se arriendan parten de una capacidad de 64 Kbps; estos escalan en múltiplos de esa cifra hasta que se llega a un grupo básico compuesto de 30 canales más de señalización y sincronismo, lo que hace un ancho de banda total de 2 048 Mbps. A partir de ese valor, ya se acuerdan velocidades más grandes, que dependen de la tecnología de multiplexación que utilice el prestador para proveer el servicio.

En otros casos, en donde directamente se desea utilizar la red para un servicio telefónico dedicado exclusivo, las nuevas tecnologías lo pueden proveer mediante la programación de las centrales de conmutación de la red. Estos enlaces se suelen nominar hot lines. Estas consisten en un servicio que, definidos dos usuarios de la red telefónica A y B, en forma automática (cuando cualquiera de los dos levante el microteléfono), la red genere una llamada automática al otro usuario, sin necesidad de discado previo. Como no hay otra opción de comunicación, esta línea siempre está disponible y no hay posibilidad de que esta no pueda realizarse.

Este servicio es ideal para aplicaciones que requieren que la línea de estos abonados no esté nunca ocupada en otra conversación, o cuando los costos de conmutación son mayores que los de arrendar la línea.

4.9.5 Análisis de costos entre servicios conmutados y servicios permanentes

Si bien en cada caso será necesario estudiar las tarifas existentes en cada una de las empresas prestadoras de los servicios de telecomunicaciones, es posible determinar la conveniencia de usar un enlace conmutado y arrendado, calculando el denominado punto de equilibrio-Eq entre dos puntos determinados.



Teléfono analógico a disco
(Gentileza de Siemens Enterprise Communications S.A.)

Se denomina punto de equilibrio entre dos equipos terminales que deberán cursar un determinado volumen de tráfico, al que resulta de igualar el costo de un enlace arrendado con el equivalente a un determinado número de comunicaciones efectuadas con conmutación, en un intervalo normalmente semejante a un período de facturación.

Para efectuar el mencionado cálculo, las comunicaciones con conmutación se deben tomar con la duración promedio en el intervalo considerado. La Fig. 4.40. muestra la relación de costos entre dichos enlaces.

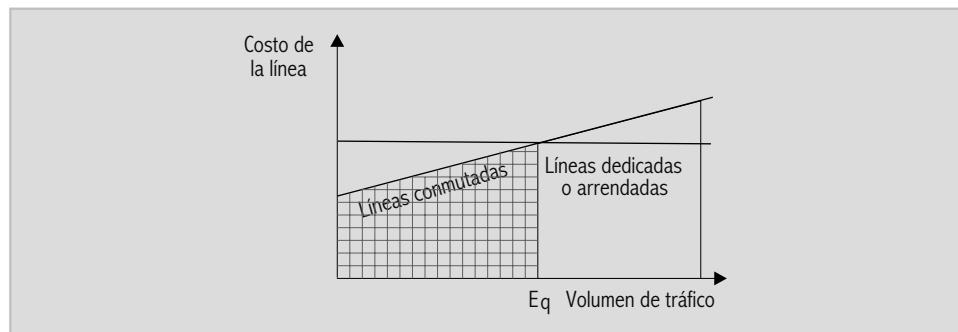


Fig. 4.40. Relación de costos por tipo de enlace adoptado en función del tráfico cursado.

En esta figura se puede observar que, a partir del punto Eq de equilibrio, resulta más conveniente la contratación de un enlace dedicado.

Ejemplo 4-01:

Una empresa automotriz tiene su sede central en la ciudad de Monterrey. Efectúa en forma regular comunicaciones telefónicas con su sede central ubicada en la ciudad de México. Si el costo de un enlace arrendado entre dichas ciudades es de US\$ 330 mensuales, y el costo promedio de una llamada de ocho minutos habitual entre las sedes cuesta 1,5 US\$. Si tomamos como referencia un mes de veintidós días de trabajo, ¿cuál es el número de llamadas diarias correspondientes al punto de equilibrio? ¿Qué conclusiones sacaría?

Si suponemos una llamada diaria, el costo por llamada/mes sería de:

$$\text{Costo por llamada/mes} = 1,5 \times 22 \text{ US\$}$$

$$\text{Costo por llamada/mes} = 33 \text{ US\$}$$

De esta manera, el número de llamadas que permitiría llegar al punto de equilibrio sería:

$$\text{Llamadas en Eq} = \frac{\text{Costo del enlace arrendado}}{\text{Costo llamadas/mes}}$$

$$\text{Llamadas en Eq} = \frac{330 \text{ US}}{33 \text{ US}}$$

$$\text{Llamadas en Eq} = 10 \text{ llamadas diarias}$$

Las conclusiones serían las siguientes:

- A partir de la décima llamada diaria, es más económico tener una línea arrendada.
- Muchas veces, es más conveniente tomar un valor de Eq algo menor al teórico, pues, al tener contratada una línea arrendada, la posibilidad de tener el enlace disponible las 24 horas del día hace posible optimizarlo y, de esa manera, ahorrar en ancho de banda disponible.

4.10 Circuitos de dos y de cuatro hilos

En la zona de acceso a la red telefónica, los usuarios individuales acceden a la misma a través de la denominada planta externa de la red, que está compuesta por pares de alambre de cobre. Por cada abonado utiliza un par de conductores, y el vínculo de comunicaciones, así establecido entre la central y el abonado, es muy conocido por su expresión *local loop*. El canal de comunicaciones se establece sobre los enlaces en los dos sentidos. La Fig. 4.42. muestra un ejemplo de ellos.

La planta externa de una red telefónica es una de las inversiones más importantes de la misma y, por lo tanto, se ha tratado a través del tiempo de utilizarla para la prestación de otros servicios –como podría ser la prestación del servicio de Internet de banda ancha, más conocido como *Asymmetrical Digital Subscriber Line*–ADSL y, también, en las redes más sofisticadas, como es la Red Digital De Servicios Integrados–RDSI–. De esa forma, se han obtenido beneficios económicos adicionales importantes a esta inversión.

La problemática de este tipo de vínculos, entre el domicilio del usuario final y la central, se conoce como el problema de la última milla; desde el origen de la red telefónica se han estudiado distintas formas de encarar el ataque desde la central hasta el destino final, en donde estará el equipo terminal del abonado.

En la Fig. 4.41. se puede observar un circuito a dos hilos que puede ser utilizado en enlaces de voz o de datos. Los circuitos a dos hilos presentan las siguientes particularidades:

- Pueden manejar velocidades de modulación de hasta 3 300 Baudios.
- Siempre presentan la posibilidad de la existencia de oscilaciones que tienen efectos nocivos para la transmisión.
- Si se los usara para establecer circuitos de datos, utilizando la red telefónica conmutada, permitiría obtener niveles de calidad compatibles con la norma de calidad normal M.1140 del UIT-T.

Cuando el par se utiliza solamente para transportar señales de voz, en muchos casos –como por ejemplo el servicio que presta en zonas rurales alejadas de la central–, la atenuación por efecto de la distancia obliga a colocar amplificadores bidireccionales.

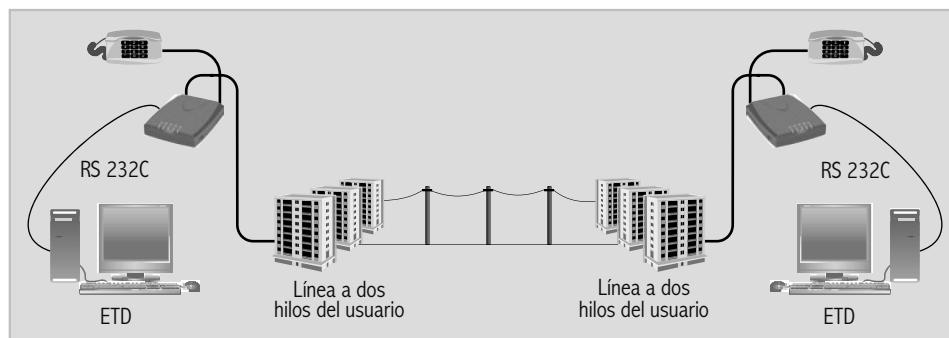


Fig. 4.41. Circuito de datos a dos hilos.

En los circuitos a dos hilos, como ya se expresó, al provocar oscilaciones no deseadas se dificultan, en muchos casos, la calidad de la conversación y la del circuito. En esos casos, se busca utilizar vínculos de cuatro hilos, es decir, dos pares en un sentido y dos pares en sentido contrario (como podemos observar en la Fig. 4.42.).

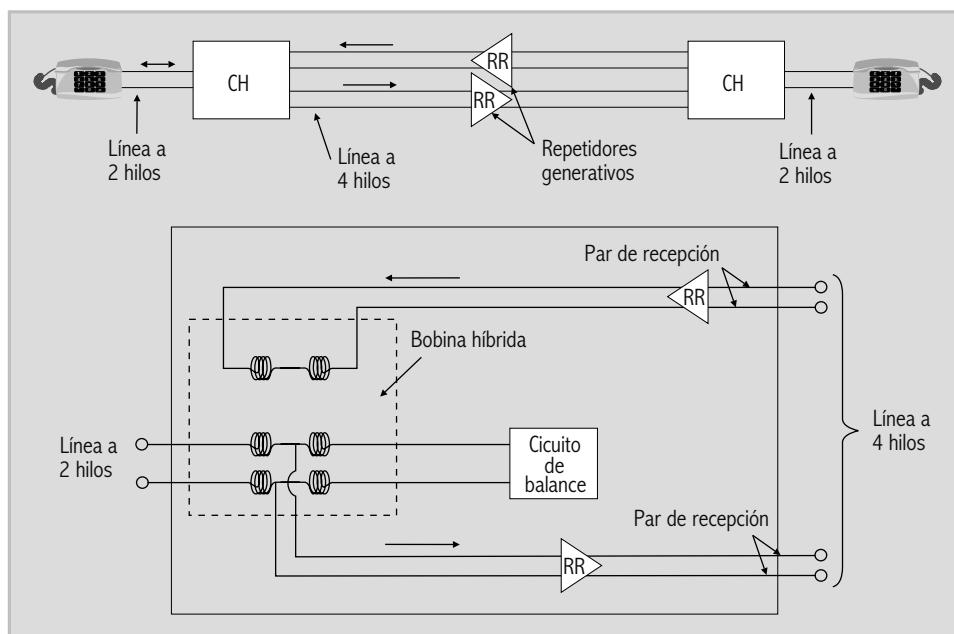


Fig. 4.42. Esquema de establecimiento de un circuito híbrido de dos a cuatro hilos y viceversa.]

Si bien los circuitos telefónicos funcionan básicamente a dos hilos, los sistemas troncales de transmisión –en los que se utiliza la función de multiplexar para obtener mejor uso del ancho de banda disponible–, utilizan técnicas que requieren que los circuitos sean a cuatro hilos: Dos hilos para transmitir y dos para recibir. Es el caso de todos los canales troncales urbanos, interurbanos o internacionales.

Los circuitos de cuatro hilos permiten usar regeneradores repetitivos. Uno para el circuito de transmisión y otro para el circuito de recepción. Luego, para los casos de circuitos telefónicos que deben conectarse a equipos donde la señal será multiplexada, es necesario un dispositivo que transforme los circuitos de dos hilos en circuitos de cuatro hilos y viceversa. Ese dispositivo recibe el nombre de bobina híbrida.

La Fig. 4.43. muestra un circuito híbrido, que permite la transformación de un circuito de dos a cuatro hilos. En dicha figura se puede observar, especialmente:

- La bobina híbrida.
- Los regeneradores del circuito de recepción y del circuito de transmisión.
- La transformación de dos hilos en cuatro.
- Particularidades de los circuitos a dos hilos.

Cuando se solicita la instalación de un circuito arrendado digitalizado, en algunos casos se requiere que este sea a cuatro hilos. Esto sucede, generalmente, si el mismo va ser usado en algún servicio o aplicación crítica (en especial, digital de alta velocidad).

La Fig. 4.43. muestra un circuito digital a cuatro hilos, donde la última milla es analógica sobre dos pares de cobre.

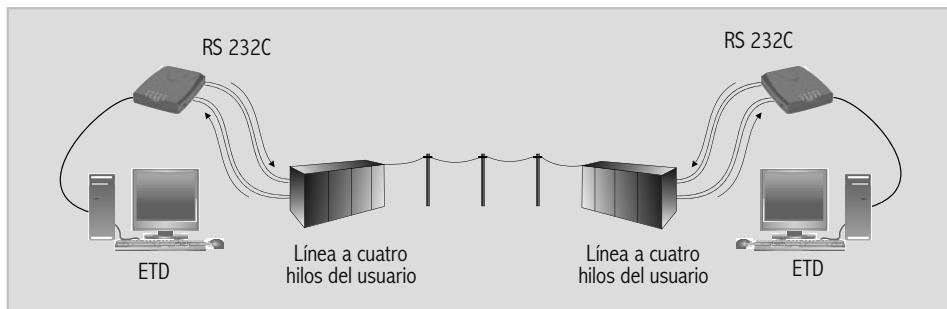


Fig. 4.43. Circuito de datos a cuatro hilos.

Los circuitos a cuatro hilos presentan las siguientes particularidades:

- Son especialmente aptos para las comunicaciones dúplex completo (*full duplex*).
- Permiten obtener niveles de calidad compatibles con la norma M.1120 del UIT-T o mejores.
- No requieren el uso de bobinas híbridas.
- Necesitan, desde la central urbana de la que son tributarios hasta las estaciones receptora y transmisora de datos, dos pares de abonado para cada circuito.

La Fig. 4.45. muestra las distintas variantes que pueden usarse para la transmisión de datos a través de la red telefónica, mediante circuitos conmutados y circuitos dedicados, a dos y cuatro hilos. En ella podemos observar a dos Centrales Urbanas–CU conectadas entre sí, y, a su vez, cada una de ellas conectadas con un Centro Automático Interurbano–CAI.

Entre las dos Centrales Urbanas–CU se puede observar:

- Un circuito conmutado directo entre ambas centrales.
- Un circuito dedicado a dos hilos.
- Un circuito dedicado a cuatro hilos.

Entre las dos Centrales Urbanas–CU y el Centro Automático Interurbano–CAI, vemos un circuito conmutado que fue transformado de dos a cuatro hilos, y, luego, fue devuelto nuevamente a la otra central a dos hilos.

Entre cada una de las dos Centrales Urbanas–CU individualmente con el Centro Automático Interurbano–CAI, se pueden observar dos circuitos dedicados: Uno, establecido a dos hilos, el otro, a cuatro hilos.

En todos los casos en que fue necesaria la conversión, se encuentra como interfaz entre ambos extremos una bobina híbrida.

4.11 Señalización en la red telefónica

4.11.1 Conceptos generales

Para posibilitar un intercambio de información entre los dos extremos de una red de telecomunicaciones, cualquiera sea el servicio que esta brinde, el primer paso es establecer un canal de comunicaciones a través de los vínculos que sean necesarios, a los efectos de que estos permitan establecer un enlace entre los equipos terminales que realizarán dicho intercambio.

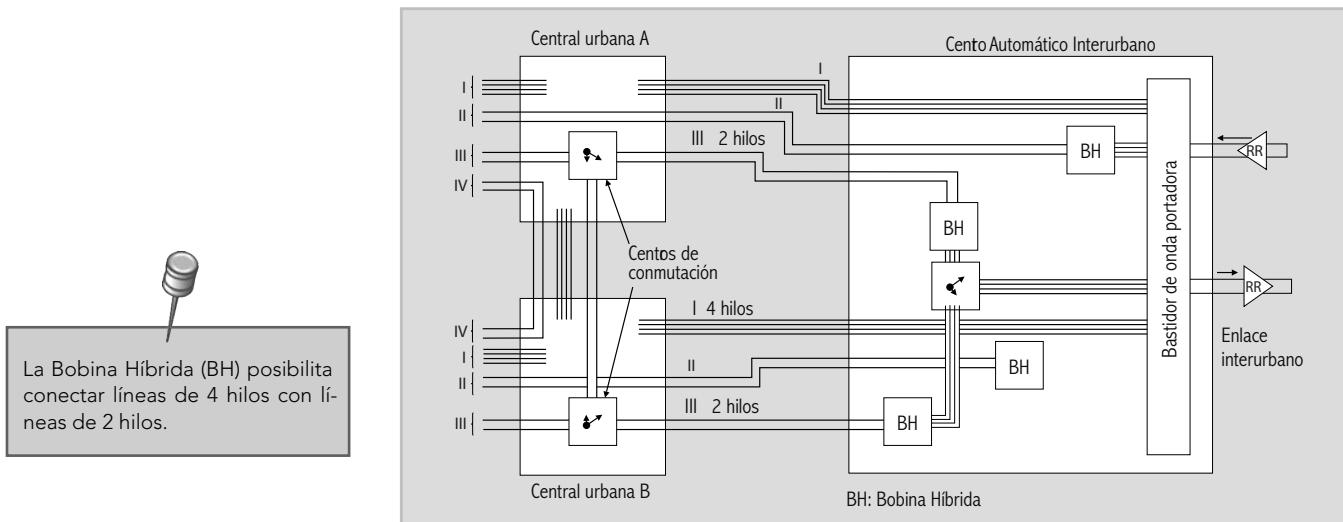


Fig. 4.44. Esquema con circuitos comutados y dedicados urbanos e interurbanos.

Luego, para poder instalar y operar un canal de comunicaciones, se requiere que este pueda realizar las tres fases fundamentales que son necesarias para su explotación:

- **Establecimiento.**

Esta es la fase en que el equipo que inicia la comunicación hace saber cuál es el equipo con el que desea establecer el canal. La red debe proceder a buscar ese equipo en ella y poner en comunicación a ambos extremos.

Esta fase finaliza cuando ambos están comunicados o cuando el extremo llamado no acepta la comunicación.

- **Mantenimiento o transferencia de la información.**

Esta fase comienza cuando ambos equipos ya han establecido el enlace. Durante la misma, la red debe mantener operativo el canal hasta que alguno de los dos correspondientes decida finalizar la comunicación.

- **Liberación.**

Es la fase final de una sesión. Consiste en liberar todos los vínculos y medios de comunicaciones utilizados. Para ello la red debe dar todas las órdenes necesarias a tal efecto.

Para lograr posibilitar esos objetivos y otros vinculados a la gestión de la red, esta requerirá intercambiar instrucciones e información, tanto entre el equipo terminal y ella, como entre los distintos nodos de conmutación. De esa manera, el canal de comunicaciones podrá cumplir con el cometido para el cual será establecido.

Las instrucciones de señalización no están relacionadas con la información que se ha de intercambiar entre los equipos terminales, sino que resultan necesarias para que el canal funcione adecuadamente. Precisamente, son las que permiten, mediante estas tareas imprescindibles, que la comunicación sea factible.

4.11.2 Definición

La señalización de un canal de comunicaciones se puede definir así:

Es el intercambio de información relacionada con el establecimiento, mantenimiento, liberación y control de las conexiones y con la gestión de una red de comunicaciones (definición tomada de la Recomendación G.702 de la UIT-T).

Este intercambio se realiza a través de información codificada, que se transmite a través del medio de comunicaciones. Para lograr una correcta comunicación entre los correspondientes de la red, se debe procesar las instrucciones y la información necesaria.

En el caso particular de la red telefónica, la señalización está orientada, también, a facilitar y orientar al usuario final respecto de las actividades que debe ejecutar personalmente para establecer, mantener y, finalmente, liberar la comunicación.

En las redes digitales la señalización permite, además, cubrir una amplia gama de servicios de gestión de la red, que están directamente vinculados con la inteligencia que estas redes modernas poseen actualmente.

El funcionamiento de los nodos de red permite, mediante los procedimientos denominados por programa almacenado, intercambiar información digital de señalización, procesarla y actuar en consecuencia.



En telefonía, se habla de centrales que trabajan mediante el procedimiento por programa almacenado. En informática, diríamos que se trata de un computador de propósitos especiales (en este caso, la conmutación de líneas, entre otras funciones)..

4.11.3 Funciones que cumple la señalización

Las funciones más importantes que cumplen los sistemas de señalización son:

- Establecer y liberar el canal de comunicaciones.
- Proporcionar información acerca del usuario final o destinatario de la llamada.
- Informar sobre el progreso de una llamada.
- Generar señales de alerta, tales como avisos de llamada en espera o de tener descolgado el microteléfono.
- Proporcionar información sobre la condición de una línea de abonado o de un circuito troncal.
- Envío de señales de congestión y ocupado.
- Asegurar la confiabilidad de las comunicaciones.
- Permitir la ejecución de funciones administrativas y de mantenimiento.

4.11.4 Características de las señales transmitidas

La señalización en una red telefónica puede realizarse empleando señales analógicas o digitales. Cuando se emplean señales analógicas, ellas son enviadas mediante la transmisión continua de estados de la señal útil. En estos casos, interesa preservar la forma de la onda durante la transmisión, a fin de obtener una réplica, lo más fiel posible, de la señal de entrada en el receptor.

Se vale de alguno de los siguientes procedimientos para cumplir sus funciones:

- Duración de los pulsos (en los sistemas de marcación por pulso).
- Combinación de diferentes tipos de pulso.
- Frecuencia de la señal.
- Presencia o ausencia de la señal (corriente o no corriente).

Cuando se emplean señales digitales, la transmisión se efectúa mediante cambios de estados discretos de la señal útil.

Aquí, la forma de la onda en sí misma no desempeña un papel primordial, ya que la transición o impulso implica una forma de onda que podrá ser construida a partir de la señal recibida. Se utilizan estados significativos de corriente que, debidamente detectados, son interpretados por el receptor o los distintos elementos de hardware que intervienen en el establecimiento de un canal de comunicaciones.

En la mayoría de los casos, la información transmitida en forma digital permite ser procesada e interpretada por los distintos equipos que están presentes en una red, y son parte del canal de comunicaciones real o virtual, que se quiere establecer, mantener y, finalmente, liberar.

4.11.5 Funcionamiento de los sistemas de señalización en la red telefónica

4.11.5.1 Generalidades

A los efectos de analizar el funcionamiento de los sistemas de señalización, es necesario tener presente que se deben separar dos tramos que requieren un tratamiento diferenciado. Uno es el que corresponde al trayecto correspondiente al par de abonado o de la última milla; es decir, el que enlaza al teléfono del usuario con la central a la que está conectado. Otro es el que comprende a las centrales que intervendrán en el establecimiento del canal de comunicaciones entre ambos extremos. En este caso pueden suceder varias situaciones.

La más simple de ellas es que ambos usuarios estén conectados a la misma central; otro caso es aquel en que intervienen solo dos centrales: Una conectada con el origen de la llamada y otra con el usuario destino de la misma. Finalmente, se puede señalar un tercer caso, que sería cuando la llamada debe pasar por un número mayor de centrales hasta llegar a la central de destino.

4.11.5.2 Señalización en el par telefónico entre el teléfono y la central

Este procedimiento es el que se realiza para permitir a un usuario establecer una comunicación con conmutación con otro usuario de la red. El usuario que inicia la llamada es denominado llamante y el que recibirá la llamada es denominado llamado.

Esta parte de la señalización persigue el objeto de que el usuario llamante, mediante el intercambio de señales con el conmutador al que tributa, le haga saber primero su necesidad de comunicarse y luego con quién desea hacerlo.

La Fig. 4.45. muestra la secuencia del procedimiento. El primer paso consiste en descolgar el microteléfono del equipo telefónico. Esa primera señal le indica a la central que el usuario A desea iniciar una comunicación. Para permitirle iniciar el procedimiento de llamada, la misma le debe asignar a A una unidad de tono. Aquí cabe una primera observación. Las centrales públicas tienen una determinada cantidad de unidades de tono disponibles. Solo las centrales *no blocking* tienen disponible una unidad de tono por usuario. En el caso de la red telefónica pública, sus centrales no tienen esa capacidad.

Se puede dar el caso de que estén todas en uso y, por lo tanto, A no recibirá el tono de discar. Sin él, el procedimiento no puede empezar a realizarse; de esta manera, el usuario llamante solo tiene dos posibilidades: Esperar que la central le asigne tono o cortar y esperar un tiempo prudencial para reiniciar la llamada.

Si la central está con unidades de tono libres, el usuario A recibirá tono de discar. Esa señal auditiva le indica, en forma implícita, que puede comenzar a discar el número del usuario B con el que se desea comunicar. La central que recibe el número del usuario de destino y la red telefónica son las que realizan el procedimiento de encaminar la llamada hacia su destino, es decir el usuario B.



Falta de tono de marcar: esta situación se suele producir con motivo de fiestas importantes, como podrían ser las de fin de año (donde mucha gente, a una misma hora, desea comunicarse con familiares) o cuando sucede algún hecho anormal (como podría ser alguna catástrofe).

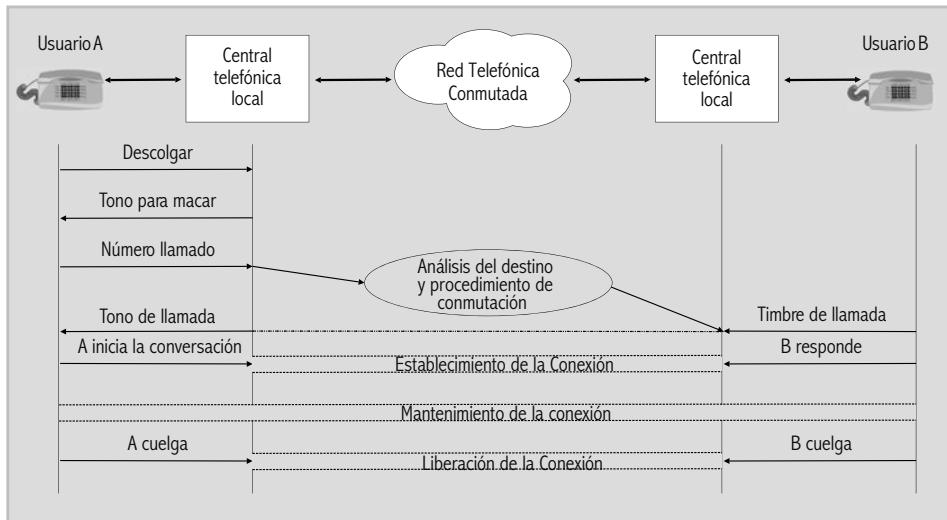


Fig. 4.45. Procedimiento de señalización usuario-comutador.

4.11.5.3 Señalización en los enlaces troncales entre centrales

La principal tarea que realiza una central telefónica es establecer un canal físico entre dos usuarios de la red, sobre la base de las instrucciones que el llamante hace a través del marcado en su equipo telefónico.

Como resultado del proceso de señalización, quedará establecido el canal de voz que conectará a ambos usuarios con un ancho de banda constante y que se mantendrá todo el tiempo que dure la comunicación. Este principio se denomina conmutación de circuitos y es una tecnología diferente de la llamada conmutación de paquetes, que se utiliza en las redes de datos e, incluso, en las más modernas redes de telefonía.

La señalización en las redes telefónicas por conmutación de circuitos puede transmitirse de dos formas diferentes: Asociada al canal que transporta la información o por un canal específico diferente.

- **Sistemas de señalización por canal asociado (Channel Associated Signaling, CAS).**

Este tipo de señalización utiliza el mismo canal de comunicaciones por el que viaja la información que ha de ser intercambiada entre los correspondientes. Presenta una serie de limitaciones yes, tecnológicamente, más antiguo. Se utiliza, básicamente, en las redes analógicas y puede ser de dos tipos:

- Sistema dentro de banda.

Las señales se transmiten por el mismo canal o circuito de transmisión que la comunicación de los usuarios, y en la misma banda de frecuencias prevista para ellos. En este caso, las señales se transmiten en corriente continua. Por lo tanto, este tipo de sistemas no puede emplearse en la red telefónica para enviar indicaciones de señalamiento, una vez establecida la comunicación, pues las mismas serían oídas por los usuarios finales.

- Sistema fuera de banda.

Las señales se transmiten por el mismo canal o circuito de transmisión que la comunicación de los usuarios, pero utilizando una banda de frecuencias distinta



Teléfono Openstage-Siemens 10
(Gentileza de Siemens Enterprise Communications S.A.)

de la prevista para estos. Normalmente, los canales telefónicos trabajan en el intervalo que va de los 300 a los 3 400 Hz. En estos casos, la señalización se envía a frecuencias superiores a 3 800 Hz, que no serán oídas por los usuarios. Se utilizan tonos de frecuencia o se transmiten mediante señales digitales dentro de la ranura de tiempo 16, en una trama de un Grupo Básico de los sistemas que van Multiplexados por División de Tiempo-TDM.

Estos dos sistemas presentan muchas limitaciones y poco a poco han sido reemplazados por los sistemas de señalización por canal común. Entre las restricciones más importantes, se pueden señalar las siguientes:

- Poseen una muy reducida capacidad de información.
- Las señales se transmiten a baja velocidad.
- Tienen costos elevados, debido a la forma del equipamiento que utilizan.
- Están muy orientados a conducir, con exclusividad, información relativa al establecimiento y liberación de las llamadas.

La Fig. 4.46. muestra un ejemplo de señalización por canal asociado. Cuando se usa la técnica por canal asociado, las señales viajarán siempre por el mismo canal que lo hace la voz (aunque pudiera transmitirse dentro o fuera de banda que la transporta); por el contrario, cuando se usa la de canal común, ellas se transportarán siempre por un canal diferente.

El procedimiento por canal asociado se inicia a través de la Unidad de Control de la Central, que recibe la señalización del usuario a través de la marcación que este realiza por medio de dígitos (que hace llegar a la misma por medio de la red de acceso a la central).

La Unidad de Control procederá luego a realizar las acciones necesarias para que el enlace pueda establecerse de acuerdo con la programación ya existente en ella, que le indicará cuál es la ruta de salida de dicho pedido.

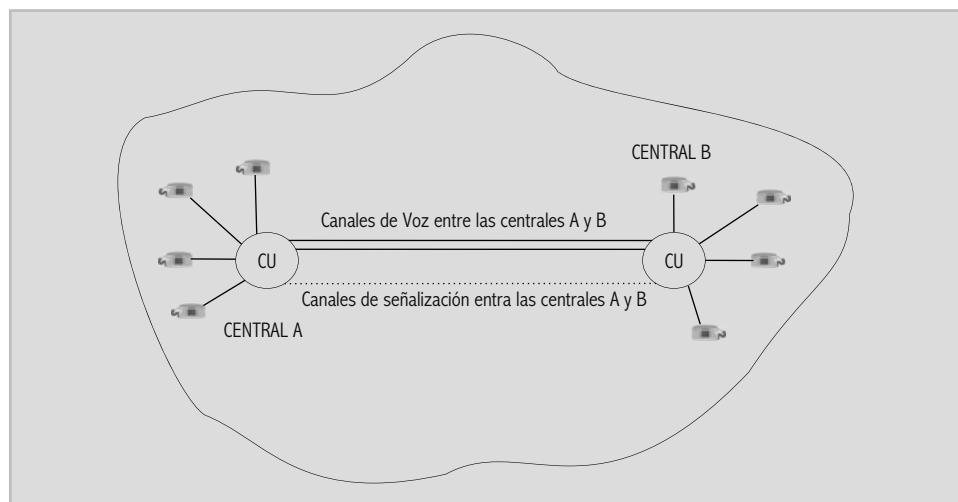


Fig. 4.46. Señalización por canal asociado.

El requerimiento del terminal A que inicia la comunicación puede dar lugar a varias situaciones diferentes. La más simple será que el terminal B sea otro equipo conectado a la misma central. En ese caso, la comunicación se conmutará en ella sin salir a la red de transporte. Sin

embargo, el caso más general ocurrirá cuando la central deba utilizar dicha red y la llamada deba pasar a través de varias centrales antes de alcanzar su destino final.

Analicemos el caso de dos centrales que deban intercambiar señalización a través de la red de transporte.

El primer paso consiste en que la central llamante verifique la existencia de canales disponibles entre ambas centrales: Uno para permitir la comunicación y otro para enviar la señalización. Una vez cumplido este paso, la central que origina la llamada envía la información correspondiente a la dirección con la cual se desea establecer el enlace. Si la comunicación está en posibilidades de establecerse, la central llamada final genera un timbre de llamada hacia el abonado B. A su vez, si este se encuentra disponible, atiende levantando el micrófono. Esto provocará que la central llamada envíe una señal B contesta, que activa el canal de audiofrecuencia y permite que comience el intercambio de información.

Si fuera necesario que intervengan otras centrales intermedias (de tránsito), el procedimiento sería similar en cada caso, menos la generación del tono de llamada que solo lo envía la última central, es decir, aquella a la que está conectado el terminal B. Si B estuviera ocupado, su central devolvería una señal para que a A le llegue el timbre de ocupado.

Cuando uno de los usuarios, tanto B como A, proceden a dar por terminado el intercambio de información, la central a la que está conectado el que cuelga primero actúa enviando una señal de liberación del canal hacia la otra central telefónica; así, ambos canales, el de voz y el de señalización, quedan liberados.

Por ejemplo, si fuera B el que procede primero a colgar su micrófono, se generará una señal inversa que va de B hacia A. Esa acción genera una señal que comienza a liberar los canales que estaban afectados a dicho enlace en ese sentido. En forma idéntica, si fuera el terminal A el que finaliza primero la comunicación, la señal de liberación iría de A hacia B.

La Fig. 4.47. muestra como operaría la misma en esa situación en el caso simple descripto.



El canal que se utiliza para la señalización no necesariamente es idéntico al empleado para la conversación, en cuanto al ancho de banda utilizado. Normalmente, se usa la ranura 16 de un grupo básico de multiplexación TDM (ver Capítulo 5).

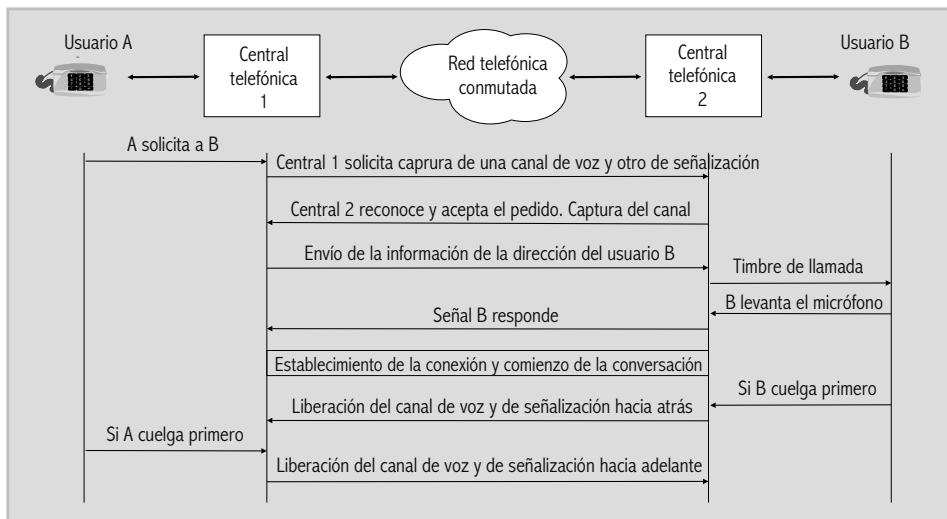


Fig. 4.47. Procedimientos de señalización comutador-comutador.

Cabe aclarar que la señalización es mucho más compleja que lo que se explicó hasta aquí, y se transportan otro tipo de señales que hacen a aspectos más complejos de la red telefónica.

Una función muy importante es la de supervisión. Esta tiene por finalidad controlar el estado y la condición de todos los elementos de la red, tales como líneas ocupadas o abonados descolgados, circuitos utilizados o liberados, etc.

Otras funciones se refieren a la explotación del servicio. Estas son las que se ocupan de la gestión, el mantenimiento de la red o la tasación de las llamadas para su posterior facturación.

Este sistema, si bien aún está en funcionamiento en muchas redes, está siendo reemplazado, actualmente, por el sistema de señalización por canal común, debido a las múltiples ventajas que este posee en relación con el otro.

4.11.6 Sistema de señalización por canal común

4.11.6.1 Características generales

El Sistema de señalización por canal común (conocido como *Common Channel Signaling-CCS*) es conocido como CCS7 ó ITU-T 7. Este, si bien también es utilizado para posibilitar la señalización entre centrales, posee, además, otras funciones que permiten ejecutar una gran cantidad de facilidades adicionales. Opera con los mismos principios que los sistemas de transmisión de datos por commutación de paquetes. Utiliza un amplio conjunto de protocolos de comunicaciones, que responde al modelo OSI de siete capas de la ISO.

Inicialmente, la UIT-T normalizó el denominado Sistema de Señalización N° 6; sin embargo, este sistema ha sido reemplazado rápidamente por el denominado Sistema de Señalización por Canal Común N° 7. Utiliza para su funcionamiento un canal de comunicaciones exclusivo de datos, y deja libres los circuitos que transportan la información o la voz. Luego, para establecer y operar una comunicación, se utilizan dos canales diferentes: Uno para el envío de las señales de voz y otro para las de control. Con los canales de control, se establece una red de señalización independiente de la que transporta las señales de voz.

Por sus características se adaptan perfectamente al uso de los computadores que administran los centros de commutación de las redes. Son más eficientes y completos. Este sistema se ha convertido en el estándar de señalización de las denominadas Redes Digitales de Servicios Integrados, conocidas por el acrónimo ISDN (*Integrate Service Data Networks*) o por el de RDSI (su funcionamiento se desarrollará en el Capítulo 5) –el cual es utilizado en la casi totalidad del equipamiento de los nodos de las redes ya digitalizadas–. Permite, entre otras cosas, que la información de señalización de muchos canales –como la asociada con la gestión de la red– se transmita por un canal de comunicaciones mediante mensajes provistos de dirección. Por otra parte, posibilita la operación de la denominada IN (*Intelligent Network*, Red Inteligente) (ver apartado 4.12), como una red de prestaciones especiales a la red telefónica commutada clásica.

4.11.6.2 Características particulares

Este sistema posee muchas características interesantes, entre las que se pueden destacar las siguientes:

- La información que se ha de transmitir (sea de voz o de datos) y las funciones de commutación están totalmente separadas de la señalización. Esto permite que el diseño y la generación de nuevas funciones para la señalización puedan evolucionar en forma independiente de las primeras.
- Mayor rapidez en la transmisión.
- Posibilidad de manejar, con un único canal de señalización, varios canales de información en forma simultánea.
- Flexibilidad para introducir cambios o nuevas mejoras en el servicio.
- Normalización internacional.

- Diseño y funcionamiento según el modelo de capas de la ISO, con una relación directa entre este modelo y los protocolos del sistema de señalización.
- Correlación entre este sistema y el uso de la técnica denominada Modo de Transferencia Asincrónico-ATM, que usa una ligera variación de este tipo de señalización. También existen otras variantes que se utilizan en el sistema denominado Sistema Global de Comunicaciones Móviles—GSM.

El sistema de señalización por canal común requiere que las centrales que lo utilicen funcionen como verdaderos computadores y que usen los procedimientos de la unidad de control de la central por programa almacenado.

Para el transporte de la información hacen uso de un canal B de 64 000 bps, que está dedicado exclusivamente para la señalización y que, normalmente, se toma de uno de los grupos básicos que se utilizan para interconectar las dos centrales. Por lo tanto, los canales de voz van por los canales B restantes y el de señalización por otro independiente. El canal B que se utiliza para este servicio específico, según esta norma, proporciona señalización a un gran número de canales.

Al ser este sistema totalmente digital, y tener la capacidad de transportar una cantidad importante de información entre las centrales, permite prestar una mayor cantidad de servicios, que los ofrecen todos los otros tipos de señalizaciones anteriores.



4.11.6.3 Arquitectura de protocolos

Como ya se expresó, para su funcionamiento utiliza una arquitectura de red de características similares a la del modelo OSI. Por lo tanto, se puede hacer una relación entre los protocolos que el sistema maneja y las capas del modelo.

La Fig. 4.48. muestra el esquema simplificado de protocolos del Sistema de Señalización por Canal Común N° 7.

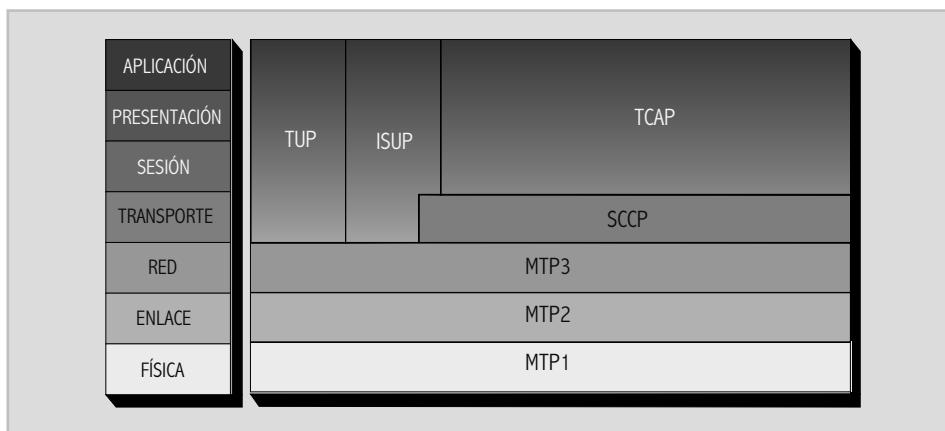


Fig. 4.48. Protocolos del sistema de señalización por canal común.

La información se transporta por medio de mensajes. Estos están contenidos dentro de paquetes de datos, que son transmitidos por la red como datos comunes. Los paquetes, como en cualquier sistema, deben contener la dirección de origen y la de destino para que puedan ser correctamente diligenciados por la red.

En los casos en que la red telefónica funcione con la tecnología ya señalada, denominada Red Digital de Servicios Integrados—RDSI, y los usuarios estén conectados en forma digital a la red por medio de dos canales B, la señalización llegará al usuario a través del denominado



La Recomendación Q.700 denota Parte a los protocolos de capa. Aquí se preferirá denominarlos directamente con su nombre, más adaptado al modelo OSI.

canal D de 16 000 bps. Es decir que el sistema, en ese caso también, brindará la señalización en la sección Usuario–Central Telefónica.

4.11.6.4 Tareas que realizan los protocolos del sistema

Los tres primeros niveles de sus protocolos están asociados a las funciones de red. Los mismos tienen las siguientes funciones y se denominan de la siguiente manera (según la Recomendación Q.700 – UIT-T, con salvedad de la llamada 71):

- MTP 1: Protocolo de Mensajes nivel 1. Define las características físicas, eléctricas y funcionales de un enlace de datos de señalización y los medios para acceder al mismo. Su función es proporcionar un soporte para un enlace de señalización.
- MTP 2: Protocolo de Mensajes nivel 2. Define las funciones y procedimientos para la transferencia de mensajes de señalización por un determinado enlace de datos de señalización, así como las funciones y procedimientos relacionados con dicha transferencia. Su función, junto con un enlace de datos de señalización del nivel 1, es actuar como soporte y constituir un enlace de señalización para una transferencia fiable de mensajes de señalización entre dos puntos.
- MTP 3: Protocolo de Mensajes nivel 3. Define las funciones de transferencia y los procedimientos que son comunes e independientes de la operación de los distintos enlaces de comunicación. Sus funciones están agrupadas en dos grupos:
 - Realiza el tratamiento de los mensajes de señalización, transfiriendo el mensaje al enlace de señalización, o protocolo de usuario a que corresponde.
 - Ejecuta la gestión de la red de señalización, controlando en cada instante el encaminamiento de los mensajes y la configuración de las facilidades de la red. Cuando se produce un caso de fallo de la red, controla las reconfiguraciones y realiza otras acciones para preservar, o restablecer, la capacidad normal de la transferencia de mensajes.

Los protocolos que trabajan en los niveles 4 a 7 son los siguientes:

- SCCP: Protocolo de Control de Conexión de Señalización (*Signaling Connection Control Part*). Proporciona funciones adicionales a la función de transferencia de mensajes, con objeto de prestar servicios de red con conexión y sin ella. Además, permite:
 - Controlar conexiones de señalización lógica en la red de señalización CCS7.
 - Transferir unidades de datos de señalización a través de la red de señalización CCS7.
 - Proporcionar funciones de encaminamiento a través de mensajes de señalización hacia un punto de señalización basado, por ejemplo, en los dígitos marcados.
 - Facilitar funciones de gestión.
- TUP: Protocolo de Usuario de Telefonía (*Telephone User Part*). Define las funciones de señalización de control de las llamadas de telefonía vocal.
- PU-RDSI: Protocolo de Usuario de RDSI (*ISUP-ISDN User Part*). Realiza las funciones de señalización que son requeridas para proporcionar servicios y facilidades de usuario con conmutación para aplicaciones vocales, y no vocales, en las Redes Digitales de Servicios Integrados–RDSI. Se utiliza, además, en redes telefónicas especializadas y de datos con conmutación de circuitos, así como en redes analógicas y mixtas analógicas/digitales.
- TCAP: Protocolo de Aplicación con Capacidades de Transacción (*TCAP–Transaction Capabilities Applications Part*). Realiza varias de las funciones de la capa de aplicación. Define los protocolos y los mensajes que deben usarse para comunicar las distintas aplicaciones que componen este procedimiento de señalización; entre ellas, el uso de la base de datos de información de la red y la conexión entre distintos conmutadores, incluyendo el reconocimiento del discado y el proceso de establecimiento de la comunicación. Para el transporte de los mensajes, se apoya en el protocolo SCCP.

- OMAP: Protocolo de Mensajes nivel 3 (*Operations, Maintenance, and Administration Part*) Está diseñado para facilitar la tarea de los administradores de la red de señalización CCS7. Tiene capacidad para ejecutar procedimientos para validar la red y diagnosticar problemas, a través de mensajes que usan tanto MTP como SCCP para el ruteo.

4.11.6.5 Red de señalización

El sistema de señalización por canal común utiliza una red de señalización, que tiene la topología y las características de determinado hardware y software asociado (que se muestran en la Fig. 4.49.). Esta red se utiliza también para operar a través del sistema de red inteligente.

La información y las distintas órdenes e indicaciones entre sus nodos se transmiten por medio de mensajes con distintos contenidos y, con la finalidad de cumplir funciones diferentes, son intercambiados entre los denominados puntos de señalización.

Cada uno de ellos está claramente identificado por un código numérico. Según la función que cumplen, la red tiene tres tipos de puntos de señalización diferentes. Ellos son:

- SSP-Punto del Servicio de Comutación (*Service Switching Point*).
- STP-Punto de Transferencia de la Señal (*Signal Transfers Point*).
- SCP-Punto de Control del Servicio (*Service Control Point*).

Los códigos de los puntos son enviados en mensajes de señalización, intercambiados entre los distintos puntos de la red para identificar la fuente y el destino de cada mensaje. Cada punto de señalización utiliza una tabla de ruteo para elegir el camino apropiado por la red, de acuerdo con el tipo de mensaje que se envía de un punto a otro.

El SSP es el punto que está ubicado sobre un conmutador de la red; origina, termina o transfiere, entre varias centrales de tránsito, una comunicación. Este punto manda mensajes a otros SSP para instalar, administrar y liberar los circuitos vocales. Trabaja enviándole consultas a la base de datos central a través de un SCP, para determinar cómo establecer el camino de una conversación mediante los circuitos de señalización.

Utilizan el discado de los equipos telefónicos. Estos les envían la información necesaria para conocer el destino al cual requieren su conexión. En base al mismo, acceden a las tablas de ruteo y así determinan cuál será la central de destino final hacia donde deberá ser encaminada la llamada.

El STP es un conmutador de paquetes, que utiliza la red de señalización para encaminar el tráfico entre los puntos de señalización. La información del ruteo se encuentra en el mensaje. Puede ser utilizado para uso nacional o para el tráfico internacional. En este último caso, puede efectuar una conversión de protocolos de ruteo entre diferentes normalizaciones; por ejemplo, entre las normas ANSI SS7 con las de la UIT-T SS7.

Se utiliza, además, para funciones de almacenamiento de información de tráfico, mantenimiento, control, estadísticas de funcionamiento y soporte a la tarificación de la red.

Los SCP actúan como una interfaz entre la red de señalización y el registro de datos contenido en la base de datos de lared. En algunos casos intervienen para facilitar e indicar soluciones alternativas cuando el camino principal está congestionado, el número elegido de destino está ocupado o no es posible por otras causas contactarse con él.

La base de datos en una red no necesariamente será una sola. Podrá haber más de una y, en ese caso, todas deberán tener un circuito de la red de señalización que las conecte. Las más comunes pueden ser las siguientes:

- Servicios de negocios, (*Business Services Database*, BSDB).
- Administración del servicio de llamadas *Call Management Services Database*, CMSDB..

- Información de líneas (*Line Information Database*, LIBD).
- Registro de ubicación de usuarios (*Home Location Register*, HLR).
- Registro de ubicación de visitantes (*Visitor Location Register*, VLR).

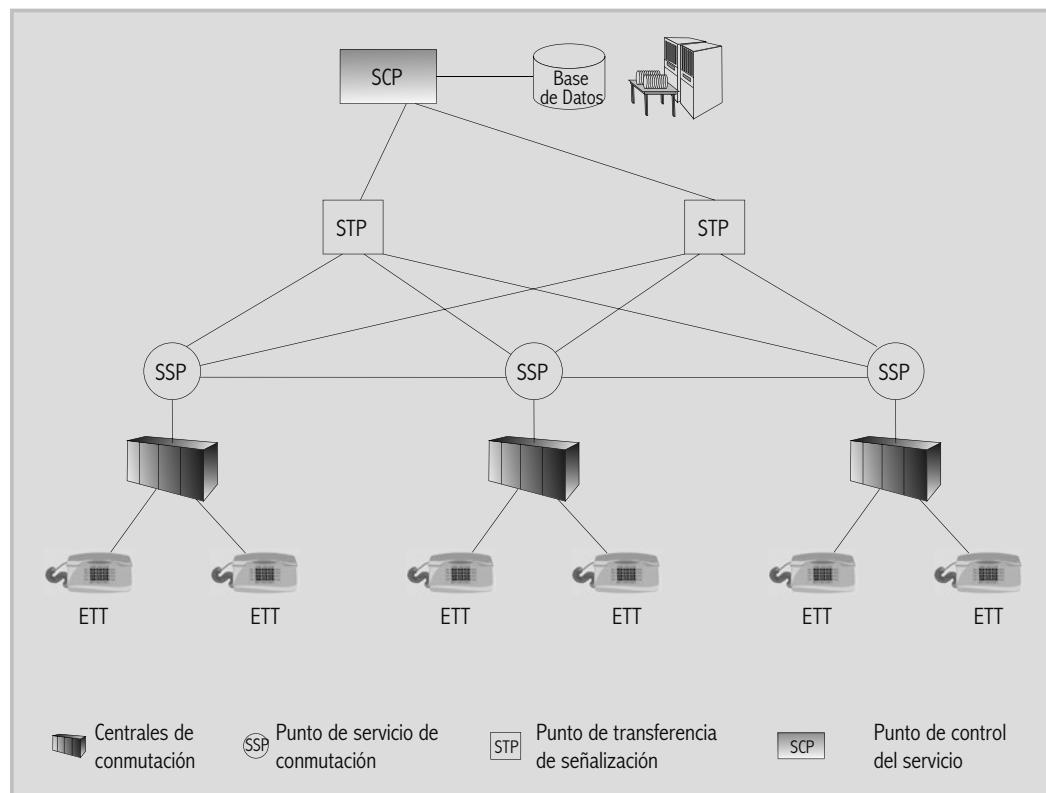


Fig. 4.49. Esquema típico de una red de señalización CCS7.

4.12 Red Inteligente

4.12.1 Conceptos generales

El concepto de Red Inteligente-RI (*Intelligent Network-IN*) es utilizado para describir un tipo especial de arquitecturas de comunicaciones, que se aplica sobre las mismas redes de telecomunicaciones clásicas, con el objeto de que estas puedan ofrecer nuevos servicios con gran flexibilidad y capacidades especiales.

Las actuales tendencias de la tecnología permiten, cada día, un mayor grado de independencia y libertad en la asignación de inteligencia en las redes de telecomunicaciones.

La movilidad derivada de la miniaturización de los componentes electrónicos, el uso de procesadores inteligentes en las redes digitales de transmisión de datos (rápidas y seguras) y los sistemas informáticos embebidos en el hardware de comunicaciones (que operan mediante programas especiales de software de comunicaciones) facilitan un mayor grado de funcionalidad distribuida.

Además, otros factores –como por ejemplo, el procesamiento de datos distribuido, la gestión remota de bases de datos, el uso de sistemas expertos, los avances que se han logrado en

los sistemas de transmisión y de conmutación digitales y la introducción del Sistema de Señalización por Canal Común N° 7– han permitido que las redes que poseen esas características puedan ofrecer servicios especiales, que las tradicionales no podían brindar.

Estas condiciones permiten a los proveedores de servicios mejorar la calidad, reducir el coste de operaciones y de la gestión de los servicios de red y, además, ofrecer nuevas y modernas prestaciones con gran valor agregado, que mejoren la rentabilidad de sus operaciones.

4.12.2 Definición, objetivo y alcance

4.12.2.1 Definición

Las Recomendaciones de la UIT-T I.312 y Q.1201, definen de una manera muy completa el concepto de red inteligente. A partir de ellas podríamos decir entonces que:

La Red inteligente es un concepto vinculado a la arquitectura de las redes de telecomunicaciones y a la explotación y prestación de nuevos servicios.

Ella se caracteriza por una amplia utilización de técnicas de procesamiento de información: Una utilización eficaz de recursos; el uso de sistemas modulares y reutilizables de las funciones de red; la creación y prestación de servicios integrados; la asignación flexible de funciones; su portabilidad; la comunicación normalizada por medio de interfaces independientes del servicio; el control por parte de los usuarios de algunos atributos de servicio específicos; la gestión normalizada de la lógica de servicio, entre otras.

4.12.2.2 Objetivo

La red inteligente tiene como objetivo permitir la inclusión de más capacidades para facilitar la prestación de servicios, con independencia de la ejecución de los servicios de red, en un entorno en que pueden existir múltiples suministradores en una zona geográfica determinada.

Esta libertad, que facilita la tecnología de las redes inteligentes respecto de la operación o no de determinados servicios, permite a los operadores definir cuáles están dispuestos a prestar. Ellos, por lo tanto, pueden asignar funcionalidades y recursos dentro de cada una de sus redes y gestionarlos con independencia de las capacidades que pueda suministrar el equipamiento disponible en la red.

4.12.2.3 Alcance

El concepto de red inteligente es aplicable a una gran variedad de redes de distintos tipos. Entre ellas se puede mencionar las siguientes:

- Red telefónica pública conmutada (RTPC).
- Red móvil (RM).
- Red pública de datos con conmutación de paquetes (RPDCP).
- Red digital de servicios integrados (RDSI) (ya sea de Banda Estrecha-RDSI-BE o de Banda Ancha-RDSI-BA).

La red inteligente, tal como está diseñada, puede soportar una gran variedad de servicios, incluso los servicios suplementarios, los servicios portadores existentes y los definidos en los contextos de la Red Digital de Servicios Integrados, tanto de banda angosta como de banda ancha.

4.12.3 Funcionamiento

4.12.3.1 Conceptos generales

En las redes de telecomunicaciones tradicionales, en especial en la telefónica, los usuarios estaban siempre asociados a conexiones físicas, que generalmente estaban identificadas por un par telefónico y con una central de la que son tributarios (a través de números que los identificaban de forma única con estos elementos).

Esta forma de conectarse a la red no posee inteligencia alguna. Un usuario A se identifica por un número y por una conexión física a una central única. Cuando un usuario B realiza, por ejemplo, el procedimiento de conexión hacia A, siempre se conecta sobre la central donde A tiene la ubicación física residente de su número que lo identifica en la red.

Las redes inteligentes se diferencian, precisamente, en este último aspecto de una manera sustancial. Un usuario está identificado siempre por un número, pero ese número no necesariamente está asociado a una conexión física que lo une a su ubicación geográfica habitual o a una central única.

En una red telefónica con atributos de red inteligente, un ejemplo típico podría ser el siguiente: Un usuario B realiza el procedimiento para obtener una conexión con A; la red lo busca y, una vez ubicado, lo conecta (si tiene contratado el servicio agregado correspondiente) (cuálquiera sea el lugar en el que este se encuentre en el momento en que es llamado). Para ello, se utiliza un servicio de valor agregado que se denomina, en este caso, desvío de llamada (este servicio y otros serán descriptos más adelante). Obsérvese que A puede estar en un lugar geográfico distante del lugar común al que la red lo conecta habitualmente (por ejemplo, en su oficina, cuando el llamado fue efectuado al número que normalmente usa en su residencia).

Por otra parte, en ese caso estará utilizando un par telefónico que no está relacionado con su número ni con la central telefónica habitual. Incluso, podría suceder que el desvío lo haya programado hacia un teléfono de la red móvil, con lo que estaría utilizando ambas redes para completar la comunicación.

4.12.3.2 Estructura de funcionamiento

La red inteligente utiliza para su funcionamiento protocolos del Sistema de Señalización por Canal Común N° 7 y su red asociada.

Una característica importante de este concepto de red es que su arquitectura es totalmente independiente de los servicios que puede ofrecer.

Analicemos su funcionamiento. Los usuarios efectúan requerimientos para obtener los distintos servicios disponibles, utilizando su conexión a la central telefónica a la que están conectados. Estos, una vez atendidos por ella, son canalizados a través de los denominados Puntos del Servicio de Comunicación. Estos puntos proceden a solicitar los servicios que proporciona la red inteligente. Cada una de las solicitudes se transmite hacia los puntos en que serán procesadas, utilizando la red de señalización. Esta red los transmite a través de mensajes, mediante la técnica de conmutación de paquetes.

Los mensajes con los requerimientos circularán a través de los distintos Puntos de Transferencia de la Señal de la red de señalización hasta llegar al Punto de Control del Servicio. Este último punto es el que facilita el acceso a la información contenida en las bases de datos y al Centro de Administración de Servicios de Red-CASR (*Service Management Center-SMC*).

Los Puntos de Control del Servicio poseen herramientas de hardware y software que permiten administrar los servicios que presta la red.

El Centro de Administración de Servicios de Red está capacitado para introducir nuevos servicios y actualizar los que ya soporta. La Fig. 4.50. muestra un esquema reducido de la arquitectura que utiliza la red inteligente, conjuntamente con el SSC7 y la ubicación del Centro de Administración.

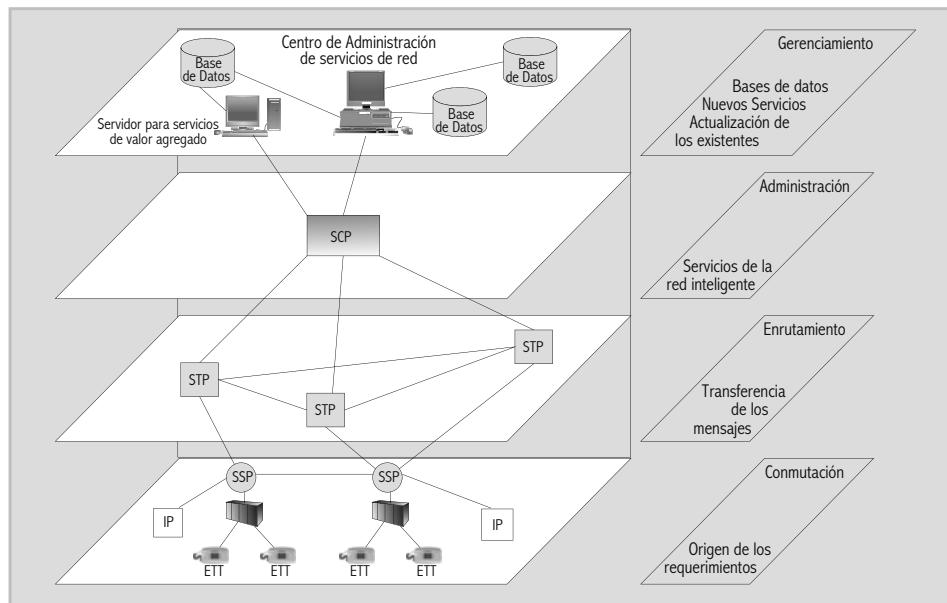


Fig. 4.50. Estructura de la red inteligente y el SSC7.

Para ello requerirá el auxilio de las bases de datos que el sistema posee. El procesamiento requiere información específica que está residente en una, o en varias, de las bases de datos de la red. Estas bases de datos pueden estar físicamente centralizadas o no, pero, a los efectos del acceso a su información, este aspecto no tiene relevancia desde el punto de vista informático.

La red posee elementos adicionales que permiten efectuar, en casos especiales, notificaciones de voz. Estos reciben el nombre de Periféricos Inteligentes-PI (*Intelligent Peripheral-IP*) y se conectan a la red a través de Puntos de Comunicación del Servicio.

Ejemplos de este tipo de notificaciones son, entre otras, la inexistencia de un número de abonado, teléfonos móviles apagados o fuera del radio de cobertura de la red, imposibilidad momentánea de establecer una comunicación, etc.

La red en su conjunto siempre reserva un determinado grupo de números para sus servicios exclusivos. Ejemplos de ellos son los números de las series 600, 800, 900 y otras. La correlación de un tipo de servicio con una de estas series, depende en cada país del Plan de Numeración de la Red Telefónica Nacional y es establecida por la autoridad regulatoria de comunicaciones.

4.12.4 Servicios

4.12.4.1 Conceptos generales

Desde la época de su creación, la red telefónica comunitada pública siempre ofreció un conjunto de servicios que podríamos denominar clásicos. Estos son:

- La hora oficial.
- La guía telefónica.
- Reparaciones.
- Etc.

Es por ello, que muchos de los servicios que se brindan a través de la red inteligente, en muchas oportunidades, reciben el nombre de hiperservicios.

Los servicios que se prestan en la red son identificados y agrupados sobre la base de distintos criterios, como por ejemplo la numeración que identifica cada servicio o las categorías, según a quién están orientadas sus aplicaciones.

4.12.4.2 Clases y tipos de servicios

Los servicios que se ofrecen en la estructura de la red Inteligente pueden ser clasificados en los siguientes tipos, según las características hacia las que están orientadas:

- Portabilidad del número local (*Local number portability*-LNP).
Consiste en la facilidad que tiene un usuario de poder mantener su asignación numérica con independencia del lugar geográfico en que el abonado se localice o del proveedor que elija. En muchos casos, esta facilidad no se ofrece por distintas razones. Entre ellas se pueden mencionar:
 - La autoridad regulatoria no la autoriza o no la tiene reglamentada.
 - Falta de cobertura del servicio con red inteligente en algunas zonas.
 - Problemas tarifarios.
 - Se facilita en redes móviles pero no en fijas.
- Tarificación.
Se refiere a servicios que implican formas de facturación especiales, que normalmente tienen por objeto facilitar el uso de la red. Ellos son:
 - Cobro revertido.
 - Cobro compartido entre llamante y llamado.
 - Uso de tarjetas prepagas o de crédito.
- Servicios comerciales especiales.
Son servicios orientados a organizaciones o empresas, con el objeto de facilitar la operación de las mismas o agilizar los negocios. Ellos son:
 - Números de acceso con tarifas especiales.
 - Grupos cerrados de usuarios.
 - Redes privadas virtuales.
 - Servicio Centrex.
 - Plan de numeración privado.
 - Acceso especial a redes de datos con tarifas preferenciales (Internet).
- Movilidad del usuario.
Son aquellos servicios orientados al usuario, que buscan otorgar una gran flexibilidad en el uso del servicio. Ellos son:
 - Marcación abreviada.
 - Desvío de llamada.
 - Llamada en conferencia.

- Transferencia de llamadas.
- Llamada en espera.

- Servicios comunitarios

Son servicios orientados a prestar diversas utilidades a la comunidad. Ellos son:

- Televoto.
- Policía y Bomberos.
- Teleencuestas.
- Servicios comunitarios varios.

- Audiotexto.

Son servicios en los que el prestador proporciona una facilidad para que el contratante pueda dejar un mensaje o un anuncio, y que por medio del mismo los usuarios puedan realizar acciones electivas mediante marcación telefónica o a través de un servicio de reconocimiento de la voz. Ellos son:

- Llamadas masivas.
- Recepción de donaciones.

- Seguridad.

Son servicios orientados a ofrecer la realización de un control de las llamadas recibidas o emitidas. Ellos son:

- Identificación de llamada entrante.
- Bloqueo de números entrantes.

4.13 Redes privadas virtuales

4.13.1 Concepto y definición

Las organizaciones privadas o públicas que tienen cierta importancia requieren comunicaciones internas ágiles, eficientes, seguras y que mantengan cierto grado de privacidad. Para ello, como ya se expresó en el apartado 4.1.2 de esta obra, se organizan redes de empresas y, en algunos casos, redes multiorganizativas.

Estas se pueden establecer con medios de comunicaciones propios, tanto de hardware como de software, e incluso, en algunos casos, utilizando vínculos construidos por las mismas organizaciones. Esta solución es muy costosa, tanto por sus costos iniciales de instalación como por los de mantenimiento.

La presencia de las redes inteligentes facilita organizar, mantener y operar estas redes, utilizando los medios que los prestadores del servicio ya tienen instalado para el servicio público. Esta solución mixta trae beneficios para ambas partes. Para ello, se instalan Redes Privadas Virtuales para tráfico de voz y de datos simultáneamente.

Definiremos como Red Privada Virtual a:

Aquellas redes que proveen un servicio similar al que brindan las redes privadas. Están organizadas utilizando los recursos físicos y lógicos de un operador público. Este, a tal fin, emplea sus recursos y el auxilio de su red inteligente para configurarla como una red dedicada.

En algunos casos el hardware de la red es mixto, es decir, en parte propio y en parte facilitado por el operador.



No debemos confundir las redes privadas virtuales para la transmisión de voz con las redes privadas virtuales (VLAN) utilizadas en las redes de datos. Estas últimas se implementan a partir de la partición lógica de las puertas de los switches.

4.13.2 Características principales

4.13.2.1 Físicas

La red se organiza sobre la base de la provisión de líneas totalmente dedicadas que el operador facilita a la organización. Estos enlaces se conectan a las Centrales Telefónicas Privadas (*Private Automatic Branch Exchange-PABX*), propias de la organización, e instaladas en su lugar físico de operación. Los enlaces provistos por el operador pueden ser vínculos de baja, media o alta capacidad.

En lugares donde las operaciones son pequeñas, se puede proveer de líneas dedicadas, pero, en los puntos geográficos, se instalan centrales privadas de capacidad variable, en función al tamaño de la instalación.

4.13.2.2 Lógicas

Este tipo de redes pueden tener alguna de las siguientes características:

- Numeración interna única y abreviada.
- Numeración de cada teléfono de la red interna, con identificación en la red pública con un número único de acceso desde ella.
- Interconexión lógica y física entre las distintas centrales privadas instaladas en la red.
- Tarifas diferenciales.
- Instalación de una Red Intranet de datos.
- Uso especial de equipos firewall de acceso a la red (que pueden ser operados por la empresa o por el propio operador de telecomunicaciones que organiza la red virtual).
- Acceso a la Red Internet.


Se entiende por Red Intranet a una red de datos privada, que utiliza la misma tecnología que la Red Internet.

La Fig. 4.51. muestra un ejemplo de una Red Privada Virtual de una organización que funciona en cuatro ciudades diferentes

En tres de las cuatro ciudades, la red tiene instaladas sus propias centrales automáticas privadas, y en la última tiene conexiones de líneas individuales independientes. Sin embargo, toda la red posee numeración única interna.

Se puede observar que los vínculos que facilitan la transmisión de la información los proporciona la red soporte, pero la inteligencia que permite que la red de la empresa funcione como una red totalmente privada los proporciona la capacidad que brinda la red inteligente.

4.14 Ingeniería de tráfico

4.14.1 Consideraciones generales

4.14.1.1 Definiciones

En toda red de telecomunicaciones, establecer las dimensiones más convenientes –tanto sea de la capacidad de un vínculo troncal, que unen dos nodos entre sí, como la que debe tener un nodo para aceptar las múltiples llamadas que generan los usuarios– plantea un problema que es resuelto por la Ingeniería de Tráfico.

Si un determinado número de usuarios tributarios de un nodo de conmutación quisiera establecer, en un momento dado, un conjunto de llamadas (que el nodo no puede atender simultáneamente), algunas de ellas se perderían y no podrían ser establecidas.

De la misma manera, si el nodo las aceptara (y cuando pretendiera encaminarlas por un determinado vínculo, este se encontrara saturado) ocurriría otro tanto.

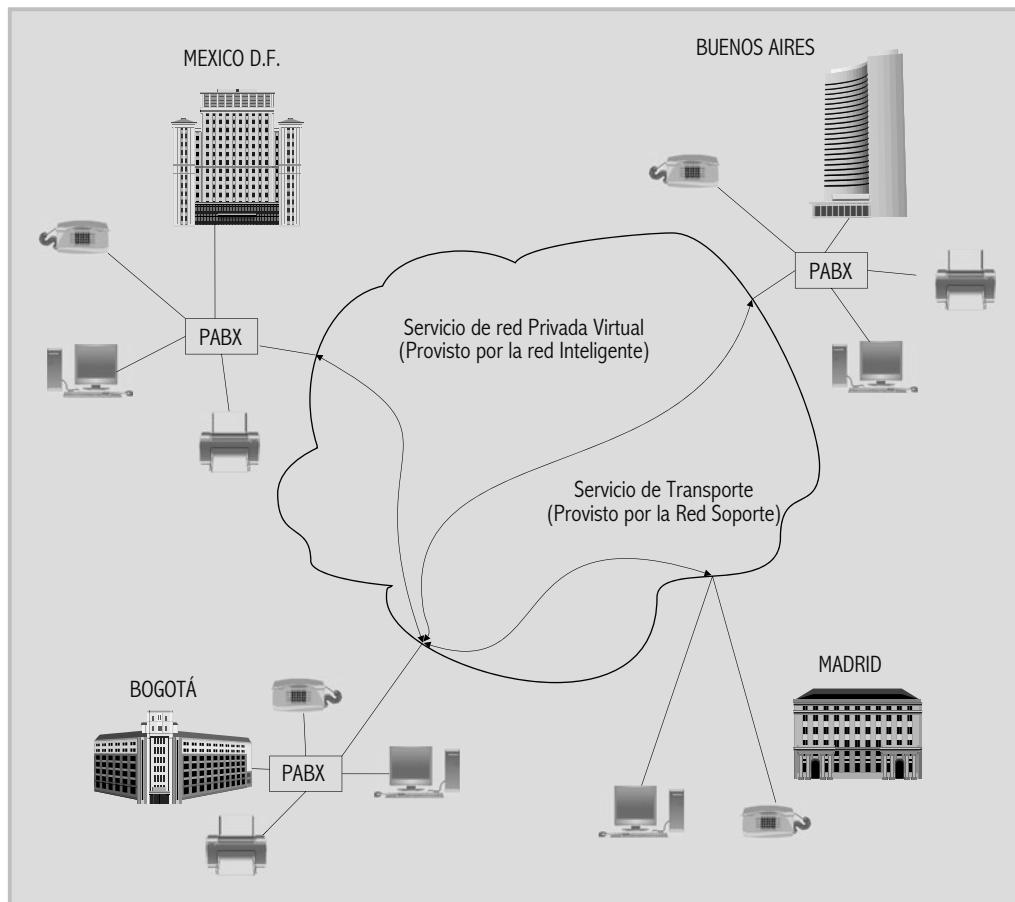


Fig. 4.51. Ejemplo de una red privada virtual.

Las llamadas se efectúan para transmitir o intercambiar mensajes a través de la red, entendiendo por tales, a:

La información que es intercambiada entre dos estaciones terminales, que actúan como fuente o sumidero (o simultáneamente en forma indistinta), mediante señales de voz, datos, textos o imágenes.

Los distintos mensajes son generados en los equipos terminales direccionados por los nodos, de comutación o de tránsito, y enviados de unos a otros, a través de los vínculos que conforman la red de telecomunicaciones.

Denominaremos tráfico en una red de telecomunicaciones a:

La carga de mensajes que es transportada por una red de telecomunicaciones.

La expresión tráfico puede, por lo tanto, estar relacionada con la carga de mensajes sobre un nodo, sobre un vínculo en particular o, directamente, expresar el volumen de carga de toda una red.

Si en un nodo, o sobre un enlace troncal, el tráfico solicitado por los usuarios fuera mucho mayor a la capacidad que estos poseen para diligenciarlos, una parte de ellos no podrán ser transmitidos; y si por el contrario, la capacidad fuera mucho mayor a la cantidad de mensajes para transmitir, habría un sobredimensionamiento de la red, o de algunas de sus partes, y, por lo tanto, capacidad ociosa.

Estas dos situaciones límite plantean graves problemas a las empresas de telecomunicaciones. En el primer caso, porque además de brindar un mal servicio, estarían perdiendo ingresos por llamadas perdidas; en el segundo, porque habrían hecho una inversión poco eficiente y, con relación a ella, los gastos de operación serían mayores a los necesarios, es decir, no estarían relacionados con el tráfico cursado a través de la red y, por lo tanto, con los ingresos que aquél genera.

Precisamente, la denominada ingeniería de tráfico es aquella especialidad que:

Mediante el auxilio de la teoría de colas, otras herramientas del cálculo matemático y oportunas mediciones de tráfico, permite determinar y planificar la capacidad que deben tener los distintos elementos que componen una red de telecomunicaciones, con el objeto de optimizar su funcionamiento.

Las técnicas de la ingeniería de tráfico se aplican a las centrales de conmutación, a las de tránsito o a los vínculos troncales establecidos entre dos nodos.

Complementariamente, se pueden definir dos conceptos relacionados con el tráfico:

- Tráfico Ofrecido.
- Tráfico Cursado.

El tráfico ofrecido está relacionado con la capacidad disponible, y el cursado, con la capacidad utilizada.

Una situación óptima sería cuando ambos valores resultan iguales; pero, como se verá, esta situación solo resultará una posibilidad teórica, que podría darse a determinadas horas del día, en el mejor de los casos.

Por lo tanto, y en forma complementaria, determinados los valores más convenientes de diseño para cada caso, se podrá establecer un determinado grado de calidad de servicio. Este valor estará vinculado con la eficiencia con que se comportarán en la práctica los elementos que componen una red de telecomunicaciones.

Como el comportamiento de la red en cada momento será un valor aleatorio, la calidad de servicio deberá ser determinada en términos de probabilidad de comportamiento de la red.

4.14.1.2 Ejecución de las tareas de ingeniería de tráfico

La ejecución de las tareas realizadas por los ingenieros, que están a cargo de los trabajos de dimensionamiento de centrales y enlaces troncales, ha ido cambiando con la tecnología.

En una primera época, las mismas dependían mucho del conocimiento que cada uno tenía del funcionamiento de la red y, a la vez, de una tarea casi artesanal.

Actualmente, se ha pasado a una era donde las decisiones son el resultado de mediciones que los propios programas de software (que manejan las distintas partes de la red) ejecutan, mediante una pre programación planificada. De las conclusiones, que el mismo software obtiene de las lecturas automáticas realizadas, surgen las decisiones más recomendables para ser tomadas.

Es normal actualmente, que un usuario de la red telefónica reciba, sin haberlo solicitarlo, un aviso de su proveedor de servicios telefónicos, indicándole que su empresa ha perdido, entre determinados intervalos horarios, un número preciso de llamadas. Como consecuencia de esto, le hará llegar una sugerencia para que contrate más líneas, haciéndole ver que sus clientes, al no poder comunicarse, pueden elegir otros proveedores.

Este informe tiene una precisión matemática. Le indica al abonado cuántos intentos de alcanzar los números telefónicos de su empresa hubo en un intervalo horario determinado; cuántos resultaron satisfactorios por estar disponibles sus líneas, y cuántos resultaron fallidos.

Todo esto será realizado en forma automática por la central telefónica, mediante su programa de ingeniería de tráfico asociado a su software de control.

4.14.2 Medida del tráfico

4.14.2.1 Definiciones y parámetros utilizados

El tráfico es de naturaleza aleatoria y, por lo tanto, su estudio entra en el campo de la teoría de la probabilidad; sin embargo, presenta cierta consistencia en períodos en que aumenta, incluso hasta valores pico, o de franca disminución, hasta alcanzar mínimos.

Cada usuario de un servicio de comunicaciones intenta un número de llamadas por unidad de tiempo; estas, en cada caso, tienen variadas duraciones.

Denominaremos intensidad de tráfico a:

La razón entre el número de llamadas efectuadas respecto de la unidad de tiempo, calculadas sobre un mismo nodo o vínculo de comunicaciones.

A su vez, definiremos como tiempo de retención a:

El tiempo promedio que dura cada llamada sobre un mismo nodo o vínculo de comunicaciones.

4.14.2.2 Concepto de hora pico

Tanto la intensidad de tráfico como el tiempo de retención, por ser valores probabilísticos, presentan diferencias dentro de un mismo día y, a su vez, los distintos días pueden tener valores diferentes. Incluso, hay semanas con variaciones más pronunciadas que otras. Sin embargo, y tal como se expresó, las variaciones presentan regularidades o consistencias, que permiten dimensionar la red según valores de tráfico perfectamente definidos.

En la Fig. 4.52. podemos observar un gráfico, que muestra la intensidad de tráfico a distintas horas de un día típico de trabajo.

En el caso que se presenta, se pueden observar tres picos. Uno llegando al medio día; otro, al terminar la tarde; y el último, que normalmente coincide con la hora en que las empresas de servicio telefónico reducen la tarifa de las comunicaciones.

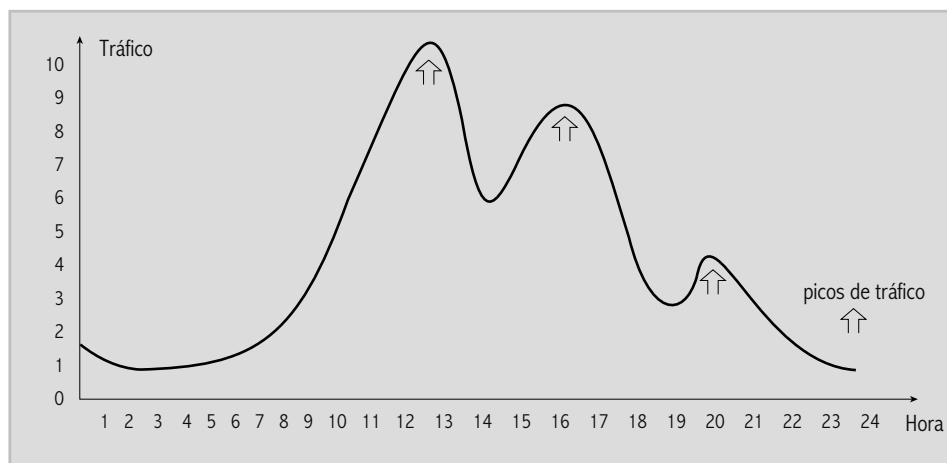


Fig. 4.52. Diagrama de intensidad de tráfico para un día laboral.

En el gráfico señalado, el primer máximo se presenta a la hora en que el comercio y la bolsa están en el punto de mayor necesidad, en cuanto a la utilización de los medios de comunicaciones.

La hora del almuerzo produce una pequeña disminución, que se incrementa durante la tarde, haciendo un segundo pico a la hora en que terminan las actividades.

Alrededor de las 16 a 17 horas, se produce una nueva necesidad de tráfico, que está más relacionada con las actividades sociales finales del día.

Finalmente, en el gráfico se ha supuesto que a las 20 horas se produce una disminución de los costos de las comunicaciones, y se da, por lo tanto, el último máximo de la demanda de tráfico en la red.

Este gráfico no sería igual, por ejemplo, en países como España, en que la hora del almuerzo es bastante más tarde; o en zonas muy cálidas de la Argentina, donde después del medio día, y hasta bien entrada la tarde, la demanda de tráfico casi desaparece a causa de condiciones climáticas extremas.

También podemos observar dos momentos importantes: Las horas de menor y mayor tráfico. En particular, esta última, que coincide con el período más activo y, que obliga a diseñar la red de manera tal que en esos momentos en que más se la necesita, la red no colapse.

Es por ello, que tiene mucha importancia la definición de hora pico. La UIT-T, en su Recomendación Q.80, define la hora pico como:

Un valor promedio, que resulta de tomar los valores de las horas pico de los 30 días del año, que presentan los valores más elevados.

A su vez, también se pudo dar otra definición considerando exclusivamente los llamados días excepcionales de tráfico. A tal fin, la Recomendación Q.80 define la hora pico con esas consideraciones como:

Un valor promedio, que resulta de tomar los valores de las horas pico de los cinco días del año, que presentan los valores más elevados.

Entre ambas definiciones cada Administración de Telecomunicaciones podrá tomar un valor extremo o valores intermedios para dimensionar su red.

Cuanto menor sea la cantidad de días de mayor tráfico que se consideren, mayor será la calidad de la red, pero también será mayor el costo de las instalaciones. Asimismo, será también menor el retorno de la inversión utilizada para su instalación.

El dimensionamiento, tanto de los nodos como de los enlaces troncales, debe ser efectuado para que la operación en la hora pico sea normal.

4.14.2.3 Unidades de medida del flujo de tráfico

Denominaremos flujo de tráfico sobre un nodo, o en un vínculo de comunicaciones, al producto de la intensidad de tráfico por el tiempo de retención.

$$A = C \times TR \quad (4 - 5)$$

Donde:

A = Flujo de tráfico medido en Erlang

C = Intensidad de tráfico, midiendo el número de llamadas en una hora.

TR = Tiempo de Retención medido en horas.

El nombre de la unidad de flujo de tráfico conocida como Erlang ha sido así designada en honor al matemático danés, Agner Krarup Erlang.



de medida adimensional. Luego, podremos concluir que un Erlang significará que el circuito estará totalmente ocupado; o, dicho de otra manera, permanentemente ocupado.

Esto significa que un solo circuito no podrá manejar más tráfico que un Erlang. Asimismo, si un vínculo tiene disponibles N circuitos, no podrá manejar más tráfico que N Erlang.

Ejemplo 4-02:

¿Cuál es el Flujo de Tráfico en la hora pico en un vínculo de comunicaciones E1, si se sabe que es usado en telefonía digital para unir dos Centrales Telefónicas Privadas-PABX, y que se cursa un promedio de 450 llamadas en la hora pico, con un tiempo de retención de tres minutos?

¿Cuál es el Flujo de Tráfico por cada circuito?

El Flujo de Tráfico será igual a:

$$A = C \times TR \text{ [Erlang]}$$

Para el problema planteado resultará:

$$C = 450 \text{ llamadas/hora.}$$

$$TR = 3 \text{ minutos por llamada.}$$

Expresemos este valor en términos de horas y tendremos que:

$$TR = 3/60 \text{ horas por llamada.}$$

Reemplazando, obtendremos:

$$A = 450 \times 3/60 \text{ [Erlang/por E1]}$$

$$A = 22,5 \text{ [Erlang/por E1]}$$

Sabiendo que un vínculo E1 tiene 30 circuitos, el Flujo de Tráfico por circuito será igual a:

$$A = 22,5/30 \text{ [Erlang/circuito]}$$

$$A = 0,75 \text{ [Erlang/circuito]}$$

Otra manera de medir el Flujo de Tráfico es mediante una unidad denominada Centi Call Seconds-CCS. Para ello, la misma supone que arribarán cien llamados en cada segundo de tráfico.

Si consideramos un período de una hora, se habrá cursado un tráfico de 3 600 llamadas, número que resulta de considerar la cantidad de segundos que tiene una hora.

Luego, resultará que el Erlang será igual a 36 CCS, valor que resulta de dividir 3 600 por 100. Con una u otra unidad se está midiendo lo mismo, es decir, el Flujo de Tráfico, y se podría hacer conversiones entre uno y otro valor.

Ejemplo 4-03:

Con los datos obtenidos en el Ejemplo 4-01, expresar los valores en CCS.

En el caso del Flujo de Tráfico en la hora pico en un vínculo de comunicaciones E1, para el que habíamos obtenido de $A = 22,5$ Erlang; y teniendo en cuenta que por cada Erlang corresponderán 36 CCS, el valor del flujo resultará de resolver la expresión:

$$A = 22,5 \times 36 \text{ [CCS]}$$

$$A = 810 \text{ [CCS]}$$

Y para cada circuito del vínculo E1 será igual a

$$A = 0,75 \times 36 \text{ [CCS]}$$

$$A = 27 \text{ [CCS]}$$

4.14.3 Congestionamiento y grado de servicio

4.14.3.1 Concepto de congestionamiento

Los nodos de conmutación se pueden clasificar en congestionables o blocking y no congestionables o no blocking.

Los nodos de conmutación instalados como centrales telefónicas de las redes públicas con conmutación están dimensionados para poder atender a un número de abonados N, de un total M que están conectados a ella.

Esto significa que, cuando se empiezan a establecer conexiones sobre una central, los abonados hasta el número N obtendrán tono de discar, pero el abonado N + 1, que quiera establecer una comunicación, recibirá de la misma el tono de ocupado, y su llamada se considerará llamada perdida. Cuando se llega a esa situación, podemos decir que la central está congestionada o bloqueada.

La razón de que este suceso pueda ocurrir, proviene del concepto establecido de que desarrollar una central pública en la que no exista la posibilidad de bloqueo resulta antieconómico y, por lo tanto, es siempre descartada. Sin embargo, si se deberá considerar para su diseño el flujo de tráfico en la hora pico, de manera tal que el equipo no debería bloquearse en tal situación.

En las redes públicas, en función del lugar donde deberán prestar servicio las centrales, se utilizan diseños de bajo, medio, alto y hasta de muy alto tráfico. En cada caso, el tipo de central que se ha de instalar dependerá del lugar geográfico en donde el equipo deba operar.

Solamente la conjunción de estudios de Ingeniería de Tráfico muy bien planificados y equipos con diseños cuidadosamente seleccionados evitan redes telefónicas de muy mala calidad, aspecto este que el usuario rápidamente detecta.

En el caso de las centrales privadas, conocidas por su acrónimo PABX (*Private Address Branch Exchange*), es, por el contrario, muy común que se construyan no blocking; es decir, sin posibilidad de congestión.

Las razones aquí son diferentes. En primer lugar, son equipos, por lo general, de menor porte; pero, además, como se presume un intenso uso comercial en las horas de trabajo, se prefiere invertir en hardware antes que encontrarse con una situación de congestionamiento como la antes descripta.

4.14.3.2 Grado de servicio

El grado de servicio, que obtiene un usuario en la red telefónica, está directamente relacionado con la posibilidad de que el equipo conmutador del cual es tributario pueda bloquearse.

Para definir correctamente el grado de servicio, se deberá precisar el concepto de llamada perdida.

Se entenderá por llamada perdida a:

Aquellas llamadas que, al primer intento de adquirir una conexión, no obtienen el tono de discar.

Luego, denominaremos grado de servicio-GOS de una central telefónica a:

El cociente entre el número total de llamadas perdidas, sobre el número total de llamadas intentadas (establecidas más las perdidas), calculadas sobre la hora pico.

$$GOS = \frac{\text{Llamadas perdidas}}{\text{Llamadas realizadas}} \quad (4-6)$$

El grado de servicio mide la probabilidad de congestionamiento en la hora pico. Dado, por ejemplo, un grado de servicio de 0,04, deberíamos interpretarlo de la siguiente manera:

- Es probable que en la hora pico, de cada cien intentos de establecer una comunicación, cuatro resulten llamadas perdidas al primer intento.
- Fuera de la hora pico, debería esperarse una calidad de servicio mucho mejor a cuatro llamadas perdidas.

En el caso de la red telefónica general conmutada, en muchas oportunidades, puede suceder que la situación de congestionamiento se presente de dos maneras diferentes:

- No se puede obtener el tono de discar.
- Se recibe el denominado tono de ocupado a pesar de que, en la realidad, el abonado llamado tiene su equipo terminal en libre disposición de recibir llamadas.

Ejemplo 4-04:

En una central telefónica se han efectuado medidas durante un período de tres meses, en la hora pico, para determinar el Grado de Servicio–GOS.

Se obtuvo valores que determinaron que se pierden 3 llamadas de cada cien realizadas.

¿Cuál es el GOS durante ese período de la misma?

$$GOS = \frac{3 \text{ Llamadas perdidas}}{100 \text{ Llamadas realizadas}}$$

$$GOS = 0,03$$

4.14.3.3 Determinación del grado de servicio

El grado de servicio que obtiene un usuario en la red telefónica está directamente relacionado con la posibilidad de que el equipo conmutador del cual es tributario pueda bloquearse en la hora pico. Y, a su vez, la hora pico está vinculada con el valor del flujo de tráfico correspondiente a dicha hora.

Conocidos estos dos valores, pueden llevarse a distintos modelos para, sobre la base de los mismos, poder determinar, por ejemplo, como varía el grado de servicio en función del número de líneas troncales necesarias para evacuar el tráfico recibido sobre una ruta determinada.

Los modelos más utilizados están basados en:

- **Modelo de Distribución de Poisson**, utilizado, principalmente, en los Estados Unidos de Norteamérica. En él:
 - El tráfico se origina en un número infinito de fuentes o mediante tráfico aleatorio.
 - El número de circuitos es limitado.

- **Modelo de Distribución de Erlang**, que es el más utilizado fuera de los Estados Unidos de Norteamérica.

En este último se pueden considerar cuatro variantes:

- Erlang-B (es el modelo más utilizado de los cuatro. La UIT lo ha estandarizado en la Recomendación Q.87) .
Las suposiciones principales que se aceptan para esta distribución son las siguientes:
 - El tráfico se origina en un número infinito de fuentes.
 - Si un llamado no puede ser establecido, el sistema buscará enrutar la llamada en forma automática por otro camino, aunque este último sea de mayor costo.
 - El número de circuitos es limitado.
 - El sistema no encola las llamadas perdidas y considera su duración de valor nulo.
- Erlang-B Extendida.
 - El sistema no encola las llamadas perdidas y considera su duración de valor nulo.
 - Si la llamada se pierde, el abonado deberá colgar e intentar la llamada más tarde.
- Erlang-C
 - El sistema encola las llamadas perdidas, en forma automática, por medios automáticos o por medio de operadores.
 - Las colas pueden tener dimensiones infinitas.
- Erlang-B extendida con cola equivalente
 - El sistema encola las llamadas perdidas por un tiempo determinando.
 - Si el circuito que se trata de establecer permanece ocupado, el sistema buscará enrutar la llamada en forma automática por otro camino, aunque este último sea de mayor costo.
 - Si la llamada permanece sin ser establecida, el abonado deberá intentar la llamada más tarde.

Cada una de estas variantes impone condiciones de contorno diferentes y supone distintas situaciones. El estudio en detalle de cada una de estas variantes excede los alcances de esta obra.

4.15 Resumen

Este capítulo se encargó de introducir los aspectos más destacados de las redes de las telecomunicaciones a través de su clasificación según el modo de administrarlas, según las redes telefónicas públicas y según las redes de las computadoras. También, se presentaron los factores que intervienen para que la comunicación sea eficaz.

Asimismo, se caracterizó y clasificó la topología de las redes de telecomunicaciones con los respectivos elementos que la constituyen y, además, se explicó el concepto de arquitectura de la red de comunicaciones y las funciones que deben realizar las redes de telecomunicaciones.

Luego, se desarrollaron las nociones y funciones de red telefónica conmutada, las características de la voz, la clasificación de los equipos terminales conectados a la red telefónica, los distintos usos de la misma y los aspectos relevantes de los circuitos de dos y de cuatro hilos.

Para finalizar, se trataron las consideraciones generales de señalización en la red telefónica, Red Inteligente, redes privadas virtuales e ingeniería de tráfico.

4.16 Ejercicios propuestos

- 1) ¿Cómo se clasifican las redes telefónicas públicas teniendo en cuenta el área de cubrimiento geográfico?
- 2) ¿Cómo se clasifican las redes de computadores, teniendo en consideración el área de cubrimiento y la tecnología empleada para la implementación de las mismas?
- 3) Graficar la topología de una red de comunicaciones e indicar sus principales componentes.
- 4) Graficar la topología de los enlaces multipunto en las configuraciones: unión concatenada y caídas múltiples.
- 5) Dada una red que tiene 100 nodos ubicados en un área geográfica limitada, y se desea comunicarlos según una topología malla regular; ¿Calcular la cantidad total de enlaces que resultan necesarios implementar?
- 6) Indicar que tipo de topología permite la transmisión en el modo difusión.
- 7) Construir un ejemplo de topología híbrida en la cual se combinen las topologías bus y estrella.
- 8) ¿Qué diferencias existen entre las tipologías lógicas y la física, citar ejemplos?
- 9) Defina topología de una red.
- 10) ¿Qué entiende por una arquitectura de comunicaciones?
- 11) ¿Qué diferencia hay entre una arquitectura propietaria y una a vierta?
- 12) ¿Qué arquitecturas propietarias conoce y que características tienen cada una de ellas?
- 13) ¿Qué función cumple en el modelo OSI la capa de enlace?
- 14) ¿Qué función cumple en el modelo OSI la capa de red?
- 15) ¿Qué función cumple en el modelo OSI la capa de transporte?
- 16) Describa cuales son las funciones que se ejecutan en una red de telecomunicaciones.
- 17) Que características tienen un servicio orientado a la conexión y otro no orientado a la conexión. ¿Qué ejemplos puede dar se otros símiles?
- 18) ¿Cuáles son las características más importantes que presenta un circuito conmutado?
- 19) Describa como funciona una red por conmutación de mensajes. ¿En qué consiste el esquema de almacenamiento y retransmisión y cuáles son los beneficios que acarrea el mismo en cuanto al ordenamiento del tráfico?
- 20) ¿Qué diferencias hay entre un paquete y un datagrama?
- 21) ¿Qué es un circuito virtual?
- 22) ¿Cómo se clasifican los nodos de conmutación teniendo en cuenta el congestionamiento de los mismos? ¿En qué consiste el proceso de congestionamiento?

- 23) Indicar las principales diferencias entre una línea arrendada y una conmutada. ¿Qué entiende por punto de equilibrio?
- 24) En la red telefónica, indicar la señal de señalización que se genera cuando la misma se basa en la técnica de transmisión de pulsos y se discala el número 624 1111.
- 25) Idem el ejemplo anterior pero utilizando señalización por tonos.
- 26) Defina las características principales de los faximiles del grupo III, compare las mismas con los equipos del grupo IV.
- 27) ¿Cuáles son los medios físicos más utilizados en la red telefónica y en qué parte de la red se los emplea más frecuentemente?
- 28) Construya un esquema de red que represente la estructura básica de la red telefónica conmutada, incluya enlaces internacionales. ¿Qué tipo de topología se utiliza?
- 29) Describir el plan de numeración de la red telefónica e indicar que números habría que discar si se quisiera sostener una comunicación desde Buenos Aires con el abonado 336 6006 ubicado en la ciudad de Madrid, España.
- 30) Suponiendo que se desea transmitir datos a través de la red telefónica, indicar las diferentes posibilidades que existen, teniendo en cuenta el tipo de línea a utilizar.
- 31) ¿Qué diferencias existen entre un circuito a dos hilos y otro a cuatro hilos? ¿Cuál presenta mejor performance para la transmisión de datos?
- 32) ¿Para qué es necesario el uso de la bobina híbrida? ¿En qué parte del circuito telefónico se usa?
- 33) Definir ¿Qué se entiende por flujo de tráfico sobre un vínculo de comunicaciones?
- 34) ¿Cuáles son las diferencias entre una red telefónica pública y otra de correspondencia privada?
- 35) Calcular el Flujo de Trafico en la hora pico en un vínculo de comunicaciones T1 si se sabe que es usado en telefonía digital y que se cursa un promedio de 420 llamadas en la hora pico, con un tiempo de retención de 3 minutos. Calcular el Flujo de tráfico por cada circuito.
- 36) Suponiendo que se efectuaron mediciones en una Central Telefónica durante un período de un mes, en la hora pico, obteniéndose los siguientes valores: llamadas perdidas cuatro y total de llamadas realizadas 160. ¿Calcular el grado de servicio de dicha central?
- 37) ¿Cuál es la causa por la que el crecimiento porcentual de las líneas móviles en los países en vías de desarrollo es mayor que en los países desarrollados?
- 38) Si en punto de un auditorio la presión del sonido es de 0,1 Pascal. ¿Cuál será en dB la misma, en ese punto si al comenzar un acto se han medido 10 Pascal? ¿En cuántos dB creció la presión?
- 39) La presión del sónico en un salón es de 80 dB. ¿Cuál será la presión del sónico medida en Pascal? Se deberá tomar como umbral de audición 20×10^{-6} Pascal.

- 40) Un sonidista esta escuchando un tono de 3.000 Hz con una ganancia de 20 dB. ¿Para escuchar con la misma intensidad otro de 300 Hz, que ganancia debería tener el amplificador?
- 41) Calcular la cantidad de tráfico que generan sobre una central 20 llamados con una duración de tres minutos cada uno. ¿Y si duraran cinco minutos?
- 42) ¿Cómo funciona en su país en sistema de identificación de llamada entrante?
- 43) ¿Cómo se realiza el procedimiento para bloquear el número llamante sobre el equipo del número llamado? ¿En su país este servicio está implementado?
- 44) ¿Qué países tienen implementado el servicio de portabilidad del numero local? ¿Qué restricciones existen en cada caso? ¿En su país que régimen es aplicable?
- 45) Describa en detalle cómo funcionan los hiperservicios vinculados a los sistemas de tarificación.
- 46) ¿Cómo funciona el servicio Centrex? ¿Qué utilidad tiene para una organización pública o privada?
- 47) Describa en qué consisten los servicios que facilitan la movilidad de un usuario.
- 48) Ponga ejemplos de servicios especiales orientados a la comunidad que se pueden brindar a través del uso de la red Inteligente.
- 49) Ponga un ejemplo de uso del servicio de llamadas masivas.

4.17 Temas a desarrollar por el lector

1. Haga una breve monografía sobre la organización de la Unión Internacional de Telecomunicaciones.
2. Describa la arquitectura SNA y haga un resumen de sus principales protocolos de capas.
3. Estudie y haga una monografía sobre el crecimiento de las conexiones de banda ancha en los países en vías de desarrollo y en los desarrollados para los próximos cinco años.
4. Investigue en detalle, las características de la infraestructura interurbana, de la red telefónica commutada de su país.
5. Estudie las aplicaciones que pueden existir aplicando los ultrasonidos y con infrasonidos. Describa ambos fenómenos.
6. Confeccione un estado de situación, del estado de digitalización de la red telefónica commutada de su país.
7. Estudie el Plan de numeración de la Red telefónica de su país.
8. Analice como se usa la distribución de Poisson para determinar la posibilidad de bloqueo de una central telefónica.

4.18 Contenido de la página Web de apoyo

El material marcado con asterisco (*) solo está disponible para docentes.



4.18.1 Mapa conceptual del capítulo

4.18.2 Autoevaluación

4.18.3 Presentaciones*

4.18.4 Ejercicios resueltos*

5

Medios de comunicaciones

Contenido

5.1 Introducción	334
5.2 Cables de cobre	339
5.3 Líneas de cobre desnudos	340
5.4 Cables de par trenzados	341
5.5 Cables multipares	345
5.6 Cables coaxiles	352
5.7 Cables de pares trenzados blindados y sin blindar	359
5.8 Cables submarinos de cobre	366
5.9 Radiocomunicaciones	367
5.10 Satélites	381
5.11 Microondas	397
5.12 Guías de onda	402
5.13 Láser	404
5.14 Fibras ópticas	409
5.15 Cables submarinos de fibra óptica	429
5.16 Resumen	434
5.17 Ejercicios propuestos	434
5.18 Temas a desarrollar por el lector	435
5.19 Contenido de la página Web de apoyo	435

Objetivos

- Conocer los diferentes tipos de cables de cobre utilizados en los sistemas de comunicaciones.
- Comprender el uso y las características principales de las radiocomunicaciones.
- Conocer las características de los satélites de comunicaciones.
- Analizar el uso de las microondas como medio de comunicaciones.
- Analizar las consideraciones generales de las guías de onda.
- Conocer el uso y otras particularidades del láser.
- Conocer los aspectos generales de las fibras ópticas y la funcionalidad de los cables submarinos de fibra óptica.

5.1 Introducción

5.1.1 Conceptos generales

Como se expresó en el apartado 3.1.4, el problema fundamental de la Teleinformática es:

Lograr que un computador pueda dialogar, a través de las redes de telecomunicaciones, con otros equipos similares situados geográficamente en puntos distantes, pero reconociendo las características esenciales de la información que intercambian, como si la conexión fuera local.

Y, en términos más generales, el problema de las Telecomunicaciones es:

Lograr que un Equipo Terminal (ET), cualquiera sea, pueda dialogar a través de las redes de telecomunicaciones con otros equipos situados geográficamente en puntos distantes, pero reconociendo las características esenciales de la información que intercambian, como si la conexión fuera local.

Uno de los elementos principales para llevar a cabo dicho diálogo es el **medio físico de comunicaciones**, por el cual se propaga o se transmite la información o inteligencia que se quiere enviar.

La Fig. 5.1. muestra un esquema básico de un **Sistema de Telecomunicaciones**.

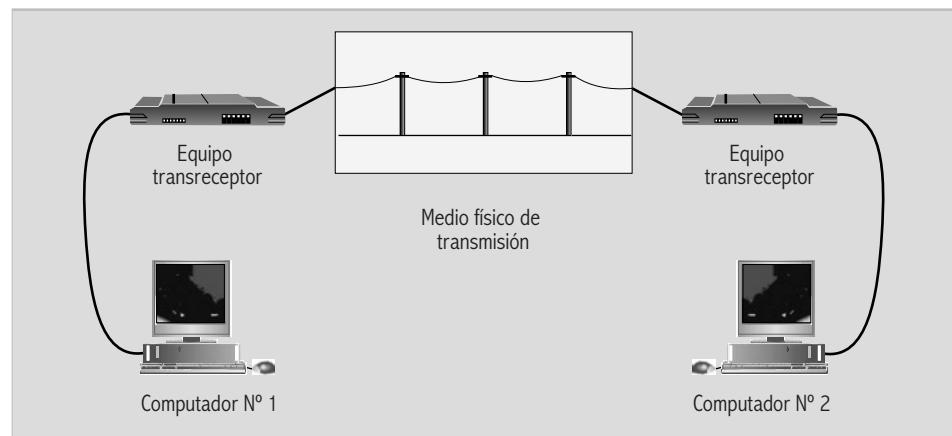


Fig. 5.1. Sistema de comunicaciones de datos (equipo transceptor : transmisor + receptor).

El Equipo Terminal (ET) debe tener las características adecuadas que permitan transmitir la información que se desea. Esta podría ser, por ejemplo: voz, datos, textos, imágenes fijas o móviles, alarmas, etc. Por lo tanto, como se puede deducir, hay una cantidad de diferentes tipos de terminales según el servicio al que están aplicadas.

Todo sistema de comunicaciones debe tener, además de un equipo terminal en cada extremo, equipos transmisores y receptores conectados a los equipos terminales por un lado y, por el otro, al medio físico de comunicaciones utilizado. En muchos casos las funciones de transmisión y recepción están incorporadas al mismo equipo terminal, como es el caso más simple de un teléfono.

Estos equipos transmisores y receptores deben poder adecuar o adaptar las señales por transmitir y/o recibir al tipo de medio físico por el cual será transportada la información.

La **adecuación** dependerá del **medio físico** elegido y sus particularidades. También deberán ser tenidas en cuenta el tipo de señales que se usen, analógicas o digitales, y la forma en que se diseñe el canal de comunicaciones.

Elegido el **medio de comunicaciones** a ser utilizado, no es relevante si por él se transmitirán señales analógicas o digitales. Por lo tanto, el medio físico en sí es independiente de las características de las señales que por él serán transportadas.

Sin embargo, en muchos casos, por razones de atenuación o distorsión, los medios de comunicación tienen equipos intermedios incorporados en su recorrido. En ese caso se debe prestar atención al tipo de señales que se desean transmitir entre extremos.

5.1.2 Elementos caracterizantes de los medios de comunicaciones

5.1.2.1 Ancho de banda

Cada medio de comunicaciones, dentro de ciertos valores de atenuación por la unidad de longitud considerada, posee un ancho de banda disponible. El ancho de banda disponible de un medio de comunicaciones es uno de los elementos caracterizantes más significativos (Tabla 5 – 1).

Tabla 5-1 Elemento caracterizante

*El elemento caracterizante de un medio de comunicaciones es el
ANCHO DE BANDA DISPONIBLE*

Entendiendo por ancho de banda disponible al intervalo de frecuencias que el medio tiene disponible por sus características físicas para manejar señales con atenuaciones iguales o menores a - 3 dB

De acuerdo al uso que se le otorgará a un sistema de comunicaciones se tendrá en cuenta cuál es el medio de comunicaciones más apropiado. Uno de los elementos más importantes para su selección es el ancho de banda que dicho medio ofrece por su características físicas.

Inicialmente, en las redes telefónicas se utilizaban pares de cobre trenzado y el ancho de banda disponible para la transmisión del servicio de voz era suficiente. Por otro lado, los enlaces troncales que requieren trabajar a velocidades muy elevadas deben poseer un ancho de banda considerable. En esos casos, el medio que se elige es la fibra óptica en sus distintas variantes. Ambos podrían ser señalados como ejemplos extremos de anchos de banda, mínimo y máximo. En lugar intermedio se encuentran los otros tipos de medios de comunicaciones, tales como cables coaxiales o los enlaces de microondas.

Si bien el costo de estos diferentes tipos de medios físicos por unidad de longitud no difiere en forma sustancial entre ellos, los costos son muy diferentes en las inversiones de la electrónica asociada con los equipos transmisores, receptores y terminales para que funcionen con cada uno de ellos.

De allí que en cada caso particular será conveniente usar unos u otros, según los servicios que se deben prestar y las características de la red que se va a diseñar.

Aunque algunos de ellos ofrecen la posibilidad de trabajar a velocidades mucho mayores que otros, dado que pueden ser medios de comunicaciones con un gran ancho de banda disponible, las razones de costos antes mencionadas hacen conveniente la utilización de otros medios que mejoren la ecuación económica del negocio.



Michael Faraday (1791-1867). Fue un físico y químico británico. Con mucho esfuerzo personal, llegó a ser Director de la Real Sociedad de Londres en 1824. Es considerado el padre de la Física Experimental. Fue discípulo del químico Humphrey Davy y ha sido conocido principalmente por su descubrimiento del fenómeno de la inducción electromagnética. También se destacó en el estudio del electromagnetismo y la electroquímica. En su honor se debe el nombre de la unidad de medida Faradio.

Joseph Henry (1797-1878). Fue un físico estadounidense. Se vio obligado a trabajar desde los 13 años como aprendiz de relojero. Es conocido por sus trabajos acerca del electromagnetismo en electroimanes y relés. Descubrió la inducción electromagnética, aunque luego averiguó que Faraday se le había adelantado. Lo mismo le ocurrió con el telégrafo que inventó, pero al no patentarlo fue adjudicado a Morse. Se desempeñó como Profesor en la Universidad de Princeton y fue Director del Instituto Smithsonian. En su honor se debe el nombre de la unidad de medida Henry.

Tabla 5-2 Elemento caracterizante

Normalmente en un medio no siempre se utiliza la totalidad del ANCHO DE BANDA DISPONIBLE Surge así en concepto de ANCHO DE BANDA UTILIZADO

Entendiendo por ancho de banda utilizado. Al intervalo de frecuencias utilizado del total disponible de un medio para un determinado caso

En el apartado 3.3.1, se describieron los conceptos de **Ancho de Banda Disponible** y **Ancho de Banda Utilizable** (Tabla 5 – 2). Precisamente, en muchos casos, los medios de comunicaciones se van equipando a los efectos de aumentar el ancho de banda disponible a medida que las necesidades de la red van creciendo.

5.1.2.2 Forma de transmitir las señales

Los medios de comunicaciones transmiten la información por medio de señales eléctricas, ópticas o por medio de ondas electromagnéticas.

Analicemos la transmisión por **conducción** utilizando **señales eléctricas**.

Para la transmisión de este tipo de señales se deben utilizar **medios conductores** de la electricidad. El medio conductor por excelencia es el cobre, aunque en casos especiales, por razones de costo, se ha utilizado el aluminio.

Las propiedades más importantes que deben ser tenidas en cuenta en los conductores son las descriptas en la Tabla 5 – 3.

Tabla 5-3 Características de los medios conductores

- Conductividad (atenuación / km)
- Diámetro y separación
- Dieléctrico
- Capacidad mutua
- Resistencia mecánica
- Ductilidad

Definidos los materiales y las constantes utilizadas, estas se definen normalmente por kilómetro o milla para los distintos tipos de los medios conductores, sobre la base de los siguientes parámetros físicos:

- **Resistencia [R] medida en [ohm].** Este parámetro es función del diámetro del conductor del material, de su longitud y del material con el que está construido. (Ver apartado 2.6.3)
- **Capacitancia [C] medida en [F].** Como el Faradio es una unidad de medida muy grande, se utiliza el **microfaradio** [$10^{-6} F$]. Su valor depende de la distancia entre los conductores y las propiedades de aislación del dieléctrico que los separa.
- **Inductancia [L] medida en [H].** Como el Henrio es una unidad de medida muy grande, se utiliza el milihenry. Su valor depende del diámetro del conductor, el material utilizado y la distancia entre conductores.
- **Conductividad [G] medida en [S].** Su valor es la inversa de la Resistencia. El valor de la misma está relacionado con la calidad de la aislación entre los conductores.

La transmisión por **conducción eléctrica** se produce a causa de la existencia de electrones libres en los metales.

Los electrones son partículas elementales, **eléctricamente cargadas**, que rodean al núcleo de los átomos. Son una de las más importantes partículas subatómicas y pertenecen al tipo de los llamados fermiones. Poseen una masa muy pequeña e igual a $9,11 \times 10^{-28}$ gramos. Comparada con la del protón o la de los neutrones, es 1.800 veces menor. Su carga es contraria a la de los protones. Como la de este se consideraba históricamente positiva, se dice que la del electrón es negativa.

Su carga eléctrica tiene un valor de $1,602 \cdot 10^{-19}$ Coulomb. Este valor se denomina carga eléctrica fundamental y tiene un valor práctico de -1. Los protones tienen una carga del mismo valor, pero con polaridad opuesta, es decir, +1.

En las líneas de transmisión construidas con cables de cobre se puede definir un parámetro denominado **Impedancia Característica**, que será función de la geometría de los conductores con que estas están construidas y los materiales empleados.

Denominaremos Impedancia Característica Z_0 de una línea de transmisión a:

La impedancia de una línea de transmisión construida con una determinada geometría de largo infinito.

Una línea de transmisión finita que esté terminada con una carga igual a su **Impedancia Característica Z_0** entregará en ella toda la potencia recibida de la fuente. Cuando esto ocurre, se dice que la línea está acoplada. En una línea acoplada no pueden ocurrir sobre tensiones a lo largo de la misma porque esta trabaja libre de ondas reflejadas.

Cuando se puede hacer la simplificación para que una línea de transmisión no tenga pérdidas, la **Impedancia Característica** de la línea es el valor real de la impedancia de la misma.

La Fig. 5.2. muestra un cuadripolo correspondiente al circuito equivalente a una línea de transmisión.



Fig. 5.2. Esquema de un circuito equivalente a una línea de transmisión.

En ambos extremos estarán, por un lado, la fuente que genera la información y, por el otro, la carga o el receptor a donde esta información será transmitida.

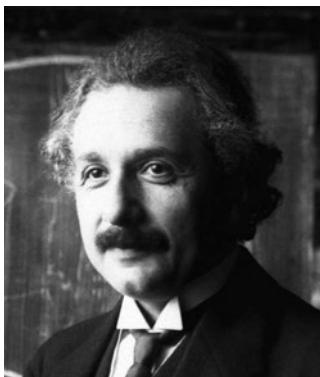
Como se busca que la transferencia de potencia sea máxima, es decir, sin pérdidas, la impedancia en ambos extremos se debe adaptar a la impedancia característica de la línea. Esta condición ideal se logra haciendo que tanto la impedancia de la fuente como la del receptor sean iguales a la **Impedancia Característica**.

Cuando en la práctica no es así, se considera la longitud finita inicial de la línea y el resto de ella y se sustituye por su impedancia característica. Esto puede ser realizado, pues el resto de la línea puede seguir siendo considerada infinitamente larga.

Las características de la transmisión en medios conductores han sido descriptas en el Capítulo 2, apartado 2.6.3.. Sin embargo, cabe reiterar que la velocidad de transmisión en medios



Ernst Werner M. von Siemens (1816-1892). Fue un ingeniero e industrial alemán. Luego de construir una nueva versión del telégrafo, fundó la firma Siemens AG teniendo como socio a Johann Halske. Trabajó y desarrolló un proceso de galvanización, el telégrafo de aguja y un sistema de aislamiento de cables eléctricos mediante gutapercha, lo que permitió la construcción y tendido de cables submarinos. Inventó la dinamo y fue uno de los pioneros de la locomotora eléctrica en 1879.



Albert Einstein (1879-1955). Fue uno de los científicos más grandes de todos los tiempos. Tuvo la intuición de Newton, la visión adelantada de Kepler, en vida, y afortunadamente pudo recibir todos los honores y el respeto que merece un genio tan excepcional. Publicó sus primeros trabajos sobre la teoría especial de la relatividad, sobre los movimientos brownianos y sus primeros trabajos sobre la teoría de los cuantos. En 1921 recibió el Premio Nobel por sus descubrimientos y explicaciones sobre el efecto fotoeléctrico. Entre sus más importantes contribuciones, se pueden citar su Teoría de la Relatividad General, el Modelo de Emisión Estimulada y sus aportes a la Teoría del Campo Unificado.

conductores es del orden de 60 a 85 % de la velocidad de luz. Por lo tanto, se puede estimar en los $200.000.000 \text{ m/s}^{-1}$ como valor intermedio.

Analicemos ahora la transmisión por medio de **ondas electromagnéticas**.

Estas se propagan por medio de ondas cuyas características son el transporte de **energía** y **cantidad de movimiento** sin transporte de materia. Las características de la transmisión en medios dieléctricos han sido descriptas en el Capítulo 2, apartado 2.6.1.

La energía de las ondas electromagnéticas está caracterizada por partículas denominadas fotones. El concepto de fotones o cuantos de luz fue introducido por Einstein. Los fotones tienen las siguientes tres características:

- La masa del fotón en reposo es nula.
Es decir; $mf = 0$
- Su energía es igual a:

$$E = hv \quad (5 - 1)$$

Donde:

$$h = \text{Constante de Plack } [6,62 \times 10^{-34} \text{ Joule x seg}]$$

$$v = \text{Frecuencia de la luz [Hertz]}$$

- Su cantidad de movimiento (o impulso) es igual a:

$$p = \pm \frac{h}{v} \quad (5 - 2)$$

Donde:

$$p = \text{Cantidad de movimiento}$$

Las **ondas electromagnéticas**, a su vez, se pueden propagar por el espacio libre (aire, que también es un dieléctrico, o vacío), como es el caso de los servicios que se conocen como **radiocomunicaciones**, o a través de cables compuestos por dieléctricos especiales, como es el caso de las fibras ópticas.

La diferencia más significativa entre los dos casos son las longitudes de onda o frecuencias utilizadas en uno y otro caso. En este último, se habla de transmisiones ópticas por las longitudes de onda utilizadas.

5.1.3 Distintos medios de comunicaciones

Los medios físicos principales actualmente en uso en las redes de telecomunicaciones son los siguientes, ordenados según su forma de transmisión:

5.1.3.1 Transmisión por conducción eléctrica

- Cables de cobre en sus distintos tipos.

5.1.3.2 Transmisión por medios ópticos u ondas electromagnéticas

- En espacio libre (aire o vacío).
 - Radiocomunicaciones.
 - Satélites.
 - Microondas.
 - Guias de ondas.
 - Láser.
- Cables constituidos por dieléctricos.
 - Fibras ópticas.
 - Cables submarinos de fibras ópticas.

5.2 Cables de cobre

5.2.1 Definición y distintos tipos

Los cables de cobre han sido y aun hoy son el medio de comunicaciones más usado, en particular en los últimos tramos de las redes de comunicaciones, por su uso en las redes de banda ancha con la **tecnología xDSL** (ver apartado 6.6).

En algunos casos, en su reemplazo se han usado cables de aluminio o acero, pero los mismos han sido prácticamente descartados actualmente.

En particular, se entiende por **cables de cobre** a:

Los cables cuyos conductores están construidos con cobre electrolítico que tiene la particularidad de tener una alta pureza incluso del orden de 99%. Estos actúan como soportes físicos que permiten propagar señales inteligentes, utilizándose preferentemente para la transmisión de frecuencias vocales.

Dentro de los cables de cobre usados en los sistemas de comunicaciones como **medios de transmisión**, se pueden encontrar las siguientes variantes, a saber:

- Líneas de cobre desnudos.
- Cables de par trenzados.
- Cables multipares.
- Cables multipares de aéreos.
- Cables coaxiles.
- Cables de pares trenzados blindados (para uso en cableado estructurado).
- Cables de pares trenzados sin blindar (para uso en cableado estructurado).
- Cables submarinos de cobre.



Los cables cuyos conductores están construidos con cobre electrolítico que tiene la particularidad de tener una alta pureza incluso del orden de 99%. Estos actúan como soportes físicos que permiten propagar señales inteligentes, utilizándose preferentemente para la transmisión de frecuencias vocales.

5.2.2 Los medios de transmisión basados en conductores de cobre

Los distintos conductores que utilizan el cobre para la transmisión de las señales de comunicaciones presentan formas constructivas diversas, y son particularmente aptos para diversas aplicaciones.

Sin embargo, los aspectos técnicos de cada uno de los tipos señalados están dados por características similares, a saber:

- Conductividad del material directamente relacionada con su atenuación por kilómetro.
- Diámetro y la separación entre los conductores.
- Características del dieléctrico utilizado.
- Capacidad mutua entre conductores. Ambos se comportan entre sí como si fueran capacitores. La capacitancia mutua está referida al valor de la capacidad que presentan cada uno de ellos respecto del otro (medida en Faradio o en sus submúltiplos).
- Resistencia mecánica que ofrecen para su instalación.
- Facilidad con que pueden ser manipulados.
- Aspectos que hacen a sus detalles constructivos.

En cada caso, sus usos son marcadamente diferentes y, por tal razón, serán estudiados en forma separada.

5.3 Líneas de cobre desnudos

5.3.1 Características generales

Las líneas de cobre desnudo fueron el primer medio de comunicaciones usado para la transmisión de señales inteligentes. En particular las primeras líneas telegráficas fueron construidas con esta tecnología.

Su uso actualmente está relegado a zonas de muy bajo tráfico. Actualmente no se efectúan instalaciones de este tipo, aunque todavía pueden ser observadas en algunas zonas periféricas de la red, zonas rurales y en las líneas de comunicaciones que corren paralelas a las vías ferroviarias.

Allí son usadas para el servicio privado de las empresas que explotan los servicios ferroviarios, facilitando la conectividad entre los distintos puntos de su recorrido.

Las características de estas líneas son las siguientes:

- Alto costo de mantenimiento o de ampliación de sus recorridos.
- Ancho de banda limitado.
- Fuerte dependencia de factores meteorológicos o inclemencias del tiempo, tales como: vientos muy fuertes, nevadas, rayos, alta humedad o lluvias intensas. En algunos casos aumentan la atenuación de estas líneas y en otros pueden provocar su deterioro o su destrucción.
- Propensas a acciones de vandalismo, como por ejemplo: robo de los conductores, destrucción de los postes y aisladores, etc. En algunas zonas rurales, el robo de estos conductores es muy frecuente por la facilidad con la que es posible comercializar el cobre electrolítico del que están construidos. Por eso, en algunos casos, se utiliza el hierro galvanizado.
- Posibilidad de capturar ruido exógeno, o generación de diafonía por defectos constructivos.

5.3.2 Detalles constructivos y operativos

Las líneas de cable desnudo, o también conocidas como **líneas abiertas a dos hilos**, están construidas en espacios abiertos, sobre postes rectos, muchas veces de **palmeras creosotadas**, por dos alambres aislados entre sí y sujetados por aisladores cerámicos fijados a travesaños horizontales, a distancias del orden de los *0,5 m*. Estos postes, en general, son previamente tratados con creosota para otorgarles una mayor duración y hacerlos más resistentes a las inclemencias climáticas.

Se pueden construir con diferentes metales. Si bien predomina el cobre, las hay también en menor medida de bronce, aluminio y de hierro galvanizado.

En muchos casos, se aprovechan los postes y los travesaños horizontales para instalar más de un par, y también se suele colocar más de un travesaño horizontal.

En la Tabla 5-4 se pueden observar los distintos metales usados y los diámetros usuales con que se construyen estas líneas.

Tabla 5-4 Características de los conductores usados en líneas abiertas

COBRE: Conductores de 3, 4 y 5 mm

BRONCE: Conductores de 1,5, 2 y 3 mm

HIERRO GALVANIZADO: Conductores de 2, 3, 4 y 5 mm

Cuando se usa este medio de comunicaciones para la transmisión de canales telefónicos, las **Recomendaciones G.311 y G.312 de la UIT - T** establecen la forma de poder multiplexar por los dos hilos, 3V y 12 canales respectivamente, de un ancho de banda comprendido entre los *300* a *3.400 Hz* (ver Capítulo 8).

La atenuación de estas líneas puede variar entre estaciones, verano e invierno, hasta en un $\pm 15\%$, según los grados de humedad ambiente y al estado de los aisladores y los postes.

5.4 Cables de par trenzados

5.4.1 Características generales

El cable de **par trenzado** es uno de los tipos más comunes y económicos usados como medio de interconexión en una red de telecomunicaciones, en particular en la llamada última milla de las redes telefónicas. Este tipo de cable consiste en dos conductores, aislados entre sí y con el exterior, trenzados de tal modo que cada uno esté expuesto a la misma cantidad de **ruido inductivo** proveniente del exterior.

El ruido se incorpora **aditivamente a la señal útil** que se está transmitiendo. Al estar el par trenzado, la interferencia será captada por ambos cables, por lo que su efecto conjunto **se reduce** sin eliminarse por completo.

Las principales características que presenta este tipo de medio de comunicación son las siguientes:

- Escasa inmunidad frente a las interferencias producidas por campos electromagnéticos externos y al ruido impulsivo.
- Bajo costo, y por lo tanto amplio uso en distintas partes de la red.
- Posibilidad de presencia de diafonía (ver apartado 3.7.3.5).
- Ancho de banda máximo reducido.
- Resistencia eléctrica del par: disminuye cuanto mayor es el diámetro del conductor y aumenta con la distancia.
- El principal factor que limita su uso es el **efecto pelicular**, cuyo efecto se hace más evidente cuanto mayor es la velocidad binaria de la señal transmitida (ver apartado 2.6.3.).
- El alto valor de **capacitancia mutua** entre sus conductores produce un efecto muy similar al anteriormente descripto.

Por lo tanto, se debe proceder al trenzado de estos cables de a pares, así como, en algunos casos, a su blindaje.

Desde el punto de vista de los parámetros físicos de la red, este tipo de medio presenta una fuerte impedancia capacitiva. Dicha capacidad está determinada principalmente por el diámetro de los conductores. Por lo tanto, para la transmisión de señales en **banda base a velocidades elevadas** es conveniente utilizar conductores de diámetros mayores, diámetros que no son necesarios para la transmisión de señales telefónicas de voz.

5.4.2 Características eléctricas

Un par de cables trenzados tienen un comportamiento eléctrico, que puede ser explicado a través de un cuadripolo como el que se muestra en la Fig. 5.3.

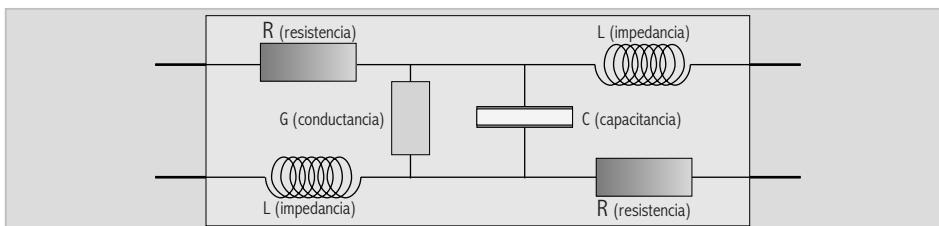


Fig. 5.3. Comportamiento eléctrico de un par de cables trenzados.



Mazo de pares telefónicos trenzados
(Gentileza de Siemens Enterprise Communications S.A.)



La pérdida de potencia de una línea de transmisión debido a los parámetros físicos (resistencia, inductancia, capacitancia y conductancia) que la caracterizan y que están determinados por las características de construcción (materiales empleados y geometría de la misma).

Recordando las propiedades de los conductores de cobre, descriptas en el apartado 5.1.2.2, cada conductor tiene un comportamiento resistivo $R [\Omega]$ e inductivo $L [\mu H]$ que será función de su longitud, del diámetro de conductor y del material en que está confeccionado.

A su vez, cada conductor respecto del otro tendrá una capacitancia $C [\mu F]$ que dependerá de la distancia a la que están separados los conductores y del tipo de dieléctrico utilizado. Finalmente, también se podrá definir un valor de conductancia $G \left[\frac{1}{\Omega} \right]$ que será función de la calidad de la aislación existente entre ellos.

Los valores de estos parámetros que corresponden a cada tipo de línea de transmisión nos permiten definir la **Atenuación A_t en una línea de transmisión** como:

La pérdida de potencia de una línea de transmisión debido a los parámetros físicos (resistencia, inductancia, capacitancia y conductancia) que la caracterizan y que están determinados por las características de construcción (materiales empleados y geometría de la misma).

La Atenuación A_t es comúnmente expresada en decibeles [dB]. Es función de la frecuencia de la señal transmitida.

La atenuación de un par trenzado es muy dependiente de la frecuencia. A medida que esta aumenta, la inductancia va disminuyendo y consecuentemente la impedancia del mismo se va haciendo cada vez más capacitiva.

Por otra parte, a causa del efecto pelicular, la resistencia aumenta también con el cuadrado de la frecuencia, dado que en términos prácticos es como si fuera disminuyendo el diámetro del conductor. Ello produce un aumento de la atenuación (ver apartado 2.6.3.2).

El valor aproximado de la atenuación resulta:

$$A_t [dB] = k \sqrt{f} \quad (5-3)$$

Donde k = es una constante que depende de la geometría y características de cada cable.

Normalmente, k no se conoce, pero sí un valor de atenuación a una determinada frecuencia, que es provisto por el mismo fabricante. Con esa información es posible calcular cualquier valor para una dada frecuencia con cierta aproximación.

Los fabricantes, muchas veces, suelen proporcionar gráficos que muestra las pérdidas en $\left| \frac{dB}{100 m} \right|$ o $\left| \frac{dB}{km} \right|$ en para un determinado rango de frecuencias. Las pérdidas en dB permiten tener una idea de la disminución de potencia. Al respecto, una pérdida de 3 dB corresponde a una disminución del orden de la mitad de la potencia de la fuente.

El conocimiento de la atenuación es importante pues permite determinar si los amplificadores o repetidores son necesarios o no y, en caso de serlo, la distancia a la que deben ser instalados.

Ejemplo 5-1:

La atenuación de cierto cable es de 6,4 dB a 10 MHz. Se desea saber cuál será la atenuación a 100 MHz y a 250 MHz.

Como $A_t [dB] = k \sqrt{f}$, resultará que:

$$\frac{A_{t1}}{\sqrt{f_1}} = \frac{A_{t2}}{\sqrt{f_2}}$$

Reemplazando, tendremos para cada caso:

$$\frac{6,4 \text{ dB}}{\sqrt{10 \text{ MHz}}} = \frac{A_{t2}}{\sqrt{100 \text{ MHz}}}$$

$$\frac{6,4 \text{ dB}}{\sqrt{10 \text{ MHz}}} = \frac{A_{t2}}{\sqrt{250 \text{ MHz}}}$$

Y operando, tendremos:

$$A_{t2} = \frac{6,4 \text{ dB} \times \sqrt{100 \text{ MHz}}}{\sqrt{10 \text{ MHz}}}$$

$$A_{t'2} = \frac{6,4 \text{ dB} \times \sqrt{250 \text{ MHz}}}{\sqrt{10 \text{ MHz}}}$$

$$A_{t2} \cong 20,24 \text{ dB}$$

$$A_{t'2} \cong 32 \text{ dB}$$

Como se dijo para la expresión (5-3), estos son valores aproximados. Un cable UTP categoría 6 tiene una atenuación de $6,4 \text{ dB}$ a 10 MHz , y sus valores 100 MHz y a 250 MHz son respectivamente $21,3 \text{ dB}$ y 36 dB . En el primer caso la diferencia con el valor hallado es de $\cong 1 \text{ dB}$ y en el segundo caso de $\cong 4 \text{ dB}$. Ello permite deducir que esta fórmula tiene una diferencia mayor cuanto más alta es la frecuencia.

5.4.3 Detalles constructivos y operativos

5.4.3.1 Estructura general

Su estructura es la de uno o varios conductores aislados, trenzados de **a pares** en espiral como se aprecia en la Fig. 5.4.

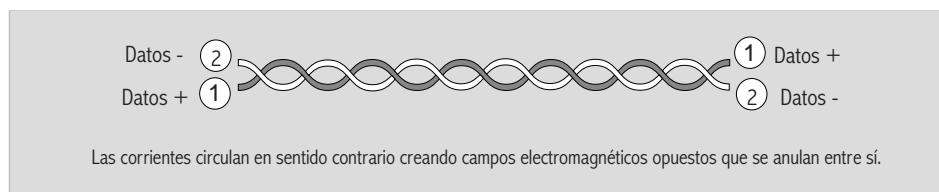


Fig. 5.4. Cable de par trenzado.

El objetivo del diseño con esta geometría es que los campos electromagnéticos, al ser opuestos, se anulen. Los conductores están protegidos por una cubierta de **polietileno** o **policloruro de vinilo** (PVC) u otro material aislante. Los cables de mayor antigüedad usaban papeles especiales como dieléctricos.

La Fig. 5.5. detalla la forma en que está construida la sección de un conductor del par trenzado.

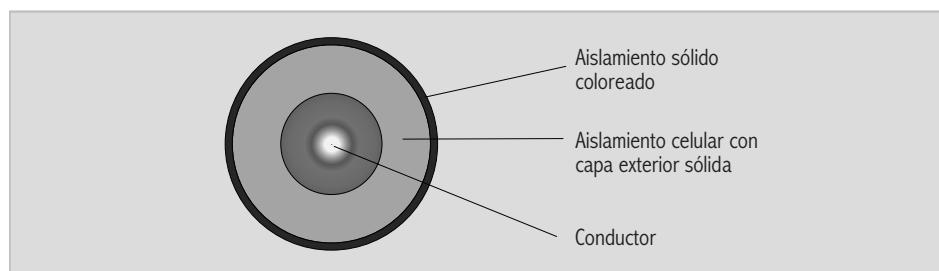


Fig. 5.5. Componentes de un conductor de cable telefónico.

La Fig. 5.6. ilustra un cable de **par trenzado** y uno denominado **doble o a cuatro hilos**, donde generalmente los otros dos hilos son de reserva.

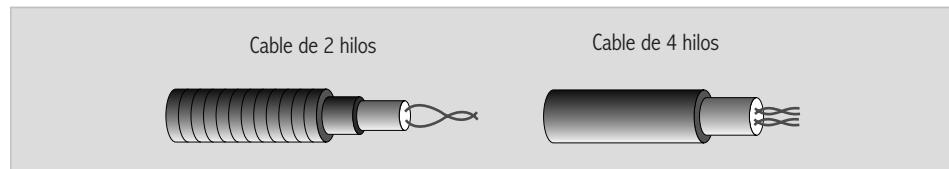


Fig. 5.6. Cable de par trenzado simple y a cuatro hilos.

En algunos casos, los pares trenzados se construyen blindados para evitar interferencia externa; es decir, están recubiertos por una capa metálica entre las aislaciones. Esto aumenta su rendimiento aunque también su costo, pero permite la transmisión digital de datos a grandes velocidades y a una distancia de unos centenares de metros sin necesidad de usar amplificadores (señales analógicas) o repetidores regenerativos (señales digitales).

Estos cables están normalizados por la **American Wire Gauge - AWG**, en valores enteros denominados calibres. Estos, a su vez, tienen su correlación en **mm** o en **pulgadas**.

La Tabla 5 – 5 nos muestra la relación entre algunos de los calibres más importantes y su diámetro en milímetros.

**Tabla 5-5 Norma American Wire Gauge (AWG)
relación entre calibres y diámetros en mm**

Calibres (AWG)	Diámetro (mm)
19	0,912
22	0,644
24	0,511
26	0,405
28	0,302

5.4.3.2 Empleo y características de los conductores

Se aplica especialmente en las redes internas con las centrales telefónicas privadas y para el circuito terminal de llegada a los usuarios.

En las redes telefónicas públicas, se denominan **pares de abonado**, o también **bucle de abonado**. Los valores empleados normalmente para estas funciones son los correspondientes a los calibres 22 y 24, especialmente este último.

Pueden transmitir señales analógicas como digitales. En el primer caso, se necesitará el empleo de amplificadores cada 10 o 20 km, dependiendo del estado de la línea y sus parámetros físicos. En el segundo caso, se requerirán repetidores regenerativos, cada 2 a 4 km, dependiendo de la velocidad de transmisión binaria que se haya elegido para dicho canal.

Los conductores son, en general, de alambre de cobre electrolítico recocido y de sección circular. Tienen una resistencia máxima normalizada de $0,017241 \text{ Ohm} \times \text{mm}^2/\text{m}$, a 20° C de temperatura.

5.5 Cables multipares

5.5.1 Definición y uso

Se entiende por cables de cobre multipares a:

Soportes físicos compuestos por un número variable de pares trenzados, que permiten propagar señales inteligentes y que se utilizan preferentemente para la transmisión de frecuencias vocales y, complementariamente, para servicios de transmisión de datos, con o sin acceso a la Red Internet.

5.5.2 Distintos tipos

Los cables de cobre multipares se construyen básicamente para ser instalados en forma subterránea, aérea o utilizando ductos especiales para tal fin.

Si bien las finalidades de uso que cumplen son idénticas, los detalles constructivos de uno y otro tipo de cables son diferentes, lo que justifica su estudio en forma separada.

5.5.3 Cables multipares subterráneos o para instalación en ductos

5.5.3.1 Definición y uso

Se entiende por cables multipares subterráneos o para instalación en ductos a:

Los cables de cobre multipares que están especialmente diseñados y construidos para ser instalados en forma subterránea, contando con todos los elementos aislantes que permitan su normal funcionamiento o utilizando ductos que los protejan de su deterioro o destrucción.

Estos contienen desde 6 pares hasta un número variable del orden de los miles de pares y que dependen de las normas de construcción que se utilicen.

En las **Redes Telefónicas Urbanas** es muy frecuente el uso de cables telefónicos multipares subterráneos, confeccionados sobre la base de pares de cables de cobre trenzados. Se usan, en particular, para llegar desde las centrales telefónicas urbanas hasta el abonado. Los cables multipares están formados por lo que se denominan **pares de abonados**.

También han permitido, en el pasado, interconectar centrales telefónicas urbanas entre sí o conectar a estas con centrales de tránsito, aunque actualmente se utilizan otras tecnologías para estas funciones. En efecto, los cables multipares han sido generalmente sustituidos por **cables de fibra óptica** o **radioenlaces de microondas** equipados con equipos multiplexores. Estos últimos casos serán analizados también en este capítulo.

5.5.3.2 Detalles constructivos

- Aislación.

Cada conductor se encuentra revestido por una capa aislante sólida de polietileno de color uniforme y opaco. Los colores de la aislación se hallan especificados de acuerdo al número de par.

A su vez, el número de cada par está normalizado según la distribución que se puede observar en el ejemplo de la Fig. 5.7.



Los cables de cobre multipares que están especialmente diseñados y construidos para ser instalados en forma subterránea, contando con todos los elementos aislantes que permitan su normal funcionamiento o utilizando ductos que los protejan de su deterioro o destrucción.

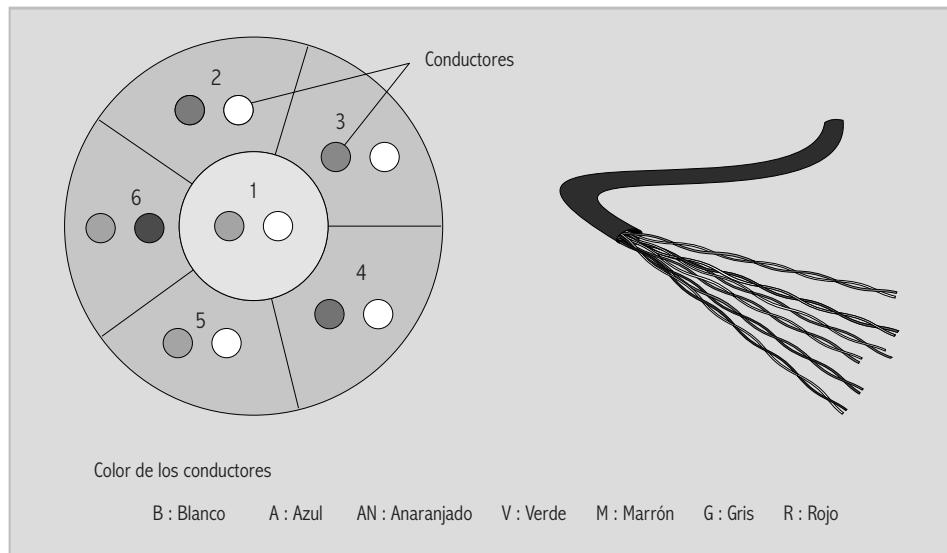


Fig. 5.7. Distribución de los conductores en cables de 6 pares.

Los seis pares de conductores tienen distintos colores para distinguirlos según su ubicación dentro del cable. Los mismos están descriptos en la Tabla 5-6.

Tabla 5-6 Código de colores para cables de hasta 6 pares

Par Número	Color del aislación	
	Conductor N° 1	Conductor N° 2
1	Blanco	Azul
2	Blanco	Anaranjado
3	Blanco	Verde
4	Blanco	Marrón
5	Blanco	Gris oscuro
6	Rojo	Azul

Debajo de la aislación sólida coloreada, se halla otra capa compuesta por polietileno de densidad media o alta, que contiene en su composición una sustancia antioxidante adecuada. También suele emplearse para la misma un **copolímero de propileno/etileno** cristalino.

Tabla 5-7 Diámetro máximo del conductor exterior

Diámetro del conductor (mm)	Diámetro exterior máximo del conductor aislado (mm)
0,40 y 0,50	1,10
0,65	1,40
0,80 y 0,90	1,70

La aislación total del conductor formada por las capas celular y sólida debe tener un espesor uniforme tal que el diámetro exterior del conductor aislado no debe superar los valores que se indican en la Tabla 5-7 para cada calibre de conductor.

- Formación de los pares de conductores.

Los conductores, una vez aislados, son trenzados de a pares, de acuerdo al color de aislación de cada uno de ellos.

El cable que se describe en la Fig. 5.7. está compuesto por 6 pares; cada uno de ellos se encuentra trenzado. El par N° 1 está conformado por un conductor blanco y otro azul; el par N° 2 por uno blanco y otro anaranjado, y así sucesivamente.

- Cableado.

Luego de constituidos los pares, se los **agrupa** para conformar el cable, de acuerdo al esquema tipo de la Fig. 5.8. A su vez, los cables telefónicos normalizados pueden ser armados con: 6, 10, 18, 20, 30, 50, 80, 100, 150, 200, 300, 400, 600, 900, 1.200, 1.500, 1800 o 2200 pares.

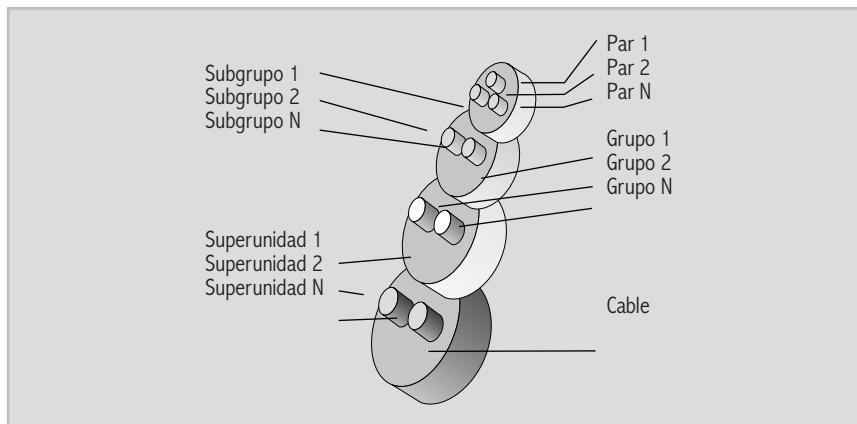


Fig. 5.8. Esquema de agrupación de cables.

En las siguientes figuras, se puede ver cómo se construye un cable hasta llegar a una capacidad final de 2200 pares.

Por ejemplo, los cables de 25 pares están formados por dos subgrupos de 12 y 13 pares respectivamente, tal como se indica en la Fig. 5.9.

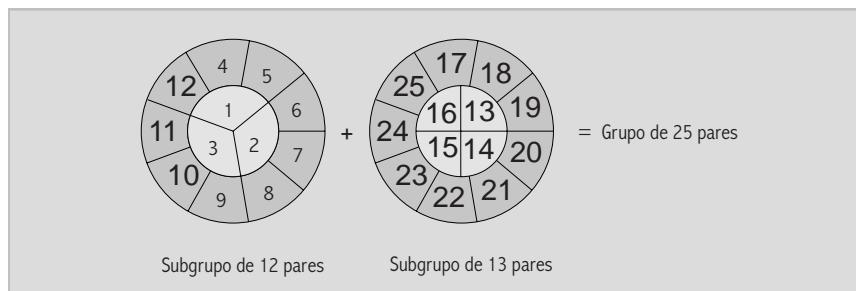


Fig. 5.9. Subgrupo de 25 pares.



Patch panel de datos
(Gentileza de Siemens Enterprise Communications S.A.)

A su vez, cuatro grupos de 25 pares cada uno conformarán una superunidad de 100 pares. La Fig. 5.10 muestra el esquema de formación del conjunto.

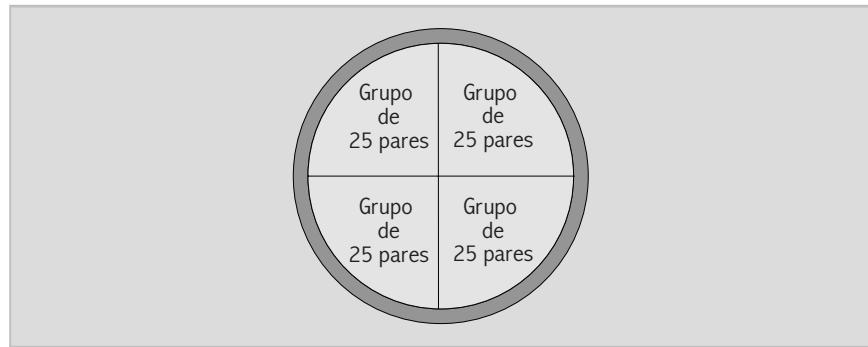


Fig. 5.10. Superunidad de 100 pares.

A su vez, 22 superunidades de 100 pares cada una constituirán el cable de 2.200 pares.

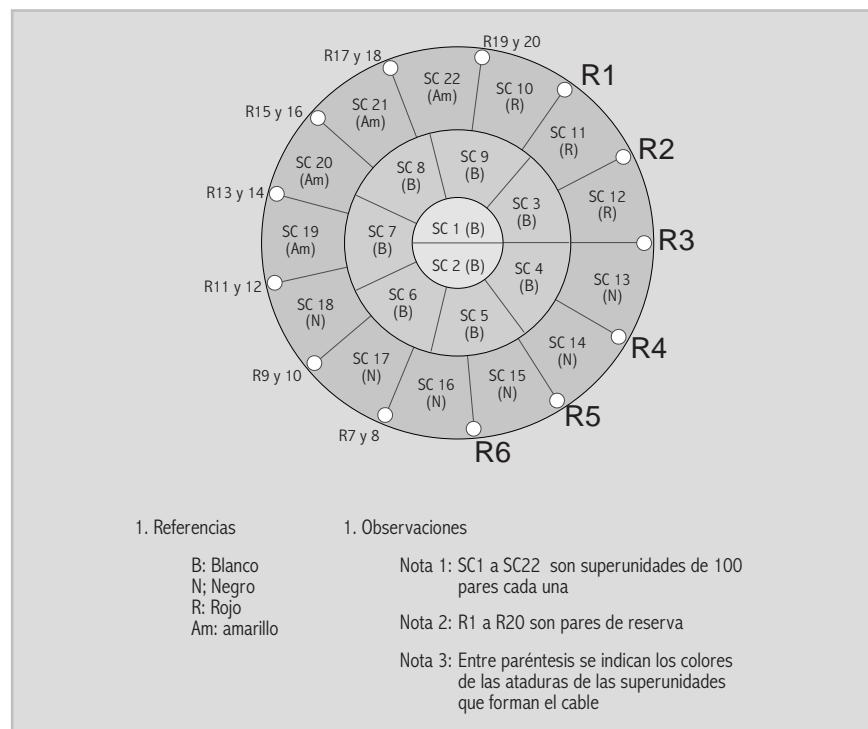


Fig. 5.11. Cable de 2200 pares.

En la Fig. 5.11., se observa el esquema de un cable de 2200 pares que está constituido por 22 superunidades de 4 grupos cada una.

- Pares de reserva.

Para el reemplazo de eventuales pares defectuosos o con el objeto de prever el crecimiento de la red, se disponen pares de reserva en cables que tengan 100 o más pares. Se ubican en la parte más externa del cable y su número es del orden de 10 % de la cantidad total de pares del cable. Ese porcentaje depende de la situación particular de la zona geográfica en que el cable será instalado y las previsiones de aumento en el número de clientes previsto para ella.

- Envoltura y cubierta exterior.

El núcleo del cable formado por los pares trenzados y cableados o por grupos, subgrupos o superunidades cableadas, se recubre totalmente con una cinta de material **dielectrónico no higroscópico** resistente a la humedad y aplicado en forma helicoidal o longitudinal. Este recubrimiento brinda una adecuada protección contra el calor a efectos de evitar deformaciones en la aislación de los conductores.

Una vez ajustado el núcleo del cable y recubierto con la cinta arriba descripta, se le aplica una cubierta protectora de polietileno o copolímero de etileno con blindaje de polietileno/aluminio/polietileno laminado. El cierre de las puntas del cable se efectúa con capuchones colocados en ambos extremos.

Los capuchones dispuestos en el extremo interno de la bobina están provistos con válvulas tipo **cámara de automóvil** que incluyen su correspondiente óvulo y tapón roscado. Otro tipo de capuchón que se utiliza actualmente es el de plástico termocontraíble con adhesivo en su superficie interior.

- Presurización de los cables.

La presurización consiste en suministrar a los cables una presión interior de **gas seco** a efectos de eliminar la humedad interna de los cables. Los cables menores de 50 pares no se presurizan. El medio gaseoso utilizado puede ser: **aire, nitrógeno o bióxido de carbono**.

La presurización se logra mediante la instalación de equipos presurizadores, ubicados en lugares estratégicos dentro de la red.

Este tipo de técnica se abandonó a causa de la presencia en el mercado de cables tecnológicamente más adelantados, que utilizan sustancias especiales derivadas del petróleo que prácticamente impiden el paso de la humedad hasta los conductores. El costo de la presurización ha llevado a las empresas prestadoras del servicio telefónico a ir reemplazando con rapidez los cables que utilizan este tipo de técnicas. No obstante, los cables multipares, independientemente del tipo de técnica utilizada para eliminar la humedad, han ido siendo reemplazados por el cable coaxil y la fibra óptica.

5.5.3.3 Procedimientos de prueba de los cables

- Pruebas eléctricas.

- Resistencia eléctrica de los conductores.

Se determina la resistencia eléctrica promedio de los diferentes conductores según su diámetro. Para la prueba se utiliza una señal de corriente continua aplicada sobre un tramo de cable de longitud conocida a 20°C de temperatura.

En la Tabla 5-8, se indican los valores de resistencia promedio máximo expresados en **Ohm/km**. Al aumentar la resistencia óhmica de un cable se incrementa la atenuación y, en consecuencia, disminuye el alcance de las señales útiles a transmitir.

Tabla 5-8 Valores de resistencia por km

<i>Diámetro del conductor (mm)</i>	<i>Resistencia óptima (Ohms/km) Promedio máximo</i>
0,40	143,0
0,50	91,4
0,65	54,5
0,80	35,7
0,90	28,2

- Capacidad mutua.

Dada la proximidad entre los conductores de los pares existe una capacidad entre ellos denominada **Capacidad Mutua**.

La misma no deberá exceder los valores que se indican en la Tabla 5 -9.

Tabla 5-9 Valores de capacidad mutua

<i>Nº de pares (para todos los calibres de conductores)</i>	<i>Capacidad mutua(microfaradio/km) Promedio máximo</i>
Cables de hasta 10 pares	0,058
Cables con más de 10 pares	0,056

Para la determinación de este parámetro se alimenta a los conductores bajo prueba con una señal de 800 Hz.

Es importante que la capacidad entre conductores se mantenga debajo de los valores arriba indicados para garantizar, en los circuitos telefónicos, una transmisión adecuada de las señales. La capacidad mutua suministra a la corriente alterna un camino de paso entre los conductores que tienen mayor importancia a medida que aumenta la frecuencia de la señal transmitida. Por esta razón, a medida que aumenta la fuga de señal a través de este camino capacitivo, menor será el nivel de la señal que alcanzará el extremo de la línea donde se encuentra el receptor.

- Resistencia de aislación.

La resistencia de aislación de cada conductor se determina midiéndolo contra todos los demás, unidos entre sí, y también contra el blindaje de aluminio del cable.

En estas condiciones, y aplicando una tensión de 500 V de corriente continua, se mide la resistencia de aislación que no deberá ser menor de 3000 mW/km.

- Pruebas físicas.

- Resistencia a la tracción y alargamiento de rotura de la aislación.

Para llevar a cabo estas pruebas se utilizan trozos de aislación, separados del conductor, denominados **probetas**. Dichas probetas se someten a la tracción registrándose el valor a partir del cual comienza el alargamiento del material (resistencia a la tracción mínima). La fuerza de tracción continúa aplicándose sobre la probeta hasta obtener la rotura de la misma (alargamiento de rotura mínimo). En la Tabla 5-10 se indican, de acuerdo al tipo de aislación, los valores normalizados.

Tabla 5-10 Valores normalizados de acuerdo al tipo de aislamiento

<i>Tipo de aislamiento</i>	<i>Material</i>	<i>Resistencia a la tracción mínima (da n/cm²)</i>	<i>Alargamiento de rotura mínima (%)</i>
Sólido	Polietileno tipo I y II	100	300
	Cop. Propileno etileno	200	300
Celular c/capa exterior sólida	Polietileno tipo I y II y	70	125
	Cop. Propileno etileno		

- Prueba de aislación del polietileno y del copolímero de propileno/etileno.

- Unidad de contracción.

Se confecciona una muestra integrada por un espécimen, como mínimo de cada color, de aislación del cable. Dichos espécímenes, de 150 mm de largo, se colocan en una estufa a circulación de aire caliente, a presión atmosférica durante 4 horas y a temperaturas comprendidas entre 115 y 130 C°, según el material del que se trate.

Luego de este período se retiran de la estufa y se mide la contracción producida en la longitud del aislante de cada uno de los espécímenes ensayados. El valor de contracción de la aislación debe ser proporcionado a los usuarios, por cuanto se necesita este valor para el diseño de los enlaces y en función de la temperatura.

- Índice de escurrimiento.

Este requisito es únicamente exigible para la aislación sólida, pero no así para la aislación celular con capa exterior sólida.

El índice de escurrimiento determinado sobre muestras de aislación extraídas del cable no deberá exceder, por ejemplo para el **polietileno tipo I**, más de 60 % del valor obtenido sobre la materia prima utilizada para la extrusión de la aislación.

5.5.4 Cables multipares aéreos

5.5.4.1 Definición y uso

Se entiende por cables multipares aéreos a:

Los cables de cobre multipares que están especialmente diseñados y construidos para ser instalados en forma aérea, para lo cual cuentan con los elementos de sostén adecuados a tal finalidad y todos los elementos aislantes que permitan su normal funcionamiento.

Contienen entre 100 y 300 pares, siendo el diámetro de cada conductor de 0,5 mm aproximadamente.

En las **Redes Telefónicas Urbanas** es muy frecuente el uso de cables telefónicos multipares aéreos por la facilidad que ofrece su control, mantenimiento y reparación. En particular, para llegar desde las centrales telefónicas urbanas hasta la casa del usuario final, mediante lo que se ha definido como **par de abonado**.

5.5.4.2 Detalles constructivos

Los detalles constructivos pueden apreciarse en la Fig. 5.12. En ella se pueden distinguir claramente las dos secciones del cable que forman, entre ellas, un **número 8**. La superior es la responsable de sostener el cable y la inferior, de transportar los pares trenzados usados para las comunicaciones.



Los cables de cobre multipares que están especialmente diseñados y construidos para ser instalados en forma aérea, para lo cual cuentan con los elementos de sostén adecuados a tal finalidad y todos los elementos aislantes que permitan su normal funcionamiento.

El cuerpo responsable de sostenerlo es un cable construido en **acero de alta resistencia** que permite mantenerlo una vez instalado, y simultáneamente, debe permitir tensarlo mientras se lo está instalando. Junto con la parte inferior, está revestido de una capa de material para protegerlo de las inclemencias climáticas.

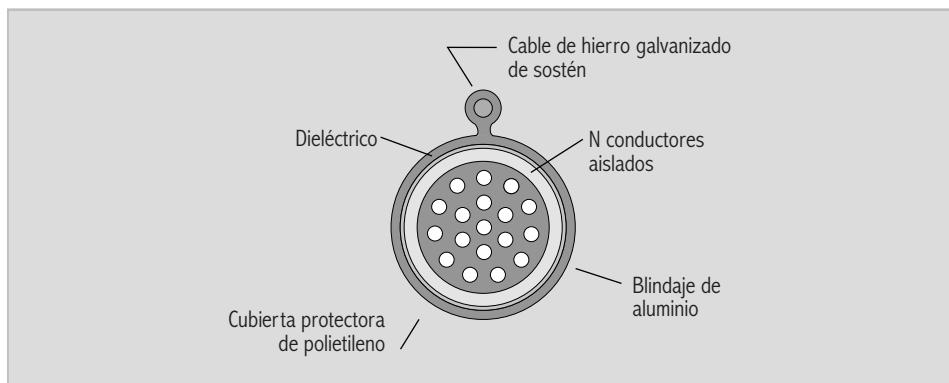


Fig. 5.12. Estructura de una cable multipar aéreo.

La parte inferior que contiene a los conductores tiene varias protecciones. Algunas están construidas con materiales dieléctricos para aislarlo eléctricamente y evitar las pérdidas por humedad u otros factores atmosféricos.

Posteriormente, y hacia afuera, llevan generalmente una vaina protectora de aluminio que impide los efectos inductivos generados por los campos electromagnéticos circundantes y que a la vez resulta conveniente por su menor peso relativo respecto de metales que brindan los mismos efectos.

Finalmente, todo el conjunto está recubierto por materiales protectores como el policloruro de vinilo o plásticos que producen efectos aislantes del medio ambiente.



Los cables construidos con dos conductores concéntricos: uno interno o central por el que se trasladan las señales eléctricas y uno externo, que lo rodea totalmente. Ambos conductores están construidos con cobre electrolítico.

5.6 Cables coaxiles

5.6.1 Definición y uso

Los cables coaxiles son un importante medio de comunicaciones muy útiles en aplicaciones especiales para su uso en determinadas redes de comunicaciones.

En particular, se entiende por **cables coaxiles** a:

Los cables construidos con dos conductores concéntricos: uno interno o central por el que se trasladan las señales eléctricas y uno externo, que lo rodea totalmente. Ambos conductores están construidos con cobre electrolítico.

Este tipo de cable ha sido usado, y aún hoy también se lo usa, pero en forma más limitada, en los sistemas de transmisión para el envío de señales de televisión por cable, denominados técnicamente CATV (*Community Antenna Television*, Televisión de Antena Comunitaria).

Formando cables de varios conductores se utilizan en los circuitos de transmisión en redes de telecomunicaciones interurbanas telefónicas.

Este medio fue empleado en las denominadas **Redes de Área Local (LAN)**, aunque su uso ha sido reemplazado por el cable UTP.

Los pares trenzados de conductores de cobre presentan las siguientes características:

- **Menor atenuación por unidad de longitud**, en razón de tener una mayor superficie conductora y por lo tanto presentar un **efecto pelicular** de menor valor.
- Mejor **respuesta en frecuencia**, debido a lo expresado en el párrafo anterior y al blindaje exterior. Por estas razones permite lograr mayores velocidades de transmisión. En cables del tipo de 75Ω se pueden alcanzar velocidades de 50 Mbps en transmisiones digitales o analógicas simples a un kilómetro de distancia.
- Mayor inmunidad al ruido a causa de su blindaje, que confina la energía electromagnética al interior del cable.
- Menor dependencia de sus constantes eléctricas distribuidas.
- Costo elevado.
- Mayor susceptibilidad a variaciones de temperatura que para los cables de pares trenzados.



Cable coaxial
(Gentileza de Siemens Enterprise Communications S.A.)

5.6.2 Detalles constructivos

La Fig. 5.13. ilustra los detalles constructivos de un cable coaxial de un conductor. La malla exterior conductora confina dentro del cable al campo electromagnético generado por la señal, que circula por el conductor interno o central.

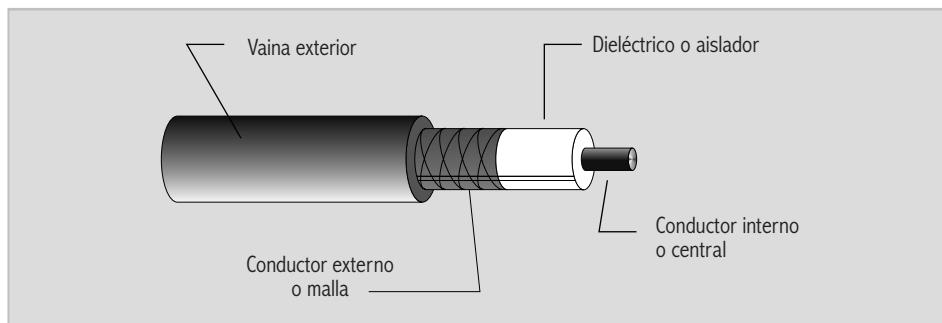


Fig. 5.13. Cable coaxil tipo de un conductor.

La Fig. 5.14. muestra un corte transversal del cable coaxial.

El conductor central está generalmente constituido por un alambre de cobre rojo recocido. El aislamiento puede ser de polietileno compacto o espumoso. El conductor exterior está conformado por una malla trenzada de alambre de cobre rojo recocido.

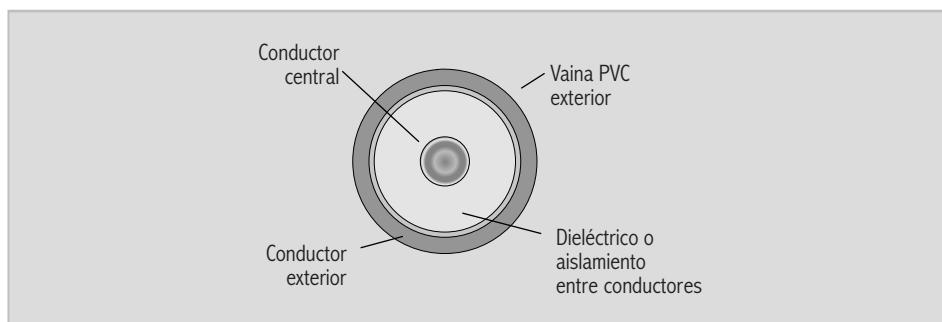


Fig. 5.14. Corte transversal de un cable coaxial.

Finalmente, el cobre tiene una vaina exterior de policloruro de vinilo coloreado, según la aplicación.

En la Fig. 5.15. se muestran las dimensiones del cable coaxial **tipo RG 218/U**.

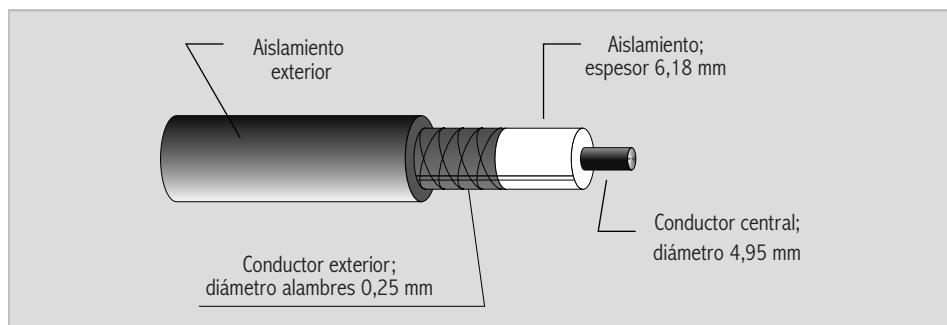


Fig. 5.15. Descripción de un cable coaxial para tipo RG 218/U.

En la Tabla 5-11, se pueden apreciar las especificaciones técnicas que presentan distintos tipos de cables coaxiales de 50Ω .

Tabla 5-11 Características de cables coaxiales de 50 Ohms

Coaxial tipo	Eléctricas					Operativas				
	Impedancia $Z_0 = [\Omega] \pm 2$	Capacidad $C [pF/m]$	Velocidad de Propagación $V_0 = [\%]$	Tensión máxima $U_{\max} = [kV]$	Atenuación a $20^\circ C \alpha = [dB/100m]$					
Rg174 A/U	50	101	66	1,5	12,80	23,0	29,2	39,4	61,0	98,4
RG122 /U	50	101	66	1,9	5,90	14,2	23,0	36,1	56,0	95,2
RG58 C/U	50	101	66	1,9	4,90	12,0	17,0	26,0	38,0	65,0
RG223 /U	50	101	66	1,9	4,30	10,0	14,0	20,0	29,0	45,0
RG223 /U	50	101	66	1,9	3,90	9,5	15,8	23,0	33,0	54,2
RG 213 /U	50	101	66	5,0	2,00	4,9	7,0	10,5	15,5	26,0
RG9 B/U	50	101	66	5,0	2,20	5,4	7,6	11,5	17,5	30,0
RG21 4/U	50	101	66	5,0	2,20	5,4	7,6	10,9	17,0	28,9
RG21 8/U	50	101	66	11,0	0,75	1,8	3,0	4,6	7,0	12,0
RG17 7/U	50	101	66	11,0	0,78	1,8	3,1	4,6	7,9	14,5

5.6.3 Características eléctricas

5.6.3.1 Capacidad e inductancia

La **capacidad** y la **inductancia** por unidad de longitud de estos cables se pueden calcular por medio de las siguientes expresiones:

$$\text{Capacidad} = \frac{24,16 E}{\log \frac{D}{d}} \left[\frac{pF}{m} \right] \quad (5-4)$$

$$\text{Inductancia} = 0,463 \log \frac{D}{d} + 0,522 \cdot 10^{-6} \frac{R}{f} \left[\frac{\mu H}{m} \right] \quad (5-5)$$

Donde:

- E = constante dieléctrica del material aislante.
- D = diámetro del conductor externo.
- d = diámetro del conductor interno.
- pF = picofaradio (subunidad de capacidad).
- m = metro.
- μH = microHenrio (subunidad de inductancia).
- R = resistencia por unidad de longitud [Ohm/m].
- f = frecuencia [Hz].

Nota: Los diámetros de los conductores externo e interno se deben medir en la misma unidad, que puede ser milímetros o pulgadas. Como siempre, al calcular el cociente, cualquiera sea la unidad elegida, se simplifica.

5.6.3.2 Impedancia característica de los cables coaxiles

La **impedancia característica**, como se destacó en el apartado 5.1.2.2, es un parámetro de mucha importancia, en particular en el uso de este tipo de cables.

La misma se puede calcular como la división entre la **tensión** aplicada y la **corriente** absorbida en un cable de longitud infinita. Otra forma de cálculo para este tipo de cables permite obtener el valor de Z_0 en base a su geometría.

Su valor resultará de la relación existente entre el diámetro del **conductor central** y el del **conductor exterior**, interviniendo también en la determinación de su valor la **constante dieléctrica del material aislante** ubicado entre ellos.

$$Z_0 \text{ (Impedanciacaracterística)} = \frac{138}{E} \log \frac{D}{d} [\text{Ohm}] \quad (5-6)$$

Donde:

- E = constante dieléctrica del material aislante.
- D = diámetro del conductor externo.
- d = diámetro del conductor interno.

Los valores nominales usuales de los cables coaxiles son: 50, 75 y 93 Ohm. Sin embargo, puede encontrarse para determinadas aplicaciones otras impedancias características, que pueden variar desde 35 a 180 Ohm.

5.6.3.3 Atenuación

La **atenuación** es la pérdida de potencia a una determinada frecuencia expresada en decibeles por cada kilómetro de cable. La atenuación de estos cables depende de varios factores, entre ellos la temperatura. Su aumento incrementa la resistividad de los conductores.

La expresión (5-4) permite el cálculo de la atenuación A_t para un cable coaxil.

La misma resulta:

$$A_t = 0,01 + 2,3 \sqrt{f} + 0,003 f \left| \frac{\text{dB}}{\text{Km}} \right| \quad (5-7)$$

Donde:

$$A_t = \text{atenuación} \left| \frac{\text{dB}}{\text{Km}} \right|$$

f = frecuencia [MHz].

En la Tabla 5-12, se puede observar cómo los valores de la atenuación crecen con la frecuencia de operación, limitando el alcance en la transmisión de las señales.

Tabla 5-12 Relación entre atenuación y frecuencia de operación

Atenuación dB/km	Frecuencia mphz
0,59	0,06
1,27	0,30
2,32	1,00
8,01	12,00
14,67	60,00
40,7	300,00

Otros factores que afectan la atenuación son la impedancia característica, la relación entre los diámetros de los conductores y la frecuencia de trabajo. En la Fig. 5.14. se describe el comportamiento de la **atenuación en función de la frecuencia** para el cable tipo **RG 218/U**.

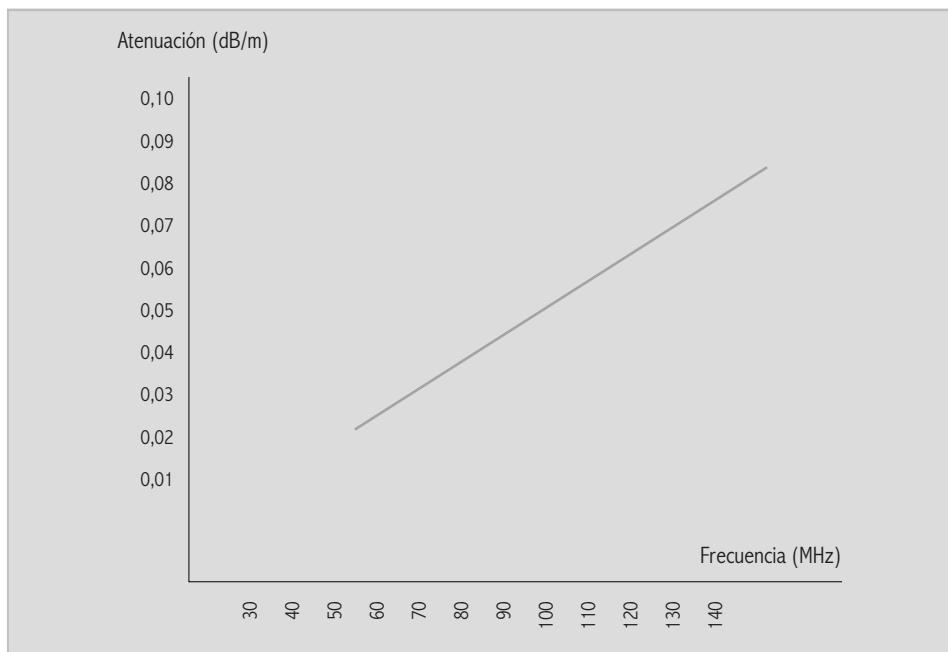


Fig. 5.16. Atenuación en función de la frecuencia para tipo RG 218/U.

5.6.4 Respuesta de los cables coaxiales a la transmisión de señales digitales

Cuando se transmiten pulsos a través de los cables coaxiales se producen distorsiones en la transmisión. Su estudio se efectúa a través del análisis del **tiempo de crecimiento** de cada pulso.

En particular, se denomina **tiempo de crecimiento** (conocido por su expresión *rise time*). de un pulso al:

Intervalo necesario para que este crezca desde un 10 % hasta 90 % del valor máximo que alcanza finalmente el pulso.

Si el cable al que se le aplicara una señal escalón o pulso se comportara como un cable ideal, el **tiempo de crecimiento** debería ser cero y, en consecuencia, no habría distorsión del

pulso. En la Fig. 5.17., se puede observar el **tiempo de crecimiento** o de **elevación** para un cable coaxil del tipo denominado **semiflexible**.

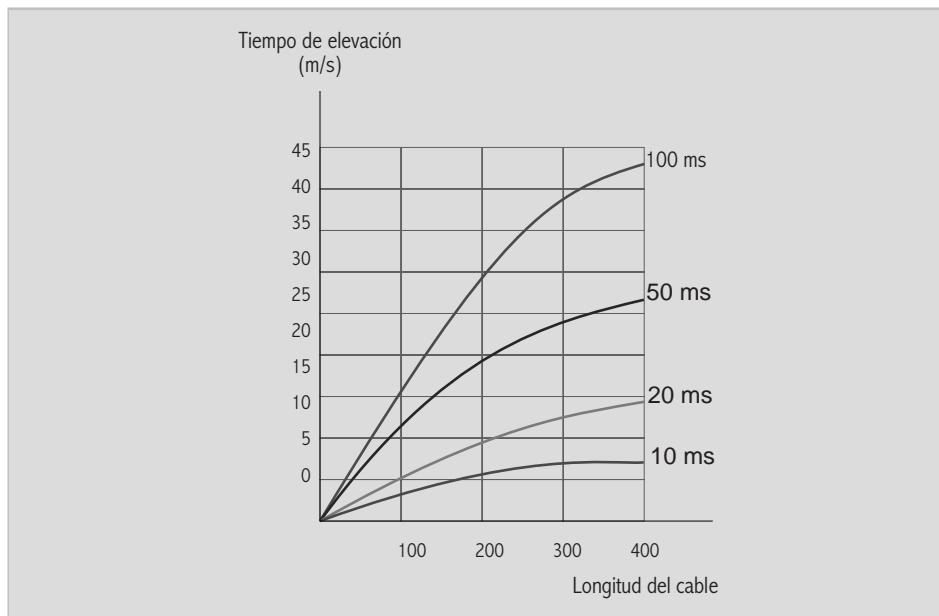


Fig. 5.17. Tiempo de crecimiento típico para un cable coaxial tipo semiflexible.

Por otro lado, en la Fig. 5.18. se muestra la **respuesta típica** en función del tiempo de cables coaxiales cuando por ellos se transmite un pulso.

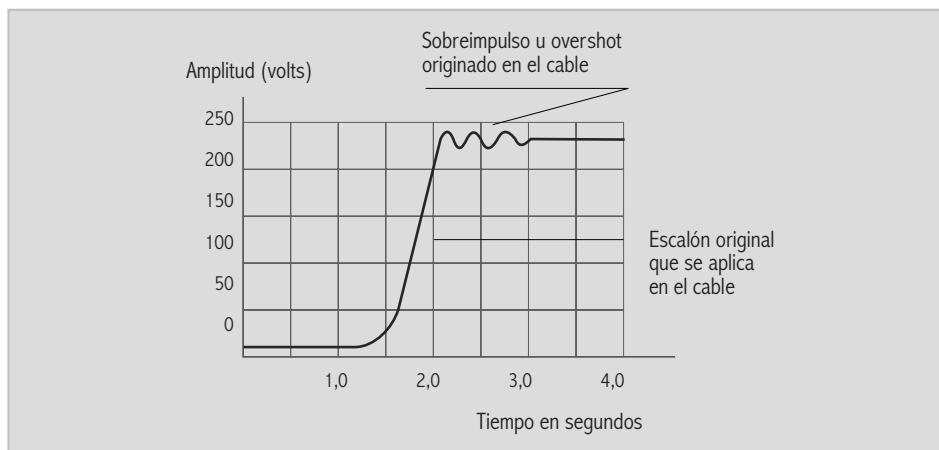


Fig. 5.18. Respuesta típica de un cable coaxial a un pulso.

Cuando se introducen pulsos muy angostos (lo que indica que las velocidades de transmisión son grandes), aparte de la distorsión mostrada en la Fig. 5.16., se generan pequeños ecos detrás del pulso principal. Estos ecos indeseados se originan por el establecimiento de **reflexiones finitas periódicas** dentro del cable.

5.6.5 Velocidad de propagación de las señales

La velocidad de propagación de las señales electromagnéticas en el cable coaxil está determinada principalmente por la **constante dieléctrica del material aislante** que separa al conductor central del conductor exterior.

Esta velocidad se expresa como un **porcentaje de la velocidad de propagación de la luz** en el espacio libre.

Tabla 5-13 Velocidad de propagación en cables coaxiales

Cable coaxial con material dieléctrico	Tiempo de retardo (m seg/Ft)	Velocidad (%)
Polietileno sólido	1,54	65,9
Polietileno espumoso	1,27	80,0
Polietileno y aire	1,15 - 1,21	84 a 88
Teflón sólido	1,46	69,4
Elastipar	1,50	66
Teflón expandido	1,27	85

En la Tabla 5-13, se indican dichos valores para los materiales aislantes más comunes usados en estos cables. Se puede observar cuáles presentan un comportamiento de mejores características. En particular, los que tienen un dieléctrico compuesto por polietileno y aire presentan la mayor velocidad de propagación.

5.6.6 Designación de los cables coaxiles

Los cables coaxiles toman su designación de distintas normas nacionales e internacionales. Sin embargo, la más conocida y comercialmente aceptada es la que rige para la fabricación de los cables coaxiles para las Fuerzas Armadas de los Estados Unidos de Norteamérica.

Esta se conoce como **MIL C -17 E** y define unas siglas para identificar a cada tipo de cable, además de determinar las características físicas y eléctricas que corresponden a cada una de ellas.

Dichas siglas comienzan con las letras **RG**, cuyo significado es **radiofrecuencia/gobierno**, seguidas de un número progresivo para cada tipo de cable y de la letra **U**, cuyo significado implica que se trata de una especificación **universal**. El agregado de una letra delante de la letra **U**, tal como podría ser **A/U**, **B/U**, etc., indica sucesivas modificaciones al tipo originalmente definido.

Para la elección de cada cable coaxil se deben tener en cuenta los siguientes tres parámetros que son impuestos por el circuito al cual tendrá que ser conectado:

- Impedancia característica.
- Frecuencia de trabajo.
- Atenuación máxima.

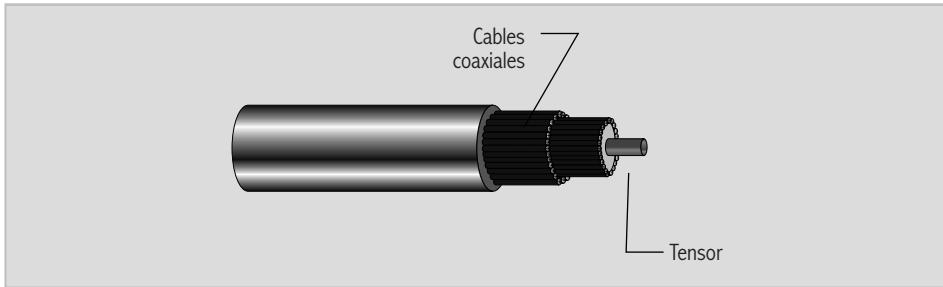
5.6.7 Cables Coaxiles de Varios Conductores

5.6.7.1 Definición y uso

Se entienden por cables de cobre coaxil de varios conductores a:

Los cables compuestos por un número variable de cables coaxiales, que se utilizan para la transmisión de señales de comunicaciones (voz, datos e imágenes). Son generalmente aptos para ser instalados en forma subterránea o aérea y están preparados para soportar condiciones atmosféricas adversas.

En el uso del cable coaxial a distancias importantes, para la transmisión de señales de telecomunicaciones, se emplean cables conformados por conjuntos de varios conductores, según se puede apreciar en la Fig. 5.19.



Los cables compuestos por un número variable de cables coaxiales, que se utilizan para la transmisión de señales de comunicaciones (voz, datos e imágenes). Son generalmente aptos para ser instalados en forma subterránea o aérea y están preparados para soportar condiciones atmosféricas adversas.

Fig. 5.19 Cable de cobre coaxial de varios conductores.

5.6.7.2. Detalles constructivos

En la Fig. 5.19. se puede observar un cable de las características señaladas. En los tendidos subterráneos, en distancias de hasta varios cientos de kilómetros, resulta muy útil el empleo de cables múltiples, pues el costo del tendido es elevado y por lo tanto importa mucho aumentar la capacidad final del cable.

Estos están construidos alrededor de un alma de acero que facilita la instalación, rodeada por varios cables coaxiales que en algunas oportunidades se colocan dentro de tubos que los contienen. Dentro del **mazo** se instalan **cables cuadretones de cobre** para circuitos telefónicos de frecuencia de voz. Se denomina así a cuatro conductores que forman un único cable para uso en telefonía.

En algunos casos estos cables llevan elementos que permiten su presurización y, además, una cubierta exterior de plomo de más de 2 mm de espesor que contiene todo el conjunto.

5.7 Cables de pares trenzados blindados y sin blindar

5.7.1 Conceptos generales sobre el cableado estructurado

La necesidad de establecer redes mixtas que suministren en forma simultánea **voz, datos y energía eléctrica** hasta cada uno de los puestos de trabajo ha dado lugar al tendido de redes denominadas de **cableado estructurado**. Las mismas, convenientemente equipadas con la electrónica adecuada, han permitido que las construcciones así instaladas reciban el nombre de **edificios inteligentes**.

Precisamente, la informática y las telecomunicaciones permiten, en conjunto, utilizar hoy servicios de videoconferencia, consultar bases de datos remotas en línea, transferir en forma instantánea documentos de un computador a otro ubicado a miles de kilómetros, utilizar desde el computador de la oficina el correo electrónico, para mencionar solamente algunos de los servicios de aparición más reciente, que coexisten con otros ya tradicionales, tales como la telefonía, facsímil, etc.

Sin embargo, para poder contar con estas prestaciones desde todos los puestos de trabajo ubicados en un edificio de oficinas se hace necesario disponer, además, del equipamiento adecuado tanto de *hardware* como de *software*, de un sistema especial de cableado.

El concepto de una **red de cableado estructurado** se corresponde con la idea de la instalación simultánea de tres tipos diferentes de redes que lleguen a cada puesto de trabajo:

- Red para la **transmisión de datos**, que permita organizar una **Red de Área Local**;
- Red de cables multipares de cobre que posibilite el funcionamiento de la **Red Telefónica**,
- Red que provea de energía a los equipos informáticos y de comunicaciones entregando, mediante una **Red de Energía Eléctrica**, potencia eléctrica en cada puesto de trabajo y en los lugares en que se deban instalar equipos de comunicaciones.

Para intentar una solución a todas estas consideraciones, que reflejan una problemática mundial, surge un concepto de lo que se ha llamado **cableado estructurado**, entendiendo por tal:

Al sistema de cableado de telecomunicaciones para edificios que presenta entre sus características ser general, es decir, soportar una amplia gama de productos de telecomunicaciones sin necesidad de ser modificado, y tener la posibilidad de reconfigurar dinámicamente la topología de las redes sin efectuar nuevos tendidos de cables hacia los puestos de trabajo.

De esta manera, cada puesto de trabajo tiene las posibilidades de acceder a **servicios informáticos, servicios de telecomunicaciones y provisión de energía** a través de una misma instalación.

Por otra parte, las nuevas tecnologías en uso actualmente, como es el caso de la **Telefonía VoIP**, permiten simplificar aun más la organización de redes de cableado estructurado por cuanto los equipos telefónicos de esa tecnología tienen un comportamiento similar a un **Equipo Terminal de Datos**, en los que la voz se digitaliza en el equipo terminal.

En esos casos, la energía requerida para su funcionamiento se puede suministrar a través de la misma red utilizada para la transmisión de datos utilizando una norma denominada IEEE 802.3af conocida como **PoE (Power over Ethernet)**.

Luego, la incorporación de telefonía VoIP (*Voice over Internet Protocol*) no requiere el uso de cables multipares para la prestación del servicio telefónico y adicionalmente, como se señaló, la misma red de datos permite proveer cierta cantidad de potencia a algunos de los equipos de la red, como es el ejemplo de los teléfonos VoIP ya descriptos.

Utilizando este concepto, resulta posible diseñar el cableado de un edificio con un conocimiento muy escaso de los productos de telecomunicaciones que luego se utilizarán sobre él.

En 1991, dos asociaciones empresariales, la EIA (*Electronics Industries Association*, Asociación de Industriales en Electrónica) y la TIA (*Telecommunications Industries Association*, Asociación de Industriales en Telecomunicaciones), que agrupan a las industrias de electrónica y telecomunicaciones de los Estados Unidos de Norteamérica, dieron a conocer en forma conjunta tres normas que genéricamente son conocidas como los estándares **EIA/TIA 568** (Estándares para el Cableado Estructurado).

Estas normas establecían las pautas a seguir para la ejecución del denominado **cableado estructurado** y los distintos tipos de cables de par trenzados que se deben utilizar para estas instalaciones.

Las mismas se han ido actualizando en forma constante en razón de los cambios tecnológicos y las velocidades máximas que se podían establecer a través de dichas redes. La TIA es la responsable de su confección y redacción. Para tal fin actúa el **Comité TR-42** (*Telecommunications Cabling Systems*, Sistemas de Cables para Telecomunicaciones) de la mencionada organización.

El Comité de Ingeniería TR-42/TIA se encarga de desarrollar y mantener las normas de telecomunicaciones orientadas a implementar los sistemas de cableado de telecomunicaciones en distintos tipos de edificios, tales como comerciales para oficinas o viviendas, hogares, centros de datos, edificios industriales y otros similares.

El trabajo de este comité especifica las distintas topologías de cableado, el diseño, las distancias y las configuraciones de salida, así como otros detalles constructivos. Abarca, además, los requisitos que debe cumplir el cableado de cobre y/o de fibra óptica y sus componentes (tales como cables, conectores y conectores de cables), la instalación y las pruebas de campo, así como la administración, el recorrido de las distintas vías utilizadas y los materiales y formas requeridos para apoyar el cableado.

Las nuevas normas han pasado a ser de tres a cuatro. Una versión anterior, la denominada TIA-568-B1 y sus modificaciones, fueron desdobladas en las TIA-568-C0 y en la TIA-568-C1. Por lo tanto, las normas que conforman este conjunto regulatorio son las siguientes:

- TIA-568-C0: Generic Structured Cabling. 2008.
- TIA-568-C1: Commercial Building Telecommunications Cabling Standards - Part 1 General Requirements. 2009.
- TIA-568-C2: Balanced Twisted-Pair Telecommunications Cabling and Components Standards. 2010.
- TIA-568-C3: Optical Fiber Cabling Components Standard. 2008.

Ellas garantizan que los sistemas soportarán todas las aplicaciones de telecomunicaciones presentes y futuras por un lapso de al menos diez años.

En lo que respecta a los cables y fibras ópticas que deben ser usados en las instalaciones de cableado estructurado, dichas normas establecen con todo detalle las características de los cables y fibras, así como los componentes necesarios para la construcción de este tipo de redes de acuerdo a la categoría a la que se desea construirlas.

Sus categorías van de la 1 a la 7, con esta última aún en proceso de normalización. Fundamentalmente, cada categoría está vinculada a la velocidad máxima de transmisión que es posible obtener en las Redes de Área Local y que se puede establecer a través de los distintos cableados estructurados definidos.

Además de la **Telecommunications Industry Association**, también la **International Organization for Standardization - ISO** (Organización Internacional para la estandarización) ha desarrollado estándares para cableado estructurado.

Las normas ISO son de uso más común en el mercado internacional ubicado fuera de los Estados Unidos, en especial en Europa.

En dicho continente se cuenta, además, con el **CENELEC** (*Comité Européen de Normalisation Électrotechnique*, Comité Europeo de Normalización Electrotécnica) que también desarrolla y elabora especificaciones de uso local. Este último grupo de diseño de estándares, que se ocupa de todo lo que hace al cableado estructurado, trabaja activamente con los técnicos de la ISO y en armonía con los requisitos tanto de la TIA como de la ISO.

Las normas ISO actualmente relacionadas con este tipo de cables son las siguientes:

- ISO 11801. *Information Technology. Generic Cabling for Customer Premises.* Segunda Edición. 2002.
- ISO 11801. Enmienda 1. *Information Technology. Generic Cabling for Customer Premises.* Segunda Edición. 2008.



Cable UTP y STP
(Gentileza de Siemens Enterprise Communications S.A.)

5.7.2 Características Generales de los Cables UTP y STP

Los cables denominados comúnmente **UTP** (*Unshielded Twisted Pair*, Par trenzado sin apantallar) o **STP** (*Shielded Twisted Pair*, Par trenzado apantallado) son clasificados en siete categorías, usando en las normas TIA la denominación numérica del 1 al 7.

La diferencia entre el cable **UTP** con el denominado **STP** es que este último, si bien es similar al anterior, tiene una cubierta protectora y además una lámina externa de aluminio o de cobre trenzado alrededor del conjunto de pares, diseñada para reducir la absorción del ruido eléctrico. Este cable es más difícil de instalar que el UTP, aunque actualmente sus costos son semejantes.

Tabla 5-14 Cables de par trenzados UTP y STP

UTP - Sin apantallar → Unshielded Twisted Pair

STP - Apantallado → Shielded Twisted Pair

Cuatro pares trenzados - ocho cables

STP = Cables de cobre aislados dentro de una cubierta protectora

UTP = Cables de cobre aislados dentro de una cubierta

La Tabla 5 – 14 describe las características básicas de ambos tipos de cables y la Fig. 5.20. muestra las secciones de los cables UTP y STP.

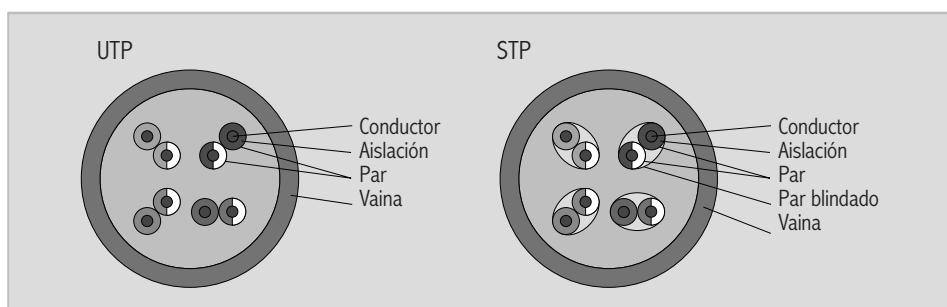


Fig. 5.20. Sistema de comunicaciones de datos(equipo transceptor : transmisor + receptor).

A su vez, dentro de cada categoría existe una clase especial de cables que tienen características de calidad diferente en cuanto a su aislación exterior. Estos se conocen con el nombre de **plenum** pues están construidos para que en caso de fuego produzcan una llama pequeña con mínimo humo.



Conejero RJ45
(Gentileza de Siemens Enterprise Communications S.A.)

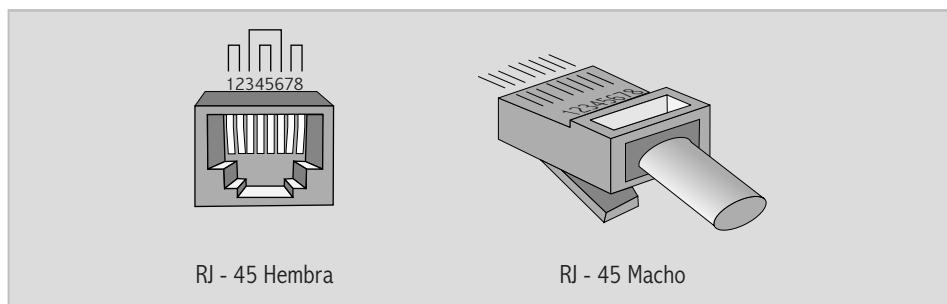


Fig. 5.21. Vista de un conductor RJ Macho y Hembra.

Estos conectores permiten conectar este tipo de cables a los equipos terminales. La Fig. 5.22. muestra las dos formas posibles de conexión al conector denominadas 568A y 568B.

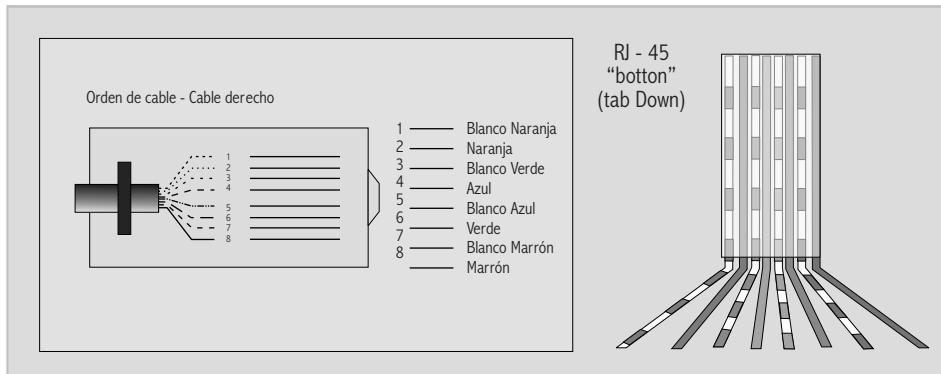


Fig. 5.22. Orden de Conexión de un Cable UTP utilizando un Conector RJ - 45.

5.7.3 Características particulares de los cables UTP y STP

5.7.3.1 Aspectos generales

Como se señaló en el apartado 5.7.1, las especificaciones técnicas utilizadas para clasificar y describir estos cables y sus componentes han sido normalizadas por la TIA y por la ISO. Si bien estos requisitos son muy similares en ambas organizaciones para diversos grados de cableado, la terminología que usa cada una de ellas difiere ligeramente y ello provoca muchas veces confusión.

En las normas TIA, tanto en los cables como en los componentes del cableado, hardware de conexión y cables de conexión, el rendimiento se caracteriza por categoría, y en el caso de las normas ISO el mismo se divide en **clases** y sus componentes por **categorías**.

5.7.3.2 Cables de las categorías 1 a 4

Este tipo de cables está actualmente en desuso. Sin embargo, a modo de referencia sus características principales son las siguientes:

- **UTP - Categoría 1:**

Este cable fue utilizado exclusivamente en telefonía analógica y no es apto para la transmisión de datos.

Está compuesto por un solo par de cables de cobre trenzados.

- **UTP - Categoría 2:**

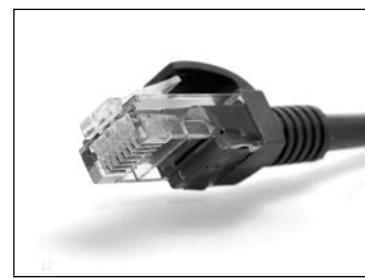
Estos cables fueron usados en telefonía analógica y digital, aceptando velocidades binarias de hasta 4 Mbps.

Están compuestos por cuatro pares de cables de cobre trenzados.

- **UTP - Categoría 3:**

Estos cables fueron usados para voz y datos hasta 10 Mbps de velocidad binaria. Permite la instalación de **Redes de Área Local** con tecnologías **Token Ring** de 4 Mbps o **Ethernet**.

Está compuesto por cuatro pares de cables de cobre trenzados, con una trenza cada diez centímetros. Posee una atenuación cada 100 m, de **13,1 dB a 10 Mbps**.



Cable UTP con terminal RJ45
(Gentileza de Siemens Enterprise Communications S.A.)

- **UTP - Categoría 4.**

Estos cables fueron usados para telefonía digital.

Permiten velocidades binarias de hasta 20 Mbps y la instalación de **Redes de Área Local** con tecnologías **Token Ring** de 16 Mbps o **Ethernet**. Están compuestos por cuatro pares de cables de cobre trenzados.

5.7.3.3 Cables para uso en velocidades de 100 Mbps o mayores

Los estándares de cables y los componentes que son necesarios para organizar redes con anchos de banda de 100 MHz o mayores están descriptos en la Tabla 5-15.

Tabla 5-15 Estándares para redes de ancho de banda de 100 Mhz

Ancho de Banda [Mhz]	Normas TIA		Normas ISO	
	Cables	Componentes	Cables	Componentes
100	Categoría 5/5e	Categoría 5/5e	Clase D	Categoría 5/5e
250	Categoría 6	Categoría 6	Clase E	Categoría 6
500	Categoría 6A	Categoría 6A	Clase E A	Categoría 6A
600	Categoría 7	Categoría 7	Clase F	Categoría 7
1000	Categoría 7A	Categoría 7A	Clase F A	Categoría 7A

5.7.3.4 Características de cada norma

Las características de cada una de las normas actualmente en uso son las siguientes:

- **UTP - Categoría 5 y 5e/Clase D.**

Este cable Categoría 5 es usado para la transmisión de voz y datos en **Redes de Área Local 100BASE - T**, que trabajan en velocidades binarias de hasta 100 Mbps. Pueden ser usados tanto con las tecnologías **Token Ring** o **Ethernet**.

Está compuesto por cuatro pares de cables de cobre trenzados. Posee una atenuación cada 100 m, de **8,2 dB a 16 Mbps** y de **22,0 dB a 100 Mbps**.

En el 2000 se publicó por primera vez una nueva versión de este estándar que se denominó Categoría 5e/Clase D. Esta nueva versión tenía por objeto ser utilizada en redes del tipo 1000BASE-T que trabajan con tráfico bidireccional.

En esta categoría se ajustaron varios parámetros para certificar esta variante de cable que obligaron a la industria a mejorar aspectos relacionados a la construcción de los mismos. Estos parámetros están referidos a:

- El valor total y máximo permitido de la potencia presente en las señales generadas por diafonía cuando los cuatro pares están energizados denominada *power sum*.
- Las pérdidas generadas por el retorno de las señales reflejadas a lo largo de la línea de transmisión (*return loss*). Estas pérdidas están a su vez relacionadas con los desajustes que están presentes a través de un canal de cable cuando hay un desacoplamiento producido por falta de adaptación de las impedancias.
- Pérdidas por diafonía NEXT (*Near End Crosstalk Loss*). Cuantifica las pérdidas no deseadas por acoplamientos de la señal de pares adyacentes en el extremo final de la transmisión.
- Porcentaje de pérdida por atenuación por diafonía en un extremo **ACRF** (*Attenuation to Crosstalk Ratio, Far-End*, también conocido como *ELEFXT, Equal Level Far-End Crosstalk*). Cuantifica la pérdida por acoplamiento de la señal entre pares adyacentes en un cableado o en un componente en el extremo opuesto al de la transmisión. Cuando el valor de este tipo de pérdidas es alto, aumentará la tasa de error y del número de tramas que no pueden ser entregadas correctamente.

Todos estos parámetros deben cumplir valores predeterminados que caracterizan a esta categoría de cables para asegurar una total compatibilidad con las aplicaciones que utilizan los cuatro pares para transmitir y recibir señales simultáneamente, como es el caso de las redes de área Local 1000BASE-T (ver apartado 9.19.3).

- **UTP - Categoría 6 y 6A/Clase E y E_A**

Este tipo de cable es usado para voz y datos hasta *1.000 Mbps* de velocidad binaria.

Permite la instalación de **Redes de Área Local** con tecnología **Ethernet**.

Actualmente, la mayoría de los proyectos de cableado estructurado que son especificados para nuevos emprendimientos se construyen con cable de esta categoría, dado su óptimo rendimiento y su adecuada relación de precio-calidad. Estas dos condiciones aseguran un muy buen retorno de la inversión.

A *200 MHz* esta clase duplica el valor de la relación señal/ruido, obteniéndose por lo tanto un rendimiento seguro en las redes 1000BASE-T.

Por otra parte, aunque este tipo de cable se desarrolló pensando en redes 100BASE-T y aplicaciones 1000BASE-T, en algunos casos también ha permitido el uso de redes 10GBASE-T.

Al respecto, cabe señalar que la capacidad de las redes 10GBASE-T para procesar señales digitales es muy sensible al acoplamiento de señales de elementos cercanos al cableado. Este tipo de diafonía se conoce como **alien crosstalk**. La misma es extremadamente dependiente de las prácticas de instalación del cable.

Luego, el uso de cable de esta categoría en redes 10GBASE-T requiere mucha prolijidad en el despliegue del cable y de los elementos utilizados en la instalación, así como evitar sobrepasar longitudes que excedan de los *50 m* de cableado UTP.

Sin embargo, debe dejarse aclarado que el cable Categoría 6/Clase E no es recomendable para instalaciones nuevas y que correrán aplicaciones específicas que requieren una red 10GBASE-T.

Los cables de la categoría 6A/Clase E_A permiten extender la frecuencia de operación hasta los *500 MHz* y aseguran una adecuada operación en las redes 10GBASE-T, solucionando el problema de la diafonía **alien crosstalk** y permitiendo extender la distancia de los tramos de cableado hasta *100 m*, utilizando hasta cuatro conectores.

Esta categoría de cables UTP, cuando se utiliza en redes 10GBASE-T, proporciona el máximo retorno de la inversión cuando los cálculos se realizan pensando en un ciclo de vida de no inferior a 10 años.

En la actualidad, se recomienda usar cable **UTP - Categoría 6**, incluso en las redes **100BASE - T** a *100 Mbps*, en razón de que la diferencia de precios es mínima y que este es el nuevo estándar de cable de facto mínimo en redes de área local.

- **Categoría 7 y 7A/Clase F y F_A**

Los cableados de Categoría 7 y 7A/Clase F y F_A ofrecen un valor mínimo de atenuación/diafonía a la interferencia, el primero en valores de *600 MHz* y el segundo en los *1.000 MHz*. Debido a su construcción blindada brinda una excelente **compatibilidad electromagnética – EMC** (*Electromagnetic compatibility*). Una compatibilidad electromagnética adecuada permite eliminar o disminuir los efectos de la diafonía y el acoplamiento entre elementos eléctricos o electrónicos.

Por el momento no hay evidencias significativas de que la industria del cable y los desarrolladores de aplicaciones estén interesados en fabricar y adoptar cables blindados.

Estos tienen problemas prácticos en su instalación y, por otra parte, a altas velocidades es más práctico y económico el uso de la fibra óptica.

5.7.3.5 Parámetros más representativos de cada categoría o clase

La Tabla 5-16 describe los parámetros más representativos de cada categoría o clase de cables.

Tabla 5-16 - Parámetros de cables medidos a una frecuencia de 100 MHz.

Parámetros	Categoría - Clases				
	5e / D	6 / E	6A / EA	7 / F	7A / FA
Frecuencia [MHz]	1 - 100	1 - 250	1 - 500	1 - 600	1 - 1000
Atenuación [dB] (1)	24	21,3 / 21,7	20,9	20,8	20,3
Pérdida NEXT [dB] (2)	30,1	39,9	39,9	62,9	65
Pérdida ACRF [dB] (2)	17,4	23,3	23,3 / 25,5	44,4	47,4
Pérdida Retorno [dB] (2)	10	12	12	12	12
Delay de propagación [ns]	548	548	548	548	548

5.8 Cables submarinos de cobre

5.8.1 Definición y uso

Se entienden por cables de cobre coaxiales submarinos de cobre a:

Los cables compuestos por un número variable de coaxiales, que se utilizan para la transmisión de señales de comunicaciones (voz, datos e imágenes) y son aptos para ser instalados bajo la superficie del mar, preparados para estar en servicio por períodos suficientemente largos de tiempo.

Los cables coaxiales submarinos permitieron, en la década de los años 60, contar con enlaces intercontinentales de media capacidad a costos razonables. Si bien actualmente los mismos son obsoletos y no se instalan por haber sido reemplazados por la **fibra óptica**, aún algunos se encuentran en servicio.

Los mismos se reemplazaron a medida que quedaban fuera de servicio, su costo de mantenimiento y operación los convertía en inefficientes o se necesitaban anchos de banda mucho mayores que requerían un mayor número de canales de voz y datos.

5.8.2 Breve reseña histórica

Como se describió en el apartado 1.1, entre los años 1832 y 1836, Morse se dedicó a desarrollar el telégrafo eléctrico, al que **Horacio Reggini** llama **Los Caminos de la Palabra**.

En 1844, este servicio de comunicaciones empezó a funcionar entre las ciudades de Washington y Baltimore, y a partir de allí comenzó a desarrollarse muy rápidamente.

La importancia comercial, política y militar del servicio telegráfico, inicialmente construido con medios alámbricos sobre el continente, llevó en 1850 a dos hermanos, John y Jacob Brett, a construir un cable submarino buscando conectar Inglaterra con el continente europeo

Este primer intento consistió en un cable de cobre aislado con una goma que se extrae del árbol Palaquium llamada gutapercha, que fue tendido utilizando un pequeño remolcador denominado Goliath entre las ciudades de Cape Southerland (Dover) en Inglaterra y Cap Gris-Nez (Calais) en Francia. El recorrido del cable tuvo una ubicación similar al actual Eurotunnel que cruza el canal de la Mancha uniendo Inglaterra con Francia. Este primer cable duró solo unos pocos días, pues fue cortado por un pescador. A partir de esa fecha fueron tendidos cables submarinos en muchas direcciones.

Posteriormente, **Cyrus West Field** se impuso el gran desafío de unir dos continentes: Europa y América. Este empresario de espíritu inquieto fue el primero que intentó y promovió tender un cable telegráfico transatlántico. Para ello, obtuvo el financiamiento necesario y en 1865 comenzó un trabajo que estuvo plagado de problemas desde el principio, a causa de que la tecnología de la época no estaba suficientemente desarrollada por un proyecto de esta magnitud.

Luego de varios fracasos, y utilizando un barco con casco de acero, el SS Great Eastern que utilizaba una tecnología más avanzada, el 27 de julio de 1866 se produjo el comienzo de la gran epopeya de los cables submarinos cuando fue unido el continente europeo con el americano.

A partir de allí, comienza toda una serie de enlaces submarinos con tecnologías que se fueron perfeccionando hasta llegar a los actuales cables construidos con fibras ópticas.

5.8.3 Detalles constructivos

Luego de la época de los cables submarinos de cobre, rápidamente se pasó a utilizar como medio constitutivo los cables coaxiales, dado su mucho mayor ancho de banda.

Los cables coaxiales submarinos son de diseño muy similar al de los cables coaxiales de varios conductores que se utilizan para tendidos terrestres, aunque tienen mucha mayor calidad y aislación.

Este tipo de conductores se ha construido para que tengan una vida útil del orden de los veinticinco años con no más de dos fallas durante ese tiempo de operación.

5.9 Radiocomunicaciones

5.9.1 Definición y uso

Se entiende por radiocomunicaciones a:

Las técnicas que permiten el intercambio de información entre dos puntos geográficos distantes, mediante la transmisión y recepción de ondas electromagnéticas que utilizan el aire o el vacío como dieléctrico.

Estas ondas se propagan a la velocidad de la luz, aproximadamente 300.000 km/s, debido a su comportamiento ondulatorio.

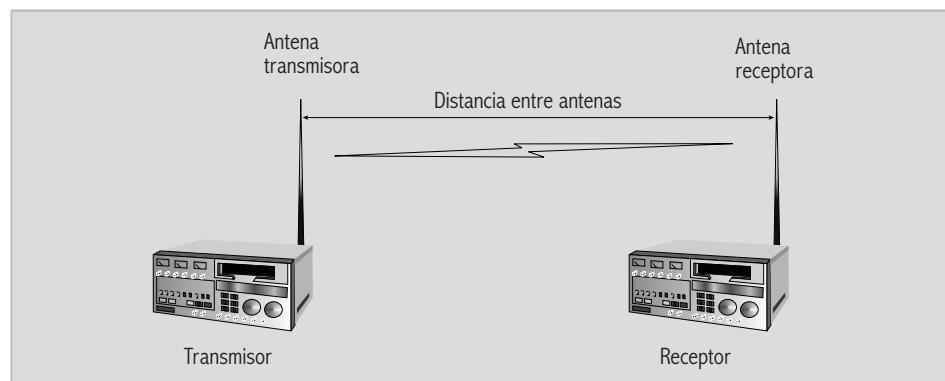
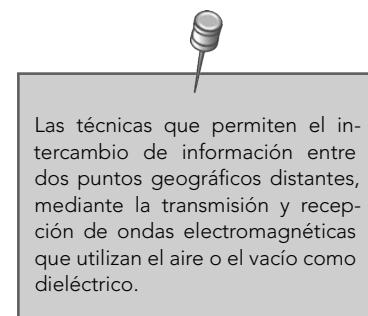


Fig. 5.23. Sistema de radiocomunicaciones modo simple.

En la Fig. 5.23., se puede observar el sistema conformado por un transmisor, que entrega su potencia de salida a una antena transmisora. A una cierta distancia se encuentra la antena receptora que recibe dicha señal, para su posterior derivación a un equipo que la procesa para extraer la inteligencia transmitida.

Entre las antenas transmisora y receptora se produce la transmisión de las señales mediante la propagación de ondas electromagnéticas. Estas utilizan como medio para su propagación el aire o el vacío, es decir, medios dieléctricos.

La existencia de ondas electromagnéticas producidas por una corriente eléctrica oscilante de frecuencia alta fue descubierta por primera vez por **Heinrich Hertz** en 1888. Estas ondas transmitidas por medio de energía electromagnética son conocidas precisamente en honor a su descubridor como **ondas hertzianas u ondas de radio**.

Los sistemas de radiocomunicaciones considerados dentro de este tipo de servicios son aquellos que están comprendidos dentro del intervalo de frecuencias comprendidas entre los *30 kHz* a *300 GHz*. Dentro de este intervalo están considerados también los servicios de microondas y las comunicaciones satelitales. Para frecuencias menores a *30 kHz* en algunas oportunidades se asignan algunas frecuencias para usos especiales, pero son casos aislados.

La propagación en cada una de las frecuencias del intervalo utilizado por los sistemas de radiocomunicaciones tiene características diferentes. El uso que se le asigna a los distintos intervalos de frecuencia en los que se divide el espectro utilizado para este tipo de servicio está directamente relacionado con el comportamiento de las ondas electromagnéticas en lo que hace a su propagación.

Cada frecuencia de operación está relacionada con el alcance de las señales, y dicho alcance con la forma en que se propagan las ondas. De allí los distintos usos asignados a las distintas bandas de frecuencia. Algunos ejemplos de ellos se pueden apreciar en la Tabla 5-17.

Tabla 5-17 Bandas de frecuencias empleadas en las radiocomunicaciones y servicios que se prestan a través de ellas

Nombre	Abreviatura ITU	Intervalo de frecuencias	Longitud de Onda	Servicios
Baja frecuencia <i>Low Frequency</i>	LF	30 - 30 kHz	10 - 1 km	Móvil marítimo Radionavegación Radio faros
Media frecuencia <i>Medium Frequency</i>	MF	300 - 3000 kHz	1 km - 100 m	Radiodifusión
Alta frecuencia <i>High Frequency</i>	HF	3 - 30 MHz	100 - 10 m	Radioaficionados Comunicaciones Onda corta
Muy alta frecuencia <i>Very High Frequency</i>	VHF	30 - 300 MHz	10 - 1 m	TV - Radio FM Radio llamadas Radioaficionados
Ultra alta frecuencia <i>Ultra High Frequency</i>	UHF	300 - 3000 MHz	1 m - 100 mm	Microondas Comunicaciones móviles TV
Súper alta frecuencia <i>Super High Frequency</i>	SHF	3 - 30 GHz	100 - 10 mm	Microondas Satélites
Extra alta frecuencia <i>Extremely High Frequency</i>	EHF	30 . 300 Ghz	10 - 1 mm	Satélites Radionavegación Radionavegación Satelital

Como regla general puede decirse que a medida que la frecuencia de la señal aumenta (y consecuentemente la longitud de onda disminuye), este tipo de ondas tiende a comportarse en forma similar a la forma en que se propagan las señales luminosas. A muy altas frecuencias, estas buscan una trayectoria rectilínea entre las antenas transmisora y receptora.

La asignación de intervalos de frecuencias del espectro en las distintas bandas para cada servicio está regulado en su mayor parte por la Unión Internacional de Comunicaciones – UIT, que procede a distribuirlo en función de las aplicaciones más convenientes a cada frecuencia.

Sin embargo, cada país tiene el poder de policía en muchas partes del espectro. En esos casos las asignaciones de frecuencias para distintos usos es en la mayoría de los casos a título oneroso.

5.9.2 Características de las ondas de radio

Cuando se aplica una señal de una determinada potencia de radiofrecuencia a una antena, los electrones contenidos en el metal comienzan instantáneamente a oscilar. Estos electrones generan una corriente eléctrica que a su vez produce un campo magnético concéntrico al conductor (antena).

Los campos eléctricos y magnéticos resultantes varían en forma y valor siguiendo paso a paso las variaciones de la señal que les da origen, generando una onda electromagnética que comienza a propagarse a partir de ella.

La velocidad de las ondas de radio que viajan en el vacío es igual a la velocidad de la luz, es decir, aproximadamente 300.000 km/s . En el aire la velocidad es aproximadamente la misma.

La relación entre la **longitud de onda** y la **frecuencia** está expresada por la expresión (5-19), es decir:

$$c = \lambda f \quad (5-8)$$

Donde:

c = Velocidad de la luz.

λ = Longitud de onda.

= Frecuencia de la señal.

Ejemplo 5-2:

Calcular la longitud de onda de una estación comercial de radio de frecuencia modulada que trabaja a $100,3 \text{ MHz}$.

Despejando la longitud de onda de la expresión (5-8), tendremos:

$$\lambda = \frac{c}{f}$$

Expresemos los valores de la velocidad de luz y de la frecuencia en m/s y en Hz . Luego resultarán:

$$c = 300.000 \left[\frac{\text{km}}{\text{seg}} \right] = 3 \times 10^8 \left[\frac{\text{m}}{\text{seg}} \right]$$

$$f = 100,3 \text{ MHz} = 1,003 \times 10^6 \left[\frac{1}{\text{seg}} \right]$$

Luego, reemplazando valores, resultará:



Equipo de radiocomunicaciones Fijo
(Gentileza de Motorola Solutions.)

$$\lambda = \frac{3 \times 10^8 \left[\frac{m}{seg} \right]}{1,003 \times 10^6 \left[\frac{1}{seg} \right]}$$

Operando y simplificando valores numéricos y unidades, obtendremos que:

$$\lambda = 2,99 \text{ m}$$

Como se expresó, la relación anterior permite determinar la longitud de una onda cualquiera cuando se conoce su frecuencia y viceversa.

El conocimiento de la longitud de ondas es un parámetro importantísimo dado que las dimensiones finales de las antenas están directamente relacionadas con la **longitud de onda**, que corresponde a la frecuencia de emisión del transmisor.

5.9.3 Propagación de las Ondas de Radio

5.9.3.1 Definición y conceptos generales


La propagación es el conjunto de fenómenos por el cual las ondas electromagnéticas producidas por los equipos de radiocomunicaciones permiten enlazar puntos geográficos distantes a través de diferentes medios dieléctricos.

Las comunicaciones entre dos equipos a través de ondas electromagnéticas se producen debido a un proceso denominado **propagación**.

Por lo tanto, definiremos como propagación:

Al conjunto de fenómenos por el cual las ondas electromagnéticas producidas por los equipos de radiocomunicaciones permiten enlazar puntos geográficos distantes a través de diferentes medios dieléctricos.

La propagación de las ondas dependerá de las distintas zonas geográficas por las que se transmiten. No es lo mismo que las distancias por cubrir tengan un camino que pase sobre la superficie del mar o sobre una zona desértica.

En ciertos entornos, tales como elevaciones, edificios elevados en ciudades o montañas, se pueden provocar reflexiones. Así, también, trayectorias cubiertas por importantes arboledas originan atenuaciones por absorción de las ondas electromagnéticas emitidas. Finalmente, también se pueden mencionar los efectos de los fenómenos atmosféricos, tales como lluvias intensas, nieve, altas temperaturas, etc., que pueden alterar y generar mecanismos que dificulten el alcance de las señales.

También es muy importante la consideración de la longitud de onda de las señales. Los mecanismos de propagación de una onda en el espectro de las ondas medias pueden ser muy diferentes de los que se dan en las ondas ultracortas. Por ello, cada caso requiere consideraciones particulares.

Las ondas de radio, como se expresó, se propagan básicamente en función a su frecuencia de emisión. Se pueden propagar de acuerdo a los siguientes modos:

- Propagación por onda terrestre.
- Propagación por onda reflejada espacial o ionosférica.
- Propagación por onda directa.

En muchos casos, puede existir una combinación de estas variantes. Por ejemplo, si la curvatura de la tierra impide la visión directa de las antenas de las estaciones transmisora y receptora por su distancia de separación, la comunicación en determinadas frecuencias es posible mediante la propagación simultánea por **onda de superficie**, la **espacial** y la **reflejada en la Tierra**. En esos casos, su combinación suele denominarse **onda terrestre**.

Analicemos brevemente la propagación en las bandas de frecuencias medias, altas y muy altas. A frecuencias medias predomina la propagación por onda terrestre; en ondas cortas, la propagación ionosférica y a frecuencias muy altas y de frecuencias mayores, la propagación por onda directa. Precisamente, cuando las frecuencias son muy grandes, la única manera de poder efectuar la comunicación sería posible si las antenas transmisora y receptora pudieran verse, entendiendo por tal que una línea recta las pudea unir.

Finalmente, debemos señalar que cuanto más elevadas son las frecuencias de un enlace, los obstáculos que se puedan interponer entre estas afectarán más la comunicación.

5.9.3.2 Propagación por onda terrestre

Este tipo de propagación es una combinación de la propagación por **onda de superficie** y por **onda espacial**.

A su vez, la **onda espacial** está compuesta por dos componentes: una que se propaga por **onda directa** (o transmisión por línea de vista) y otra por **onda reflejada en la superficie de la Tierra**.

Como ambas parten en forma simultánea de la antena transmisora, producen que el rayo que se refleja en la tierra llegue a la antena receptora con cierto retraso por recorrer una mayor distancia. Esta diferencia entre la distancia recorrida por uno y por el otro determina la intensidad de la señal en el receptor. La misma está condicionada por un fenómeno que se denomina **interferencia de ondas**.

Las ondas de superficie se propagan en forma adyacente a la tierra, siguiendo su curvatura por un proceso de difracción. Las mismas mantienen un contacto permanente con la tierra desde la antena transmisora hasta la receptora. Es por ello que cuando se utiliza este tipo de propagación, la antena transmisora, y si es posible la receptora, deben tener una sólida conexión a tierra. Esta se logra instalando cables de cobre desnudos bajo tierra conectados a la antena.

Cuando la distancia es grande (del orden del horizonte radioeléctrico), el ángulo de incidencia del rayo reflejado tiende a cero y ocurre que los rayos directos y reflejados se cancelan entre sí.

La propagación por **onda terrestre** es utilizada fundamentalmente en las bandas de LF (*low frequency*) y MF (*medium frequency*), y en algunos casos también en HF (*high frequency*), es decir, entre 30 kHz y 30 MHz. Su aplicación más conocida son las señales de las estaciones de radio comerciales de onda media que trabajan en frecuencias comprendidas entre 550 y 1.750 kHz. En ese orden de frecuencias este tipo de propagación es especialmente efectivo.

A estas frecuencias, normalmente las antenas no tienen visión directa. El campo responsable de la comunicación es el radiado por la antena en presencia de la tierra.

La Fig. 5.24. muestra las distintas ondas que componen la propagación por onda terrestre.



Equipo de radiocomunicaciones móvil (Gentileza de Motorola Solutions)

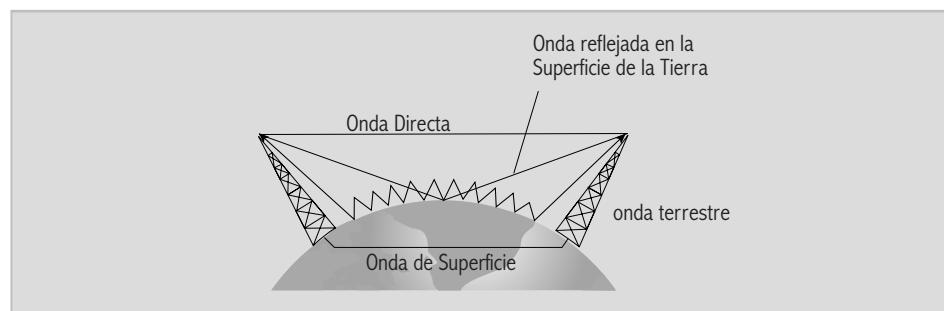


Fig. 5.24. Propagación por onda terrestre.

Además, como las dimensiones de las antenas a utilizar son proporcionales a la longitud de onda de la señal a transmitir, el caso de las frecuencias comprendidas en las bandas de LF y MF obliga a emplear antenas de dimensiones importantes.

Ellas están construidas a partir de mástiles radiantes verticales que permiten obtener un diagrama de radiación adecuado. Los mástiles de ese tipo permiten que la antena transmisora transmita con polarización vertical. La onda de superficie solamente presenta alcances útiles ya que todo componente horizontal es rápidamente absorbido por el suelo. En estas condiciones, la antena radia energía en la mayoría de los casos en forma omnidireccional, es decir, en todas las direcciones. Por otra parte, debido a su condición vertical y a su altura, parte de esta energía incide en la superficie de la Tierra con un ángulo tal que le permite reflejarse.

Por otra parte, la propagación por **onda espacial** exclusivamente resulta apta a corta distancia en la banda de HF, y es el modo fundamental de propagación en las frecuencias superiores a los *30 MHz*.

Ejemplo 5-3:

Se desea construir un mástil vertical que funcione a un cuarto de longitud de onda para una estación comercial de AM que opera en la frecuencia de *1.090 kHz*. ¿Cuál debe ser la altura del mismo?

$$\frac{\lambda}{4} = \frac{c}{4 \times f}$$

Reemplazando valores, resultará:

$$\frac{\lambda}{4} = \frac{3 \times 10^8 \left[\frac{m}{seg} \right]}{4 \times 1,090 \times 10^6 \left[\frac{1}{seg} \right]}$$

Operando y simplificando valores numéricos y unidades, obtendremos que:

$$\frac{\lambda}{4} = 68,81 m$$



Oliver Heaviside (1850 - 1925). Fue físico, ingeniero y matemático. En 1902, al estudiar la propagación de las ondas en las comunicaciones telegráficas de larga distancia, formuló la existencia de la ionósfera. Este descubrimiento fue simultáneo, pero independiente del propuesto por Kennely. De allí que la capa conocida como capa E haya tomado el nombre de Kennely-Heaviside.

A una determinada distancia a contar desde la antena transmisora, la amplitud de la onda terrestre va continuamente disminuyendo hasta que su intensidad se anula. Esta distancia depende de varios factores. Entre otros, influyen: la frecuencia, la potencia emitida por la antena transmisora, el terreno sobre el cual se propaga la señal y la hora del día.

Cuando se transmite con frecuencias elevadas (como pueden ser las bandas de VHF, UHF y aun mayores), al disminuir la longitud de onda de la señal, las corrientes inducidas en el terreno debilitan tanto la onda de superficie que la pérdida total de energía provoca que la onda se atenúa muy rápidamente.

Es por ello que este tipo de propagación es especialmente apta y por lo tanto utilizada en las frecuencias bajas y medias y parcialmente en las frecuencias altas.

5.9.3.3 Propagación por onda reflejada espacial o ionosférica

- Aspectos históricos

El 12 de diciembre de 1901 el ingeniero y científico italiano **Guillermo Marconi** logró establecer una comunicación telegráfica intercontinental entre América y Europa uniendo el paraje conocido como Poldhu, situado en la península Lizard en Cornwall, Inglaterra, con Saint John's, capital de la provincia canadiense de Terranova y Labrador,

situada en la península de Avalon en la isla de Terranova, cubriendo una distancia del orden de los 3300 km.

En 1902 un físico inglés, **Oliver Heaviside**, y un ingeniero estadounidense, **Arthur Kennelly**, sugirieron la posibilidad de que las señales emitidas hubieran sido reflejadas por una capa de partículas cargadas ubicadas en la atmósfera.

El físico inglés **Edward V. Appleton**, en 1920, mientras estudiaba el desvanecimiento de las señales, calculó la ubicación de la capa de la ionósfera que estimó en el orden de los 100 km por sobre la superficie de la tierra. Dicha capa fue designada como **Capa E** y recibió el nombre de **Capa Kennelly-Heaviside**. Posteriormente se descubrieron otras a más altura, conocidas como **capas F**, que fueron denominadas con su nombre: **Capas Appleton**.

Estos trabajos permitieron concluir las causas por las que se había podido establecer un enlace a distancias del orden de los miles de kilómetros. Se había descubierto un mecanismo de propagación por medio de una **onda reflejada espacial o ionosférica**.

- Las capas ionosféricas y las predicciones de frecuencias

La ionósfera es una zona formada por las ondas electromagnéticas provenientes del Sol. El proceso de generación de la ionósfera es el siguiente: cuando una onda electromagnética de longitud de onda correspondiente al ultravioleta choca contra los átomos de los gases existentes en la atmósfera, el resultado más probable es que algunos o varios electrones del átomo salten de una órbita interior a otra órbita más alejada (exterior), absorbiendo energía de la onda incidente.

La absorción de energía puede ser suficiente para desprender completamente al electrón de su átomo. En consecuencia, el núcleo del átomo queda cargado positivamente, y se lo conoce como **ión positivo**. Por lo tanto, las ondas ultravioletas del Sol, al pasar a través de la atmósfera, crean pares de **iones positivos e iones negativos** o electrones libres. La densidad de iones depende fundamentalmente de la radiación solar, así como de la densidad de la atmósfera.

Las capas ionizadas de la atmósfera que reciben el nombre de **ionósfera** son las que, formando un casquete esférico alrededor de la superficie terrestre, generan condiciones de propagación diferentes a las del resto de la atmósfera. El nombre **ionósfera** fue propuesto por Alexander Watson Watt en 1930. Se basó para ello en la presencia de los iones libres y el significado en griego de la palabra **Ión** (viajero, el que viaja).

La ionósfera está conformada por varias capas o regiones. Las mismas, comenzando desde la próxima a la superficie hasta la más alejada de ella, son las siguientes:

- Región D.
- Capa E.
- Capa F₁.
- Capa F₂.

La Fig. 5.25. permite observar la estructura de la ionósfera.

Esto permite que las ondas de radio provenientes de la Tierra, según sea el ángulo de incidencia con el que llegan a la ionósfera, puedan reflejarse nuevamente sobre la superficie de esta, o bien puedan ser refractadas por ella, perdiéndose en el espacio exterior.

Cuando se produce el fenómeno de reflexión, las ondas de radio hacen posible las comunicaciones alrededor del globo a pesar de su esfericidad.

Arthur Edwin Kennelly (1861-1939). Estudió Ingeniería Eléctrica. En 1877 comenzó a trabajar en el Laboratorio de Edison. Desde 1902 hasta 1930 trabajó como profesor de ingeniería eléctrica en la Universidad de Harvard. En 1902, al investigar las propiedades eléctricas en la propagación de ondas de radio, dedujo la existencia de una zona de la atmósfera que estaba ionizada y que por eso facilitaba la propagación. Desde 1913 hasta 1924 se incorporó al MIT.



Edward Victor Appleton (1892-1965). En 1918 fue designado Profesor de Física en Cambridge y luego en la Universidad de Londres, donde inició experimentos con las ondas radioeléctricas que lo llevaron en 1920 al descubrimiento de la capa F de la ionósfera, conocida como Capa Appleton. En 1924 utilizó el eco de las ondas de radio para averiguar la altura de la ionósfera. En 1939 fue designado Secretario de Estado para la Investigación Científica, cargo que lo llevó a trabajar en el desarrollo del radar. En 1947 obtuvo el Premio Nobel de Física por sus trabajos sobre las capas ionosféricas.



Robert Alexander Watson-Watt (1892-1973). Estudió física e ingeniería y se desempeñó en la Universidad de Dundee. En 1915, durante la Primera Guerra Mundial, trabajó como ingeniero electrotécnico en el Servicio Meteorológico, donde estudió la ionización que producen los relámpagos en el aire y la radiodetección de tormentas. Creó un sistema de detección y medida de la distancia de un objeto por medio de ondas hercianas. En 1935 construyó el primer aparato práctico de radar, que luego fue puesto a punto en el curso de la Segunda Guerra Mundial y el posterior desarrollo de la aviación militar y civil.

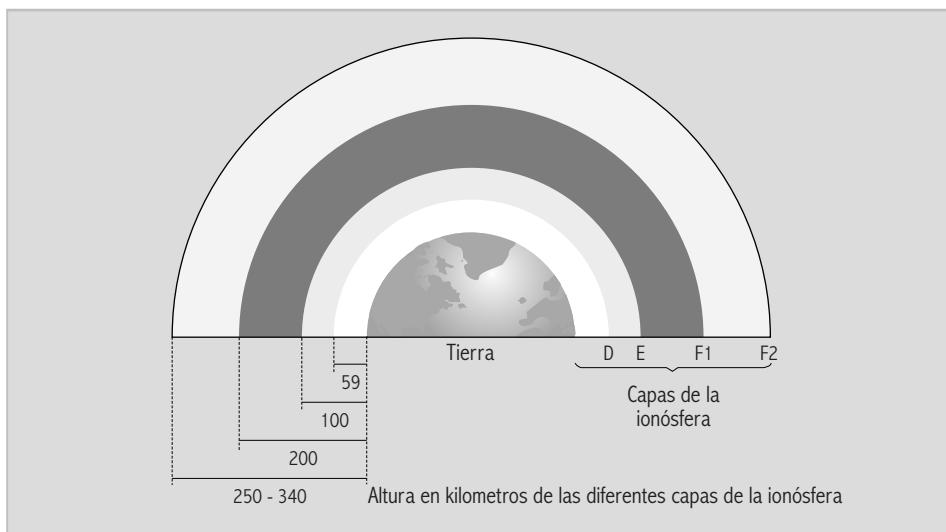


Fig. 5.25. Estructura de la ionósfera.

Las transmisiones que utilizan la propagación por onda reflejada espacial o ionosférica exclusivamente son inestables al depender del comportamiento de la ionósfera. Esta es una zona de la atmósfera afectada por la radiación ultravioleta del Sol que varía según varios parámetros: los rayos cósmicos, materiales, etc. Pese a ello, es posible determinar razonablemente su comportamiento en relación a los efectos que ella produce en la propagación de las ondas electromagnéticas y que se pueden predecir con un determinado margen de error.

Laboratorios especializados en los distintos países dan a conocer el probable comportamiento de las capas ionosféricas y, en función de ellas, efectúan predicciones de propagación en las que se recomiendan las frecuencias más convenientes para cada zona del planeta y para cada día del año.

La ionósfera tiene variaciones que son predecibles y están vinculadas con la radiación solar, que produce la ionización de la atmósfera.

Las diurnas son las originadas por la rotación de la Tierra y están relacionadas con las horas de luz solar y de sombra. Las estacionales son las que se vinculan con la rotación de la Tierra respecto del Sol.

De la misma manera que durante el día las radiaciones ultravioletas del Sol aumentan la cantidad de iones en condiciones de reflejar las ondas electromagnéticas, en forma análoga podemos señalar que en verano la densidad iónica es mayor que en invierno.

A su vez, también influyen fuertemente las variaciones relacionadas con el período de rotación del Sol sobre su eje, que es de aproximadamente 27 días, debido a las manchas solares que se hallan sobre su superficie. Al no ser el Sol un cuerpo rígido, no todo gira a la misma velocidad. Este astro posee una rotación diferencial. En el Ecuador el período es del orden de 25 días y a 40° de latitud es de 28 días, siendo aun mayor en los polos. La mancha solar es una región del Sol que posee una temperatura más baja que la existente en sus alrededores y posee una intensa actividad magnética. Las manchas solares aparecen en ambos hemisferios del Sol, en latitudes que van desde los 5° a los 40°. Las mismas afectan a la ionósfera más intensamente cuando se enfrentan a la Tierra.

También tiene importancia la actividad solar que ocurre en ciclos de aproximadamente once años. Este fenómeno tiene extremos denominados máximo solar y míni-

mo solar. Al principio de un ciclo, las manchas solares tienden a aparecer en las latitudes más altas, del orden de los 40° y, a medida que el ciclo se acerca al máximo (el 2011 correspondió a un máximo del ciclo solar), aparecen manchas con mayor frecuencia y a cada vez a menor latitud, acercándose al Ecuador hasta llegar al máximo valor.

Durante los períodos de máxima actividad solar, que se suceden cada 11 años, las bandas de HF en longitudes de onda de 10 m y aun en algunas partes de la VHF en el orden de los 6 m permanecen abiertas durante muchas horas, haciendo posible enlaces por propagación mediante ondas ionosféricas a muy largas distancias.

También se pueden producir fenómenos ionosféricos repentinos normalmente producidos por intensas erupciones solares que ocurren en forma espontánea y a los que se conoce como fulguraciones. Producen un aumento importante en la radiación que llega a la Tierra y sus efectos duran desde algunos minutos hasta algunas horas. Como pueden incluir radiaciones de muy alta frecuencia, como los rayos X, su efecto de ionización puede ser muy alto.

También pueden ocurrir tormentas magnéticas. Estas generan un disturbio global en el campo magnético terrestre. Se refleja por un fuerte aumento del viento solar, que consiste en chorros de partículas cargadas que arriban a la Tierra entre los 15 minutos a 2 horas posteriores a una fulguración. Las tormentas magnéticas destruyen la estratificación normal de las capas, dispersando los iones. Por tal causa producen la pérdida de su capacidad refractiva normal.

- Mecanismo de propagación por onda reflejada espacial o ionosférica

A determinadas frecuencias, excepto para algunas comunicaciones locales que pueden realizarse por **onda terrestre**, la mayoría de las comunicaciones comprendidas en la banda de frecuencias que se extienden de 3 a 30 MHz, es decir, en la banda de **frecuencias altas - HF**, las comunicaciones radioeléctricas se efectúan por onda espacial, es decir, **onda directa** más **onda reflejada en la superficie de la Tierra**, y **onda reflejada espacial o ionosférica**.

Analicemos en particular el proceso de propagación por **ondas espaciales o ionosféricas** y las características de dicho proceso.

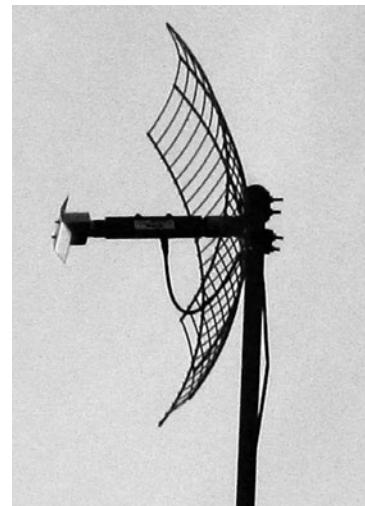
Las emisiones de las antenas de los equipos transmisores emiten radiación electromagnética al espacio que en parte se dirige a la ionósfera. Se puede definir un **ángulo incidente** en la ionósfera de la onda emitida por el transmisor, que llamaremos α . Cada antena tiene lo que se denomina un diagrama de radiación. Según sea este, habrá direcciones privilegiadas en las que la iluminación será más intensa que en otras.

En función a cuatro parámetros: frecuencia, ángulo de emisión, altura y densidad de las capas de la ionósfera, cuando estos rayos emitidos por la antena la alcanzan con un ángulo α , empiezan a propagarse por ella.

Durante el recorrido por su interior, comenzarán a refractarse aumentando el ángulo de emisión α según la Ley de Snell. Conforme más avanzan a través de ella, este ángulo se hace cada vez mayor y puede ocurrir que los rayos se propaguen inicialmente en forma horizontal y finalmente salgan de la ionósfera con el mismo ángulo α con el que incidieron, alcanzando así la superficie de la Tierra a una gran distancia del transmisor.

Luego se puede afirmar que cuando se establece una comunicación a larga distancia mediante ondas espaciales o ionosféricas es porque las mismas se han reflejado hacia la Tierra desde las capas de la ionósfera.

Para una dada frecuencia de emisión de la antena y un estado de la ionósfera (altura y densidad de iones) se puede definir un **ángulo crítico** de la ionósfera que llamaremos α_c . Cuando el ángulo de incidencia sea igual o menor al ángulo crítico, la onda se refractará, produciendo una reflexión hacia la Tierra. Cuando sea mayor, la onda será refractada con dirección al espacio exterior y se perderá en él.



Antenas para radioenlace de microondas
(Gentileza de Siemens Enterprise Communications S.A.)

En el caso de que el proceso de propagación dentro de la ionósfera sea de refracción con reflexión, se puede decir que la ionósfera se comporta como una capa espejo o reflectante.

En la Fig. 5.26., se puede observar un proceso de refracción sobre la ionósfera de una onda emitida por una antena transmisora con reflexión hacia la Tierra y otro con escape al espacio exterior.



Fig. 5.26. Propagación por onda espacial o ionosférica. Casos de reflexión y refracción.

En el caso de reflexión de la Fig. 5.26. se muestra como ejemplo un solo salto, pero este fenómeno se puede repetir varias veces, como se describe en la Fig. 5.27.

Como las posibilidades de que se verifique la propagación por onda reflejada espacial o ionosférica están dadas en función de la frecuencia, es posible definir una frecuencia que llamaremos **frecuencia crítica**.

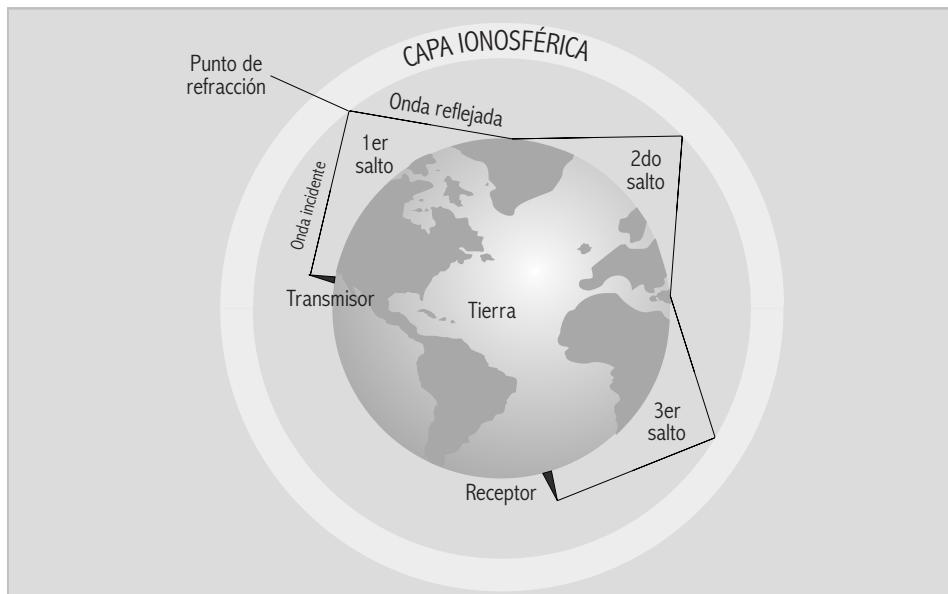


Fig. 5.27 a. Propagación por onda espacial o ionosférica por saltos múltiples.

También podremos definir, para una capa ionosférica, una **frecuencia crítica**.

Llamaremos frecuencia crítica a:

La frecuencia f_c que en función a las condiciones de altura y densidad iónica de la capa permite que el rayo incidente proveniente de una antena emisora se refleje hacia la Tierra. Valores menores a la frecuencia crítica también se reflejarán.

Es decir, que:

$$f_c \geq f_{i\alpha} \quad (5-9)$$

Luego, de la expresión (5-9) se puede afirmar que la onda se reflejará hacia la Tierra.

Analicemos el caso contrario, es decir:

$$f_c \leq f_{i\alpha} \quad (5-10)$$

En ese caso, si es válida la expresión (5-10), la onda se refractará hacia el espacio exterior.

El valor de resultará de la expresión (5-11), es decir:

$$f_{i\alpha} = f_i \cdot \cos \alpha \quad (5-11)$$

Donde:

f_i = Frecuencia de la onda incidente

α = ángulo de la onda incidente

Como los rayos incidente y reflejado son iguales, conociendo la altura de la capa se puede saber la distancia del salto generado por la propagación ionosférica.

Ejemplo 5-4:

Se desea conocer, si se transmitiera a una frecuencia de 16 MHz con un ángulo de incidencia de 60° , si se podrá producir un salto por propagación ionosférica en la Capa F si se sabe que la misma está a una altura de 550 km y se conoce que su frecuencia crítica es de 9 MHz .

Si la onda se reflejara, determinar la distancia a la que se produciría el primer salto.

Analicemos si se producirá reflexión:

$$f_i \cdot \cos \alpha = 16 \text{ MHz} \cdot \cos 60^\circ$$

Reemplazando, tendremos:

$$16 \text{ MHz} \cdot 0,5 = 8 \text{ MHz}$$

Como resulta:

$$f_c = 9 \text{ MHz} > 8 \text{ MHz} (f_{i\alpha})$$

La onda se reflejara en la Capa F_2 .

Calculemos aproximadamente el primer salto por propagación ionosférica, para lo cual haremos simplificaciones tales como no tener en cuenta la curvatura de la tierra, entre otras:

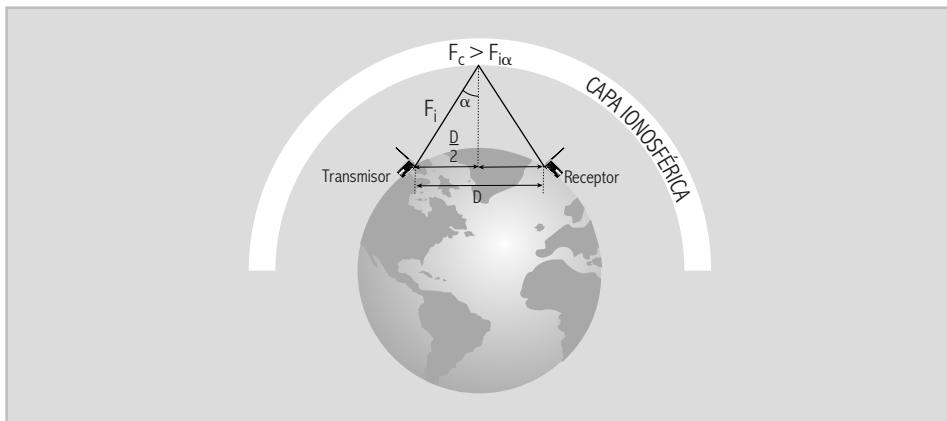


Fig. 5.27 b. Cálculo de la distancia del primer salto.

De la figura podremos determinar que la Distancia D será igual a:

$$D = 2 \cdot h \cdot \operatorname{tg} \alpha$$

Reemplazando tendremos:

$$D = 2550 \text{ km} \operatorname{tg} 60^\circ$$

$$D = 1100 \text{ km} \sqrt{3} = 1.100.1,73$$

$$D \cong 1903 \text{ km}$$

Luego la distancia a la que se produciría el primer salto es de aproximadamente 1903 km.

- Efectos sobre las distintas capas ionosféricas

El efecto sobre las distintas capas de la ionósfera es variable según se analice cada capa.

A una altura de entre 50 a 90 km aproximadamente se encuentra la capa D, que es la que se encuentra ubicada a más baja altura y la primera que debe atravesar una onda en su recorrido hasta las capas superiores. La misma tiene efectos adversos, pues no refracta las ondas hacia la Tierra y sí absorbe energía de las señales.

Esta capa se va formando durante el día y tiene mayor densidad durante el verano y en ciclos de máxima actividad solar. Cuando el sol se pone, los iones de la capa D se recombinan rápidamente y prácticamente desaparece.

Cuando su densidad es máxima, su absorción dificulta la propagación por onda ionosférica en frecuencias menores a los 7 MHz. Al ir perdiendo densidad o desaparecer, las señales de las bandas más bajas alcanzan fácilmente las capas reflectoras, posibilitando la propagación por este medio.

A una altura de entre 80 y 150 km se sitúa la capa denominada E, denominada también Capa de Kennelly-Heaviside. Su presencia es esporádica y puede durar desde unos pocos minutos a algunas horas. Su formación no es predecible, por lo que no tiene un uso importante desde el punto de vista comercial y práctico.

Sin embargo, como posee una intensa ionización, cuando aparece permite comunicaciones a frecuencias muy elevadas, que pueden llegar e incluso en casos excepcionales superar los 200 MHz. Es muy buscada y utilizada por los radioaficionados, porque cuando se presenta permite que con muy poca potencia de emisión del transmisor se puedan lograr comunicaciones a miles de kilómetros de distancia, si se puede realizar más de un salto.

Las Capas F se ubican a una altura de entre 150 y 600 km y se mantienen durante todo el día. Sin embargo, durante el día se desdobra en una denominada F_1 , que se ubica entre los 180 y 300 km, y en otra denominada F_2 , ubicada entre los 300 y 600 km. A estas dos subcapas se las denomina Capas de Appleton.

La capa F_1 sufre una fuerte fluctuación durante el día, mientras que la Capa F_2 se mantiene también en la noche. Estas dos capas, por su altura y su capacidad para refractar las señales nuevamente hacia la Tierra, son las responsables de la mayoría de las comunicaciones en frecuencias de HF que se efectúan por medio de la propagación por onda ionosférica.

Estas capas permiten comunicaciones en las bandas de hasta 10 m porque, además, a frecuencias más altas la absorción de la capa D es menor y las señales la pueden atravesar con menor atenuación.

5.9.3.4 Propagación por onda directa

- Aspectos generales

La propagación en línea recta se caracteriza porque la onda emitida desde la antena transmisora viaja en forma directa a la antena receptora sin tocar el terreno ni la ionósfera.

Este tipo de radiación se utiliza, como ya se señaló, principalmente en bandas de **frecuencias muy elevadas - VHF, frecuencias ultra elevadas - UHF**, y superiores.

Un ejemplo práctico de esta forma de transmisión lo constituyen los **Servicios de Televisión - TV** y de **Radiodifusión de Frecuencia Modulada - FM**.

En este tipo de propagación, las alturas de las antenas transmisora y receptora y su distancia tienen una importancia fundamental en la comunicación.

- Principios de funcionamiento de los sistemas de transmisión por onda directa.
Para comprender el principio de funcionamiento de la transmisión en línea recta, introduciremos los siguientes conceptos:
 - Distancia al horizonte:** Es la distancia cubierta por una onda que se propaga en línea recta desde la antena transmisora hasta rozar tangencialmente la superficie de la Tierra.
 - Distancia de alcance visual:** Es la máxima distancia a la cual pueden instalarse dos antenas, de alturas determinadas, sobre la superficie de la Tierra si se desea que se establezca entre ambas una comunicación en línea recta.

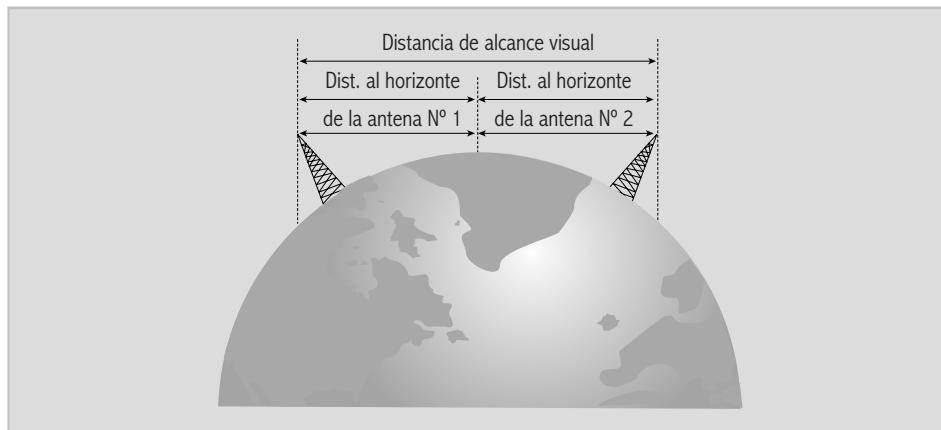


Fig. 5.28. Distancia de alcance visual y distancia al horizonte.

En la Fig. 5.28. puede apreciarse la distancia de alcance visual y distancia al horizonte. A partir del análisis de dicha figura, se puede determinar la distancia al horizonte mediante la siguiente ecuación:

$$\text{Distancia al horizonte} = 3,61 \sqrt{H} \quad (5-12)$$

Donde:

H = Altura de la antena.

La Fig. 5.29. muestra la forma en que se obtiene el valor de la expresión (5-12).

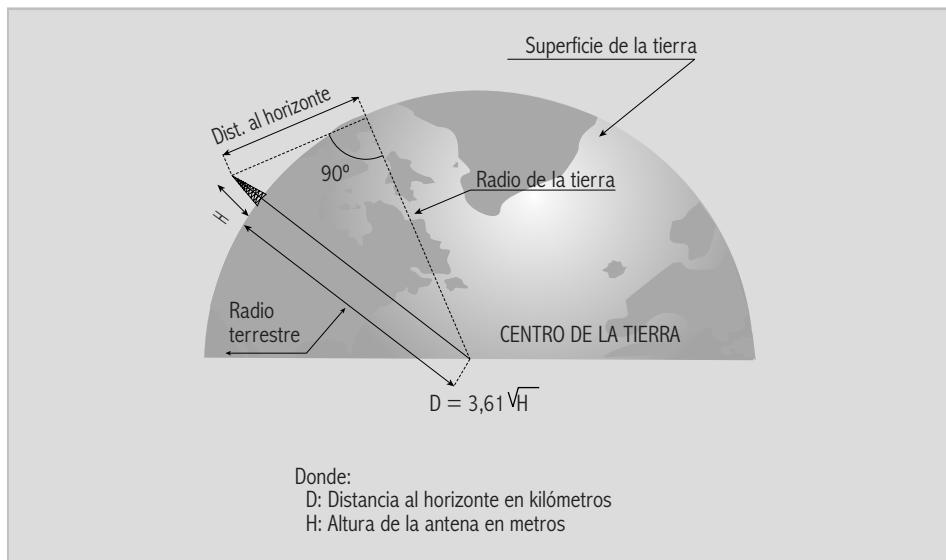


Fig. 5.29. Cálculo geométrico de la distancia al horizonte para una antena de altura H.

Sin embargo, se puede establecer un valor que denominaremos **distancia práctica al horizonte**, que es el valor real de la **máxima distancia de alcance visual directo**. Este valor es algo mayor que el calculado por la fórmula anterior, pues las ondas se van difractando, es decir, que se van curvando ligeramente siguiendo la curvatura terrestre, siguiendo la curvatura de la Tierra.

Este fenómeno se debe a la estructura de la atmósfera en la zona cercana a la superficie de la Tierra, que ocasiona la curvatura ligeramente hacia abajo de las ondas, aumentando el alcance de acuerdo a la siguiente expresión:

$$\text{Distancia práctica al horizonte} = 4,14 \sqrt{H} \quad (5-13)$$

En la Fig. 5.30. se puede observar la extensión de la distancia visual debido a la **difracción** por efecto de la curvatura de las ondas electromagnéticas.

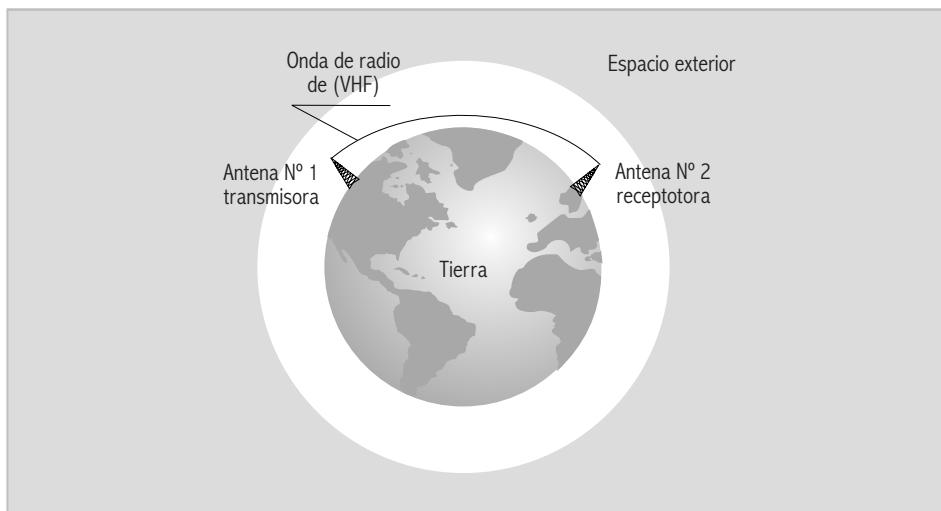


Fig. 5.30. Efecto de la curvatura de las ondas electromagnéticas.

5.10 Satélites

5.10.1 Definición y uso

Se entiende por comunicaciones satelitales a:

Los sistemas de telecomunicaciones que utilizan uno o más satélites como punto medio para lograr la reflexión de las ondas electromagnéticas generadas por una estación transmisora con el objeto de hacerlas llegar a otra receptora, situadas ambas en puntos geográficos distantes, generalmente sin alcance visual.

5.10.2 Referencia histórica

Los satélites frecuentemente utilizados en los sistemas de telecomunicaciones están ubicados en la denominada **órbita geosincroestacionaria**. Sin embargo, también se están desarrollando sistemas que trabajan con satélites ubicados en otras órbitas, y muy especialmente los que últimamente operan en las denominadas **órbitas bajas**.

En la Fig. 5.31. se ilustra un sistema satelital típico.

Los sistemas de telecomunicaciones que utilizan uno o más satélites como punto medio para lograr la reflexión de las ondas electromagnéticas generadas por una estación transmisora con el objeto de hacerlas llegar a otra receptora, situadas ambas en puntos geográficos distantes, generalmente sin alcance visual.

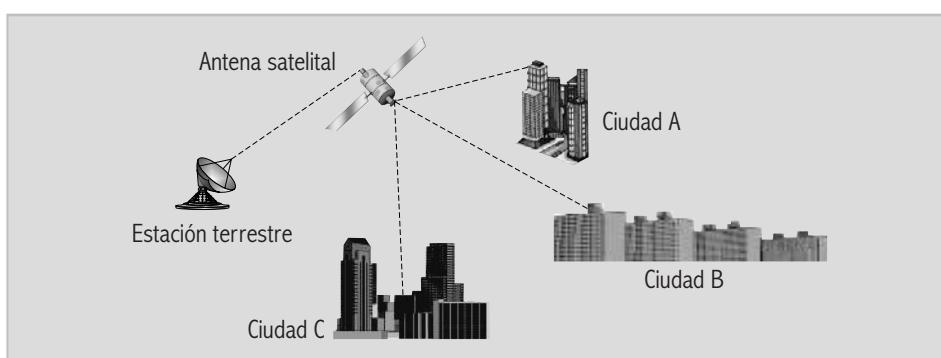


Fig. 5.31. Órbitas de transferencia para la instalación de un satélite geoestacionario.

La era satelital comenzó precisamente el día 4 de octubre de 1957, con el lanzamiento y posterior puesta en órbita, por parte de la Unión de Repúblicas Socialistas Soviéticas, del satélite **Sputnik I**. Este satélite, de órbita baja, tenía una forma esférica de 58 cm de diámetro, transmitía señales de radio a la frecuencia de 31,5 MHz, y orbitaba la Tierra 16 veces cada 24 horas.

El 31 de enero de 1958, solamente pocos meses después, un programa del Ejército de los Estados Unidos de Norteamérica lanzó el **Explorer I**, construido en forma cilíndrica de 2 m de largo y 14 kg de peso, que solamente transmitía información para telemetría, y permitió descubrir el **Cinturón de Radiaciones de Van Allen**.

En 1960, los Estados Unidos de Norteamérica lanzaron un satélite denominado **Echo 1**, que estaba constituido por un globo de plástico aluminizado, de 30 m de diámetro y 75,3 kg de peso y, posteriormente, lanzaron el **Echo 2**, que tenía un diámetro de 41 m. Estos dos últimos satélites eran muy primitivos y actuaban como repetidores pasivos de señales. La capacidad de estos sistemas se veía seriamente limitada por la necesidad de utilizar emisoras muy potentes y enormes antenas.



Antena satelital parabólica para planta terrena
(Gentileza de Siemens Enterprise Communications S.A.)

Posteriormente, en los Estados Unidos de Norteamérica se comenzaron a desarrollar varios proyectos que conformaron el denominado **Programa Inicial de Comunicaciones Satelitales para la Defensa**, que tenía como objetivo principal el uso estratégico de los satélites en las **Comunicaciones de la Defensa** y, simultáneamente, la **NASA (National Aeronautics and Space Administration)** inició una serie de programas experimentales como los denominados **RELAY** y **SYNCOM**.

En 1962 y 1963, la NASA lanzó dos satélites denominados **Telstar** que fueron los primeros que permitieron retransmitir señales de televisión a través del Océano Atlántico. Estos satélites de órbita baja daban una vuelta completa alrededor de la Tierra en 157 minutos.

El **Telstar I** era una esfera de 87 cm de diámetro y 80 kg de peso que recibía y transmitía simultáneamente. Su equipo electrónico fue dañado por la radiación del entonces recientemente descubierto **Cinturón de Radiaciones de Van Allen**, por lo que duró en servicio solo unas cuantas semanas.

El **Telstar II** era electrónicamente idéntico al anterior, pero había sido reforzado para evitar el daño que producían las radiaciones. La primera transmisión de televisión fue realizada en 10 de julio de 1962 por medio de este último y su primera señal fue una bandera del país constructor.

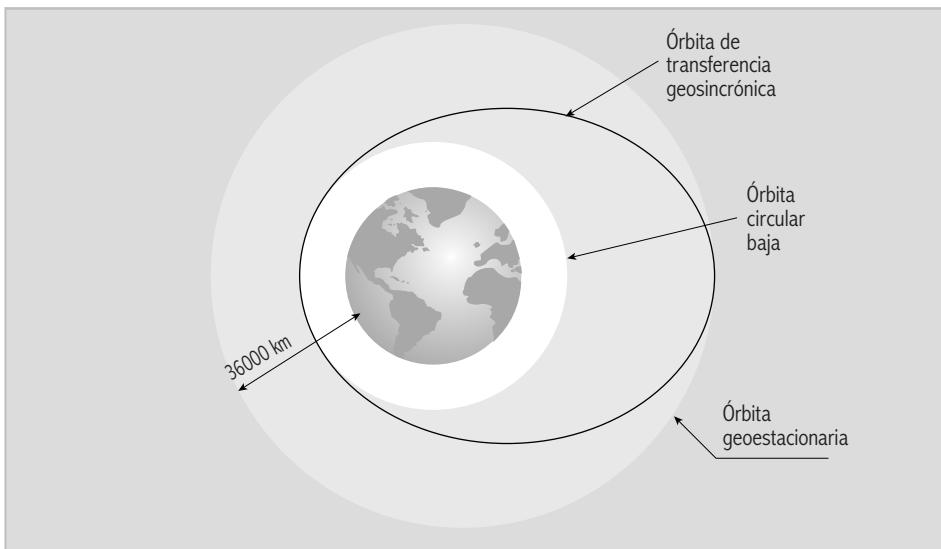
La serie **Telstar** era propiedad de la empresa **American Telephone and Telegraph Company**, más conocida como **AT&T**. Dichos satélites eran capaces de retransmitir varios cientos de canales de voz. Solo podían enlazar dos estaciones terrestres durante el breve espacio de tiempo en el que ambas estaciones terrestres estaban visibles para el satélite.

El primer satélite geosincrónico puesto en órbita fue lanzado desde la base de **Cabo Cañaveral** el 26 de julio de 1964 y pertenecía al programa **SYNCOM**. Era también propiedad de la **AT&T** y había sido fabricado por la empresa **Hughes**.

La Fig. 5.32. muestra las distantes fases y órbitas que se utilizan para la puesta en posición de los satélites geoestacionarios.

El primer intento que se pretendió colocar en órbita geoestacionaria fue el **Syncom I**. Fue lanzado el 14 de febrero de 1963, pero no llegó a colocarse en órbita. Posteriormente, se obtuvo el primer éxito con el **Syncom II** e inmediatamente, en agosto de 1964, fue lanzado el **Syncom III**, que luego fue usado para la transmisión de señales de televisión de los **Juegos Olímpicos de Tokio**.

Casi simultáneamente, pocos meses después, fue lanzado el satélite Soviético **Molniya** (en ruso significa relámpago o destello). El mismo, a diferencia del anterior, si bien era usado también para la retransmisión de señales de televisión, utilizaba una órbita elíptica muy alta, con un **apogeo** (distancia más lejana a la Tierra de una órbita elíptica) de aproximadamente 40000 km y un **perigeo** (distancia más cercana a la Tierra de una órbita elíptica) de aproximadamente 1000 km.



<http://www.intelsat.com>

Fig. 5.32. Órbitas de transferencia para la instalación de un satélite geoestacionario.

5.10.3 Las Organizaciones Internacionales para la Provisión de Servicios Satelitales

5.10.3.1 Aspectos generales

La globalización de la economía y el aumento continuado de la competitividad han generado una verdadera revolución en la provisión de servicios de telecomunicaciones. Esta situación ha influido particularmente en los servicios de comunicaciones satelitales que han crecido en forma explosiva, por lo que actualmente están operando en todo el mundo varios consorcios internacionales y más de 60 empresas que proporcionan servicios internacionales, regionales y nacionales.

Esta situación ha producido un aumento importante en la cantidad de satélites instalados en órbitas geoestacionarias que trabajan en las **Bandas C y Ku** y, a la vez, varios proyectos para instalar satélites de órbita baja en la **Banda Ka** se han ido materializado.

Estos sistemas deben competir en precios y servicios con las redes de cables de fibras ópticas, tanto las de tipo submarino como las usados para cubrir grandes distancias continentales. Pareciera que, actualmente, la demanda de estos servicios de comunicaciones crece sin un límite a la vista.

5.10.3.2 Consorcio INTELSAT

El 20 de diciembre de 1964, por la **Resolución Nº 1721 de las Naciones Unidas**, fue fundado el **primer consorcio internacional** para las comunicaciones satelitales denominado **INTELSAT** (*International Telecommunication by Satellite*). El primer satélite que operó dicho consorcio fue el **Early Bird** (pájaro madrugador), conocido también como **Intelsat I**, que se lanzó en 1965.

El mismo proporcionaba servicios de voz y televisión (480 canales de voz) y enlazaba a los Estados Unidos de Norteamérica con Europa. Los miembros del **Consorcio INTELSAT** son exclusivamente los países soberanos. Actualmente suman más de 140. El Consorcio tenía por finalidad la explotación comercial de los satélites para el establecimiento de comunicaciones transoceánicas internacionales y en el ámbito nacional.

En julio de 1975 este consorcio cubrió la primera misión que permitió la reunión en el espacio de los astronautas estadounidenses y rusos de la misión Apollo-Soyuz, proporcionando acceso televisivo a esta aventura espacial de nueve días.



Antena satelital parabólica tipo Offset

El 26 de junio de 1978 más de mil millones de televidentes de 42 países pudieron observar la Copa Mundial de Fútbol que se desarrolló en la República Argentina, marcando un nuevo récord de audiencia que superó el obtenido en los Juegos Olímpicos de 1976 desarrollados en Montreal, Canadá.

En el año 2001, después de 37 años de ser una organización intergubernamental, la Organización International de Telecomunicaciones por Satélite – INTELSAT (*International Telecommunications Satellite Organization*), con sede oficial en Washington D. C. - Estados Unidos, pasó a ser una empresa privada denominada INTELSAT Ltd., con sede en la ciudad de Luxemburgo.

Finalmente, en 2006 y hasta el presente, INTELSAT anuncia su fusión con el Consorcio PanAmSat, pasando así a ser el mayor proveedor de servicios fijos por satélite en el mundo.

A fines del año 2010, INTELSAT operaba 56 satélites en todo el mundo.



<http://www.intersputnik.com>

5.10.3.3 INTERSPUTNIK

Lo que constituyó el bloque de países socialistas formó, en 1971, el segundo Consorcio Internacional, que tenía similares fines que el Consorcio INTELSAT y que se denominó **Organización Internacional de Comunicaciones Interespaciales Intersputnik**, conocido simplemente como **INTERSPUTNIK**.

El mismo estaba constituido inicialmente por 8 países miembros, entre ellos Cuba, que en su momento no habían adhesido al primero. En el año 2008 contaba con 25 países miembros, incluyendo a Alemania Federal como sucesor de la República Democrática Alemana; de América, se había sumado Nicaragua.

Intersputnik ofrece la capacidad de un grupo de satélites de telecomunicaciones ubicados en órbita geoestacionaria entre los 14 ° Oeste a 166 ° Este.

El principal socio y operador de sus satélites es la **Compañía Rusa de Satélites de Comunicaciones** (*Russian Satellite Communications Company*). Además, esta empresa es distribuidora de otros operadores, como de Eutelsat, INTELSAT y otros operadores de África y Asia.



<http://www.inmarsat.com>

5.10.3.4 INMARSAT

El **tercer consorcio internacional** fue creado en el año 1979 como una organización internacional sin fines de lucro creada a instancias de la **Organización Marítima Internacional - OMI** (*International Maritime Organization*), organismo de las Naciones Unidas, con el objeto de proveer comunicaciones móviles a escala mundial con fines comerciales, especialmente orientado a las comunicaciones marítimas. Originalmente, se denominó **International Maritime Satellite Organization - INMARSAT**.

Posteriormente, en el año 1995, cambió su denominación, manteniendo tanto su acrónimo como sus propósitos iniciales, y pasó a llamarse **International Mobile Satellite Organization - INMARSAT**. Sin embargo, agregó a sus finalidades las comunicaciones móviles por aire y tierra y aspectos relacionados con la seguridad en el mar y el aire.

INMARSAT es actualmente una organización intergubernamental integrada por 94 países que supervisa la seguridad por medio de satélites de ciertos servicios públicos, como pueden ser:

- La seguridad en el mar según lo establece la Organización Marítima Internacional.
- Coordinación de comunicaciones para búsqueda y rescate.
- Seguridad aeronáutica mediante el cumplimiento de las normas y métodos recomendados por la **Organización de Aviación Civil Internacional - OACI**.
- Coordinación para el establecimiento y funcionamiento del sistema internacional para la **Identificación Seguimiento de Buques de Largo Alcance - LRTI** (*Long Range Identification and Tracking*) en todo el mundo.

5.10.3.5 ARABSAT

En 1976, los 21 miembros de la Liga Árabe crearon la **Organización Árabe para las Comunicaciones por Satélite – ARABSAT** (*Arab Satellite Communications Organization*) con el objeto de diseñar, ejecutar y operar el primer sistema satelital árabe.

En 1985, utilizando un portador Ariane de origen francés, lanzaron el primer satélite que se denominó Arabsat-1^a.

Su despliegue al año 2011 está compuesto por cinco satélites en tres posiciones orbitales: uno a 20° Este, el Arabsat - 2B; tres a 26° Este, los BADR-4, BADR-5 y BADR-6; y otro a 30,5° Este, el Arabsat – 5A.

La flota de Arabsat transporta 400 canales de televisión y 160 emisoras de radio, que pueden ser vistas y oídas en más de 100 países de Oriente Medio, África, Europa y Asia Central.

5.10.3.6 EUTELSAT

Eutelsat surgió en el año 1977 como una organización intergubernamental con el objeto de desarrollar y operar satélites de comunicaciones que satisficiera las necesidades de los países europeos. Fue creada con el nombre de **Organización Europea de Telecomunicaciones por Satélite** (*European Telecommunications Satellite Organization*).

Lanzó su primer satélite en el año 1983 y a partir de allí, hasta finales del año 2005, realizó 30 lanzamientos, abarcando un 14% de este mercado.

A fines del siglo XX y en el contexto de una liberación general del mercado de las telecomunicaciones a nivel mundial, esta organización se privatizó y pasó a denominarse Eutelsat S.A. Esta transformación le otorgó a la empresa una mayor flexibilidad, tanto en la fijación de precios más competitivos como en la creación de una red de distribuidores de sus servicios.

En el año 2005, el principal accionista creó un *holding* con actividades aun más amplias que se denominó Eutelsat Communications. Dentro de las empresas que lo componen, Eutelsat es propietario del 95.2% of Eutelsat S.A.

Eutelsat posee 27 satélites en órbita y dispone de 20 posiciones geoestacionarias. Cubre desde la posición 15° Oeste hasta los 75° Este, prestando servicios a Europa, Oriente Medio, África y una gran parte de Asia y del continente americano.

5.10.3.7 ASIASAT

En 1988, con base en la ciudad de Hong Kong, fue fundada la **Organización Asiática de Satélites - ASIASAT** (*Asian Satellite Organization*) como una organización privada con el objeto de proveer servicios de telecomunicaciones satelitales para la Región Asia – Pacífico, lanzando su primer satélite en 1990.

ASIASAT, en el año 2011, opera tres satélites denominados AsiaSat 3S, AsiaSat 4 y AsiaSat 5, los cuales están ubicados entre los 100,5° Este y los 122° Este, brindando una adecuada conectividad a 50 países de la región.

Actualmente, esta es una empresa privada que se denomina **ASIASAT** (*Asia Satellite Telecommunications Company Limited*).

5.10.4 Clasificación de los distintos tipos de satélites

5.10.4.1 Aspectos generales

Un satélite permanece en órbita siempre que la fuerza centrífuga que genera su rotación alrededor del planeta esté igualada por la fuerza de atracción gravitacional de la Tierra más las otras influencias provocadas por su ubicación en el espacio.



<http://www.arabsat.com>



<http://www.eutelsat.com/home/index.html>



<http://www.asiasat.com>

Desde el punto de vista de las comunicaciones, los satélites funcionan como repetidores ubicados en el espacio que pueden recibir y enviar señales desde y hacia la Tierra. Por su tipo de órbita, el tipo de antenas y la potencia de sus equipos de transmisión, tienen definida su **zona de cobertura**.

Llamaremos **Zona de Cobertura** de un satélite a:

Una zona de la superficie de la Tierra en que las señales que envían las antenas ubicadas en el satélite llegan a las que actúan como correspondientes en la superficie de la Tierra con una intensidad tal que permiten el intercambio de información.

Los sistemas satelitales tienen un conjunto de frecuencias reservadas para su uso específico en las bandas de las microondas. Las que se utilizan para transmitir de la Tierra al satélite se denominan **bandas ascendentes** y las que tienen el sentido contrario, **bandas descendentes**. Dichas bandas se conocen por medio de letras. Algunas de las más utilizadas son las descriptas en la Tabla 5 – 18.

Los satélites se pueden clasificar, en función a los distintos tipos de órbitas que describen, en los grupos que se describen a continuación.

5.10.4.2 Satélites de órbita baja

Estos satélites son conocidos como **LEO (Low Earth Orbit)**. Poseen órbitas elípticas que oscilan entre los 400 y 2500 km de altura.

Tienen las siguientes características.

- Para el caso de una órbita de aproximadamente 800 km, necesitan alrededor de 90 minutos para dar una vuelta completa a la Tierra. Este es el caso particular del satélite europeo ERS - 1, lanzado en mayo de 1991. Por lo cual, para una estación terrestre permanece solo unos pocos minutos disponible.
- Para brindar un servicio continuo de comunicaciones es necesario contar en el sistema con un número de satélites que, dependiendo de la altura, es generalmente del orden de cincuenta o incluso puede llegar al centenar.
- Requieren para su funcionamiento bajas potencias de transmisión, lo que implica menores consumos y, por lo tanto, estaciones terrestres de menor costo.
- La recepción de sus señales se puede efectuar por medio de antenas omnidireccionales. Esta particularidad, sumada a la anterior, los hace muy interesantes para las comunicaciones personales móviles.
- Los lanzamientos por satélite son de bajo costo debido a la altura de la órbita; por este motivo también es bajo el retardo o *delay* en la transmisión de las señales: del orden de 10 ms. Este último hecho favorece las comunicaciones de datos.

5.10.4.3 Satélites de órbita media

Estos satélites son conocidos como **MEO (Medium Earth Orbit)**. Poseen órbitas elípticas que oscilan entre los 4000 y 15 000 km de altura.

Tienen las siguientes características.

- Las órbitas tienen una duración de entre seis a ocho horas. Por lo cual, para una estación terrestre permanece visible entre una y dos horas.
- Para brindar un servicio continuo de comunicaciones es necesario un sistema que posea diez satélites, ubicados en dos planos a 45° respecto del Ecuador. De esta manera se puede obtener una cobertura mundial.

Tabla 5-18 Bandas Satelitales

Banda	Frecuencia [GHz]
C	3,4 a 8,4
Ku	12,4 a 18
K	18 a 26,5
Ka	26,5 a 40

- Requieren para su funcionamiento potencias de transmisión mayores que las que se necesitarían si se operara con los satélites que trabajan en órbitas bajas.
- Los lanzamientos, por satélite son de costos menores que los correspondientes a los satélites geoestacionarios, pero mayores a los de órbitas bajas. El retardo o *delay* está en el orden de los 70 ms.

5.10.4.4 Satélites de órbita geoestacionaria

Estos satélites son conocidos como **GEO (Geostationary Earth Orbit)**. Poseen una órbita circular que, medida desde el céñit, tiene una altura de 35 786 km. El céñit (*zenith*) es un punto ubicado en el cielo, directamente encima del observador. Luego, esta distancia es válida para estaciones terrestres ubicadas en el Ecuador, llegando, para latitudes más altas, a distancias del orden de los 41.000 km. Esta órbita se conoce también como Órbita de Clarke.

Tiene las siguientes características:

- Estos satélites, al tener un período de rotación igual al de la Tierra, permanecen, para un observador terrestre, fijos en el espacio. Giran, por lo tanto, en la misma dirección en que gira la Tierra. Luego su disponibilidad es de 24 horas.
- Para brindar un servicio continuo de comunicaciones basta con un solo satélite, siempre que se quieran unir dos puntos que puedan ser vistos por él.

Para cubrir toda la superficie de la Tierra, tal como lo predijo en su momento **Clarke**, se necesitan tres satélites, espaciados 120° cada uno. La cobertura en las zonas polares es muy marginal, y su uso comercial es restringido hasta una latitud comprendida entre los 70° y los 80°. La Fig. 5.33. muestra la disposición que deben tener los satélites para poder cubrir la totalidad de la superficie terrestre, con la salvedad efectuada para las zonas polares.

- Requieren para su funcionamiento altas potencias de transmisión, lo que implica antenas costosas, del tipo parabólico, y amplificadores de bajo ruido, conocidos como **LNA (Low Noise Amplifier)**.

Esto se debe a que la densidad de potencia de una onda electromagnética disminuye con el cuadrado de la distancia recorrida; por lo tanto, la señal que llega a alguno de los puntos receptores es de muy bajo nivel. Luego estos equipos deben tener una alta sensibilidad y bajo nivel de ruido propio.

Arthur C. Clarke (Minehead, 1917-Colombo, 2008). Fue miembro de la *Royal Air Force* durante la segunda Guerra Mundial, especializándose en el uso y manejo de radares. Estudio matemáticas y física en el King's College de Londres. Fue Presidente de la Sociedad Interplanetaria Británica. Fue coguionista de *2001: Una odisea del espacio*. En un artículo escrito en 1945 en la revista *Wireless World* predijo la era de los satélites geoestacionarios.

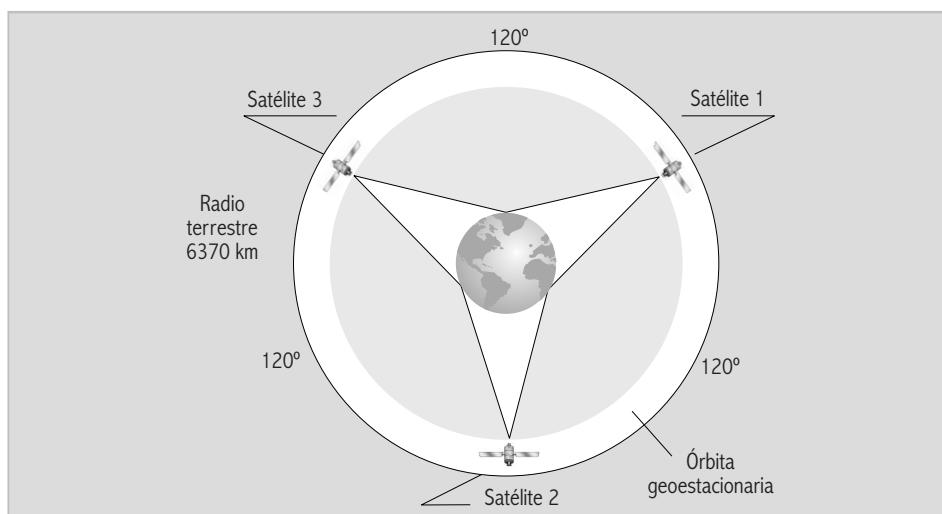


Fig. 5.33. Cobertura total de la Tierra con tres satélites geoestacionarios.



Antenas para radioenlace de microondas tipo paraboloides (Gentileza de Siemens Enterprise Communications S.A.)

- La recepción de sus señales se puede efectuar por medio de antenas omnidireccionales. Esta particularidad, sumada a la anterior, los hace muy interesantes para las comunicaciones personales móviles.
- La cantidad de satélites que pueden operar en la órbita geoestacionaria está limitada por las interferencias que pueden recibir de los satélites ubicados a ambos lados.

Es por ello que se ha establecido una separación mínima, que depende de la frecuencia de operación del satélite. Los primeros debían tener una separación del orden de los 3°. Sin embargo, actualmente, a causa de mejoras en la tecnología usada y a causa de que operan en frecuencias más elevadas, este valor se ha reducido a 1°.

Esta situación ha hecho posible que en la órbita geoestacionaria se pueda colocar un mayor número de satélites.

- Los lanzamientos tienen costos muy elevados. Ellos pueden ser efectuados de tres formas diferentes.

El primer método y más costoso es colocar al satélite con un vector en la órbita geoestacionaria. Este método se aplica generalmente para satélites militares o de diseño muy sofisticado, pero no para las aplicaciones comerciales.

El segundo método consiste en la utilización de un transbordador o **space shuttle**, solo disponible en la agencia espacial norteamericana NASA. Este vehículo espacial permite llevar varios satélites a bordo; se ubica en una órbita terrestre aproximada a los 200 km y, mediante una catapulta, lanza de allí el satélite al espacio exterior. Este, una vez instalado en el espacio, mediante un motor propio se ubica en una órbita auxiliar de transferencia, denominada Órbita de Hoffman, hasta arribar a la posición definitiva asignada en la órbita geosincrónica.

El tercer método es similar al segundo, pero en lugar del transbordador se emplea un primer vector, que ubica al satélite en una órbita baja. Luego, desde allí, el procedimiento para llevarlo a su posición final es muy similar al descripto anteriormente.

El segundo método tiene la ventaja, respecto del tercero, de que si fallara la propulsión propia de la segunda etapa u ocurriera alguna otra falla, como por ejemplo una deficiente apertura de las antenas, el satélite podría ser recuperado y reparado, o regresado nuevamente a la Tierra. Con el tercer método, ante idénticos problemas queda irremediablemente perdido.

- El retardo o *delay* en la transmisión de las señales es muy alto y menor a los 480 mseg entre estaciones terrestres. En telefonía este efecto genera señales de eco indeseadas y obliga a la instalación de canceladores de eco.

5.10.4.5 Satélites de órbitas altamente elípticas

Estos satélites son conocidos como **HEO** (*Highly Elliptical Orbit*). Poseen órbitas elípticas cuyo apogeo es mayor al de la Órbita de Clarke y cuyo perigeo es del orden de los 1.000 km.

Tienen las siguientes características:

- Son satélites especialmente aptos para las cubrir las zonas polares.
- Este tipo de satélites puede ser usado en los servicios de telecomunicaciones pese a no ser de tipo geosincrónico.
- Su período de rotación es de 12 horas de las cuales unas ocho horas son útiles para los servicios que presta.
- Se requieren tres satélites para cubrir un servicio de comunicaciones continuo.

5.10.5 Componentes de un sistema de comunicaciones por satélite

5.10.5.1 Aspectos generales

Un sistema de comunicaciones satelital está compuesto por los siguientes elementos fundamentales:

- Segmento espacial o satélite.
- Segmento terrestre o estaciones terrestres.
- Sistemas de seguimiento, telemetría y control.
- Otros sistemas auxiliares y complementarios.

Este ordenamiento puede variar según las consideraciones técnicas que sean tenidas en cuenta pero, a los efectos de la compresión del sistema satelital, resulta conveniente.

Desde el punto de vista exclusivamente de comunicaciones, se podría agregar que un sistema satelital se comporta como una **estación repetidora ubicada en el espacio** a la que se conectan **estaciones terrestres** por medio de **enlaces de microondas**.

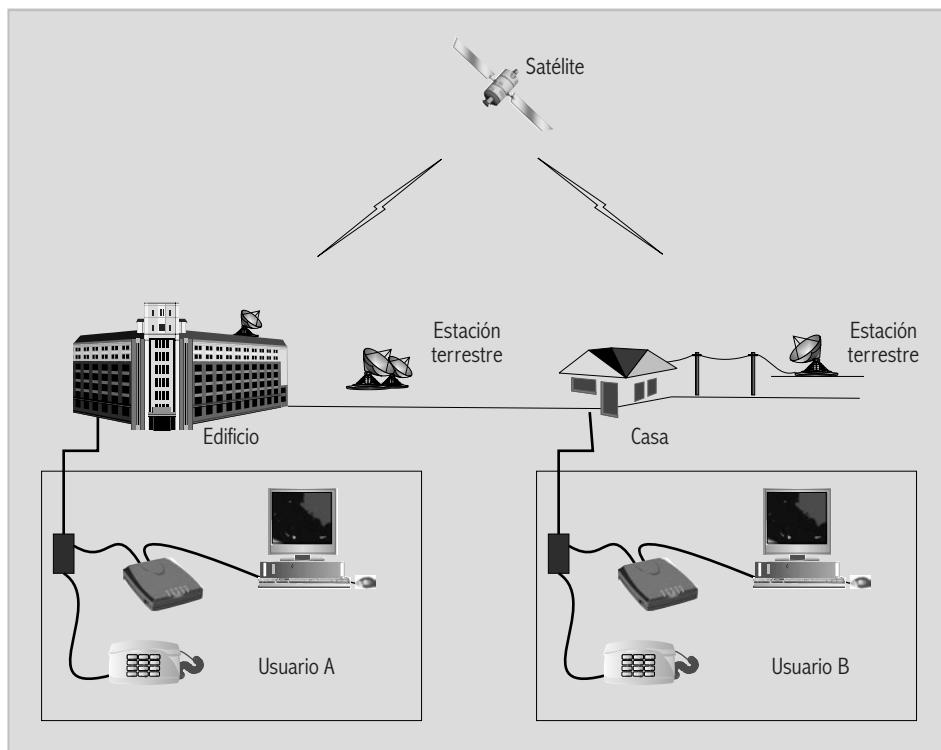


Fig. 5.34. Circuito punto a punto para voz y datos mediante un vínculo satelital.

La Fig. 5.34. permite observar la forma de establecer un circuito de voz y datos punto a punto mediante un enlace satelital. En dicha figura se puede apreciar la función que cumple el satélite de comunicaciones de **estación repetidora ubicada en el espacio**.

5.10.5.2 Segmento espacial o satélite

Se entiende por satélite de comunicaciones a:

Una estación retransmisora de telecomunicaciones ubicada en el espacio por un tiempo limitado, que va normalmente entre los 8 y 18 años aproximadamente, y que recibe señales de telecomunicaciones de voz, datos y vídeo desde la Tierra, las amplifica, cambia la frecuencia de la portadora, y las retransmite a otras estaciones terrenas.

Para poder realizar estas funciones el *hardware* con el que está construido debe ser de tal calidad que pueda resistir severas condiciones ambientales, de temperatura, radiaciones electromagnéticas, meteoritos y otros aspectos mecánicos que implican serios y sofisticados requerimientos de ingeniería.

Un satélite está compuesto de los siguientes subsistemas principales:

- Estructura del satélite.

La estructura es el armazón o esqueleto, que le permite soportar todos los elementos que debe llevar para operar convenientemente.

Debe cumplir, por un lado, el requerimiento de dureza que evite las vibraciones, pero simultáneamente debe estar construido con materiales livianos que no aumenten innecesariamente su peso.

Los materiales más usados para construirlo son materiales al carbono, plásticos y fibras especiales reforzadas.

- Subsistemas de comunicaciones o *payload* que se puede interpretar como la carga útil que transporta el satélite.

El subsistema de comunicaciones está compuesto básicamente por: antenas, *transponder* y amplificadores de potencia.

- Antenas:

Las antenas son las que proveen los enlaces que permiten que las señales suban al satélite. Dichos enlaces de subida se denominan *uplink* y los que permiten la retransmisión hacia la Tierra mediante los enlaces de bajada se denominan *downlink*.

También deben satisfacer requerimientos de los subsistemas de seguimiento, telemetría, y control, como son bajo peso y pequeñas dimensiones.

Las antenas, según su uso, pueden ser:

De cubrimiento global, típicas para trabajar en la denominada Banda C. Normalmente permiten cubrir hasta un tercio de la superficie terrestre, con las limitaciones anteriormente ya expresadas respecto a las latitudes más altas.

De cubrimiento hemisférico, especialmente diseñadas para servir a una determinada zona, no mayor a entre 15 y 20% de la superficie terrestre. También muy usadas en la Banda C.

Spot: especialmente preparadas para atender zonas de alto tráfico mediante haces muy direccionales que permiten colocar señales más potentes, lo que facilita la recepción en Tierra con antenas de menor ganancia. Lógicamente, la direccionalidad hace que la superficie cubierta sea en general muy reducida.

- *Transponder*:

Los *transponder* son equipos de comunicaciones que reciben las señales de la Tierra a través de *uplink*, convierten la frecuencia de la señal recibida a otra que permita su transmisión hacia la Tierra, la amplifican, y luego la retransmiten a la Tierra mediante el enlace *downlink*.

El nombre de *transponder* se ha generalizado para designar a la totalidad del subsistema de comunicaciones que lleva un satélite. En realidad, en un satélite existen N *transponders*, cada uno atiende a un determinado número de enlaces. Todos los *transponder* tienen igual ancho de banda y la salida de servicio de uno de ellos no afecta al resto.

Estos equipos incluyen casi siempre facilidades de multiplexado y demultiplexado de los canales, sean de voz, datos o vídeo.

Los *transponders* manejan varios anchos de banda; los más usuales son 36 MHz y 140 MHz para los denominados de gran ancho de banda. Cada satélite tiene varios *transponders* cuyo número varía según la banda de trabajo, su utilización y el tipo de órbita en que está colocado.

- Amplificadores de potencia.

Estos equipos, incluidos en los *transponder*, tienen por finalidad amplificar las señales que llegan a través del *uplink*, de manera que las señales recibidas puedan ser enviadas nuevamente a la Tierra con la potencia necesaria que permita su recepción.

Las señales llegan al satélite con muy baja potencia, por lo que esta parte es de vital importancia para que la señal, convenientemente reconstituida, pueda ser nuevamente utilizada.

Entre las características más importantes de estos amplificadores se puede señalar que deben generar muy poco ruido propio. Su potencia varía de acuerdo a la banda de trabajo: para la Banda C es del orden de los 50 Watt y para la Banda Ku es del orden de los 100 Watt para satélites geoestacionarios.

- Subsistemas de generación y distribución de potencia.

La fuente de energía de los satélites está constituida por celdas solares de alto rendimiento. Estas reciben la energía del Sol, para lo cual están instaladas en paneles de tal manera que reciban adecuadamente los rayos provenientes del Sol.

En el caso de los satélites geoestacionarios, las celdas pueden captar una potencia del orden de los 200 W/m², dependiendo de los daños que puedan recibir a causa de los micrometeoritos que constantemente las atacan. Por lo tanto, a medida que transcurre la vida útil del satélite, este valor se va reduciendo paulatinamente.

Luego de recibida la energía del Sol y transformada en energía eléctrica, esta debe ser almacenada en baterías y luego distribuida para poder alimentar a la totalidad de los componentes eléctricos del satélite.

Las baterías son generalmente del tipo níquel/cadmio, aunque permanentemente se están estudiando materiales que permitan un mayor número de recargas antes de ir perdiendo capacidad de almacenaje y un mejor rendimiento.

- Subsistemas de estabilización.

Los satélites, durante su vida útil, reciben permanentemente distintas fuerzas que requieren que el mismo sea estabilizado para mantener sus parámetros orbitales dentro de los límites adecuados.

- Subsistemas de control de temperatura.

Las extremas variaciones de temperatura que debe soportar un satélite hacen necesario que este cuente con un subsistema que permita mantener en forma balanceada la distribución de temperatura, tanto en el exterior como en el interior de este.



Antenas tipo Horn y parabólica de radioenlaces en microondas
(Gentileza de Siemens Enterprise Communications S.A.)

5.10.5.3 Segmento terrestre o estaciones terrestres

Las estaciones terrestres para comunicaciones forman parte del denominado **segmento terrestre** del sistema. Existe una gran variedad de estaciones terrestres. Pueden estar caracterizadas por el tamaño de la antena, la potencia de transmisión, sensibilidad de recepción, capacidad de canales que manejan, modos de acceso, etc.

La estructura en bloque de una estación terrestre, en términos generales, tiene la misma constitución interna, cualquiera sea su capacidad y potencia.

Cuentan con equipos terminales de los circuitos de datos que reciben las señales de la red pública o, si es un usuario más chico, de la red que tenga instalada.

Procesan las señales, luego son multiplexadas por división de tiempo y finalmente enviadas al transmisor, que se encarga de amplificarlas y transmitirlas a la antena con la frecuencia y la potencia adecuada. En el proceso de recepción, la operación es la inversa a la descripta.

La calidad de una estación terrestre está dada, fundamentalmente, por la relación entre su **ganancia con relación al ruido total**, considerando la ganancia total en la antena menos las pérdidas del alimentador que une a esta con el transmisor/receptor.

Muchas veces, cierto número de estaciones puede constituir una **subred** dedicada a un servicio específico.

Según su empleo y capacidad final, las podríamos clasificar en los siguientes tipos:

- Estaciones de alta capacidad.

Son aquellas que están capacitadas para manejar el tráfico internacional entre redes públicas de telecomunicaciones y que normalmente sirven para la interconexión con el exterior de la red pública de telefonía y datos de un país o conjunto de ellos.

Para el trabajo en la Banda C, las estaciones están estandarizadas en tres categorías, denominadas A, B y C, cuyas antenas pueden llegar al orden de los 30 m de diámetro.

En la Tabla 5-19 se indican las dimensiones de los reflectores parabólicos correspondientes a distintas categorías de este tipo de estaciones.

Tabla 5-19 Clasificación normalizada de las antenas terrestres para estaciones de alta capacidad

Reflector parabólico	
Clase	Diámetro antena (m)
A	> 15
B	14 a 15
C	>11

- Estaciones de media capacidad.

Son estaciones de capacidad intermedia que se utilizan para manejar el tráfico de una región o de una empresa con una red de comunicaciones de importancia.

En la Tabla 5-20, se indican las dimensiones de los reflectores parabólicos correspondientes a distintas categorías de estaciones.

Tabla 5-20 Normalización de las antenas terrestres para estaciones de capacidad media

Clase	Tamaño en metros	Bandas de trabajo
D 1	3,7 a 4,5	C
E 1	2,4 a 4,5	Ku
E 2	4,5 a 7,0	Ku
F 1	3,7 a 4,5	C
F 2	5,5 a 7,5	C
F 3	7,3 a 9,0	C
G	Mayores de 4,5	Ku y C
H	1,8 a 3,7	C

- Estaciones de pequeña capacidad.

Son estaciones que normalmente sirven para un único usuario. Utilizan antenas especiales denominadas **VSAT - Very Small Aperture Terminal**, que son paráolas que tienen un diámetro comprendido entre los 2 y 4 m aproximadamente; o más recientemente las denominadas **USAT - Ultra Small Aperture Terminal**, cuyos diámetros son menores a un metro y llegan en algunos casos a dos decenas de centímetros.

- Estaciones terrestres móviles.

Son estaciones transportables, en vehículos, aeronaves o barcos, que sirven normalmente a un usuario único. Este tipo de estaciones ha adquirido una importancia fundamental en los últimos tiempos por la versatibilidad que ofrece su uso en el caso de catástrofes o necesidades especiales.

5.10.5.4 Sistemas de seguimiento, telemetría y control

Una vez colocado el satélite en órbita, los sistemas de seguimiento tienen la misión de mantenerlo en una posición que, respecto a su posición orbital, tenga una tolerancia del orden del 0,5° como máximo. Distintas fuerzas externas siempre tratan de sacarlo de su posición.

Estas responsabilidades son asignadas a ciertas estaciones terrestres que asumen las tareas de monitoreo, seguimiento y control de cada uno de los satélites que gobiernan.

Estas estaciones reciben los datos correspondientes al estado del satélite como son la posición, altura, alarmas por mal funcionamiento de algún circuito electrónico, nivel de potencia, etc.

Estas indicaciones, junto con la posición determinada por telemetría desde la estación terrestre, permiten, mediante el uso de computadoras, el cálculo de la posición correcta y el envío hacia el satélite de los comandos necesarios para activar los motores/cohetes.

La activación de estos últimos permite corregir la posición del satélite y poner en funcionamiento los circuitos de control que actúan sobre los diferentes módulos del sistema de comunicaciones.

Por otra parte, cada una de las redes que se forma debe contar con un **Centro de Control de Red** que se encarga de monitorear el estado operativo de la red. La existencia o no de ellos depende del tipo de red donde se halla insertado el satélite y de la filosofía de mantenimiento empleada.

En caso de fallas, estos centros tienen la posibilidad de conmutar la unidad averiada por otras de repuesto ubicadas en diferentes nodos de la red.

En las redes con baja cantidad de estaciones terrestres se utiliza una de ellas para asignarle esta función.

5.10.6 Características de los sistemas de comunicaciones satelitales

5.10.6.1 Servicios fijos, con o sin conmutación

Los servicios fijos por satélite permiten efectuar comunicaciones **punto a punto**, o **punto multipunto**, entre dos o más estaciones terrenas, ambas con capacidad de **transmisión y recepción** sobre uno o más satélites.

En estos casos, las estaciones deben estar en capacidad para **recibir y transmitir señales**, que pueden ser **analógicas** o **digitales**, dependiendo de las características del **transponder** que tenga instalado el satélite sobre el que se trabaja.

Las estaciones terrestres pueden conectar a **dos únicos equipos terminales entre sí**, en el caso de que se tratara de usuarios finales; o bien, la estación puede ser el punto de ingreso a una **Red de Área Extendida - WAN** o a una **Red de Área Local - LAN**.

En estos dos casos, estas redes podrán ofrecer servicios con conmutación o con la conectividad que estén capacitadas para proporcionar.

Un caso típico de aplicaciones de cierta importancia es la interconexión entre las **Redes Telefónicas Públicas - RTP** de dos países, usando el enlace satelital como el vínculo de interconexión entre ellas. En estos casos, normalmente se utiliza **INTELSAT**.

5.10.6.2 Servicios de difusión (broadcast capacity)

Los servicios de difusión por satélite permiten efectuar comunicaciones **punto multipunto** entre una estación terrena que tiene capacidad de **transmisión y recepción** y muchas estaciones que solamente tiene capacidad de **recepción**.

Las estaciones receptoras pueden brindar servicio a **un único usuario final** o pueden ser las puertas de ingreso para la distribución de la señal recibida mediante redes especiales, construidas al efecto. Un primer ejemplo es el caso de las empresas de **distribución de señales de televisión por cable - CATV**. Las mismas reciben distintas señales de televisión de uno o varios satélites y luego, mediante equipos especiales, las multiplexan sobre un cable y las distribuyen dentro del área de cobertura de la red que hayan construido.

Otro ejemplo típico es lo que comercialmente se denomina **televisión directa al hogar o Direct To Home**. En este caso, cada usuario final debe tener una estación terrestre de **muy pequeño porte**, normalmente provista por la empresa que comercializa la distribución, y a través de esa estación recibe una señal previamente seleccionada de un único satélite, que le provee todos los canales que previamente le fueron enviados para su difusión.

En algunos casos, la estación terrena ubicada del lado del cliente puede proporcionar estos servicios a más de un cliente, pero dentro de un pequeño ámbito; tal es el caso de un edificio de varios pisos constituido por varios departamentos.

5.10.6.3 Servicios móviles

Los servicios móviles por satélite permiten efectuar comunicaciones **punto a punto** o **punto multipunto** entre dos o más estaciones terrenas, ambas con capacidad de **transmisión y recepción** sobre uno ó más satélites.

En estos servicios, la particularidad es que **una estación es fija**, y generalmente conectada a la red pública, y la otra es una **estación móvil**; esta última puede ser portable en la mano de una persona, montada en un vehículo, en un avión o en un barco.

Un ejemplo con múltiples usos es el sistema denominado **Iridium** operado por la empresa **Iridium Communications Inc.**, con sede en la ciudad de McLean, Estado de Virginia, EE. UU.



<http://www.iridium.com>

El sistema consta de una constelación de 66 satélites que orbitan la tierra en seis órbitas bajas LEO. Cada una de ellas tiene 11 satélites que se desplazan a distancias equidistantes, lo que le permite cubrir cualquier lugar de la Tierra, incluyendo a los polos, rutas marítimas o aéreas de cualquier índole.

Su nombre proviene del elemento iridio, cuyo número atómico (77) significaba metafóricamente la cantidad de electrones de dicho elemento. Inicialmente, ésa iba a ser la cantidad de satélites, pero posteriormente se decidió cambiar la cantidad, reduciéndola a 66. No obstante, el nombre quedó como inicialmente había sido pensado.

Iridium tiene capacidad para prestar servicios de comunicaciones de voz y datos utilizando equipos móviles, como por ejemplo teléfonos. Es especialmente apto en aquellos lugares del planeta donde no hay cobertura de sistemas de comunicaciones fijos o móviles tradicionales.

Otros ejemplos similares son **Globalstar** y **Teledesic**, esta última fundada en 1990 para prestar servicios satelitales de banda ancha para Internet de características similares a Iridium.

5.10.7 Formas de acceso al satélite

5.10.7.1 Aspectos generales

Las limitaciones que presentan los satélites, tanto en lo que se refiere a la **capacidad del ancho de banda disponible en los transponder** como a la **cantidad de satélites que pueden ser colocados en órbita geoestacionaria**, ha llevado a optimizar los métodos de empleo.

Por tal razón se han desarrollado procedimientos destinados a obtener un mejor aprovechamiento de cada satélite instalado mediante el perfeccionamiento de lo que se ha dado en llamar en forma genérica los **métodos de acceso**.

Estas técnicas, también denominadas de **Acceso Múltiple - MA** (*Multiple Access*), pueden ser divididas según los *transponder* estén preparados para el manejo de señales analógicas o digitales. Existen varios métodos; entre otros, los siguientes.

5.10.7.2 Single Channel Per Carrier - SCPC

Este método, denominado **Canal Único por Portadora**, es usado principalmente para sistemas que utilizan una sola señal de una frecuencia y ancho de banda determinado, normalmente en canales de voz, para la difusión por satélite de señales de radiodifusión o de vídeo.

En estos casos, la portadora no se multiplexa en varios canales sino que las varias subportadoras comparten la única portadora sobre un *transponder*.

Si, por ejemplo, existen n subcanales de frecuencia de voz que van a operar sobre una portadora independiente del *transponder*, cada una de ellas irá apropiándose del canal utilizando un único ancho de banda de valor $1/n$, que estará disponible para todo el conjunto. Cada subportadora estará separada por bandas de seguridad que tienen por objeto proteger a cada subcanal de los que ocupan las frecuencias adyacentes.

Este método presenta las ventajas de ser una tecnología muy simple, de bajo costo y la fácil implementación de sistemas que reciben señales en estaciones terrestres ubicadas en lugares geográficamente diferentes. Además, permite el uso de variados anchos de banda que pueden ir desde un canal B de voz, de 64 Kbps, hasta ocupar el ancho de banda total del un *transponder*.

Sin embargo, resulta muy ineficiente cuando se requiere la transmisión por ráfagas, como en el caso de la transmisión de paquetes de datos utilizada en los canales de telefonía IP.

Este método se suele utilizar para rutas de bajo tráfico, y es tan eficiente como el denominado **Time Division Multiplexer Asynchronous - TDMA**, que se describirá en el apartado 5.10.7.5, cuando se utiliza contra estaciones terrestres estándar de bajo costo.

5.10.7.3 Multi Channel Per Carrier - MCPC

Este método, denominado **varios canales por portadora**, es usado para sistemas de mayor caudal de datos que el anterior.

Consiste en combinar en un único lugar múltiples señales correspondientes a varios canales de frecuencia de voz en un flujo de bits, para proceder luego a su modulación en una única portadora utilizando la técnica de banda lateral única.

Todos los canales son multiplexados por división de frecuencia y luego modulados en una única señal de radiofrecuencia que se envía posteriormente al satélite.

La portadora modulada se puede transmitir a múltiples sitios remotos. En la o las estaciones terrenas receptoras, el proceso es el inverso.

Debido a que todas las señales tienen que ser inicialmente enviadas a un solo lugar antes de ser combinadas para la transmisión, MCPC se encuentra en una gran desventaja en comparación con SCPC en términos de tiempo de transmisión. Sin embargo, este método es muy eficiente cuando el tráfico es intenso.

5.10.7.4 Companded Frequency Division Multiplex - CFDM

Este método, denominado **multiplexación por división de frecuencia con compresión**, permite ampliar la capacidad de ancho de banda disponible hasta casi el doble.

Para ello, los canales de frecuencia de voz son previamente comprimidos en amplitud y luego modulados. Al ser recibidos en la estación receptora, primero se los debe demodular y luego expandirlos nuevamente.

En estas técnicas, para los *transponder* de un ancho de banda típico de 36 MHz, se pueden acomodar 2.100 canales de frecuencia de voz, en lugar de los 1100 que podrían ser transmitidos con las técnicas normales.

5.10.7.5 Time Division Multiplexer Asynchronous – TDMA

Este método es utilizado exclusivamente cuando se opera con señales digitales. Se denomina **multiplexación asincrónica por división de tiempo**. Permite que varias estaciones terrestres, utilizando la misma portadora, envíen en diferentes instantes pequeñas ráfagas de datos o *bursts*. Los mismos deben ser multiplexados por división de tiempo dentro de una trama, donde cada estación utilizará un *slot* de tiempo.

El *transponder*, una vez que recibe la trama completa, la amplifica, convierte la frecuencia para su devolución a la Tierra y la retransmite a la estación terrestre receptora correspondiente. La trama está dividida en pequeños *slots* de tiempo, uno para cada una de las estaciones que transmiten; sin embargo, la que recibe lo hace con la trama completa.

Un ejemplo de este método podría ser el de varios canales de televisión geográficamente distantes. Cada uno posee sus correspondientes estaciones transmisoras. Por medio del **canal ascendente** (*Up link*) suben, en forma simultánea a un único *transponder* y en un único canal de una velocidad de transmisión, sus señales multiplexadas por división de tiempo, donde cada estación de televisión ocupará un *slot* de la trama.

Cuando todas las estaciones terminen de transmitir su correspondiente *slot* de tiempo, la trama se terminará de formar. El satélite la procesará en la forma señalada y a través del **canal descendente** (*Down link*) la enviará a través de la frecuencia adecuada a la estación terrena receptora.

La estación receptora recibirá la totalidad de las señales. Y si por ejemplo fuera una empresa de Distribución de CATV, posteriormente las multiplexará adecuadamente para su ingreso al cable.

5.10.7.6 Satellite Switched/Time Division Multiplexer Asynchronous - SS TDMA

Este método, denominado **comutación satelital con multiplexación asincrónica por división de tiempo**, es similar al anterior, pero a bordo del satélite existe un conmutador que redirecciona las señales, enviando cada estación transmisora al destinatario que corresponde.

En este caso, que solamente es posible en pocos satélites, se permite comunicar entre sí varias estaciones terrestres según las órdenes de conmutación que el satélite reciba. La conmutación en el satélite es operada desde tierra, por una estación que controla el subsistema de comunicaciones.

5.10.8 Eco

Debido a que los satélites geoestacionarios están ubicados a 35.780 km de distancia de la tierra y que la velocidad de propagación de la luz es de 300.000 km/s, la señal electromagnética tiene un retraso de 0,12 segundos desde la Tierra hasta llegar al satélite. Por lo tanto, para un enlace simple de un solo salto satelital, el retardo total será de 0,24 segundos.

Un eco de 0,24 s es perceptible por el oído humano. Es por ello que es necesario usar **canceladores de eco**, con técnicas sofisticadas para evitar este tipo de inconvenientes. Las comunicaciones que tienen vías de transmisión y recepción diferentes, denominadas enlaces a cuatro hilos o **dúplex completo**, no presentan este tipo de inconvenientes.

5.11 Microondas

5.11.1 Definición y uso

Se entiende por un sistema de comunicaciones por microondas a aquellos sistemas de telecomunicaciones que, trabajando en la banda de frecuencias ultra elevadas - UHF y aun más altas, utilizan un haz radioeléctrico como si fuera un rayo de luz para establecer un enlace punto a punto entre dos estaciones transceptoras.

Ambas deben estar en una misma visual o, en su defecto, deben utilizar estaciones repetidoras intermedias.

La curvatura de la Tierra o la topografía del lugar limita el alcance del haz directo. De todos modos, la Tierra difracta las señales y estas pueden alcanzar distancias más allá del horizonte, es decir, fuera del alcance de la visión directa. En esos casos se dice que el enlace es del tipo transhorizonte. No obstante, empleando repetidores a distancias adecuadas se llega a obtener circuitos de varios miles de kilómetros.

El hecho de que los sistemas de microondas usen haces de frecuencia muy elevada permite que su capacidad sea elevada. De esta manera, mediante los procedimientos de multiplexar el ancho de banda de la señal se pueden transmitir, por un mismo haz, señales de velocidades muy elevadas.

5.11.2 Características generales

Los sistemas de microondas permiten establecer vínculos terrestres de telecomunicaciones, punto a punto, mediante haces longitudinales que conectan dos estaciones.

Los enlaces de muy largo alcance necesitan de varios saltos para cubrir la distancia total necesaria. Las estaciones intermedias reciben el nombre de **estaciones repetidoras** y pueden ser activas o pasivas.

Tienen como funciones básicas la **recepción**, la **amplificación** o la **regeneración**, según se trate de señales analógicas (ya en desuso) o digitales, y la posterior **retransmisión** hacia la siguiente estación (retransmisora o terminal).

Actualmente, la totalidad de los enlaces de comunicaciones que se realizan utilizando este medio son totalmente digitales y construidos con elementos activos de estado sólido.

Inicialmente, se usaban como elementos activos válvulas osciladoras especiales denominadas *Klystron*.

La instalación de sistemas de microondas requiere siempre la autorización de la **autoridad nacional** que en cada país regula el uso del espectro electromagnético. Dado el uso intensivo que se efectúa de este tipo de medio, especialmente en las grandes ciudades, la cantidad de frecuencias disponibles es escasa.

Esta razón ha llevado al uso cada vez más frecuente de rangos de frecuencia más altos, del orden de varios GHz. Esto ha sido factible en razón de que hoy es posible construir equipos para sistemas de microondas de **estado sólido** a frecuencias muy elevadas.

En estos sistemas cada enlace respecto del anterior, o del siguiente, está separado por una distancia que, si bien depende de varios factores como la potencia de transmisión, altura de las antenas y la frecuencia de operación, puede estar en el orden de los 50 km y aun más.

La razón de que las antenas **se vean ópticamente** es un limitante provocado por la curvatura de la Tierra y está directamente relacionado con la altura de las antenas. A medida que se aumenta la frecuencia de transmisión es necesario disminuir esta distancia a causa de la mayor atenuación que sufre la señal al propagarse. En la Tabla 5-21 se muestran los saltos típicos para diferentes bandas de frecuencias.

Tabla 5-21 Distancias entre saltos de microondas en función de la frecuencia de operación

Intervalo de frecuencias expresados en GHz	Longitud de salto expresados en km
1,5 a 2,5	60
4 a 6	50
7 a 8	45
11 a 13	25 a 35
15 a 20	10 a 20
30	5
40 a 60	2 a 0,5

5.11.3 Microondas analógicas

5.11.3.1 Aspectos generales

Las microondas analógicas fueron las primeras que se instalaron y tenían la finalidad de transmitir canales telefónicos y de televisión. Si bien ya no se fabrican más, a la fecha existen aún algunas instalaciones con servicio de microondas de este tipo.

En la Tabla 5-22, se especifican las bandas asignadas según el ancho de banda a utilizar. Cuanto más alta es la frecuencia de trabajo de los sistemas de microondas, mayor es la cantidad de canales que pueden ser obtenidos mediante los procedimientos de multiplexación.

Tabla 5-22 Frecuencias usadas en los sistemas de microondas

Ancho de Banda MHz	Banda asignada MHz
8,0	1850 a 1990
0,8	2130 a 2150
0,8	2180 a 2200
10,0	6575 a 6875
20,0	12200 a 12700

5.11.3.2 Estaciones repetidoras

Las estaciones repetidoras pueden ser: **pasivas** o **activas**.

- Estaciones repetidoras pasivas.

Consiste en dos antenas parabólicas conectadas entre sí, por su parte posterior, mediante un trozo de guía de onda. No se amplifica la señal recibida, por lo cual no son necesarias fuentes de alimentación para su operación. Por esa razón, este tipo de estación repetidora es la más conveniente para ubicaciones geográficas de difícil acceso o expuestas a cambios rigurosos de clima.

Existen también repetidoras pasivas planas, que son de mayor rendimiento y están constituidas por una lámina de aluminio de aproximadamente 1,20 m x 1,80 m.

- Estaciones repetidoras activas.

Las estaciones repetidoras activas están constituidas por dos antenas (receptora y transmisora) y, a diferencia de las pasivas, contienen, además, circuitos electrónicos que amplifican la señal recibida antes de retransmitirla a la estación siguiente.

Las estaciones repetidoras activas efectúan dos funciones esenciales:

- Primero suministran la ganancia suficiente para compensar el debilitamiento de las señales a lo largo del trayecto de transmisión.
- La segunda es cambiar la frecuencia, debido a que debe transmitir la señal a una frecuencia diferente a la recibida con el objeto de disminuir la interferencia entre los distintos enlaces que componen el sistema.

5.11.4 Microondas digitales

5.11.4.1 Aspectos generales

Con el advenimiento de la transmisión de datos surgió la necesidad de adecuar las microondas a la transmisión de señales digitales. Para ello se utilizaron métodos de modulación adecuados para señales digitales, básicamente similares a los estudiados en esta obra bajo del nombre de **señales multinivel**.

En la actualidad, la totalidad de los sistemas de microondas que se instalan son de características digitales.

5.11.4.2 Métodos de modulación para señales digitales

Los métodos de modulación para señales digitales son los siguientes: **2 PSK, 4 PSK, 8 PSK, 16 QAM y 64 QAM** y muy recientemente **128 QAM, 256 QAM y 512 QAM**.

Estos métodos, si bien se han desarrollado con mayor amplitud en el Capítulo 4, serán repasados aquí repitiendo brevemente sus principales características:

5.11.4.3 Los métodos PSK y QAM

Los **métodos PSK** (*Phase Shift Keying*), denominados **modulación por desplazamiento de fase**, consisten en la variación de la fase de la portadora según se transmita un **uno** o un **cero**.

En la Fig. 5.35. se ejemplifica el método de modulación **4 PSK**. En este, la portadora puede tomar 4 fases diferentes que corresponderán a 4 secuencias binarias posibles. En el método **8 PSK** se toman 8 fases diferentes y, por último, en los métodos **16 QAM y 64 QAM** (*Quadrature Amplitude Modulation*) se varía la amplitud de dos portadoras, desplazadas entre sí 90° en sus fases.



Antenas para radioenlaces de microondas tipo Horn y parabólicas
(Gentileza de Siemens Enterprise Communications S.A.)

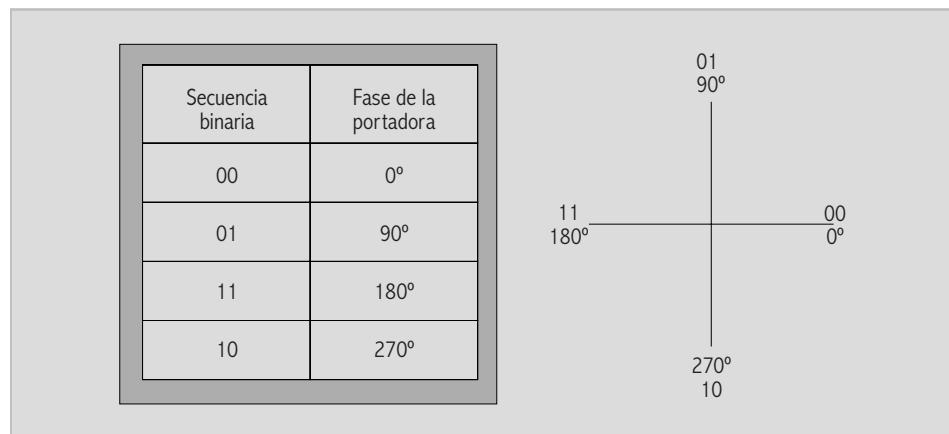


Fig. 5.35. Método de modulación 4 PSK.

En los métodos **N QAM**, se utiliza una combinación de **modulación por desplazamiento de fase** y **modulación por amplitud** ya desarrollada en el Capítulo 4 de esta obra.

5.11.4.4 Relación entre el método de modulación y el ancho de banda

En la Tabla 5-23, se puede observar que, a medida que se utilizan métodos de modulación más sofisticados, el ancho de banda necesario disminuye para una misma velocidad de transmisión.

Por ejemplo, para un **ancho de banda de 17,2 MHz**, utilizando como método de modulación **4 PSK**, la velocidad máxima de transmisión será de 34 Mbps. Sin embargo, si empleamos **16 QAM**, manteniendo el mismo ancho de banda, la misma velocidad de transmisión aumenta hasta un valor del orden de los 100 Mbps.

Tabla 5-23 Relación entre el método de modulación y el ancho de banda

Sistema de modulación	Ancho de banda necesario (MHz)			
	34 Mbps	68 Mbps 34 Mbps x2	100 Mbps 34 Mbps x3	140 Mbps 34 Mbps x 4
2 PSK	34,4	68,8	103,2	139,3
4 PSK	17,2	34,4	51,6	69,7
8 PSK	11,5	22,9	34,4	46,4
16 QAM	8,6	17,2	25,8	34,8
64 QAM	5,7	11,5	17,2	23,2

En la Tabla 5-24, se pueden observar los mismos resultados analizados desde otro punto de vista. Si deseamos obtener una velocidad de transmisión de 140 Mbps, para cada tipo de modulación cambia la cantidad de **bit por Baudio** transmitido y, por lo tanto, también cambia el **ancho de banda** que es necesario usar. A medida que la cantidad de **bit por Baudio** aumenta, disminuye el ancho de banda necesario para llegar a la velocidad de 140 Mbps.

Tabla 5-24 Rendimiento de los distintos modos de modulación para señales de banda base a 140 Mbps

Método de modulación	Número de bits por baudio	Ancho de banda necesario
2 PSK	1	140 MHz
4 PSK	2	70 MHz
8 PSK	3	47 MHz
16 QAM	4	35 MHz
32 QAM	5	28 MHz
64 QAM	6	23 MHz
128 QAM	7	20 MHz
256 QAM	8	14 MHz
512 QAM	9	10 MHz

Obsérvese que con **256 QAM**, y un ancho de banda de solamente **14 MHz**, se podrá llegar a transmitir a una velocidad de **140 Mbps**; hecho este que ya había sido señalado cuando se destacaba la importancia de las transmisiones multinivel.

5.11.4.5 Características de las microondas digitales

Las microondas digitales, como todo sistema de estas características, permiten la regeneración de los pulsos que son transmitidos por el sistema de comunicaciones.

La regeneración de la señal posibilita mayor tolerancia al ruido y a las interferencias, dado que en cada repetidora de microondas se regenera nuevamente la señal digital. Por ello, no se propagan las sucesivas adiciones de ruido y/o distorsión, como ocurre en los sistemas analógicos, en los cuales no es posible regenerar la señal sino solamente amplificarla.

5.11.5 Características de las antenas de microondas

Las antenas usadas en la transmisión de señales de microondas pueden ser clasificadas en **omnidireccionales**, en el caso en que las mismas irradién energía en todos los sentidos con igual intensidad, o **direccionales**, cuando la energía transmitida es concentrada en un delgado haz dirigido hacia la antena receptora.

Las primeras son usadas en muy pocos casos por las pérdidas de potencia que implican. Se emplean generalmente cuando se trata de estaciones centrales que deben transmitir a otras ubicadas en distintas direcciones.

En la mayoría de los casos las antenas que se usan son del tipo direccional. De esta manera, se logran transmisiones con **muy baja potencia** al poder concentrar la mayor parte de la energía en un haz angosto. Este depende de las características particulares de las antenas que se instalen.

Las antenas direccionales parabólicas están construidas de manera que proporcionen una **ganancia** y una **directividad** muy alta. La misma se consigue mediante paráboles que concentran el haz de la señal transmitida. Mientras mayores sean sus dimensiones, más estrecho será el haz y más intensa será la señal en la antena receptora. Sin embargo, las grandes antenas aumentan el costo del sistema, aunque proporcionan mayor seguridad de funcionamiento.

Están compuestas por dos partes principales: el **reflector** y el **alimentador** o también llamado el **elemento activo**. El alimentador es el que recibe la señal del transmisor a través de la guía de onda e irradia las ondas electromagnéticas hacia el reflector que las concentra, for-



Antena para radioenlaces de microondas y TV
(Gentileza de Siemens Enterprise Communications S.A.)

mando el haz. El reflector tiene la forma de un plato cuya curvatura está dada por una curva de segundo grado que recibe el nombre de parábola; de allí su nombre de **reflector parabólico**.

Las grandes paráolas reflectoras deben instalarse en torres muy resistentes, no solo debido a su peso sino también a la mayor carga asignada por la presión del viento. En general, las mismas se calculan para vientos que pueden variar según las regiones de entre 200 y 260 km/h.

Otro aspecto importante es la orientación correcta y exacta de las antenas.

Las dimensiones de las antenas dependen del rango de frecuencia en el que operan. Por ejemplo, para la banda que va de 1 a 3 GHz se utilizan antenas cuyos diámetros van desde los 0,60 m hasta los 4 m. Un ejemplo de un tipo de antena para esta gama de frecuencias sería el siguiente:

- Diámetro: 1,80 m.
- Ganancia: 29 dB.
- Ancho del haz: 6°.

5.11.6 Equipo de reserva

En general, en todo sistema de microondas se instala un equipo de reserva para hacer que el sistema sea más confiable. Estos sistemas se denominan **1 + 1**, dado que tienen un equipo operando y otro en reserva. En caso de fallar el equipo principal, el secundario o de reserva automáticamente lleva adelante la transmisión.

Asimismo, con el equipo de reserva se facilitan las tareas de mantenimiento debido a que se pueden efectuar sin interrumpir el funcionamiento normal del sistema.

5.12 Guías de onda

5.12.1 Definición y uso

Se denominan guía de onda a:

El medio de transmisión especialmente apto para conducir señales de longitudes de onda micrométrica, utilizada en los sistemas de comunicaciones que trabajan a frecuencias elevadas y que se emplean en distancias cortas, principalmente para efectuar la conexión entre la antena y los equipos transmisor y receptor.

La propagación de las ondas electromagnéticas en frecuencias del **orden de varios GHz** no puede ser transmitida con pérdidas razonables por ningún tipo de cables de cobre, cualquiera sea la geometría de los mismos. Las razones que impiden su uso se deben principalmente a dos causas: por un lado, los cables **radian energía** y, por otro, esta tiende a circular solamente por la superficie de ellos en razón del denominado **efecto pelicular** (ver Capítulo 6).

Para poder solucionar este tipo de problemas se utilizan las guías de onda, que resultan elementos simples, sencillos de construir y prácticos de instalar. Sin embargo, debemos destacar que en algunas aplicaciones también se pueden usar las fibras ópticas como alternativa.

Su uso está reservado a los diseñadores de los equipos electrónicos de transmisión y recepción de señales, que trabajan en las bandas de UHF y superiores, y son principalmente aptas para permitir la conexión de los transmisores y receptores con las antenas correspondientes.

5.12.2 Características generales

En general, las guías de onda están construidas en tubos huecos, de una longitud de 5 a 15 m de largo aproximadamente, y de secciones tales que permitan la propagación de las ondas electromagnéticas en su interior. Como sufren una atenuación en el interior de la guía, es con-

veniente reducir en todo lo que sea posible su longitud. Por otra parte, cabe destacar que las pérdidas en las guías de onda aumentan rápidamente cuando disminuye la longitud de onda.

También es importante que el aire que contiene la guía de onda esté libre de humedad, pues la atenuación crece con su aumento. Para evitar la humedad, se las suele someter a sobrepresión (con aire seco o con gas inerte, como el nitrógeno); o bien, en otros casos, se aplican sistemas de calentamiento eléctrico.

El material con el cual se fabrican las guías de ondas puede ser cobre rojo para las bandas de longitud de onda de entre **9 a 3 mm**, mientras que en las instalaciones que requieren poco peso se utiliza el aluminio protegido por un tratamiento anódico. Para frecuencias menores, es decir, ondas más largas del orden de **10 a 25 cm**, se pueden utilizar indiferentemente aluminio, cobre o latón. El cobre rojo es el que tiene las menores pérdidas.

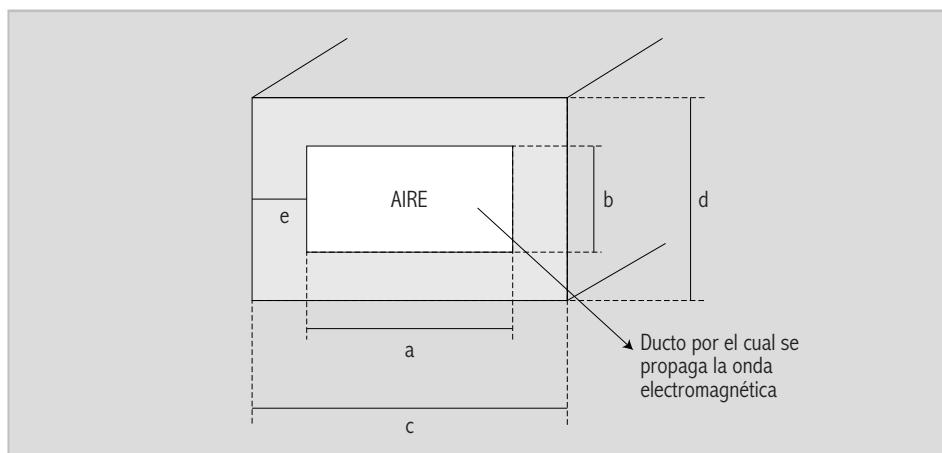


Fig. 5.36 Perfil transversal de una guía de onda rectangular.

Las dimensiones de los tubos se normalizan según las distintas bandas de frecuencias. Una guía de onda se implementa uniendo entre sí varios trozos de guía de onda de dimensiones normalizadas. En la Fig. 5.36. se representa la sección de una guía de ondas, siendo **a** y **b** las dimensiones interiores, y **c** y **d** las exteriores, mientras que **e** es la dimensión que corresponde al espesor.

Se puede observar en la Tabla 5-25 que a medida que disminuye la frecuencia de trabajo, se necesita una guía de ondas de mayores dimensiones y las pérdidas resultan menores, pues disminuye la atenuación.

La forma de las guías de onda puede ser circular, rectangular, etc., y está directamente relacionada con el modo de propagación de la señal electromagnética que por ellas se transmite hacia y desde la antena.

Por último, se están realizando experiencias para conseguir transmisiones a mayor distancia, por lo que se prevé su posible utilización futura en sistemas de comunicaciones de muy alta capacidad.

5.12.3 Aspectos técnicos

En las guías de onda, la transmisión de la energía no es efectuada por medio de las paredes de la guía sino a través de su dieléctrico, que normalmente es el aire adecuadamente tratado.

La energía se propaga por medio de ondas electromagnéticas, que se van reflejando en las paredes de la guía siguiendo una forma en **zigzag**.

Por lo tanto, las leyes que rigen este tipo de transmisión están directamente relacionadas con las que se utilizan para describir el comportamiento de los campos eléctrico y magnético (Leyes de Maxwell y complementarias).

La sección transversal de la guía, parámetro que en la Fig. 5.36. fue definido como **a**, debe ser del **mismo orden de la longitud de onda** de la señal que por la guía se está transmitiendo.

5.13 Láser

5.13.1 Definición y uso

Llamaremos **enlaces de comunicaciones por medio de láser** (*Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation*, es decir, luz amplificada por emisión estimulada de radiación) a:

Equipos de telecomunicaciones ópticos e inalámbricos que transmiten por medio de emisores que generan un haz de luz coherente (esta luz puede o no ser visible al ojo humano) que, convenientemente modulado, permite transmitir señales inteligentes entre dos puntos geográficos distantes.

Estos sistemas de comunicaciones inalámbricas son conocidos en la literatura técnica como **Free Space Optical - FSO** u **Optical Wireless** [Ópticos (sistemas) en el espacio libre u ópticos (sistemas) sin cables].

Su uso, si bien no está muy difundido, es de aplicación en casos muy puntuales como son los **enlaces punto a punto digitalizados** dentro de grandes ciudades a distancias visuales como soluciones para prestar el servicio de última milla o para interconectar **Redes de Área Local**. Este medio de comunicación tiene un uso importante en sistemas militares en donde se pueden obtener los mayores alcances.

Su alcance está limitado por la distancia máxima de propagación del haz de luz, que puede llegar hasta valores próximos a la decena de kilómetros.

Los equipos que usan este tipo de tecnología son muy fáciles de instalar, pero resultan vulnerables a todo aquello que afecte el haz de luz que genera el láser, como por ejemplo la niebla.

La Fig. 5.37. muestra un sistema láser punto a punto instalado en un área urbana de gran densidad que permite la comunicación entre dos equipos próximos.

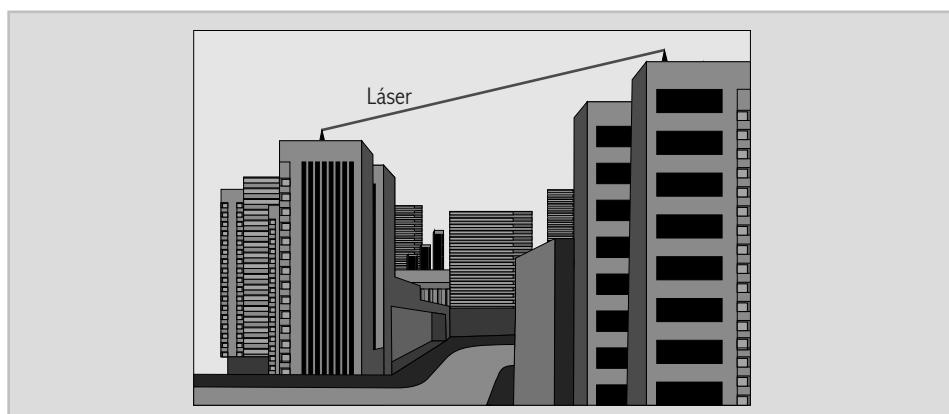


Fig. 5.37 Instalación de un sistema láser entre dos edificios.

Los equipos láser también son utilizados como parte de la electrónica en los sistemas de telecomunicaciones por fibras ópticas. En ese caso, su uso es solamente como un componente más del sistema y no como un sistema integrado de comunicaciones, como es el caso de tratamiento que se efectúa en este punto.

5.13.2 Características generales

El láser ha alcanzado un avance extraordinario en los últimos años, especialmente en el área de comunicaciones. Su uso en los sistemas de comunicaciones presenta una ventaja importante con respecto a las transmisiones de radio o microondas, y es el **gran ancho de banda disponible**.

Sus limitaciones más severas están relacionadas con el comportamiento de la atmósfera por la que deben transmitirse sus emisiones. Cuando esta presenta turbulencias, se dificulta su propagación. Estas pueden ser producidas por fenómenos tales como niebla, lluvia, humedad, etc. En estos casos, pueden producirse serias limitaciones respecto a la cantidad de información a transmitir.

En el espacio, donde no existen las partículas atmosféricas que dificulten o limiten su propagación, el láser puede ser un medio de telecomunicaciones de muy alta eficacia. Actualmente, el mayor esfuerzo tecnológico se realiza buscando obtener procedimientos que permitan modular las señales de los **transmisores láser** mediante medios mecánicos o efectos electroópticos.

5.13.3 Principio de funcionamiento del láser

5.13.3.1 Fluorescencia

Supongamos un átomo en el estado de reposo, con una energía que denominaremos E_1 . Si recibe una cierta cantidad de energía ΔE , por ejemplo, por medio del bombardeo con un **fotón**, entonces, como resultado de un proceso de absorción de energía, cambiará su estado inicial, pasando a un nivel E_2 , denominado nivel de excitación, según se puede observar en la Fig. 5.38.

El átomo en ese nivel de excitación es inestable, por lo cual al cabo de un corto tiempo regresa al estado de reposo inicial E_1 , emitiendo un **quantum** de energía que se materializa en la emisión de luz. A este proceso de emisión se lo denomina **fluorescencia** y su duración es de unos pocos milisegundos.

En general, parte de la energía absorbida en el proceso de excitación se consumirá en la producción de **calor**. Por tanto, la liberación de energía que ocurre durante la **fluorescencia es menor** que la adquirida por el átomo durante la excitación según la Ley de Stokes. En consecuencia, la luz emitida por el fenómeno de fluorescencia es de **mayor longitud de onda** que la radiación de excitación.

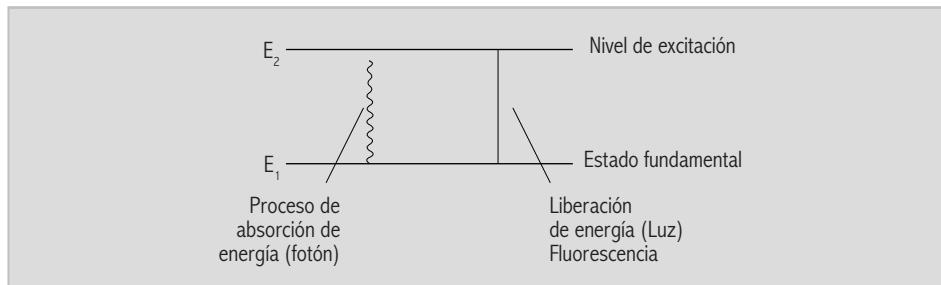


Fig. 5.38. Fenómeno de fluorescencia.

Si la energía de radiación es E_1 , y la fluorescencia E_2 , resulta:

$$E_1 \ll E_2 \quad (5-14)$$

y sus respectivas longitudes de onda λ_1 y λ_2 serán:

$$\lambda_2 \ll \lambda_1 \quad (5-15)$$

5.13.3.2 Emisión estimulada

Si un átomo se encuentra en el nivel de excitación E_2 y otro fotón lo bombardea, ocurre un proceso denominado **emisión estimulada**.

El citado proceso consiste en la emisión de un **fotón** en forma de energía lumínica por parte del átomo, sin esperar el retorno de este al nivel E_1 de reposo. Este es el principio fundamental de operación del **Láser** o **Máser** (*Microwave Amplification by Stimulated Emission of Radiation*, es decir, microonda amplificada por emisión estimulada de radiación).

El primer **máser** consistió en una pequeña caja de metal que contenía moléculas excitadas de amoníaco. Dentro de la caja se radiaba una señal de microondas de aproximadamente 24 GHz y se obtenía como salida la emisión de un haz coherente de **microondas**.

A fines de la década de los años cincuenta se comenzó a aplicar el mismo principio del máser en la región del espectro de frecuencias correspondiente a la **luz visible**.

Uno de los primeros equipos de **láser** utilizaba un cristal de rubí como fuente de energía y obtenía la resonancia mediante las reflexiones sucesivas de la luz en una cavidad con espejos enfrentados. Dicho proceso se ha denominado de **avalancha**.

Tabla 5-25 Atenuación de las guías de onda en función de la frecuencia

Frecuencia (MHz)	Longitud de onda (cm)	Dimensiones exteriores (cm)	Atenuación (dB/m)
26500 - 40000	0,9	0,71 x 0,355	0,51 - 0,58
8200 - 12400	3,2	2,28 x 1,03	0,10 - 0,15
2600 - 3950	10,0	7,22 x 3,49	0,02 - 0,05
1120 - 1700	25,0	16,50 x 8,25	0,01 - 0,07

La energía lumínica emergente es **luz monocromática**, es decir, de una sola longitud de onda, a diferencia de la luz blanca, por ejemplo, que es la suma de señales luminosas de varias longitudes de onda. En el caso del láser de rubí, la longitud de onda es 694 nm, es decir, se obtiene un haz de color rojo. En la Tabla 5-26 se pueden observar algunos de los diferentes tipos de láser existentes.

Tabla 5-26 Tipos de láser

Ion activo	Longitud de onda emitida
Cadmio	325; 441,6 nm
Argón	351, 1; 448 nm
Kriptón	476,2 nm
Neón	632,8 nm
Cromo	694,3 nm
Samarro	708,3 nm
Neodimio	1,06 x 10 nm
Uranio	2,5 x 10 nm
Co ₂	1,06 x 10 nm

5.13.4 Distintos tipos de láser

El láser puede ser, según su diseño y construcción, de cuatro tipos diferentes:

- Gaseoso.
- Líquido.
- Sólido.
- Semiconducto.

El **láser gaseoso** utiliza mezclas de **helio** (elemento con número atómico He - 2) y **neón** (elemento con número atómico Ne - 10). Los mismos están contenidos en tubos de vidrio y trabajan al ser excitados por medio de descargas eléctricas en el gas.

El **láser líquido** utiliza fluidos orgánicos estimulados por pulsaciones de luz de alta potencia.

El **láser sólido** utiliza cristales, como es el caso del **rubí** excitado por lámparas especiales de filamentos construidos por **tungsteno** (elemento con número atómico W - 74).

El láser semiconductor está construido por junturas *p - n*. La excitación se da por medio de una corriente eléctrica, que controla la cantidad de corriente en el medio activo. Este tipo de láser es fácil de modular y por lo tanto es muy útil en las aplicaciones relacionadas con los sistemas de telecomunicaciones.

5.13.5 Evolución futura del láser

Los equipos láser convencionales requieren una fuente de alta tensión para obtener los potenciales necesarios que **ionicen al gas** y permitan **lsear** al mismo.

Actualmente se trabaja con láser constituido por semiconductores. Los mismos son sencillos, de pequeñas dimensiones y no requieren fuente de alta tensión.

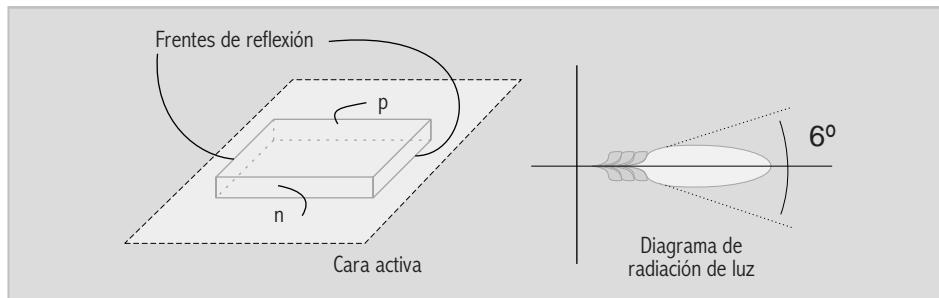


Fig. 5.39. Láser de unión *p - n*.

En 1962 se obtuvieron los primeros logros al conseguir producir en una juntura *p - n* una emisión estimulada. El material usado fue **Arseniuro de Galio - Ga As** con impurezas de **zinc** (elemento con número atómico Zn - 30). Este tipo de láser produce una radiación lumínica de color rojo que en la actualidad se emplea comercialmente. En la Fig. 5.39. se puede observar un esquema del láser de juntura *p - n*.

En conclusión, el láser, como medio de comunicaciones, se emplea como elemento transmisor de pulsos de luz y puede operar en un sistema que utilice un cable óptico (medio alámbrico, como en la óptica física), o uno inalámbrico, como la atmósfera o el vacío. Para el primer caso, los pulsos de luz se deben introducir en el núcleo de la fibra mediante un acoplamiento muy preciso y costoso. En el segundo caso se deben utilizar antenas muy directivas para poder centrar el haz de luz hacia la antena receptora.

5.13.6 Equipos de comunicaciones láser

5.13.6.1 Características generales

En la época actual, la demanda de intercambiar información a alta velocidad con gran ancho de banda disponible en el canal de comunicaciones es cada vez mayor. Los enlaces de comunicación por láser - FSO se presentan como una solución a estos requerimientos a los que se suma su facilidad de instalación y el uso de frecuencias no reguladas.

Existe una gran diferencia entre los equipos de uso comercial que se ofrecen en el mercado de las telecomunicaciones y otros desarrollos utilizados para fines militares exclusivamente. Mientras los primeros se ofrecen normalmente en alcances que van hasta los 5 km aproximadamente, los otros pueden pasar fácilmente los 10 km de distancia entre equipos terminales y operar enlazando, por ejemplo, dos buques en navegación.

Son muchas veces utilizados como soluciones transitorias mientras se desarrollan otro tipo de sistemas de comunicaciones que tengan un tiempo de instalación y puesta a punto mayor. También tienen la ventaja de que son inmunes a las interferencias electromagnéticas o radioeléctricas, aunque son afectados por la niebla, lluvia o nieve.

5.13.6.2 Estructura de un enlace

Un enlace entre dos puntos tiene la estructura que se puede observar en la Fig. 5.40. En un extremo hay un transmisor que puede utilizar longitudes de onda que pueden variar entre los 780, 850, 980, o 1550 nm ($1 \text{ nm} = 10^{-9} \text{ m}$). Actualmente, también se pueden utilizar valores de hasta 10 micrones.

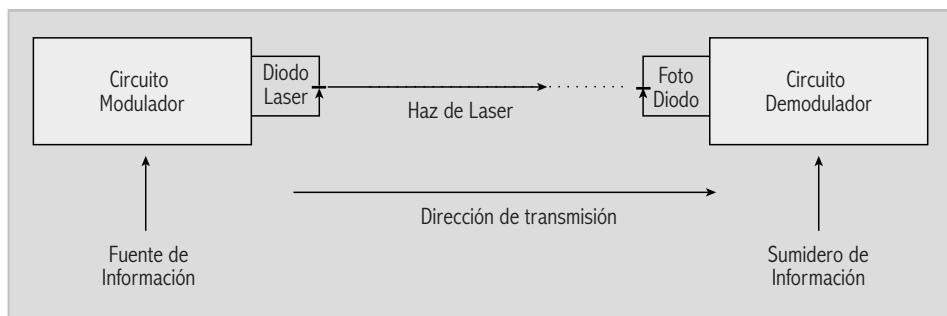


Fig. 5.40. Esquema de un enlace laser unidireccional.

En el transmisor habrá un circuito modulador, sistemas de control ópticos que tienen por misión obtener un haz angosto con la menor cantidad de pérdidas por efectos geométricos de la fuente de luz láser y, finalmente, un diodo láser emisor.

El receptor está construido con lentes que concentran el haz, filtros de radiación solar y un fotodetector que pasará la señal a un amplificador y finalmente a un demodulador.

El procedimiento de transmisión requiere de un proceso previo para enfocar el transmisor y el receptor antes de comenzar el intercambio de información.

En la Fig. 5.41, se observa un sistema completo para intercambiar señales en modo bidireccional. Cada equipo tiene los elementos adecuados para transmitir y recibir las señales. Además, constan de un sistema para alinear los haces de luz.

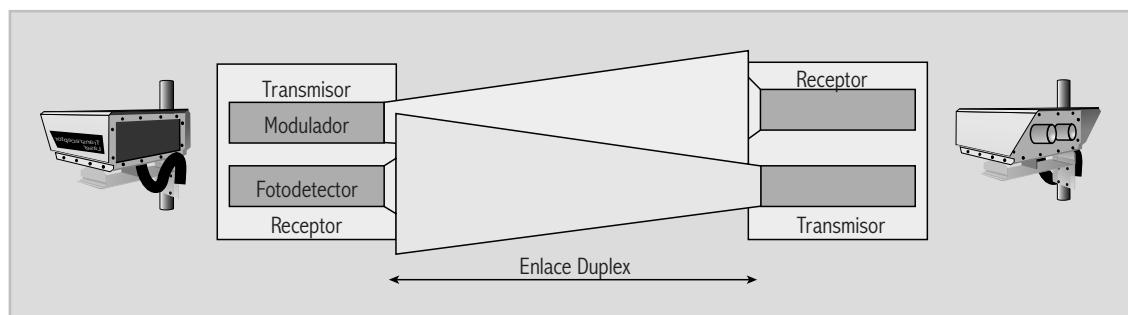


Fig. 5.41. Esquema de un enlace laser bidireccional.

5.13.6.3 Características del equipamiento

En este medio de comunicaciones, la distancia entre los equipos terminales es inversamente proporcional al ancho de banda disponible.

En la Tabla 5 – 27 se describen cuatro tipos de equipamiento que podrían ser típicos del mercado. En ellos se puede observar la relación expresada.

Tabla 5-27 Características generales de equipamientos láser

Características	Equipo 1	Equipo 2	Equipo 3	Equipo 4
Rango de alcance	4.000 m	2.000 m	500 m	500 m
Ancho de banda disponible	34 Mbps	155 Mbps	622 Gbps	9,6 Gbps
Potencia consumida	35 W	35 W	45 W	45 W
Longitud de onda del haz	980 nm	980 nm	850 nm	780 nm

5.14 Fibras ópticas

5.14.1 Definición

La fibra óptica como medio de comunicaciones ha revolucionado el mundo de las telecomunicaciones al ofrecer un ancho de banda mucho mayor que todos los medios anteriormente conocidos, lo que ha permitido que las redes puedan mantener enlaces digitales a velocidades que ya alcanzan el orden de varios Tbps.

Este medio de comunicaciones puede ser definido como:

Un fino hilo conductor de vidrio, o plástico, que permite transportar la luz, generalmente en la banda de los infrarrojos y por lo tanto no visible por el ojo humano; luz que, modulada convenientemente, permite transmitir señales inteligentes entre dos puntos a velocidades de muy altas, con tasa de errores muy bajas.

5.14.2 Uso

Las fibras ópticas se utilizan formando cables de varios conductores en los circuitos de transmisión en redes de telecomunicaciones urbanas e interurbanas. También se las emplea en las denominadas **Redes de Área local - LAN** y en **Redes de Área Extendida - WAN**.

Este tipo de medio de transmisión presenta ventajas importantes respecto a los pares trenzados de conductores de cobre o a los cables coaxiales. En particular, las siguientes:

- **Baja atenuación por kilómetro** cuando se transmite por las llamadas ventanas de transmisión que están ubicadas en torno a los valores siguientes de longitud de onda: $0,8 \mu\text{m}$, $1,3 \mu\text{m}$ y $1,55 \mu\text{m}$.

En estos casos, se pueden obtener atenuaciones del orden de $0,2 \text{ dB/km}$; valor que permite espaciar los repetidores regenerativos a distancias que llegan a los 300 km y aun mayores, en velocidades de 622 Mbps , usando sistemas de transmisión que se basan en la tecnología denominada **Jerarquía Digital Sincrónica - SDH**.

- Total **inmunidad al ruido** y a las interferencias electromagnéticas, lo que constituye un medio especialmente útil en ambientes con alto ruido. En este tipo de medio de comunicaciones es normal obtener tasas de errores del orden de $BER = 10^{-10}$ y mejores. Por otra parte, al no generar radiaciones electromagnéticas, no afectan otros sistemas que pueden estar instalados en sus proximidades.

Este medio de comunicaciones se define como un fino hilo conductor de vidrio, o plástico, que permite transportar la luz, generalmente en la banda de los infrarrojos y por lo tanto no visible por el ojo humano; luz que, modulada convenientemente, permite transmitir señales inteligentes entre dos puntos a velocidades de muy altas, con tasa de errores muy bajas.



Fibras ópticas

- Uso de **potencias de muy bajo valor**, del orden de los mW, en comparación con otros medios de telecomunicaciones que requieren potencias mayores.
- Mayor **capacidad** debido al mayor ancho de banda disponible.
- Resistencia al **fuego** y a la **corrosión**, y soportan mejor los cambios atmosféricos; funcionan con variaciones de temperaturas mayores.
- Seguridad en cuanto a la posibilidad de que terceros no deseados **intercepten el cable**, ya que es muy difícil que dicha interceptación no sea notada en el sistema de telecomunicaciones que integra.
- Su construcción con **diámetros pequeños**, que pueden llegar a valores entre 2 y 6 mm entre bordes exteriores, muy flexibles y de poco peso, hacen que este medio de comunicación sea fácil de instalar, especialmente cuando se trata de completar sistemas sobre ductos preexistentes, sobrecargados por otro tipo de medios que no es posible eliminar.
- Costos **decrecientes**, en especial para grandes cantidades.

Sus usos más importantes, entre otros, son los siguientes:

- Para construir enlaces troncales en **Redes de Área Extendida - WAN** de alta capacidad.
- Para sistemas de distribución en **Redes Urbanas** usando la tecnología que proporciona la multiplexación por medio de la **Jerarquía Digital Sincrónica**, mediante los denominados **anillos ópticos urbanos** (*Fiber in the Loop - FITL*).
- Redes de **Televisión por Cable - CATV**.
- En áreas geográficas con **alta radiación electromagnética**.
- En las instalaciones efectuadas por medio de cableado estructurado, en el cableado vertical y, en algunos casos, para unir puestos alejados de los equipos electrónicos usados.
- En los casos en que exista la probabilidad de condiciones atmosféricas desfavorables, en especial la posibilidad de que se produzcan tormentas eléctricas.
- En la instalación de cables submarinos.

5.14.3 Detalles constructivos de la fibra óptica

Las fibras ópticas están constituidas por dos capas: la central, denominada **núcleo** o **core**, y una periférica, llamada **recubrimiento** o **clad**.

Cada una de estas capas está caracterizada por un **índice de refracción**. Este índice, en general, mide la relación entre **la velocidad de la luz en el vacío respecto de la velocidad de propagación en un determinado medio considerado**. El índice de refracción de la velocidad de la luz en el vacío es $n = 1$.

Por lo tanto, el núcleo tendrá un índice de refracción n_1 y el recubrimiento uno n_2 . Se demostrará, aplicando la llamada **Ley de Snell**, el principio de funcionamiento de las fibras ópticas. Esta ley explica las causas por las cuales la luz no se escapa del núcleo de la fibra por el que es conducida.

Se demostrará que el índice de refracción del núcleo debe ser mayor que el del recubrimiento y, además, que para obtener una pérdida a través de la cubierta mínima, la relación entre ambos índices debe ser de alrededor del 1%.

Es decir, que:

$$n_1 > n_2 \quad (5-16)$$

La relación de diámetros entre el núcleo y el recubrimiento depende del tipo de fibra. En el caso particular de las denominadas **fibras monomodo**, el núcleo tiene aproximadamente un diámetro de $9 \mu\text{m}$, y el recubrimiento $125 \mu\text{m}$.

Por otro lado, en las **fibras multimodo**, el núcleo tiene aproximadamente un diámetro de entre 50 y $62,5 \mu\text{m}$ y el recubrimiento de $125 \mu\text{m}$ es el más utilizado.

5.14.4 Principios de funcionamiento

5.14.4.1 La propagación de la luz

Tal como se expresó, una fibra típica está compuesta por dos capas de vidrio, cada una con distinto índice de refracción, y además, el núcleo de la fibra tiene un índice de refracción mayor que el revestimiento.

Debido a la diferencia de índices, la luz transmitida se mantiene y propaga a través del núcleo, es decir, existe **reflexión total interna**. Para explicar este concepto recordemos la **Ley de Snell**.

Dicha ley expresa que:

Existe una relación constante entre el ángulo incidente de un haz de luz y el índice de refracción en dicho medio respecto del ángulo de refracción en el segundo medio y su correspondiente índice de refracción.

En la expresión (5-17) y en la Fig. 5.42., se pueden observar las expresiones de dicha ley.

$$n_1 \operatorname{sen} \theta_1 = n_2 \operatorname{sen} \theta_2 \quad (5-17)$$

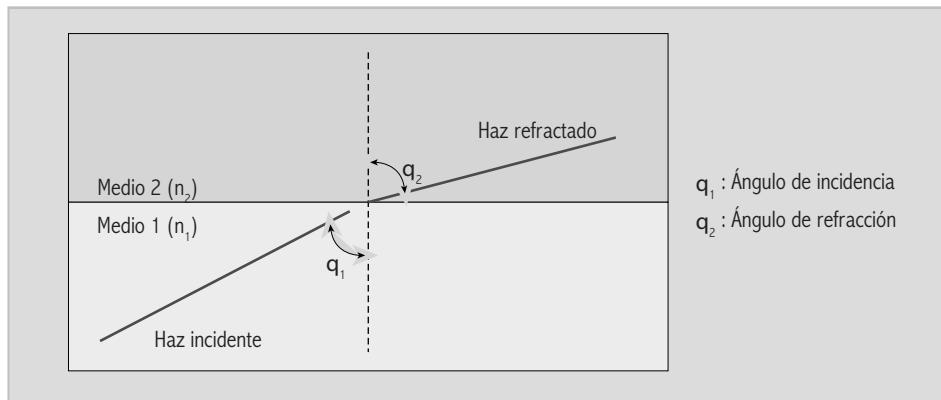


Fig. 5.42. Ley de Snell.

Se puede observar en la Fig. 5.42. que si el haz refractado que sale del medio n_1 tuviera un ángulo de refracción de 90° , no se propagaría en el medio n_2 sino que lo haría en la dirección paralela al eje transversal del núcleo, sin salir de este último.

En la Fig. 5.43., se puede observar la forma del haz cuando se produce la refracción en la dirección antes mencionada. Para que esto tenga lugar, deberá ser el **sen θ_2 máximo**, es decir, igual a 90° .

Dicha condición se expresa de la forma:

$$\theta_2 = 90^\circ \quad (5-18)$$

$$\operatorname{sen} \theta_2 = 1 \text{ (máximo)} \quad (5-19)$$

Luego, en la expresión (5-17) reemplazamos por el valor de $\operatorname{sen} \theta_2$ obtenido en la (5-19). Tendremos:

$$n_1 \operatorname{sen} \theta_1 = n_2 \quad (5-20)$$

De donde:

$$\operatorname{sen} \theta_1 = \frac{n_2}{n_1} \quad (5-21)$$

Como resulta:

$$1 > \operatorname{sen} \theta_1 > 0 \quad (5-22)$$

debe ser necesariamente:

$$n_1 > n_2 \quad (5-23)$$

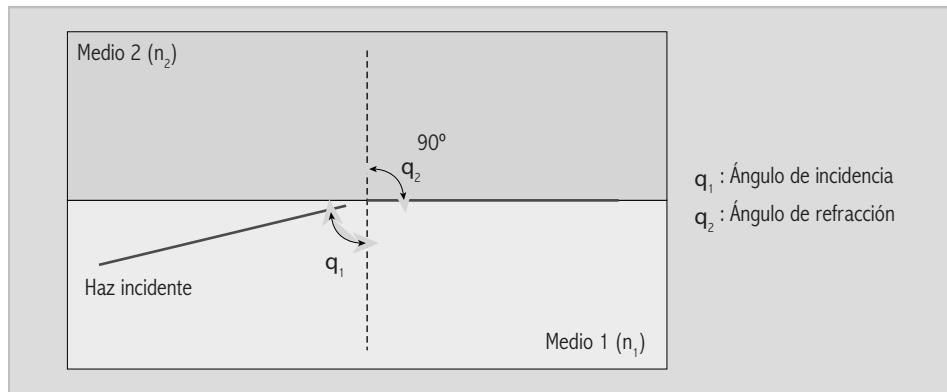


Fig. 5.43. Refracción con ángulo máximo.

Con esta condición se construyen las fibras ópticas, donde el núcleo siempre debe tener un mayor índice de refracción que el revestimiento.

Cabe acotar que la relación entre los índices de los dos medios, señalada en la expresión (5-23), se debe cumplir dentro de lo que se denomina **cono de aceptación**. Para ángulos mayores a los que forma el cono de aceptación, esta relación no se cumple y el haz de luz sale de la fibra.

5.14.4.2 Cono de aceptación

En la Fig. 5.44., se puede apreciar que la luz se puede propagar por la fibra si incide dentro de un cierto ángulo llamado **cono de aceptación**.

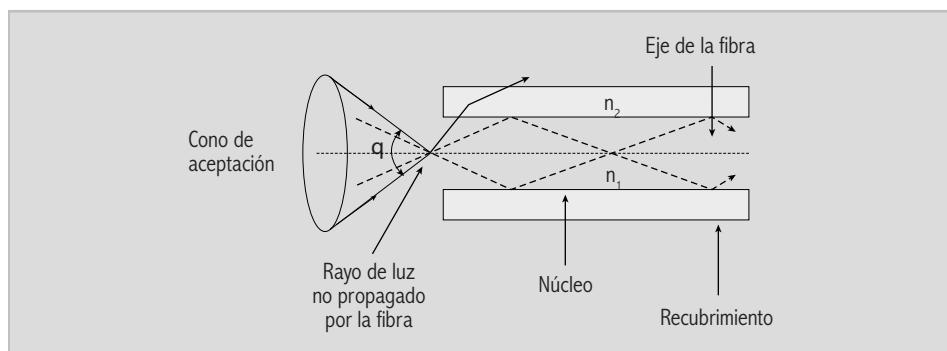


Fig. 5.44. Cono de aceptación.

El cono de aceptación define un denominado θ ángulo de apertura. Este resulta ser función de los índices de refracción del núcleo y del revestimiento. Dicho ángulo es el formado por la dirección del núcleo de la fibra y una cualquiera de las generatrices del cono de aceptación.

Su valor es igual a:

$$\theta = \arcsen \sqrt{n_1^2 - n_2^2} \quad (5-24)$$

A su vez, el seno del ángulo de apertura se denomina **NA - número de apertura**, es decir, que:

$$NA = \sen \theta \quad (5-25)$$

De donde resulta:

$$NA = \sqrt{n_1^2 - n_2^2} \quad (5-26)$$

Se puede observar que el **cono de aceptación** es función de los **índices de refracción** de los materiales con que está construida la fibra.

5.14.4.3 Atenuación de la luz

El término **atenuación** se usa para medir la pérdida de la **potencia óptica** de un haz de luz que viaja por la fibra, a similitud de la medida de las pérdidas de potencia en los circuitos eléctricos.

La atenuación de una fibra se mide en **dB/km** y es función de la longitud de onda. Existen ciertas longitudes de onda, denominadas **ventanas**, para las cuales la **atenuación de la luz resulta mínima**. Estas están indicadas en la Fig. 5.45. y son las que se utilizan para transmitir los pulsos de luz.

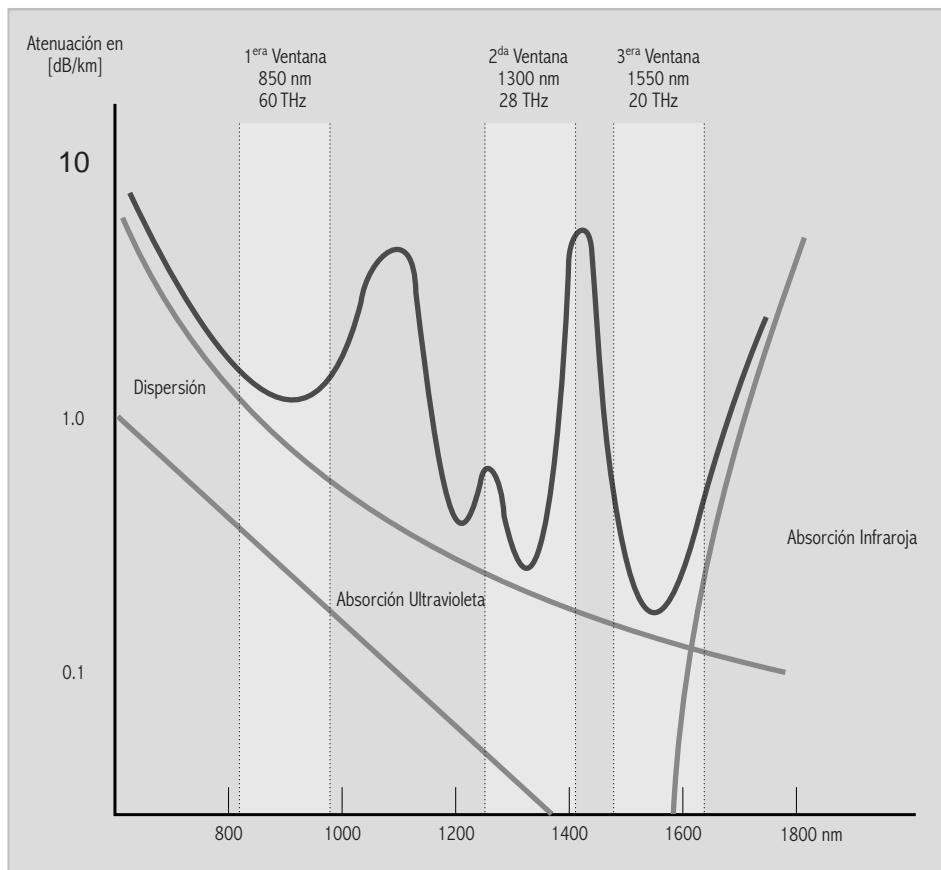


Fig. 5.45. Atenuación en función de la longitud de onda. Atenuación [dB/km] y longitud de onda [nm].

La **primera ventana** se extiende desde los 800 nm hasta los 900 nm; la **segunda ventana** comienza a los 1200 nm hasta los 1350 nm y, finalmente, la **tercera ventana** comienza al valor de 1450 nm hasta los 1600 nm.

De las tres ventanas, la tercera es la que presenta la menor atenuación y es hacia la que tienden a operar los sistemas ópticos más modernos.

5.14.4.4 Ancho de banda de una fibra óptica

Como en todo medio de comunicaciones, el ancho de banda de las fibras ópticas está determinado por la diferencia entre los límites superior e inferior de las frecuencias de trabajo en los denominados **puntos de - 3 dB** (ver Capítulo 2).

$$\Delta f = f_2 - f_1 \quad (5-27)$$

El intervalo de trabajo en las fibras ópticas se halla comprendido entre los distintos valores que corresponden a las ventanas de trabajo y que, como se expresó en el apartado anterior, van desde $\lambda_2 = 800 \text{ nm}$ hasta, $\lambda_1 = 1.800 \text{ nm}$, aproximadamente.

Estos valores, λ_2 y λ_1 , se corresponden a las frecuencias $f_1 = 187,5 \text{ THz}$ y $f_2 = 375 \text{ THz}$ respectivamente, por cuanto la longitud de onda es inversamente proporcional a la frecuencia; luego a la mayor longitud de onda corresponderá la menor frecuencia.

Obsérvese que los límites que definen el ancho de banda, en el caso de las fibras ópticas, nunca se expresan en frecuencia debido al tamaño del número que resulta medido en Hertz. Se prefiere, casi siempre, expresarlos en longitudes de onda medidas en nanómetros.

Sin embargo, este ancho no puede ser utilizado en su totalidad, pues solamente se pueden tomar como utilizables los anchos de banda parciales correspondientes a cada una de las tres ventanas de mínima atenuación.

Los valores que corresponde a los mismos son los siguientes:

- Primera ventana: 60 THz.
- Segunda ventana: 30 THz.
- Tercera ventana: 20 THz.

La suma de los anchos de banda correspondientes a las tres ventanas resulta, así, igual a 108 THz.

Nótese que si tomáramos la diferencia entre los valores extremos antes señalados de $f_1 = 187,5 \text{ THz}$, y $f_2 = 375 \text{ THz}$, el ancho de banda resultaría de 187,5 THz, que es superior a los 110 ya calculados. La diferencia corresponde a las bandas donde no es adecuada la transmisión por fibra óptica ya que la atenuación es muy alta.

Por otro lado, el ancho de banda disminuye a medida que nos alejamos de la fuente. Esto se debe a que se incrementa el efecto de un fenómeno conocido como **dispersión de la luz**, en particular en el caso ocasionado por la **dispersión modal y cromática**, cuyos detalles se explicitan en el apartado 5.14.5 de este capítulo.

Dado que la dispersión se incrementa con la distancia, se expresa el ancho de banda en **GHz por kilómetro**, con la condición de que para un determinado valor no existan repetidores regenerativos en el medio del tramo considerado.

El fenómeno de dispersión se puede observar en la Fig. 5.46. En ella se indican los valores del ancho del pulso t_1 al salir del transmisor e ingresar a la fibra, medido en la variable tiempo, y el ancho del pulso de llegada t_2 al receptor. Se puede observar que este último pulso tiene una duración tal que:

$$t_2 > t_1 \quad (5-28)$$

Es decir, que t_2 será mayor que el valor del pulso inicial t_1 al salir de la fuente. Por tal razón, se deberán separar más los pulsos a la entrada para evitar que los mismos se solapen a la salida. Esto equivale a disminuir la frecuencia de repetición de pulsos, que se puede interpretar como una **reducción del ancho de banda**.

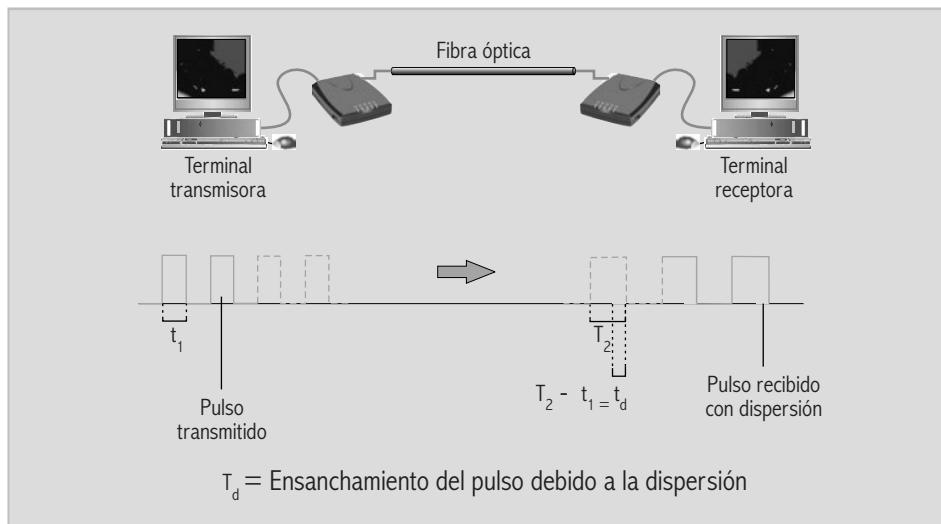


Fig. 5.46. Dispersión del pulso de luz.

Para calcular el ancho de banda, se utiliza la siguiente expresión práctica:

$$\Delta f_l = \frac{0,44}{\delta t} \quad (5-29)$$

Donde:

Δf_l = Ancho de banda [GHz/km].

δt = Dispersión en nanosegundos del pulso a un kilómetro de distancia del punto de emisión.

A su vez, la dispersión se calcula mediante la expresión siguiente:

$$\delta t = \sqrt{t_2^2 - t_1^2} \quad (5-30)$$

Donde:

t_2 = Ancho del pulso de llegada al receptor en nanosegundos ubicado a 1 km del transmisor.

t_1 = Ancho del pulso de salida del transmisor en nanosegundos.

Ejemplo 5-5:

Calcular el ancho de banda en **GHz/km**, sabiendo que cuando se genera en el transmisor un pulso de 1,2 nanosegundos se obtiene, a la llegada en el receptor, otro de 1,5 nanosegundos.

Calculemos δt :

$$\delta t = \sqrt{(1,5)^2 - (1,2)^2}$$

$$\delta t = \sqrt{0,81}$$

$$\delta t = 0,9 \text{ nanosegundos}$$

Luego el ancho de banda resultará igual a:

$$\Delta f_1 = \frac{0,44}{0,9}$$

$$\Delta f_1 = 0,48 \text{ GHz/km}$$

$$\Delta f_1 = 480 \text{ MHz/km}$$

5.14.5 Tipos de fibra óptica

Debido a la existencia de muchos **modos** o **caminos de propagación de la luz**, ocurre que la longitud recorrida por los rayos es distinta y, por lo tanto, un pulso de luz a la entrada de la fibra saldrá disperso, con lo cual queda limitado el ancho de banda de la fibra óptica.

Teniendo en cuenta el modo de propagación, se han clasificado a las fibras en:

- Monomodo.

Las dimensiones del núcleo son comparables a la longitud de onda de la luz, por lo cual hay un solo modo de propagación y no existe dispersión.

- Multimodo.

Contiene varios modos de propagación y ocurre, en consecuencia, el efecto de dispersión.

A su vez, estas últimas se subdividen en:

- **Índice Escalón.**

Tienen dispersión, reducido ancho de banda y **Step Index** de bajo costo dado que resultan tecnológicamente sencillas de producir.

- **Índice Gradual.**

Más costosas pero de gran ancho de banda, **Graded Index**.

En las fibras multimodo, se puede disminuir la dispersión haciendo variar lentamente el índice de refracción entre el núcleo y el recubrimiento (multimodo de índice gradual).

El índice de refracción es máximo en el centro de la fibra y mínimo en los extremos.

	Variación del índice de refracción	Estructura de la fibra	Modos de propagación
MULTIMODO índice escalón			
MULTIMODO índice gradual			
MONOMODO			

Fig. 5.47. Características de las fibras ópticas.

Por otra parte, la velocidad de propagación es inversamente proporcional al índice de refracción. Luego resultará que los modos que se propagan por el centro lo harán a menor velocidad que los que recorren un camino más largo, como los que se desplazan por la periferia de las fibras ópticas. Consecuentemente, se tiende a compensar la dispersión en las fibras multimodo con un índice de refracción gradual, como se detalla en la Fig. 5.47.

La dispersión del pulso de luz dentro de la fibra depende fundamentalmente del perfil del índice de refracción de la fibra y del diámetro del núcleo. El perfil del índice de refracción varía según el tipo básico de fibra, sea esta monomodo, multimodo o índice gradual y multimodo índice escalón.

Asimismo, se entiende por **dispersión del pulso de luz**.

Al proceso por el cual un pulso se ensancha a medida que se propaga por la fibra. Dicho ensanchamiento se debe a que en el extremo final de la fibra los rayos de luz llegan con tiempos de arribo diferentes, conformando en consecuencia un pulso más ancho que el que originalmente salió del otro extremo de la fibra.

Este proceso limita la cantidad de información a transmitir y en consecuencia se dice que limita el ancho de banda de la fibra. Es por ello que existe una relación directa entre ancho de banda, la capacidad de transmisión de información y el perfil del índice de refracción, que dependen del tipo de fibra óptica.

La dispersión del pulso de luz es el proceso por el cual un pulso se ensancha a medida que se propaga por la fibra. Dicho ensanchamiento se debe a que en el extremo final de la fibra los rayos de luz llegan con tiempos de arribo diferentes, conformando en consecuencia un pulso más ancho que el que originalmente salió del otro extremo de la fibra.

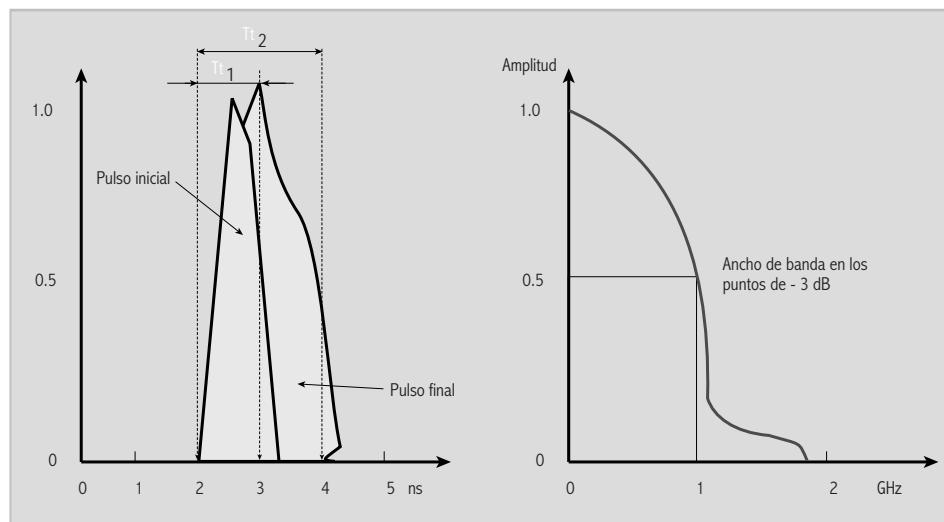
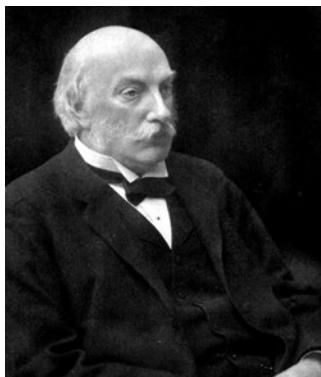


Fig. 5.48. Pérdidas por dispersión en fibras ópticas.

La Fig. 5.48. muestra un ejemplo de dispersión del pulso de luz. Se puede observar que el ancho del pulso inicial respecto del pulso final resulta menor, es decir, que por efecto de dispersión:

$$t_1 < t_2 \quad (5-31)$$

Como valores típicos de ancho de banda podemos decir, por ejemplo, que una **fibra multimodo con índice a escalón** tiene 50 MHz/km , una **fibra multimodo con índice gradual** entre 100 y 1.000 MHz/km , y una **monomodo** supera las 10 GHz/km .



John William Strutt (1842-1919). Estudió en el Trinity College de la Universidad de Cambridge y se graduó en matemática y física en 1865. Fue Profesor de Física en dicha universidad. Obtuvo el Premio Nobel de Física en 1904 por sus trabajos relacionados con los fenómenos de propagación de ondas. En particular, sus estudios estuvieron enfocados a la óptica física, la electricidad, los fenómenos relacionados con las vibraciones de los gases y de los sólidos elásticos. Descubrió la existencia de los gases inertes, como el Argón y el Radón.

5.14.6 Pérdidas en las fibras ópticas

5.14.6.1 Aspectos generales

Las pérdidas en las fibras ópticas se pueden ver materializadas en una disminución en la **potencia de luz** en el extremo receptor. Dicha disminución de potencia origina una **reducción en el ancho de banda** del sistema. Esta reducción obliga a bajar la velocidad de transmisión usada para conectar a la fuente con el colector, tanto como sea la disminución del ancho de banda.

Sin embargo, debe destacarse que de todos los medios físicos de comunicaciones utilizados, las fibras ópticas son las que presentan las menores pérdidas a iguales distancias a cubrir con el enlace. Como ejemplo de lo señalado, se puede decir que en este tipo de medio de comunicaciones se pueden obtener atenuaciones del orden de **0,2 dB/km** para fibras monomodo, lo que ha permitido que a la fecha existan enlaces que ya trabajan a velocidades de transmisión del orden de **varios Gbps**.

Las pérdidas pueden ser de los siguientes tipos:

- Dispersión modal
- Dispersión cromática
- Absorción y radiación
- Acoplamiento
- Dispersión de Rayleigh

5.14.6.2 Pérdidas por dispersión modal

Esta pérdida es normalmente la de mayor importancia. Se presenta en las fibras multimodo a causa de la diferencia en los tiempos de propagación de los rayos de luz (modos), dado que cada uno de ellos toma diferentes caminos y por lo tanto arriban en diferentes instantes.

Esto origina que el pulso se ensanche en el extremo receptor respecto del ancho con el que fue generado en el extremo transmisor. En consecuencia, la pérdida de amplitud del pulso transmitido origina un ensanchamiento en el pulso recibido, obviamente de menor amplitud.

5.14.6.3 Pérdidas por cromática

Se produce en los casos en que el emisor no genera **luz monocromática**, como es el caso del **LED**, cuyas características se analizarán oportunamente.

Tal como se indicó anteriormente, el **índice de refracción** depende de la **longitud de onda** y, por lo tanto, al emitirse desde una fuente cromática diferentes longitudes de onda, viajarán a velocidades diferentes, produciendo en el receptor un ensanchamiento del pulso y una consecuente disminución de su amplitud. Cabe destacar que este es mucho menor que el producido por la **dispersión modal**.

5.14.6.4 Pérdidas por absorción y radiación

Estas pérdidas son las producidas por la forma en que se construyen las fibras ópticas. En particular, las pérdidas por absorción se producen por las impurezas que es necesario incorporar al **silicio** (elemento cuyo número atómico es el 14) para obtener índices de refracción diferentes entre el núcleo y el recubrimiento. Estas impurezas absorben la luz y la transforman en calor.

A su vez, al construir las fibras se producen siempre imperfecciones tales como pequeños dobleces, discontinuidades, etc. Las mismas originan radiaciones indeseadas que disminuyen la potencia al final de toda la transmisión.

5.14.6.5 Pérdidas por acoplamiento

Las pérdidas por acoplamiento se producen en cualquier tipo de fibra por desacoplamientos entre las distintas partes que componen el circuito óptico: **transmisor/fibra**, **fibra/fibra** y **fibra/receptor**.

En la Fig. 5.49., se ilustran las diferentes formas en que se producen pérdidas en los acoplamientos.

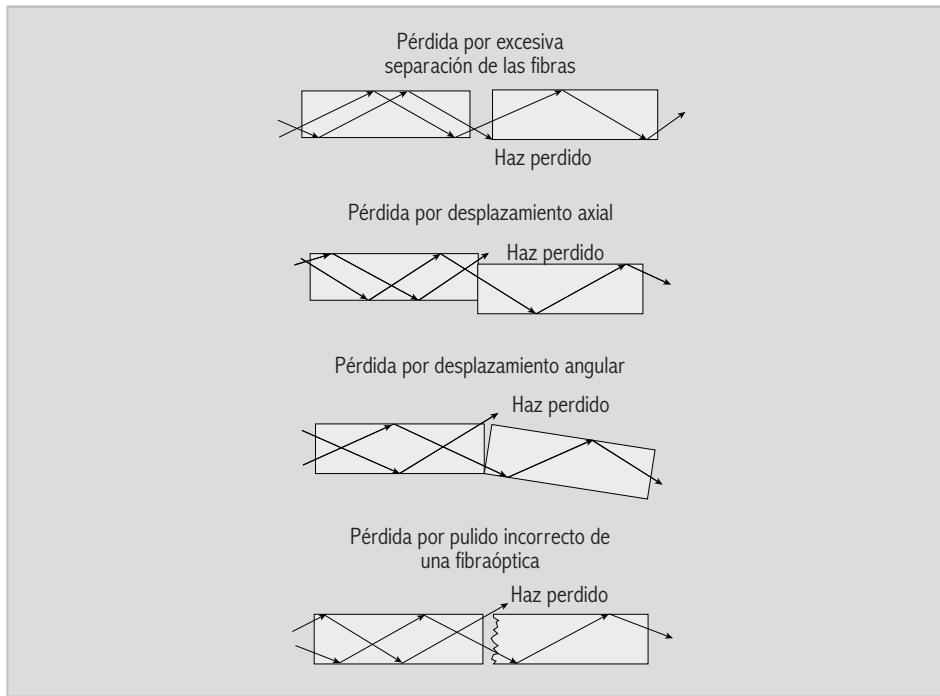


Fig. 5.49 Distintas pérdidas por acoplamiento.

Cabe destacar que el valor típico por acoplamiento para condiciones normales por cada acoplamiento es de **0,5 dB**. La calidad tecnológica con que es efectuado cada acoplamiento aumentará o disminuirá este valor.

5.14.6.6 Pérdidas por dispersión de Rayleigh

En la construcción de las fibras ópticas, se trabaja el silicio en un estado intermedio entre **líquido** y **sólido**, comúnmente denominado **estado plástico**.

Al solidificarse el estado plástico, se producen inevitablemente **irregularidades submicroscópicas** que permanecen en ella. Estas originan, al recibir un rayo de luz, un fenómeno indeseado de **difracción**, que se denomina **pérdidas de Rayleigh** en honor de este importante investigador, que fue el primero en estudiar estos fenómenos en forma genérica.

La Fig. 5.50. muestra la relación que existe entre la **longitud de onda** y las pérdidas por **Rayleigh**, medidas en dB/km.

En la figura se pueden observar las razones que impiden trabajar en la zona **visible del espectro** a causa de su elevada pérdida. Esta difracción produce pérdidas en la potencia de luz, que se incrementan a medida que el haz recorre una mayor distancia.

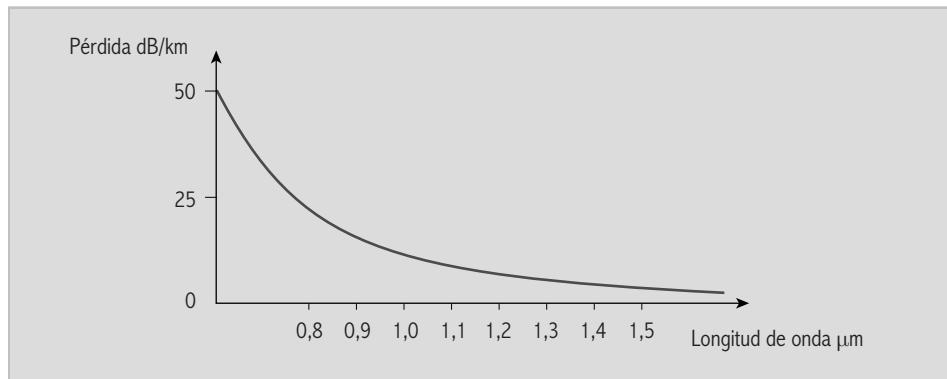


Fig. 5.50. Pérdidas por dispersión de Rayleigh.

A su vez, la Fig. 5.51. muestra los límites teóricos de la distancia máxima que podría ser alcanzada en función de la velocidad, teniendo en cuenta las pérdidas por atenuación debido a distintos factores y la que provoca la dispersión.

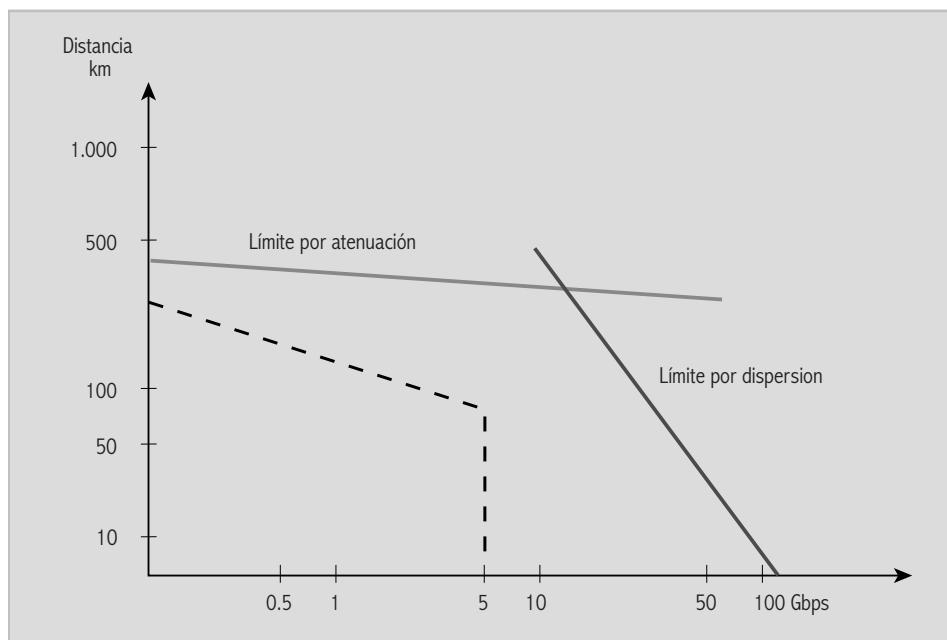


Fig. 5.51. Límites teóricos de fibras monomodo a longitudes de onda de 1550 μm.

5.14.7 Cables ópticos mono y multifibra

Para poder manipular la fibra óptica sin inconvenientes es necesario protegerla e incorporarla a una estructura que asegure la invariabilidad de sus características ópticas y mecánicas y que, en algunos casos, permita su tendido. Tendremos así un cable óptico.

Cuando un cable óptico se construye con varias fibras, el mismo recibe el nombre de **cable óptico multifibra**.

En la actualidad, todos los cables que se fabrican son multifibra. Los cables ópticos pueden presentar numerosas configuraciones en función del tipo de empleo.

La cantidad, el tipo de fibras, la complejidad de la protección con que se recubren, y otros elementos que pueden contener para dar solidez al cable, tales como alambres y/o cuerdas de acero, hilados sintéticos, fibras de vidrio, etc., o cables tensores de acero para facilitar su tendido, varían según sea la red en la que los mismos van a ser instalados.

En general, se construyen cables ópticos multifibra especialmente diseñados para su tendido en edificios por ductos y para instalaciones aéreas, subterráneas o submarinas.

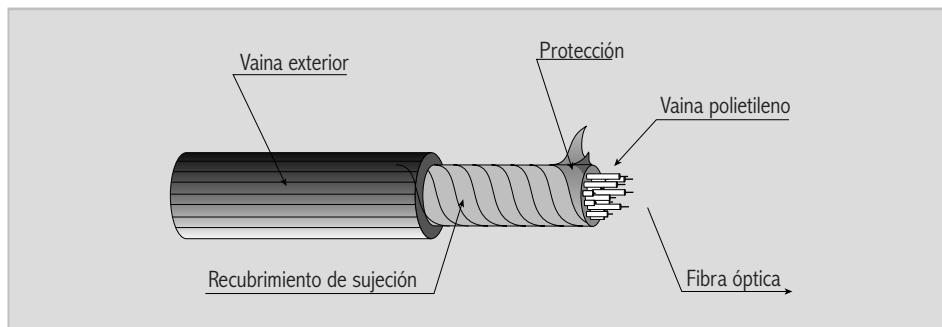


Fig. 5.52 Cable óptico multifibra.

En la Fig. 5.52., se puede observar un ejemplo de la estructura que tiene un cable óptico multifibra.

5.14.8 Sistema optoelectrónico

5.14.8.1 Definición de sistema optoelectrónico

Se denomina sistema optoelectrónico a:

La combinación de los diversos componentes necesarios para formar un sistema de comunicación que usan las fibras ópticas como medio de transmisión.

En este tipo de sistema, la **inteligencia** o información se transmite mediante pulsos de luz que viajan por la fibra óptica.

Para transmitir la información mediante el uso de luz es necesario disponer de emisores de luz denominados por **LED** (*Light Emitted Diode*, **Diodo Emisor de Luz**) y láser que transforman una señal eléctrica en fotones, los cuales viajan por la fibra.

En el otro extremo del vínculo, para poder detectar esa luz, se usan fotodetectores denominados por los acrónimos **APD** (*Avalanche Photo Diode*, **Foto Diodo de Avalanche**) **PIN** (*Photo Detector*, la contradicción hace referencia a su construcción en tres capas: P - I - N) contracción inglesa de **Foto Detector**; y **PIN/FET** (*Photo Detector - Field Effect Transistor*), contracción inglesa de **Foto Detector y Transistor por Efecto de Campo**, que convierten los fotones en electrones.

Debido a que hasta ahora la transmisión de la información se realizaba mediante un vínculo eléctrico, existe una gama de equipos transductores que convierten voz, video, datos, etc., en señales eléctricas.

Para realizar una transmisión de señales mediante fibra óptica debemos agregar nuevamente esos equipos conversores de señales eléctricas a luz en la parte transmisora y aquellos que realizan la conversión de luz a señales eléctricas en la parte receptora.

5.14.8.2 Emisores de luz: LED y LASER

Como fuente de luz, se puede utilizar un diodo emisor de luz **LED** o un diodo **LASER**. En la Tabla 5-28 se indican las diferencias básicas de ambos dispositivos.

Tabla 5-28 Diferencias básicas entre los dispositivos LED y LASER

Característica técnica	LED	LASER
Tipo de luz emitida	Incoherente	Coherente
Potencia óptima emitida	Baja (Fig. 5.49)	Alta (Fig. 5.49)
Potencia frente a longitud de onda. (Ancho espectral)	Grande(Fig. 5.50)	Pequeño(Fig. 5.50)
Direccionamiento de la luz	Menor	Mayor
Tiempo de crecimiento. Tiempo necesario para que la tensión pase de 10% al 90% de ese valor típico	100 ns	1 ns
Confiabilidad	Mayor	Menor
Vida útil	Aprox. 105 h	Aprox. 105 h
Necesidad de circuitos estabilizadores y de enfriamiento	No	SI
Ruido modal (Distorsión de amplitud)	Bajo	Alto
Costo	Bajo	Alto

Ambos son semiconductores de estado sólido y emiten luz espontáneamente cuando una corriente eléctrica pasa a través de ellas. En la composición de los semiconductores se incorporan materiales diferentes que posibilitan obtener emisiones de luz para la primera, segunda o tercera ventana.

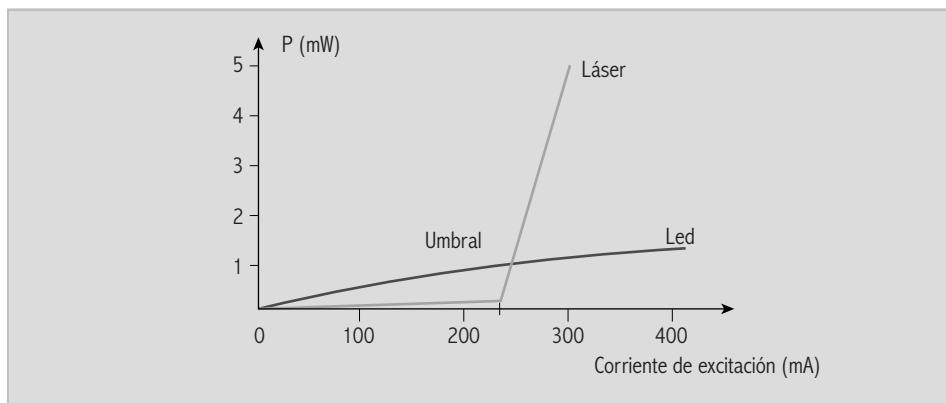


Fig. 5.53. Potencia óptica del diodo led del láser en función de la corriente de excitación.

Para la **primera ventana** se utilizan los siguientes elementos químicos: **galio** (Ga 31), **aluminio** (Al 13) y **arsénico** (As 33); para poder emitir en la **segunda y tercera ventana** se deben agregar: **indio** (In 49) y **fósforo** (P 15).

La potencia óptica emitida por un **LASER** es mucho mayor que la emitida por un **LED** por encima del denominado **umbral de corriente**, como se indica y se observa en la Fig. 5.53.

5.14.8.3 Características del transmisor

Se denomina transmisor al emisor de luz **LED** o **LASER** con sus circuitos excitadores. Las diferencias entre uno y otro se señalan en la Tabla 5-28. El ancho de banda o ancho espectral de estos dispositivos difiere en la forma en que se señala en la Fig. 5.54.

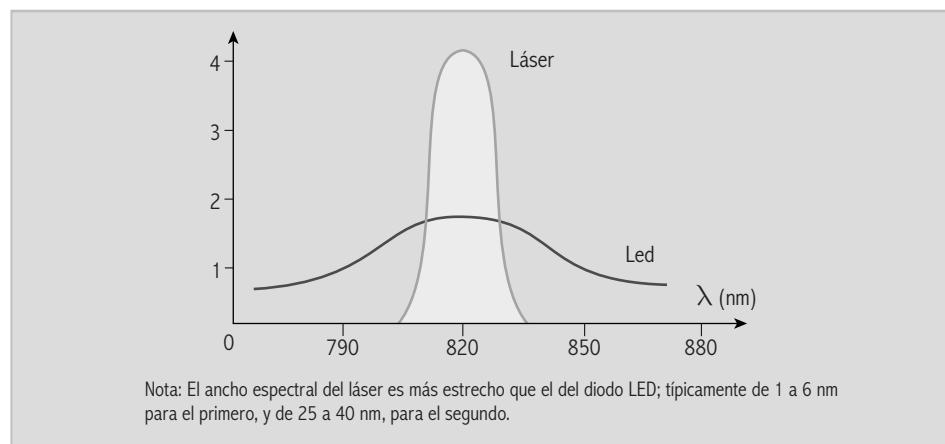


Fig. 5.54. Comparación del ancho de banda de un diodo led respecto de un láser.

Para transmisores digitales es importante tener muy en cuenta la **velocidad máxima de transmisión**, la cual está relacionada con un parámetro del emisor de luz denominado **tiempo de crecimiento** (*rise time*).

La linealidad no es crítica en una transmisión digital; sin embargo, un factor importante para cualquier transmisión, como ya se vio, es el **ruido**, es decir, señales aleatorias indeseables que se suman a la señal útil. En el caso de la transmisión por medios ópticos, la variación de la **relación señal a ruido** depende de la calidad del emisor de luz y de los circuitos electrónicos.

Por lo tanto, si bien las fibras ópticas son **inmunes a todo tipo de interferencias**, debe tenerse en cuenta que no es así en el **transmisor, el receptor y sus circuitos electrónicos asociados**, y por ello deben ser diseñados con especial cuidado para evitar este fenómeno.

5.14.8.4 Receptores de luz: APD, PIN, PIN/FET

Los detectores de luz son semiconductores de estado sólido que poseen una juntura **P - N**, la cual genera una corriente eléctrica proporcional al número de fotones que capta.

Los detectores más comunes son:

- Diodo: PIN.
- Fotodiodo de avalancha: APD.
- Fotodetector y transistor por efecto de campo: PIN/FET.

La eficiencia de un fotodetector **APD** es mucho mayor que la correspondiente a un **PIN**.

5.14.8.5 Características técnicas de los fotodetectores APD, PIN, y PIN - FET

En los sistemas ópticos, se utilizan los siguientes conceptos:

- Eficiencia cuántica: Es el número de electrones que son generados por efecto cuántico al incidir un cierto número de fotones recibidos por un detector.
- Corriente de pérdida: Es la corriente que circula a través de la juntura sin la presencia de luz incidente.
- Potencia de ruido equivalente - PRE: Es la mínima señal que es posible detectar.
- Ruido cuántico: Es el ruido debido al fenómeno de conversión fotón/electrón; resulta una función de la potencia óptica incidente.

- Tiempo de crecimiento *rise time*: Es el tiempo que tarda la señal para crecer desde el 10% hasta el 90% de su valor final. Es denominado, también, tiempo de respuesta.

Respecto del comportamiento de los elementos usados en los sistemas de transmisión óptica, cabe hacer las siguientes consideraciones particulares:

- El ruido cuántico es mayor en un APD que en un diodo PIN.
- Los APD tienen un *rise time* pequeño, menor de 10-9 s. Es por ello que se convierten en dispositivos receptores de mayor velocidad que los diodos PIN.
- Los diodos PIN, a su vez, poseen mayor velocidad que los fototransistores.
- El costo de un APD es mayor que el de un diodo PIN, aunque la diferencia no es tan grande como la existente entre un LASER y un LED.

El diodo **PIN** presenta mayor linealidad que un **APD**, por lo cual es apto para aplicaciones analógicas. Los circuitos asociados que necesitan son más sencillos que los requeridos por un **APD**, el cual necesita estabilización de tensión y temperatura. No obstante, para aplicaciones digitales de alta velocidad, el **APD** presenta mejores características por poseer un **rise time** pequeño, lo que permite lograr altas velocidades.

El **PIN/FET** es un dispositivo híbrido, que combina un diodo **PIN** con un transistor amplificador por efecto de campo **FET**. La combinación de ambos aumenta la eficiencia cuántica del diodo **PIN**, pero se incrementa la complejidad del circuito.

5.14.8.6 Características del receptor

El receptor optoelectrónico está conformado básicamente por un elemento fotodetector que puede ser de algunos de los tipos ya descriptos, es decir **PIN**, **APD** o **PIN/FET**, seguido a continuación por una o más etapas amplificadoras.

Dado que el rango del nivel de entrada está limitado por el fotodetector, hay una potencia mínima que representa la menor señal detectable y una potencia máxima sobre la cual se satura el receptor.

La mínima señal detectable es un dato importante para el diseño del sistema, dado que permite determinar la longitud máxima de la fibra óptica que se puede usar sin emplear repetidores.

Los receptores pueden ser diseñados para trabajar con señales analógicas o digitales.

En los receptores analógicos, los parámetros más importantes a considerar son la linealidad y el ancho de banda. También en este tipo de receptores se debe tener especialmente en cuenta la **relación señal ruido**.

En los receptores digitales la linealidad no es importante y el ancho de banda es sustituido por la máxima velocidad de transmisión. En estos casos, se deberá considerar prioritariamente la **tasa de errores - BER**, que cuantifica, como ya se señaló anteriormente, los errores recibidos.

5.14.8.7 Elementos accesorios en una instalación optoelectrónica

Las instalaciones optoelectrónicas, aparte del transmisor, del receptor y la de fibra óptica, necesitarán en general de los siguientes elementos accesorios:

- Repetidores.
- Empalmes.
- Conectores.
- Acopladores.

5.14.8.8 Repetidores

Dado que la señal óptica es atenuada por la fibra, se necesita la instalación de repetidores en sistemas de larga distancia.

La función del repetidor es diferente según se trate de un repetidor digital o analógico:

- Repetidor analógico.

El mismo detecta, amplifica y retransmite la señal.

El ruido generado por los componentes del repetidor tiende a degradar la calidad de la señal, lo que introduce en consecuencia un límite al número y ubicación de los repetidores que se pueden usar en el sistema si se quiere mantener la calidad de la transmisión.

- Repetidor digital.

Cuando el sistema está diseñado para la transmisión de señales digitales, los repetidores regeneran la señal digital original, sin introducir de esta manera ninguna limitación al número de repetidores (regeneradores) y en consecuencia a la longitud del vínculo.

Las técnicas de regeneración de señales han ido cambiando en busca de que la distancia entre un repetidor y el siguiente se vaya ampliando a los efectos de que puedan ser utilizados la menor cantidad posible.

En especial, cuando las fibras ópticas son utilizadas en el tendido de cables submarinos, las distintas técnicas de regeneración tienen mucha importancia.

La Fig. 5.55. muestra la distancia que es posible alcanzar sin equipos regeneradores para fibras de distintas tecnologías y longitudes de onda en función de la velocidad de transmisión.

Para el caso de las fibras monomodo que trabajan a una longitud de onda de 1.550 nm, los mejores resultados se obtienen con amplificadores ópticos dopados con erbio o con los que utilizan una técnica denominada soliton.

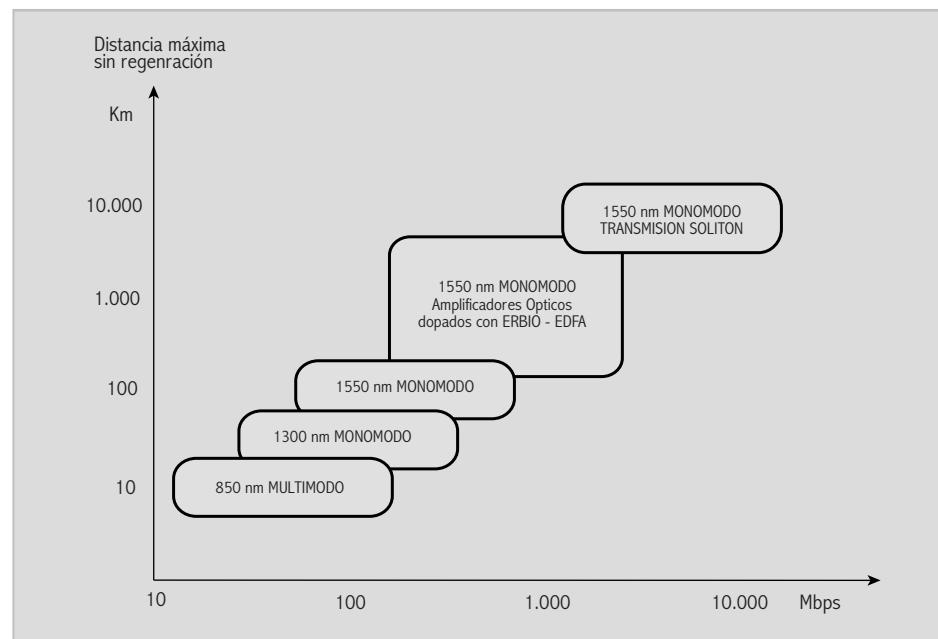


Fig. 5.55. Evolución de performance en las fibras ópticas.

5.14.8.9 Empalmes

Son interconexiones permanentes entre fibras ópticas; es importante que su núcleo esté correctamente alineado con las zonas activas del emisor y del receptor.

Existen dos tipos de técnicas para el empalme:

- Empalme por fusión: consiste en unir fibras y calentarlas hasta que se obtenga el punto de fusión; las pérdidas obtenidas son del orden de $0,2 \text{ dB}$.
- Empalme mecánico: consiste en unir las fibras cuyos extremos están bien cortados y limpios, permitiendo el pasaje de luz de una fibra a otra.

Las pérdidas son del orden de $0,5 \text{ dB}$ por empalme, aproximadamente.

5.14.8.10 Conectores

Son interconexiones desconectables. Generalmente, las pérdidas que se producen en las conexiones se deben a desplazamientos laterales de los ejes de las fibras.

Para obtener una unión correcta y de bajas pérdidas, las superficies de las fibras deben ser planas y estar enfrentadas entre sí en forma paralela.

Los conectores se utilizan en general para acoplar las fibras con el transmisor o con el receptor. La conexión entre fibras también es posible con el uso de los **conectores a tope**.

Mediante el acoplamiento a tope de ambas fibras, cuyos extremos deben estar perfectamente cortados y limpios, se logra disminuir la pérdida introducida por el conector a aproximadamente $0,5 \text{ dB}$.

Otro tipo de conectores es el que utiliza lentes colimadores. Esta técnica disminuye la posibilidad de degradación dado que, en caso de rayarse la superficie de la lente, no es tan crítico como que se produzca una ralladura en la superficie de la fibra. Con lentes colimadores las pérdidas obtenidas son del orden de 1 dB .

5.14.8.11 Acopladores

Son elementos que permiten distribuir la luz que circula por una fibra entre varias otras.

Existen dos tipos de acopladores, denominados:

- Acoplador T.
- Acoplador Estrella.

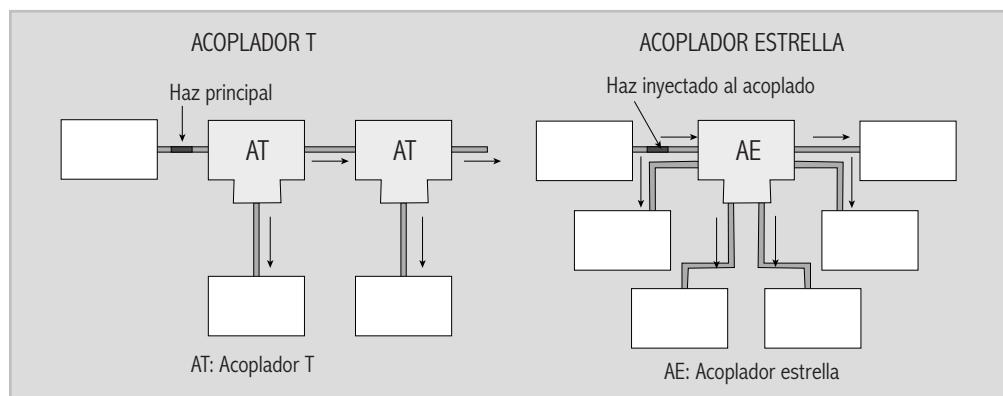


Fig. 5.56. Acopladores T y Estrella.

En la Fig. 5.56., se grafican los acopladores mencionados:

- Acoplador T.
El acoplador **T** extrae un haz de luz del haz principal.
- Acoplador estrella.
En un acoplador estrella la luz inyectada por una fibra sale por todas las otras.

Estos dispositivos son caros e introducen pérdidas de alrededor de 5 dB para el acoplador **T**, y de 15 a 30 dB para los acopladores estrella (de 3 a 40 puertas).

5.14.9 Aplicaciones especiales en las redes de datos

5.14.9.1 Aspectos generales

Las fibras ópticas se emplean en la mayoría de los enlaces de telecomunicaciones. No obstante, las formas más utilizadas son las siguientes:

- Fibra oscura.
- En enlaces WDM/DWDM/CWDM.

5.14.9.2 Fibra oscura

Se denomina fibra oscura a:

Las que, siendo parte de circuitos desplegados por los operadores de servicios de telecomunicaciones, no están siendo utilizadas momentáneamente. La denominación de fibra oscura deriva del hecho de que no se están transmitiendo pulsos de luz por la misma.

El origen de las fibras oscuras se produce cuando las TELCO instalan enlaces con cables de fibra óptica que pueden tener 8, 16, 32, 64, 128, 256 fibras, de las cuales no se emplean todas sino que se reserva un porcentaje importante para futuro crecimiento del enlace. Debido a este sobredimensionamiento, las que quedan sin uso reciben el nombre de fibra oscura.

En los enlaces con fibras oscuras es el cliente quien aplica la tecnología de transmisión que elija. En consecuencia, se comercializa por enlace, independientemente del ancho de banda que el cliente pueda obtener finalmente. No obstante, en el mercado es poco factible conseguir este tipo de enlace por parte de las TELCO.

5.14.9.3 Fibras con tecnología WDM, DWDM y CWDM

Actualmente, la tecnología de fibras ópticas y sus sistemas asociados ha permitido aumentar aun más el ancho de banda disponible en los enlaces de fibra óptica.

Un método para incrementar el ancho de banda de los enlaces de fibra óptica en los sistemas de comunicaciones es el empleo de la multiplexación por longitud de onda. Esta técnica se basa en la transmisión de múltiples señales en diferentes longitudes de onda a través de una sola fibra. De esta forma, cada señal se modula en un **único color** dentro del espectro utilizado para la transmisión.

La Fig. 5.57. muestra un ejemplo de estos tipos de uso con distintas longitudes de onda por una sola fibra. En dicho ejemplo, cada una de ellas podría transportar un canal de datos diferente en forma simultánea.

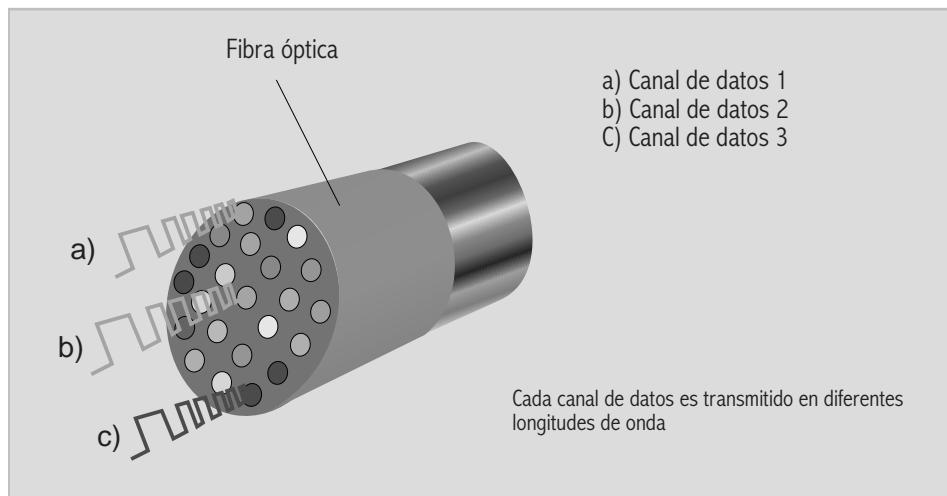


Fig. 5.57. Multiplexación por longitud de onda - WDM.

Las siglas que se utilizan en cada caso se originan en los siguientes nombres de estas tecnologías: **Wavelength Division Multiplexing – WDM** (Multiplexación por División de Longitud de Onda), **Dense Wavelength Division Multiplexing – DWDM** (Multiplexación Densa por División de Longitud de Ondas) y **Coarse Wavelength Division Multiplexing – CWDM** (Multiplexación por División de Longitud de Ondas Ligeras).

5.14.9.4 Características de estas tecnologías

Estas tecnologías son una solución ideal para enlazar rutas críticas con un alto potencial de crecimiento que tienen necesidades inmediatas y crecientes de mayor ancho de banda.

Las mismas tienen las siguientes ventajas:

- Permiten incrementar la capacidad de las fibras ópticas existentes.
- Disminuyen el número de fibras ópticas necesarias.
- Posibilitan el crecimiento gradual de la capacidad del enlace a medida que se requiera.

Actualmente, los sistemas comerciales de última generación emplean hasta 160 longitudes de onda por fibra de última generación utilizando el rango de la tercera ventana de 1550 nm.

Por último, podemos afirmar que estas tecnologías vienen a resolver el problema de la capacidad de transmisión en redes ópticas. Si bien antes de la aparición de la tecnología DWDM existían protocolos de transmisión de información como SONET y SDH (ver Capítulo 8), los cuales operaban a muy altas velocidades, se requerían enlaces de muchos pares de fibras para la transmisión. Con DWDM, por ejemplo, se pueden transmitir varias de estas señales por un solo enlace de fibra óptica.

Todo este tipo de fibras no depende del protocolo de comunicaciones empleado, dado que trabajan a nivel físico del modelo OSI. El ancho de banda soportado para cada señal óptica puede ser modulado en una longitud de onda determinada a velocidades de 10 Gbps. Luego, si utilizáramos 80 longitudes de onda diferentes, la velocidad que se podría alcanzar en un enlace de este tipo es de 800 Gbps.

5.15 Cables submarinos de fibra óptica

5.15.1 Definición y estructura

Un cable submarino de fibra óptica es un medio de comunicaciones que, tendido por el fondo de un lecho marino, permite conectar dos o más puntos ubicados sobre la superficie terrestre con grandes anchos de banda.

El cable está constituido principalmente por un núcleo alrededor del cual se encuentran un número importante de fibras, generalmente de tecnología DWDM.

Le sigue una capa de polietileno, la cual actúa como aislante para prevenir la abrasión y la penetración del agua o hidrógeno en las fibras.

Después se tiene un tubo de cobre, el cual es utilizado para conducir la corriente eléctrica que alimenta los repetidores o para inyectar corriente de bajo voltaje para monitorear desde las bases el estado de los sistemas y localizar cables rotos.

También tiene una capa de alambre de acero, el cual forma una especie de armazón que le da mayor resistencia a las quebraduras producidas por la pesca de arrastre, la presión del agua y las mordidas de tiburones. Por último, se cubre el cable con otra capa de polietileno impermeabilizante.

En la Fig. 5.58., se puede apreciar la estructura del cable submarino.

Los cables presentan mayores o menores niveles de protección, de acuerdo a las condiciones ambientales a las que se los someterán, por lo que se tienen diferentes tipos de cable submarino a lo largo de un mismo enlace.



Fig. 5.58. Estructura de un cable submarino de fibra óptica.

5.15.2 Tipos de cables submarinos y accesorios

Según la profundidad en la cual opere el cable, existen dos tipos:

- Cable armado: Se usa para el cableado de poca profundidad (de 0 hasta 1.500 m). Dado que a estas profundidades es donde están los principales factores de riesgo de los cables submarinos, como son la pesca de arrastre y los tiburones, se le asignan al cable altos niveles de protección.
- Cable ligero: Se usa para las grandes profundidades (0 a 7.000 m). Está menos protegido que el cable armado.

5.15.3 Elementos accesorios del cable

Aparte del cable, son necesarios otros elementos complementarios para que el mismo pueda operar satisfactoriamente. Dichos elementos son:

5.15.3.1 Repetidores

Posibilitan la amplificación de la señal óptica, la cual se atenúa a medida que se aleja de la fuente. Los repetidores son elementos activos que necesitan alimentación. Esta se provee a través del tubo de cobre del cable y el circuito se cierra usando la tierra oceánica. En la Fig. 5.59. se puede observar el exterior de un repetidor:

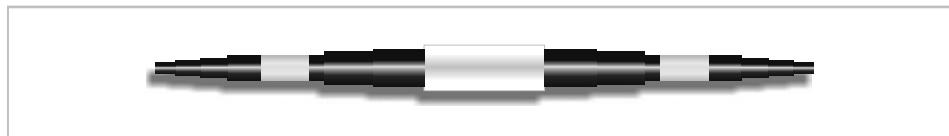


Fig. 5.59. Exterior de un repetidor.

5.15.3.2 Derivador de ramales (Branch Unit)

En la Fig. 5.60. se puede apreciar un elemento derivador de ramales. Su principal función es derivar cable de fibra óptica desde el tramo principal hacia los ramales. En la figura el cable principal está conformado por cuatro pares de fibra óptica y a través del derivador un par de fibra es desviado hacia el destino de la información que viaja por el cable submarino.



Fig. 5.60. Derivador de ramales.

5.15.3.3 Cajas de empalme

Permiten unir diferentes cables de fibra (cables con diferentes protecciones), incluyendo el conductor de corriente y la protección. La caja de empalmes hace la transición entre un tipo de cable y otro, situación que se produce en cables extensos que deben estar instalados a diferentes profundidades. Como se explicó anteriormente, a medida que la profundidad es menor las exigencias relativas a la protección del cable aumentan.

5.15.4 Proceso de instalación del cable submarino

El proceso de instalación del cable submarino es muy complejo y tiene un alto costo; también es importante el mantenimiento dado que estos cables deben soportar constantes amenazas como son: las corrientes submarinas, terremotos, anclas y las redes de arrastre.

No obstante, esta inversión inicial, que es elevada, se compensa por el gran ancho de banda que brinda y los años de servicio o vida útil, la cual es muy superior a la de los satélites

geoestacionarios de comunicaciones. El cable y los repetidores son elementos muy caros y el tendido lo realizan barcos especiales en una operación controlada por computadores.

Los cables son sometidos en fábrica a exámenes exhaustivos antes de ser cargados a bordo del barco para su tendido. En la Fig. 5.61. se puede observar una foto de un barco utilizado para el tendido del cable.

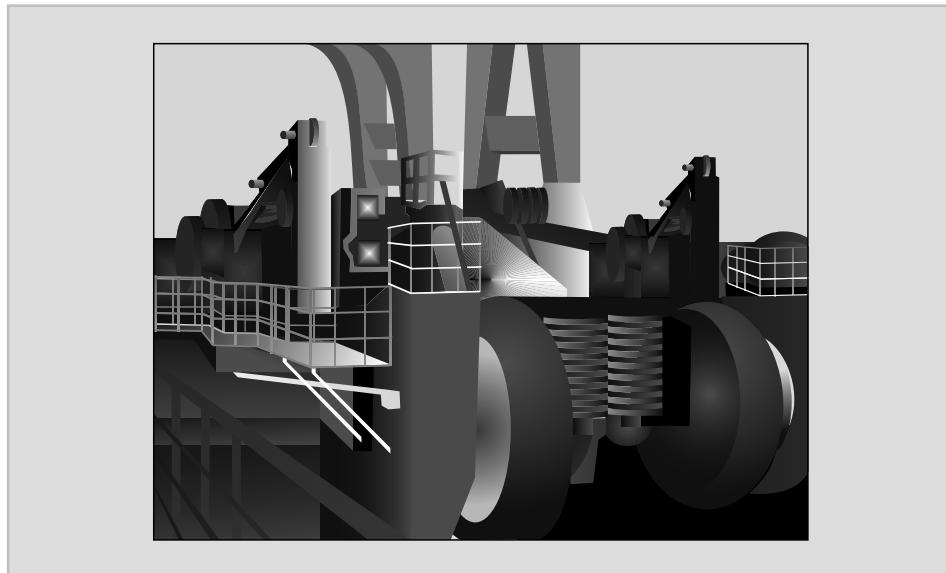


Fig. 5.61 Barco provisto para tendido de cables.

En el barco existe una estación terminal que es la que controla las operaciones y en donde se encuentra el equipo alimentador. El cable se amarra primero en tierra en el lugar donde se va a conectar y luego se sigue la ruta que previamente fue calculada con una precisión de varios metros, mediante posicionamiento satelital y cálculos geofísicos

En la Fig. 5.62., se detalla el caso del tendido de un cable submarino en el cual se emplean dos barcos, los cuales parten desde los extremos del enlace, que luego se empalma en aproximadamente la mitad del tramo entre los dos extremos.



Fig. 5.62 Tendido de un cable submarino.

Una vez conectado el cable en un extremo, se tiende la parte del cable que va en forma terrestre. Luego comienzan las operaciones marinas, situando el cable a flote desde el barco de cableado hasta la posición de tierra. Una vez que el extremo del cable está asegurado en la orilla, las bolsas de flotación se retiran, permitiendo al cable asentarse en el mar.

El barco de cableado sigue entonces su ruta predeterminada: o con el cable enterrado en el lecho marino (con la finalidad de prevenir peligros de rastreadores o anclas de barcos) o bien, tendido en la superficie.

La instalación no comprende solo los cables sino, como se ha dicho, también se instalan "en serie" los empalmes, los amplificadores, los moduladores y multiplexores ópticos, cada 40 o 60 km según las características de los mismos y la atenuación de las fibras ópticas. En la Fig. 5.63, se indica la instalación de dichos dispositivos:

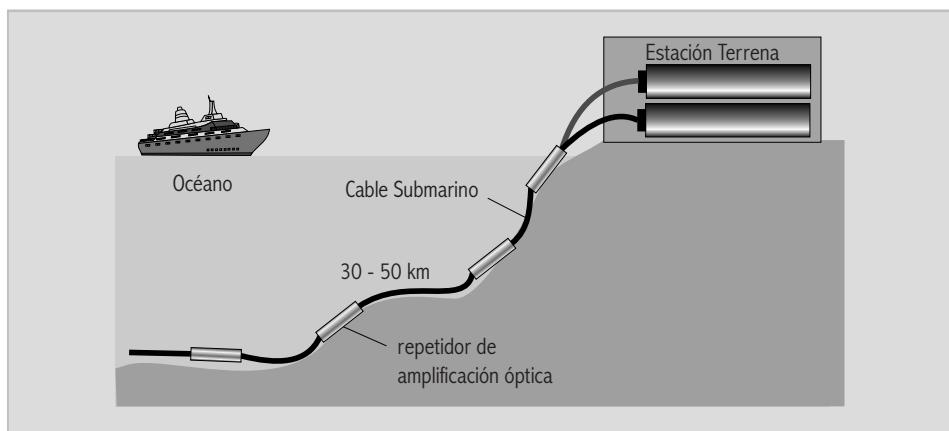


Fig. 5.63. Instalación "en serie" de empalmes, amplificadores, moduladores y multiplexores ópticos.

Actualmente, en la multiplexación se emplean los sistemas DWDM (*Dense Wavelength Division Multiplexing*), que permiten transportar grandes volúmenes de información para la transmisión de voz, datos y servicios de Internet.

Las técnicas para el tendido del cable han evolucionado en la última década y se ha reducido notablemente el tiempo necesario para el tendido y puesta en funcionamiento del cable en aproximadamente un 50 % respecto del necesario hace una década atrás. Por otro lado, luego de la instalación se debe efectuar el mantenimiento del cable, por lo cual existen buques especiales que lo realizan y sobre todo solucionan los problemas derivados del corte del cable o la falla de los amplificadores u otro dispositivo incluido en el enlace.

5.15.5 Futuro del cable submarino

Dado el potencial de las redes submarinas para cumplir con el aumento de la demanda global de capacidad de red, su futuro es brillante.

Actualmente, existen cerca de 70 sistemas de cableado submarino de fibra óptica instalados en todos los océanos. En total se estima que la longitud es mayor a los 450.000 km de acuerdo con una división internacional de cuatro regiones: a) Océano Pacífico –Asia, b) Océano Atlántico, c) Europa–Asia y d) Sudamérica. Todas estas regiones se comunican entre sí.

La Fig. 5.64. muestra algunos de los cables submarinos de fibra óptica instalados en el continente iberoamericano.



Fig. 5.64. Distintos cables submarinos de fibra óptica en el continente americano.

Estos sistemas de cables submarinos se componen de cables de fibra óptica interconectados, a través de repetidores, que amplifican las señales y permiten alcanzar distancias de hasta 9.000 km por tramo. Asimismo, resisten las inclemencias de la temperatura, salinidad y humedad, así como las presiones del agua, en virtud de que se encuentran instalados hasta 8.000 m de profundidad. Estos cables constantemente se encuentran en mantenimiento y supervisión.

Una de las ventajas importantes de la fibra óptica colocada dentro del mar con respecto a la comunicación vía satélite es que es más barata e implica menor riesgo de interrumpir el enlace por razones climáticas como tormentas.

En resumen, podemos afirmar que hoy constituye el medio de transmisión de mayor ancho de banda y alcance empleado en el ámbito de las comunicaciones. Las comunicaciones satelitales, por otro lado, han pasado a constituir enlaces de *backup* de los enlaces submarinos.

5.16 Resumen

En este capítulo se desarrollaron los conceptos generales y los elementos característicos de los medios de comunicación y también, los distintos medios físicos en uso en las redes de telecomunicaciones ordenados según su forma de transmisión. A su vez, se presentaron la noción y los diferentes tipos de cables de cobre que se pueden encontrar en los sistemas de comunicación como medios de transmisión.

Además, se explicaron el uso de las radiocomunicaciones, las características más destacadas de las ondas de radio y cómo se propagan estas ondas de radio: por onda terrestre, por onda reflejada espacial o ionosférica, o por onda directa.

Luego, se definió el concepto de satélite y se amplió la información a través de una referencia histórica y de la mención de las organizaciones internacionales para la provisión de servicios satelitales.

Por último, se presentó la definición, el uso y los aspectos generales de las microondas, las guías de onda, el láser y las fibras ópticas.

5.17 Ejercicios propuestos

- Clasifique los diferentes medios de transmisión según el tipo de señal que transportan.
- La atenuación de la línea de cobre es 6,1 dB para la frecuencia de 20 MHz. ¿Cuál será la atenuación cuando se opera en 100 MHz?
- ¿Cuáles fueron los principales inconvenientes del cable multipar y por qué se lo reemplazó en los enlaces telefónicos por el cable coaxil?
- ¿Qué diferencia existe entre la impedancia de una línea y su impedancia característica?
- ¿De qué depende la impedancia característica de un cable coaxil?
- Indicar el material dieléctrico para el cual el cable coaxial presenta mayor velocidad de propagación. Calcule el valor de la velocidad con dicho material.

¿Qué características físicas tendrá ese cable, y qué dificultad presentará desde el punto de vista mecánico?

- Un equipo de radio se vincula con la antena mediante la llamada línea de transmisión, que se ocupa de transferir la energía entre ambos sentidos, con la menor pérdida y distorsión posible. Estas líneas pueden ser cables coaxiales. Suponga que se emplea el cable RG 213/U y que el transceptor (transmisor/receptor) tiene una potencia de salida de 32 Watt, operando a la frecuencia de 400 MHz. Si la longitud de la línea es de 30 m, ¿cuál es la potencia aplicada a la antena debido a la atenuación introducida por la línea?

- Una línea de comunicaciones de longitud L tiene como circuito equivalente a un circuito RL serie donde $R = 15 \Omega$ y $L = 2 \text{ mH}$. Si a la línea se le aplica una tensión alterna $V(t) = 100 \sin 500 t$ Volt, calcular la impedancia compleja de la línea de comunicaciones.
- ¿Qué ventajas presentan las líneas balanceadas, como es el caso del UTN, en comparación con las líneas desbalanceadas?
- Dado un enlace radioeléctrico a la frecuencia de 30 MHz, ¿cuál será la longitud necesaria de las antenas para un buen rendimiento si las mismas fueran de media longitud de onda?
- ¿Cuál será la distancia del enlace visual para un vínculo cuya altura de ambas antenas es de 20 m, teniendo en cuenta la curvatura experimentada por la trayectoria de las ondas radioeléctricas debido a la acción ejercida por la atmósfera?
- En un enlace UHF es esencial que las antenas del transmisor y del receptor se miren (estén en la misma línea óptica). No se considerará el fenómeno de difracción y sí se deberán tener en cuenta: la curvatura de la Tierra y su radio.
¿A qué altura mínima deben encontrarse ambas, si la distancia del enlace es de 50 km?
- Se tiene un enlace de fibra óptica monomodo con los siguientes parámetros:
 - Ancho de banda: 10 GHz x km.
 - Longitud de cable: 400 m.
 - Distancia del enlace: 10 km.
 - Atenuación por empalme mecánico: 0,5 dB.
 - Atenuación por conector: 0,6 dB.

- Atenuación de la fibra óptica: 0,3 dB/km.
 - Sensibilidad del detector (receptor): - 55 dbm.
- a. Calcule la potencia en Watt necesaria en el transmisor, suponiendo un factor de diseño de 10 dB. Se emplearán dos conectores, uno en el transmisor y uno en el receptor.
- b. Calcular el ancho de banda disponible.
14. El cono de aceptación de la fibra óptica, llamado también apertura numérica - NA, es función de los índices de refracción.
- La expresión de cálculo es:
- $$NA = \sqrt{n_1^2 - n_2^2}$$
- Si el índice del núcleo es de 1,48 (siempre mayor) y el del recubrimiento es de 1,46:
- a. ¿Cuál es la apertura numérica de la fibra?
 - b. ¿Cómo reduciría el cono de aceptación?
- c. ¿Qué dificultad implica tener un cono pequeño?
15. ¿A qué frecuencia corresponden las longitudes de onda de la primera, segunda y tercera ventana en que trabajan las fibras ópticas?
16. Deducir la expresión del ángulo de apertura en una fibra óptica, aplicando la Ley de Snell.
17. Dado un enlace de microondas de una longitud de 7,6 km, que opera a la frecuencia de 11,2 GHz, y con las siguientes características adicionales:
- Potencia de transmisión: 27 dbm.
 - Atenuación de filtros y otros elementos: 3 dB.
 - Atenuación de las guías de onda: 7,5 dB.
 - Ganancia de la antena: 45 dB.
 - Atenuación de la señal en el espacio libre: 13,1 dB.
- Calcular la sensibilidad mínima que debería tener el receptor.

5.18 Temas a desarrollar por el lector

1. Determinar cuáles son los principales factores que atenúan una señal radioeléctrica en el espacio libre.
2. Evaluar los diferentes tipos de fibras ópticas que se producen comercialmente y determinar su utilización más frecuente.
3. Determinar el tipo de modulación, el método de corrección de errores y el tipo de polarización utilizadas en la transmisión satelital para los siguientes servicios: VSAT y SCPC a demanda.
4. Investigue el siguiente tema:
¿Cuáles son los sistemas satelitales que utilizan las prestadoras de servicios de telecomunicaciones de su país para las comunicaciones interurbanas y para las internacionales?
5. Si para las comunicaciones interurbanas se utilizará un satélite doméstico, ¿cuáles serían sus características principales, su área de cubrimiento, y qué capacidad poseería?

5.19 Contenido de la página Web de apoyo

El material marcado con asterisco (*) solo está disponible para docentes.



5.19.1 Mapa conceptual del capítulo

5.19.2 Videotutorial: Fibras ópticas

5.19.3 Autoevaluación

5.19.4 Presentaciones*

5.19.5 Ejercicios resueltos*

6

La capa física

Contenido

6.1 Introducción	438
6.2 Tipos de transmisión	444
6.3 Modos de transmisión	446
6.4 La capa física	450
6.5 Interfaces y buses en modo paralelo.....	453
6.6 Buses e interfaces en modo serie.....	457
6.7 Sincronismo	490
6.8 Resumen.....	504
6.9 Ejercicios propuestos.....	505
6.10 Temas a desarrollar por el lector	507
6.11 Contenido de la página Web de apoyo.....	507

Objetivos

- Conocer los diferentes tipos y modos de transmisión.
- Analizar las características generales de la capa física.
- Conocer los aspectos principales de las interfaces y buses en modo paralelo y en modo serie.
- Entender el concepto de sincronismo.

6.1 Introducción

6.1.1 Conceptos generales

Denominaremos sistema de comunicaciones a:

Un sistema integrado que permite el transporte de información desde su fuente hasta un sumidero que la recibe, utilizando un canal de comunicaciones.

La fuente en un extremo captura la información que se ha de transmitir generando un **mensaje**. Posteriormente, un **transductor** convierte el mensaje generado por la información en **señales eléctricas**. En el otro extremo, luego de producida la transmisión, se realizará el proceso inverso.

Las **señales eléctricas** necesitarán en un extremo de un **transmisor**, que se encarga de adaptar las señales eléctricas al **canal de comunicaciones**, y de un **receptor** en el otro, que haga las funciones inversas. La Fig. 6.1. muestra un sistema de comunicaciones y cómo se desarrolla el proceso de transporte de señales entre extremos.

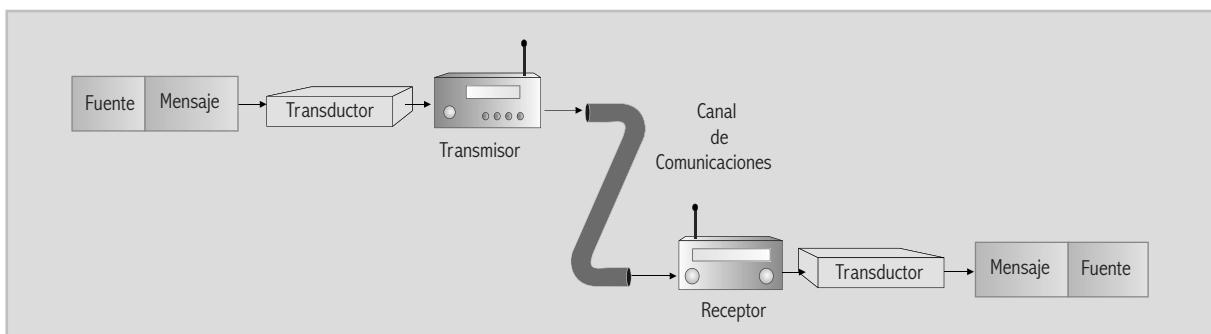


Fig. 6.1. Sistema de transporte de señales entre extremos.

Las señales que transportan las **redes de telecomunicaciones** están relacionadas con la prestación de algún servicio o con las propias necesidades de la red que las utiliza para facilitar la transmisión. Las mismas, cuando la red es digital, transportan bits.

Hay bits que transportan la información entre dos puntos terminales de la red y otros que son utilizados para posibilitar que los primeros puedan llegar a su destino. En este último caso, los bits se suelen denominar auxiliares.

Los **bits de información** que se pueden transmitir en las redes de telecomunicaciones están relacionados con alguno de los siguientes servicios:

- Telefonía.
- Datos.
- Textos.
- Video y multimedia en tiempo real.
- Multimedia, en general, en tiempo diferido.
- Alarmas.

Los **bits auxiliares** son aquellos que utilizan los protocolos para posibilitar la transmisión, la commutación, permitir el sincronismo, detectar y corregir errores, y otras tareas que son imprescindibles para que la información pueda ser transportada en forma fiable.

Como ejemplos significativos podemos decir que algunos servicios de comunicaciones son de origen analógico, como la voz y el video; y otros son digitales, como los que se emplean en los computadores para la transmisión de datos o de textos.

Sin embargo, las redes que permiten el establecimiento de los canales de comunicaciones son normalmente, en su casi totalidad, de características digitales.

Por dicho motivo, las señales analógicas deben ser previamente digitalizadas para ser transportadas por las redes digitales. Luego, deben sufrir una conversión previa analógico/digital, que se realiza mediante un proceso que se denomina **digitalización**. Este proceso es ejecutado por medio de equipos denominados **códec**.

En otros casos sucede el problema inverso, ya sea por que las redes son aún analógicas, o porque parte de ellas se comportan como tal. Si en su origen las señales son digitales, y deben ser transportadas por vínculos analógicos, deben sufrir una conversión previa digital/analógico, que se efectúa mediante un proceso que se denomina **modulación**. Este proceso es realizado por medio de equipos denominados **módem**.

A su vez, las señales pueden ser transportadas en el intervalo de frecuencias en el que fueron generadas, o bien, luego de ser sometidas a procesos que se denominan de **multiplexación** en otras formas más complejas, que permiten un uso más completo y eficiente del ancho de banda disponible. Este proceso es realizado por medio de equipos denominados **multiplexores**.

Para poder comprender el empleo de las técnicas de modulación y digitalización observemos el ejemplo de la Fig. 6.2.

Se trata de una conexión de dos computadores a través de la red telefónica conmutada. En ella, dos usuarios, A y B, desean establecer un enlace con sus computadores. En la imagen se puede ver que ambos se vinculan a través de conexiones discadas (*Dial-up*).

Para ello, cada uno dispone de un teléfono, un computador y un módem de datos. La señal podrá provenir del teléfono o del computador, pero en cualquiera de los dos casos ingresará al par telefónico para transmitir una señal analógica.

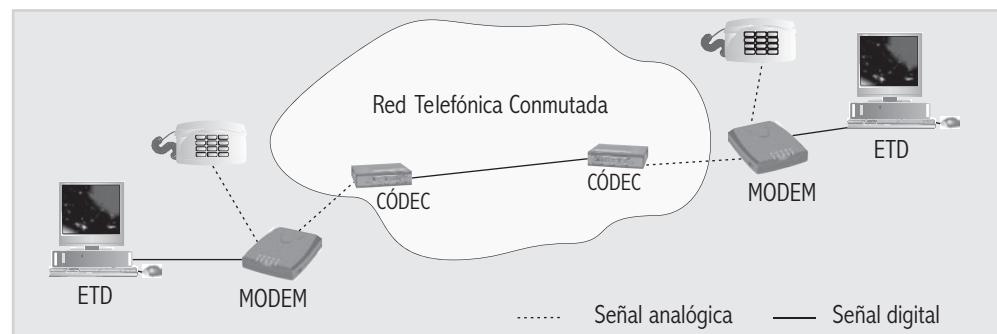


Fig. 6.2. Esquema de una conexión de datos a través de la RTPC.

Si proviene de usuarios individuales de la red, sus teléfonos serán de características analógicas y la señal que estos equipos enviarán también lo será. Si es originada por el computador, el **módem de datos** mediante el proceso de **modulación** convertirá la señal proveniente del computador en analógica. Luego, en cualquiera de los dos casos, ingresará una señal analógica a la zona de la red desde el par telefónico. Como se observa, en la denominada última milla la señal es analógica.

A su vez, en cualquiera de los dos casos, las señales analógicas ingresarán a la red a través de un equipo **códec**, que procederá siempre a **digitalizar** las señales que recibe.

Cuando el usuario A inicia una comunicación de voz, esta, al llegar al equipo **códec** se transformará en digital. Y lo mismo ocurrirá con una comunicación de datos, que para transportarse por el par de abonado se había transformado en analógica por medio del proceso de modulación en el módem.

Las señales circularán por la red hasta que lleguen al códec que enlaza la red con el par que tiene como destino final a B. Este códec procederá a realizar el proceso inverso a la digitalización, que será la analogización. La señal ya analógica llegará hasta B. Allí, si es una señal de voz, será usada tal como la entregó el códec; pero si está destinada al computador, deberá ser digitalizada nuevamente por el módem.

En la Tabla 6-1, se puede observar cómo trabajan los dos equipos en estos procesos:

Tabla 6-1 Formas de trabajar del módem y del códec

	<i>Tipo de señales</i>		<i>Proceso que realiza</i>
Módem	Digital → Analógica	⇒	Cuando la señal viaja desde el computador hacia la red
	Analógica → Digital	⇒	Cuando la señal viaja desde la red hacia el computador
Códec	Analógica → Digital	⇒	Cuando la señal viaja desde el computador hacia la red
	Digital → Analógica	⇒	Cuando la señal viaja desde la red hacia el computador

Debe destacarse que si bien los procesos directos que realiza un equipo son similares a los inversos que ejecuta el otro, lo que los diferencia en forma sustancial es que los procesos que realiza cada uno de ellos son técnicamente diferentes. Los módem **modulan** y **demodulan**. Los códec **digitalizan** y **analogizan**.

Precisamente, en este capítulo se estudiarán estos procesos.

6.1.2 Restricciones que se han de tener en cuenta para el transporte de señales

Los sistemas de comunicaciones para el transporte de señales presentan tres tipos de restricciones: físicas, económicas y legales.

Las restricciones físicas son aquellas que derivan de la aplicación de las leyes de la física vinculadas a las comunicaciones.

Las restricciones económicas están vinculadas a los costos que pueden implicar ciertas soluciones. Estas, si bien tecnológicamente son factibles, resultan muchas veces imprácticas en términos de los costos de explotación de los servicios y los retornos que pueden generar esas inversiones necesarias para ponerlas en servicio.

Las restricciones legales son aquellas impuestas por las autoridades nacionales de cada país que regulan los servicios de comunicaciones.

Las restricciones físicas fueron profundizadas en el Capítulo 3 y estudiadas analizando los efectos que producen tanto sobre las señales analógicas como sobre las señales digitales. Tanto la atenuación, como la distorsión y el ruido afectan la transmisión de las señales.

Analicemos nuevamente la Ley de Shannon-Hartley:

$$C = \Delta f \log_2 \left(1 + \frac{S}{N} \right)^{1/2} [\text{bps}] \quad (5.1)$$

Donde:

C = Capacidad máxima de un canal continuo.

S = Potencia de la señal transmitida por el canal.

N = Potencia del ruido blanco gaussiano aditivo limitado en banda.

Δf = Ancho de banda del canal de comunicaciones.

Esta expresión establece claras restricciones físicas a la **velocidad de transmisión máxima** a la que puede operar un canal de comunicaciones, dado que esta nunca podrá ser superior a la **capacidad del canal**.

Nos muestra, entonces, los siguientes limitantes de la velocidad de transmisión:

- El ancho de banda del canal.
- La relación señal a ruido.

Es oportuno hacer dos observaciones.

Una, se refiere al valor de la potencia del ruido en sí. Aisladamente no nos dice nada. Lo que verdaderamente es relevante es saber cuál es el valor de la relación de este respecto de la potencia de la señal. El ruido puede tener un valor muy bajo, pero si la potencia de la señal no es significativa, la relación no dará un número lo suficientemente alto para que la capacidad del canal sea la requerida.

Otra, se refiere al concepto de ancho de banda. En particular, en canales digitales, este se suele expresar como medida de la velocidad de transmisión. La razón matemática es la siguiente. Cuando la velocidad de transmisión aumenta, la señal cambia de polaridad en forma cada vez más rápida. Por lo tanto, su espectro se hace cada vez más amplio, lo que implica que aumente el ancho de banda requerido para transmitir las señales.

Si una señal debe ser transmitida a una velocidad dada –por ejemplo, impuesta por el tipo de servicio que se debe prestar– y el ancho de banda no está acorde con esta, la misma sufrirá distorsión. Esta será mayor, cuanto más alejado esté el ancho de banda necesario de la velocidad de transmisión que se esté usando.

Las restricciones económicas son aquellas que derivan de los costos que pueden resultar del diseño y puesta en servicio de un sistema de transmisión. Normalmente, existen muchas soluciones teóricamente factibles, pero que, analizadas en relación con una ecuación costo-beneficio, no proporcionan un retorno de la inversión por realizar adecuado a los gastos que originaría su desarrollo, fabricación y puesta en servicio.

6.1.3 Evolución en el concepto de redes y servicios de telecomunicaciones

Las redes de telecomunicaciones inicialmente estaban diseñadas según el tipo de servicio que debían proveer y solamente los vínculos de comunicaciones eran comunes a los de la red telefónica pública conmutada o red soporte.

Es así que, además de la red telefónica, existía una red télex, una de transmisión de datos por conmutación de paquetes o de mensajes, una de distribución de televisión y otras para permitir el transporte de señales de otros tipos.

El primer objetivo que fijó la tecnología fue el diseño e implementación de las **Redes Digitales de Servicios Integradas (RDSI)**, que precisamente tenían por objeto ir integrando los distintos tipos de servicios en una sola red.

Sin embargo, los cambios en los usos y costumbres en el empleo de los distintos servicios, y la aparición de otros nuevos, requirieron **anchos de banda crecientes y demoras y jitter con tiempos menores**, buscando hacer mucho más eficiente la transmisión entre extremos. Esta situación ha hecho que se buscase el empleo de otras tecnologías que fueran satisfaciendo estos nuevos requerimientos.



Cuando la velocidad de transmisión aumenta se quiere mayor ancho de banda para transmitirla con una tasa de error adecuada.



La calidad de servicio en las redes actuales se determina en función de los siguientes parámetros:

- 1) Pérdida de paquetes
- 2) Demora
- 3) Jitter
- 4) Disponibilidad de la red.

En principio, la tecnología denominada “técnica de conmutación de circuitos” ha dado paso, con mayor o menor rapidez según el servicio por prestar, a la conocida como “por conmutación de paquetes”. Esta, inicialmente pensada para los servicios de trasmisión de datos entre computadoras, es ahora aplicable también a otros servicios tales como los de transmisión de la voz. Cuando las redes utilizaban la técnica de conmutación de paquetes para la transmisión de datos exclusivamente, la mayoría de las aplicaciones eran ejecutadas sin tener en cuenta el concepto conocido como **Calidad de Servicio (QoS)**. Actualmente, este ha adquirido una mayor importancia y se han encontrado tecnologías complementarias dentro de la conmutación de paquetes, que aseguran también la calidad de servicio como es el caso de las redes que utilizan el protocolo IP/MPLS (*Internet Protocol - MultiProtocol Label Switching*).

En otras aplicaciones similares también se utiliza la conmutación de tramas o de celdas. Pero siempre con el concepto digital de dividir la información que se ha de transmitir en segmentos, que toman distintos nombres según la tecnología que se utilice. Así, el **Modo de Transferencia Asincrónico (ATM)** se refiere a la conmutación de **celdas** y el denominado **Frame Relay (FR)**, a la conmutación de **tramas**. Tramas y celdas son dos maneras equivalentes del concepto de paquetes.

6.1.4 Características técnicas de las señales utilizadas en las redes NGN

6.1.4.1 Generalidades

Los servicios que prestan las denominadas **Redes de la Próxima Generación NGN(Next Generation Networking)** manejan señales que, por sus características técnicas, pueden ser agrupadas de la siguiente manera:

- Voz, video y señales isócronas.
- Voz, video y señales isócronas comprimidas.
- Datos confiables/Aplicaciones de misión crítica.
- Datos no confiables (correo, navegación en Internet, etc.).

La Tabla 6-2, muestra las características técnicas que requiere cada uno de estos servicios.

Tabla 6-2 Requerimientos técnicos de cada servicio

Servicio	Características					
	Corrección de errores	Ancho de banda	Velocidad de transmisión	Modo de conexión	Delay	Pérdida de paquetes
Voz y señales isócronas Sin comprimir	No necesario	Alto	Constante	Sí	Constante y bajo	Puede ser alto
Voz y señales isócronas Comprimidas	Necesario	Bajo	Constante	Sí	Variable	Debe ser bajo
Aplicaciones de misión crítica Datos confiables	Necesario	Medio	Variable	Sí	Variable	Debe ser bajo
Correo/navegación en Internet - datos confiables	No necesario	Medio/alto	Variable	No	Variable	Puede ser alto

6.1.4.2 Voz, video y señales isócronas

Los servicios isócronos son aquellos en los cuales existe una dependencia directa con el tiempo. Se dice, directamente, que son servicios que dependen del tiempo.

Definiremos como señales isócronas a:

Aquellas que son fuertemente dependientes del tiempo.

Los ejemplos más significativos son la transmisión de voz y video.

6.1.4.3 Voz, video y señales isócronas comprimidas

Dado que las señales isócronas son de naturaleza analógicas y las redes actuales están totalmente digitalizadas, resulta imprescindible convertirlas en señales digitales.

Este proceso se denomina digitalización de señales analógicas y se explicará en detalle en el capítulo 6 de esta obra.

En el proceso de digitalización de estas señales analógicas –por ejemplo, la voz cuando se utiliza la norma UIT T-G.711– existe una primera etapa de muestreo, en la cual se toman muestras a una frecuencia de 8 000 por segundo.

Como la variación en el tiempo de las funciones que permiten representar a las señales isócronas (especialmente la voz) no varían en forma brusca, ocurre que hay una cantidad muy importante de muestras que se repiten y, por lo tanto, llevan la misma información.

Así surge la idea de ahorrar ancho de banda, es decir, no transmitir la totalidad de las muestras sino solo las que cambian respecto de la muestra anterior. Para cumplir esta finalidad se procede a la compresión de las muestras, lo que deriva en una cantidad menor de datos por transmitir y, por lo tanto, se produce una disminución sustancial de los datos que han de ser transmitidos.

No obstante, la mejora en el uso del ancho de banda en la transmisión de este tipo de señales isócronas comprimidas, - respecto de la transmisión sin comprimir, tiene requerimientos adicionales, como por ejemplo la necesidad de que la transmisión permita la detección y corrección de errores.

La causa es muy sencilla: si se pierde una muestra comprimida por algún error de transmisión, en realidad se estarán perdiendo miles de muestras representadas por dicha muestra comprimida.

6.1.4.4 Datos confiables/Aplicaciones de misión crítica

Se denominan aplicaciones informáticas de misión crítica a los programas y/o sistemas informáticos que constituyen la base del funcionamiento de una empresa u organismo.

Son ejemplos de aplicaciones de misión crítica: el sistema de facturación en empresas de telefonía; el sistema de programación y comando de los robots utilizados en el montaje de los automóviles dentro de una planta automotriz; etc.

En estos sistemas el tiempo de respuesta o, en general, la dependencia respecto del tiempo pasa a ser un factor secundario.

El factor principal para tener en cuenta es la integridad de los datos. En consecuencia, los datos pueden llegar antes o después, pero deben arribar correctos. Por lo tanto, el circuito debe ser orientado a conexión, con detección y corrección de errores.

6.1.4.5 Datos no confiables (correo, navegación en Internet, etc.)

Se entiende como datos no confiables a aquellos que no plantean requerimientos específicos y exigentes para su transmisión en lo que respecta a la pérdida de paquetes, demora y jitter.

Entre los servicios que requieren este tipo de prestación se encuentra la transmisión de correo electrónico, la navegación por Internet, la conexión de redes LAN, etcétera.



La frecuencia de muestreo de 8000 muestras por segundo implica que se toman 8000 valores de la señal analógica (una cada 125 microsegundos).



Se denominan aplicaciones informáticas de misión crítica a los programas y/o sistemas informáticos que constituyen la base del funcionamiento de una empresa u organismo.

6.2 Tipos de transmisión

Los distintos tipos de transmisión de un canal de comunicaciones pueden ser de tres clases diferentes:

- Símplex.
- Semidúplex.
- Dúplex (o dúplex completo).



Multicast es un servicio normalizado en la Red Internet que permite que desde la dirección IP del emisor, denominada **unicast**, se puedan enviar datagramas a una dirección **multicast** que asocia a un grupo de receptores interesados. El router o conmutador de paquetes, cuando recibe el datagrama, se encarga de hacer tantas copias como direcciones estén asociadas a la dirección multicast. La RFC 3171 especifica que las direcciones que van de la 224.0.0.0 a la 239.255.255.255 están reservadas para ser direcciones multicast. Este rango de direcciones IP se conoce formalmente como direcciones **Clase D**.

6.2.1 Método simplex

Se denomina símplex al método de transmisión en el cual una estación siempre actúa como fuente y la otra siempre como colector.

Tal como se puede observar en la Fig. 6.3., este método permite la transmisión de información en un único sentido: un extremo transmite y otro solo recibe.

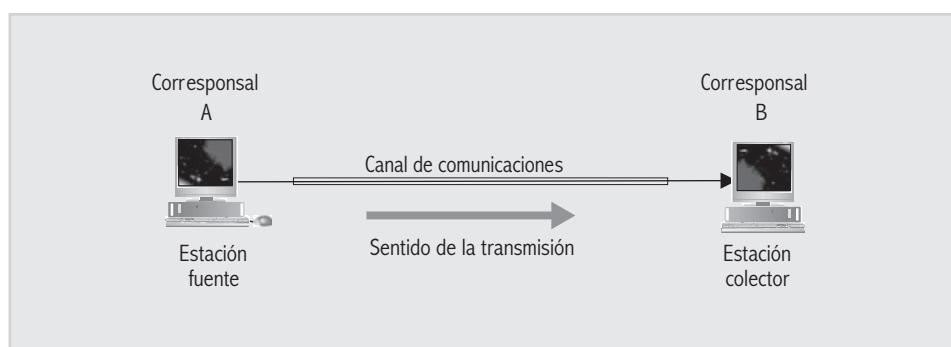


Fig. 6.3. Método simplex.

Ejemplos de servicios que transmiten en la modalidad símplex son las agencias de noticias cuando envían información a sus asociados (diarios, estaciones de radio y televisión, etc.), utilizando variados medios de telecomunicaciones.

En estos casos, un extremo actúa como fuente –generalmente un equipo radioteletipo, computador, etc.– y emite noticias las 24 horas del día; las empresas asociadas pueden recibirlas libremente en terminales similares que actúan como colectores, pero no pueden solicitar retransmisiones sobre las informaciones recibidas o pedir ampliaciones de ellas.

También se pueden mencionar la radiodifusión, la televisión comercial o cuando, mediante el uso de la Red Internet, un computador transmite en la opción que se conoce como **multicast**.



Se denomina semidúplex al método de transmisión en el cual una estación A y otra estación corresponsal B actúan durante un período como fuente y colector, respectivamente, pero, en un período posterior, la estación A actúa como colector y la estación B como fuente.

6.2.2 Método semidúplex

Se denomina semidúplex al método de transmisión en el cual una estación A y otra estación corresponsal B actúan durante un período como fuente y colector, respectivamente, pero, en un período posterior, la estación A actúa como colector y la estación B como fuente.

Como muestra la Fig. 6.4., este método permite la transmisión en las dos direcciones, aunque en momentos diferentes.

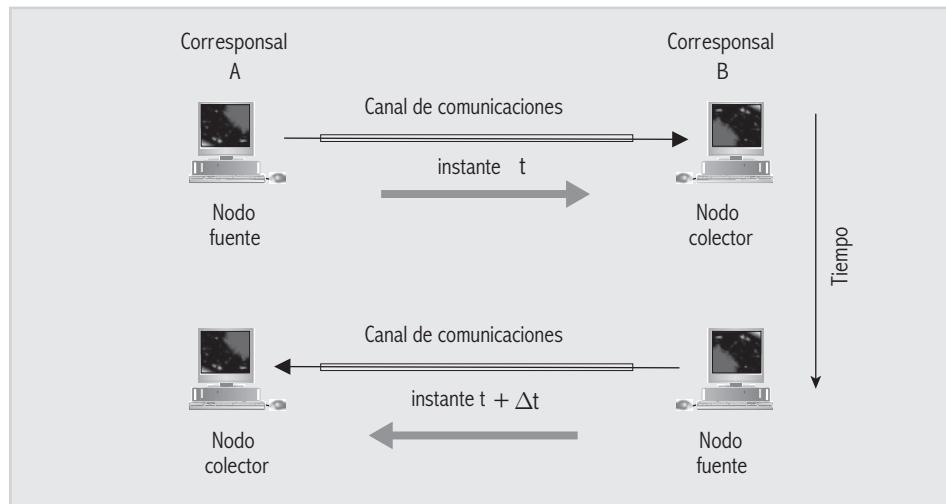


Fig. 6.4. Método semidúplex.

El método de transmisión semidúplex es la típica conversación entre dos radioaficionados, en la que uno espera que el otro termine de hablar para continuar el diálogo, ya que nunca pueden hablar simultáneamente.

En estos sistemas son populares las expresiones **cambio** para indicarle al corresponsal que es su turno de hablar y **cambio y fuera** para terminar la conversación.

El servicio, por lo tanto, cuando se presta por medios radioeléctricos, necesita usar una sola frecuencia por la que cada corresponsal transmitirá en tiempos diferentes al otro.

En las Redes de Área Local (LAN), la transmisión es semidúplex, aunque los usuarios, a causa de la gran velocidad a la que viaja la información, pueden imaginarse que los mensajes se transmiten en forma simultánea en ambos sentidos.

Los servicios que trabajan en la opción semidúplex son bidireccionales; sin embargo, el concepto de bidireccionalidad no significa que ambos transmiten en forma simultánea. Este concepto significa que ambos pueden recibir y transmitir, pero intercambiando sus roles. Cuando un equipo actúa como emisor transmitiendo, el otro actúa como receptor. En otro momento del tiempo ambos invierten sus funciones.

6.2.3 Método dúplex

Se denomina dúplex al método de transmisión en el cual dos estaciones, A y B, actúan a la vez como fuente y colector, por lo que pueden transmitir y recibir información en forma simultánea.

Tal como se puede observar en la Fig. 6.5., este método permite la transmisión simultánea en las dos direcciones. Por esta razón, se le suele también denominar línea de doble sentido.

Los servicios dúplex para poder ser prestados requieren tres condiciones:

- Medio físico capaz de transmitir en ambos sentidos.
- Sistema de transmisión capaz de enviar y recibir a la vez.
- Protocolo de comunicaciones que lo permita.

Dentro de este método de transmisión hay un caso particular, que se suele denominar full dúplex, en el cual se puede transmitir y recibir en forma simultánea, pero en el proceso intervienen tres estaciones. Una estación transmite a una segunda y recibe de una tercera al



Se denomina dúplex al método de transmisión en el cual dos estaciones, A y B, actúan a la vez como fuente y colector, por lo que pueden transmitir y recibir información en forma simultánea

mismo tiempo. Este tipo de enlaces se usa casi con exclusividad en sistemas de transmisión de datos.



Fig. 6.5. Método dúplex.

Los sistemas radioeléctricos diseñados para trabajar en la modalidad de full dúplex están preparados para transmitir en una frecuencia y recibir en otra diferente.

También en redes full dúplex Ethernet, que operan con equipos *switch*, se utilizan dos pares físicos: uno para recibir tramas y otro para transmitir. Esto hace que este tipo de redes estén libres de que se produzcan colisiones, lo que aumenta la eficiencia del sistema. Sin embargo, cuando operan con equipos *hub* la transmisión es exclusivamente semidúplex, dado que no se puede transmitir y recibir en forma simultánea.

El ejemplo típico de transmisión dúplex es el sistema telefónico y, en particular, se podría decir que es la típica conversación telefónica entre personas que no se escuchan y pretenden hablar simultáneamente.

La mayoría de los sistemas y redes de comunicaciones modernos tienden a prestar servicios que funcionan en modo dúplex. A tal efecto, cuentan con canales de envío y recepción simultáneos.

6.3 Modos de transmisión

6.3.1 Introducción

Los equipos informáticos y los específicos de transmisión de datos necesitan procedimientos muy precisos para enviar y recibir información, ya que requieren saber exactamente dónde comienza y dónde finaliza cada conjunto de bits que componen los campos que constituyen los paquetes transmitidos.

Estos procedimientos específicos, denominados de sincronización, deben estar perfectamente determinados en las siguientes situaciones técnicamente posibles:

- Cuando los datos son transmitidos entre dos equipos en forma digital (vínculos o redes digitales). Por ejemplo, cuando los datos se transmiten entre un equipo Terminal de Datos (ETD) y un Equipo Terminal del Circuito de Datos (ETCD).
- Cuando deben ser transmitidos por medios analógicos. En este caso, será necesario transformar las señales digitales generadas en los equipos informáticos mediante equipos módem, en señales analógicas que puedan ser transmitidas por este tipo de vínculos o redes.
- Cuando dentro del hardware de un computador es necesario conectar distintas partes del mismo entre sí. Por ejemplo, cuando los datos son transferidos desde la memoria RAM (Random Access Memory) hacia un disco rígido del mismo equipo.

Existen dos modos para transmitir las señales: **modo paralelo** y **modo serie**. Para ello, se requiere el uso de **interfaces digitales** que trabajan a nivel de la **capa física**, las que normalizadas convenientemente permiten construir distintas variantes de hardware que posibilitan la transferencia. A su vez, en el modo serie existen dos procedimientos diferentes: asincrónico y sincrónico.

6.3.2 Transmisión en modo paralelo

6.3.2.1 Definición

Se denomina transmisión en modo paralelo a aquella en la que los n bits que componen cada byte o carácter se transmiten en un solo ciclo de reloj.

En la Fig. 6.6. se puede apreciar la forma en que se transmiten los bits por medio de este procedimiento.

6.3.2.2 Características de la transmisión en modo paralelo

La transmisión en modo paralelo posee las siguientes características:

- Se usa en las computadoras para realizar la transferencia interna de los datos. En los casos en que se usen códigos internos de 8 bits por Byte, en cada ciclo se transfieren los 8 bits de cada carácter simultáneamente (o también un carácter) por ciclo.
- En estos casos, se transmite cada conjunto de n bits seguido por un espacio de tiempo y luego nuevamente otro conjunto de n bits, y así sucesivamente.

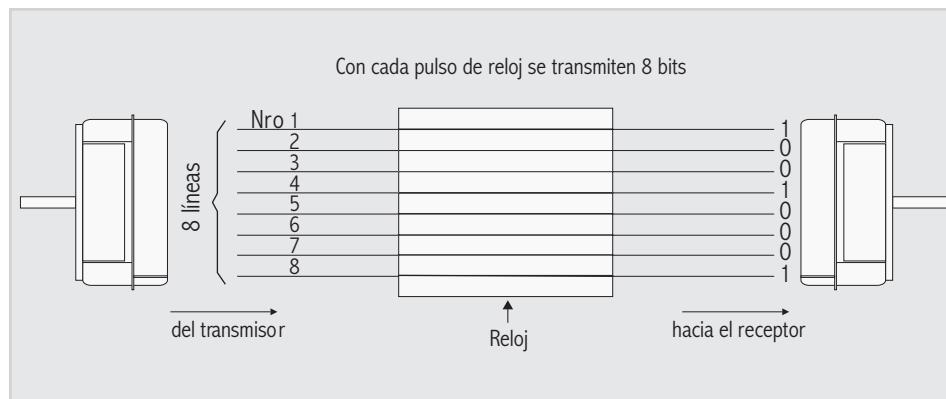


Fig. 6.6. Forma de transmisión en modo paralelo.

- En la transmisión en paralelo se pueden usar dos formas distintas.

Una es disponer de n líneas diferentes a razón de una por bit que se ha de transmitir. La otra, es usar una única línea, pero enviando cada bit mediante un procedimiento técnico que se denomina multiplexación de frecuencias. En el capítulo 6 de esta obra se detallarán estos procedimientos.
- Se usa cuando se requiere transmitir un número importante de Bytes por segundo y no existen problemas significativos de sincronización entre extremos. Un ejemplo típico es el uso de la **interfaz Centronics**, empleada generalmente para unir com-

putador-impresora. En estos casos las velocidades se miden en Bytes o caracteres por segundo.

- En general, este tipo de transmisión no se usa cuando las distancias superan las decenas de metros, debido a que el tiempo de llegada de los bits difiere de una línea a otra, situación esta que se agrava con el aumento de la distancia. En estos casos se dice que los bits derivan en el tiempo.

Es por ello que las comunicaciones en modo serie son utilizadas en la mayoría de los sistemas, en especial cuando la distancia entre equipos terminales se excede de unos pocos metros.

Las transmisiones en modo paralelo están siendo poco a poco dejadas de utilizar pese a que presentan las ventajas de una mayor sencillez al no tener que realizar las operaciones de serializar y deserealizar.

Las razones deben buscarse en el mayor costo que presenta el hardware que es necesario utilizar, dada la mayor cantidad de conectores que se requieren.

Por otra parte, este tipo de transmisión a distancias importantes presenta otras dificultades técnicas relacionadas a los procedimientos requeridos para sincronizar las señales transmitidas entre los equipos ubicados en ambos extremos del enlace. Este último aspecto de muy compleja solución hace este tipo de soluciones impracticables.



Se denomina transmisión en modo serie a aquella en que los bits que componen cada carácter se transmiten con cada ciclo de reloj, a razón de un bit por ciclo.

6.3.3 Transmisión en modo serie

6.3.3.1 Definición

Se denomina transmisión en modo serie a aquella en que los bits que componen cada carácter se transmiten con cada ciclo de reloj, a razón de un bit por ciclo.

En la Fig. 6.7., se puede apreciar la forma en que se transmiten los bits por medio de este procedimiento.

6.3.3.2 Características de la transmisión en modo serie

La transmisión en modo serie posee las siguientes características:

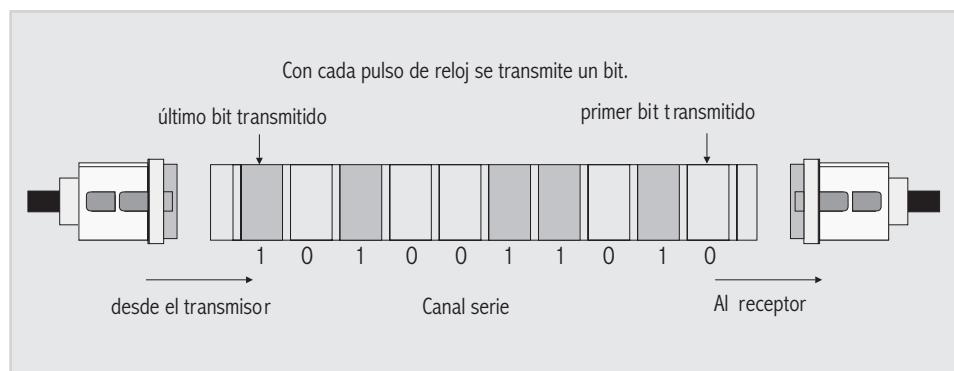


Fig. 6.7. Forma de transmisión en modo serie.

- Se envía un bit después del otro hasta completar cada carácter.
- Es típico de los sistemas teleinformáticos.

- En muchas ocasiones, las señales que son transmitidas por los vínculos de telecomunicaciones deben pasar al modo paralelo al llegar a los equipos informáticos.

Este proceso de transformación se denomina **deserialización**.

Análogamente, cuando las señales de un equipo informático deben ser transformadas del modo paralelo al modo serie, se debe verificar el proceso inverso, es decir, el de **serialización**, tal como se indica en la Fig. 6.8.

- La secuencia de los bits transmitidos se efectúa siempre por orden de pesos crecientes $-n_1, n_2, \dots, n_8-$, es decir, al revés de como se escriben las cifras en el sistema de numeración binario, donde los pesos crecientes se escriben siempre a la izquierda.



En el proceso de señalización, los bits se “almacenan” en el buffer para luego ser transmitidos de a uno con cada pulso del reloj.

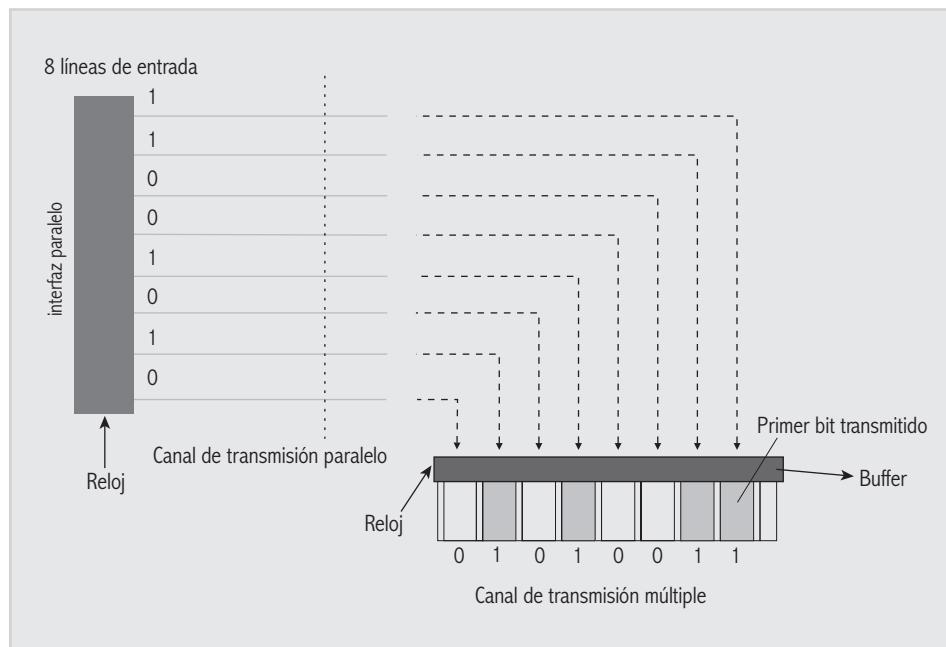


Fig. 6.8. Proceso de serialización.

- Cuando se transmite con bit de paridad, este se transmite siempre en último término.

6.3.3.3 Receptor-Transmisor Asincrónico Universal (UART)

Denominaremos UART (*Universal Asynchronous Receiver-Transmitter*) al:

Dispositivo que controla un puerto serie y tiene por misión convertir los datos transmitidos en modo paralelo por el bus interno conectado a él en modo serie, y viceversa, produciendo los procesos de serialización y deserialización.

La UART está construida por circuitos integrados o chips, que pueden ser parte de la placa base de un computador, de un módem u de otro tipo de equipos similares que poseen puertos de entrada y salida de señales digitales.

Sus principales funciones son manejar las interrupciones de los dispositivos conectados al puerto que administran, pudiendo programarse los siguientes parámetros de las señales:



El UART es un dispositivo que controla un puerto serie y tiene por misión convertir los datos transmitidos en modo paralelo por el bus interno conectado a él en modo serie, y viceversa, produciendo los procesos de serialización y deserialización.

- Velocidad de transmisión.
- Paridad (par o impar).
- Longitud del bloque.
- Bits de parada.



La interfaz o bus digital es un conjunto de normas mecánicas, eléctricas y lógicas que permiten que las señales digitales originadas en un equipo, denominado emisor –o un componente de él–, puedan ser transmitidas con las características deseadas, y a través de un vínculo físico, a otro equipo digital –o componente de él– de las mismas u otras características, denominado receptor; y viceversa

6.4 La capa física

6.4.1 Generalidades

La comunicación a nivel de capa física entre dos equipos, o componentes de un mismo equipo, se realiza a través de interfaces o buses digitales estandarizados.

Las razones de la necesidad de la normalización están dadas porque tanto los equipos como los componentes que se han de interconectar pueden ser diseñados y construidos con características técnicas diferentes, siendo la interfaz estandarizada la que permite vincularlos y dar solución a la diversidad que ellos puedan presentar.

Llamaremos interfaz o bus digital estándar al:

Conjunto de normas mecánicas, eléctricas y lógicas que permiten que las señales digitales originadas en un equipo, denominado emisor –o un componente de él–, puedan ser transmitidas con las características deseadas, y a través de un vínculo físico, a otro equipo digital –o componente de él– de las mismas u otras características, denominado receptor; y viceversa

Las interfaces digitales estándares, en numerosos casos, deben conectar equipos o componentes a nivel de la capa física de distintos fabricantes.

Estas interfaces pueden trabajar en modo paralelo o en modo serie.

6.4.2 Normalización de las interfaces de la capa física

6.4.2.1 Aspectos generales

Los niveles de normalización de las interfaces de nivel físico tienen las siguientes finalidades:

- Asegurar la compatibilidad mecánica de su conector.
- Establecer niveles de tensión máxima y mínima de cada circuito, y sobre cada contacto del conector, así como otros aspectos relativos a las características eléctricas.
- Determinar relaciones lógicas, de manera que se pueda mantener de forma adecuada el diálogo entre los equipos que interconecta.

En la Fig. 6.9. se pueden observar los tres niveles de normalización de una interfaz digital estándar.

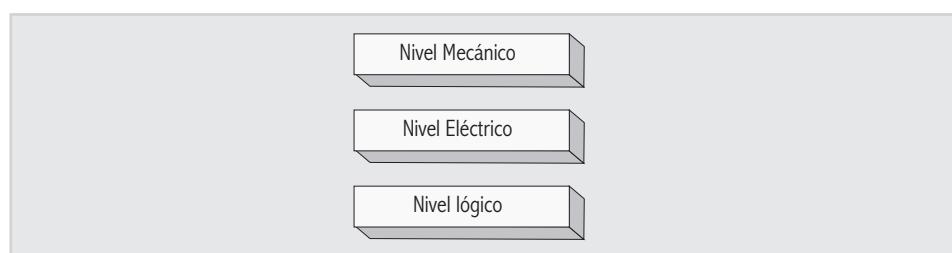


Fig. 6.9. Niveles de normalización de una interfaz digital estándar.

Los niveles de normalización de las interfaces de la capa física tienen las siguientes finalidades:

- Nivel mecánico

Para la interconexión del cable con el equipo o el componente, se requiere el uso de un conector, formado por dos partes denominadas macho y hembra.

Los conectores están rígidamente ensamblados a un cable de varios conductores. Cada uno de ellos constituye un circuito caracterizado por una función particular. Los distintos circuitos varían según la norma que se utilice. Cada contacto del conector se identifica normalmente con números que, a su vez, están asociados a los mencionados circuitos o a las funciones lógicas de la interfaz.

Los conectores tienen una determinada cantidad de contactos o *pines*, que dependen fundamentalmente del uso de la interfaz y de la forma de trabajar: en paralelo o en serie.

En casos especiales, algunos fabricantes utilizan en sus equipos conectores propietarios, pero, en esencia, tienen características técnicas de funcionamiento similares. Muchas veces, el uso hace de estos un estándar de facto.

- Nivel eléctrico

Cada una de estas normas indican las tensiones y corrientes eléctricas que se deben aplicar a cada uno de los contactos del conector y las formas que tienen los circuitos eléctricos de la interfaz. Los circuitos utilizados son dos:

- Transmisión asimétrica o desbalanceada

En estos casos los receptores en ambos extremos del enlace reciben la tierra desde el transmisor correspondiente, utilizando un único conductor para las señales en una dirección determinada; de allí el nombre de transmisión desbalanceada. Tenemos como ejemplo la Recomendación RS 423 o el cable coaxial.

Otro ejemplo de transmisión asimétrica es el de la red eléctrica domiciliar, que entrega 220 V ó 110 V según los países. Ella utiliza un conductor llamado **vivo** y otro conectado a tierra que se denomina **neutro**.

- Transmisión simétrica o balanceada

Los circuitos son simétricos cuando el retorno se concreta a través de un hilo que no es ninguno de los dos utilizados para la transmisión de datos; por ello también recibe el nombre de balanceada. Tenemos como ejemplo la Recomendación RS 422.

En estos casos se pueden obtener velocidades mayores que en los esquemas asimétricos o desbalanceados.

Un ejemplo muy utilizado en las instalaciones de **Redes de Área Local** es el despliegue en los edificios e instalaciones, donde funcionan utilizando un sistema de **cableado estructurado** construido con cable UTP (Unshielded Twisted Pair). Este tipo de cables está armado con cuatro pares de cobre balanceados.

La Fig. 6.10. muestra los esquemas de los circuitos correspondientes a ambos casos.

- Nivel Lógico

Este nivel está compuesto y definido por un conjunto de circuitos que permiten establecer el diálogo entre los equipos que la interfaz interconecta.

Los mismos se pueden clasificar según el tipo de señales que transporta cada uno de ellos y, a su vez, la clasificación de las señales responde a sus características



En las interfaces balanceadas o simétricas, se requieren como mínimo tres líneas, dos para datos y una tierra común.

funcionales. Estas son las siguientes:

- Señales de datos

Estas señales son las responsables de la transmisión y recepción de los datos.

Posen características digitales y trabajan normalmente en modo serie.

- Señales de sincronismo o de reloj

Estas señales tienen la función de mantener el sincronismo y se utilizan exclusivamente cuando se deben interconectar equipos que trabajan en modo sincrónico.

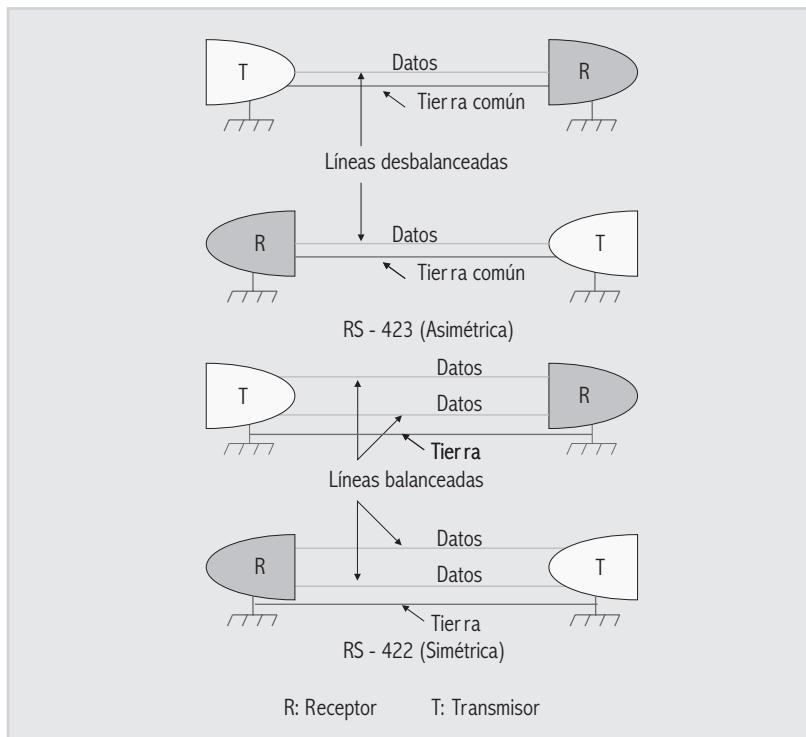


Fig. 6.10. Circuitos eléctricos de enlace. Recomendaciones RS 422 y 423.

- Señales de control

La función principal de estas señales es regular, dirigir y ordenar el flujo de datos de la interfaz.

- Señales para mantenimiento y testeo

Estas señales se utilizan para realizar conexiones que están vinculadas a los bucles de comprobación y a la realización de los test de comprobación. Permiten localizar fallas.

- Conexiones a tierra

La función de estas conexiones es mantener las señales que se envían de un equipo a otro con el mismo nivel de potencial respecto de tierra.

6.5 Interfaces y buses en modo paralelo

6.5.1 Generalidades

Para la transmisión en modo paralelo existe un conjunto de interfaces y buses normalizados inicialmente por los propios fabricantes de hardware, donde la mayor parte de ellos son utilizados para intercambiar información entre los distintos componentes internos de un computador y, eventualmente, con periféricos del mismo.

Las ventajas que presentan por trabajar en paralelo es aumentar la velocidad de transmisión entre los componentes de un computador que deben intercomunicarse, o entre sí con alguno de sus periféricos; en especial, cuando por las características de ellos, se requiere una comunicación de alta velocidad y, además, la distancia a la que se encuentran es pequeña. Precisamente, al transmitirse un conjunto importante de bits en forma simultánea por unidad de tiempo, se facilita una rápida comunicación entre las partes que se desea comunicar.

Actualmente, también se pueden lograr altas velocidades con buses en modo serie, pero la utilización de interfaces en paralelo sigue siendo importante.

Mientras aquellas que trabajan en modo serie ponen su acento en el uso de software y en elementos para su procesamiento a alta velocidad, este tipo de buses en modo paralelo pone el énfasis en elementos de hardware más complejos, que permiten obtener resultados similares.

6.5.2 Características técnicas de algunas interfaces o buses en modo paralelo

6.5.2.1 Interfaz ATA

Se denomina *Advance Technology Attachment* (ATA) a una interfaz paralelo desarrollada para su uso en los computadores, que es empleada para interconectar entre sí los distintos subconjuntos que son parte de ella, como por ejemplo el motherboard con los discos rígidos y los dispositivos de almacenamiento y de lectura (CD-ROM o DVD).

Esta interfaz es mantenida y actualizada por el Comité Técnico N.º 13 del Comité Internacional para los Estándares en Tecnología de la Información (*Technical Committee # 13 of The InterNational Committee for Information Technology Standards INCITS*), que trabaja bajo las reglas y la aprobación del Instituto Nacional Americano de Estándares (ANSI).

Existen distintas versiones de esta interfaz, entre las cuales se pueden señalar las siguientes:

Pre ATA-1. También conocida como *Integrated Drive Electronics* (IDE), desarrollada originalmente por la empresa Western Digital.

- ATA-1. Velocidad de transferencia hasta 8,3 Mbps.
- ATA-2. Velocidad de transferencia hasta 13,3 Mbps. También se la conoce como EIDE, Fast ATA o ultra ATA.
- ATA-3. Velocidad de transferencia hasta 16,6 Mbps. Es una versión mejorada de la anterior.
- ATA/ATAPI-4 (*Advance Technology Attachment Packet Interfaz*). Velocidad de transferencia hasta 33 Mbps. También se la conoce como Ultra ATA/33.
- ATA/ATAPI-5. Velocidad de transferencia hasta 66 Mbps. También se la conoce como Ultra ATA/66.
- ATA/ATAPI-6. Velocidad de transferencia hasta 100 Mbps. También se la conoce como Ultra ATA/100.

Se denomina *Advance Technology Attachment* (ATA) a una interfaz paralelo desarrollada para su uso en los computadores, que es empleada para interconectar entre sí los distintos subconjuntos que son parte de ella, como por ejemplo el motherboard con los discos rígidos y los dispositivos de almacenamiento y de lectura (CD-ROM o DVD)

ATA-1: Paralelamente a esta versión, y poco antes de que se comercializara la versión ATA-2, *Western Digital* introdujo una versión mejorada de este primer estándar que se conoció como *Enhanced Integrated Drive Electronics* (EIDE).

- ATA/ATAPI-7. Velocidad de transferencia hasta 133 Mbps. También se la conoce como Ultra ATA/133.
- ATA/ATAPI-8. Compatible con la anterior y presenta mejoras respecto de ella.

La última versión ATA/ATAPI-8, denominada técnicamente ANSI INCITS 452-2008, corrigió algunos errores de la versión anterior, reestructuró el estándar y la subdividió en cuatro partes denominadas respectivamente:

- *Architecture Model* - ATA8-AAM (modelo de la arquitectura).
- *Command Set* - ATA8-ACS (conjunto de comandos).
- *Parallel Transport* - ATA8-APT (transporte paralelo).
- *Serial Transport* - ATA8-AST (transporte serie).

La interfaz transfiere de a 16 bit por cada intervalo de tiempo. La Fig. 6.11. muestra la forma del conector que se utiliza en esta interfaz.

ATA8-AST Esta última parte del estándar se refiere a la versión serie denominada Serial – ATA, más conocida como SATA. Es una interfaz en serie que, en su versión 3.0, permite una velocidad de 6 Gbps.

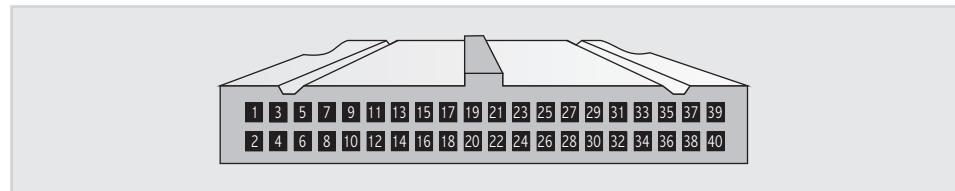


Fig. 6.11. Conector utilizado en las interfaces ATA.

En la Fig. 6.12. se observan las características del cable utilizado para interconectar los componentes. Este cable tiene forma de cinta y puede tener conectores en su parte media. Su longitud máxima es hasta 460 mm. La cantidad de cables necesarios es de cuarenta y, a partir de la versión ATAPI-4, asciende a ochenta.



Fig. 6.12. Cable de interconexión con forma de cinta.

6.5.2.2 Interfaz IEEE 1284 – Centronics

En la década de los años 70, **Centronics Computer Corporation** fue una de las empresas que fabricaban impresoras innovadoras. Comenzó siendo una división de **Wang Laboratories**, también pionera pero orientada al desarrollo de computadores pequeños y medianos, pensados para el uso en oficinas y el procesamiento de la palabra.

Precisamente, para cubrir necesidades de su área, desarrolló una interfaz en paralelo que se conoció con su nombre: **Centronics**. La misma alcanzó un marcado éxito inicial y pronto

se transformó en un estándar de facto. Paralelamente, otras empresas, como HP, desarrollaron versiones mejoradas de este estándar, como el denominado **Bitronics**.

Centronics es una interfaz en paralelo, bidireccional, con una velocidad de transferencia de datos máxima de *150 KByte* por segundo. Esta velocidad máxima puede disminuir y es por lo tanto dependiente del software asociado. Permite intercambiar *8 bits* por unidad de tiempo en forma simultánea. El puerto de la impresora es conocido como LPT (*Line Printer Terminal*), y que requiere el intercambio de 25 tipos de señales diferentes. Estas señales utilizan varias líneas diferentes por cada una de las siguientes funciones: control: 4; estado: 5; datos: 8 y tierra: 8.

- Las **Señales de control** son usadas, como su nombre lo indica, para el control de la interfaz y para la señalización que es necesaria en la fase de establecimiento de la comunicación entre el computador y la impresora. Permiten, entre otras cosas, poner a los valores normales de la impresora tal como fueron ajustados, insertar líneas en cada retorno de carro, indicar que las líneas de datos están activas con valores válidos, etc.
- Las **Señales de estado (status)** se usan como indicadores de diversas funciones, tales como falta de papel, último carácter recibido, indicador de ocupado, impresora en línea, etc.
- Las **Señales de datos** son usadas para el intercambio de los datos entre ambos equipos interconectados a razón de un bit por cada byte transmitido. Si bien inicialmente la información solo podía ser transmitida desde el computador a la impresora en forma unidireccional, versiones posteriores permiten que los datos fluyan también en sentido inverso.
- Las **Señales de tierra** son el retorno de cada una de las líneas utilizadas para la transmisión de los datos.

Por otra parte, cuando la empresa IBM lanzó al mercado en el año 1981 las computadoras personales, estas tenían inicialmente un puerto serie para su conexión a la impresora. A medida que las impresoras fueron cambiando su tecnología, pasando de matriz de punto a otras de mayor velocidad de funcionamiento, se agregó a las mismas un puerto paralelo tipo **Centronics**, que permitiera la transmisión de ocho bits a la vez.

Es así que este tipo de puertos permitió conectar periféricos de más alto rendimiento, como es el caso de impresoras compartidas, lectoras de discos portátiles, unidades de cinta y otros.

Los requerimientos para lograr la estandarización de los puertos tipo Centronics dio lugar a que, en 1991, un grupo de empresas, formada entre otras por IBM, Texas Instruments y Lexmark, creara una organización denominada **Network Printing Alliance** (Alianza de impresión en red). Esta tenía como finalidad desarrollar un nuevo patrón orientado a las interfaces relacionadas con las necesidades que presentaban las impresoras.

La **Alianza** trabajó para definir nuevos estándares que permitieran un completo control de las aplicaciones vinculadas a los trabajos de impresión y una conexión de alto rendimiento bidireccional. La conexión a esa fecha al puerto paralelo de la computadora no estaba en condiciones de cumplir completamente con los requerimientos del estándar de facto que se utilizaba.

Entonces la Alianza le propuso a la IEEE que desarrollara un estándar para un puerto paralelo sobre la base de sus requerimientos. Dicha propuesta provocó que esta organización creara el Comité 1284.

En marzo de 1994 se dio a conocer el estándar denominado IEEE 1284 **Standard Signaling Method for a Bi-directional Parallel Peripheral Interfaz for Personal Computers** (Método estándar de señalización para una interfaz paralela bidireccional periférica para computadoras personales).

El mismo permite comunicaciones de alta velocidad, bidireccionales. Puede alcanzar velocidades de transmisión de hasta 2,5 Mbps, dependiendo del hardware y del software que se utilice. **IEEE 1284** es compatible con *Centronics* y permite conectar al computador impresoras, *Scanner*, lecto-grabadoras de cintas, discos rígidos y otros periféricos.

Utiliza del lado de la computadora el conector **ISO 2110-DB-25** y del lado de la impresora, un conector de 36 pines tipo *Centronics*.

La Fig. 6.13. muestra la forma de los conectores macho y hembra y la Fig. 6.14., el cable utilizado.

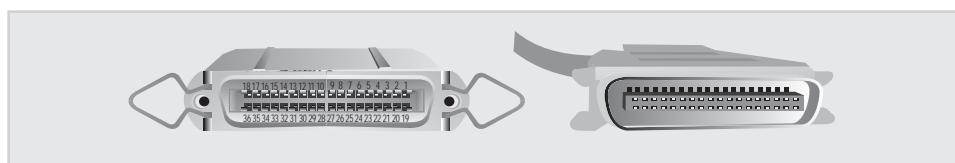


Fig. 6.13. Conectores IEEE 1284^a e IEEE 1284b.

Estos conectores están unidos por un cable que está compuesto por 17 pares trenzados para evitar la diafonía, de la manera que se indica en la Fig. 6.15. Poseen en un extremo un conector **ISO 2110-DB-25** y en el otro, uno de 36 pines.



Fig. 6.14. Cable de interconexión con conectores ISO 2110-DB-25 e IEEE 1284 de 36 pines.

El estándar IEEE 1284 puede operar en cinco modos diferentes:

Modo de compatibilidad. Es también conocido como *Centronics* y trabaja en modo unidireccional compatible con el diseño original de esta interfaz. Puede alcanzar una velocidad de entre 50 Kbps y 150 Kbps.

Modo nibble. Trabaja en forma unidireccional, transmitiendo los datos en subconjuntos de 4 bits por unidad de tiempo al utilizar las líneas que están reservadas para los canales de estado para la transmisión de datos. Permite la compatibilidad con el estándar BiTronics desarrollado por HP. Puede alcanzar una velocidad de entre 50 Kbps y 150 Kbps.

Modo byte. Este modo permite la transmisión de 8 bits por unidad de tiempo, utilizando las líneas de datos. Puede alcanzar una velocidad de entre 50 Kbps y 150 Kbps.

Enhanced Parallel Port (EPP o Puerto Paralelo Mejorado). Trabaja en modo semidúplex y es bidireccional. Permite una velocidad de 2 Mbps, permitiendo la conexión de todo tipo de periféricos. Utiliza una menor cantidad de bits auxiliares en la transmisión de los datos, que evitan sobrecargar a la CPU del computador.

Extended Capability Port (ECP o Puerto de Capacidad Ampliado). Trabaja en modo semidúplex y es bidireccional como el EPP. Posee como diferencia que utiliza un acceso directo a la memoria del computador, lo que lo hace más rápido que el anterior. Puede alcanzar una velocidad de 2,5 Mbps.

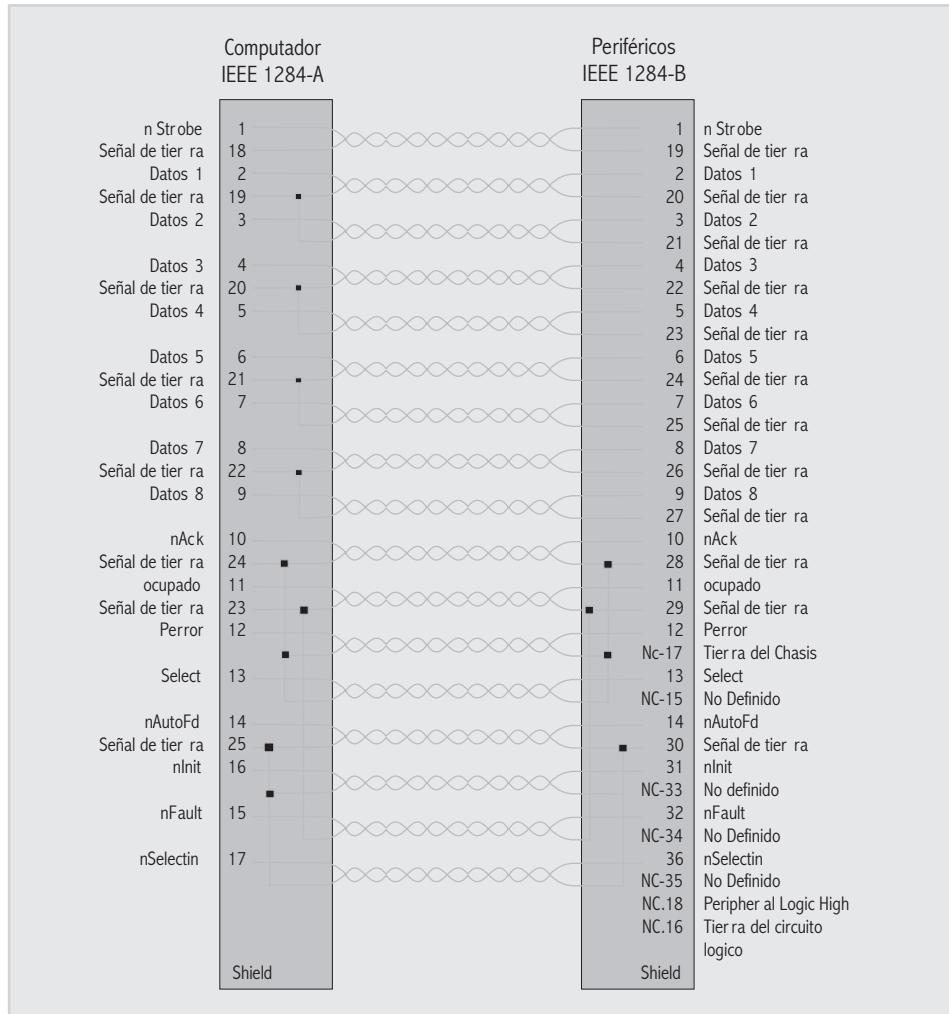


Fig. 6.15. Interconexión entre el conector DB-25 y el conector de 36 pines.



Esta interfaz utiliza un sistema de señalización que se denomina **Data-Strobe**. Esta es una técnica que ha patentado la empresa *STMicroelectronics*, que evita la necesidad de transmitir una señal de reloj para la sincronización de las señales.

La transmisión de cada bit involucra un cambio en la línea de **Data** o en la de **Strobe**, pero nunca en ambas, con lo que el reloj se recupera fácilmente mediante la función XOR de ambas señales. Este sistema soporta, a su vez, la detección automática de velocidad.

La señal de **Strobe** no es utilizada en el modo **nibble**.

STMicroelectronics Company es una empresa especializada en la fabricación de una amplia gama de semiconductores, que van desde diodos discretos y transistores hasta sistemas complejos de sistemas que funcionan sobre chips.

6.6 Buses e interfaces en modo serie

6.6.1 Recomendaciones RS 232-V.24

6.6.1.1 Consideraciones generales

Las interfaces en serie están integradas por componentes que pertenecen a la capa física y por elementos que trabajan en contacto directo con el medio de comunicaciones.

Entre estas, las más difundidas y popularizadas son las interfaces descriptas por dos normas que, a pesar de ser muy parecidas, no son exactamente iguales y a veces se las confunde. Ellas son la recomendación **V.24** de la UIT-T y la **RS 232**, actualmente **TIA 232**.

La identificación de ellas es la siguiente:

- Recomendación V.24:

Lista de definiciones de circuitos de intercambio entre Equipos Terminales de Datos (ETD) y Equipos Terminales del Circuito de Datos (ETCD).

Esta norma ha sido confeccionada por la Unión Internacional de Telecomunicaciones (UIT-T). Cabe aclarar que todo el conjunto de recomendaciones de la **Serie V.** corresponde a cuestiones relacionadas con la transmisión de datos sobre la red telefónica. Además, ha tenido varias actualizaciones hasta el año 1993.

- Recomendación 232:

Interfaz entre los Equipos Terminales del Circuito de Datos (ETCD) y los Equipos Terminales de Datos (ETD), mediante el intercambio de datos binarios en serie.

La designación actual de esta norma es la siguiente:

TIA-232-F Interfaz between Data Terminal Equipment and Data Circuit-Terminating Equipment Employing Serial Binary Data Interchange

Esta norma ha sido confeccionada hasta el año 1988 por la **Asociación de la Industria Electrónica** (*Electronics Industry Association* o EIA). Desde ese año, dicha organización fue reemplazada por la **Asociación de Industrias de Telecomunicaciones** (*Telecommunications Industry Association* o TIA) (esta organización es parte de la llamada *Electronic Industries Alliance*), ambas organizaciones de Estados Unidos. Esta norma tuvo diferentes versiones, la más conocida es la denominada C. Las posteriores usaron las letras siguientes del alfabeto.

El significado de los caracteres usados en estas normas para la identificación de esta recomendación son los siguientes:

- **RS** son las primeras letras de las palabras **Recommended Standard**, que significa estándar recomendado. Actualmente, se utiliza en su lugar la abreviatura de la organización que se ocupa de su normalización (TIA).
- Una letra al final de su nombre indica la revisión que se está considerando. La versión más conocida es la denominada RS 232 C.

Actualmente, se utiliza la norma TIA 232 F. En este caso, la letra F está indicando que es la sexta revisión de la norma original antes señalada. Precisamente, las últimas revisiones han buscado una total compatibilidad, que antes no existía, entre ellas y la norma V.24.

Estas interfaces son usadas en muchas aplicaciones, entre las cuales se pueden citar:

- Entre un **ETD** (por ejemplo, un **computador**) y un **ETCD** (por ejemplo, un **módem**). Esta aplicación es una de las más importantes, aunque no necesariamente la más usada.
- Entre un computador central y uno de sus equipos terminales (por ejemplo, uno que puede estar compuesto solamente de un teclado y una pantalla de video).
- Entre un computador personal y la impresora.
- Entre un equipo terminal lector de barras y el equipo computador asociado.
- Entre un controlador de comunicaciones y el equipo de comunicaciones que lo conecta al canal para la transmisión de datos correspondiente.

6.6.1.2 Características técnicas principales

- Distancia máxima entre equipos: 15 metros (50 pies).
- Velocidad máxima de transferencia de datos: 20 Kbps.
- Cantidad máxima de usuarios por conectar: 2 usuarios (enlaces punto a punto). Esta recomendación no acepta interconexiones del tipo multipunto.
- Susceptible al ruido existente en el medio ambiente.
- Rangos de voltaje de trabajo para el intercambio de señales de:
 - + 3 Volt a + 25 Volt.
 - - 3 Volt a - 25 Volt.
- Codificación en banda base NRZ-L.

6.6.1.3 Principales limitaciones que presenta

- Reducida velocidad de transferencia de datos.
- Distancia máxima entre equipos insuficiente para algunas aplicaciones.

La primera limitación se ha acentuado. Actualmente, los equipos que usan esta recomendación han aumentado la velocidad de transmisión considerablemente desde que la misma fue diseñada; por lo cual, la interfaz no cumple con estas nuevas velocidades.

Sin embargo, no afecta la interconexión en los casos en que la distancia entre extremos de la interfaz es mucho menor a los 15 metros; estos casos son siempre muy comunes. Una de las aplicaciones más usadas es la conexión de un módem de datos a un computador; estando ambos equipos, casi siempre, muy próximos.

En cuanto a la segunda limitación, en algunas aplicaciones en que se necesita simultáneamente velocidad y distancia, 15 metros es una fuerte restricción. La razón de la misma es que la norma estipula una capacitancia máxima de 2 500 pF (Picofaradios) total entre puntas; valor que se alcanza a los 15 metros.

6.6.1.4 Características de normalización para el nivel mecánico

Para la interconexión en la unión cable/equipos de la interfaz RS 232, se utiliza un conector tipo **Cannon** de 25 contactos, especificado en la ISO 2110, también conocido como DB 25, según detalles que se pueden observar en la Fig. 6.16.

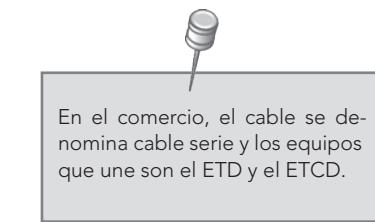
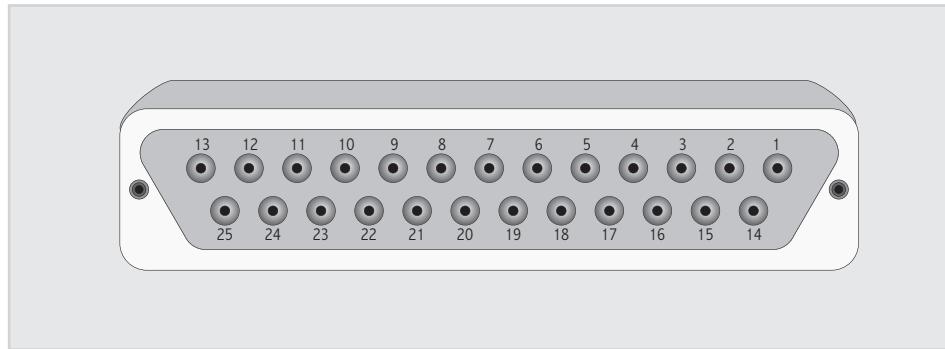


Fig. 6.16. Conector ISO 2120 para la unión módem/terminal. Recomendaciones V.24 y RS 232..

Dicho conector está rígidamente colocado en un cable de varios conductores. Cada uno de ellos constituye un circuito caracterizado por un número y cumple una función particular.

Cada contacto del conector se identifica con los números 1 al 25 y cada uno de ellos está asociado a unos circuitos en particular.

En algunas aplicaciones se necesita una cantidad mucho menor a 25 contactos. En ese caso, se puede utilizar el conector normalizado ISO 4902/TIA 564, más conocido como DE-9, según se puede observar en la Fig. 6.17. Este se utiliza muchas veces para conectar el mouse al computador, por ser más económico y más pequeño.

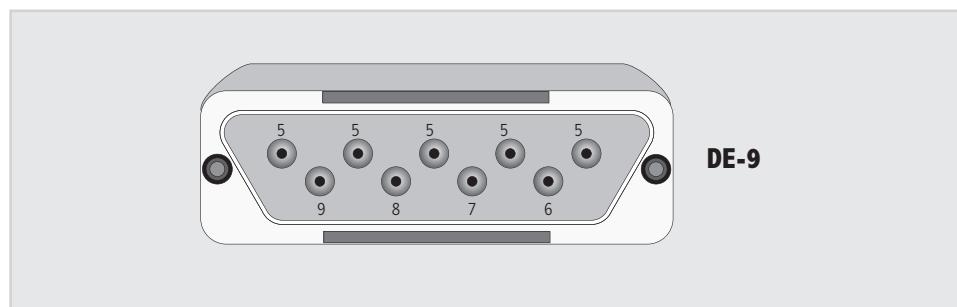


Fig. 6.17. Conector DE-9/TIA 564...

En otros casos, algunos fabricantes instalan en los equipos que fabrican conectores propietarios, pero, en esencia, tienen características técnicas de funcionamiento similares.

6.6.1.5 Características de normalización para el nivel eléctrico

Las características puramente eléctricas de los circuitos de enlace están indicadas en las siguientes recomendaciones de la UIT-T:

- V.28: circuitos de enlace asimétricos para uso con equipos que utilizan tecnologías de componentes discretos y funcionan a velocidades inferiores a 20 Kbps (bajas velocidades).
- V.10: circuitos de enlace asimétricos para uso con equipos que emplean tecnología de circuitos integrados y que funcionan a velocidades de 20 a 100 Kbps (altas velocidades).
- V.11: circuitos de enlace simétrico para uso con equipos que utilizan tecnología de circuitos integrados y funcionan a velocidades de hasta 10 Mbps (muy altas velocidades).

Estas normas indican las tensiones y corrientes eléctricas que corresponde aplicar a cada uno de los contactos del conector. En particular, se utilizan las siguientes tensiones, medidas respecto de la tierra común:

- Para las señales de datos:
Rangos de tensión comprendidos entre -3 a -25 Volt para indicar el valor de un 1 binario y de +3 a +25 Volt para indicar el valor de un 0 binario.
- Para las señales de control:
Rangos de tensión comprendidos entre -3 a -25 Volt para indicar el circuito cerrado OFF y de +3 a +25 Volt para indicar el circuito abierto ON.

6.6.1.6 Características de normalización para el nivel lógico

- Descripción de los circuitos del nivel lógico:

Existen dos clases de circuitos en el nivel lógico de la Interfaz Digital Estándar Serie, que se denominan Circuitos Primarios y Circuitos Secundarios. Las tablas 5–3 y 5–4 describen sus características más importantes. La serie 200 se usa exclusivamente en la llamada automática, vía red telefónica conmutada.

Para cada uno de ellos se indica, además, el sentido del flujo de las señales, según sea el sentido hacia el ETCL o desde él hacia el ETD.

- Características y funciones de los distintos circuitos del nivel lógico:

Las **señales de datos** que intercambian los equipos interconectados por esta interfaz utilizan, observando la comunicación desde el ETD, el Circuito N° 103 – contacto 2 para transmitir los datos y el Circuito N° 104 – contacto 3 para recibirlos. Los datos de los usuarios pasan exclusivamente por estas dos conexiones y resultan, sin duda, las más importantes de la interfaz.

Si el ETCD utilizara canal secundario, observando la comunicación desde el ETD, usaría el Circuito N° 118 – contacto 14 para transmitir los datos de este canal y el Circuito N° 119 – contacto 16 para recibirlos.

Tabla 6-3 Circuitos primarios de la recomendación V.24

Circuitos primarios					
Tipo de señal	Nº de circuito	Nº de contacto	Denominación	Señales	
				Hacia el ET CD	Desde el ET CD
Señales de datos	103	2	transmisión de datos	×	
	104	3	recepción de datos		×
	118	14	transmisión de datos (sec)	×	
	119	16	recepción de datos (sec)		×
Señales de tiempo	113	24	sincronismo en transmisión	×	
	114	15	sincronismo en transmisión		×
	115	17	sincronismo en recepción		×
Señales de control	105	4	peticIÓN de emisión	×	
	106	5	preparado para transmitir		×
	107	6	módem preparado		×
	108/1	20	conéctese el a.d.d.a. línea	×	
	108/2	20	terminal de datos preparado	×	
	109	8	detector de portadora en línea		×
	110	21	detector de calidad de señales en línea		×
	111	23	selector de velocidad binaria	×	
	125	22	detector de señal de llamada		×
	126	11	selector de frecuencia de transmisión	×	
Generación alterna	120	19	transmisión señales línea (sec)	×	
	121	13	listo para transmitir (sec)		×
	122	12	detector de señales de línea recibido (sec)		×
	101	1	tierra de protección		
	102	7	tierra de señalización o retorno común		

a.d.d. = aparatos de datos

(sec) = canal secundario o de retorno

Si fuera necesario mantener el sincronismo, el ETCD envía señales de reloj a tal efecto. Cada una de estas, consiste en una transición ON, o una OFF, que se debe producir en el centro de cada período de cada señal transmitida.

Cuando el ETCD actúa como transmisor por cada bit transmitido, la misma es generada a través del Circuito N° 114 – contacto 15; y cuando lo hace como receptor, la misma es generada a través del Circuito N° 115 – contacto 17.

Tabla 6-4 Circuitos secundarios de la recomendación V.24.

<i>Circuitos secundarios</i>			
<i>Tipo de señal</i>	<i>Nº de circuito</i>	<i>Denominación</i>	<i>Señales</i>
			<i>Hacia el ETCD</i> <i>Desde el ETCD</i>
Señales de tiempo	128	sincronismo en recepción	
	131	temporizadores para los caracteres recibidos	
	112	selector de velocidad binaria	X
	116	selector de instalaciones (r)	X
	117	indicador de instalaciones (r)	
	123	detector de calidad de señales (sec)	X
	124	selección grupos de frecuencia	X
	127	selección de la frecuencia de recepción	X
	129	petición de recibir	X
	130	transmitir el tono (sec)	X
	132	retorno al modo no datos	X
	133	preparado para recibir	X
	134	datos recibidos presentes	X
	136	nueva señal	X
	140	conexión en bude	X
	141	conexión en bude total	X
	142	indicador de prueba	X
Señales de control	191	respuesta vocal transmitida	X
	192	respuesta recibida	X
	120a	tierra de señalización o retorno común de equipo de datos	
Generación alterna	102b	retorno común del módem	
	102c	retorno común	

(r) = de reserva

(sec) = canal secundario o de retorno

Las **señales de sincronización** utilizan el Circuito N° 113 – contacto 24 en los casos en que no provienen del ETCD sino de un equipo externo a él. Siempre son necesarias dos señales de reloj, una para la parte transmisora y otra para la receptora. Estas señales de sincronismo posibilitan el correcto muestreo de las señales digitales sincrónicas de datos.

En la Fig. 6.18. se pueden observar ambas señales de reloj, indicadas por los números 2 y 4, y su inserción para el caso en que uno de los equipos sea el ETCD.

Cuando el ETD comienza a transmitir al ETCD, debe enviar una petición de transmisión –conocida también por su expresión **Request To Send** (RTS)– por medio de una señal de control, usando el Circuito N° 105 – contacto 4. En los casos en que los módem utilicen el canal secundario, la señal petición de transmisión **RTS** se efectúa a través del Circuito N° 120 – contacto 19.

Esta solicitud, si previamente se estableció, no habilita inmediatamente la portadora del módem, sino que activa un temporizador que procederá a hacerlo en un determinado tiempo.

Una vez que la portadora del ETCDE se encuentra lista para recibir, envía señal de petición denominada **preparado para recibir** –conocida también por su expresión **Clear To Send** (CTS)– por medio de una señal de control, usando el Circuito N° 106 – contacto 5. En los casos en que los módem utilicen el canal secundario, la señal petición de transmisión **RTS** se efectúa a través del Circuito N° 121 – contacto 13.

En algunas oportunidades, para saber que el módem está listo para transmitir –y, por ejemplo, no está realizando una operación de prueba o verificación– o que el ETD está listo para operar, se utiliza la expresión **Data Set Ready (DSR)** por medio de una señal de control, usando el Circuito N° 107 – contacto 6 (en primer caso) y la expresión **Data Terminal Ready (DTR)** por medio de una señal de control, usando el Circuito N° 108 – contacto 20 (en el segundo caso).

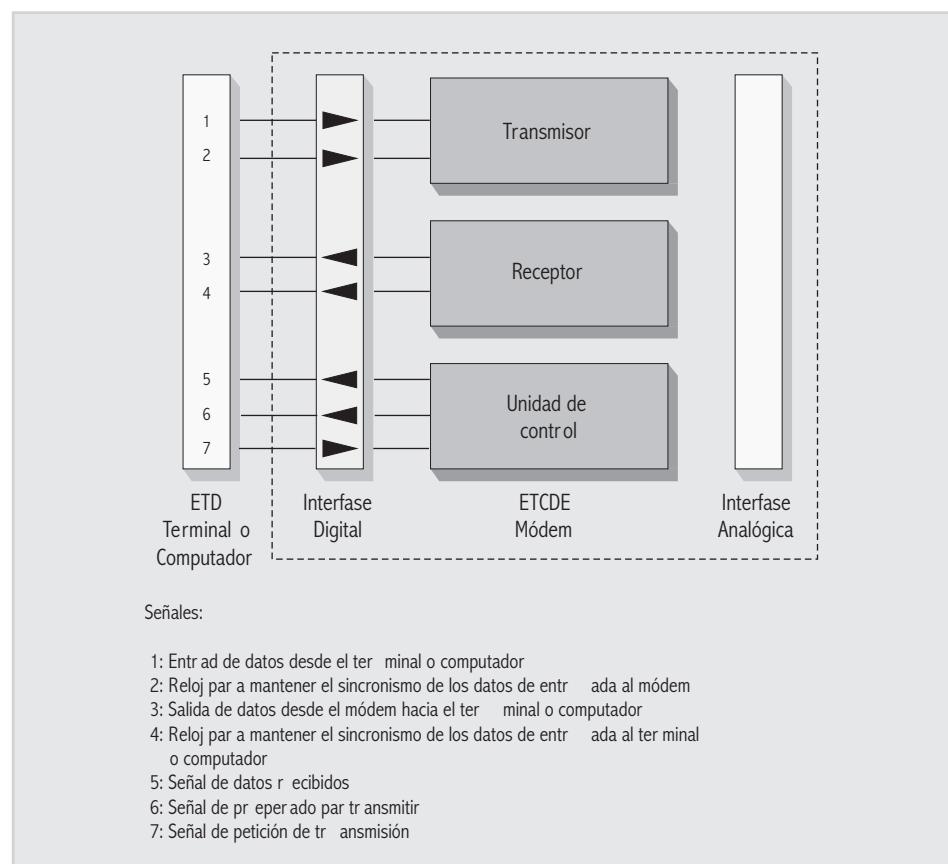


Fig. 6.18. Señales de intercambio entre el módem y el terminal de datos.

Esta última expresión se usa en los ETD cuando se va a usar el módem para discar a través de la Red Telefónica Comutada. Ella podría tomarse como si dijera ¡estoy listo para discar!, expresión que es equivalente a descolgar el teléfono en la citada red.

La Fig. 6.19. muestra una secuencia típica de señales entre un equipo terminal de datos y un equipo terminal del circuito de datos, para establecer una comunicación y proceder al intercambio de información en un módem sincrónico.

Cuando el ETCD recibe una señal a través de la línea telefónica, que se corresponde en frecuencia y cantidad de energía con la señal portadora que ha generado el equipo corresponsal, procede a activar una señal para detectar la portadora de línea –conocida también por su expresión **Data Carrier Detect (DCD)**– por medio de una señal de control, usando el Circuito N° 109 – contacto 8.

Los ETD normalmente requieren esta señal antes de aceptar datos o de comenzar a transmitirlos. La misma señal para uso del canal secundario en los ETCD que lo utilizan es el Circuito N° 122 – contacto 12.

Cuando el ETCD está conectado a la Red Telefónica Comutada y recibe una comunicación de la red, reconociendo la tensión normalizada que usa esta para mandar el aviso de llamada, procede a enviar hacia el ETCD una señal de control de indicación de llamada –conocida también por su expresión **Ring Indicator (RI)**– por medio del Circuito N° 125 – contacto 22.

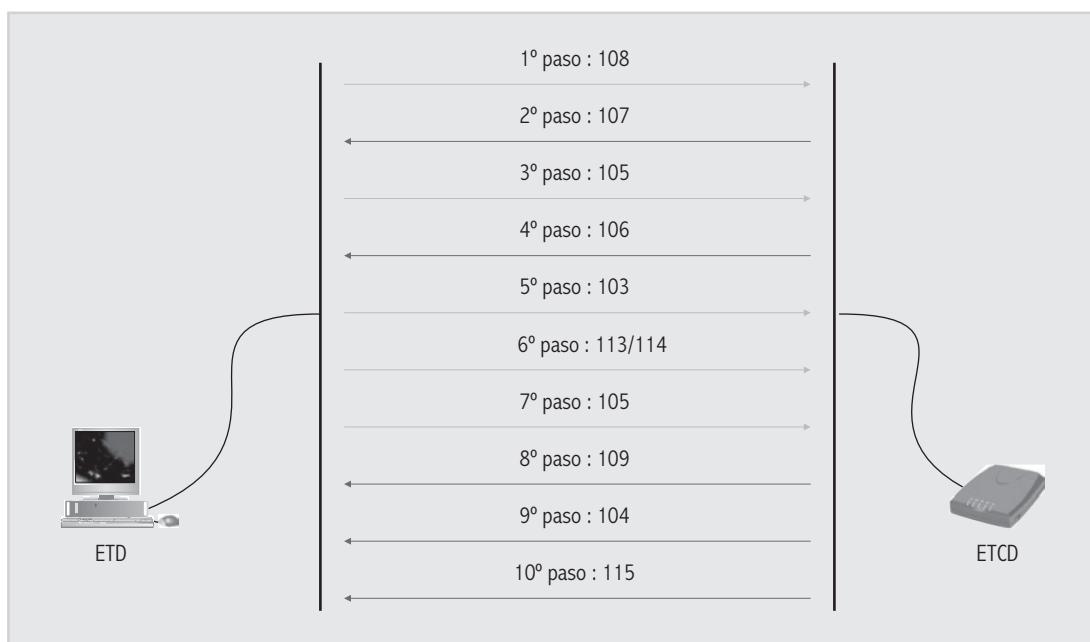


Fig. 6.19. Secuencia típica de señales entre un ETD y un ETCD.

El ETCD normalmente procede a seleccionar la velocidad de modulación en forma automática con el módem corresponsal, mediante lo que se denomina proceso de negociación de la velocidad. Este proceso está básicamente relacionado con:

- La mayor velocidad disponible en los módem que se han de conectar debe ser compatible en ambos extremos.
- La calidad del canal en cuanto a ruido, ancho de banda del vínculo comutado que ha seleccionado la red, etc.

La velocidad está generalmente fijada por el módem ubicado en el extremo que actúa como emisor. Este procede a informarle la velocidad de modulación adoptada por un lado a su ETD y, luego, procede de la misma manera con el módem receptor. Este último efectúa la misma operación con el ETD ubicado de su lado.

Los Circuitos N° 111/112 – contacto 23, el primero para el ETD y el segundo para el ETCD, ambos usando el mismo contacto, se emplean para seleccionar la velocidad de modulación

cuando esta no resulta del mencionado proceso de negociación, en los módem que tienen más de una opción de velocidad posible.

Las **señales para mantenimiento y testeo** se utilizan para realizar las conexiones de los bucles de comprobación y la realización de los test de comprobación. Permiten localizar fallas en los módem o en las líneas.

Para poder realizar un bucle local, se utiliza el Circuito N° 141 – contacto 18 y para un bucle remoto, el Circuito N° 140 – contacto 21. En el llamado modo de testeo, se utiliza Circuito N° 142 – contacto 25.

La función de las **conexiones a tierra** de estos enlaces es mantener a los equipos con el mismo nivel de tierra y a las señales que se envían de un equipo a otro con la misma referencia de nivel.

El Circuito N° 101 – contacto 1 se denomina tierra de protección, conocido también por su expresión **Protective Ground (GND)**, y está conectado al chasis de los equipos (siempre que estos lo tuvieran); a su vez, estos últimos deberían estar conectados a una tierra común, a través de la ficha utilizada para tomar potencia de la red de energía eléctrica (220 Volt - 50 Hertz ó 110 Volt - 60 Hertz).

El Circuito N° 101 – contacto 7 es la referencia para las señales que envían todos los otros circuitos. Se denomina tierra de señal y es conocido también por su expresión **Signal Ground (SG)**. Sin este circuito conectado, la interfaz no puede funcionar, pues el resto de los circuitos no tendría retorno.

6.6.1.7 Descripción de algunos procedimientos de esta recomendación

La Fig. 6.20(a). muestra un ejemplo de cómo se produciría el **establecimiento y corte de una comunicación** entre un equipo terminal de datos y un módem de datos.

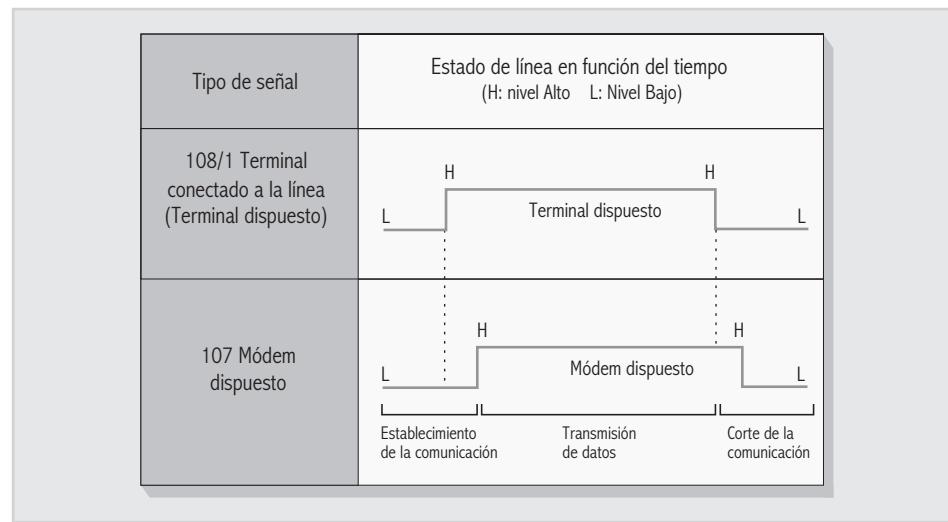


Fig. 6.20 a. Establecimiento y corte de una comunicación. Secuencia de señales a intercambiar.

La secuencia sería la siguiente:

- Se produce una llamada del equipo B al equipo A.
- La llamada activa el circuito 125 que:
 - Si A está preparado para recibir, activa el circuito 108/1, que ordena la conexión del módem a la línea.
 - Si A no está preparado para recibir, el mismo efecto lo produce el circuito 108/2.

- El módem se conecta a la línea e informa de ello a A, activando el circuito 107.
- Cuando se desactivan los circuitos 108/1 ó 108/2, provocan la desconexión del módem y se pone fin a la comunicación.

NOTA 5-1

Si se tratase de circuitos dedicados, estas operaciones serían innecesarias.

La Fig. 6.20(B). muestra un ejemplo de cómo se produciría la **iniciación de una transmisión de datos**, ya establecida la comunicación entre un ETD y un ETCD.

La secuencia sería la siguiente:

- A ha establecido una comunicación con B.
- A debe activar el circuito 105, entonces el módem se prepara y avisa a su corresponsal de la petición de iniciar una transmisión (implica: envío de portadora, secuencia de sincronización, etc.).

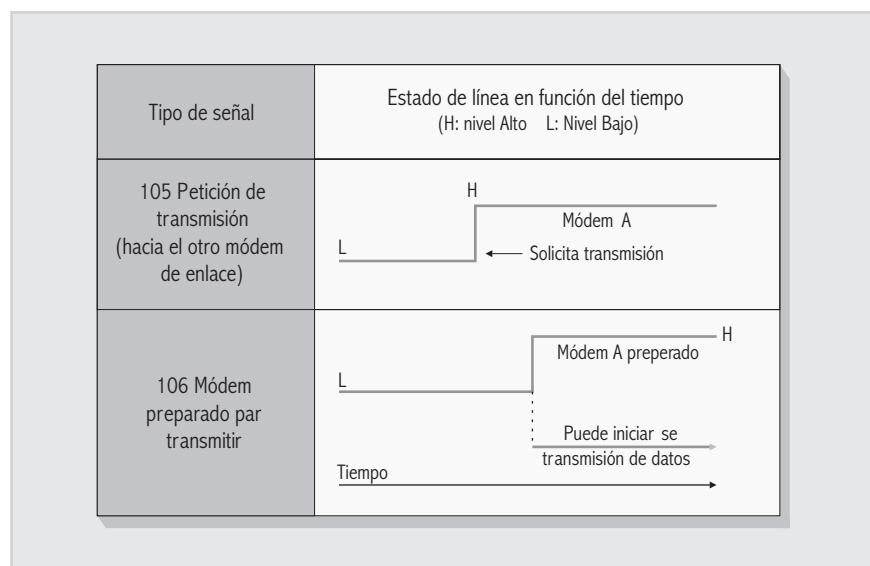


Fig. 6.20 b. Iniciación de una transmisión. Secuencia de señales por intercambiar.

- Cuando los módem están listos para iniciar la transmisión, el módem de A activa el circuito 106, con lo que el terminal puede comenzar a enviar sus datos.

NOTA 5-2

El retardo existente, entre que se activa el circuito 105 y el 106, depende del tipo de módem y del tipo de transmisión. Su valor oscila entre 1 ms y algunas décimas de segundo.

La Fig. 6.21. muestra un ejemplo de cómo se produciría la **transmisión de datos propiamente dicha**, ya iniciada la comunicación entre un equipo terminal de datos y un módem de datos.

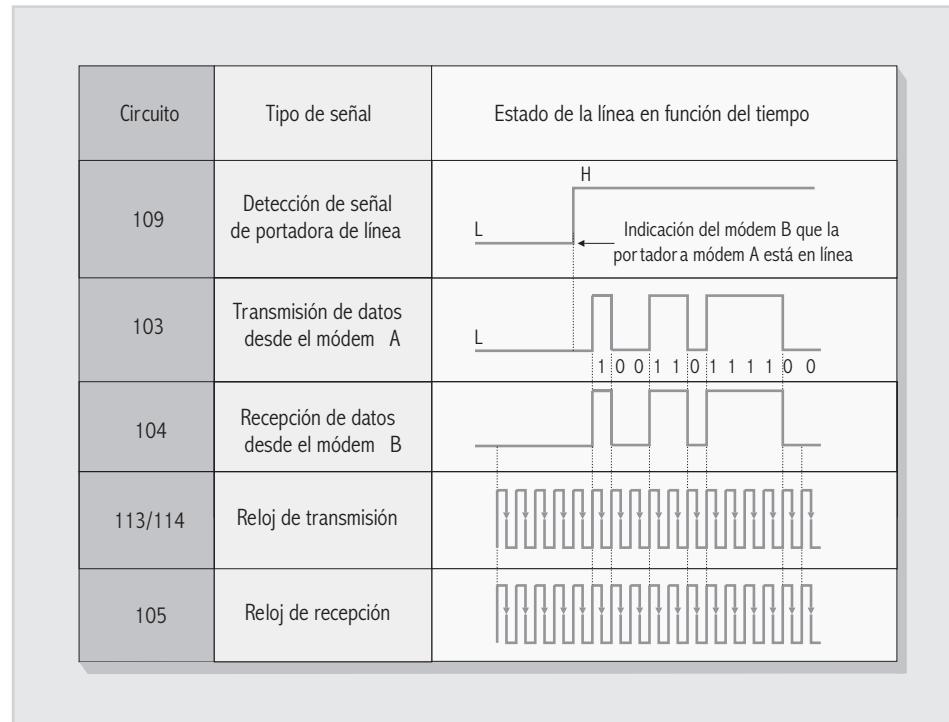


Fig. 6.21. Transmisión de datos propiamente dicha. Secuencia de señales por intercambiar.

La secuencia sería la siguiente:

- A ha iniciado la transmisión a B.
- A comienza a enviar los datos propiamente dichos, en serie al módem, a través del circuito 103.
- El terminal B, cuando los módem estaban en condiciones de empezar la transmisión, recibió una señal por el circuito 109, que le indicaba que tenía la portadora del módem de A en la línea.
- El terminal B recibe los datos que envía A a través del circuito 104.
- Si la transmisión fuera en modo sincrónico, módem y terminal deben compartir la misma señal de reloj y para ello se usan los circuitos 113, 114 y 115.

6.6.2 Recomendación V.35

6.6.2.1 Aspectos generales

La Recomendación V.35 de la UIT es una norma que fue aprobada por primera vez en la conferencia que el Comité Consultivo Internacional Telegráfico y Telefónico (CCITT), hoy ya disuelto, realizó en la Reunión Plenaria en la ciudad de Mar del Plata (Provincia de Buenos Aires de la República Argentina) en el año 1968, y que luego sufrió modificaciones sucesivas en los años 1972 y 1976.

La misma se refería a la normalización de equipos módem de banda ancha, y la recomendación se denominaba concretamente de la siguiente manera: Transmisión de datos a 48 Kbps, por medio de circuitos del grupo primario de 60 a 108 Khz.

Tanto estos equipos, como así también el uso de circuitos del grupo primario, que usan multiplexación por división de frecuencia, hace ya muchos años que se han dejado de emplear. Por ello, se desaconsejó el uso de esta norma, por habérsela considerado anticuada. La decisión ya mencionada fue tomada en la Reunión Plenaria que dicho Comité celebró en la ciudad de Melbourne, Australia, en el año 1988.

De hecho, en el denominado Libro Azul, editado por la Unión Internacional de Telecomunicaciones en el año 1989, se la omite con la referencia antes señalada.

Sin embargo, la misma tiene aún particular interés, ya que muchos equipos usados en los sistemas de comunicación de datos, como es el caso de los equipos multiplexores, *router*, *switch* y otros, se ofrecen con este tipo de interfaces denominadas V.35.

6.6.2.2 Características de normalización para el nivel mecánico

Para esta recomendación se utiliza un conector hembra conocido como M34 Winchester de 34 pines, normalizado como ISO 2593. La Fig. 6.22. muestra la geometría de un conector hembra y de uno macho de esta Recomendación y la denominación de cada uno de sus contactos.

6.6.2.3 Características de normalización para el nivel eléctrico

La interfaz V.35 combina señales balanceadas y no balanceadas. Para las **señales de control** se utilizan señales **no balanceadas** y para las **señales de datos** y de **sincronismo**, solamente **balanceadas**, es decir, sobre un par de hilos para cada señal.

Precisamente, para las señales de datos utilizan circuitos eléctricos balanceados o simétricos, que no presentan los problemas señalados respecto de la tierra común de la interfaz RS 232.

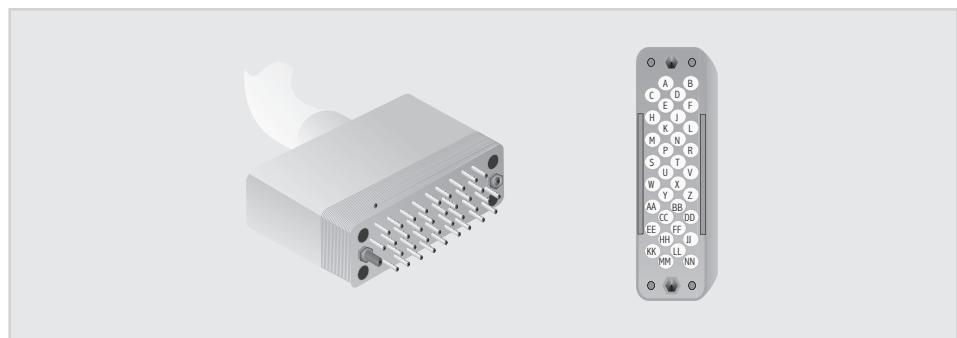


Fig. 6.22. Conectores ISO 2593. Recomendación V.35.

Esto permite aumentar la velocidad de transmisión en la interfaz, sin los inconvenientes que presentan los circuitos asimétricos, por lo que su uso típico está referido a vínculos digitales de 64 Kbps. Es por tal causa que se utilizan cuando se trabaja con canales B y cuando es necesario trabajar a velocidades mayores. La tensión máxima utilizada es de 12 Volt. En modo sincrónico se utiliza una codificación NRZ.

6.6.2.4 Características de normalización para el nivel lógico

Actualmente, se utiliza esta Recomendación para intercambio de datos sincrónico en velocidades de 56 Kbps a 2 048 Kbps. En algunos casos se pueden alcanzar velocidades de hasta 34 Mbps.

Tabla 6-5 Recomendación V.35.

Circuitos de enlace		
Tipo de señal	Nº de circuito	Función
Tierra	102	Tierra de referencia para los circuitos de enlace
Datos	103	Transmisión de datos
Datos	104	Recepción de datos
Control	105	Petición de transmitir
Control	106	Preparado para transmitir
Control	107	ETCD preparado
Control	109	Detector de portadora de línea
Sincronismo	114	Sincronismo de transmisión
Sincronismo	115	Sincronismo de recepción

Los circuitos que se usan, cuando se utiliza una salida V.35, son únicamente los indicados en la Tabla 5-5 y están relacionados con sus simétricos en la RS 232.

A su vez, relacionados con la forma del conector, las asignaciones de funciones en el mismo se describen en la Tabla 5-6.

6.6.3 Recomendación X.21

6.6.3.1 Consideraciones generales

Esta interfaz tuvo su origen en las discusiones que, desde el año 1969, se desarrollaban en el seno de la UIT - T para solucionar el eventual problema que se podría plantear en el caso que las empresas de telecomunicaciones pudieran proporcionar líneas de abonado digitales.

El resultado fue la Recomendación X.21 y su compañera X.21 bis, que fueron aprobadas por primera vez en la Asamblea General de la UIT - T del año 1972. Posteriormente fue mejorada. Esta Recomendación especifica la manera en que el equipo terminal de datos (ETD) establece y libera las llamadas, mediante el intercambio de señales con el equipo terminal del circuito de datos (ETCD).

Tabla 6-6 Recomendación V.35.

Forma del conector y asignación de funciones							
Fuente	Señales	PIN	Ficha	PIN	Señales	Fuente	
Común	Tierra de la señal (SG)	B	○ □ ○ ↗	A	Tierra de chasis (GND)	Común	
ETCD	Preparado para recibir (CTS)	D	↗ ○ □ ○	C	Petición para transmitir (RTS)	ETD	
ETCD	Detección portadora de línea (DCD)	F	○ □ ○ ↗	E	Equipo listo para recibir (DSR)	ETCD	
ETCD	Indicación de llamada (RI)	J	↗ ○ □ ○	H	Terminal listo para recibir (DTR)	ETD	
ETCD	No asignada	L	○ □ ○ ↗	K	No asignada	-	
-	No asignada	N	↗ ○ □ ○	M	No asignada	-	
-	Recepción de datos (A)	R	○ □ ○ ↗	P	Transmisión de datos (A)	ETD	
ETCD	Recepción de datos (B)	T	↗ ○ □ ○	S	Transmisión de datos (B)	ETD	
ETCD	Recepción de sincronismo (A)	V	○ □ ○ ↗	U	Sincronismo de terminal (A)	ETD	
ETCD	Recepción de sincronismo (B)	X	↗ ○ □ ○	W	Sincronismo de terminal (B)	ETD	
ETCD	No asignada	Z	○ □ ○ ↗	Y	Transmisión de sincronismo (A)	ETD	
No asignada	BB	↗ ○ □ ○	AA	Transmisión de sincronismo (B)	ETD		
No asignada	DD	○ □ ○ ↗	CC	No asignada	-		
No asignada	FF	↗ ○ □ ○	EE	No asignada	-		
No asignada	JJ	○ □ ○ ↗	HH	No asignada	-		
No asignada	LL	↗ ○ □ ○	KK	No asignada	-		
No asignada	NN	○ □ ○ ↗	MM	No asignada	-		

Las denominaciones correctas de ambas interfaces son las siguientes:

- Interfaz entre el Equipo Terminal de Datos (ETD) y el Equipo de Terminación del Circuito de Datos (ETCD) para funcionamiento síncrono en Redes Públicas de Datos.
- Utilización, en las redes públicas de datos, de Equipos Terminales de Datos (ETD) diseñados para su conexión con módems síncronos de la serie V.

La primera de ellas se utiliza para transmisiones sincrónicas y velocidades que van desde 600 a 64 000 bps en modo dúplex, usando solo seis señales para datos, control y temporización. Por lo tanto, para poder emplear esta Recomendación, se necesita una mayor inteligencia, tanto en los Equipos Terminales de Datos (ETD), como en los Equipos Terminales del Circuito de Datos (ETCD).

Además, por sus características, si bien por un lado permiten una conexión directa a una red telefónica ya digitalizada, no es adecuada para líneas telefónicas analógicas, sea para el uso de circuitos conmutados o dedicados. Su aplicación más difundida se encuentra en las **redes digitales especiales de transmisión de datos** sea que estas se basen en la tecnología conocida como **conmutación de circuitos** (esta tecnología ya no se utiliza en este tipo de redes) o la de **conmutación de paquetes**.

Complementando esta recomendación con las facilidades propias de la red, en ellas se puede brindar la prestación de servicios especiales, tales como por ejemplo:

- Conexión rápida (elimina la necesidad de marcar el número para efectuar la conexión, pues podría tomar el último usado).
- Prohibición de llamadas entrantes o salientes de grupos de usuarios (grupos cerrados).
- Cobro revertido.
- Bloqueo de llamadas entrantes.
- Identificación del abonado que llama.

La segunda de ellas, si bien se utiliza también para transmisiones sincrónicas, se ha normalizado para permitir la conexión de los ETD a las **redes públicas de datos** a través de los ETCD, que son exclusivamente de la **Serie V**; es decir que están preparados para la utilización de vínculos de la **red telefónica conmutada**. Por ser esta última opción poco utilizada, actualmente nos centraremos en la **Recomendación X.21** exclusivamente.

Por otra parte, cabe señalar que esta Recomendación es la que especifica para el nivel físico la **Recomendación X.25**, interfaz que es usada en muchas redes digitales públicas de transmisión de datos por conmutación de paquetes.

6.6.3.2 Características de normalización para el nivel mecánico

El conector usado por esta Recomendación tiene 15 contactos y es denominado ISO 4903 ó DA 15. La Fig. 6.23. muestra la forma de dicho conector; en este caso, solamente son utilizados ocho contactos.

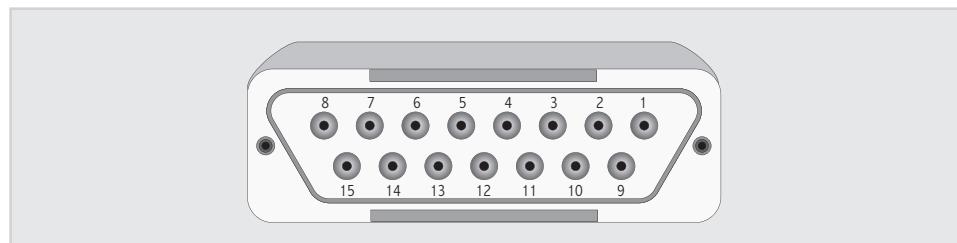


Fig. 6.23. Conector normalizado correspondiente a la Recomendación X.21.

6.6.3.3 Características de normalización para el nivel eléctrico

Existen dos especificaciones: una para circuitos no equilibrados y otra para circuitos equilibrados.

La primera de ellas es la **Recomendación X.26**, que se refiere a las condiciones para cuando la transmisión es **asimétrica** y el circuito es **desbalanceado**. Es equivalente a la Recomendación **V.10** de la UIT – T. Su denominación es la siguiente:

- X.26 (V.10): características eléctricas de circuitos de intercambio desequilibrados, de doble corriente, de uso general con equipos integrados en el campo de las comunicaciones de datos.

La segunda es la **Recomendación X.27**, que se utiliza en caso de que el circuito sea **balanceado**, y la transmisión sea **simétrica**. Esta última permite alcanzar velocidades de transmisión de hasta 10 Mbps, dependiendo de la distancia. Es equivalente a la Recomendación **V.11**, de la UIT – T. Su denominación es la siguiente:

- X.27 (V.11): características eléctricas de circuitos de intercambio equilibrados, de doble corriente, de uso general con equipos integrados en el campo de las comunicaciones de datos.



X.26 (V.10): La versión equivalente de la EIA es la RS 422.

X.27 (V.11) La versión equivalente de la EIA es la **RS 423**.

6.6.3.4 Características de normalización para el nivel lógico

- Descripción de los circuitos.

La norma establece cuatro tipos de circuitos:

- Circuitos de datos

La Tabla 6-7 muestra la denominación de los mismos.

Tabla 6-7 Denominación de los Circuitos de Datos.

Tipo de circuito	Función	Dirección
Circuito T	Transmisión	Del ETD al ETCD
Circuito R	Recepción	Del ETCD al ETD

El circuito T es el que se utiliza para enviar datos propiamente dichos desde el ETD al ETCD y el circuito R es el que se utiliza para recibir datos, cuya dirección va del ETCD al ETD.

También estos circuitos se utilizan para manejar el flujo de datos de control del canal.

- Circuitos de control

La Tabla 6-8 muestra la denominación de los mismos.

Tabla 6-8 Denominación de los Circuitos de Control

Tipo de circuito	Función	Dirección
Circuito C	Control	Del ETD al ETCD
Circuito I	Indicación	Del ETCD al ETD

Los circuitos C e I son los que se utilizan para enviar señales que controlan la dirección del flujo de datos en ambos sentidos.

Cuando el ETD desea iniciar una llamada, avisa al ETCD, cambiando el estado del circuito C de OFF a ON.

Esta operación es equivalente a levantar el microteléfono cuando uno desea efectuar una llamada telefónica. Cuando la llamada termina, nuevamente procede a colocar dicho circuito en OFF (lo que sería equivalente a colgar el microteléfono).

Si el que inicia la llamada es el ETCD, un procedimiento similar se efectuará por el circuito I. Obsérvese que la información de control, tal como el número de abonado con el que se quiere establecer la comunicación, se transmite por los circuitos T y R.

- Circuitos de sincronización

La Tabla 6-9 muestra la denominación de los mismos.

Tabla 6-9 Denominación de los Circuitos de Sincronización

Tipo de circuito	Función	Dirección
Circuito S	Sincronización de reloj	Del ETCD al ETD
Circuito B	Sincronización de byte	Del ETCD al ETD

Los circuitos S y B son los que se utilizan para efectuar funciones de sincronización. El primero se ocupa de sincronizar bit a bit transmitido; el segundo lo hace carácter a carácter. No todas las redes digitales ofrecen las señales de sincronismo de byte, pero sí lo hace la mayoría de ellas

- Circuitos de tierra

La Tabla 6-10 muestra la denominación de los mismos.

Tabla 6-10 Denominación de los Circuitos de Tierra

Tipo de circuito	Función	Dirección
Circuito G	Tierra	Del ETCD al ETD
Circuito Ga	Tierra	Del ETD al ETCD
Circuito Gb	Tierra	Del ETD al ETCD

La Fig. 6.24. indica los circuitos de la norma y el sentido de las señales.

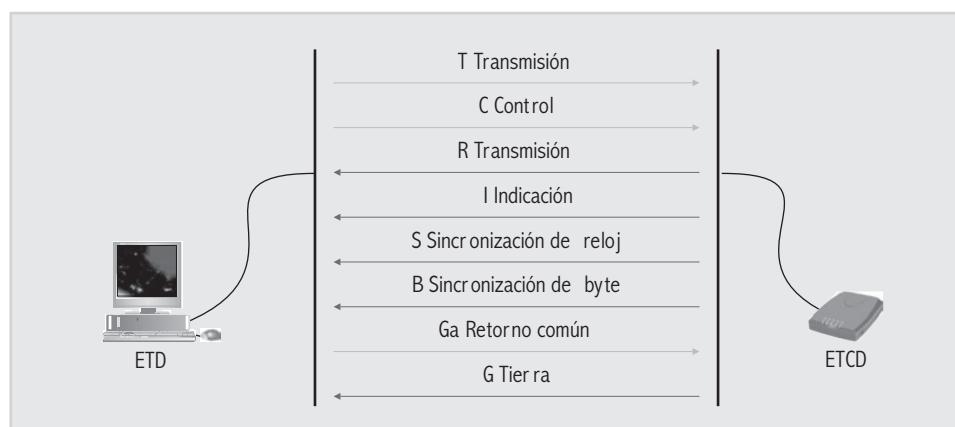


Fig. 6.24. Circuito de la Recomendación X.21.

- Características de los procedimientos
 - Establecimiento de la llamada

En los circuitos T y R el estado inactivo se indica por un 0 y las llamadas significarán una transición a un 1, que indicará estado activo.

Una llamada entrante o saliente se indica por una comutación de inactivo a activo, de OFF a ON, del circuito C/I y su aceptación por un pase del circuito I (indicación) al C (control). Ver Fig. 6.24.

Las llamadas de selección, identificación de línea, progreso de la llamada y otras se envían por los circuitos T o R, en forma de caracteres codificados.

- Transferencia de datos

La transferencia de datos es dúplex y se realiza por los circuitos T y R

- Liberación de la llamada

La liberación de la llamada se produce por la vuelta a 0 (estado inactivo) de los circuitos C e I.

- Sincronismo

El circuito S se utiliza para la sincronización del ETD y del ETCD (comunicaciones sincrónicas). El circuito B se usa opcionalmente.

La Fig. 6.25. muestra el esquema de un ETD que llama y su posterior liberación. La Fig. 6.26. muestra el esquema de un ETD llamado y su posterior liberación.

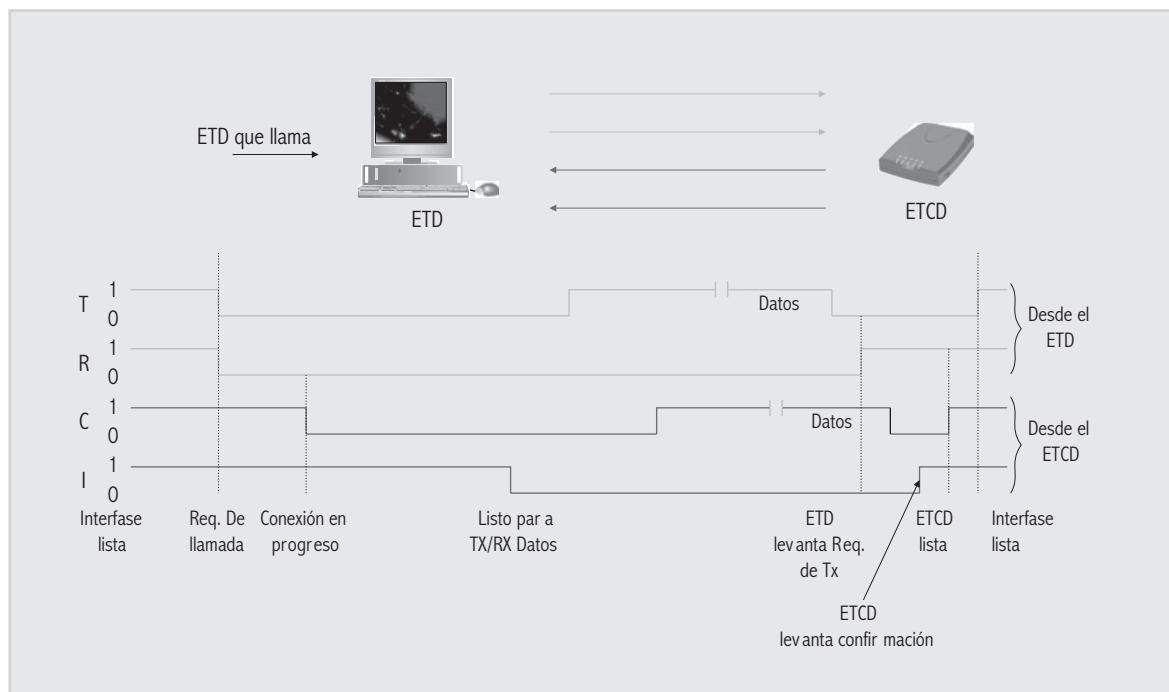


Fig. 6.25. Esquema de un ETD que llama y su posterior liberación mediante la Recomendación X.21..

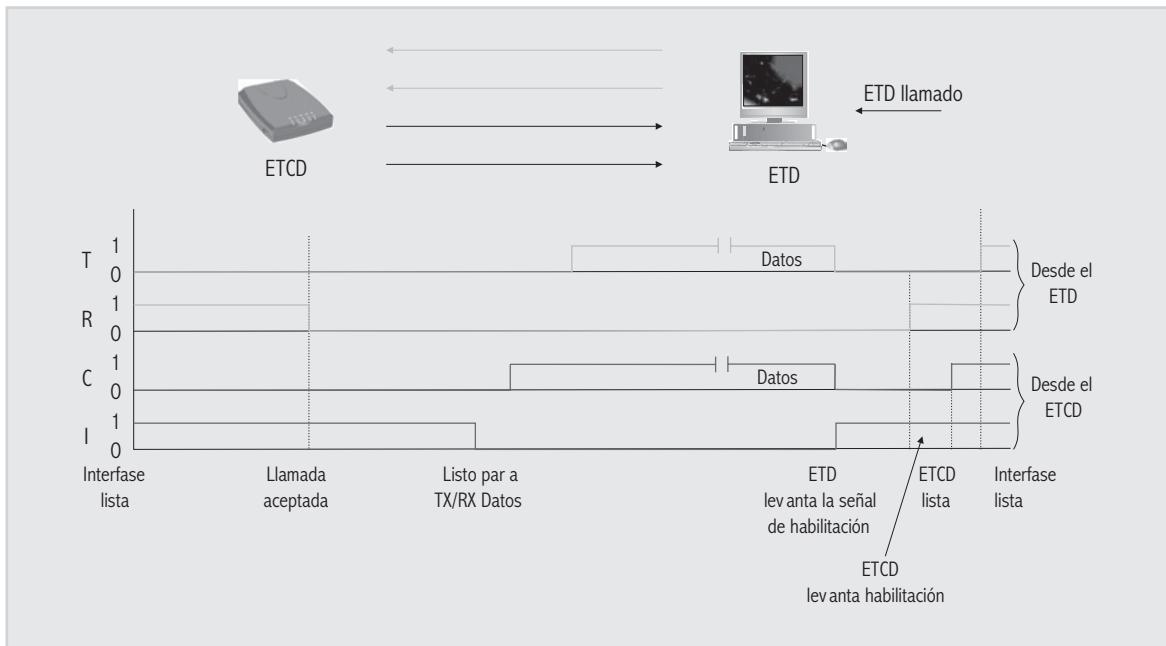


Fig. 6.26. Esquema de un ETD llamado y su posterior liberación mediante la Recomendación X.21.

6.6.4 Interfaz USB

6.6.4.1 Consideraciones generales

Las interfaces, tanto en serie como en paralelo, más comunes buscan obtener una mayor velocidad de transferencia de la información entre extremos sobre la base de mejorar aspectos vinculados al hardware, como puede ser, por ejemplo, la cantidad de contactos de los conectores utilizados u otros aspectos vinculados a la normalización del nivel físico de la mismas.

También es cierto en esa línea de pensamiento, que aquellas que trabajan en modo paralelo han permitido lograr mayores velocidades que otras que lo hacen en modo serie. Sin embargo, una de las particularidades más destacables de la interfaz USB es que trabaja en modo serie y que el hardware que utiliza es de una simplicidad asombrosa. El protocolo asociado a ella, transparente para un usuario, es más complejo si se desea analizar en detalle. El bus logra velocidades muy importantes sobre la base de un intenso empleo del software asociado a ella.

En cuanto a las funciones que cumple, la interfaz USB es similar a la RS 232 o a la IEEE 1242 – Centronics, por nombrar algunas de las más conocidas. Pero mientras estas últimas permiten conectar un solo dispositivo a la vez a cada puerto, la USB permite conectar múltiples dispositivos al mismo tiempo, por cuanto funciona como un bus.

La interfaz **Universal Serial Bus (USB)** fue desarrollada y estandarizada por primera vez en el año 1995 por un conjunto de empresas líderes del mercado informático y de las telecomunicaciones, formado por Compaq, Digital, IBM, Intel, Microsoft y Northern Telecom. Es así que en el año 1996, con el objeto de reemplazar las múltiples opciones de conectores e interfaces del mercado, se normalizó la versión USB 1.0.

Cuando se especificó la versión 2.0, las empresas que participaron en su confección fueron las siguientes: Compaq, Hewlett-Packard, Intel, Lucent, Microsoft, NEC y Philips. Más tarde, a ese grupo inicial se unieron otras que formaron el denominado **USB Implementers Forum Inc. (USB-IF)**.



Esta sociedad sin fines de lucro está formada por un conjunto de empresas dedicadas a desarrollar, dar soporte y facilitar la adopción de esta interfaz, con estándar en el mundo de los fabricantes y desarrolladores de equipos de computación y comunicaciones.

Las versiones de esta interfaz son las siguientes:

- **Versión 1.0 Low Speed USB:** con fecha 15 de enero de 1996. Para velocidades de transferencia bajas de 1,5 Mbps.
- **Versión 1.1 Full speed USB:** con fecha 23 de septiembre de 1998. Para velocidades de transferencia medias de 12 Mbps.
- **Versión 2.0 High speed USB:** con fecha 27 de abril de 2000. Para velocidades de transferencia altas de 480 Mbps.
- **Versión 3.0 Superspeed USB:** con fecha 17 de noviembre de 2008. Para velocidades de transferencia muy altas de 5 Gbps.

La Tabla 6-11 muestra una comparación entre varias interfaces y la última versión de esta interfaz.

6.6.4.2 Características particulares

La Interfaz USB tiene las siguientes características generales:

- Es una **interfaz universal** que permite la interconexión de diferentes dispositivos y equipos, diseñados para las más variadas prestaciones con una simplicidad para los usuarios finales.

Tabla 6-11 Comparación entre distintas interfaces

Abreviatura	Denominación	Modo	Velocidad
IEEE - 1284 Bus	Centronics Interfaz	Paralelo	Hasta 500 Kbps
ATA-1	Advanced Technology Attachment	Paralelo	8,3 Mbps
Ultra ATA/133			133,0 Mbps
Serial ATA	Serial Advanced Technology Attachment	Serie	6,00 Gbps
SCSI Ultra-5	Small Computers System Interfaz	Serie	5,12 Gbps
USB 3.0	Universal Serial Bus	Serie	5,00 Gbps

- Posee un juego de conectores adaptado para distintas aplicaciones. Ellos permiten que sean utilizados para interconectar todo tipo de equipos y periféricos de diversa índole, utilizados para la más variada cantidad de aplicaciones.
- La interfaz está correctamente estandarizada. Tiene un diseño simple, práctico y económico. No requiere, a diferencia de otras interfaces, de un conjunto importante de diferentes cables o conectores que simplifiquen el diseño y faciliten la conectividad entre extremos.
- Permite la **conexión en caliente** por lo que no se dañarán los dispositivos si fueran conectados o desconectados mientras están encendidos. La operación se puede realizar sin peligro y sin necesidad de reiniciar la operación de los mismos. La norma USB 2.0, refiriéndose a estos procesos, utiliza los términos **attach/removal**, mientras que la norma USB 3.0 utiliza los términos **hot insertion/removal**.
- Opera en la modalidad conocida como **Plug and Play**, es decir que el sistema operativo identifica automáticamente un dispositivo ni bien este es conectado y carga el drive apropiado para que el mismo esté inmediatamente operativo.

- Por tener el comportamiento de un bus admite **hasta 127 periféricos** diferentes conectados de manera lógica, aunque esto no signifique que los 127 dispositivos puedan estar conectados a la vez.
- **Proporciona energía eléctrica** a ciertos dispositivos conectados a la interfaz USB, que no requieren un elevado consumo de potencia: En esos casos, elimina la necesidad de que los dispositivos deban estar conectados a fuentes externas.
- **Bajo costo** de implementación. Una razón de peso es la amplia difusión en el mercado, que hace más baratos los costos por la cantidad de dispositivos que la utilizan. Otra razón está dada porque, si bien el protocolo de operación presenta cierta complejidad, este es ejecutado fundamentalmente por el equipo que tiene los periféricos conectados a él.

6.6.4.3 Características técnicas

La USB tiene distintas características técnicas, según sea la versión de la interfaz que se considere. Algunas de ellas son las siguientes:

- Soporta en **tiempo real** voz, datos, audio y video.
- Posee un protocolo mixto que tiene la capacidad de operar con distintos tipos de transferencia. Trabaja en modo **sincrónico** para la transferencia de datos y en modo **asincrónico** para la de mensajes. En algunos casos, como por ejemplo cuando interconecta a un disco rígido, utiliza la modalidad conocida como **best effort**.
- La longitud máxima de los cables de interconexión son: USB 1.1 - 3 metros; USB 2.0 - 5 metros;
- Las versiones son compatibles entre ellas. La versión 3.0 es compatible con la 2.0 y esta última lo era con las dos anteriores.
- Funciona en modo serie y el intercambio de datos es bidireccional. En la versión 2.0, es en modo **half-dúplex**.

La Tabla 6-12 muestra para cada una de las versiones sus características, aplicaciones y atributos.

Tabla 6-12 Características, aplicaciones y atributos del bus USB

Características	Aplicaciones	Atributos
Low-SPEED Equipos interactivos 10 - 100 Kbps	Teclados Mouses Juegos Periféricos varios Equipos de realidad virtual	Bajo costo Fácil de usar Conexión y desconexión dinámica Conectividad de Múltiples Periféricos Bajo costo
Full-SPEED Telefonía, Audio, Video comprimido 500 Kbps - 10 Mbps	RTPC Banda Ancha Audio Micrófonos	Fácil de usar Latencia y Ancho de Banda Garantizados Conectividad de Múltiples Periféricos
High-SPEED Video Almacenamiento 25 - 400 Mbps	Video Almacenamiento Aplicaciones dinámicas Banda Ancha	Bajo costo Fácil de usar Gran ancho de banda Conexión y desconexión dinámica Conectividad de Múltiples Periféricos Latencia y Ancho de Banda Garantizados
Super-SPEED Video Almacenamiento Hasta 5 Gbps	RTPC Banda Ancha Audio Micrófonos	Bajo costo Fácil de usar Gran ancho de banda Conexión y desconexión dinámica Conectividad de Múltiples Periféricos Latencia y Ancho de Banda Garantizados

6.6.4.4 Características de normalización para el nivel mecánico

Los conectores que se utilizan en los buses USB poseen las siguientes características generales:

- Simplicidad de conexión. Por su diseño es muy difícil que su conexión incorrecta dañe al conector. Se requiere muy poca fuerza para insertar o retirar un conector, lo que hace muy difícil estropearlo.
- No se requieren tornillos, clips o sujetadores para asegurarlos a la hembra, como ocurre en otro tipo de dispositivos similares, lo que proporciona facilidad y simplicidad para instalarlo.
- Los conectores tienen un diseño robusto y sus contactos eléctricos están protegidos por cápsulas de materiales metálicos, revestidos con material aislante. Ello permite que hasta adolescentes o niños de poca edad puedan insertarlos y retirarlos sin peligro alguno.

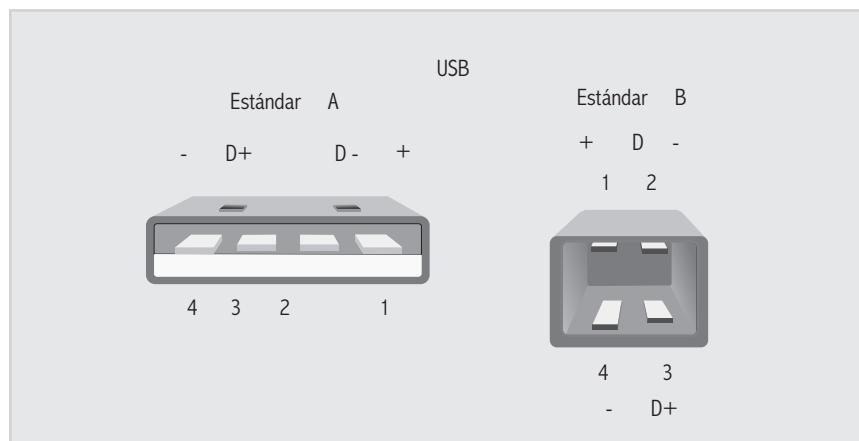


Fig. 6.27. Esquema de los conectores USB estándar A y B

La interfaz USB inicialmente utilizaba los conectores que se muestran en la Fig. 6.27. Como se puede apreciar son dos estándares denominados A y B. Ambos tienen cuatro contactos: dos se utilizaban para datos y dos, para la transmisión de energía eléctrica. A su vez, la Fig. 6.28. muestra las dimensiones en milímetros de un conector USB estándar A.

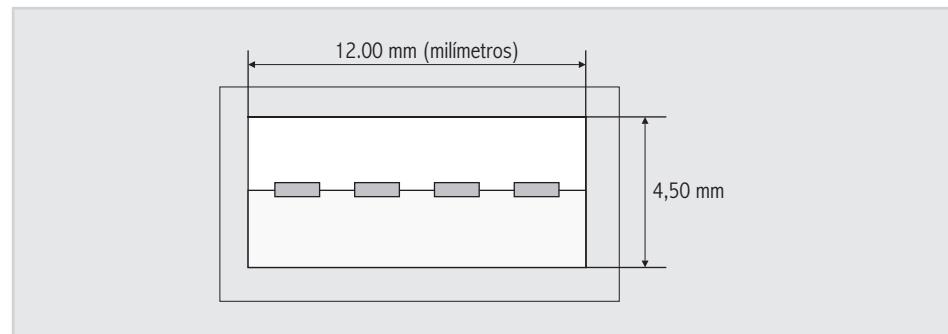


Fig. 6.28. Dimensiones de un conector estándar A.

Los puertos en ambos extremos están interconectados por un cable de cuatro conductores. La Tabla 6-13 nos describe el tipo de señales y tensiones que transporta, los colores de cada uno, sus nombres y los pines a los que cada uno va conectado.

Tabla 6-13 Tipo de señales de la interfaz USB

Pin	Descripción
1	+ 5v
2	Datos –
3	Datos +
4	Tierra

Las señales de datos del bus USB se transmiten por un cable de par trenzado, para evitar el ruido de inducción y la diafonía (*Crosstalk*), con impedancia de $90 \Omega \pm 15\%$. La Fig. 6.29. muestra un esquema de su construcción. Sus hilos se denominan D+ y D-, que utilizan una señalización diferencial en semidúplex para combatir los efectos del ruido electromagnético en enlaces más largos (estos no pueden tener más de 5 m).

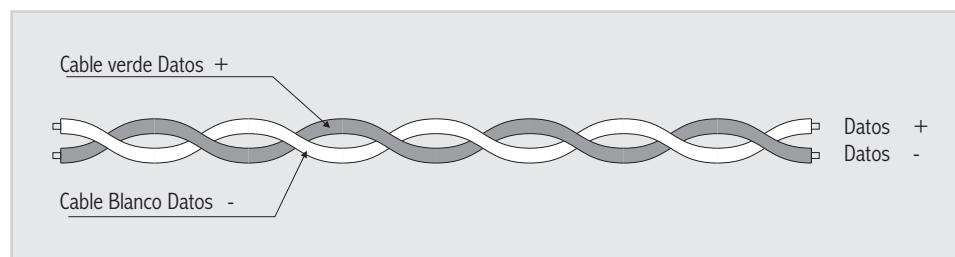


Fig. 6.29. Cable de la interfaz USB para la transmisión de datos.

La interconexión de dos dispositivos que funcionan con el bus USB se puede observar en la Fig. 6.30.

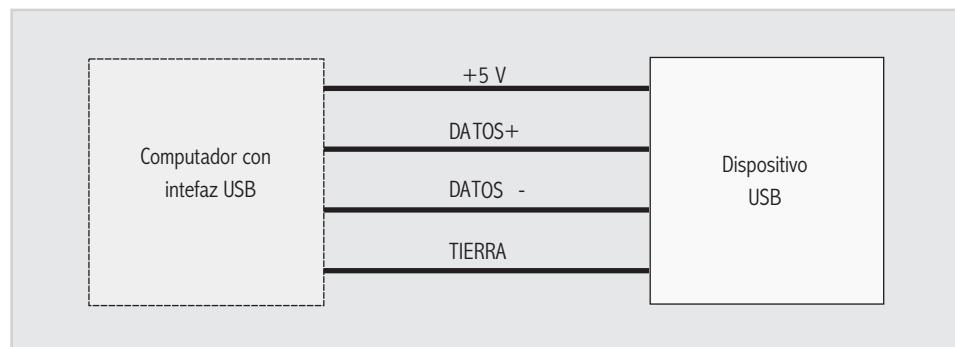


Fig. 6.30. Esquema de interconexión USB.

Posteriormente, se normalizaron otro tipo de conectores, denominados Mini-A, Mini-B, Micro-AB y Micro-B, que se utilizan para distintas aplicaciones. La Fig. 6.31. muestra las diferentes formas de ellos.

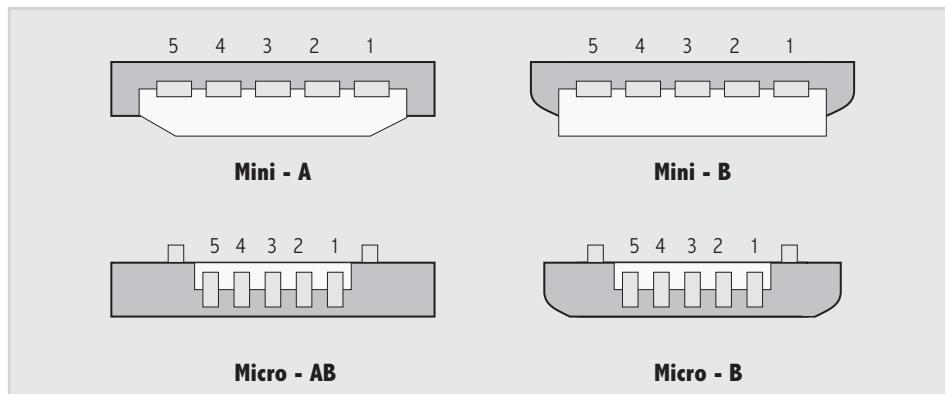


Fig. 6.31. Esquema de los conectores USB Mini-A, Mini-B, Micro-AB y Micro-B.

Estos conectores tienen un contacto adicional al resto. La Tabla 6-14 muestra con más detalles sus características principales, el color de cada cable y la identificación de las señales.

Tabla 6-14 Esquema de distribución de señales utilizando Mini/Microplug

Pin	Nombre	Color del cable	Descripción
1	VCC	Rojo	+ 5v
2	D -	Blanco	Datos -
3	D +	Verde	Datos +
4	ID	Ninguno	Permite la distinción de Micro - A y Micro - B. Tipo A: conectado a tierra Tipo B: no conectado
5	GND	Negro	Señal Tierra

Deben señalarse otros aspectos respecto de los conectores, tales como los siguientes:

- Su amplia variedad en tamaños y formas permiten conectar diversos elementos de hardware, tales como: escáner, teclados, cámaras fotográficas y filmadoras digitales, teléfonos móviles, discos rígidos externos, reproductores multimedia, reproductores de sonido, componentes de red, sistemas de adquisición de datos u otros dispositivos similares.
- Muchos fabricantes han diseñado conectores propietarios. Estos, por lo tanto, difieren en sus características mecánicas de los descriptos anteriormente. Los mismos, si bien son utilizados, están fuera de norma.

6.6.4.5 Características de normalización para el nivel eléctrico

La normalización del nivel eléctrico de la interfaz USB comprende los aspectos que hacen a la señalización, la distribución de potencia y otras especificaciones que corresponden a la capa física.

En la operación **High-Speed**, para alcanzar la velocidad de 480 Mbps, el cable debe estar conectado en cada extremo a través de una resistencia a tierra. El valor de la misma sobre cada cable debe ser 1/2 de la impedancia diferencial especificada del cable o 45Ω .

La potencia que entrega es la siguiente:

- La tensión entre positivo y tierra es de 5,25 Volt $\geq V$ entregada $\geq 4,75$ Volt $[5 V \pm 5\%]$.
- La corriente a esa tensión es de 500 mA para cinco dispositivos externos conectados, si la versión es USB 2.0 (a razón de 100 mA por cada uno) y de 900 mA para seis dispositivos en la versión 3.0 (a razón de 150 mA por cada uno).

6.6.4.6 Características de las señales en banda base que utiliza

Para la transmisión de paquetes utiliza el código banda base NRZI. En él, la codificación de un “0” es representada por un cambio de nivel y la transmisión de un “1” es representada sin cambio. La Fig. 6.36. muestra la transmisión de un conjunto de datos y el código NRZI (No Retorno a Cero Inverso) equivalente transmitido.

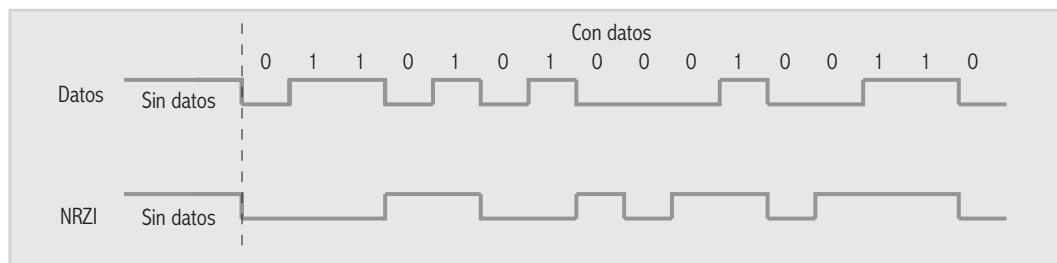


Fig. 6.32. Esquema de funcionamiento del código banda base.



Se puede observar en la Fig. 6.32., que cuando aparece un cero en el código NRZI se invierte la polaridad de la señal transmitida..

En la Fig. 6.32., se puede apreciar que sin datos el nivel de tensión está en el sector superior, pero, al presentarse el primer “0”, el mismo pasa al inferior. Luego, cuando se reciben los dos “1” siguientes, sigue permaneciendo en el nivel mínimo.

El sector superior del código representa el estado de tensión en la línea. La figura nos permite observar cómo una cadena de “0” provoca variaciones en la tensión de la línea. Por el contrario, en este tipo de código, periodos largos de cadenas de “1” provocan que el estado de línea se mantenga sin transiciones.

El bus USB no dispone de una señal de reloj independiente. Por tal causa, se debe asegurar un nivel adecuado de transiciones de señal suficientes, de manera de poder mantener el sincronismo entre los distintos dispositivos interconectados al bus y evitar que la tasa de error no aumente. Es por ello que se emplea la técnica denominada **inserción de bit** (Bit stuffing). En el Capítulo 6 de esta obra, se describe con más detalle este procedimiento. .

Para tal fin, un “0” es insertado luego de seis “1” consecutivos en el flujo de datos, antes de que los datos sean codificados en NRZI. De esta manera, se fuerza una transición en el flujo de datos de dicho código. Esto asegura en el receptor una transición de al menos uno cada siete períodos correspondientes a un bit, garantizando de esa manera un adecuado sincronismo.

En el receptor se debe proceder en forma simétricamente opuesta. Antes de entregar los datos para su procesamiento, se requiere extraer los bits insertados para que la cadena transmitida sea reconocida exactamente igual a la que se quiso transmitir.

6.6.4.7 Conexión de dispositivos a través de hub

La conexión de varios dispositivos a un solo computador se puede hacer de dos maneras: mediante la existencia de varios puertos USB o mediante la existencia de un **hub**, utilizando como un elemento intermedio que centralice dichas conexiones. Estas dos formas de conexión se pueden dar de manera simultánea.

En el computador la conectividad permite que varios dispositivos periféricos se conecten directamente a él mediante el **root hub** (hub raíz), que es administrado por el hardware de la interfaz USB. Conectados a él, se pueden instalar varios puertos sobre el mismo **mother board** (placa madre).

Estos puertos permiten la conexión directa de un dispositivo al computador. Si la cantidad de periféricos que se desea instalar no supera la cantidad de puertos disponibles, cada uno de ellos quedará conectado directamente al **root hub**. La Fig. 6.33. muestra un ejemplo de esta configuración.

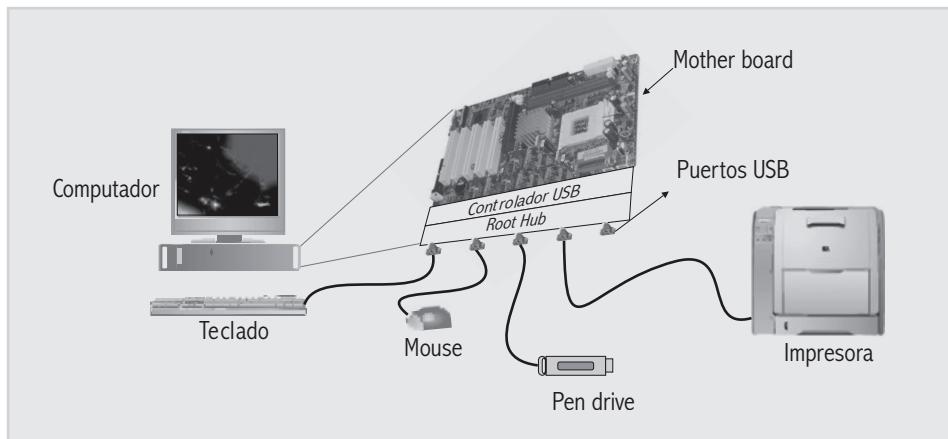


Fig. 6.33. Conexión de dispositivos al computador.

Si fuese necesario instalar más dispositivos que los puertos disponibles a través del **root hub**, es posible instalar uno o más **hub USB externos** al equipo. Estos dispositivos permiten aumentar la cantidad de puertos USB. De esta manera, se facilita la conexión de otros dispositivos periféricos adicionales.

En todos los casos, la topología es de tipo estrella, con centro en el **root hub**, y con los hub externos puede tomar la forma de árbol descendente. La Fig. 6.34. muestra un ejemplo de este tipo.

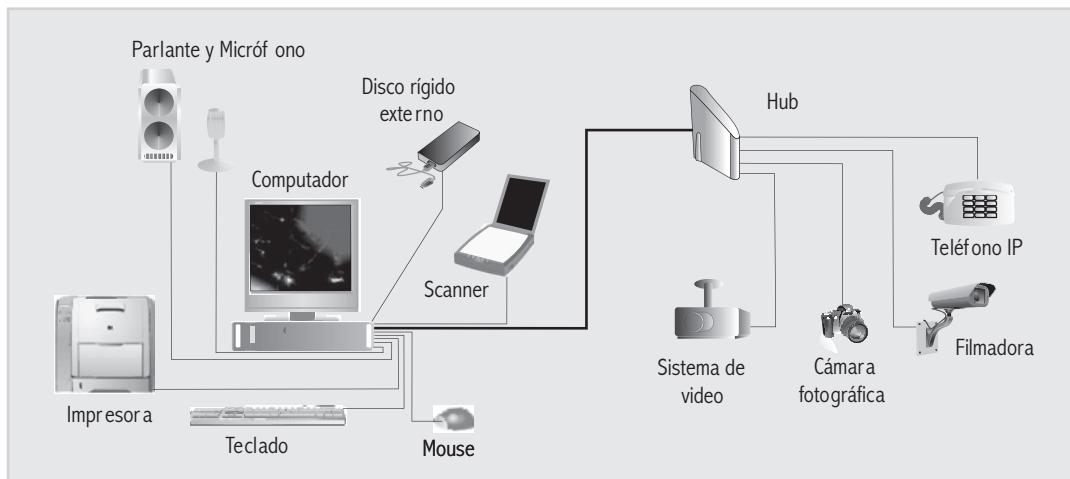


Fig. 6.34. Topología de configuración con un hub externo.

Los *hub* funcionan como dispositivos repetidores bidireccionales. Las transacciones son dirigidas **hacia el host** (*Upstream*) y **desde el host** (*Downstream*) hacia el dispositivo conectado. Poseen una única salida **upstream**, y varias entradas **downstream** desde los dispositivos conectados.

Los *hub* no son del todo transparentes. Por ejemplo, tienen comandos de control que permiten al *host* controlar y monitorear en forma independiente cada puerto. Además, se encargan de gestionar las transacciones entre dispositivos *full/low speed* y el bus *high speed*, entre otras funciones.

Los **hub externos** pueden contar con una fuente de alimentación (*Self-powered*). En ese caso, el límite teórico para el número de puertos adicionales que se podrían agregar a los que tiene el computador está dado por la especificación técnica de la interfaz, que es de 127. Sin embargo, en el mercado normalmente nunca se observa un número de dispositivos que llegue a esa cifra. Además de la función de suministrar la conectividad adicional para otros periféricos USB, un hub externo provee potencia a sus dispositivos adjuntos.

La especificación técnica permite que los equipos que se pueden interconectar tengan instaladas distintas versiones de la interfaz. Por ejemplo, se podrían conectar equipos que operan con la versión 1.1 a un *hub* que opera en la versión USB 2.0. La Fig. 6.35. permite observar un ejemplo de este tipo de soluciones. Los *hub* externos se pueden instalar en cascada hasta en cinco niveles.

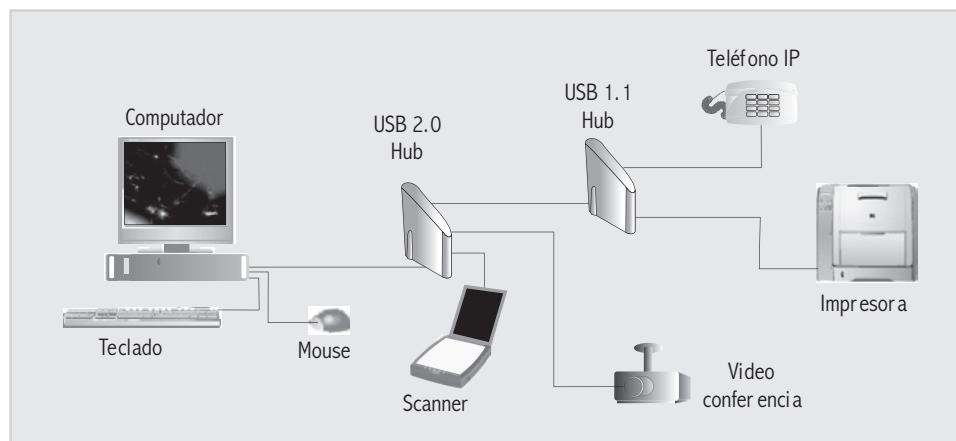


Fig. 6.35. Ejemplo de conexión con soluciones mixtas.

6.6.4.8 Características de normalización para el nivel lógico

La USB se caracteriza por tener un **único controlador** que se encuentra dentro del *host*. Los dispositivos conectados a él no pueden utilizar el bus a menos que su controlador en el *host* los autorice.

El controlador permitirá que los dispositivos se comuniquen de a uno a la vez, lo que hace más eficiente el uso del ancho de banda disponible, que variará según la versión de la interfaz que esté instalada.

Cuando un dispositivo se conecta a un puerto USB, el *host* le solicita toda la información que se requiere para proceder a habilitarlo. Si posee los *drivers* que necesitará y cualquier otro requerimiento particular que fuera necesario, lo habilitará. A tal fin, le asigna una dirección en el bus; esta, a partir de ese momento, lo identifica de forma única entre otros que pueden ya estar conectados a él o que lo podrán estar en un futuro. Este proceso recibe el nombre de numeración.

Nunca dos dispositivos pueden conectarse en forma directa entre sí. Únicamente lo podrían hacer a través del *host*. Este nivel de normalización se basa en un esquema de **protocolos de comunicaciones** del *host* con cada dispositivo conectado a él, a través de canales lógicos.

Para establecer un canal físico, cada dispositivo conectado al *host* está identificado por una dirección. Esta es asignada en el momento de su conexión. Además, a cada dispositivo dentro de la dirección asignada, que es única, se le pueden asignar subdirecciones, que reciben el nombre de **endpoint**, hasta una cantidad máxima de 36. La mitad se utiliza para el ingreso de datos (**IN**) y las otras 16 para su salida (**OUT**). Los endpoint para uso de los dispositivos son 15 **IN** y 15 **OUT**. El endpoint “0” se utiliza siempre para funciones de control y está siempre activo. Estas expresiones deben ser tomadas miradas desde el *host*.



Protocolos de comunicaciones

Este tipo de protocolos de enlace se denomina protocolo primario-secundario, o también se lo conoce como maestro-esclavo. La estación primaria o maestra es la que inicia el diálogo y la secundaria, entonces, puede responder.

Para el intercambio de la información entre el *host* y los dispositivos, será entonces necesario utilizar la dirección y las subdirecciones, es decir, los **endpoint**.

A nivel del software, por cada conexión física sobre un **endpoint** se puede establecer un canal lógico, que recibe el nombre de **pipe**. Los canales lógicos permiten la ejecución del software de la interfaz. A través de ellos, cada programa aplicativo permite ejecutar las funciones que cada dispositivo terminal requiere para su funcionamiento.

Un **endpoint**, una vez configurado para ejecutar una función de un dispositivo físico, recibe o transmite datos (es **IN** o es **OUT**).

Los **pipes** pueden ser unidireccionales o bidireccionales. . Cuando un *pipe* es unidireccional recibe el nombre de **stream** y utiliza un único **endpoint**. Cuando el **pipe** es bidireccional se denomina **message** y requiere dos **endpoint**, uno de salida y otro de entrada.

La USB permite enlazar los dispositivos conectados al *host* con paquetes de distintos formatos, que varían según los distintos tipos de transacciones que se han de realizar. Todos los paquetes están formados por Bytes de 8 bits y comienzan con un campo de sincronización **SYNC**. Los bits son enviados dentro de cada Byte en orden según su peso, del menos al más significativo. La función del protocolo de capas es suministrar la capacidad adicional al *host* a través del software.

El protocolo requiere para su funcionamiento cuatro tipos diferentes de paquetes. Cada uno de estos tipos tiene distintos nombres vinculados a las funciones que cumplen. Los mismos son identificados por medio de un campo que se denomina **Campo Identificador de Paquetes (PIF Packet Identifier Field)**. Su finalidad es señalar el tipo de paquete que se está transmitiendo.

Tabla 6-15 Tipos de paquetes y características del campo PID

Campo identificador de Paquetes

<i>PID</i>		<i>Tipo de PID y valor del campo</i>		
Token	OUT 001	IN 1001	SOF 0101	SETUP 1101
Data	DATA0 0011	DATA1 1011	DATA2 0111	MDATA 111
Handshake	ACK 0010	NAK 1010	STALL 1110	NYET 0110
Special	PRE 1100	ERR 1100	SPLIT 1000	PING 0100
				RECEIVED 0000

Este campo tiene una extensión de 4 bits y el octeto al que pertenecen se completa con otros 4 bits, que corresponden al complemento a 1 del campo PID. La Tabla 6-15 muestra las denominaciones de cada tipo de paquete y el valor del campo de cada uno de ellos. Cada clase de paquetes utiliza un algoritmo diferente de control de errores. En todos los casos se utiliza el método de **Control de Redundancia Cíclica (CRC)**.

Los paquetes o mensajes que utilizan se denominan de la siguiente manera y tienen, entre otras, las siguientes funciones:

- **Token**

Los *token* solo pueden ser enviados por el *host*, nunca por un dispositivo. Estos paquetes tienen la estructura que se describe en la Tabla 6-16. Se puede observar que en total se utilizan 24 bits, es decir, 3 Bytes. El campo CRC5 se utiliza para el control de errores.

Los *token IN* y *OUT* utilizan los 7 bits de dirección para determinar el dispositivo de destino de los 127 posibles. Los siguientes 4 bits indican el número correspondiente a la función que aplica (para dispositivos de multifunción). Es un comando que ordena que el dispositivo transmita o reciba paquetes **DATAx**.

Los *token IN* enviados por el *host* hacia el dispositivo identificado por su dirección deben motivar de este una respuesta. La misma podría ser **NAK**, **STALL** o un paquete de datos **DATAx**. En el caso último, el *host* emite un **handshake ACK** si es apropiado. También el *host* podría enviar preguntas al elemento conectado a él, como por ejemplo: ¿Está listo para transmitir?

Tabla 6-16 Estructura del campo de un token

Campo	PID	Dirección	Endpoint	CRC5
bits	8	7	4	5

Una vez obtenida la respuesta, puede, por ejemplo, comenzar la transmisión o recepción de los datos que se han de intercambiar.

El *token SOF* indica el comienzo de una trama y el **SETUP** se utiliza para configurar y retribuir las propiedades de un dispositivo USB.

- **Datos**

Un paquete de datos tiene la forma que se muestra en la Tabla 6-17. Hay dos paquetes de datos básicos denominados **DATA0** y **DATA1**. Cuando se envía cualquiera de ellos, debe ser precedido siempre por un *token* de dirección y, a continuación, debe ser seguido por un **handshake**, que se debe enviar del receptor hacia el transmisor.

Tabla 6-17 Estructura del campo de datos

Campo	PID	Datos	CRC
bits	8	0-8192	16

A partir de la versión 2.0, fueron agregados dos tipos más de paquetes de datos denominados **DATA2** y **MDATA**. Ellos son utilizados en las transmisiones de alta velocidad isócronas que requieren transferir más de 1 024 Bytes en tramas de 125 µseg.

- **Handshake**

Estos paquetes son usados en la fase de transmisión de datos, para informar sobre el estado de una transacción o de su desarrollo, y constan de 8 bits.

Un **handshake** genera un reporte del estado de la recepción de datos una vez que estos son aceptados, es decir, que han llegado los valores correctos utilizando un comando **ACK**.

Si se envia un **NAK**, a diferencia de otros protocolos que significarían un rechazo, en este caso indicaría que el destinatario está ocupado y, por lo tanto, no puede recibir los datos. Luego, la información se retransmitirá en un momento posterior. El NAK no indica error, solo la no disponibilidad del destinatario. Un error se indica simplemente mediante el no envío de la señal de **handshake**. También informan sobre el control del flujo de datos.

Un **STALL** es devuelto en respuesta a un *token IN*, después de la fase de transmisión de un **OUT**, o en la respuesta a una transacción **PING**. Un **STALL** indica que el dispositivo tiene un error, como podría ser el envío de información a un endpoint inexistente. Por lo tanto, no será capaz de transferir satisfactoriamente datos hasta que alguna acción correctiva sea efectuada. En estos casos, el *host* al recibirla intentará reconstituir el dispositivo, como por ejemplo, efectuar una reinicialización del mismo.

STALL indica que una función es incapaz de transmitir o recibir datos, o que una petición de un **pipe** no puede ser satisfecha.

Los paquetes **NYET** indican que una transacción no está aún completa o ha fallado.

- **Especiales**

Son paquetes auxiliares utilizados para referencias específicas, vinculadas al tipo de velocidad que se utilice en la conexión.

6.6.4.9 Tipos de transmisión

La norma USB define cuatro tipos de transferencia de datos. A saber:

- Transmisión a granel (o transmisión bulk)

Su uso está relacionado con los datos que deben ser transmitidos libres de errores. Si se detectara un error de transmisión, deberá volver a repetirse hasta que el mismo desparezca. Se utiliza la transmisión asincrónica. Por ejemplo, para la transmisión desde un teclado o hacia una impresora.

- Transmisión de señales isócronas

Se utiliza el modo sincrónico para su transmisión. No se corrigen errores y es utilizada típicamente la transmisión de audio o de video. En estos casos, lo importante es la transmisión en tiempo real.

Aquí la pérdida de información o los errores tienen poca significación. En este tipo de transmisión, el envío de datos es muy crítico en función del tiempo.

- Transmisión de señales de control

Se usa para el envío de comandos y operaciones vinculadas para determinar el estado de los dispositivos. La transmisión se hace por ráfagas y no tiene periodicidad.

- Transmisión de señales de interrupciones

Este tipo de transmisión es utilizada para comunicar dispositivos que necesitan mandar o recibir datos infrecuentemente.

6.6.4.10 Características principales de la versión USB 3.0

Las principales características de la versión 3.0 del bus USB son las siguientes:

- Preserva el modelo de funcionamiento y de ser de un bus con una notable sencillez.
- Es compatible con todas las versiones anteriores.
- Mejora significativamente la velocidad máxima de transferencia.
- Proporciona más potencia a los dispositivos conectados.
- Posee una arquitectura de dual-bus. Uno funciona para ejecutar la función denominada *SuperSpeed* (bus 3.0) y el segundo, todas las funciones que requieren las versiones anteriores para permitir la compatibilidad (1.0, 1.1. y 2.0).
- Agrega al cable de conexión dos pares más para ejecutar las funciones del bus *SuperSpeed*.
- Para permitir la operación de los cuatro cables que se agregan al cable de conexión, el conector, si bien es compatible con las versiones anteriores, agrega cuatro nuevos contactos.
- Aumenta las funciones de la capa de enlace, haciendo más flexible su funcionamiento.

6.6.4.11 Diferencias significativas entre las versiones 2.0 y 3.0

Las diferencias más significativas entre las dos últimas versiones del bus USB están descriptas en la Tabla 6-18.

Tabla 6-18 Diferencias significativas entre USB 2.0 y 3.0

<i>Características</i>	<i>Versión 2.0 high speed</i>	<i>Versión 3.0 superspeed</i>
Velocidad de transmisión	Low Speed 1,5 Mbps; Full Speed 12 Mbps y High Speed 480 Mbps	5 Gbps
Interfaz de datos	Semiduplex con dos alambres. Señalización diferencial. Transmisión unidireccional.	Dual simplex con cuatro alambres. Transmisión bidireccional simultánea. Señalización diferencial, con utilización separada para el uso desde USB 2.0
Cable de transmisión de las señales de datos	Dos alambres para señales Low Speed, Full Speed o High Speed.	Seis alambres: Cuatro para transmisión Super Speed; y dos para las modalidades de la USB 2.0.
Protocolo utilizado en el Bus	Tráfico de paquetes transmitidos en la modalidad broadcast a todos los dispositivos. El host interroga (sondea) a cada uno de los dispositivos.	Tráfico de paquetes ruteados en forma explícita. El host mantiene con cada uno de los dispositivos un flujo de tráfico asincrónico.
Potencia del Bus	Proporciona potencia para dispositivos de bajo consumo o en estado latente configurados de todas sus versiones (de Low a High Speed).	Trabaja de la misma manera que USB 2.0 con un 50% de incremento para dispositivos sin configurar y hasta 80 si está configurado.
Estado de los puertos	El hardware del puerto detecta las conexiones y el software del sistema usa comandos para la transición al estado habilitado.	El hardware detecta las conexiones y pone al puerto en estado operacional listo para la comunicación de datos.

6.6.5 Interfaz FireWire-IEEE 1394

6.6.5.1 Consideraciones generales

La historia de creación y desarrollo de este estándar para interconexión en modo digital de dispositivos electrónicos se remonta al año 1986, en el que técnicos de la empresa Apple Computer lo terminaron de desarrollar. El mismo fue denominado con el nombre de FireWire, haciendo referencia a su alta velocidad de operación. La primera especificación técnica fue finalizada en 1987 y recién en el año 1995 fue adoptado como estándar por la IEEE.

Este estándar se ha ido implementando en muchos equipos electrónicos, pero está especialmente adoptado e instalado en dispositivos digitales multimedia de altas prestaciones, tales como videofilmadoras digitales, equipos de edición de video, cámaras digitales, equipos de audio digitales con memoria, juegos electrónicos, grabadoras de video, televisores, consolas de mezcladoras de audio, así como otros dispositivos tradicionales de computadores personales, discos rígidos, CD-ROM, impresoras, escáneres, etcétera.

Si bien IEEE 1394 ha tenido una fuerte orientación hacia las aplicaciones multimedia por sus características de autoconfiguración, el uso de protocolos **peer-to-peer**, su rendimiento, interoperabilidad y su simplicidad han hecho que muchos productos la vayan adoptando (ver Capítulo 6). Por otra parte, el hecho de que los nuevos sistemas operativos de Microsoft Windows la hayan desarrollado e incluido en ellos en modo nativo, le abre las perspectivas de que nuevas aplicaciones se puedan incorporar a este bus de alta velocidad.

Definiremos como recomendación **IEEE 1394** a:

En los protocolos *peer-to-peer*, ambos dispositivos tienen la misma jerarquía y resultan mucho más eficientes que las configuraciones Maestro-esclavo, como es el caso de los protocolos utilizados por la interfaz USB.

Un bus que opera en la capa física e interconecta dispositivos a muy alta velocidad en modo serie, siendo utilizado para la transferencia de datos en tiempo real y forma isócrona y estando orientado especialmente a los dispositivos multimedia, tales como videocámaras, dispositivos de audio y video.

La misma es *también* conocida por sus nombres comerciales tales como **FireWire** (Marca registrada de *Apple Incorporated*), **iLINK** (Marca registrada de *Sony Corporation*) y **Lynx** (Marca registrada de *Texas Instruments Incorporated*), respectivamente.

A diferencia de otros buses, donde la comunicación depende de un control centralizado, como puede ser un computador personal u otro equipo similar, IEEE 1394 –al implementar un modelo de protocolo **peer-to-peer**– hace que cualquier dispositivo pueda comunicarse directamente con cualquier otro, siempre que utilicen el mismo protocolo.

6.6.5.2 Características particulares

Las características de esta interfaz son las siguientes:

- Opera en forma totalmente digital, evitando las conversiones de digital en analógica y viceversa. Ello se traduce en una mayor integridad de las señales.
- Los conectores que utilizan tienen dimensiones reducidas. El cable para la interconexión es delgado.
- Los enlaces son punto a punto y la distancia máxima es de 4,25 metros con topología de árbol. Pero si se utilizan repetidores, el mismo puede ser extendido hasta los 100 metros, o aún a distancias mayores, cuando se utiliza cable UTP categoría 5 ó 6 o fibra óptica.
- Permite la conexión **Plug and Play**.
- Soporta hasta 64 dispositivos sobre una red.
- Permite la conexión en cadena (denominada *Daisy Chained*), es decir, sin necesidad de contar con un *hub* o un *switch*.
- Interconecta dos o más dispositivos sin necesidad de que la interfaz requiera de un computador para su funcionamiento.
- Puede trabajar en modo sincrónico o asincrónico.

6.6.5.3 Características técnicas del cable y los conectores

Los cables y conectores utilizan seis o cuatro contactos. La Fig. 6.36. muestra la sección de un cable de seis conductores. Dos pares llevan las señales de datos y un par, las de alimentación de energía. También pueden usarse cables sin alimentación de energía.

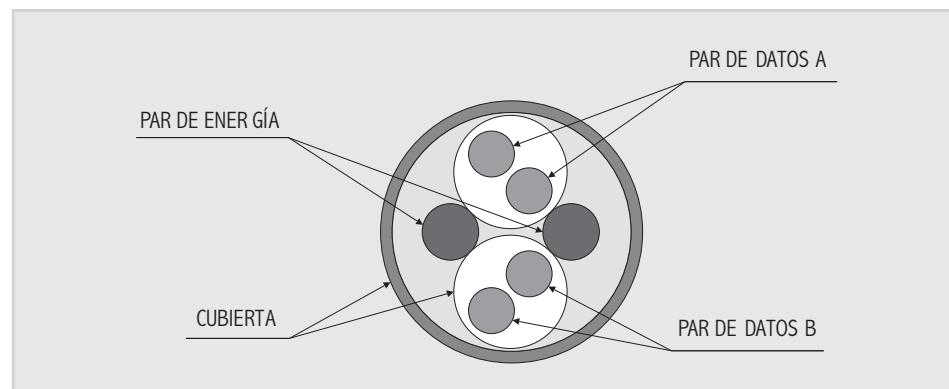


Fig. 6.36. Sección de un cable IEEE 1394.

La Tabla 6-19 y las figuras 6.37 y 6.38 muestran las señales que transporta cada conductor y describen sus características en planta de los conectores de cuatro y seis pines, y la forma de los mismos.

Tabla 6-19 Características del cable IEEE 1394.

Conecotor de 4 pin	Conecotor de 6 pin	Señales	Descripción
	1	Tensión	+ 30v unregulater DC
	2	Tierra	TIERRA
1	3	datos B	
2	4	datos B	Par trenzado B
3	5	datos A	
4	6	datos A	Par trenzado A

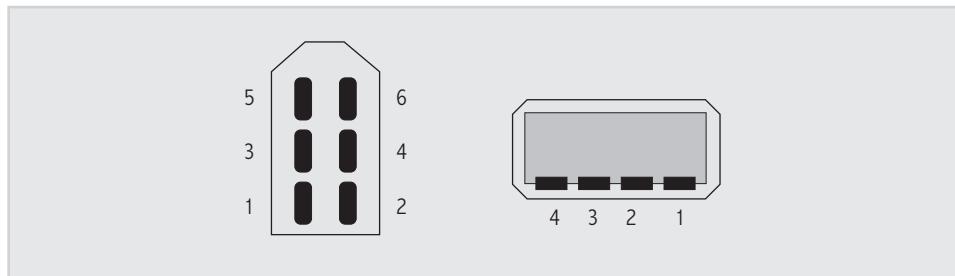


Fig. 6.37. Conectores IEEE 1394.

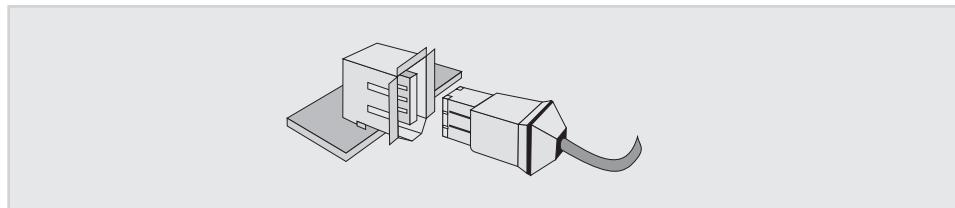


Fig. 6.38. Conector de las interfaces IEEE 1394.



Trade Association:
<http://www.1394ta.org>

6.6.5.4 Diferentes estándares

La recomendación IEEE 1394 es simultáneamente normalizada y mejorada por la **IEEE** y por la 1394 *Trade Association*. Esta asociación tiene por finalidad promover el uso del estándar IEEE 1394 y su tecnología, para introducirlo en los computadores y en los periféricos y promoverla así entre los consumidores y los mercados de la industria de la informática y las comunicaciones, buscando la interoperabilidad, estandarización y la difusión de la misma.

Precisamente se han ido desarrollando variados estándares de la misma, siendo los más importantes los siguientes:

- **Norma IEEE-1394-1995 (FireWire)**

Se trata del estándar original. Se lo denomina también FireWire 400. Puede transferir datos a 100, 200 y 400 Mbps en modo semidúplex (valores aproximados). Cada modo se conoce como S100, S200 y S400.

El estándar S400 puede extender el cable hasta 72 metros y cuando se utiliza sobre un conector de seis contactos, el dispositivo puede recibir potencia del orden de 7 a 8 Watts.

- **Norma IEEE-1394a-2000 (FireWire)**

Esta versión es un suplemento de la original y se procedió a completar ciertos aspectos que hacían a la interoperabilidad y otras prestaciones. La misma mantenía una compatibilidad con la anterior. En ella, por ejemplo, se incorporó tanto un conector con cuatro contactos y un cable con cuatro conductores (sin energía).

- **Norma IEEE-1394b-2002 (FireWire)**

Fue introducida en el año 2002 y es conocida como FireWire 800 ó S800. Permite la transferencia de datos de hasta 800 Mbps en modo dúplex y cambia el esquema de codificación y señalización anterior *data/strobe* (posteriormente llamado sistema en **Modo Alfa**) por uno más eficiente que es denominado esquema *8B10B* (comúnmente conocido como **Modo Beta**).

Es compatible con los sistemas anteriores al S400, pero presenta una incompatibilidad en los conectores y cables; lo que obliga a utilizar adaptadores.

La versión conocida como **full**, anunciada a fines de 2007, incorpora las anteriores S1600 y S3200, que permiten velocidades de 1,6 y 3,2 Gbps. Además, estos cambios permiten emplear fibra óptica o cable UTP categoría 6a, que se puede utilizar hasta distancias de 100 metros.

La Tabla 6-20 indica las distintas versiones y las velocidades exactas de funcionamiento de cada una de ellas.

Tabla 6-20 Versiones del estándar IEEE 1394 y velocidades máximas de funcionamiento

Denominación	S100	S200	S400	S800	S1600	S3200
Velocidad en Mbps	98,304	196,608	393,216	786,432	1572,864	3145,728
Estándares	1394-1395 1394a-2000	1394-1395 1394a-2000	1394-1395 1394a-2000	1394b-2002 1394c	1394b-2002 (2007)	1394b-2002 (2007)

- **Norma IEEE-1394c-2006 (FireWire).**

Esta versión fue introducida en junio de 2007 y está referida a la especificación conocida como S800. La particularidad más destacada es que se pueden utilizar los conectores RJ-45 empleados en las redes con cableado estructurado que son utilizadas por la norma 802.3 de la IEEE sobre cable UTP categoría 6a.

- **Norma IEEE-1394d-2009 (FireWire).**

Se ha presentado la posibilidad en el año 2009 de poner en marcha un proyecto que lleve este bus a velocidades que podrían superar los 6 Gbps.

6.6.6 Comparación entre USB y IEEE 1394

Analizando las especificaciones técnicas y el uso al que están destinadas ambas interfaces, surge de inmediato la idea de establecer un patrón de comparación entre ambos buses. En principio, se puede decir que en muchos casos estos son complementarios y muchos equipos disponen de ambos para su uso.

Pero analizando en detalle se observa que hay un patrón común que es la constante supervisión de las *performances* de cada una, en cuanto a las velocidades máximas que ofrecen y al rendimiento que presentan.

Está claro que USB es un bus diseñado para ser parte de un computador y conectarle sus periféricos a muy bajo costo. Como estos cada vez requieren de más velocidad y rendimiento,



En la versión 3.0, el dispositivo puede iniciar una comunicación hacia el *host* en forma autónoma, es decir, sin requerir permiso de este.

las distintas versiones posteriores a la 1.0 han tratado de satisfacer estos requerimientos de diseño para los equipos periféricos.

A su vez, IEEE 1394 está más orientada a los dispositivos de audio y video, ya que no requiere de un computador que la soporte, como es el caso de USB, para su funcionamiento.

Podríamos sintetizar las siguientes diferencias más significativas:

- USB funciona con un protocolo maestro-esclavo. IEEE 1394 posee un protocolo *peer-to-peer*. Debe señalarse que los protocolos *peer-to-peer*, también denominados combinados, son más eficientes que los conocidos como maestro-esclavo, pues los primeros siempre tienen menores velocidades y mayor latencia.

Este concepto se traduce en que, para iguales **velocidades de transmisión** (ver apartado 3.2.1.2. de esta obra), el primero ofrece mayor **velocidad real de transferencia de datos** que el segundo (se utiliza también la expresión **throughput**, ver apartado 3.2.1.6. de esta obra)

- USB requiere la existencia de un computador para alojar su controlador y su *hub root*, mientras que FireWire no tiene ese requisito. Cualquier nodo puede controlar la red.
- USB proporciona una tensión de línea de 5 V, y hasta 500 mA de corriente, lo que hace un total de 2,5 W de potencia. IEEE 1394 puede suministrar hasta 30 V, y teóricamente hasta 60 W, aunque los valores típicos no pasan de 20 W.
- Mientras USB está diseñada para prestar un servicio de una gran simpleza y muy bajo costo, FireWire está pensada para equipos de mucho mayor requerimiento, particularmente en el caso de aplicaciones que funcionen en modo sincrónico como audio y video.
- Mientras que USB es líder en cuanto a conexiones con dispositivos tales como teclados, mouse, impresoras, memorias *flash* o dispositivos de almacenamiento de baja capacidad en los que IEEE 1394 no compite, esta última interfaz es mucho más eficiente para conectar discos rígidos externos de gran capacidad, equipos de audio, filmadoras o equipos de video en general.
- IEEE 1394 posee mayor ancho de banda y menos latencia que USB.

Respecto de las velocidades máximas de transferencia de datos, los equipos de desarrollo de ambas interfaces se encuentran en una carrera por superar la velocidad máxima de la versión anterior. Mientras USB a lanzado su versión 3.0, FireWire lo ha hecho con la denominada S3200.

Detrás de cada una de estas especificaciones hay intereses comerciales importantes. Intel es quien más empuja las mejoras de USB y, por otro lado, IEEE 1394 está impulsada por Apple (que la ha adoptado e incluido en sus equipos desde su comienzo) y por Sony (especialmente para sus productos de juegos, foto y video) entre otras. Sin embargo muchas empresas han empezado a incluir FireWire.

Sin duda, será finalmente, como ha sido siempre, el mercado y los usuarios los que decidan si prevalecerá una de ellas o las dos podrán convivir para las aplicaciones en las que tienen ventajas comparativas.

6.7 Sincronismo

6.7.1 Concepto de sincronismo

El concepto de sincronización está relacionado con la adquisición de una señal de reloj y su posterior transmisión a un conjunto receptor, con el objeto de permitir la alineación de los bits o símbolos con la misma. Sin embargo, la sincronización juega un papel esencial en otras áreas de las telecomunicaciones, a distintos niveles de abstracción y en distintos contextos.

En cuanto al primer aspecto señalado, el sincronismo es fundamental en los sistemas de transmisión, pues está relacionado con el proceso mediante el cual diferentes equipos proceden a alinear sus escalas de tiempo para permitir el intercambio de datos sin errores.

De acuerdo con este concepto puede definirse al sincronismo de la siguiente manera:

Procedimiento mediante el cual diferentes partes de un sistema proceden a alinear sus escalas de tiempo o a adoptar una base de tiempo común, de forma que puedan reconocer inequívocamente la información que contienen las señales que han de ser transmitidas.

Este proceso de sincronización realizado a **nivel del hardware** consiste en la distribución de una señal común de tiempo que debe llegar a todos los módulos que componen el sistema involucrado, tales como, compuertas, puertos lógicos, memorias, microprocesadores, etcétera, para proceder a la alineación de las señales.

Pero analizado en otras áreas de las telecomunicaciones, por ejemplo a **nivel de software** y con un mayor nivel de abstracción, la sincronización es necesaria a los efectos de permitir el intercambio de mensajes entre diferentes partes o equipos de un sistema de comunicaciones.

Los protocolos de comunicaciones, la mayoría de ellos implementados a través de procedimientos operados por medio de módulos de software, proveen el sincronismo necesario que hace posible la transmisión de datos de manera que se genere un mínimo de errores.

Muchas veces, los distintos niveles, tanto de hardware como de software, requieren sistemas de sincronizaciones diferentes e independientes.

Por ejemplo, la sincronización requerida al transmitir bits en la capa física sobre un medio de comunicaciones es independiente de la que se realiza en la capa de enlace o de red, cuando se debe proceder a sincronizar tramas o paquetes, o de las que realizan las capas superiores del modelo OSI.

Por ejemplo, a nivel de la capa de enlace, una vez que la información lógica ha sido extraída, se deberán alinear las tramas, como puede ser el caso en las denominadas **E1 de 30 canales de 64 Kbps** utilizadas en los sistemas de modulación por pulsos codificados, conocidas como **PCM (Pulse Code Modulation)**.

Análogamente ocurrirá cuando se deban trasmitir paquetes. El equipo que recibe los mismos debe ser capaz de ecualizar las distintas demoras (*delay*) de cada uno de ellos, provocadas por el efecto que normalmente genera la presencia de *jitter*, a los efectos de reconstruir la cadena de bits para que sea recibida como originalmente fue transmitida.

En este último caso, significará la necesidad de una sincronización de paquetes, para la cual se deberá lograr recuperar los tiempos originales de la secuencia de paquetes recibidos a través de técnicas de adaptación o procesando una información.

Otro caso diferente es cuando se necesita realizar la demodulación coherente de una señal de amplitud modulada. En ese caso, el procedimiento está basado en la reconstrucción de la portadora, por ejemplo, mediante la extracción de una señal coherente con ella en frecuencia y fase. Otra cuestión sería la demodulación digital, que requiere, además de ser demodulada también en forma coherente, una sincronización de bits. En el caso de que la señal sea binaria, es necesario saber qué valor fue recibido, si se trata de un "1" o un "0".

En ese caso habrá que identificar los tiempos de cada muestra y tomar luego la decisión para extraer la información lógica adecuada.

Otro tipo de sincronización es la requerida por la red. En este caso, la misma consiste en la operación que es necesario efectuar en el sistema para sincronizar los distintos nodos entre sí.



En la transmisión digital, el método mayormente empleado para mantener el sincronismo entre dos o más placas de red a través de los códigos banda base. Por ejemplo, en las redes LAN ETHERNET se emplea el código Manchester..

Para ello, se procede a distribuir señales de tiempo común a cada nodo, utilizando los relojes patrones de la red.

Finalmente, se puede señalar que toda red de telecomunicaciones tiene la necesidad de tener sincronizados entre sí en tiempo real a todos sus relojes patrones ubicados en distintos niveles de la red. A tal fin, se utiliza la misma red, que posee canales especiales de sincronismo donde los relojes de mayor precisión disciplinan a los menos precisos.

Así, los relojes de **cuarzo** son disciplinados por los relojes de **rubidio** y estos por los de **cesio**, que son los de mayor precisión y estabilidad. Para realizar esta actividad, se procede a la distribución de señales en tiempo con el objeto de alinear en tiempo real los distintos relojes patrones que las redes poseen.

Luego, podemos describir varios tipos de procesos de sincronización, según los niveles y los propósitos. Así, tendremos **sincronismo de bit**, de **byte**, de **trama** (o de cuadro), de **paquete**, de **portadora** o de la propia **red de sincronismo**.

6.7.2 La escala del tiempo

Un reloj tiene por función medir el tiempo. Para ello, existen diversos métodos, algunos aproximados y otros de mucha precisión. Una forma simple de hacer esta función está basada en un generador de oscilaciones y un contador de las mismas. Si sabemos cuánto tiempo dura cada oscilación, con estos dos elementos podemos saber el tiempo que ha transcurrido.

Para esta tarea, un reloj puede usar, por ejemplo, el movimiento mecánico de un péndulo, pero también mucho más preciso será, por ejemplo, si se utiliza la vibración de átomos en un cristal como el cuarzo.

La unidad de tiempo, el segundo, antiguamente se definía como la 86 400ava parte de la duración del día solar medio. Sin embargo, a los efectos de lograr mayor precisión, actualmente la medición del segundo se efectúa tomando como base el tiempo atómico.

Hasta el año 1971 se utilizaba una escala basada exclusivamente en el movimiento de la tierra, y ello dio lugar a la denominada **Hora Media de Greenwich (GMT)**. Esta hora se refiere a la correspondiente al huso horario que pasa por el meridiano del Observatorio Real de Greenwich. (*Royal Observatory, Greenwich*).

Con el advenimiento de los relojes atómicos de una gran exactitud, se descubrió que el movimiento de rotación de la tierra fluctúa en algunos milésimos de segundo por día. En 1958, unos años después del desarrollo del reloj atómico de cesio, se creó el denominado Tiempo Atómico Internacional, conocido por su expresión y siglas *International Atomic Time (TAI)*.

Sobre la base de esos trabajos, el Sistema Internacional de Unidades ha definido al segundo como:

La duración de 9.192.631.770 periodos de la radiación emitida en la transición entre los dos niveles hiperfinos del estado fundamental del isótopo 133 del átomo de cesio (^{133}Cs) a una temperatura de 0 K.

La redefinición del segundo ha dado lugar al denominado **Tiempo Atómico (AT)**. Cabe señalar, que la escala del tiempo debe reflejar necesariamente los cambios de velocidad de la rotación de la tierra, ya que de no ser así, se cometerían errores en la navegación cuando se busca conocer la determinación exacta de la posición de una nave sobre la superficie terrestre. También se producirían problemas en la labor de las tareas vinculadas a la Astronomía.

Para compatibilizar las necesidades de la navegación y la Astronomía, entre otras disciplinas, con la medición precisa de los intervalos de tiempo, se estableció una escala de compromiso que se denominó *Coordinated Universal Time (UTC)*.



En la escala UTC el tiempo es medido utilizando relojes atómicos. Cuando la diferencia entre el tiempo atómico y el basado en la rotación de la tierra se aproxima a un segundo, se introduce un salto de un segundo entero en la escala UTC. Este salto es conocido como **leap second**.

Estas correcciones de un segundo entero tienen lugar aproximadamente una vez por año, por lo que la diferencia entre la hora atómica y la UTC siempre es menor a un segundo.

Para la medida del tiempo, el día se divide en 24 horas. Comienza en la escala UTC a las 00:00:00 horas a partir del citado meridiano de Greenwich y finaliza a las 23:59.59. La superficie terrestre fue dividida en una conferencia internacional celebrada en el año 1884 en 24 husos horarios.

Se puede definir la llamada **hora local**:

La hora local es aquella que resulta, partiendo de la hora UTC, de sumar tantas horas como cantidad de husos horarios hay al este o restar esa cantidad cuando se está al oeste del meridiano de Greenwich.

Así, a la 5^a zona al oeste del citado meridiano le corresponderá la hora **UTC - 5**; y si estuviera al este, por ejemplo la 10^a zona, le correspondería la hora **UTC + 10**.

A su vez, cada país define una **hora oficial**, que puede o no coincidir con la **hora local**. Se define como hora oficial de un país, para una determinada zona geográfica del mismo, a:

La hora a la que en dicha zona del país deben ajustarse los relojes que regulan las actividades del mismo y que da valor legal a los actos jurídicos.

La hora oficial de un país depende de consideraciones geopolíticas o económicas. Puede o no coincidir con la hora UTC; puede ser única para todo un país o pueden existir varias. Esto último es habitual en los países que tienen una extensión que cubre varias zonas horarias.

6.7.3 Las funciones de las distintas señales de tiempo

Las funciones de las señales de tiempo pueden ser consideradas bajo dos aspectos: como **funciones horarias** y como **funciones patrones**.

La función horaria es aquella proporcionada por los relojes que permiten presentar una escala horaria en tiempo real. Por ejemplo la hora UTC o la hora oficial.

Para generar la señal horaria, los relojes pueden tomar una señal periódica de referencia o la de un reloj externo con mucha mayor precisión.

La función horaria también se suele denominar **sincronismo de tiempo**, pues se refiere a la posibilidad de alinear, a través de las mismas redes de telecomunicaciones y mediante procedimientos adecuados, la hora **UTC** o la que sea necesario utilizar según el caso particular de que se trate.

En los computadores conectados a la red Internet los relojes se pueden alinear automáticamente a través del protocolo **Network Time Protocol (NTP)**.

La mayoría de los sistemas operativos permiten en forma automática, además de realizar esta tarea, seleccionar el huso horario que se desee y, en muchos casos, automáticamente alinear los relojes cuando algunos países cambian el huso horario en oportunidad del cambio de estación.

Esta función en el ámbito de las telecomunicaciones, en muchos casos, tiene una importancia fundamental. Tal es el caso de los relojes utilizados en la red telefónica para tarifar las

llamadas por tiempo. Normalmente, las administraciones de estos servicios exigen que las empresas puedan proporcionar las facturas itemizadas, es decir, con el detalle de cada llamada, su duración y la hora de comienzo de la misma.

De allí la importancia de evitar errores dentro de la red en cuanto a la función horaria, que debe ser la misma en toda la red. De lo contrario, podrían aparecer llamadas falsamente superpuestas por una incorrecta alineación de los relojes utilizados para tal fin.



La velocidad de modulación medida en Baudios, puede ser menor, igual o mayor que la velocidad de transmisión medida en bps, según sea el período, ancho de pulso y los niveles de tensión en la línea.

La función patrón es aquella proporcionada por los relojes de alta precisión que poseen las redes para asegurar las funciones de sincronismo de tiempo y de frecuencia. La función patrón también se suele denominar sincronismo de frecuencia.

El sincronismo de frecuencia se refiere a la distribución de señales de tiempo que permiten sincronizar los distintos equipos de una red de telecomunicaciones para que puedan funcionar adecuadamente. En este caso, se requiere que la red tenga instalados sus propios relojes patrones primarios y secundarios.

Estos relojes patrones tienen diferencias en cuanto a muchas de sus características constructivas y de rendimiento.

Un **estándar primario** es una señal que se usa como referencia para la sincronización de frecuencia de otros relojes. El mismo no requiere señales externas de referencia para su funcionamiento. Un ejemplo son los relojes de cesio.

Los **estándares secundarios** son una fuente de referencia para la sincronización de frecuencia de diversos dispositivos, pero que requieren ser mantenidos en sincronismo por una fuente primaria. Por ejemplo, son de ese tipo los relojes de rubidio o de cuarzo.

6.7.4 Distintos tipos de sincronismo

6.7.4.1 Sincronismo de bit

La transmisión digital consiste básicamente en la transmisión de pulsos que representan los distintos símbolos que se desean transmitir.

La **velocidad de modulación** o de **símbolos** es un concepto típico usado en telecomunicaciones, y se define como:

$$Vm = \frac{1}{\tau} \quad (3.1) (5.2)$$

donde τ es el ancho de pulso.

Es decir, es el tiempo correspondiente al ancho del pulso. O, si se quiere, el intervalo entre símbolos consecutivos. Es un valor constante en una transmisión isócrona.

Hemos visto en el apartado 3.2.1.2 que, si la señal es binaria, un pulso transportará un bit; si es una señal multinivel, podrá transportar más de un bit o menos de un bit. (ver Fig 2-48).

Analicemos cómo se efectúa la sincronización de pulsos, suponiendo que estos transportan solo un bit.

Para ello, el sincronismo de bit o de símbolo puede definirse de la siguiente manera:

Procedimiento que se usa para determinar exactamente el momento en que se debe empezar a contar un bit y para asegurar que se mantenga su período constante.

Para ello, se debe contar con circuitos sincronizadores que generen una señal de reloj que permitan sincronizar el flujo de datos del código en banda base que se esté utilizando, o bien extraer la señal que se utilizará para la sincronización de la propia señal recibida.



El sincronismo de bit es un procedimiento que se usa para determinar exactamente el momento en que se debe empezar a contar un bit y para asegurar que se mantenga su período constante..

En el receptor se requiere, en cualquier caso, conocer las posiciones de los símbolos en la escala del tiempo, para poder extraer la información lógica de la señal recibida sin errores. Solo conociendo la secuencia de los símbolos en los tiempos correctos se podrá leerlos en forma adecuada.

La recuperación de la escala del tiempo en la secuencia de símbolos de la señal recibida es conocida como sincronización de símbolos o **clock recovery** (recuperación de la señal de reloj). Este código es utilizado en las Redes de área Local de la norma IEEE 802.3 (ver Fig. 2.48).

La complejidad del procedimiento y los circuitos que se utilizarán para el sincronismo de bits dependerán del código en banda base que se utilice.

Si tomamos como ejemplo los códigos RZ, cuando tienen asegurada una alternancia razonable de "1" y "0", son los más fáciles de sincronizar y requieren solamente un circuito sincronizador construido sobre la base de un filtro pasabanda de banda estrecha sintonizado

$$\text{a la frecuencia } f_0 = \frac{1}{\tau}$$

Si el código utilizado o la señal no tienen un número importante de transiciones, es decir que los datos que se van recibiendo son "0" o "1" sucesivos, la sincronización se efectúa con otros circuitos mucho más elaborados.

Sin embargo, se presenta un problema cuando se deben sincronizar códigos unipolares, polares o bipolares que no presentan una alternancia suficiente de "1" y "0".

Cuando ello sucede, se debe proceder en el transmisor a intercalar bits de sincronismo, de manera que el flujo de bits se alterne entre "0" y "1". En ese caso, en el extremo receptor los bits intercalados deben ser extraídos para que el mensaje no se altere. El procedimiento de inserción de bit se conoce por su expresión original como **bit stuffing**. (ver Capítulo 6)

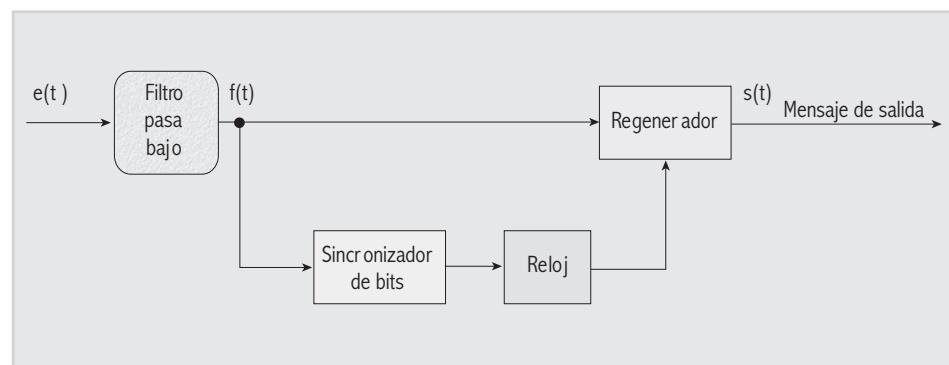


Fig. 6.39. Esquema simplificado de un circuito regenerador de una señal RZ mediante un filtro pasa bajo.

Otra alternativa es usar códigos que no requieren inserción de bit para su sincronización. Un caso típico es el uso de la codificación Manchester (o Manchester Diferencial) NRZ. Pero el costo de dichas soluciones es usar un ancho de banda doble al que hubiese requerido la transmisión utilizando un código polar NRZ común.

La Fig. 6.39. muestra un esquema elemental de sincronización de bit y su regeneración posterior, utilizado para una señal RZ a través de un filtro pasa bajo. La señal original se hace pasar por el filtro, que genera una señal de reloj que permite al regenerador reconstruir la señal a su salida.

Analizando el sincronismo de una manera más simple, la Fig. 6.40. muestra diferentes alternativas del sincronismo de bits, ya que el período de este se puede empezar a contar al principio, alineararlo durante un estado intermedio o al final.

La frecuencia del reloj que muestrea la línea de comunicaciones debe ser mucho mayor que la velocidad con que llegan los datos por la misma línea.

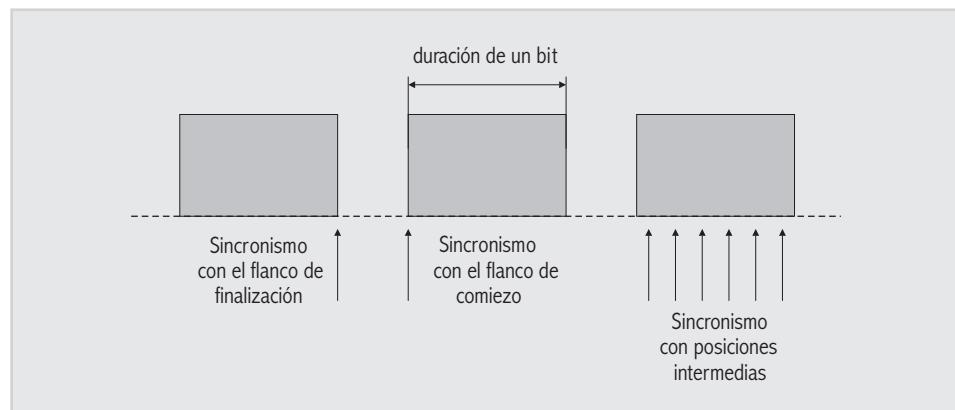


Fig. 6.40. Diferentes alternativas para sincronismo de bit.

El reloj tiene que muestrear la línea a una velocidad 8 ó 9 veces mayor que la velocidad de modulación, a efectos de que pueda detectar la transición de un “1” a un “0”, o viceversa, muy rápidamente, antes de que el pulso deje de estar presente en el canal, tal como muestra la Fig. 6.41.

Una frecuencia de muestreo del reloj muy lenta no podría detectar el cambio de estado antes señalado.

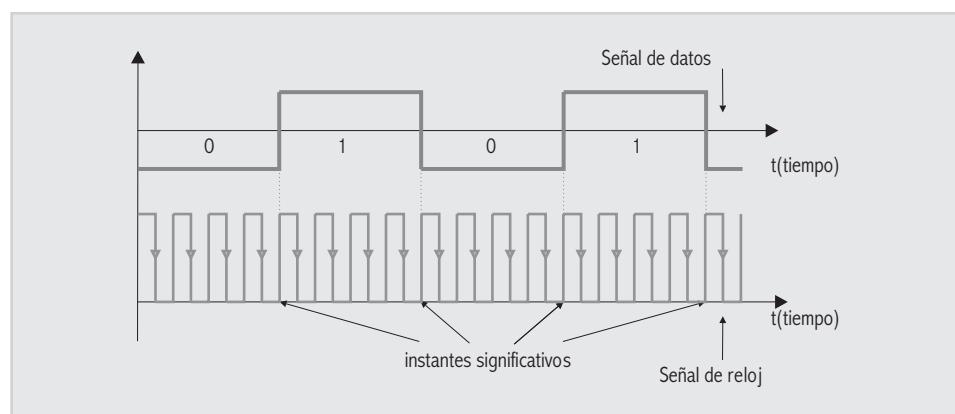


Fig. 6.41. Señal de reloj.

El sincronismo de bit permite, en un receptor, conocer con precisión los datos recibidos y, en un repetidor regenerativo, permitir regenerar adecuadamente las señales digitales deformadas.

6.7.4.2 Sincronismo de byte

El sincronismo de byte puede definirse así:

Procedimiento que permite determinar el comienzo y la finalización de la transmisión de un byte ó carácter. Como se podrá apreciar, este procedimiento tiene muchísima importancia en el caso de la transmisión asincrónica.

6.7.4.3 Sincronismo de trama

El sincronismo de trama puede definirse de la siguiente manera:

Procedimiento que se usa para determinar el conjunto de bits o caracteres que se considerará a los efectos del tratamiento de los errores de un mensaje.

Este procedimiento es utilizado para sincronizar una trama, es decir, la unidad de datos que se utiliza en el nivel de enlace del Modelo OSI. Las tramas poseen un mecanismo de detección de errores, a través de un campo específico ubicado en su interior. Este campo permite que cuando se produce un error, a través de un procedimiento de detección y rechazo de la trama hacia el remitente, este pueda iniciar un proceso de retransmisión de toda la trama nuevamente.

Detalles de este procedimiento se desarrollan en el apartado 5.7.7 de este capítulo, pues se refiere a los procedimientos de transmisión denominados sincrónicos. Además, en el capítulo 8 de esta obra se podrá analizar con detalle la sincronización de tramas en los protocolos sincrónicos de enlace, como es el caso del protocolo **HDLC (High Level Data Link Control)**.

El procedimiento de sincronización de trama requiere que previamente se haya sincronizado la portadora y los símbolos contenidos en la misma. Luego se procede a la extracción de la información lógica de la señal recibida y, finalmente, a un nivel mayor de abstracción, se determina el principio y el final de la trama.

En las transmisiones digitales, los bits de una trama están usualmente ordenados en campos. En ellos, cada bit transmitido tiene asignado un significado distinto.

Los bits que se encuentran en distintas posiciones dentro de una determinada trama pueden ser, por ejemplo, los 30 canales correspondientes a diferentes comunicaciones telefónicas –en el caso de una trama E1– o, en el caso de tramas de datos, como los protocolos de enlace HDLC, a funciones de encabezamiento, control de errores, información de control, transporte de los datos, etcétera (ver Capítulo 6).

Por ende, la sincronización es de una importancia fundamental en la transmisión digital para identificar cada uno de los campos.

Las estrategias de sincronización de tramas (*Frame Alignment Strategy*) se realizan a través de dos operaciones básicas:

- En transmisión. Cada vez que el equipo receptor pierde durante la operación el sincronismo de trama, la realineación de la misma se obtiene a través del mismo flujo de bits, que se recibe a través de los bits de sincronismo.
- Mantenimiento. Cuando el equipo asume que está sincronizado con respecto a las tramas que va recibiendo continuamente, controla los delimitadores de ellas para asegurarse que estén dentro de los valores que corresponden.

6.7.4.4 Sincronismo de paquetes

El intercambio de información utilizando la técnica de paquetes consiste en dividir al mensaje en segmentos que contienen una porción de la información total que se ha de transmitir.

Los paquetes son ruteados según el estado de la red y la programación de los comutadores de paquetes o *routers*. Cada paquete contiene un segmento de los datos originales, más

alguna información adicional de cabecera (Por ejemplo, un segmento de la transmisión de voz codificada o parte de los datos de un archivo). Pueden ser de longitud variada o fija. Los paquetes de longitud fija son llamados comúnmente celdas. El protocolo ATM, por ejemplo, opera con paquetes de longitud fija denominadas celdas ATM.

El intercambio de paquetes es una tecnología efectiva para integrar datos, voz u otro tipo de tráfico en tiempo real en una sola red.

La transmisión de paquetes puede tener alguna de las siguientes características:

- Debido a la naturaleza estocástica del intercambio de paquetes, y en particular de las colas que se forman dentro de la red, los paquetes sufren demoras (o *delay*) aleatorias durante su transporte a través de ella y llegan a su destino con tiempos de arribo entre ellos que pueden variar entre uno y el siguiente, aun los correspondientes al mismo flujo original. Un proceso de naturaleza estocástica es aquel en que los sucesos se desarrollan con una cierta probabilidad, pero en forma no determinista. Sus resultados se basan en probabilidades que varían con el tiempo en forma aleatoria.
- Como los paquetes de una misma fuente son ruteados en forma independiente, cada uno puede seguir un camino diferente en la red y podrían arribar a sus destinos desordenados, es decir, fuera de la secuencia original en la cual fueron insertados en la red.
- No es factible recuperar el sincronismo a nivel de paquetes en el extremo receptor sin incorporar procedimientos específicos, los cuales resultan independientes del sincronismo a nivel de bits de la capa física.

El transporte transparente de voz, datos o de cualquier otro tipo de tráfico en tiempo real en una red de paquetes requiere encarar los problemas mencionados, de forma tal de poder reproducir con adecuada calidad, por ejemplo en el caso de la transmisión de señales de audio, los paquetes que llegan con distinto **delay de tránsito** o, incluso, los que llegan fuera de la secuencia.

Por ende, las características mencionadas requieren la implementación de funciones adicionales en la interfaz que recibe los paquetes. El arribo fuera de sincronismo de los paquetes se denomina **packet jitter** y se puede corregir hasta cierto límite, con un proceso de ecualización denominado **delay aleatorio**.

La tarea de ecualizar el fenómeno de **packet jitter** o su equivalente, que se produce por las demoras generadas durante el transporte, puede ser logrado de varias maneras.

Un método se basa en redes que no poseen sincronismo común para todos los nodos. En este tipo de redes los nodos poseen relojes independientes en cada uno de ellos. Otro método, se refiere a los casos de redes sincronizadas, donde una señal común de reloj es distribuida a cada nodo a través de canales de sincronismo.

6.7.4.5 Sincronismo de red

El sincronismo de red puede definirse de la siguiente manera:

El procedimiento de distribuir señales de tiempo y frecuencia a través de una red de sincronización, compuesta por relojes patrones de diferentes niveles con el objeto de alinearse entre sí, y a través de ellos, proceder de idéntica forma con los distintos equipos que integran la misma, utilizando los vínculos de comunicaciones existentes en ella que los interconectan.

En el caso de una red de sincronismo, su objetivo es minimizar los errores provocados por las fluctuaciones de los distintos relojes que la componen. Para ello, distribuye señales de sincronismo que pueden ser, por ejemplo, ondas senoidales a lo largo de la misma. Las redes digitales requieren para un correcto funcionamiento desviaciones Δt tales que varíen a lo sumo en el intervalo siguiente: $10 \text{ ns} > \Delta t < 100 \text{ ns}$.

El sincronismo de red permite facilitar, entre otras, las siguientes actividades necesarias para su funcionamiento adecuado:

- Sincronizar los relojes patrones existentes en las redes para posibilitar el adecuado funcionamiento de la red de sincronismo.
- A través de la red de sincronismo, compuesta con distintos relojes patrones, proceder a alinear los relojes ubicados en los conmutadores, multiplexores y otros equipos que lo requieran en las redes digitales.
- Sincronizar las redes satelitales, las móviles y sus respectivos terminales.
- Alinear las fases de los distintos conjuntos de antenas.
- Permitir el posicionamiento para facilitar la navegación o la determinación de distancias entre dos nodos cualesquiera.



El protocolo NTP de la familia TCP/IP posibilita sincronizar en tiempo real los elementos de una red.

Alinear diferentes relojes en equipos terminales respecto de la hora mundial. Un ejemplo es el **Network Time Protocol (NTP)** utilizado en la red Internet. Este protocolo permite sincronizar en tiempo real y en forma automática los distintos relojes de los computadores conectados a ella que manejen este protocolo. Este protocolo NTP, a nivel de capa de transporte trabaja con el protocolo UDP.

6.7.5 Los relojes utilizados en la red

6.7.5.1 Los relojes patrones

Las características principales de los relojes patrones son: **exactitud, estabilidad a corto y a largo plazo**. Sus diferencias radican en el principio de funcionamiento que utilicen.

Los relojes patrones de cesio son utilizados como **estándar primario** y se instalan para proporcionar señales de referencia para la sincronización de frecuencia. Estos relojes son osciladores atómicos que basan su funcionamiento en la frecuencia de resonancia del isótopo 133 del átomo de cesio. Como se describió en el apartado 6.7.2, sobre la base de este elemento fue definido el segundo como unidad de medida del tiempo.

Los relojes patrones de cesio no requieren un ajuste de frecuencia inicial ni durante toda su vida útil. Sin embargo, admiten la introducción de una señal externa de referencia de sincronismo, que tiene por objeto establecer una relación constante y permanente con ella.

Las empresas de telecomunicaciones más importantes poseen relojes de atómicos de cesio como patrones primarios, y muchas tienen hasta dos, de manera de poder suplir la caída de alguno de ellos con otro de *back up*. Estos relojes son los que permiten mantener con precisión el sincronismo de la red de transmisión y de la totalidad del hardware de la misma que trabaja en forma sincrónica con la red.

Uno de los relojes atómicos patrón más preciso que se conoce es mantenido y operado por el **National Institute of Standards and Technology (NIST)**, Instituto Nacional de Estándares y Tecnologías), situado en la ciudad de Boulder, Colorado, Estados Unidos . Se trata del denominado **NIST-F1**, construido en 1998.

La precisión del NIST-F1 se fue mejorando en forma continua. En 2000, la misma era de alrededor de 1×10^{-15} , pero en al año 2005 se logró reducirla a un valor mejor – a 5×10^{-16} . Esto significa que su variación, dentro de un margen de un segundo, le permitiría mantenerse estable durante los próximos 60 millones de años. NIST-F1 es utilizado por muchos países y organizaciones como una fuente externa que facilita el ajuste de los relojes de Cesio que posean una precisión menor.

El NIST-F1 fue desarrollado por Steve Jefferts y Dawn Meekhof, de la División de Tiempo y Frecuencia del Laboratorio de Física del NIST.

Este reloj atómico constituye uno de los más importantes patrones que integran el grupo internacional de relojes atómicos que definen el **Tiempo Universal Coordinado (UTC)**. El mismo

Steve Jefferts estudió en la Universidad de Colorado y obtuvo el título de Físico. Posteriormente, continuó sus estudios hasta obtener el Doctorado en 1992, año en el que ingresó al NIST, donde sigue actualmente prestando sus servicios como investigador.

ha permitido que la hora UTC sea mucho más precisa que años atrás. Actualmente, ya se está trabajando en el desarrollo de un nuevo patrón que se denominará **NIST-F2**, de mayor precisión aun.

En cuanto a los patrones de cesio de uso más habitual existentes en laboratorios y empresas de telecomunicaciones, si bien no poseen una precisión como la del NIST-F1, las señales eléctricas que pueden generar cuando son usados para controlar un reloj horario tienen una precisión que les permite acumular, como máximo, un error de un segundo cada 3000 años aproximadamente.

Los relojes patrón utilizados como **estándar secundario** son los relojes de **rubidio** o de **cuarzo**. Los relojes de rubidio son también relojes que funcionan como osciladores atómicos, basando su frecuencia de resonancia en la propia del átomo de rubidio.

Por razones de construcción utilizan vapor de rubidio mezclado con otros gases, lo que hace que requieran un ajuste inicial de frecuencia y ajustes periódicos durante su vida útil. Estos son realizados utilizando patrones primarios de cesio.

Cuando sus señales son usadas para controlar un reloj horario, este acumularía un error de un segundo cada 30 años aproximadamente.

Los patrones de cuarzo funcionan sobre la base de las oscilaciones generadas por la frecuencia de resonancia de una muy pequeña placa de cristal de cuarzo, y utilizando las propiedades piezoelectricas de dicho material.

La frecuencia de operación es variable en cada reloj. Depende básicamente de la geometría y de la posición de la placa en el cristal original.

La estabilidad y la precisión de estos relojes depende de variados factores, entre los que se pueden mencionar: temperatura del ambiente, diseño del circuito y calidad de los componentes electrónicos utilizados en su construcción.

Cuando se trata de un reloj construido con la tecnología adecuada a la requerida para un reloj patrón y sus señales son usadas para controlar un reloj horario, este acumularía un error de un segundo cada 6 años aproximadamente.

6.7.5.2 Características de calidad los relojes patrón

En general, todos los relojes patrón admiten siempre una **señal de referencia** externa denominada **señal de sincronismo**. Esta tiene por objeto establecer una relación constante y permanente entre la señal de referencia y la producida por el generador que recibe la señal de sincronismo.

La red de sincronismo permite que los relojes se vayan sincronizando en el siguiente orden: **Cesio → Rubidio → Cuarzo**.

La red, al mantener a todos los relojes disciplinados con las señales del patrón de cesio, hace que los relojes de rubidio y cuarzo, de menor calidad, se sincronicen con patrón de referencia.

La calidad de los relojes es definida sobre la base de dos parámetros: estabilidad y precisión.

Se define como **estabilidad** a la habilidad de un reloj de mantener constantes sus características metrológicas, es decir, su capacidad de generar intervalos de tiempo o de frecuencia de valores constantes, a través de períodos prolongados.

Se define como **precisión** a la relación entre el resultado de los valores obtenidos, a través de las medidas realizadas en el reloj, respecto de los valores reales para determinados intervalos de tiempo, es decir que un reloj es preciso cuando está en hora o en la frecuencia correcta.

La diferencia entre ambos conceptos puede explicarse de la siguiente manera: un reloj puede tener un error de frecuencia importante (por ser poco preciso), pero el error se puede mantener constante en el tiempo (por ser muy estable).

6.7.6 Transmisión asincrónica

6.7.6.1 Introducción

Históricamente, los distintos procesos de comunicación en serie se fueron desarrollando con el objeto de lograr un aprovechamiento óptimo del canal de comunicaciones.

El problema básico que se debe resolver es el de lograr que la información generada por la fuente sea recuperada en la misma forma por el colector, para lo cual es necesario ajustar correctamente el sincronismo, tanto del transmisor como del receptor.

Como ya se expresó en términos generales, para la sincronización del transmisor y del receptor es necesario disponer de relojes que funcionen a la misma frecuencia en ambas puntas del enlace. Por lo tanto, la caracterización de cada modo de transmisión radica precisamente en los procedimientos de control que aseguren el mantenimiento de este sincronismo.

El procedimiento denominado asincrónico fue el primero que se utilizó masivamente para asegurar la transmisión entre un computador y sus terminales.

6.7.6.2 Descripción del procedimiento asincrónico

En el procedimiento asincrónico, cada carácter que se ha de transmitir es delimitado por un bit denominado de cabecera o de arranque, y uno o dos bits denominados de terminación o de parada. En la Fig. 6.42., se puede observar este procedimiento.

El bit de arranque tiene funciones de sincronización de los relojes del transmisor y del receptor. El bit o bits de parada se usan para separar un carácter del siguiente. Normalmente, a continuación de los bits de información se acostumbra agregar un bit de paridad (par o impar).

La forma en que se desarrolla el procedimiento es la siguiente:

- Antes de que el sistema se active, la línea siempre se encuentra en estado de tensión máxima (lo que podría equivaler, por ejemplo, a un "1").
- El bit de arranque indica donde empieza el carácter transmitido y activa los mecanismos encargados de muestrear, contar y recibir las señales siguientes. Este bit corresponde a una señal de mínima tensión en la línea y se puede suponer que corresponde a un "0", es decir, hace pasar a la línea, que estaba en un estado de máxima tensión (un "1"), a un estado de mínima tensión (un "0").
- Luego se transmiten los bits de datos, que generalmente se suelen almacenar en una memoria intermedia del receptor para luego ser procesados.



Históricamente, la transmisión asincrónica fue la primera que se emplea para transferir datos, se caracteriza por ser más simple y menos eficiente que la transmisión sincrónica.

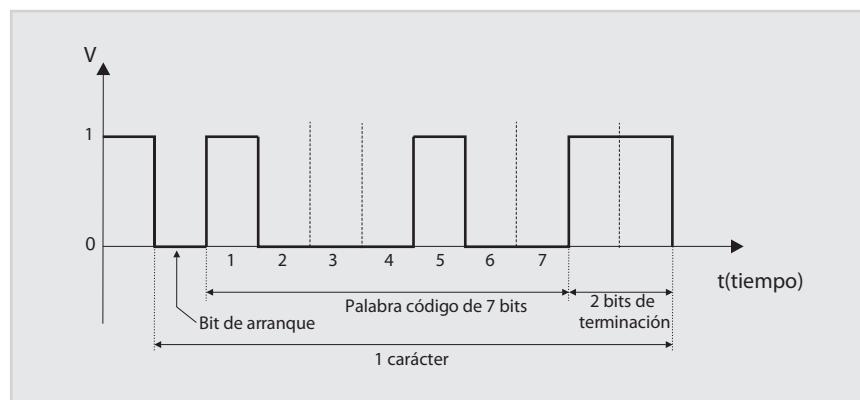


Fig. 6.42. Transmisión asincrónica.

- El bit o los bits de parada se encargan siempre de volver a colocar la señal en el nivel máximo, para esperar así el byte siguiente.
- Mientras no vuelva a recibirse un bit de arranque, la señal quedará en reposo en el nivel máximo hasta que vuelva a aparecer una nueva transición de "1" a "0".

6.7.6.3 Características de la transmisión asincrónica

Las características de la transmisión asincrónica son las siguientes:

- Los equipos terminales que funcionan en modo asincrónico se denominan también terminales en modo carácter.
- La transmisión asincrónica se denomina también arrítmica o de start-stop (arranque-parada).
- La transmisión asincrónica se utiliza a velocidades de modulación de hasta 1 200 baudios.
- Si se utiliza un bit de arranque y dos de parada en la transmisión de una señal basada en un código de 7 bits más uno de paridad, el rendimiento es del 72% (8 bits de 11 transmitidos). La longitud de los bits de parada, respecto de la longitud de un bit de datos, puede ser:
 - $1,42 \sigma$ en el sistema Baudot.
 - $1,5 \sigma$ en el llamado sistema Seudobaudot (Fig. 6.43.).
 - 1σ o 2σ en el resto de los sistemas.
- Entre dos caracteres puede mediar cualquier separación en tiempo.

Entre las ventajas y desventajas del modo asincrónico se pueden señalar las siguientes:

- En caso de errores se pierde siempre una cantidad pequeña de caracteres, pues estos se sincronizan y se transmiten de uno en uno.
- Bajo rendimiento de transmisión, debido a que es necesario transmitir bits de sincronismo por cada carácter y esto hace que la proporción de bits útiles sea baja. Se debe tener presente que esto origina un menor aprovechamiento de la línea de transmisión.

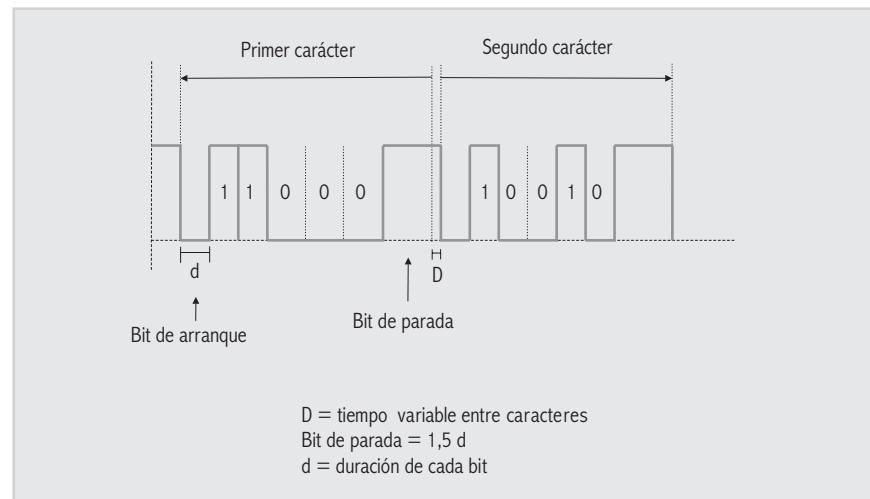


Fig. 6.43. Transmisión usando un alfabeto Seudobaudot.

- Es un procedimiento que permite el uso de equipamiento más económico y de tecnología menos sofisticada.
- Se adapta más fácilmente en aplicaciones donde el flujo transmitido es más irregular.
- Son especialmente aptos cuando no es necesario lograr altas velocidades.

6.7.7 Transmisión sincrónica

6.7.7.1 Introducción

La necesidad de obtener una mayor proporción de bits útiles (los que contienen información) respecto de la cantidad total de información transmitida, hizo pensar en la posibilidad de usar una menor cantidad de bits para el proceso de resincronización de emisor y receptor. De esa manera, aumentaría la cantidad de bits útiles en el total transmitido.

Paralelamente, el desarrollo de tecnologías más sofisticadas permitió la transmisión conjunta de señales de sincronismo con las señales de datos. Esto abrió el camino para que nacieran los procedimientos de transmisión sincrónicos.

6.7.7.2 Descripción del procedimiento sincrónico

En el procedimiento sincrónico existen dos relojes, uno en el receptor y otro en el transmisor (Fig. 6.44.), y la información útil es transmitida entre dos grupos de Bytes denominados genéricamente delimitadores. En inglés se usa, en sentido figurado, el término *flag* (bandera), ya que en algunas carreras, como por ejemplo las de automóviles, se utiliza una bandera para indicar el comienzo y el fin de la competencia.. Un grupo delimitador es el de encabezado, que se encarga de resincronizar los relojes (osciladores), y el de terminación, que suele cumplir varias funciones.

A causa de la tecnología que se emplea en estas transmisiones, los relojes deben permanecer estables durante un tiempo relativamente largo (se usan osciladores con una precisión superior a 1:100 000). Por ello, los relojes se resincronizan periódicamente mediante la utilización de códigos banda base.

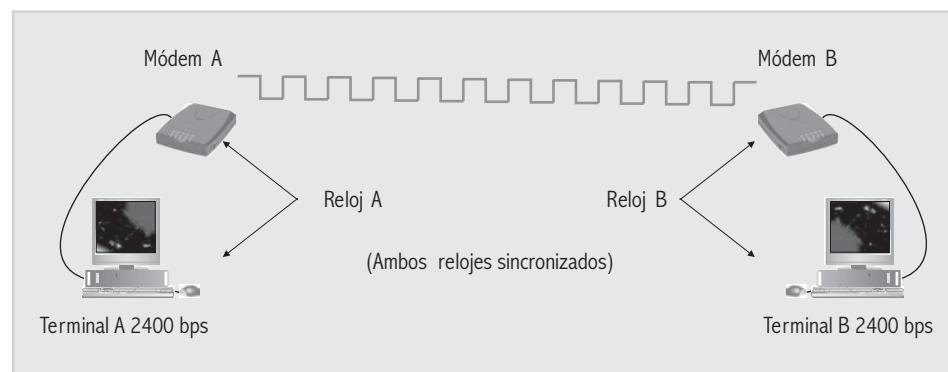


Fig. 6.44. Ejemplo de una transmisión sincrónica.

6.7.7.3 Características de la transmisión sincrónica

Las características de la transmisión sincrónica son las siguientes:

- Los bloques que se transmiten tienen un tamaño que oscila, en la mayoría de los casos, entre 128 y 1 024 Bytes. Aquí se debe señalar el compromiso de la ingeniería de diseño, que debe determinar la longitud del bloque de información. Si el mismo fuera corto, se perdería rendimiento, que es una de las razones por las cuales se usa el procedimiento

sincrónico. Si se alarga demasiado, en caso de errores será necesario retransmitir una cantidad grande de caracteres, con la consiguiente demora.

- La señal de sincronismo en el extremo fuente puede ser generada por el equipo terminal de datos o por el equipo módem; sin embargo, cualquiera sea el que genere dicha señal, la misma será común para ambos equipos y en ambos extremos de la línea. Nunca la pueden generar ambos simultáneamente.
- El rendimiento de la transmisión sincrónica, cuando se transmiten bloques de 1 024 Bytes y se usan no más de 10 Bytes de cabecera y terminación, supera el 99%.

Como ventajas y desventajas del modo sincrónico se pueden señalar las siguientes:

- Posee un alto rendimiento en la transmisión. Esto supone un mejor aprovechamiento de la línea de transmisión.
- Los equipamientos necesarios son de tecnología más compleja y de costos más altos.
- Son especialmente aptos para ser usados en transmisiones de altas velocidades (iguales o superiores a 1 200 baudios de velocidad de modulación).
- El flujo de datos es más regular.
- En caso de errores de transmisión, la cantidad de Bytes que se han de retransmitir puede ser importante. Este problema debe hacer meditar seriamente sobre la velocidad más conveniente para el enlace.

Existen dos tipos de procedimientos sincrónicos: orientados al bit y orientados al carácter. Las características de estos procedimientos están relacionadas con los protocolos de comunicaciones usados en los enlaces de datos y con los códigos o alfabetos usados en la transmisión de datos, entre otros aspectos fundamentales.

6.8 Resumen

En este capítulo se realizó una introducción a los conceptos generales de los sistemas de comunicaciones y, además, se presentaron los tipos y los modos de transmisión en un canal de comunicaciones, así como también, las generalidades de la capa física entre dos equipos o componentes de un mismo equipo que se realiza a través de interfaces o buses digitales estandarizados.

Asimismo, se describieron la normalización de las interfaces de la capa física y las características técnicas de algunas interfaces o buses en modo paralelo y serie. Luego, se desarrolló el concepto de sincronismo y, asimismo, se incluyeron los diferentes tipos: de símbolo o de bit, de byte, de trama, de paquetes y de red.

Por último, se presentaron los temas de los relojes utilizados en la red teniendo en cuenta los relojes patrones y se realizó una descripción del procedimiento de la transmisión asincrónica y sincrónica.

6.9 Ejercicios propuestos

1. ¿Qué aplicaciones de misión crítica puede describir?
2. La transmisión de voz y video no necesita corrección de errores. ¿Por qué?
3. ¿En qué equipos se utiliza aún la interfaz denominada Centronics?
4. ¿Cuándo usaría el bus USB y cuándo optaría por el IEEE 1399? Dé ejemplos.
5. En su opinión, ¿cuál puede en el mediano plazo ser más utilizado? ¿Por qué?
6. Calcular la relación señal a ruido para los siguientes casos:

6.1. $\Delta f = 3\,000 \text{ Hz}$

$$C = 10\,000 \text{ bps}$$

$$C = \Delta f \times \log_2 (1+S/N)$$

$$S/N = 2^{(C/\Delta f)} - 1$$

$$S/N [\text{dB}] = 10 \times \log_{10} [2^{(C/\Delta f)} - 1]$$

$$S/N = 10 \times \log_{10} [2^{3,33} - 1]$$

$$S/N \approx 9,58 \text{ dB}$$

6.2. $\Delta f = 10\,000 \text{ Hz}$

$$C = 10 \text{ Kbps}$$

$$C = \Delta f \times \log_2 (1+S/N)$$

$$S/N = 2^{(C/\Delta f)} - 1$$

$$S/N [\text{dB}] = \log_{10} [2^{(C/\Delta f)} - 1]$$

$$S/N = 10 \times \log_{10} [2 - 1]$$

$$S/N = 0 \text{ dB}$$

6.3. $\Delta f = 1 \text{ KHz}$

$$C = 10\,000 \text{ bps}$$

$$C = \Delta f \times \log_2 (1+S/N)$$

$$S/N = 2^{(C/\Delta f)} - 1$$

$$S/N [\text{dB}] = \log_{10} [2^{(C/\Delta f)} - 1]$$

$$S/N = 10 \times \log_{10} [2^{10} - 1]$$

$$S/N = 30 \text{ dB}$$

7. Calcular la máxima velocidad de transmisión [bps] de un canal telefónico e indicar qué tipo de módem alcanza dicha velocidad.

$$\Delta f = 3\,000 \text{ Hz.}$$

$$S/N = 30 \text{ dB}$$

$$S/N = 10^3$$

$$C = \Delta f \times \log_2 (1+S/N)$$

$$C = 3\,000 \times \log_2 (1 + 1\,000)$$

$$C = 29\,900 \text{ bps}$$

Como la máxima $V_{TX} = C$, entonces $V_{TX} = 29,9 \text{ Kbps}$

8. Graficar la señal de transmisión típica del servicio de Télex ($V_m = 50 \text{ Baudios}$). Hallar el ancho de pulso y el tiempo de transmisión de un carácter.



$$V_m = 50 \text{ Baudios}$$

$$V_m = 1 / T$$

$$T = 1 / 50 = 20 \text{ mseg}$$

Como un carácter está conformado por 5 bits de datos, 1 de arranque y 1,5 de parada; el tiempo de transmisión del mismo es:

$$1 \text{ carácter} = 7,5 \text{ bits} \times 20 \text{ mseg} = 150 \text{ mseg}$$

9. Sobre la base del ejercicio anterior, calcular la cantidad de caracteres que se transmiten durante dos minutos si se supone que los mismos se envían sin "tiempo muerto", es decir, uno a continuación del otro.

$$\text{Tiempo de transmisión} = 2 \text{ min} = 120 \text{ s}$$

$$t_{TX} = 120\,000 \text{ mseg}$$

$$\text{Total caracteres} = \frac{\text{tiempo de transmisión}}{\text{tiempo de 1 carácter}} = \frac{120\,000}{150} = 800 \text{ caracteres}$$

$$\text{Total caracteres} = \frac{120\,000}{150} = 800 \text{ caracteres}$$

10. Calcular el tiempo total de transmisión de 1 000 caracteres enviados uno a continuación de otro en un sistema de transmisión asincrónica de 75 Baudios. El código utilizado es el Seudobaudot.

Para 1 carácter:

$$V_m = 75 \text{ Baudios}$$

$$T = 1 / 75 = 13,33 \text{ mseg}$$

Código Seudobaudot:

$$5 \text{ bits DATOS} = 5 \times 13,33 = 66,66 \text{ mseg}$$

$$1 \text{ bit START} = 1 \times 13,33 = 13,33 \text{ mseg}$$

$$1,5 \text{ bits STOP} = 1,5 \times 13,33 = 19,99 \text{ mseg}$$

$$\text{Total} = 99,98 \text{ mseg}$$

Sin son 1 000 caracteres:

$$99,98 \text{ mseg} \times 1\,000 = 99\,980 \text{ mseg} = 99,98 \text{ s} = 1 \text{ minuto } 39,98 \text{ s}$$

11. Calcular el rendimiento de transmisión asincrónica que utiliza un código que tiene 1 bit de arranque, 2 de parada, 1 de paridad y 7 de datos.

$$\text{Rendimiento} = \frac{\text{bits de datos} \times 100}{\text{bits totales}}$$

$$\text{Rendimiento} = \frac{7 + 1}{7 + 1 + 1 + 2} \times 100 = \frac{8}{11} \times 100 = 72,73 \%$$

12. Calcular el rendimiento de una transmisión sincrónica cuando se envían bloques de datos de 1 024 Bytes y se utilizan 10 Bytes para cabecera y cola.

$$\text{Rendimiento} = \frac{\text{bytes de datos} \times 100}{\text{bytes totales}}$$

$$\text{Rendimiento} = \frac{1\,024}{1\,024 + 10} \times 100 = \frac{1\,024}{1\,034} \times 100 = 99,03 \%$$

13. Calcular el rendimiento de una transmisión sincrónica cuando se envían bloques de datos de 1 024 Bytes y se utilizan 5 Bytes de cabecera y 10 Bytes de terminación.

$$\text{Rendimiento} = \frac{\text{bytes de datos} \times 100}{\text{bytes totales}}$$

$$\text{Rendimiento} = \frac{1\,024}{1\,024 + 5 + 10} \times 100 = \frac{1\,024}{1\,039} \times 100 = 98,56 \%$$

14. Dada una transmisión sincrónica de 1 024 Bytes, y si no consideramos la cabeza y la cola de dicha transmisión, determinar la disminución del rendimiento si se utiliza una transmisión asincrónica mediante un código que emplea 8 bits de datos, 1 de paridad, 1,5 de parada y 1 de arranque. Para ambos casos se emplea una velocidad de modulación de 1 200 Baudios. Indicar también el tiempo total de transmisión.

$$V_m = 1\,200 \text{ Baudios}$$

$$T = 1 / 1\,200 = 833,33 \mu\text{seg}$$

$$\text{Cantidad de bits} = 1\,024 \times 8 = 8\,192$$

$$T_{Tx} = 8\,192 \times 833,33 = 6,83 \text{ s}$$

$$\text{Overhead} = 1 \text{ bit de paridad} + 1 \text{ bit de arranque} + 1,5 \text{ bits de parada} = 3,5 \text{ bits}$$

$$\text{Total bits overhead} = 3,5 \times 1\,024 = 3\,584$$

$$T_{Total} = 6,83 \text{ s} + (3\,584 \times 833,33) = 9,82 \text{ s}$$

$$\text{Rendimiento} = \frac{\text{Bytes de datos} \times 100}{\text{Bytes totales}}$$

$$\text{Rendimiento} = \frac{8\,192}{8\,192 + 3\,584} \times 100 = \frac{8\,192}{11\,776} \times 100 = 69,57 \%$$

15. Calcular el tiempo total de transmisión de 5 500 caracteres enviados uno a continuación de otro en un sistema de transmisión asincrónica de 75 Baudios. El código utilizado es el Seudobaudot.

16. Calcular el rendimiento de transmisión asincrónica que utiliza un código que tiene 1 bit de arranque, 2 de parada, 1 de paridad y 8 de datos.

17. Calcular el rendimiento de una transmisión sincrónica cuando se envían bloques de datos de 1 024 Bytes y se utilizan 8 Bytes de cabecera y 8 Bytes de terminación.

18. Dado el siguiente mensaje 0011011110001010101110111 10111001, transmitido en forma sincrónica y a una velocidad de modulación de 2 400 Baudios, se requiere utilizar una transmisión multinivel para pasar a 28 800 bps.

Graficar las señales resultantes con transmisión multinivel y sin ella y calcular el tiempo total de transmisión en ambos casos.

19. Dada una transmisión sincrónica de 1 024 Bytes, y si no consideramos la cabeza y la cola de dicha transmisión, determinar la disminución del rendimiento si se utiliza una transmisión asincrónica mediante un código que emplea 7 bits de datos, 1 de paridad, 1,5 de parada y 1 de arranque. Para ambos casos se emplea una velocidad de modulación de 3 000 Baudios. Indicar también el tiempo total de transmisión.

20. En la interfaz digital estándar serie ETD-ETCD V.24/V.28, describa mediante un esquema el intercambio de señales que se efectúa para la transmisión y recepción de datos entre los extremos de un enlace: ETD origen y ETD destino.

Identifique las señales empleando las siglas DTR, DSR, RTS, CTS, TD, RD y DCD. Explique el significado de cada una.

21. Indicar las diferencias entre los enlaces balanceados o simétricos y los desbalanceados o asimétricos.

22. Indique como mínimo seis ejemplos de empleo de interfaces (o buses) digitales.

23. Indicar la relación que existe entre las Recomendaciones X.26, X.27, V.10 y V.11 de la UIT-T. ¿Determine cuál de ellas permite la mayor velocidad para una misma distancia?

24. En la Recomendación X.21 de la UIT-T:

¿Cómo se indica una llamada entrante y cómo una saliente?

¿Cómo se genera la liberación de llamada?

Indique qué tipo de transmisión se establece a través de ella.

25. Respecto a la Recomendación V.35 de la UIT-T:

Para dicha organización, ¿está en vigencia como tal o está derogada?

Tal como fue oportunamente redactada, ¿cuántas comunicaciones simultáneas se pueden transmitir?

¿Cuál es el uso que se le da a la misma y en qué tipo de equipos está instalada?

6.10 Temas a desarrollar por el lector

1. Investigue en su país cuáles son las tecnologías instaladas por las TELCO's que superan el Mbps en enlaces troncales y cuáles son los valores máximos ya instalados.
2. Analice y describa cuál es la diferencia entre la hora GMT y la hora UTC. ¿Cuáles son los husos horarios de su país y el de los países vecinos al suyo?
3. Hallar las velocidades de transmisión empleadas en las redes WiFi.
4. ¿Cuál es el ancho de banda máximo de servicio que se puede obtener en un acceso ADSL?
5. ¿Cómo se establece y luego se mantiene el sincronismo en una red LAN Ethernet?
6. En un enlace entre dos routers, ¿cómo se establece el sincronismo entre ellos?
7. ¿Qué diferencias existen en el rango de velocidades entre una línea digital sincrónica de fibra óptica y otra de cobre?
8. ¿Por qué la codificación Manchester usada en las redes LAN Ethernet permiten sincronizar las placas de red?

6.11 Contenido de la página Web de apoyo

El material marcado con asterisco (*) solo está disponible para docentes.



6.11.1 Mapa conceptual del capítulo

6.11.2 Autoevaluación

6.11.3 Presentaciones*

6.11.4 Ejercicios resueltos*

7

Modulación y digitalización de señales

Contenido

7.1 Introducción	510
7.2 Modulación	513
7.3 Modulación por onda continua.....	516
7.4 Equipos Módem.....	536
7.5 Módem banda base	569
7.6 Redes de acceso utilizando tecnologías xDSL	570
7.7 Cable Módem	583
7.8 Modulación por pulsos	597
7.9 Digitalización.....	602
7.10 Modulación digital de pulsos.....	619
7.11 Resumen.....	627
7.12 Ejercicios propuestos.....	627
7.13 Temas para desarrollar por el lector.....	628
7.14 Contenido de la página Web de apoyo.....	628

Objetivos

- Conocer las definiciones de modulación y demodulación por onda continua.
- Analizar los distintos tipos de equipos módem.
- Conocer las redes de acceso utilizando tecnologías xDSL.
- Reconocer las características principales del cable módem y la digitalización.
- Conocer los aspectos generales y la clasificación de la modulación por pulsos y la modulación digital de pulsos.

7.1 Introducción

7.1.1 Conceptos generales

Para la transmisión de información, las operaciones de modulación y digitalización son ejecutadas constantemente en las redes de transmisión, especialmente en las actuales circunstancias en que las redes suelen tener características digitales.

Muchos de los mensajes que es necesario transmitir luego de ser captados en las fuentes de la información tienen características digitales, como por ejemplo los que dan lugar a los servicios de comunicaciones de transmisión de datos. En esos casos, las señales deberán ser convertidas en señales analógicas para posibilitar su transmisión en razón a que segmentos de algunas redes, como los accesos a la **Red Telefónica Pública Conmutada - RTPC**, tienen tal carácter. Esta tarea se realiza a través de equipos denominados **módem** de datos.

En otros casos, se trata de transmitir señales analógicas, como son por ejemplo las que se generan cuando se deben prestar los servicios de comunicaciones de voz y vídeo por medio de redes digitales. En esos casos, las señales deberán ser previamente digitalizadas para posibilitar su transmisión en esas redes. Esta tarea se realiza a través de equipos denominados **códec**.

Cada uno de estos equipos, **códec** y **módem**, realizan respectivamente las operaciones de **digitalización** y de **modulación** con el objeto de convertir las señales de manera que las redes las puedan transmitir.

A su vez, cada una de estas operaciones tiene su inversa, que es realizada por los mismos equipos que han permitido las operaciones mencionadas. Estas se denominan **descodificación** y **demodulación**.

Los equipos **códec** y los equipos **módem**, aunque pareciera que realizan funciones parecidas, usan técnicas totalmente diferentes, aun en los casos en que ambos en algún momento transformen, por ejemplo, señales digitales en analógicas o viceversa.

7.1.2 Particularidades del proceso de modulación

La transmisión de señales requiere que estas, previamente a su introducción al canal de comunicaciones, estén adaptadas a sus características particulares. Si el canal es analógico y las señales en la fuente son digitales, será necesario adaptarlas para que este las pueda transmitir.

Precisamente, el proceso de **modulación** ejecutado a través de los equipos denominados **módem** permite realizar esta función.

La transmisión de señales en términos mucho más generales se puede hacer básicamente de dos maneras conocidas como por **onda portadora** y en **banda base**. En el primer caso una señal previamente generada al efecto es mezclada por medio del proceso de modulación con la señal en banda base, que es la señal original que entrega la fuente de información.

La función de modulación es usada para muchísimas otras aplicaciones, además de la que nos ocupa en este caso, en que se la requiere para la transmisión de señales digitales por canales analógicos.

Básicamente, en muchas oportunidades es necesario realizar un corrimiento de frecuencia de las señales en banda base a otras en que la transmisión sea posible o permita una utilización correcta del canal de comunicaciones.

Un ejemplo muy fácil de interpretar es la transmisión de señales de audiofrecuencia por medio de sistemas radioeléctricos, como podrían ser los de radiodifusión.

Las señales de audiofrecuencia que se utilizan para ser transmitidas por medios radioeléctricos tienen un ancho de banda en Hz, comprendido normalmente entre **300 < Δf < 4000** en

las emisoras de **modulación en amplitud**, o algo más extendido en las emisoras de **modulación en frecuencia** que transmiten con mayor calidad.

Cada una de estas emisoras tiene una frecuencia de transmisión dentro del espectro de frecuencias que las diferencia de las restantes. La modulación, en ese caso, tiene por finalidad el corrimiento del rango de frecuencias de la señal en banda base a transmitir a la frecuencia apropiada para poder realizar la transmisión, frecuencia que es dada precisamente por la onda portadora que se utiliza en el proceso de modulación.

En el proceso de modulación, como se podrá observar en la Fig. 7.1. y las explicaciones siguientes, intervienen tres señales que se denominan respectivamente:

- Señal portadora.
- Señal moduladora.
- Señal modulada.



El proceso de modulación se emplea para solucionar problemas de transmisión de información por los medios físicos de comunicación.

Al modulador ingresarán la portadora y la moduladora y su resultado será la señal modulada. Las características de la señal modulada serán las siguientes:

- La inteligencia que contiene es la proporcionada por la señal moduladora.
- Las características físicas son las que le proporciona la señal portadora.

Veamos dos casos prácticos. En los módem, la señal inteligente que entrega en forma digital el computador conectado a él estará contenida en la señal moduladora. Esta señal, la modulada, tendrá características analógicas, precisamente porque esas características físicas le son proporcionadas por la señal portadora.

En el otro caso de la estación de radiodifusión, las señales que llegan al modulador serán analógicas porque portadora y moduladora son analógicas. Pero la frecuencia de la señal modulada, resultado del proceso de modulación, tendrá la frecuencia que le proporciona la señal portadora, y esta corresponderá a la que debe operar la estación de radio con base en la licencia que posee.

7.1.3 Particularidades del proceso de digitalización

Históricamente, las redes de telecomunicaciones funcionaron en un principio utilizando señales analógicas para transmitir la información, en particular la voz, fenómeno que tiene precisamente esas características y que dio origen a la construcción de la **Red Telefónica Pública Comutada - RTPC**. Estas señales se enviaban como señales de corriente eléctrica, variando en forma continua en función del tiempo alguna magnitud física de ella, como por ejemplo la tensión que se mide en Volt.

La irrupción de la electrónica digital y los computadores en los sistemas de comunicaciones ha llevado a la migración de estos primitivos sistemas hacia los de tecnología digital. La tendencia a digitalizar las redes analógicas se fue acentuando por múltiples razones, y actualmente la totalidad de las redes transporte son totalmente digitales.

Es por ello que el problema más importante desde el punto de vista tecnológico que se presenta para encarar esta tarea es el de convertir las **señales analógicas en digitales** con la mayor eficiencia posible, máxime que la transmisión de servicios como la voz en la técnica de **comutación de paquetes** requiere que los métodos de digitalización sean mucho más eficientes que los usados normalmente en la red telefónica actual, que utiliza la técnica de **comutación de circuitos**. Un canal de voz en la Red Telefónica por Comutación de circuitos requiere un ancho de banda de 64 Kbps (canal B). Cuando este servicio utiliza comutación de paquetes, el ancho de banda que se requiere es variable y normalmente menor.

En particular, reviste especial importancia en el proceso de digitalización de la voz conservar inalterables las características de sus propiedades, fundamentalmente el **timbre** y el **tono** que posibilita reconocer en el aparato receptor la voz de la persona con la que se habla.

En el Capítulo 3, Fig. 3-5, se mostraba cómo el uso de equipos digitalizadores permitían que un abonado telefónico ingresara a una central digital por medio de un enlace de abonado. En estos casos las señales, como se expresó, se transportan en forma analógica hasta el borde de la zona de la red. Allí los equipos códec digitalizan las señales para que la red las transporte en forma digital.

Ellos se encargan de transformar la señal analógica generada en el equipo terminal telefónico en una señal digital codificada, según la técnica empleada, en caracteres de 7 u 8 bits por byte, y transforman la señal analógica en una señal digital con un ancho de banda de 56 o 64 kbps.

Las redes digitales permiten la transmisión de cualquier tipo de información mediante las aplicaciones que se derivan de las técnicas de pulsos con absoluta independencia del servicio que se brinda.

Hoy, las redes de transporte de cualquier empresa de servicios de telecomunicaciones son de características digitales. Además, hay una tendencia a que los servicios sean también digitales desde su misma fuente.

Un ejemplo es la telefonía que se conoce como VoIP - *Voice over Internet Protocol* (Voz sobre el Protocolo Internet). En ella, las señales son transmitidas como digitales desde los mismos equipos terminales que tienen características especiales. En ellos los códec están colocados en los mismos teléfonos.

La razón de esta evolución hacia procesos totales de digitalización se debe a las numerosas ventajas que ellos poseen sobre las redes analógicas. Entre ellas podríamos mencionar a modo de resumen:

- Mayor facilidad y simplicidad en el diseño de los circuitos.

El diseño de hardware digital está facilitado por el uso de los circuitos integrados que simplifican su diseño mediante la integración, en una única superficie de silicio convenientemente dopada, de elementos activos y pasivos, tales como transistores, resistencias y condensadores en espacios reducidos.

Estos circuitos realizan una cantidad muy importante de funciones. Uno de los casos más conocidos es el de los microprocesadores construidos usando estas técnicas.

- Menor costo del hardware necesario para la operación.

Los equipos basados en técnicas digitales, a diferencia de los usados en la mayoría de los equipamientos analógicos que empleaban desarrollos electromecánicos y al ser totalmente de características electrónicas, no tienen prácticamente partes en movimiento, lo que los hace más económicos tanto por los procedimientos de construcción como por la facilidad de su instalación.

- Integración de diferentes servicios (voz, datos, textos, imágenes, vídeo y radiodifusión de alta calidad, facsímil en color, imágenes médicas, etc.).

Inicialmente, estas técnicas digitales dieron paso a las denominadas **Redes Digitales de Servicios Integrados - RDSI**, que permiten la integración de todos los servicios en una única red. Estos desarrollos se han efectuado con anchos de banda reducidos (que se conocen como **Narrow - ISDN**), por lo que su éxito ha sido muy escaso.

Sin embargo, la integración de servicios se efectúa actualmente mediante otras técnicas como son las derivadas del uso de los mismos protocolos de la Red Internet. Incluso en los casos de requerimientos de grandes necesidades de anchos de banda se puede utilizar la denominada Red Internet II.

- Facilidad de mantenimiento.

El mantenimiento de los equipamientos digitales es mucho más simple. Las reparaciones

ciones son más fáciles de realizar dado que normalmente las mismas consisten en el recambio de subconjuntos y partes antes que en reparaciones de tipo artesanales.

- Mayor calidad de servicio a causa de:

- Calidad de servicio ajustable (tasa de errores).

Como se ha visto oportunamente en el Capítulo 2, los sistemas digitales usan técnicas de regeneración de señales que permiten mantener las tasas de errores por debajo de determinados valores deseados, y consecuentemente dichas tasas son mucho menores que en los sistemas analógicos.

- Fácil monitoreo de la red, y consecuentemente de detección de fallas.

Estas redes, como se ha visto en el Capítulo 4, permiten el uso de distintos sistemas informáticos de aplicación que posibilitan el control centralizado de la red. Ellos permiten su administración remota y, en caso de fallas, la ubicación exacta del lugar en que se ha producido el inconveniente. En muchos otros casos, permite inclusive obtener la solución de la falla producida desde los **Centros de Control de la Red**.

- Integración del equipamiento en las operaciones de conmutación y transmisión.
- Un ejemplo de ello son las técnicas denominadas ATM - *Asynchronous Transfer Mode* y SDH - *Synchronous Digital Hierarchy* (Jerarquía Digital Sincrónica) (ver Capítulo 7). Se refiere a las técnicas englobadas en la tecnología que se conoce como Comutación de Celdas y el denominado Modo de Transferencia Asincrónico. Este permite trabajar a altas velocidades de transmisión y conmutación en forma simultánea.
- Integración de la señalización dentro de la banda.

En particular, el uso del denominado Sistema de Señalización por Canal Común N° 7 - *SSC7*.

Con base en este sistema de señalización digital funcionan actualmente casi la totalidad de las redes telefónicas por conmutación de circuitos digitalizadas (ver apartado 4.11.6). Las normas que lo describen son la Q.700 y siguientes de la UIT - T.

- Posibilidad de contar con servicios criptográficos más seguros.

Los equipos criptográficos digitales brindan algoritmos de encriptación que permiten una variación en las claves usadas de valores que llegan hasta 22048 valores diferentes y aun más, obteniéndose tasas de seguridad muy elevadas.

Ellas hacen que las técnicas necesarias para lograr el desencriptado sean de muy alta complejidad e incluso en algunos casos son prácticamente imposibles de romper.

Dado que los servicios de telecomunicaciones se prestan actualmente transportando señales digitales, resultará particularmente importante estudiar cuál es el proceso que permite la digitalización de las señales analógicas, proceso que reviste la mayor importancia para permitir el tráfico telefónico, entre otros.

7.2 Modulación

7.2.1 Definición

Se denomina modulación:

A la operación mediante la cual ciertas características de una onda, denominada portadora, se modifican en función de otra onda, denominada moduladora, que contiene información, a los efectos de poder ser transmitida. La onda en condiciones de ser transmitida se denomina señal modulada.

La modulación es la operación mediante la cual ciertas características de una onda, denominada portadora, se modifican en función de otra onda, denominada moduladora, que contiene información, a los efectos de poder ser transmitida. La onda en condiciones de ser transmitida se denomina señal modulada.

La modificación debe hacerse de tal forma que la información no se altere en ninguna parte del proceso.

La Fig. 7.1. muestra el esquema de modulación y en él, además, se indica la notación que se usará para cada señal durante el resto del capítulo.

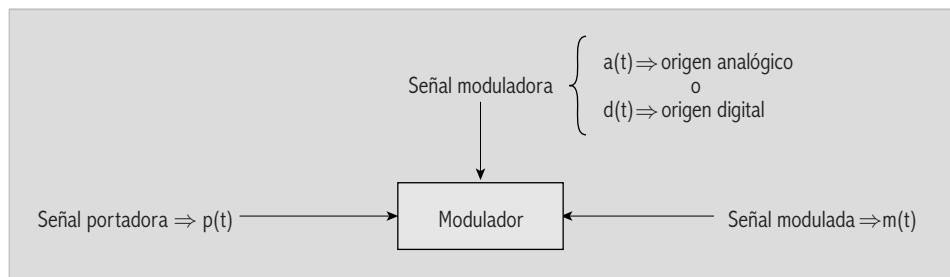


Fig. 7.1. Esquema del proceso de modulación

La señal moduladora que contiene la información puede tener características analógicas o digitales. En el caso de que el modulador sea parte de un equipo módem, la misma, por provenir de un computador, es digital.

El proceso inverso se denomina **demodulación**.

Luego entenderemos por demodulación:

A la operación mediante la cual la señal modulada, luego de ser transmitida por el medio de comunicaciones y recibida por el colector, es nuevamente procesada, recuperando la señal denominada moduladora que contiene información a los efectos de que esta sea entregada al equipo terminal que la usará.

La Fig. 7.2. muestra el esquema del proceso de demodulación.

Llamamos demodulación a la operación mediante la cual la señal modulada, luego de ser transmitida por el medio de comunicaciones y recibida por el colector, es nuevamente procesada, recuperando la señal denominada moduladora que contiene información a los efectos de que esta sea entregada al equipo terminal que la usará.

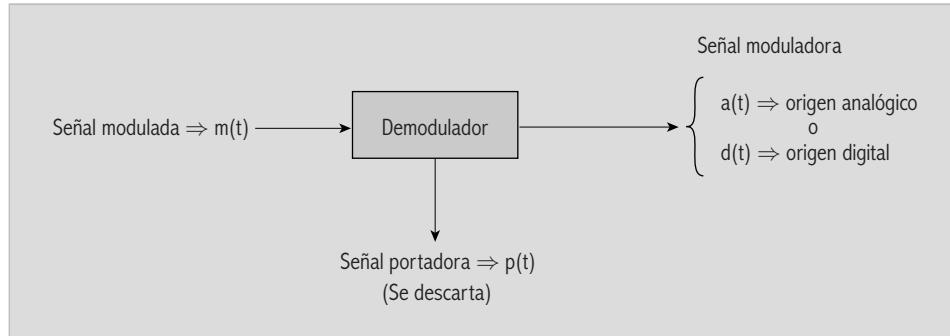


Fig. 7.2. Esquema del proceso de demodulación.

7.2.2 Clasificación de las técnicas de modulación

Según la portadora sea una señal del tipo analógico o del tipo digital, las diferentes formas de modulación pueden clasificarse en dos grandes grupos, como se puede observar en la Fig. 7.3. Debe tenerse presente, como se expresó en el apartado 7.1.2, que las características de esta señal le dan ese carácter de analógico o digital a la señal modulada.

- Modulación por onda continua.
- Modulación por pulsos.

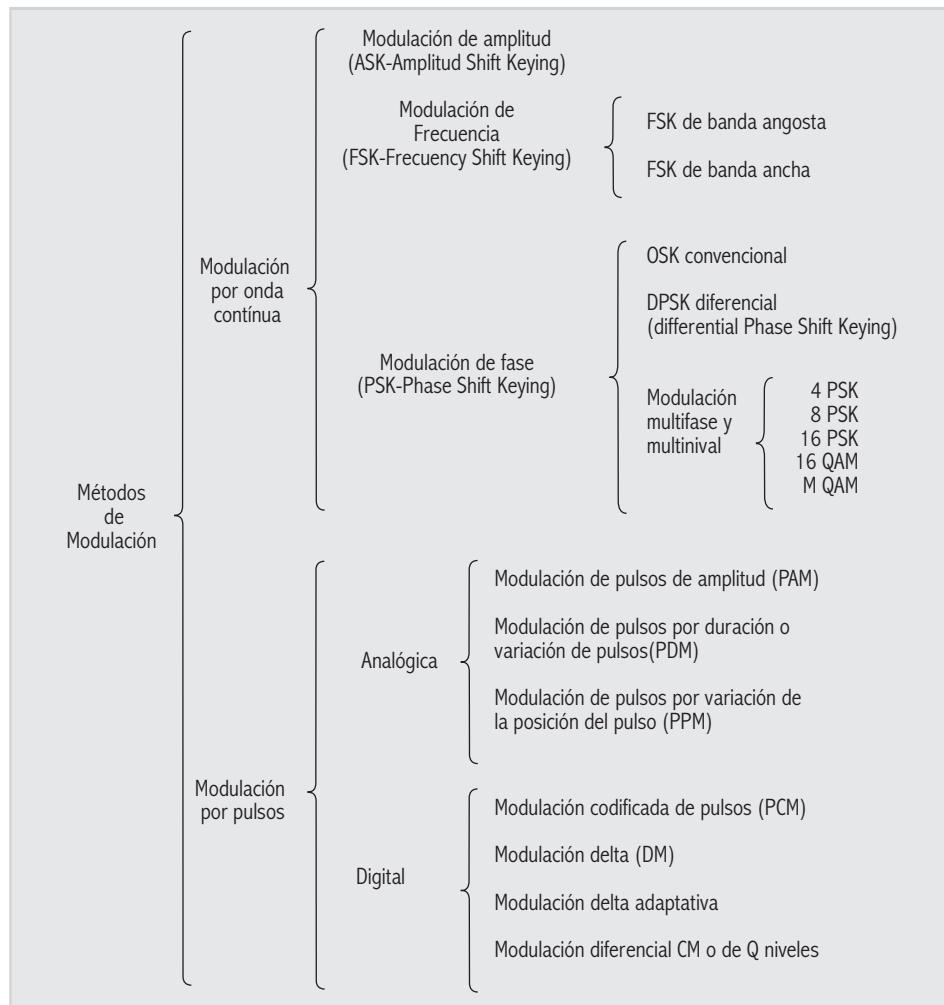


Fig. 7.3. Clasificación de los métodos de modulación.

Las causas por las cuales se requiere casi siempre un proceso de modulación pueden ser diversas.

Si fuera el caso de las señales de datos que se deben transmitir a través de medios físicos por medio de señales eléctricas (cable multipar, cable coaxial, fibra óptica, etc.), la modulación permite adaptar la forma de las señales que van a ser ingresadas al medio a la forma en que son tratadas por este, como es el caso del uso de módem. Como se expresó adapta las señales digitales para que puedan ser tratadas por el medio, que se comporta como analógico.

Cuando las transmisiones de datos son efectuadas en la modalidad de banda base, no son necesarios los procesos de modulación y demodulación. Sin embargo, para llevar a cabo estas transmisiones es necesario, en la mayoría de los casos, que la información sea modificada o procesada de alguna manera antes de ser transmitida a través del medio físico elegido.

Estos procesos se denominan codificación de las señales y se trata de adaptar las señales generadas por los equipos terminales de datos a códigos que permitan una mejor transmisión en los medios que se usen.

Si se trata de señales de radio, que se transmiten mediante ondas electromagnéticas a través del aire o el vacío, se busca que la frecuencia de la señal modulada sea tal que permita que la misma llegue desde el transmisor (planta transmisora de las radiodifusoras) hasta el receptor (ubicado en el lugar que se encuentra el oyente).

En el caso de las señales de radio comerciales moduladas en amplitud, conocidas en forma vulgar como Radioemisoras AM, se deben usar frecuencias comprendidas entre 540 y 1.600 kHz, y las razones de usar estas se deben a la distancia en que estas señales se propagan. Las distancias dependen de la potencia de salida puesta sobre la antena transmisora. Cuando esta es del orden de los 5 a 25 kW, la distancia oscila entre 300 y 600 km. Las distancias de propagación varían según las horas del día. Para el caso de las señales de radio comerciales moduladas en frecuencia, conocidas en forma vulgar como Radioemisoras FM, se deben usar frecuencias comprendidas entre 88 y 108 MHz, por razones son similares. En estos casos, se usan potencias mucho menores del orden del kilowatt y la distancia de propagación alcanza hasta los 30 o 40 km. La propagación es independiente de las horas del día, pero dependiente de la altura a la que está instalada la antena emisora.

Es decir, que debe existir una adaptación entre la señal moduladora que va a ser transmitida con la información y el canal de comunicaciones que se usará.

Las señales moduladoras pueden tener características analógicas o digitales.

En particular, en nuestro caso tendrán especial interés:

- Las señales digitales producidas por los computadores, que deben ser transmitidas por redes de comunicaciones de características analógicas.
- Las señales analógicas, como el caso de la voz o de señales de vídeo, que deben ser transmitidas por redes de comunicaciones de características digitales. En uno y otro caso se debe efectuar el proceso de adaptación ya señalado.

7.3 Modulación por onda continua

7.3.1 Introducción

Se denomina modulación por onda continua:

Al proceso por el cual una señal denominada portadora, cuya forma de onda es sinusoidal, modifica su amplitud, frecuencia o fase en función de la señal moduladora, la cual contiene la información a transmitir.

La portadora tendrá la forma indicada en el apartado 2.4.2, es decir, que su ecuación estará dada por la expresión (2 - 3) / (7 - 1):

$$p(t) = P \operatorname{sen} (\omega_p t + \Theta_p) \quad (2 - 3) / (7 - 1)$$

Llamamos modulación por onda continua al proceso por el cual una señal denominada portadora, cuya forma de onda es sinusoidal, modifica su amplitud, frecuencia o fase en función de la señal moduladora, la cual contiene la información a transmitir.

Donde se puede observar que en dicha función existen tres parámetros que pueden ser variados, según se observa en la Fig. 7.4.

De acuerdo con el parámetro que se modifique, tendremos tres tipos diferentes de modulación:

- Modulación de amplitud
- Modulación de frecuencia
- Modulación de fase

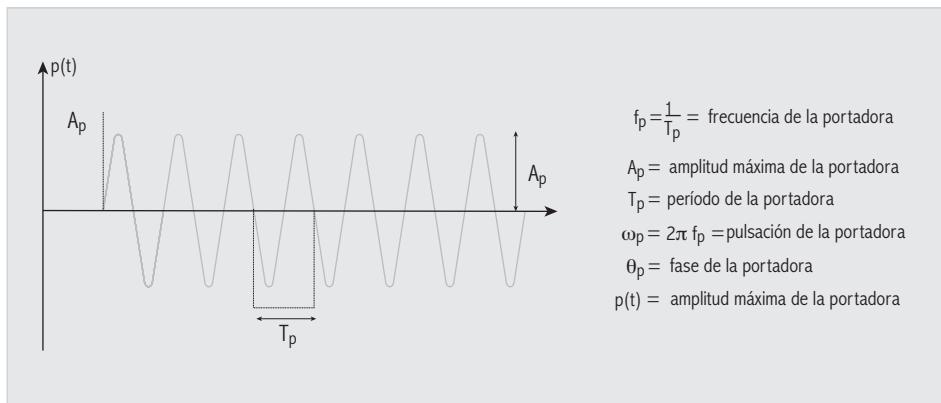


Fig. 7.4. Forma de onda de una portadora sinusoidal.

7.3.2 Modulación de amplitud

7.3.2.1 Definición

Se denomina modulación de amplitud (*amplitude modulation*) a:

Aquella en que el parámetro de la señal senoidal de la portadora que se hace variar es la amplitud.

Cuando la señal moduladora es de origen digital, la modulación de la portadora está representada por corrientes de amplitudes distintas. Este tipo de modulación, que es conocida como modulación AM, fue la primera técnica de modulación que se implantó en la práctica.

En el caso de que la portadora sea modulada por una señal modulante que tiene valores discretos (digital), se denomina **modulación por desplazamiento de la amplitud - ASK** (*Amplitude Shift Keying*). Actualmente, si bien no se usa con exclusividad en los sistemas de transmisión de datos, se continúa empleando en radiocomunicaciones y sistemas de telefonía.

Existen dos tipos de modulación de amplitud:

- Por variación del nivel de la onda portadora.
- Por supresión de onda portadora.

7.3.2.2 Variación del nivel de la onda portadora

En este caso cabría diferenciar si la moduladora es una señal analógica o una digital. Si la información que se va a transmitir es una señal analógica del tipo:

$$a(t) = A \operatorname{sen} (\omega_a t + \Theta_a) \quad (7-2)$$

Donde:

$\omega_a \ll \omega_p$ para que podamos hablar de una envolvente de modulación.

En la Fig. 7.5. se puede observar la señal moduladora y la señal portadora, antes y después de ser modulada en amplitud.

La modulación de amplitud es aquella en que el parámetro de la señal senoidal de la portadora que se hace variar es la amplitud.

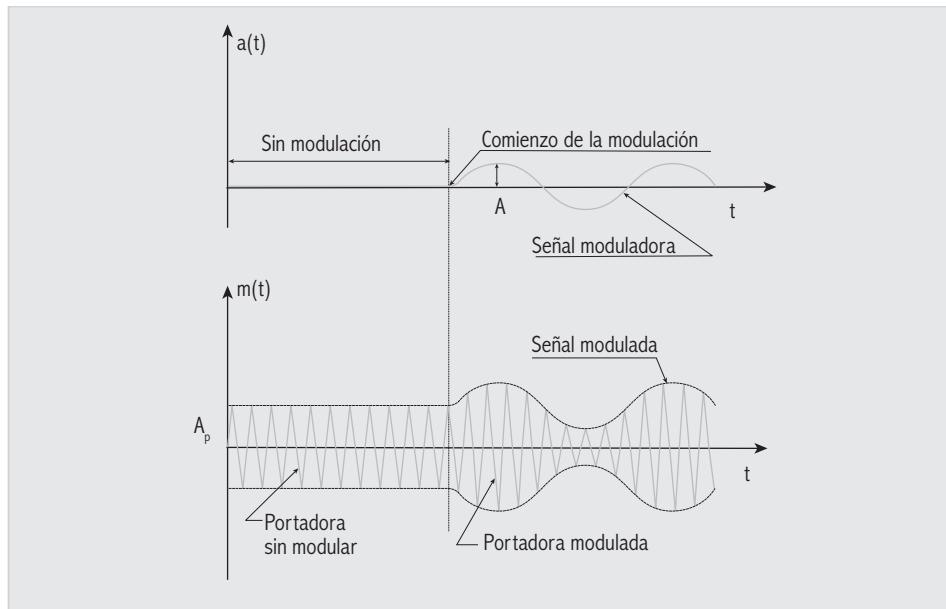


Fig. 7.5. Modulación de amplitud utilizando como moduladora una señal analógica.

Si la información que se va a transmitir es una señal digital del tipo bipolar, como la que podría producir un computador, la Fig. 7.6. nos muestra cómo se modificará la señal portadora, antes y después de ser modulada. En los dos casos descriptos, puede observarse que tanto la frecuencia como la fase de la señal quedan constantes antes y después de ser moduladas.

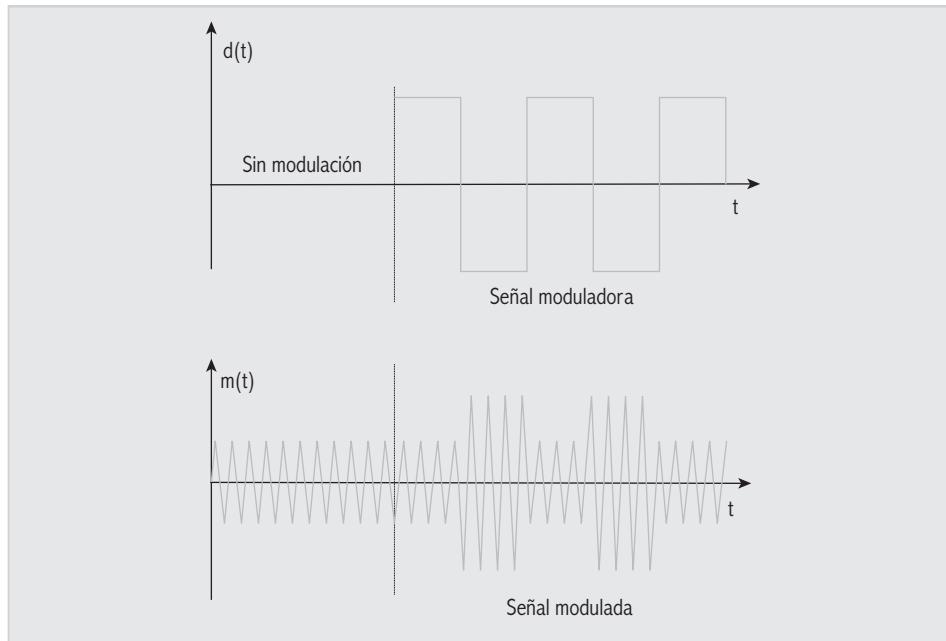


Fig. 7.6. Modulación de amplitud utilizando como moduladora una señal digital.

7.3.2.3 Por supresión de la onda portadora

Este caso es el que se usa en sistemas telegráficos, donde los valores de la señal modulada varían entre un valor de amplitud A para la transmisión del dígito 1 y la directa supresión de la portadora para la transmisión del dígito 0.

La Fig. 7.7. muestra un ejemplo de dicho método de modulación de amplitud.

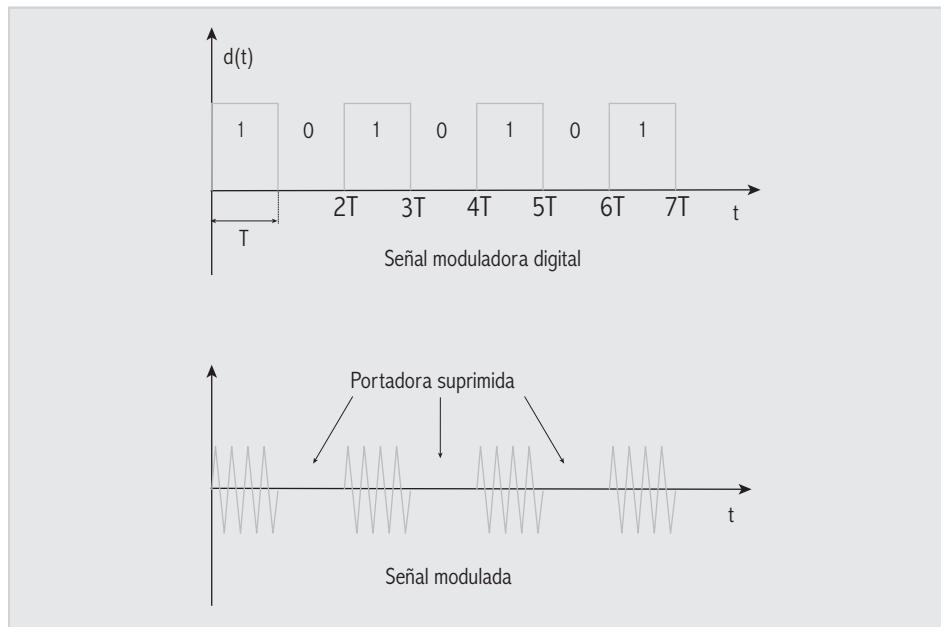


Fig. 7.7. Modulación de amplitud por supresión de la onda portadora.

7.3.2.4 Proceso de un modulador en amplitud

Si se denomina $d(t)$ a la secuencia de ceros y unos que constituyen la señal moduladora, dicha función quedaría representada por las proposiciones de la expresión (7 - 3):

$$d(t) = \begin{cases} 1 & \text{cuando } 0 < t < T \\ 0 & \text{cuando } T < t < 2T \end{cases} \quad (7-3)$$

Y, recordando la expresión (7 - 1) de la función de la onda portadora, tendremos, si mezclamos ambas señales, la siguiente expresión (7 - 4):

$$p(t) = P d(t) \operatorname{sen} (\omega_p t + \Theta_p) \quad (7-4)$$

Y recordando que $\omega_p = 2\pi f_p$;

La expresión (7 - 4) resultará:

$$p(t) = P d(t) \operatorname{sen} (2\pi f_p t + \Theta_p) \quad (7-5)$$

Donde:

f_p = frecuencia de la onda portadora.

La Fig. 7.8. nos muestra el esquema de un modulador AM, donde la función del filtro de salida es reducir el efecto de las frecuencias armónicas indeseables y conformar la señal de salida.

Para los casos descriptos, se puede observar que en la modulación de amplitud existe un desplazamiento de frecuencias del espectro de la señal moduladora original, el cual reaparece desplazado hacia las frecuencias más altas.

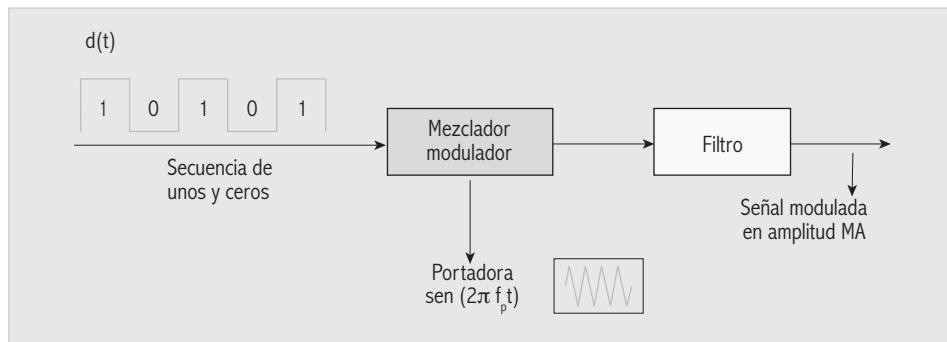


Fig. 7.8. Esquema de un modulador AM.

En la Fig. 7.9. se pueden observar los dos espectros de la señal moduladora y de la señal modulada.

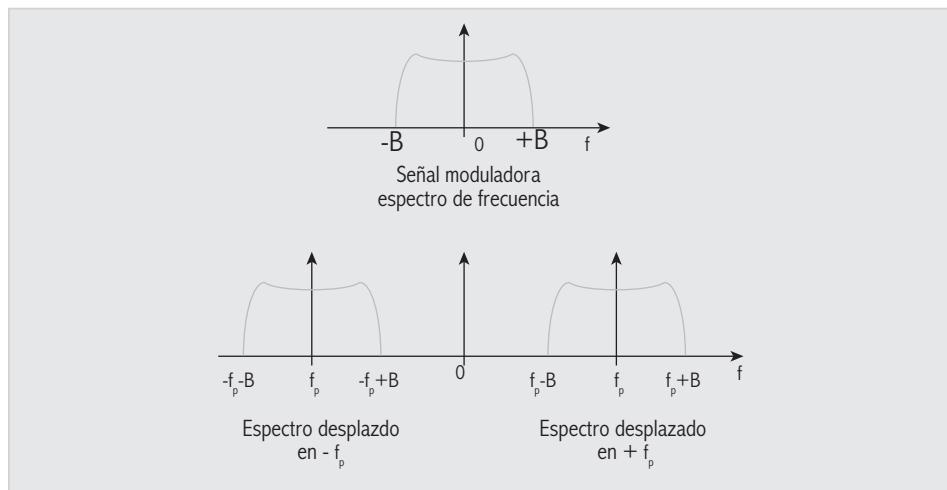


Fig. 7.9. Espectro de la señal moduladora y de la señal modulada.

7.3.2.5 Fundamentos teóricos del proceso de modulación en AM

Para comprender dicho proceso, repasemos previamente algunos conceptos referidos a la representación de una función $f(t)$ mediante la serie de Fourier, oportunamente descripta en el apartado 3.2.2.5 del Capítulo 3.

- La representación de la función $f(t)$ en el dominio de la frecuencia se obtiene mediante la representación de la función $f(t)$ en serie de Fourier, expresión (3 - 16) del Capítulo 3, como suma de funciones exponenciales.

$$f(t) = \frac{1}{T} \sum_{n=0}^{n=\infty} C_n e^{i\omega nt} \quad (2 - 45) / (7 - 6)$$

Donde

$$C_n = \int_{-T/2}^{T/2} f(t) e^{-i\omega nt} dt \quad (2 - 46) / (7 - 7)$$

C_n = es el coeficiente de cada término de la serie de Fourier. Su valor es, generalmente, un número complejo.

La representación de la función en el dominio del tiempo especifica su valor en cada instante del mismo, mientras que la representación en el dominio de la frecuencia permite conocer las amplitudes relativas de ella en función de la frecuencia.

La función en el dominio de la frecuencia se denomina Transformada de Fourier $F(\omega)$ de la función $f(t)$.

La función $F(\omega)$ es compleja y se necesitan dos diagramas para poder representarla en forma completa.

$|F(\omega)|$: diagrama de magnitud o módulo

$\Theta(\omega)$: diagrama de fase

Se denomina Antitransformada de Fourier a la operación inversa, que permite pasar del dominio de la frecuencia al dominio del tiempo (expresión 4 - 8).

$$f(t) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} F(\omega) e^{i\omega t} d\omega \quad (7 - 8)$$

En la Fig. 7.10. se puede observar a la función $f(t)$ y su transformada.

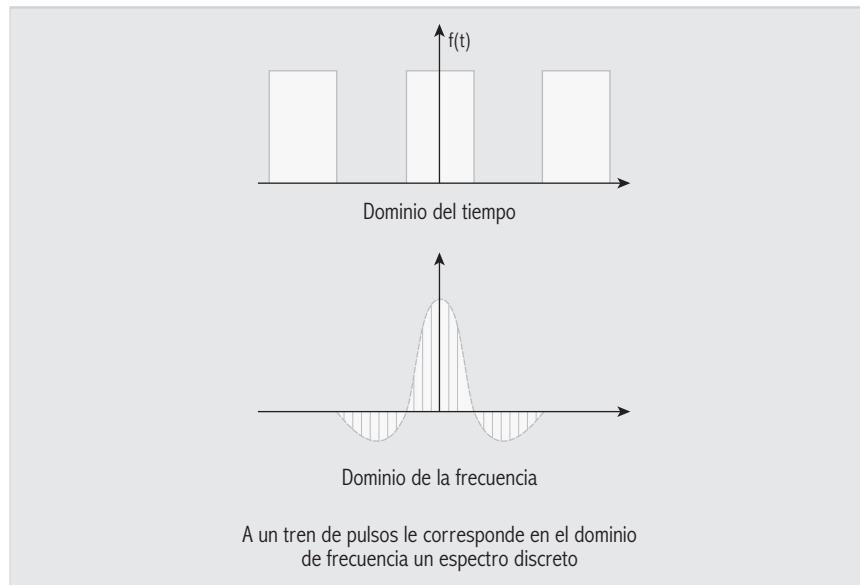


Fig. 7.10. Función $f(t)$ y su transformada de Fourier.

- Teorema de la traslación de frecuencia.

Un desplazamiento de la frecuencia original de la señal $f(t)$ en un valor ω_0 , equivale, en el dominio del tiempo, a multiplicar dicha señal por el factor $e^{i\omega_0 t}$.

La multiplicación de dicha señal por este factor $e^{i\omega_0 t}$ traslada todo el espectro de frecuencias original $F(\omega)$ correspondiente a la señal $f(t)$ en un valor ω_0 .

$$f(t) \cdot e^{i\omega_0 t} \Leftrightarrow F(\omega - \omega_0) \quad (7-9)$$

Aplicando la expresión de la transformada de Fourier:

$$F[f(t) \cdot e^{i\omega_0 t}] = \int_{-\infty}^{\infty} f(t) e^{-i\omega t} \cdot e^{i\omega_0 t} dt \quad (7-10)$$

$$= \int_{-\infty}^{\infty} f(t) \cdot e^{-i(\omega - \omega_0)t} dt \quad (7-11)$$

$$= F(\omega - \omega_0) \quad (7-12)$$

- Teorema de la modulación.

Dado que se puede expresar una señal sinusoidal como suma de exponentiales, la multiplicación de la señal portadora $p(t)$ por una señal sinusoidal (moduladora) $a(t)$, trasladará todo el espectro de frecuencias:

Siendo la señal moduladora, para $A = 1$:

$$a(t) = \operatorname{sen} \omega_a t = \frac{e^{i\omega_a t} - e^{-i\omega_a t}}{2i} \quad (7-13)$$

$$p(t) \cdot \operatorname{sen} \omega_a t = \frac{1}{2i} \cdot [p(t) e^{i\omega_a t} - p(t) e^{-i\omega_a t}] \quad (7-14)$$

El producto de la señal portadora por el de la señal moduladora resultará, aplicando el teorema de traslación de frecuencia, la densidad espectral a la función $f(t)$,

$$F(\omega) = \frac{1}{2} \cdot F(\omega_a - \omega_p) - F(\omega_p + \omega_a) \quad (7-15)$$

Es así como el proceso de modulación traslada el espectro de frecuencias de la señal moduladora (ω_a) hacia frecuencias mayores, como es el caso de la frecuencia de la portadora (ω_p).

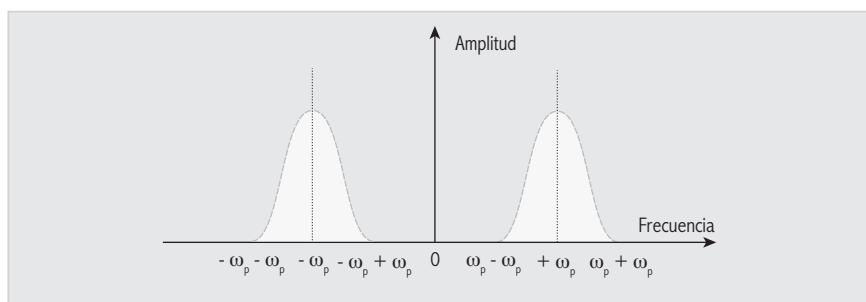


Fig. 7.11. Proceso de modulación. Distribución de frecuencia.

En la Fig. 7.11. se puede observar la distribución de frecuencias. Las frecuencias negativas no tienen existencia real, solo matemáticas.

A la expresión (7 - 15) se la conoce como teorema de la modulación. La modulación de amplitud puede ser considerada como el proceso de trasladar la gama de frecuencias de la señal moduladora a una zona de frecuencias más altas, que están determinadas por la frecuencia de la señal de la portadora.



La modulación de frecuencia es menos afectada por el ruido que la modulación de amplitud.

7.3.3 Modulación de frecuencia

7.3.3.1 Definición

Se denomina modulación de frecuencia (*Frequency Modulation*) a:

Aquella en la cual el parámetro de la señal senoidal de la portadora, que se hace variar según la señal moduladora que contiene la inteligencia a transportar, es la frecuencia.

Cuando la señal moduladora es de origen analógico, la señal modulada varía su frecuencia dentro de valores continuos. Cuando, por el contrario, la señal moduladora es de origen digital, la señal modulada tomará un número discreto de valores de la frecuencia, iguales al número de valores que corresponden a la señal moduladora.

En la Fig. 7.12. se puede observar una señal moduladora de origen analógico (señal a) y las diferencias existentes entre la modulación de amplitud (señal b) y la modulación de frecuencia (señal c).



La modulación de frecuencia es aquella en la cual el parámetro de la señal senoidal de la portadora, que se hace variar según la señal moduladora que contiene la inteligencia a transportar, es la frecuencia..

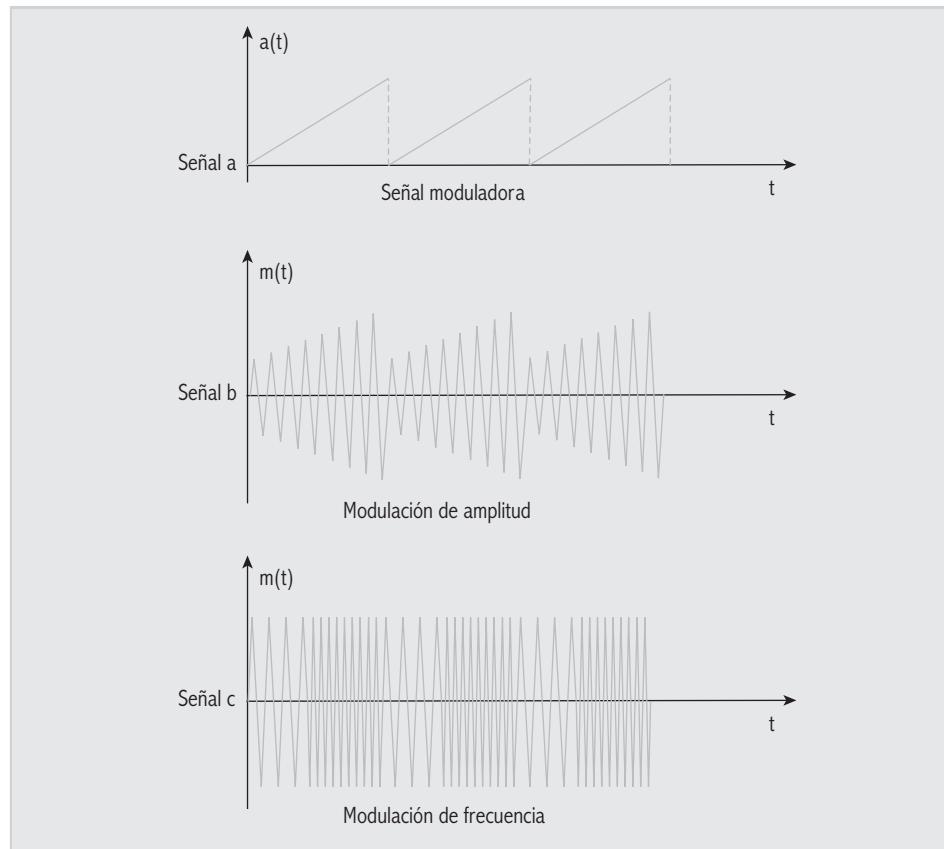


Fig. 7.12. Modulación de amplitud y modulación de frecuencia. Señal moduladora de origen analógico.

En la Fig. 7.13., se puede observar una señal moduladora de origen digital (señal a) y las diferencias existentes entre la modulación de amplitud (señal b) y la modulación de frecuencia (señal c).

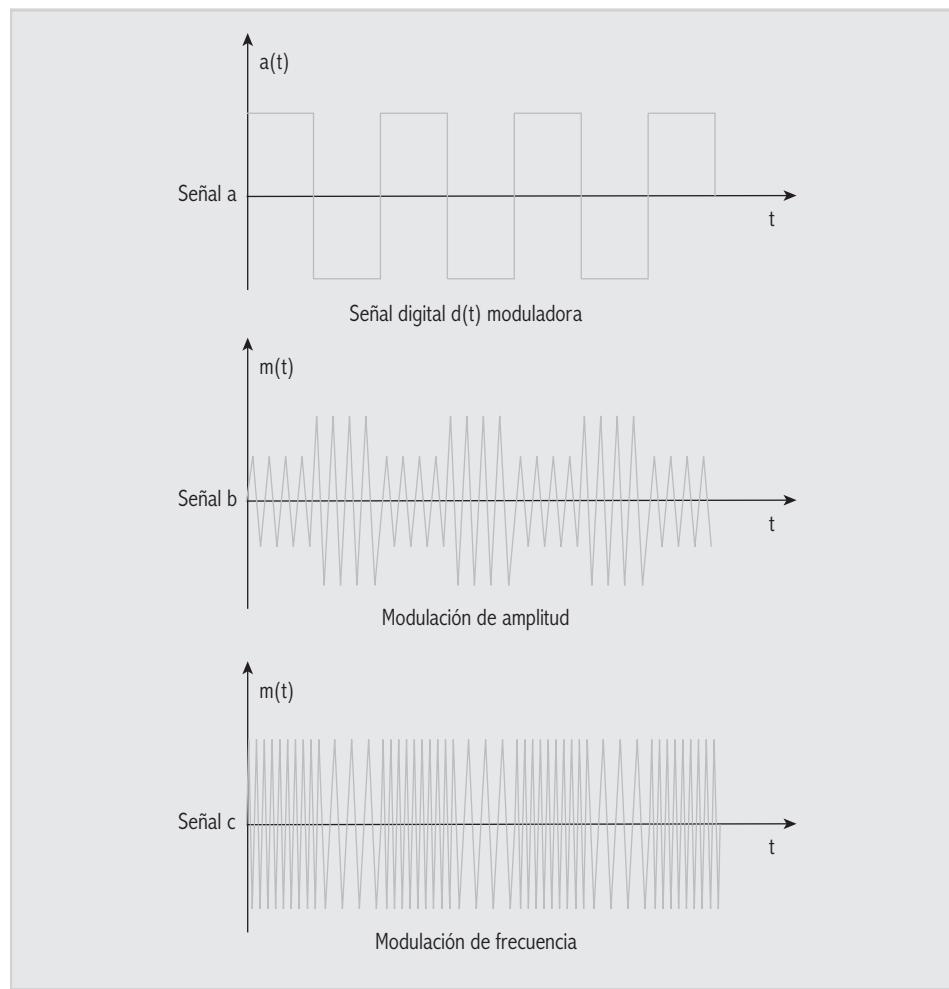


Fig. 7.13. Modulación de amplitud y modulación de frecuencia.
Señal moduladora de origen digital.

Este tipo de modulación, que es conocida como modulación FSK - *Frequency Shift Keying*, fue la primera técnica de modulación que se implantó en la práctica para modular señales digitales de datos (mediante normas internacionales).

Actualmente, si bien no se usa con exclusividad en los sistemas de transmisión de datos, se continúa empleando en radiocomunicaciones (en especial, debido a su calidad, en las estaciones de radiodifusión pública).

Existen dos tipos de modulación de frecuencia:

- Modulación de frecuencia de banda angosta.
- Modulación de frecuencia de banda ancha.

7.3.3.2 Fundamentos teóricos del proceso de modulación en frecuencia

La frecuencia f y la pulsación ω , difieren a menos de una constante 2π , por lo cual citar a una o a la otra es equivalente (expresión 3 - 4 del Capítulo 3).

Es así como podremos expresar que la frecuencia f , en una señal modulada en frecuencia, resulta diferente a cada instante, por lo cual la señal modulada $m(t)$ no puede representarse mediante una expresión sinusoidal ordinaria del tipo conocido: $f(t) = A \operatorname{sen} \pi t$.

Definiremos, por lo tanto, una función sinusoidal generalizada de la siguiente forma:

$$f(t) = A \operatorname{sen} \theta(t). \quad (7 - 16)$$

Donde la fase θ varía en función del tiempo.

Definiremos, además, como frecuencia instantánea ω_i a la expresión siguiente:

$$\omega_i = \frac{d\theta}{dt} \quad (7 - 17)$$

De esta forma, podremos establecer una relación entre la frecuencia instantánea y la fase $\theta(t)$.

Despejando $\theta(t)$ de la expresión 7 - 17, tendremos:

$$\theta(t) = \int \omega_i dt \quad (7 - 18)$$

Se puede observar que es posible modular una señal armónica mediante una portadora que contenga información, haciendo variar el ángulo $\theta(t)$.

Precisamente, se denomina modulación angular a la técnica que permite hacer variar el ángulo de la portadora con una señal moduladora.

Tiene dos formas fundamentales: la modulación de frecuencia FM y la denominada modulación de fase PM.

Veamos, si el ángulo $\theta(t)$ varía linealmente con una señal modulante $a(t)$, resulta:

$$\theta(t) = \theta_0 + k a(t) \quad (7 - 19)$$

Si ahora mezclamos la señal portadora, $\theta_p t$ con la modulante de la expresión (7 - 19), tenemos:

$$\theta(t) = \omega_p t + \theta_0 + k a(t) \quad (7 - 20)$$

Calculemos la frecuencia instantánea (expresión 7 - 17). La misma estará dada por:

$$\omega_i = \frac{d\theta(t)}{dt} = \frac{d(\omega_p t + \theta_0 + k a(t))}{dt} \quad (7 - 21)$$

Operando:

$$\omega_i = \omega_p + k \frac{d a(t)}{dt} \quad (7 - 22)$$

De la expresión (7 - 22) se puede observar que la frecuencia instantánea varía linealmente con la derivada de la señal moduladora.

Si la señal moduladora fuese una onda sinusoidal:

$$a(t) = A \operatorname{sen} \omega_a t \quad (7 - 23)$$

Reemplazando $a(t)$ en la expresión (7 - 22) tendremos:

$$\omega_i = \omega_p + k \omega_a A \cos \omega_a t \quad (7 - 24)$$

Si hacemos:

$$k \omega_a A = \Delta\omega \quad (\text{Desviación de frecuencia}) \quad (7 - 25)$$

La expresión (7 - 24) quedará de la siguiente forma:

$$\omega_i = \omega_p + \Delta\omega \cos \omega_a t \quad (7 - 26)$$

$\Delta\omega$ es un parámetro que depende de la amplitud A de la señal modulante, de la frecuencia ω_a y del circuito que convierte las variaciones de amplitud de la señal moduladora. La desviación de frecuencia nos indica en qué medida varía la frecuencia instantánea de la señal transmitida respecto de la portadora f_p .

Si integramos la expresión (7 - 26), recordando la expresión (7 - 18), obtendremos la función $\theta(t)$:

$$\theta(t) = \int \omega_p dt + \int \Delta\omega \cos \omega_a t dt \quad (7 - 27)$$

$$\theta(t) = \omega_p t + \frac{\Delta\omega}{\omega_a} \operatorname{sen} \omega_a t + \theta_0 \quad (7 - 28)$$

Eligiendo como origen de fases $\theta_0 = 0$, la expresión (7 - 28) quedará:

$$\theta(t) = \omega_p t + \frac{\Delta\omega}{\omega_a} \operatorname{sen} \omega_a t \quad (7 - 29)$$

Si denominamos índice de modulación "B" a la expresión:

$$\beta = \frac{\Delta\omega}{\omega_a} = A k \quad (7 - 30)$$

El índice de modulación es la razón entre la desviación de frecuencia y la frecuencia de la señal moduladora.

La expresión (7 - 29) quedará:

$$\theta(t) = \omega_p t + \beta \operatorname{sen} \omega_a t \quad (7 - 31)$$

Finalmente, reemplazando la expresión (7 - 31) en la (7 - 1), y teniendo en cuenta la expresión sinusoidal generalizada (7 - 16), obtendremos la ecuación de la onda modulada en fase.

$$m(t) = P \operatorname{sen} (\omega_p t + \beta \operatorname{sen} \omega_a t) \quad (7 - 32)$$

En consecuencia, la máxima desviación de fase de la onda modulada estará dada precisamente por el índice de modulación.

Se puede observar que al aumentar la amplitud de la señal moduladora se incrementa la desviación de frecuencia o, lo que es lo mismo, el índice de modulación.

Esto ocasiona el incremento del ancho de banda y de la señal modulada en frecuencia.

Asimismo, hemos visto que en el caso de la modulación de amplitud interesan las variaciones de la amplitud de la señal modulada.

En cambio, en el caso de la modulación de frecuencia - MF, la amplitud de la onda modulada se mantiene constante mientras que su fase y, por consiguiente, la frecuencia instantánea, varían con la señal moduladora.

Si se tiene una señal binaria $d(t)$, la expresión de una onda modulada en frecuencia (FSK) es la siguiente:

$$m(t) = P \cos [2p(f_p + d(t)\Delta f)t] \quad (7-33)$$

Donde:

f_p = frecuencia central de la portadora.

$d(t)$ = señal digital de banda base de 2 niveles.

Δf = desviación de frecuencia.

7.3.3.3 Caso práctico de modulación en frecuencia de una señal digital

Con fines didácticos y para comprender este tipo de modulación, podemos señalar el caso de los antiguos equipos módem que seguían las recomendaciones de la Unión Internacional de Telecomunicaciones, en las normas V.21 y V.22, y utilizaban este tipo de modulación.

Los casos más comunes eran los que utilizaban las frecuencias de 1.080 y 1.750 Hz para las portadoras, con desviaciones de 100 Hz hacia ambos extremos de la misma, es decir:

$$\begin{array}{c} 1080 \text{ Hz} \\ \left[\begin{array}{c} 980 \text{ Hz} \\ 1.180 \text{ Hz} \end{array} \right] \qquad \qquad \qquad \begin{array}{c} 1780 \text{ Hz} \\ \left[\begin{array}{c} 1.650 \text{ Hz} \\ 1.850 \text{ Hz} \end{array} \right] \end{array} \end{array}$$

En la Fig. 7.14. se puede observar el efecto que produce la señal binaria sobre la portadora, produciendo la modulación en frecuencia ya detallada.

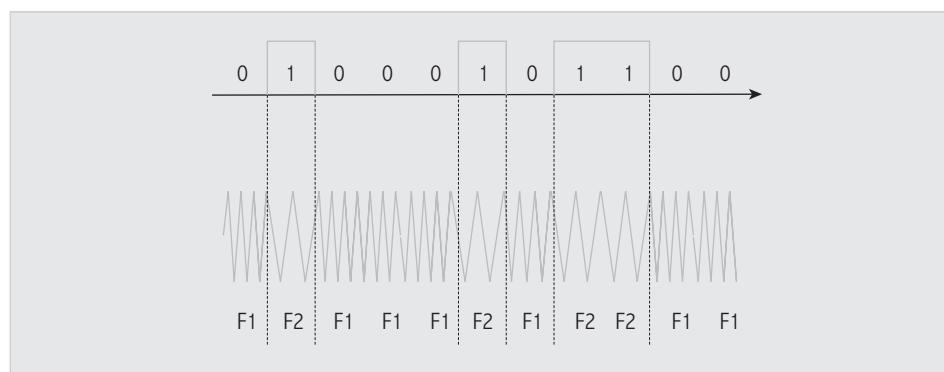


Fig. 7.14. Modulación de frecuencia utilizando como moduladora una señal binaria.

7.3.3.4 Modulación de frecuencia de banda angosta

Si el índice de modulación es pequeño, es decir que $\beta < 2/\pi$, se tiene una señal de modulación de frecuencia de banda angosta y su espectro será el indicado en la Fig. 7.15.

Si se compara este espectro con el de modulación en amplitud, se observa que la diferencia más significativa entre ambas surge del hecho de que en el caso de la modulación de frecuencia las bandas laterales están en cuadratura de fase con respecto a la portadora.

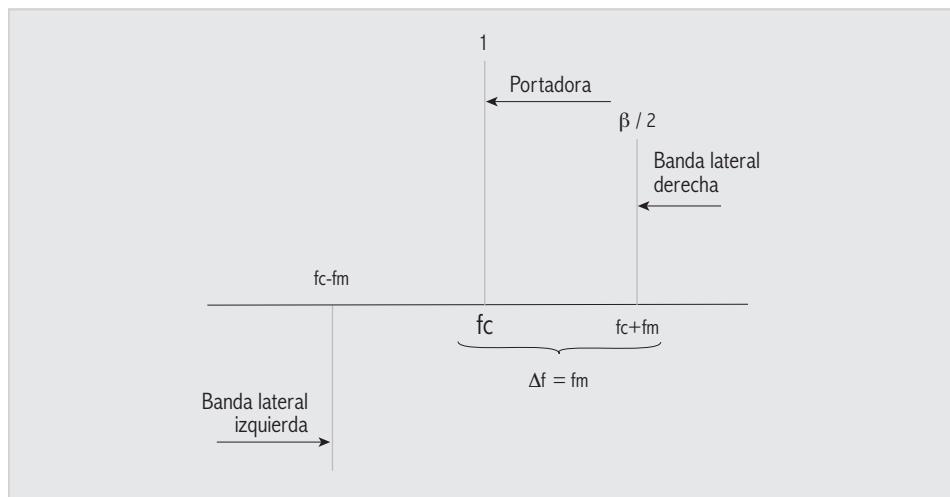


Fig. 7.15. Modulación de frecuencia para modulación FSK.

El ancho de banda de la modulación de frecuencia de banda angosta, como el de la modulación de amplitud, es $2f_m$, siendo f_m la máxima componente de frecuencia de la señal modulante.

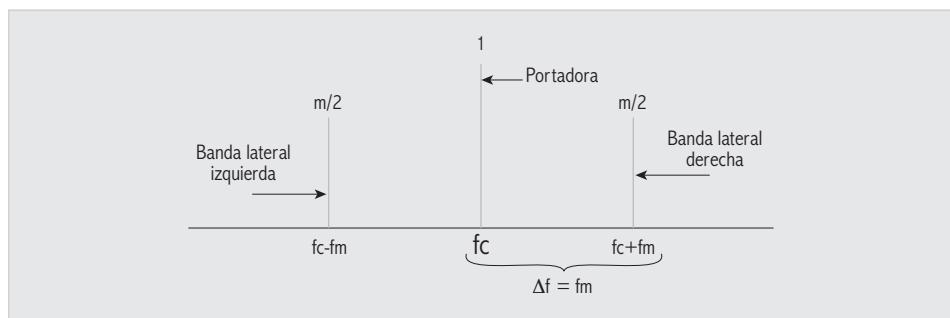


Fig. 7.16. Espectro de frecuencia para modulación ASK.

La Fig. 7.16. muestra el espectro de frecuencia para una señal modulada en banda angosta.

7.3.3.5 Modulación de banda ancha

Las ventajas de la modulación FSK sobre el método ASK se hacen importantes cuando β es grande, es decir, $\beta > \pi/2$. Con esta condición se aumenta la protección contra el ruido e interferencias, buscando una *performance* muy superior a la modulación de amplitud.

El costo que se debe pagar es un mayor ancho de banda.

En la Fig. 7.17., se puede observar el incremento del ancho de banda de una señal modulada en FSK cuando se varía el ancho de banda de la señal moduladora, para el caso de que la señal modulante sea una onda sinusoidal.

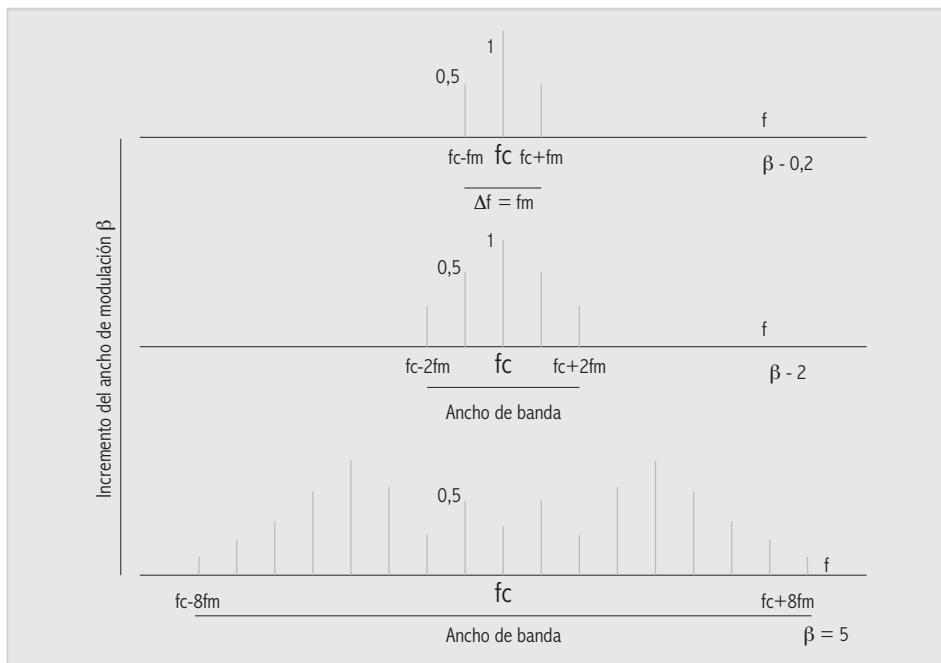


Fig. 7.17. Espectro de una señal modulada en frecuencia de banda ancha para distintos valores de β .

En la mencionada figura se detallan los espectros de una señal modulada en frecuencia para diferentes valores de β .

7.3.4 Modulación de fase

7.3.4.1 Definición

Se denomina modulación de fase a:

Aquella en la cual el parámetro de la señal senoidal de la portadora que se hace variar es la fase. La amplitud y la frecuencia de la portadora permanecen constantes.

Este tipo de modulación, que es conocida genéricamente como modulación de fase *Phase Modulation* - PM, es en la actualidad el método más usado para modular señales digitales mediante el uso de equipos módem de datos. En este último caso se la denomina por su expresión en inglés PSK - *Phase Shift Keying*.

Existen dos alternativas para este tipo de modulación:

- PSK convencional.

Las variaciones de fase se refieren a la fase de la portadora sin modular.

- PSK diferencial.

Las variaciones de fase se refieren a la fase de la portadora del estado inmediatamente anterior al considerado.



La modulación de fase es Aquella en la cual el parámetro de la señal senoidal de la portadora que se hace variar es la fase. La amplitud y la frecuencia de la portadora permanecen constantes..

7.3.4.2 Fundamentos teóricos del proceso de modulación de fase (PM)

En la Fig. 7.18., se pueden observar las discontinuidades de fase que aparecen al comienzo y al final de cada intervalo T , cuando hay transiciones de 0 a 1 o de 1 a 0 producidas por una señal moduladora digital.

Donde $d(t)$ es una señal binaria de período T que toma valores entre +1 y -1.

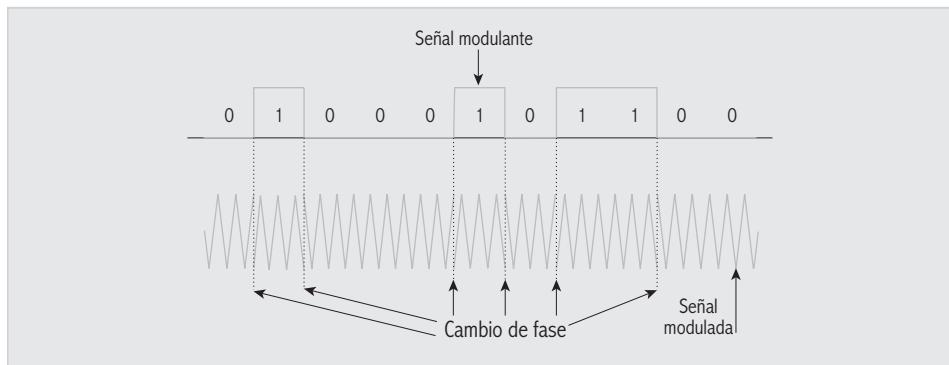


Fig. 7.18. Señal modulante en fase por una señal modulante digital.

La modulación PSK está caracterizada por la siguiente ecuación:

$$m(t) = d(t) P \cos \omega_p t \quad (7-34)$$

Donde: $\omega_p = 2\pi f_p$

Y para: $d(t) = 1 \quad \text{resulta}$

$$m(t) = P \cos \omega_p t \quad (7-35)$$

Y para: $d(t) = -1 \quad \text{resulta}$

$$m(t) = -P \cos \omega_p t = P \cos (\omega_p t + \pi) \quad (7-36)$$

Se puede observar que entre las expresiones (7-35) y (7-36) existe una diferencia de fase de 180° . En este caso, como la señal solo variará entre dos fases, se denomina 2 PSK.

Un sistema modulador que opera en 2 PSK se puede comparar con una llave electrónica que, controlada por la señal de datos (binaria), commuta entre la portadora y su versión invertida (desfasada 180°). En la Fig. 7.19. se representan vectorialmente las sucesivas posiciones que ocupa la portadora:

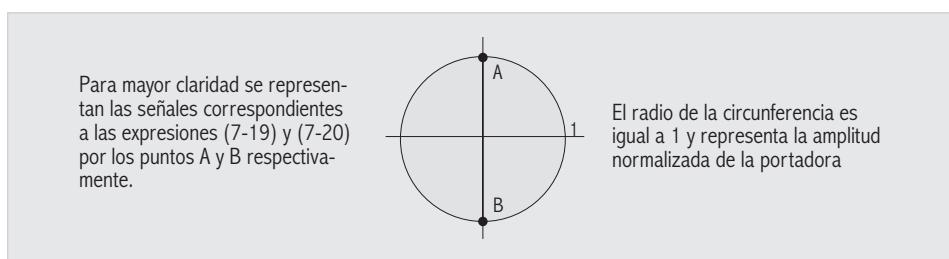


Fig. 7.19. Esquema para 2 PSK.

Asimismo, para mayor claridad se representa la forma de onda de la portadora correspondiente al esquema anteriormente indicado y que pertenece a una sucesión binaria cualquiera donde existe por lo menos una transición entre 0 y 1 o 1 y 0, según se puede observar en la Fig. 7.20.

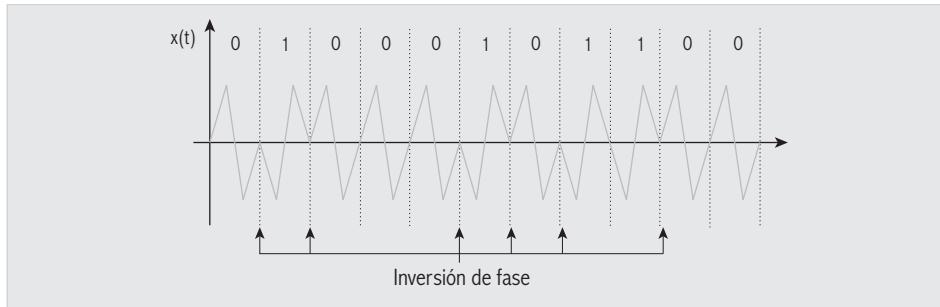


Fig. 7.20. Señal 2 PSK en función del tiempo.

En el sistema PSK convencional, es necesario tener una portadora de referencia en el equipo receptor, a efectos de mantener una sincronización exacta en frecuencia y fase con el transmisor. De esta manera se puede determinar si la fase recibida corresponde a un uno o a un cero.

Como alternativa se aplica la PSK diferencial, con la cual la información no está contenida en la fase absoluta sino en las transiciones de 1 a 0 y de 0 a 1. El sistema PSK diferencial - DPSK no necesita tener una referencia coherente de la fase en el receptor. La referencia de fase se toma del intervalo inmediato anterior con lo que el detector decodifica la información digital basándose en las diferencias relativas de fase.

7.3.4.3 Modulación multifase - MPSK - Multi Phase Shift Keying

En este sistema la fase de la onda portadora puede tomar secuencialmente M valores posibles separados entre sí por un ángulo definido por la expresión (7 - 37):

$$\theta = \frac{2\pi}{M} \quad (7-37)$$

Consideremos el caso de $M = 4$, con el cual tendremos el método 4 PSK o QPSK - *Quadrature Phase Shift Keying* (modulación de cuadratura en fase). La portadora puede tomar cuatro valores diferentes de fase, correspondientes a las cuatro posibles combinaciones de una secuencia de dos bits. En la Fig. 7.21. se detalla el diagrama vectorial y, en la Tabla 7 – 1, las fases asignadas.

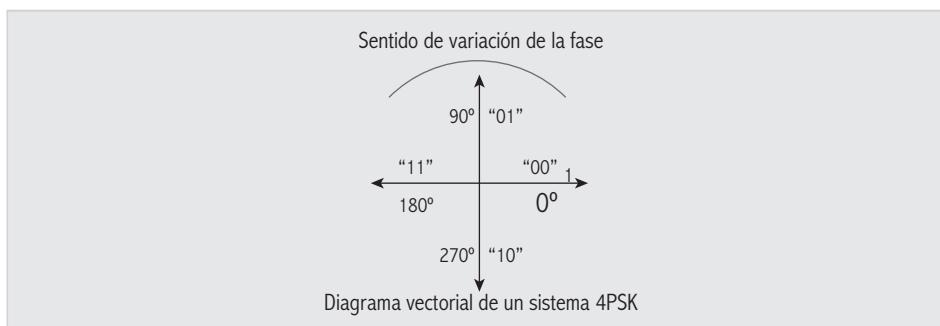


Fig. 7.21. Sistema de modulación 4 PSK.

Tabla 7-1 Diagrama vectorial de un sistema 4 PSK

Nº de Secuencia	Secuencia de bits	Fase asignada
1	00	0°
2	01	90°
3	11	180°
4	10	270°

Veamos cómo se puede calcular el ancho de banda necesario para la modulación 4 PSK.

Analizaremos que implica el período T , correspondiente a una señal multinivel. Para ello, definiremos el período de un pulso correspondiente a un díbit, T_{dibit} , como el tiempo que durará cada pulso multinivel.

La combinación de dos bits en díbits implica que dicho período, analizado desde el punto de vista de la transmisión multinivel, será la mitad del período que correspondería un bit transmitido, que denominaremos $T_{bit\ virtual}$. Está claro que estamos viendo transmitir dos bits, pero en realidad lo que enviamos a la línea de comunicaciones es la combinación de dos bits virtuales, conformados en un solo díbit.

Por lo tanto:

$$T_{dibit} = 2 T_{bit\ virtual} \quad (7-38)$$

Cabe aclarar que el bit virtual no existe físicamente, sino que es el equivalente de agrupar 2 bits en un solo pulso (díbits). En consecuencia, si se utiliza un sistema con díbits, el ancho de banda que se requiere sería la mitad de lo necesario para transmitir los bits "virtuales", en otras palabras, para tener la misma velocidad final en bps.

$$f_{dibit} = \frac{1}{T_{dibit}} = \frac{1}{2 T_{bit\ virtual}} \quad (7-39)$$

En consecuencia, el ancho de banda necesario cuando se transmite díbits es:

$$\Delta f_{dibit} = \frac{\Delta f_{bit\ virtual}}{2} \quad (7-40)$$

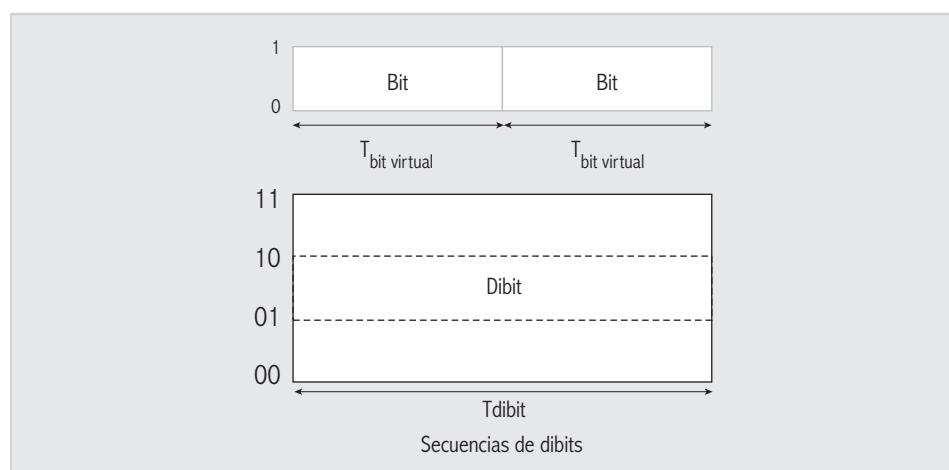


Fig. 7.22. Comparación entre la señal binaria convencional y una correspondiente a Díbits.

En la Fig. 7.22., se puede observar que en un período de transmisión de un díbit se están transmitiendo en realidad dos bits.

Comparando el método 2 PSK con el 4 PSK se puede observar que el ancho de banda de este último es la mitad que el correspondiente al primer método.

El sistema 4 PSK es más sensible a los fenómenos denominados de interferencia, que aumentan la tasa de error (relación entre los bits con error sobre el total de bits transmitidos) en la transmisión.

Por lo tanto, si se quiere transmitir en 4 PSK y tener la misma tasa de error que con 2 PSK, se deberá aumentar en 3 dB la relación señal/ruido del canal de transmisión. El sistema 4 PSK se puede obtener mediante la utilización de dos señales 2 PSK simultáneas y desplazadas 90°.

Este procedimiento es equivalente a tener dos canales 2 PSK en cuadratura. De esta manera se evitan bruscas transiciones en la fase de la portadora modulada, con lo cual hay una menor dispersión del espectro de frecuencias. Este método se denomina OFFSET - 4 PSK (O - 4 PSK).

En la Fig. 7.23., se indica la conversión de una secuencia de bits en dos secuencias de díbits.

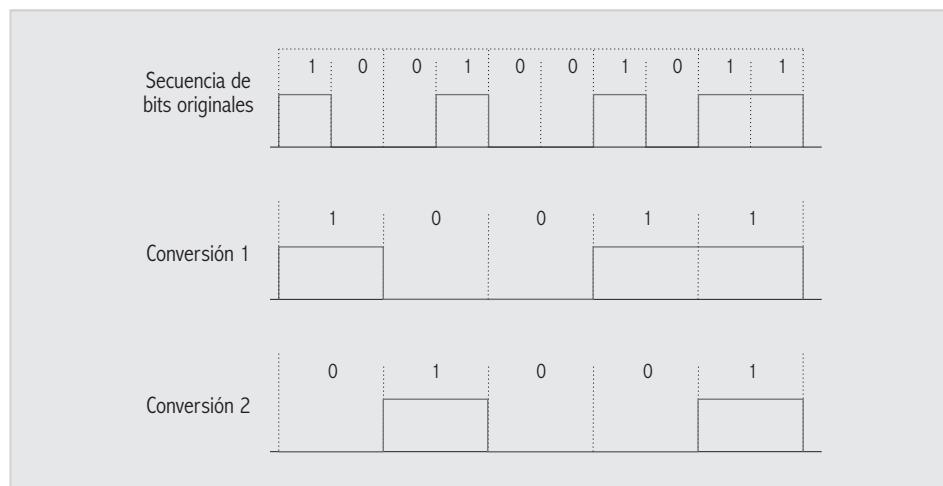


Fig. 7.23. Conversión de una secuencia de bits en dos secuencias de Díbits.

En la Tabla 7 – 2 se puede observar la asignación de fases para la secuencia de díbits de la figura anterior.

Tabla 7-2 Asignaciones de fases

Secuencia de bits	Díbit A	Díbit B	Fase
00	0	0	$0^\circ + 45^\circ = 45^\circ$
01	0	1	$0^\circ - 45^\circ = 315^\circ$
11	1	1	$180^\circ + 45^\circ = 225^\circ$
10	1	0	$180^\circ + 45^\circ = 135^\circ$

La Fig. 7.24. permite observar el diagrama vectorial correspondiente a la modulación en fase 4 PSK.

Si ahora consideramos $M = 8$ tendremos un sistema 8 PSK con ocho fases diferentes y separadas un ángulo $\theta = \pi / 4$.

Cada fase representará un grupo de 3 dígitos binarios, es decir, tribits.

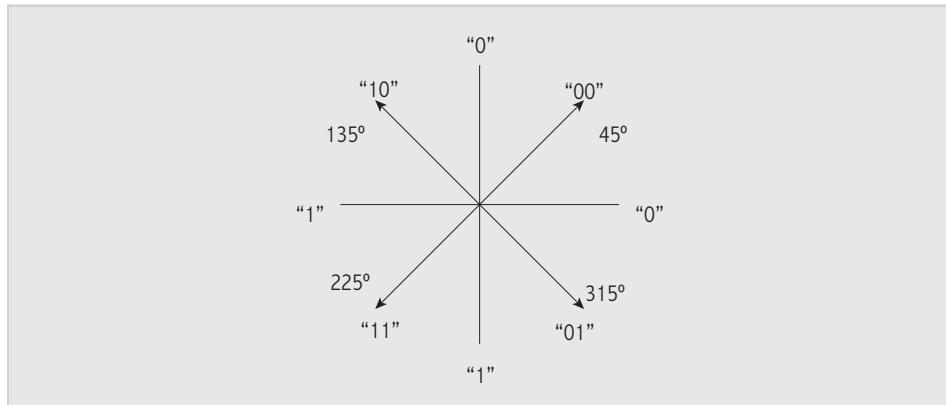


Fig. 7.24. Diagrama vectorial de un sistema de modulación 4 PSK.

En la Tabla 7-3, se indican las fases que corresponden a cada combinación de dígitos binarios de un sistema 8 PSK.

Tabla 7-3 Sistema 8 PSK

Nº de Secuencia	Dígitos binarios	Fase asignada
1	011	0°
2	010	45°
3	000	90°
4	001	135°
5	101	180°
6	100	225°
7	110	270°
8	111	315°

A su vez, en la Fig. 7.25., se puede observar el diagrama de fase de una señal 8 PSK; en él se destaca el hecho de que los tribits asignados a cada fase corresponden al denominado Código Gray.

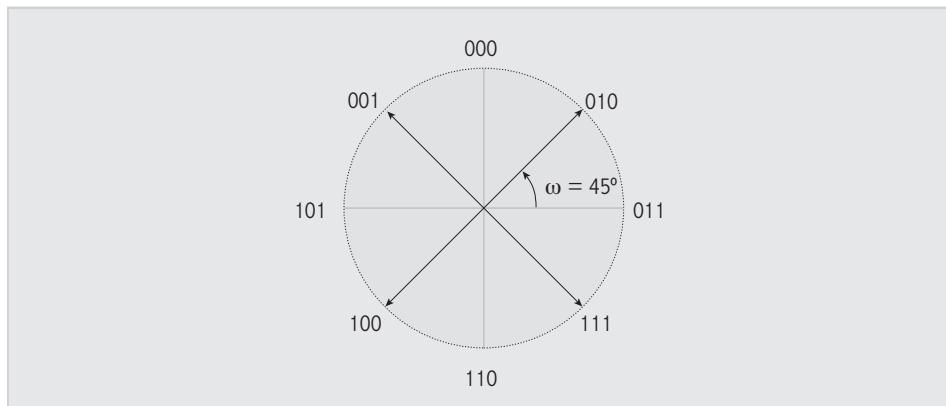


Fig. 7.25. Diagrama de fases de una señal modulada en 8 PSK.

También existen sistemas de 16 PSK en los cuales la fase de la portadora puede tomar 16 valores discretos diferentes.

7.3.4.4 Modulación multinivel

Este método se basa en la modulación en amplitud de dos señales portadoras desfasadas 90° entre sí.

Hasta ahora, en los diagramas de fases PSK todos los puntos extremos del vector se encontraban sobre una circunferencia, por lo cual tenían la misma amplitud. Ello se puede apreciar, por ejemplo, en la Fig. 7.25., correspondiente a un sistema 8 PSK.

En la modulación QAM (*Quadrature Amplitude Modulation*), se utilizan dos portadoras independientes en cuadratura (de allí su nombre), moduladas en amplitud; en consecuencia, ambos canales son completamente independientes, inclusive su codificación en banda base.

La ecuación de una señal QAM es la siguiente:

$$S_i(t) = a_i \cos \omega_0 t + b_i \operatorname{sen} \omega_0 t \quad (7-41)$$

Donde a_i y b_i toman en forma independiente valores discretos.

Por ejemplo, para 4 niveles discretos por canal tenemos el sistema 16 QAM, cuyo diagrama vectorial se detalla en la Fig. 7.26.

Se puede comparar con el sistema 16 PSK, que consta de vectores todos de igual amplitud.

Un ejemplo típico es el funcionamiento de los módem de la Recomendación V.29, que se describe con más detalle en el apartado 7.9.5.2.4 de este capítulo

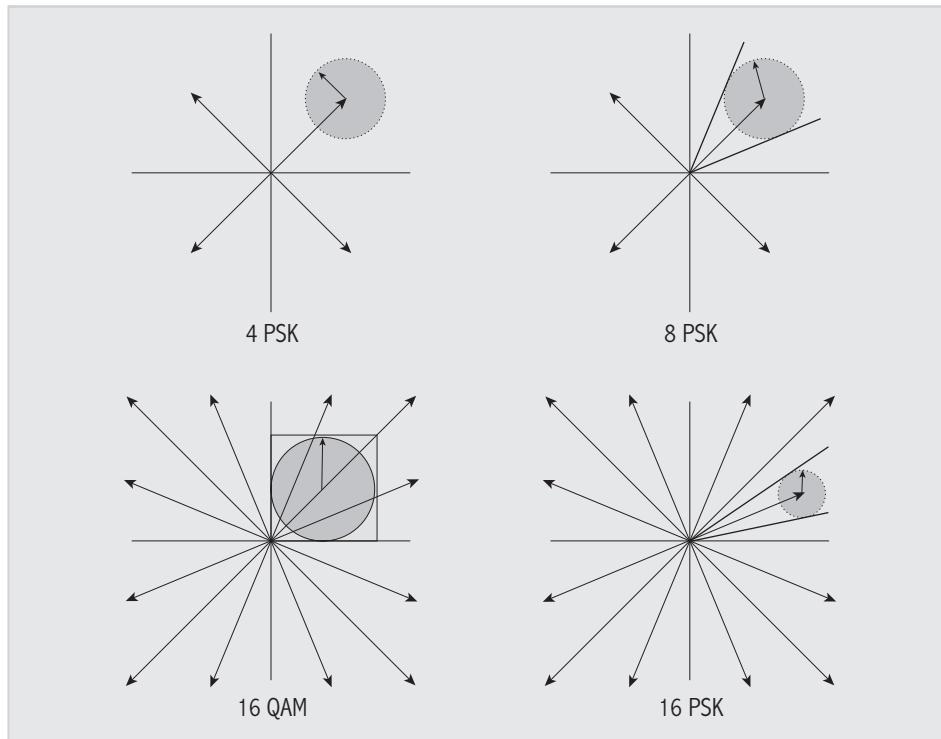


Fig. 7.26. Diagrama vectorial. Métodos PSK, 8 PSK, 16 QAM y 16 PSK.

En la Tabla 7-4, se especifican los principales parámetros de los diferentes métodos de modulación digital. Se puede observar que, a igual velocidad de transmisión, la relación señal/ruido mejora en la modulación QAM respecto a la PSK.

Tabla 7-4 Diferentes métodos de modulación. Comparación entre los mismos

Características técnicas	Métodos de modulación				
	2 PSK	4 PSK	8 PSK	16 PSK	16 QAM
Cantidad de niveles discretos de amplitud	1	1	1	1	3
Número de fases diferentes	2	4	8	16	12
Estados diferentes de la portadora modulada	2	4	8	16	16
Número de bits representado por estado de la portadora	1	2	3	4	4
Ancho de banda utilizado en bps/Hz	0,7	1,4	2,1	2,8	2,8
Ancho de banda real requerido para transmisión (referido a duración de bit)	1,4	0,7	0,47	0,35	0,35
Relación señal/ruido (db) para un BER = 16-6 (VER 1)	13	16	22	30	28

7.4 Equipos Módem

7.4.1 Distintos tipos de equipos módem

Los equipos denominados módem se pueden clasificar de diferentes maneras. La forma más simple es hacerlo teniendo en cuenta su función en el circuito de datos de un enlace teleinformático.

En tal carácter, los mismos pueden ser clasificados en:

- Módem de rango vocal.
- Módem banda base.
- Cable módem.
- Modem ADLS.
- Equipos excitadores de línea o driver.

Si considerásemos en forma rigurosa la expresión módem deberíamos aceptar que se trata de un equipo que, como su nombre lo indica, cumpla las funciones de modular y demodular. Precisamente, la palabra módem está formada por las primeras sílabas de los términos **Modulador** y **DEModulador**.

Sin embargo, se ha generalizado esta palabra a los equipos que sirven de interfaz entre el equipo Terminal de Datos y el vínculo de comunicaciones, aunque estas funciones no sean realizadas en todos los casos.

7.4.2 Características de los módem de rango vocal

7.4.2.1 Introducción

En muchos casos es necesario transmitir señales digitales por la Red Telefónica Comutada, como las que producen por ejemplo los computadores para conectarse a la Red Internet.

Aunque cada vez se utilizan en menor medida las redes telefónicas analógicas dentro del espectro de las frecuencias de rango vocal, es decir, el que va de los 300 a los 3.400 Hz, a través de pares de cobre con características analógicas, la existencia en estas redes de equipos códec al ingreso a la zona de la red hacen imposible la transmisión en modo digital.

Si bien la red telefónica conmutada no constituye el medio ideal para la transmisión de datos en ese rango de frecuencias, aun en muchos casos es un medio práctico y usado hasta el momento.

Para superar ése y otros problemas técnicos se requiere un tipo especial de equipo de comunicaciones que recibe el nombre de **módem de rango vocal**, el cual brinda solución al problema presentado. Es por ello que resulta importante el estudio de estos equipos, por un lado, y de los canales que se utilizan en las redes telefónicas analógicas, por el otro.

7.4.2.2 Definición de módem de rango vocal

Se denomina equipo módem de rango vocal, o simplemente módem (modulador/demodulador), a:

Aquel dispositivo que convierte las señales digitales provenientes de un Equipo Terminal de Datos - ETD en señales analógicas aptas para ser transmitidas eficazmente por la Zona de Acceso de la Red Telefónica que funciona con esa tecnología y, en el extremo opuesto del circuito teleinformático, el mismo equipo procede en forma inversa.

Estos equipos son precisamente los utilizados para interconectar a dos Equipos Terminales de Datos - ETD que posean características digitales a través de un acceso a la zona de la red de características analógicas.

Los equipos módem deben siempre ser usados de a pares: uno en donde se transmiten los datos y el otro donde se reciben, cualquiera sea el tipo de transmisión que se utilice, simplex, semidúplex o dúplex.

Un módem de rango vocal es aquel dispositivo que convierte las señales digitales provenientes de un Equipo Terminal de Datos - ETD en señales analógicas aptas para ser transmitidas eficazmente por la Zona de Acceso de la Red Telefónica que funciona con esa tecnología y, en el extremo opuesto del circuito teleinformático, el mismo equipo procede en forma inversa.



Los módems de rango vocal fueron la solución que se adoptó primero para la transmisión de datos a través de la red telefónica.

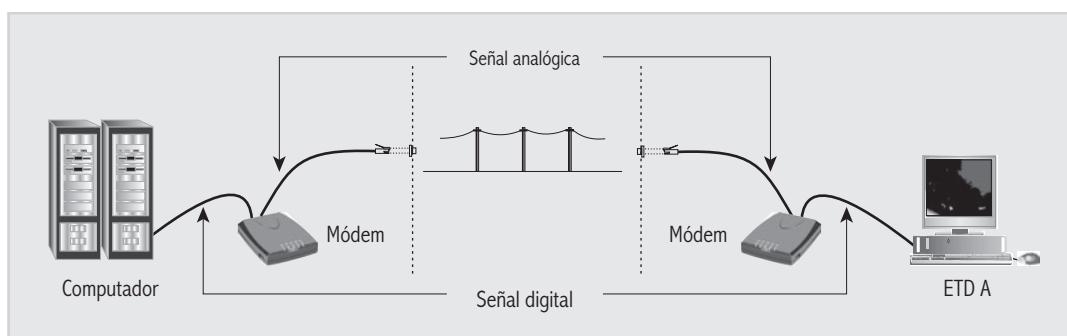


Fig. 7.27. Esquema de un sistema de transmisión de datos sobre la RTPC.

Los equipos módem, si bien son fabricados por diferentes proveedores, se encuentran normalizados por distintos organismos nacionales e internacionales que facilitan su compatibilidad. La Fig. 7.27. muestra el esquema de un sistema digital de transmisión de datos sobre redes analógicas.

7.4.3 Funciones de los módem de rango vocal

Las funciones que realizan los módems pueden clasificarse en básicas, inteligentes, complementarias y especiales.

7.4.3.1 Funciones básicas

Las funciones básicas son aquellas que le permiten al equipo poder cumplir con las misiones para las que es construido y, por tanto, dan razón de ser al equipo.

Son funciones básicas: la codificación, la modulación, y consecuentemente sus operaciones inversas, la decodificación y la demodulación.

- La codificación y decodificación.

La codificación consiste en transformar los datos recibidos del equipo terminal en códigos que tengan en cuenta los factores que hacen más eficiente la transmisión de señales a distancia. Esos códigos se denominan Códigos de Línea y adaptan la señal digital a la línea de transmisión.

Los factores más importantes que se deben considerar en la transmisión de señales digitales por redes de telecomunicaciones son:

- El valor de la componente de continua de la señal (del desarrollo en Serie de Fourier).
- La distribución espectral de potencia.
- El ruido.
- La distorsión.
- La interferencia intersímbolos.
- El mantenimiento del sincronismo.

En algunos módems se lleva a cabo el proceso de seudoaleatorización o *scrambler*, que precede al de modulación y no se utiliza en las transmisiones asincrónicas de baja velocidad. Dicho proceso permite modificar la distribución espectral de la señal resultante para mejorar las condiciones orientadas a su transmisión.

En los módems asincrónicos, el ajuste exacto de la señal de reloj se efectúa mediante el bit de arranque o de *start*. Sin embargo, los módems sincrónicos no tienen esta facilidad, por lo tanto se encuentran forzados a obtener la señal de reloj de la propia cadena de bits de información. Esta última técnica se basa en usar las transiciones de la señal de línea, cuando alternan entre 0 a 1 o de 1 a 0. Como podría presentarse una situación en la que la información a transmitir estuviese compuesta por una larga cadena de 1 o de 0, la falta de transiciones causaría la pérdida del sincronismo.

La solución a este problema se obtiene con el procedimiento denominado *scrambler*. Este introduce un algoritmo perfectamente definido, de allí el nombre de seudoaleatorización, que genera cambios periódicos de la tensión en la línea, con el objeto de mantener el sincronismo. Dichos cambios son detectados y eliminados en el extremo receptor, usando el mismo algoritmo con el que se mezcló la señal original, devolviéndole la consistencia a la información.

- La modulación y la demodulación.

La modulación consiste en el proceso por el cual las señales digitales generadas por el equipo terminal de datos son transformadas en señales analógicas, que conservan la misma información que la generada por aquellos equipos.

El proceso de modulación, que complementa al de codificación, se encarga de transformar las señales digitales usando las técnicas conocidas como las de modulación de amplitud, de frecuencia, de fase o fase diferencial, y otras de características combinadas o especiales. En el apartado 7.3 se han analizado las particularidades de cada una de las formas de modulación, según sea la velocidad a transmitir y las características particulares que se le quieran proporcionar a estos equipos.

La Fig. 7.28. muestra, en un solo cuadro, la forma de las señales digitales recibidas por un módem y la que adquieren a la salida del mismo luego de ser moduladas en cualquiera de los métodos clásicos expuestos en el párrafo anterior.

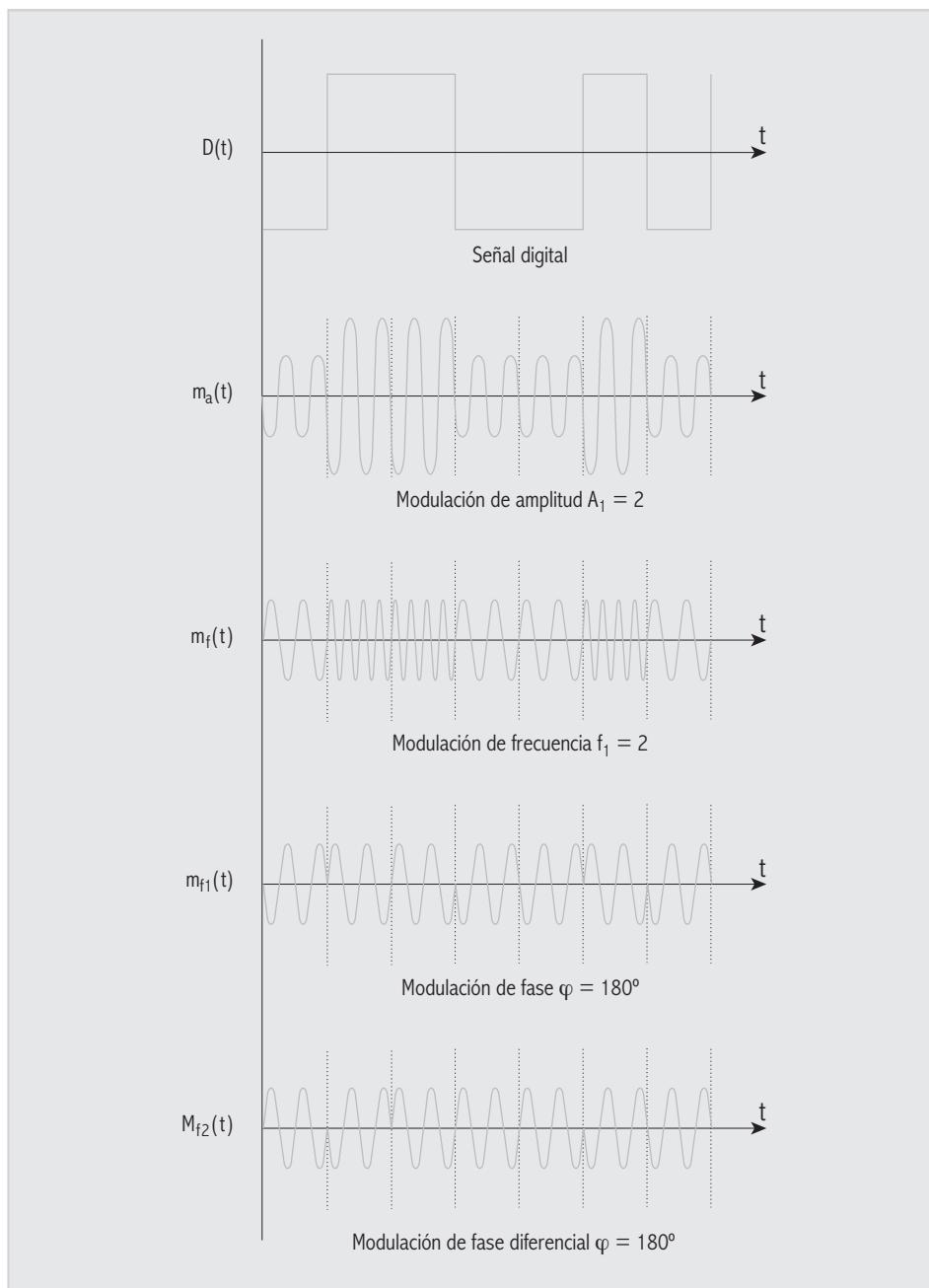


Fig. 7.28. Esquemas básicos de modulación, amplitud, frecuencia y fase.

7.4.3.2 Funciones complementarias

Las funciones complementarias son aquellas que posibilitan que el equipo pueda cumplir con sus funciones básicas o mejorar la calidad de prestación de ellas.

Son funciones complementarias: la recepción y transmisión de señales a través de una interfaz digital estándar y de otra analógica, el control del flujo de datos, la señalización (con

el equipo ubicado en el extremo receptor), la ecualización del canal y la protección contra sobretensiones de la línea de transmisión.

- Recepción y transmisión de señales a través de la interfaz estándar.

La recepción y transmisión de señales desde y hacia el equipo terminal de datos a través de una interfaz digital estándar le permite al módem el intercambio de información con cualquier equipo terminal de datos, independizándose del fabricante o de la función que cumple el terminal.

En particular, la interfaz más difundida es la que responde a la denominación V.24 del UIT - T, equivalente a la RS 232 C de la EIA de los Estados Unidos de Norteamérica (ver apartado 6.1.2 y siguientes).

- Control del flujo de datos y señalización.

A los efectos de poder controlar el diálogo entre los equipos y la red, los módems se ocupan de estas dos actividades: el control de la línea y la señalización con el equipo ubicado en el extremo receptor.

Las técnicas de control del flujo, o *flow control*, permiten que el módem pueda compensar las diferencias entre las velocidades a las que recibe la información desde el ETD y a las que transmite a la línea telefónica.

Normalmente, la velocidad de transmisión de datos que el módem establece a través de la interfaz analógica que lo relaciona con el vínculo de comunicaciones queda fijada al comienzo de la transmisión mediante un proceso que se denomina negociación de la velocidad.

Dicha velocidad se determina de acuerdo a las posibilidades técnicas disponibles en el otro módem con el que se comunicará y del estado del vínculo de comunicaciones en lo que respecta a su calidad. A su vez, la velocidad con la que está comunicado el módem con el ETD a través de la interfaz digital estándar puede ser diferente y generalmente de mayor valor.

Para ello, los módems cuentan con memorias *buffer* o intermedia que les permiten almacenar los datos a los que no pueden darle inmediata salida; pero si esta se llenara, deben avisar al ETD para que detenga el flujo de datos a efectos de que los mismos no se pierdan.

Las técnicas básicas de control de flujo de datos que facilitan este proceso son las denominadas RTS/CTS, XON/XOFF. En algunos casos, también se utiliza otra técnica denominada ENQ/ACK.

- Ecualización del canal.

Los módems de alta velocidad contienen circuitos que permiten ecualizar el canal de comunicaciones, a los efectos de mejorar su *performance*.

La ecualización permite brindar un nivel de salida constante e independiente de la frecuencia que se está transmitiendo. En el apartado 7.6, se describen los procesos de acondicionamiento de los canales de comunicaciones.

- Protección contra sobretensiones en la red telefónica.

En todo circuito teleinformático, deben tomarse precauciones respecto a la aparición de picos de tensión en la línea de transmisión mediante el empleo de circuitos adecuados que protejan al módem de estas perturbaciones no deseadas.

En las redes telefónicas, en muchos casos por deficiencias en la misma red interna del edificio, en donde está la instalación del equipo terminal de datos con su módem, pueden encontrarse tensiones no deseadas a causa de instalaciones deficientes.

En otros casos, estas perturbaciones suelen ser ocasionadas por razones meteorológicas en redes aéreas que pueden ser afectadas por este tipo de fenómenos.

7.4.3.3 Funciones especiales

Las funciones especiales son aquellas que posibilitan prestaciones adicionales, destinadas a proporcionar servicios complementarios, orientados a lograr en el equipo un nivel de calidad que le permita optimizar su rendimiento.

Son funciones especiales: el discado y recepción automática de llamadas, almacenamiento y procesamiento de la información (reducido), detección y corrección de errores, compresión de datos, servicios de voz, servicios de facsímil y, en algunos casos, hasta el multiplexado de canales. Estas funciones son prestadas exclusivamente por los denominados módems inteligentes o *smart modem*. En realidad, la totalidad de los módems que se construyen en la actualidad son de este tipo.

- Discado y recepción automática de llamadas.

Una función importante, por la utilidad que proporciona a los usuarios, es la que permite el discado automático desde el computador usando circuitos del propio módem. Cuando el módem posee esta facilidad, el mismo se comporta parcialmente como si fuera un equipo telefónico.

En ese caso, cuando tiene incorporada esta facilidad estará en condiciones también de atender en forma automática una línea de comunicaciones.

Las especificaciones que permiten esta operación están detalladas en la Recomendación V.25 del UIT - T y en la RS 366 de la EIA.

- Almacenamiento y procesamiento de la información.

Los módems inteligentes poseen microprocesadores y memorias del tipo RAM (Memoria de acceso al azar o *Random Access Memory*), ROM (Memoria de lectura solamente, o *Read Only Memory*, no puede ser alterada una vez que han sido grabados los datos que contendrá) y EPROM (Memoria de solo lectura, pero con facilidad de ser reprogramada, o *Erasable Programmable Read Only Memory*).

Este *hardware* los ha dotado de una gran capacidad de realizar procesos que amplía la capacidad de ejecutar variadas funciones en estos equipos.

En particular, esta capacidad está relacionada con:

- Posibilidad de introducir, a través de comandos ejecutados por medio del ETD, cambios en las distintas características de los equipos.
 - Estos comandos se conocen con el nombre de Comandos Hayes por haber sido un estándar de facto que popularizó la empresa *Hayes Microcomputer Products Incorporated*.
 - En la actualidad, y sobre la base de ellos, distintos fabricantes los han modificado parcialmente e incluso ampliado con una metodología propietaria.
 - Detección y corrección de errores.
 - Compresión de datos.
- Detección y corrección de errores.

Los módems que poseen capacidad de procesamiento incluyen entre sus prestaciones la posibilidad de detección y corrección de errores. Esta tarea se realiza siguiendo principalmente la Recomendación V.42 de la UIT - T, que fue aprobada en el año 1989.

La misma se basa en un procedimiento conocido como *Link Access Protocol/Módem* - LAP - M, aunque también reconoce el método conocido como *Microcom Networking Protocol* - MNP/Clase 4. Este último fue desarrollado por la firma Microcom Incorporated e incorporado a la recomendación antes señalada.

- Compresión de datos.

De la misma forma que en el caso anterior, los módems que poseen capacidad de procesamiento incluyen entre sus prestaciones la posibilidad de compresión de datos.

Esta tarea se realiza siguiendo principalmente la Recomendación V.42bis de la UIT - T, que fue aprobada en el año 1990. La misma se basa en un procedimiento conocido de Lempel/Ziv, y no reconoce ningún procedimiento alternativo.

También en esta área, la empresa MICROCOM desarrolló varios métodos, siendo los más populares los conocidos como *Microcom Networking Protocol* - MNP/Clase 5 y Clase 7. El último de ellos, el MNP/CLASE 7, es compatible con el MNP/CLASE 5, pero la relación inversa no es válida.

- Capacidad de autodiagnóstico.

Esta capacidad consiste en detectar la situación del equipo. Frecuentemente se utiliza en forma simultánea con el sistema operativo del ETD al cual está conectado.

- Multiplexado de canales.

En algunos equipos especiales, el módem de datos está incorporado a equipos multiplexores que permiten la división del canal telefónico en varios canales de menor ancho de banda. Las operaciones de multiplexado de canales serán analizadas en el Capítulo 8.

7.4.3.4 Módem con canal auxiliar

Los módems de datos de rango vocal pueden funcionar en algunos casos con un canal denominado auxiliar. Estos son conocidos como **Módem con Canal Auxiliar**.

Consisten en equipos que, aprovechando el ancho de banda disponible de un canal telefónico de 3.100 Hz, dividen a este en un canal principal y uno o dos canales auxiliares.

La Fig. 7.29. muestra un esquema de la disposición de los canales en este tipo de equipos. El objetivo de los mismos es lograr un mejor aprovechamiento del ancho de banda, que a menudo es mayor a las necesidades del usuario.

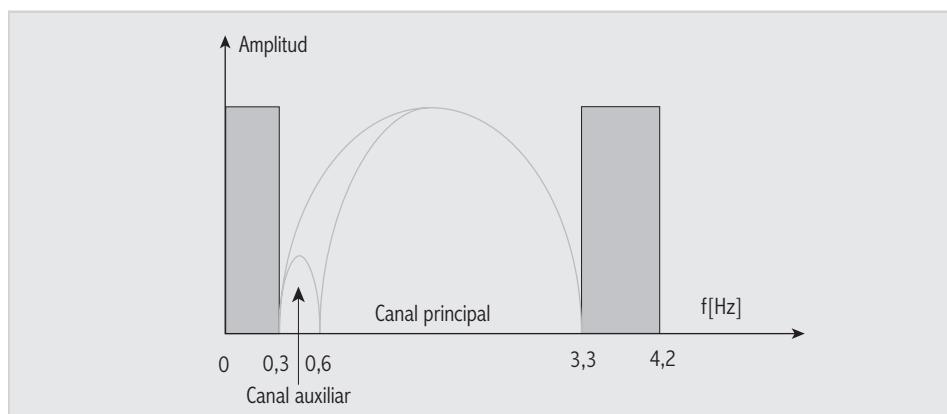


Fig. 7.29. Esquema de los canales principal y secundario en un módem con canal auxiliar.

Como se puede ver en la Fig. 7.29., el canal principal es significativamente mayor al ancho de banda usado para el canal secundario. Esto significará que el volumen de datos que puede ser transmitido será diferente según el sentido considerado. En muchas aplicaciones se dan casos de flujos de datos asimétricos y, en este caso, este tipo de módem representa una solución ideal.

El resultado de este tipo de módem es una transmisión dúplex asimétrica, muy aceptable para ciertas aplicaciones.

7.4.4 Los canales telefónicos analógicos

7.4.4.1 Características de los canales telefónicos

Desde su comienzo, la red telefónica fue diseñada para la transmisión de señales analógicas, en particular la voz. Esta circunstancia hace que no sea especialmente adecuada para la transmisión de datos.

En la red telefónica, la banda de transmisión está dividida en canales cuyo ancho de banda es aproximadamente 3100 Hz, valor suficiente para la transmisión de señales de voz, pero insuficiente en las condiciones actuales para obtener velocidades de transmisión de datos compatibles con las necesidades que presentan los sistemas que se están operando.

No obstante, si se quiere transmitir datos dentro de dicho ancho de banda es necesario conformar el espectro de la señal de datos para adaptarlo al canal telefónico. En la Fig. 7.30., se indica la distribución de la energía transmitida en función de la frecuencia dentro de un canal telefónico.

Del análisis de dicho gráfico surgen las siguientes conclusiones:

- Las frecuencias menores de 200 Hz son atenuadas fuertemente, como así también las que superan los 3000 Hz.
- No se transmite la corriente continua. Esto imposibilita enviar un bloque de datos debido a que estas señales tienen una componente continua importante, especialmente en el caso en que fueran los bits transmitidos mediante códigos unipolares.

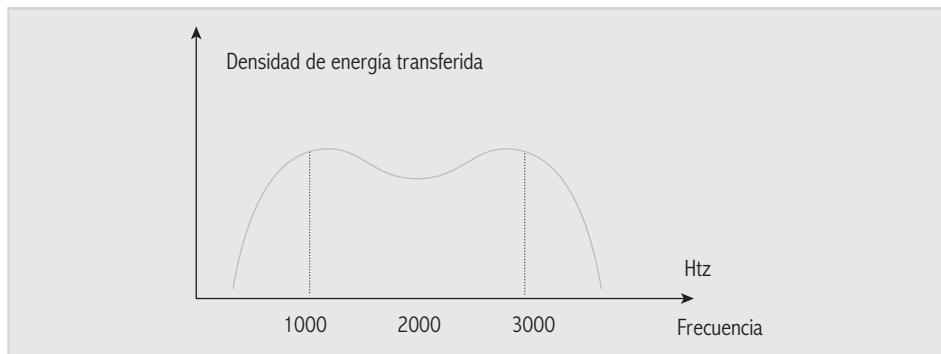


Fig. 7.30. Distribución de energía en un canal telefónico.

- Las altas frecuencias son las más atenuadas, con lo cual se tendrá mayor distorsión a medida que se incremente la velocidad de transmisión de datos.

Las señales digitales que generan los computadores y que luego se usan en los sistemas de transmisión de datos poseen una gran riqueza armónica. En consecuencia, presentan fuertes restricciones para ser enviadas por un canal telefónico. Este se encarga de modular una señal armónica simple denominada portadora, de frecuencia fija, en amplitud, frecuencia o fase, conforme a la forma en que varía la señal de datos. Para ello, se emplean los procesos de modulación y demodulación de señales digitales, tal como se ha descripto en el Capítulo 4.

7.4.4.2 Utilización de módem en los canales telefónicos analógicos

En los canales telefónicos analógicos, la transmisión está afectada por perturbaciones tales como el ruido en todas sus formas y la distorsión. Su efecto sobre la transmisión vocal es imperceptible, pero sobre la transmisión de datos es importante, pues aumenta significativamente la tasa de error.

Por otra parte, las señales analógicas de voz tienen una relación elevada entre la potencia máxima y la potencia media y, por el contrario, las señales de datos poseen una relación mucho menor dado que su potencia media es elevada.

Para solucionar este inconveniente se suele disminuir la potencia media de las señales de datos, lo cual trae aparejada una disminución no deseada en la relación señal/ruido.

Todas estas características mencionadas ocasionan que el grado de eficiencia de la red telefónica comutada para la transmisión de datos no sea suficientemente elevada, a pesar de las técnicas especiales empleadas para solucionar estos inconvenientes.

Por las características de los canales telefónicos, los módems de rango vocal pueden ser divididos en equipos de baja velocidad, que fueron los primeros que se utilizaron en mercado, y los equipos de alta y muy alta velocidad. Estos últimos tipos pueden a su vez ser inteligentes y no inteligentes.

7.4.4.3 El sincronismo de los módems

Los módems de datos de frecuencia de voz necesitan en algunos casos mantener el sincronismo durante toda la transmisión, o solo durante breves instantes en los cuales se retransmite un carácter. Por tal causa pueden comportarse, respecto al modo de comunicación que establecen entre ellos y el equipo terminal de datos al que están conectados, en asincrónicos o sincrónicos.

- Módems asincrónicos.

Los equipos módem que se construyen para funcionamiento en modo asincrónico son los que se utilizan para la conexión de los computadores personales a la red telefónica.

Los equipos que se observan en la mayoría de las empresas de venta de *hardware* son del tipo asincrónico.

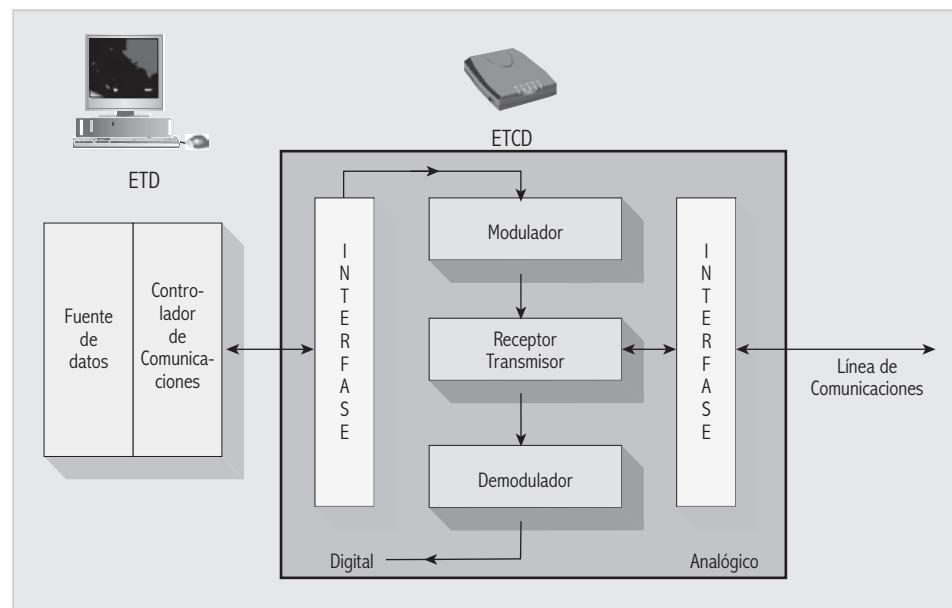


Fig. 7.31. Esquema básico de un módem de datos asincrónico.

En la Fig. 7.31. se puede observar el diagrama bloque simplificado, que contiene los elementos que realizan las funciones básicas de un módem de datos asincrónico. Se

pueden apreciar en él las interfaces analógica y digital, el transmisor, el receptor y las partes que se ocupan de la modulación y la demodulación.

La interfaz digital entre el módem y el equipo terminal de datos está normalizada en todos los niveles, tanto el mecánico, el eléctrico, como el lógico. De esta manera, esta compatibilidad permite la conexión de un módem con cualquiera de los diferentes equipos terminales de datos que puedan existir en el mercado.

- **Módems sincrónicos.**

Los equipos módem sincrónicos son de mayor calidad y consecuentemente poseen un precio mayor. En la Fig. 7.32., se observa un diagrama de bloques simplificado, correspondiente a un módem sincrónico.

Se pueden apreciar en él las interfaces analógica y digital, el transmisor, el receptor y los módulos que se ocupan de la modulación y la demodulación, más aquellos que se encargan de la codificación, decodificación y seudoaleatorización de los datos.

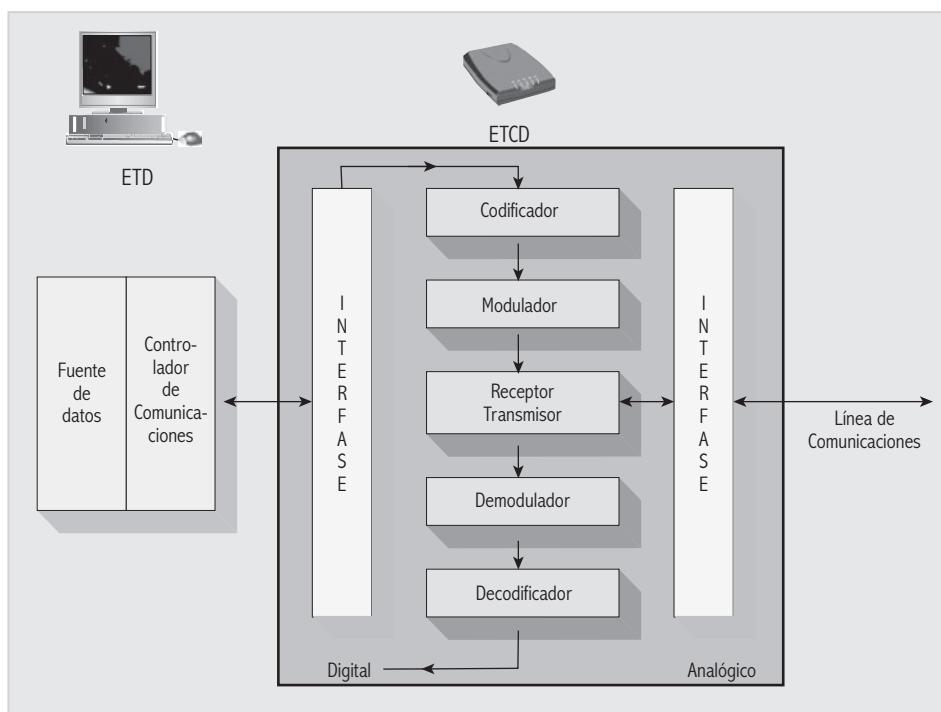


Fig. 7.32. Esquema básico de un módem de datos sincrónico.

7.4.4.4 Módems de baja velocidad

Este tipo de equipos que fueron los primeros en ser utilizados y están actualmente fuera de uso. Sin embargo, como conocimiento histórico de la evolución del avance tecnológico que se fue operando en ellos, pasaremos a describirlos en forma sucinta.

Dentro de este grupo se pueden considerar los módems que trabajan con la técnica de modulación en frecuencia usando la Recomendación V.21, o su similar de la norma BELL 113, y posteriormente, las recomendaciones V.22 y V.22 bis, o su similar de la norma BELL 212 A (estos últimos modulados en fase), la Recomendación V.23 y hasta las recomendaciones V.26, V.26 bis, y V.26 ter.

Los primeros dividen el ancho de banda del canal telefónico en dos subcanales o bandas para posibilitar el trabajo en modo dúplex. Dentro de cada uno ellos se seleccionan dos frecuencias que utilizan para transmitir, por una, los unos, y por la otra, los ceros.

Valores típicos usados en estos casos son, para la banda inferior, las frecuencias de 1.070 Hz para los ceros y 1.270 Hz para los unos; a su vez, para la banda más alta, 2.025 Hz para los ceros y 2.225 Hz para los unos.

La Tabla 7 – 5 muestra las características principales de los equipos de este tipo.

Aún hoy, estas normas de módem en desuso pueden, en casos excepcionales, utilizarse para el acceso a las redes públicas de digitales de datos por conmutación de paquetes. Sin embargo, se debe destacar que no se fabrican más módems con esta norma sino que, al ser los módems inteligentes del tipo multirecomendación, pueden funcionar con las características antes señaladas.

Para una mejor comprensión de la información suministrada en la Tabla 7 – 5, se deben tener en cuenta los siguientes aspectos:

- La velocidad de modulación y de transmisión que se consigna en cada caso es siempre la más elevada. Podrá haber posibilidad, en algunos otros casos, de trabajar a velocidades menores.
- Cuando se indica que un equipo puede trabajar en la modalidad dúplex, normalmente también lo podrá hacer en la modalidad semidúplex si se desea.
- Cuando se indica que un equipo puede trabajar en la Red Telefónica Conmutada - RTC, siempre podrá trabajar, con mayor razón aun, en circuitos dedicados a dos hilos. El trabajo inverso es posible.
- Cuando se indica que un equipo debe trabajar sobre circuitos dedicados a cuatro hilos, no lo podrá hacer con circuitos dedicados a dos hilos y, menos aun, a través de la Red Telefónica Conmutada - RTC.

Tabla 7-5 Características principales de los módems de baja velocidad

Norma	V_M	$V_{T\max}$	F_p	Modulación	Modo	Tipo	Enlace
V.21	300 baudios	300 bps	Canal N° 1: 1800 Hz Canal N° 2: 1750 Hz	FSK	Asincrónico	Dúplex	RTC
V.22	600 baudios	120 bps	Canal N° 1: 1200 Hz Canal N° 2: 2400 Hz	PSK	Asincrónico Sincrónico	Dúplex	RTC
V.22 bis	600 baudios	2400 bps	Canal N° 1: 1200 Hz Canal N° 2: 2400 Hz	QAM	Asincrónico	Dúplex	RTC
V.23	1200 baudios 75 baudios	2400 bps	Canal N° 1: 1700 Hz Canal N° R1: 390 Hz Canal N° R0: 450 Hz	FSK	Asincrónico Sincrónico	Dúplex	RTC
V.26	1200 baudios	2400 bps	Canal N° 1: 1700 Hz	PSK	Sincrónico	Dúplex	4 hilos
V.26 bis	1200 baudios	2400 bps	Canal N° 1: 1800 Hz	PSK	Sincrónico	Semi-dúplex	RTC
V.26 ter	1200 baudios 75 baudios	2400 bps	Canal N° 1: 1800 Hz Canal N° R1: 390 Hz Canal N° R0: 450 Hz	PSK	Asincrónico Sincrónico	Dúplex	RTC
V.27	1600 baudios	4800 bps	Canal N° 1: 1800 Hz	DPSK	Sincrónico	Dúplex	2 hilos
V.27 bis	1600 baudios	4800 bps	Canal N° 1: 1800 Hz	DPSK	Sincrónico	Dúplex	2 hilos
V.26	1600 baudios	4800 bps	Canal N° 1: 1800 Hz	DPSK	Sincrónico	Dúplex	RTC
V.26	2400 baudios	9600 bps	Canal N° 1: 1700 Hz	QAM	Sincrónico	Dúplex	4 hilos
V.26	2400 baudios	9600 bps	Canal N° 1: 1800 Hz	QAM/TCM	Asincrónico	Dúplex	RTC

Obsérvese que dentro de este grupo también se han incluido módems que trabajan exclusivamente con las técnicas de modulación de fase o fase diferencial, como son los que corresponden a las recomendaciones V.27, V.27 bis, V.27 ter, V.29 y V.32.

En estos casos, la mayoría de estos módems funcionaban exclusivamente en la norma para la que habían sido fabricados, excepto en el caso de la norma V.32, que poseía una cierta inteligencia. Esta última representó un gran avance, pues operaba a 9.600 bps sobre líneas conmutadas, o líneas dedicadas a dos hilos.

A partir de ella se empezó a trabajar con equipos más inteligentes que podían reconocer más de una norma y, además, se empezó a usar el sistema de Codificación Trellis - TCM. La modulación con Codificación Entrelazada tolera el doble de potencia de ruido que las modulaciones clásicas. Es por ello que se pueden obtener velocidades mucho más altas sobre un enlace telefónico conmutado.

7.4.5 Módems de media y alta velocidad

7.4.5.1 La Red Internet y la necesidad de equipos modem más veloces

El desarrollo exponencial de la Red Internet, la generalización de su uso por todas las profesiones y estratos sociales, y la creciente necesidad de los distintos usuarios de acceder a ella a través de la Red Telefónica Conmutada usando computadores personales ha provocado varios fenómenos simultáneos, entre los cuales podríamos mencionar:

- Un claro incremento del tráfico telefónico, y consecuentemente en los ingresos de las empresas prestadoras de este servicio. Por otra parte, la aparición de Empresas Proveedoras - **Internet Service Provider** de accesos a la red, que generan un nuevo mercado de significativa importancia comercial.
- La generalización de las presentaciones de empresas comerciales, instituciones públicas, académicas, gubernamentales, militares y de todo orden a través de la modalidad de las páginas World Wide Web.
- El aumento del tamaño de los paquetes de información que se transfieren a través de esta red, sean estos de textos, gráficos u otros de diversa índole.
- La creación, en todas las organizaciones, de Redes de Área Local - LAN; por un lado, para facilitar el manejo de la información en la propia organización y, por otro, para que a través de ella cada computadora pueda tener la facilidad de acceder a cualquier lugar de la Red Internet en la modalidad *on line*. Estas redes, por lo tanto, deben intercambiar información con otras similares ubicadas en forma remota, o con computadores personales usando la Red Telefónica Conmutada.
- La ejecución de aplicaciones intensivas que conllevan la necesidad de transferir una gran cantidad de información, manejar protocolos de distintos tipos y ejecutar aplicaciones cada vez de mayor complejidad.

Todos estos cambios, que se han ido generando a una velocidad cada vez mayor, han llevado a una situación que se ha denominado como La crisis del ancho de banda. La misma se podría explicar en distintos planos:

- En las empresas de servicios de telecomunicaciones porque, cuando terminan de construir una red troncal de alta capacidad, esta ya se encuentra saturada pocos meses después de haberla inaugurado.
- Las empresas o instituciones públicas o privadas porque toman conciencia, luego de finalizar una etapa de negociación con un proveedor de servicios de telecomunicaciones con el objeto de contratar un ancho de banda de mayor valor, que este, al serle provisto, ya le resulta insuficiente.

- Finalmente, a nivel personal porque los usuarios de servicios Internet han encontrado que la red telefónica conmutada no les ofrece velocidades de transmisión para sus interconexiones acordes con sus expectativas y sus necesidades.

Realizar, desde un computador personal conectado a la red telefónica mediante un acceso discado, una operación hoy tan común como un FTP (*File Transfer Protocol*) procedimiento utilizado para la transferencia de archivos entre dos lugares remotos, utilizando la suite de protocolos de la arquitectura DARPA), tan necesario para actualizar algún paquete de software ya adquirido, normalmente demandará un tiempo mayor a lo esperado. Este, además de provocar la incomodidad de tener que esperar tiempos excesivos, luego se siente en los costos de los servicios telefónicos en forma de un mayor número de pulsos consumidos en el mes y de abultadas cuentas.

Los accesos telefónicos analógicos limitados en el ancho de banda con planteles externos de distribución, muchas veces de calidad deficiente, o directamente equipos módem de baja *performance*, han llevado a agudizar el ingenio para obtener una solución a estos problemas.

Una de las maneras de solucionar solo en parte estos problemas fue el desarrollo de equipos módem de media y alta velocidad, en particular los que cumplían con la Recomendación V.34 de la UIT – T.

Dentro de este grupo de equipos de media y alta velocidad se pueden considerar los módem del tipo multirecomendación, que pueden trabajar con varias normas en forma simultánea y detectar, en el período de negociación con el módem correspondiente, cuál era la mejor opción para cada caso.

La Tabla 7 – 6 muestra las características principales de los equipos de este tipo. Dentro de este tipo están los equipos que trabajan con las recomendaciones V.32 bis, V.32 ter, V.33 y V.34.

Tabla 7-6 Módems de media y alta velocidad

Norma	V_M	$V_{T\max}$	F_p	Modulación	Modo	Tipo	Enlace
V.32 bis	2400 baudios	14400 bps	Canal N° 1: 1800 Hz	QAM/TCM	Asincrónico	Dúplex	RTC
V.33	2400 baudios	14400 bps	Canal N° 1: 1800 Hz	QAM/TCM	Asincrónico	Dúplex	4 hilos
V.34	3429 baudios	33600 bps	Varios	QAM/TCM	Sincrónico	Dúplex	RTC

A partir de estos equipos, el método de modulación pasó a ser el de Modulación en Cuadratura o QAM y, en todos los casos, se usa el sistema de Codificación Trellis - TCM.

7.4.5.2 Características particulares de la Recomendación V.34

7.4.5.2.1 Velocidades de trabajo de la Recomendación V.34

Los módems de la Recomendación V.34 son los más rápidos de todos los equipos de este tipo que han sido normalizados internacionalmente por la UIT - T. La velocidad máxima a la que pueden trabajar sobre la Red Telefónica Conmutada usando estos equipos estaba muy cerca del límite de la Ley de Shannon, oportunamente tratada en el Capítulo 3 de esta obra.

Recordemos la expresión de la Ley de Shannon - Hartley, que determinaba la capacidad de un canal continuo que tenía un ancho de banda Δf ruido limitado en banda (ver apartado 3.6.2).

$$C = \Delta f \log_2 \left(1 + \frac{S}{N} \right) [\text{bps}] \quad (3 - 65) (7 - 41)$$

Donde:

S = potencia media de la señal continua transmitida por el canal.

N = potencia media del ruido.

Δf = ancho de banda del canal de comunicaciones.

En la expresión (7 - 41), la relación señal/ruido está expresada desde el punto de vista de potencia media de la señal.

Veamos qué forma toma esta expresión si, para un uso más práctico, deseamos expresar la relación de potencias en decibeles en lugar de expresarlas en Watt.

Para ello, recordemos la definición del decibel, cuya expresión será:

$$dB = 10 \log \frac{P_2}{P_1} \quad (2 - 67) \quad (7 - 42)$$

Operando convenientemente, resultará:

$$\frac{dB}{10} = \log \frac{P_2}{P_1} \quad (7 - 43)$$

$$10^{\frac{dB}{10}} = \frac{P_2}{P_1} \quad (7 - 44)$$

Reemplazemos, en el segundo miembro de la (7 - 42), la Potencia - P_2 por el valor de la potencia media de la señal transmitida por el canal - S y Potencia - P_1 por la potencia media del ruido en el canal - N ; luego tendremos:

$$10^{\frac{dB}{10}} = \frac{S}{N} \quad (7 - 45)$$

La ecuación (7 - 45) nos da el valor de la relación señal/ruido medida en términos de potencia, pero por su expresión en decibeles; luego, finalmente, reemplazando el segundo miembro en la Ley de Shannon – Hartley, tendremos:

$$C = \Delta f \log_2 \left(1 + 10^{\frac{dB}{10}} \right) [bps] \quad (7 - 46)$$

Expresión esta de la Ley de Shannon - Hartley, en la que la relación señal/ruido está expresada en decibeles - dB .

Ejemplo 7 - 1:

Se empleará un canal telefónico analógico de 3.100 Hz de ancho de banda cuyo enruteamiento incluye tramos de la red que están digitalizados.

Si la red genera un ruido de cuantificación que, sumados a otros producidos en ella, totalizan 35 dB, ¿cuál sería el límite teórico al que podría trabajar un módem de datos, calculado a través de la Ley de Shannon - Hartley?

Si la relación señal/ruido se pudiese mejorar hasta alcanzar un valor de 40 dB, es decir, que el ruido solo fuera el 0,1% del valor de la señal, ¿hasta qué valor de la velocidad de transmisión se ampliaría el límite que determina dicha ley?

Reemplazemos el valor de la relación señal/ruido, expresada en dB , de la (5 - 9) por 35 dB.

La misma resultará igual a:

$$C = \Delta f \log_2 \left(1 + 10^{\frac{35}{10}} \right) [bps]$$

Y, operando convenientemente, tendremos:

$$C = 36.168 bps$$

Es decir que el límite máximo teórico, en las condiciones técnicas señaladas, es ligeramente superior al valor máximo establecido en la Recomendación V.34, que resulta de $V_t = 33.600 bps$.

Para el caso de que la relación señal/ruido fuese de 40 dB, es decir, del orden de la diezmillésima parte del valor de la señal, la expresión (5 - 9) quedaría de la siguiente manera:

$$C = \Delta f \log_2 \left(1 + 10^{\frac{40}{10}} \right) [bps]$$

Y, operando convenientemente, resultaría que la capacidad del canal podría alcanzar la capacidad de $C = 41.333 bps$.

De los valores obtenidos en el Ejemplo 7 - 1 se pudo apreciar, como ya se expresó, que con los valores actuales máximos se está muy cerca del límite establecido por la mencionada ley.

Debemos destacar que solo en casos muy especiales en los que el canal de comunicaciones presenta un nivel de ruido mínimo se pueden alcanzar verdaderamente estos valores máximos posibles establecidos en dicha recomendación.

La Recomendación V.34 admite varias velocidades de modulación que, cuando superan la barrera de los 2.400 Baudios, solo podrán ser alcanzadas en función a la calidad del canal de comunicaciones que la red telefónica comutada haya posibilitado al establecer la conexión.

Este concepto debe ser analizado conexión por conexión; es decir, que puede haber algunas en donde el enrutamiento efectuado por la red presente mejores características y otros casos en los que el canal quede establecido en condiciones más deficientes.

En este caso, las distintas velocidades de modulación posibles se obtienen partiendo del valor de 2400 Baudios y de resolver la expresión (7 - 47). La UIT - T denomina en las últimas recomendaciones como velocidad de señalización a lo que se ha definido como velocidad de transmisión de datos, y velocidad de símbolos a lo que se ha definido como velocidad de modulación. Los autores prefieren mantener las denominaciones clásicas usadas en las recomendaciones anteriores a la V.34 y definidas en el Capítulo 4.

$$V_m = 2.400 \text{ Baudios} \times a/c \quad (7 - 47)$$

Los distintos valores de velocidades de modulación posibles y de los parámetros a y c (números enteros y pequeños) surgen de la Tabla 7 - 7.

**Tabla 7-7 Velocidades de modulación de la recomendación V.34
Velocidades máximas de transmisión para cada una de ellas**

V_M	A	C	$V_{Tmáx}$
2400 baudios	1	1	21800 bps
2743 baudios	8	7	26600 bps
2800 baudios	7	6	26600 bps
3000 baudios	5	4	29000 bps
3200 baudios	4	3	31400 bps
3429 baudios	10	7	33600 bps

Obsérvese que para cada velocidad de modulación normalizada se puede llegar a obtener una velocidad de transmisión máxima. Así, por ejemplo, para que ambos módems lleguen a poder trabajar a la velocidad máxima de dicha recomendación, es decir, 33.600 bps, se requiere que ellos hayan negociado una velocidad de modulación de 3429 Baudios.

Como contrapunto podríamos señalar que si la velocidad de modulación es negociada a un valor de 2800 Baudios, la velocidad de transmisión queda limitada, cuanto más, al valor de 26.600 bps.

La recomendación permite establecer hasta una superconstelación que contiene 1664 puntos. En esta recomendación, la UIT habla por primera vez, no del concepto ya conocido de constelación empleado en las anteriores recomendaciones, sino de superconstelación por el tamaño de puntos que la componen. Cualquier velocidad diferente a la máxima resultante del proceso de negociación, o de un proceso posterior de renegociación durante la conexión, será inferior a esta. Las diferentes constelaciones posibles en estos últimos casos serán siempre subconjuntos de la superconstelación antes señalada.

Finalmente, debe destacarse que la velocidad de trabajo quedará determinada sobre la base del ancho de banda real que se encuentre en el canal y al ruido total en el mismo.

Respecto al ruido total, deben siempre considerarse simultáneamente, como mínimo, el ruido blanco o gaussiano más el ruido de cuantificación sin perjuicio de que el canal presente otros adicionales, como podría ser ruido impulsivo, ruido simple, etc., que sin duda empeorarían la situación. Este último ruido es generado por la red telefónica en el momento en que la señal analógica entregada por el módem ingresa al primer conmutador o vínculo digital de la red.

Es en ese momento que se debe proceder a digitalizar nuevamente la señal para posibilitar su tratamiento por los nodos de conmutación y los enlaces actualmente ya digitalizados en la mayoría de las redes telefónicas del mundo.

7.4.5.2.2 Otras características técnicas destacables

En estos equipos, la velocidad de transmisión puede ser renegociada en cualquier momento y las variaciones van descendiendo o aumentando en saltos de 2400 bps. Para poder realizar esta función realizan sondeos del canal utilizado, lo que los ha llevado a la necesidad de contar con microprocesadores con una potencia de procesamiento mínima del orden de los 30 a 40 MIPS (Mega Instrucciones Por Segundo).

Por otra parte, para llegar a obtener estas velocidades manejan tres técnicas que ya fueron descriptas y que poseen una importancia central para posibilitar el trabajo a los valores más altos: Codificación Entrelazada, Ecualización del canal y Codificación no lineal. La codificación entrelazada, al permitir distinguir en la etapa de recepción los puntos de una constelación con mayor precisión, produce, en términos prácticos, una mejora en la relación señal/ruido del orden de 6 dB.

La ecualización del canal reduce la interferencia intersímbolos en razón de que produce una compensación de la curva de respuesta en frecuencia del canal telefónico, en la región de las frecuencias más altas. Es en esta zona, precisamente, donde un canal telefónico analógico tiene un comportamiento más deficiente. La ecualización produce un efecto equivalente a como si se aumentara el ancho de banda del canal.

La codificación no lineal ataca el problema de la distorsión de las señales analógicas. Estas corresponden a la porción del canal de comunicaciones en el tramo establecido a través del par de abonado o *local loop*.

Estos módems admiten, en forma opcional:

- La posibilidad de establecer, además, un canal secundario que podrá trabajar a una velocidad de transmisión de 200 bps (ver apartado 7.4.3.4).

- La posibilidad de establecer una comunicación asimétrica. Este último concepto, más ampliamente usado en los módems de muy alta velocidad que introducen esta modalidad, consiste en que no necesariamente la velocidad de transmisión en ambos sentidos debe ser la misma.

Precisamente, durante el período de negociación de la velocidad, si ambos módems tienen implementada esta facilidad, podrán mantener velocidades diferentes en uno y otro sentido. Estas resultarán de cómo se vea el canal de comunicaciones desde cada extremo en cuanto a la calidad que el mismo ofrece.

También es importante, en estos equipos, la introducción de los nuevos procedimientos para el establecimiento de la conexión. Estos están consignados en la Recomendación V.8. La misma, denominada Procedimientos para comenzar sesiones de transmisión de datos por la red telefónica general conmutada, fue emitida por la UIT recién en el año 1994.

Estos procedimientos permiten reducir el tiempo de establecimiento de la comunicación a un valor del orden de los cinco segundos, en contraste con los 10 segundos que se necesitarían si se utilizaran los procedimientos para el establecimiento de la conexión establecidos en la Recomendación V.32 bis.

7.4.6 Módems de muy alta velocidad inteligentes (*smart modem*)

7.4.6.1 Aspectos generales

Las empresas **Proveedoras de Servicios Internet – ISP** (*Internet Service Provider*) están conectadas en modo digital, por un lado, a la Red Internet y, por otro, a la Red telefónica Conmutada. En ambos casos utilizan enlaces que pueden ser de diferentes tecnologías. Entre ellos se pueden señalar los denominados E1 (compuestos por 30 canales de 64 kbps) y T1 (compuestos por 24 canales de 56 kbps), otros como podrían ser la denominada Jerarquía Digital Sincrónica – SDH (*Synchronous Digital Hierarchy*), o su similar en la norma de los Estados Unidos de Norteamérica denominada SONET (*Synchronous Optical Network*), o la **Red Inteligente - NGN** (*New Generation Network*) a través de vínculos de muy alta velocidad denominados “switchados”.

En algunos casos la provisión del acceso a la Red Internet se efectúa por enlaces de muy alta velocidad del mismo tipo que los usados por el proveedor para obtener conectividad con dicha red, pero en otros este servicio se debe prestar a usuarios de la Red Telefónica Conmutada que reciban este servicio a través de un vínculo analógico.

Por la cantidad de información que es necesario transferir desde y hacia la Red Internet, se necesitó de módems aun más veloces que los denominados de alta velocidad. Por tal causa se desarrollaron los denominados inteligentes de muy alta velocidad.

Fue a partir del año 1997 que, en forma simultánea, aparecieron dos nuevas normas propietarias: una 56Kflex®, de la empresa Rockwell Semiconductor Systems, y X2®, de la firma 3Com's - U.S. Robotics. Estas normas permitieron velocidades aun mayores a las de los módems V.34, en ese momento los más rápidos disponibles en el mercado. Ambos, al ser propietarios, no resultaron compatibles entre sí.

Cada una de estas empresas buscaron imponer su producto y su norma de funcionamiento en el mercado como estándar de facto. Obviamente, al no existir compatibilidad entre ambas se limitó la universalidad de su uso.

Es así que el Grupo de Estudio 16 de la Unión Internacional de Telecomunicaciones, en el mes de marzo de 1997, comenzó a trabajar en una recomendación que superara el problema de la incompatibilidad entre ambos estándares. Como resultado de su trabajo desarrolló primero la recomendación denominada V.90, que apareció en septiembre de 1998, y posteriormente la V.92. Estas apuntaron a resolver la conectividad entre ambos estándares.

La norma V.90 se denomina oficialmente:

Par constituido por un módem digital y un módem analógico para uso en la red telefónica pública conmutada (RTPC) a velocidades de señalización de datos de hasta 56.000 bit/s en sentido descendente y hasta 33.600 bit/s en sentido ascendente.

En agosto de 1999, se presentó la recomendación V.92, y la actualmente vigente es la versión de noviembre de 2000. La misma se denominó **Mejoras a la Recomendación V.90**. Esta mejora la velocidad del canal ascendente, llevando su valor hasta 48.000 bps.

En ambos casos, tanto para la norma V.90 como para la V.92, el ISP, para proveer el servicio, debe estar conectado a la Red Telefónica Comutada a través del un canal B que utilice la tecnología denominada **Modulación por Pulso Codificada – PCM** (ver *Pulse Code Modulation*, tecnología que será desarrollada en el apartado 7.10.3).

Estos equipos, por las razones señaladas, establecen una conexión asimétrica entre un Proveedor de Servicios Internet y un usuario de los mismos.

En dicha conexión se puede alcanzar una velocidad que puede llegar hasta los 56 kbps a través del canal en dirección al usuario, que se conoce con el nombre de **downstream** (corriente de descenso de la información), y establecer un canal en dirección al proveedor de 33.600 bps (para la V.90) y 48.000 bps (para la V.92), denominado **upstream** (corriente de ascenso de la información).

La Fig. 7.33. muestra un esquema de conexión entre un usuario de este tipo de equipos, conectado a través de la Red Telefónica Comutada con un proveedor de servicios Internet.

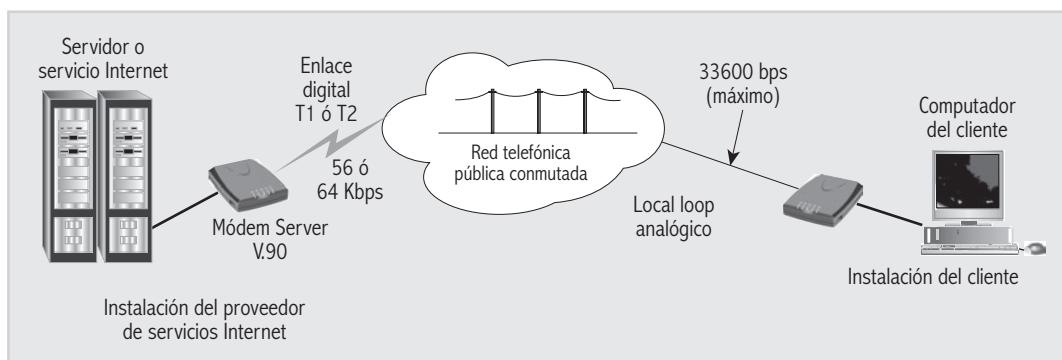


Fig. 7.33. Esquema de conectividad entre módems de la Recomendación V90.

Se puede observar que el usuario de servicios, usando un módem especial que trabaja en la modalidad denominada cliente, se conecta a una red telefónica comutada que debe estar ya digitalizada a partir de su borde, es decir, en el punto donde termina el par de abonado o el *local loop*.

En el mismo momento que la señal ingresa a ella, la señal analógica generada por el módem cliente es digitalizada por la red telefónica, usando las técnicas de digitalización de señales analógicas tal como fueron oportunamente estudiadas en el Capítulo 4. Estas técnicas, como se vio, pueden usar, según los casos y las tecnologías empleadas, las denominadas Ley A o Ley μ para el proceso de digitalización.

Como el proveedor de servicios Internet está conectado a la red telefónica en modo digital, la señal no vuelve a transformarse más en analógica y al llegar al final del circuito de datos es recibida por un módem *server* que, luego de procesarla, conecta la señal enviada por el cliente al computador del proveedor. En forma análoga podría ser descripto el proceso inverso.



La norma V.90 se denomina oficialmente por constituido por un módem digital y un módem analógico para uso en la red telefónica pública conmutada (RTPC) a velocidades de señalización de datos de hasta 56.000 bit/s en sentido descendente y hasta 33.600 bit/s en sentido ascendente.

7.4.6.2 Características principales

Cuando en un enlace ambos módems funcionen con las características de la Recomendación V.90 o V.92, la conexión requerirá el uso de dos tipos de módem llamados:

- Del lado del usuario: Módem cliente.
- Del lado del proveedor: Módem servidor.

Deben señalarse, como aspectos a tener en cuenta en caso del uso de este tipo de equipos, lo siguiente:

- La conexión a establecer resultará asimétrica, es decir, con una velocidad desde el módem cliente y otra velocidad distinta desde el módem servidor.
- Cada equipo módem ubicado en los dos extremos del canal presentarán características técnicas diferentes.
- El extremo en el que se instalará el módem servidor deberá tener acceso digital a la red telefónica.

El equipo en el que se conectará el equipo módem cliente deberá tener un par de abonado o *local loop* absolutamente analógico hasta el borde de la red telefónica y la señal podrá ser digitalizada una sola vez. Esto quiere decir que su conexión a la red no puede ser transportada por vínculos multiplexados que contengan varios pares de abonados - antes de ingresar a la red telefónica comutada. Esta, por otra parte, deberá ser absolutamente digital hasta el otro extremo.

La razón está en que cada proceso de digitalización introduce una determinada cantidad de ruido de cuantificación. Este desmejoraría la relación señal/ruido y por lo tanto haría imposible alcanzar las velocidades buscadas. Para poder llegar a obtener velocidades de aproximadamente 56 kbps, la relación señal/ruido en la línea de comunicaciones debe ser mejor que 45 dB.

Además, la distancia entre el equipo terminal del cliente y el nodo de conmutación de la red no puede estar más allá de los 5 o 6 km porque las señales digitales provenientes del servidor sufrirían tal distorsión que no podrían superar los escasos 35 kbps.

El uso de los computadores personales para establecer comunicaciones de datos es cada día más frecuente. El acceso a bases de datos, la transferencia de archivos, el intercambio de información en la modalidad en línea - *on line*, son solo algunos de los ejemplos del uso que se le puede dar a este tipo de equipos como terminales de circuitos de comunicaciones.

Su empleo como Equipo Terminal de Datos (ETD) es similar, en sus características principales, a las de los grandes ordenadores, pero están condicionados por cuanto se comportan como equipos asincrónicos.

Esto limita su uso por la gran cantidad de protocolos sincrónicos que habitualmente se usan en las comunicaciones con los grandes computadores o para comunicarse en modo paquete con el protocolo X.25 en Redes Digitales de Transmisión de Datos por Conmutación de Paquetes, por citar solo dos ejemplos. Sin embargo, es posible transformarlos en terminales sincrónicos con el agregado de unidades adaptadoras sincrónicas/asincrónicas entre la salida del equipo personal y el módem de datos.

Estas unidades proporcionan los circuitos 113, 114 y 115 de la interfaz digital V.24 (contactos 24, 15 y 17 respectivamente), según se puede observar en la Tabla 5 - 3 del capítulo 5 de esta obra.

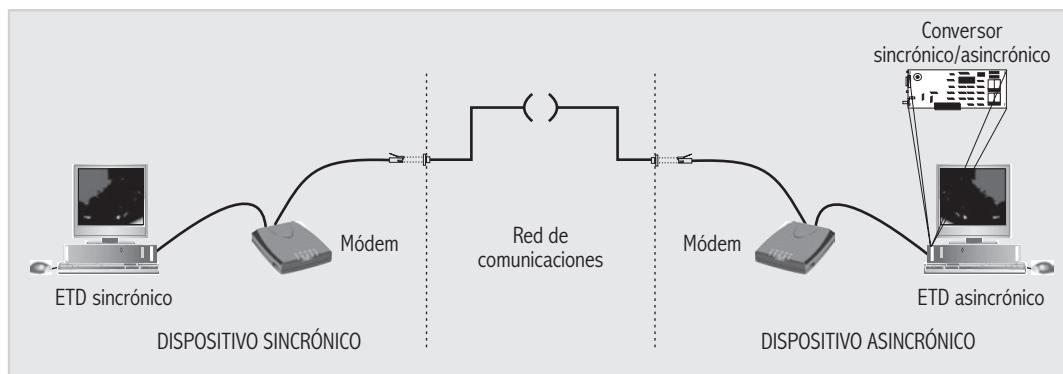


Fig. 7.34. Transformación de una transmisión proveniente de una computadora personal asincrónica a sincrónica.

La Fig. 7.34. muestra un esquema de disposición de transformación de un computador personal asincrónico en sincrónico.

7.4.6.3 Funciones que prestan los módems inteligentes

7.4.6.3.1 Aspectos generales

Los módems inteligentes pueden realizar las siguientes funciones, con base en sus características técnicas, en formas parcial o total:

- Capacidad de procesamiento y almacenamiento de datos.
- Procedimientos de establecimiento de la comunicación.
- Modulación QAM, con codificación entrelazada o *Trellis Coded Modulation* (ver Capítulo 4).
- Control del flujo de datos.
- Compresión, detección o corrección de errores.
- Operación como equipo facsímil.

7.4.6.3.2 Capacidad de procesamiento y almacenamiento de datos

- Consideraciones generales.

Los módems inteligentes están dotados de un microprocesador que les permite realizar distintas funciones en forma automática o preprogramadas. En este último caso, las mismas se pueden efectuar de dos maneras: por *hardware* o por *software*.

Por *hardware*, estos equipos poseen un conjunto de llaves de posición, que pueden ser accionadas externamente y colocadas en una de dos posiciones. Las mismas se señalan en los equipos como ON y OFF, con funciones diferentes para cada caso. Estas llaves, en un número variable entre ocho y diez, se conocen normalmente como DIP Switches.

Por *software* pueden ser programados a través de un conjunto de comandos, denominados Hayes por haber sido desarrollados por la empresa Hayes Microcomputer Incorporated y luego, con pequeñas variaciones, aceptados como un estándar de facto por el resto de los proveedores.

Una de las características más importantes de estos equipos es su funcionamiento con distintos esquemas de modulación y de velocidades. Normalmente, como mínimo, pueden operar cumpliendo las recomendaciones correspondientes a los módems de baja velocidad y a los de alta velocidad.

Por otra parte, los mismos tienen incorporadas las características de la Recomendación V.25 que les permiten operar como un teléfono en forma automática con la Red Telefónica Conmutada. Esta norma se denomina: Equipo de respuesta automática y procedimientos generales para los equipos de llamada automática en la red telefónica con conmutación, con procedimientos para la neutralización de los dispositivos de control de eco en las comunicaciones establecidas tanto manual como automáticamente.

Otra de las facilidades más importantes de estos equipos es ir adaptando la velocidad de trabajo a las condiciones de la línea. Estas funciones se realizan por procedimientos de negociación de la velocidad al comienzo de la transmisión o de renegociación cuando la comunicación está ya establecida y la tasa de errores en la línea es alta. En estos casos, mejorar la *performance* del equipo exige bajar la velocidad de transmisión.

Inicialmente, los equipos trabajaban a una velocidad de modulación máxima de 2.600 Baudios, pero a partir de la Recomendación V.34 alcanzan velocidades de 3.000, 3.200, 2.743, 2.800 y 3.429 Baudios.

Estas posibilidades se deben a la introducción de esquemas de modulación entrelazada que, mediante la introducción de bits de redundancia, permiten reducir al mínimo la posibilidad de que ocurran errores a causa del ruido y la distorsión de la línea.

Estos sistemas, como veremos más en detalle en el apartado 7.4.5.2.4, disminuyen la incertidumbre en la detección de cada punto de la constelación que se corresponde con la señal multinivel que se esté transmitiendo.

- Operación y configuración por medio de órdenes de comando externas.

La operación personalizada de los equipos módem se puede realizar a través de un conjunto de comandos denominados, como se expresó, Hayes, o también Comandos AT. Este último nombre proviene de la necesidad de comenzar la inicialización del módem, cualquiera sean los comandos a introducir, mediante la secuencia AT. Estas letras son un acrónimo de la palabra ATTENTION - AT.

Los comandos de operación de los equipos módem de datos se pueden dividir en dos categorías: principales y extendidos. Los comandos principales están normalizados por casi todos los fabricantes de equipos y los segundos dependen más del fabricante de cada uno de ellos.

La Tabla 7-8 muestra un conjunto de los comandos principales y las variantes más importantes que cada uno de ellos ofrece. La descripción debe ser tomada solo como indicativa, por cuanto, como se expresó, puede variar según el fabricante.

En todos los casos, las órdenes a través de estos comandos están limitadas en el número máximo de caracteres que pueden ser ingresados a cada equipo. En general, la cantidad máxima para la mayoría de los equipos está en alrededor de 50 caracteres.

Ejemplo 7 - 2:

¿Cuál sería la secuencia que se tendría que enviar en la señalización de un módem para que realice las siguientes funciones: inicie la comunicación, marcando por tonos y usando normas de la UIT - T, y coloque el parlante con su volumen al máximo?

La secuencia sería la siguiente: ATDTB0L3.

Respecto a los comandos extendidos, estos, si bien no poseen una normalización tan aceptada, en la mayoría de los casos presentan la estructura siguiente: &BN.

El primer signo es el carácter conocido como ampersand - &, luego se coloca la letra de la función elegida y finalmente, si fuera del caso, un número que indica una opción dentro de ella.

- Memorias de registro.

Los módems inteligentes poseen memorias que permiten almacenar determinados parámetros de operación. Las mismas se denominan Registros S del equipo.

Tabla 7-8 Conjunto de comandos primarios

Comando	Funciones Generales	Particulares
A	Facilita el modo de respuesta en forma manual.	
B	Selecciona el tono de respuesta y la velocidad de trabajo.	BO = UIT - T. B1 = Normas Bell. BN = Distintas velocidades.
D	Selecciona el modo de discar por la red telefónica.	DP = Por pulsos. DT = Por tonos. DN = Otras variantes.
E	Habilita o deshabilita el eco en la pantalla.	E0 = Sin eco E1 = Con eco. E0 = Colgar. E1 = Descolgar.
F	Permite seleccionar modo Dúplex o Semidúplex.	
H	Fuerza al módem a simular colgar o descolgar el microteléfono.	
I	Solicita información sobre el equipo.	I0 = Código de identificación del producto. I1 = Identificación de la ROM. IN = Otras informaciones.
L	Regula el volumen del parlante del equipo.	L0 = Mínimo. LN = Otros valores interdios. L4 = Máximo.
M	Activa o desactiva el parlante.	
O	Permite volver a conectar la línea.	
Q	Habilita o deshabilita el envío de códigos de resultado.	
S	Permite leer y mostrar el valor almacenado en un registro.	
V	Muestra los códigos de resultado en forma numérica o escrita.	
X	Habilita un conjunto de facilidades del equipo. Siempre el valor de default es el máximo.	X= = Incluye un conjunto mínimo de prestaciones. XN = Agrega prestaciones al conjunto mínimo. X4 = Conjunto máximo de prestaciones
Y	Activa o desactiva señales de respuesta, o pausas.	
Z	Permite reinicializar el equipo.	

Cada módem podrá tener un determinado número de Registros S, cada uno de los cuales permite almacenar un número que esté comprendido dentro del intervalo 0 a 255, por lo que se puede deducir que utilizan un byte de memoria para cada registro.

En cada memoria de registro el módem almacenará un parámetro de operación que podrá ser consultado o modificado externamente por el usuario. Todo equipo, desde fábrica, viene con un conjunto de valores en sus Registros S configurados por defecto o *default*.

El número de registros es variable de marca en marca y de modelo en modelo. En general, algunos valores están normalizados. En el manual de todo módem figura con cuántos registros cuenta y cuáles son los valores por defecto. Además, siempre se indica el rango dinámico que el usuario podrá alterar por medio de programas de comunicaciones o por una comunicación con el equipo para reasignar nuevos parámetros según sus necesidades o preferencias.

Para cambiar el contenido de un Registro S , la orden que se debe dar al equipo tiene la forma indicada en la expresión (7 - 2):

$$ATSR = n \quad (7 - 2)$$

Donde:

AT = Comando de iniciación de comunicación con el módem (attention).

S = Comando principal que se va a utilizar.

R = Número de registro que se va a cambiar.

n = Valor a reasignar al registro R .

Para consultar el valor contenido en un Registro S , la orden que se debe dar al equipo para que muestre el mismo tiene la forma indicada en la expresión (7 - 3):

$$ATSn? \quad (7 - 3)$$

Donde:

AT = Comando de iniciación de comunicación con el módem (attention).

S = Comando principal que se va a consultar.

n = Número de registro que se va a consultar.

Ejemplo 7 - 3:

¿Cuál sería la secuencia que se debería enviar para consultar el contenido del Registro S - Nº 8, que indica la cantidad de segundos que genera una coma de pausa? Luego proceda a cambiar el valor de dicho registro a una pausa de 3 segundos.

La secuencia de consulta sería: AT\$8?.

En muchos módems, por defecto, el valor de una coma de pausa es de 1 o 2 segundos; si no hubiera sido cambiado ese valor, la respuesta del equipo sería precisamente 1 o 2.

La secuencia de modificación sería: AT\$8=3. Una vez enviada dicha secuencia, cada vez que se desee inicializar un módem, la coma produciría una pausa de 3 segundos.

Nota 7 - 1:

La secuencia de inicialización cuando uno desea ordenarle al módem que marque un número telefónico en la modalidad por tonos sería: ATDT. A continuación, se debería ingresar el número de abonado con el que se desea efectuar la comunicación.

Un caso muy común es cuando se debe tomar primero una línea externa desde un número interno de una central telefónica, por ejemplo a través del número 9.

En estos casos es siempre conveniente poner una pausa para asegurarse de que se le dio tiempo a la central para que encontrara una línea externa disponible.

Si, para completar un ejemplo, el abonado al cual se quisiera direccionar la comunicación tuviera el número 344 9011, la secuencia de inicialización completa, para el llamado con pausa, sería la siguiente: ATDT9,3449011

7.4.6.3.3 Procedimientos de establecimiento de la comunicación

- Consideraciones generales.

Los equipos módem están capacitados para trabajar a diferentes velocidades. La finalidad de esta propiedad es la de obtener una velocidad de transmisión muy próxima al valor máximo que puede sustentar el canal en cada conexión.

El equipo, al establecer el enlace, tratará siempre de conectarse a la máxima velocidad posible que sea compatible en ambos lados del canal de comunicaciones.

Esta, en primer lugar, dependerá de la que ambos equipos módem manejen como valor más elevado. Finalmente, empezará a jugar la calidad del canal que la red telefónica haya ofrecido en el enlace establecido.

Obsérvese que para cada comunicación conmutada podrá haber una calidad diferente a la que será función del encaminamiento que la red haya establecido para esa comunicación.

Las velocidades menores a la máxima se suelen denominar velocidades de repliegue, que irán siendo cada vez más bajas a medida que la calidad del canal sea menor.

- Procedimiento de negociación.

El procedimiento inicial es el de negociación de la velocidad de transmisión. El mismo se realiza mediante un sondeo de línea, que consiste en determinar capacidades de los módems y los denominados parámetros de modulación.

Para ello se utiliza un conjunto de instrucciones denominadas Secuencias INFO. Los resultados del sondeo son, finalmente, los que fijan la velocidad de modulación que se utilizará y, dentro de ella, la velocidad de transmisión más conveniente.

Para la transmisión de las Secuencias INFO se utiliza una velocidad de 600 bps, con modulación de fase diferencial DPSK. Las mismas están conformadas por un conjunto de bits que permiten a ambos módems tomar las decisiones antes señaladas según sean los valores intercambiados.

En algunos casos en que ambos equipos lo permiten, la velocidad de modulación puede ser diferente en cada sentido de la comunicación. En ese caso se dice que la comunicación ha establecido velocidades de modulación asimétricas.

7.4.6.3.4 Modulación qam: la Recomendación V.29

Los módems de la Recomendación V.29 significaron el primer gran avance en la comunicación de datos por la Red Telefónica Conmutada. Estos equipos permitieron obtener velocidades de hasta 9.600 bps a través de líneas dedicadas a cuatro hilos, con señales multinivel de 16 valores que permitían la transmisión de cuatro bits por Baudio – cuadribits, usando la modulación en cuadratura QAM, es decir, combinando la modulación de fase diferencial con la modulación de amplitud.

El procedimiento consiste en transmitir un tren de datos aleatorios. Para dicho fin, este se divide en grupos de cuatro bits de datos consecutivos que hemos llamado cuadribits. El primer bit de cada cuadribit, que se denomina Q1, sirve para determinar la amplitud del elemento de señal que debe transmitirse. Los tres siguientes: el segundo, Q2, el tercero, Q3, y el cuarto, Q4, se codifican mediante un cambio de fase con relación a la fase del elemento precedente. Precisamente, el cambio de fase es el desplazamiento real de fase en línea en la región de transición entre el centro de un elemento de señal y el centro del elemento siguiente.

La fase absoluta es aquella establecida en el momento inicial de la sincronización o cuando esta se produce.

La Tabla 7 – 9 muestra la distribución de las 16 posibilidades que se corresponden con los cuadribit que se pueden formar de amplitudes relativas de la señal de los valores relativos 3, 5, y 3 .

Tabla 7-9 Modulación QAM. tabla de valores de los cuadribit que se forman en la Recomendación V.29

Fase Absoluta	Amplitud Relativa	Q1	Q2	Q3	Q4	Cambio De Fase
0°	3	0	0	0	1	0°
	5	1	0	0	1	
45°	$\sqrt{2}$	0	0	0	0	45°
	$3\sqrt{2}$	1	0	0	0	
90°	3	0	0	1	0	90°
	5	1	0	1	0	
135°	$\sqrt{2}$	0	0	1	1	135°
	$3\sqrt{2}$	1	0	1	1	
180°	3	0	1	1	1	180°
	5	1	1	1	1	
225°	$\sqrt{2}$	0	1	1	0	225°
	$3\sqrt{2}$	1	1	1	0	
270°	3	0	1	0	0	270°
	5	1	1	0	0	
315°	$\sqrt{2}$	0	1	0	1	315°
	$3\sqrt{2}$	1	1	0	1	

A los efectos de entender cómo se forma una constelación a partir del número de valores que toma la señal multinivel, analicemos la Fig. 7.35., que muestra la forma que toma para la Recomendación V.29.

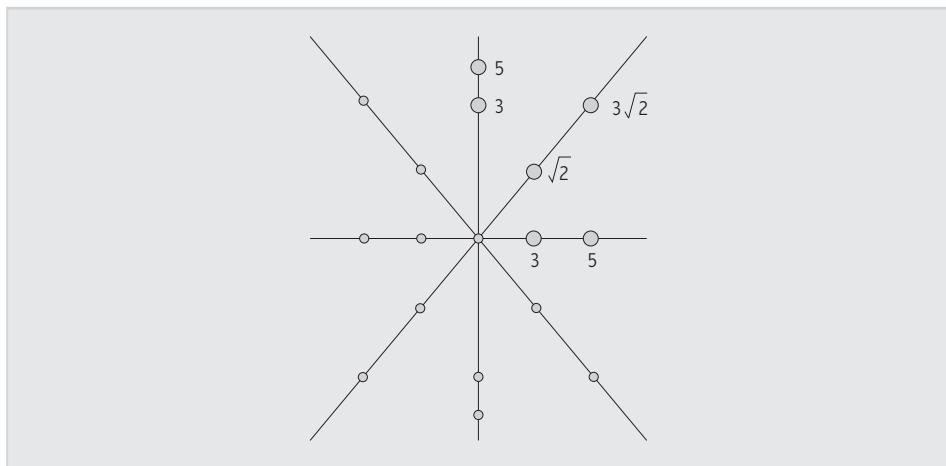


Fig. 7.35. Constelación de la Recomendación V.29 para la transmisión de cuadribits.

Se puede observar que dicha constelación tiene solamente 16 puntos y, a su vez, la Tabla 7 – 10 muestra el valor cuantitativo de cada uno de los cuadribits formados para poder facilitar el envío de 4 bits por Baudio, tal como trabaja esta recomendación.

Como se está usando la modulación QAM, se puede observar que cada punto está caracterizado por un valor de amplitud y por un valor de ángulo de fase.

Tabla 7-10 Valor cuantitativo de cada punto de la constelación de la Recomendación V.29 para cada cuadribits a una velocidad de 9600 bps

Cuadribits	Cambio de fase	Amplitud relativa	Cuadribits	Cambio de fase	Amplitud relativa
0001	0°	3	1001	0°	5
0000	+ 45°	$\sqrt{2}$	1000	+ 45°	$3\sqrt{2}$
0010	+ 90°	3	1010	+ 90°	5
0011	+ 135°	2	1011	+ 135°	3 2
0111	+ 180°	3	1111	+ 180°	5
0110	+ 225°	2	1110	+ 225°	3 2
0100	+ 270°	3	1100	+ 270°	5
0101	+ 315°	$\sqrt{2}$	1101	+ 315°	$3\sqrt{2}$

Esta mejora sustancial se debió a la inclusión de los equipos canceladores de eco en el hardware, que permitían mejorar las condiciones de la línea. Este tipo de equipos inició la era de los módems inteligentes, que continuaron siendo perfeccionados hasta el presente.

7.4.6.3.5 Modulación QAM con codificación entrelazada (*Coded Modulation - TCM*)

- La Modulación Trellis por codificación entrelazada.

La modulación por codificación entrelazada, o comúnmente denominada Trellis, es un esquema que permite la transmisión digital de datos con mucha eficiencia, en particular en canales con un ancho de banda limitado, como es el caso de los canales de frecuencia vocal que se usan en telefonía para la transmisión de datos.

Este sistema fue desarrollado por el investigador Gottfried Ungerboeck mientras trabajaba para la empresa IBM. Los primeros documentos fueron publicados en la década de 1970, pero su reconocimiento se produjo cuando, a través de una detallada publicación en el año 1982, logró un amplio reconocimiento de la comunidad científica y de la industria.

Ya a finales de la década de los setenta y a comienzos de la de los ochenta, los módems V.29 que funcionaban sobre las líneas de frecuencia vocal de la Red Telefónica Pública lograban velocidades típicas de 9.600 bps mediante el empleo de 4 bits por Baudio a través de esquemas de modulación QAM a 2.400 Baudios.

Este límite máximo estaba bastante lejano de la velocidad máxima teórica de la Ley de Shannon, del orden de los 35.000 bps para los valores usuales de relaciones señal/ruido. Esto hizo que se redoblaran los esfuerzos de investigadores y empresas que buscaban formas de mejorar esa velocidad.

Por otra parte, es evidente que cuanto más complejas y densas se fueron haciendo las constelaciones de un módem, su sensibilidad al ruido se hizo mucho mayor, así como la posibilidad de que no se pudiera distinguir un punto de los que se encontraban más adyacentes, y por lo tanto la cantidad errores aumentó considerablemente.

Es por ello que se necesitó de métodos, como el que se describirá con la codificación entrelazada o Trellis, que pudiesen proporcionar una mayor inmunidad al ruido, tan común en los circuitos que se establecen a través de la Red Telefónica Conmutada.

Analicemos una manera simple de interpretar este esquema de modulación: si representamos cada punto de la constelación por un vector, definido por una amplitud y un ángulo de fase, cada vez que por efectos del ruido cambie alguno de estos dos

Gottfried Ungerboeck (Viena, 1940). Se recibió de Ingeniero en Telecomunicaciones en 1964 en la Universidad de Tecnología de Viena y se doctoró en el Instituto Tecnológico de Zúrich en 1970. Primero trabajó en la empresa Siemens y en 1965, se incorporó al grupo IBM, primero en Austria y luego, en 1967, en los Laboratorios de Investigación que esa empresa tenía en Zúrich. Allí se dedicó al estudio del procesamiento de señales digitales, los sistemas de conmutación, las comunicaciones y la teoría de la información.

parámetros, ese vector tendrá una forma diferente y por lo tanto definirá un punto que está fuera de los definidos en la constelación.

Cada punto, correspondiente a cada conjunto de bits enviados, se podría representar por un vector denominado Vector Transmitido - V_T ; este, al llegar, puede hacerlo en una posición diferente a la transmitida debido al ruido que, por ejemplo, podría alterar alguno de sus parámetros característicos. Cada conjunto de bits recibidos se podría representar por un vector denominado Vector Recibido - V_R .

La Fig. 7.36. muestra el Vector V_T (0000) correspondiente al valor transmitido, que para una mejor comprensión se ha tomado de la Recomendación V.29, pues su esquema de formación es muy simple.

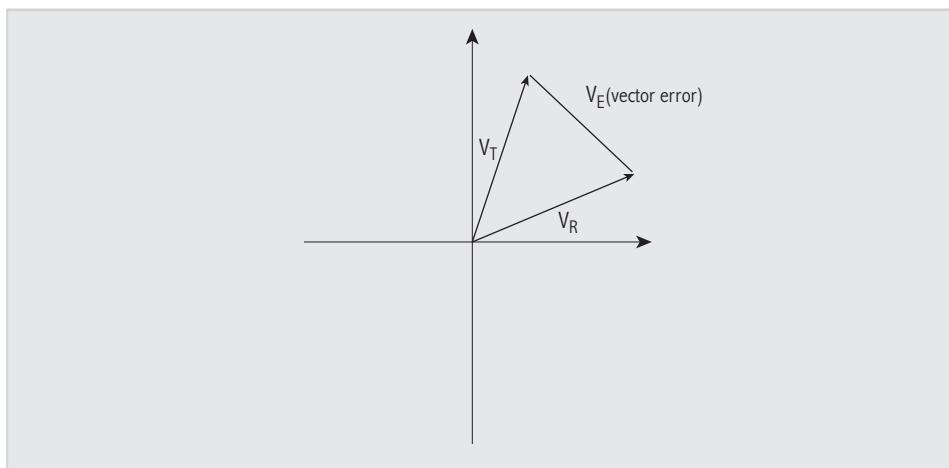


Fig. 7.36. Vectores definidos para la transmisión de un cuadribits. Vector del punto transmitido, del recibido y del vector error.

El Vector V_R (0000), que resulta de la ubicación del mismo al ser recibido, tiene un cierto error.

Se podría definir además un tercer vector, denominado Vector Error - V_E , como aquel que resulta de unir el punto donde debió llegar el cuadribit y el punto al cual verdaderamente arribó. El mismo también se puede observar en la Fig. 7.36., citada anteriormente.

El problema que se debe resolver cuando la constelación es muy densa es determinar una forma que permita, hasta determinados valores máximos del Vector Error - V_E , identificar cuál es el punto que se quiso transmitir y de esa manera evitar que se cometa un error por deficiencias de interpretación en la recepción. Precisamente, esa tarea es la que se puede realizar por medio de la Codificación Entrelazada.

Luego este método, denominado demodulación Codificación Entrelazada o Trellis Coded Modulation, dio una solución a este tipo de problemas proporcionando mecanismo de inmunidad al ruido mediante el agregado de bits redundantes, que facilitan la mejor ubicación, en la constelación, de cada punto transmitido cuando esta cuenta con un número importante de ellos.

Este tipo de codificación tolera niveles de potencia de ruido mucho mayores que cualquiera de las usadas anteriormente en una relación superior a 2:1. Por lo tanto, con este método se han alcanzado las velocidades actuales ya señaladas.

Sus características principales son las siguientes:

- Mejora y hace más eficiente el ancho de banda disponible.
- Logra aumentar la Velocidad de Transmisión a igual valor de la Velocidad de Modulación.
- Limita el número de transiciones por símbolo.
- Aumenta el tamaño de la constelación y reduce distancias entre los puntos que la forman.
- Las recomendaciones V.32, V.32 bis y V.34 y su relación con la modulación entrelazada.

La Recomendación V.32 es uno de los primeros ejemplos de uso de la codificación entrelazada o Trellis que al ser mucho más perfeccionada permitía transmitir a la misma velocidad, pero por circuitos arrendados a dos hilos e incluso a través de la Red Telefónica Conmutada.

Las características fundamentales de esta recomendación son:

- Funcionamiento en modo dúplex, tanto a través de la Red Telefónica Conmutada como de circuitos arrendados a dos hilos punto a punto.
- Uso de técnicas de compensación de eco para la separación de los canales.
- Modulación de amplitud en cuadratura para cada canal con transmisión síncrona en línea a 2.400 Baudios.
- A la velocidad de transmisión máxima de 9.600 bps permite utilizar dos esquemas de modulación: uno clásico con 16 estados de portadora y que transmite cuatro bit por Baudio ($2.400 \times 4 = 9.600$ bps); y otro que también permite la misma velocidad de transmisión de 9.600 bps pero emplea codificación entrelazada y utiliza 32 estados de portadora, transmitiendo cinco bits por Baudio.

Se puede apreciar que la parición de redundancia busca disminuir la tasa de errores.

La Fig. 7.37. muestra la constelación de la Recomendación V.32 para 16 estados de la portadora y la Fig. 7.38., para 32 estados.

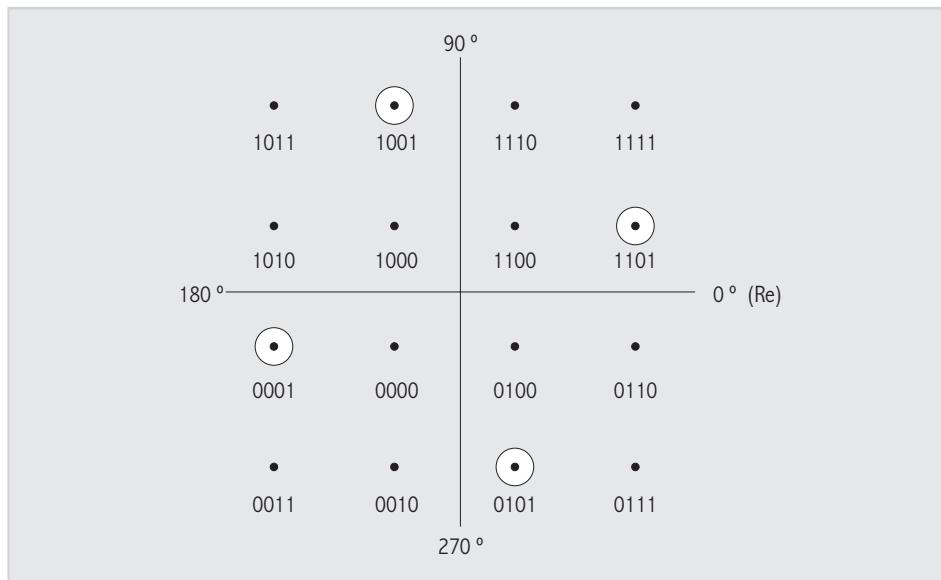


Fig. 7.37. Constelación de la Recomendación V.32 para 16 estados de la portadora.

En esta constelación de los cinco bits transmitidos, cuatro transmiten el byte correspondiente y el quinto bit redundante tiene por objeto mejorar la tasa de errores de la transmisión.

Con posterioridad, una nueva mejora aparece en la Recomendación V.32 bis. Esta utiliza modulación de amplitud en cuadratura con codificación entrelazada para cada canal con transmisión síncrona en línea a una velocidad de modulación de 2.400 Baudios.

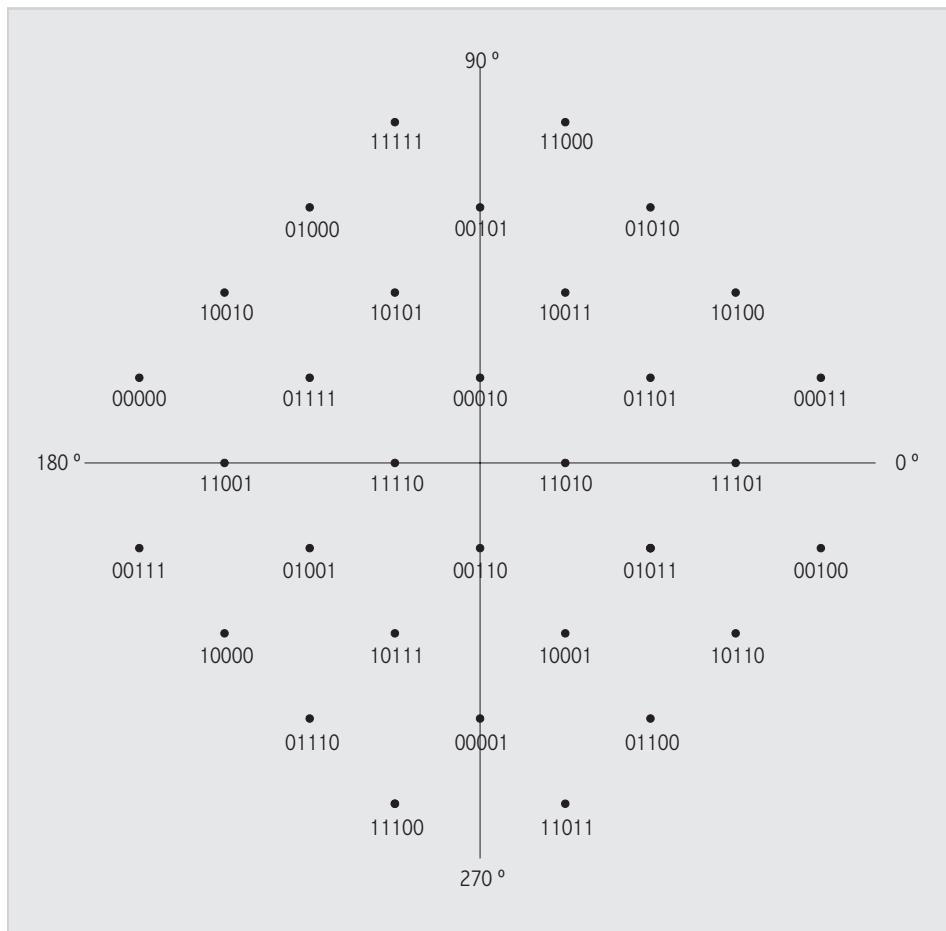


Fig. 7.38. Constelación de la Recomendación V.32 para 32 estados de la portadora

A su vez, la Fig. 7.39. muestra la superconstelación para la Recomendación V.32 bis, donde se puede apreciar el grado de densificación de la misma.

Comparemos la constelación de la Recomendación V.32 para 16 estados de la portadora de la Fig. 7.37. con la Fig. 7.39. de la Recomendación V.32 bis. Observaremos el grado de complejidad relativa que presenta la V.32 bis respecto a la primera.

Esta recomendación, al usar la codificación Trellis y agregar un bit redundante que lleva la constelación de 64 puntos necesaria para velocidades de 14.400 bps a una superconstelación de 128 puntos, pasa seis a siete bits por Baudio, permitiendo que la velocidad de transmisión llegue al valor de 14.400 bps con una mejor relación señal/ruido.

Precisamente, la introducción de ese séptimo bit agregado es el que permite determinar cuáles de las secuencias de datos transmitidas de 6 bits por Baudio resultan válidas. Como podemos ver, es necesario aumentar el número de bit por Baudio agregando más puntos en la constelación para disminuir la tasa de errores.

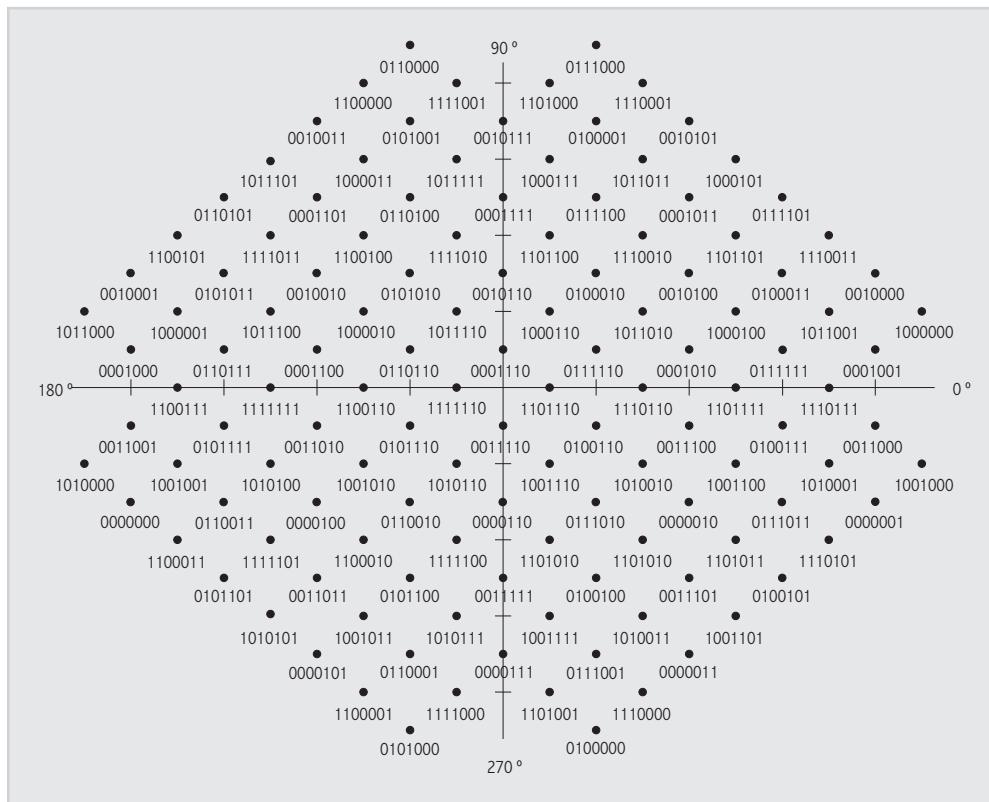


Fig. 7.39. Densificación a 126 puntos de la superconstelación para la Recomendación V.32 bis

En el caso de la Recomendación V.34, se utiliza una superconstelación de 1.664 puntos que permite trabajar a velocidades de transmisión de hasta 33.600 bps. Para tener una idea de la dificultad, no solo de su comprensión sino también de la expresión gráfica de la mencionada superconstelación, se puede señalar que en el texto de dicha recomendación (que publica la UIT - T) se muestra, en un cuadro, solamente una cuarta parte de ella, dada la complejidad de su dibujo, es decir, se muestra una subconstelación de 415 puntos y se explica cómo se podría armar la misma completa con la adición de las tres cuartas partes restantes.

La UIT - T también permite, en sus recomendaciones para los módems de alta velocidad, un método denominado de codificación no redundante a los efectos de evitar la transmisión del bit adicional redundante. La misma, en algunos casos, es más eficiente por la razón de transmitir menos bits por Baudio pero, a la vez, también resulta menos segura.

La explicación del mecanismo técnico usado por la Codificación Entrelazada en detalle escapa al alcance de esta obra por el grado de complejidad que presenta, por lo que no será desarrollado.

7.4.6.3.6 Control del flujo de datos

- Consideraciones generales.

Un equipo módem recibe bits de información desde el equipo terminal de datos fuente, los procesa y luego los envía a la interfaz que posee con la red. Esta, a su vez, procede a direccionarlos hacia su destino final, que resultará el equipo que actuará de colector. Análogamente sucederá cuando recibe la información a través de la red con destino al equipo al que presta sus servicios.

La cantidad de información en uno y otro sentido no necesariamente se transferirá a la misma velocidad, por lo que los módems poseen una memoria intermedia conocida como *buffer*. La misma actúa en forma similar a un resorte: acumula información cuando no puede ser diligenciada hacia su destino, o bien se descarga en los momentos en que el canal de salida lo permite.

Las razones de estas diferencias de velocidades pueden ser varias, como por ejemplo: cuando se tienen que corregir errores de recepción, cuando comprime y descomprime datos, o cuando directamente se produce un desequilibrio entre lo que se recibe y lo que se envía.

Mientras la memoria *buffer* no esté completa, la situación no ofrecerá dificultades. Pero si esta no puede recibir más información porque su capacidad está colmada, deben existir mecanismos que permitan detener el envío de bits desde el equipo terminal para evitar que los mismos se pierdan.

Este mecanismo de compensación entre ambos equipos recibe el nombre de técnicas de control del flujo de datos o *flow technical control*.

Las técnicas que deben cumplir en forma obligatoria los módems que cumplen con la Recomendación V.32 bis y siguientes hasta la V.34 son las denominadas RTS/CTS (*Request to Send/Clear to Send*) y XON/XOFF, que se conocen como control del flujo por *hardware* y control del flujo por *software* respectivamente.

En algunas aplicaciones propietarias se usa también la denominada ENQ/ACK (*Enquire/acknowledgement*).

- Método RTS/CTS.

Este método se basa en el uso de las señales de control que dispone la propia interfaz digital serie. Las mismas, como se vio en el apartado 7.2.4.2 de este capítulo, se pueden ejecutar a través de los comandos petición para transmitir - *Request To Send*, que puede enviar el ETD, y su respuesta desde el ETCD, a través del comando preparado para transmitir - *Clear To Send*.

El primer comando consiste físicamente en activar el circuito señalado a través del Circuito 105 - Contacto N° 4, de la interfaz, a uno; y de la misma manera, la autorización para que la transmisión comience se efectúa físicamente activando el Circuito 104 - contacto N° 5, también a uno; es decir, ambos circuitos activados.

Cuando el ETCD no puede seguir recibiendo datos desde el ETD, procede a desactivar el Circuito 104 - contacto N° 5, llevando su valor a cero, y esa señal indicará al ETD que debe cesar la transmisión.

La denominación de *hardware flow control* se fundamenta en el hecho de que el control se efectúa a través de la interfaz serie. Esta es un elemento de *hardware*, y las indicaciones para detener el flujo de los datos se realizan través de tensiones sobre los contactos de la misma. No es necesario ningún procesamiento de datos a ambos lados del cable para detener el flujo de los mismos.

- Método XON/XOFF.

Este método se basa en el uso de dos caracteres de control que, enviados por el ETCD, le indican al ETD terminal que puede enviar datos o que debe detener el flujo de ellos.

El primero consiste en el envío del carácter ASCII N° 17, conocido como XON, y se corresponde con Dispositivo de Control N° 1 - *Device Control # 1*.

El segundo consiste en el envío del carácter ASCII N° 19, conocido como XOFF, y se corresponde con Dispositivo de Control N° 3 - *Device Control # 3*.

La denominación de *software flow control* se deriva del hecho de que el control se efectúa a través de señales intercambiadas dentro del flujo de datos que realizan los equipos y que deben ser interpretadas a través del procesamiento de los datos.

Precisamente, el *software* deberá estar generado de tal manera que le indique al ETD que la recepción de esos caracteres indica una acción por ejecutar. Estos se consideran normalmente un inconveniente, por un lado, por el tiempo que demora su procesamiento y, por otro, por el tiempo que se pierde al enviarlos sobre el canal. En ambos casos se disminuye el rendimiento del enlace.

- Método ENQ/ACK.

Este método se usa en algunos equipos y consiste en el envío de una señal de petición de aceptación - Enquire/ENQ antes de comenzar la transmisión por parte del ETD. La misma solamente podrá hacerlo cuando reciba, del ETCD, una petición de aceptación - *Acknowledgement/ACK*.

Este método también debe ser considerado como realizado por *software*.

7.4.6.3.7 Detección, corrección de errores y compresión de los datos

Los módems inteligentes, merced a su capacidad de procesar la información y, además, tener memorias intermedias o *buffer*, poseen la capacidad de detectar y corregir los errores de transmisión.

Esta importante propiedad se realiza de módem a módem, es decir, en el denominado circuito de datos. La misma es independiente del protocolo de comunicaciones que se use, que en muchos casos provee esta misma función de Equipo Terminal a Equipo Terminal, es decir, en el denominado enlace de datos (ver Capítulo 1).

Es evidente que, cuando el protocolo realiza también esta función, la misma parece redundante, si bien pueden existir errores en la interfaz digital estándar, lo cual es poco probable.

La norma utilizada por los equipos módem estandarizados es la Recomendación V.42, denominada Procedimientos de corrección de errores para los ETCD, que utilizan la conversión de modo asíncrono a modo síncrono. El mismo nombre de la recomendación nos muestra que la comunicación con el computador es en modo asíncrono, mientras que la comunicación de módem a módem es síncrona.

Históricamente, la primera norma desarrollada y usada para realizar esta función fue elaborada por la empresa Microcom Incorporated, que desarrolló, a fines de la década de los años 80, un método que se denomina *Microcom Networking Protocol - MNP*. El mismo fue utilizado primero por la firma que lo desarrolló y, luego, por un conjunto importante de fabricantes de módems que adquirieron las licencias de dicho producto.

La UIT - T, en el año 1988, en su Conferencia Plenaria de Melbourne, aprobó la Recomendación V.42, en la que presentó un método denominado *Link Access Protocol Modem - LAP - M*, basado en la conocida familia de protocolos *High-Level Data Link Control - HDLC* (que oportunamente se desarrollará en esta obra) y, alternativamente, normaliza el procedimiento desarrollado por la empresa Microcom.

Las características más destacadas de esta recomendación son las siguientes:

- Utiliza el procedimiento de detección de errores, denominado Control por Redundancia Cíclica – CRC.
- La corrección de errores, cuando estos son detectados, se efectúa por medio de un procedimiento de retransmisión automática.
- Cuando el módem correspondiente no posee la facilidad de realizar el control de errores por medio de los procedimientos de esta recomendación, el mismo es omitido en forma automática.
- El intercambio de datos entre el ETD y el módem se realiza por medio de la interfaz V.24.
- La comunicación hacia el computador, que como ya se expresó es un equipo básicamente asincrónico, se realiza en ese modo de transmisión. Sin embargo, la comunicación remota la efectúa en modo sincrónico. Los Protocolos de enlace HDLC constituyen una familia de protocolos sincrónicos.

En particular, el protocolo LAP - M es orientado al bit, sincrónico, transmite los mensajes en tramas, tiene implementado un procedimiento de control de secuencias y maneja técnicas de control de flujo, pero es incompatible con el Protocolo MNP.

En cuanto a la compresión de datos, la misma se efectúa de acuerdo a la Recomendación V.42 bis, que fue aprobada por la UIT - T en el año 1990. Esta recomendación, que no reconoce ningún procedimiento alternativo, exige, para su correcto funcionamiento, que se realice el procedimiento de control de errores entre los módems.

De hecho, el nombre completo de la misma es Procedimientos de compresión de datos para los Equipos de Terminación del Circuito de Datos (ETCD) que utilizan procedimientos de corrección de errores.

Las características más importantes de esta recomendación son las siguientes:

- Utiliza un procedimiento de compresión basado en un algoritmo conocido como **Lempel-Ziv**, que codifica las cadenas de caracteres recibidos del equipo terminal de datos, y otro para la decodificación de las cadenas comprimidas.
- Funciona en modo transparente automático cuando detecta que los datos no se pueden comprimir. En esos casos, la función de compresión queda inactiva. Para ello realiza una prueba de compresibilidad en forma periódica que determina la naturaleza de los datos.

En algunos casos, los fabricantes introducen sistemas propietarios de compresión de datos, pero esto requiere el uso de equipos similares en ambos extremos.

7.4.6.3.8 Operación del módem como equipo facsímil

Los equipos módem que utilizan la Recomendación V.32 bis o mejores, en la mayoría de los casos, están preparados para trabajar como equipos facsímiles o para permitir la transmisión de la voz, usando al computador como equipo terminal.

La realización de la primera de las dos funciones se efectúa de acuerdo a la Recomendación V.17, que fue aprobada por la UIT - T en el año 1991. Esta recomendación permite el funcionamiento del computador como equipo terminal apoyado por el módem.

Esta recomendación posibilita velocidades de transmisión de hasta 14.400 bps, con velocidades de repliegue a 12.000, 9.600 y 7.200 bps, modulación QAM, Codificación Entrelazada y velocidades de modulación de 2.400 Baudios.

Últimamente, la Recomendación T.30 - Equipos Terminales y Protocolos para los Servicios de Telemática de la UIT - T (en su Anexo F: Procedimiento de transmisión facsímil del Grupo 3, utilizando el sistema de modulación semidúplex de la Recomendación V.34.), aprobada a fines del año 1996, admite la transmisión facsímil utilizando el sistema de modulación semidúplex

definido en la Recomendación V.34, y permite obtener velocidades de hasta 33.600 bps, no alcanzadas por los equipos facsímiles que son construidos específicamente para dicha función.

Para el funcionamiento de los computadores como equipos facsímiles se requieren programas de *software* instalados en el computador. A este respecto, la variedad de productos es muy grande y se está lejos de llegar a una normalización.

En particular, la Asociación de la Industria Electrónica - EIA de los Estados Unidos de Norteamérica ha emitido dos normas conocidas como EIA 575 - Fax Clase 1 y EIA 592 - Fax Clase 2.0, que son usadas en la mayoría de los módems de ese origen.

7.4.7 Características técnicas y operativas de un módem

Un equipo módem de datos está construido sobre la base de un determinado conjunto de especificaciones técnicas. En la Tabla 7 – 11, se detalla una parte de ellas.

Tabla 7-11 Especificaciones técnicas de un módem

Velocidad de modulación	Tensión de alimentación
Velocidad de transmisión	Frecuencia de alimentación
Número de bits por Baudio	Sistema de portadora
Modo de transmisión	Tipo de actualización
Tipo de explotación	Requerimientos del canal
Tipo de línea a utilizar	Banda pasante
Calidad de la línea a utilizar	Distorsión
Interfaz a utilizar con el ETD	Relación señal/ruido
Origen de la señal de sincronismo	Supresión de eco
Base de tiempo interna y externa	Codificación de las señales
Sensibilidad de recepción	Llamad automática
Consumo de potencia	Contestación automática
Tipo de modulación	Posibilidad de trabajo multipunto

7.5 Módem banda base

Son aquellos que utilizan la transmisión digital codificada y son aptos para distancias cortas en líneas especiales. En estos casos, la denominación de módem es más simbólica que real, pues este tipo de equipo no realiza una de las funciones principales de todo módem, como es la de modulación y demodulación.

Los equipos efectúan la función de codificación y decodificación y, además, pueden realizar otras funciones, complementarias o auxiliares.

La Fig. 7.40. muestra el esquema de un módem banda base.

En general se trata de equipos con una electrónica sencilla y por lo tanto muy económica. Se recomienda su uso cuando las condiciones de contorno del problema lo permiten. Estos módems permiten extender el alcance de las interfaces digitales.

Su uso está limitado al empleo de líneas de transmisión compuestas de cables constituidos por pares físicos de cobre o similares sin carga, que pueden ser de 2 o 4 hilos.

El alcance posible de obtener está limitado a algunos kilómetros de distancia, dependiendo del diámetro de los alambres utilizados. Las transmisiones por este medio siempre se realizan en modo sincrónico.

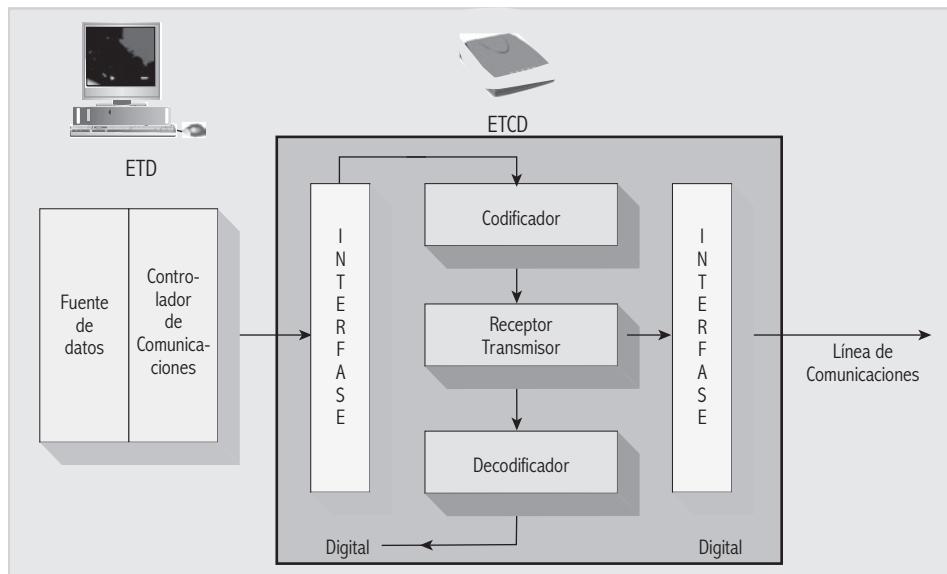


Fig. 7.40. Esquema de un módem banda base

Su utilización reviste importancia en los siguientes casos:

- Instalaciones en radios urbanos y en cortas distancias.
- Necesidad de trabajar a velocidades altas (más de 33.600 bps).
- Fácil instalación, puesta a punto y mantenimiento.
- Necesidad de interconectar circuitos digitales, como puede ser la de interconectar dos equipos *router* a través de un vínculo digital de 64 kbps o de velocidad aun mayor.

Pueden señalarse como algunas de las características típicas de estos equipos no normalizados las siguientes:

- Velocidades seleccionables desde 300 bps a 2.048 Mbps y aun más en algunos casos especiales.
- Uso de líneas de pares metálicos a 2 o 4 hilos.
- Codificación en banda base del tipo codificación diferencial o similar.
- Sincronismo de bit (proporcionado por el equipo terminal o por el propio módem).
- Interfaz con el equipo terminal, normalizada en los términos de la Recomendación V.24.

7.6 Redes de acceso utilizando tecnologías xDSL

7.6.1 Concepto de redes de banda ancha

Durante muchos años el uso de la Red Telefónica Conmutada para la transmisión de datos se limitó al empleo de equipos módem que trabajaban sobre dicha red utilizando líneas discadas.

Mejoras sucesivas en este tipo de equipos y saltos tecnológicos continuos permitieron que las velocidades de transmisión sobre pares de cobre en líneas analógicas utilizando dichos equipos fuera aumentando en forma constante su rendimiento.

Los primeros equipos, como los que respondían desde la Recomendación V.21 hasta las más modernas como las recomendaciones V.32 bis primero, V.34 después y hoy las recomen-

daciones V.90 y 92 en uso, han permitido llegar a velocidades que están prácticamente en el límite de la Ley Shannon (ver apartado 3.6.2) si bien en el caso de estas dos últimas normas se requiere, adicionalmente, que el proveedor esté conectado en forma digital a la Red Telefónica, donde el enlace resulta asimétrico, con una velocidad mayor en el tramo descendente.

La limitación de velocidad que impone este tipo de acceso a través de la Red Telefónica está restringido por el uso de los equipos códec, que limitan en los conmutadores telefónicos instalados en las TELCO el paso de frecuencias más allá de los 3.400 Hz, dejando por lo tanto un ancho de banda muy estrecho que resulta un severo limitante para obtener velocidades mayores utilizando módem de datos.

Estos códec de la Red Telefónica Conmutada digitalizan las señales analógicas utilizando el mecanismo descripto en la Recomendación G.711 de la UIT, conocida como Modulación por Pulso Codificados – PCM (ver apartado 7.10.3). Este procedimiento transforma las señales analógicas en digitales.

Para ello emplean un ancho de banda de 4000 Hz en el proceso de digitalización, lo que hace que se genere una señal digital de una velocidad de transmisión de 64.000 bps.

Si se usara un ancho de banda mayor a 4000 Hz, la velocidad resultante sería proporcionalmente mayor sin que ello se pudiera traducir en una mejora de la calidad de voz importante, pero produciría un requerimiento en las líneas troncales de mayores anchos de banda injustificados.

Por otro lado, el crecimiento del uso de la Red Internet para múltiples aplicaciones, la mayoría de ellas con contenidos de volúmenes de datos crecientes, exigían a los usuarios tiempos cada vez más importantes para recibir o enviar mensajes, archivos y otros contenidos de gran tamaño utilizando módem de datos.

Se buscó resolver este problema utilizando otras tecnologías como fue la denominada Red Digital de Servicios Integrados – RDSI, que ofreció la transmisión de datos a 128 kbps.

Rápidamente se vio que esta tampoco era una solución que podía satisfacer los requerimientos de los usuarios y así se analizaron otras formas que permitieran brindar los llamados **Acceso de Banda Ancha**.

El concepto de Acceso de Banda Ancha puede tener varias interpretaciones, pero una muy generalizada es considerar que este tipo de servicios son aquellos que se proporcionan a velocidades no inferiores a 2 Mbps. Este valor debe considerarse solo como referencial y seguramente irá aumentando año a año, dado el comportamiento de la Red Internet que requiere trabajar cada día a velocidades mayores.

La idea para brindar este tipo de servicio estuvo orientada a utilizar redes con medios de comunicaciones ya desplegados de amplia cobertura geográfica y con llegada a los usuarios finales ya establecidas.

Dichas redes son las de cables de cobre utilizados en la red telefónica y las de cables coaxiales empleados en las redes de distribución se señales de televisión.

Para la primera se desarrolló un conjunto de tecnologías denominadas xDSL y, para la segunda, las normas DOCSIS que utilizan equipos denominados cable módem (ver apartado 7.6.7).

7.6.2 Características de la red de cables de cobre

La idea de brindar servicios de Acceso de Banda Ancha a través del despliegue de la red de cables de cobre que poseen las empresas telefónicas tuvo como finalidad sacar el máximo provecho a la infraestructura que las mismas ya tenían instalada, actualmente del orden de 1.400.000.000 de líneas fijas telefónicas que utilizan pares de cobre para prestar el servicio.

Así surgió la posibilidad de utilizar todo el potencial que ofrecen los pares de cobre de dicho servicio. Estos tienen, según sus características, un ancho de banda cercano a 1 Mbps que no es utilizado en telefonía por las razones descriptas.

Por un lado, esta idea significaba la reutilización de una inversión existente en la totalidad de las empresas telefónicas a través de la apertura de un nuevo negocio sobre un medio existente. Así surge la idea de digitalizar parcialmente la línea de abonado para ofrecer servicios de transmisión de datos a alta velocidad.

No obstante, se presentaron inconvenientes técnicos. Uno de ellos es el originado por la utilización, en el par de abonado, de inductancias que permitían disminuir la atenuación. Estas se producían por efectos capacitivos que se generaban en estas líneas y limitaban su utilización cuando su extensión iba más allá de los 6.000 m aproximadamente.

Las líneas así supplementadas por inductancias se denominan **par de abonado cargado**.

La Fig. 7.41. muestra la atenuación en función de la frecuencia. Allí se puede observar en forma genérica la atenuación que presenta una línea cargada de otra que no lo está. La misma muestra que, sin carga, la atenuación crece en forma constante con la frecuencia.

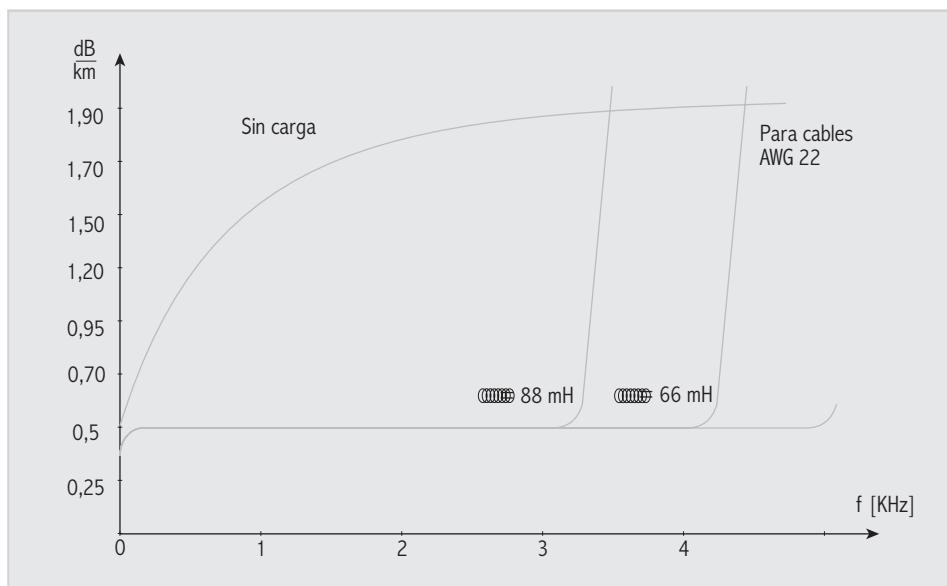


Fig. 7.41. Atenuación en función a la frecuencia sobre un par de abonado.

El par de abonado con bobinas de carga mantiene constante la atenuación hasta un valor f_0 que está en el orden de los 3 a 3,4 kHz. A partir de ese valor la atenuación se incrementa rápidamente y supera a la atenuación sin carga, pero el valor de 3,4 kHz es suficiente para el uso que se le da al par cuando se emplea para transmitir la voz solamente.

El problema de las bobinas es que ellas tienen un efecto distorsivo muy fuerte sobre las señales digitales, por lo que las líneas con bobinas para brindar servicios digitales deben ser descargadas.

Por otra parte, inicialmente las redes de cables de cobre utilizaban hilos de una sección AWG (*American Wire Gauge*) 26 o 24. De esta manera la cantidad de cobre necesaria era menor y en con esos diámetros se podían armar cables multipares con mazos de mayor cantidad de pares.

Como se vio oportunamente en el Capítulo 2, apartado 2.6.3 y siguientes, la resistencia óhmica y, consecuentemente, la atenuación en un cable metálico es proporcional a su longitud e inversamente proporcional a su sección, por lo cual, al tener la sección de un diámetro menor, aumenta la atenuación.

Por otra parte, a causa del efecto pelicular, el diámetro real de un conductor disminuye a medida que se opera a frecuencias más elevadas.

Luego se pueden sacar las siguientes conclusiones orientadas a utilizar los pares metálicos de cobre para la transmisión de datos a frecuencias de hasta el orden del MHz:

- El diámetro de los conductores determina la atenuación. Sea por su resistencia óhmica cuando su sección disminuye o por el efecto pelicular cuando se opera a frecuencias elevadas.
- Cuando un abonado está alejado de la central telefónica, su atenuación es mayor debido a la longitud del enlace.
- Cuanto mayor sea la longitud del par de abonado y menor sea su sección, disminuirá la velocidad máxima a la que se podrán transmitir señales digitales sobre él.
- Si se desea utilizar un par de cobre para la transmisión de señales digitales y tiene bobinas de carga, *estas* deben ser eliminadas.
- Los servicios de banda ancha residenciales no pueden ser siempre prestados por pares metálicos de cobre.

Se debe dar la condición de que el par de abonado que se deseé utilizar tenga las condiciones adecuadas a la velocidad final que se deseé ofrecer.

7.6.3 Las Tecnologías xDSL

Existen numerosas tecnologías bajo la denominación xDSL. Las más utilizadas son las que se describen en la Tabla 7 – 12.

Ellas difieren en los siguientes parámetros que condicionan sus aplicaciones:

- Distancias máximas de utilización.
- Velocidades del tráfico descendentes y ascendentes.
- Mercado al que están dirigidas.
- Utilización simultánea sobre pares telefónicos o sobre cables de cobre para uso exclusivo.
- Características de simetría de los canales.
- Codificación de las señales digitales.
- Cantidad de pares requeridos.

Tabla 7-12 Denominaciones de las tecnologías xDSL más difundidas

Abreviatura	Denominación
ADSL/DSL2+	Línea Digital de Abonado Asimétrica Asymmetric Digital Subscriber Line
RADSI	Línea Digital de Abonado Asimétrica de Velocidad Variable Rate Adaptive Asymmetric Digital Subscriber Line
HDSL/HDSL1	Línea de Abonado de Alta Velocidad High Bit Rate Digital Subscriber Line
SDSL	Línea Digital de Abonado Simétrica Symmetric Digital Subscriber Line
VDSL	Línea de Digital Abonado de Muy Alta Velocidad Very High-Speed Digital Subscriber Line

Definiremos los conceptos de tráfico ascendente y descendente de la siguiente manera:

Tráfico ascendente es el que se origina en el abonado y se dirige hacia la Red Internet.

Tráfico descendente es el que se origina en la Red Internet y tiene como destino el equipo del abonado.

La Tabla 7 – 13 muestra las características técnicas de las tecnologías más difundidas en uso sobre pares de cobre.

Tabla 7-13 Características técnicas de las tecnologías xDSL más difundidas

Tecnología	Distancia km	Velocidad en Mbps		Pares	Codificación	Canales
		Subida	Bajada			
ADSL	6.000 m	0,640	1,5 a 8	1	DMT	Asimétricos
DSL2+	4.000 m	1 a 3,5	16 a 24	1	DMT	Asimétricos
RADSI	6.000 m	0,640	1,5 a 8	1	DMT	Asimétricos
HDSL	4.000 m	1.544 ó 2.044		1/2/3	2B1Q	Simétricos
SDSL	3.000 m	0,768		1	2B1Q	Simétricos
VDSL	1.300 m	hasta 6	25 a 55	1	DMT	Asimétricos

Los valores de la Tabla 7 – 13, en especial en lo que se refiere a las distancias y velocidades, solo deben ser tomados como un valor aproximado y como referencia. Están fijados para pares de cobre que tienen un calibre AWG 26 o 24. El calibre AWG 26 tiene un diámetro de calibre 0,405 mm; el AWG 24, 0,511 mm; y el AWG 22, 0,644 mm.

Durante los procesos de digitalización, realizados en su mayor parte durante la década de los 90, muchas TELCO renovaron sus plantas externas y adecuaron sus pares a calibres no menores al AWG 24 por las razones expuestas.

Otras características resumidas de cada una de ellas se destacan en la Tabla 7 – 14.

Tabla 7-14 Otras características resumidas de las tecnologías xDSLs

Tecnología	Mercado	Codificación	Telefonía	Observaciones
ADSL	Residencial	DMT	SI	No es muy apta para clientes comerciales
RADSI	Residencial	DMT	SI	Se adapta a las condiciones del par
HDSL	Comercial	2B1Q	NO	Permite transportar portadoras T1 ó E1
SDSL	Comercial	2B1Q	NO	Alternativa a ADSL
VDSL	Residencial	DMT	SI	Solo apta para distancias cortas

7.6.4 Tecnología ADSL

7.6.4.1 Generalidades

ADSL se presta sobre un único par de cobre por el que además se brinda el servicio telefónico domiciliario mediante un uso adecuado del ancho de banda de par de cobre que llega al usuario.

La tecnología ADSL, dentro del grupo de las llamadas xDSL, ha sido la que más se ha utilizado para brindar el **servicio de banda ancha** con acceso a la Red Internet dirigido a los usuarios telefónicos con líneas fijas domiciliarias, especialmente ofreciendo servicio a particulares.

Este estándar está pensado de manera que el canal descendente tenga mayor velocidad que el canal ascendente, pues de esa manera se adapta mejor a los servicios de acceso a la Red Internet en los que normalmente el volumen de información recibida es mucho mayor que la enviada desde el usuario.

Con ADSL, las velocidades son muchísimo mayores que las que permiten los módems de datos de rango vocal y resulta además una solución de bajo costo cuando se desea conectar a una Red de Área Local – LAN a la Red Internet.

La importancia de esta tecnología que posibilitó rápidamente el acceso a los servicios de banda ancha dio lugar a la creación, en 1994, del denominado **ADSL Forum**. Esta institución, posteriormente, con el advenimiento de nuevas variantes de este tipo de tecnologías, se transformó en el **DSL Forum**.

Recientemente, en el año 2008, el DSL Forum se ha unido al **IP/MPLS Forum**, formando el denominado **Broadband Forum**. Este nuevo Foro de Banda Ancha será el organismo central que confeccionará las especificaciones de la próxima generación de Redes IP. Este consorcio mundial está integrado por más de 200 empresas y líderes de la industria vinculados a los equipos de telecomunicaciones, informática, redes y empresas prestadoras de servicios.

La adopción de ADSL significó poder aprovechar las enormes inversiones que se han realizado y aún se siguen efectuando en la planta externa construida con cables de cobre de la Red Telefónica Conmutada.

El equipamiento para brindar este servicio está normalizado por la UIT mediante recomendaciones de la Serie G, que comienzan todas con la denominación G.992.x. En particular, la G.992.1, primera de un amplio conjunto de normas que fueron mejorando sucesivamente las prestaciones, fue emitida en el año 1999 y se denomina “**Transceptores de línea de abonado digital asimétrica**”.

La Recomendación describe al equipo ubicado en el cliente y en operador y proveedor del servicio conectados a través de un par metálico trenzado que permite efectuar transmisiones de datos de alta velocidad. El terminal del operador de red se denomina **ATU-C** (Unidad de Transceptor de ADSL (extremo del terminal de la) Central - ADSL Transceiver Unit – Central (Terminal Office). y el terminal de cliente, **ATU-R** (Unidad de Transceptor de ADSL (extremo del terminal) Remoto - ADSL Transceiver Unit. – Remote (Terminal).

Dicha recomendación propone una variedad de canales portadores que dependen del entorno e inicialmente estaba pensada para velocidades de datos de 6 Mbps aproximadamente en sentido descendente y 640 kbps aproximadamente en sentido ascendente, aclarando que estas velocidades dependían de la instalación y del entorno de ruido existente en la línea, así como de la longitud del enlace.

Versiones posteriores de esta recomendación culminaron con la G.992.5, emitida en el año 2005, en la modalidad denominada ADSL2, que llevó las velocidades a 24 Mbps en sentido descendente y 1 Mbps en sentido ascendente; y la G.992.5 Anexo M del año 2008, que incrementó la velocidad ascendente a 3,5 Mbps (valores aproximados).

Debe señalarse que en estos últimos casos la distancia entre extremos y el estado de la línea de cobre juega un rol muy importante.

7.6.4.2 Arquitectura ADSL

El sistema de acceso a través de una conexión ADSL se compone de los siguientes elementos:

- Un par de cables de cobre (utilizado simultáneamente para el servicio telefónico).
- Un módem ADSL en el domicilio del usuario final (denominado *ATU-C*).



Foro Broadband: <http://www.broadband-forum.org>

- Un equipo denominado DSLAM en el edificio donde está ubicada la central telefónica del proveedor (denominado ATU-R).
- Dos *splitter* en ambos extremos.

En la Fig. 7.42. se puede observar un esquema del enlace para prestar el servicio de banda ancha con la tecnología ADSL, en la que también el usuario final posee el servicio telefónico sobre el mismo par metálico.

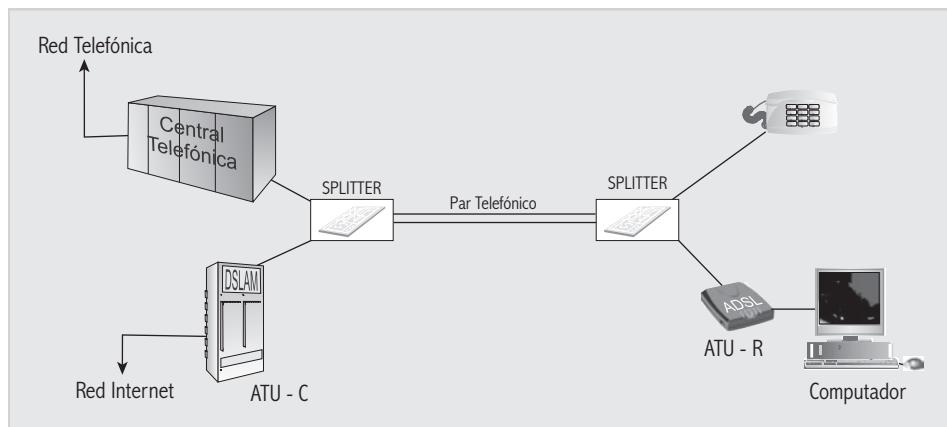


Fig. 7.42. Arquitectura de acceso a banda ancha utilizando tecnología ADSL

Como se puede apreciar en la Fig. 7.42., en cada extremo de la línea telefónica a través de la cual se presta el servicio telefónico básico están colocados los dos módems. Los *splitter* permiten dividir el canal de voz de 4 kHz del canal de datos.

Si analizamos en frecuencia el uso del ancho de banda disponible, observaremos cuatro segmentos bien diferenciados: tres canales de información y uno de protección. Ellos son: el utilizado para la transmisión de la voz; un ancho de banda utilizado de protección que separa los canales digitales del analógico y dos segmentos: uno descendente de alta velocidad y otro ascendente de menor velocidad.

Los procedimientos que permiten soportar múltiples canales sobre un mismo medio de comunicaciones dividiendo el ancho de banda disponible (ver Capítulo 6) se denominan **Multiplexación por División en Frecuencia - FDM** (*Frequency Division Multiplexing*) y **Multiplexación por División en el Tiempo - TDM** (*Time Division Multiplexing*).

La Fig. 7.43. muestra la forma en que se administra el ancho de banda en los pares de cobre para implementar la Recomendación UIT G.992.1. En ella se observa cómo se distribuye el ancho de banda en tres canales diferentes..

El canal de voz analógico está separado del módem digital mediante filtros contenidos en el *splitter*, asegurando así la continuidad del servicio telefónico incluso ante una caída o fallo de dicho módem. En casi todos los casos, los filtros del *splitter* están incorporados a los módems en ambos extremos.

En la central telefónica del operador, los módems DSLAM están instalados en bastidores y se conectan a la Red Internet o a otras redes de datos, equipos *router*, enlaces del tipo Ethernet o comutadores ATM.

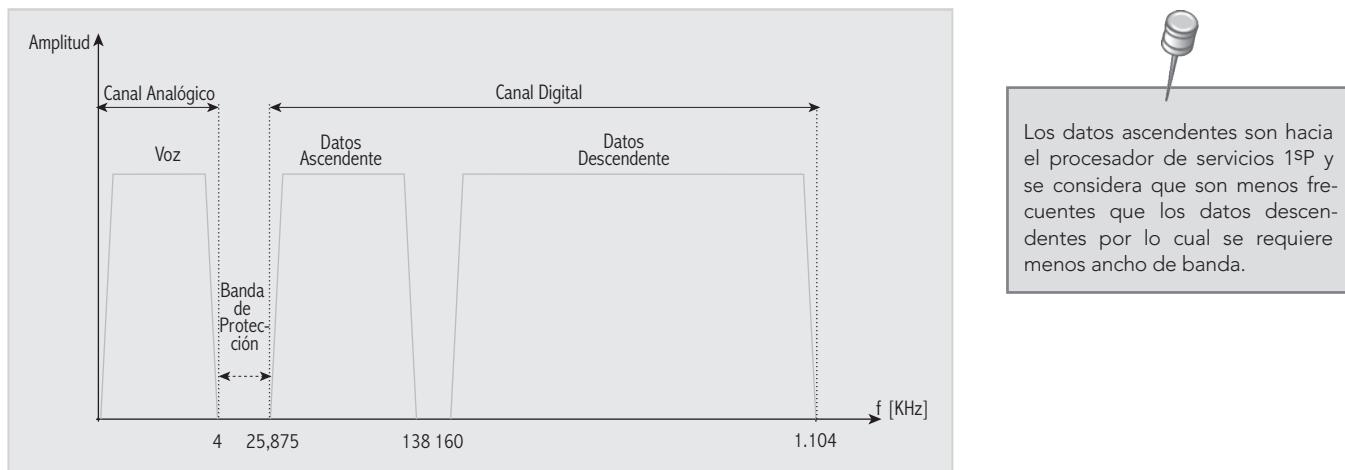


Fig. 7.43. Recomendación UIT G.992.1 - distribución en frecuencia y uso del ancho de banda



Los datos ascendentes son hacia el procesador de servicios ISP y se considera que son menos frecuentes que los datos descendentes por lo cual se requiere menos ancho de banda.

Se pueden observar el canal de voz (analógico) y los canales de datos ascendente y descendente (digitales). Entre los dos primeros existe una banda de protección que va de los 4 kHz hasta aproximadamente los 30 kHz.

A su vez, la Fig. 7.44. muestra la forma en que se pueden distribuir las señales de datos a partir de las instalaciones del proveedor desde el DSLAM.

7.6.4.3 Funcionamiento del ADSL

Como se ha mencionado, el acceso a redes de banda ancha a través de la tecnología ADSL se compone de dos módems: uno en cada extremo del par de cobre de la línea telefónica, como se ilustró en la Fig. 7.42.

Del lado del usuario, el equipo módem denominado ATU-C normalmente tiene incorporado un *splitter* que divide el canal analógico que será utilizado para transmitir las señales vocales de los dos canales digitales utilizados para la transmisión de datos. Uno de ellos es descendente de alta velocidad y el otro es ascendente, de una velocidad menor hacia el proveedor del servicio.

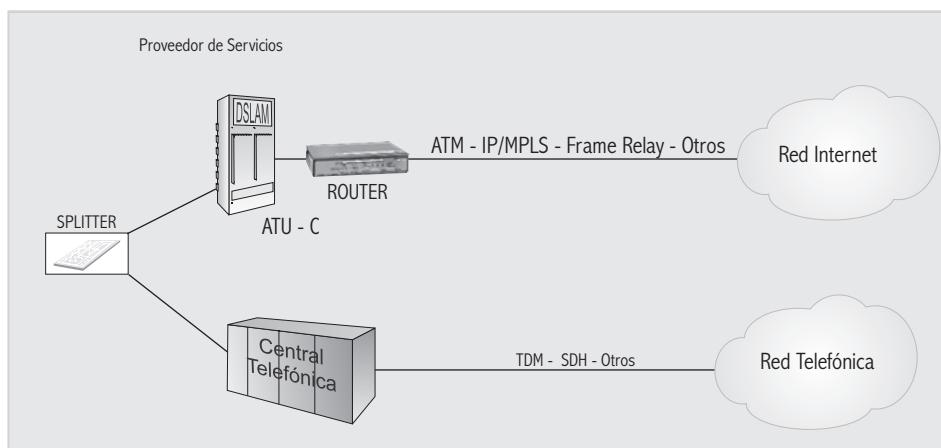


Fig. 7.44. Arquitectura de conectividad desde el proveedor hacia la Red Internet.

Como el servicio telefónico está separado del módem digital mediante filtros, queda garantizada la continuidad de dicho servicio ante una caída o falla del módem.

En el otro extremo del par, y ubicado en la oficina donde el proveedor tiene instalado el conmutador que brinda el servicio telefónico, hay otro *splitter* que cumple la misma función que el anterior y otro equipo módem denominado ATU-C o más conocido por su nombre **DSLAM** (*Digital Subscriber Line Access Multiplexer*) - **Multiplexor de Acceso a la Línea Digital de Abonado**, que envía y recibe las señales desde y hacia la Red Internet utilizando distintas tecnologías, tal como se puede observar en la Fig. 7.43.

Este equipo, como su mismo nombre lo indica, actúa como un multiplexor y simultáneamente atiende un conjunto de abonados estableciendo una conexión con cada uno de los equipos ATU-C instalados en el extremo del usuario final.

Para ello, los DSLAM reciben los datos a través de sus puertos: uno para cada módem ACU-C que atiende.

Obsérvese que el DSLAM debe atender la totalidad de las conexiones que administra y luego multiplexar las mismas y enviarlas hacia la Red Internet mediante alguna de las tecnologías utilizadas en las **Redes de Área Extendida – WAN** (*Wide Area Network*) como pueden ser ATM, IP/MPLS, Frame Relay y otras. Se trata de una tecnología de Comutación de Tramas (nivel 2 del modelo OSI).

La Fig. 7.45. nos muestra la arquitectura de varios enlaces ADSL administrados por un DSLAM. Cada módem de usuario se comunica con una tarjeta del DSLAM.

Un DSLAM solo posee funcionalidades en el nivel 2 del modelo OSI, por lo que, para encaminar el tráfico hacia diferentes destinos entre las múltiples redes con protocolo IP, debe conectarse a un *router* que cumpla las funciones de nivel 3. El *router* actuará como un equipo conmutador de paquetes. Estas funcionalidades del DSLAM están complementadas con otras, como por ejemplo la de **cancelación de eco**, que evita las interferencias que puedan producirse en el canal por intermodulación.

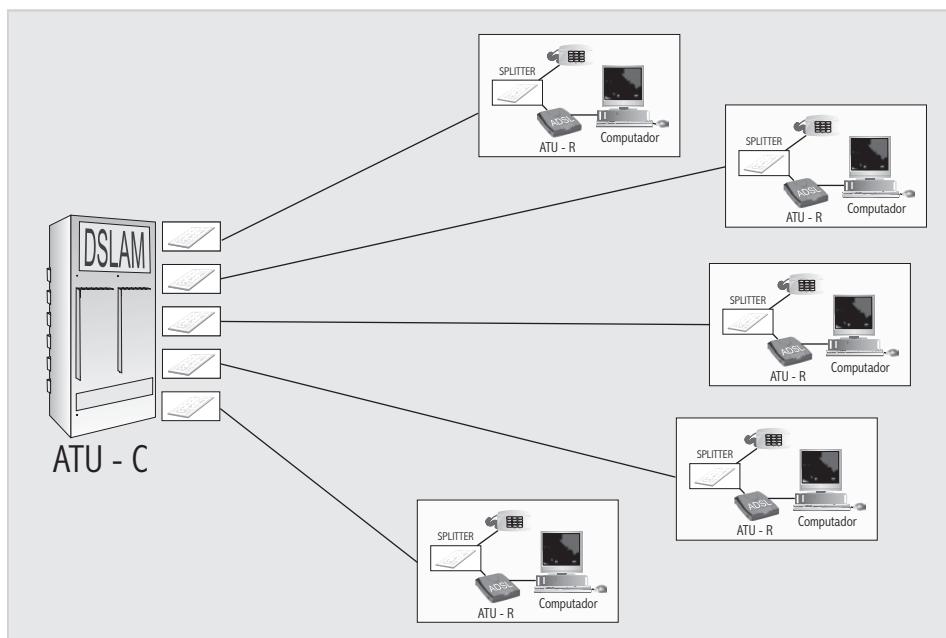


Fig. 7.45. Arquitectura de varios enlaces DSL a un DSLAM.

Además, incorporan siempre técnicas de **Corrección de Errores Hacia Adelante** (*Forward Error Correction*, ver apartado 3.10.3.3) y técnicas **Modulación Trellis por Codificación Entrelazada**, que reducen considerablemente los errores ocasionados por el ruido impulsivo de la línea (ver apartado 6.4.5.2.5). La corrección de errores se realiza con base en un tratamiento de símbolo a símbolo, reduciendo de esta manera los errores producidos por el ruido continuo acoplado a la línea.

Otro aspecto a considerar importante son otras funcionalidades que estos equipos tienen integradas y son comunes de los módems tradicionales.

Ejemplos de ellas son la capacidad de sondear la línea y, en función del estado de la misma, ajustar en forma automática la compensación de eco hacia adelante. También, analizar los factores que pueden limitar el ancho de banda para transmitir datos a la velocidad máxima de transmisión que en teoría debería permitir la conexión física de la línea del abonado, ajustando la velocidad a un valor tal que la tasa de errores tenga un valor adecuado.

Por otra parte, si la TELCO a la vez es proveedora de los Servicios de Internet, el tráfico recibido por el DSLAM se transmite a un servidor de acceso remoto de banda ancha, desde donde es enrutado por los enlaces que a la misma le dan la conectividad a dicha red. Si solo se utilizan sus medios para dar acceso a otro proveedor, el DSLAM se conecta a nivel de protocolo de enlace o de red con el Proveedor de Servicios de Internet (*Internet Service Provider*) que le proporciona conectividad a través de sus vínculos nacionales e internacionales.

Para la transmisión de la señales la tecnología de acceso ADSL utiliza un código de línea conocido como **Modulación por Multitono Discreto - DMT** (*Discrete Multitone Modulation*), también conocida como **Modulación por División Ortogonal de Frecuencia - OFDM** (*Orthogonal Frequency Division Multiplexing*).

Este tipo de modulación FDM consiste en dividir el ancho de banda en un conjunto de subportadoras ortogonales de diferentes frecuencias. Luego, por cada subportadora se modula para enviar la información con las tecnologías QAM o PSK (ver apartado 6.3.4.4).

La Fig. 7.46. nos muestra en forma didáctica cómo en un canal representado por un tubo coexisten los tres subcanales que llevan el canal analógico de voz y los dos canales digitales: el ascendente y el descendente.

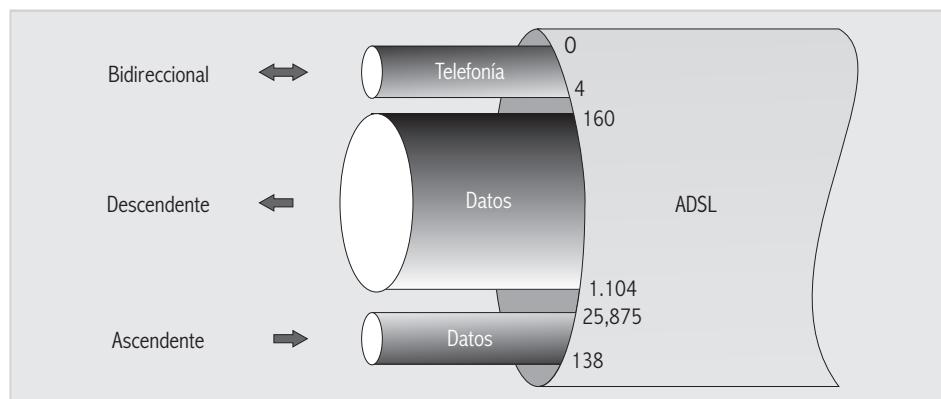


Fig. 7.46. Representación didáctica de la distribución del ancho de banda en el canal.

Esta tecnología DMT permite extraer los mejores resultados del cable de cobre de par trenzado como medio de transmisión. En el caso de la Recomendación UIT-T. G.992.1, el ancho de banda

total que va de 0 a 1004 kHz se divide en segmentos de 4,3125 kHz, lo que hace 256 subcanales. Un subcanal se conoce por la expresión "bin".

La Fig. 7.47. nos muestra cómo se distribuye el ancho de banda disponible para esta recomendación.

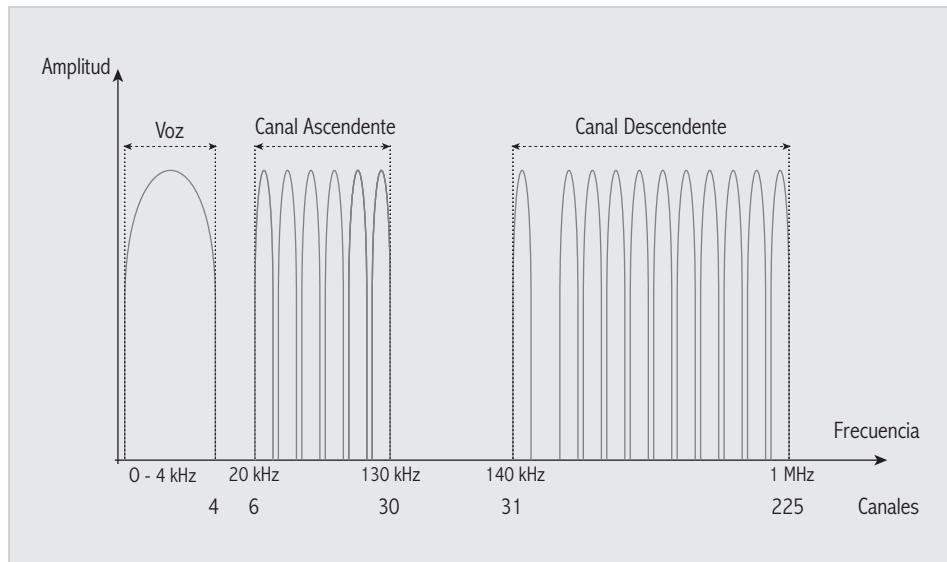


Fig. 7.47. Distribución de canales en el ancho de banda disponible.

El canal 0 se reserva para ser usado por la red telefónica para la transmisión de la voz. Luego los canales que van del 1 al 5 no se usan y forman parte de la banda de protección entre el canal analógico de voz y los canales digitales de datos.

Los canales que van del 6 al 30 se utilizan para las señales que administran el tráfico ascendente. De estos 25 canales, 24 son subportadoras que se utilizan para la transmisión de datos útiles y uno se reserva para enviar señales de control.

Los canales que van del 31 al 255 permiten formar 225 subportadoras que se utilizan, una para enviar señales de control y 224 para la transmisión de datos útiles en sentido descendente.

En ambos casos del envío de señales digitales, cada subportadora lleva una cierta fracción de la carga útil total que debe ser ensamblada nuevamente en cada extremo. Además, cada subportadora, de forma independiente de las demás, debe compensar de la mejor manera la atenuación, el retardo de grupo y la interferencia entre símbolos.

7.6.4.4 Las últimas versiones del estándar ADSL

Los fabricantes de equipamiento para ADSL a partir del primer estándar descripto, UIT-T G.992.1, han continuado desarrollando equipamiento para obtener mayores velocidades sobre el par de cobre que permitiera además, brindar otros servicios adicionales al del acceso a la Red Internet, como puede ser la provisión de televisión bajo demanda, juegos de vídeo en línea o videoconferencias de alta calidad.

Los estándares más conocidos están descriptos en la Tabla 7 – 15.

Tabla 7-15 Estándares de las tecnologías xDSL

<i>Estándar</i>	<i>Denominación</i>	<i>Año</i>	<i>Observaciones</i>
ITU G.992.1	ADSL (G.DMT)	1999	Actualizada en 2003
ITU G.992.1 Anexo A	ADSL	1999	Sobre RTPC
ITU G.992.1 Anexo B	ADSL	1999	Sobre ISDN
ITU G.992.2	ADSL (G.Lite)	1999	Lite - Actualizada en 2003
ITU G.992.3/4	ADSL2	2009	SI
ITU G.992.3 Anexo J	ADSL2	2009	
ITU G.992.3 Anexo L	RE-ADSL2	2009	
ITU G.992.4	ADSL2	2002	Sin Splitter
ITU G.992.5	ADSL2+	2009	
ITU G.992.5 Anexo L	ADSL2+	2009	
ITU G.992.5 Anexo M	ADSL2+M	2009	Alcance extendido - Reach Extended

Las mejoras en estos nuevos estándares están orientadas a incrementar las velocidades de transmisión, en especial la velocidad en sentido descendente. En particular, la denominada ADSL2 plus permite obtener teóricamente velocidades de hasta 24 Mbps y es una evolución del sistema ADSL y ADSL2.

Como el ruido afecta la parte superior del espectro, utilizando estas mejoras se reduce la distancia útil a no más de 3 km. El último estándar ADSL2+M, además, permite la posibilidad de usar más de una línea telefónica por terminal para extender el alcance del servicio.

El fuerte aumento de la velocidad se basa fundamentalmente en aumentar el ancho de banda utilizable de 1,1 MHz a 2,2 MHz, que significa duplicarlo.

Un inconveniente que se suele presentar a menudo es cuando en un mismo cable troncal multipar de la planta externa están presentes varias líneas ADSL. En esos casos, se pueden crear interferencias entre sí.

Esta situación deteriora la relación señal/ruido, lo que aumenta la tasa de error y consecuentemente desmejora la máxima velocidad de conexión que se podría establecer. En ADSL2+ este inconveniente se puede solucionar configurando uno de los equipos para que solo utilice el ancho de banda superior de 1.1 a 2.2 MHz.

La Fig. 7.48. nos muestra cómo se distribuye el ancho de banda disponible para la Recomendación ADSL2 y el aumento que se registra para la ADSL2+.

El equipamiento para los estándares ADSL2+ posee un *hardware* que mejora la **Calidad de Servicio - QoS**, tiene supervisión en la conexión y requiere, para mantener el servicio a distancias económicamente razonables, establecer entre la central telefónica y el usuario un terminal adicional intermedio.

En la práctica, la introducción de este estándar a la velocidad máxima es, a la fecha, muy lenta.

Existen varias versiones del estándar ADSL2 plus . La Fig. 7.49. muestra la distribución de frecuencias y las velocidades máximas que se podrían alcanzar en los casos descriptos.

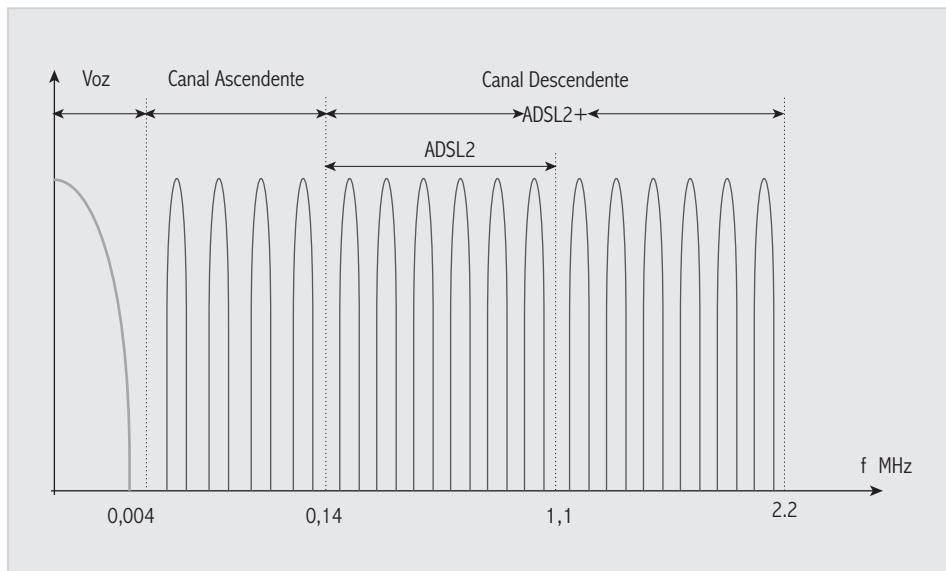


Fig. 7.48. Distribución del ancho de banda disponible para ADSL2 y ADSL2+.

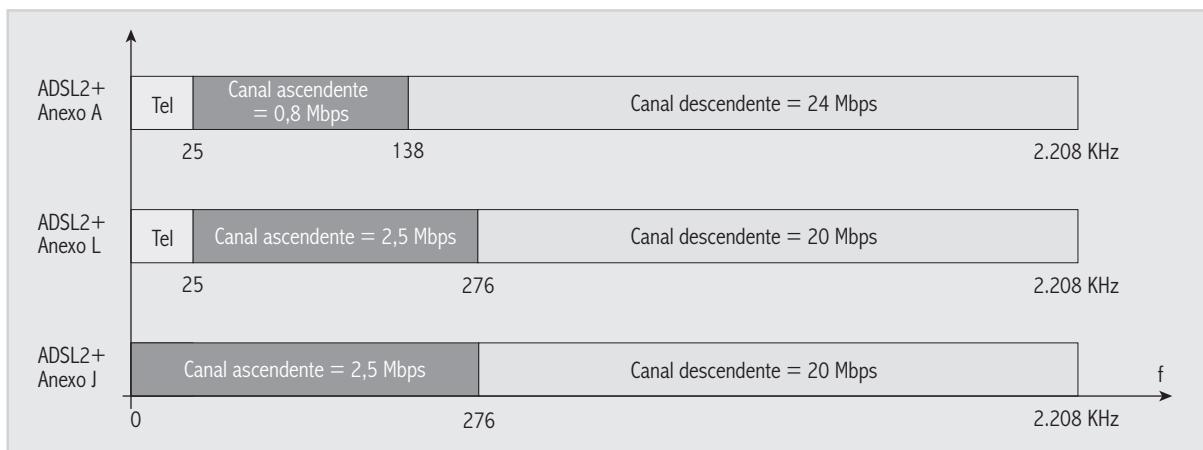


Fig. 7.49. Distribución del ancho de banda para versiones diferentes de ADSL2+.

Como se puede observar en estas tres versiones, denominadas Anexos A, L y J, en todas está presente el objetivo de mejorar la velocidad descendente.

Sin embargo, en la versión Anexo L también se mejora el tráfico ascendente en detrimento del descendente, y en la versión J la mejora se efectúa eliminando el par para comunicaciones telefónicas, por lo cual se tiene el canal de datos ascendente y el descendente, pero no de telefonía.

7.6.4.5 Características del estándar ADSL: ventajas y desventajas

ADSL presenta como características importantes para su conexión a la Red Internet que la conexión está siempre activa y las direcciones IP pueden ser asignadas en forma dinámica o estática, dependiendo del proveedor y del requerimiento del usuario.

Entre otras características relevantes, se pueden mencionar las siguientes:

- Permite, a través de un solo medio de comunicaciones, la operación telefónica y navegar por la Red Internet.
- No requiere una infraestructura especial, reutilizando la infraestructura de la planta externa existente de las TELCO.
- Los operadores del servicio no tienen que afrontar grandes gastos para la implantación de esta tecnología.
- Presenta ventajas, no solo para el operador sino también para el usuario por el menor costo del servicio y del tiempo de instalación del servicio una vez requerido.
- Su velocidad de conexión es mucho mayor que la obtenida mediante los servicios que utilizan los módems de frecuencia vocal.
- Comparada con la tecnología de **Cable Módem**, posee una velocidad más constante e independiente de la cantidad de usuarios conectados (ver apartado 6.7)
- Permite la posibilidad de conectarse en llamadas nacionales de larga distancia e internacionales usando telefonía IP a costos mucho menores que los que se ofrecen a través de la telefonía clásica.

Esta posibilidad se puede obtener de dos formas. Una es mediante mejores tarifas ofrecidas por su operador telefónico, llegando incluso a ser planas; otra forma es mediante la suscripción a otro operador que le facilite el servicio. En este último caso, un teléfono IP suministrado por él deberá ser conectado en la conexión de banda ancha.

- En algunos países no existe la posibilidad de ofrecer este servicio independiente de la línea telefónica fija y, en otros casos, las TELCO en determinadas zonas no pueden ofrecer el servicio.

Esto se debe generalmente a la mala calidad del par de cobre, sea por problemas de ruido o por longitud de la línea que excede el máximo que permite el servicio.

- Los enlaces ADSL pueden ser usados como red de *backup* de redes WAN empresariales. Por ejemplo, el enlace principal de cada nodo puede ser líneas IP/MPLS o *Frame Relay* y, a su vez, el *router* puede tener un acceso ADSL como respaldo por si se cae la línea principal.

7.7 Cable Módem

7.7.1 Introducción

7.7.1.1 Las redes de distribución de señales de televisión por cable

En el mundo actual, para millones de individuos la televisión es un medio de comunicación que tiene relacionadas a personas de distintos países y diferentes lenguas. Trae noticias, ofrece programas educativos, brinda entretenimientos, permite apreciar teatro, ópera y ballet, etc. En general, se ha hecho para muchos hogares un complemento infaltable en muchas horas del día.

La televisión se inició con la recepción, por medio de antenas ubicadas en cada domicilio, de las ondas electromagnéticas que eran transmitidas en canales emisores. Estas llegaban así en forma directa a los usuarios y en forma libre.

Posteriormente, dadas las características de este tipo de servicio, motivadas por la limitación del número de canales disponibles en el espectro de frecuencias, el ruido y otros problemas vinculados a la calidad de la señal recibida, la amplia penetración de la televisión en los hogares hizo rentable la construcción de redes específicas alámbricas para la transmisión hasta el hogar de estas señales con costo a cargo de los usuarios.

Cada vez hay más gente que recibe las señales de televisión por redes de cable. En la actualidad, los usuarios de la Televisión por Cable – CATV, dependiendo del país, pueden conseguir una conexión que les permite contar con una oferta del orden de los 100 canales o más.

Por otra parte, la introducción de la Red Internet para todo tipo de usos y aplicaciones, más el aumento exponencial de los contenidos que en ella se alojan, han llevado a buscar tecnologías que permitan mejorar significativamente las velocidades que se pueden obtener utilizando los módems de frecuencia vocal.

Dos de las soluciones que más éxito están teniendo son, por un lado, el uso de las líneas analógicas de la Red Telefónica Comutada mediante equipos módem especiales que permiten trabajar en frecuencias mas allá de los 3.400 Hz utilizados para telefonía y, por el otro, la utilización de las **Redes de Distribución de Televisión por Cable**, conocidas por su acrónimo CATV (*Community Antenna TeleVision*). Ambas están consideradas dentro de lo que se denomina genéricamente provisión de los servicios de datos mediante técnicas de **banda ancha**.

En el caso de las redes que en primer momento solo fueron construidas para la distribución de señales de televisión se utilizaban cables de distintos tipos: inicialmente coaxial de $75\ \Omega$ y luego, en una segunda etapa, mediante redes híbridas de fibra y coaxial, se permitió la distribución de señales de televisión a abonados domiciliarios con una mejor calidad.

Las mismas evitaron la necesidad inicial de tener que utilizar antenas para recibir las señales, normalmente de corto alcance entre las estaciones transmisoras y los usuarios.

Su rápida difusión se debió a que se ofreció en el mercado de los usuarios de señales de televisión la posibilidad de no solo sintonizar los canales de televisión de la ciudad o localidades próximas, que por su alcance una antena podía recibir sin interferencias, sino agregar un conjunto de otros canales con orígenes diferentes y remotos, algunos producidos en otras ciudades o países y otros que se fueron creando para ser vendidos exclusivamente por este nuevo sistema.

Los nuevos canales se incorporaban a la red mediante la recepción de señales utilizando satélites geosincrónicos. De esta manera se podía sumar una cantidad importante de canales adicionales con contenidos diversos.

Los operadores de estas redes, según la norma que utilizaban, podían llegar a ofrecer en su zona de influencia hasta más de una centena de canales diferentes.

Este tipo de redes, al principio, solo tenían como propósito el transporte de las señales de televisión con fines de entretenimiento en forma unidireccional, es decir, en la modalidad que hemos llamado **transmisión por difusión o modo simplex**.

Un sitio central o cabecera transmitía hasta cada uno de sus subscriptores las mismas señales generadas por los equipos electrónicos existentes en dicho centro, utilizando alguno de los tres estándares técnicos de la televisión:

- **NTSC (National Television System Committee)**. Es un sistema de codificación y transmisión de televisión analógica desarrollada en los Estados Unidos. Se emplea mayormente en dicho país, Japón y algunos países de Sudamérica. Permite la compatibilidad con los sistemas de señales monocromáticas (blanco y negro) con las imágenes en color.
- **PAL (Phase Alternating Line)**. Este sistema fue desarrollado en Alemania. Sus conceptos fundamentales fueron adoptados del sistema NTSC. El mismo mejora la calidad de la imagen y reduce defectos en los tonos de color del sistema anterior. Es usado en la mayoría de los países europeos (menos Francia), los de África, Asia y en Australia.
- **SECAM (Séquentiel Couleur à Mémoire)**. Es un sistema desarrollado por Francia para la codificación de las señales de color analógico compatible con los sistemas blanco

y negro. Es usado en Europa por Francia, Luxemburgo y Mónaco, en los países africanos o asiáticos que han tenido una fuerte presencia francesa y en los países del este de Europa (Rusia, y los exmiembros de la URSS).

Los sistemas utilizaban, para la distribución de las señales, cable coaxial de 75Ω y requerían amplificadores cada 500 o 1.000 m. Esta necesidad de tener amplificadores a tan corta distancia era un inconveniente que obligaba a que los distribuidores solo pudieran tener un número reducido de suscriptores, pues la red no se podía extender más allá de un área limitada.

Los amplificadores eran unidireccionales. En las redes construidas de esta manera, los usuarios más alejados del centro de distribución recibían señales cada vez más degradadas por el ruido propio de los amplificadores que se iba agregando al generado por la propia señal en su recorrido.

Las redes tenían una topología de árbol con muchas derivaciones. La Fig. 7.50. muestra un ejemplo de este tipo de redes.

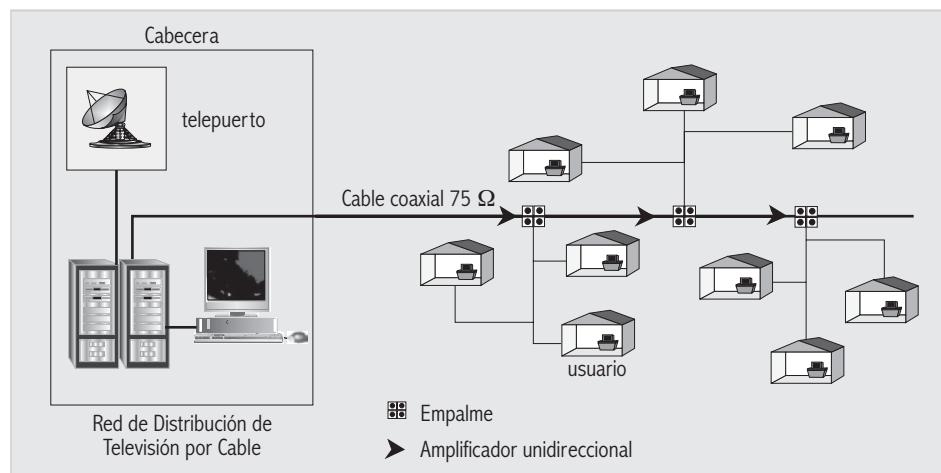


Fig. 7.50. Topología de una Red de distribución de señales de televisión con cable coaxial.

La señal a los subscriptores se entregaba siempre mediante un cable coaxial y en modo analógico. Para cubrir una zona extensa, por ejemplo una gran metrópoli, normalmente existían varias empresas donde cada una de ellas cubría una zona distinta.

Posteriormente, la necesidad de hacer crecer el negocio transformó las redes que estaban construidas solamente con cables coaxiales en redes de mixtas de fibra y coaxial, denominadas generalmente **híbridas**, y los amplificadores unidireccionales fueron reemplazados por equipos bidireccionales. De esta manera se fue concentrando el negocio, pues desde un único centro de distribución se podía alcanzar distancias importantes.

Esquemáticamente, la red estaba constituida por un centro de distribución que transportaba la señal hasta casi la zona de la residencia donde iba a ser entregada. En sus proximidades se establecía un nodo, conversor de la señal óptica en eléctrica, y nuevamente se llegaba al usuario final con un cable coaxial que transportaba la señal eléctrica. Estas redes híbridas eran conocidas por la sigla HFC (*Hybrid Fiber Coaxial*).

La Fig. 7.51. muestra un esquema de una red híbrida de fibra y coaxial.

Actualmente, todas las redes son del tipo HFC: distribuyen la señal desde la cabecera del proveedor hasta la zona próxima al usuario por fibra y llegan a las viviendas por cable coaxial.

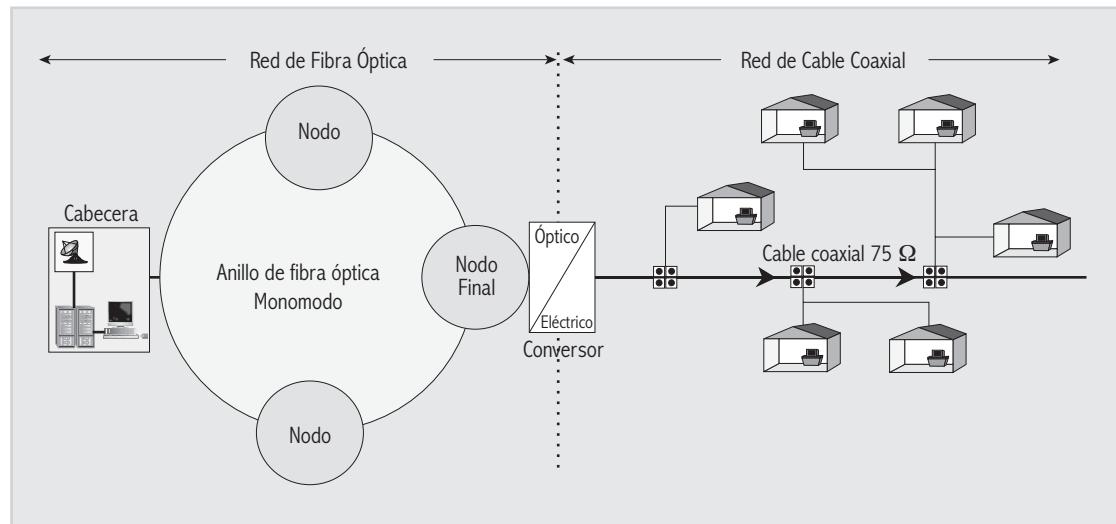


Fig. 7.51. Esquema de una red de distribución de señales de televisión híbrida.

Como emplean muy pocos amplificadores, permiten utilizar un ancho de banda importante que posibilita la transmisión de señales de televisión, audio (radios de frecuencia modulada), voz, y señales de datos en forma bidireccional.

7.7.1.2 Los servicios que presta una Red de Distribución de Señales de Televisión por Cable

Si bien este tipo de redes fueron pensadas para la distribución de las señales de televisión, la transformación de las redes construidas inicialmente utilizando como medio de soporte solo el cable coaxial en redes híbridas ha permitido prestar una amplia gama de servicios.

Para ello fue diseñado un equipo denominado Cable Módem que permite proveer una amplia gama de servicios a través de un conjunto de protocolos basados en estándares que le permiten establecer un canal transparente entre la cabecera y el computador del usuario final.

Estos pueden resumirse en los siguientes:

- Televisión analógica.
- Televisión Digital.
- Radio difusión FM.
- Radio digital.
- Acceso a la Red Internet.
- Telefonía.
- Servicios multimedia con calidad de servicio.
- Administración de los servicios.

La Fig. 7.52. muestra cómo estos servicios se distribuyen dentro del ancho de banda disponible en los medios que utiliza la red híbrida. Si bien estas redes tienen un ancho de banda que excede los 750 MHz y que puede llegar hasta 1 GHz, su utilización por encima de ese límite superior originaría costos elevados para las actuales redes pues implicaría renovar mucha de la electrónica instalada tanto de medios activos como pasivos que funcionan en la red.

La arquitectura del sistema se basa en los protocolos conocidos como **DOCSIS - Data Over Cable Service Interfaz Specification**, que significa **Especificación de la Interfaz para Servicios de Datos sobre Cable**. El 7 de agosto de 2006 se publicaron las especificaciones **DOCSIS 3.0**, las cuales tienen como principal novedad soportar IPv6 y el mecanismo denominado **Channel Bonding** (vinculación de canales o *Ethernet Bonding*).

El concepto conocido como *Channel Bonding* consiste en la posibilidad de utilizar varios canales simultáneamente, tanto de subida como de bajada, ya sea para otorgar a un enlace o red redundancia o un mayor rendimiento. En este caso mejora este último y se obtiene una velocidad final que puede superar velocidades de descarga de datos de 160 Mbps y subidas a 120 Mbps.

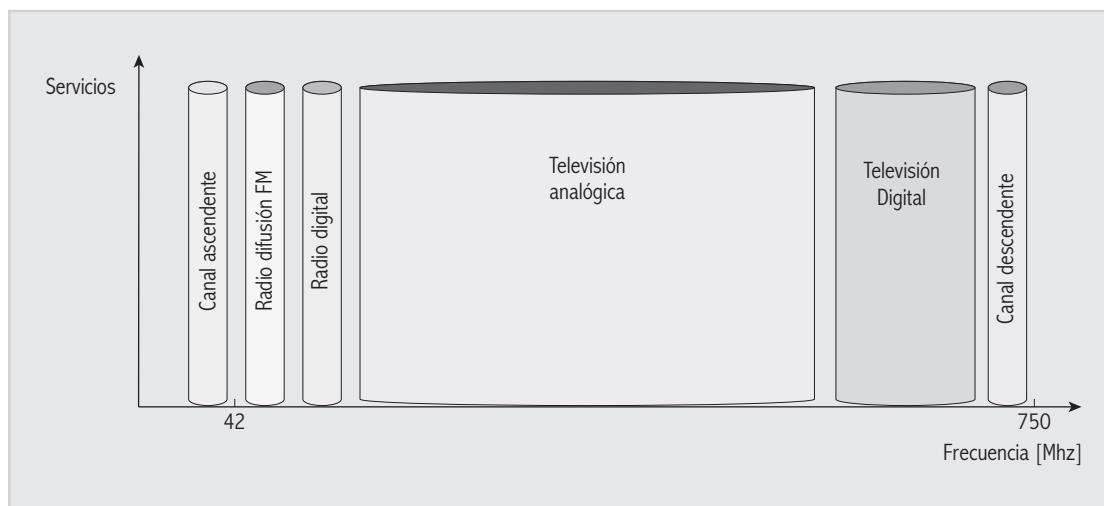


Fig. 7.52. Organización de los canales en redes Híbridas.

7.7.2 Arquitectura de una red híbrida de cable para la transmisión de televisión, datos, voz y otros servicios

7.7.2.1 Consideraciones generales

Este tipo de redes están basadas en una topología de anillos entrelazados y, a partir de estos, redes en estrella, según se puede observar en la Fig. 7.53. Se pueden definir tres tipos de anillos: primarios, secundarios y finales. El anillo primario o troncal es la columna vertebral de la red. Dicho anillo troncal está conectado a la cabecera de la Red de Televisión por Cable desde donde se envían las señales a la red.

Las redes utilizan fibras monomodo y, si es necesario por razones de distancia, amplificadores bidireccionales. Los anillos secundarios y los finales también son construidos con fibra. A partir de los anillos finales se efectúa la conversión óptico – eléctrica y se procede a su distribución a los usuarios a través de una topología en estrella.

En los anillos ópticos las señales se transmiten en forma digital y los nodos finales convierten las señales ópticas en eléctricas y se las envían por coaxiales a los usuarios, o bien analógicas o ya digitales. En algunos tramos finales también puede ser necesaria la incorporación de amplificadores eléctricos bidireccionales para mantener el nivel de la señal.

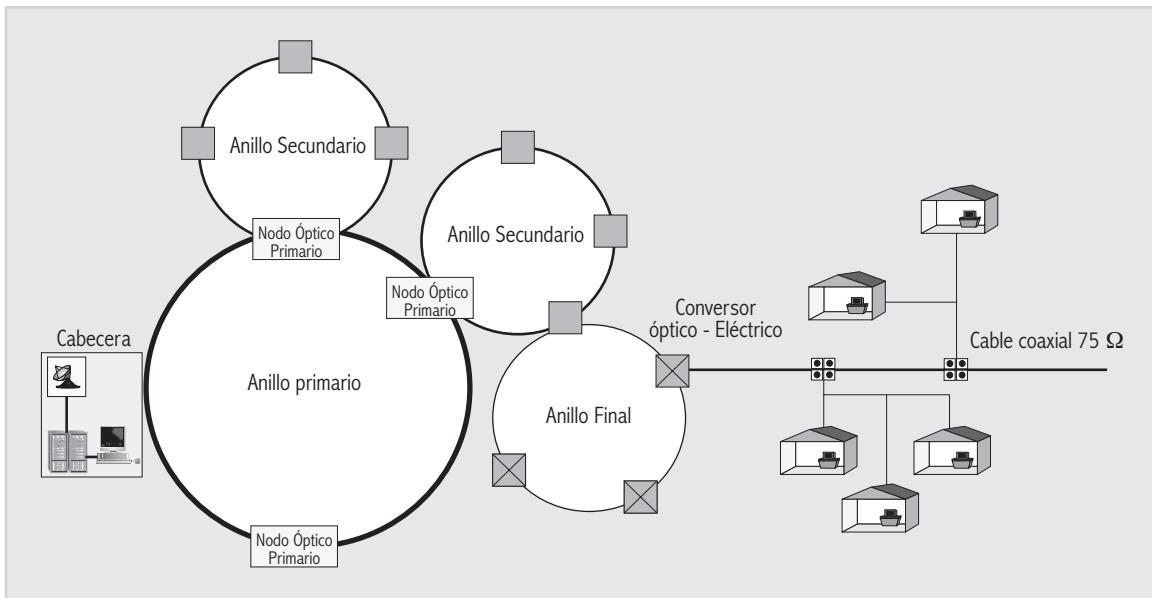


Fig. 7.53. Topología de una Red de dsitribución de señales de televisión híbrida.

7.7.2.2 Estructura del circuito de datos con cable módem

El circuito de datos, cuando se utiliza para acceso a la Red Internet y a otros servicios distintos a la recepción de las señales de televisión, se establece a partir de la **Cabecera de la Red de Televisión por Cable** entre el cable módem y otro equipo denominado **Sistema de Terminación del Cable Módem - CMTS** (*Cable Modem Termination System*) que puede atender a un número importante de usuarios finales. Entre ambos equipos el transporte de datos se efectúa por medio de la Red Híbrida - HFC. La Fig. 7.54. muestra la estructura de dicho enlace. El computador del cliente, junto con los periféricos asociados a él, se los conoce como **Customer Premise Equipment** o **Customer Provided Equipment** - CPE (Equipo ubicado en el domicilio del cliente provisto por el proveedor).

Ellos están conectados al CMTS a través de la Red Híbrida. El CMTS normalmente tiene incorporado un equipo *router* adicional a él que se ocupa de enrutar el tráfico entre la Red Híbrida y la Red Internet. El CMTS y su *router* asociado actúan como interfaz entre la Red de Datos y la Red de Radio Frecuencia - RF; el cable módem actúa como interfaz entre el equipo terminal o computador y la red de RF.

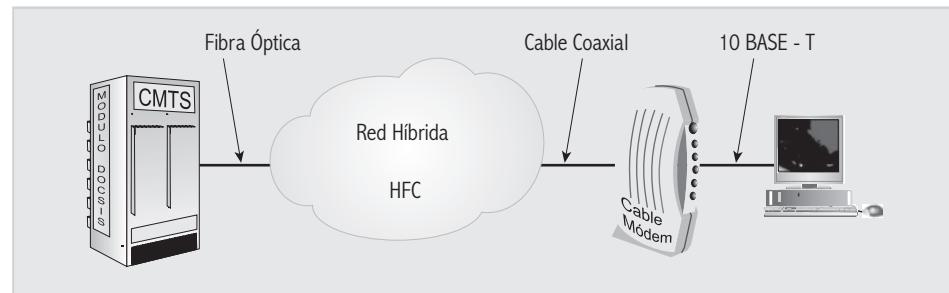


Fig. 7.54. Estructura del enlace entre el cable Módem y el equipo CMTS.

El CMTS es un equipo que se encuentra normalmente en la Cabecera de la Red de Televisión por Cable del operador. Este está conectado al *Backbone* de la Red del Operador de CATV. Como el mismo debe proporcionar servicios de alta velocidad, lo conecta a la Red Internet mediante enlaces de datos de alta capacidad con un proveedor de servicios de red utilizando un *router* como equipo de acceso (Fig. 7.55.).

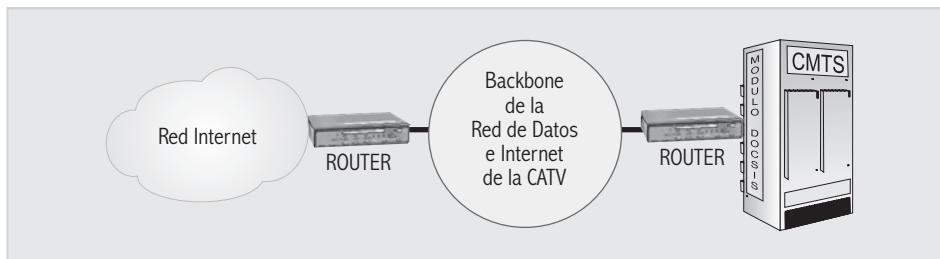


Fig. 7.55. Estructura del enlace entre la Red Internet y el equipo CMTS.

Existen CMTS de variadas dimensiones que pueden conectar desde mil hasta cientos de miles de usuarios en forma simultánea a través de cable modem. Sin embargo, cuando el número de cable módems conectados a un proveedor es importante, normalmente se instalan varios CMTS para asegurar el servicio. Los CMTS solo manejan tráfico de paquetes utilizando la suite de protocolos TCP/IP.

7.7.2.3 Equipo del Sistema de Terminación del Cable Módem - CMTS

Un CMTS se ocupa de facilitar la información necesaria al cable módem para que pueda operar en la red de cable. Para ello procede, cuando aquél se conecta, a un proceso de configuración. El proceso consiste en enviarle los parámetros necesarios.

Una primera función es facilitar al Equipo Terminal de Datos, ubicado en el domicilio del usuario y conectado a un cable módem, la obtención de una dirección IP utilizando un protocolo denominado **Protocolo de Configuración Dinámica del Equipo Terminal – DHCP** (*Dynamic Host Configuration Protocol*).

DHCP es un protocolo de red que trabaja en la modalidad cliente-servidor. El servidor que utiliza posee una lista de direcciones IP dinámicas y las va asignando a los clientes conforme estas van quedando liberadas.

Puede asignarle otros datos vinculados al funcionamiento de los protocolos TCP/IP, tales como la máscara de subred, puerto de enlace o acceso a los servidores **Domain Name Service - DNS**. Son servidores que traducen los nombres de dominios en los números IP que permiten la comunicación en la Red Internet.

Luego le facilita fecha y hora exacta que obtiene de los servidores y que posteriormente utilizará para almacenar los eventos de acceso de los usuarios.

También facilita al cable módem el proceso de registro y de privacidad de la línea. Para realizar estas operaciones utiliza un protocolo denominado **Protocolo Trivial de Transferencia de Archivos – TFTP** (*Trivial File Transfer Protocol*). TFTP es un protocolo de transferencia muy simple. Se asemeja al File Transfer Protocol - FTP (Protocolo para la Transferencia de Archivos) de uso habitual en la Red Internet. Aplica las especificaciones DOCSIS que el mismo esté usando; regula el tráfico, con posibilidad de restringir las velocidades de transmisión hacia los usuarios con base en los valores contratados con el operador; por último, incor-

para reglas que aseguran el filtrado de ciertos datos con el objeto de prevenir ataques externos o intrusiones de usuarios no autorizados, etc.

Si bien no es una exigencia de las normas, la mayoría de estos equipos tienen incorporado un equipo *router* que le facilita su conexión directa al *Backbone* del operador y, de allí, la interconexión de este al *Internet Service Provider*.

7.7.2.4 Equipo Cable Módem

Se denomina equipo cable módem a:

Aquel dispositivo que se comporta como un Equipo Terminal del Circuito de Datos y permite el acceso a las redes de banda ancha facilitando la transmisión de señales que proveen una amplia gama de servicios tales como acceso a la Red Internet, telefonía, videoconferencia y otros, basados en una serie de protocolos estándares, utilizando como medio de transporte a los empleados para la provisión de televisión por cable – CATV.

Los estándares utilizados por la industria para la construcción de este tipo de equipos están especificados en las normas ya señaladas, denominadas **Data Over Cable Service Specification – DOCSIS**, y por la **UIT – T**.

Los equipos cable módem pueden ser externos o internos. Los externos se conectan directamente al computador a través de una conexión Ethernet o USB. Los módems de este tipo vienen preparados normalmente para trabajar con la mayoría de los sistemas operativos y plataformas de *hardware*. Los internos se colocan como una tarjeta adicional a un bus PCI.

Los externos tienen incorporado un *splitter* que permite conectar a ellos el televisor y el computador, en este último caso en las formas descriptas.

La Fig. 7.56. muestra la llegada de la señal a través de la Red Híbrida, su conversión a eléctrica y su distribución domiciliaria a través de cable coaxial de 75Ω .

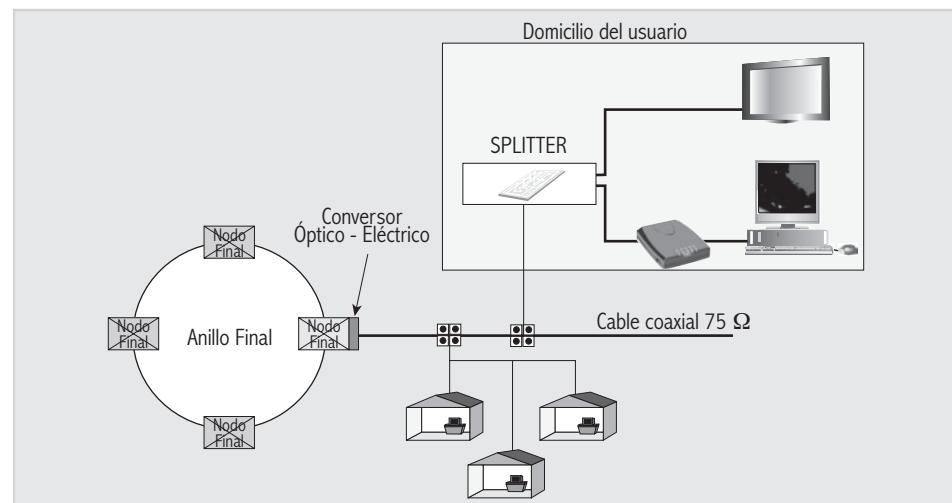


Fig. 7.56. Esquema de conexión del cable Módem en el domicilio del usuario.

Un breve esquema del diagrama en bloque de un cable módem puede apreciarse en la Fig. 7.57.

Las funciones principales de cada una de sus partes son las siguientes:

- Sintonizador de radiofrecuencia.

Separa la señal descendente (*down stream*) que contiene el canal de datos e Internet y que llega por medio del cable coaxial. El ancho de banda total que transporta contiene, además de los datos e Internet, la información de televisión con la programación normal que distribuye la Red CATV. La salida del sintonizador pasa al demodulador.

- Demodulador.

Los demoduladores reciben la señal descendente y realizan cuatro funciones:

- Convierten la señal analógica en digital.
- Demodulan la misma según el esquema en que haya sido modulada (en estos casos se utiliza QAM 64 o 256).
- Sincronizan las tramas **MPEG** (*Moving Picture Experts Group*). Es una metodología de compresión asimétrica. Considera que el codificador (debe ser algorítmico o de adaptación) y es una parte del equipo más compleja que el decodificador. Es muy ventajoso en aplicaciones tales como la radiodifusión y televisión. Se utiliza en las redes CATV donde el número de codificadores, si bien es complejo, es pequeño, pero el número de decodificadores es muy grande aunque tienen costo económico. MPEG es un grupo de trabajo de la ISO (Organización Internacional para la Estandarización)/IEC (Comisión Electrotécnica Internacional) encargados de desarrollar estándares de codificación de audio y vídeo.
- Realizan una corrección de errores con el procedimiento conocido como **Reed-Solomon**. Es un código cíclico no binario que permite la corrección de errores hacia adelante, es decir, sin solicitar la retransmisión de la información (FED – Forward Error Correction). Para ello, agrega bits adicionales que permiten, en un gran porcentaje de los casos, recuperar la información en el extremo receptor. (ver apartado 3.10.2.3). Este procedimiento fue desarrollado por los investigadores Irving Reed y Gustave Solomon.

La salida del demodulador pasa a la subcapa MAC.

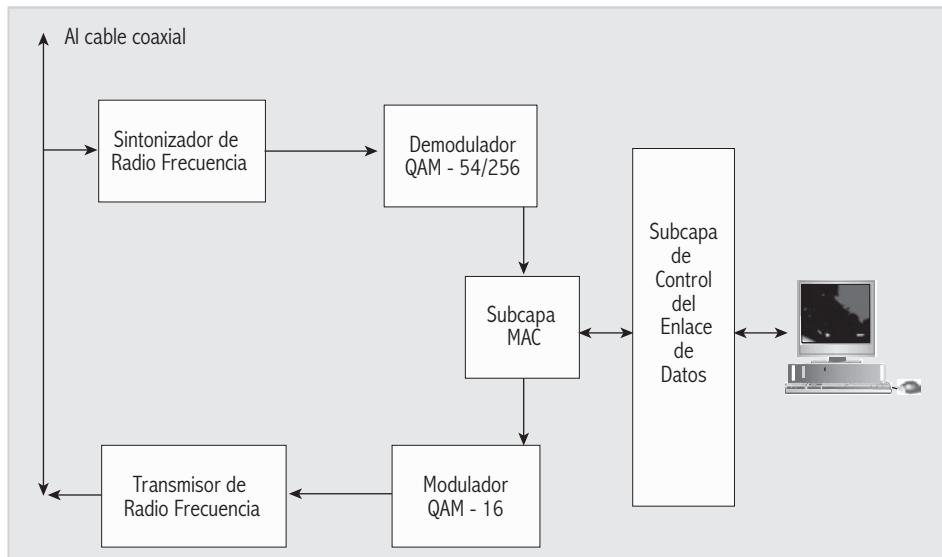


Fig. 7.57. Diagrama bloques de un cable Módem.

Irving Reed (Washington, 1923). Es matemático e ingeniero. Se doctoró en Matemática en 1949 en el Instituto Tecnológico de California en Pasadena. Realizó contribuciones en las áreas de radar, procesamiento de señales y procesamiento de imágenes. Miembro de la Academia Nacional de Ingeniería, obtuvo los premios "Claude E. Shannon" y "Masaru Ibuka".

Gustave Solomon (Nueva York, 1930 - California, 1996). Estudió en la Academia Talmúdica de Manhattan. Obtuvo su título de Bachelor en Matemática en 1951 en la Universidad de Yeshiva. Posteriormente, se doctoró en el MIT en 1956. Desarrolló, en colaboración, la Polinomial Mattson-Solomon y la fórmula conocida como Solomon-McElice. En 1995 obtuvo el premio "Masaru Ibuka".



DOCSIS: <http://docsis.org>



Cable Europe Labs: <http://www.cableeurope.eu>



CableLabs: <http://www.cablelabs.com>

- Capa MAC.

La función de la capa MAC es proveer control de acceso al medio, tanto para la transmisión de datos hacia el CMTS como para la recepción de los datos que llegan de él. Estas funciones pueden ser realizadas solamente por medio de un *hardware* adecuado o por mecanismos mixtos de *hardware* y *software*.

Las funciones que cumple esta capa son bastante más complejas que las que realiza su similar en Ethernet. Por lo tanto, en la mayoría de los casos se utiliza un microprocesador para ayudar a ejecutar sus funciones.

- Interfaz del control de datos.

Los datos que pasan por la capa MAC ingresan y egresan del computador a través de una interfaz que puede ser Ethernet, USB, bus PCI u otra similar.

- Modulador.

Esta etapa corresponde a la salida de datos hacia el medio físico (cable coaxial) y provee al transmisor los datos modulados en un esquema QAM-16, convirtiendo la señal digital en analógica. De esta manera permite que el transmisor envíe por el canal *upstream* las señales que serán transmitidas por radio frecuencia.

- Transmisor de radio frecuencia.

Transmite al medio la señal modulada según el esquema adoptado por la norma utilizada en el intervalo del ancho de banda asignado.

7.7.3 Las especificaciones DOCSIS

7.7.3.1 DOCSIS, Cable Labs Europa y CableLabs

DOCSIS es un conjunto de estándares que definen interfaces de comunicaciones que permiten la transmisión de datos de alta velocidad sobre redes de televisión por cable. Una página en la Red Internet, denominada **Docsis.org**, se utiliza como fuente de información para los operadores de redes de cable - CATV. Estas normas utilizan esquemas de modulación QAM y QPSK RF.

Existen dos tipos de normas DOCSIS: las europeas (EuroDOCSIS), que están preparadas para operar sobre canales con un ancho de banda de 8 MHz y por lo tanto pueden transmitir la Norma PAL, y las de los Estados Unidos de América, usadas para transmitir con la Norma NTSC sobre canales de 6 MHz.

Consecuentemente, para elaboración de las especificaciones, certificarlas y luego publicarlas, hay dos organizaciones: **Cable Europe Labs** elabora las Normas **EuroDOCSIS** y **CableLabs** las Normas **DOCSIS** americanas.

Para la norma europea, se ha organizado una asociación profesional que agrupa a todos los operadores de banda ancha líderes en televisión por cable y sus asociaciones nacionales de comercio en toda Europa, denominada **Cable Europa**. Esta cuenta con una organización técnica de estándares denominada **Cable Labs Europa**.

Ambas apoyan actualmente a más de 73 millones de usuarios de televisión, banda ancha, y telefonía de toda Europa. La última provee apoyo técnico a los operadores de la Unión Europea en lo que respecta a la normalización internacional en estas áreas, certificación a los proveedores de equipo y apoyo a la introducción de nuevas tecnologías en el mercado.

Cable Europa es una organización sin fines de lucro ni comerciales. La posibilidad de ser parte de ella está abierta. Cable Labs Europa, por otro lado, es un centro de excelencia tecnológica que a escala colectiva permite influir en la evolución de las tecnologías del cable. Se ocupa de la investigación en tecnologías emergentes, el desarrollo de especificaciones para la tecnología de cable y la certificación a los proveedores de equipos. Además, promueve la colaboración técnica entre los

operadores en temas vinculados a la Unión Europea junto a Cable Europa. Ambas forman criterios homogéneos adecuados a los intereses europeos vinculados a la industria del cable.

CableLabs es un consorcio formado por expertos, operadores de cable y la industria que establece las normas, su actualización y las pruebas necesarias para su uso para en los Estados Unidos de Norteamérica y los países que usan sus estándares. Los estándares DOCSIS son publicados por CableLabs. Sus especificaciones completas pueden ser encontradas en su sitio de Internet.

Este consorcio fue fundado en 1988 por las empresas que operaban redes de televisión por cable. Es una organización de investigación, sin fines de lucro, y se dedica a la búsqueda de nuevas tecnologías de telecomunicaciones por cable y a ayudar a sus miembros a integrar los avances técnicos en sus respectivas empresas.

Se ha fijado como misión desarrollar de manera eficiente las redes de cable, servicios y operaciones, promoviendo tecnologías que mejoren los servicios que reciben los usuarios de las redes de cable. En particular:

- Proporcionar una fuente central de información oportuna, detallada y previamente evaluada sobre las técnicas vinculadas a estas temáticas, de interés para la industria.
- Planificar, ejecutar o financiar proyectos de I + D que se alinean con los intereses generales de la industria del cable.
- Facilitar la transferencia de tecnología pertinente y las mejores prácticas para la implementación de nuevas tecnologías a sus empresas asociadas y a los proveedores de la industria.
- Proporcionar servicios que promueven la interoperabilidad y la eficacia de las tecnologías pertinentes para que sean desplegados con éxito por las empresas.

Existe un conjunto de especificaciones desarrolladas por **CableLabs** vinculadas al cable módem que se pueden obtener de la página:

<http://www.cablelabs.com/cablemodem/specifications/index.html>.

Para el cable módem, la primera especificación técnica publicada fue la de marzo de 1997, la **DOCSIS v.1.0**, seguida casi inmediatamente, en abril de 1999, de la primera revisión **v.1.1**.

En enero de 2002 se mejoró el estándar y apareció la versión DOCSIS v.2.0. Finalmente, en agosto de 2006 se aprobó la versión v.3.0. Las principales novedades de esta última versión son la introducción del mecanismo *Channel Bonding* que puede soportar IPv6, tal como se mencionó anteriormente. Este mecanismo es muy importante pues permite mejores velocidades y, por lo tanto, mayor cantidad de equipos que se pueden conectar al nodo final, o con la misma cantidad ofrecerles mayores velocidades.

La UIT-T ha aprobado las distintas versiones de DOCSIS transformándolas en normas internacionales. DOCSIS 1.0 fue ratificada en marzo del año 1998 por medio de la Recomendación J.112 - Sistemas de transmisión para servicios interactivos de televisión por cable.

Posteriormente, DOCSIS 2.0 fue ratificada por la UIT – T en diciembre de 2002 y luego actualizada en el año 2007 por medio de la Recomendación J.122 - Sistemas de transmisión de segunda generación para los servicios interactivos de televisión por cable - Módems de cable para protocolo Internet.

Finalmente, la DOCSIS 3.0 fue ratificada en el año 2007 por la Unión Internacional de Telecomunicaciones por medio de las siguientes recomendaciones: J.222.0 - Sistemas de transmisión de tercera generación para servicios interactivos de televisión por cable - Módems de cable IP: Consideraciones generales; J.222.1 - Especificación de capa física de los sistemas de transmisión de tercera generación para servicios interactivos de televisión por cable - módems

de cable del protocolo internet; J.222.2 - Sistemas de transmisión de tercera generación para servicios interactivos de televisión por cable - Módems de cable IP: Protocolos de control de acceso al medio y de capas superiores; J.222.3 - Sistemas de transmisión de tercera generación para servicios interactivos de televisión por cable - Módems de cable IP: Servicios de seguridad.

7.7.3.2 Características generales del estándar DOCSIS

Los estándares DOCSIS tienen la particularidad de ofrecer numerosas variantes dentro de una misma norma en cuanto a las frecuencias de operación, velocidades ascendentes y descendentes, esquemas de modulación, etc., lo que otorga cierta libertad a los fabricantes de equipos y operadores para que puedan adaptarse a las distintas circunstancias del negocio. Además, en los distintos países hay diferencias en el ancho de banda que se les asigna a los canales de televisión dentro del esquema de multiplexación por división de frecuencia en el medio utilizado.

Las velocidades máximas que se pueden alcanzar con las diferentes normas dependen fuertemente del esquema de modulación utilizado. Los mismos pueden observarse en la Tabla 7 – 16.

Tabla 7-16 Esquemas de modulación utilizados

Uso	Modulación	Bit x Byte	Número de niveles	Observaciones
Canal ascendente	QPSK	2	4	En desuso
Canal ascendente	QAM	4	16	
Canal ascendente	QAM	5	32	Solo en algunos cables módem
Canal descendente	QAM	6	64	También en canales ascendentes
Canal descendente	QAM	8	256	

En el caso de la modulación QAM 64, la constelación tendrá 64 puntos. Luego, la velocidad de transmisión (en bps) será seis veces mayor a la velocidad de modulación (en Baudios). Para la QAM 256 será ocho veces mayor. Si aumentaran los esquemas a valores mayores a 256, en la misma proporción aumentaría la velocidad de transmisión. En el caso de la tecnología en la que se utilizan módems ADLS los valores pueden ser mayores y pueden llegar a aumentar aún más significativamente la velocidad de transmisión respecto a la velocidad de modulación.

Por otra parte, en las redes híbridas el ancho de banda disponible es repartido para todos los servicios, siguiendo un esquema que también depende de la norma que se esté utilizando.

Para la Norma DOCSIS 2.0 el rango de frecuencias para los canales ascendentes es de 5 a 42 MHz, y el descendente es de 50 a 860 MHz (Documento CM-SP-RFIv.2.0-C02-090422 – Página 27).

En la Norma DOCSIS 3.0 el rango de frecuencias para los canales ascendentes es de 5 a 42 MHz o de 5 a 85 MHz, y el descendente es de 50 a 1.002 MHz (Documento CM-SP-PHYv.3.0-I08-090121 – Páginas 20 y 21).

7.7.3.3 Características de la prestación del servicio de conectividad a la Red Internet

La comunicación del enlace de datos se establece siempre entre el CMTS y el cable módem a través de la Red Híbrida. Dicha conexión, desde el punto de vista de las especificaciones DOCSIS y de la *suite* de protocolos TCP/IP (en este último caso para su enlace con la Red Internet), es transparente a los medios de comunicaciones que se utilizan: fibra óptica y cable coaxial.

Cuando el CMTS se conecta con un cable módem, inicialmente debe transformar las señales eléctricas en ópticas para ingresar su señal a la Red Óptica. Estas viajarán así por los anillos de la red hasta el nodo final utilizando un canal de 6 u 8 MHz de ancho de banda, según la norma sea la DOCSIS o la EURODOCSIS.

Según sea el ancho de banda y el esquema de modulación que se utilice será la velocidad máxima que se podrá establecer entre el nodo final y el CMTS. En el nodo final un convertidor transformará las señales ópticas en eléctricas y a este nodo se conectarán los distintos usuarios (con sus respectivos cable módem), ubicados en sus domicilios.

La cantidad de usuarios por canal dependerá del nivel de servicio que el proveedor le quiera dar a su red. Normalmente, el número de usuarios varía entre 100 y 500 por nodo final para el uso de canal de 6 MHz.

Cabe observar que la velocidad a la que un usuario puede acceder al CMTS depende de la cantidad de usuarios conectados en ese momento, los cuales requieren utilizar el ancho de banda existente entre el nodo final y el CMTS.

La Fig. 7.58. muestra el esquema de conexión descripto.

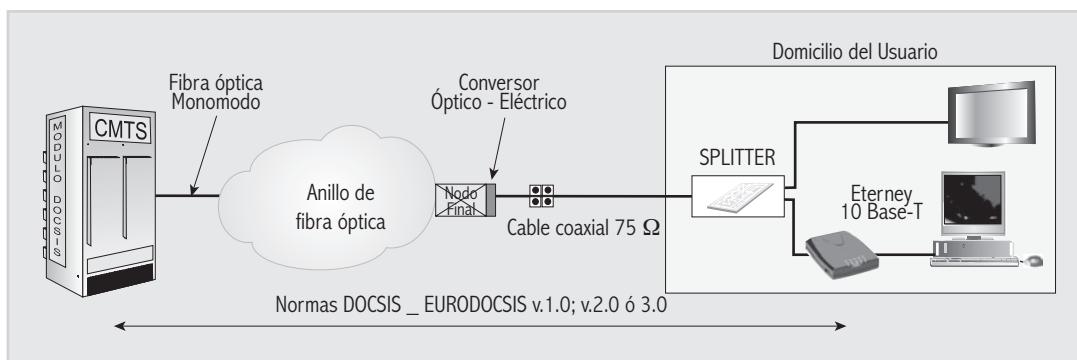


Fig. 7.58. Estructura del enlace entre la Red Internet y el equipo CMTS.

También existe un problema comercial y está dado por el ancho de banda máximo que el proveedor asigna a un usuario con base en el contrato que este subscribe.

Como se puede observar, si todos ellos se desean conectar en forma simultánea y quisieran utilizar el máximo de ancho de banda contratado es muy probable que no lo puedan hacer.

La Tabla 7 – 17 muestra el esquema de velocidades máximas que se pueden obtener utilizando un solo canal.

Como ya se expresó, sin embargo, la velocidad máxima de un usuario dependerá de la cantidad de equipos que en un momento dado estén usando el canal conectado al nodo final.

Tabla 7-17 Esquemas de velocidades máximas de transmisión

Versión	Canal descendente				Canal ascendente			
	Máximo de canales	Velocidad máxima DOCSIS	Velocidad máxima EURODOCISIS	Máximo de canales	Velocidad máxima DOCSIS	Velocidad máxima EURODOCISIS		
1.0	1	42.88 Mbps	55.62 Mbps	1	10.24 Mbps	-		
2.0	1	42.88 Mbps	55.62 Mbps	1	30.72 Mbps	-		
3.0	No están definidos	42.88 Mbps	55.62 Mbps	No están definidos	30.72 Mbps	-		

Las velocidades máximas en la Norma 3.0 pueden ser significativamente mayores si se utiliza más de un canal. El hardware, por norma, debe soportar como mínimo 4 canales, pero se pueden utilizar en el canal descendente un aun número mayor.

La Tabla 7 – 18 muestra las opciones de velocidades máximas que ofrece la versión 3.0 cuando se utiliza más de un canal dado que esta norma lo permite.

Tabla 7-18 Esquemas de velocidades máximas para la versión 3.0

Máximo de canales	Canal descendente		Máximo de canales	Canal ascendente	
	DOCSIS	EURODOCISIS		DOCSIS	EURODOCISIS
4	171,52 Mbps	222,48 Mbps	4	122,88 Mbps	-
8	343,04 Mbps	444,96 Mbps	-	-	-

7.7.3.4 Esquemas de protocolos utilizados en las normas DOCSIS

La Fig. 7.59. muestra la pila de protocolos utilizados en un enlace entre la Red Internet y un computador utilizando una Red de Televisión por Cable.

Las normas DOCSIS se ocupan de definir las dos primeras capas del modelo OSI, el resto de las mismas son transparentes a ellas.

Además de la **Capa Física**, la **Capa de Enlace** propiamente dicha está desdoblada en tres subcapas. La capa más próxima a la física es la denominada **MPEG – 2** (*Moving Picture Experts Group 2*), que solo es usada en el tramo descendente, también denominada capa de convergencia. Esta sigla designa un grupo de estándares publicados por la ISO bajo el número 13.818. Este estándar acuerda la forma de codificar comprimidos de vídeo y de audio asociados para su transmisión o almacenarlos por distintos medios. Permite encapsular, por ejemplo, señales de audio y vídeo sobre la misma portadora utilizando dos tramas de 188 bytes.

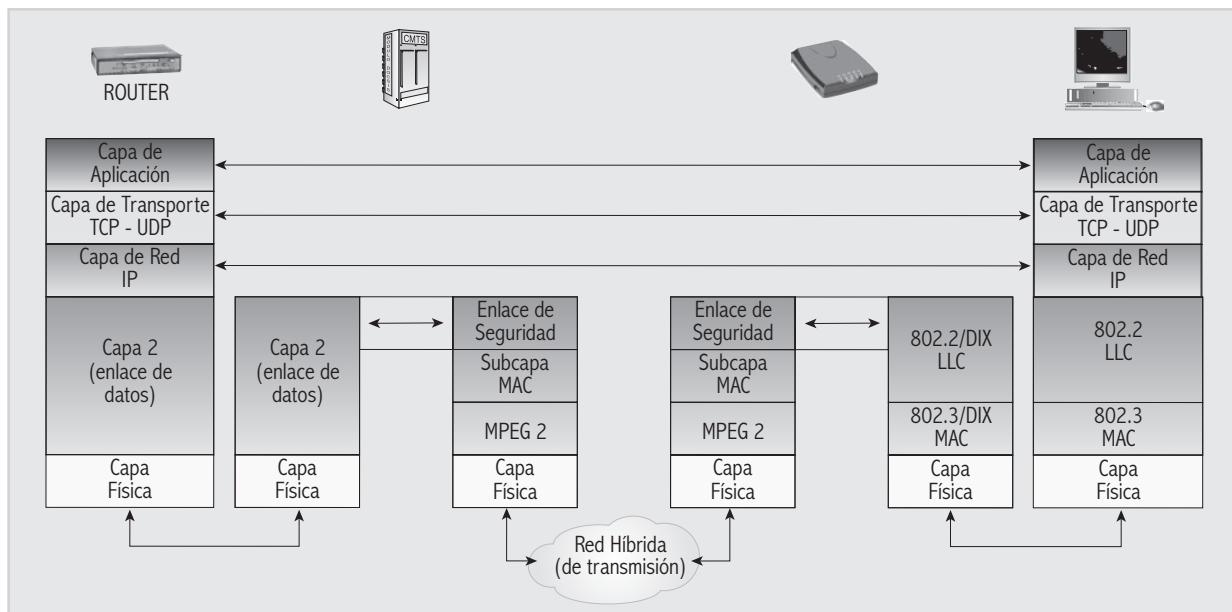


Fig. 7.59. Protocolos utilizados en el enlace CMTS - CM.

La siguiente es la Subcapa MAC o de Control de Acceso al Medio, y la subcapa superior del estándar es la Subcapa de Encriptamiento, cuya misión es proteger la confidencialidad de los datos de intrusiones externas.

7.7.4 Comparación entre la tecnología XDSL y Cable Módem

Las diferencias entre las tecnologías XDSL y Cable Módem están detalladas en la Tabla 7-19.

Tabla 7-19 Diferencias entre las tecnologías ADSL y Cable Módem

Característica	Cable Módem	Adsl
Fecha de desarrollo	1990	1987
Cableado utilizado	Coaxial 75 Ω más fibra óptica	Par telefónico
Multiplexación	Si - TDMA	No
Codificación	QAM	DMT
Ancho de banda utilizado	Descendente (NTSC) 6 MHz Descendente (PAL) 8 MHz Ascendente 2 Mhz	Descendente 160 a 1.104 kHz Ascendente 2 Mhz
Velocidades máximas	55,62 Mbps . EURODOCSIS	20 mbps (ADSL2+ - Anexo J)
Requiere amplificadores	Si - Bidireccional	No
Soporte de QoS	Si	Si
Telefonía	Si	Si
Alcance geográfico	Teóricamente ilimitado	± 6 km según el par
Servicios adicionales posibles	Si	No - Solo telefonía
Es alternativa a redes WAN	No	Si

Adicionalmente, se pueden señalar estos otros aspectos:

- Como en el Cable Módem el canal es compartido por un conjunto de nodos, el tráfico descendente a un nodo puede ser observado por el resto. Para solucionar este problema se prevén, en las normas DOCSIS, políticas de seguridad. Estas incluyen autenticación y filtrado de paquetes.
xDSL, como vínculo entre proveedor y usuarios, no es compartido, de manera que no posee este problema.
- El equipamiento para la tecnología xDSL es de mayor costo que el utilizado en Cable Módem.
- Cable Módem tiene valores pico de velocidad mayores que ADSL.
Sin embargo, como el medio es compartido por más de un nodo en una zona geográfica, muchas veces la velocidad disminuye a medida que la cantidad de sus suscriptores se van conectando al servicio. Esto produce que en algunos casos y a ciertas horas el servicio esté en valores críticos.
- La velocidad en ADSL es constante e independiente de las horas del día. Depende de los valores contratados con el proveedor.
- Para un usuario las diferencias entre ambas tecnologías no son apreciables. Dependen más de la calidad del proveedor del servicio que de ellas.

7.8 Modulación por pulsos

7.8.1 Definición

Se denomina modulación por pulsos a la modificación, por medio de una señal moduladora, de una señal portadora constituida por un tren de pulsos.

Dicha modulación modifica alguno de los parámetros que caracteriza dicho tren de pulsos.

Se denomina modulación por pulsos a la modificación, por medio de una señal moduladora, de una señal portadora constituida por un tren de pulsos.

Los parámetros que pueden ser alterados son los siguientes:

- Amplitud.
- Período.
- Posición del pulso.

Entenderemos como un tren de pulsos (característico de la onda portadora) a una señal del tipo de la que se muestra en la Fig. 7.60.

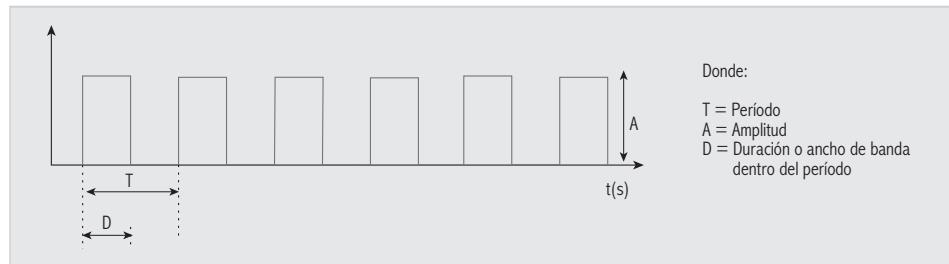


Fig. 7.60. Modulación por pulsos. Señal portadora utilizada.

En dicha figura se puede observar con claridad cómo están caracterizadas la amplitud y el período del tren de pulsos. Estos dos aspectos tienen similitudes con la modulación analógica por amplitud y frecuencia respectivamente.

La última forma señalada, denominada por posición del pulso, merece una explicación más detallada. La posición del pulso está referida a su ubicación respecto al intervalo de tiempo, que se cuenta desde el inicio de cada período.

Si llamamos t_1 , al tiempo que transcurre entre el inicio de un período y el comienzo de un pulso, la Fig. 7.61. nos muestra dos trenes de pulsos de idéntica amplitud y período, pero con distintas posiciones de pulsos, caracterizadas precisamente por dos intervalos distintos: t_1 y t_2 .

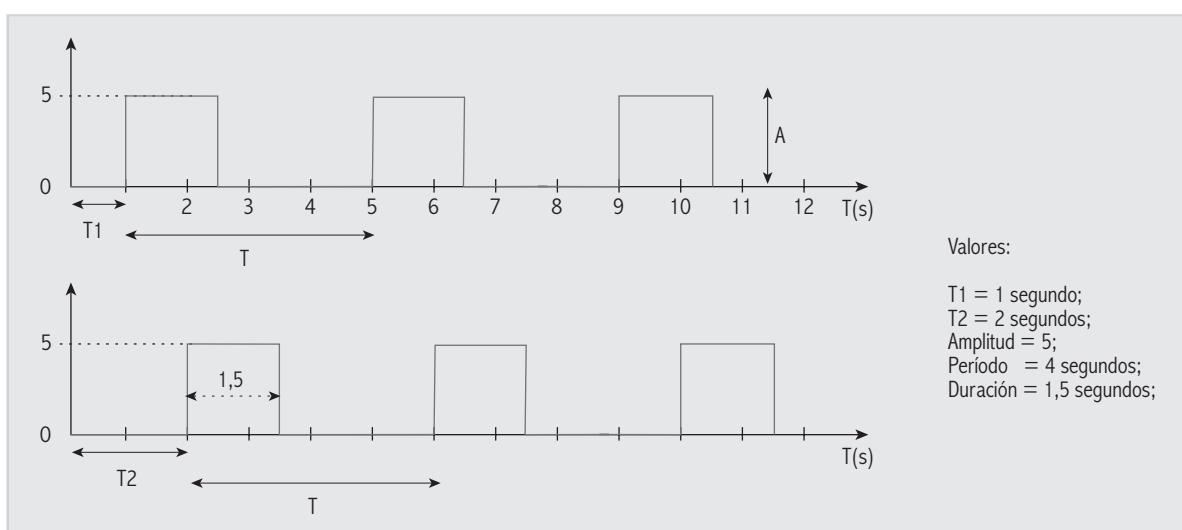


Fig. 7.61. Trenes de pulsos con distinta posición de los pulsos.

Dado que los pulsos solamente están presentes en determinados instantes, la modulación por pulsos es un proceso discontinuo y discreto que por su naturaleza se adapta mejor a la transmisión de señales de datos (digitales).

7.8.2 Clasificación de la modulación por pulsos

La modulación por pulsos puede ser clasificada, según sea infinita o finita la forma en que la señal moduladora puede modificar al tren de pulsos de la señal modulada, en:

- Analógica.
- Digital.

7.8.2.1 Modulación por pulsos analógica

Se denomina modulación por pulsos analógica a aquella en que el tren de pulsos que compone la señal portadora puede ser modificado por la señal moduladora, tomando infinitos valores.

Ejemplos de este tipo de modulación son los métodos llamados: Modulación de Amplitud de Pulso - PAM, Modulación por Duración de Pulso - PDM y la Modulación por Posición de Pulso - PPM.

7.8.2.2 Modulación por pulsos digital

Se denomina modulación por pulsos de tipo digital a aquella en que el tren de pulsos que compone la señal portadora puede ser modificado por la señal moduladora, tomando un número finito de valores.

Ejemplos de este tipo de modulación son los métodos denominados: Modulación por Pulsos Codificados - PCM, Modulación Delta, Modulación Delta Diferencial, etc. El estudio de estos tipos de modulación se verá en el apartado 7.10 de este capítulo.

7.8.3 Ventajas de la modulación por pulsos

Las ventajas de la modulación por pulsos respecto de la modulación por onda continua son:

- La potencia transmitida puede estar concentrada en ráfagas cortas (denominadas comúnmente por la expresión **burst**), en lugar de entregarse en forma continua.
Esto se puede lograr con procesos de almacenamiento y posterior retransmisión de los mismos a alta velocidad.
- Permiten realizar procesos de multiplexado. Estos procesos, denominados de multiplexación, como se verá en el Capítulo 8, permiten mejorar el uso del ancho de banda de los medios de comunicaciones, haciendo más eficiente el uso de los canales que se pueden establecer utilizando los mismos.
Estos consisten en la posibilidad de intercalar pulsos de mismo mensaje con otros de mensajes diferentes y que son transmitidos simultáneamente por el mismo vínculo de comunicaciones. Con ello se logra aumentar la eficiencia del canal de comunicaciones empleado.
- La transmisión de información inteligente modulada por pulsos tiene un nivel de calidad mucho mayor al que se puede obtener por otros procedimientos de modulación vistos anteriormente.

Podrían ser señaladas como desventajas (aunque actualmente, con el avance de la tecnología, las mismas son de poca importancia y están ampliamente compensadas por las ventajas que representa el tratamiento digital de las señales, como ya se ha visto anteriormente), las siguientes:

Se denomina modulación por pulsos analógica a aquella en que el tren de pulsos que compone la señal portadora puede ser modificado por la señal moduladora, tomando infinitos valores.

Se denomina modulación por pulsos de tipo digital a aquella en que el tren de pulsos que compone la señal portadora puede ser modificado por la señal moduladora, tomando un número finito de valores.

- Las señales de voz, al ser analógicas, deben ser convertidas en señales digitales y luego nuevamente ser reconvertidas en analógicas.
- Las transmisiones digitales requieren un mayor ancho de banda para transmitir señales analógicas.
- Las señales digitales requieren un proceso muy preciso de sincronización de los relojes del transmisor y receptor.

7.8.4 Modulación de pulsos analógica

7.8.4.1 Concepto general

La modulación analógica de pulsos puede ser de los siguientes tipos:

- Modulación de pulsos en amplitud - PAM (*Pulse Amplitude Modulation*)
- Modulación de pulsos por variación del ancho del pulso - PDM (*Pulse Duration Modulation*)
- Modulación de pulsos por modificación de la posición del pulso - PPM (*Pulse Position Modulation*).

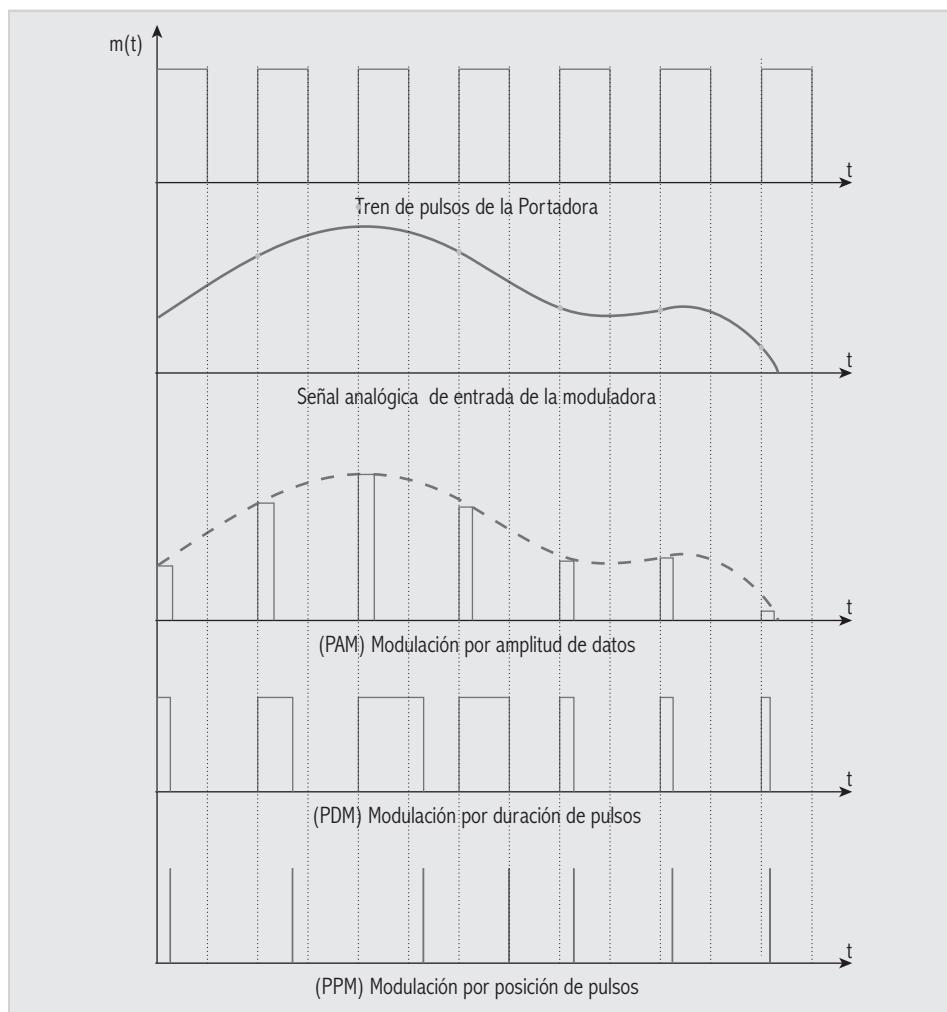


Fig. 7.62. Sistemas de modulación por pulsos.

En estos sistemas, como se expresó, la portadora está constituida por un tren de pulsos como los señalados en la Fig. 7.60.

Según el tipo de sistema, la señal de entrada se puede modular o variar la Amplitud - PAM, el Ancho (o duración) del pulso – PDM, o la Posición – PPM. En la Fig. 7.62., se detallan los tres tipos de modulación por pulsos analógica.

Estos métodos de modulación de pulsos se pueden comparar con los sistemas en los que se emplea una portadora, constituida por una señal sinusoidal continua en la que se modula la amplitud, la frecuencia o la fase.

Estos tipos de modulación se usan en casos muy especiales, tal como han sido definidos.

7.8.4.2 Modulación de pulsos por amplitud - PAM

En la modulación de pulsos en amplitud - PAM, la señal de salida aumenta o disminuye su amplitud siguiendo la forma de la señal analógica moduladora. En este caso, la duración de los pulsos o su ubicación no es alterada por dicha señal.

La modulación de pulsos por amplitud - PAM y la modulación de amplitud - AM son similares porque el proceso de modulación es esencialmente el mismo en ambos casos: la señal de entrada y la portadora se combinan en un dispositivo no lineal o lineal variable en el tiempo.

En un caso, la portadora es una onda sinusoidal única; en la modulación de pulsos por amplitud PAM es un tren de pulsos rectangulares (cuya representación en serie de Fourier sería el de onda sinusoidal, denominada fundamental, y todas sus armónicas).

La modulación de pulsos por amplitud se usa como un paso intermedio en los sistemas de Modulación por Pulsos Codificados – PCM, Multiplexación por División de Tiempo – TDM, Telemetría de Datos y en Sistemas de Instrumentación.

7.8.4.3 Modulación de pulsos por variación del ancho del pulso - PDM

En la modulación de pulsos por variación del ancho del pulso - PDM, la señal de salida aumenta o disminuye la duración de su período siguiendo la forma de la señal analógica moduladora. En este caso, la amplitud de los pulsos o su ubicación no es alterada por dicha señal y el parámetro que se está modulando es el tiempo. De la misma manera ocurre en el caso siguiente de la modulación PPM. Ambas tienen este aspecto en común.

Respecto a la modulación PAM, presenta la ventaja de que la amplitud de los pulsos es constante, pero el inconveniente de que el ancho de banda requerido es mucho mayor que el que utiliza aquélla.

7.8.4.4 Modulación de pulsos por modificación de la posición del pulso - PPM

En el caso de la modulación por pulsos por modificación de la posición del pulso - PPM, la señal de salida se retarda o avanza en correspondencia con la variación de la señal analógica moduladora. En este caso, el ancho y la amplitud de los pulsos permanecen inalterados.

Presenta una ventaja adicional a la modulación PDM pues la información reside en la posición del tiempo de los bordes de los pulsos, no en los mismos pulsos en sí.

Tanto la modulación PDM como la PPM se utilizan en equipamientos de comunicaciones para propósitos especiales, y en particular para su uso en equipamiento de comunicaciones de uso militar.

7.9 Digitalización

7.9.1 Introducción a las redes digitales

Las redes de telecomunicaciones históricamente funcionaron usando señales analógicas para transmitir la información, en particular la voz, fenómeno que tiene precisamente esas características y que dio origen a la construcción de la Red Telefónica Comutada - RTC. Estas señales se enviaban variando en forma continua, en función del tiempo, alguna magnitud física como por ejemplo la tensión que se mide en Volt.

La irrupción de la electrónica digital y los computadores en los sistemas de comunicaciones ha llevado a la migración de estos primitivos sistemas hacia los de tecnología digital. La tendencia a digitalizar las redes analógicas, por múltiples razones, se irá acentuando con el correr del tiempo hasta que las mismas se conviertan totalmente en redes digitales.

Es por ello que el problema más importante desde el punto de vista tecnológico que se presenta para encarar esta tarea es el de convertir las señales analógicas en digitales.

Inicialmente revestía especial importancia la digitalización de la voz que iba a ser transmitida por la Red Telefónica, pero actualmente también es importante considerar las señales de vídeo, la música de alta fidelidad, imágenes y otros servicios que tienen en su fuente características analógicas. En todos los casos se busca conservar, con distintos grados de calidad, inalterables las características de estas al ser digitalizadas.

En el Capítulo 3, figuras 3 – 5 y siguientes, se explicitaba el uso de equipos digitalizadores que permiten, por ejemplo, que un abonado telefónico ingrese a una central digital por medio de un enlace de abonado en donde la señal viaja en forma analógica. Estos equipos digitalizadores son conocidos con el nombre de equipos CÓDEC - Codificadores/decodificadores.

Ellos se encargan de transformar las señales analógicas en una señal digital codificada según distintas técnicas, donde cada una de ellas ofrece un grado de calidad de servicio diferente.

En las figuras que se han señalado, los equipos códec y los módem, aunque pareciera que realizan funciones parecidas, usan técnicas totalmente diferentes, aún en los casos en que ambos en algún momento transformen por ejemplo, señales digitales en analógicas o viceversa.

Actualmente, las redes de transporte de la información, cualquiera sea la empresa de servicios de telecomunicaciones que la opere, tiene las mismas completamente digitalizadas.

Las redes digitales permiten la transmisión de cualquier tipo de información mediante las aplicaciones que se derivan de las técnicas de pulsos, con absoluta independencia del servicio que se brinda.

Las redes digitales se diseñaron utilizando *hardware* electrónico que tiene las siguientes características:

- Mayor facilidad y simplicidad en el diseño de los circuitos que lo componen.
- Automatización del diseño y fabricación de las partes y componentes. Como es el caso de los circuitos integrados. Estos poseen una multiplicidad de funciones. Uno de los casos más conocidos es el de los microprocesadores construidos usando estas técnicas y usados en las computadoras personales y servidores.
- Menor costo del *hardware* necesario para la construcción, operación y el mantenimiento.
- Los equipos basados en técnicas digitales, a diferencia de los usados en la mayoría de los equipamientos analógicos que empleaban desarrollos electromecánicos y disipaban una importante cantidad de calor (que los hacía frágiles en el tiempo), al ser características electrónicas, no tienen partes en movimiento y consumen muy baja potencia.
- Los procedimientos de construcción más económicos.

- Sus partes son más seguras y fáciles de instalar.

Las redes digitales, además de permitir integrar todos los servicios en una única red (voz, datos, textos, imágenes, vídeo y radiodifusión de alta calidad, facsímil color, imágenes médicas, etc.), poseen otras ventajas como las siguientes:
- Facilidad de mantenimiento.

El mantenimiento de los equipamientos digitales es más simple, las reparaciones son más fáciles de realizar dado que, normalmente, basta el cambio de placas de tipo electrónico antes que reparaciones de tipo artesanal.
- Mayor calidad de servicio QoS, a causa de:
 - Calidad de servicio ajustable (tasa de errores).
 - Técnicas de regeneración de señales que permiten mantener las tasas de errores por debajo de determinados valores fijados de acuerdo al servicio, y consecuentemente, tasas de errores deseadas.
 - Fácil monitoreo de la red y detección de fallas.
 - Mejor tolerancia al ruido.
- Mediante el uso de distintos programas informáticos de aplicación se puede realizar el control centralizado del funcionamiento de la red y la detección exacta del lugar en que se ha producido el inconveniente.
- Integración del equipamiento necesario para conmutación y transmisión.
- Integración de la señalización dentro de la banda (como por ejemplo el uso del denominado Sistema de Señalización por Canal Común). El particular el uso del denominado Sistema de Señalización N° 7 - SS7 por Canal Común (ver apartado 4.11.6), que aumentó la eficiencia de las redes y permitió la introducción de las Redes NGN (*New Generation Network*).
- Posibilidad de contar con servicios criptográficos más seguros.

Los equipos criptográficos digitales brindan algoritmos de encriptación, que permiten una variación en las claves usadas de valores que llegan hasta 10^{99} valores diferentes y aun más, obteniéndose tasas de seguridad elevadas y una alta complejidad en las técnicas necesarias para lograr el desencriptado de las señales inteligentes.
- Posibilidad de utilización de sistemas de multiplexación más eficientes, aunque en algunos casos requieren un mayor uso del ancho de banda disponible en los medios de comunicaciones.

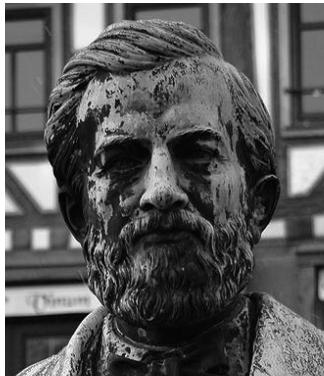
Un ejemplo de ello son las técnicas SDH - *Synchronous Digital Hierarchy*, que serán desarrolladas oportunamente (ver Capítulo 8).
- Permiten mantener la QoS independiente de la distancia entre extremos de la red.
- Tienen mayor facilidad para crecer en el ancho de banda disponible en los medios de comunicaciones.

Dado que los servicios que incluyen señales digitales estarán facilitados sin duda por este tipo de redes, resultará particularmente importante estudiar cuál es el proceso que permite la digitalización de las señales analógicas, proceso que reviste la mayor importancia para permitir el tráfico telefónico.

La base del proceso de digitalización de señales analógicas está constituido por los siguientes pasos:

- Muestreo.
- Cuantificación.
- Codificación.

7.9.2 Antecedentes del muestreo: el Teléfono de Reis



Johan Philipp Reis (Gelnhausen, 1834 - Friedrichsdorf, 1874). Fue inventor y físico. Estudió en el Instituto Politécnico de Karlsruhe.

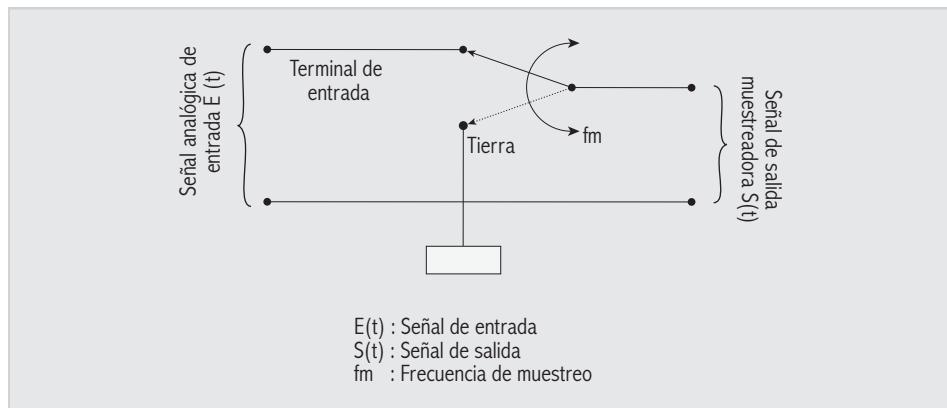


Fig. 7.63. Sistema muestreador elemental.

Si la velocidad de muestreo era baja, la señal de salida obtenida se encontraba fuertemente distorsionada. La llave se movía periódicamente entre los dos contactos con una frecuencia fm , permaneciendo T segundos en el terminal de entrada y conectada a tierra el resto del período.

En realidad, no era exactamente un teléfono pues no era capaz de reproducir la voz humana, pero se utilizó inicialmente para transmitir información hasta una distancia de 100 m utilizando señales eléctricas.

Algunos años más tarde, Reis inventó un instrumento que transmitía notas musicales a distancia pero que no se podría usar para reproducir la voz humana. Fue el primero que utilizó para su invento la palabra, en alemán, **Telefon**.

7.9.3 Muestreo de señales

7.9.3.1 Proceso de muestreo

El proceso de muestreo consiste en definir una señal continua analógica mediante un número finito de muestras.

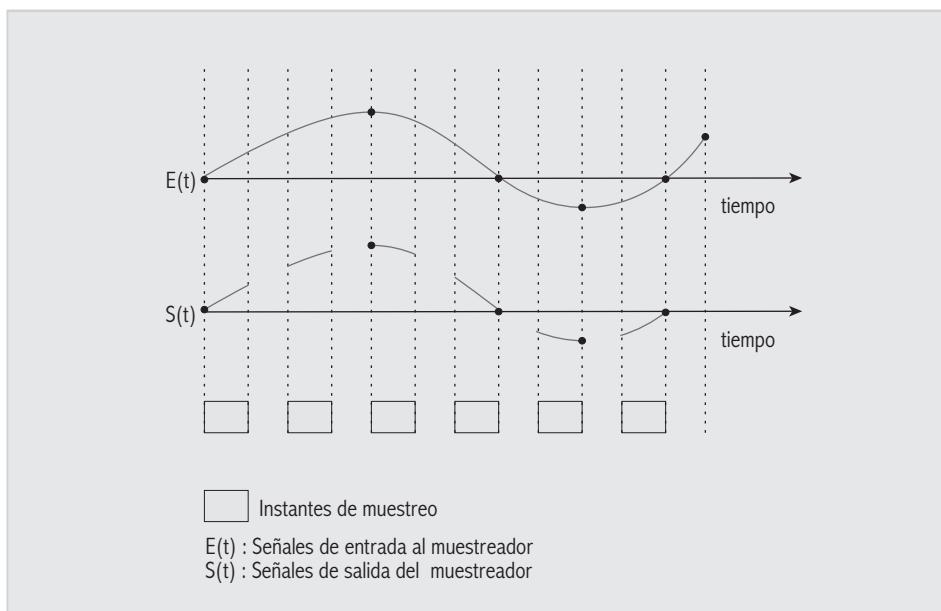
Las muestras permiten definir la señal porque la señal que va a ser muestreada está limitada en banda, es decir, la misma tendrá una frecuencia máxima, que llamaremos f_{max} .

En sí, el proceso de muestreo se puede apreciar en la Fig. 7.64. La señal continua a muestrear $E(t)$ se puede apreciar en la parte superior de la figura.

La salida del muestreador $S(t)$ consistirá en segmentos cortos de la señal de entrada. Se puede apreciar que la misma está solamente definida en instantes de tiempo discretos, tal como se muestra en la Fig. 7.64.

La señal $S(t)$ solamente permanecerá en línea instantes de tiempo T , lo que permitirá definir una frecuencia $f_{(m)}$, tal que:

Denominaremos frecuencia de muestreo, o también velocidad de muestreo, al número de muestras obtenidas por unidad de tiempo.



Denominaremos frecuencia de muestreo, o también velocidad de muestreo, al número de muestras obtenidas por unidad de tiempo..

Fig. 7.64. Señales de entrada y salida de un muestreador.

El tiempo T se denominará instante de muestreo. Entonces, la frecuencia de muestreo resultará de:

$$f_{(m)} = \frac{1}{t} \quad (7 - 50)$$

La señal $S(t)$ será la función muestreada originada a partir de la función analógica original $E(t)$.

Cabe reflexionar sobre los siguientes aspectos fundamentales:

- ¿Es posible recuperar la función $E(t)$, a partir de la función muestreada $S(t)$?
- ¿Las muestras tomadas son suficientes para describir la señal original?
- ¿Existe un número mínimo de muestras a tomar, es decir, una velocidad de muestreo mínima para mantener las características de la señal original, para poder reproducir exactamente la función?
- ¿La señal muestreada contiene toda la información que tenía la función original, o solo una parte de ella?

Se verá a continuación que, bajo ciertas condiciones, existe un número mínimo finito de muestras que permite dicha reproducción.

Esas condiciones serán las siguientes:

- La señal original que va a ser muestreada debe estar limitada en el ancho de banda, en particular en la frecuencia de corte superior de este, valor que hemos llamado f_{max} .
- La energía de la señal debe estar totalmente contenida en el ancho de banda de esta.

El proceso de convertir una señal analógica en otra de características digitales tiene una importancia mayúscula en el ámbito de las comunicaciones pues significa que las señales de voz, vídeo, imágenes y otras pueden ser convertidas en señales digitales y posteriormente ser procesadas en este estado por las redes.

Estas manejarán las señales para realizar las funciones de conmutación y transmisión, usando todas las ventajas que presentan las redes digitales, con el objeto de que la inteligencia llegue desde la fuente que las originó hasta el colector que las recibirá.

La señal original que va a ser muestreada debe estar limitada en el ancho de banda, en particular en la frecuencia de corte superior de este.

La energía de la señal debe estar totalmente contenida en el ancho de banda de esta.

7.9.3.2 Aplicación del Teorema de Nyquist o del Muestreo

Como se estudió en el apartado 3.6.1, a partir de 1924 Harry Nyquist estudió la cantidad de información que era posible enviar a través de un canal sin ruido y de ancho de banda finito, y publicó una serie de artículos en ese año y en 1928.

Esos estudios permitieron demostrar que esa cantidad de información estaba limitada en función al ancho de banda del canal.

Sea por lo tanto una función limitada en banda, entonces, si esta es muestreada de forma tal que la frecuencia de muestreo f_N tenga relación con el ancho de banda de la señal original, resultará que a partir de la función muestreada se podrá recuperar la totalidad de la información contenida por la primera.

Por lo tanto se demostró, usando herramientas matemáticas adecuadas, fundamentalmente la serie y la transformada de Fourier, lo que denominamos Teorema de Nyquist (o del Muestreo).

El mismo se puede expresar de la siguiente manera:

Dada una función cuya energía está enteramente contenida en un ancho de banda cuya frecuencia máxima es f_{max} , si se muestrea a frecuencia igual o mayor a $2f_{max}$ (ancho de banda finito), la función original puede ser totalmente recuperada por medio de un filtro pasa bajos ideal.

La frecuencia mínima de muestreo será:

$$f_{m_{min}} = 2f_{max} \quad \text{muestras por segundo} \quad (7 - 51)$$

Es decir que una señal de ancho de banda finito Δf puede ser satisfactoriamente definida por un conjunto de muestras instantáneas tomadas a una frecuencia de muestreo f_N mayor que el doble del ancho de banda Δf de la señal que se va a muestrear.

A la frecuencia de muestreo mínima, se la conoce como **Frecuencia de Nyquist**.

Las muestras pueden tomarse de dos maneras: con muestreo uniforme o no uniforme. En el primer caso los períodos de tiempo T serán regulares de tiempo. Si por alguna razón se prefiriere el muestreo no uniforme (períodos T diferentes), la exactitud de las muestras debe ser muy elevada, así como la información de sincronismo, para obtener el mismo resultado.

En la práctica, la mayoría de los sistemas digitales utilizan muestreo uniforme por ser más práctico el diseño de *hardware* que trabaja de esa manera.

Si se quisiera llevar a cabo el muestreo de una señal a una frecuencia superior a la **Frecuencia de Nyquist**, el resultado sería exactamente el mismo, por cuanto las componentes

de las frecuencias más altas serían filtradas por el filtro pasa bajos y por lo tanto no podrían ser recuperadas.

Si por el contrario se realizara el muestreo a una frecuencia menor que f_N , la dispersión de la energía haría más difícil y complejo recuperar la señal. Si se toma la señal muestreada en el dominio de la frecuencia mediante la Transformada de Fourier, se observa un solapamiento en el espectro que dificulta la recuperación y que normalmente hace que la calidad del servicio que transporta esa señal pierda calidad.

Luego para recuperar la señal original en el extremo receptor, la misma se hace pasar por un filtro pasa bajos (ver apartado 2.9.3.3 y Fig. 2-53). La frecuencia de corte superior del filtro debe ser igual a la mitad de la Frecuencia de Nyquist, es decir, el límite superior del ancho de banda de la señal $E(t)$.

En términos prácticos, generalmente se usa una frecuencia de muestreo algo superior a la Frecuencia de Nyquist a los efectos de tener la seguridad de recuperar la totalidad de la señal muestreada y porque, en la práctica, los filtros no se pueden comportar de la misma manera que un filtro ideal.

Para el caso de los canales telefónicos, si se acepta que estos están limitados en banda a valores comprendidos en el orden de 300 y 3400 Hz, la frecuencia de muestreo que usan los códec de la Red Telefónica es de 8000 Hz, es decir, toman como valor de $f_{máx}$ a 4000 Hz.

7.9.3.3 Diferentes procesos de muestreo

Matemáticamente analizado, el proceso de muestreo también puede ser estudiado como el producto de la señal que se va a muestrear, que hemos denominado $E(t)$, por una señal que representa a un tren de pulsos $P(t)$, cuyo resultado nos dará la señal muestreada $S(t)$, donde la duración de cada pulso tendrá una duración de $t = T$, según la expresión (7 - 53):

$$S(t) = E(t) \times P(t) \quad (7 - 53)$$

El tiempo T podrá ser arbitrario y lo denominaremos tiempo de muestreo.

Podremos, entonces, definir tres diferentes procesos de muestreo que denominaremos: ideal, natural y muestreo con retención.

El muestreo ideal es aquel en que el instante de muestreo T , correspondiente al período del tren de pulsos $P(t)$, tiende a cero; es decir, estamos definiendo una sucesión de muestras instantáneas.

En el muestreo natural, el tren de pulsos posee un período igual a T para cualquier valor distinto de cero. La función muestreada tendrá un conjunto infinito de valores en el período de muestreo.

Finalmente, en la práctica, se utiliza lo que se denomina muestreo con retención, conocido por su expresión **sample and hold**, que consiste en tomar la muestra y retener el valor un cierto tiempo hasta que comience el próximo período de muestreo.

En la Fig. 7.65. podemos observar: la función $E(t)$ que se va a muestrear; el tren de pulsos que corresponde a la señal $P(t)$ y la función $S(t)$. Allí se puede observar la señal muestreada con un proceso de muestreo natural de período T y la misma función en un proceso de muestreo y retención.

Ejemplo 7 - 4:

Se desea muestrear una señal de audiofrecuencia de alta fidelidad (frecuencias superiores a 13 o 14 kHz) sabiendo que su espectro de frecuencias se extiende hasta valores de 20 kHz. ¿Cuál sería una buena frecuencia de muestreo para dichas señales?

$$f_N = 2 \times \Delta f$$

$$\Delta f = 20 \text{ kHz}$$

Luego:

$$f_N = 2 \times 20 \text{ kHz} = 40 \text{ kHz}$$

Tomando un pequeño coeficiente de seguridad, como es el caso de la música comercial grabada y comercializada sobre soporte de *CD Player*, la frecuencia de muestreo que se usa es de 44,1 kHz.

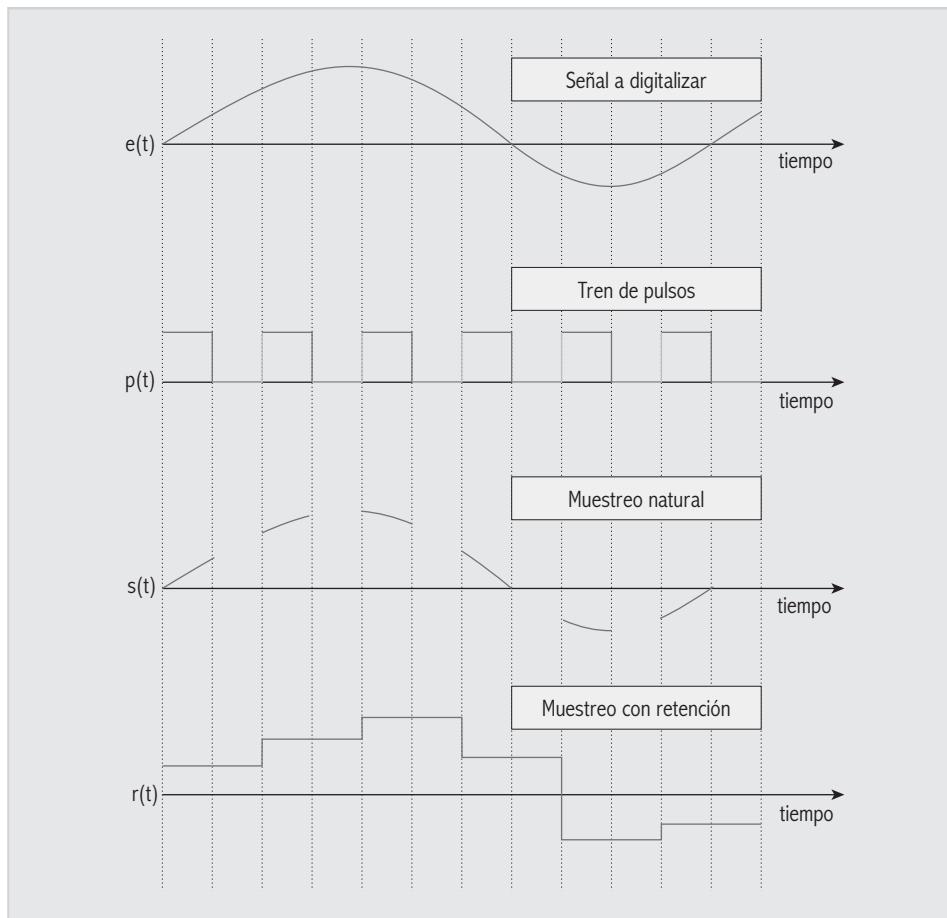


Fig. 7.65. Muestreo natural y muestreo con retención.

Por otra parte, en la práctica el muestreo no es instantáneo dado que se realiza con circuitos de conmutación reales. Como consecuencia de ello, la señal muestreada consiste en pulsos de duración finita.

Por otro lado, los filtros pasa bajos de reconstrucción, como ya se expresó, no son ideales, ni las señales que van a ser muestreadas tienen la energía enteramente limitada en banda y contenida en la banda de frecuencia que se extiende de 0 a f_{CS} (frecuencia de corte superior). Por lo tanto, los valores señalados siempre deben ser tomados como el límite superior.

7.9.4 Cuantificación

7.9.4.1 Conceptos generales y definición

Luego del proceso de muestreo, una señal analógica, bajo ciertas condiciones particulares, podría transportar íntegramente la información original. No obstante, debe observarse que la señal muestreada no es una señal digital, dado que la amplitud de los pulsos puede tomar infinitos valores dentro del rango de existencia de la señal analógica.

Por lo tanto, para obtener una señal absolutamente digital es necesario pasar un proceso de transformación que sigue al de muestreo, y ése se denomina Cuantificación.

Luego entenderemos por Cuantificación:

Al proceso que consiste en transformar los niveles de amplitud continuos de la señal de entrada previamente muestreada en un conjunto de niveles discretos previamente establecidos.

Cada muestra deberá tomar un valor que esté en correspondencia con un número natural dentro de un conjunto numérico previamente establecido.

Cada valor del conjunto elegido recibe el nombre de nivel cuántico. Ese conjunto de niveles cuánticos, generalmente, se elige entre los números que resultan de las distintas potencias del número 2 (64, 128 o 256).

Llamamos cuantificación al proceso que consiste en transformar los niveles de amplitud continuos de la señal de entrada previamente muestreada en un conjunto de niveles discretos previamente establecidos.

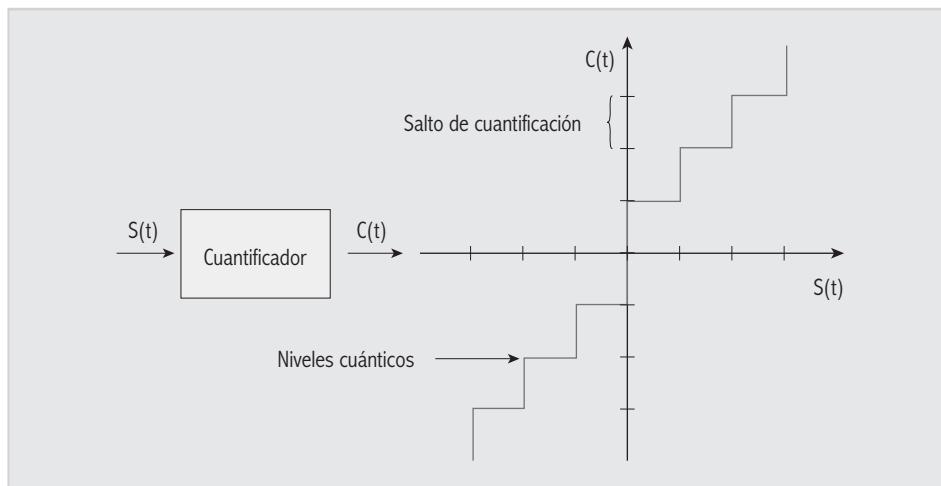


Fig. 7.66. Características de transferencia de un cuantificador.

En la Fig. 7.66, se puede observar la forma en que se procesan las señales en un cuantificador. A cada valor de entrada, representado por un conjunto de valores continuos de la función $S(t)$, le corresponde una función a la salida del cuantificador $C(t)$, que deberá estar en relación con uno solo de los números naturales que se corresponden con los niveles cuánticos establecidos previamente.

Dicho de otra forma, a cada valor discreto de los niveles de amplitud de salida $C(t)$ le corresponderá un cierto rango continuo de niveles de amplitud de entrada $S(t)$. El conjunto de todos los valores para los cuales se redondea la señal de entrada se denominarán Niveles Cuánticos.

7.9.4.2 Error de cuantificación

A diferencia del muestreo, el proceso de cuantificación implica una pérdida irremediable de información, dado que resultará imposible reconstruir la señal analógica original a partir de la señal cuantificada.

Este hecho, en la práctica, no tiene significación por cuanto el oído humano, como cualquiera de los demás sentidos, solo puede percibir diferencias finitas de intensidad.

La diferencia existente entre la señal de entrada $S(t)$ y su versión cuantificada $C(t)$ se denomina error de cuantificación.

Por lo tanto, el error de cuantificación $E(t)$ resultará:

$$E(t) = S(t) - C(t) \quad (7-54)$$

Donde:

$C(t)$ = señal cuantificada.

$S(t)$ = señal de entrada al cuantificador.

En la Fig. 7.67., se grafica la señal de entrada y la salida del cuantificador, así como el error de cuantificación.

El error de cuantificación también se suele denominar ruido de cuantificación o, con mucha más precisión, distorsión por cuantificación, siendo en todos los casos el mismo concepto. En realidad, la forma más correcta de denominar esta diferencia sería esta última expresión.

Lo que provocará realmente el proceso de cuantificación es una leve deformación de la señal inteligente, y eso es claramente una distorsión. Por razones didácticas, preferimos usar el término ya definido inicialmente.

A pesar de que en el proceso de digitalización se introduce desde el inicio el error de cuantificación, el mismo es controlable, mientras que las degradaciones que sufren las señales analógicas no solo son irrecuperables sino que en la mayoría de los casos son imposibles de acotar.

También resulta claro que cuanto mayor es el número de niveles cuánticos, menor será el error de cuantificación. Es evidente que si hubiera en el límite infinitos niveles (obviamente, no habría cuantificación), el error sería nulo.

La presencia de ruido de blanco o gaussiano en el canal impide que la diferencia entre los niveles cuánticos sea tan pequeña como se quiere (ver apartado 6.7.3.2). Por ello habrá un umbral máximo y mínimo que definirá el salto de cuantificación mínimo compatible con el nivel de ruido existente. El nivel de este tipo será función del tipo de medio de comunicaciones que se use. Por ejemplo, el uso de fibra óptica presupondrá menor nivel de ruido que el cable coaxial.

7.9.4.3 Distintos tipos de cuantificación



Se denomina cuantificación uniforme a aquella en que los distintos niveles cuánticos tienen la misma medida.

Existen dos tipos de cuantificación: la uniforme y la no uniforme.

Se denomina cuantificación uniforme a aquella en que los distintos niveles cuánticos tienen la misma medida.

Este tipo de método de cuantificación se suele denominar lineal y presenta la característica relevante de que el error de cuantificación es constante e independiente del valor de la señal de entrada.

Este tipo de cuantificación es especialmente apto para sistemas que requieren errores de cuantificación sumamente bajos y que por lo tanto usan un elevado número de niveles cuánticos.

Un ejemplo típico es el usado para registros de sonidos de alta fidelidad en los que se usan varios miles de niveles cuánticos.

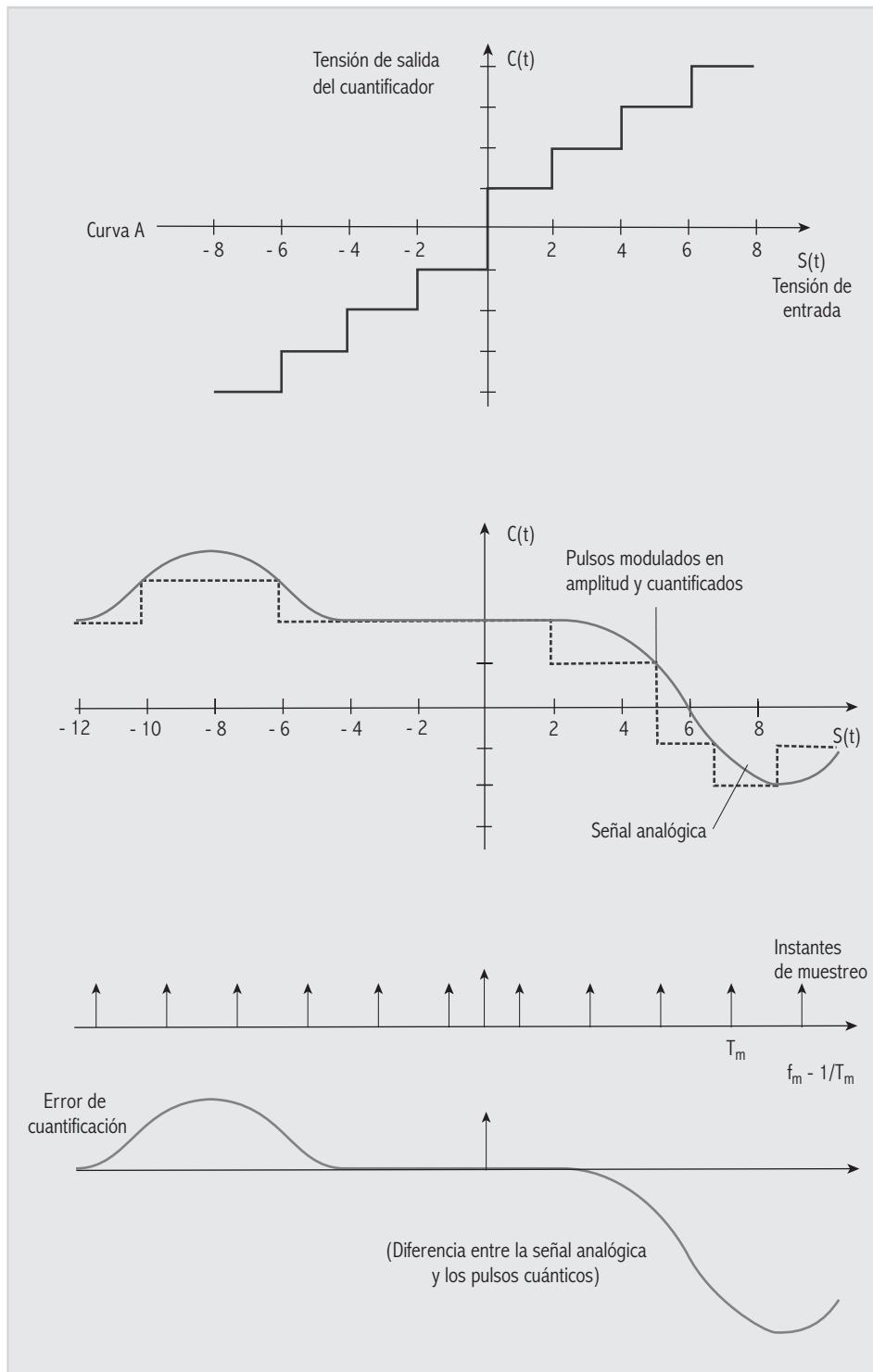


Fig. 7.67. Señales relacionadas con el proceso de cuantificación.

La **cuantificación uniforme** no es, por el contrario, especialmente apta en los casos en que la señal de entrada tiene un bajo nivel. Los inconvenientes se derivan del hecho de que al mantener el error de cuantificación constante, en estos casos, el error posee una mayor significación, comparándolo porcentualmente con el valor de la señal de entrada.

En el caso de las señales usadas en telefonía, los usuarios presentan distintos y variados niveles de intensidades de la voz, presentando diferencias de hasta 30 dB. Por lo tanto, se buscan sistemas que sean más precisos cuanto más bajas son las señales para disminuir este efecto.

En estos casos, se usan sistemas denominados de **cuantificación no uniforme**.

Se denomina cuantificación no uniforme a aquella en la que los distintos niveles cuánticos se comprimen en proximidades al valor cero y se expanden hacia los extremos.



Se denomina cuantificación no uniforme a aquella en la que los distintos niveles cuánticos se comprimen en proximidades al valor cero y se expanden hacia los extremos.

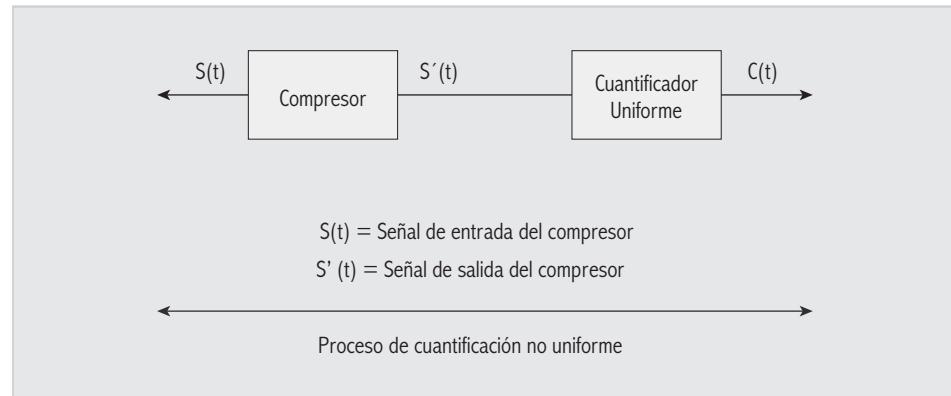


Fig. 7.68. Diagrama de bloques del proceso de cuantificación no uniforme.

Un cuantificador no uniforme es equivalente a hacer pasar una señal digital en banda base, primero por un compresor y, luego de comprimida, por un cuantificador uniforme.

La Fig. 7.68. muestra un diagrama de bloques del proceso de cuantificación no uniforme.

En estos casos, para recuperar las señales en su correcto nivel se debe usar un dispositivo inverso en el receptor que produzca el efecto contrario al del compresor.

Estos dispositivos se conocen con el nombre de expansores, siendo las leyes de compresión y expansión exactamente iguales. El proceso completo de comprimir y luego expandir se denomina **compansión**.

De esta manera, el error de cuantificación disminuye en los valores bajos y aumenta en los valores altos, posibilitando mantener cierta constancia en la relación señal/ruido.



Un proceso de compasión es un proceso que se realiza en los sistemas que emplean cuantificación no uniforme y consisten en comprimir la señal que se va a transmitir en la fuente mediante alguna ley, generalmente del tipo logarítmica, y a descomprimirla en destino a los efectos que vuelva a tomar su forma original.

7.9.4.4 Compansión

Se entenderá por un proceso de compansión al proceso que:

Se realiza en los sistemas que emplean cuantificación no uniforme y consisten en comprimir la señal que se va a transmitir en la fuente mediante alguna ley, generalmente del tipo logarítmica, y a descomprimirla en destino a los efectos que vuelva a tomar su forma original.

En estos casos el esquema de **compansión** se realiza mediante leyes adecuadas. Estas son denominadas **leyes de cuantificación**.

Tienen por objeto obtener una relación señal/ruido independiente del nivel de la señal de entrada al cuantificador mediante la compresión de los niveles más bajos y su expansión en los más altos.

Se denomina ley de cuantificación a una función que define los distintos valores de los intervalos de cuantificación para cada uno de los valores de amplitud de la señal que va a ser cuantificada.

Se denomina ley de cuantificación a una función que define los distintos valores de los intervalos de cuantificación para cada uno de los valores de amplitud de la señal que va a ser cuantificada.

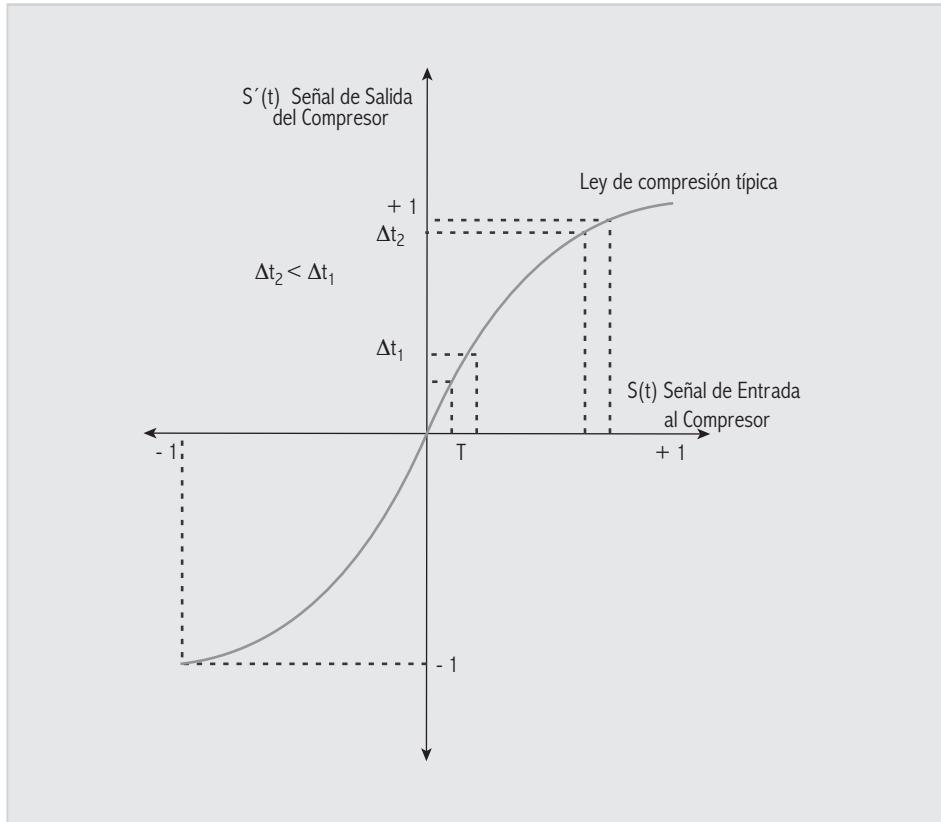


Fig. 7.69. Ley típica de compresión uniforme.

Mediante distintos supuestos es posible calcular, para el caso de un canal telefónico de voz, cuál es la ley de cuantificación óptima o de compansión.

Del cálculo resulta una función, representada por una curva sin simetría impar, que impide el proceso de cuantificación. Por ello se han buscado soluciones que, siendo lo más cercanas a la óptima, posean una simetría impar que permita su cuantificación.

La Fig. 7.69. muestra la forma de una ley de cuantificación típica que tendrá una forma del tipo logarítmica.

7.9.4.5 Leyes de Cuantificación

Actualmente se usan dos tipos de leyes de características logarítmicas denominadas Ley μ y Ley A debido a las letras que se usaron para calcular las constantes de compresión. Estos algoritmos están definidos en el estándar UIT – T - G.711.

En la práctica, estas leyes no se aplican estrictamente tal como han sido definidas; en su lugar, se prefiere usar un procedimiento que disminuya el costo de su implementación sin perder las ventajas ya señaladas de la compresión.

Estos procedimientos se denominan por trazos y consisten en dividir las curvas que corresponden a cada una de las leyes que se consideren en un número determinado de segmentos de recta. Para el caso de la Ley A se acostumbra a dividir en 13 segmentos y, para la Ley μ , en 15.

En realidad, el objetivo de todo sistema de comunicaciones es tener una relación señal/ruido de cuantificación constante, cualquiera sea el nivel de la señal aplicada a dicho sistema. Una posible solución para tener esta relación constante es utilizar una cuantificación no uniforme.

De esta forma, cuando la señal es pequeña se toman más niveles cuánticos, reduciéndose dicho ruido. Contrariamente, cuando el nivel de la señal es alto, se toman menos niveles, el ruido aumenta y la relación señal/ruido tiende a ser la misma.

En el caso de la cuantificación uniforme, todos los niveles cuánticos tienen la misma amplitud. De ese modo, la relación de transferencia entre la señal de entrada y los niveles cuánticos es lineal.

- La Ley μ .

Esta ley fue propuesta por B. Smith en un artículo publicado en el *Bell System Technical Journal* en el mes de mayo de 1957. Se usa en los Estados Unidos de Norteamérica y en el Japón, con valores de μ iguales o mayores a 100.

Luego, si llamamos:

x' = valor de la señal de entrada.

V = valor pico de la señal de entrada.

x = valor de la señal normalizada (es decir, el valor del cociente).

La Ley μ resulta de resolver la ecuación (7 - 55), para $0 \leq X \leq 1$:

$$y(x) = \frac{\ln(1 + \mu x)}{\ln(1 + \mu)} \quad (7 - 55)$$

El parámetro μ puede variarse para obtener distintos grados de compresión.

La Fig. 7.70. muestra las curvas logarítmicas que se pueden obtener para distintos grados de compresión variando el parámetro μ .

Sus características principales son:

- Tiene ciertas facilidades de implementación.
- La disminución del ruido de cuantificación en muchos casos solo se puede lograr a costa de quitarle naturalidad a la señal vocal.
- Tiene poco uso en la actualidad.

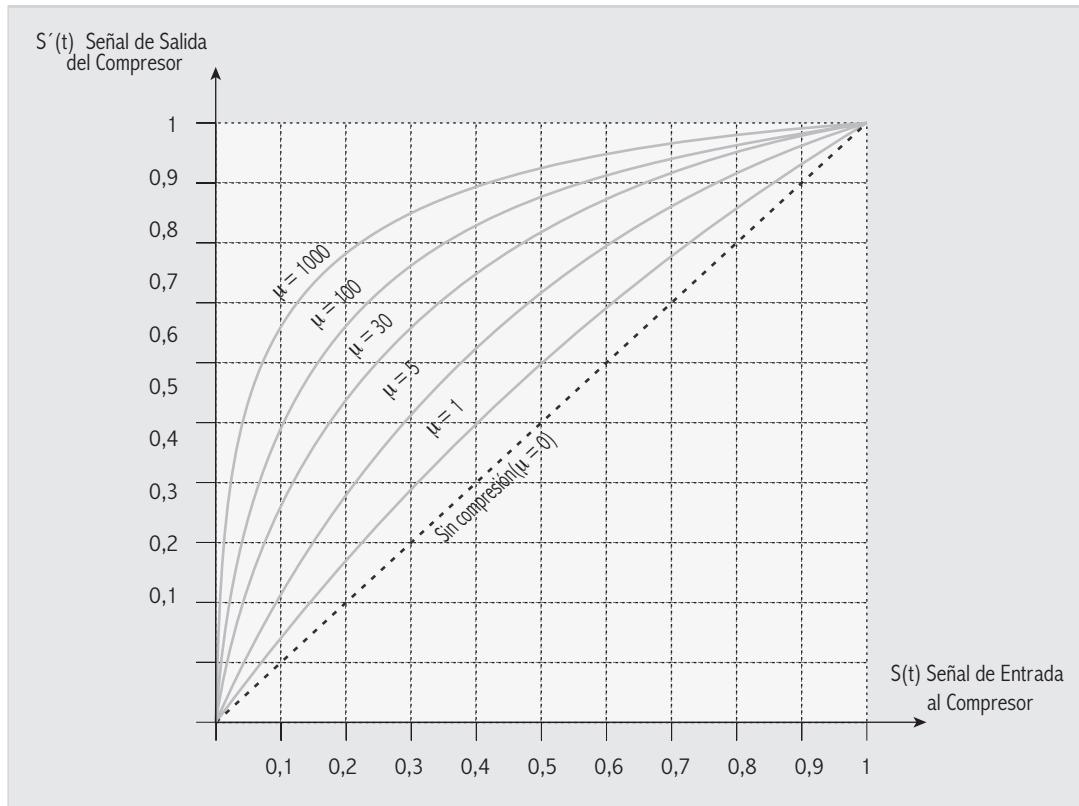


Fig. 7.70. Curvas de compresión de Smith para distintos niveles del parámetro μ .

- Es adecuada para la transmisión de la voz por su baja complejidad y no produce retardos significativos.
- La Ley A.

La Ley A es usada fundamentalmente en Europa y América del Sur, y en general en todos los enlaces internacionales.

Esta ley resulta de la resolución de las ecuaciones (7 - 56) y (7 - 57).

En casos en que se deban efectuar conexiones entre sistemas que utilizan distintos sistemas de comprensión, los usuarios de la Ley μ deben proveer la adaptación correspondiente.

$$Y(x) = \frac{Ax}{1 + \ln Ax} \quad \text{para } 0 \leq x \leq \frac{1}{A} \quad (7 - 56)$$

$$Y(x) = \frac{1 + \ln Ax}{1 + \ln x} \quad \text{para } \frac{1}{A} \leq x \leq 1 \quad (7 - 57)$$

Esta ley se usa con valores de A cercanos a 255.

La Fig. 7.71. muestra la curva de comprensión de la Ley A, dividida en los 13 segmentos antes señalados.

En dicha figura se pueden observar en realidad solamente ocho segmentos, que corresponden a la parte positiva de las señales.

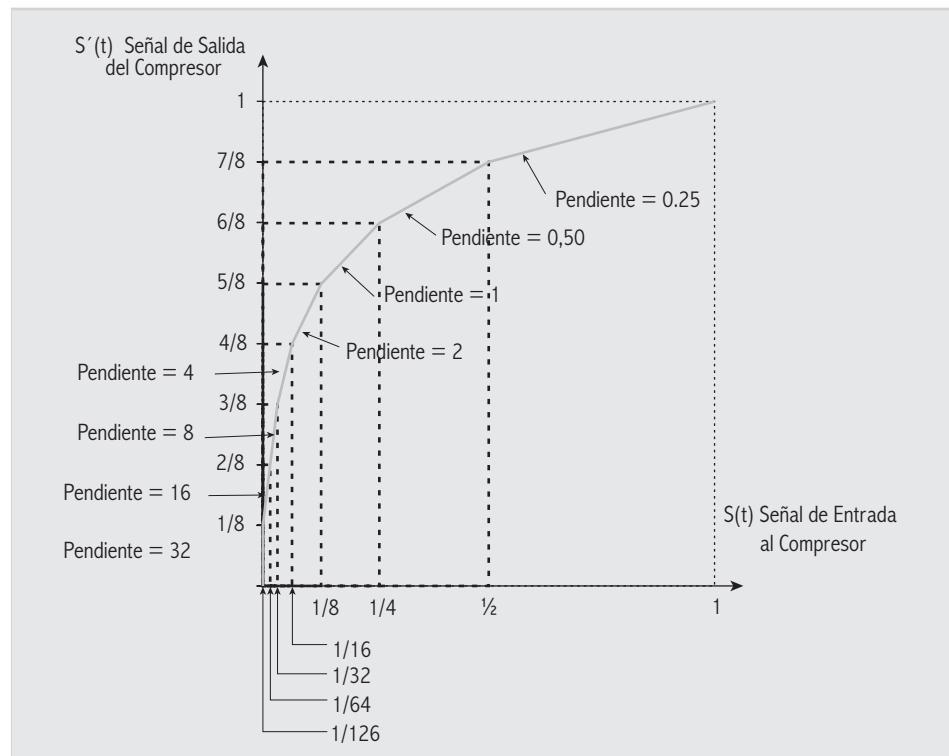


Fig. 7.71. Curva segmentada para la ley A.

Por ser curva simétrica, la parte correspondiente al sector negativo suma otros ocho, llegándose a la cantidad de 16 segmentos.

Sin embargo, los dos primeros segmentos de cada mitad tienen la misma pendiente, por lo que, en realidad, los cuatro juntos conforman uno solo. Luego se puede fácilmente deducir que, en total, resultan los 13 ya señalados.

7.9.5 Codificación

El proceso final consiste en codificar, normalmente usando un código binario, es decir, solo dos estados: ceros y unos. No se utilizan señales multinivel., las muestras obtenidas del proceso de cuantificación.

El proceso de codificación lo definiremos como:

Aquel que consiste en convertir los pulsos cuantificados en un grupo equivalente de pulsos binarios de amplitud constante.

En la Fig. 7.72., se pueden observar los pulsos de diferentes niveles obtenidos luego del proceso de muestreo y cuantificación.

En la parte superior de la figura se puede observar la señal $p(t)$ cuantificada mediante un sistema de modulación PAM que utiliza ocho niveles cuánticos.

El proceso de codificación consiste en convertir los pulsos cuantificados en un grupo equivalente de pulsos binarios de amplitud constante.

Recordando que:

$$2^n = N \quad (7-58)$$

Para $N = 8$, resultará $n = 3$.

Luego, en un sistema de cuantificación de ocho niveles se requerirán, para su codificación en un sistema binario, tres bit por byte.

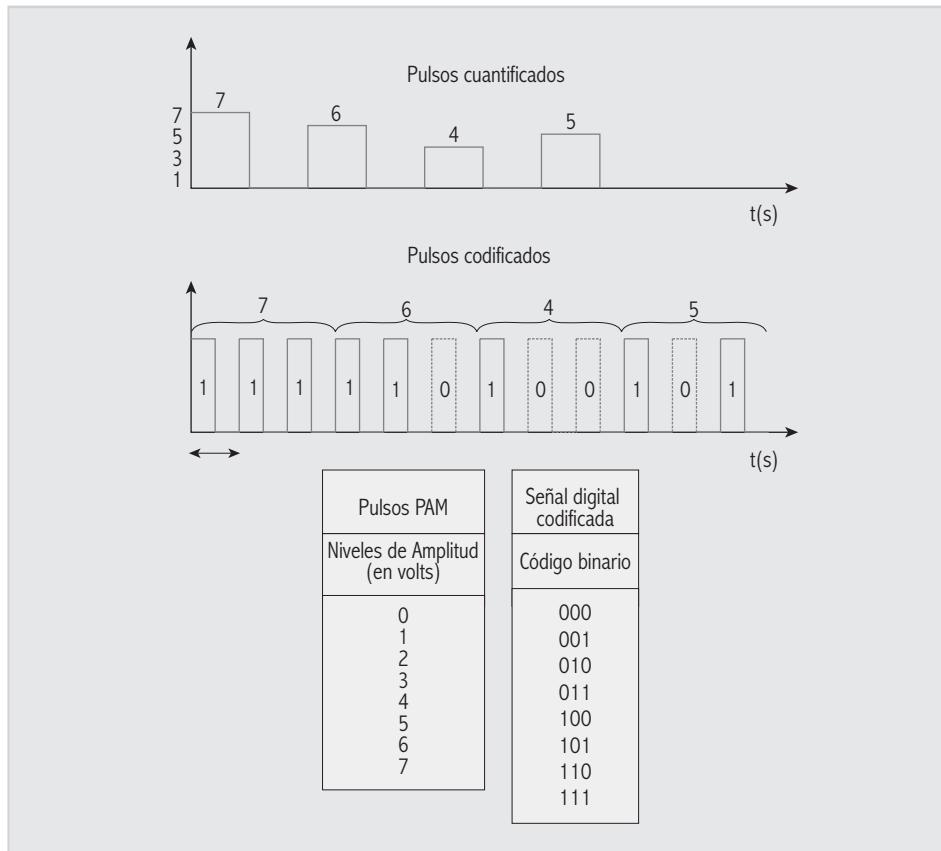


Fig. 7.72. Pulsos obtenidos a la salida del proceso de codificación.

Se puede observar que posteriormente al proceso de codificación será necesario transmitir más de un pulso en el intervalo T de muestreo. En este caso se deberán transmitir tres bit por muestra realizada originalmente.

Por lo tanto, deberá reducirse el ancho de los pulsos, con lo que el ancho de banda necesario para la transmisión de la señal deberá aumentar.

En práctica, se usan para la transmisión de la voz digitalizada sistemas de codificación con un número mayor de bit por muestra.

Un caso típico en la telefonía comercial es usar 8 bit por muestra, lo que significará trabajar con 256 niveles de cuantificación. En otros casos, especialmente en los Estados Unidos de Norteamérica y en el Japón, se utilizan sistemas que requieren 7 bits por muestra, lo que demanda el uso de 128 niveles cuánticos.

En el primer caso, se utilizarán 128 niveles cuánticos positivos y otros tantos negativos, lo que permite llegar los 256 que se había mencionado.

Se puede demostrar que, para un sistema codificado, con el aumento del ancho de banda la relación señal/ruido aumenta exponencialmente y, en consecuencia, la capacidad de información es mayor que la correspondiente a un sistema no codificado.

Luego del proceso de codificación, estamos en presencia de la transmisión de una señal digital, por lo cual en el receptor se deberá reconocer la presencia o ausencia de un pulso en intervalos uniformes y luego reconstruir la señal por el proceso inverso. La forma o la amplitud exacta de los pulsos carecen de importancia práctica.

En presencia de ruido, la decisión en cuanto se refiere a la presencia o ausencia de un pulso es una operación mucho más simple que la de determinar la amplitud del mismo. Por otra parte, es posible trabajar con una tasa de error calculable.

En la práctica, las funciones de conversión Analógicas/Digitales - A/D y sus inversas Digitales/Analógicas - D/A se realizan mediante el uso de un solo circuito integrado por canal.

Se podría analizar también la posibilidad de usar sistemas de codificación multinivel, pero se puede demostrar fácilmente que el sistema de codificación binario soporta mucho mejor los efectos del ruido y presenta la ventaja de que es más fácil de regenerar, función que se realiza mediante el uso de repetidores regenerativos (ver apartado 2.3)

Ejemplo 7 - 5:

Para el ejemplo 7 – 4, se desea saber cuál será la velocidad de transmisión de la señal digitalizada, correspondiente a la música comercial grabada y comercializada sobre soporte de *CD Player*, sabiendo que la frecuencia de muestreo que se usa es de 44,1 kHz y que cada muestra se codificará mediante 16 bit.

Determinar la cantidad de niveles cuánticos utilizados durante el proceso de cuantificación.

$$V_t = 16 \frac{\text{bit}}{\text{muestra}} \times 44.100 \frac{\text{muestra}}{\text{segundo}}$$

Luego resultará:

$$V_t = 705.600 \frac{\text{bit}}{\text{segundo}}$$

$$V_t = 705.600 \text{ Kbps}$$

Velocidad esta que es la que se toma en las lectograbadoras como 1X.

La cantidad de niveles resultará de calcular:

$$2^{16} = N$$

Luego:

$$2^{16} = N = 65.536$$

El numero de niveles cuánticos utilizados es de $N = 65.536$.

Ejemplo 7 - 6:

Se desea saber cuál será la velocidad de transmisión de una señal digitalizada, correspondiente a un canal telefónico analógico de 3,1 kHz de ancho de banda, si se usan sistemas para codificar las señales de 7 bits por muestra y de 8 bits por muestra, sabiendo que la frecuencia de muestreo que

se usará será algo superior a los efectos de tener la seguridad de recuperar la totalidad de la señal muestreada, y considerando que, en la práctica, los filtros no se comportan como filtros ideales.

Por las razones expresadas, y con la finalidad de asegurar que la totalidad de la señal muestreada se recuperará, se tomará un ancho de banda ligeramente mayor. A tal efecto consideraremos el valor típico de 4.000 Hz. Este caso es el más común para la digitalización de la voz humana.

$$V_N = 2\Delta f$$

Reemplazando f por su valor y calculando:

$$V_N = 2 \times 4.000 \text{ Hz}$$

$$V_N = 8000 \frac{\text{muestras}}{\text{segundo}}$$

Luego, la velocidad de transmisión resultará:

$$V_t = 8 \frac{\text{bit}}{\text{muestra}} \times 8000 \frac{\text{muestra}}{\text{segundo}}$$

$$V_t = 64000 \frac{\text{bit}}{\text{segundo}}$$

Que es precisamente la velocidad de un canal B utilizado en las normas europeas.

Si se tomaran 7 $\frac{\text{bit}}{\text{muestra}}$, la velocidad de transmisión resultará:

$$V_t = 7 \frac{\text{bit}}{\text{muestra}} \times 8000 \frac{\text{muestra}}{\text{segundo}}$$

$$V_t = 56000 \frac{\text{bit}}{\text{segundo}}$$

Que es precisamente la velocidad de un canal utilizado en las normas usadas en Estados Unidos y el Japón.

7.10 Modulación digital de pulsos

7.10.1 Diferentes tipos

Los sistemas de modulación de pulsos digitales tienen como característica distintiva, respecto de los otros sistemas de modulación, que producen señales digitales a la salida del modulador.

Los diferentes sistemas pueden ser clasificados en los siguientes tipos:

- Modulación por pulsos codificados.
- Modulación delta.
- Modulación delta adaptativa.
- Modulación por pulsos codificados diferenciales.

7.10.2 Ventajas de la modulación digital

Las señales digitales que a causa de este tipo de modulación es posible generar permiten ser transmitidas por las redes digitalizadas. Las mismas tienen innumerables ventajas sobre las analógicas, entre las que podemos señalar:

- Calidad de transmisión uniforme.
Los repetidores regenerativos se encargan de mantener el nivel de calidad con independencia de la distancia y el medio usado para constituir físicamente el canal.
- No es necesario el uso de equipos módem de datos.
Por cuanto no es necesaria la transformación de señales analógicas a digitales, pero sí debe destacarse que se deben usar en su reemplazo otros equipos que, como se expresó en el Capítulo 1, reciben el nombre genérico de Equipos Terminales del Circuito de Datos.
- Permiten la integración de servicios.
Precisamente, la posibilidad de transformar las señales de voz, textos, datos e imágenes en señales digitales permite el uso indistinto de los medios de transmisión, con independencia del tipo de servicio que se transmita.
- Permiten optimizar:
 - Los sistemas de codificación.
 - Los sistemas de seguridad.
 - Los sistemas de control de errores.
 - Permiten abaratar costos de fabricación.

En efecto, todos los desarrollos digitales son de bajo costo, fácil diseño, tamaño reducido y sencillo mantenimiento.

7.10.3 Modulación por pulsos codificados - PCM

7.10.3.1 Definición

Se denomina sistema de modulación por pulsos codificados:

Al método de modulación que consiste en la transmisión de información analógica en forma de señales digitales mediante un proceso continuo de muestreo, cuantificación y codificación.

7.10.3.2 Descripción

La técnica de Modulación por Pulsos Codificados - PCM es la opción más utilizada para la transmisión de señales digitales en las redes de telecomunicaciones.

La ventaja más clara de observar es que la amplitud y el período de cada pulso son constantes, lo que permite un tratamiento sencillo para su transmisión y la conmutación, si fuera el caso.

Por otra parte, la regeneración de los pulsos, cuando es necesaria por efecto de la distorsión y el ruido, es fácil de realizar por las razones antes mencionadas.

En esta técnica cada pulso representa un bit de información, que caracterizará un sistema binario de ceros y unos. Los sistemas de transmisión que representan estas técnicas están constituidos por un transmisor, una línea de transmisión y un receptor.

En la **fuente** deberá haber un transmisor, que debe estar compuesto por cuatro etapas, que son en orden sucesivo:

- Sistema de filtros pasa bajos.
- Muestreador.
- Cuantificador.
- Codificador.

En el **colector** deberá haber un receptor, que debe estar compuesto por tres etapas, que son orden sucesivo:



El sistema de modulación por pulsos modificados es un método de modulación que consiste en la transmisión de información analógica en forma de señales digitales mediante un proceso continuo de muestreo, cuantificación y codificación.

- Etapa de regeneración.
- Decodificador.
- Filtro de reconstrucción de la señal original.

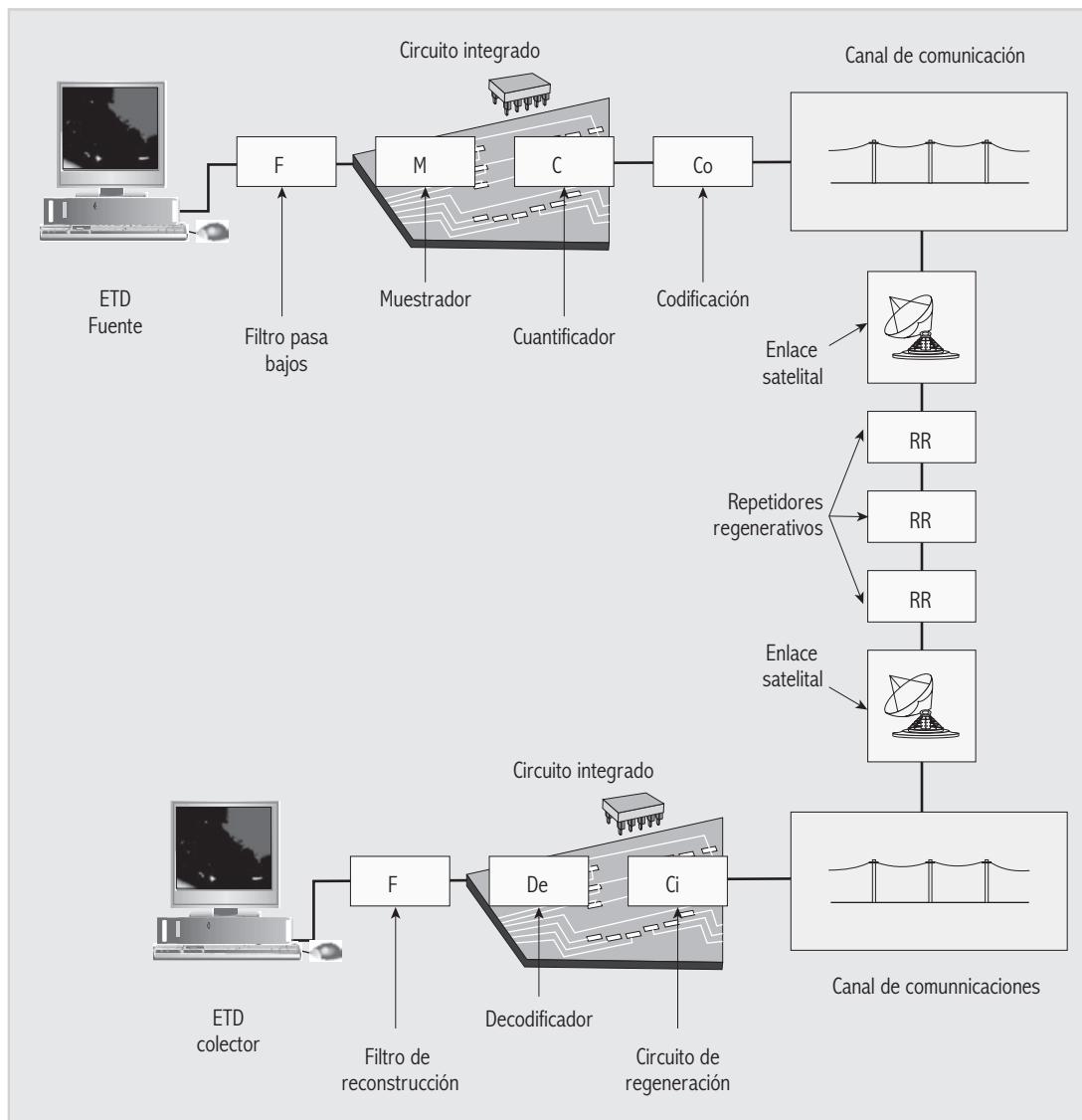


Fig. 7.73. Etapas de un sistema de transmisión PCM.

La línea de transmisión deberá tener la cantidad de repetidores regenerativos que sea necesaria para que la señal llegue a destino en las condiciones adecuadas y para que pueda ser reconstituida. Los repetidores regenerativos tienen precisamente la misión de ir reconstruyendo los bits a medida que estos se van distorsionando.

La Fig. 7.73. muestra el esquema completo que contiene a todas las partes necesarias en un circuito de transmisión PCM.

7.10.3.3 Ruido en los sistemas PCM

Los sistemas PCM son sensibles a dos tipos de ruido:

- Ruido de cuantificación.

Es el que se produce en el transmisor durante el proceso de cuantificación y tiene las características que se señalaron en el apartado 7.8.3.2 de este capítulo.

- Ruido de transmisión.

Cuando se habla de ruido de transmisión, si no se aclara otra cosa, nos referiremos siempre al denominado ruido blanco o gaussiano (ver Capítulo 6). Este tipo de ruido es el que se introduce en cualquier parte entre la salida del transmisor y la entrada al receptor.

El mismo es función del tipo de medio de comunicaciones que se use. Por ejemplo, en los medios construidos con fibras ópticas el ruido siempre es mucho menor que en los medios alámbricos (cobre), dado que la fibra óptica no es afectada por las interferencias electromagnéticas.

La cantidad de repetidores regenerativos que será necesario colocar en cada caso también será función del ruido, de la atenuación y consecuentemente del medio que se use. Precisamente, por tener menor atenuación, es la fibra óptica la que necesita, para una distancia dada, la menor cantidad de repetidores.

7.10.3.4 Características técnicas de los sistemas PCM

Las características técnicas de los sistemas PCM están relacionadas directamente con el concepto de Multiplexación por División de Tiempo – TDM, aspecto que será desarrollado en el Capítulo 8 de esta obra.

Este procedimiento se basa en enviar los códigos generados para cada muestra y provenientes de señales distintas intercalándolos en el tiempo, para luego transmitirlos en un único camino común de transmisión.

Las especificaciones que explican la forma en que cada canal es transmitido se encuentran detalladas en las recomendaciones de la Serie G, de la UIT - T. En particular, es interesante analizar la Recomendación G.711 del UIT - T, que especifica las características técnicas de la modulación para sistemas PCM.

Estos sistemas son también conocidos como MIC - Modulación por Impulsos Codificados, y su uso más importante es su empleo sobre frecuencias vocales.

Otras características técnicas de los sistemas PCM son las siguientes:

- Calidad de la transmisión casi independiente de la distancia.
- Bajo costo de implementación para enlaces de mediano alcance.

Se puede observar que los valores de los costos de implementación son función de las distancias del enlace. De ellas resultan los medios más convenientes para cada caso. Los sistemas PCM son especialmente aptos para distancias cortas e intermedias, entendiendo por tales a las de orden urbano, es decir, en el marco de ciudades medianas a grandes.

- Economía en combinación con la commutación digital.

La introducción de la commutación digital redujo el costo de las terminales, dado que esta es realizada directamente sobre el tren de bits digitales y ningún costo adicional de conversión analógico/digital es necesario.

- Integración de los servicios.

Como es un medio de transmisión digital, un enlace PCM puede transmitir no solo señales vocales sino también datos, télex, teletex, videotex, y cualquier otro moderno servicio de telecomunicaciones.

Un canal PCM básico, al tener una capacidad de 64.000 bps (o 56.000 bps), constituye un poderoso canal para transmitir cualquier tipo de datos.

- Nuevos medios de transmisión.

Los medios de transmisión de banda ancha, como las microondas o la fibra óptica, son más aptos para la transmisión digital que para la analógica.

7.10.4 Variantes de la modulación por pulsos codificados

7.10.4.1 Conceptos generales

En el sistema PCM clásico se codifican todas las muestras obtenidas. No obstante, se puede observar que cuando muestras sucesivas están fuertemente correlacionadas, como es por ejemplo el caso de la transmisión de imágenes, muchas veces el fondo de las mismas permanece constante durante bastante tiempo.

En ese caso no resulta necesario el envío de la totalidad de las muestras y, por lo tanto, el uso de un ancho de banda tan elevado. Este tipo de fenómenos genera muestras iguales que, al ser codificadas, producen bytes similares.

De esta manera, las señales PCM transmitidas son repetidamente siempre los mismos bytes o, en el caso de pequeñas variaciones de la imagen, conjuntos de bytes muy parecidos.

La transmisión de bytes iguales no aporta información útil y, en consecuencia, una forma de aumentar la eficiencia del sistema es eliminarlos y solo transmitir las modificaciones o cambios que realmente se producen, en este caso, en la imagen.

Una manera de aprovechar este fenómeno es la modulación delta y la denominada modulación PCM diferencial de Q niveles.

7.10.4.2 Modulación delta

La denominada modulación delta - DM, consiste en la generación de una onda escalonada que siga las variaciones de la señal de entrada.

Para la construcción de la señal escalonada se emplean impulsos que pueden ser de igual polaridad, en cuyo caso crece la señal, o de polaridad contraria, con lo cual esta disminuye.

En la Fig. 7.74. se puede observar que hubo una sumatoria de los cinco primeros impulsos mientras que el sexto cambió la polaridad para adecuar la altura de la señal escalonada a la de la señal de entrada $e(t)$. La señal de salida $s(t)$ se denomina aproximación escalonada de la señal de entrada $e(t)$. En la parte izquierda de dicha figura puede observarse el fenómeno de arranque.

Dado que, al comienzo, la señal $e(t)$ difiere por exceso con $s(t)$, se requiere de una secuencia continua de impulsos de la misma polaridad, en este caso cinco impulsos, hasta que se produce el encuentro de ambas señales (luego del quinto impulso).

Otro fenómeno típico de la modulación delta es el denominado persecución, y ocurre cuando $e(t)$ permanece constante, por lo cual $s(t)$ resulta una secuencia de escalones de polaridad alternada. Esta situación genera un ruido denominado ruido granular o de cuantificación.

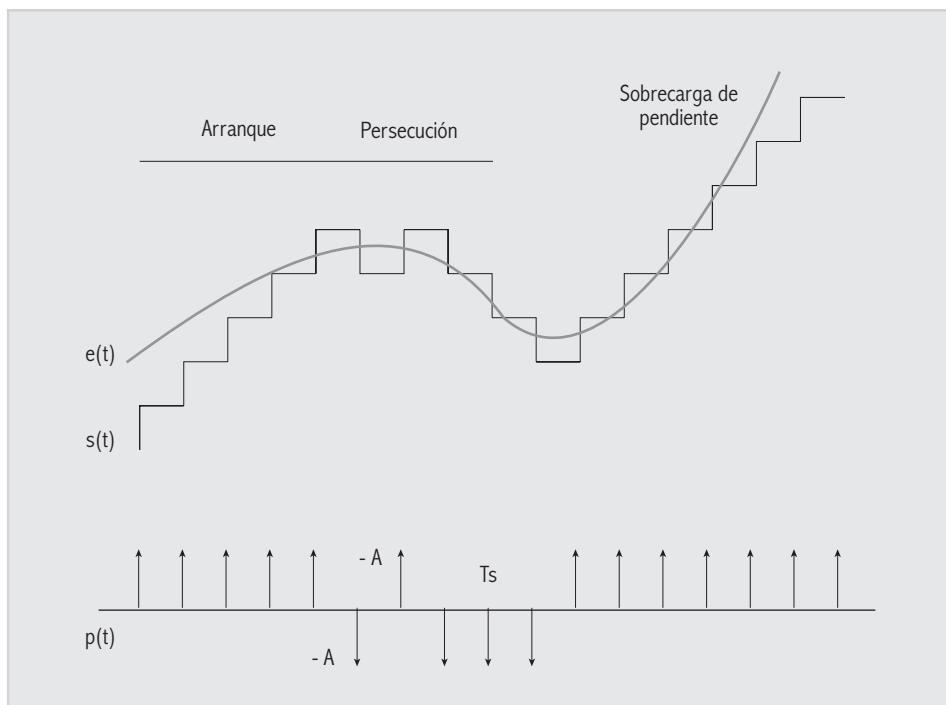


Fig. 7.74. Modulación Delta.

Otro inconveniente de este sistema se presenta cuando la señal de entrada $e(t)$ varía bruscamente. En este caso, la diferencia entre $e(t)$ y $s(t)$ puede resultar mayor que la altura del escalón, con lo cual no se logra una aproximación correcta entre la señal $s(t)$ y la $e(t)$.

Es decir, la sobrecarga de pendiente ocurre cuando la variación de la señal $e(t)$ supera la tasa máxima de variación que puede generar el modulador delta. Resulta evidente que los dos inconvenientes planteados, el ruido granular y la sobrecarga de pendiente, están originados en la amplitud del escalón, la cual es siempre constante.

Si se reduce la amplitud del escalón, disminuye el ruido granular pero aumenta la sobrecarga de pendiente y ocurre lo contrario si se incrementa el escalón, por lo cual se adopta un valor que minimiza ambas distorsiones, pero no se las puede eliminar completamente.

En la Fig. 7.75., se indica un esquema básico de un modulador delta con las señales típicas inherentes a este proceso de modulación. El generador de pulsos produce un tren de pulsos $d(t)$ positivos, de frecuencia y amplitud constante, que se introducen en un modulador, el cual multiplica a cada pulso por $+1$ o -1 , dependiendo de la información que le llega del amplificador diferencial.

La función del amplificador diferencial es comparar la amplitud de la señal analógica de entrada $e(t)$ con la señal escalonada $s(t)$. Si esta última es inferior a $e(t)$, entonces el amplificador diferencial produce un pulso positivo $p(t)$, que aumenta el valor de la señal $s(t)$, denominada señal escalonada.

Este proceso se repite hasta que la señal $s(t)$ alcanza en amplitud a $e(t)$. En el caso de que $s(t)$ sea mayor que $e(t)$, el proceso es inverso al indicado, es decir que los escalones son negativos y disminuyen la amplitud de $s(t)$ (señal escalonada).

En la Fig. 7.76., se indican las señales correspondientes a un modulador delta.

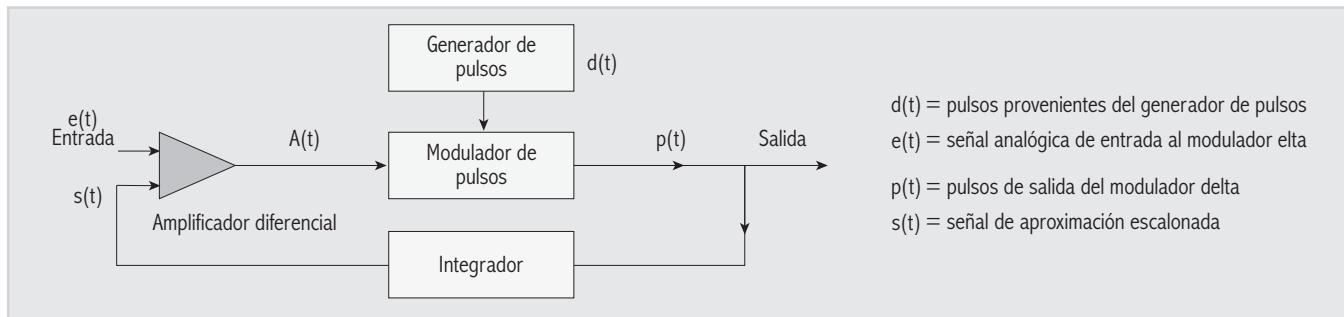


Fig. 7.75. Esquema básico de un modulador delta.

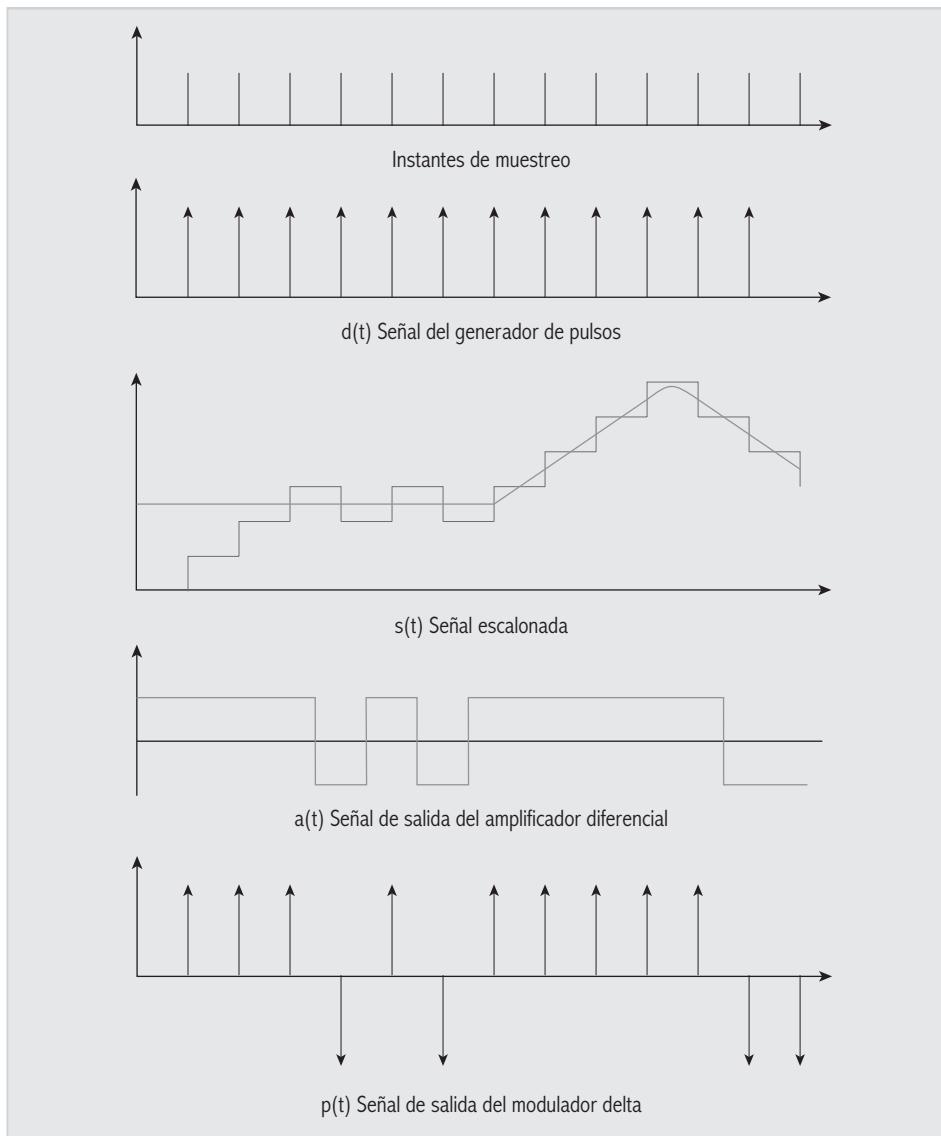


Fig. 7.76. Señales correspondientes a un modulador delta.

7.10.4.3 Modulación delta adaptativa

Este sistema soluciona, en gran medida, los dos inconvenientes existentes en la modulación delta: el ruido granular y la sobrecarga de pendiente.

Como ambas distorsiones están originadas en el tamaño del escalón, con la modulación delta adaptativa se ajusta el valor de este. Es decir, se lo adapta en función de la variación de la señal de entrada.

En la Fig. 7.77. se muestra un ejemplo de modulación delta adaptativa, donde se puede observar que la señal escalonada sigue perfectamente a la señal de entrada $e(t)$.

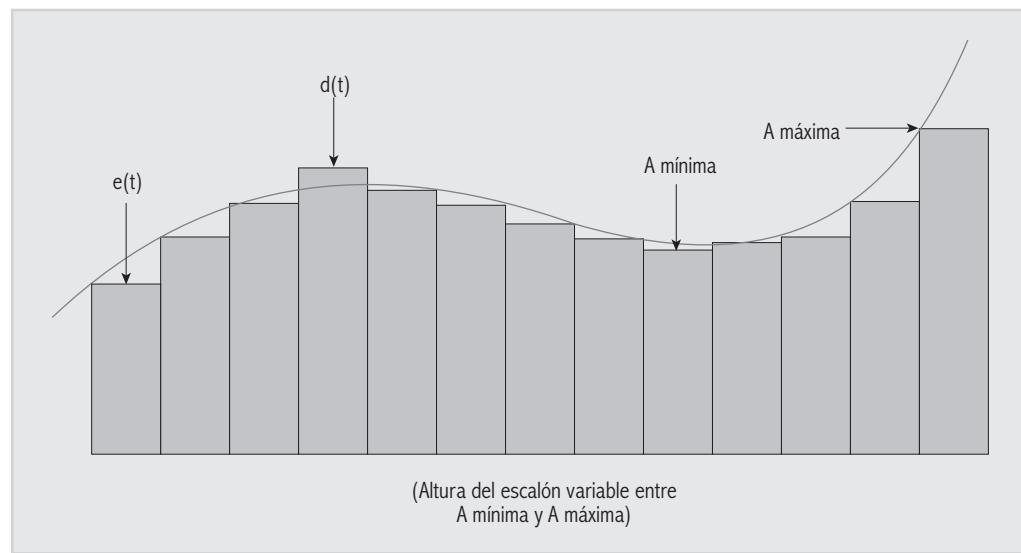


Fig. 7.77. Modulación delta adaptativa.

Consecuentemente, cuando $e(t)$ permanece constante o con variaciones pequeñas, el tamaño del escalón es el mínimo posible; por el contrario, cuando la señal $e(t)$ crece bruscamente, el escalón se incrementa hasta alcanzarla.

7.10.4.4 Modulación PCM diferencial

Este sistema combina el método de modulación delta con la codificación propia de los sistemas PCM y consiste básicamente en reemplazar al modulador de pulsos de la Fig. 7.74. por un dispositivo, constituido por un cuantificador - muestreador.

La función de este dispositivo es generar pulsos iguales en polaridad que los $p(t)$ de salida de un modulador delta, pero cuya amplitud no es fija, sino que es proporcional a la diferencia entre la señal de entrada $e(t)$ y la señal escalonada $s(t)$.

Dicha señal, correspondiente a cada muestra de error cuantificada, es transmitida como una palabra código de n bits, luego del proceso de codificación correspondiente.

Cada palabra de n bits permite representar a uno de los M niveles posibles de cuantificación que puede tomar cada muestra de error ($M = 2^n$). Este sistema combina la simplicidad de la modulación delta con la ventaja de la codificación multinivel del PCM.

7.11 Resumen

En este capítulo se presentaron los conceptos generales de la modulación y de la digitalización de las señales a través de una descripción de los diferentes tipos de modulación. También, se realizó una clasificación de las variantes de los equipos de módem incluyendo las características principales y las funciones de cada uno de ellos.

Luego, se describieron las redes de acceso utilizando las tecnologías xDSL donde se desarrollaron los conceptos de redes de banda ancha y la tecnología ADSL, pero también se incorporaron las características de la red de cables de cobre que tienen las empresas telefónicas. Además, se realizó una introducción al cable módem y a los servicios que presta una red de distribución de señales de televisión por cable. Asimismo, se efectuó una comparación entre la tecnología xDSL y el cable módem.

Por último, se trataron los temas de la modulación por pulsos y la modulación por pulsos digital, y los aspectos más destacados que abarca la digitalización.

7.12 Ejercicios propuestos

1. Construir el esquema de un modulador ASK por supresión de portadora y graficar la señal de salida del mismo, suponiendo que a su entrada tenemos la siguiente señal: 0011110011.
2. Demostrar que la Transformada de Fourier de $f(t) \cos \omega_{pt}$, es $\frac{1}{2} [F(\omega + \varphi_p) + F(\omega - \varphi_p)]$; y el Teorema de Traslación de Frecuencia.
3. Suponga una señal analógica que se muestra a una función de muestreo = $3 f_{max}$, existiendo 64 niveles de cuantificación. Si consideramos que el ancho de banda del canal es la mitad del necesario, ¿cuál será la relación señal/ruido?
4. Se tiene que transmitir una señal analógica que pasa a través de un filtro de 4.000 Hz de ancho de banda. Dicha señal entra a un modulador PCM donde se toman muestras cada 125 microsegundos, codificándose cada muestra según un proceso de cuantificación de 128 niveles.
 - a) Hallar la capacidad que debe tener el vínculo de salida del modulador.
 - b) ¿Cuál sería dicha capacidad si fueran 256 niveles cuánticos?
5. Se dispone de un módem que trabaja con el tipo de modulación 16 – PSK.
 - a) Proponga las fases que podrá adoptar la señal modulada y dibuje el diagrama de fases.
 - b) Proponga una correspondencia entre fases y combinación de bits, de manera que entre fases adyacentes el cambio de bits sea mínimo (usar el código de Gray).
 - c) ¿Qué relación hay entre la velocidad de transmisión V_t y la velocidad de modulación V_m ?
6. Se tiene un módem cuyo tipo de modulación es 8 – PSK.
Indicar:

- a) De la señal moduladora, portadora y modulada, ¿cuál es analógica y cuál es digital?
- b) Proponer una asignación de fases a secuencias de bits y realizar el diagrama de fases.
- c) ¿Qué relación existe entre la velocidad de modulación y la velocidad de transmisión?

7. Una portadora de 10 MHz, se modula en fase con una señal senoidal de 10 kHz y amplitud unitaria. La desviación máxima de fase es de 10 radianes para la amplitud unitaria de la señal moduladora.

Calcular el ancho de banda aproximado de la señal PM. Si la frecuencia de la señal moduladora cambia a 5 kHz, encontrar el nuevo ancho de banda de la señal PM. Si la frecuencia es la original (10 kHz), pero la amplitud se duplica, encontrar el ancho de banda de la señal PM.

8. Se quiere transmitir por un canal telefónico a 9.600 bps y se cuenta con un módem de 2.400 Baudios que opera con transmisión multinivel y modulación PSK. Hallar el diagrama vectorial y la asignación de fases correspondiente.

Construir el espectro de frecuencias para una modulación FSK donde el desvío de frecuencia es para los dígitos binarios 0 = 200 Hz y para los 1 = - 200 Hz. Entre canales se debe dejar libre 1.000 Hz.

9. Indicar cuántas comunicaciones simultáneas se pueden realizar en un canal telefónico cuyo ancho de banda es de 4 kHz.
¿Cuál es el ancho de banda de cada comunicación?

10. Una portadora de 100 MHz se modula en frecuencia con una señal sinusoidal de 10 kHz de manera tal que la desviación máxima de frecuencia es de 1 MHz.

Determinar el ancho de banda aproximado de la señal de FM en este caso y en el caso de una amplitud doble de la señal moduladora.

11. Dada una señal moduladora de voz con $f_{máx} = 3$ kHz que modula en amplitud a una portadora de $f_p = 20$ MHz. Dibujar los espectros de la señal modulada para los siguientes casos:
- AM – DBL.
 - AM - BLU con portadora completa.
 - AM - BLU con portadora suprimida.
 - Calcular el ancho de banda ocupado por cada una.
12. En un sistema con modulación M - PSK la probabilidad de error (P_e) se vincula a la distancia entre estados en forma inversa. Demostrar que la P_e de BPSK es menor que la P_e de QPSK.
- ¿Cómo será la velocidad de transmisión de una respecto a la otra?
 - ¿Qué comentario debe hacerse respecto a la relación señal/ruido?
13. Construir el código de Gray de 4 bits. Aplíquelo en una modulación 16 - QAM, proponiendo una tabla de asignación y el diagrama de estados.
14. Dada una señal senoidal representada por $e(t) = E \operatorname{sen} \omega_m t$; donde $E = 7$ Volt, y $\omega_m = 2.000 \pi$ radianes/seg, debe ser digitalizada mediante un códec. Este dispositivo utiliza 15 niveles cuánticos uniformes.
- Hallar:
- La f_m de muestreo mínima necesaria para reconstruir la señal original.
 - ¿Cuál es el T_m (período de la señal moduladora) y cuál el T_M (período de muestreo)? Indicar el significado de cada uno.
 - Determine el valor en voltios de los niveles de cuantificación y el código en bits correspondiente.
 - ¿Cuál es el tiempo de bit y la velocidad de transmisión de la señal digital a la salida del códec?

7.13 Temas a desarrollar por el lector

- Estudie las diferencias entre la Recomendación V.34, la V.90 y la V.92. ¿Qué ventajas tiene cada una de ellas sobre las otras?
- Haga una breve monografía sobre la Modulación QAM con Codificación Entrelazada – Trellis explicando cómo logra una disminución de la tasa de errores en la transmisión.
- Fundamente y describa cómo utilizaría la tecnología ADLS como backup de una conexión a una Red WAN en el ámbito empresario.
- Estudie en qué países ya está en uso la tecnología ADLS+M y cuáles son los proveedores de equipamiento que pueden proveer equipos con esta norma.
- Analice cuántos abonados se pueden conectar a un nodo final de la tecnología Cable Módem con un ancho de banda de 6 Mbps si se desea que en la hora pico se pueda trabajar a una velocidad descendente no inferior a 3 Mbps por cada usuario.
- Haga un estudio sobre las modulaciones delta, delta adaptativa y PCM diferencial y explíquese en qué casos son más aptas estas tecnologías.

7.14 Contenido de la página Web de apoyo



El material marcado con asterisco (*) solo está disponible para docentes.

7.14.1 Mapa conceptual del capítulo

7.14.2 Autoevaluación

7.14.3 Presentaciones*

7.14.4 Ejercicios resueltos*

8

Tecnologías para el transporte de señales

Contenido

8.1 Introducción	630
8.2 Multiplexación	634
8.3 Multiplexación por división de frecuencia (FDM)	636
8.4 Multiplexación por división de tiempo - TDM	643
8.5 Multiplexación por división de tiempo estadística - (STDM).....	654
8.6 Redes ópticas.....	655
8.7 Transmisión sincrónica	669
8.8 Comunicaciones por redes ópticas.....	674
8.9 Jerarquía digital sincrónica	678
8.10 SONET - Synchronous Optical Network.....	684
8.11 Interrelación entre SONET y SDH	685
8.12 El futuro de las redes ópticas	686
8.13 Resumen.....	687
8.14 Ejercicios propuestos.....	687
8.15 Temas para desarrollar por el lector.....	687
8.16 Contenido de la página Web de apoyo.....	688

Objetivos

- Conocer la definición de multiplexación y su clasificación.
- Comprender los conceptos de redes ópticas y transmisión sincrónica.
- Conocer los aspectos generales de las comunicaciones a través de redes ópticas y la jerarquía digital sincrónica.
- Entender las normas de SONET y SDH.
- Analizar el futuro de las redes ópticas.

8.1 Introducción

8.1.1 La crisis del ancho de banda

Durante la década de los años 90 y los comienzos del siglo XXI el tráfico fue creciendo en forma exponencial y continua sobre todas las redes de comunicaciones.

El incremento de los servicios de comunicaciones, la convergencia entre ellos y las técnicas de manejo de la información utilizando medios computacionales y otros fenómenos asociados hicieron que en muchos casos no pudieran satisfacerse las previsiones que se habían tomado para responder a la demanda creciente y explosiva del ancho de banda. Es así que ese escenario fue llamado por muchos especialistas como la **crisis del ancho de banda**.

Esta situación obligó a que los operadores de las redes de comunicaciones tuvieran que aumentar su capacidad para poder manejar grandes volúmenes de información y, de esa manera, dar respuesta a los nuevos requerimientos que los distintos usuarios fueran solicitando. Para ello se comenzaron a utilizar en forma masiva nuevos medios y técnicas de comunicaciones que fueran dando respuesta a los nuevos tiempos que iban viviendo.

La convergencia de las comunicaciones, impulsadas inicialmente en el siglo XIX por el descubrimiento del teléfono y de la informática, que tuvo su punto de partida con la invención del computador por programa almacenado en el siglo XX, dio origen a la sociedad del conocimiento desarrollada en el Capítulo 1, apartado 1.5.

Allí se desarrollaban y explicitaban en forma general las llamadas fuerzas del cambio (apartado 1.6.2), entre las cuales se señalaban las tecnologías derivadas de la introducción de la fibra óptica y sus equipos asociados. Todas ellas dieron lugar a las redes ópticas, elementos que contribuyeron a dar una solución a esta crisis.

La disponibilidad de anchos de banda importantes no solo es requerida por las grandes redes que transportan los distintos servicios de comunicaciones, sino también por los usuarios finales, sean organizaciones de distintos tipos o usuarios individuales.

Actualmente, cuando se diseñan las redes de telecomunicaciones, en la mayoría de los casos, siempre se tiene en consideración el ancho de banda necesario y el requerimiento de velocidades constantes (*bit rate*) para poder transmitir señales isócronas de voz y video, dada la fuerte demanda que siempre existe para este tipo de servicios.

Es por ello que los medios de comunicaciones que inicialmente eran utilizados casi en exclusividad para uso de la Red Telefónica son utilizados a partir del proceso de digitalización de las redes en la totalidad de los servicios de comunicaciones. Por lo tanto, esta red se conoce como **Red Soporte**, pues si bien sus vínculos son desde ya para su uso en la red telefónica, se utilizan también, como su nombre lo indica, para soportar la totalidad de los servicios que actualmente prestan las distintas empresas de telecomunicaciones.

Por otra parte, con el advenimiento de los sistemas multimedia, la televisión interactiva y otros servicios que requieren de anchos de banda aun mucho más considerables que los que necesitaba la Red Telefónica, se puso de manifiesto la necesidad de desarrollar redes de comunicaciones utilizando medios que dispusieran de grandes anchos de banda, como son las fibras ópticas y en particular las que utilizan tecnologías más avanzadas: las denominadas WDM y DWDM estudiadas oportunamente en el apartado 5.14.9.3.

Estos requerimientos de anchos de banda importantes no solo buscaban mejorar la capacidad de los grandes enlaces troncales sino, además, se estudió la forma para que con las mismas premisas de mejorar sustancialmente el ancho de banda se pudiera llegar hasta el usuario final cambiando los criterios hasta esa época vigentes. Entre estos se encontraba el de utilizar el par telefónico con módems de frecuencia vocal para prestar los



Tecnologías para el transporte de señales

servicios de comunicaciones de datos, como podría ser el acceso al correo electrónico o a la Red Internet.

La crisis del ancho de banda obligó a la digitalización de las redes de telecomunicaciones hasta el domicilio del usuario final, es decir, incluir lo que se ha dado en llamar la **última milla** de la red. Para ello se siguieron utilizando los pares telefónicos, pero aprovechando al máximo todo el ancho de banda disponible de ese tipo de medios, que solo eran aprovechados hasta el límite de los 3.400 Hz .

Es evidente que por los mismos se podía enviar más que un canal telefónico o su equivalente mediante un módem para su utilización en la transmisión de datos. Precisamente, la **multiplexación** del **ancho de banda disponible** fue en este caso la solución adecuada.

También se han desarrollado muchas más tecnologías para dar solución al problema del incremento de tráfico. Una de ellas es el conjunto de las denominadas xDLS estudiadas en el apartado 7.6. Las mismas se basan en la reutilización de los cables de cobre y son de alguna manera una forma elemental de multiplexación del ancho de banda. En los pares de cobre utilizados para prestar el servicio telefónico se multiplexa el total del ancho de banda disponible en tres partes: una para el canal para voz, una banda de protección y otra para el canal para datos.

Otro ejemplo aun más significativo y donde se manejan velocidades mucho más importantes ocurre en las redes ópticas. Allí también se utilizan técnicas similares que permiten que por una fibra se puedan establecer distintos canales de comunicaciones.

8.1.2 Exaflood: un fenómeno de las crisis del ancho de banda

La crisis del ancho de banda, que se tradujo en una demanda explosiva, se complementó con un aumento en las expectativas de los consumidores que buscaban obtener accesos de alta velocidad a los servicios de Internet. Estos sucesos han dado lugar a un fenómeno conocido por la expresión *Exaflood*.

Exaflood es un anglo-neologismo creado por *Bret Swanson* en un artículo publicado en el *Wall Street Journal* en el mes de enero del año 2007 y fue traducido como **Diluvio Digital**. Exaflood se deriva de la palabra *Exabyte* ($1\text{ EB} = 1.000.000.000.000.000.000\text{ B}$. Es decir, $1.000.000\text{ TB}$) , una unidad de medida de información hace pocos años impensada.

Alude a la avalancha de datos transmitidos por la Red Internet a muy altas velocidades que genera un factor de estrés, afectando las infraestructuras de las redes y los costos de los proveedores, pues exige grandes inversiones de capital. Todo ello se ha traducido en cambios en los costos de explotación y operación.

Es por ello que los proveedores de servicios están buscando una manera de reducir los costos del transporte de grandes volúmenes de tráfico a través de servicios innovadores.

Los objetivos de las próximas generaciones de las redes ópticas de transporte están siendo orientados hacia infraestructuras con tecnologías emergentes que permitan proporcionar muy altas velocidades, una capa óptica confiable, configurable en forma dinámica y al uso intensivo de los protocolos IP como una respuesta a las demandas crecientes que permita a los operadores obtener valores rentables en sus negocios.

Distintos grupos de investigación que estudian el comportamiento futuro de las redes de comunicaciones y el tráfico que por ellas se cursará coinciden con el concepto que creó Bret Swanson en el año 2007 con su neologismo *Exaflood*. Se estima que en el quinquenio que finaliza en el año 2015 la cantidad total del tráfico de Internet mundial será del orden de los 1.000 exabytes anuales, y el número de equipos interconectados a través de redes, fundamentalmente Internet, llegará a 15.000.000.000. El diluvio digital habrá llegado.

Bret Swanson es consejero en inversiones en tecnologías vinculadas a la globalización y a las políticas monetarias. Se ha desempeñado como Editor Ejecutivo de la Revista *Gilder Technologies Report* y dirigió el Centro para la Innovación Global de *The Progress & Freedom Foundation*. Es autor de una teoría sobre el crecimiento económico de China. Actualmente, se desempeña como presidente de *Entropic Economics LLC*.

Para tener una idea del crecimiento del tráfico, se puede señalar que, siendo el total anual del año 2010 de 200 exabytes, dicho valor solo será igual al incremento que se prevé en un solo año, entre 2014 y 2015. Obsérvese que 1.000 exabytes resulta 1 zettabyte, es decir, 10^{18} bit, número impensado solo hace algunos años atrás.

Por otro lado, las investigaciones en redes ópticas están también orientadas a obtener velocidades de transmisión cada vez mayores sobre los mismos medios, generalmente ópticos, con tasas de error razonablemente bajas.



El primero en proponer las técnicas que, actualmente, se llaman Transformada Rápida de Fourier fue Gauss en 1805 para obtener los coeficientes de una expansión trigonométrica de la órbita de un asteroide. Su uso fue propuesto en 1965 por dos investigadores, James W. Cooley y John W. Tukey, para el procesamiento de señales digitales.

Al respecto, un grupo de trabajo del Instituto de Tecnología de Karlsruhe en la República Federal Alemana dirigido por el Dr. Jürg Leuthold alcanzó un record de velocidad llegando a valores de 26 Tbps sobre un solo rayo láser de una fibra monomodo multiplexada. Esta velocidad representa el equivalente a la transmisión de 700 DVD en un solo segundo o, si se quiere, significaría transmitir en forma simultánea 400 millones de comunicaciones de voz.

La prueba se realizó sobre un enlace de 50 km de longitud utilizando, para codificar los datos, **Multiplexación Ortogonal por División de Frecuencia - OFMD** (*Orthogonal Frequency-Division Multiplexing*). El esquema que se usó estuvo basado en la **Transformada Rápida de Fourier - FFT** (*Fast Fourier Transform*) y ciertas rutinas matemáticas que se utilizan normalmente en redes de comunicaciones móviles, incluyendo TV digital y transmisiones de audio.

Todos estos trabajos, tanto aquellos orientados a la demanda realizados por parte de las empresas comerciales ligadas a la prestación de servicios de conectividad como los realizados por grupos de investigación más vinculados al desarrollo de *hardware* de redes y equipos, buscan satisfacer la demanda de equipos y medios de comunicaciones con altas velocidades y anchos de banda suficientemente elevados que den abasto al crecimiento del tráfico mundial, fundamentalmente utilizando el protocolo IP.

Las causas de todos estos fenómenos se deben a los siguientes factores:

- Proliferación de otros equipos, además de computadoras, servidores, etc., tales como teléfonos móviles, tabletas, aparatos inteligentes y electrodomésticos que demandan conectividad.
- Aumento sostenido en el número de usuarios que se conecta a la Red Internet con uno, dos y más equipos.
- Aparición de una demanda agregada de otros servicios de alto consumo de tráfico, como la televisión digital de alta definición. Su consumo del orden de 20 Mbps por canal se traduce de inmediato en la demanda residencial.
- Incremento de servicios de comunicaciones que deben trabajar en la modalidad online y que demandan altas velocidades de transmisión. Estos requerimientos se traducen en un aumento de la velocidad que exigen los usuarios residenciales y comerciales a los prestadores.

8.1.3 Los requerimientos de ancho de banda de distintos sectores

Los sistemas de comunicaciones que sirven como estructuras fundamentales de las naciones para la prestación de distintos servicios deben actualmente estar en condiciones de satisfacer variados requerimientos. Estos implican necesidades de anchos banda que, como ya se expresó, son continuamente crecientes.

Entre ellos se pueden destacar los siguientes:

- Empresas comerciales y organismos gubernamentales.

En este segmento de usuarios los requerimientos varían actualmente entre los 100 Mbps y los 40 Gbps según sea el tamaño de la organización. Es normal que se ofrezcan anchos de banda del orden de Gbps sobre fibras ópticas directamente conectadas desde las Redes de Acceso a las Redes de Área Local de estas organizaciones.

- Investigación y educación superior.

En estos casos los requerimientos son muy variables, pero en los casos puntuales que se pueden señalar son los de mayores exigencias.

Un ejemplo es el Gran Colisionador de Hadrones - LHC, gigantesco instrumento científico ubicado en las cercanías de Ginebra, instalado a unos 100 m bajo tierra en dependencias de la Organización Europea para la Investigación Nuclear - CERN (*European Organization for Nuclear Research*). Se trata de un acelerador de partículas utilizado por los físicos para estudiar las partículas más pequeñas conocidas —los bloques fundamentales de los cuales se constituyen todas las cosas. Seguramente, revolucionará nuestra comprensión de las profundidades que contienen los átomos y de la inmensidad del universo. Este solo equipo maneja datos del orden de las decenas de petabytes (1 Peta es igual a 1.000.000.000.000.000), es decir, 103 terabyte. Esto requiere, para poder distribuir esa cantidad de información, tener un vínculo de 10 Gbps trabajando las 24 horas de un día en forma continua.

Otro tanto ocurre con las necesidades de las universidades o de los institutos de investigación que manejan instrumentos como los microscopios electrónicos y las supercomputadoras.

Tabla 8-1 Requerimiento de un servicio residencial

Aplicaciones	Requerimientos en ancho de banda [Mbps]	
	Descendente	Ascendente
Televisión de alta definición (3 canales a 20 Mbps por canal)	60	<1
Juegos on line	2-20	2-20
VoIP (3 Teléfonos a 100 Kbps cada uno)	0,3	0,3
Datos y correo electrónico	10	10
Alquiler y obtención de películas de cine (en alta definición)	14	<1
Total	~ 100 Mbps	~ 30 Mbps

- Usuarios residenciales.

El crecimiento de las necesidades de los usuarios residenciales es constante. En la Tabla 8 - 1 se pueden observar los requerimientos en valores aproximados de un servicio residencial en la década de los años 2010 y siguientes.

Como se puede apreciar, las necesidades de ancho de banda en los enlaces residenciales aumentarán en valores significativos en unos años más.

Estos valores se incrementarán seguramente por el desarrollo de muchas aplicaciones digitales que serán operadas directamente desde las redes de comunicaciones, como los que se denominan *e-services* (servicios electrónicos), entre los cuales se pueden mencionar: de salud, gubernamentales, seguridad, educación, etc.

8.1.4 Distintas variantes para mejorar la capacidad de un canal

En la mayoría de los casos los medios de comunicaciones disponen de anchos de banda ancha mayores a los que se requieren para los servicios que prestan.

¿Cuáles serían las opciones que se tendrían disponibles para aumentar la capacidad del canal?

Podríamos señalar las siguientes:

- La más elemental es la que se utiliza en los módems de frecuencia vocal. En ellos se aumenta, en las transmisiones multinivel, el número de niveles utilizado; siempre que la relación señal ruido lo permita.

- Aumentar la velocidad de modulación, y consecuentemente la velocidad de transmisión de datos, con relación a los valores típicos que normalmente se disponen. Por ejemplo, en los canales de frecuencia de voz cuando se van a transmitir datos por medio de módems y el canal esta con una relación señal/ruido muy baja.
- Enviar varias comunicaciones simultáneas utilizando procedimientos de multiplexación, como se describirá en este capítulo.
- Utilizar al máximo el ancho de banda disponible del medio de comunicaciones instalado y equiparlo adecuadamente con el hardware de comunicaciones necesario para aprovechar la totalidad de la capacidad disponible.

8.1.5 La idea de multiplexar

La **multiplexación del ancho de banda** disponible es una solución que permite agrupar, en un mismo medio de comunicaciones, canales diferentes que inclusive podrían prestar servicios diversos, de manera que permita aprovechar la totalidad del ancho de banda disponible. De esta manera se logra hacer más eficiente y rentable el uso del vínculo de comunicaciones que se ha establecido.

Precisamente, sobre la base de desarrollar estas ideas surge la idea de multiplexar (o multiplicar), entendiéndola primariamente como la técnica que permite que por un único canal físico de comunicaciones puedan cursarse varias comunicaciones simultáneas, sin que estas interfieran entre sí.

Los equipos que realizan estas funciones reciben el nombre de **multiplexores**. A similitud de los módems, que modulan y demodulan según transmitan o reciban señales, ellos **multiplexarán** o **demultiplexarán** según estén conectados en una u otra parte del circuito de datos. Estos equipos pertenecen también al grupo que conforma el denominado **circuito de datos**.

8.2 Multiplexación

8.2.1 Definición de multiplexación

Se denomina multiplexar:

A la función de repartir, según una ley fija en el tiempo, un único canal de comunicaciones de capacidad C entre n_i subcanales de entrada de capacidades C_i , cuya suma de velocidades no puede superar el valor C .

En efecto:

$$C > \sum_{i=1}^{i=n} C_i \quad (8-1)$$

Los equipos multiplexores pertenecen a un conjunto que podríamos denominar genéricamente **Hardware de Comunicaciones**. Son **equipos transparentes** respecto de los datos que encauzan y, respecto a los **códigos, procedimientos y protocolos de comunicaciones** utilizados por los equipos terminales de datos que permiten vincularlos y las redes que los transportan. Esto se debe a que dichos terminales no necesitan dialogar con el multiplexor. Toda la información que ellos gestionan pasa a través de ellos como si no existieran.

La Fig. 8.1. muestra a través de un esquema simple cómo un conjunto de equipos telefónicos (que podrían ser también equipos terminales de datos), utilizando un único canal de comunicaciones, se interconectan entre ellos mediante el uso de multiplexores. Obsérvese que cada uno de ellos utiliza una capacidad¹⁰ C_1, C_2, \dots, C_n . La suma de todos estos deberá ser menor a la capacidad total del canal C_T (ver apartado 3.5.3).



Multiplexar es la función de repartir, según una ley fija en el tiempo, un único canal de comunicaciones de capacidad C entre n_i subcanales de entrada de capacidades C_i , cuya suma de velocidades no puede superar el valor C .

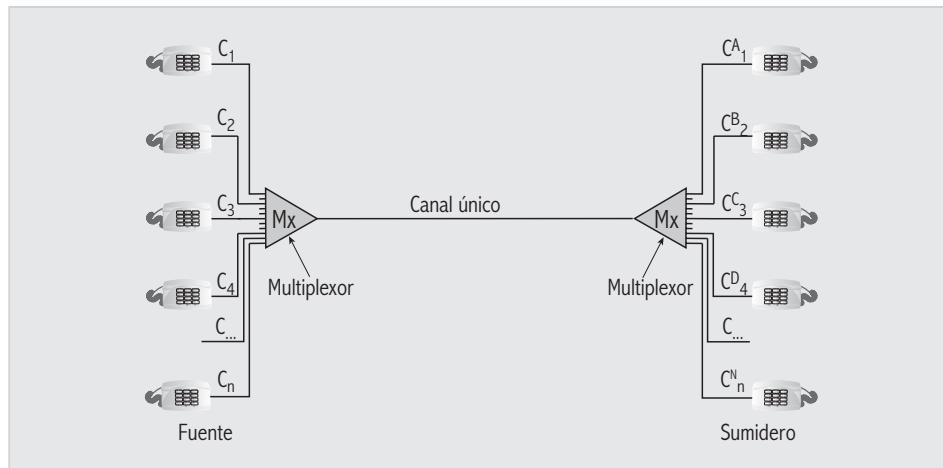


Fig. 8.1. Equipo típico de un sistema de multiplexado.

La técnica de la multiplexación o multiplicación se emplea para aprovechar el **ancho de banda disponible**¹¹ que cada medio de comunicación por sus características físicas tiene (ver apartado 5.1.2.1). De esta manera se pueden **ahorrar costos en el uso de circuitos de transmisión** que por ellos se pueden establecer; de allí la importancia del conocimiento de estos equipos a los efectos de una utilización de los recursos disponibles con la mayor eficiencia.

Cuanto más ancho de banda disponga un medio de comunicaciones, mayor será la posibilidad de que la multiplexación sea mejor aprovechada. De esta forma, se pueden transportar varios canales de comunicaciones diferentes por un único circuito físico de transmisión. Si esto es posible sin alterar el funcionamiento de los sistemas informáticos que una organización haya desarrollado, representará una forma significativa de **ahorrar costos de comunicaciones**.

Debe tenerse en cuenta que en las organizaciones actuales y modernas el **gasto en comunicaciones** representa uno de los más significativos en la estructura general de costos de una empresa.

8.2.2 Uso de las técnicas de multiplexación

Se pueden señalar como razones que justifican el uso de técnicas de multiplexación las siguientes:

- Proporcionar una solución rápida a los problemas derivados de la crisis del ancho de banda generada por el incremento explosivo de los usos de las redes de telecomunicaciones.
- Utilización plena del ancho de banda disponible que cada medio de comunicaciones está en capacidad de proporcionar con base en sus características físicas.
- La demanda de circuitos de capacidades múltiples, es decir, de casos en que se requieren canales de distintas capacidades.
- Proporcionar bifurcaciones normales sobre distintos circuitos de transmisión, que muchas veces se necesitan en la configuración de cualquier red.
- La necesidad que existe de enviar, muchas veces, varios mensajes simultáneos entre dos puntos, entre varios equipos terminales existentes en cada extremo de un canal.

- Los descuentos que a menudo otorgan las empresas de servicios de telecomunicaciones en los servicios interurbanos e internacionales por uso de circuitos de mayor capacidad. Este hecho permite generar un genuino ahorro de costos, sin tener que limitar el uso de los servicios de telecomunicaciones.

8.2.3 Técnicas de multiplexación

Las funciones de multiplexación y demultiplexación se pueden realizar usando tres procedimientos o técnicas básicas.

Estas son:

- Multiplexado por división de frecuencia - **FDM** - *Frequency Division Multiplexing*.
- Multiplexado por división de tiempo - **TDM** - *Time Division Multiplexing*.
- Multiplexado por división de tiempo estadístico - **STDM** - *Statistical Time Division Multiplexing*.

A su vez, los sistemas de multiplexado pueden utilizar técnicas denominadas plesioícronas o sincrónicas.

8.3 Multiplexación por división de frecuencia (FDM)

8.3.1 Definición y breve reseña histórica

La multiplexación por división de frecuencia es la tecnología más antigua de las señaladas para lograr la división del ancho de banda de un medio de comunicaciones en varios canales independientes entre sí. Se emplean las redes de características analógicas, por lo que su uso está prácticamente desapareciendo, aunque el concepto de su metodología es actualmente utilizado en ciertos tipos de fibras ópticas; de allí el interés de su estudio.

Definiremos como **Multiplexación por División de Frecuencia** a:

La técnica que consiste en dividir el ancho de banda usado para la transmisión por un único canal de comunicaciones en subcanales de comunicaciones independientes entre sí, donde a cada subcanal se le asigna un rango de frecuencias diferente, pero comprendido en el ancho de banda total disponible en el canal.

Los primeros multiplexores por división de frecuencia utilizaron técnicas de modulación por amplitud. Cada canal usaba un tono de frecuencia distinta, que se hacía nula o no de acuerdo a la señal digital proveniente del terminal.

A partir de la década de los 40 se introdujo la modulación en frecuencia y posteriormente la modulación de fase. En el caso de la modulación de frecuencia en un subcanal se definen dos frecuencias distintas: una para transmitir el cero binario y otra para el uno.

Podemos considerar dos tipos de usos prácticos en la multiplexación por división de frecuencia: uno es el que se describe al principio del apartado siguiente (8.3.2), donde se busca dividir un canal de un determinado ancho de banda con el objeto de obtener varios subcanales de ancho de banda menores.

En estos casos, es evidente que por los subcanales tendrán anchos de banda menores e incluso su suma será siempre menor que el ancho de banda total del canal a multiplexar. La razón es que parte del ancho de banda del primero es utilizado para posibilitar el procedimiento de multiplexar.

Dentro del canal que va a ser multiplexado, cada subcanal tendrá una portadora (*carrier*) de una determinada frecuencia. Los mensajes que serán transmitidos modularán cada portadora



La multiplexación por división de frecuencia es la técnica que consiste en dividir el ancho de banda usado para la transmisión por un único canal de comunicaciones en subcanales de comunicaciones independientes entre sí, donde a cada subcanal se le asigna un rango de frecuencias diferente, pero comprendido en el ancho de banda total disponible en el canal.

por alguna de las técnicas conocidas y serán transmitidos por el mismo canal. En el destino se utilizará un banco de filtros que separan a cada portadora modulada y la envían al usuario a quien va transmitida la información.

Esta técnica ha sido utilizada en los sistemas de transmisión analógicos de la Red Telefónica Conmutada.

8.3.2 Esquemas de funcionamiento de la multiplexación por división de frecuencia

La multiplexación por división de frecuencia **divide** el ancho de banda disponible en el circuito de datos en varios **subcanales independientes**.

Para ello, asigna a cada uno de ellos una porción de espectro de frecuencia, de forma tal que el ancho de banda del canal debe ser mayor a la suma del ancho de banda de cada uno de los subcanales.

Cada subcanal está separado del anterior y del posterior por una denominada **banda de protección**. Por otra parte, esta opera con una velocidad menor a la que se podría operar con el ancho de banda del canal completo.

Si representamos en un gráfico la frecuencia en función del tiempo, tendríamos para un ancho de banda $\Delta f t$ (Hertz) dado, el espectro de frecuencias dividido en N subcanales, según se puede observar en la Fig. 8.2.

Cada subcanal está separado del siguiente por una **banda de protección** o de **seguridad**. La misión de estas bandas es evitar que, si por alguna razón la frecuencia central del canal f_j , se desplaza a izquierda o derecha, el subcanal no se solape con el siguiente, generando un tipo de ruido conocido como **ruido de intermodulación** (ver apartado 3.7.3.4).

En la Fig. 8.2, se pueden observar las bandas de protección. Son precisamente por ellas que la **capacidad total del canal** nunca será igual a la **sumatoria de los anchos de banda de los subcanales** en que está dividido el ancho de banda total.

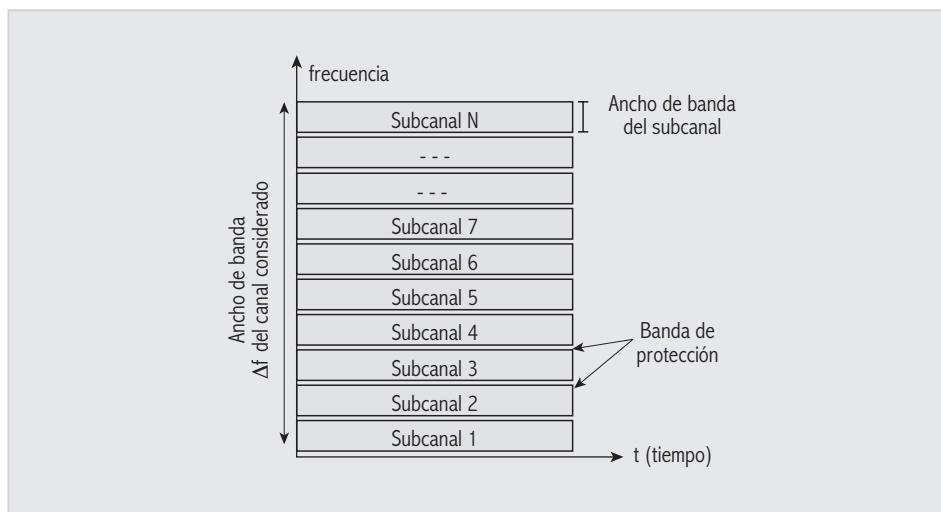


Fig. 8.2. Asignación de secuencias en un sistema de N subcanales.

En la multiplexación por división de frecuencia la característica esencial es la siguiente:

Los equipos terminales que utilizan cada subcanal toman parte del ancho de banda del canal todo el tiempo.

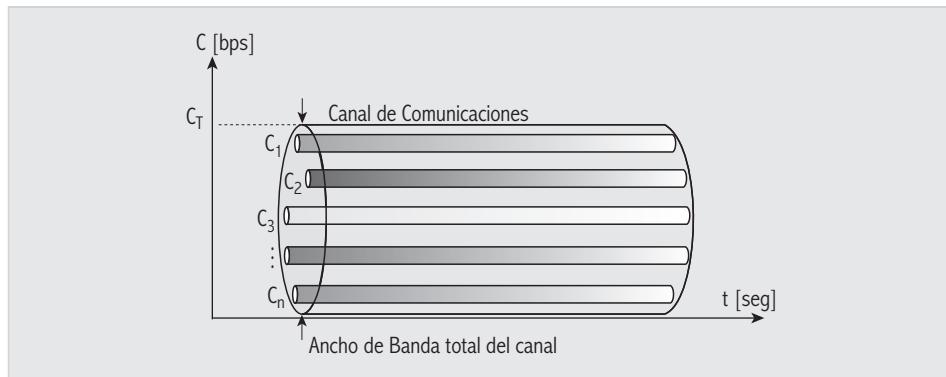


Fig. 8.3. Multiplexación por división de frecuencia. Parte del ancho de banda del canal todo el tiempo.

La Fig. 8.3. muestra en forma esquemática esta característica.

8.3.3 Formación del esquema básico de multiplexación por división de frecuencia

Como se señaló en el apartado 3.1.1, la multiplexación por división de frecuencia se emplea en las redes analógicas y, por tal razón, en el caso de la **Red Telefónica**, sobre la base de canales típicos de frecuencia de voz de 3,4 kHz de ancho de banda.

Solo a modo de repaso, en esta tecnología se habla del concepto de **Grupo Básico**, entendiendo por tal a la agrupación sobre un medio de comunicaciones de 12 canales de voz.

El primer esquema básico de multiplexación posee dos maneras diferentes de ir ensamblando los canales denominadas **Sistemas de Pregrupos con Traslación y Traslación de Canales Simples**.

- Sistemas de pregrupos con translación.

Este sistema combina tres canales tomando para cada uno 4 kHz, dado que en dicho ancho de banda está incluida la parte que es necesario utilizar como banda de protección para evitar el denominado ruido de intermodulación.

Los canales son modulados en banda lateral con supresión de portadora. Este procedimiento ofrece las ventajas de reducir el ruido y facilitar el procedimiento de demodulación en el receptor.

Esta combinación genera lo que se denomina un **Pregrupo**, combinándose cuatro pregrupos, separados cada uno de ellos por un ancho de banda de 12 kHz sobre portadoras que pueden estar sobre las frecuencias de 84, 96, 108 y 120 kHz.

Estos forman lo que denominaremos **Grupo Básico**, que consta de 12 canales. Los mismos son transportados en un ancho de banda comprendido entre 60 y 108 kHz.

La Fig. 8.4. ilustra el esquema de formación del grupo básico. Los grupos básicos son también denominados **grupos primarios**, pues a partir de ellos se van formando los esquemas más complejos que permiten el transporte sobre un medio físico de un mayor número de canales.

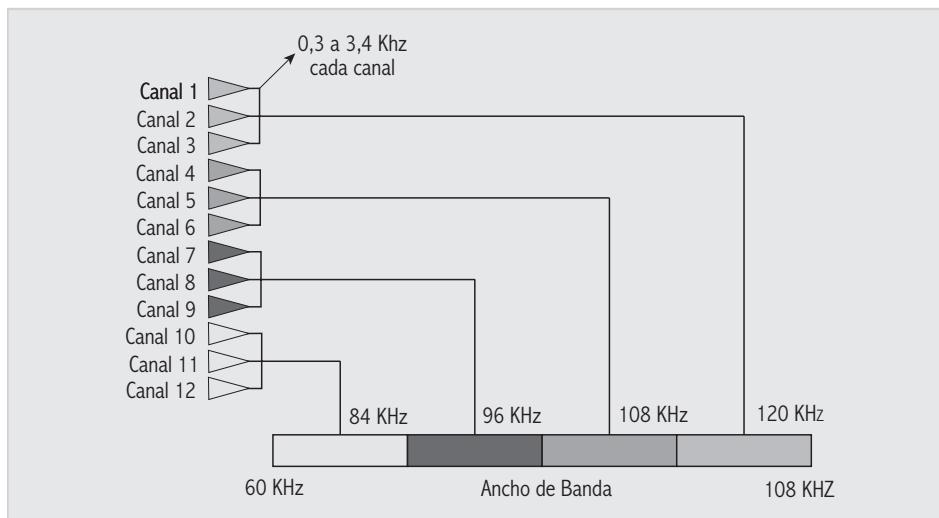


Fig. 8.4. Constitución de un Grupo Básico.

- Traslación de canales simples.

En este caso, cada canal de 4 kHz es modulado sobre una portadora diferente para cada uno de los 12 canales que forman el grupo primario. Cada canal es modulado en amplitud por 12 portadoras diferentes.

Por ejemplo, para el canal ubicado en la frecuencia más baja de la banda se usa una portadora de 64 kHz. Esta, al generar una doble banda lateral, ocuparía 4 kHz arriba y debajo de dicha frecuencia.

La banda superior estará ubicada entre 64 y 68 kHz, y la inferior entre 64 y 60 kHz. Luego se filtra la banda superior, y la banda inferior es colocada en el **Grupo primario**, ocupando solo los 4 kHz originales, es decir, las frecuencias que van de 60 a 64 kHz. La banda superior puede ser suprimida, pues tanto ella como la banda inferior contienen la misma información. Por lo tanto, su eliminación no altera el contenido del canal.

En estos casos los canales quedan ubicados según se muestra en la Tabla 8 -2.

Tabla 8-2 Formación de un grupo básico a partir de canales simples

Canal De Voz	Frecuencia De La Portadora	Ancho De Banda Usado
Canal 1	64 KHz	60 a 64 KHz
Canal 2	68 KHz	64 a 68 KHz
Canal 3	72 KHz	68 a 72 KHz
Canal 4	76 KHz	72 a 76 KHz
Canal 5	80 KHz	76 a 80 KHz
Canal 6	84 KHz	80 a 84 KHz
Canal 7	88 KHz	84 a 88 KHz
Canal 8	92 KHz	88 a 92 KHz
Canal 9	96 KHz	92 a 96 KHz
Canal 10	100 KHz	96 a 100 KHz
Canal 11	104 KHz	100 a 104 KHz
Canal 12	108 KHz	104 a 108 KHz

Este segundo esquema es el que ha desarrollado la empresa Bell y es usado por los Estados Unidos de Norteamérica y algunos países asiáticos. En él se ahorra un paso respecto al esquema que usa la normalización que ha efectuado la UIT - T, que es el desarrollado en primer término.

8.3.4 Formación de órdenes superiores de multiplexación de las jerarquías analógicas

La formación de esquemas de multiplexación que permitan un mayor número de canales en el mismo medio de comunicaciones está basada en la disponibilidad de ancho de banda que cada uno de ellos pueda tener.

Las técnicas que permiten formar esquemas con un mayor número de canales están basadas en el armado de combinaciones que dependen de la norma que se use a tales efectos.

En la Fig. 8.5. se puede observar el esquema típico recomendado por la UIT - T y usado principalmente en Europa y muchos países americanos.

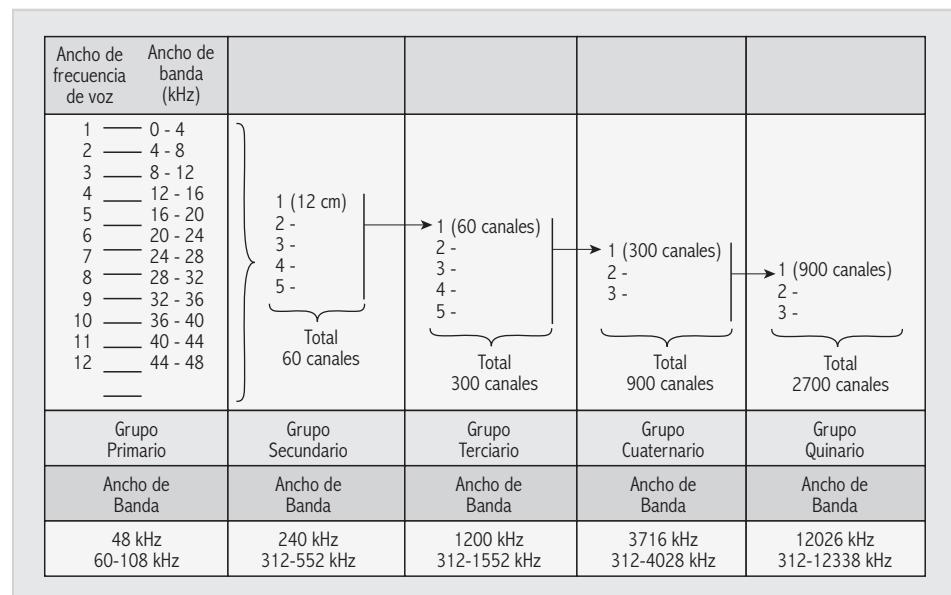


Fig. 8.5. Esquema de multiplexación de la UIT.T para 2700 canales analógicos de voz.

En este esquema se pueden observar cinco niveles que se denominan primarios, secundarios, terciarios, cuaternarios y quinarios.

El **grupo primario** o también básico, que como se analizó posee un ancho de banda de 48 kHz y permite la transmisión simultánea de 12 canales de frecuencia de voz, trabaja sobre sistemas FDM de frecuencias que van de 60 a 108 kHz.

El **grupo secundario** o también llamado **súpergrupo** tiene un ancho de banda de 240 kHz y agrupa cinco grupos primarios de 12 canales, obteniéndose un total de 60 canales. Trabaja sobre sistemas FDM de frecuencias que van de 312 a 552 kHz.

El **grupo terciario** tiene un ancho de banda de 1.200 kHz y agrupa cinco grupos secundarios de 60 canales, obteniéndose un total de 300 canales. Trabaja sobre sistemas FDM de frecuencias que van de 312 a 1512 kHz.

El **grupo cuaternario** tiene un ancho de banda de 3.716 kHz y agrupa tres grupos terciarios de 300 canales, obteniéndose un total de 900 canales. Trabaja sobre sistemas FDM de frecuencias que van de 312 a 4.028 kHz.

El **grupo quinario** tiene un ancho de banda de 312 a 12.338 kHz y agrupa tres grupos de 900 canales, obteniéndose un total de 2.700 canales.

Tabla 8-3 Esquema de multiplexación Bell para 3600 canales analógicos de voz

Denominacion Bell	Canales	Frecuencia Usadas	Cantidad
Grupo Básico	12	60 a 68 KHz	---
Super Grupo	60	312 a 552 KHz	5
Grupo Maestro L	600	60 a 2.788 KHz	10
Grupo Maestro U	600	564 a 3.084 KHz	10
Súper Grupo Maestro	3600	564 a 17.548 KHz	6

En la Tabla 8-3, se puede observar el esquema típico usado en Estados Unidos de Norteamérica y algunos países asiáticos, desarrollado por la empresa Bell.

8.3.5 Utilización del concepto de multiplexación por división de frecuencia en otras aplicaciones

8.3.5.1 Acceso múltiple por división de frecuencia - FDMA

El procedimiento denominado **Acceso Múltiple por División de Frecuencia** es una técnica de multiplexación que manejan varios protocolos de comunicaciones utilizados en radiocomunicaciones, como por ejemplo los que son utilizados en las redes de telefonía móvil.

El mismo consiste en dividir el ancho de banda del espectro de frecuencia que va ser utilizado en función del servicio de radiocomunicaciones que se va a prestar en distintos canales de anchos de banda de un determinado valor. Este debe estar en relación al servicio que se va a prestar.

Se accede al medio a través de uno de los canales disponibles existentes dentro del ancho de banda total. Los usuarios utilizarán el ancho de banda asignado sin interferirse entre sí.

Esta técnica, aun hoy, es utilizada en sistemas de comunicaciones tanto analógicos como digitales y en particular en la telefonía móvil, como es el caso de la tecnología GSM. La misma corresponde a un estándar de la telefonía móvil de segunda generación.

8.3.5.2 Utilización del espectro para los servicios de radiodifusión

La utilización de la banda de ondas medias para el uso de la radiodifusión comercial de modulación en amplitud es otro ejemplo que puede ser asimilado a la multiplexación por división de frecuencia.

Sobre un espectro que va desde aproximadamente los 530 hasta los 1.600 kHz se distribuyen las estaciones comerciales conocidas como de radiodifusoras de AM. Cada una de ellas transmite con una frecuencia de portadora distinta a través de una señal modulada en doble banda lateral de 10 kHz cada una.

Análogamente, las estaciones de frecuencia modulada comerciales operan según las normas adoptadas por los distintos países en el orden de las muy altas frecuencias. La mayoría de ellos utilizan la banda que va de 87,5 MHz a 108 MHz con una separación de anchos de banda de 100 kHz entre cada estación. En otros pocos países se utilizan bandas de resguardo de 50 o 200 kHz.

8.3.5.3 Multiplexación por división de longitud de onda - WDM, DWDM y CWDM

Según se estudió en el apartado 5.14.9.3, un conjunto de fibras ópticas de características especiales permite que las señales que se transmitan sean multiplexadas.

Este tipo de multiplexación se denomina por longitud de onda, por cuanto las frecuencias muy elevadas, como las utilizadas para los rayos de luz, se caracterizan más a menudo por su longitud de onda que por su frecuencia.

Recordemos que:

$$c = \lambda f \quad (8-2)$$

Donde:

c = Velocidad de la luz.

λ = Longitud de onda.

f = Frecuencia.

Luego la expresión (8-2) permite apreciar que el producto de longitud de onda por frecuencia es una constante, e igual a la velocidad de la luz. Por lo tanto, la multiplexación por longitud de onda es lo mismo que decir multiplexación por división de frecuencia.

Estas tecnologías han permitido aumentar aún más el ancho de banda disponible en los enlaces de fibra óptica al permitir que por una única fibra puedan transmitirse n canales diferentes. Cada canal utilizará una longitud de onda diferente.

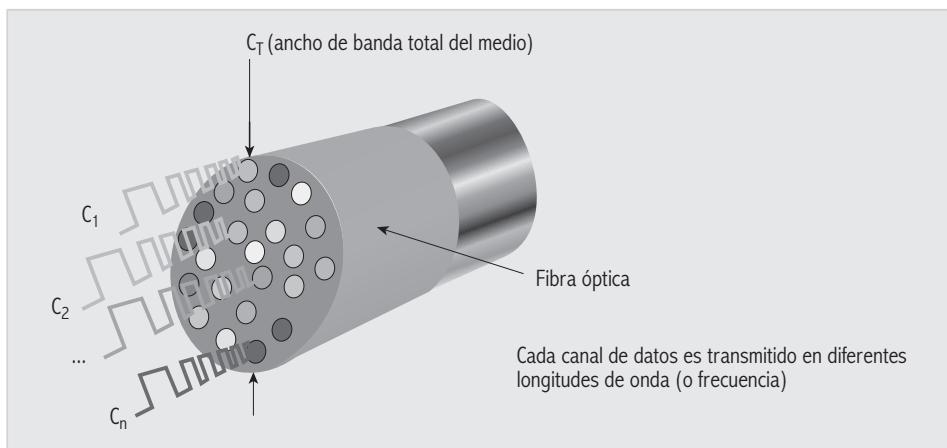


Fig. 8.6. Multiplexación por longitud de onda - WDM.

La Fig. 8.6. (equivalente a la Fig. 5.57) nos muestra cómo distintas longitudes de onda permiten transportar n canales en forma simultánea y por el mismo medio.

8.3.5.4 Multiplexación por División de Frecuencias Ortogonales

Un ejemplo vinculado a al conjunto de las denominadas tecnologías emergentes que utiliza el concepto **Multiplexación por División de Frecuencia - FDM** es el que se denomina **Multiplexación por División de Frecuencias Ortogonales - OFDM**²¹.

Se entiende por tal:

A la utilización de un canal de comunicaciones de un determinado ancho de banda para enviar por él un conjunto de subcanales con ondas portadoras ortogonales de diferentes frecuencias separadas por anchos de banda pequeños, que serán moduladas con distintas tecnologías digitales (como QAM o PSK) y donde cada una de ellas transportará una información diferente.

En el Capítulo 7, apartado 7.6.4.2, se describe el uso de esta tecnología en los sistemas de banda ancha asimétricos por pares de cobre denominados ADSL y VDSL.

Además del uso señalado en el párrafo anterior esta tecnología se utiliza también, entre otros casos, en:

- Tecnología PLC
- Redes inalámbricas IEEE 802.11a, g y n (conocida también como Wi-Fi).
- Redes de telefonía celular de cuarta generación: 4G; es la cuarta generación de los estándares de telefonía móvil. Utiliza la tecnología denominada LTE. Sucede a las familias conocidas como 2G y 3G.
- Acceso de banda ancha móvil - IEEE 802.20/IEEE 802.16e (conocida también como WiMax).
- Sistemas para transmisión digital de señales de audio y vídeo conocidos como DTV o DTT. Estas tecnologías son el paso siguiente de la televisión analógica. La televisión digital terrestre utiliza una amplia gama de formatos que se pueden dividir en Televisión de Alta Definición (para la transmisión de vídeo de alta definición) y Televisión de Definición Estándar.

8.4 Multiplexación por división de tiempo - TDM

8.4.1 Introducción y definición

La introducción de las técnicas digitales a partir de la década de los años 60, como la modulación por pulsos codificados, permitió el diseño de procesos de **multiplexación por división de tiempo**.

Estas técnicas están hoy en funcionamiento en la casi totalidad de los sistemas de transmisión en redes de telecomunicaciones.

Definiremos como multiplexación por división de tiempo:

A la técnica que consiste en dividir el tiempo de transmisión de una secuencia de datos transmitida por un único canal de comunicaciones en subcanales de comunicaciones independientes entre sí, donde a cada subcanal se le asigna un segmento de dicho tiempo.

Usando un canal de transmisión se crean **ranuras de tiempo** que un equipo denominado **multiplexor** adjudica a los subcanales o señales de entrada de una manera determinada.

Cada uno de dichos subcanales de comunicaciones recibe la señal de un equipo terminal diferente que denominaremos A, B, C, etc. El multiplexor procederá a armar una trama con todos los datos aportados por los diferentes subcanales.

En la Fig. 8.7. se puede observar un ejemplo como el descripto. El tamaño de cada trama se medirá en función del tiempo y su dimensión dependerá de la velocidad del canal que se use.



La multiplexación por división de tiempo es la técnica que consiste en dividir el tiempo de transmisión de una secuencia de datos transmitida por un único canal de comunicaciones en subcanales de comunicaciones independientes entre sí, donde a cada subcanal se le asigna un segmento de dicho tiempo.

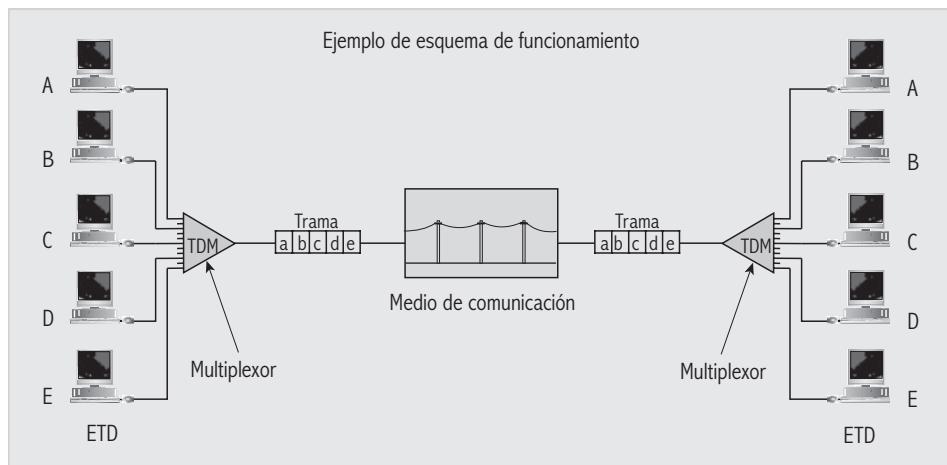


Fig. 8.7. Multiplexor TDM. Ejemplo del esquema de funcionamiento.

Cada trama recorrerá el medio de comunicaciones hasta el multiplexor ubicado en el otro extremo del canal que procederá a separar de la trama que ha viajado en los subcanales A, B, C, etc., procediendo a entregársela a cada equipo terminal correspondiente.

8.4.2 Esquema de funcionamiento de la multiplexación por división de tiempo

8.4.2.1 Procedimiento general

Para proceder a realizar el proceso de multiplexación por división de tiempo podemos suponer a un conmutador rotativo electrónico ubicado en el transmisor, que toma secuencialmente muestras de cada señal correspondientes a cada subcanal. En el receptor existirá otro conmutador rotativo similar, sincronizado con el del transmisor.

Por motivos didácticos, en la Fig. 8.8., se ha empleado un conmutador mecánico, pero en la práctica se utilizan sistemas de conmutación electrónica que cumplen esta función. En dicha figura se muestra un proceso de multiplexación por división de tiempo como el descripto. Las señales $S_i(t)$ de la figura son digitales.

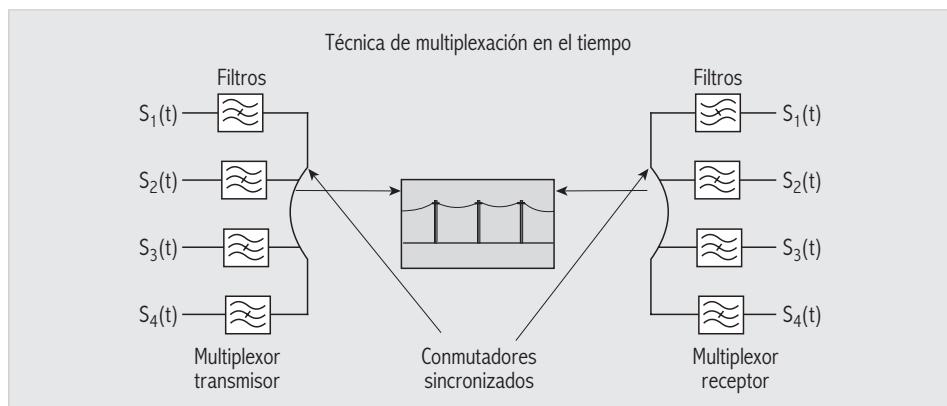


Fig. 8.8. Proceso de multiplexación por división de tiempo.

Representemos en un gráfico la frecuencia en función del tiempo. Tendríamos así una trama correspondiente al multiplexado de n subcanales, ubicados todos ellos dividiendo el eje del tiempo, según se puede observar en la Fig. 8.9.

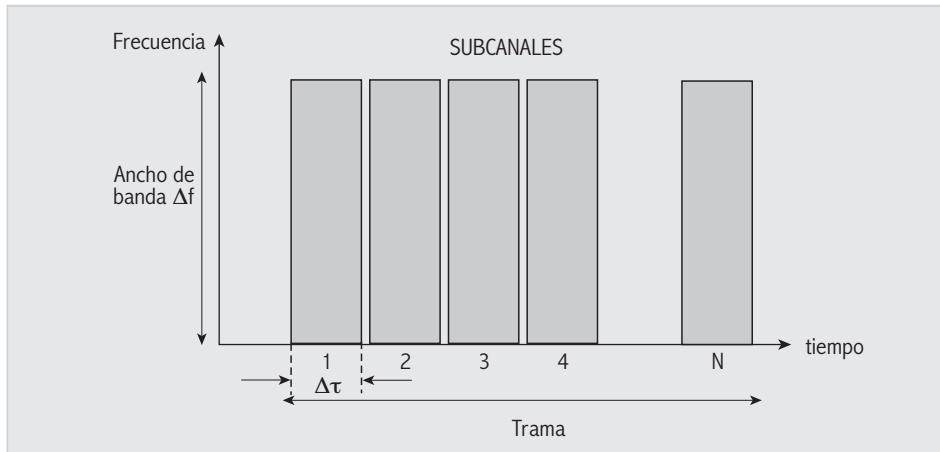


Fig. 8.9. Asignación de tiempos sistema de n subcanales.

El tiempo total que se necesita para transmitir la trama condicionará la necesidad de utilizar un dado ancho de banda. Este es usado por todos los canales.

8.4.2.2 Armado de las tramas

Para el armado de las tramas y el sincronismo existen dos formas para implementar las tramas o adjudicar las **ranuras de tiempo** o *slots*. Estas formas se denominan **entramado de bits** y **entramado de caracteres**.

- **Entramado de bits.**

En este procedimiento cada período de tiempo o *slot* se ajusta para que transporte un solo bit de cada terminal.

El mismo se efectúa especialmente cuando se combinan flujos de datos, provenientes de terminales semejantes. Este proceso se puede observar en la Fig. 8.10. También es denominado **dígito por dígito** o por su nombre en inglés *digit interleaving*.

Cada trama está formada por los bits de sincronismo y por un bit de cada terminal. Esta técnica es la más simple y económica en cuanto a la electrónica que usa, pues no requiere almacenamiento de cada carácter ni otras funciones adicionales.

- **Entramado de caracteres.**

Esta otra alternativa se denomina entrelazado o entramado de caracteres (palabras). Se emplea cuando las señales están compuestas por un grupo de caracteres o palabras que por razones operacionales es conveniente preservar en su integridad. El proceso se puede observar en la Fig. 8.11.

En este caso, la llave rotativa del multiplexor deberá detenerse en cada entrada de canal mientras está siendo transferido el carácter.

Resulta claro que si en las entradas están arribando continuamente los datos, será necesario algún tipo de almacenamiento local para acumular las señales mientras se espera la siguiente transferencia.

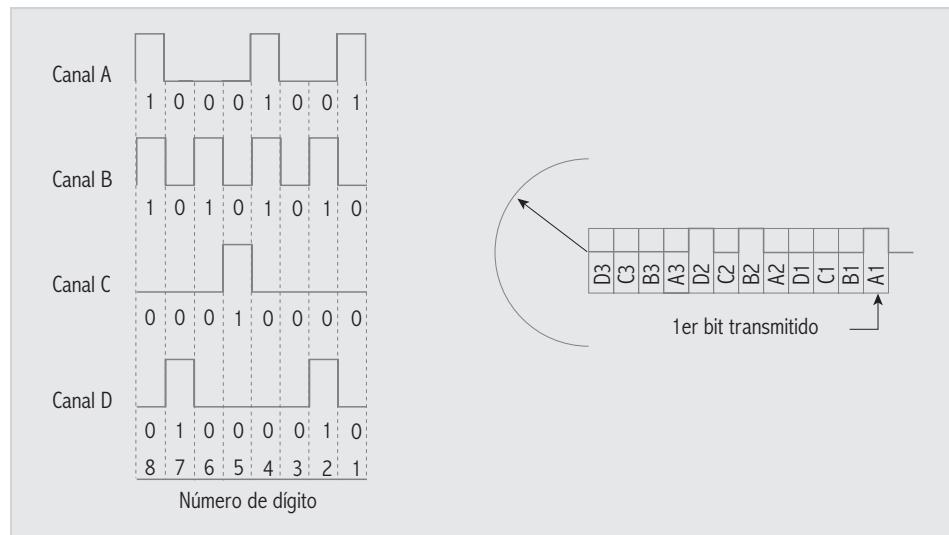


Fig. 8.10. Sistema de multiplexación por división de tiempo de entrelazado de dígitos.

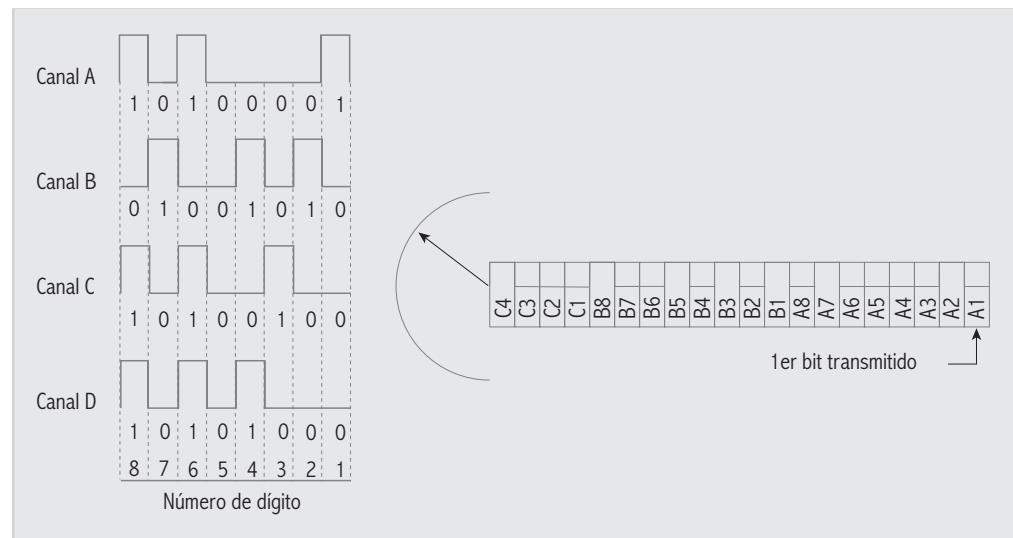


Fig. 8.11. Sistema TDM con entrelazado de caracteres.

Por otro lado, deberá existir un doble proceso:

- Señalización en el momento de multiplexado.
A los efectos de que la señal que envía el equipo terminal en modo serie se transforme en modo paralelo.
- Deserialización en el momento del demultiplexado.
Para producir el efecto contrario.

Como se explicó precedentemente en los sistemas **TDM**, se divide el tiempo en períodos o *slots* fijos, cada uno de los cuales se asigna a un canal. No obstante, existen otras variantes

en las cuales la asignación del *slot* no es fija sino ponderada, es decir que algunos canales se repetirían más veces que otros por tener mayor actividad. De esta forma se obtienen prioridades de transmisión diferentes para cada canal.

En la multiplexación por división de frecuencia, la característica esencial es la siguiente:

Los equipos terminales que utilizan cada subcanal toman todo el ancho de banda del canal, parte del tiempo.

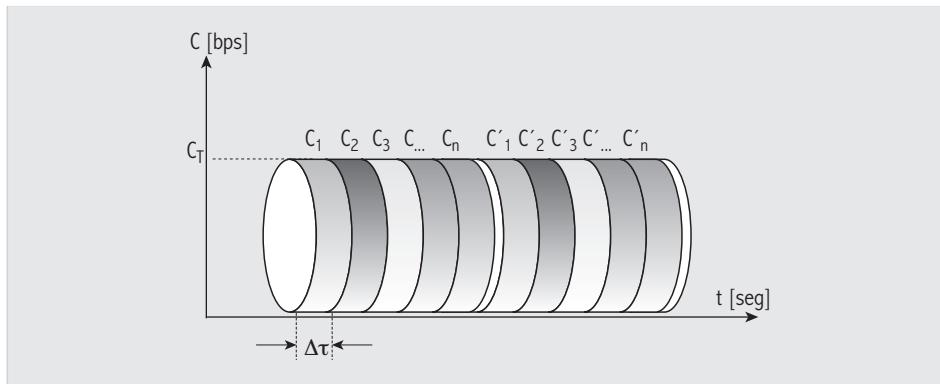


Fig. 8.12. Multiplexación por división de tiempo. Todo el ancho del canal parte del tiempo.

La Fig. 8.12. muestra, en forma esquemática, esta característica.

8.4.3 Formación del esquema básico de multiplexación digital

El desarrollo del equipamiento que usa la técnica de modulación por pulsos codificados ha permitido el desarrollo de las técnicas de multiplexación por división de tiempo y su uso generalizado en los sistemas digitales de transmisión. Presenta numerosas ventajas sobre los sistemas analógicos.

Es conocido que para permitir la transmisión de las señales analógicas a lo largo del canal es necesario colocar, a distancias determinadas, equipos amplificadores que si bien mejoran su el nivel, perjudican la relación señal/ruido por dos razones: amplifican el ruido que se encuentra sumado a la señal útil y a la vez, por mejor que se los construyan, generan un ruido propio. Por tal razón, las señales sufren un deterioro con la distancia que a ciertos valores las hace ininteligibles.

Por el contrario, la digitalización de las señales en las redes permite el uso de repetidores regenerativos. Estos evitan que los fenómenos asociados con las señales tales como el ruido, la atenuación y la distorsión no pasen a la sección siguiente de estos equipos.

Estas cualidades hacen que estos sistemas tengan una calidad que es independiente de la distancia y más aun del tipo de servicio que por el canal de comunicaciones se esté transmitiendo (solo en bits). Estos se pueden regenerar indefinidamente, siempre con la misma calidad, a menos que se cuiden mínimos aspectos técnicos.

En el Ejemplo 7-5, se podía observar cómo un canal telefónico se podía digitalizar siempre que se usaran técnicas de muestreo, cuantificación y digitalización (ver apartado 7.9)

En particular, las normas de multiplexación por división de frecuencia que se utilizan en los sistemas digitales de comunicaciones para la transmisión de datos y de voz fueron gene-

radas inicialmente por los Laboratorios Bell y posteriormente modificadas y normalizadas por la UIT - T.

Ambas normas trabajan con una velocidad de muestreo de 8.000 muestras por segundo (± 50 ppm - partes por millón). Utilizan, en el primer caso, la ley de codificación denominada Ley A y, en el segundo, la Ley μ . Una codifica las muestras con 8 bits y la otra con 7. Por lo tanto, hay dos normas para proceder a la multiplexación por división de frecuencia.

Las dos normas describen la forma de generar las **tramas**, que son las que se intercambian entre los multiplexores ubicados en los extremos del canal de comunicaciones. Las tramas, según sea la velocidad a la que serán transmitidas, se clasifican en distintos órdenes comenzando por el primero. Las tramas de primer orden en ambas normas se denominan **Grupo Básico**.

La descripta es la Recomendación G.732 UIT - T, que se conoce como **Norma Europea**. La trama de menor orden, denominada E1, multiplexa 30 canales de voz más dos de servicio, haciendo un total de 32 canales de 64.000 bps.

La otra norma, desarrollada por los Bell pero también estandarizada como Recomendación G.733 UIT - T, arma la trama de manera distinta. Está compuesta por 24 canales de voz transmitidos a una velocidad de 56.000 bps. Esta norma es usada en los Estados Unidos de Norteamérica, Canadá, Japón y otros países asiáticos.

La norma de la UIT - T distribuye los 32 canales que forman la **trama** de la manera que indica la Tabla 8 - 4. Las tramas de primer orden en ambas normas se denominan del **Grupo Básico**.

Tabla 8-4 Grupo Básico - UIT - T. - Distribución de los canales

CANAL	0	sincronismo
CANALES	1 a 15	señales de voz
CANAL	16	señalización
CANALES	17 a 31	señales de voz

Analizaremos a continuación las características principales de la trama del Grupo Básico de esta norma:

- Frecuencia de muestreo: 8.000 Hz.
- Número de bit/muestra: 8.
- Número de canales telefónicos: 30 (numerados del 1 al 30).
- Número de canales para señalización y sincronización: 2.
- Velocidad de transmisión en el canal del grupo básico: 2,048 Mbps.
- Duración de la trama: 125 μ s.
- Número de bit por trama: 256.
- Ley de Compresión: Ley A.
- Número de segmentos de compresión: 13.
- Número de intervalos de tiempo por trama: 32.
- Valor del slot de tiempo del canal de 8 bits: $\cong 3,9 \mu$ s.

La Fig. 8.13. nos muestra la forma de la distribución de canales en un sistema PCM 30.

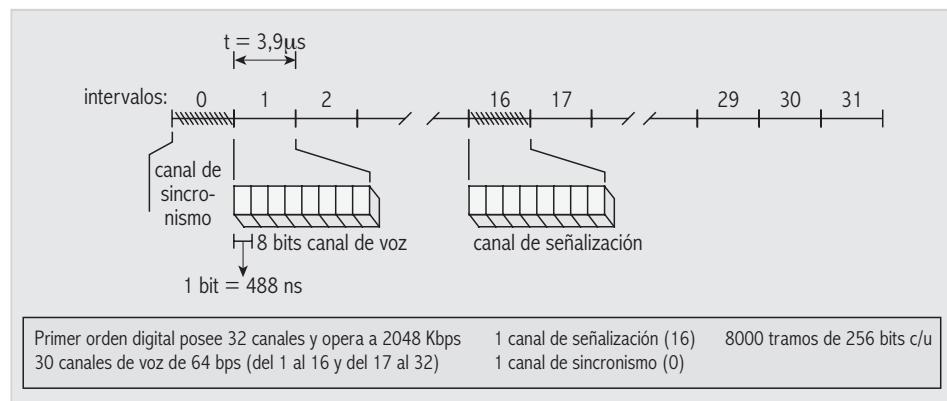


Fig. 8.13. Distribución de canales: Sistema PCM 30.

La norma Bell, conocida como sistemas MIC de 24 canales, presenta la característica que la información de señalización y sincronización está incluida en el interior de la trama.

Analizaremos a continuación las características principales de la segunda de ellas:

- Frecuencia de muestreo: 8.000 Hz.
- Número de bit/muestra: 7.
- Número de canales telefónicos: 24.
- Velocidad de transmisión en el canal del grupo básico: 1,544 Mbps.
- Duración de la trama: 125 μs.
- Número de bit por trama: 193.
- Ley de Compresión: Ley m.
- Número de segmentos de compresión: 15.
- Número de intervalos de tiempo por trama: 24.
- Valor del slot de tiempo del canal de 8 bits: $\geq 5,2 \mu\text{s}$.
- Formato de la trama: 193 bits, organizados en 24 conjuntos de 8 bits por canal, siete de datos y uno de señalización, lo que hace un conjunto de 192 bits, más un bit, el bit 193, al final de la trama, denominado código de trama.

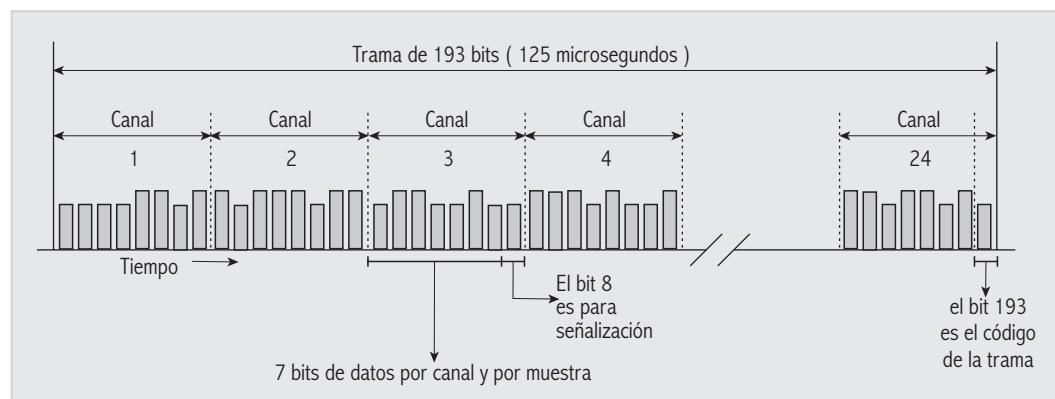


Fig. 8.14. Distribución de canales: Sistema PCM 24.

La Fig. 8.14. nos muestra la forma de la distribución de bits en la trama en un sistema PCM 24.

Ejemplo 8-1:

Se desea conocer la velocidad binaria teórica de un canal que permita transmitir por él 30 canales de voz, más dos para señalización y sincronismo. Se deberá usar un sistema de multiplexación por división de tiempo.

Cada canal de voz será muestreado a razón de 8.000 muestras por segundo y cada muestra será codificada con 8 bits/muestra.

$$V_t = 8.000 \text{ muestras/s} \times 8 \text{ bits/muestra} = 64.000 \text{ bps}$$

Si ahora pretendemos transmitir 32 canales en total para voz, señalización y sincronismo, la velocidad binaria será de:

$$\begin{aligned} V_t(30) &= V_t \times 32 \\ V_t(30) &= 64.000 \text{ bps} \times 32 = 2.048.000 \text{ bps} \\ V_t(30) &= 2.048 \text{ kbps} = 2,048 \text{ Mbps} \end{aligned}$$

Calculemos ahora el ancho de banda necesario para posibilitar la transmisión. Para ello, se necesitarán 1/125 s para tomar una muestra que corresponderá a un bit. Como se necesitan 8 bits por carácter, el ancho de banda para muestrear un carácter será igual a:

$$\Delta_f = \frac{8}{125 \mu\text{s}} = 64 \text{ kHz}$$

Que corresponderá al ancho de banda necesario para un canal; luego para 32 canales se tendrá:

$$\Delta_f = \frac{8 \cdot 32}{125 \mu\text{s}} = 2,048 \text{ kHz}$$

Del ejemplo se puede obtener la conclusión de que será necesario aumentar el ancho de banda cuando se quiera incrementar el número de subcanales multiplexados.

8.4.4 Sincronización

La multiplexación por división de tiempo, desde el punto de vista tecnológico, requiere una implementación más compleja que la que se utiliza en los sistemas por división de frecuencia.

El multiplexor y el demultiplexor deben tener los relojes de tiempo sincronizados para evitar que los bits transmitidos no lleguen en el orden adecuado y así puedan ser entregados al canal de salida al que pertenecen.

Por tal motivo es necesario agregar bits de sincronismo para evitar errores en la transmisión de las tramas. Estos bits permiten sincronizar el flujo que ingresa al demultiplexor para separar correctamente los distintos bits que forman cada muestra y de esta manera entregarla al canal correspondiente para que sea transmitida a su destino.

8.4.5 Formación de órdenes superiores de multiplexación de la Jerarquía Digital Plesiócrona

Para la transmisión de señales digitales, de la misma manera que se señaló oportunamente para la transmisión de señales multiplicadas por división de frecuencia, los grupos básicos se pueden combinar y formar arreglos de mayor jerarquía que permiten la transmisión de un

mayor número de canales o, lo que es lo mismo, de señales como las de vídeo, que necesitan un mayor ancho de banda.

En términos generales, la forma de agrupar la cantidad de canales, y por lo tanto de multiplexar las señales para permitir la transmisión por anchos de banda mayores, depende del tipo de medio de comunicaciones que se use (cable coaxial, microondas, fibra óptica, etc.).

Los sistemas de multiplexación digital de primera generación del tipo TDM se denominan técnicamente **Sistemas Plesiócronos** (*Plesiochronous Digital Hierarchy*), o también, el conjunto de los distintos niveles de multiplexación, **Jerarquía Digital Plesiócrona - PDH**.

El concepto de plesiócrono ha sido definido por la UIT - T en su Recomendación G.701 y adoptado por todos los distintos sistemas de multiplexación digital.

La palabra *plesio* viene del griego y significa casi igual, pero no exactamente igual (cuasi-sincrónico). En este tipo de multiplexación digital se observa que si bien la cantidad de canales de un orden superior es siempre múltiplo entero de la cantidad de orden inmediato anterior, no ocurre lo mismo con los anchos de banda medidos en Mbps.

La Fig. 8.15. muestra la forma en que se van armando los distintos esquemas de multiplexación de orden superior al primero.

La razón de la diferencia señalada entre los anchos de banda de un orden inferior respecto de uno superior radica en que al pasar de uno a otro es necesario agregar información que es de uso exclusivo del nivel siguiente. Por otra parte, y esto resulta en este tipo de jerarquía relevante, los relojes usados en un nivel son independientes de los usados en los otros niveles.

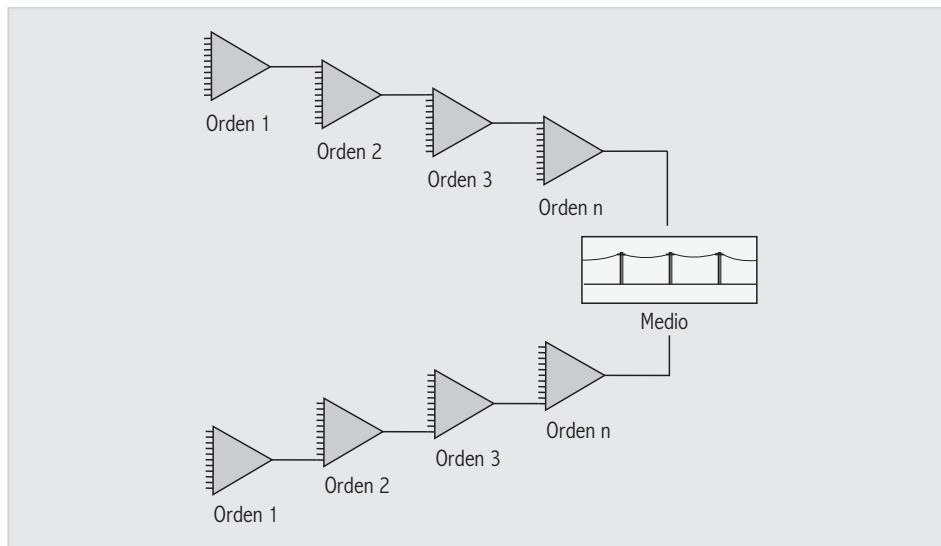


Fig. 8.15. Formación de los órdenes de multiplexación superior en una red de alta capacidad.

En la multiplexación plesiócrona, el sistema de transmisión es siempre sincrónico en el último nivel de transmisión sobre el medio que se esté analizando, pero plesiócrono en los demás niveles superiores. Precisamente, la nueva concepción que se utilizan en los sistemas de transmisión reside en adoptar un solo reloj para toda la red.

Ello es posible a través de la denominada **Jerarquía Digital Sincrónica - SDH**. En 1985, en los Estados Unidos la empresa Bellcore - *Bell Communication Research* propuso el nombre de SONET - *Synchronous Optical Network*, pues inicialmente este tipo de sistemas fue pensado para redes basadas en fibras ópticas. Esta tecnología solo se puede utilizar en las redes ópticas y será motivo de desarrollo en el apartado 8.7.

Es de destacar que tanto en la **Jerarquía Digital Plesiócrona - PDH** como en la **Jerarquía Digital Sincrónica - SDH** el primer nivel corresponde al **Grupo Básico** que tiene un ancho de banda de 2,048 Mbps y su estructura es la que fue descripta oportunamente en este capítulo. Las diferencias se encuentran a niveles superiores.

En particular, se usan tres tipos de jerarquías de multiplexación que se suelen conocer como **norma europea**, **norma americana** y **norma japonesa**. En la Tabla 8 - 5, se indican los cuatro primeros órdenes de multiplexación de la denominada **norma europea**, usada también en la mayoría de los países iberoamericanos.

Tabla 8-5 Jerarquía digital - Norma Europea

Orden	Velocidad de transmisión	Cantidad de bits por trama	Duración de la trama ms	Nº de Canales
1	2,048 Mbps	256	125,00	30
2	8,448 Mbps	848	100,38	120
3	34,368 Mbps	1536	44,69	480
4	139,264 Mbps	2904	20,85	1920
5	564,992 Mbps	2688	4,70	7680

En esta norma el grupo primario tiene una velocidad que resulta una potencia del número 2 (este valor es de 29); el grupo de orden dos es generado por cuatro grupos de orden uno; el grupo de orden tres, por cuatro grupos de orden dos; y, en forma similar, el grupo de orden cuatro.

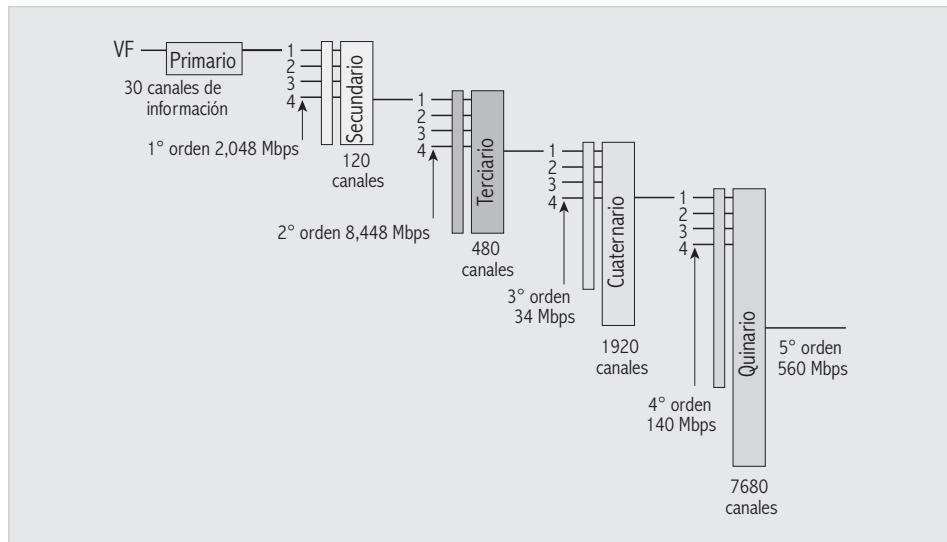


Fig. 8.16. Esquema de formación de un haz de 7680 canales - Normas UIT.

Mediante el empleo de medios más modernos, como es el caso de la fibra óptica, se pueden alcanzar niveles aun mayores al de orden cuatro.

La Fig. 8.16. muestra la forma en que se van formando los distintos haces hasta el denominado quinario (orden cinco). En este último orden se alcanzan velocidades de 564,992 Mbps, permitiendo el transporte de 7.680 canales.

Los órdenes de multiplexación de la **norma americana** y la **norma japonesa** se indican en las tablas 8 - 6 y 8 - 7.

Obsérvese que la **norma japonesa** respeta la **norma americana** en sus dos primeros órdenes, pero comienza a diferir en la forma de armar los órdenes tres y cuatro.

Tabla 8-6 Jerarquía digital - Norma Americana			
Orden	Velocidad de transmisión	Grupos de orden inferior	Número de canales
DS1	1,544 Mbps	---	24
DS2	6,312 Mbps	4	96
DS3	44,736 Mbps	7	672
DS4/T4 (E)	139,264 Mbps	3	2016
DS4/T4	274,176 Mbps	6 (Ds3)	4032
DS5/T5	564,992 Mbps	12 (DS3)	8064

Para el caso de un **Grupo Maestro E2**, por tomar un ejemplo, corresponde una cantidad 120 canales que están en relación directa con los cuatro grupos primarios que lo forman, de 30 canales cada uno. Pero si multiplicamos por cuatro el ancho de banda de cada uno de los **Grupos Primarios E1**, tendremos:

$$2,048 \text{ Mbps} \times 4 = 8,192 \text{ Mbps} \quad (8 - 3)$$

Y si restamos ese valor al ancho de banda que corresponde al nivel superior tendremos que:

$$8,448 \text{ Mbps} - 8,192 \text{ Mbps} = 0,256 \text{ Mbps} \quad (8 - 4)$$

Se observa en las expresiones (8-3) y (8-4) que los valores **son casi iguales, pero no iguales**; de allí el concepto de **plesiócrono**.

Las velocidades de cada orden son ligeramente superiores al producto de la velocidad que corresponde al nivel anterior multiplicada por el número de grupos que forman el nivel superior. La diferencia resulta de la necesidad de agregar información adicional al formar cada grupo de nivel superior.

Tabla 8-7 Jerarquía digital - Norma Japonesa			
Orden	Velocidad de transmisión	Grupos de orden inferior	Número de canales
1	1,544 Mbps	---	24
2	6,312 Mbps	4	96
3	32,064 Mbps	5	480
4	97,728 Mbps	3	1440

En los grupos básicos, como se vio en el caso de la jerarquía europea, para transmitir 30 canales de 64 kbps se debían usar anchos de banda equivalentes a 32 canales. Las mismas razones hacen que en los casos de orden superior se deba agregar información que es de uso exclusivo de ese nivel.

8.5 Multiplexación por división de tiempo estadística - (STDM)

8.5.1 Introducción

La multiplexación por división de tiempo estadística, conocida como *Statistical Time Division Multiplexing – STDM*, es una variante de la **Multiplexación por División de Tiempo - TDM**. Trata de aprovechar los tiempos muertos de transmisión en las líneas de comunicaciones.

La multiplexación por división de tiempo (TDM) desperdicia tiempo de transmisión cuando algún terminal está inactivo, pues esa parte de la trama está vacía de información. Este inconveniente es resuelto eficazmente por la multiplexación estadística dado que en los tiempos libres de transmisión, por inactividad de algún terminal, envía caracteres de los otros terminales que sí se encuentran activos. De esa manera este tipo de multiplexación asigna los *slots* de tiempo en forma dinámica y bajo demanda de los usuarios.

Si bien los procedimientos que permitían efectuar estas funciones se conocían en teoría desde hace mucho tiempo, la producción de este tipo de equipos recién se comenzó a desarrollar cuando se incorporaron los microprocesadores a los equipos de comunicaciones. Estos permiten transformar los equipos que deben realizar estas funciones en sistemas inteligentes que gobiernan la multiplexación en los equipos. La misma es una típica aplicación de lo que se ha llamado en el Capítulo 1 la **informática embarcada en el producto final**.

Los microprocesadores han aportado la inteligencia necesaria para ejecutar una cantidad importante de funciones adicionales, tales como:

- Asignar solamente tiempos de transmisión a los terminales activos para formar una trama distinta cada vez pero con tiempos libres para transmisión adicional.
- Incluir mecanismos detectores de errores con retransmisión de bloques erróneos.
- Otras funciones adicionales con la condición de que no se pierda la transparencia que caracteriza a los multiplexores.

8.5.2 Esquema de funcionamiento de la multiplexación por división de tiempo estadística

El nombre de este tipo de funciones está relacionado con su funcionamiento. Precisamente, se denominan **estadísticos** por asignar un régimen de tiempo de transmisión a los terminales según una base estadística y no **igual valor temporal para cada equipo terminal**. Esa base estadística se determina en función de la actividad que en cada momento tienen los terminales.

En la Fig. 8.17., se puede observar la diferencia existente en la asignación de los tiempos de transmisión entre los multiplexores por división de tiempo y los estadísticos. Allí se puede apreciar que en la multiplexación por división de tiempo las tramas son rígidas y siempre iguales, asignándose segmentos de tiempo de transmisión a cada terminal en todas las tramas aunque no haya actividad en alguna de ellas.

En la multiplexación estadística se pueden aprovechar todos los segmentos de transmisión y, además, se obtiene una reducción apreciable del número de caracteres de sincronismo mediante la utilización de tramas suficientemente largas (hasta varias veces las que se usan en la multiplexación por división de tiempo).

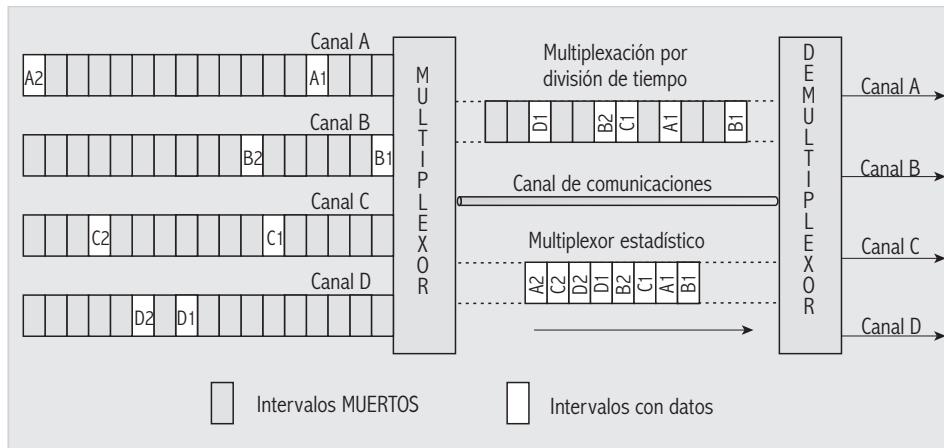


Fig. 8.17. Comparación entre el método TDM y STDM.

La multiplexación estadística también se denomina multiplexación asincrónica (ATDM) debido a que las tramas se envían a la línea de transmisión asincrónicamente en lugar de enviarse con periodicidad fija, como en el caso de la multiplexación por división de tiempo.

La multiplexación asincrónica ATDM es mucho más eficiente en el uso de los canales de comunicación que la multiplexación por división de tiempo. Esto se debe al hecho de que asigna los recursos del canal conforme a las necesidades de cada estación. Sin embargo, esta mayor eficiencia tiene un costo que se traduce en una administración más compleja de la asignación de *slots* o ranuras, la cual cambia dinámicamente de acuerdo a los requerimientos de cada estación.

8.6 Redes ópticas

8.6.1 Introducción

8.6.1.1 Reseña histórica

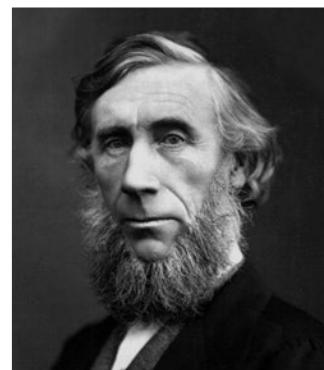
Las denominadas redes ópticas han ido creciendo en forma vertiginosa a partir del desarrollo de las fibras ópticas y las necesidades de anchos de banda crecientes. Precisamente, las **fibras ópticas** así como se las conoce actualmente comenzaron a ser estudiadas en la década de los años 50 en el siglo pasado.

Los primeros experimentos que llevaron a aplicaciones prácticas fueron desarrollados en 1952 por **Narinder Singh Kapany**, un investigador indio formado en Inglaterra a quien se lo reconoce como el padre de la fibra óptica. Kapany utilizó inicialmente trabajos realizados por el físico irlandés **John Tyndall**. Este fue quien realizó los primeros estudios sobre los caminos que podía recorrer la luz dentro de distintos materiales curvándose por reflexión, como por ejemplo en el agua. Sus trabajos fueron presentados por primera vez ante la comunidad científica en 1870, momento cuando, además, quedó demostrado que el cristal era un medio eficaz para su transmisión a distancias mayores.

Los primeros usos de la fibra óptica fueron aplicados a la medicina a través del endoscopio médico patentado en 1956 por la Universidad de Michigan, que permitió mediante el uso de un haz de fibras semiflexibles la transmisión de imágenes.

Sin embargo, e irónicamente, cuando se debe hablar de las primeras redes de telecomunicaciones, y aun mucho antes que se conocieran las redes que utilizaban la electricidad para

Narinder Singh Kapany (Punjab, 1926). Estudió Física en la Universidad de Agra y se doctoró en el Colegio Imperial de Londres en 1955. Posteriormente, se radicó en Estados Unidos. Es considerado como uno de los descubridores de las fibras ópticas. Sus actividades de investigación incluyen, la biomédica, la energía solar, los equipos láser y distintos sistemas de comunicaciones.



John Tyndall (1820-1893). Fue uno de los físicos que comenzó a destacarse con sus estudios sobre diamagnetismo y sobre radiación térmica. En estas últimas investigaciones, estudió y publicó sus estudios sobre la dispersión de luz en el aire provocada por coloides, como lo son las partículas de polvo o impurezas que están en el aire, fenómeno hoy conocido como Efecto Tyndall. Fue un experimentador y un prolífico constructor de aparatos de laboratorio.

Claude Chappe (Brûlon, 1763 - París, 1805). Fue un inventor que, por sus trabajos, puede ser considerado el primer empresario de telecomunicaciones del mundo. Con la ayuda de su hermano Ignace Chappe, que se desempeñaba como miembro de la Asamblea Legislativa de la Revolución francesa, obtuvo el apoyo económico y político para construir la primera línea de París a Lille.

la transmisión de señales, debe señalarse que fueron las redes ópticas las primeras que permitieron establecer comunicaciones a distancias importantes, aunque con tecnologías muy alejadas de las actuales.

Las comunicaciones por medios ópticos ya se narran en la guerra de Troya, en la que se enviaban mensajes mediante fuego y humo, pero el primer sistema de telecomunicaciones que utilizaba la luz para el intercambio de la información fue desarrollado en 1792 por **Claude Chappe** mediante el llamado **Telégrafo Óptico**.

Chappe, con la colaboración de su hermano Ignace, construyó la primera red de telegrafía óptica uniendo Lille con París. Esta primera red tenía 22 torres de transmisión y retransmisión y cubría una distancia de 230 km.

Luego de este éxito inicial, la red se extendió a través de 5.000 km con más de 500 estaciones que fueron utilizadas para las comunicaciones militares y nacionales hasta mediados de siglo.

Los sistemas de comunicaciones que empiezan con el telégrafo óptico fueron desplazados rápidamente a partir de la segunda mitad del siglo XIX por el telégrafo eléctrico primero y luego, tal como es descripto en el Capítulo 1 de esta obra, por otros como el servicio telefónico y otros más avanzados durante el siglo XX, pero en la totalidad de los casos a través de redes en las que las señales se transmitían utilizando corriente eléctrica.

Las primeras redes de comunicaciones utilizaron tecnologías analógicas. Básicamente estaban orientadas a satisfacer los requerimientos que imponía el servicio telefónico y telegráfico y más adelante el servicio télex. Finalmente, tuvieron que empezar a dar servicios para la trasmisión de datos pues era necesario interconectar computadoras digitales.

Los problemas que debieron ser abordados con más intensidad en estas etapas iniciales, además de aquellos vinculados a la conmutación, fueron los relacionados con la transmisión en las Redes de Área Extendida.

Para mejorar la eficiencia de dichos sistemas se implementaron los distintos esquemas de multiplexación por división de frecuencia que permitieron un aprovechamiento más completo del ancho de banda. Cuando se trataba de interconectar equipos digitales se utilizaban módems, que inicialmente tenían especificaciones propietarias y posteriormente fueron normalizados por la Unión Internacional de Comunicaciones - UIT.

Los computadores que utilizaban las redes de área extendida hasta la década de los años 70 eran equipos de gran porte conocidos como *mainframes*. De costos muy elevados, solo podían ser accedidos por muy pocas organizaciones como grandes corporaciones, universidades, agencias gubernamentales y militares e instituciones de tamaño equivalente. Demandaban instalaciones complejas con requerimientos especiales para su acondicionamiento físico. Por otra parte, en muchos casos solo se comunicaban entre sí a través de líneas dedicadas de velocidades que actualmente consideraríamos significativamente bajas.

A mediados de los años sesenta, varias empresas, como International Business Machines-IBM, Digital Equipment Corporation - DEC, Hewlett-Packard y Wang Laboratories, comenzaron a desarrollar equipos más pequeños aprovechando los avances que se realizaban por un lado en el advenimiento de la tecnología de componentes sólidos y por el otro en el desarrollo de lenguajes de programación como el Assembly y, posteriormente, el mucho más simple Basic.

Sin embargo, la palabra **microcomputadores** se originó en el año 1972 a partir de un equipo desarrollado por la empresa **R2E**, creado por el francés **François Gernelle** y denominado **Micral-N**, que utilizaba el microprocesador 8008 de 8 bit. A partir de esa fecha dicho nombre se fue generalizando.



R2E es una empresa creada en 1971, conocida por haber fabricado Micral, considerado el primer microcomputador. A partir del año 1978 esta empresa pasó a ser controlada por la empresa Bull SAS.

Posteriormente, el concepto de **computador personal** aparece en varios equipos desarrollados en forma muy primitiva como el **Apple I**, que se comenzó a comercializar en julio de 1976. Fue diseñado por **Stephen "Steve" Wozniak** de la firma Apple Inc., con sede en la localidad de Cupertino, en el Estadio de California. Luego, a comienzos de la década de los 80, la misma empresa desarrolló y comercializó la familia **Apple II**, también diseñada por Wozniak.

A su vez, en el año 1981 IBM creó y lanzó al mercado lo que ya tomó el nombre de *IBM Personal Computer*, que fue el comienzo de lo que se denominó *hardware IBM Compatible*.

El mundo de los computadores compatibles había comenzado y con él la necesidad de interconectar dichos equipos, lo que llevó al desarrollo de las **Redes Ethernet**, inventadas por **Robert Metcalfe** al final de los años 70 (ver apartado 9.1.2.3.) Fue el comienzo de las **Redes de Área Local**.

Las redes de área local comenzaron a ser construidas con cables coaxiales y, posteriormente, con cables UTP y STP. Este tipo de medio de comunicaciones, como por ejemplo el cable UTP, presentaban en un comienzo una atenuación del orden de 30 dB por kilómetro, valor elevado que limitaba las distancias que se debían cubrir entre los equipos intermedios, como lo son los *hubs* o los *switches*, y la velocidad de transmisión; de allí la idea de comenzar a utilizar fibras ópticas.

El primer uso de fibras ópticas en este tipo de redes fue para los repetidores (capa física) entre enlaces dentro de las redes conocido como *Fiber Optic Inter Repeater Link - FOIRL* (Enlace de fibra óptica entre repetidores).

Posteriormente apareció la primera norma de la Serie 802 de la IEEE que utilizaba fibra óptica: la 802.3 (15) 10BASE - FL. La misma utilizaba cable de fibra multimodo de 62.5/125 µm de longitud de onda y, a la vez, sustituía la anterior FOIRL manteniendo la compatibilidad con los equipos.

Inicialmente, la norma FOIRL había ampliado la longitud máxima de cada segmento a 1.000 m, pero esta nueva tecnología 10BASE-FL extendió ese límite a los 2.000 m. Simultáneamente, la aparición de puentes y más tarde de *switches* de capa 2 con el objeto de interconectar, por ejemplo dos redes LAN entre sí en un campus, requirió un desarrollo especial de la norma que se denominó 802.1D y permitió interconectar diferentes redes LAN a través de vínculos de fibra utilizando esos tipos de equipamiento.

Las normas para redes de área local rápidamente se extendieron a velocidades de 100 Mbps utilizando cables UTP categoría 5. Inmediatamente se desarrolló una versión para fibra especificada como 100BASE - FX y conocida como *Fast Ethernet sobre fibra* óptica, que fue parte del estándar 802.3u del año 1994.

Se comenzó a utilizar cables de fibra óptica que trabajaban a 1.300 nm de longitud de onda en el infrarrojo cercano, con lo que además de mejorar el alcance físico entre segmentos se obtenía una menor tasa de errores.

En la década de los años 70 comenzó el desarrollo de la tecnología de fibras monomodo iniciado por Charles K. Kao⁴¹. Una vez consolidada su tecnología y posterior fabricación se fueron logrando pérdidas cada vez menores, actualmente incluso menores a 1 dB/km.

Esta reducción en las pérdidas permitió el desarrollo de las Redes de Área Extendida y Redes de Área Metropolitana de carácter óptico, primero a nivel nacional y luego a nivel intercontinental utilizando enlaces punto y punto.

La tecnología para el transporte de las señales digitales que utilizaba medios asincrónicos, como era el caso de la Jerarquía Digital Plesiócrona, dio paso al uso de modos sincrónicos. Tal es el caso de la denominada Jerarquía Digital Sincrónica - SDH (adoptada mayormente por los países europeos) o la llamada Óptica Network - SONET (adoptada por Estados Unidos), que además de ir reemplazando los métodos asincrónicos permitieron agregar en el nivel óptico las posibilidades de conmutación, gran flexibilidad y velocidades mucho mayores.



Charles Kuen Kao (Shanghái, 1933). Realizó sus primeros estudios en la Universidad China de Hong Kong. Se ha desempeñado como docente e investigador. Se dedicó al estudio de las fibras ópticas buscando los mejores materiales para disminuir la atenuación de las mismas. Por sus trabajos recibió el Premio Nobel de Física 2009. Es considerado el padre de la fibra óptica.

Actualmente, los métodos sincrónicos compiten en el empleo de las redes ópticas con nuevos desarrollos efectuados en el campo de las Redes de Área Local que fueron pasando rápidamente de 1 a 10,40 y 100 Mbps.

Precisamente, cuando en la capa de transporte óptica se logró obtener velocidades de 10 Gbps se produjo la convergencia de las funciones de transporte y servicios a través del uso de las redes con tecnología IP, que podían funcionar sobre la capa de transporte a esa velocidad común a ambas tecnologías.

Claramente, las **redes ópticas** son absolutamente independientes de los protocolos que se operan sobre ellas, aunque la relación inversa no es cierta; es decir, muchos protocolos actuales están normados para funcionar sobre redes ópticas exclusivamente. De allí la importancia de estas redes.

8.6.1.2 Definición y características

Se denominan redes ópticas a:

Aquellas redes de telecomunicaciones de muy alta capacidad basadas en tecnologías ópticas que poseen sus distintos nodos interconectados por enlaces de fibra óptica y son capaces de proporcionar funciones de transporte, multiplexación, enrutamiento y gestión, constituyendo una capa de bajo nivel denominada Capa de Transporte Óptico sobre la cual pueden funcionar diversas tecnologías que permiten dar conectividad utilizando las mismas como Capa Física del Modelo OSI.

Dichas redes proporcionan, a tal fin, señales portadoras digitales que son independientes de los distintos protocolos que los usuarios requieren según sus necesidades. Sus características están descriptas en la Recomendación G.872de la UIT.

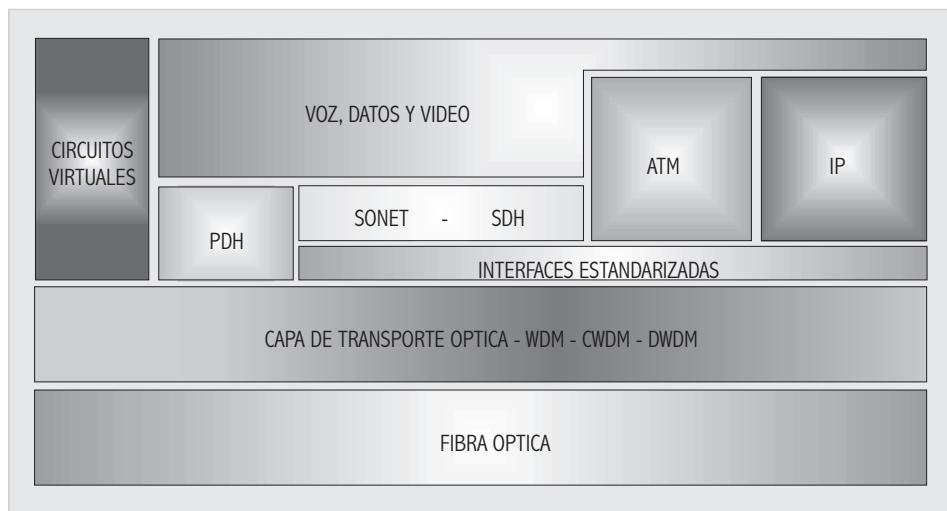


Fig. 8.18. Arquitectura de Capas.

La Fig. 8.18. muestra un ejemplo de las interrelaciones entre los distintos protocolos y circuitos virtuales y la **Capa de Transporte Óptico** a través de un modelo de capas. En la figura se describe su relación con el funcionamiento de los servicios o de circuitos virtuales. La Capa de Transporte Óptico opera utilizando fibras de distinto tipo según el ámbito en que las redes operen, como podrían ser las multimodo, monomodo y dentro de estas en algunos casos del tipo WDM, CWDM y DWDM.

Mientras que en el caso de la jerarquía sincrónica PDH o de los circuitos virtuales se utiliza directamente la capa óptica para el transporte de información, en los casos en que se utilicen las tecnologías WDM, CWDM o DWDM el transporte dependerá de las interfaces estandarizadas que se adopten dentro de las distintas variantes existentes antes señaladas. Además del transporte de las señales, los protocolos que se describen para ellas permiten funciones que tienen una mayor o menor capacidad de conmutación.

En las redes actuales, la Capa de Transporte Óptico permite brindar servicio a distintas capas de diferentes tipos de protocolos de comunicaciones. Cada uno de ellos tiene requisitos específicos que permiten prestar la amplia gama del conjunto de servicios requeridos por los usuarios.

En particular, mientras ATM e IP pueden ser soportados por distintos medios de comunicaciones, los protocolos SDH y SONET solo están diseñados para operar exclusivamente sobre la capa de transporte óptica a través de las interfaces correspondientes. Estas últimas serán motivo de análisis y desarrollo en el apartado 8.7 y siguientes.

Para su funcionamiento, la Capa de Transporte Óptico requiere utilizar, además del elemento básico que son las fibras ópticas, distintos equipos tales como *transponder*, multiplexores, amplificadores y otros que se explicitarán en detalle.

La Fig. 8.19. muestra el esquema de un tramo de una red óptica. Las características de cada equipo se irán describiendo en el apartado 8.6.2.

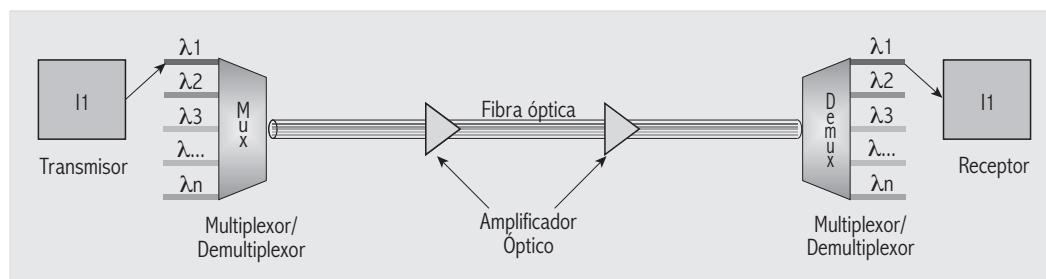


Fig. 8.19. Esquema de una Red Óptica.

En muchos casos estos equipos tienen características de funcionamiento eléctricas y ópticas. Esto permitiría describirlos como **redes ópticas mixtas**. Sin embargo, actualmente se puede hablar de redes en donde la totalidad de su equipamiento es puramente óptico, cualesquiera sean las funciones a cumplir. En esos casos podríamos hablar de **redes ópticas pures**.

El uso primero de la **Multiplexación por Longitud de Onda - WDM** y posteriormente de las que han alcanzado un segundo estado de desarrollo, la **Multiplexación Gruesa por División de Longitud de Onda - CWDM** y la **Multiplexación Densa por División de Longitud de Onda - DWDM**, ha ampliado a límites impensados los anchos de banda prácticos sobre fibras ópticas.

Las últimas tienen mayor rendimiento y utilizan los nuevos avances en las técnicas de amplificación óptica, proporcionando una mejor economía de escala. Su despliegue permite obtener mayor rentabilidad, pues se adaptan a los distintos modelos de negocio y a las condiciones cambiantes del tráfico actual.

8.6.1.3 Ventajas de las redes ópticas

En términos generales, las redes ópticas poseen un conjunto de ventajas sobre otras redes de comunicaciones que las hacen sumamente atractivas:

- Se pueden obtener grandes anchos de banda por fibra instaladas.
- Son compatibles con los servicios de voz, datos y vídeo.
- Anchos de banda variables y escalables con una latencia adecuada.
- Avances tecnológicos continuos, en especial en la tecnología DWDM.
- Posibilidad de instalar cables construidos con varias fibras en razón de que cada una posee un diámetro y peso reducido.
- Son inmunes a las interferencias electromagnéticas.
- Poseen tasas de errores reducidas.
- Las fibras poseen una atenuación muy baja, lo que permite extender la distancia de transmisión utilizando muy pocos amplificadores o en algunas distancias directamente eliminando su necesidad.
- Proporcionan un mayor grado de seguridad que los enlaces de cable de cobre o los de naturaleza inalámbrica.
- Operación sumamente flexible.
- Excelente rentabilidad para sus operadores.

8.6.2 Sistemas ópticos WDM, CWDM y DWDM

8.6.2.1 Fibras ópticas

La empresa Corning Glass Incorporated introdujo las primeras fibras ópticas en el mercado de telecomunicaciones en el año 1970. Estaban constituidas por fibra de vidrio purificado con una calidad que las hacía utilizables en las redes de comunicaciones. Tenían una atenuación del orden de 20 dB/km para la longitud de onda de 633 nm, correspondiente al láser de helio-neón.

A partir de ese desarrollo los laboratorios más importantes buscaron obtener menores atenuaciones. Para ello se buscaron dos caminos paralelos: perfeccionando los materiales y los métodos de fabricación de fibras ópticas, y desarrollando láseres de semiconductor que emitieran en la zona del infrarrojo donde la atenuación era menor. Esto último fue lo que abrió el camino al uso de la segunda y tercera ventana.

En 1973 se consiguió una atenuación de 2 dB/km utilizando la primera ventana a 850 nm. En 1976 se mejoraron los valores bajándolos a 0.5 dB/km al trabajar sobre la segunda ventana a 1300 nm.

Los distintos avances que se fueron logrando estaban directamente relacionados con el uso de las distintas zonas del espectro de frecuencias (longitudes de onda) que buscaban utilizar las regiones del espectro óptico donde la atenuación óptica era más baja. Estas regiones, llamadas ventanas, se encontraban entre las zonas de alta absorción.

La necesidad de cubrir distancias de mayor longitud, como cuando se pasa de las redes de área local a las redes metropolitanas o las de área extensa, requirieron el desarrollo de fibras ópticas de mayor rendimiento aún. Fueron logradas en 1979 cuando se pudo trabajar en la tercera ventana a longitudes de onda de 1550 nm. De esta forma se logró una atenuación de 0.2 dB/km, valor que fue mejorado en 1982 a uno de solo 0.15 dB/km.

Esto significaba que la luz podía propagarse en el interior de una fibra óptica hasta distancias del orden de los 100 km sin necesidad de repetidores frente a la corta distancia necesaria en comunicaciones eléctricas. Debido a estos progresos, en la década de los 80 se llevó a cabo, de forma masiva, la instalación de fibra óptica para comunicaciones.

El primer uso importante fue realizado por la empresa AT&T, que utilizó fibras multimodo para establecer enlaces punto a punto sobre líneas digitales multiplexadas en modo plesio-crono con el estándar DS3 a una velocidad de 45 Mbps (ver Tabla 8-5). Posteriormente, con la aparición de las fibras monomodo se alcanzaron velocidades de transmisión hasta 10 veces mayores en tramos del orden de los 30 km aproximadamente.

En particular, se deben utilizar las fibras monomodo que trabajan en la tercera ventana ubicada en los 1.550 nm o últimamente, a partir del importante progreso tecnológico y las continuas mejoras en cuanto a materiales especialmente desarrollados, en una cuarta ventana en el orden de los 1.600 nm.

La Tabla 8-8 nos muestra las denominaciones y los intervalos de longitudes de onda que corresponden a cada una de las bandas utilizadas actualmente por distintos tipos de fibras ópticas.

Tabla 8-8 Bandas de trabajo con fibras ópticas

Banda	Denominación	Intervalo [nm]	Observaciones
O	Original	1260 - 1360	Original
E	Extendida	1360 - 1460	Extended
S	Longitudes de ondas cortas	1460 - 1530	Short wavelength
C	Convencional	1530 - 1565	Conventional
L	Longitudes de ondas largas	1565 - 1625	Long wavelength
U	Longitudes de ondas ultra largas	1625 - 1675	Ultra long wavelength

La Fig. 8.20. muestra la ubicación de los distintos intervalos utilizados en las fibras ópticas en el entorno del espectro de frecuencias del espectro visible. En la banda E (extendida) existe un pico con una fuerte atenuación en las fibras monomodo ubicado en el orden de los 1.400 nm (ver Fig. 5.45). Actualmente existen fibras especiales que eliminan el fenómeno físico que lo origina y son especialmente utilizadas en la tecnología CWDM.

Inicialmente, los altos costos de la fibra óptica motivaron a la industria a buscar optimizar su utilización. Los primeros resultados se obtuvieron en el año 1994, cuando se introdujo, a través de la firma IBM, el primer equipamiento de fibras ópticas monomodo que utilizaba el concepto de WDM.

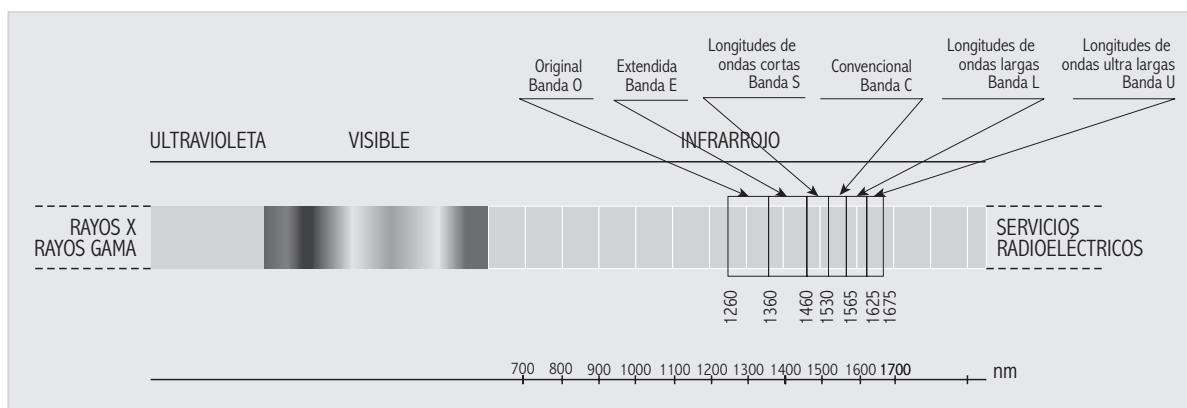


Fig. 8.20. Ventanas utilizadas por los distintos tipos de fibras ópticas.

Los equipamientos para uso con tecnología DWDM aparecieron en 1996 y la generalización de uso masivo se debió, entre otros factores, a los siguientes:

- Utilización de estas fibras por parte de las empresas de telecomunicaciones.
- Muy buena relación coste/beneficio.
- Gran número de fabricantes que mejoró la relación de precios de los componentes optoelectrónicos.
- Reducción de tamaño, menor complejidad y consumo de energía eléctrica y confiabilidad.
- Aumento exponencial del tráfico de voz, datos y vídeo, especialmente por el fenómeno que produce continuamente en los desarrollos tecnológicos la Red Internet.

Los equipos poseían una atenuación media de 0,2 dB/km y permitían operar en canales de velocidades de 200 Mbps utilizando interfaces propietarias a distancias de entre 43 a 50 km en modo bidireccional. Se utilizaba para ellos solamente un par de fibras. Tenían capacidad para multiplexar la longitud de onda inicialmente en ocho canales, posteriormente en diez y luego a cuarenta operando en la banda C - tercera ventana.

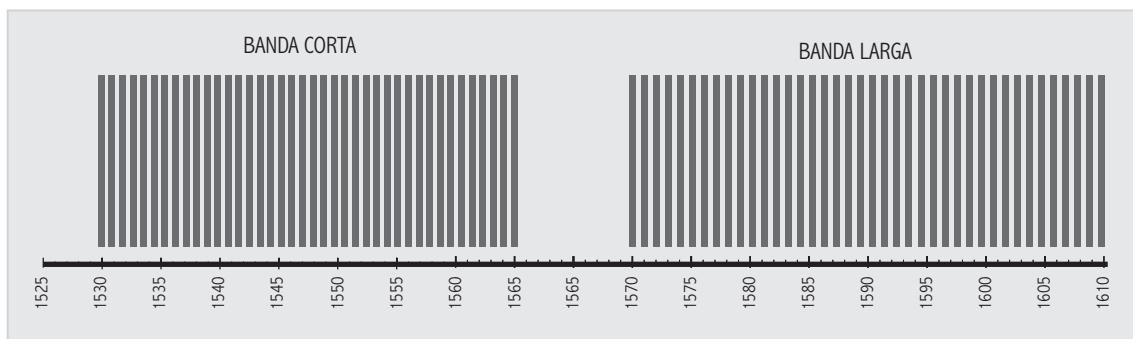


Fig. 8.21. Distribución de portadoras sobre (40)fibras DWDM.

La Fig. 8.21. permite apreciar un sistema DWDM aun más complejo en el que se han generado ochenta portadoras utilizando las bandas C y L. Para ellos se utilizan los intervalos que van de los 1.530 a 1.565 y los 1.570 a los 1.610 nm. Dentro de cada uno de ellos se multiplexan cuarenta portadoras por división de frecuencia.

8.6.2.2 Sistemas de transmisión por fibras

Un sistema de transmisión por fibra óptica DWDM está compuesto por dos equipos denominados *transponder* y multiplexor, ubicados en ambos extremos de la fibra y, adicionalmente, en función de la longitud del tramo a ser cubierto, amplificadores que mantengan la amplitud y forma de la señal.

La Fig. 8.22. muestra el esquema de enlace de dos puntos usando fibras que provienen de diferentes fuentes y que son multiplexadas en una única fibra DWDM.

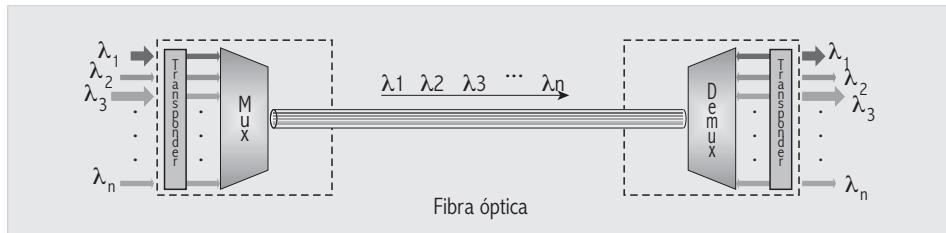


Fig. 8.22. Esquema de funcionamiento unidireccional utilizando fibras DWDM.

Las señales deben estar separadas en forma uniforme y deben llegar al multiplexor que las introducirá en portadoras de distinta longitud de onda con señales ópticas de la misma intensidad y separadas en valores uniformes, de manera que no se produzca interferencia por ruido de intermodulación y diafonía (ver apartados 4.7.3.3 y 4.7.3.4)

Adicionalmente, se deben utilizar transmisores láser de alta calidad para reducir la dispersión cromática de cada canal y utilizar fibras con baja dispersión. Así es que las señales ópticas llegan a los *transponder* con distintas intensidades y características.

Los *transponder* son equipos que actúan como interfaces entre las señales ópticas moduladas originadas en distintas fuentes y los multiplexores. Los mismos convierten señales ópticas de segunda o tercera ventana con anchos espectrales variables entre los 5 y los 30 nm y normalizan y uniforman las distintas señales ópticas que reciben. Son los que permiten que ingresen al multiplexor con las mismas características y en el rango de longitudes de onda que coincide exactamente con los canales que se van a transmitir por el multiplexor sin interferirse entre ellos.

El multiplexor le asignará a cada uno de los canales que recibe del *transponder* una portadora diferente e injectará la misma en la fibra óptica. Las distintas portadoras viajarán por ella hasta el otro extremo en el que serán desmultiplexadas nuevamente. El *transponder* del extremo receptor les devolverá luego sus características iniciales.

8.6.2.3 Sistemas unidireccionales y bidireccionales

Los sistemas WDM sobre una única fibra pueden funcionar en forma unidireccional o bidireccional. Cuando se utilizan sistemas unidireccionales para la transmisión en ambos sentidos se deben utilizar dos fibras: una para transmisión y otra para recepción. Las normas que utilizaron los fabricantes se denominaron WDM D (*dense*) o C (*coarse*), llamados en forma simplificada equipamientos D/C/WDM (Multiplexación Densa DWDM y Multiplexación Gruesa - CWDM).

La Fig. 8.23. muestra un diagrama bloque de un esquema unidireccional utilizando fibras ópticas de tecnología DWDM y CWDM.



La tecnología WDM evolucionó hacia tecnologías superadoras como son DWDM y CWDM. Esta última está indicada para entornos metropolitanos, pues ofrece anchos de banda mayores a WDM a costos relativamente más bajos que DWDM, resultando más competitiva a distancias cortas. En particular, posee menores costos de sus componentes ópticos asociados a ella, al ser menos complejos. Sin embargo, posee limitaciones en cuanto a capacidad y distancias que cubre.

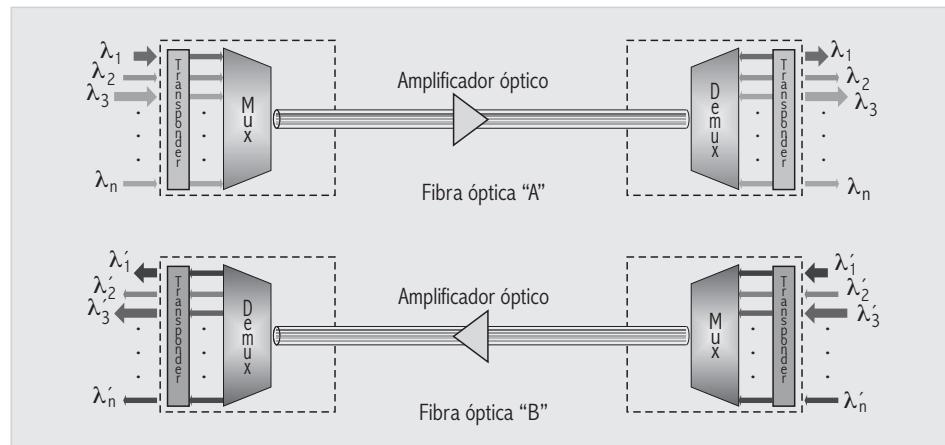


Fig. 8.23. Esquema de funcionamiento bidireccional sobre dos fibras WDM.

Los sistemas bidireccionales pueden intercambiar tráfico en ambas direcciones sobre una única fibra óptica, presentando la ventaja de que disminuyen la cantidad de fibras que es necesario utilizar en un cable.

La Fig. 8.24. muestra un diagrama bloque de un esquema bidireccional utilizando fibras ópticas de tecnología DWDM. Los sistemas bidireccionales no son utilizados en la tecnología CWDM.

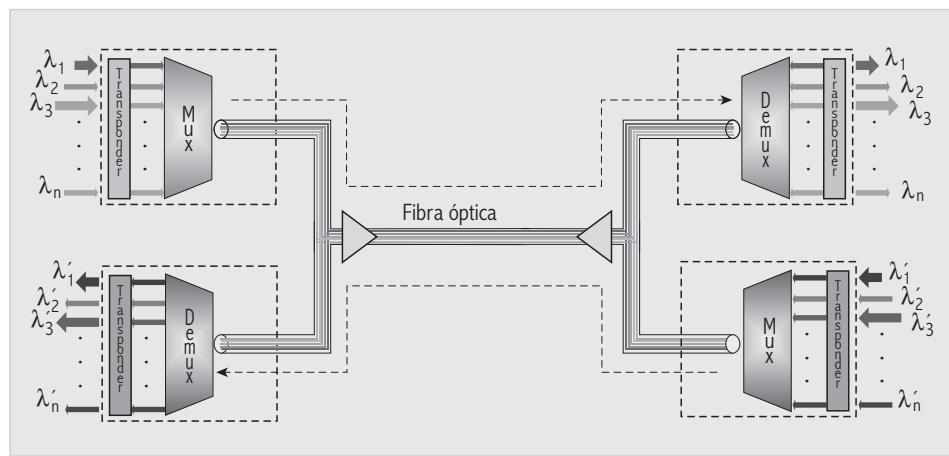


Fig. 8.24. Esquema de funcionamiento bidireccional sobre una fibra WDWM.

8.6.2.4 Capacidad de las fibras

Las fibras de distintas tecnologías DWDM están en condiciones para que con los sistemas ópticos que con ellas se puedan construir se obtengan distintas configuraciones. Por ejemplo: 40 canales separados a 100 GHz cada uno, 80 canales separados a 50 GHz o, como se están obteniendo en últimos desarrollos, hasta 160 canales ópticos separados entre sí por 25 GHz.

En los casos en que se separan los 80 canales en espacios de 50 GHz se obtienen 40 utilizando la banda C entre 1530-1565 nm y otros 40 en la banda L operando entre 1570-1610 nm.

Como regla general, cuanto mayor es el número de canales en que se multiplexan en una fibra, menor es la velocidad a la que se puede transmitir por cada uno de ellos.

Los distintos sistemas están relacionados con las tecnologías desarrolladas por los distintos fabricantes. Así, hay sistemas de 80 canales de 2,5 Gbps cada uno, lo que permite transportar 200 Gbps en total, otros de 40 canales de 10 Gbps transportando 400 Gbps, y casos de fibras que son multiplexadas en 80 canales que operan a 10 Gbps cada uno y que permiten transportar un total de 800 Gbps.

Se estima que es posible alcanzar mayores capacidades en el futuro a medida que avance la tecnología, apreciándose que la capacidad teórica de una sola fibra monomodo que trabaje en la tercera ventana alcance una capacidad total de 1,6 Tbps. De hecho, ya hay actualmente sistemas que operan con 160 canales funcionando a 10 Gbps y que pueden operar hasta el orden de los 1.000 km antes de requerir la colocación de amplificadores.

Actualmente, las tecnologías sincrónicas SDH y SONET están compitiendo fuertemente con nuevos estándares como Ethernet a 100 Mbps sobre fibra. Esta comenzó a ser estudiada en el año 2008, fue aprobada en junio de 2010 con alguna variante adicional agregada en marzo de 2011 y es conocida como IEEE 802.3ba.

8.6.2.5 Atenuación en la propagación de las señales ópticas

En los sistemas de comunicaciones ópticas, la propagación de las señales a través de las fibras que interconectan transmisores y receptores sufren atenuaciones debido a los distintos componentes que integran este tipo de sistemas, tales como las mismas fibras, los acopladores, multiplexores, *transponder*, etc., que durante el recorrido van acumulando pérdidas.

Por lo tanto, después de ciertas distancias la acumulación de estas pérdidas requiere que las señales sean tratadas para restaurar su nivel de calidad y puedan ser procesadas en su destino en forma adecuada.

Inicialmente, para esta tarea se utilizaron regeneradores que requerían que las señales fueran convertidas de ópticas a eléctricas y nuevamente en ópticas para que las mismas pudieran continuar el proceso de transmisión. Los regeneradores funcionan con las técnicas que oportunamente fueron descriptas en el apartado 2.3 (Fig. 2.7).

Actualmente, esta técnica ha sido superada por **amplificadores ópticos** que no requieren la conversión óptica - eléctrica – óptica, ofreciendo sólidas ventajas respecto al procedimiento que se ejecutaba con los regeneradores. El uso de amplificadores ópticos permite transmitir señales ópticas a distancias mucho mayores sin la necesidad de utilizar regeneradores.

Luego, entenderemos como amplificadores ópticos a:

Aquellos equipos que amplifican las señales ópticas transmitidas por medio de fibras utilizando técnicas fotónicas y sin necesidad de una conversión óptica-electro-óptica.

La utilización de fibras ópticas en redes de comunicaciones que sobrepasan los mil kilómetros y más han convertido a los amplificadores ópticos en componentes esenciales de este tipo de redes. Los mismos permiten mejorar el rendimiento de estos sistemas diseñados para cubrir largas distancias disminuyendo fuertemente los efectos de la atenuación y la dispersión.

Los tres tipos de amplificadores ópticos más comunes son los siguientes:

- Dopados con tierras raras.
- Raman.
- Con semiconductores ópticos.

Los amplificadores ópticos poseen numerosas ventajas respecto a los regeneradores, aunque también algunas desventajas. No obstante, las primeras superan en eficiencia claramente a las segundas. Se pueden mencionar las siguientes diferencias entre unos y otros:

- No son dependientes de la velocidad de transmisión y los procedimientos de modulación.
- Permiten con facilidad aumentar las velocidades de transmisión sin necesidad de cambios.
- Amplifican señales en grandes anchos de banda, lo que facilita la amplificación de las varias señales que se transmiten multiplexadas por una única fibra.
- Introducen ruido adicional.
- No siempre su amplificación es independiente de la longitud de onda, pese a que se busca en su diseño que la curva de amplificación sea plana.

8.6.2.6 Amplificador de Fibra Dopada con Erbio - EDFA

Uno de los tipos más utilizados como amplificadores ópticos son aquellos que utilizan fibras dopadas con tierras raras, en particular como se describirá en este tipo de equipos, aquellos que utilizan erbio ionizado en forma trivalente. El erbio (Er^{3+}) es un elemento químico cuyo número atómico es 68.

Estos amplificadores utilizan un fenómeno físico conocido como emisión estimulada. El mismo fue introducido por Albert Einstein en el año 1917. A diferencia de la emisión espontá-



Un amplificador óptico es un equipo que amplifica las señales ópticas transmitidas por medio de fibras utilizando técnicas fotónicas y sin necesidad de una conversión óptica-electro-óptica.

nea que se reparte por igual en todas las direcciones del espacio, la emisión estimulada solamente tiene lugar en la misma dirección y sentido del haz de luz que actúa como estimulador.

Los fotones emitidos por emisión estimulada, al tener las mismas características que los fotones estimuladores, permiten amplificar un haz de luz al pasar por un medio material en el que se provocan más emisiones estimuladas que absorciones.

Para lograr amplificar el haz de luz que se propaga por la fibra, se requiere que una sección esté dopada con erbio (Er^{3+}) trivalente. A esa sección se la conoce como Fibra Activa. La estimulación que se necesita para excitar a los átomos de dicho medio material se genera a través de lo que se denomina energía de bombeo. Luego, la sección del medio estimulado compuesto por la fibra activa procederá a transferir una parte de la energía recibida en forma de fotones al haz de luz que la misma transporta. La Fig. 8.25. muestra un esquema de funcionamiento de este tipo de amplificadores.

Las fibras dopadas con erbio que funcionan como amplificadores ópticos utilizan como bombas de energía externa láseres de onda continua de 980 o 1.480 nm. La luz irradiada por emisión estimulada por la fibra activa posee una longitud de onda de 1.530 nm, amplificando el conjunto de todas longitudes de onda que transporta la fibra multiplexada.

El principio de funcionamiento básico podrá resumirse de la siguiente forma: un haz de luz generado por una bomba láser de onda continua con una potencia adecuada es mezclado con la señal de entrada utilizando un acoplador selectivo en longitudes de onda, donde la señal de entrada y la luz de excitación poseen longitudes de onda diferentes.

La salida del acoplador está unida a una sección de fibra óptica cuyo núcleo esté dopado con erbio ionizado. El haz de luz de potencia generado por la bomba excita los iones de erbio hacia su estado de mayor energía.

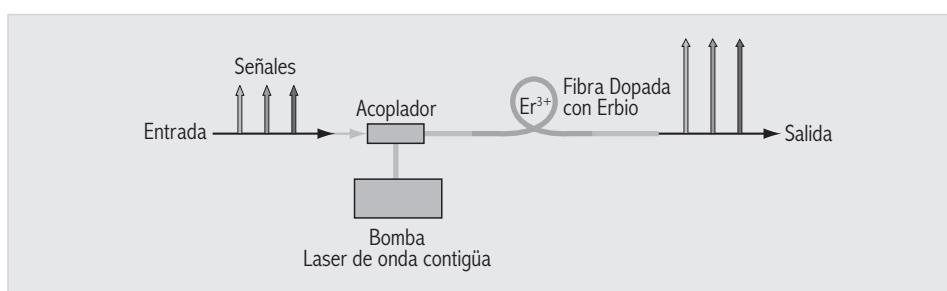


Fig. 8.25. Esquema de funcionamiento de un Amplificador Óptico Dopado con Erbio.

Cuando los fotones que pertenecen a la señal de entrada se encuentran con los átomos excitados de erbio, estos ceden parte de su energía a la señal de entrada y vuelven a su estado inicial de baja energía. Este fenómeno tiene lugar repetidamente en el trayecto de los fotones por la fibra dopada y las repeticiones son las que dan origen a la ganancia del amplificador.

Cabe aclarar que el erbio cede su energía en forma de fotones adicionales que están exactamente en la misma fase y dirección que la señal lumínica que se amplifica. Luego la señal lumínica solo se amplifica en su dirección de propagación.

Este tipo de amplificación genera cierta cantidad de ruido que limita su uso cuando se desean colocar varios amplificadores sobre una misma fibra. La razón es que se produce un efecto secundario no deseado cuando los iones decaen sin un impacto de un fotón.

Los EDFA se utilizan fundamentalmente en fibras DWDM que cubren las bandas C y L. Sin embargo, con el objeto de obtener un mayor rendimiento existen diferencias en su construc-

ción según sea la banda en la que serán utilizados. Cuando se utilizan para amplificar en la banda L, la longitud de la fibra dopada es mayor que cuando se utiliza en la banda C.

Como actualmente también se utilizan longitudes de onda menores, en esos casos en lugar de erbio los dopantes son otras tierras raras que tienen un mejor comportamiento. Las fibras dopadas con tulio (*Thulium*, número atómico 69) son usadas en la banda S e incluso en las fibras monomodo que trabajan en la segunda ventana y aun sobre la primera ventana.

En muchos casos se utiliza una combinación de tulio y erbio, y se obtiene un rango de efectividad importante en un intervalo mayor de longitudes de onda. El praseodimio (*Praseodymium*, número atómico 59) se utiliza como amplificador en la segunda ventana, es decir, sobre la banda O.

8.6.2.7 Amplificador Raman

Este tipo de amplificadores ópticos está construido sobre la base de lo que se conoce como **Dispersión Raman** (*Raman Scattering*) o **Efecto Raman**. Este fenómeno fue el resultado de investigaciones iniciadas en el año 1922 por el físico indio **Chandrasekhara Venkata Raman** y publicadas en un trabajo que se denominó *Difracción Molecular de la Luz*.

En 1928, luego de una serie de experimentos sobre la dispersión de la luz, se comprobó la existencia del fenómeno estudiado por Raman. Este investigador, junto con **Kariamanickam Srinivasa Krishnan**, dieron a conocer los resultados obtenidos. En honor a su descubrimiento, hoy se conoce a este fenómeno como **Dispersión Raman**.

Estos sistemas de amplificación se basan en un proceso de interacción no lineal entre la señal óptica y una señal generada por una bomba de gran potencia. Las bombas que utilizan estos amplificadores utilizan diodos láser que generan ondas continuas de luz. Las fibras monomodo utilizadas con amplificadores Raman no requieren ser dopadas con tierras raras.

La señal generada por la bomba se puede acoplar a la fibra que lleva la señal en la misma dirección en la que se transmite, denominado entonces bombeo codireccional. O también se puede enviar en sentido contrario, y en ese caso se llamará bombeo contradireccional. Es más habitual el bombeo contradireccional para evitar la amplificación de las componentes no lineales.

De esta forma, la fibra monomodo convencional ya instalada puede ser usada como medio para obtener ganancia con la amplificación Raman. Sin embargo, se obtienen mejores resultados empleando fibras especialmente diseñadas que sean fuertemente no lineales, en las que se introducen dopantes como el germanio.

La Fig. 8.26. muestra un amplificador Raman típico. Se puede observar un láser de una potencia importante que compone la bomba. Esta envía la señal a un acoplador direccional que amplificará las señales que se transmiten por la fibra en sentido inverso al de la transmisión.

Para obtener una buena amplificación se utilizan potencias de bombeo de hasta 1 W y hasta 1,2 W para amplificación en banda L en fibra monomodo estándar. Además, normalmente se emplean más de dos diodos para el bombeo.

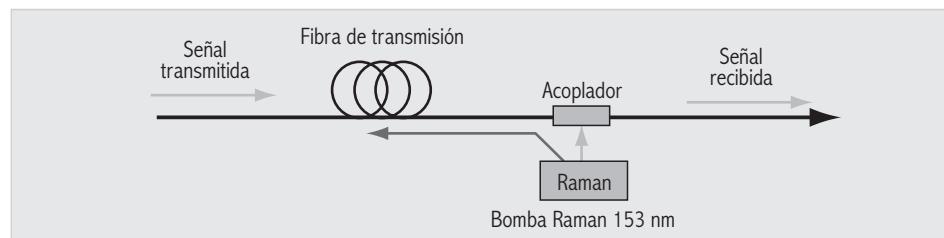


Fig. 8.26. Esquema de un amplificador Raman típico.



Sir Chandrasekhara Venkata Raman (1888-1970). Descubrió, en 1930, el Efecto Raman. Este fenómeno consiste en que una parte de la luz, cuando se desvía al atravesar un medio transparente, cambia de longitud de onda. Esta teoría fue confirmada en 1928 mediante trabajos de laboratorio. Por dicho descubrimiento, Raman fue designado Caballero en 1929 y Premio Nobel de Física en 1930. La India celebra el 28 de febrero el Día Nacional de la Ciencia en conmemoración por su descubrimiento.

Sir Kariamanickam Srinivasa Krishnan (1898-1961). Fue un destacado físico indio. Es codescubridor del Efecto Raman. En 1930 recibió junto con Chandrasekhara Raman el Premio Nobel de Física.

En muchos casos este tipo de amplificadores se utiliza con amplificadores EDFA con el objeto de ampliar el ancho de banda de la ganancia óptica combinado y adicionalmente disminuir el nivel de ruido.

8.6.2.8 Amplificador óptico de semiconductores

Los amplificadores ópticos de semiconductores conocidos como SOAs son diodos láser sin espejos finales con fibras unidas en cada extremo. Poseen una capa antireflectante y una guía de onda cortada en ángulo para evitar que la estructura se comporte como un láser. La Fig. 8.27. muestra un esquema de un amplificado óptico de semiconductores.

Trabajan entre los 1310 y 1550 nm, actúan en modo bidireccional y están construidos en tamaños reducidos. Comparados con los EDFA, sus prestaciones no resultan tan efectivas. Poseen menos ganancia que aquéllos y sus mayores inconvenientes son: altas perdidas por acoplamiento, mayor factor de ruido, fuerte dependencia de los efectos derivados de la polarización y un comportamiento no muy lineal cuando se operan a elevadas velocidades.

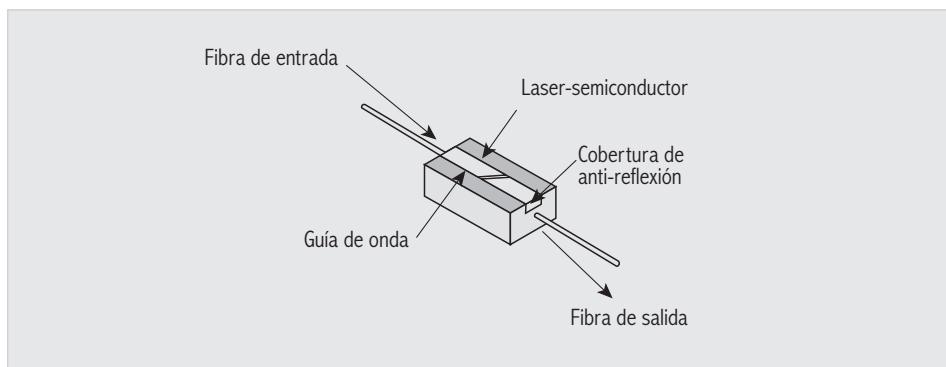


Fig. 8.27. Esquema de un amplificador óptico de semiconductores.

Sin embargo, su significativa no linealidad los hace atractivos para aplicaciones como la conmutación óptica, como refuerzo para amplificar las señales que ingresan a un conversor de longitud de onda como los que poseen los *transponder*, o para ser colocados antes de detectores para mejorar su sensibilidad. Por tal causa pueden integrarse con otros dispositivos tales como láseres, moduladores, *transponder*, etc. Por último, el bombeo se implementa de forma eléctrica y resultan más económicos que los EDFA.

8.6.2.9 Funciones que realizan los distintos tipos de hardware óptico

Actualmente, casi la totalidad de las funciones que se requieren en los sistemas de comunicaciones pueden ser realizadas por hardware totalmente óptico.

En la Fig. 8.28., pueden observarse las funciones más importantes que se requieren en los distintos equipos de comunicaciones., así como los esquemas de funcionamiento de esta tecnología. Una descripción más detallada de estos equipamientos excede el alcance de este libro.

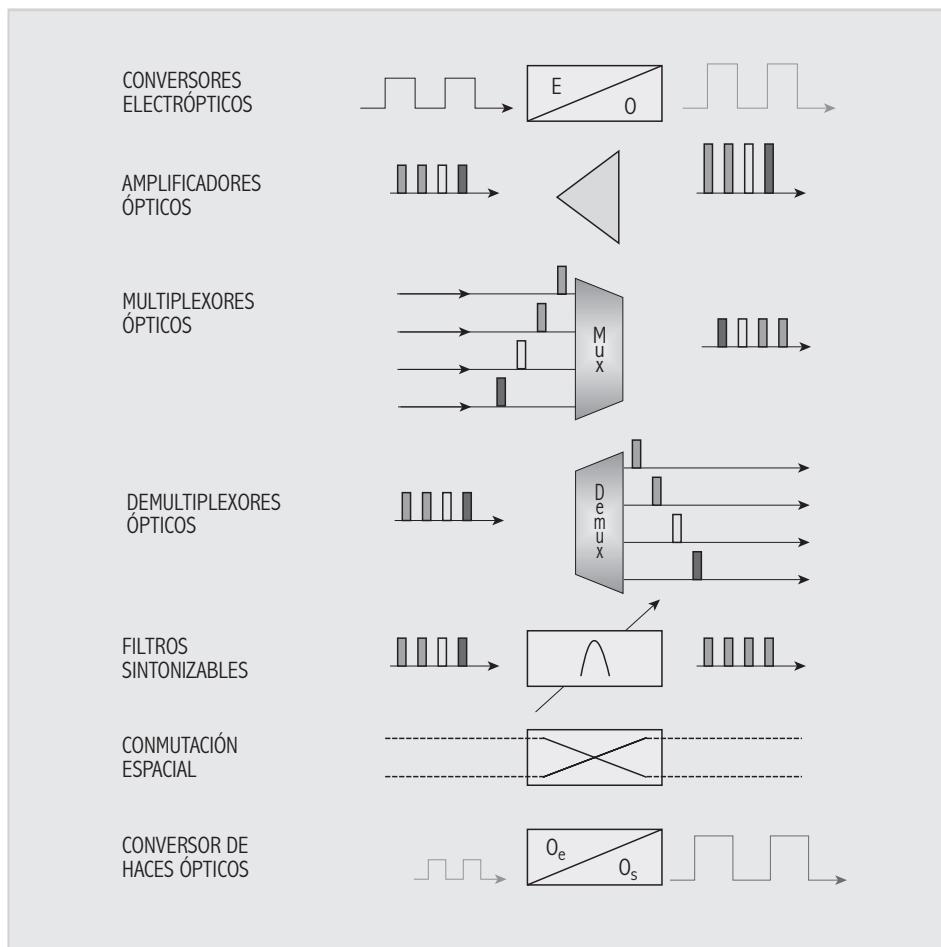


Fig. 8.28. Funcionamiento de los Sistemas de transporte WDM.

8.7 Transmisión sincrónica

8.7.1 Introducción

Las redes que utilizaban la tecnología digital plesioícrona, aunque en muchos casos contaban con una capacidad importante, limitaban seriamente las posibilidades de los operadores de comunicaciones para responder a las demandas de un mercado en continua expansión.

Esto se debía principalmente a que dichas redes se desarrollaron con las limitaciones de la propia tecnología en transmisiones **punto a punto**, dado que cuando se instalaban enlaces de gran capacidad para proveer conectividad de velocidades menores se debía proceder con un proceso de demultiplexación complejo paso a paso hasta alcanzar los niveles inferiores necesarios.

Los sistemas de multiplexación construidos sobre la base de la **Jerarquía Digital Plesioícrona - PDH** están concebidos para que varias señales tributarias de orden inferior se junten en multiplexores para obtener otras de mayor capacidad y órdenes superiores, tal como se ha podido observar en la Fig. 8.16.

Debido a la naturaleza del propio sincronismo de este tipo de multiplexación, si por ejemplo se desea acceder desde un orden superior a una señal del **Grupo Primario de 2,048 Mbps**, toda la estructura de la señal de línea debe demultiplexar etapa por etapa hasta llegar al nivel deseado.

Se puede destacar que la limitación más importante de esta tecnología está referida a la poca **flexibilidad**; entendiendo por un **sistema flexible** a uno en el cual el acceso a cualquier señal tributaria se pueda obtener sin necesidad de demultiplexar toda la señal de línea, etapa por etapa, hasta llegar al nivel apropiado.

Esta necesidad resulta más evidente en los sistemas de alta y media capacidad que se han venido instalando en las grandes ciudades con el objeto de proporcionar conectividad para los servicios de voz, datos e imágenes (fijas y móviles).

Es usual la necesidad de proveer desde un vínculo digital que está funcionando a velocidades del orden de los 500 Mbps o más señales de la capacidad de uno o dos **grupos básicos**. Por ejemplo, cuando se necesita llegar a un usuario final con tramas E1, que permitan cada una proporcionar 30 canales digitales de 64 kbps con el objeto de poder conectar una **Central Telefónica Privada - PABX**.

Los sistemas plesiócronos no permiten pasar directamente de una velocidad correspondiente a un **Grupo Cuaternario** a uno menor en forma directa. Debido a su funcionamiento asincrónico, requieren ir descendiendo de nivel en nivel hasta llegar al deseado.

Esta situación representaba una seria limitación, junto con otras, entre las que pueden citarse las siguientes:

- Alto costo por falta de flexibilidad.
- Baja capacidad de control y mantenimiento.
- Estructura de la trama distinta para cada orden jerárquico.
- Sistemas propietarios, dado que las informaciones que transporta la trama, tales como datos para la operación, control de la tasa de errores (BER), canales de servicios, entre otros, dependen del diseño de la empresa que fabrica los equipos multiplexores.
- Aplicación limitada a redes interurbanas e internacionales de largo recorrido.

A los sistemas plesiócronos por tales razones se los denomina de **multiplexación asincrónica** por cuanto los relojes de cada nivel de multiplexación no están sincronizados entre sí.

Los proveedores actuales requieren sistemas donde puedan gestionar rápidamente variaciones del ancho de banda, en función de sus necesidades, en forma económica y flexible. De esta manera podrán brindar a sus clientes la posibilidad de ejercer el control de los canales contratados y solicitar cambios en los anchos de banda contratados a partir de sus necesidades.

Los problemas que presentan este tipo de servicios son resueltos mediante los sistemas de **multiplexación sincrónica** denominados **Jerarquía Digital Sincrónica - SDH** (en su versión europea) y **SONET** (desarrollada en los Estados Unidos de Norteamérica).

Estos dos sistemas han sido diseñados para el transporte y commutación de señales digitales sincrónicas de manera que provean una infraestructura sencilla, económica y flexible. Este tipo de cualidades no estaban presentes hasta hace pocos años en las redes de telecomunicaciones con los anteriores sistemas de multiplexación, tanto analógicos como digitales.

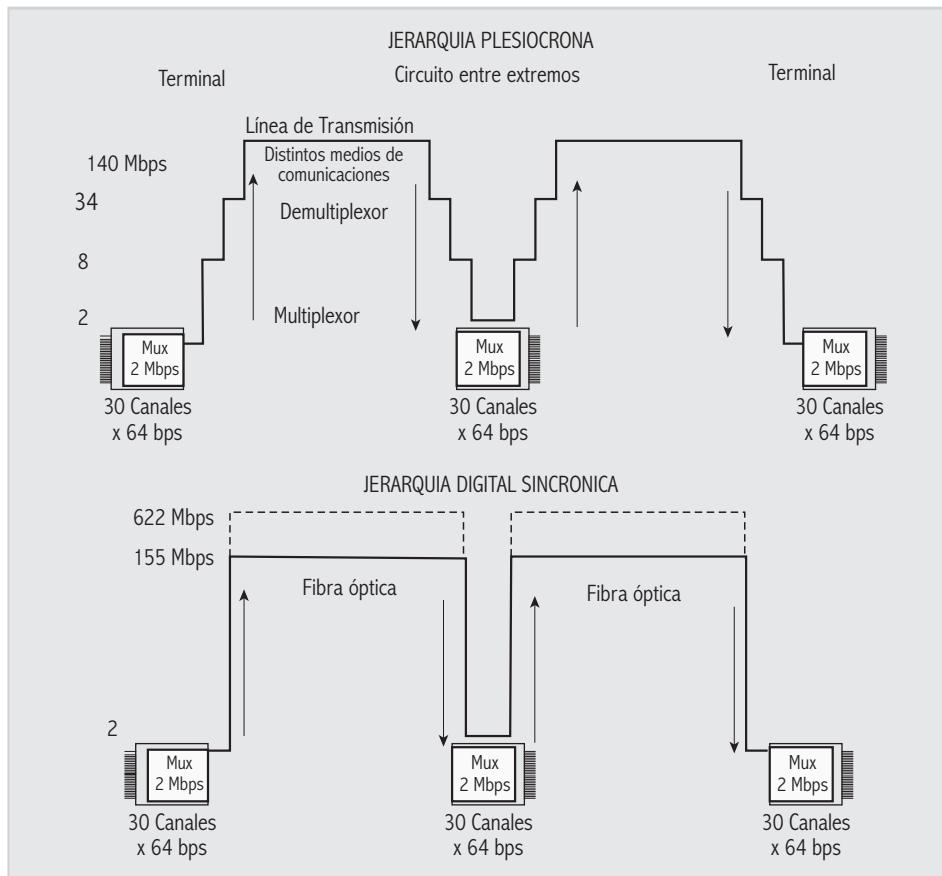


Fig. 8.29. Análisis de un enlace entre extremos.

La Fig. 8.29. muestra la diferencia señalada en cuanto a la dificultad que se presenta en la Jerarquía Digital Plesiócrona de carácter asincrónico al no tener los relojes de sus distintos niveles sincronizados y las ventajas que el sincronismo presenta en los sistemas sincrónicos SDH o SONET. Estos facilitan obtener, desde cualquier nivel superior, uno inferior.

En este ejemplo se muestra cómo recuperar un grupo básico desde un sistema plesiócrono que funciona a 140 Mbps. Se puede observar que los demultiplexores deben pasar de jerarquía en jerarquía hasta llegar a la menor, paso a paso. Contrariamente, en las jerarquías sincrónicas, desde cualquier nivel (en el ejemplo los de 155 Mbps y 622 Mbps), se obtiene en forma directa un grupo básico, si ésa fuera la necesidad.

Los sistemas plesiócronos pueden funcionar sobre distintos medios, como por ejemplo cables coaxiales, microondas o fibras ópticas, mientras que los sistemas sincrónicos solamente pueden operar sobre fibras. Esto hace que los sistemas sincrónicos presenten características que los hacen mucho más ventajosos que los usados con anterioridad.

Entre las razones más importantes, podemos señalar las siguientes:

- Simplifican los procedimientos para multiplexación y demultiplexación; incluso poseen capacidad para llegar con bajas velocidades al propio domicilio de un usuario.
 - Permiten establecer redes con **topología anillo** mediante el uso de equipos denominados *add/drop* y **malla/anillo** con los denominados *cross connect*.

- Poseen sincronización única en toda la red.
- Transportan sus propias señales sincrónicas y las señales asincrónicas multiplexadas mediante la Jerarquía Digital Plesiócrona en todas las normas (europeas, japonesas y americanas).
- Incluyen información en sus tramas, que les permiten realizar funciones de control, administración, gestión, etc. en toda la red.
- Normalmente disponen de capacidad sobrante en las tramas, lo que facilita los posibles requerimientos relacionados a futuras aplicaciones.
- Pueden transportar señales de banda ancha tales como las que corresponden a otros tipos de sistemas de transmisión como los conocidos: *Asynchronous Transfer Mode - ATM, Dual Queue Dual Bus - DQDB, Fiber Distributed Data Interfaz - FDDI*, entre otros posibles.
- Se pueden usar en redes internacionales y submarinas de extensiones diversas y también en redes metropolitanas por su capacidad para poder formar redes en forma de anillo.

8.7.2 Historia y características

Con su advenimiento, la fibra monomodo se había convertido en el medio elegido para transporte de señales digitales a alta velocidad. La carencia en ese momento de estándares para redes ópticas llevó inevitablemente a una proliferación de interfaces propietarias. Esta situación provocaba que los sistemas de transmisión por fibra óptica de un fabricante no permitieran la interconexión con las desarrolladas por las de cualquier otro fabricante; la capacidad de mezclar y combinar diferentes equipos se encontraba limitada. Esto llevó al desarrollo de estándares que facilitaran la intercomunicación y resultaran competitivos para las empresas de telecomunicaciones.

El primer estándar sincrónico fue concebido por dos investigadores de los Laboratorios Bellcore: R. J. Bohm y Y. C. Ching. Su nombre, *Synchronous Optical Network – SONET*, **fue originalmente propuesto por el Bell Communications Research, más conocido como Bellcore**. Sus investigaciones tenían como fin desarrollar una familia de interfaces para su uso en las compañías telefónicas utilizando exclusivamente redes ópticas.

Su proceso de normalización comenzó a fines del año 1984 y los estudios se formalizaron en el año 1985 en el **Subcomité T1X1 del Comité T1**, en el marco de la organización ANSI (ver apartado 1.8.3.2.).

Durante el proceso de estandarización se plantearon dos desafíos con el objeto de lograr una interfaz normalizada internacionalmente y útil comercialmente. La primera fue lograr que SONET pudiera trabajar en un ambiente plesiócrono sin perder su naturaleza sincrónica. El segundo fue tratar de resolver las incompatibilidades existentes entre el grupo básico de la señal europea que trabajaba a 2,048 Mbps y el de la jerarquía utilizada en América del Norte que funcionaba a 1,544 Mbps.

En agosto de 1985, el Comité T1X1 aprobó un preproyecto basado en el principio de SONET. En esta primera etapa, el tema principal de discusión fue la velocidad del que se denominaba módulo básico.

Varios grupos se formaron al efecto y cada uno trató de lograr que la velocidad del mismo coincidiera con sus velocidades de trabajo. Esto provocó enfrentamientos y requirió de numerosas reuniones.

A partir de varias propuestas iniciales, entre ellas una de Bellcore de 50.688 Mbps y otra de la AT&T de 146.432 Mbps, surgió la noción de un Tributario Virtual - VT aceptado como concepto fundamental del sistema.

El sistema SONET parte de una velocidad básica de 51,84 Mbps que denomina canal STS-1. Sus anchos de banda mayores resultan múltiplos enteros de dicha velocidad. Un tributario virtual es una estructura utilizada para el transporte de una velocidad menor a un STS-1. Estos, muchas veces, resultan convenientes para hacer frente a solicitudes de menores anchos de banda.

Durante la confección de los estándares se tuvieron en cuenta los siguientes aspectos:

- La creación de una familia de interfaces de señales digitales ópticas donde se tuvieran en cuenta los cambios tecnológicos en los cuales las velocidades de transmisión aumentarán continuamente.
- El uso de un tipo de velocidad mínima de base del orden de los 50 Mbps para que se pudieran transportar señales plesiócronas de la norma americana DS3 que requieren una velocidad de 44.736 Mbps.
- El uso de multiplexación síncrona debe simplificar la multiplexación y demultiplexación de las señales buscando obtener un fácil acceso a las cargas útiles y explotar la creciente sincronización de la red.
- Apoyo para el transporte de señales en banda ancha, es decir, velocidades mayores a 50 Mbps de carga útil.
- Especificación para que permitiera funciones que apoyaran el mantenimiento de las instalaciones.

Las concesiones y adaptaciones realizadas permitieron que a principios de 1987 los detalles importantes fueran acordados y un proyecto de documento estuviera listo para ser votado. Finalmente, en 1988 el ANSI aprobó un primer estándar que contenía velocidades de transmisión, características, formatos e interfaces ópticas.

En el verano del hemisferio norte del año 1986 la UIT-T (ex CCITT) demostró su interés en SONET y luego de un análisis comenzaron a observarse las primeras dificultades del procedimiento. Estas fueron parcialmente resueltas cuando representantes de Japón y el Reino Unido participaron en reuniones que se realizaron en abril de 1987.

En paralelo comenzó el desarrollo de los sistemas **SDH** en el seno del **Grupo de Estudio XVIII de la UIT -T** con el objeto de confeccionar las normas de estos sistemas.

Las discrepancias de velocidades era uno de los problemas que provocaban las diferencias. La **Conferencia Europea de Administraciones de Correos y Telecomunicaciones-CEPT** (*European Conference of Postal and Telecommunications Administrations*) buscaba una nueva jerarquía de velocidades del estándar sincrónico sobre la base de una señal para el primer nivel que estuviera cercana a los 150 Mbps para que se pudiera transportar su señal de 139.264 Mbps. Esta organización se estableció el 26 de junio de 1959, como órgano de coordinación entre las empresas estatales de telecomunicaciones europeas y las organizaciones postales. La misma fue la responsable de la creación del Instituto Europeo de Estándares de Telecomunicaciones (*European Telecommunications Standards Institute - ETSI*) en el año 1988, que se empezó a ocupar de este tipo de actividades.

Estas diferencias fueron salvadas haciendo coincidir, del sistema SONET, su tercer nivel STS-3 (que funciona a 155,52 Mbps) con el primer nivel del sistema SDH, denominado STM-1-Módulo de Transporte Síncrono Nivel n. De esta manera se logró que en esos dos niveles se pudiera obtener interoperabilidad entre ambas normas.

El objetivo principal que se fijó el **Grupo de Estudio XVIII** fue el de producir una norma de alcance mundial que permitiera estandarizar los sistemas de transmisión sincrónicos a efectos de ofrecer a las redes un direccionamiento flexible y de bajo costo, orientado a favorecer la gestión de los operadores de las redes de telecomunicaciones.

Es así como el Grupo XVIII diseñó las normas que regulan el funcionamiento de los sistemas de **Multiplexación Sincrónica**.

En particular, revisten especial interés ciertas normas de la serie **G**, tales como:

- G.707: Velocidades Normalizadas para la Jerarquía Digital Sincrónica - SDH.
- G.708: Interfaces de los Nodos de Red - NNI para la Jerarquía Digital Sincrónica - SDH.
- G.709: Estructura de la Jerarquía Digital Sincrónica - SDH.
- G.781: Estructura de las Recomendaciones sobre Equipos Terminales para la Jerarquía Digital Sincrónica - SDH.
- G.782: Tipos y Características Generales de la Jerarquía Digital Sincrónica - SDH. Equipos Multiplexores.
- G.783: Características de la Jerarquía Digital Sincrónica - SDH. Bloques Funcionales de los Equipos Multiplexores.
- G.784: Jerarquía Digital Sincrónica - SDH. Administración.

La definición de este tipo de jerarquía digital contiene en sí el concepto en el que están basados estos sistemas, entendiendo por tales:

A los sistemas de transporte sincrónico compuestos de varios órdenes de multiplexación, tales que en cualquier nivel, las tramas tienen siempre una duración de 125 μ s.

Obsérvese que:

La diferencia con los sistemas plesiochronos está en que la duración de las tramas varía en valores que van desde 4,7576 μ s, para el caso de un sistema que funciona a 564,992 Mbps (correspondiente a un grupo quinario), hasta el valor de 125 μ s para el Grupo Básico.

La ventaja fundamental de este tipo de multiplexación está dada por el hecho de que todos los nodos de commutación digital de la red pueden ser sincronizados a este valor uniforme de la duración de la trama, que corresponde a una frecuencia de 8 kHz.

Las tramas, cualquiera sea su tamaño, tienen una duración única de 125 μ s. Este valor coincide con el que es usado para la formación de un Grupo Básico en la Jerarquía Digital Plesiocrona, valor que esta norma también adopta como su primer nivel de multiplexación.

Por tener todas las tramas una duración de 125 μ s, al aumentar la cantidad de información que deben transportar, la velocidad en bps irá aumentando en forma progresiva según el nivel N de multiplexación que se esté usando. Al mantener constante la duración de la trama, el sistema estará siempre sincronizado en todos niveles jerárquicos.

8.8 Comunicaciones por redes ópticas

8.8.1 Topología de las redes ópticas de comunicaciones

Las fibras ópticas, según sea del tipo multimodo o monomodo, pueden ser utilizadas en distintos tipos de redes de comunicaciones, como es el caso de las montantes, que se construyen en las Redes de Área Local o en tramos de ellas, en que por razones de distancia es necesaria su utilización. Sin embargo, su uso más importante es cuando se utilizan formando anillos ópticos en redes de amplia cobertura geográfica, aunque también se utilizan en enlaces punto a punto.

La Fig. 8.30. muestra un ejemplo de una red de fibra óptica organizada en anillos unidos entre sí. En estos casos se utilizan para su funcionamiento e interoperabilidad equipos de hardware óptico que reciben el nombre de *cross-connect* y *add/drop*. Las redes ópticas construidas con este tipo de topología proporcionan la capa de transporte tal como fue descripto el modelo de capas de la Fig. 8.18.

Las redes así construidas en anillos interconectados permiten, a nivel de capa de transporte óptico, la transmisión y conmutación de tramas que contienen información. Esta puede estar contenida en grupos plesiochronos de distintas jerarquías, en tramas de sistemas sincrónicos, como son los que utilizan las tecnologías SDH o SONET, o contener tramas Ethernet de 10, 40 o actualmente 100 Gbps, con las que se establecen circuitos virtuales dedicados entre distintos puntos geográficos.

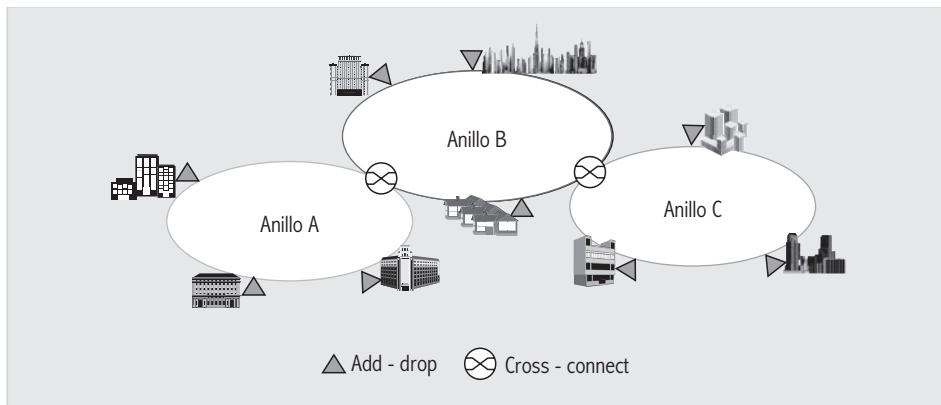


Fig. 8.30. Redes ópticas en anillo.

En el caso de que se utilicen enlaces punto a punto y que las fibras sean del tipo DWDM o WDM, donde cada fibra esté multiplexada por división de frecuencia, en cada extremo de los mismos deberán instalarse equipos terminales multiplexores para permitir la extracción de los canales que transporta cada fibra. La Fig. 8.31. muestra la relación de los equipos **cross-connect** y **add/drop** con un anillo óptico.

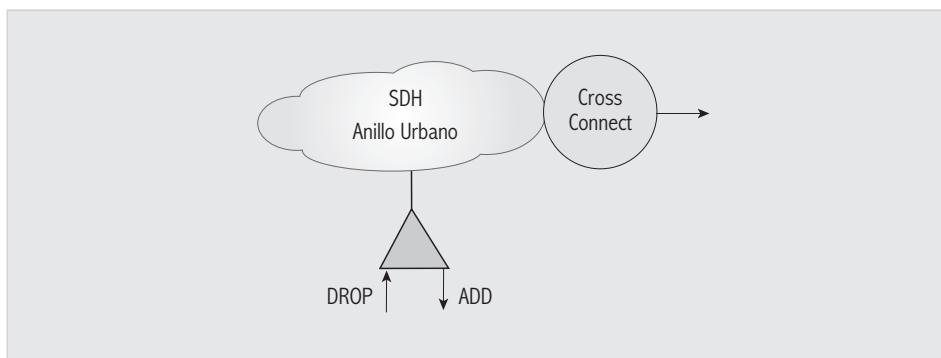


Fig. 8.31. Arquitectura SDH.

También podrían establecerse enlaces punto a punto con derivaciones utilizando un add/drop en la mitad del recorrido. La Fig. 8.32. muestra un ejemplo de este tipo de topología.

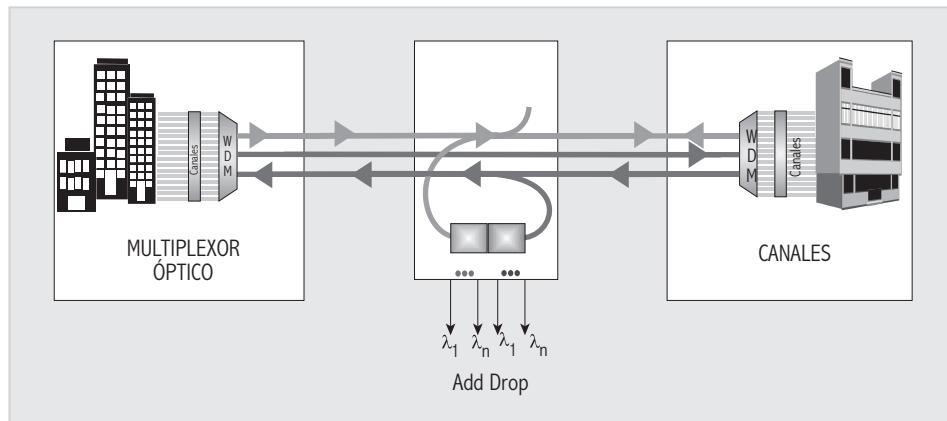


Fig. 8.32. Esquema de un enlace óptico con derivación.

También podría establecerse un enlace con derivaciones utilizando en forma conjunta equipos cross-connect y add/drop. La Fig. 8.33. muestra un ejemplo de este tipo de configuración mixta.

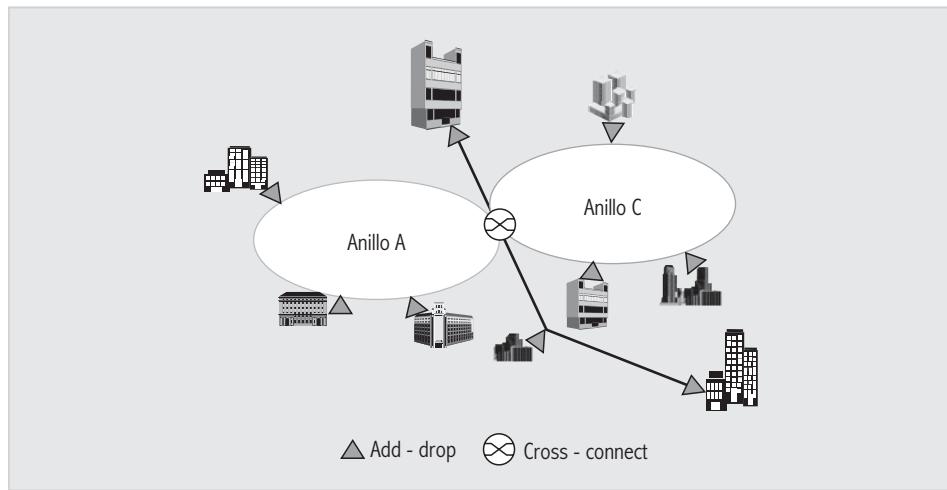


Fig. 8.33. Esquema de un enlace óptico en configuración mixta.

8.8.2 Funciones de transporte y conmutación en redes ópticas

Las redes ópticas formadas por medio de anillos ópticos poseen la capacidad de que, ante una interrupción o corte en una parte del anillo, el tráfico automáticamente se redirecciona de manera tal que las dos partes en las que el anillo quedó dividido permanezcan con servicio. Los tiempos en que esta actividad se realiza normalmente son menores a los 50 milisegundos.

Los equipos cross-connect permiten la conmutación de las tramas, o parte de ellas. Con este tipo de equipos, pueden ser transportadas desde un anillo hacia otro anillo adyacente y así seguir o derivar parte de la información en un enlace punto a punto hacia otro punto de la red.

Es decir, las tramas deben contener información de servicio, además de la propia de los usuarios, de tal forma que las tramas puedan direccionarse hasta alcanzar su destino final.

En un nivel de transporte óptico se facilita esta función que permitirá que dos usuarios, por ejemplo, intercambien grupos plesiócronos aunque no pertenezcan al mismo anillo óptico.

Una vez que la trama pase por su destino se utilizará un Dropel que se encargará de extraer la parte de la información de la trama y entregársela al usuario final. O también pudiera darse el caso de que este necesite incorporar al anillo información que enviará a otro destino; para ello utilizará un Add. Tanto uno como otro tienen funciones similares a la de los multiplexores.

El conjunto add/drop funciona coordinadamente subiendo o bajando información del anillo según sean los requerimientos que el ingeniero de tráfico planifique en la red óptica. Estos requerimientos están vinculados a los contratos que los usuario acuerden con los administradores del servicio de transporte e implicarán una programación en la Red Óptica para que realice estas tareas en forma automática e inteligente.

Esta función otorga una gran flexibilidad pues las cantidades de información que pueden manejar podrán ser programadas por el administrador de la red.

8.8.3 Clasificación de las Redes ópticas de Transporte

La clasificación típica de las redes de comunicaciones en área local, metropolitana y extensa no coincide con los criterios que se utilizan para la clasificación de las redes ópticas; en este caso se utiliza un nuevo concepto.

En esta tecnología se habla de distintos tipos de redes más vinculadas a su rango de cubrimiento, que normalmente tiene relación con su capacidad. En las redes ópticas, cuanto mayor es el cubrimiento geográfico de la red mayor debe ser la posibilidad de que las fibras puedan ser equipadas para lograr la mayor capacidad posible.

Los diferentes tipos de redes son los siguientes:

- Redes de Acceso.
- Redes Metropolitanas.
- Redes Regionales (LH) Alta Capacidad o de Larga Distancia.
- Redes Continentales o Submarinas (ULH) de muy Alta Capacidad o de Ultralarga Distancia.

La Fig. 8.34. muestra un esquema de cómo están desplegados los distintos tipos de niveles en las redes ópticas.

Las Redes de Acceso tienen características similares al concepto de Redes de Área Metropolitana. Proporcionan conectividad a distintas partes de un área geográfica hasta llegar al mismo usuario. Entregan allí el acceso a las distintas redes y es el usuario el que deberá construir su Red de Área Local en la que el proveedor normalmente no tendrá incumbencia alguna.

Las Redes Regionales de Alta Capacidad también son conocidas como Redes de Larga Distancia y, cuando se trata de aquellas que tienen un cubrimiento internacional o continental, se las denomina Redes de Ultralarga Distancia. En este último grupo están comprendidas las redes submarinas, actualmente en constante incremento y desarrollo.

Estas redes normalmente están constituidas por cables ópticos que contienen varias fibras ópticas del tipo DWDM donde la capacidad total de los cables estará dada por la suma de cada una de las fibras que los integran. Estos cables no están equipados en su totalidad pues algunos se dejan como reserva y el resto se va equipando en función a la demanda que exista.

Las Redes de Área Local no son parte de las redes ópticas de transporte y normalmente son de características mixtas, aunque están conectadas a ellas en muchas oportunidades. En parte estarán construidas con fibras ópticas y las acometidas hacia los equipos terminales se construyen generalmente con cable UTP, actualmente de clase 6 o mejor.

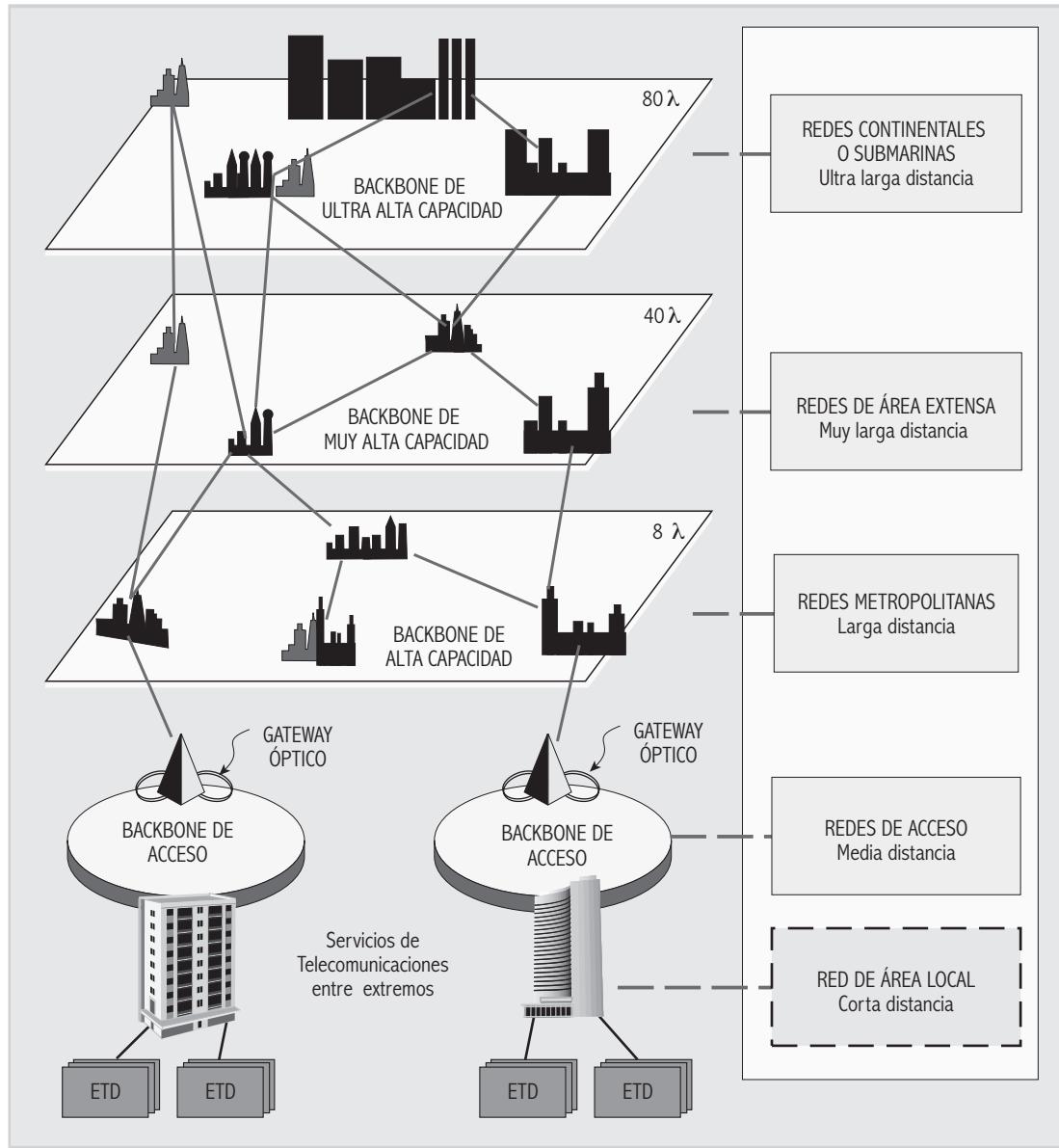


Fig. 8.34. Arquitectura de redes con vínculos ópticos.

8.9 Jerarquía digital sincrónico

8.9.1 Características generales

El sistema **SDH** puede transportar las señales tributarias habituales existentes en los sistemas plesioícrónicos. Asimismo, también dispone de la flexibilidad suficiente para dar cabida a los nuevos tipos de señales de servicios para los clientes que los operadores deseen incorporar en el futuro.

El sistema tiene cinco niveles jerárquicos. Parte de una velocidad básica de 155,22 Mbps para un valor de $N = 1$ y permite distintos valores de velocidades según vaya variando el N , de acuerdo a los valores que se muestran en la Tabla 8 - 9.

Tabla 8-9 Capacidad de transporte por niveles de multiplexación

Denominación	Velocidad exacta	N	Número de canales	Velocidad simplificada
STM - 1	155,520 Mbps	1	1.890	155 Mbps
STM - 4	622,060 Mbps	4	7.560	620 Mbps
STM - 16	2488,320 Mbps	26	30.240	2,5 Gbps
STM - 64	9953,280 Mbps	64	120.960	10 Gbps
STM - 256	39813,120 Mbps	256	483.840	40 Gbps

Complementariamente, este tipo de multiplexación incorpora funciones de transporte y encaminamiento que resultan de una importancia significativa en el diseño de las modernas redes digitales. Sin embargo, hace una clara distinción entre las funciones que son específicas a la multiplexación de las que corresponden al transporte.

La formación de una trama SDH debe ser considerada previa a la explicación de cómo es transportada la información mediante este tipo de multiplexación sincrónica. En principio, se debe tener presente que la información está preparada para ser transportada entre nodos de la red.

La Fig. 8.35. muestra el *hardware* de red que interviene entre dos nodos y la nomenclatura que distingue a cada tramo de dicho recorrido.

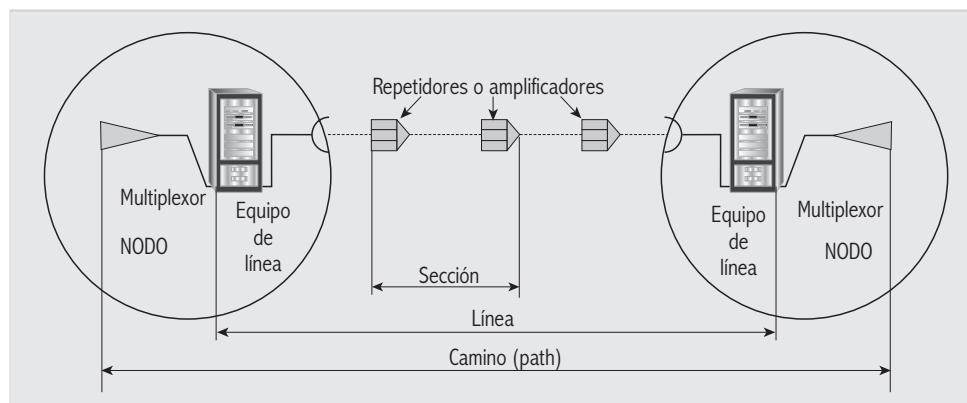


Fig. 8.35. Esquema del hardware de transmisión entre nodos de una instalación SDH.

Se puede observar que cada nodo está compuesto por un multiplexor y un equipo de línea. El recorrido entre los multiplexores ubicados en los extremos del recorrido se denomina **camino** (*path*); entre los equipos de línea, el tramo recibe el nombre de **Línea** (*line*), y entre repetidores regenerativos o amplificadores ópticos toma la designación de **secciones** (*section*), aunque debe señalarse que normalmente se utilizan sus expresiones en inglés (ver notas).

En cada nodo la trama es procesada a los efectos de realizar las siguientes funciones:

- Operación sobre la trama.
- Mantenimiento.
- Monitoreo de la transmisión.
- Sincronismo.
- Alarmas.
- Conmutación.
- Administración de la transmisión.
- Control centralizado y monitoreo de la transmisión.

8.9.2 Estructura de las tramas SDH

A diferencia de las tramas plesioícronas en las que el análisis de su estructura debe hacerse en una dimensión, en este caso es necesario analizarlo en una y dos dimensiones.

La trama denominada específicamente *Synchronous Transport Modules - STM - N* (Módulo para el Transporte Sincrónico para el nivel **N**) en una dimensión permite distinguir dos secciones diferenciadas: una, que se denomina *Section Overhead - SOH* (sección de encabezado), y otra conocida por su expresión en inglés, *Payload* (capacidad total de carga). Las mismas tienen el aspecto que muestra la Fig. 8.36.

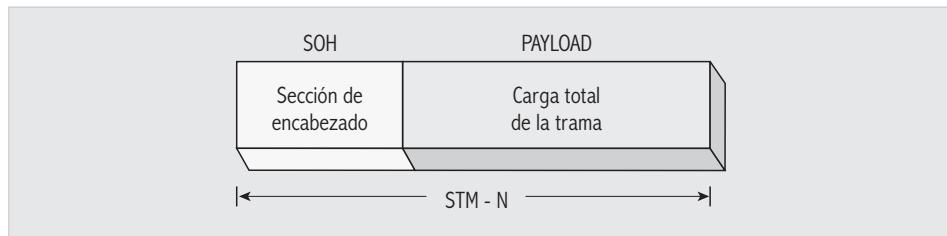


Fig. 8.36. Sección de una trama SDH. Esquema lineal.

Obsérvese que el valor **N** podrá tomar un valor en correspondencia con el nivel jerárquico con el que estaremos armando la trama. Ese valor es el señalado para la Tabla 8 – 8, es decir, **1, 4, 16, 64 y 256**.

La longitud de una sección lineal es de **270 x N bytes**. De ellos, corresponden **9 x N bytes** a la denominada *Section Overhead - SOH* y **261 x N bytes** al denominado *Payload*.

Los valores definitivos serán función del nivel **N** que corresponderá a cada nivel de multiplexación. Este esquema **se repite nueve veces**, lo que hace necesario describir la trama mediante lo que denominaremos **Mapa Bidimensional**.

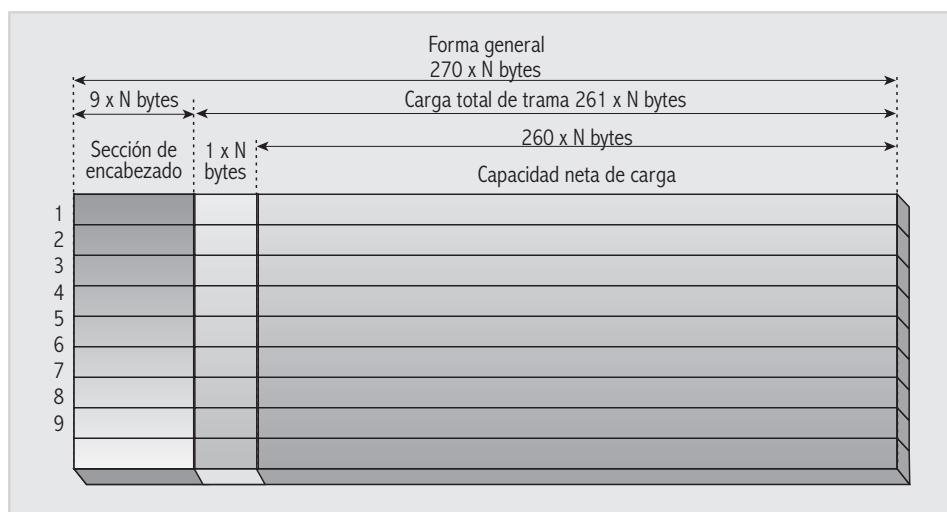


Fig. 8.37. Trama SDH mediante un mapa bidimensional. Forma general.

La estructura general de la trama en dos dimensiones es la que se muestra en la Fig. 8.37. y se expresa a través de un mapa bidimensional.

La velocidad a la que se deberá desplazar cada módulo de transporte sincrónico **STM - N** resultará de resolver la ecuación (8-5). El valor de 64 kbps surge del valor de duración de la trama, que es siempre constante e igual a $125 \mu\text{s}$.

Por lo tanto:

$$\text{Velocidad del Módulo SDH} = 9 \times 270 \times N \times 64 \text{ kbps} \quad (8-5)$$

Operando convenientemente, de la (8-5) resultará la expresión más simple:

$$\text{Velocidad del Módulo SDH} = 155.520 \times N \text{ kbps} \quad (8-6)$$

Expresión que, para **N = 1** y transformando su valor a **Mbps**, resultará:

$$\text{Velocidad del Módulo de Transporte (para } N = 1) = 155,520 \text{ Mbps} \quad (8-7)$$

Valor esperado, pues coincide con el señalado en la Tabla 8-7 para **N = 1**. De la misma manera, se podrían calcular los valores que corresponderán a las velocidades de los módulos de transporte sincrónicos para **N = 4, 16, 64 y 256**.

La Fig. 8.38. nos muestra la forma explícita de la estructura de la trama de un **Módulo de Transporte Sincrónico - STM - 1** que corresponderá a la velocidad de $155,520 \text{ Mbps}$. En forma similar, se podrían describir los módulos para otros valores de **N**.

Del análisis de la forma de la trama **STM - 1** se puede observar:

- La *Section Overhead* - SOH o **Sección de Encabezamiento** tiene disponibles *81 bytes* para su función.
- La *Section Payload* o **Capacidad Total de Carga** tendrá *9 bytes* de encabezado para la determinación del camino, más la cantidad neta de bytes que podrá transportar, que es de $260 \times 9 \text{ byte}$; es decir, un total de *2.340 bytes* de información por trama, cantidad que denominaremos **Capacidad Neta de Carga**.

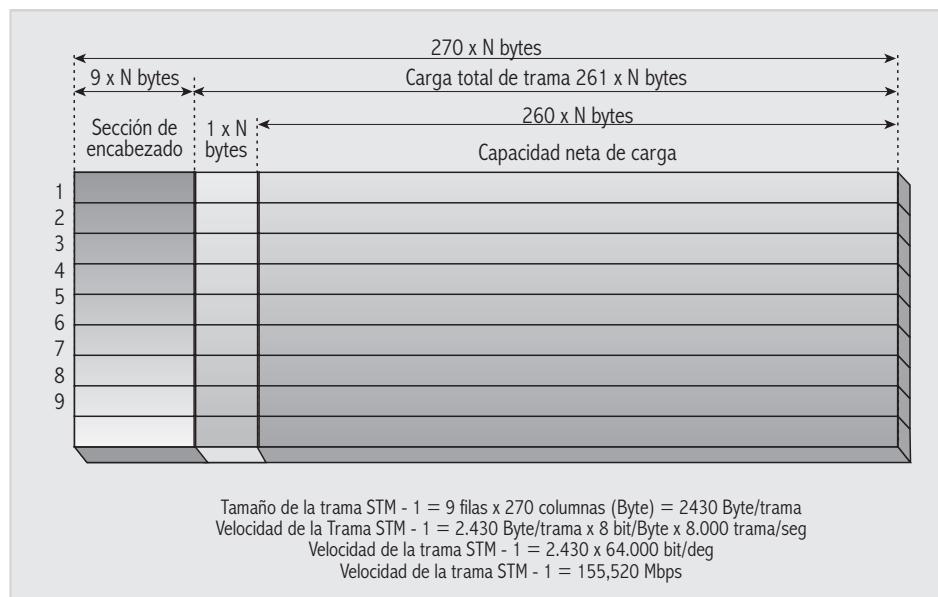


Fig. 8.38. Estructura de una trama STM - 1.

Precisamente, para cada nivel de multiplexación se podrá definir una **Capacidad Neta de Carga**, entendiendo por tal:

A la cantidad de información que cada nivel de multiplexación sincrónica puede transportar en un Módulo de Transporte Sincrónico - SDH - N, y que surge de la expresión $260 \times 9 \times N$ bytes.

Como cada trama tiene una duración de $125 \mu s$, pues ése es precisamente el concepto de sincronismo total en la transmisión, podremos obtener las velocidades que serán usadas para cada función, es decir:

- Velocidad de transmisión para la información transportada = $2.340 \times 64.000 \text{ kbps} = 149,760 \text{ Mbps}$.
- Velocidad de transmisión para sección del encabezamiento = $81 \times 64.000 \text{ kbps} = 5,184 \text{ Mbps}$.
- Velocidad de transmisión para encabezamiento del camino = $9 \times 64.000 \text{ kbps} = 576 \text{ kbps}$.
- Velocidad total de la trama STM - 1 = $149,760 + 5,184 + 0,576 = 155,52 \text{ Mbps}$.

Tabla 8-10 Capacidad de transporte por niveles de multiplexación

Denominación	Velocidad exacta	N	Carga Neta	SOH	Velocidad equivalente
STM - 1	155,520 Mbps	1	2340 bytes	81 bytes	0,14976 Gbps
STM - 4	622,060 Mbps	4	9360 bytes	324 bytes	0,59904 Gbps
STM - 16	2488,320 Mbps	26	27440 bytes	1296 bytes	2,39616 Gbps
STM - 64	9953,280 Mbps	64	149760 bytes	5104 bytes	9,58464 Gbps
STM - 256	39813,120 Mbps	256	599040 bytes	20736 bytes	38,33856 Gbps

La Tabla 8-10 muestra la **Capacidad Neta de Carga** que cada nivel de multiplexación puede transportar y su velocidad equivalente.

En cuanto a la **Sección de Encabezamiento**, para **N = 1** posee una capacidad de 81 bytes, que multiplicados por la velocidad de 64 kbps arrojan una velocidad total de 5,184 Mbps. Esta significativa **capacidad** para el primer nivel de la jerarquía es una importante cantidad de información por unidad de tiempo. Se transporta y usa para poder transferir las instrucciones necesarias para operar la red.

Aún queda espacio para nuevas aplicaciones, que seguramente se irán desarrollando en el futuro. Se puede deducir con claridad que en los órdenes mayores esta cantidad aumenta aún más.

En cuanto al equipamiento necesario para funcionar a las velocidades que corresponden a los niveles STM - 1, 4, 16, y 64, ya hay diseños de proveedores para operar sobre fibra óptica (para el último valor de 64, a nivel de prototipos avanzados), para microondas en los niveles STM - 1 y 4, y el **Consorcio Internacional INTELSAT** ha introducido ya el nivel STM -1. El nivel STM -256 ya está desarrollado y en funcionamiento.

8.9.3 Contenedores Virtuales: Transporte de Señales PDH

Una de las aplicaciones más importantes de la multiplexación digital sincrónica es la de poder transportar señales, que han sido multiplexadas con equipamiento que usa la **Jerarquía Digital Plesiócrona - PDH**.

Con este fin se ha definido lo que se ha llamado **Contenedores Virtuales - VC**, que podríamos definir como;

La estructura de la Jerarquía Digital Sincrónica - SDH que permite transportar la información útil en la trama (denominada Capacidad Neta de Carga) para un dado N en cualquiera de sus niveles.

En la trama **STM - 1**, tal como se puede observar en la Fig. 8.33., existen dos partes fundamentales que son: el **Encabezamiento de Sección** y lo que hemos denominado **Contenedor Virtual**.

La Tabla 8 - 11 describe la designación estandarizada, la velocidad de los niveles de multiplexación digital plesiócrona que aceptan los contenedores normalizados, y la denominada Capacidad Neta de Carga de cada uno de ellos. Esta capacidad está en función del N, que corresponde a cada trama STM de la Jerarquía Digital Sincrónica -SDH.

Tabla 8-11 Contenedores Virtuales: Jerarquía digital sincrónica (SDH)

Número	Designación del Contenedor	Velocidad de la multiplexación PDH
1	VC - 11	1,544 Mbps
2	VC - 12	2,048 Mbps
3	VC - 2	6,048 Mbps
4	VC - 3	34,368 y 44,736 Mbps
5	VC - 4	139,264 Mbps

Es así como las diferentes señales tributarias se ensamblan en el contenedor virtual con el fin de transportarlas intactas en una red SDH hasta su destino final.

El contenedor virtual VC - 4 consta de 2.340 bytes, estructurados en 260 columnas de 9 bytes cada una, que aportan una capacidad total de transporte de 149,76 Mbps. Este valor permite transportar una señal tributaria de 139,264 Mbps, que corresponde al orden cuaternario de multiplexación plesiócrono, tanto en la norma europea como en la norma americana. Consecuentemente, podrá transportar cualquier valor de orden menor.

Cada contenedor virtual VC - 4 tiene un área para la carga de tráfico de usuario denominada contenedor propiamente dicho y un encabezado de ruta. Posibilita aportar recursos tales como monitoreo de alarmas, rendimiento, etc., necesarios para llevar a cabo el transporte de un contenedor virtual VC - 4 entre dos puntos extremos de una red digital sincrónica, que hemos denominado **camino** o *path* según se puede observar en la Tabla 8 - 12. En estos puntos extremos se produce el ensamblaje y desensamblaje de los contenedores.

Por otro lado, las redes que usan la tecnología digital sincrónica tienen la particularidad de facilitar la multiplexación e interconexión de las señales plesiócrónicas, para lo cual se permite que el contenedor VC - 4 fluctúe dentro de la capacidad de carga proporcionada por la trama STM - 1. Es por ello que puede comenzar en cualquier punto de la capacidad de carga de una trama STM - 1 y finalizar en la trama siguiente.

Para identificar convenientemente el comienzo de cada contenedor, se utilizan bytes adicionales en el encabezado de la trama denominados **punteros**, los cuales indican la ubicación del **primer byte** del contenedor virtual.

Los punteros son los que posibilitan el funcionamiento asincrónico en una red sincrónica. Por lo tanto, cuando un **Nodo SDH** pierde la referencia de temporización de la red, y funciona de acuerdo con su reloj auxiliar, deberá resolver las diferencias de temporización moviendo su contenedor positiva o negativamente **N** bytes a la vez con respecto a la trama de transporte; por ello es necesario el puntero que indique dónde comienza el contenedor.

La capacidad total neta de carga de una trama se podrá llenar de distintas formas para usar variadas combinaciones de contenedores que podrán transportar sistemas tributarios plesiócronos de orden inferior. Incluso contenedores más grandes pueden transportar a otros más pequeños, haciendo totalmente flexibles los sistemas.

En forma esquemática, la Tabla 8 - 12 muestra cómo se podrían formar contenedores de orden superior con combinaciones de orden inferior.

Tabla 8-12 Contenedores Virtuales: Su uso para el transporte de señales

<i>Contenedor virtual</i>	<i>Combinaciones posibles con otros valores</i>
VC - 4 - 139,264 Mbps	Una señal cuaternaria plesiócrona de igual valor Tres contenedores VC - 3 (34,368 ó 44,736 Mbps) 7 contenedores VC - 2 28 contenedores VC - 11 21 contenedores VC - 12
VC - 3 - 34,368 ó 44,736 Mbps	Combinaciones de los anteriores, sin superar el valor máximo

8.10 SONET - Synchronous Optical Network

Las características de esta norma son muy similares a las definidas para la **Jerarquía Digital Sincrónica - SDH**, variando fundamentalmente la forma de las tramas y las velocidades de cada nivel de multiplexación.

La Tabla 8 - 13 muestra la **Jerarquía SONET** y su comparación con los niveles de la **Jerarquía Digital Sincrónica - SDH**.

Tabla 8-13 Jerarquía SONET

<i>Niveles</i>	<i>Velocidades</i>				
	<i>Óptico</i>	<i>Eléctrico</i>	<i>Encabezamiento</i>	<i>Util</i>	<i>Total</i>
OC - 1	STS - 1	1,728 Mbps	50,112 Mbps	51,840 Mbps	
OC - 3	STS - 3	5,184 Mbps	150,336 Mbps	155,520 Mbps	
OC - 9	STS - 9	15,552 Mbps	451,008 Mbps	466,560 Mbps	
OC - 12	STS - 12	20,736 Mbps	601,334 Mbps	622,080 Mbps	
OC - 18	STS - 18	31,104 Mbps	902,016 Mbps	933,120 Mbps	
OC - 24	STS - 24	41,472 Mbps	1.202,688 Mbps	1.244,160 Mbps	
OC - 36	STS - 36	62,208 Mbps	1.804,032 Mbps	1.866,240 Mbps	
OC - 48	STS - 48	82,994 Mbps	2.405,376 Mbps	2.488,320 Mbps	
OC - 96	STS - 96	165,888 Mbps	4.810,752 Mbps	4.976,640 Mbps	
OC - 192	STS - 192	331,776 Mbps	9.621,504 Mbps	9.953,280 Mbps	
OC - 768	STS - 768	1.327,104 Mbps	38.486,016 Mbps	39.813,120 Mbps	

La **Jerarquía SONET** define una jerarquía de velocidades de datos normalizadas cuyo nivel menor, denominado STS-1, funciona a una velocidad de 51,84 Mbps.

También los distintos niveles reciben la denominación de "OC - n", que proviene de la expresión en inglés "portadora óptica": *Optical Carrier*. El número que sigue a OC indica el nivel de multiplexación que corresponde. Si por ejemplo fuera OC - 2, significará que se trata del segundo nivel.

La Fig. 8.39. muestra la forma genérica de la trama de esta norma, en la que se pueden observar pequeñas diferencias con la norma de la UIT - T.

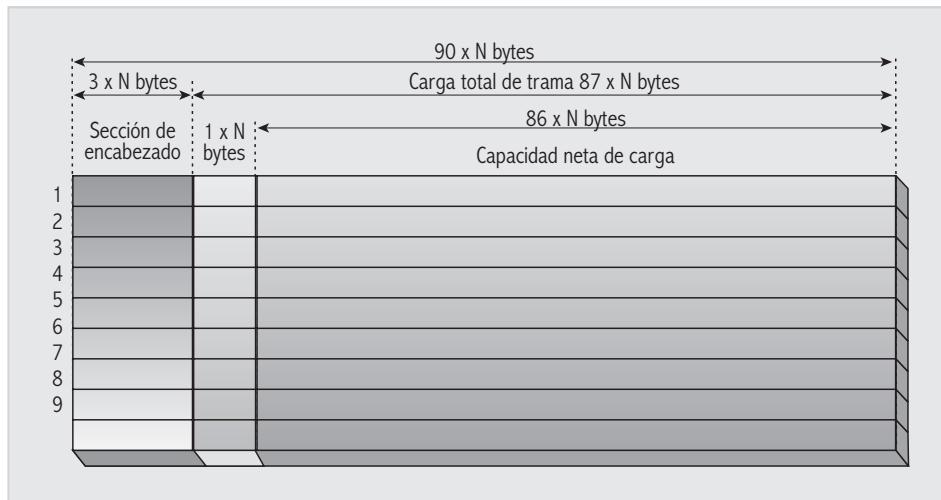


Fig. 8.39. Forma general de una trama SONET Mediante un mapa bidimensional.

8.11 Interrelación entre SONET y SDH

La interrelación entre una y otra norma y la forma en que estas permiten la transmisión de niveles de las jerarquías plesiochronas se muestra en la Fig. 8.40.

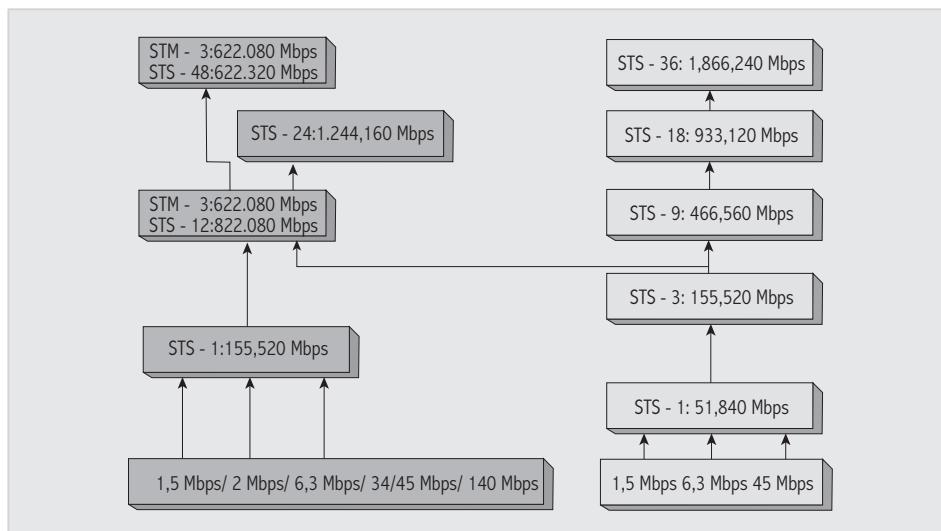


Fig. 8.40. Jerarquía SONET y SDH, Relaciones entre ambas.

Este tipo de jerarquía ha sido claramente concebida para servir simultáneamente a los dos **Grupos Básicos** que han sido estandarizados, tanto a los que corresponden a la norma

americana de 24 canales a una velocidad de 1,544 Mbps como a los que responden a la norma de la UIT - T de 30 canales que funcionan a la velocidad de 2,048 Mbps.

8.12 El futuro de las redes ópticas

La demanda explosiva de ancho de banda y el aumento de las expectativas del consumidor para contar con accesos cada vez más rápidos a los servicios que se pueden obtener a través de la Red Internet constituye el fenómeno que se ha denominado *Exaflood*, tal como se ha descripto al comienzo de este capítulo.

Dicho fenómeno se ha generado en los últimos años a causa de un aumento del orden del 40 al 50% anual promedio del tráfico de la Red Internet. Este incremento se ha debido a un crecimiento sostenido de las aplicaciones multimedia, aplicativos utilizados en ámbitos gubernamentales, expansión del uso de la red por parte de las empresas comerciales e industriales y otros servicios que utilizan masivamente los protocolos IP para su funcionamiento.

Si bien esta situación parecería, desde una mirada externa a los proveedores de servicios, como un incremento en sus actividades, la realidad es que ha resultado ser un factor de estrés que está afectando los criterios de diseño de la infraestructura de las redes. Por un lado, genera desajustes en los presupuestos de las proveedoras pues se les exigen grandes inversiones de capital para satisfacer estas demandas incrementales, que se traducen inmediatamente en mayores costos de operación. Por otra parte, los ingresos asociados con los servicios no aumentan al mismo ritmo que el tráfico. Esto se debe a que los usuarios no están en condiciones de afrontar mayores costos, lo que se traduce para las operadoras en una disminución de los ingresos que obtienen por bit transportado.

Por tal causa, las empresas de telecomunicaciones proveedoras de los servicios de transporte se encuentran en la búsqueda de distintas estrategias basadas en la innovación tecnológica que tienen por objeto reducir significativamente los costos que se requieren para poder manejar grandes volúmenes de tráfico. Aumentar más la infraestructura de la red no resulta una solución rentable. Invariablemente, estas expansiones se traducen en mayores costos de operación creándose así una espiral de resultados imprevisibles.

En ese camino, se está buscando aprovechar el carácter revolucionario de las nuevas tecnologías ópticas para sacar de ellas un mayor valor agregado que les mejore la ecuación económica de sus servicios.

En ese contexto se estudian las distintas infraestructuras posibles para que las próximas generaciones de redes ópticas brinden, además, servicios compatibles con los requerimientos de muy alta velocidad. La capacidad pensada inicialmente para las redes ópticas de 10 Gbps ha resultado insuficiente. Actualmente, esos valores están siendo llevados a 40 Gbps, 100 Gbps y aun mayores.

El desafío que deben satisfacer los proveedores de servicios es el de reducir el costo de transportar grandes volúmenes de tráfico y al mismo tiempo proveer nuevos servicios innovadores de valor.

Los nuevos conceptos sobre las arquitecturas de transporte están orientados a combinar las tecnologías de transporte óptico con las de enrutamiento. Es por ello que hoy se puede hablar de *hardware* óptico de conmutación como lo son los *switchs* y *routers ópticos*, que permiten, a través del uso de protocolos IP, lograr costos de transporte que satisfagan cualquier demanda de los nuevos servicios de voz, datos y multimedia a costos razonables.

8.13 Resumen

En este capítulo se trataron los aspectos generales de las tecnologías para el transporte de señales a partir de una introducción a la crisis del ancho de banda y los requerimientos de ancho de banda de los distintos sectores como ser empresas comerciales y organismos gubernamentales, entre otros. Luego, se definió el concepto de multiplexación incluyendo una breve reseña histórica, el uso de diferentes técnicas de multiplexación, su clasificación correspondiente y los esquemas de funcionamiento de la multiplexación por división de frecuencia.

Además, se trató el tema de las redes ópticas contemplando su historia, definición, funciones, ventajas y sistemas ópticos WDM, CWDM y DWDM. También, se presentaron las principales características y la clasificación de la transmisión sincrónica, las comunicaciones por redes ópticas y la jerarquía digital sincrónica.

Por último, se incorporó la definición de SONET (Synchronous Optical Network) y se presentó la interrelación entre SONET y SDH, para concluir con una reflexión sobre el futuro de las redes ópticas.

8.14 Ejercicios propuestos

1. ¿Qué diferencias existen entre un sistema TDM con entramado de bits y con entramado de caracteres?
2. Indicar la distribución de canales en un sistema PCM 30.
3. Indicar la distribución de canales en un sistema PCM 24.
4. ¿Cómo se obtiene el orden de multiplexación E1 a partir de canales PCM?
5. ¿Qué diferencias existen entre los sistemas WDM y DWDM?
6. ¿Por qué se emplea transmisión en la banda de infrarrojo para operar con la fibra óptica y no se utiliza la banda de luz visible?
7. Detalle los diferentes tipos de amplificadores ópticos y el principio de funcionamiento de cada uno de ellos.
8. ¿Qué ventajas presentan los sistemas de transmisión SDH en comparación con los PDH?
9. ¿Cuáles son los principales componentes de un enlace óptico?
10. Indicar qué equivalencias existen entre la jerarquía SONET y la SDH.
11. ¿Qué relación existe entre la interfaz STS - 4 (SONET) y la STS - 1 (SDH)?
12. ¿Qué funciones desempeñan los punteros en una red sincrónica?
13. Indicar las diferentes jerarquías de las señales SDH y las velocidades asociadas.
14. Graficar la estructura de una trama STM - 1.
15. Hallar la capacidad máxima de transporte de un contenedor virtual VC - 4.
16. Indicar la estructura de la trama STM - 4. ¿Qué relación tiene con la trama STM - 1?

8.15 Temas a desarrollar por el lector

1. Efectuar un análisis de las principales diferencias entre los sistemas PDH y SDH.
2. Investigar las principales características de las técnicas de multiplexación CDMA (multiplexación por diferenciación de código) utilizadas principalmente en los enlaces digitales.
3. Analizar los principales algoritmos utilizados en los sistemas de multiplexación estadística STDM y comparar la eficiencia de los mismos ante la presencia de tráfico isócrono.
4. ¿Cuáles son las principales actividades que se deben llevar a cabo para tender un cable submarino de fibra óptica?
5. ¿Cómo funcionan los amplificadores utilizados en los cables submarinos de fibras ópticas?
6. Describa en detalle y nombre las distintas aplicaciones que utiliza la multiplexación Ortogonal por División de Frecuencia.

8.16 Contenido de la página Web de apoyo.....

El material marcado con asterisco (*) solo está disponible para docentes.

8.16.1 Mapa conceptual del capítulo**8.16.2 Videotutorial: Tecnologías para el transporte de señales****8.16.3 Autoevaluación****8.16.4 Presentaciones*****8.16.5 Ejercicios resueltos***

Siglas, acrónimos y abreviaturas

4B - 3T	4 Binario - 3 Ternario
ACK	<i>Acknowledge</i> ; asentimiento, aceptación
ACRF	<i>Attenuation to Crosstalk Ratio Far-end</i> , Pérdida por atenuación por diafonía en un extremo
AD	Área Director
ADM	<i>Adaptive Delta Modulation</i> , Modulación delta adaptativa
ADSL	<i>Asymmetric Digital Subscriber Line</i> , Línea de Abonado Digital Asimétrica
AM	<i>Amplitude Modulation</i> , Modulación por amplitud
AMI	<i>Alternative Mark Inversion</i>
ANSI	<i>American National Standards Institute</i> , Instituto Nacional Estadounidense de Estándares
APD	<i>Avalanche Photo Diode</i> , Foto Diodo de Avalanche
ARABSAT	<i>Arab Satellite Communication Organization</i> , Organización árabe para las comunicaciones por satélite
ARP	<i>Address Resolution Protocol</i>
AS	<i>Applicability Statement</i>
ASIASAT	<i>Asia Satellite Telecommunications Company Limited</i> , Compañía asiática de telecomunicaciones
ASK	Amplitude Shift-key, Modulación por desplazamiento de amplitud
AT&T	<i>American Telephone and Telegraph Company</i> , Compañía americana de telefónica y telegráfica
ATA	<i>Advance Technology Attachment</i>
ATAPI	<i>Advance Technology Attachment, Packet Interface</i>
ATM	<i>Asynchronous Transfer Mode</i> , Modo de transferencia asincrónico
ATU-C	<i>ADSL Transceiver Unit – Central</i> , Unidad de transceptor ADSL – central
ATU-R	<i>ADSL Transceiver Unit – Remote</i> , Unidad de transceptor ADLS – remoto
AWG	<i>American Wire Gauge</i>
b	<i>byte</i>
BER	<i>Bit Error Rate</i> , Tasa de errores
BSDB	<i>Business Services Database</i> , Servicios de negocios
c	capacitancia
CASR	Centro de Administración de servicios de red
CATV	<i>Community Antenna Television</i> , Televisión de antena comunitaria
CCS	<i>Common Channel Signaling</i>
CCS7	<i>Common Channel Signaling 7</i> , Sistema de señalización por canal común N° 7
ccTLD	<i>country code Top Level Domain</i>
CENELEC	<i>Comité Europeen de Normalisation Électrotechnique</i> , Comité Europeo de Normalización Electrotécnica
CEO	<i>Chief Executive Officer</i>
CERN	<i>European Organization for Nuclear Research</i> , Organización Europea para la Investigación Nuclear
CFDM	<i>Companded Frequency Division Multiplex</i> , Multiplexación por División de Frecuencia con Compasión
CL	<i>Connectionless</i>
CMSDB	<i>Call Management Services Database</i> , Administración del servicio de llamadas
CMTS	<i>Cable Modem Termination System</i> , Sistema de Terminación del Cable Módem
CO	<i>Connection Oriented</i>
Codec	Codificador – decodificador
Cop.	Copolímero
CPE	<i>Customer Provided Equipment</i> , Equipo Provisto al Usuario
CTS	<i>Clear To Send</i> , Preparado para transmitir
CWDM	<i>Coarse Wavelength Division Multiplexing</i> , Multiplexación por División de Longitud de Ondas Ligeras
DARPA	<i>Defense Advanced Research Project Agency</i>
dB	decibelio
dB/km	decibelios por kilómetro
DEC	<i>Digital Equipment Corporation</i>
DHCP	<i>Dynamic Host Configuration Protocol</i> , Protocolo de Configuración Dinámica del Equipo Terminal
DM	<i>Delta Modulation</i> , Modulación Delta
DMT	<i>Discrete Multi Tone</i> , Modulación por Multitono Discreto
DNA	<i>Digital Network Architecture</i>
DNS	<i>Domain Name System</i> , Servicio de nombres de dominio
DOCSIS	<i>Data Over Cable Service Interface Specification</i> , Especificación de la Interfaz para Servicios de Datos sobre Cable
DPCM	<i>Differential Pulse Code Modulation</i> , Modulación PCM Diferencial
DQDB	<i>Dual Queue Dual Bus</i> , Doble Cola sobre Doble Bus
DSLAM	<i>Digital Subscriber Line Access Multiplexer</i> , Multiplexor de Acceso a la Línea Digital de Abonado

DSR	<i>Data Set Ready</i>
DTR	<i>Data Terminal Ready</i>
DTT	<i>Digital Terrestrial Television</i> , Televisión Digital Terrestre
DTV	<i>Digital Television</i> , Televisión Digital
DWDM	<i>Dense Wavelength Division Multiplexing</i> , Multiplexación Densa por División de Longitud de Onda
E	Exa
EB	<i>Exabyte</i>
EDFA	<i>Erbium Doped Fiber Amplifier</i> , Amplificador de Fibra Dopada con Erbio
EDVAC	<i>Electronic Discrete Variable Automatic Computer</i>
EHF	<i>Extremely High Frequency</i> , Extra Alta Frecuencia
EIA	<i>Electronics Industries Association</i> , Asociación de Industriales en Electrónica
ELEFXT	<i>Equal Level Far-End Crosstalk</i> , Igualdad de nivel de diafonía en un extremo
ELF	Frecuencias extremadamente bajas
EMC	<i>Electromagnetic Compatibility</i> , Compatibilidad Electromagnética
ENIAC	<i>Electronic Numerical Integrator and Computer</i>
ENQ	<i>Enquire</i> , Pregunta
ETCD	<i>Data Terminal Circuit Equipment</i> , Equipo Terminal del Circuito de Datos
ETSI	<i>European Telecommunications Standards Institute</i> , Instituto Europeo de Estándares de Telecomunicaciones
EUTELSAT	Organización Europea de Telecomunicaciones por Satélite
F	Faradio
FDDI	<i>Fiber Distributed Data Interface</i> , Interfaz de Datos Distribuidos por Fibra
FDM	<i>Frequency Division Multiplexing</i> , Multiplexación por División de Frecuencia
FDMA	<i>Frequency Division Multiple Access</i> , Acceso Múltiple por División de Frecuencia
FEC	<i>Forward Error Correction</i> , Corrección de Errores hacia Adelante
FF	Factor de forma
FFT	<i>Fast Fourier Transform</i> , Transformada Rápida de Fourier
FM	<i>Frequency Modulation</i> , Modulación de Frecuencia
FRP	Frecuencia de repetición de pulsos
FSK	<i>Frequency Modulation Key</i> , Modulación por Desplazamiento de Frecuencia
FTP	<i>File Transfer Protocol</i> , Protocolo de Transferencia de Archivos
G	Conductividad
Gbps	Giga bit por segundo
GEO	<i>Geostationary Earth Orbit</i> , Satélite de Órbita Geoestacionaria
GHz	Gigahercio
gTLD	<i>Generic Top Level Domain</i>
H	Henry
HDB-3	<i>High Density Binary</i>
HDTV	<i>High Definition Television</i> , Televisión de alta definición
HEO	<i>Highly Elliptical Orbit</i> , Satélite de Órbita Altamente Elíptica
HF	<i>High Frequency</i> , Alta Frecuencia
HFC	<i>Hybrid Fiber Coaxial</i> , Red Híbrida de Coaxial y Fibra
HLR	<i>Home Location Register</i> , Registro de ubicación de usuarios
Hz	Hertz
IAB	<i>Internet Architecture Board</i>
IANA	<i>Internet Assigned Numbers Authority</i>
IBM	<i>International Business Machines</i>
ICANN	<i>Internet Corporation for Assigned Names and Numbers</i>
ICMP	<i>Internet Control Message Protocol</i>
IDE	<i>Integrated Drive Electronics</i>
IEEE	<i>Institute of Electrical and Electronics Engineers</i> , Instituto de Ingenieros Eléctricos y Electrónicos
IESG	<i>Internet Engineering Steering Group</i>
IETF	<i>Internet Engineering Task Force</i>
IMP	<i>Interface Message Processor</i>
INMARSAT	<i>International Maritime Satellite Organization</i> , Organización Marítima Internacional Satelital
INTELSAT	<i>International Telecommunication by Satellite</i> , Telecomunicación Internacional por Satélite
INTERSPUTNIK	Organización Internacional de Comunicaciones Interespaciales Intersputnik
INWG	<i>International Network Working Group</i>
IP	<i>Intelligent Peripheral</i>
IP	<i>Internet Protocol</i> , Protocolo de Internet
IP/MPLS	<i>Internet Protocol/Multi-Protocol Label Switching</i>

IPDC	<i>Internet Protocol Device Control</i> , Protocolo de Control de Dispositivos
IRSE	<i>Internet Research Steering Group</i>
IRTE	<i>Internet Research Task Force</i>
ISDN	<i>Integrated Services Digital Network</i> , Red digital de servicios integrados
ISI	Interferencia Intersímbolo
ISO	<i>International Organization for Standardization</i> , Organización Internacional para la Estandarización
ISOC	<i>Internet Society</i>
ISP	<i>Internet Service Provider</i> , Proveedor de Servicios de Internet
ISUP	<i>ISDN User Part</i>
IT&T	<i>International Telephone & Telegraph</i>
ITU	<i>International Telecommunication Union</i>
Kbps	Kilo bit por segundo
kHz	kilohercio
L	Inductancia
LAN	<i>Local Area Network</i> , Red de Área Local
LAP - M	<i>Link Access Procedure - Modem</i> , Procedimiento de Acceso al Enlace - Módem
LASER	<i>Light Amplification Stimulated Emission Radiation</i> , Amplificador de la Luz por Emisión Estimulada de Radiación
LED	<i>Light Emitted Diode</i> , Diodo Emisor de Luz
LEO	<i>Low Earth Orbit</i> , Satélite de Órbita Baja
LF	<i>Low Frequency</i> , Baja Frecuencia
LH	<i>Long Haul</i> , Larga Distancia
LHC	Gran Acondicionador de Hadrones
LIDB	<i>Line Information Database</i> , Información de líneas
LNA	<i>Low Noise Amplifier</i> , Amplificador de Bajo Ruido
LNP	<i>Local Number Portability</i>
LRTI	Identificación y Seguimiento de Buques de Largo Alcance
LTE	<i>Long Term Evolution</i>
MA	<i>Multiple Access</i> , Acceso Múltiple
mA	miliampere
MAC	<i>Medium Access Control</i>
MAN	<i>Metropolitan Area Network</i>
MASER	<i>Microwave Amplification by stimulated Emission of Radiation</i> , Microonda Amplificada por Emisión Estimulada de Radiación
Mbps	Mega bit por segundo
MBWA	<i>Mobile Broadband Wireless Access</i> , Acceso Inalámbrico Móvil de Banda Ancha
MCPC	<i>Multi Channel per Carrier</i> , Múltiples Canales por Portadora
MEO	<i>Medium Earth Orbit</i> , Satélite de Órbita Media
MF	<i>Medium Frequency</i> , Media Frecuencia
MIC	Modulación por Impulsos Codificados
MIPS	Mega Instrucciones por Segundo
MNP	<i>Microm Network Protocol</i>
módem	Modulador - demodulador
MOS	<i>Metal Oxide Semiconductor</i> , Semiconductor Óxido Metal
MPEG	<i>Moving Picture Experts Group</i>
MPSK	<i>Multi Phase Modulation Key</i>
NACK	<i>No Acknowledge</i> , Rechazo
NASA	<i>National Aeronautics and Space Administration</i> , Administración Nacional de Aeronáutica y del Espacio
NESCO	<i>National Electric Signaling Company</i>
NEXT	<i>Near End Crosstalk Loss</i> , Pérdidas por Diafonía cerca del extremo
NGN	<i>New Generation Network</i> , Redes de la Nueva Generación
nm	Nanómetro
NRZ	<i>Non Return Zero</i> , Sin regreso a cero
ns	Nano segundo
NTP	<i>Network Time Protocol</i>
NTSC	<i>National Television System Committee</i>
OACI	Organización de Aviación Civil Internacional
OAM	<i>Operations, Maintenance, and Administration Part</i>
OC	<i>Optical Carrier</i> , Portadora Óptica
OFDM	<i>Orthogonal Frequency Division Multiplexing</i> , Multiplexación Ortogonal por División de Frecuencia
OMI	Organización Marítima Internacional
OSI	<i>Open System Interconnection</i>

PABX	<i>Private Address Branch Exchange</i> , Central Telefónica Privada
PAL	<i>Phase Alternating Line</i>
PAM	<i>Pulse Amplitude Modulation</i> , Modulación por amplitud de Pulso
PCM	<i>Pulse Code Modulation</i> , Modulación por Pulso Codificado
PDH	<i>Plesiochronous Digital Hierarchy</i> , Jerarquía Digital Plesiócrona
PDM	Modulación por Duración del Pulso
pF	Pico Faradio
PI	Periféricos Inteligentes.
PIN	<i>Photo Detector</i> , Foto Detector
PIN/FET	<i>Photo Detector - Field Effect Transistor</i> , Foto Detector y Transistor por Efecto de Campo
PLC	<i>Power Line Communication</i>
PM	<i>Pulse Modulation</i> , Modulación de Pulso
PoE	<i>Power over Ethernet</i>
PPM	<i>Pulse Position Modulation</i> , Modulación por Posición del Pulso
PPS	Pulso por segundo
PRE	Potencia de Ruido Equivalente
PSK	<i>Phase-shift Keying</i> , Modulación por Desplazamiento de Fase
PVC	Policloruro de Vinilo
QAM	<i>Quadrature Amplitude Modulation</i> , Modulación de Amplitud en Cuadratura
QoS	<i>Quality of Service</i> , Calidad de Servicio
R	Resistencia
RAM	<i>Random Access Memory</i> , Memoria de Acceso al Azar
RARP	<i>Reverse Address Resolution Protocol</i>
RDSI	Red Digital de Servicios Integrados
RDSI-BA	Red Digital de Servicios Integrados de Banda Ancha
RDSI-BE	Red Digital de Servicios Integrados de Banda Estrecha
RFC	<i>Request for Comments</i>
RG	Radiofrecuencia / Gobierno
RM	Red móvil
RP	<i>Routing Protocol</i>
RS	<i>Recommended Standard</i> , Recomendación Estándar
RTC	Red Telefónica Comutada
RTP	Redes Telefónicas Públicas
RTPC	Red Telefónica Pública Comutada
RTPCM	Red Telefónica Pública Comutada Mundial
RTS	<i>Request To Send</i> , Petición para Transmitir
RZ	<i>Return to Zero</i> , Retorno a cero
s	Siemens
SATA	<i>Serial Advance Technology Attachment</i>
SC	Superunidad
SCCP	<i>Signaling Connection Control Part</i>
SCP	<i>Service Control Point</i> , Punto del Servicio de Control
SCPC	<i>Single Channel per Carrier</i> , Canal Único por Portadora
SDH	<i>Synchronous Digital Hierarchy</i> , Jerarquía Digital Sincrónica
SECAM	<i>Séquentiel Couleur à Mémoire</i>
SGCP	<i>Simple Gateway Control Protocol</i>
SHF	<i>Super High Frequency</i> , Súper Alta Frecuencia
SIP	<i>Session Initiation Protocol</i> , Protocolo de Iniciación de Sesión
SMC	<i>Service Management Center</i>
SNA	<i>System Network Architecture</i>
SOAs	<i>Semiconductor Optical Amplifiers</i>
SOH	<i>Section Overhead</i> , Sección de Encabezado
SONET	<i>Synchronous Optical Protocol</i> , Protocolo Óptico Sincrónico
SS TDMA	<i>Satellite Switched Time Division Multiplexer Asynchronous</i> , Comutación Satelital con Multiplexación Asincrónica por División de Tiempo
SSC7	Sistema de Señalización por Canal Común N° 7
SSP	<i>Service Switching Point</i> , Punto del Servicio de Comutación
STD	<i>Standard</i>
STDM	<i>Statistical Time Division Multiplexing</i> , Multiplexación por división de tiempo estadístico
STM-1	<i>Synchronous Transport Module</i>

STP	<i>Shielded Twisted Pair</i> , Par Trenzado Apantallado
STP	<i>Signal Transfers Point</i> , Punto de Transferencia de la Señal
STS-1	<i>Synchronous Transport Signal</i>
TB	<i>Terabyte</i>
Tbps	Tera bits por segundo
TCAP	<i>Transaction Capabilities Applications Part</i>
TCM	<i>Trellis Codification Modulation</i> , Modulación por Codificación Trellis
TCP	<i>Transmission Control Protocol</i>
TDM	<i>Time-division Multiplexing</i> , Multiplexación por División de Tiempo
TDMA	<i>Time Division Multiplexer Asynchronous</i> , Multiplexación Asincrónica por División de Tiempo
TFTP	<i>Trivial File Transfer Protocol</i> , Protocolo Trivial de Transferencia de Archivos
TIA	<i>Telecommunications Industries Association</i> , Asociación de Industriales en Telecomunicaciones
TS	<i>Technical Specification</i>
TUP	<i>Telephone User Part</i>
U	Universal
UART	<i>Universal Asynchronous Receiver Transmitter</i> , Receptor Transmisor Asincrónico Universal
UDP	<i>User Datagram Protocol</i>
UHF	<i>Ultra High Frequency</i> , Frecuencia Ultra Elevada
UIT	Unión Internacional de Telecomunicaciones
UIT-T	Sector de Normalización de las Telecomunicaciones de la UIT
ULH	<i>Ultra Long Haul</i> , Ultra Larga Distancia
USAT	<i>Ultra Small Aperture Terminal</i> , Terminal de Apertura Ultra Pequeña
USB	<i>Universal Serial Bus</i>
UTP	<i>Unshielded Twisted Pair</i> , Par trenzado sin Apantallar
V	Volt
VC	<i>Virtual Containers</i> , Contenedores Virtuales
VF	Frecuencias de voz
VHF	<i>Very High Frequency</i> , Muy Alta Frecuencia
VLF	Frecuencias muy bajas
VLR	<i>Visitor Location Register</i> , Registro de ubicación de visitantes
VoIP	<i>Voice over Internet Protocol</i> , Voz sobre Protocolo de Internet
VPN	<i>Virtual Private Network</i>
VSAT	<i>Very Small Aperture Terminal</i> , Terminal de Apertura Muy Pequeña
VT	<i>Virtual Tributary</i> , Tributario Virtual
W	Watt
WAN	<i>Wide Area Network</i> , Red de Área Extensa
WDM	<i>Wavelength Division Multiplexing</i> , Multiplexación por División de Longitud de Ondas
WG	<i>Work Group</i>
xDSL	<i>x Digital Subscriber Line</i> , Tecnologías para Líneas Digitales de Abonado
XOFF	Carácter de Control N° 3 ASCII N° 19
XON	Carácter de Control N° 1 ASCII N° 17

Bibliografía

- Abramson, N. *Teoría de la Información y Codificación*, Madrid: Paraninfo, 5º ed., 1981.
- Alton Everest, F. *Master Handbook of Acoustics*, Nueva York: McGraw-Hill, 4º ed., 2001.
- Anderson, J.; Johannesson, R. *Understanding Information Transmission*, Piscataway: IEEE Press-Wiley Interscience. John Wiley & Sons, 2005.
- Anttalainen, T. *Telecommunications Networking Engineering*, Norwood: Artech House, 5º ed., 2003.
- Argüello, L. R. *Física Moderna*, Buenos Aires: Answer Just in Time, 2004.
- Bahamonde Magro A.; Martínez Lorente, G.; Otero Carvajal, L. E. *Las comunicaciones en la construcción del Estado contemporáneo en España: 1700-1936*, Madrid: Ministerio de Obras Públicas, Transportes y Medio Ambiente, 1993.
- Ballart, R.; Ching, Y. "SONET: Now It's The Standard Optical Network" en *IEEE Communications Magazine*, Volumen 27, Número 3, marzo de 1989.
- Bates, B.; Gregory, D. *Voice and Data Communications Handbook*, Nueva York: McGraw-Hill, 1997.
- Bell TE. "Incredible or Inevitable?" en *IEEE Spectrum Online*, Volumen 37, Número 6, 2000.
- Black, U. *ISDN and SS/7. Architectures for Digital Signaling Networks*, Upper Saddle River: Prentice Hall, 1997.
- Black, U. *Data Link Protocols*, Nueva Jersey: Prentice Hall, 1993.
- Black, U. *Emerging Communications Technologies*, Norwood: Prentice Hall, 2º ed., 1997.
- Blackstock, D. T. *Fundamentals of Physical Acoustics*, Nueva York: John Wiley & Sons, Inc, 2000.
- Boyd, D.; Ellison, N. "Social Network Sites: Definition, History, and Scholarship" en *Journal of Computer-Mediated Communication*, Artículo 11, 2007. Disponible en: <http://jcmc.indiana.edu/vol13/issue1/boyd.ellison.html>
- Bradner, S. *The Internet Standards Process*, Rev. 3, 1996.
- Bregni, S. *Synchronization of Digital Telecommunications Network*, Nueva York: John Wiley & Sons, Inc, 2002.
- Lussato, B., *El desafío informático*, Barcelona: Planeta, 1982.
- Carlson B.; Crilly P.; Rutledge J. *Sistemas de Comunicación*, México DF: McGraw-Hill, 4º ed., 2007.
- Casson, H. N. *The History of the Telephone*, versión preparada por el Centro Bibliotecario de Textos Electrónicos, Universidad de Virginia, Chicago: AC McClurg & Co, 1910.
- Castro Lechtaler, A. R.; Fusario, R. J. *Teleinformática para Ingenieros en Sistemas de Información*, Madrid: McGraw-Hill, 1994.
- Castro Lechtaler, A. R.; Fusario, R. J. *Teleinformática para Ingenieros en Sistemas de Información*, Barcelona: Reverte, 2º ed., 1999.
- Cerf, V. G.; Kahn, R.E.; Leiner, B.M. (et al) *A Brief History of the Internet*, Internet Society. Version 3.32, 2003 Disponible en: [#REK72#REK72](http://www.isoc.org/internet/history/brief.shtml)
- Cerf, V. G.; Kahn, R. E. *A Protocol for Packet Network Interconnection*, IEEE Transactions on Communications. COM-22, V5, 1974, pp. 627-641.
- Cheng, D. *Fundamentos de Electromagnetismo para Ingeniería*, Wilmington: Addison Wesley Iberoamericana, 1997.
- Ciciora, W.; Farmer, J.; Large, D. (et al) *Modern Cable Television Technology. Video, Voice and Data Communications*, San Francisco: Morgan Kaufmann Publishers – Elsevier, 2º ed., 2006.
- Couch, L. *Sistemas de Comunicaciones Digitales y Analógicos*, México DF: Prentice Hall Hispanoamericana, 5º ed., 1998.
- Davison, J.; Peters, J. Fundamentos de Voz sobre IP. Editorial Pearson Educación. Madrid. 2001.
- Díaz, J. *Introducción a la Transmisión de Datos. Fundamentos*. Buenos Aires: IBM World Trade Corporation, Tomos I y II, 1974.

- Sinnema, W.; McGovern, T. *Digital, Analog and Data Communications*, Englewood Cliffs: Prentice Hall, 1986.
- España Boquera, M. C. *Servicios Avanzados de Telecomunicación*, Madrid: Ediciones Díaz de Santos S.A., 2003.
- Forouzan, B. *Transmisión de Datos y Redes de Telecomunicaciones*, Madrid: McGraw-Hill, 4º ed., 2007.
- Freeman, R. *Ingeniería de Sistemas de Telecomunicaciones*, México DF: Limusa, 1989.
- Froehlich, F. E. (ed.); Kent, A. (coed.) *The Encyclopedia of Telecommunications*, Nueva York: Marcel Dekker, 1991.
- Galarza, G. *Comunicaciones Ópticas de Largo Alcance en Líneas de Alta Tensión*. Puerto Iguazú: XIII ERIAC, 2009.
- Goralski, W. *Tecnologías ADSL y xDSL*, Madrid: Osborne McGraw-Hill, 2000.
- Goralski, W. *SONET. A Guide to Synchronous Optical Networks*, Nueva York: McGraw-Hill, 1997
- Graus, J. D. *Electromagnetismo*, México DF: McGraw-Hill, 1986.
- Halsall, F. *Redes de Computadores e Internet*, Madrid: Addison Wesley, 5º ed., 2006.
- Herrera Pérez, E. *Fundamentos de Ingeniería Telefónica*, México DF: Limusa, 1979.
- Hovey, R.; Bradner, S. *The Organizations Involved in the IETF Standards Process*, 1996.
- Hsu, H. *Analog and Digital Communications*, Nueva York: Schaum's outline Series. McGraw-Hill, 2003.
- Huidobro Moya, J. M. *Guía Esencial de Telecomunicaciones*, Madrid: Thomson Editores, 2004.
- Huidobro Moya, J. M. *Redes y Servicios de Telecomunicaciones*, Madrid: Paraninfo, 2000.
- Huidobro Moya, J. M.; Millán Tejedor, R.; Roldán Martínez, D. *Tecnologías de Telecomunicaciones*, México DF: Alfaomega Grupo Editor, 2006.
- Huidobro Moya, J. M.; Roldán Martínez, D. *Tecnología VoIP y Telefonía IP*, México DF: Alfaomega Grupo Editor, 2006.
- Huurdeman, A. *Guide to Telecommunications Transmission Systems*, Norwood: Artech House, 1997.
- IP Telephony. *Packet-based Multimedia Communications Systems*, London: Pearson Education, 2000.
- Jeszensky, P. J. E. *Sistemas Telefónicos*, Río de Janeiro: Manole Lta. Barueri SP, 2007.
- John N., *Global Paradox*, William Morrow & Co, 1994.
- Kumar A.; Manjunath, D.; Kuri, J. *Communications Networking. An Analytic Approach*, San Francisco: Morgan Kaufmann Publishers, 2004.
- Kurose, J.; Ross, K. *Redes de Computadoras. Un enfoque descendente basado en Internet*, Madrid: Pearson-Addison Wesley, 2º ed., 2004.
- Kustra, R.; Tujnaider, O. *Principios de Comunicaciones Digitales*, AHCIET, Volúmenes I y II, 1988.
- Maguire, V. *De-Mystifying Cabling Specifications*, 2007. Disponible en: www.siemon.com
- Martín Ramos, P; Martín Gil, J.; Chamorro Posada, P. *Amplificadores de fibra óptica dopada con Erbio e Iterbio*, Universidad de Valladolid, España.
- Minoli, D. *Telecommunications Technology Handbook*, Norwood: Artech House, 2ºed., 2003.
- Morse Telegraph Club, Inc. <http://www.morsetelegraphclub.org/default.asp> Los Angeles, 2006.
- Otero Carvajal, L. E. *El nacimiento de un nuevo medio de comunicación, 1877-1936*, Universidad Complutense, Madrid, 2006. Disponible en: <http://www.ucm.es/info/hcontemp/leoc/telefono.htm>
- Peterson, L.; Davie, B. *Computer Networks. A Systems Approach*, San Francisco: Morgan Kaufmann Publishers, 3º ed., 2003.
- Quel, E.; Rosito, C. *Introducción al Láser*, Buenos Aires: Lugar Científico, 1994.

Ramaswami, R.; Sivarajan, K. *Optical Networks. A Practical Perspective*, San Francisco: Morgan Kaufmann Publishers, 2º ed., 2002.

Recomendación UIT-T – I.312. Principios de la Arquitectura de la Red inteligente. Sector de Normalización de las Telecomunicaciones de la UIT. Ginebra. 1992.

Recomendación UIT-T – J.112. Principios de la Arquitectura de la Red inteligente. Sector de Normalización de las Telecomunicaciones de la UIT. Ginebra. 1992.

Recomendación UIT-T – J.122. Introducción al Sistema de Señalización N° 7. Especificaciones del Sistema de Señalización N.º 7. Sector de Normalización de las Telecomunicaciones de la UIT. Ginebra. 1993.

Recomendación UIT-T - J.83. Recomendaciones generales sobre la conmutación y la señalización. Red inteligente. Introducción al conjunto de capacidades de red inteligente. Sector de Normalización de las Telecomunicaciones de la UIT. Ginebra. 1996.

Recomendación UIT-T - Q.1211. Recomendaciones generales sobre la conmutación y la señalización. Red inteligente. Introducción al conjunto de capacidades de red inteligente. Sector de Normalización de las Telecomunicaciones de la UIT. Ginebra. 1996.

Recomendación UIT-T - Q.700. Introducción al Sistema de Señalización N° 7. Especificaciones del Sistema de Señalización N.º 7. Sector de Normalización de las Telecomunicaciones de la UIT. Ginebra. 1993.

Reggini, H. *Los Caminos de la Palabra*, Buenos Aires: Galápagos, 1996.

Schwartz, M. *Redes de Telecomunicaciones. Protocolos, Modelado y Análisis*, Wilmington: Addison Wesley Iberoamericana, 5º ed., 1994.

Schweber, W. *Data Communications*, McGraw-Hill, 1988.

Sexton, M.; Reid, A. *Transmission Networking: SONET and the Synchronous Digital Hierarchy*, Norwood: Artech House, 1997.

Skilling, H. H. *Fundamentals of electric waves*, Nueva York: John Wiley & Sons, Inc, 2º ed., 1948

Stallings, W. *Comunicaciones y Redes de Computadoras*, Madrid: Pearson Prentice Hall, 7º ed., 2004.

Suárez Vargas, F. C. *Apuntes de Telefonía*, Tucumán: Editorial Universidad Tecnológica Nacional, 2007.

Tanenbaum, A. *Redes de Computadoras*, México DF: Pearson Addison-Wesley, 2003.

Thomas, J.; Edgington, F. *Digital Basis for Cable Television Systems*, Upper Saddle River: Prentice Hall, 1999.

TIA-568-C0. Generic Structured Cabling, *Telecommunications Industry Association*, 2008.

TIA-568-C1. *Commercial Building Telecommunications Cabling Standards - Part 1 General Requirements*, 2009.

TIA-568-C2. *Balanced Twisted-Pair Telecommunications Cabling and Components Standards*, 2010.

TIA-568-C3. *Optical Fiber Cabling Components Standard*. *Telecommunications Industry Association*, 2008.

Tipler, P. *Física*. Barcelona: Reverte, 3º ed., 1996.

Tomasi, W. *Sistemas de Comunicaciones Electrónicas*, México DF: Prentice Hall Hispanoamericana, 1996.

Von Neumann, J. *First Draft of a Report on the EDVAC. Contract N°W-670-ORD-4926. Between the United States Army Ordnance Department and the University Of Pennsylvania. Moore School of Electrical Engineering*, Universidad de Pensilvania, 1945.

Weinrib, A.; Postel, J. *IRTF Research Group Guidelines and Procedures*, 1996.

Winder, S. *Telecommunications*, Newnes, 3º ed., 2001.

Hipervínculos consultados

Bureau International des Poids et Mesures: <http://www.bipm.org>

Cable Television Laboratories, Inc. DOCSIS 2.0 Specifications. Louisville, Colorado.

Estados Unidos de Norteamérica. <http://www.cablelabs.com/cablemodem/specifications/specifications20.html>

Cable Television Laboratories, Inc. DOCSIS 3.0 Specifications. Louisville, Colorado.

Estados Unidos de Norteamérica. <http://www.cablelabs.com/cablemodem/specifications/specifications30.html>

USB 2.0 Specification. <http://www.usb.org/developers/docs/>. USB Implementers Forum, Inc. 2000.

USB 3.0 Specification. <http://www.usb.org/developers/docs/>. USB Implementers Forum, Inc. 2008.

Índice analítico

- ADSL Forum 63
- Algoritmo 568
- American Telephone and Telegraph Company* 9
- Amplificador(es) 88
 - óptico de semiconductores 668
 - óptico dopado con erbio 666
 - Raman 667
- Ancho de Banda 28, 108
- Anillo 236
 - de control centralizado 241
 - de control distribuido 241
- ANSI 62
- APD 423
- Aplicación del teorema de Nyquist 606
- ARABSAT 385
- ARPA 41
- ARPANET 41
- ARQ 217
- Arquitectura(s)
 - ADSL 575
 - de comunicaciones 247
 - de protocolos 313
 - proprietarias 249
 - SDH 675
- ASIASAT 385
- AT 492
- AT&T 9
- Atenuación 69, 169
 - de la luz 413
 - en la propagación de las señales ópticas 665
- Atenuadores en cascada 88
- ATM 29, 442
- Banda C 383
- Banda(s)
 - ascendentes 386
 - de protección 637
 - descendentes 386
 - Ka 383
 - Ku 383
- Barra 236
- Bell Telephone Company* 6
- Binary digit 179
- Binits 179
- Bipolar 119
 - con retorno a cero 119, 122
 - sin retorno a cero 123
- Bit 179
- Bloque 154
- Bus 236
- Byte 153
- Cable(s)
 - coaxial 117
 - coaxiles 268, 339, 352
 - de cobre 117, 339
 - de cobre multipares 268
 - de par trenzado 339
 - de pares trenzados blindados 339
 - de pares trenzados sin blindar 339
 - módem 536
 - módem 583
 - multipares 339
 - multipares aéreos 339, 351
 - multipares subterráneos 345
 - ópticos mono y multifibra 420
 - submarinos de cobre 339
 - submarinos de fibra óptica 429
- Cableado estructurado 360
- Canal(es)
 - analógico 172
 - B 173
 - de comunicaciones 142
 - de información 169, 171
 - de ruido blanco gaussiano aditivo 188
 - digital 172
 - físico 169
 - ideal 171
 - lógico 169
 - real 171
 - telefónicos analógicos 543
- Capa
 - de aplicación 257
 - de enlace 255
 - de Kennelly-Heaviside 378
 - de presentación 256
 - de red 255
 - de sesión 256
 - de transporte 256
 - física 255, 450
- Capacidad
 - de las fibras 664
 - de un canal de comunicaciones 111
- Capacitancia mutua 341
- Características
 - de la voz 277
 - de las antenas de microondas 401
 - de las microondas digitales 401
 - de los módem de rango vocal 536
- CAS 309
- CATV 150, 410
- ccTLD 56
- CENELEC 361
- Centrales
 - de tránsito 288
 - locales 287
 - privadas 287
 - telefónicas 142
- CEPT 673
- CFDM 396
- Checksum 212
- Cinturón de radiaciones de Van Allen 382
- Circuito(s)
 - arrendadas 300
 - de datos 148

- de dos y de cuatro hilos 303
- virtuales comutados 264
- virtuales permanentes 264
- Clasificación**
 - de la modulación por pulsos 599
 - de las técnicas de modulación 514
 - de los filtros 130
- CMTS 588, 589
- CODEC 150, 439
- Codificación** 616
 - diferencial 123
- Código(s)** 56
 - 4B-3T 129
 - autocorrectores 219
 - de Bose-Chaudhuri 224
 - de Hagelbarger 223
 - de Hamming 221
 - de país 292
 - en banda base 119
 - HDB-3 119, 128
 - Manchester 123
 - Manchester diferencial BIFASE 125
 - MILLER 125
 - nacional de área 293
 - normalizados por el UIT-T 129
- Comité TR-42 360
- Compansión 612
- Comparación entre USB y IEEE 1394 489
- Componentes de un sistema de comunicaciones por satélite 389
- Comprensión de datos 163
- Concentración 140
- Concepto de hora pico 325
- Conectividad 247
- Congestionamiento 328
- Comutación 140, 258
 - de circuitos 142, 260
 - de mensajes 262
 - de paquetes 42, 142, 166, 262
- Comutadores de paquetes 142
- Consorcio INTELSAT 383
- Contenedores virtuales 682
- Control**
 - de flujo de datos 566
 - de la paridad entrelazada o cíclica 210
 - de la paridad longitudinal o bidimensional 209
 - de la paridad vertical 208
- Corrección**
 - de errores 216
 - de errores hacia adelante 218
 - hacia adelante 217
 - hacia atrás 217
- Crisis del ancho de banda 630
- Cuádruple Play 37
- Cuantificación** 609
 - uniforme 612
- Curvas de Robinson-Dadson 281
- CWDM 427, 428, 642
- DARPA 250
- De acceso 141
- Decibel 90
- Demodulación 514
- Detección**
 - de errores 207, 216
 - de errores por adición de información redundante 211
 - de errores por el método de suma de verificación 212
- DHCP 588
- Diáfonía 198
- Digitalización 140, 439, 602
- Dígitos binarios 179
- Direct to home 394
- Dispersión**
 - de la luz 414
 - del pulso de luz 417
 - modal y cromática 414
 - Raman 667
- Distancia de Hamming 220
- Distintos tipos de láser 406
- Distorsión 69, 169, 199
 - por atenuación 199
 - por efectos meteorológicos 204
 - por retardo de grupo 203
- Divisor de canales 150
- DMT 579
- DNA 249
- DNS 46
- DOCSIS 587, 592
- DSE 250
- DSLAM 578
- DWDM 427, 428, 642
- Eco 174, 397
- Ecuación**
 - de D'Alembert 12
 - de onda 12.
- Ecualizadores
- EDFA 665
- Efecto peculiar 104
- EIA 63, 360
- EIA/TIA 568 360
- Elementos accesorios en una instalación optoelectrónica 424
- Emisión estimulada 406
- Enlace(s)**
 - de datos 148
 - de comunicaciones 141, 142
- Entropía 180
 - de la fuente 183
- Equipos**
 - de comunicaciones láser 407
 - excitadores de línea 536
 - módem 536
 - radioeléctricos 269
 - terminales 141
 - terminales de datos 43, 148
 - terminales del circuito de datos 148
- Error de cuantificación 610
- Errores 205
- Especro**
 - de frecuencia 100
 - de frecuencias electromagnéticas 98
- Esquema básico de multiplexación por división de frecuencia 638

- Estándar
 primario 499
 secundario 500
- Estrella 236
- Estructura
 de las tramas SDH 680
 del satélite 390
- Ethernet Frame Relay* 29
- EUTELSAT 385
- Evolución futura del láser 407
- Exaflood 631
- Facsímiles 297
- Factor de ruido 173
- FDM 576, 636
- FDMA 641
- FEC 218
- Fibra(s)
 Óptica(s) 23, 28, 117, 268, 409
 oscura 427
- Filtros 130
 activos 133
 de bobina y condensador 132
 de cristal 132
 pasa altos 130
 pasa bajos 130
 pasa banda 130
 suprime banda 131
- FM 379
- Formación de órdenes superiores de multiplexación de la jerarquía digital plesiócrona 650
 las jerarquías analógicas 640
- Formas de acceso al satélite 395
- FR 442
- Fuente de memoria nula 180
- Función onda cuadrada 77
- Funcionamiento del ADSL 577
- Funcionares horarias 493
- Funciones patrones 493
- Funciones y servicios de capa 255
- Fundamentos teóricos del proceso de modulación
 de fase 530
 en AM 520
 en frecuencia 525
- Futuro
 de las redes ópticas 686
 del cable submarino 432
- G.707 674
- G.708 674
- G.709 674
- G.781 674
- G.782 674
- G.783 674
- G.784 674
- Ganancia de un amplificador 112
- Gateways* 43
- Globalstar 395
- GMT 492
- Grado de servicio 328
- Grupo cuaternario 670
- gTLD 56
- Guías de onda 402
- Hartley 177
- HDLC 567
- Hora
 local 493
 oficial 493
- IAB 51
- IANA 56
- ICANN 56
- IEEE 62
- IESG 51
- IETF 51
- Índice
 escalón 416
 gradual 416
- Ingeniería de tráfico 322
- INMARSAT 384
- INTELSAT 383
- Intensidad 277
- Interfaces y buses en modo paralelo 453
- Interfaz
 ATA 453
 FireWire-IEEE 1394 486
 IEEE 1284 454, 456
 USB 474
- Interferencias intersímbolos 175
- Internet service providers* 49
- Interrelación entre SONET y SDH 685
- INTERSPUTNIK 384
- IP 44
- Iridium Communications Inc. 394
- IRSG 51
- IRTF 51
- ISO 61, 247
 11801 361
 11801 enmienda 1 361
- ISOC 49, 62
- ISP 150
- ITU-D 61
- ITU-R 61
- ITU-T 61
- Jerarquía digital sincrónica 678
- Jitter 165
- LAN 232
- LAP-M 567
- Láser 404, 422
 gaseoso 406
 líquido 406
 sólido 407
- Latencia 165, 167
- LED 422
- Lempel-Ziv 568
- Ley (es)
 A 615
 de cuantificación 613, 614
 de Moore 26
 de Shannon-Hartley 440
- Línea
 de cobre desnudo 339
 de transmisión 169
- Local área network 145
- Locales 141
- Longitud de onda 98
- LRTI 384
- Malla 236
- MAN 233

- MCPC 396
 Medida
 de la información 176
 del tráfico 325
 Método(s)
 de control por redundancia cíclica 213
 de modulación para señales digitales 399
 dúplex 445
 ENO/ACK 567
 PSK 399
 QAM 399
 RTS/CTS 566
 semidúplex 444
 simplex 444
 XON/XOFF 567
 MFA Forum 63
 Microondas 268, 397
 analógicas 398
 digitales 399
 MIL C-17 E 358
 Módem 439
 ADSL 68, 536
 asincrónicos 544
 banda base 536, 569
 con canal auxiliar 542
 de baja velocidad 545
 de media y alta velocidad 547
 de rango vocal 536
 inteligente de muy alta velocidad 552
 sincrónicos 545
 Modos de transmisión 446
 Modulación 439
 de amplitud 517
 de fase 529
 de frecuencia 523
 delta 623
 delta adaptativa 626
 digital de pulsos 619
 multinivel 535
 PCM diferencial 626
 por onda continua 516
 por pulsos 597
 por pulsos analógicos 599, 600
 por pulsos codificados 623
 por pulsos digital 599
 MPEG 591
 MPSK 531
 Muestreo de señales 622
 Multiplexación 439, 634
 Densa por División de Longitud de Onda 28
 por división de frecuencia 641
 por división de frecuencias ortogonales 642
 por División de Longitud Onda 28
 Multiplexores 439
 Nanotecnología 26
 NASA 382
 Nat 177
 NGN 38, 442
 NIST 499
 Nodo(s) 234
 de concentración 142
 de conmutación 235
 terminal 235
 Norma
 IEEE-1394-1995 488
 IEEE-1394a-2000 489
 IEEE-1394b-2002 489
 V.90 553
 Normalización de las interfaces de la capa física 450
 NTP 493
 NTSC 584
 OACI 384
 OFDM 579, 632
 OMI 384
 Onda(s)
 directa 371
 electromagnéticas 338
 espacial 371
 terrestre 371
 Optoelectrónica 23
 Órbita geosincrónica 166
 OSI 250
 PAL 584
 PAM 601
 Par trenzado 341
 PCM 620
 PDH 652
 Percepción del sonido 280
 Pérdidas
 en las fibras ópticas 418
 por absorción y radiación 418
 por acoplamiento 419
 por cromática 418
 por dispersión de Rayleigh 419
 por dispersión modal 418
 Período de señal 98
 PIN 423
 PIN/FET 423
 Plan
 de numeración 290
 de numeración telefónico 292
 Planta 145
 PoE 360
 Polar
 con retorno a cero 119, 122
 sin retorno a cero 119, 121
 Potencia del sonido 277
 PPM 601
 Primera ventana 414
 Principio de funcionamiento del láser 405
 Proceso
 de conmutación 286
 de digitalización 511
 de modulación 510
 de muestreo 622
 Propagación 277, 370
 en medios conductores 102
 por onda directa 370
 por onda reflejada espacial 370
 por onda terrestre 370
 Protocolo(s)
 MNP 568
 TCP/IP 43
 Proyecto DARPA 51
 PSM 601
 QAM 561

- QoS 442
Radiocomunicaciones 338
RDSI 441
Recomendación(es)
 G. 311 340
 G. 312 340
 M. 1020 202
 M. 1040 202
 UIT G.992.1 577
 V.29 559
 V.32 176
 V.32 bits 564
 V.34 548, 565
 V.35 467
 V.42 567
 V.42 bis 568
 X. 200 247
 X.21 469
 RS 232-V.24 457
- Red(es)
 de aplicaciones específicas 231
 de área extendida 145
 de área local 145
 de banda ancha 570
 de datos 138
 de empresas 231
 de señalización 315
 de telecomunicaciones 138
 de transporte 173
 inteligente 316
 internacionales 232
 Internet 25
 interurbanas 232
 local 145
 multiorganizativas 231
 ópticas 655
 ópticas mixtas 659
 privadas virtuales 321
 soporte 138, 173, 301
 telefónica 172
 telefónica conmutada 142, 269
 télex 138
 urbanas 232
 WLAN 145
- Relación señal a ruido 173
Relojes patrones 499
Rendimiento de un sistema de transmisión de datos 159
Repetidor (es) 425
 analógico 425
 digital 425
- Retardo 165, 175
Retardos de transmisión 69
RFC Editor 51
Router 43, 142
RTPC 510
RTPCM 290
Ruido 69, 169
 blanco 194
 de intermodulación 198, 637
 en los sistemas PCM 622
 impulsivo 197
- Satélites 269, 381
- de órbita baja 386
de órbita geoestacionaria 387
de órbita media 386
de órbitas altamente elípticas 388
SCPC 395
SDH 29, 652, 670
SECAM 584
Segmento
 espacial 389
 terrestre 389, 392
- Segunda ventana 414
Señales
 analógicas 66
 bipolar 113
 digitales 66
 eléctricas 336
 en banda base 113
 polar 113
 unipolar 113
- Señalización en la red telefónica 305
Servicios isócronos 167
Shannon 177
Sincronismo 490
 de bit 494
 de byte 497
 de paquetes 497
 de red 498
 de trama 497
- Sistema (s)
 automático de retransmisión 217
 auxiliares y complementarios 389
 Baudot 502
 Bell 31
 de comunicación de datos 143
 de comunicaciones 438
 de seguimiento, telemetría y control 389, 393
 de señalización por canal común 312
 de señalización por canal común N°7 318
 de transmisión por fibras 662
 optoelectrónico 421
 teleinformáticos 144
- SNA 249
Sociedad del Conocimiento 23
SONET 29, 670, 684
Splitter 150
SS TDMA 397
Standard Electric Corporation 11
STDIM 654
Subred de acceso 140
Supresores de eco 175
Tasa
 de error 158, 192
 de información 184
TDM 576, 643
TDMA 395, 396
Técnicas de corrección de errores 216
Tecnología
 ADSL 574
 xDSL 339, 573
- Teledesic 395
Teléfono (s) 294
 de Reis 622
- Telégrafo 2

- Teleinformática 23, 143
- Télex 155
- Teorema
 - de Nyquist 187
 - de Shannon-Hartley 188
- Teoría
 - de colas 167
 - de la información 176
- Tercera ventana 414
- TFTP 588
 - The Western Union Telegraph Company* 4
- Throughput 159
- TI 23, 39
- TIA 360
 - TIA-568 C1 361
 - TIA-568-C0 361
 - TIA-568-C2 361
 - TIA-568-C3 361
- Tipos
 - de cables submarinos y accesorios 429
 - de conmutadores 287
 - de cuantificación 610
 - de errores 206
 - de fibra óptica 416
 - de transmisión 444
- Topología
 - de las redes ópticas de comunicaciones 674
 - de una red 236
 - híbridas 243
- Tramas 442
- Transmisión (es) 266
 - asincrónica 501
 - de señales 95
 - en banda base 115
 - en medios conductores 100
 - en medios dieléctricos 95
 - en modo paralelo 447
 - en modo serie 448
 - multinivel 163
 - por conducción 336
 - por conducción eléctrica 338
 - por medios ópticos u ondas electromagnéticas 338
 - sincrónica 503, 669
- Transponder 395
- Tratamiento de los errores 207
- Triple Play 37
- Troncales 141
- TV 379
- UART 449
- UIT 61
- Últimas versiones del estándar ADSL 580
- Unidades de medida del flujo de tráfico 326
- Unipolar
 - con retorno a cero 119
 - sin retorno a cero 119
- USAT 393
- UTC 499
- Utilización del espectro para los servicios de radiodifusión 641
- Valor
 - eficaz 77
 - media 77
- Velocidad
 - binaria 155
 - de modulación 154
 - de propagación 98
 - de transferencia de datos 158
 - de transmisión 155, 234
 - de transmisión en señales multinivel 157
 - global de transmisión 155
 - real de transferencia de datos 159
- Ventajas de la modulación por pulsos 599
- Vínculo 235
 - de comunicaciones 148
- VoIP 29
- VSAT 393
- WAN 233
- WDM 427, 428, 642
 - Western Electric Company* 9
 - Western Union* 4
- Zona
 - de acceso 140
 - de cobertura 386
 - de la red o núcleo 140
 - del usuario 140