

TEMA 1 : INTRODUCCION A LAS REDES DE COMPUTADORES.....	4
1. Modelo simplificado para la comunicación.....	4
2. Definición de red	4
3. Usos e implicaciones de las redes.....	4
4. Hardware de red.....	5
▪ Tecnología de transmisión.....	5
▪ Topología.....	5
▪ Clasificación de las redes	6
5. Software de red.....	8
▪ Jerarquías de protocolos	8
▪ Comunicación entre entidades pares	9
▪ Tipos de servicios	9
▪ Primitivas del servicio	10
6. Modelos de referencia	10
▪ Modelo OSI	10
▪ Modelo TCP/IP.....	11
7. Estandarización de redes	11
TEMA 2 : NIVEL FISICO	12
1. Transmisión de datos	12
▪ Conceptos en el dominio del tiempo	12
▪ Conceptos en el dominio de la frecuencia.....	13
▪ Relación entre ancho de banda y velocidad de transmisión.....	14
▪ Transmisión, señales y datos	15
▪ Atenuación.....	17
▪ Distorsión del retardo	18
▪ Ruido	18
▪ Capacidad del canal	19
2. Medios de transmisión.....	21
▪ Medios guiados.....	21
▪ Medios no guiados.....	26
3. Codificación y modulación.....	28
▪ Datos digitales, señales digitales	28
▪ Datos digitales, señales analógicas.....	33
▪ Datos analógicos, señales digitales.....	38
▪ Datos analógicos, señales analógicas	41
▪ Espectro expandido.....	45
4. Técnicas de comunicación de datos digitales	47
▪ Transmisión asíncrona.....	47
▪ Transmisión sincrona.....	48
▪ Interfaces	48
▪ Módems	51
5. Multiplexación.....	52
▪ Multiplexación por división en frecuencias (FDM)	52
▪ Multiplexación por división en longitud de onda (WDM)	54
▪ Multiplexación por división en el tiempo sincrona (TDM).....	54
▪ Multiplexación por división en el tiempo estadística	56
▪ Línea de abonado digital asimétrica (ADSL)	58
TEMA 3: CONTROL DEL ENLACE DE DATOS	60
1. Control de Flujo.....	60

▪ Control de Flujo mediante Parada y Espera	60
▪ Control de Flujo mediante Ventana Deslizante.....	61
▪ Análisis de prestaciones.....	63
2. Control de errores	65
▪ Detección de Errores	65
▪ Corrección de Errores.....	69
▪ ARQ con Parada y Espera	71
▪ ARQ con Vuelta atrás N	72
▪ ARQ con Rechazo Selectivo	73
▪ Análisis de prestaciones.....	73
3. BSC (Control sincrono binario).....	75
▪ Estructura de tramas	75
▪ Funcionamiento	77
4. HDLC (Control de enlace de datos de alto nivel)	78
▪ Estructura de tramas	79
▪ Funcionamiento	80
5. Otros protocolos basados en HDLC	83
▪ Procedimiento de acceso a enlace versión B (LAPB)	83
▪ Procedimiento de acceso a enlace canal D (LAPD).....	83
▪ Protocolo punto a punto (PPP)	84
TEMA 4: REDES DE AREA LOCAL	85
1. IEEE 802	85
2. Protocolos de acceso múltiple	86
▪ ALOHA puro.....	86
▪ ALOHA rasurado	87
▪ Protocolos con detección de portadora.....	87
▪ Protocolos libres de colisiones	89
▪ Protocolos de LAN inalámbricas.....	91
3. Ethernet IEEE 802.3	93
▪ Cableado Ethernet.....	94
▪ Ethernet conmutada	96
▪ Fast Ethernet (802.3u)	97
▪ Gigabit Ethernet (802.3z)	98
▪ Ethernet 10 Gbps (802.3ae)	98
4. LAN inalámbricas IEEE 802.11	99
▪ Capa física	99
▪ Subcapa MAC	99
▪ Trama MAC.....	101
▪ Servicios	101
5. Control Lógico del Enlace IEEE 802.2	102
6. MAN inalámbricas IEEE 802.16.....	103
▪ Capa física	103
▪ Subcapa MAC	104
7. Bluetooth IEEE 802.15.....	104
8. Puentes.....	105
▪ Arquitectura de protocolos	105
▪ Encaminamiento estático	106
▪ Técnica de árbol de expansión.....	107
▪ Puentes conectados a LAN diferentes	109
9. Dispositivos de interconexión	109

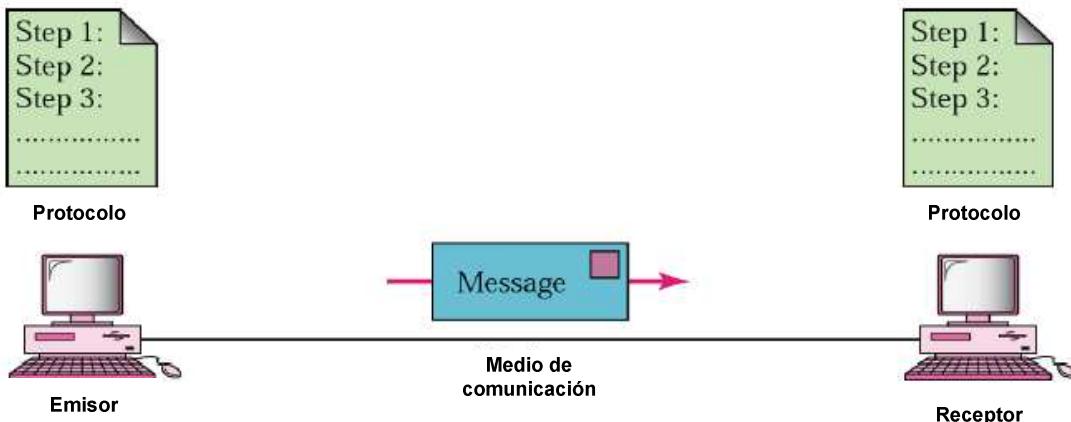
■ Repetidores y concentradores	109
■ Conmutadores de capa 2.....	110
■ Conmutadores de capa 3.....	111
10. Cableado estructurado	112
■ Descripción de un SCE.....	112
TEMA 5: REDES DE AREA AMPLIA	115
1. Redes Conmutadas	115
■ Redes de conmutación de circuitos	115
■ Redes de conmutación de paquetes	116
■ Comparación.....	119
2. Encaminamiento en redes de conmutación de circuitos.....	120
3. Encaminamiento en redes de conmutación de paquetes.....	121
■ Estrategias de encaminamiento	121
■ Algoritmos de mínimo coste	123
4. Congestión de redes de datos.....	125
■ Efectos de la congestión	125
■ Control de congestión.....	127
■ Gestión de tráfico.....	128
5. X.25	129
6. X.25-Frame Relay	129
7. Frame Relay.....	129
8. ATM	130

TEMA 1 : INTRODUCCION A LAS REDES DE COMPUTADORES

1. Modelo simplificado para la comunicación

El objetivo de todos los sistemas de comunicación es intercambiar información entre dos entidades.

Dato: Es un hecho, concepto o instrucción presentado en un formato acordado entre las partes que los crean y los utilizan.



2. Definición de red

Una *red* es un conjunto de dispositivos (nodos) conectados por enlaces de un medio físico.

Un *nodo* puede ser una computadora, una impresora o cualquier otro dispositivo capaz de enviar y/o recibir datos generados por otros nodos de la red.

Las computadoras deben ser autónomas, no siendo válida una relación maestro-esclavo. No son sistemas distribuidos.

3. Usos e implicaciones de las redes

En el mundo empresarial:

- Compartir recursos
- Alta confiabilidad
- Ahorra dinero
- Escalabilidad
- Valor añadido a la empresa

En uso particular:

- Acceso a información remota
- Comunicación de persona a persona
- Entretenimiento interactivo
- Comercio electrónico

Usuarios móviles

Implicaciones sociales, éticas y políticas.

4. Hardware de red

Dispositivos de usuario final: Son los elementos con los que interactúa el usuario.

- Computadora , impresora u otro dispositivo (host)
- Requieren de una tarjeta de red para poderse comunicar con la red.

Dispositivos de red: Son dispositivos necesarios para que la red funcione.

- Repetidores, hubs, puentes, switches, router...



▪ Tecnología de transmisión

Redes de difusión

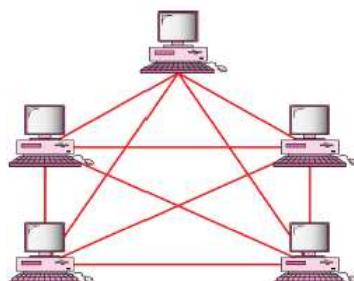
- Se comparte la capacidad del enlace.
- La dirección identifica a cada dispositivo.
- Multidifusión mediante dirección de grupo.

Líneas punto a punto

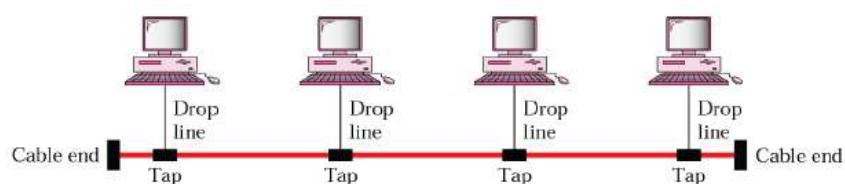
- Enlace dedicado a la conexión entre dos host.
- Algoritmos de enruteamiento para determinar el camino apropiado.

▪ Topología

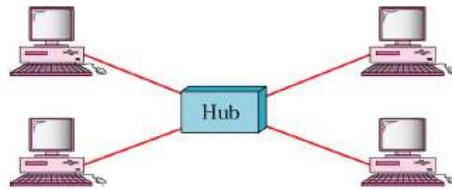
- *Malla*



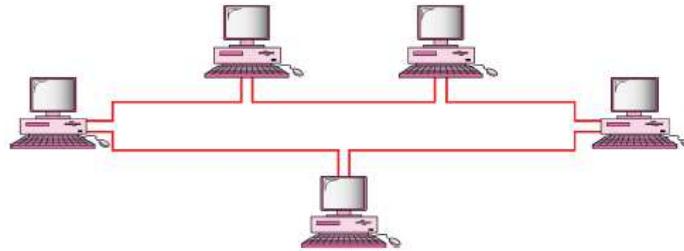
- *Bus*



- *Estrella o estrella extendida:* Tiene un punto de conexión central, fácilmente reconfigurable y robusta.



- *Anillo:* Son líneas dedicadas entre dispositivos adyacentes, puede tener un anillo simple o uno doble.



■ Clasificación de las redes

Clasificación según la escala:

Distancia entre procesadores	Procesadores localizados en el mismo	Ejemplo
1 m	Metro cuadrado	Redes de Área Personal
10 m	Habitación	
100 m	Edificio	Redes de Área Local
1 km	Campus	
10 km	Ciudad	Redes de Área Metropolitana
100 km	País	
1000 km	Continente	Redes de Área Extensa
10,000 km	Planeta	Internet

Redes de área local: Son redes de propiedad privada, para compartir recursos e intercambiar información.

Son restringidas en tamaño por ello su retardo es conocido

- Asignación del canal:

Estática: Round-robin

Dinámica: Método centralizado o descentralizado.

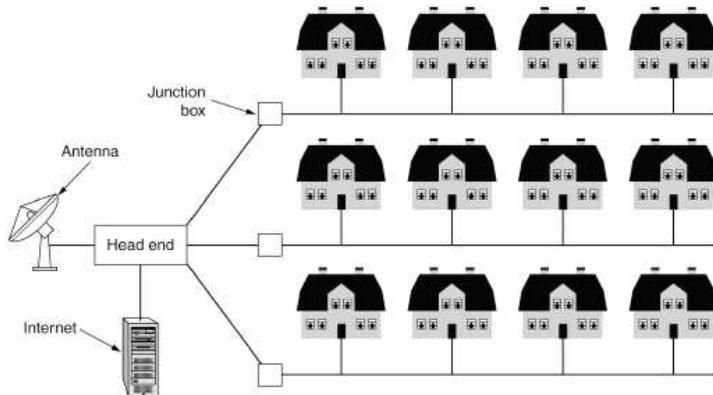
- IEEE 802:

Ethernet: 802.3

Token ring: 802.5

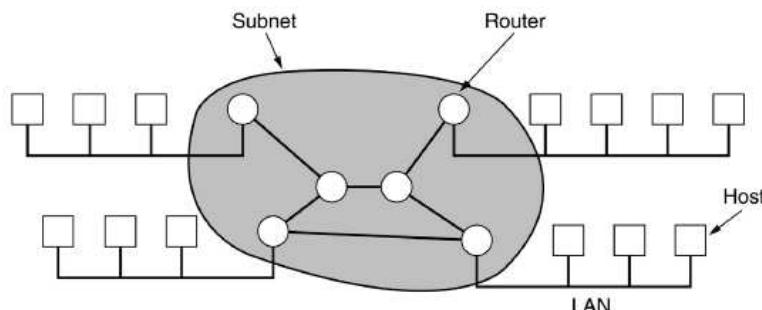
LAN inalámbrica: 802.11

Redes de área metropolitana: Se extienden a lo largo de una ciudad. Son LAN unidas con líneas backbone. Uno de sus usos es la TV por cable.



Redes de área amplia: Son un conjunto de hosts conectados a una LAN que esta conectada a una subred a través de router y estos router están conectados entre si para tener conexión con otras LAN.

Almacenamiento-y-retransmisión (Store-and-forward) o paquete commutado.



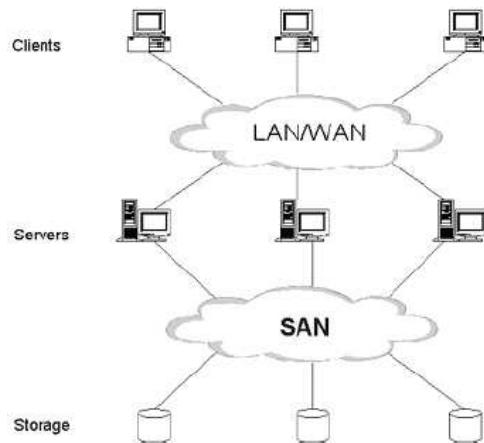
Difusión de redes de satélite.

Redes inalámbricas: Las redes inalámbricas son redes que para su comunicación emplean medios inalámbricos.

- Redes de área personal
Bluetooth : IEEE 802.15.
Esquema maestro-esclavo.
- LAN inalámbrica
IEEE 802.11
Sustituye al cableado Ethernet
Operan en bandas SMI, ofreciendo hasta 54 Mbps (802.11g)
- WAN inalámbrica
UMTS: Hasta 2 Mbps
IEEE 802.16

SAN (Redes de área de almacenamiento): Es una red especializada que mueve datos entre servidores y recursos de almacenamiento.

- Reside dentro de una LAN.
- Conectividad de alta velocidad servidor-a-almacenamiento, almacenamiento-a-almacenamiento o servidor-a-servidor.



5. Software de red

Es altamente estructurado, ya que deben atenderse cuestiones muy diversas.

Consideraciones:

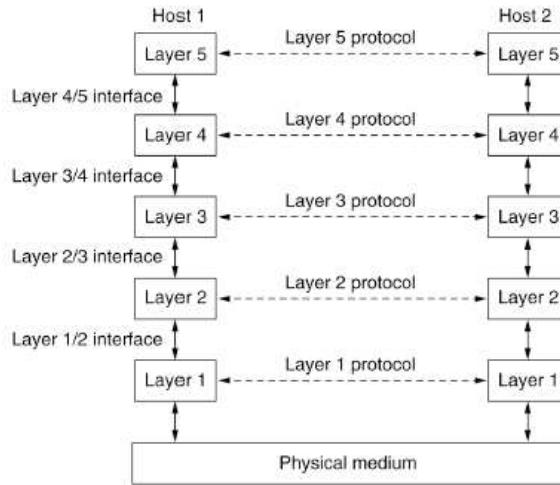
- Direccionamiento
- Simplex , semiduplex, duplex
 - Simplex: Una estación siempre actúa como fuente y la otra siempre como receptor.(En un único sentido).
 - Semiduplex: Trasmisión en los dos sentidos pero no simultanea.
 - Duplex(full duplex): Trasmiten y reciben en ambas direcciones simultáneamente
- Control de flujo
- Control de errores
- Multiplexacion
- Enrutamiento.

▪ Jerarquías de protocolos

Las redes se organizan en capas o niveles, cada capa ofrece servicios a la capa superior a través de una interfaz.

Las entidades pares se comunican respetando un protocolo.

La arquitectura de red es el conjunto de capas y protocolos.

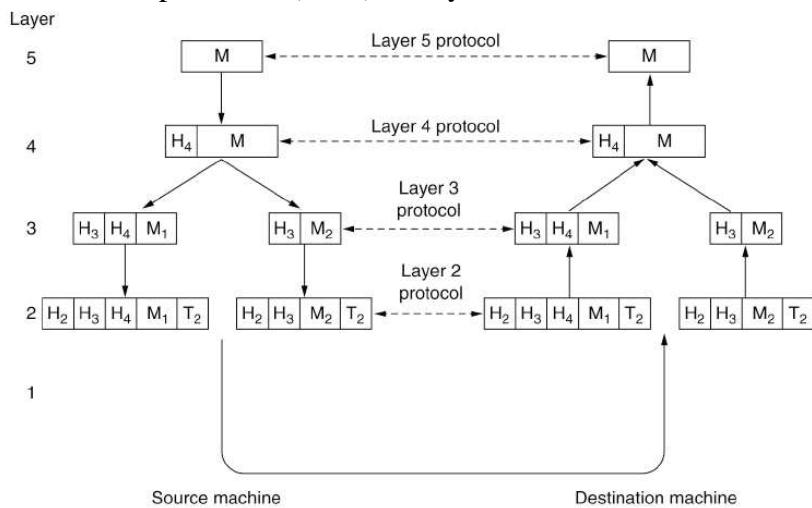


■ Comunicación entre entidades pares

Envió de un mensaje a un proceso de aplicación en otra máquina.

Punto de acceso al servicio (SAP) o puerto

Una unidad de datos de protocolo (PDU) incluye información de control de cabecera.



■ Tipos de servicios

Distinguimos dos tipos de servicios:

- Orientado a conexión: Encuentra su modelo en el sistema telefónico. Ya que se establece una conexión entre emisor y receptor.
- Sin conexión: El sistema de e-mail.

Calidad del servicio

Servicio de datagramas

Servicio de datagramas con acuse

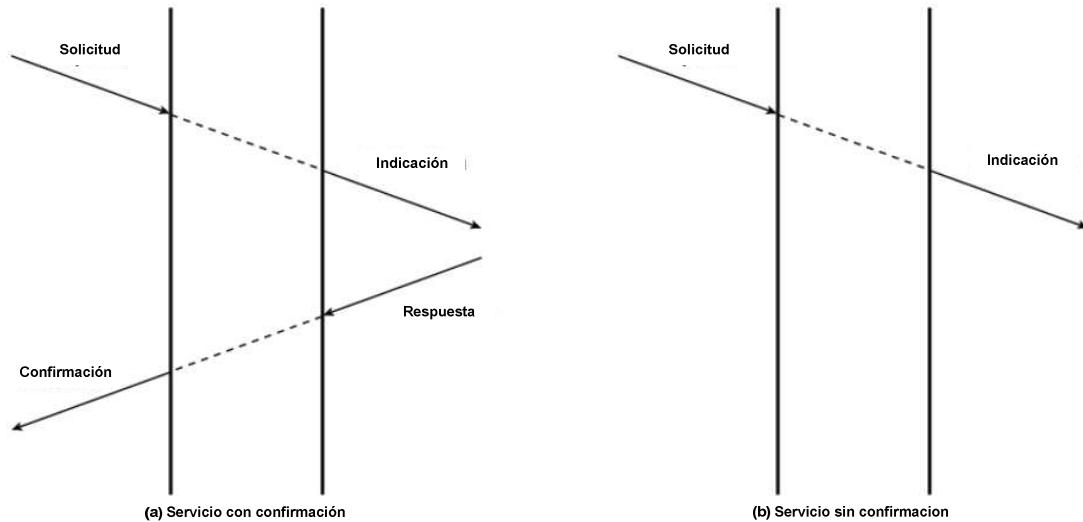
Servicio de petición y respuesta

▪ Primitivas del servicio

Un servicio se especifica con un conjunto de primitivas

Hay cuatro tipos:

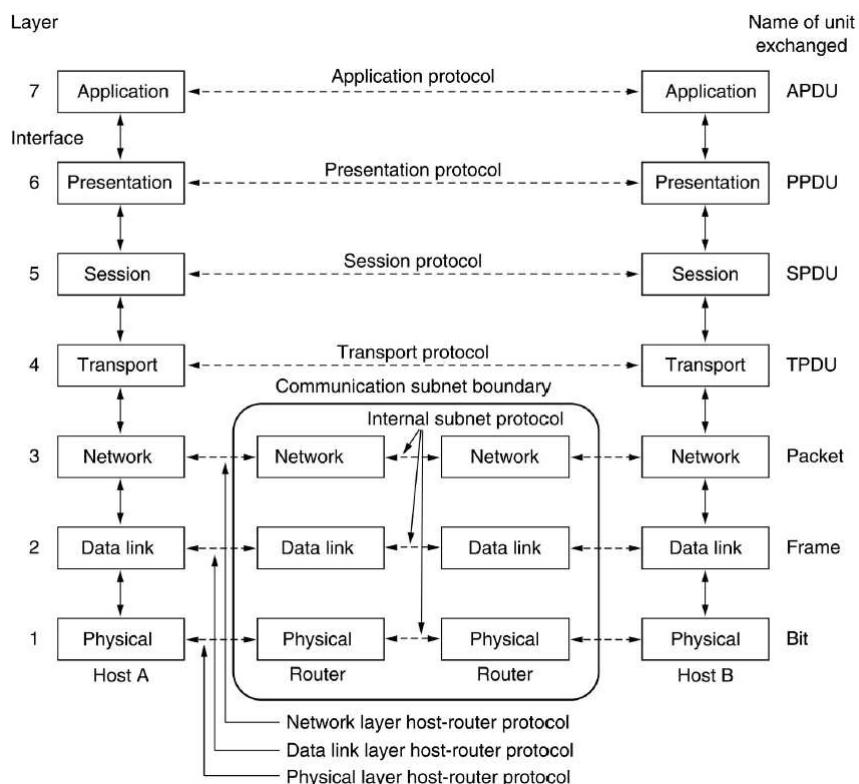
- Solicitud
- Indicación
- Respuesta
- Confirmación



6. Modelos de referencia

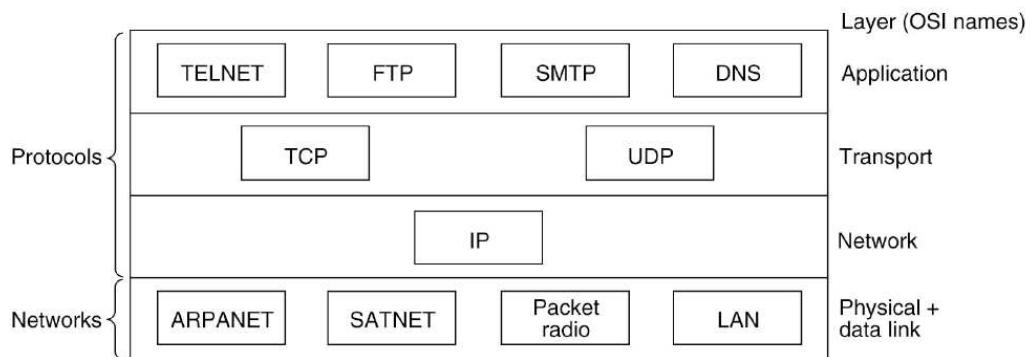
▪ Modelo OSI

Interconexión de sistemas abiertos de la ISO.



■ Modelo TCP/IP

Tiene su origen en ARPANET, red de investigación patrocinada por el DoD



7. Estandarización de redes

Estándares de facto y estándares de jure

Organismos:

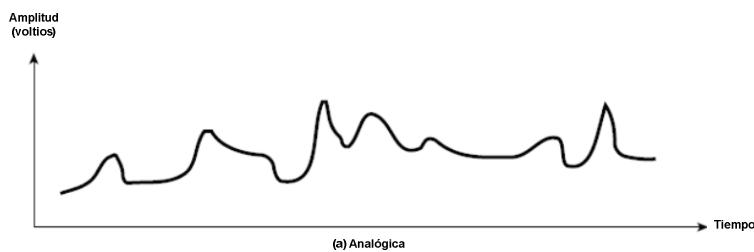
- Asociación Internet (ISOC)
- IEEE 802
- Unión internacional de telecomunicaciones
- Organización Internacional de Estandarización (ISO)
- Forum ATM

TEMA 2 : NIVEL FISICO

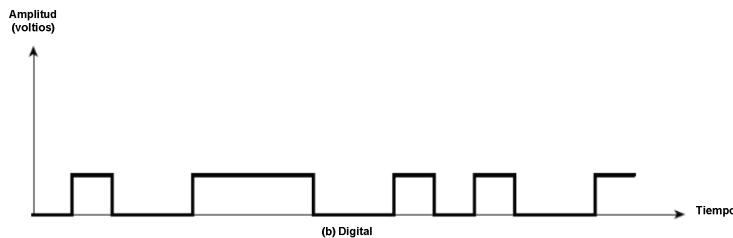
1. Transmisión de datos

▪ Conceptos en el dominio del tiempo

Una señal es **continua** si la intensidad de la señal varía suavemente en el tiempo; es decir, no hay saltos ni discontinuidades. Ej. La voz. $s(t)$ es continua si $\lim_{t \rightarrow a} s(t) = s(a), \forall a$.



Una señal es **discreta** si la intensidad se mantiene constante durante un determinado intervalo de tiempo, tras el cual cambia la señal a otro valor constante. Ej. (0 y 1) valores binarios.



Una señal es **periódica** si tiene un patrón que se repite a lo largo del tiempo. Donde T es el periodo de la señal (T debe ser menor valor que verifique la ecuación), en caso contrario la señal no es periódica. $s(t + T) = s(t), -\infty < t < +\infty$

La señal **senoidal** es la señal continua fundamental por excelencia.

$$s(t) = A \sin(2\pi ft + \phi)$$

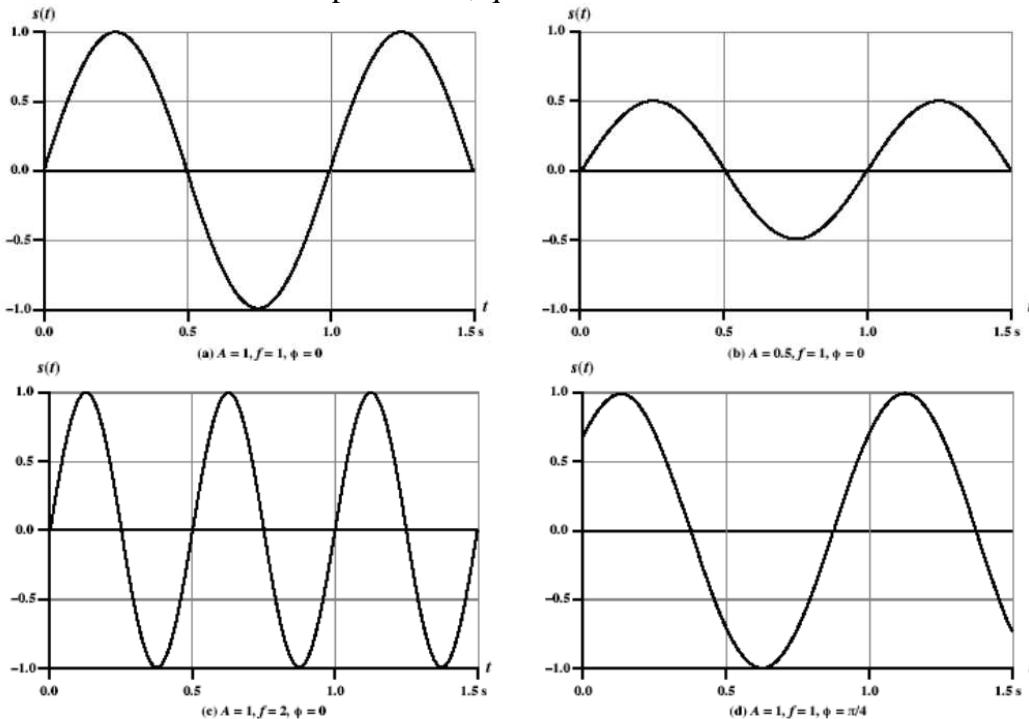
Y se representa mediante tres parámetros:

- Amplitud(A): La amplitud de pico es el valor máximo (o energía) de la señal en el tiempo (se mide en voltios).
- Frecuencia (f): Se mide en ciclos por segundo o hertzios(Hz) a la que la señal se repite. Un parámetro equivalente es el periodo (T), definido como la cantidad de tiempo transcurrido entre dos repeticiones consecutivas de la señal , por lo tanto , $T = 1/f$.
- Fase(ϕ): Es una medida de la posición relativa de la señal dentro de un periodo de la misma.
- La longitud de onda(λ) de una señal es como la distancia que ocupa un ciclo , en otras palabras , la distancia entre dos puntos de igual fase en dos ciclos consecutivos.

Supóngase que la señal se propaga a una velocidad v . La longitud de onda se puede relacionar con el periodo de la señal a través de la siguiente expresión:

$$\lambda = \frac{v}{f} ; \lambda = v \cdot T ; \lambda \cdot f = v$$

En ocasiones $v \rightarrow c$ cuando la velocidad de propagación en el medio es igual a la de la luz en el espacio libre, que es : $c = 3 \cdot 10^8 \text{ m/s}$.



■ Conceptos en el dominio de la frecuencia

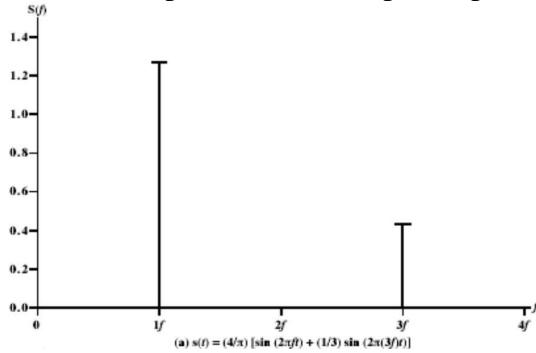
Serie de Fourier : $s(t) = \frac{1}{2}c + \sum_{n=1}^{\infty} a_n \sin(2\pi nft) + \sum_{n=1}^{\infty} b_n \cos(2\pi nft)$

Frecuencia fundamental : Cuando todas las componentes de la señal tienen frecuencias múltiplo de una dada.

Se puede demostrar , usando el análisis de Fourier , que cualquier señal esta constituida por componentes sinusoidales de distintas frecuencias. Este resultado es de vital importancia, ya que los efectos de los medios de transformación sobre las señales se pueden expresar en el dominio de la frecuencia.

Por lo tanto, para cada señal se puede decir que hay una función en el dominio del tiempo $s(t)$ que determina la amplitud de la señal en cada instante de tiempo. Igualmente, hay una función $S(f)$ en el dominio de la frecuencia que especifica las frecuencias constitutivas de la señal.

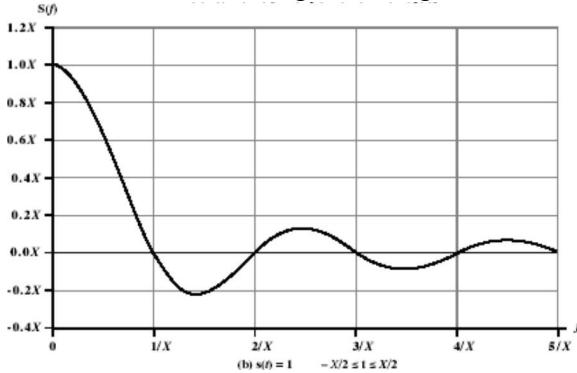
Trasformada de Fourier: señales no periódicas, sirve para representar.



El **espectro** de una señal es el conjunto de frecuencias que la constituyen.

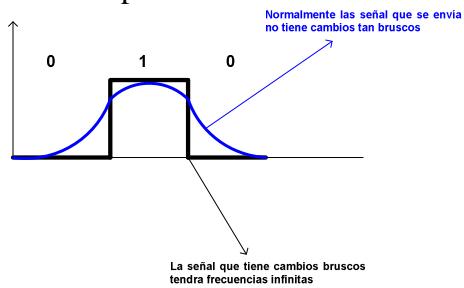
Ancho de banda son los huecos que ocupa el espectro. Hay dos tipos:

- Ancho de banda absoluto de una señal es la anchura del espectro. Muchas señales tienen un ancho de banda infinito.
- Ancho de banda efectivo de una señal es donde se concentra la mayor parte de energía de la señal, en la señal de la figura de siguiente es $1/X$.



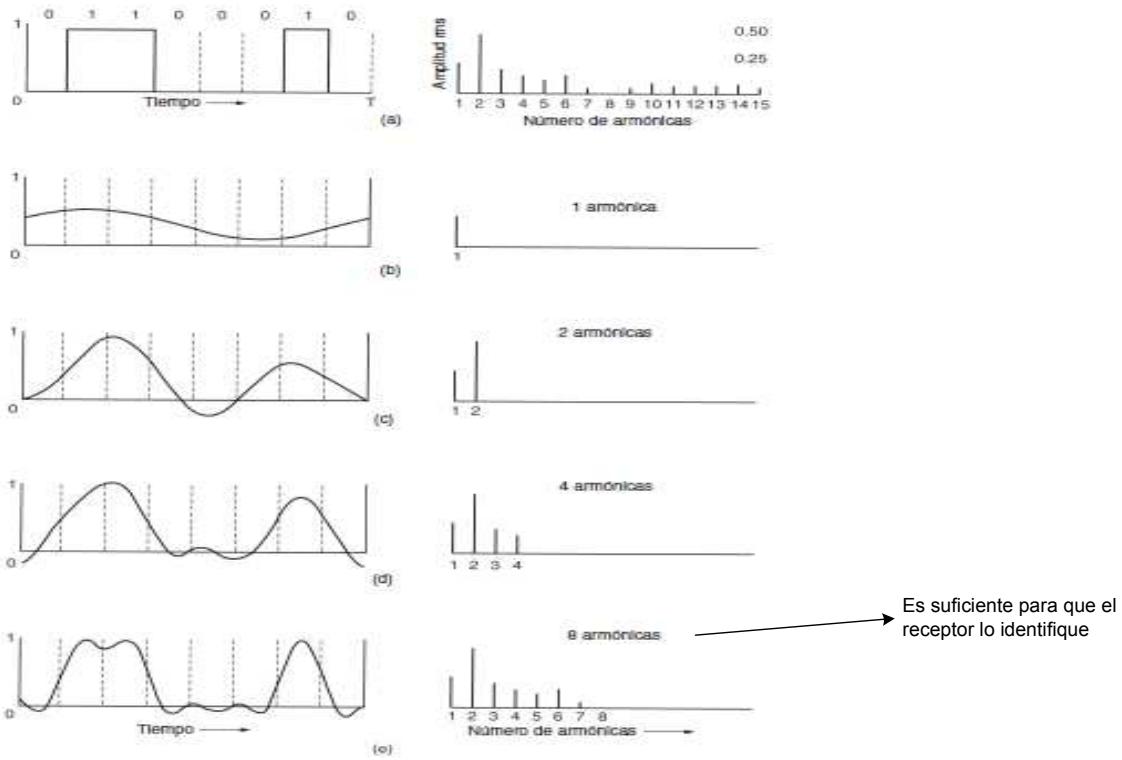
El término **componente continua (dc)**: Si una señal contiene una componente de frecuencia cero, esa componente se denomina continua. Esta componente por el transformador no pasa por esta razón se prefiere que no lleve por que si nos no podemos utilizar transformadores.

Si hay cambios bruscos en la señal probablemente tendremos frecuencias infinitas



▪ Relación entre ancho de banda y velocidad de transmisión.

Aunque una forma de onda dada contenga frecuencias en un rango extenso, por cuestiones prácticas el sistema de transmisión, solo podrá transferir una banda limitada de frecuencias. Esto hace que la velocidad de transmisión máxima en el medio sea limitada.



El ancho de banda es el rango de frecuencia que un medio de transmisión deja transmitir y establece una limitación física a la velocidad de transmisión.

+ Velocidad queremos

+ Ancho de Banda necesitamos

Cuanto mayor es la velocidad de transmisión, mayor es el ancho de banda efectivo.

$R \rightarrow$ Tasa de bits

$T_b \rightarrow$ Periodo de bit

$$T_b = \frac{1}{R} s \rightarrow \text{Para } 8 \text{ bits con una } R=1200 \text{ bps} \rightarrow \frac{8}{R} = \frac{8}{1200} = 0,006666667 s$$

$$\text{La inversa del periodo es la frecuencia } f = \frac{1}{T} = \frac{R}{8} \rightarrow \text{Para } R=1200 \text{ bps} \rightarrow f = \frac{1200}{8} = 150 \text{ Hz}$$

$B \rightarrow$ Ancho de banda

$$B = \text{bits} \cdot \frac{R}{\text{bits}} = \text{Hz}$$

Para 8 bits con una tasa de bits $R=1200$ bps

$$B = 8 \cdot \frac{R}{8} = 8 \cdot \frac{1200}{8} = 1200 \text{ Hz}$$

▪ Transmisión, señales y datos

• **Dato:** Es cualquier entidad capaz de trasportar información.

Los *datos analógicos* pueden tomar valores en algún intervalo continuo. Por ejemplo, el video y la voz son valores de intensidad que varían continuamente.

Los *datos digitales* son aquellos que toman valores discretos, como por ejemplo, los textos o los números enteros (sistemas que tratan datos binarios).

- **Señales:** Son representaciones eléctricas o electromagnéticas de los datos. La señalización es el hecho de la propagación física de las señales a través de un medio adecuado.

Diferencia entre datos y señales. Por lo general, los datos analógicos se representan mediante señales analógicas y los datos digitales a través de señales digitales. Generalmente, los datos analógicos son en función del tiempo y ocupan un espectro en frecuencias limitado, estos datos se pueden representar mediante una señal electromagnética que ocupe el mismo espectro. Los datos digitales se pueden representar por señales digitales, con un nivel de tensión diferente para cada uno de los dígitos binarios.

También hay ocasiones en que los datos digitales se representan mediante señales analógicas usando MODEM (modulador/demodulador). También los datos analógicos se pueden representar mediante señales digitales usando CODEC (codificador/decodificador).

- **Transmisión:** Comunicación de datos mediante la propagación y el procesamiento de señales.

Tanto las señales analógicas como las digitales se pueden transmitir a través del medio de transmisión adecuado.

La **transmisión analógica** es una forma de transmitir las señales analógicas independientemente de su contenido; las señales pueden representar datos analógicos (voz) o datos digitales (datos binarios modulados en un MODEM). En cualquier caso, la señal analógica se irá debilitando (atenuándose) con la distancia. Para conseguir distancias más largas, el sistema de transmisión analógico incluye amplificadores que inyectan energía en la señal. El amplificador también inyecta energía en las componentes de ruido. Para conseguir distancias mayores, al utilizar amplificadores en cascada, la señal se distorsiona cada vez más. Para datos analógicos, como la voz, se puede tolerar una pequeña distorsión, ya que en ese caso los datos siguen siendo inteligibles. Sin embargo, para los datos digitales los amplificadores en cascada introducirán errores.

La **transmisión digital** por el contrario, es dependiente del contenido de la señal. Una señal digital solo se puede transmitir a una distancia limitada, ya que la atenuación y otros aspectos negativos pueden afectar a la integridad de los datos transmitidos. Para conseguir distancias mayores se usan repetidores. Un repetidor recibe la señal digital, regenera el patrón de 0 y 1 y los retransmite. De esta manera se evita la atenuación.

Para señales analógicas se pueden usar la misma técnica anterior si la señal transmitida transporta datos digitales. En este caso, el sistema de transmisión tendrá repetidores convenientemente espaciados en lugar de amplificadores. Dichos repetidores recuperan los datos digitales a partir de la señal analógica y generan una señal analógica limpia. De esta manera el ruido no es acumulativo.

Tanto las comunicaciones a larga distancia como los servicios de comunicación a distancias muy cortas se están reconvirtiendo gradualmente a digital, y es mas, igualmente se esta introduciendo la señalización digital en todos los sistemas donde sea factible. Las razones más importantes que justifican esta elección son:

- Continúa mejora de la tecnología digital.
- Integridad de los datos: regeneración de la señal.

- Aprovechamiento de la capacidad a través de la división en el tiempo.
- Seguridad y privacidad: cifrado.
- Integración de voz, video y datos.

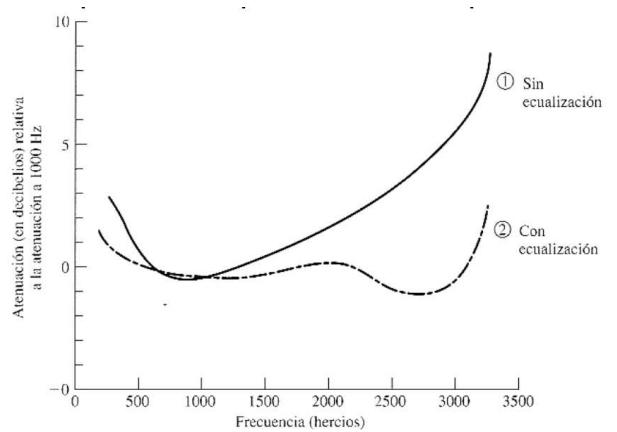
■ Atenuación

La atenuación es la perdida de energía de la señal debido a la distancia.

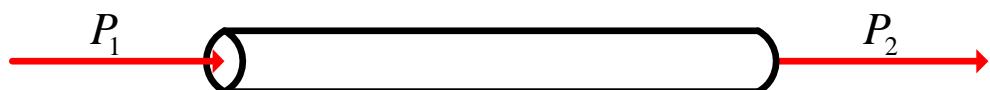
- Medios guiados: Su reducción es exponencial.
- Medios no guiados: También depende de las condiciones atmosféricas.

Normalmente se resuelve controlando la energía de la señal, utilizando amplificadores o repetidores. Pero esto no es así cuando la atenuación es una función creciente de la frecuencia, relevante para el caso de las señales analógicas. La señal estaría distorsionada, reduciéndose la inteligibilidad. Para solucionar este problema, existen técnicas para ecualizar la atenuación en una banda de frecuencias.

En la figura, la línea continua muestra la atenuación sin ecualización. Como se puede observar, las componentes en frecuencia en el extremo superior de la banda de voz se atenúan mucho más que las componentes en bajas frecuencias. Es evidente que esto distorsiona la señal de voz recibida. La línea discontinua muestra los efectos de la ecualización. Al aplanar la atenuación relativa se consigue una mejora en la calidad de la señal de voz.



Calculo de atenuación



$$L = \frac{P_2(w)}{P_1(w)} = \frac{\text{Potencia_salida}}{\text{Potencia_entrada}}$$

$$\text{Se puede expresar en dB} \quad L(\text{dB}) = 10 \log \frac{P_2}{P_1}$$

Las potencias también se pueden expresar en dB pero en relación a alguna medida.

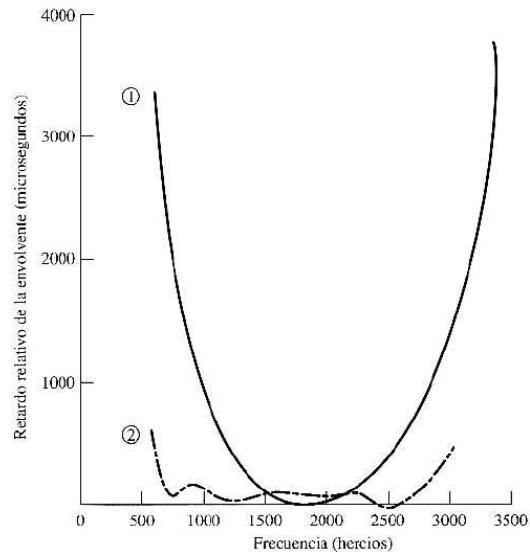
$$P_1(\text{dBW}) = 10 \log \frac{P_1(w)}{1\text{W}}$$

$$P_2(\text{dBW}) = 10 \log \frac{P_2(w)}{1\text{W}}$$

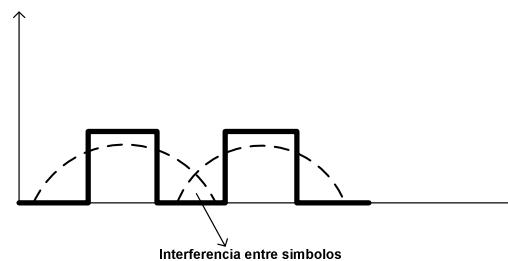
Y podemos calcular la atenuación haciendo una resta

▪ Distorsión del retardo

La distorsión de retardo se produce en los medios guiados. Esta causada por que la velocidad de propagación de la señal en el medio varía con la frecuencia. Para una señal de banda limitada, la velocidad tiende a ser mayor cerca de la frecuencia central y disminuye al acercarse a los extremos de la banda. Por lo tanto, las distintas componentes en frecuencia de la señal llegarán al receptor en instantes diferentes de tiempo, dando lugar a desplazamientos en fase entre diferentes frecuencias.



La distorsión de retardo es particularmente crítica en la transmisión de datos digitales ya que puede provocar interferencia entre símbolos (componentes de los bits). Habrá componentes de frecuencia que llegarán más tarde y esto supone que los pulsos se van a ensanchar.



Esto se soluciona utilizando las técnicas de ecualización anteriores.

▪ Ruido

El ruido son señales no deseadas que se insertan entre el emisor y el receptor en algún punto.

Clasificación del ruido:

- **Ruido térmico:** Debido a la agitación térmica de los electrones. En función de la temperatura. El ruido térmico está uniformemente distribuido en el espectro de frecuencias, y es por esto por lo que a veces se le denomina ruido blanco. No se puede eliminar el ruido térmico.

El ruido térmico para un ancho de banda de 1Hz es : $N_o = k \cdot T (W / Hz)$.

$N_o \rightarrow$ Densidad de potencia de ruido

$k \rightarrow$ Constante de Boltzmann $k = 1,38 \cdot 10^{-23} J/K$

$T \rightarrow$ Temperatura en Kelvin.(grados Celsius + 273 = Kelvin) . Ambiente es 290 Kelvin.

Con esto suponemos que el ruido es independiente de la frecuencia. Así pues, el ruido térmico presente en un ancho de banda de B hertzios se puede expresar como: $N_o = k \cdot T \cdot B (W/Hz)$.

En dB seria:

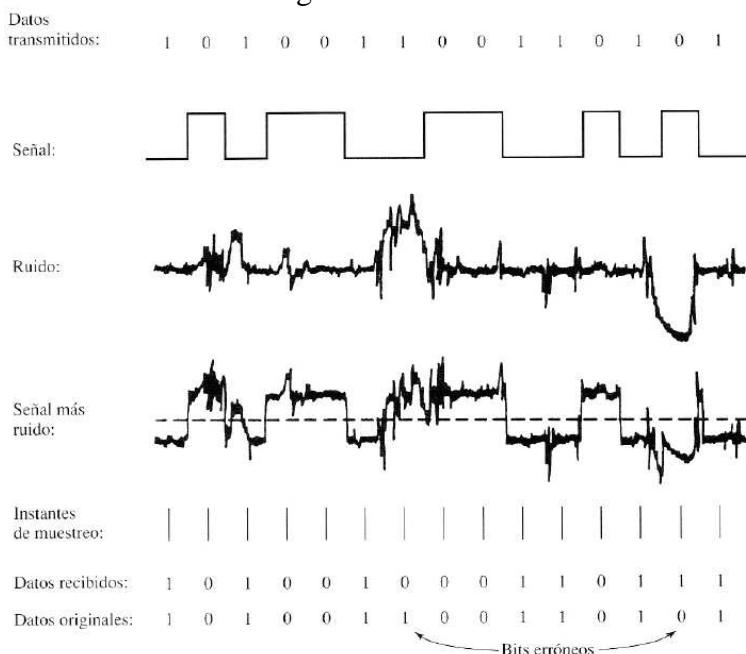
$$N_o = (10 \cdot \log k) + (10 \cdot \log T) + (10 \cdot \log B) = -228,8 \text{dBW} + (10 \cdot \log T) + (10 \cdot \log B)$$

- **Ruido de intermodulación:** Cuando señales de diferentes frecuencias comparten el mismo medio de transmisión. El resultado es una señal que sea la suma, resta o múltiplos de las dos frecuencias originales. Se produce cuando no hay linealidades en el transmisor, receptor o en el sistema de transmisión y esto provoca la aparición de frecuencias espúreas.
- **Diáfonia:** Es el acoplamiento no deseado entre las líneas que transportan las señales.

Los ruidos anteriores tienen una magnitud constante y se puede predecir, y por tanto se le puede hacer frente.

- **Ruido impulsivo:** No es un ruido continuo y está constituido por pulsos o picos irregulares de corta duración y de amplitud relativamente grande.

Efecto del ruido sobre una señal digital:



■ Capacidad del canal

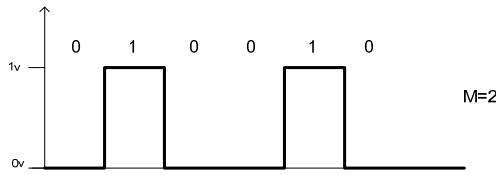
La capacidad del canal es la velocidad a la que se pueden transmitir los datos en un canal o ruta de comunicación de datos.

- **Nyquist:** Considerándose el caso de un canal exento de ruido. La limitación en la velocidad de los datos (bps) esta impuesta simplemente por el ancho de banda de la señal. Dado un ancho de banda de B , la velocidad mayor de la transmisión de la señal que se puede conseguir es $2B$.

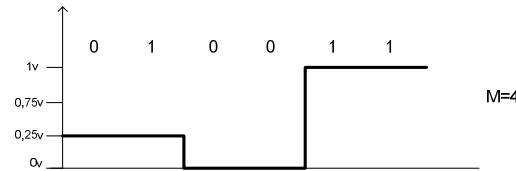
$$C = 2 \cdot B \cdot \log_2 M$$

M : es el número de señales discretas o niveles de tensión.

Si la señal es de 2 niveles $\log_2 M$ será 1 por lo tanto $C = 2 \cdot B$



Si la señal es de 4 niveles $C = 2 \cdot B \cdot \log_2 4$



Para un ancho de banda dado, la velocidad de transmisión de datos se puede incrementar considerando un numero mayor de señales diferentes (un M mayor) .

- **Shannon:** Si se aumenta la velocidad de transmisión, el bit se hace mas corto de tal manera que dado un patrón de ruido, este afectara a un mayor numero de bits. Así pues dado un nivel de ruido, cuanto mayor es la velocidad de transmisión, mayor es la tasa de errores.

Un parámetro fundamental en este razonamiento es la relación señal-ruido (SNR) y se proporciona en decibelios, este cociente se mide en el receptor.

En la señal de Shannon SNR hay que utilizarla sin decibelios.

$$SNR_{dB} = 10 \cdot \log SNR$$

$$SNR = \frac{\text{Potencia_señal}}{\text{Potencia_ruido}}$$

Una SNR alta significa una señal de alta calidad y la necesidad de pocos repetidores. La relación señal-ruido es importante en la transmisión de datos digitales, ya que determina la máxima velocidad de transmisión que se puede conseguir. Shannon se expresa así:

$$C = B \cdot \log_2(1 + SNR)$$

- **Coeficiente E_b/N_o :** Tasas de error. Cociente entre la energía de la señal por bit y la densidad de potencia del ruido por hertzio. Sea una señal digital o analógica, que contenga datos digitales binarios transmitidos a una determinada velocidad R . Teniendo en cuenta que $1 W = 1 J/s$, la energía por bit , la energía por bit de la señal será $E_b=S \cdot T_b$; donde S (recibida) es la potencia de la señal y T_b es el tiempo necesario para enviar un bit. La velocidad de transmisión es $R = \frac{1}{T_b}$.

$$\frac{E_b}{N_o} = \frac{S/R}{N_o} = \frac{S}{k \cdot T \cdot R}$$

En dB:

$$\left(\frac{E_b}{N_o} \right)_{dB} = S_{dBW} - 10 \cdot \log R + 10 \cdot \log k - 10 \log T = S_{dBW} - 10 \cdot \log R + 228,6_{dBW} - 10 \log T$$

2. Medios de transmisión

El medio de transmisión es el camino físico entre el transmisor y el receptor. Los medios de transmisión se clasifican en guiados y no guiados.

- **Medios guiados:** Se transmiten a través de un medio sólido. La transmisión depende del medio.
- **Medios no guiados:** Se transmiten las señales sin confinarlas; es decir, la atmósfera o el espacio exterior. La transmisión depende del ancho de banda de la señal.

Se busca que tanto la distancia como la velocidad de transmisión sean las más grandes posibles. Factores que influyen:

- Ancho de banda: Si el resto de factores se mantienen constantes, al aumentar el ancho de banda, la velocidad de transmisión se puede incrementar.
- Perturbaciones en la transmisión: Por ejemplo la atenuación limita la distancia.
- Interferencias: Las interferencias resultantes de la presencia de señales en bandas de frecuencia próximas pueden distorsionar o destruir completamente la señal.
- Varios receptores en un medio guiado: conectores

■ Medios guiados

Par trenzado

El par trenzado es el medio guiado más económico y a la vez el más utilizado.

Consiste en dos alambres de cobre aislados de 0,4 - 0,9 mm de grueso, trenzados para reducir la diafonía. Al trenzar las ondas de diferentes vueltas se cancelan por lo que la radiación del cable es menos efectiva. Cada par de cables constituye solo un enlace de comunicación. Normalmente, se utilizan haces en los que se encapsulan varios pares mediante una envoltura protectora. En aplicaciones de larga distancia la envoltura puede contener a cientos de estos pares. El uso del trenzado tiende a reducir las interferencias electromagnéticas (diafonía) entre pares adyacentes dentro de una misma envoltura.

Aplicaciones:

- Telefonía: Bucle de abonado.
- Redes de área local.

Características de transmisión: Es muy susceptible a atenuación, interferencias y ruido.

Tipos de par trenzado:

- No apantallado (UTP): Par trenzado sin blindado. Se ve afectado por interferencias electromagnéticas externas, incluyendo interferencias con pares cercanos y fuentes de ruido. En el estándar **EIA-568-A** considera estos dos tipos:
 - Tipo 3: Consiste en cables y su hardware asociado, diseñados para frecuencias de hasta 16 MHz. Calidad telefónica. Con un trenzado de 7.5 – 10 cm.



- Tipo 5: Consiste en cables y su hardware asociado, diseñados para frecuencias de hasta 100 MHz. Calidad de datos. Con un trenzado mayor 0.6 – 0.85 cm (con esto reduce la diafonía).

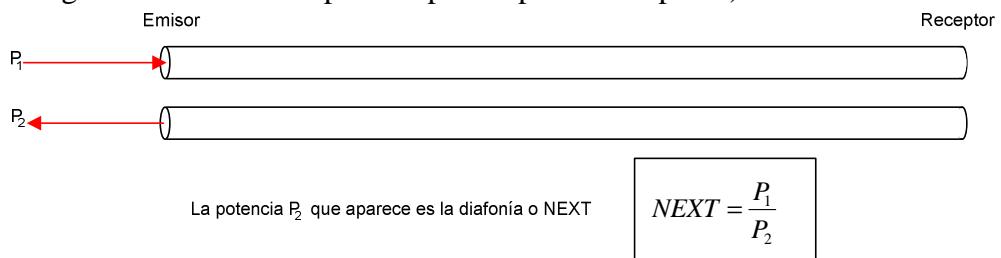


- Apantallado (STP): El par va blindado con una malla metálica, reduciendo así las interferencias.

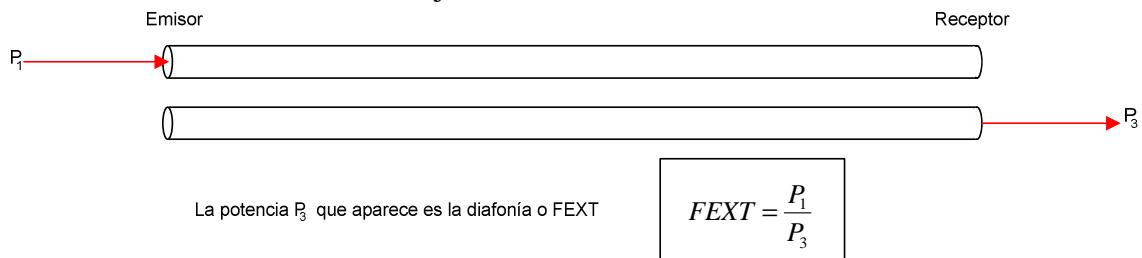
Existen tipos superiores con anchos de banda de hasta 600 MHz : Tipo 6/clase E y Tipo 7/clase F.

Calculo Diafonía:

- **NEXT:** Diafonía en el extremo cercano, consiste en que la señal transmitida en el enlace se acopla en un conductor cercano e induce una señal en sentido contrario (la energía transmitida es capturada por un par de recepción).



- **FEXT:** Diafonía en el extremo lejano



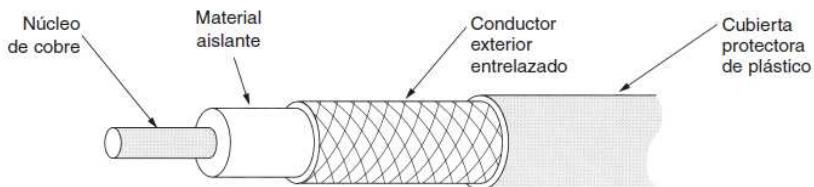
El calculo de la diafonía interesa que sea lo mas alto posible eso significa que P_2 o P_3 son pequeñas.

Frequency (MHz)	Attenuation (dB per 100 m)			Near-end Crosstalk (dB)		
	Category 3 UTP	Category 5 UTP	150-ohm STP	Category 3 UTP	Category 5 UTP	150-ohm STP
1	2.6	2.0	1.1	41	62	58
4	5.6	4.1	2.2	32	53	58
16	13.1	8.2	4.4	23	44	50.4
25	—	10.4	6.2	—	41	47.5
100	—	22.0	12.3	—	32	38.5
300	—	—	21.4	—	—	31.3

Cable coaxial

El cable coaxial, esta compuesto por un alambre de cobre rígido como núcleo, rodeado de material aislante. El aislante esta forrado con un conductor cilíndrico (malla de tejido trenzado) y cubierto todo ello por aislante de plástico.

Debido al apantallamiento realizado, es decir, a la composición concéntrica de los conductores, el cable coaxial es mucho menos susceptible a interferencias y diafonías que el par trenzado.



Aplicaciones:

- Distribución de televisión.
- Telefonía a larga distancia: hasta 10000 canales de voz mediante FDM.
- Redes de área local.

Características de transmisión: Permite mayores frecuencias y velocidades de transmisión. Menos susceptible a interferencias y diafonías que el par trenzado. Sus principales limitaciones son la atenuación, el ruido térmico y el ruido de intermodulación.

Fibra óptica

La fibra óptica es un medio flexible y delgado capaz de confinar un haz de naturaleza óptica. Esta fabricada a través de silicio ultrapuro (menos perdidas pero mas caro), fibras o cristales multicomponente (coste menor y tienen unas prestaciones suficientes) y fibra de plástico (mas barato y se utiliza en distancias cortas, perdidas altas).

La fibra óptica consta de un núcleo, revestimiento y la cubierta. El núcleo esta constituido por una o varias fibras muy finas de cristal o plástico. Cada fibra esta rodeada por su propio revestimiento, que no es sino otro cristal o plástico con propiedades ópticas distintas a las del núcleo. La separación entre el núcleo y el revestimiento actúa como un reflector perfecto confinando el haz de luz que de otra manera escaparía del núcleo. La capa mas externa que envuelve a uno o varios revestimientos es la cubierta; que esta hecha de plástico y otros materiales dispuestos en capas para proporcionar protección.



Supera al par trenzado y al cable coaxial:

- Mayor capacidad: El ancho de banda y potencial, y por tanto la velocidad de transmisión, en las fibras es enorme. Velocidades de transmisión de Gbps para decenas de kilómetros.
- Menor tamaño y peso: Son mas finas que el cable coaxial y el par trenzado.
- Atenuación menor.

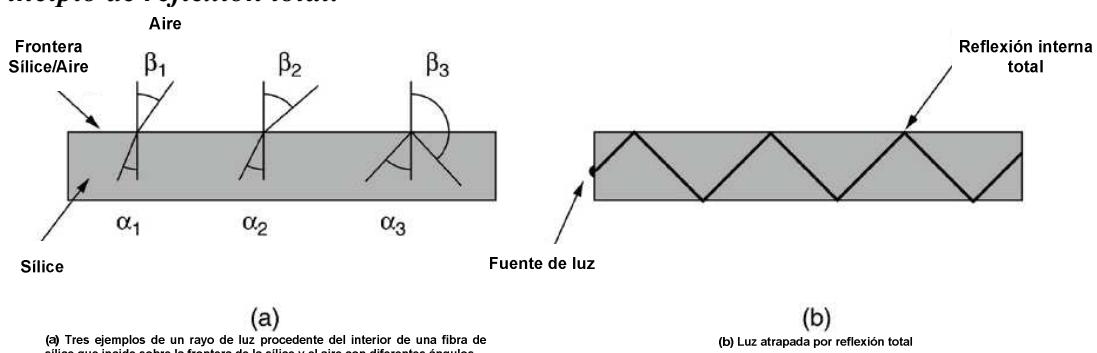
- Aislamiento electromagnético: Es decir, no se ven afectados por los efectos de los campos electromagnéticos, por que trabajan a frecuencias tan altas que no hay nada que trabaje a la misma frecuencia por lo tanto esta aislada electromagnéticamente.
- Mayor separación entre repetidores y menor coste.

Aplicaciones: Las cinco aplicaciones básicas en fibra óptica son:

- Transmisiones a largas distancias (20000 a 60000 canales de voz).
- Transmisiones metropolitanas.
- Acceso a redes rurales.
- Bucles de abonado.
- Redes de área local.

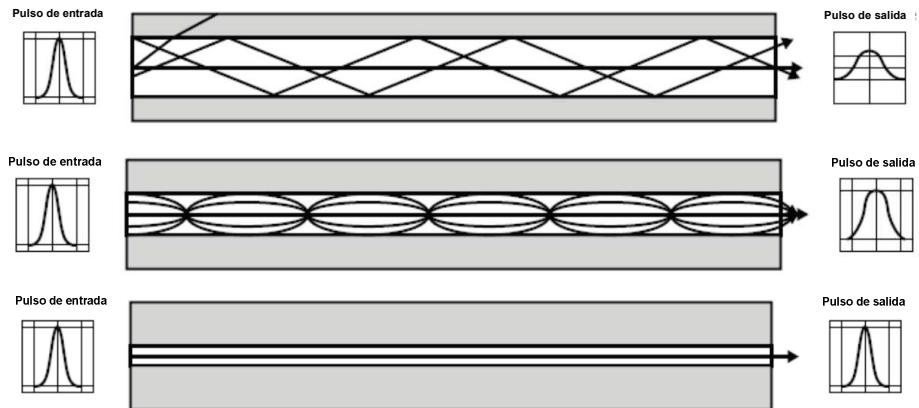
Características de transmisión: La fibra óptica propaga el haz de luz internamente de acuerdo con el principio de **reflexión total**. Este fenómeno se da en cualquier medio transparente que tenga un índice de refracción mayor que el medio que lo contenga. La fibra funciona como una guía de ondas para el rango de frecuencias que va desde 10^{14} hasta 10^{15} Hz. Cubriendo parte del espectro visible e infrarrojo.

Principio de reflexión total.



Los rayos que inciden con ángulos superficiales se reflejan y se propagan dentro del núcleo de la fibra, mientras que para otros ángulos, los rayos son absorbidos por el material que forma el revestimiento. Este tipo de propagación se llama multimodal de índice discreto. En la **transmisión multimodo**, existen múltiples caminos que verifican la reflexión total, cada uno con diferente longitud y por tanto diferente tiempo de propagación. Esto hace que los elementos de señalización que se transmitan (los pulsos de luz) se dispersen en el tiempo, limitando la velocidad a la que los datos puedan ser correctamente recibidos. Dicho de otra forma, la necesidad de separar los pulsos de luz limita la velocidad de transmisión de datos. Este tipo de fibra es adecuada para transmisión a distancias cortas. Cuando el radio del núcleo se reduce, la reflexión total se dará en un número menor de ángulos. Al reducir el radio del núcleo a dimensiones del orden de magnitud de la longitud de onda, un solo ángulo o modo podrá pasar: el rayo axial. Esta es la **propagación monomodo** que proporciona prestaciones superiores por las razones que se muestran a continuación. Debido a la existencia de un único camino en la transmisión monomodo, la distorsión multimodal no puede darse. Las fibras monomodo se utilizan normalmente en aplicaciones de larga distancia, como telefonía y TV por cable. Finalmente se puede conseguir un tercer modo de transmisión variando gradualmente el índice de refracción del núcleo, denominado **multimodo de índice gradual**. Las características están entre los dos modos anteriores. Estas fibras al

disponer de un índice de refracción superior en la parte central, hacen que los rayos de luz avancen más rápidamente conforme se alejan del eje axial de la fibra. Las curvas reducen la distorsión multimodal.



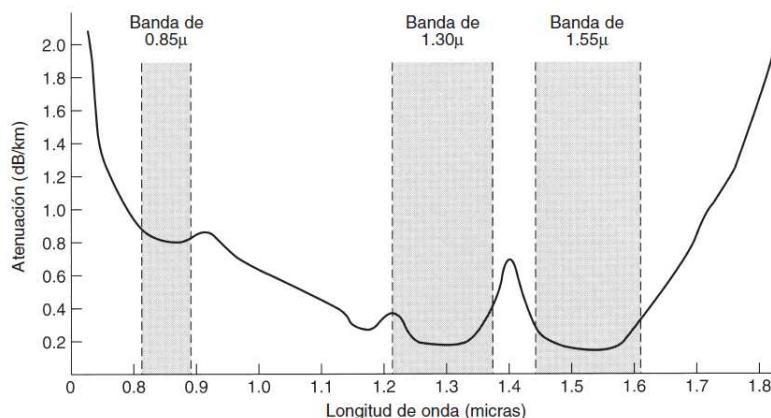
Hay cuatro bandas en la zona infrarroja del espectro:

Rango de longitudes de onda (en el vacío) (nm)	Rango de frecuencia (THz)	Etiqueta	Tipo de fibra	Aplicación
820 a 900	366 a 33		Multimodo	LAN
1.280 a 1.350	234 a 222	S	Monomodo	Varias
1.528 a 1.561	196 a 192	C	Monomodo	WDM
1.561 a 1.620	192 a 185	L	Monomodo	WDM

WDM es multiplexación por división en frecuencias o longitud de onda.

Hay dos tipos diferentes de fuentes de luz, diodos LED y ILD (láser). Ambos dispositivos son semiconductores que emiten un haz de luz cuando se les aplica una tensión. LED es menos costoso, opera en un rango mayor de temperaturas y tiene una vida superior. ILD, cuyo funcionamiento esta basado en el mismo principio que el láser, es más eficaz y puede proporcionar velocidades de transmisión superiores.

En el grafico se muestra la atenuación para la clase de vidrio que se usa en las fibras, en decibelios por kilómetro de fibra



▪ Medios no guiados

En los medios no guiados, tanto la transmisión como la recepción se llevan a cabo mediante antenas. Una antena es un conductor o un conjunto de conductores que radia o capta energía electromagnética.

Básicamente en las transmisiones inalámbricas hay dos tipos de configuraciones: direccional y omnidireccional. En la primera, la antena de transmisión emite la energía electromagnética concentrándola en un haz, por lo tanto en este caso las antenas de emisión y recepción deben estar perfectamente alineadas. En el caso omnidireccional, por el contrario, el diagrama de radiación de la antena es más disperso, emitiendo en todas las direcciones pudiendo la señal ser recibida por varias antenas. En general, cuanto mayor es la frecuencia de la señal transmitida es más factible confinar la energía en un haz direccional.

La medida de la direccionalidad de una antena se denomina ganancia.

Microondas Terrestres

La antena más común es de tipo parabólico. El tamaño típico es de unos 3 metros. Esta antena se fija rígidamente, y en este caso, el haz estrecho debe estar perfectamente enfocado hacia la antena receptora. Las antenas de microondas se sitúan a una altura apreciable, para con ello conseguir mayores separaciones posibles entre ellas y para evitar posibles obstáculos en la transmisión. Si no hay obstáculos intermedios, la distancia máxima entre dos antenas es de:

$$d = 7,14 \cdot \sqrt{Kh} \text{ (en Km)}$$

Donde d es la distancia de separación entre las antenas expresada en Km. h es la altura de la antena en metros, y K es un factor de corrección $K = \frac{4}{3}$.

Para llevar a cabo las transmisiones a larga distancia, se utiliza la concatenación de enlaces punto a punto entre antenas situadas en torres adyacentes.

Aplicaciones:

- Transmisión de larga distancia: bandas 4-6 GHz y 11 GHz.
- Distribución TV por cable: 12 GHz.
- Enlaces cortos: 22 GHz.

Características de transmisión: La banda de frecuencias esta comprendida entre 2 y 40 GHz. Cuanto mayor sea la frecuencia utilizada, mayor es el ancho de banda potencial, y por lo tanto, mayor es la posible velocidad de transmisión.

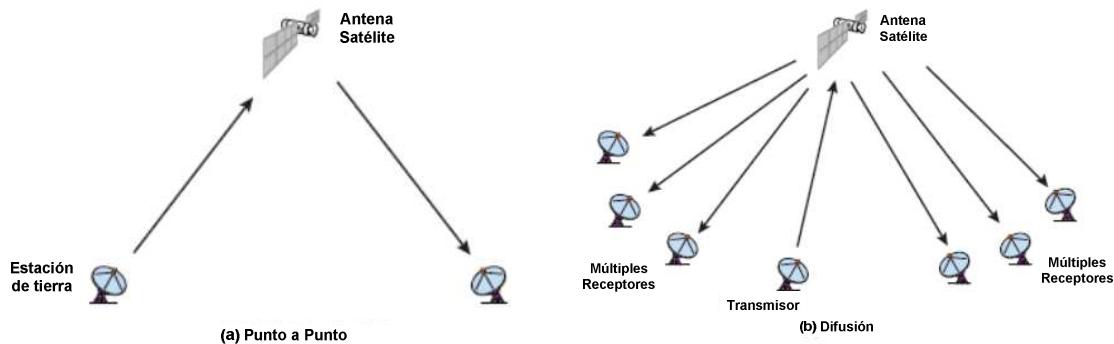
La principal causa de pérdida en las microondas es la atenuación (igual que en las ondas de radio):

$$L = 10 \cdot \log \left(\frac{4 \cdot \pi \cdot d}{\lambda} \right)^2 \text{ dB}$$

Donde d es la distancia y λ la longitud de onda, expresada en las mismas unidades, la atenuación aumenta con las lluvias. Otra dificultad es las interferencias; aparece si no se respeta la asignación de bandas.

Microondas por Satélite

Un satélite de comunicaciones es esencialmente una estación que retransmite microondas. Se usa como enlace entre dos o más receptores/transmisores terrestres, denominadas estaciones base. El satélite recibe la señal en una banda de frecuencia (canal ascendente), lo amplifica y lo repite, y posteriormente la retransmite en otra banda de frecuencia (canal descendente). Cada uno de los satélites geoestacionarios (mantiene la misma posición respecto a la tierra) operara en una serie de bandas de frecuencias llamadas transpondedores (bandas de frecuencia que están en partes del espectro). Los satélites geoestacionarios se utilizan para enlaces punto a punto o difusión.



Aplicaciones:

- Distribución de TV: difusión directa vía satélite.
- Telefonía: enlaces punto a punto entre centrales.
- Sistema de terminales VSAT (terminales de apertura muy pequeña).

Características de transmisión: El rango óptimo de transmisión es de 1 y 10 GHz. Debido a las grandes distancias involucradas, hay un retardo de propagación aproximado de un cuarto de segundo para la transmisión desde una estación terrestre hasta otra pasando por el satélite.

Principales bandas satélite:

Banda	Enlace ascendente	Enlace descendente	Características
C 4/6 GHz	5,925-6,425 GHz	3,7-4,2 GHz	Ha quedado saturada
Ku 12/14 GHz	14-14,5 GHz	11,7-12,2 GHz	Problemas de atenuación (lluvia) Receptores más pequeños y baratos
Ka 20/30 GHz	27,5-30 GHz	17,7-20,2 GHz	Atenuación mayor (lluvia) Mayor ancho de banda (2500 MHz)

Ondas de radio

La diferencia con las microondas es que las ondas de radio son omnidireccionales, en contra las microondas son direccionales.

Aplicaciones:

- Radio FM.
- Televisión VHF y UHF.

Características de transmisión: El rango de frecuencias esta comprendido entre 30 MHz y 1 GHz. Son menos sensibles a la atenuación producida por la lluvia.

La atenuación se calcula igual que las microondas terrestres.

$$L = 10 \cdot \log \left(\frac{4 \cdot \pi \cdot d}{\lambda} \right)^2 \text{ dB}$$

Un factor determinante en las ondas de radio son las interferencias, por multirayectorias. Entre las antenas, debido a la reflexión en la superficie terrestre, el mar u otros objetos, pueden aparecer multirayectorias.

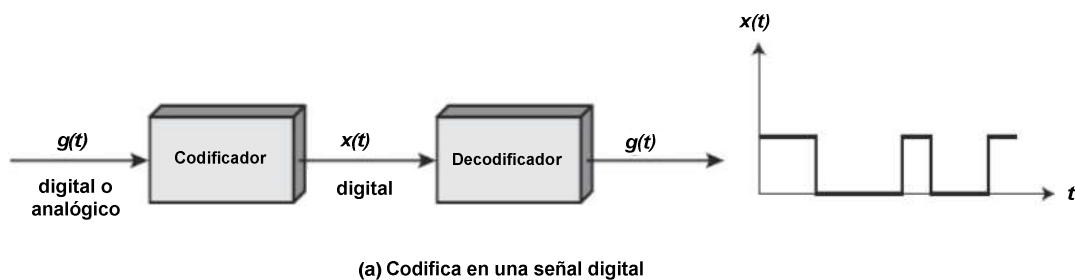
Infrarrojos

Los infrarrojos tienen una frecuencia tan alta que no deja pasar la luz por lo tanto no pueden atravesar obstáculos (por este motivo no hay problemas de seguridad, interferencias o asignaciones de frecuencias).

Tienes transceptores que son transmisores/receptores que modulan la luz infrarroja y estos deben estar alineados.

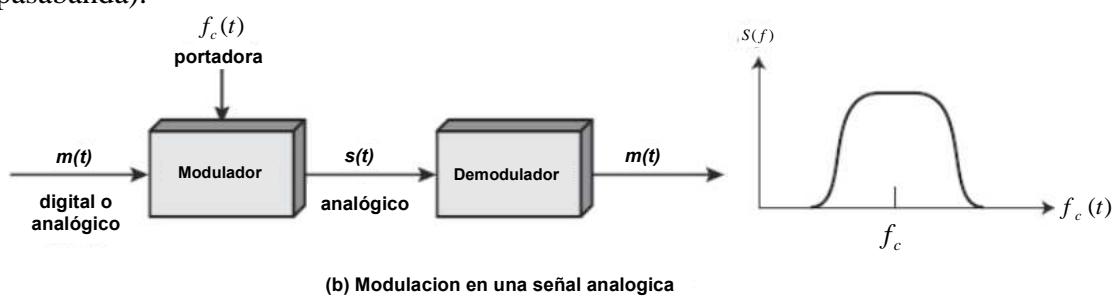
3. Codificación y modulación

En la señalización digital, tenemos una fuente de datos $g(t)$, que puede ser tanto analógica como digital, se codifica en una señal digital $x(t)$.



La transmisión analógica, se basa en una señal continua de frecuencias constante denominada portadora. Los datos se retransmiten modulando la señal portadora. La modulación codifica los datos, en la señal portadora de frecuencia f_c .

La señal de entrada $m(t)$, puede ser tanto analógica como digital, se llama señal moduladora o también señal en banda base. A la señal resultante de la modulación de la señal portadora se denomina señal modulada $s(t)$, que es una señal limitada en banda (pasabanda).



■ Datos digitales, señales digitales

Una señal digital es una secuencia de pulsos de tensión discretos y discontinuos, donde cada pulso es un elemento de la señal.

Velocidad de transmisión (bps) y velocidad de modulación (baudios)

Velocidad de transmisión (bps): Es la duración o la longitud de un bit se define como el tiempo empleado en el transmisor para emitir un bit; para una velocidad de datos R, la duración del bit, es $\frac{1}{R}$. Si tenemos 1000 bps la duración será $\frac{1}{1000} = 10^{-3}$ segundos .

Velocidad de modulación (baudios) : Número de cambios que experimenta la señal por unidad de tiempo.

$$D = \frac{R}{L} = \frac{R}{\log_2 M}$$

D : Velocidad de modulación en baudios.

R : Velocidad de transmisión en bps.

L : Número de bits por elemento de señal.

M: Número de niveles de la señal.

Un incremento de la velocidad de transmisión, aumenta la tasa de errores por bit (BER).

Un aumento de la relación SNR reduce la tasa de errores por bit.

Un incremento del ancho de banda permite un aumento de la velocidad de transmisión.

Otro factor es el propio esquema de codificación, que es la correspondencia que se establece entre los bits de datos con los elementos de señal.

Evaluar técnicas de codificación:

- Espectro de la señal: La ausencia de componente continua a altas frecuencias, significa que se necesita menos ancho de banda para su transmisión, es deseable.
- Sincronización: El receptor sepa donde comienza y donde terminan los bits (los códigos ofrecen mecanismos de sincronización).
- Detección de errores: El código lleva codificación para saber si un bit es erróneo o no lo es.
- Inmunidad al ruido e interferencias.
- Coste y complejidad: Mayor velocidad de transmisión, mayor coste.

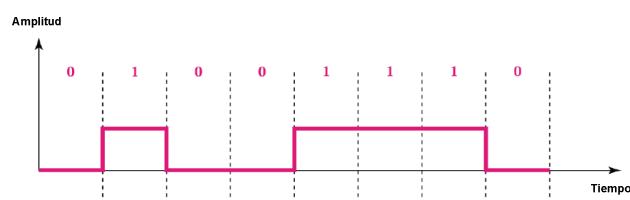
Primera clasificación:

- Polar: Tiene dos niveles, Un nivel negativo y otro positivo.
- Unipolar: Tiene dos niveles, el 1 puede ser o negativo o positivo y el 0 que es 0 voltios.
- Bipolar: Tiene tres niveles, nivel positivo, cero y nivel negativo.

Unipolar

Es una codificación casi obsoleta, en esta codificación hay valores positivos o negativos (0 nivel de tensión 0, 1 nivel de tensión positiva o negativa).

Sus inconvenientes son la pérdida de sincronización y la presencia de componente continua (dc) ya que si calculamos la media de la señal nos saldrá entre 0 y 1 con lo cual tiene componente continua. Usa únicamente una polaridad.



Polar

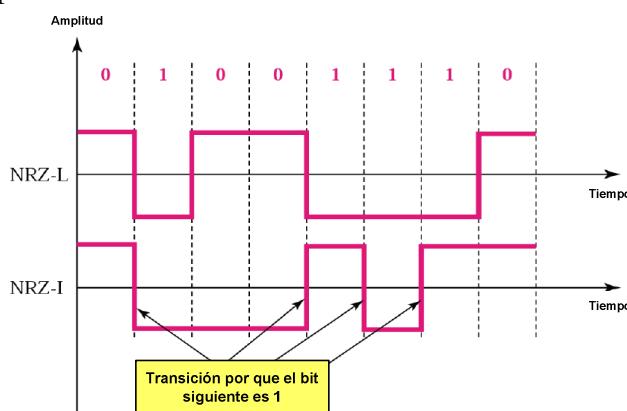
Usa dos niveles de tensión, uno positivo y otro negativo, gracias a esto se reduce el nivel de tensión medio de la línea y se alivia la presencia de componente continua (no tiene dc si tiene el mismo número 1 y -1). Tenemos en codificación polar las siguientes:

- **No retorno a Cero (NRZ)**

Cada bit (0 o 1) se transmite mediante distinto nivel de tensión. El nivel de tensión se mantiene constante durante la duración del bit.

NRZ-L (Nivel no retorno a Cero) : Los 0 son valores de voltaje altos, y los 1 son valores de voltaje bajos. Si hay un flujo grande de ceros o unos surge el problema de la sincronización.

NRZ-I (No retorno a Cero Invertido) : Una transición de polaridad indica un 1 , y un 0 no hay cambio. Permite una mejor sincronización, pero un gran número de 0 es un problema.



0 no cambia, 1 si cambia de la polaridad anterior a la siguiente polaridad.

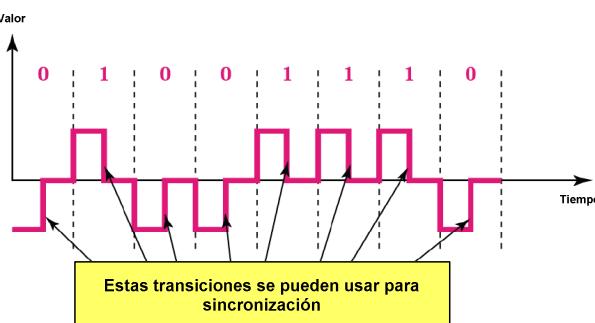
Una de sus ventajas es su fácil implementación y su uso eficaz del ancho de banda.

Los inconvenientes son la presencia de componente continua (dc) y la ausencia de sincronización.

Se usa en terminales y otros dispositivos y en grabaciones magnéticas.

- **Retorno a Cero (RZ)**

Igual que NRZ-L, pero introduce una transición a 0 a mitad del intervalo , para resolver el problema de la sincronización.



Su principal desventaja es que necesita dos cambios de señal para codificar un bit. Además la velocidad de modulación es el doble que la velocidad de transmisión.

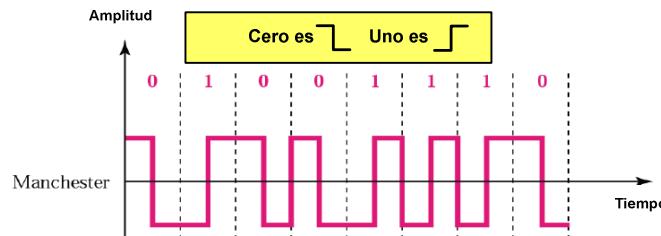
- **Bifase**

La señal cambia en medio del intervalo de bit y cambia hacia el nivel opuesto. Una de las ventajas es que se quita la componente continua ya que cada bit tiene un valor positivo y negativo por lo tanto la media es 0.

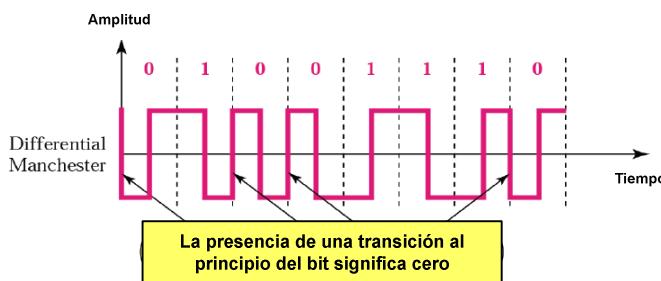
También tienen detección de errores y los códigos están autosincronizados.

Hay dos técnicas:

Código Manchester: Siempre hay una transición en mitad del intervalo de bit, que es utilizada para la sincronización a la vez que se transmiten los datos. Una transición de bajo a alto representa un 1, y una transición de alto a bajo representa un 0. IEEE 802.3 Ethernet.



Código Manchester diferencial: La transición a mitad del intervalo se utiliza para sincronizar. El 0 se representa por la presencia de una transición al principio del intervalo de bit, y un 1 se representa mediante la ausencia de transición. IEEE 802.3 Token-ring.



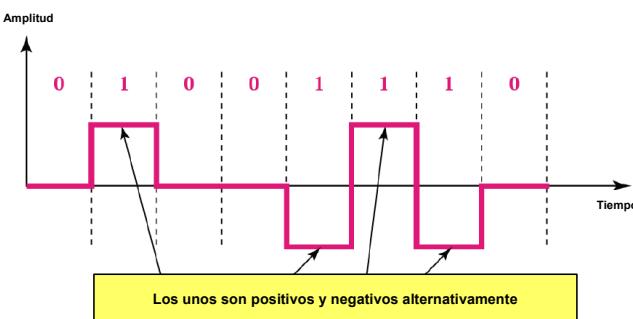
Ventajas: tiene un ancho de banda mayor, no tiene componente continua, detección de errores y sincronización.

Inconvenientes: La velocidad de modulación es el doble que la velocidad de transmisión ya que tiene 2 símbolos por bit.

- **Binario multinivel**

Usan más de dos niveles.

Bipolar-AMI: El 0 se representa por la ausencia de tensión y el 1 por tensión positiva y negativa con polaridad alternante.

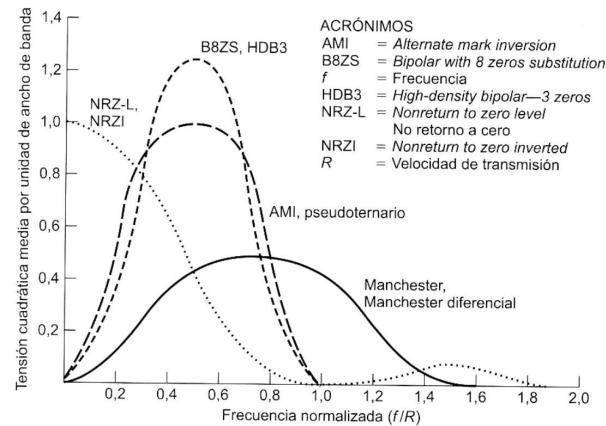


Ventajas: Sincronización en cadenas largas de unos (o ceros), ausencia de componente continua, ancho de banda menor que NRZ, detección de errores.

Inconvenientes: El receptor debe distinguir tres niveles. Necesitamos en el receptor un nivel alto de relación S/N. Es para transmisiones de corta distancia o con más potencia.

- **Densidad espectral**

Bipolar-AMI, pseudoternario son las mejores menos ancho de banda y no tienen componente continua.



- **Esquemas de aleatorización**

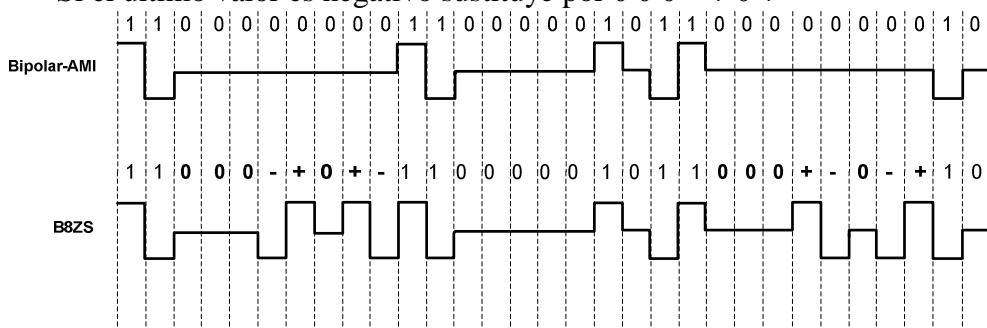
Los esquemas bifase no son adecuados para establecer comunicaciones a largas distancias, para ello establecemos técnicas de aleatorización, resolviendo los problemas de sincronización en largas secuencias de ceros.

Los objetivos de estas técnicas son:

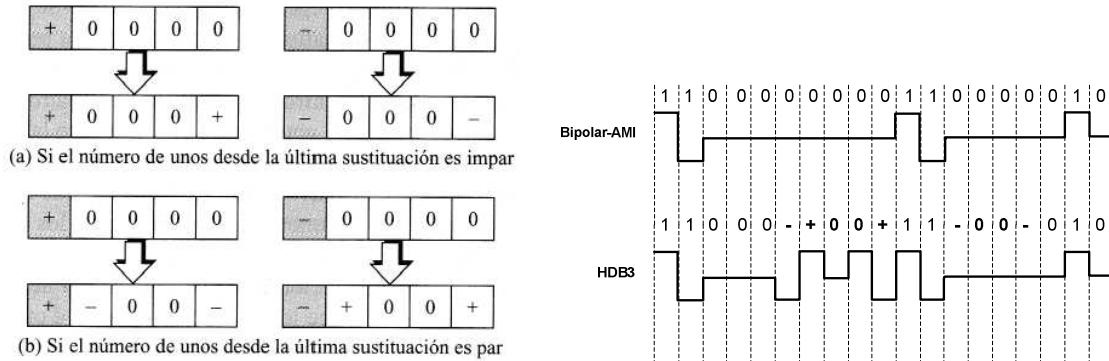
- Evitar la componente continua.
- Evitar la secuencia larga de tensión nula.
- No reducir la velocidad de transmisión de los datos.
- Tener cierta capacidad para detectar errores.
- **B8ZS (Bipolar con sustitución de ocho ceros).** Basado en Bipolar-AMI, que tiene problemas causados por secuencias largas de ceros que dan lugar a una perdida de sincronización. Sustituye cadenas de ocho ceros por un patrón según le llegue un valor positivo o un valor negativo.

Si el ultimo valor es positivo sustituye por **0 0 0 + - 0 - +**

Si el ultimo valor es negativo sustituye por **0 0 0 - + 0 + -**



- **HDB3 (Alta densidad bipolar con tres ceros)**. Basado en Bipolar-AMI. Reemplaza las cadenas de cuatro 0 por cadenas que contienen uno o dos pulsos. El cuarto 0 se sustituye por una violación del código. En violaciones siguientes se aseguran que tenga una polaridad alternante, con ello se garantiza que haya el mismo numero de pulsos positivos y negativos evitando la componente continua o (dc). Esta condición depende si el numero de pulsos desde la ultima violación es par o impar y de la polaridad del ultimo pulso anterior a la aparición de cuatro 0

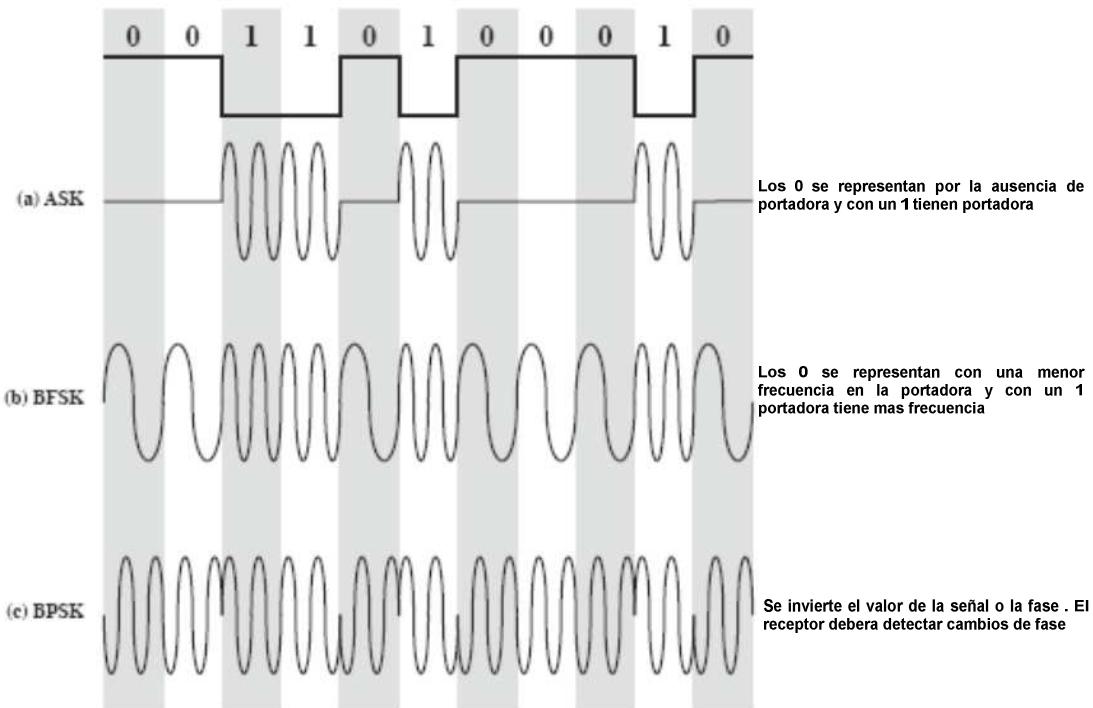


▪ Datos digitales, señales analógicas

Transmisión de señales digitales usando señales analógicas (red telefónica). La modulación involucra a uno o más parámetros de la señal portadora, Luego hay 3 técnicas que transforma los datos digitales en señales analógicas (módem).

- Desplazamiento de amplitud (ASK).
- Desplazamiento de frecuencia (FSK).
- Desplazamiento de fase (PSK).

En todos los casos la señal resultante ocupa un ancho de banda centrado en la frecuencia de la portadora.



- **Modulación por desplazamiento de amplitud(ASK)**

Los dos valores binarios se representan mediante dos amplitudes diferentes de la portadora.

$$s(t) = \begin{cases} A \cos(2\pi f_c t) & \xrightarrow{\text{representa}} 1\text{binario} \\ 0 & \xrightarrow{\text{representa}} 0\text{binario} \end{cases}$$

Uno mediante la presencia de portadora con amplitud constante y el otro con ausencia de portadora.

Es bastante ineficaz.

$$\text{Ancho de banda: } B_T = (1+r)R$$

$B_T \rightarrow$ Es el ancho de banda

$r \rightarrow$ Índice de filtrado (valor entre 0 y 1)

$R \rightarrow$ Tasa de bits

El ancho de banda esta directamente relacionado con la velocidad de transmisión (R).

Aplicaciones:

- Líneas de calidad telefónica: hasta 1200 bps.
- Transmisión en fibra óptica (pulso de luz – 1, sin pulso – 0).

- **Modulación por desplazamiento de frecuencia (FSK)**

Los dos valores binarios se representan mediante dos frecuencias diferentes próximas a la frecuencia de la portadora, de igual magnitud pero de sentidos opuestos. La señal resultante es:

$$s(t) = \begin{cases} A \cos(2\pi f_1 t) & \xrightarrow{\text{representa}} 1\text{binario} \\ A \cos(2\pi f_2 t) & \xrightarrow{\text{representa}} 0\text{binario} \end{cases}$$

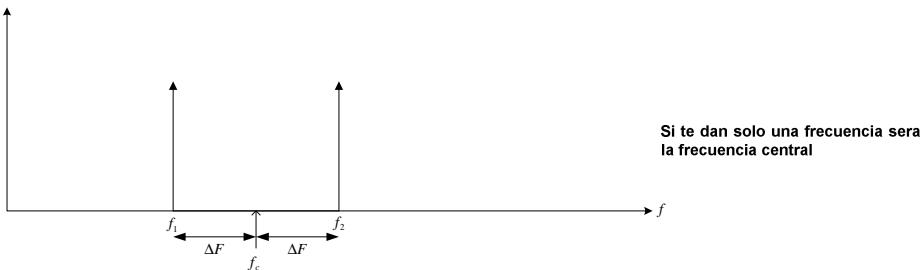
$$\text{Ancho de banda: } B_T = 2\Delta F + (1+r)R$$

$B_T \rightarrow$ Es el ancho de banda

$r \rightarrow$ Índice de filtrado (valor entre 0 y 1)

$R \rightarrow$ Tasa de bits

$$\Delta F = f_2 - f_c = f_c - f_1$$



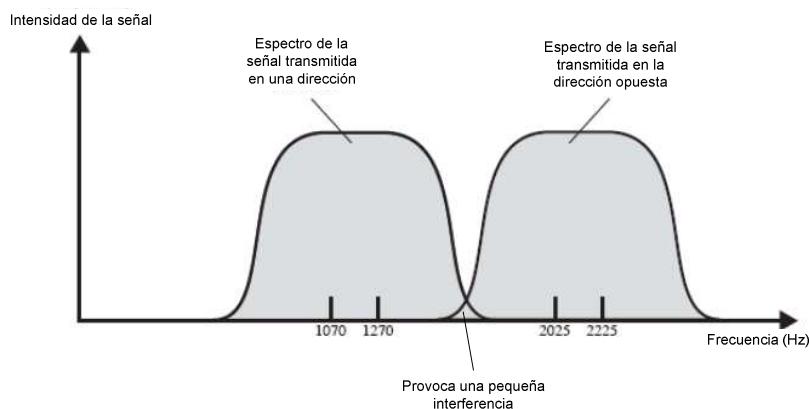
$$B_T = \left(\frac{(1+r)M}{\log_2 M} \right) R$$

La M indica el numero de frecuencias distintas si tenemos 4 portadoras $M = 4$.

Aplicaciones:

- Líneas de calidad telefónica: Transmisión duplex (capaz de mantener comunicaciones bidireccionales, envía y recibe mensajes de forma simultanea). En un sentido las frecuencias están en torno a 1170 Hz que es la frecuencia de la portadora en un sentido (desplazándose 100 Hz a cada lado), en el otro sentido las frecuencias están en torno a 2125 Hz (desplazándose 100 Hz a cada lado). Hay un pequeño solapamiento entre las dos señales esto provoca una pequeña interferencia.

FSK tiene menos errores que ASK.

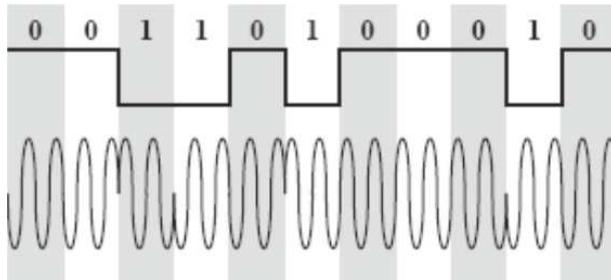


- Redes de área local.

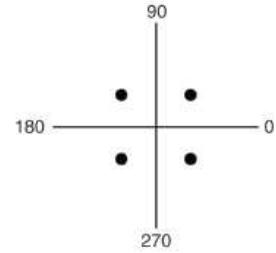
- **Modulación por desplazamiento de fase (PSK)**

La fase de la portadora se desplaza para representar datos digitales. En este ejemplo se utiliza dos fases. El 0 se representa mediante la transmisión de una señal con la misma fase de la señal anteriormente enviada. Mientras que el 1 se representa mediante la transmisión de una señal cuya fase esta en oposición de la fase a la señal precedente, esta técnica se conoce como PSK diferencial (DPSK es la de la figura). El desplazamiento de fase es 180°.

$$s(t) = \begin{cases} A \cos(2\pi f_c t) \\ A \cos(2\pi f_c t + \pi) \end{cases} = \begin{cases} A \cos(2\pi f_c t) \\ -A \cos(2\pi f_c t) \end{cases} \xrightarrow{\text{representa}} \begin{array}{l} 1\text{ binario} \\ 0\text{ binario} \end{array}$$



QPSK (Desplazamiento de fase en cuadratura): Hacen un uso más eficaz del ancho de banda, representa más de un bit por cada elemento de señalización. Considera desplazamiento de fase de múltiplos de 90° para representar 2 bits por cada elemento de señal.



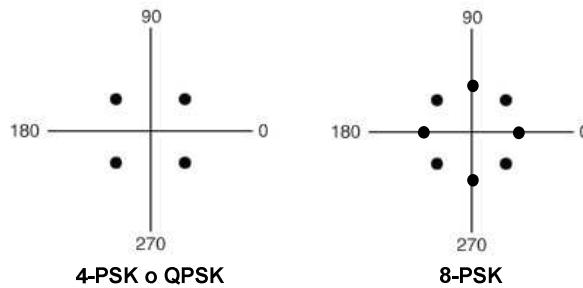
Ancho de banda: El ancho de banda esta directamente relacionado con la velocidad de transmisión.

$$B_T = (1+r)R$$

En la señalización multinivel, pueden conseguir mejores significativas en el ancho de banda.

$$B_T = \left(\frac{1+r}{L} \right) R = \left(\frac{1+r}{\log_2 M} \right) R$$

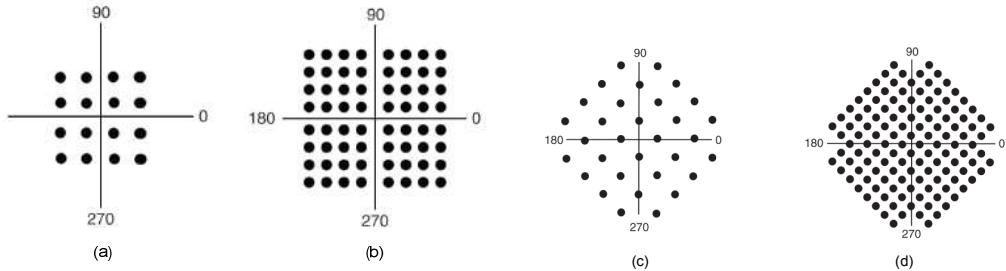
L : Numero de elementos de señalización diferentes; es decir, combinaciones diferentes de amplitudes y fases.



- **Modulación por amplitud en cuadratura (QAM)**

Es una combinación de ASK y PSK, entre su aplicaciones esta la ADSL.

En función de la relación S/N se utiliza los diferentes esquemas de modulación ya que según la amplitud si hay mucho ruido se pueden confundir unos puntos con otros.



- (a) Es QAM-16 tiene 4 bit por símbolo y tiene un cambio de amplitud y de fase.
- (b) Es QAM-64 tiene 6 bit por símbolo y tiene un cambio de amplitud y de fase.
- (c) Es QAM-32
- (d) Es QAM-128

• Prestaciones

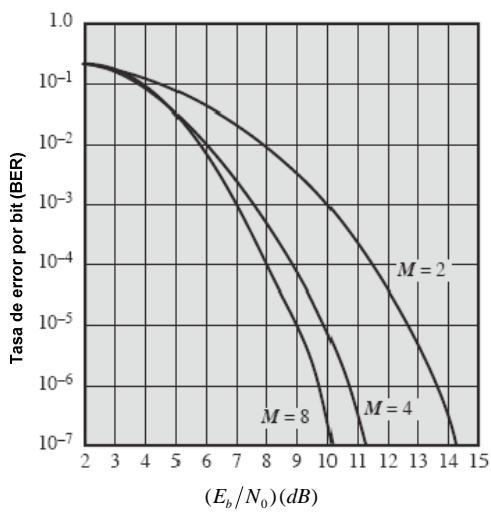
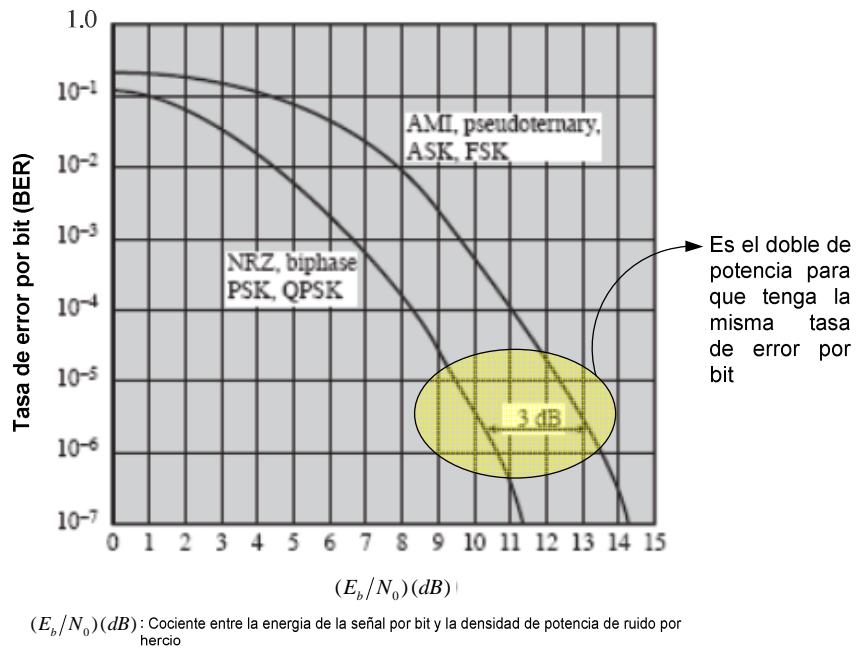
Eficiencia espectral: Es una medida de lo bien que esta aprovechada una determinada banda de frecuencia usada para transmitir bits. Su definición matemática es:

$$E = \left(\frac{R}{B_T} \right)$$

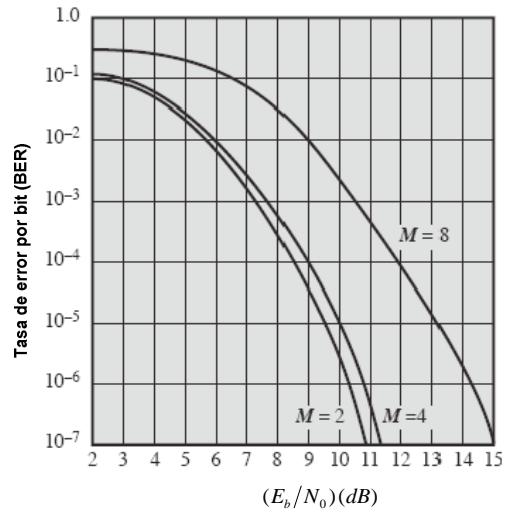
Donde R es la tasa de transmisión en bps y B_T es el ancho de banda utilizado por el canal en Hz.

	$r=0$	$r=0.5$	$r=1$
ASK	1.0	0.67	0.5
FSK			
Banda ancha ($\Delta F \gg R$)	~0	~0	~0
Banda estrecha ($\Delta F = f_c$)	1.0	0.67	0.5
PSK	1.0	0.67	0.5
SEÑALIZACIÓN MULTINIVEL			
M = 4 , L = 2	2.0	1.33	1.00
M = 8 , L = 3	3.0	2.00	1.50
M = 16 , L = 4	4.0	2.67	2.00
M = 32 , L = 5	5.0	3.33	2.50

Tasa de error por bit (BER): La tasa de error por bit nos interesa que sea lo menor posible.



(a) Multinivel FSK (MFSK)



(b) Multinivel PSK (MPSK)

■ Datos analógicos, señales digitales

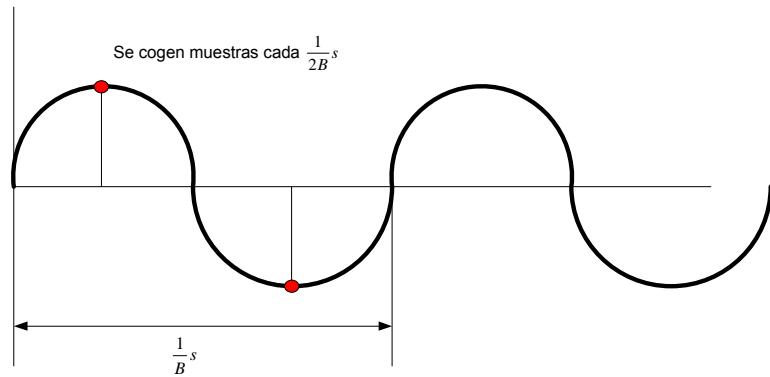
Transformación de datos analógicos en señales digitales. Mas correcto es : convertir datos analógicos en datos digitales, esto recibe el nombre de digitalización.

• Modulación por impulsos codificados (PCM)

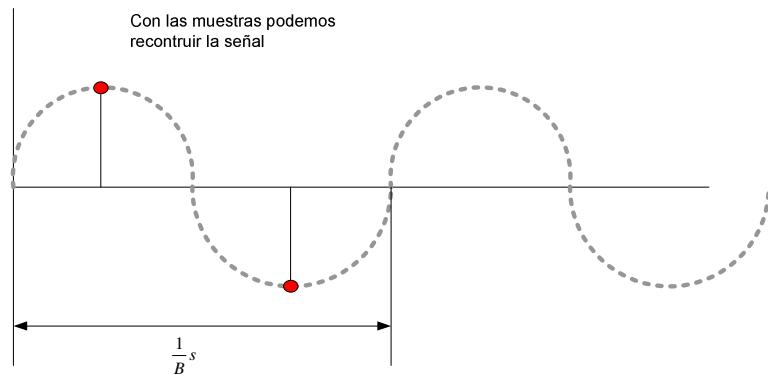
Consiste en transformar una señal analógica en una secuencia de bit (señal digital). Una trama PCM es una representación digital de una señal analógica en donde la magnitud de la onda analógica es tomada en intervalos uniformes (muestras), cada muestra puede tomar un conjunto finito de valores.

Las muestras se obtienen teniendo en cuenta el **teorema del muestreo** que dice:

Si una señal $f(t)$ se muestrea a intervalos regulares de tiempo con una frecuencia mayor que el doble de la frecuencia mas alta de la señal, las muestras así obtenidas contienen toda la información de la señal original.

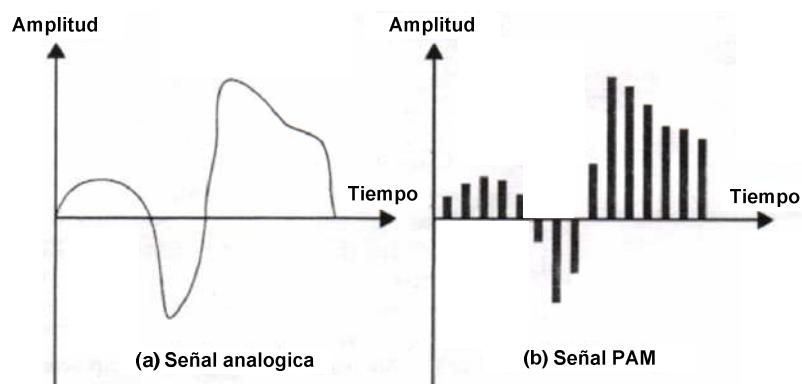


Si esta es la frecuencia mas alta cogiendo el doble de muestras nos aseguramos que podemos reconstruir la señal.



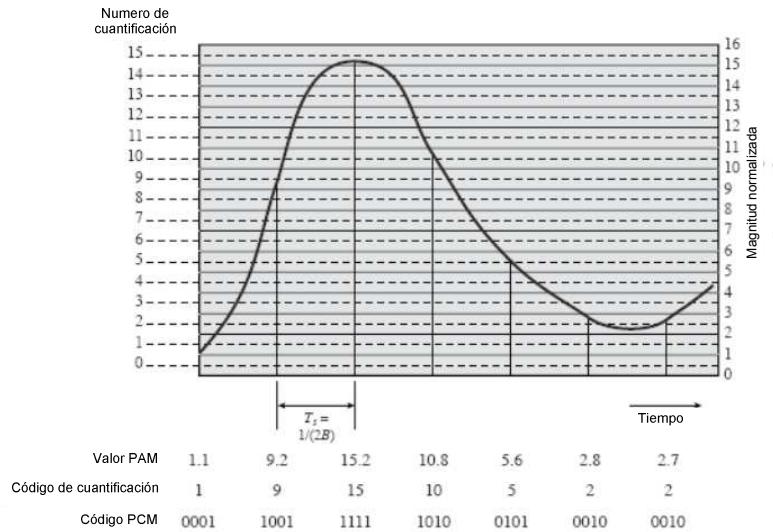
Tiene tres pasos

Modulación por amplitud de impulsos (PAM): Este tipo de modulación es la consecuencia inmediata del muestreo de una señal analógica. Si una señal analógica, se muestrea a intervalos regulares, en lugar de tener una serie de valores continuos, se tendrán valores discretos a intervalos específicos, determinados por la, que debe ser como mínimo del doble de la frecuencia máxima de la señal muestreada.(No se puede transmitir dado que no esta cuantificada).



Cuantificación: Se mide el nivel de tensión de cada una de las muestras, obtenidas en el proceso de PAM, y se les atribuye un valor finito (discreto) de amplitud, seleccionado por aproximación dentro de un margen de niveles previamente fijado.

Codificación: Es convertir los datos cuantificados a datos binarios.



Después de los tres pasos, tenemos la señal digital.

Para la voz se necesitan obtener 8000 muestras por segundo, estas muestras analógicas se llaman PAM. Para convertir de muestras PAM a digital, se cuantifican estas muestras en uno de los 16 niveles posibles (Cada muestra se representa por 4 bits). Para recuperar la señal original se utilizan muestras de 8 bits, lo que permite que haya 256 niveles de cuantificación.

8000 muestras por segundo (baudios) x 8bits = 64 Kbps

En el receptor este proceso se invierte para así obtener señales analógicas.

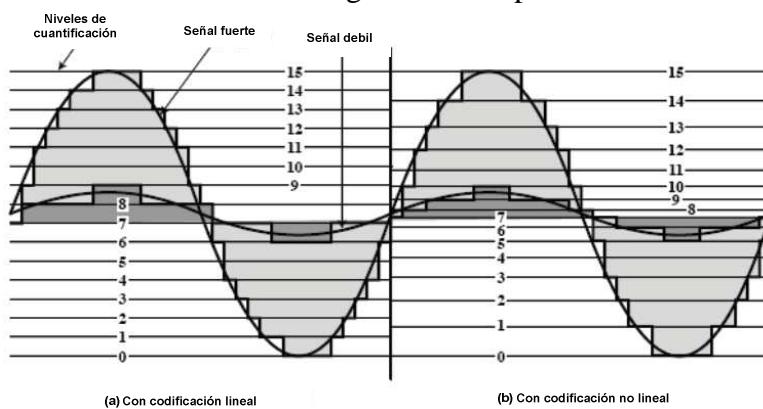
Ruido de cuantificación es el error de cuantificación y se produce por igualar los niveles de las muestras de amplitud continua a los niveles de cuantificación más próximos. Los valores mas bajos de tensión desvían mas del valor original por lo tanto producen más ruido de cuantificación para evitarlo se usan las técnicas de codificación no lineal.

$$\text{SNR}_{\text{dB}} = 6,02 \cdot M + 1,76 \text{dB}$$

$M \rightarrow$ Es el numero de bits utilizados en cada muestra.

Técnicas de codificación no lineal

El esquema PCM se refina mediante técnicas de codificación no lineal, en los que los niveles de cuantización no están igualmente separados.



A la señal de escalera se le aplica un filtro paso bajo para eliminar altas frecuencias que provocan cambios abruptos en la señal (escalera).

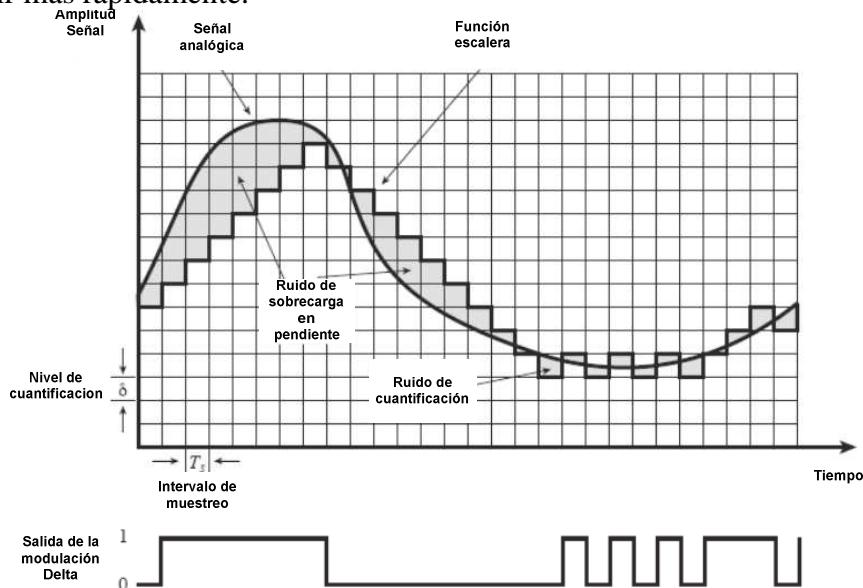
- **Modulación Delta (DM)**

Es una función escalera que sigue el comportamiento de la señal analógica, se comprueba la señal, si esta por encima se sube, si esta por debajo se baja.

Tiene un intervalo de muestreo (T_s) que nos interesa que sea pequeño y un nivel de cuantización (δ) que nos interesa que sea grande para aproximarnos a la subida (entre estos dos datos hay un nivel de compromiso). Esto interesa si varía la señal muy rápidamente.

Tiene dos tipos de ruidos el de cuantización que es el que se produce cuando la señal no se ajusta a la original por que no se lo permite el tipo de modulación (mayor cuanto mayor sea δ) y el ruido de sobrecarga de la pendiente que consiste en cuando la pendiente de la señal analógica es muy elevada la modulación no puede adaptarse a la señal, igual ocurre en caso de que la señal vaya para abajo rápidamente (aumenta al disminuir δ).

Las ventajas de la modulación delta es que necesitamos menos bits por eso se puede transmitir mas rápidamente.



La precisión se puede mejorar aumentando la frecuencia de muestreo, pero esto no incrementa la velocidad de transmisión de los datos a la salida.

- **Datos analógicos, señales analógicas**

La modulación se ha definido como el proceso de combinar una señal de entrada $m(t)$ y una portadora a la frecuencia f_c para producir una señal $s(t)$ cuyo ancho de banda este centrado en torno a una f_c . Para la transmisión de señales analógicas mediante modulación analógica, existen dos razones:

1. Para llevar a cabo una transmisión más efectiva puede que necesite una frecuencia mayor.
2. La modulación permite la multiplexación por división en frecuencias.

Las técnicas mas importantes para la modulación de datos analógicos son:

- Modulación en amplitud (AM)
- Modulación en frecuencia (FM)
- Modulación en fase (PM)

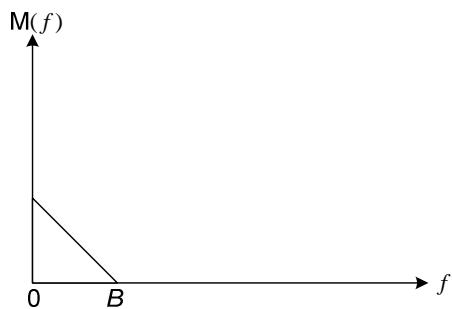
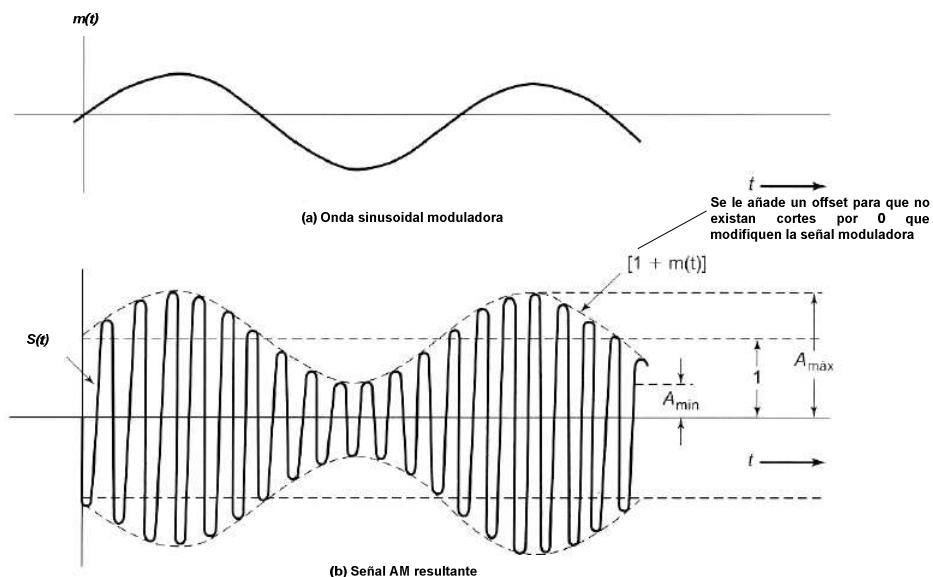
- **Modulación en amplitud (AM)**

Se expresa como: $S(t) = [1 + m(t)] \cdot \cos 2\pi f_c t$

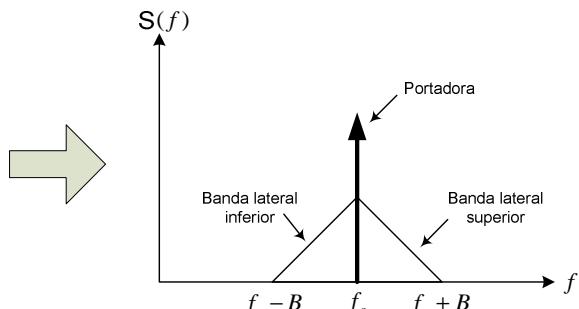
Esto es multiplicar la señal de entrada por la portadora.

Donde $\cos 2\pi f_c t$ es la portadora y $x(t)$ es la señal de entrada. El parámetro n_a , denominado índice de modulación, es el cociente entre la amplitud de la señal de entrada y la amplitud de la portadora. $n_a = \frac{A_{moduladora}}{A_{portadora}}$.

Entonces $m(t) = n_a \cdot x(t)$. Además el 1 en la expresión primera es una componente continua(offset) que evita perdidas de información. Este esquema se denomina transmisión con doble banda lateral.



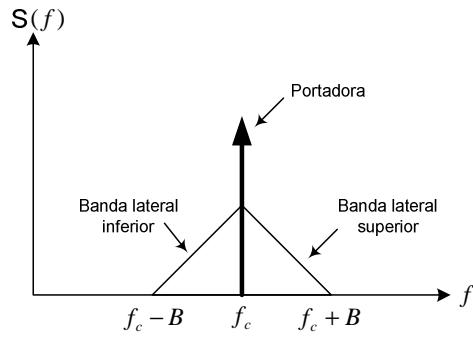
(a) Espectro de señal de modulación



(b) Espectro de señal AM con portadora en f_c

Tipos de modulación en amplitud:

Doble banda lateral con portadora (DSBSC) : Tiene el doble de ancho de banda ($2B$). Ya que transmite las dos bandas laterales y la portadora.

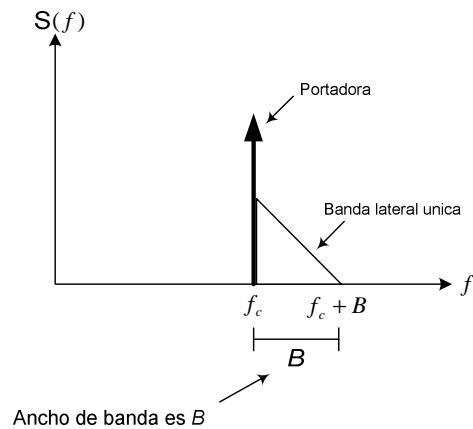


$$P_t = P_c \left(1 + \frac{n_a^2}{2} \right)$$

Donde P_t es la potencia total transmitida en $s(t)$, y P_c es la potencia transmitida en la portadora. Es deseable hacer n_a tan grande como sea posible de tal manera que la mayor parte de la potencia de la señal transmitida se use para transportar información y n_a debe ser menor que 1.

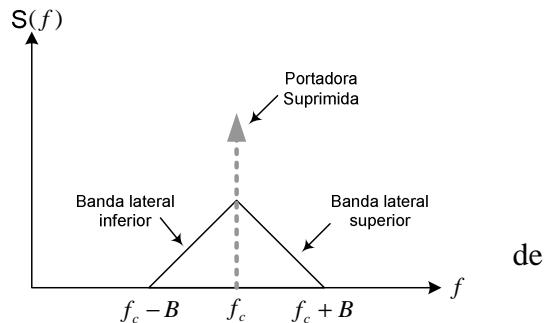
Banda lateral única (SSB):

Tiene ancho de banda (B) ya que solo tiene una banda.

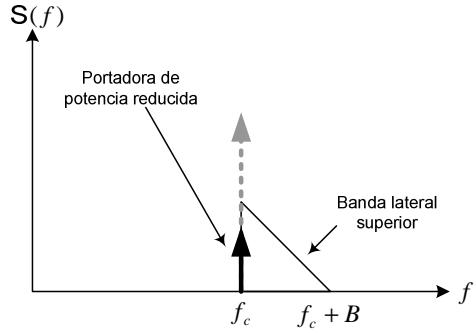


Doble banda lateral con portadora suprimida (DSBSC): Con esto conseguimos evitar un desperdicio de potencia, ya que solo parte de la señal AM lleva información, por ello suprimimos la portadora ahorrando en potencia de transmisión.

La señal será proporcional al producto la portadora por la señal.



Banda lateral residual (VSB): Tiene una portadora de potencia reducida.



• Modulación angular

La modulación en frecuencias y en fase, son casos particulares de la modulación angular.

La señal modulada se expresa como:

$$s(t) = A_c \cos[2\pi f_c t + \phi(t)]$$

A_c es la amplitud de la portadora.

Modulación en frecuencia (FM)

En la modulación en frecuencias, la derivada de la fase es proporcional a la señal moduladora:

$$\dot{\phi}(t) = n_f \cdot m(t)$$

Donde n_f es el índice de modulación en frecuencias.

Modulación en fase (PM)

En la modulación en fase, la fase es proporcional a la señal moduladora:

$$\phi(t) = n_p \cdot m(t)$$

Donde n_p es el índice de modulación en fase.

Al igual que AM tanto FM como PM dan lugar a una señal cuyo ancho de banda esta centrado en torno a f_c . Sin embargo, se vera que la amplitud de sus anchos de banda son muy diferentes. La modulación en amplitud es un proceso lineal que produce frecuencias iguales a la suma y a la diferencia de la portadora y las componentes de la señal moduladora ($B_T = 2 \cdot B$).

La modulación angular, no es lineal.

El calculo del ancho de banda se realiza por la ley de Larsson.

$$B_T = 2(\beta + 1)B \text{ donde } \beta = \begin{cases} n_p \cdot A_m & \xrightarrow{\text{Para}} \text{PM} \\ \frac{\Delta F}{B} = \frac{n_f \cdot A_m}{2\pi B} & \xrightarrow{\text{Para}} \text{FM} \end{cases}$$

$\beta \rightarrow$ Es el índice de modulación

$B \rightarrow$ Es el ancho de banda de la moduladora

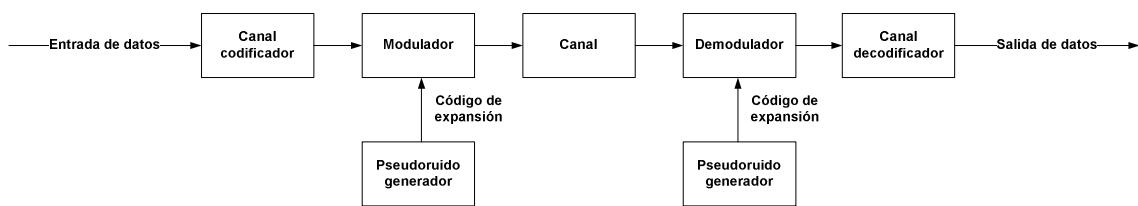
$A_m \rightarrow$ Es la amplitud de la moduladora.

Tanto FM como PM, necesitan mayor ancho de banda que AM.

▪ Espectro expandido

Se puede utilizar tanto para señales analógicas como digitales, utilizando una señal analógica. Consiste en expandir la información de la señal sobre un ancho de banda mayor, para con ellos dificultar las interferencias y su posible intercepción.

A partir de los datos de entrada, el codificador del canal genera una señal analógica con un ancho de banda relativamente estrecho en torno a su frecuencia central (f_c). Esta señal se modela posteriormente usando una secuencia de dígitos aparentemente aleatorios denominada pseudoaleatoria. Con esta modulación lo que se pretende es alimentar drásticamente el ancho de banda (expandir el espectro de la señal a transmitir). En el receptor se usa la misma secuencia de dígitos para remodular la señal de espectro expandido. Y por ultimo la señal remodulada se codifica para recuperar los datos originales.



Se consigue:

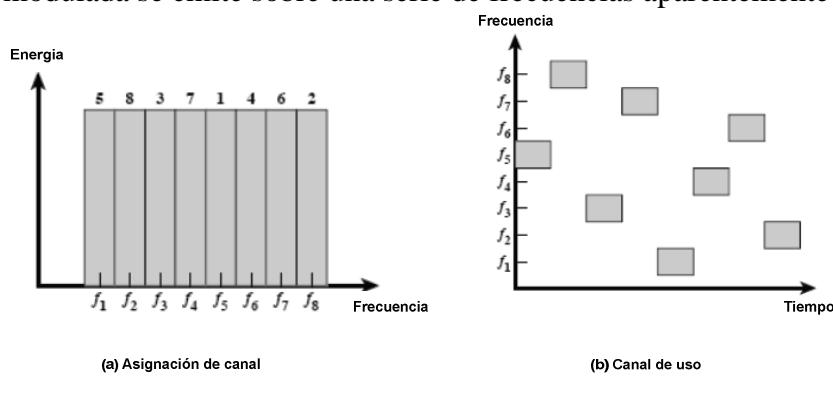
- Más inmunidad ante ruido y distorsión multirayectoria.
- Ocultar y cifrar señales.
- Usuarios independientes pueden utilizar el mismo ancho de banda simultáneamente.

• Salto de frecuencias (FHSS)

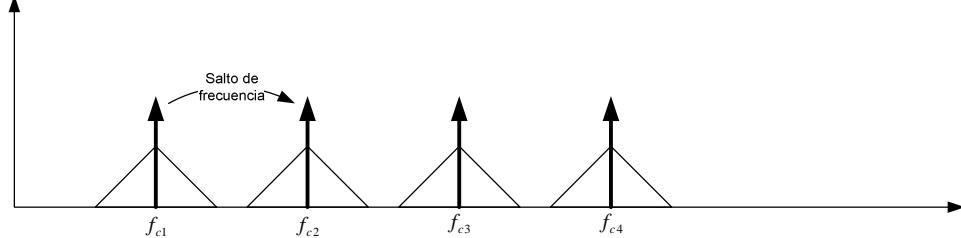
Esta técnica es utilizada en GSM y redes inalámbricas. En ella el emisor y el receptor saben el orden en el que se cambia de frecuencia (sincronización entre emisor y receptor).

Los datos binarios son modulados en FSK o BPSK.

La señal modulada se emite sobre una serie de frecuencias aparentemente aleatoria.



Cambiaremos de portadora para transmitir la señal



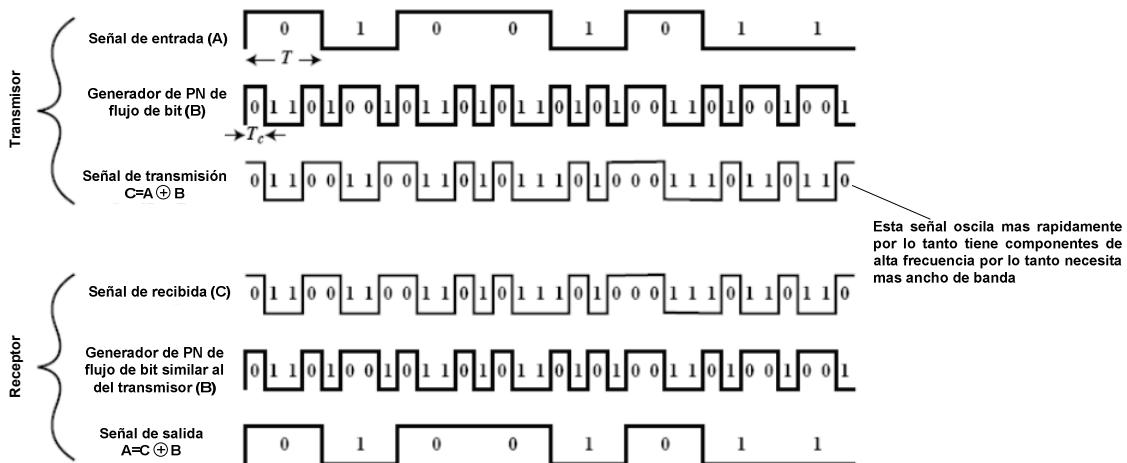
- **Secuencia directa (DSSS)**

El espectro se expande al transmitir varios bits por cada bit original.

Para cada bit, se envía su XOR con n bits aleatorios.

A	B	a(XOR)b
0	0	0
0	1	1
1	0	1
1	1	0

Consiste en combinar la secuencia de dígitos de entrada con la cadena de bits pseudoaleatorios utilizando la función XOR.



Si no tenemos ancho de banda tendremos que reducir la velocidad tanto de los datos como del generador PN de bit.

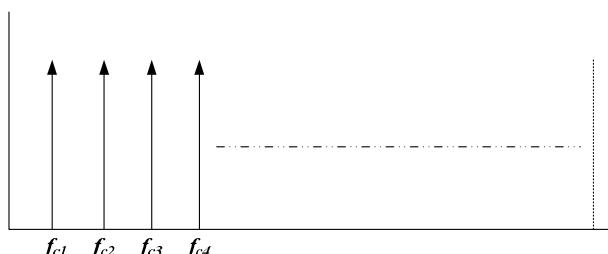
Posibles implementaciones:

- Multiplicar la información por la secuencia pseudoaleatoria y después modular BPSK.
 - Generar la señal BPSK y después multiplicar por la secuencia pseudoaleatoria.

- OFDM (multiplexación por división en frecuencias ortogonales)

Conseguimos un espectro mas amplio, pudiendo testear las portadoras para saber su relación señal/ruido (S/N) y saber si viene mejor un tipo de modulación u otro (16-QAM, 64-QAM en función de S/N).

Con cada portadora hacemos un tipo de modulación según su S/N.



4. Técnicas de comunicación de datos digitales

▪ Transmisión asíncrona

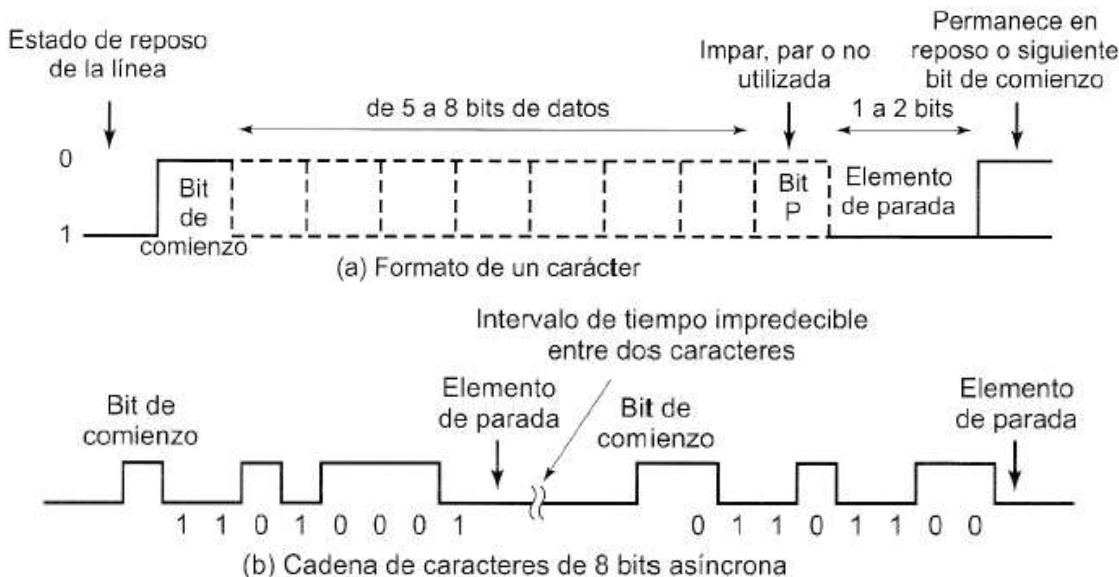
Consiste en evitar el problema de la temporización mediante el envío ininterrumpido de cadenas de bits que no sean muy largas. En su lugar, los datos se transmiten enviándolos carácter a carácter. La temporización o sincronización se debe mantener durante la duración del carácter, ya que el receptor tiene la oportunidad de resincronizarse al principio de cada carácter nuevo.

Perdida de sincronización cuando la muestra es incorrecta y el error de delimitación de trama: Puede detectar un comienzo de trama erróneo.

Su principal inconveniente es que para transmitir un carácter de 8 bits transmite dos de control (Bit de comienzo y elemento de parada) por lo tanto el 20% de los bit transmitidos no son datos por lo tanto su velocidad efectiva se ve reducida considerablemente.

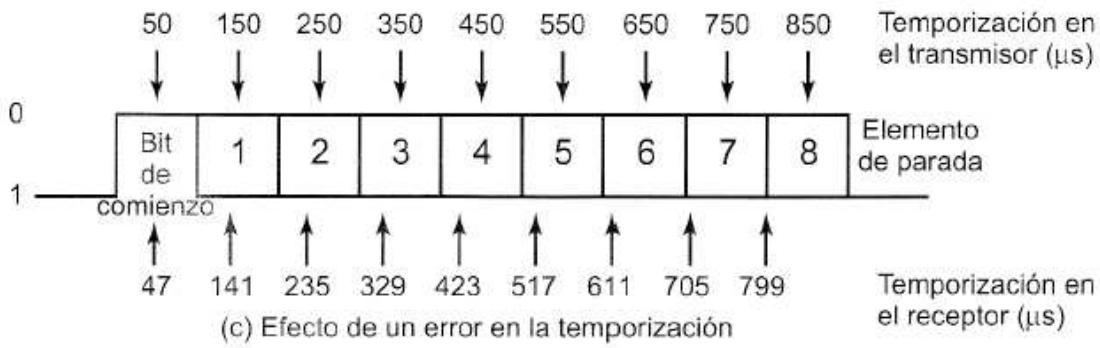
Cuando no se transmite ningún carácter la línea estará en reposo. El reposo es equivalente al elemento de señalización 1 binario. El principio de cada carácter se indica mediante un bit de comienzo que corresponde al 0 binario. A continuación se transmite el carácter, comenzando por el bit menos significativo, que tendrá entre 5 y 8 bits. Los bits del carácter van seguidos de un bit de paridad, que es el más significativo. Este bit se calcula en el emisor y el receptor lo utiliza para detectar errores. El elemento de parada, se corresponde con un 1 binario. Se debe especificar la longitud mínima del elemento de parada, y normalmente coincide con 1, 1, 5 o 2 veces la duración del bit convencional. Debido a que el elemento de parada es igual que el estado de reposo, el transmisor transmitirá la señal de parada hasta que se vaya a transmitir el siguiente carácter.

NRZ-L utiliza transmisión asíncrona.



El transmisor y el receptor no llevan el mismo tiempo de bits con lo cual podrá tomar muestras incorrectas al ir desplazándose a la izquierda en el muestreo, también podrá leer algo de otro carácter.

Debido a esto puede tener perdidas de sincronización, y también debido al error de delimitación de la trama.



■ Transmisión sincrona

El emisor y el receptor están sincronizados de alguna manera.

Transmite un bloque de bits como una cadena estacionaria sin utilizar códigos de comienzo o parada.

El emisor y el receptor para prevenir la desincronización hacen:

- Sus relojes se deben sincronizar (a través de una línea independiente, o incluir la sincronización en la propia señal de datos).
- Se utiliza codificación Manchester o Manchester diferencial en señales digitales.
- En señales analógicas, se utiliza la portadora para sincronizar al receptor.

Utiliza mucho las **tramas HDLC**

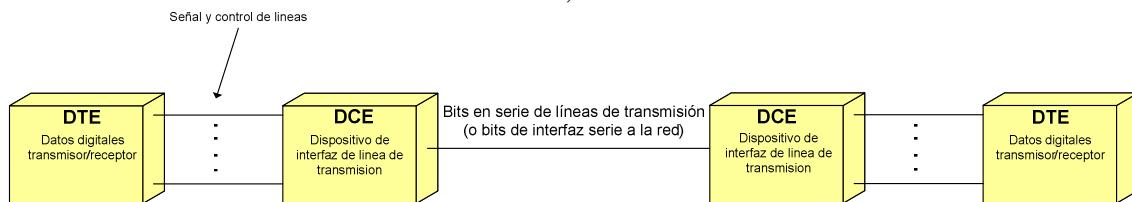


Esta trama es más eficiente por que lleva muchos datos y menos bit de control.

■ Interfaces

Los dispositivos finales , como computadores se llaman Equipo Terminal de Datos (DTE), el cual hace uso del medio de transmisión mediante la utilización de un Equipo Terminal de Circuitos de datos (DCE), por ejemplo un modem.

El DCE transmite y recibe datos, a través de la red, e interactúa con el DTE con el que intercambia datos e información de control , a través de un circuito de intercambio.



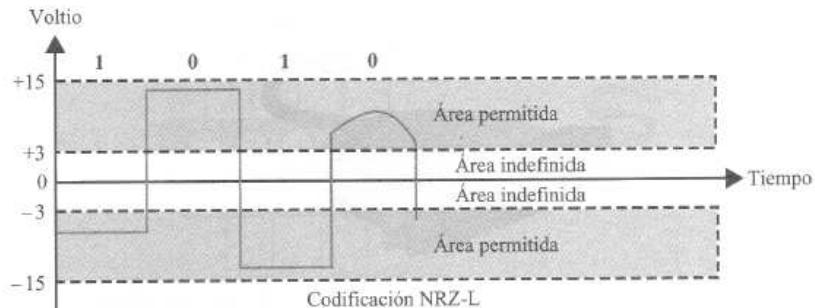
Los DCEs que intercambian información deben entenderse y utilizar el mismo esquema de codificación. Además cada pareja de DTE-DCE debe cooperar. La interfaz entre DTE y DCE esta especifica mediante normalizaciones:

- Mecánicas (Cosas tangibles como el diámetro del cable o longitud o conexión física de componentes).
- Eléctricas: Niveles de tensión y temporización.
- Funcionales: Funciones que se realizan a través de los circuitos de intercambio.

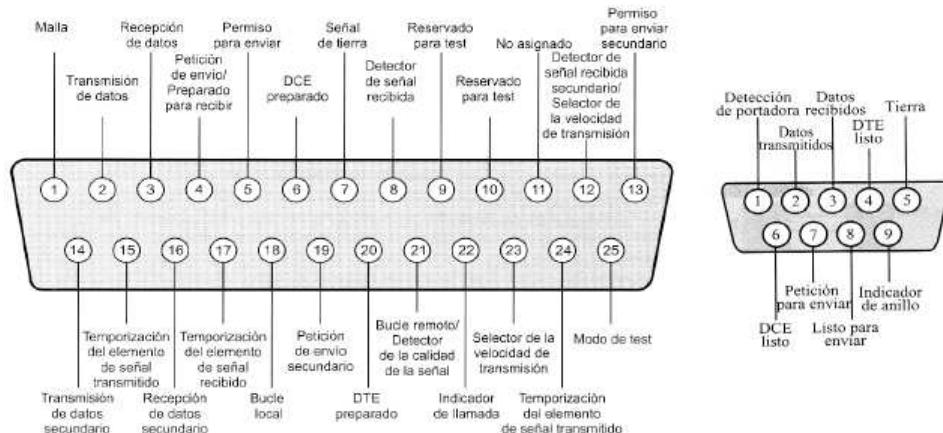
- De procedimiento (De que forma se realizara el procedimiento de conexión)

V.24/EIA-232-F

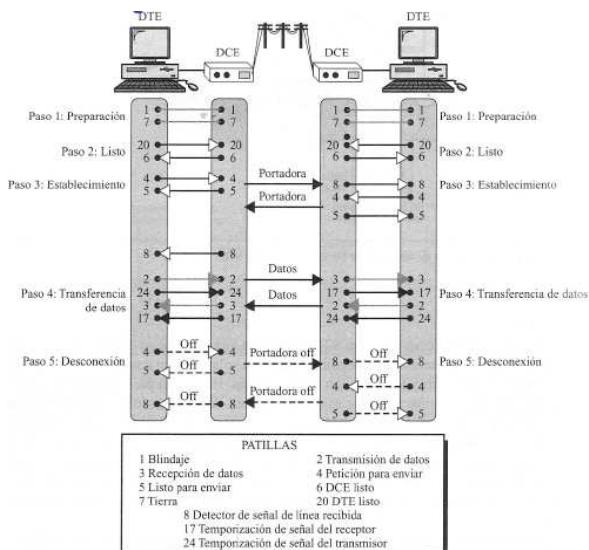
- Características mecánicas: Conector DB-25 o DB-29 (ISO 2110).
- Características eléctricas: Norma V.28. Señalización digital tanto en datos como en señales de control. Menos de 20 Kbps para distancias menores 15 metros.



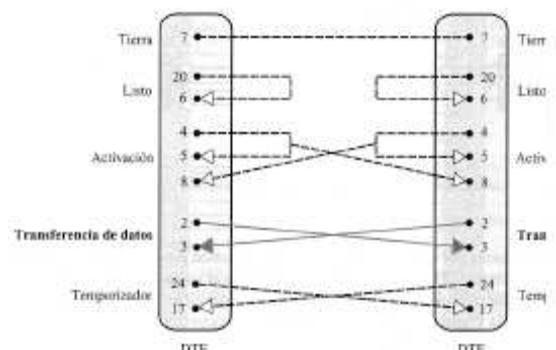
- Características funcionales: Norma V.24. Circuitos de datos: full-duplex y half-duplex. 16 circuitos de control, temporización y retorno de tierra.



- Características de procedimiento: Norma V.24. Modo sincrono full-duplex. Modem nulo.



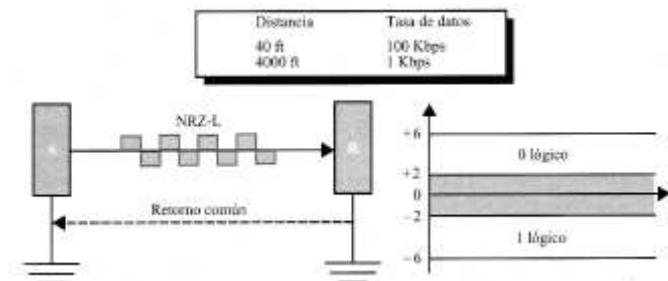
Configuración Modem Nulo: Para mandar datos de un ordenador a otro.



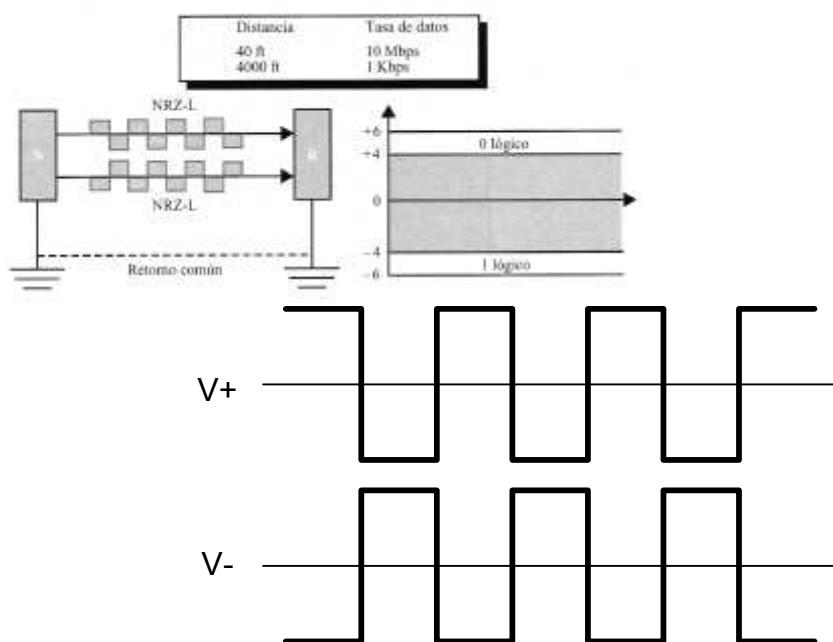
EIA-449

- Características mecánicas: Conector DB-37 o DB-9.
- Características eléctricas: RS-423 y RS-422

RS-423



RS-422: Evita el ruido por que es balanceada



El ruido se suma en las dos señales de la misma forma

$$+V+N$$

$$-V+N$$

El receptor $(+V+N)-(-V+N)= 2 V$

- Características funcionales: Dos categorías de patillas

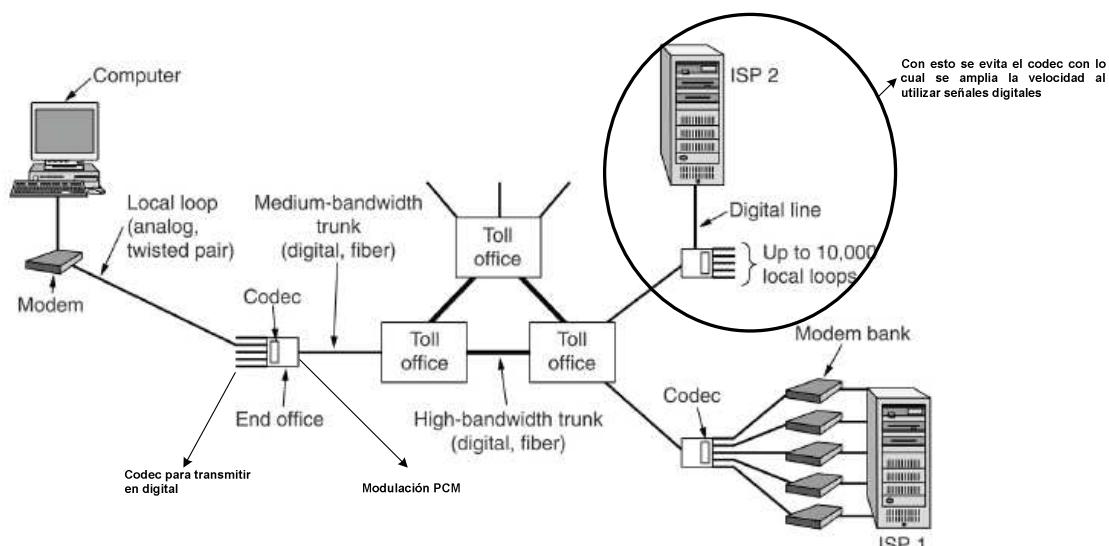
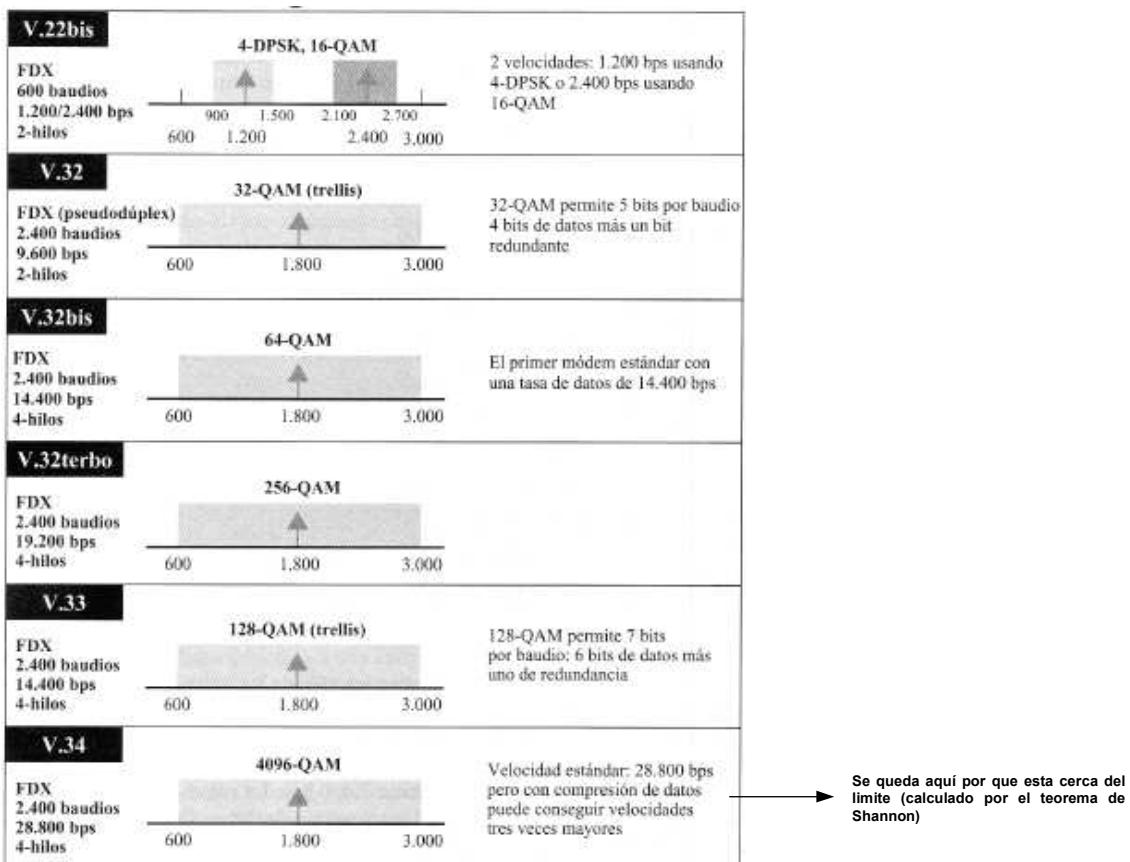
Otras interfaces

- EIA-530: Versión de EIA-449 con DB-25.
- X.21: Codifica las señales de control usando caracteres y las transmite por las líneas de datos.
 - Circuitos balanceados a 64 kbps
 - DB-15
- RDSI:
 - Utiliza el modo balanceado.
 - Acceso básico: Pseudoternaria
 - Acceso primario: B8ZS, HDB3

■ Módems

La ITU-T publico estàndares para módems, que coinciden con las series Bell:

<i>ITU-T</i>	<i>Bell</i>	<i>Tasa de Baudios</i>	<i>Tasa de Bits</i>	<i>Modulación</i>
V.21	103	300	300	FSK
V.22	212	600	1200	4-PSK
V.23	202	1200	1200	FSK
V.26	201	1200	2400	4-PSK
V.27	208	1600	4800	8-PSK
V.29	209	2400	9600	16-QAM



5. Multiplexación

Normalmente, dos estaciones de comunicaciones no hacen uso de la capacidad del canal, para mejorar la eficiencia se comparte la capacidad del canal.

Existen n entradas a un multiplexor, que se conecta a un demultiplexor mediante un único enlace de datos. El multiplexor combina los n canales de datos independientes y los transmite a través de un enlace de capacidad superior. El demultiplexor capta la secuencia de datos, y la separa en canales o la desmultiplexa.



▪ Multiplexación por división en frecuencias (FDM)

El uso de FDM será posible siempre y cuando el ancho de banda útil del medio de transmisión sea mayor que el ancho de banda de la señal transmitida.

Su funcionamiento se basa en modular cada señal con una frecuencia portadora distinta, así podremos transmitir varias señales a la vez. Las portadoras deben estar suficientemente separadas para que los distintos anchos de banda no se solapen (bandas de guardia).

La señal modulada precisa un cierto ancho de banda centrado alrededor de su frecuencia portadora, conocido como canal. Para evitar interferencias los canales se separan mediante bandas de guardia.

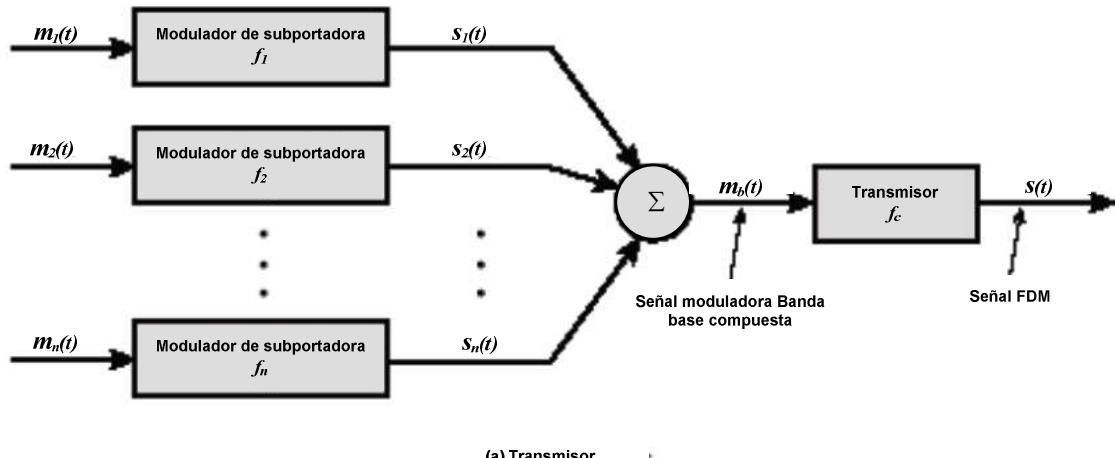
La señal compuesta transmitida es analógica, pero las señales de entrada pueden ser tanto digitales (se convierten en analógicas usando módems) como analógicas.

Aplicaciones:

- Televisión normal.
- Televisión por cable.

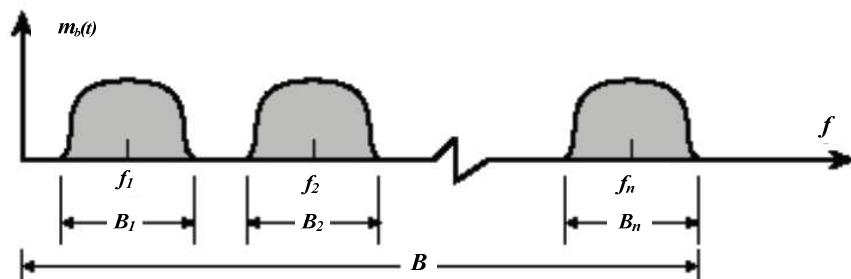
Problemas:

- Diafonía.
- Ruido de intermodulación.



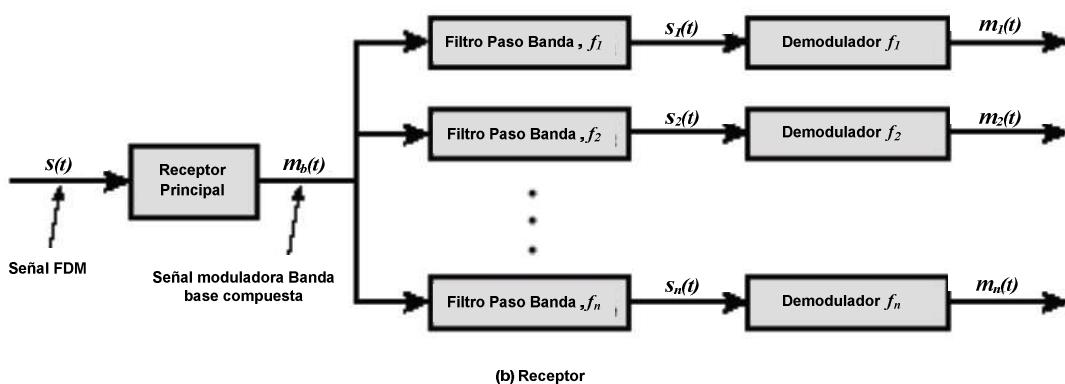
Transmisor

Se multiplexan varias señales analógicas o digitales $m_i(t)$, modulándose con la portadora f_i . Las señales analógicas resultantes $s_i(t)$ se suman y dan una señal $m_b(t)$ en banda base compuesta (como la de la figura).

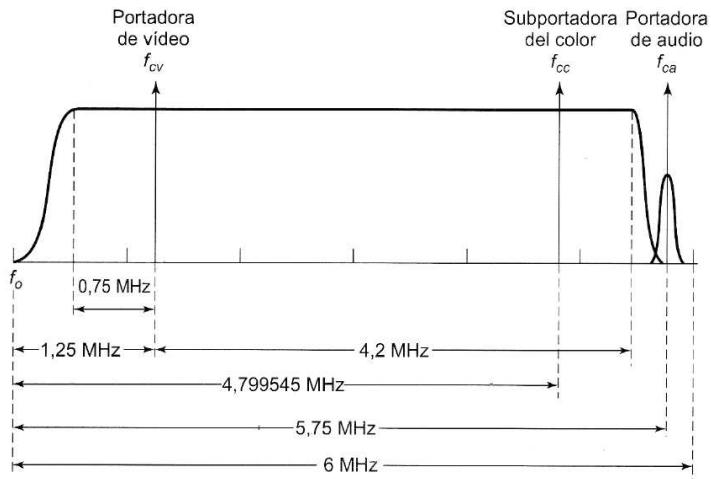


Receptor

Después la señal FDM $s(t)$ se demodula y recuperamos la señal $m_b(t)$, la cual se hace pasar a través de n filtros paso banda cado uno centrado en f_i , con un ancho de banda B_i . La señal se divide en sus componentes siendo cada una de ella remodulada para recuperar la señal original.



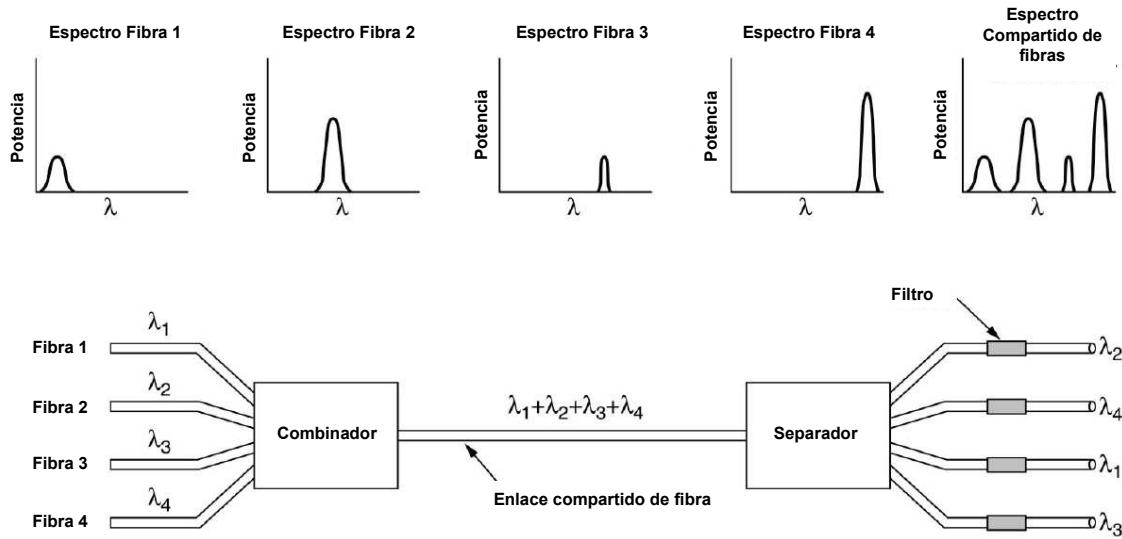
La televisión convencional es un ejemplo de FDM.



■ Multiplexación por división en longitud de onda (WDM)

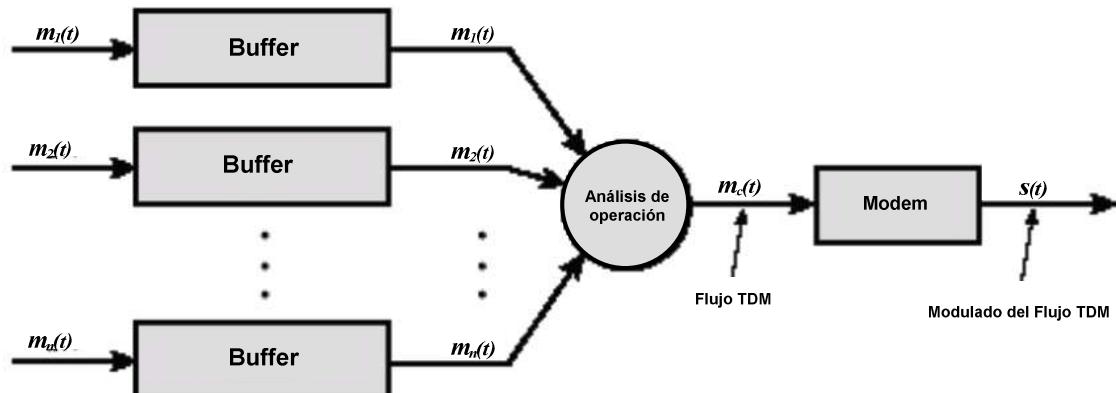
Una variante de FDM es la utilizada en fibra óptica, donde se multiplexan señales, que pueden ser analógicas o digitales, y se transmiten mediante portadoras ópticas de diferente longitud de onda, dando lugar a la denominada multiplexación por división de longitud de onda.

Un caso especial es la multiplexación en longitudes de onda densas (DWDM).

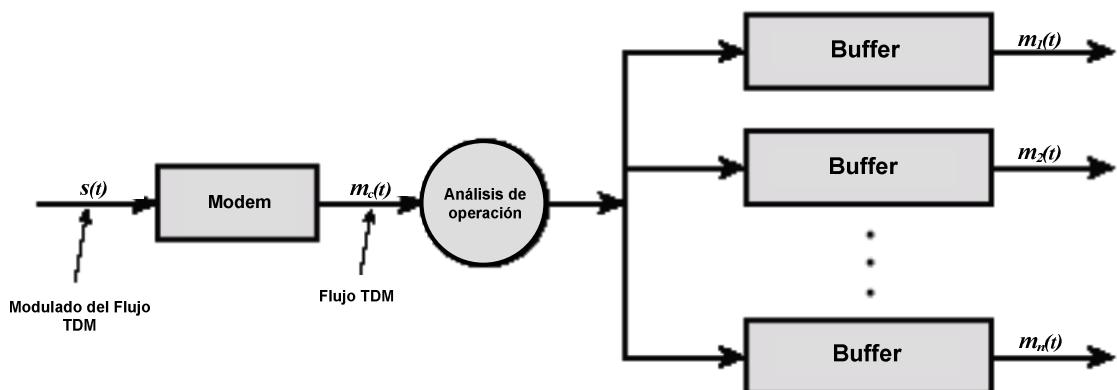


■ Multiplexación por división en el tiempo sincrona (TDM)

La multiplexación por división en el tiempo sincrona es posible cuando la velocidad de transmisión alcanzable por el medio excede la velocidad de las señales digitales a transmitir. Se pueden transmitir señales digitales (o señales analógicas que contengan datos digitales) a través de una única ruta de transmisión mediante la mezcla temporal de partes de cada una de las señales. El proceso de mezcla puede ser a nivel de bit o de bloques.

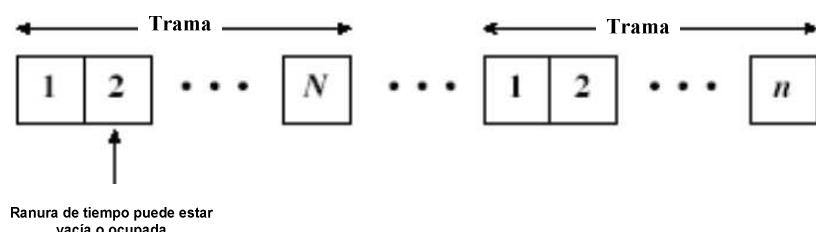


(a) Transmisor



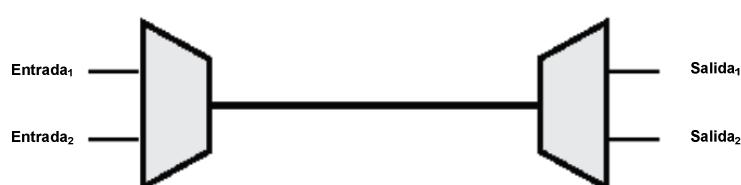
(b) Receptor

Cada trama transmitida está formada por una o más ranuras de cada de las fuentes. Una secuencia de ranuras de una fuente se llama canal.



TDM se denomina sincrona porque las ranuras temporales se preasignan y fijan a las distintas fuentes.

El control de flujo y de errores se puede aplicar para cada canal independientemente usando un protocolo de enlace como HDLC, pero no es preciso. Pero si es necesaria una delimitación de tramas.



(a) Configuración

Entrada₁ * * * * * F₁ f₁ f₁ d₁ d₁ d₁ C₁ A₁ F₁ f₁ f₁ d₁ d₁ d₁ C₁ A₁ F₁

Entrada₂ * * * F₂ f₂ f₂ d₂ d₂ d₂ C₂ A₂ F₂ f₂ f₂ d₂ d₂ d₂ C₂ A₂ F₂

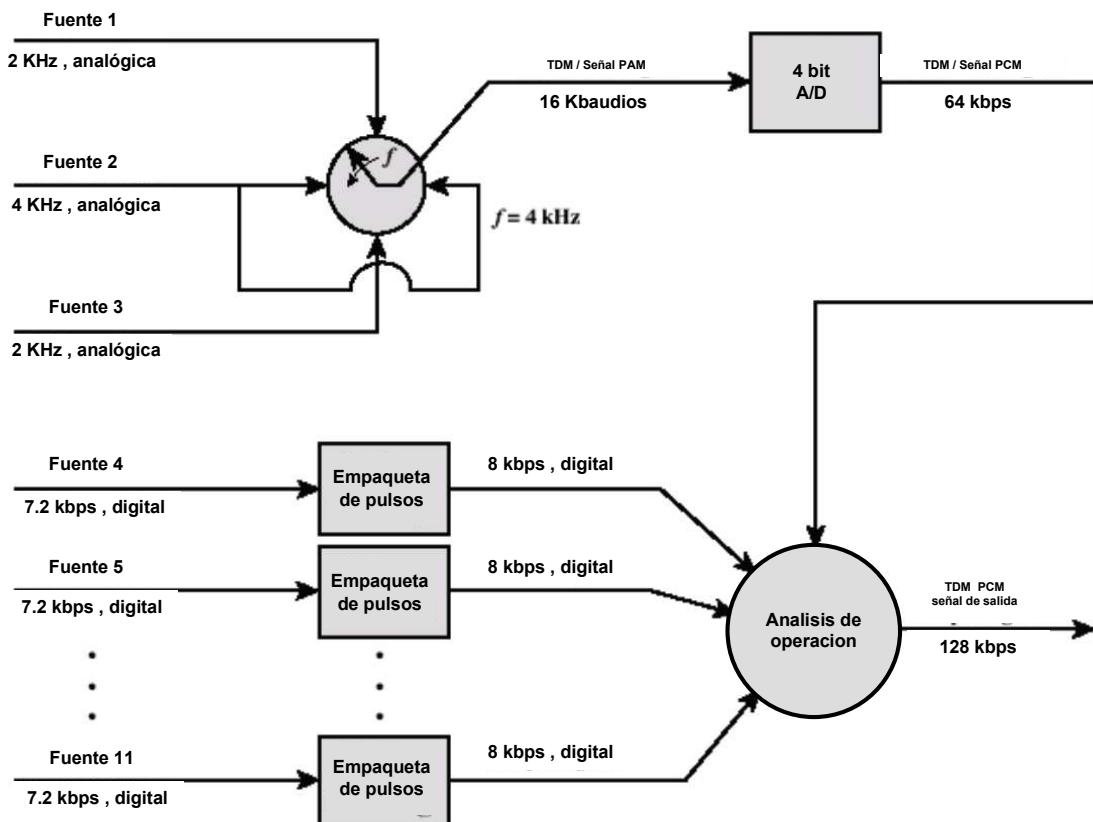
(b) Flujo de entrada de datos

* * * f₂ F₁ d₂ f₁ d₂ d₁ d₂ d₁ C₂ d₁ A₂ C₁ F₂ A₁ f₂ F₁ f₂ f₁ d₂ d₁ d₂ d₁ C₂ C₁ A₂ A₁ F₂ F₁

(c) Multiplexado de entrada de datos

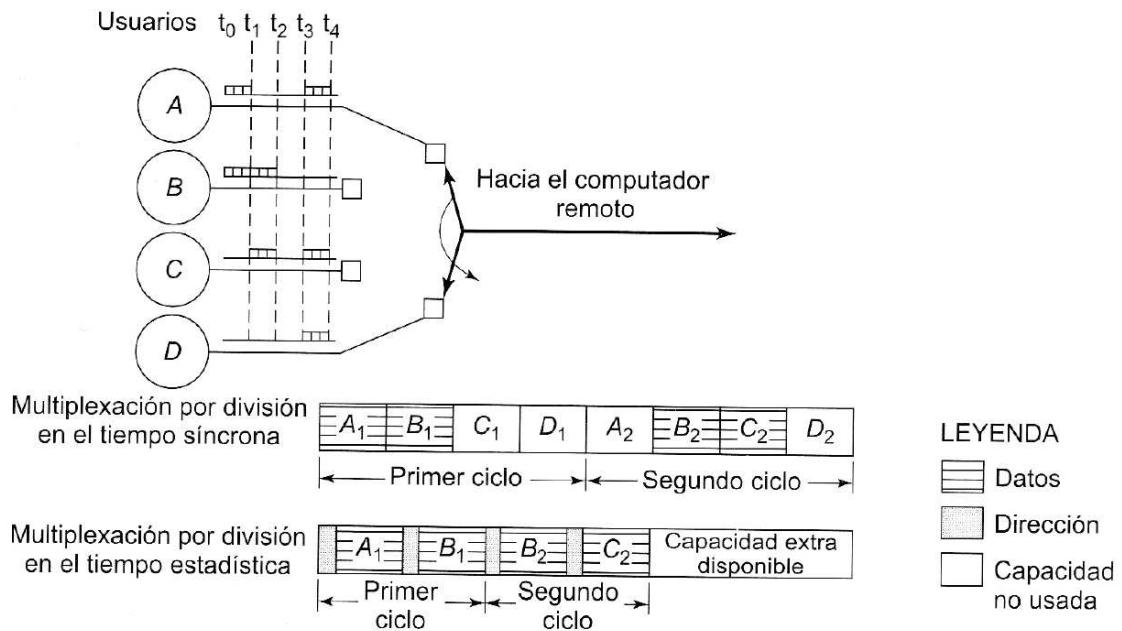
Legenda : F = Campo de bandera d= un octeto de campo de datos
A = Campo de dirección f = un octeto de campo de FCS
C= Campo de control

Se llevan a cabo inserción de bits para equilibrar diferencias de velocidad entre la fuente y el medio físico (bits de relleno) que se retiran en el multiplexor.



■ Multiplexación por división en el tiempo estadística

En TDM sincrona es usual desaprovechar muchas de las ranuras temporales dentro de un trama. Para evitar esto se utiliza TDM estadística, en la que se realiza una reserva dinámica bajo demanda de las ranuras o divisiones temporales. Hay n líneas de entrada/salida, pero solo k ranuras temporales disponibles en cada trama TDM, donde $k < n$. La función de entrada del multiplexor sondea los buffers de entrada y tomará datos hasta completar una trama para realizar su envío posterior. A la salida, el multiplexor recibe la trama y distribuye las ranuras temporales de datos a las memorias temporales de salida correspondientes.



Ventajas: La capacidad (velocidad) de la línea multiplexada es menor que la suma de las capacidades de las fuentes. Es decir, si un multiplexor estadístico y uno sincrónico usan un enlace a la misma velocidad, el multiplexor estadístico puede dar mas servicio a otros dispositivos.

6 tienen algo que transmitir

Sobra al enviar 6 se envían 5 y 1 se espera para la próxima vez

Entrada ^a	Capacidad = 5.000 bps			Capacidad = 7.000 bps	
	Salida	Exceso	Salida	Exceso	
6	5	1	6	0	
9	5	5	7	2	
3	5	3	5	0	
7	5	5	7	0	
2	5	2	2	0	
2	4	0	2	0	
2	2	0	2	0	
3	3	0	3	0	
4	4	0	4	0	
6	5	1	6	0	
1	2	0	1	0	
10	5	5	7	3	
7	5	7	7	3	
5	5	7	7	1	
8	5	10	7	2	
3	5	8	5	0	
6	5	9	6	0	
2	5	6	2	0	
9	5	10	7	2	
5	5	10	7	0	

^a Entrada = 10 fuentes, 1.000 bps/fuente; velocidad de entrada promedio = 50 % del máximo.

I : Número de fuentes de entrada.

R : Velocidad de cada fuente en bps

M : Capacidad efectiva de la línea multiplexada en bps (se consideran los bits suplementarios incluidos por el multiplexor).

α : Fracción media de tiempo que transmite cada fuente, $0 < \alpha < 1$ (si se transmite el 50% del tiempo $\alpha = 0,5$)

$K = \frac{M}{IR}$: Razón entre la capacidad de la línea multiplexada y la entrada máxima total.

Si consideramos el multiplexor como una cola tenemos:

$\lambda = \alpha \cdot I \cdot R$ esta expresión da la velocidad de llegada promedio en bps.

$T_s = \frac{1}{M}$ es el tiempo de servicio en segundos (tiempo en transmitir un bit).

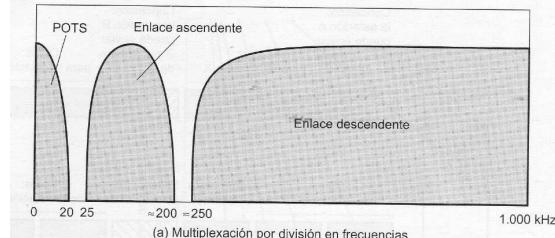
$\rho = \lambda \cdot T_s = \frac{\alpha \cdot I \cdot R}{M} = \frac{\alpha}{K} = \frac{\lambda}{M}$ es la utilización de la línea o porcentaje de la que se utiliza.

$N = \frac{\rho^2}{2(1-\rho)} + \rho$ es la media de la capacidad de memoria temporal utilizada por el multiplexador.

■ Línea de abonado digital asimétrica (ADSL)

Utiliza FDM, para aprovechar la capacidad de 1 MHz. Tiene tres elementos:

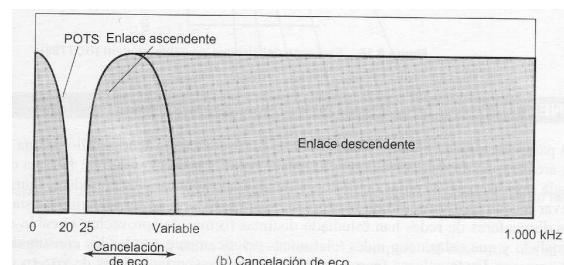
- Reserva 25 KHz inferiores para voz (POTS).
- Utilización de cancelación de eco o FDM para dar cabida a una banda ascendente (mayor capacidad) y otra descendente a una frecuencia más elevada.
- Uso de FDM en las bandas ascendente y descendente.



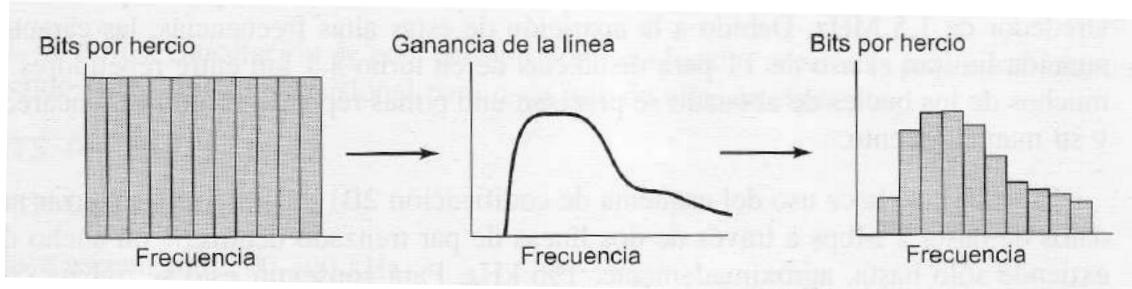
Cancelación de eco: Permite la transmisión de señales digitales en ambos sentidos y al mismo tiempo. En esencia, un transmisor debe eliminar de la señal que recibe el eco debido a su propia transmisión con objeto de recuperar la señal enviada por el otro extremo.

Cuando se usa cancelación de eco, la banda de frecuencia correspondiente al canal ascendente se solapa con la porción inferior del canal descendente. Tiene dos ventajas:

- La atenuación aumenta con la frecuencia.
- El diseño del procedimiento de cancelación del eco es más flexible para modificar la capacidad de la transmisión ascendente.



Multitono discreto: El ancho de banda se divide en subcanales de 4 KHz . El modem envía unas señales de test sobre los canales con el fin de determinar la relación señal-ruido (SNR) en cada uno de ellos(es algo parecido a OFDM). Las secuencias de bits se dividen en subsecuencias que se modulan mediante QAM.



XDSL: ADSL proporciona una transmisión digital de alta velocidad, estos esquemas de manera general se llaman XDSL.

	ADSL	HDSL	SDSL	VDSL
Bits/segundo	de 1,5 a 9 Mbps en descendente de 16 a 640 kbps en ascendente	1,544 o 2,048 Mbps	1,544 o 2,048 Mbps	de 13 a 52 Mbps en descendente de 1,5 a 2,3 Mbps en ascendente
Modo	Asimétrico	Simétrico	Simétrico	Asimétrico
Pares de cobre	1	2	1	1
Distancia (UTP de calibre 24)	de 3,7 a 5,5 km	3,7 km	3,0 km	1,4 km
Señalización	Analógica	Digital	Digital	Analógica
Código de línea	CAP/DMT	2B1Q	2B1Q	DMT
Frecuencia	de 1 a 5 MHz	196 kHz	196 kHz	10 MHz
Bits/ciclo	Variable	4	4	Variable

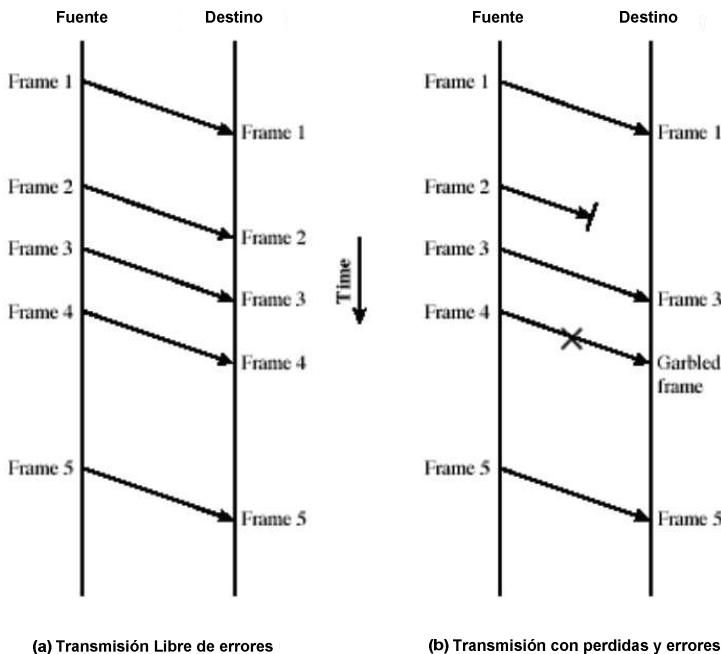
UTP = par trenzado sin apantallar.

TEMA 3: CONTROL DEL ENLACE DE DATOS

1. Control de Flujo

Se trata de evitar que un emisor rápido sature a un receptor lento. Se define:

- Tiempo de transmisión (t_{trama}): Es el tiempo empleado por el emisor para emitir los bits de una trama, que por definición es proporcional a la longitud de la trama.
- Tiempo de propagación (t_{prop}): Es el tiempo empleado por un bit en atravesar el medio de transmisión desde el origen hasta el destino.



■ Control de Flujo mediante Parada y Espera

El emisor transmite una trama, el receptor recibe la trama y envía una trama de confirmación al emisor (ACK). El emisor no podrá transmitir otra trama hasta que no reciba la confirmación.

Existe un buen funcionamiento con tramas grandes, pero son preferibles las pequeñas, porque:

- Hay limitación de la memoria temporal en el receptor.
- Los errores se detectan antes en tramas pequeñas.
- En medios compartidos se evitan grandes retardos.

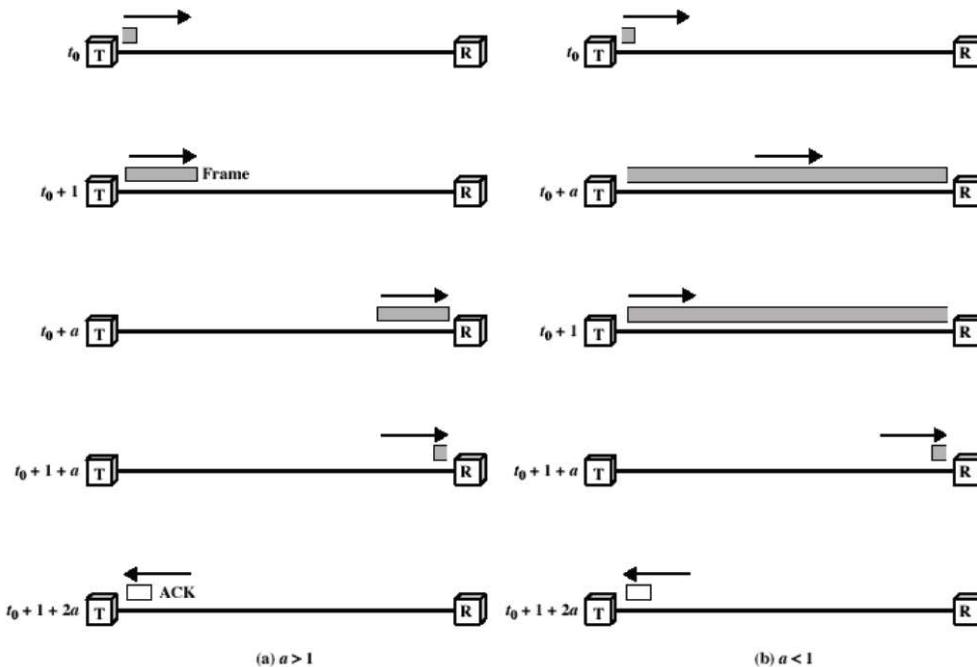
Longitud del enlace en bits: $B = R \cdot \frac{d}{V}$ indica el número de bits presentes en el enlace cuando el enlace se ocupa completamente por una secuencia de bits.

Donde R es la velocidad de transmisión en bps, d la distancia en metros y V la velocidad de propagación en m/s.

$$\text{Tiempo de propagación normalizado: } a = \frac{t_{prop}}{t_{trama}} = \frac{d/V}{L/R} = \frac{B}{L}$$

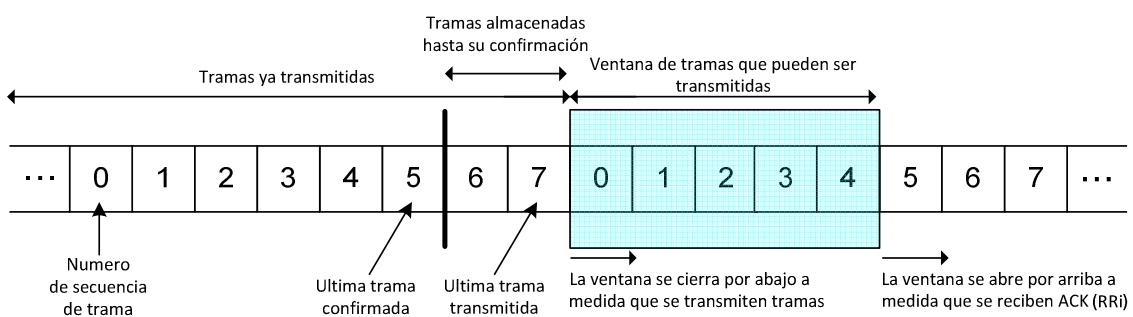
Cuando $a < 1$, el tiempo de propagación es menor que el tiempo de transmisión. La trama es lo suficientemente larga para que los bits de la misma lleguen al destino antes que la fuente haya terminado la transmisión.

Cuando $a > 1$, el tiempo de propagación es mayor que el tiempo de transmisión. El emisor terminara la transmisión de toda la trama antes que el primer bit de la misma llegue al receptor.

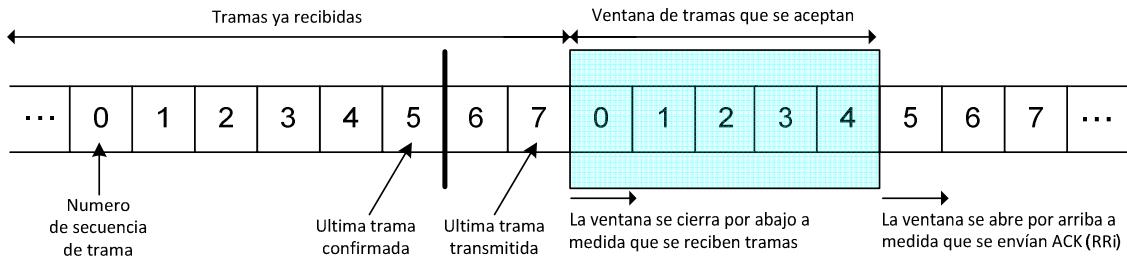


■ Control de Flujo mediante Ventana Deslizante

El emisor A puede enviar W tramas, antes de esperar alguna confirmación. Cada trama esta etiquetada con un número de secuencia. El receptor B confirma una trama enviando una confirmación que incluye el numero de secuencia de la siguiente trama que espera recibir (RR*i* donde *i* es el numero de trama que espera recibir). Esa confirmación implícitamente también informa de que B esta preparado para recibir las W tramas siguientes, a partir de la especificada. A, mantiene una lista con los números de secuencia que se le permite transmitir, y B mantiene una lista con los números de secuencia que esta esperando recibir. Cada una de estas listas se considera como una ventana de tramas.



(a) Perspectiva del Emisor

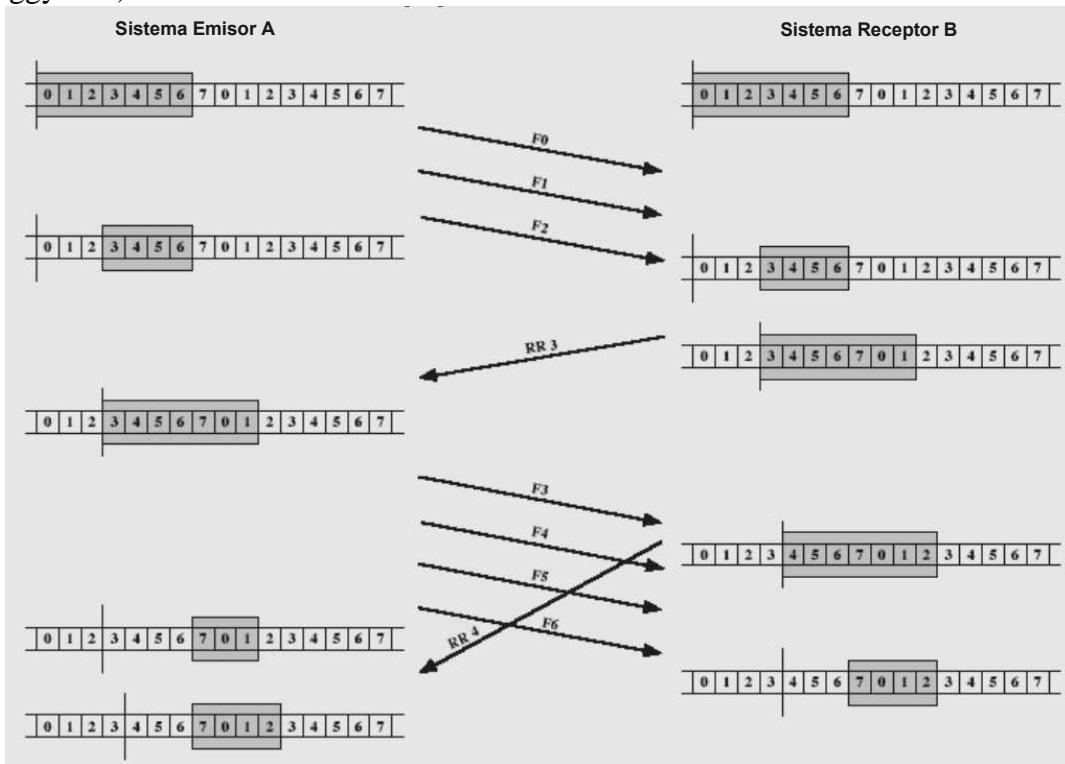


(a) Perspectiva del Receptor

La ventana indica las tramas que se pueden transmitir. (Lista de A) Cada vez que se envía una trama, la ventana se cerrará por el límite inferior reduciéndose su tamaño; cada vez que se reciba confirmación, la ventana se abrirá por el límite superior. Las Tramas que están entre la barra vertical y la ventana han sido ya enviadas pero todavía no están confirmadas.

Una estación puede interrumpir totalmente la transmisión de tramas desde el otro extremo enviando un mensaje de *receptor no preparado* (RNR). Con él se confirman las tramas anteriores pero se prohíbe la transmisión de tramas adicionales.

Los canales full-duplex aprovechan las tramas de datos para enviar confirmaciones (Piggyback).

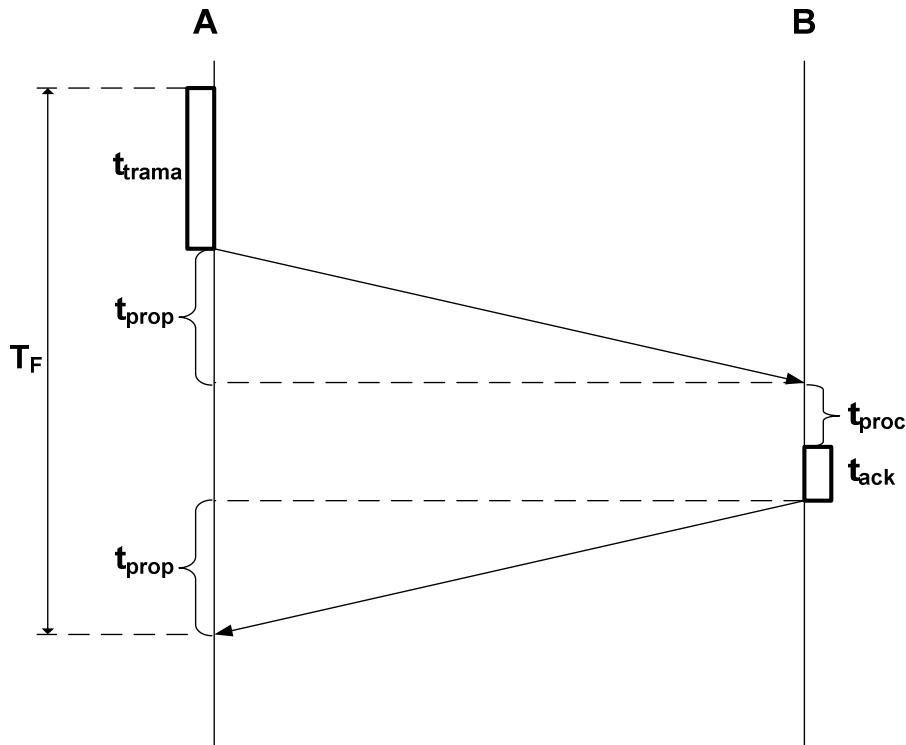


■ Análisis de prestaciones

• Parada y Espera

El tiempo total para enviar o transmitir una trama:

$$T_F = t_{trama} + t_{prop} + t_{proc} + t_{ack} + t_{prop}$$



t_{trama} : Tiempo para transmitir una trama (tiempo para que el transmisor envié todos los bits de la trama).

t_{prop} : Tiempo de propagación del emisor al receptor.

t_{proc} : Tiempo de procesamiento para que cada estación reaccione a un evento de entrada.

t_{ack} : Tiempo en transmitir una confirmación.

Si suponemos el tiempo de procesamiento (t_{proc}) es despreciable, y que la trama de confirmación (t_{ack}) es muy pequeña comparada con la trama de datos.

Para transmitir n tramas : $T \cong n \cdot (2 \cdot t_{prop} + t_{trama})$

De la expresión anterior nos interesa $n \cdot t_{trama}$

La eficiencia del medio es la máxima utilización de la línea:

$$U = \frac{n \cdot t_{trama}}{n \cdot (2 \cdot t_{prop} + t_{trama})} = \frac{t_{trama}}{2 \cdot t_{prop} + t_{trama}} = \frac{1}{1 + 2a} = \frac{t_{trama}}{T_F}$$

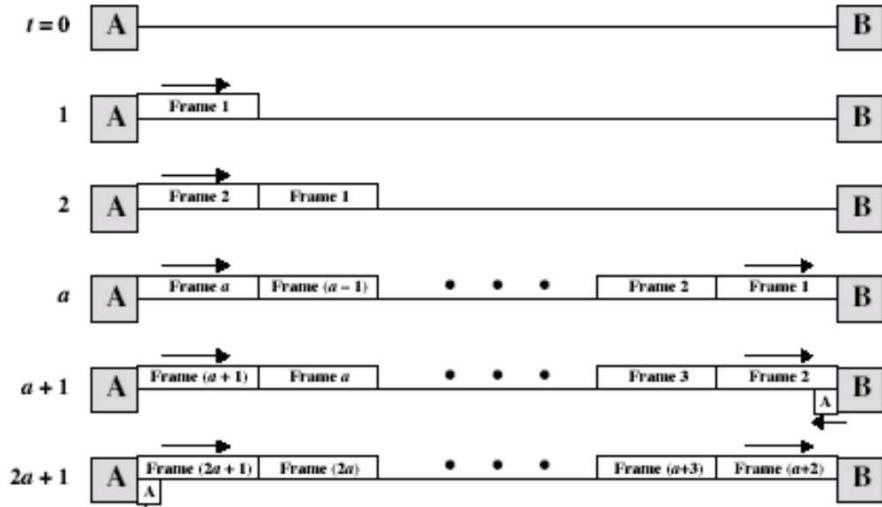
a es el tiempo de propagación normalizado $a = \frac{t_{prop}}{t_{trama}}$

La eficiencia se consigue teniendo enlaces mas cortos entre el emisor o el receptor o hacer la trama mas grande.

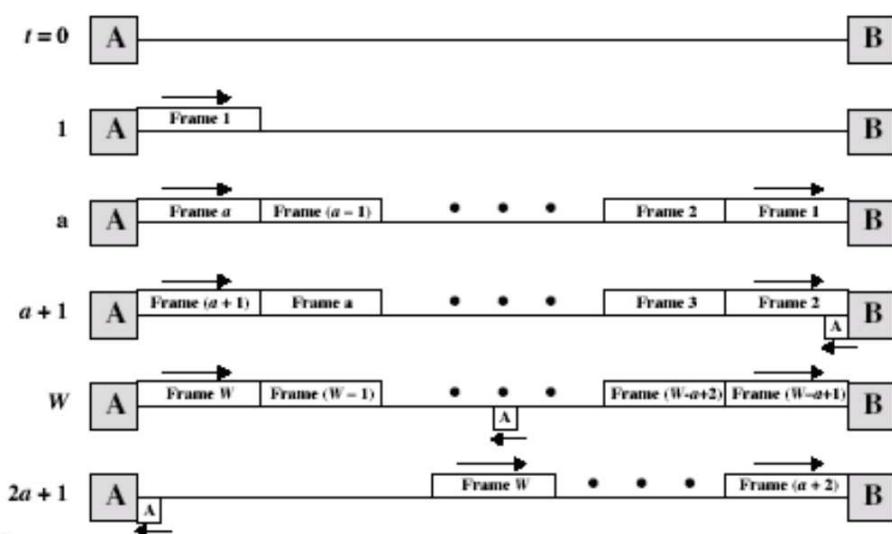
- **Ventana Deslizante**

La eficiencia depende del tamaño de la ventana (W) y del valor de a . Considerando ahora también que el tiempo de transmisión de la trama es 1; luego a es el tiempo de propagación.

Si $W \geq 2a + 1$ la eficiencia es $U=1$ (por que no dejamos de transmitir tramas en todo el proceso).

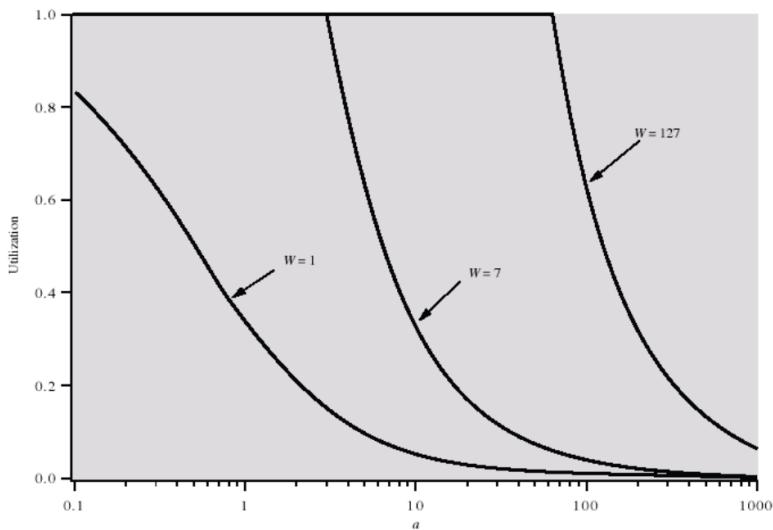


$$\text{Si } W \leq 2a + 1 \text{ la eficiencia es } U = \frac{W}{2a + 1}$$



Situaciones en la que es útil tener un tamaño de ventana grande:

- Cuando las tramas son pequeñas (se pueden enviar muchas tramas sin que llegue la confirmación).
- Cuando es grande la distancia entre emisor y receptor (por que para que llegue la confirmación tiene que recorrer mucha distancia entre emisor y receptor y así podremos mandar muchos datos).



2. Control de errores

Hay dos tipos de errores:

- Tramas perdidas: Una trama enviada no llega al receptor.
- Trama dañadas: La trama llega al receptor pero con algún bit cambiado.

Técnicas empleadas para el control de errores:

- Detección de errores.
- Confirmaciones positivas: El destino devuelve una confirmación positiva por cada trama recibida con éxito y libre de errores.
- Retransmisión tras la expiración de un temporizador: La fuente retransmite las tramas que no han sido confirmadas tras un periodo de tiempo predefinido.
- Confirmación negativa y retransmisión: El destino devuelve una confirmación negativa al detectar errores en las tramas recibidas. La fuente retransmitirá de nuevo las tramas.

Solicitud de repetición automática (ARQ, Automatic Repeat reQuest): El receptor recibe una trama y de forma automática activa el procedimiento de control de errores, después devolverá una trama de confirmación o solicitando el envío de otra copia.

■ Detección de Errores

Hay un error cuando se transmite un 1 y se recibe un 0 , o viceversa:

- Errores aislados
- Ráfagas de errores (IEEE 100).

Definimos probabilidades:

- P_b : Probabilidad de que un bit recibido sea erróneo, es decir, BER.
- P_I : Probabilidad de que una trama llegue sin errores.
- P_2 : Probabilidad de que una trama llegue con uno o mas errores no detectados. Es la tasa de error residual.
- P_3 : Probabilidad de que una trama llegue con uno o mas errores detectados y sin errores indetectados.

$P_1 = (1 - P_b)^F$ es la probabilidad de que todos los bits de la trama sean correctos.

F es el número de bits por trama.

$$P_2 = 1 - P_1$$

Las técnicas de detección de errores se basan en añadir bits de comprobación; por parte del transmisor para formar un código que tenga la capacidad de detectar errores. Este código se calcula en función de los bits que se transmiten. El receptor realiza este cálculo y comprueba los resultados.

- **Comprobación de Paridad**

El esquema más sencillo para detectar errores, consiste en añadir un bit de paridad al final del bloque de datos. Hay dos tipos:

- *Paridad Par*: Tiene un numero de 1 par.

Para 1110100, el bit de paridad será 0.

Para 1010010, el bit de paridad será 1.

- *Paridad Impar*: Tiene un numero de 1 impar.

Para 1110010, el bit de paridad será 1.

Para 1010010, el bit de paridad será 0.

Si un bit o cualquier número impar de bits se invierten, el receptor no lo detecta. Pero si cambian dos bits, o numero par de bits se dará un error no detectado.

- **Comprobación de Redundancia Cíclica**

Dado un bloque de k bits, el transmisor genera una secuencia de n bits, denominada secuencia de comprobación de trama (FCS, Frame Check Sequence) de $n - k$ bits, de tal manera que la trama resultante sea divisible por algún numero predeterminado. El receptor entonces dividirá la trama recibida por ese numero y , si no hay resto en la división , se supone que no ha habido errores.

Aritmética Modulo 2

La aritmética modulo 2 hace uso de la operación exclusive-OR.

Por cada k de información genera una FCS (Secuencia de comprobación de trama) de $n - k$ bits.

T = Es el mensaje de $(k + FCS)$ bits a transmitir lleva los bits de k (información) + $n - k$ (FCS).

D = Mensaje de k bits (Son los k bit del mensaje T)

F = $n - k$ bits de FCS , los últimos n bits de T .

P = Patrón de $(n - k) + 1$

1. El mensaje D se multiplica 2^{n-k} : $2^{n-k} \cdot D$. Si $n - k = 5$ Se ponen 5 ceros a la derecha del mensaje D .

2. El resultado del paso anterior se divide por P (Patrón) para obtener el resto de la división.

$$\frac{2^{n-k} \cdot D}{P} = \text{Obtenemos el resto de esta operación.}$$

3. El resto es el FCS y este se suma a $2^{n-k} \cdot D$ dando como resultado T que es el mensaje a transmitir.

$$T = FCS + 2^{n-k} \cdot D$$

4. El receptor coge T y lo divide por P si el resto sale 0 , significa que no ha habido errores en la transmisión.

El patrón P tiene que tener un bit de longitud mas que la FCS y como mínimo el bit mas significativo y el mas significativo debe ser 1.

Ejemplo:

$$D = 1010001101 \text{ (10 bits)}$$

$$P = 110101 \text{ (6 bits)}$$

$$n - k = \text{FCS} \text{ (5 bits)}$$

1. El mensaje D se multiplica $2^5 : 2^5 \cdot D$. Como $n - k = 5$ se ponen 5 ceros a la derecha del mensaje D .

$$1010001101 \cdot 2^5 = 101000110100000$$

2. El resultado del paso anterior se divide por P (*Patrón*) para obtener el resto de la división.

$$\begin{array}{c} 2^{n-k} \cdot D \\ \hline P \end{array}$$

$$\begin{array}{r}
 P = 110101 \\
 \hline
 101000110100000 \leftarrow 2^{n-k} \cdot D \\
 110101 \\
 \hline
 0111011 \\
 110101 \\
 \hline
 00111010 \\
 110101 \\
 \hline
 00111110 \\
 110101 \\
 \hline
 00101100 \\
 110101 \\
 \hline
 0110010 \\
 110101 \\
 \hline
 0001110
 \end{array}$$

RESTO = FCS

El patrón hace la operación exclusive-OR hasta llegar al final y el resto se utiliza como FCS.

3. El resto es el FCS y este se suma a $2^{n-k} \cdot D$ dando como resultado T que es el mensaje a transmitir.

$$T = 2^{n-k} \cdot D + FCS = 101000110100000 + 01110 = 101000110101110$$

$$T = 101000110101110$$

4. El receptor coge T y lo divide por P si el resto sale 0, significa que no ha habido errores en la transmisión.

$$\begin{array}{c} T \\ \hline P \end{array}$$

$P = 110101$	$\sqrt{101000110101110} \leftarrow T$
	<u>110101</u>
	0111011
	<u>110101</u>
	00111010
	<u>110101</u>
	00111110
	<u>110101</u>
	00101111
	<u>110101</u>
	0110101
	<u>110101</u>
	0000000
	<u> </u>
	\rightarrow RESTO = 0

Polinomios

Una segunda forma de ver CRC es expresar los valores como polinomios de una variable muda X, con coeficientes binarios. Los coeficientes corresponderán con los bits del número en binario. Así si $D=110011$, tenemos que $D(X) = X^5 + X^4 + X + 1$, y si $P=11001$ $P(X) = X^4 + X^3 + 1$. Las operaciones son en modulo 2 y queda:

$$\frac{X^{n-k} \cdot D(X)}{P(X)} = Q(X) + \frac{R(X)}{P(X)} \quad T(X) = X^{n-k} \cdot D(X) + R(X)$$

Un error $E(X)$ no se detectara si es divisible por $P(X)$ ya que su resto sera igual a 0.

Se suelen utilizar los siguientes polinomios para $P(X)$:

$$\text{CRC-12: } X^{12} + X^{11} + X^3 + X^2 + X + 1$$

CRC-16: $X^{16} + X^{15} + X^2 + 1$. Es utilizado en Estados Unidos.

CRC-CCITT: $X^{16} + X^{12} + X^5 + 1$. Es utilizado en Europa.

CRC-32:

CRC-32. $X^{32} + X^{26} + X^{23} + X^{22} + X^{16} + X^{12} + X^{11} + X^{10} + X^8 + X^7 + X^5 + X^4 + X^2 + X + 1$. Es utilizado en algunas normas de transmisión sincrona sobre enlaces punto a punto o en normas IEEE 802.

$$D(X) = X^9 + X^7 + X^3 + X^2 + 1$$

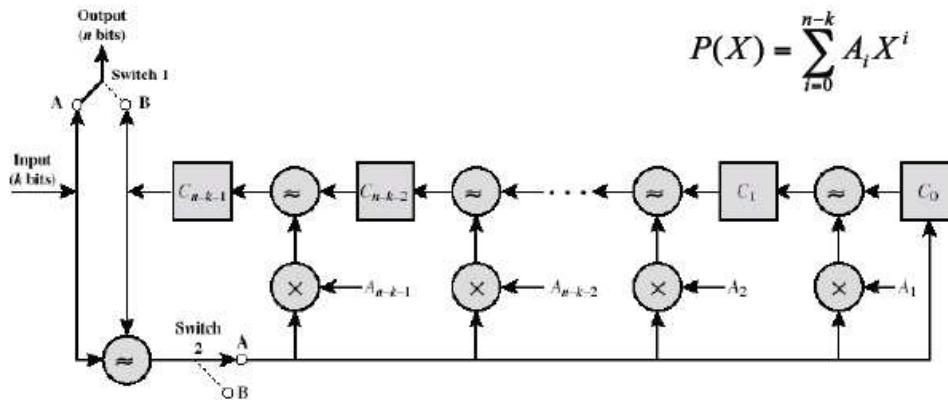
$$P(X) = X^5 + X^4 + X^2 + 1$$

$$\begin{array}{r}
 P(X) \rightarrow X^5 + X^4 + X^2 + 1 \quad | \quad \begin{array}{c} X^9 + X^8 + X^6 + X^4 + X^2 + X \\ X^{14} \end{array} \quad | \quad \begin{array}{c} X^8 + X^7 + \\ X^5 \end{array} \quad \leftarrow Q(X) \\
 \begin{array}{r} X^{14} + X^{13} + \\ X^{12} \end{array} \quad | \quad \begin{array}{c} X^{11} + \\ X^9 \end{array} \\
 \hline
 \begin{array}{r} X^{13} + X^{12} + X^{11} + \\ X^{12} \end{array} \quad | \quad \begin{array}{c} X^9 + X^8 \\ X^{10} + \end{array} \\
 \hline
 \begin{array}{r} X^{11} + X^{10} + X^9 + \\ X^{11} + X^{10} + \end{array} \quad | \quad \begin{array}{c} X^7 \\ X^8 + \end{array} \\
 \hline
 \begin{array}{r} X^9 + X^8 + X^7 + X^6 + X^5 \\ X^9 + X^8 + \end{array} \quad | \quad \begin{array}{c} X^6 + \\ X^4 \end{array} \\
 \hline
 \begin{array}{r} X^7 + X^6 + \\ X^6 + X^5 + \end{array} \quad | \quad \begin{array}{c} X^4 + \\ X^2 \end{array} \\
 \hline
 \begin{array}{r} X^6 + X^5 + \\ X^3 + \end{array} \quad | \quad \begin{array}{c} X \\ X^3 + X^2 + X \end{array} \quad \leftarrow R(X)
 \end{array}
 \end{array}$$

Lógica Digital

El procedimiento de CRC se puede implementar mediante un circuito formado por puertas XOR y un registro de desplazamiento. El registro de desplazamiento es una cadena de elementos de memoria de 1 bit.

- Registro de $n - k$ bits , longitud de FCS
- $n - k$ puertas XOR
- La presencia o ausencia de puerta indica presencia o ausencia del término correspondiente en el polinomio divisor $P(X)$



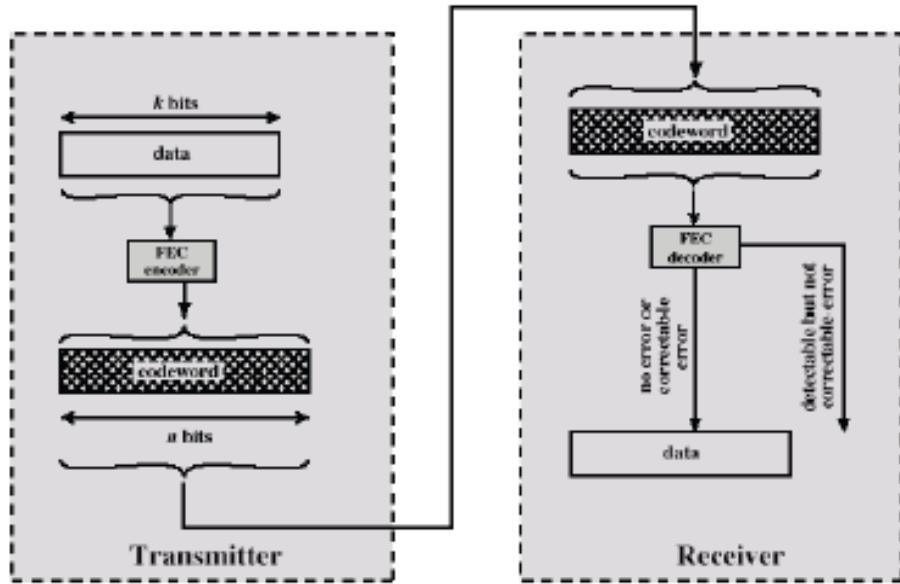
$$P(X) = \sum_{i=0}^{n-k} A_i X^i$$

■ Corrección de Errores

Para comunicaciones inalámbricas:

- BER muy elevada.
- Tiempo de propagación frente al tiempo de transmisión.

Codificador con corrección de errores hacia delante FEC (Forward Error Correction) genera palabras-código.



Tras el decodificador FEC:

- No ha habido errores
- El decodificador detecta y corrige el error
- El decodificador detecta pero no corrige
- El decodificador no detecta. Asignara la palabra-código recibida a un bloque de datos distinto del realmente transmitido.

Códigos de bloque. Ejemplo:

Bloque de datos	Palabra-código
00	00000
01	00111
10	11001
11	11110

Distancia Hamming: Según los datos que nos lleguen se aproximara a la palabra de código según el número de bit que cambien.

- Si nos llega la 00001 sabemos que la mas cercana a 00000 ($d=1$) que será el bloque de datos 00.
- Si llega 10010 , tendremos a 00000 ($d=2$) y 11110 ($d=2$), en este caso se detecta pero no se corrige el error.
- No se pueden corregir los que invierten los bits que llegue la 00000 por que se han invertido los tres 1 de 00111.

Redundancia de código: Son el exceso de bits que introducimos para comprobación de errores. $\frac{(n - k)}{k}$. En el caso del ejemplo: $\frac{(5 - 2)}{2} = \frac{3}{2}$

Tasa de código: De los bits que enviamos cuantos realmente son de datos. $\frac{k}{n}$. En este caso 2 bits de datos, de 5 bits que se envían : $\frac{2}{5} = 0,4$.

■ ARQ con Parada y Espera

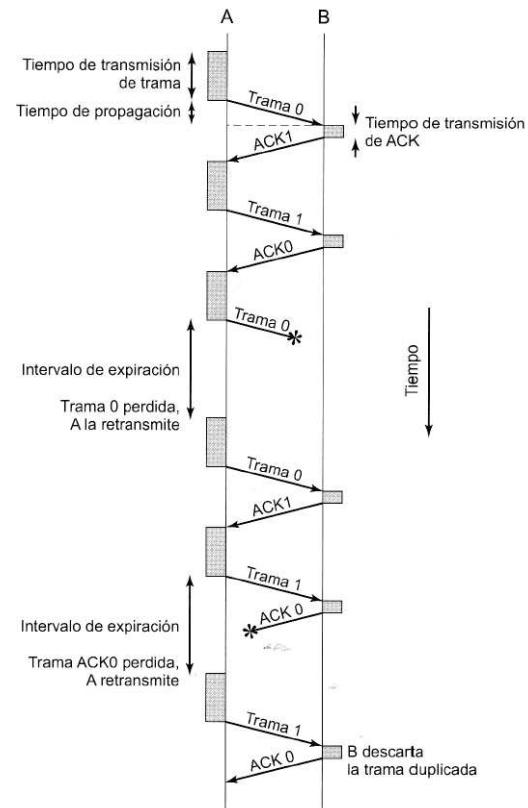
Esta basado en la técnica de control de flujo con parada y espera. La estación fuente transmite una única trama y entonces debe esperar la recepción de una confirmación (ACK). No se podrá enviar ninguna otra trama hasta que la respuesta de la estación destino vuelva al emisor.

Pueden ocurrir dos tipos de error:

- *Error en la trama de información:* El emisor envía la trama y ejecuta un temporizador. Si la trama no es recibida por el receptor este no envía un mensaje de confirmación, y cuando el temporizador termina su conteo el emisor vuelve a enviar el paquete.
- *Error en la confirmación:* La estación A envía una trama se recibe correctamente en la estación B, la cual responde con una ACK. La ACK se deteriora y no llega a la estación A. En este caso expira el temporizador de la estación A, y este reenviara la trama. Luego la trama es recibida y aceptada por B, como una trama diferente, por ello se etiquetan las tramas con un bit alternante por 0 o 1 a cada paquete ACK (ACK0 y ACK1).

El tiempo del temporizador se calcula así:

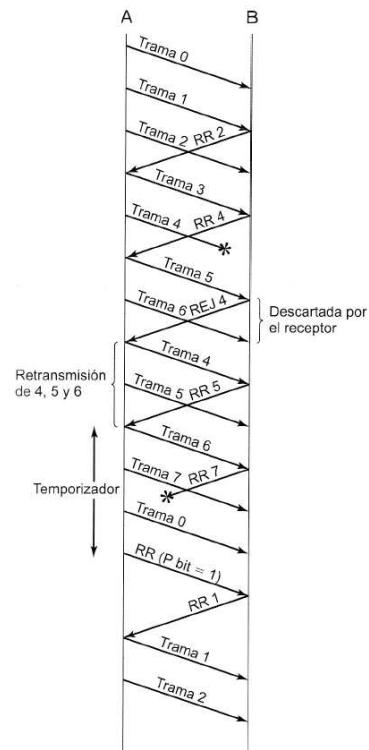
$$T_{expiracion} \geq (2 \cdot t_{prop}) + t_{ack}$$



■ ARQ con Vuelta atrás N

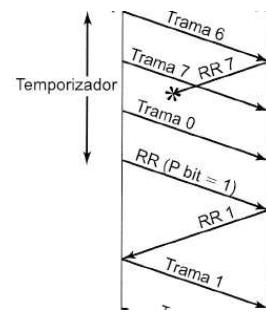
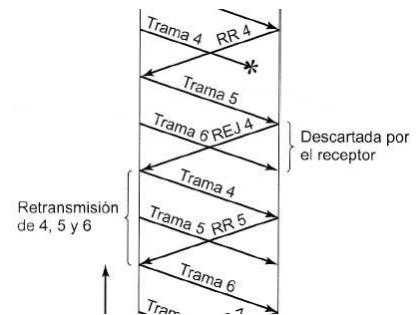
Basado en Ventana deslizante.

Mientras no haya errores, el destino confirmara las tramas recibidas con RR o incorporación de confirmación. Si el destino detecta error en una trama, envía REJ (trama deteriorada) para esa trama (si es la trama 4 la que ha fallado REJ4). La estación receptora destino descartara esa trama y todas las que se reciban en el futuro hasta que la trama errónea se reciba correctamente, y la estación emisora retransmitirá esa trama y todas las tramas posteriores que hayan sido enviadas.



Posibles situaciones:

- *Trama deteriorada*: B descarta la trama sin más. Hay dos casos.
 - Si A envía una trama $(i+1)$ dentro de un periodo de tiempo. B recibe la trama $(i+1)$ fuera de orden y devuelve REJ i , A debe transmitir la trama i y todas las posteriores.
 - A no envía tramas las tramas adicionales en un breve espacio de tiempo. B no recibe nada (al no recibir nada no devuelve ni RR ni REJ). Cuando el temporizador de A expira transmite una trama RR con el bit p=1 (el bit p=1 le pide a B su posición). B tiene que confirmarla con una RR i para indicar la siguiente trama i que espera recibir. A recibe RR i y retransmite la trama i .



- *Trama RR deteriorada:* Hay dos casos.
 - B recibe la trama i y envía RR ($i+1$), que se pierde en el camino. Y que llegue RR ($i+2$) antes de que expire el temporizador por lo tanto da igual que no llegue la RR anterior.
 - B recibe la trama i y envía RR ($i+1$), que se pierde en el camino, Y no llega ninguna RR ($i+2$), actúa el temporizador y se manda la RR con el bit p=1.
- *Trama REJ deteriorada:* Se resuelve con una trama RR con el bit p=1.

■ ARQ con Rechazo Selectivo

Las tramas se retransmiten solo cuando se recibe una confirmación negativa (SREJ) o aquellas para el que el temporizador ha expirado.

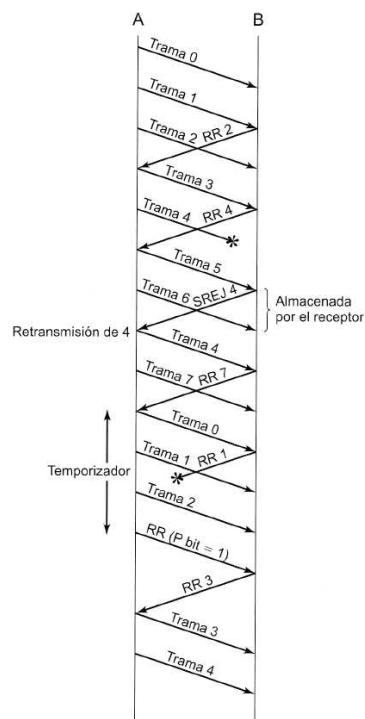
Es más eficiente que Vuelta atrás N, debido a que minimiza el número de retransmisiones. Luego tiene que tener memoria extra para almacenarla. Existe una limitación del tamaño de ventana.

Tamaño de ventana: $W = 2^k - 1$ es el tamaño máximo de ventana.

En la figura, la trama 5 se recibe fuera de orden, B envía SREJ, indicando que la trama 4 no la ha recibido. No obstante, B sigue aceptando tramas y las almacena en la memoria temporal hasta que reciba correctamente la trama 4.

El receptor tendrá que tener mucha memoria para almacenar las tramas y reorganizarlas por lo tanto la circuitería es más costosa.

Es más eficiente ya que reduce el número de retransmisiones.



■ Análisis de prestaciones

• ARQ con Parada y Espera

$$\text{Eficiencia: } U = \frac{t_{\text{trama}}}{T_F \cdot N_r}$$

T_F : Tiempo total durante el cual la línea esta ocupada transmitiendo una única trama.

N_r : Número de transmisiones por trama.

La probabilidad de k intentos para transmitir una trama con éxito es $P^{k-1}(1-P)$

P: Probabilidad de que una única trama sea errónea.

Para el cálculo de N_r será: $N_r = \sum_{i=1}^{\infty} (iP^{i-1}(1-P)) = \frac{1}{1-P}$

Otro cálculo de la eficiencia es: $U = \frac{1-P}{1+2a}$

- **ARQ con Vuelta atrás N**

Numero de tramas transmitidas ($f(i)$): $f(i) = 1 + (i-1)K = (1-K) + Ki$

$$N_r = \sum_{i=1}^{\infty} f(i) \cdot P^{i-1}(1-P) = 1 - K + \frac{K}{1-P} = \frac{1-P + K \cdot P}{1-P}$$

K es el número de tramas que se transmiten por cada error.

$W \geq 2a+1$: Su eficiencia será $U = \frac{1-P}{1+2aP}$ aproximadamente $K=2a+1$ si fallan.

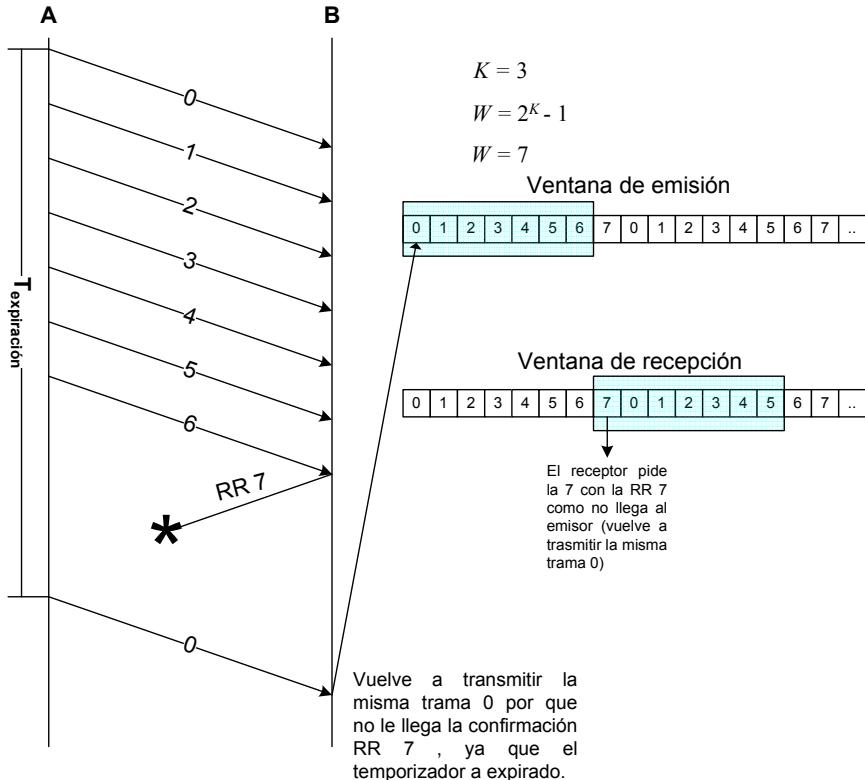
$W < 2a+1$: Su eficiencia será $U = \frac{W(1-P)}{(2a+1)(1-P+WP)}$ para este caso tienen que retransmitir $K=W$. Por cada error se necesitan retransmitir k tramas.

Si hay un fallo se retransmite la trama y todas las que le siguen.

- **ARQ con Rechazo Selectivo**

$W \geq 2a+1 : U = 1 - P$

$$W < 2a+1 : U = \frac{W(1-P)}{2a+1}$$



Todos los problemas se solucionan con $W = 2^{K-1}$

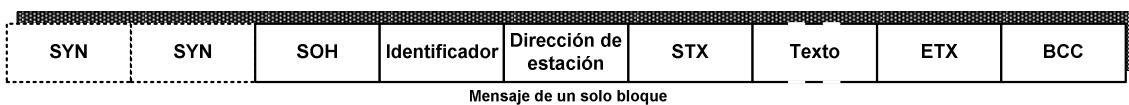
3. BSC (Control sincrono binario)

- Creado por IBM, es la base del modo básico (ISO).
- Es un protocolo orientado a caracteres
- Utilizado en parada y espera en semiduplex (se envía en dos sentidos pero no simultáneamente).
- Utiliza transmisión síncrona (sincronismo del carácter).
- Orientado a conexión.
- Aplicaciones multipunto: Estaciones maestras y esclavas. Una estación central controla todas las transferencias entre las estaciones esclavas. El maestro se encarga de abrir y cerrar las conexiones.

▪ Estructura de tramas

Hay tanto tramas de control como de información:

- **Tramas de información o mensajes de información**
Tramas de un solo bloque.



SYN: Son caracteres especiales para que el receptor puede establecer la sincronización de trama.

SOH: Indica que comienza la cabecera.

Identificador: Número de secuencia de transmisión del bloque (si hay varios).

Dirección de estación: Dirección de la estación esclava.

STX: Comienzo del texto.

Texto: Son los caracteres de información que se envían.

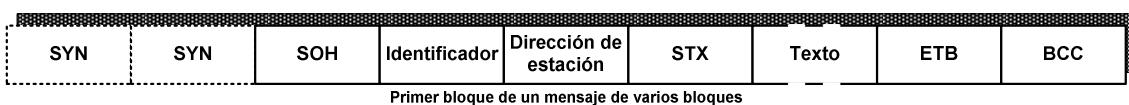
ETX: Fin de texto.

BCC: Código de comprobación de trama (8 bits).

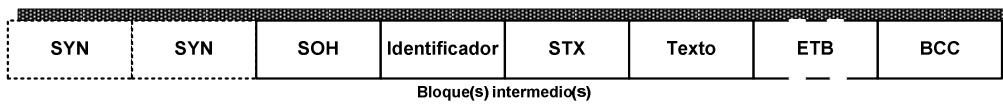
Los mensajes largos o de más tamaño se transmiten como una secuencia de bloques de datos más cortos con un tamaño fijo. Cada uno de los bloques termina con el carácter de control **ETB** (indica el fin de la transmisión de un bloque o trama).

Se enviará un primer bloque, posteriormente se enviarán los bloques intermedios (el número de bloques intermedios depende del tamaño de la información) y para finalizar se transmite el último bloque.

El primer bloque



Los bloques intermedios serán iguales excepto que ya no hay que indicar cuál es la dirección de estación receptora.



El ultimo bloque de datos de la secuencia termina con un carácter de control ETX (indica el final del texto).



- **Tramas de control**

Trama de control de secuencia de escrutinio o selección



EOT: Fin de transmisión, indica el final de la transmisión de uno o mas bloques de texto (información) y para finalizar (libera) la conexión.

P/S: indica si es P (polling = escrutinio) o S(selección).

ENQ: Pregunta o solicita una respuesta de una estación remota: la respuesta puede comprender la identidad, la situación de la estación, o ambos

Los caracteres ACK y NAK tienen dos funciones:

- *Como respuesta a un mensaje de control de selección:* Un ACK indica que la estación seleccionada esta en condiciones de recibir un bloque de datos, y un NAK indica que no lo esta.

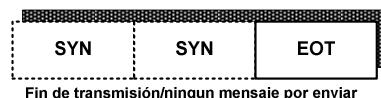


- *Como confirmación:* ACK o NAK se devuelven en respuesta de bloques(tramas) de datos previamente transmitido y por tanto , contiene un identificador (numero de secuencia 0/1).

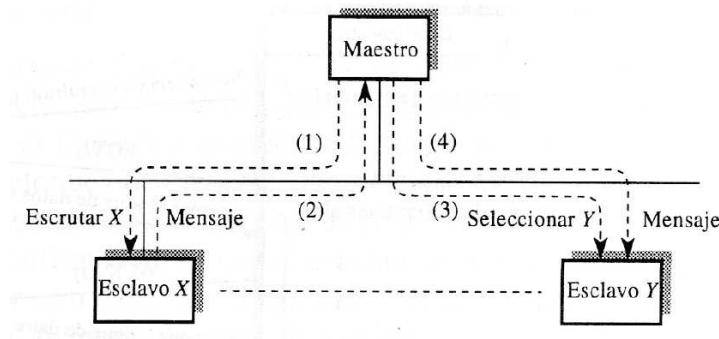


El carácter de control EOT tiene dos funciones (normalmente es enviado por la estación primaria):

- *Fin de transmisión:* Indica el final de la transmisión de bloques de texto (información) y para finalizar (libera) la conexión.
- Proporciona un medio para restablecer el enlace al estado inactivo (no se requiere el envío de ningún mensaje).



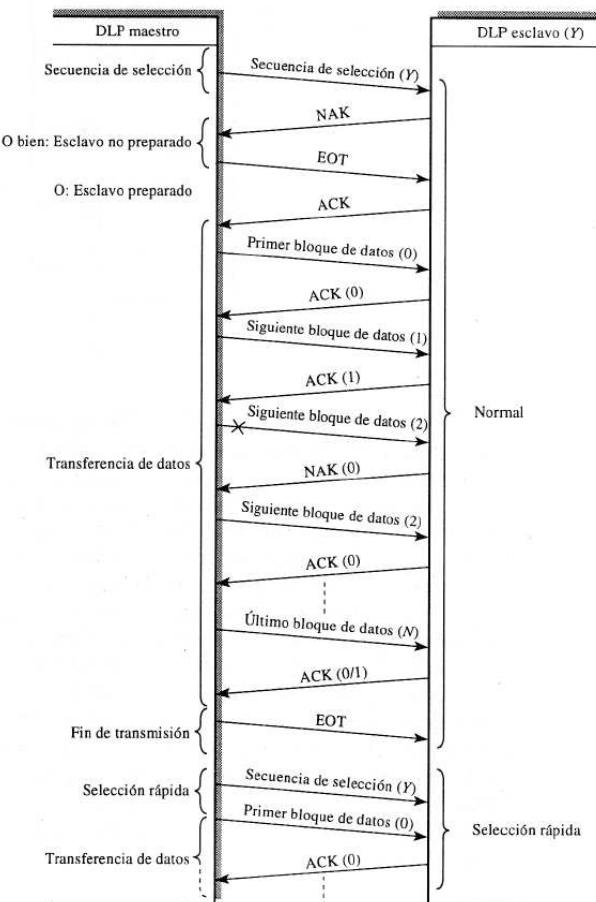
■ Funcionamiento



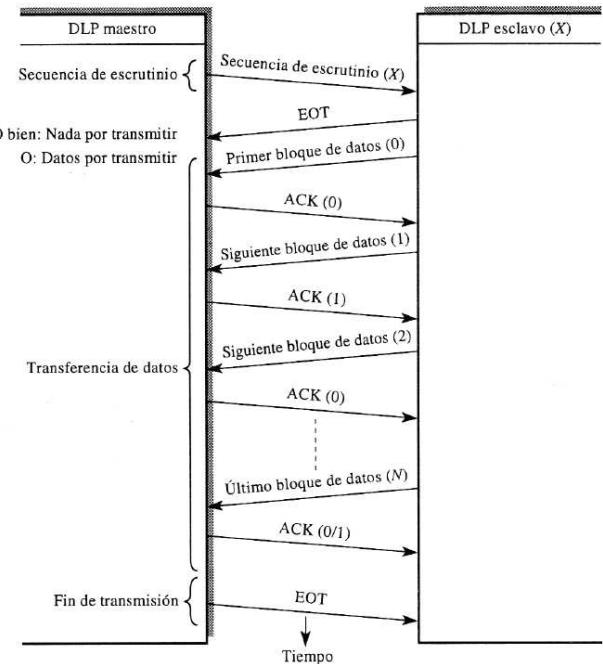
Selección: El maestro selecciona un esclavo para enviarle tramas.

Una estación maestra selecciona una esclava para enviarle tramas. Si la estación esclava no está preparada devuelve una NAK y se termina la transmisión, si la estación esclava si está preparada para recibir devuelve una ACK. La estación recibe una trama, la verifica y la confirma positiva o negativamente (ACK o NAK). La estación maestra no transmite otra trama hasta que no la tiene confirmada positivamente.

Selección rápida: Cuando se ha seleccionado previamente una estación y no se ha cerrado todavía la conexión lógica, la estación maestra no espera confirmación y envía el mensaje inmediatamente.



Escrutinio o sondeo: La estación maestra envía un mensaje de control de escrutinio a una estación esclava, si esta no tiene nada que enviar devuelve un EOT, si tiene que enviar algo, devuelve un mensaje, los cuales se van confirmando por la estación maestra, hasta que la conexión es cortada por el maestro.



4. HDLC (Control de enlace de datos de alto nivel)

- Normas ISO 3009, ISO 4335.
- Protocolo orientado a conexión.
- Protocolo orientado a bit (por que los bit tienen significado por si mismos).
- Enlace de datos punto a punto o multipunto.

Hay tres tipos de estaciones:

- *Estación primaria:* Gestiona el funcionamiento del enlace, cuando se transmite. Las tramas que genera la estación primaria se llaman órdenes.
- *Estación secundaria:* Funciona bajo el control de la estación primaria. Las tramas que genera la estación secundaria se llaman respuestas.
- *Estación combinada:* Actúa como primaria y como secundaria (combina cosas de ambas).

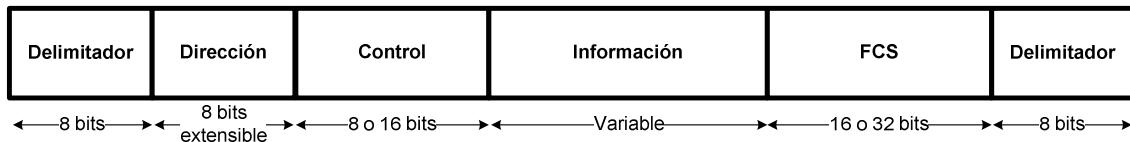
Dos tipos de configuraciones:

- *No balanceada:* Formada por una estación primaria y una o mas secundarias.
- *Balanceada:* Formada por estaciones combinadas.

Tres modos de transferencia:

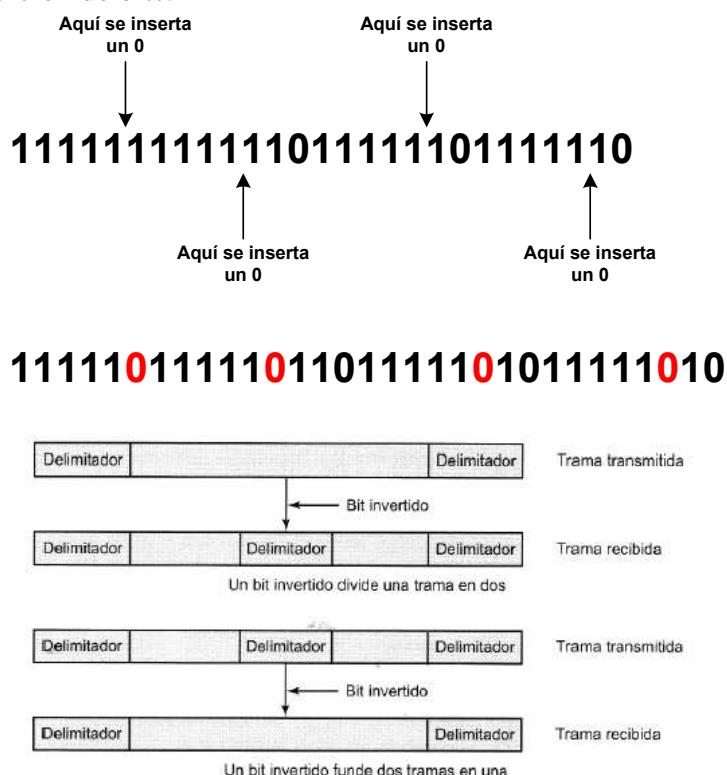
- *Modo de respuesta normal (NRM):* Utiliza configuración no balanceada (una primaria y varias secundarias). Las estaciones esclavas solo transmiten cuando la estación maestra se lo ordene específicamente.
- *Modo balanceado asíncrono (ABM):* Utiliza configuración balanceada (Varias estaciones combinadas). Cualquier estación combinada puede transmitir sin permiso de la otra estación combinada.
- *Modo de respuesta asíncrono (ARM):* Utiliza configuración no balanceada como el NRM pero las secundarias pueden mandar tramas sin recibir el permiso de la estación primaria (tienen más autonomía las secundarias).

■ Estructura de tramas

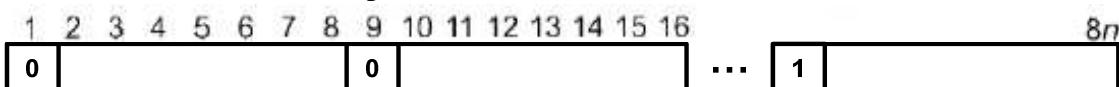


Delimitador (8 bits): Este campo de 8 bits (1 byte) esta localizado a los extremos de la trama y es la combinación 01111110, aunque un delimitador final de trama , también puede indicar el comienzo de la siguiente . Pero en los campos intermedios se puede dar la combinación de bits del delimitador (01111110), destruyendo la sincronización de tramas. Para evitar esto se realiza la *inserción de bit*, que consiste en cada vez que haya cinco 1 consecutivos inserta un bit 0. A esta propiedad se le llama *transparencia en los datos* ya que el receptor no se tiene que preocupar por los delimitadores.

Ejemplo de inserción de bits:



Dirección (8 bits): Indica la estación secundaria que va a recibir la trama (No es necesaria en enlaces punto a punto). Tiene normalmente 8 bits pero es extensible en múltiplos de 7 bits. El bit menos significativo de cada octeto será 0 si no es el último y 1 si es el último octeto del campo de dirección. Podemos numerar 2^8 estaciones.



Control (8 o 16 bits): Se definen 3 tipos de tramas, cada una con un formato diferente para el campo de control:

N(S) = Número de secuencia enviado

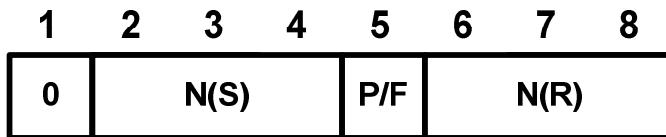
N(R) = Número de secuencia recibido

S = Bits de función supervisora

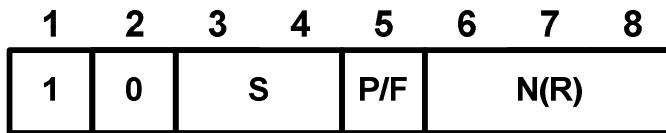
M = Bits de función no numerada

P/F = Bit de sondeo/fin

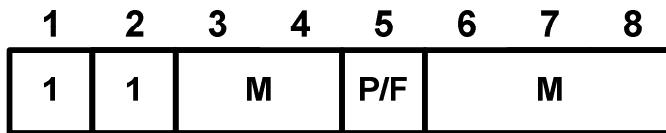
- *Tramas de información (I)*: Transporta datos generados por el usuario, además incluye información para el control ARQ de errores y flujo.



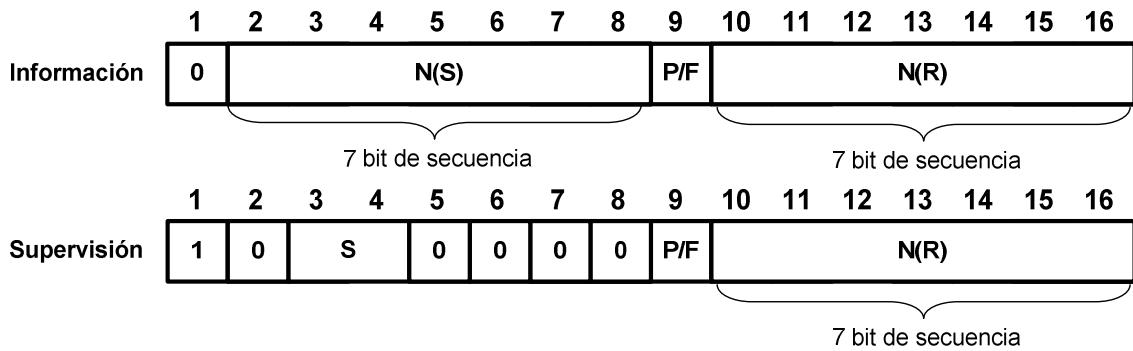
- *Tramas de supervisión (S)*: Proporciona el mecanismo ARQ cuando la incorporación de las confirmaciones en las tramas de información no sea factible.



- *Tramas de no numerada (U)*: Funciones complementarias para controlar el enlace.



En los números de secuencia se utilizan 3 bits, pero se pueden utilizar 7 bits para tramas I y S:



Información (Variable): Es de longitud variable pero siempre es múltiplo de 8.

FCS (Campo de secuencia de comprobación de trama) (16 o 32 bits) : Se utiliza para la detección de errores. Utiliza CRC-CCITT o CRC-32.

■ Funcionamiento

Consiste en el intercambio de tramas I , S y U entre dos estaciones. El funcionamiento implica tres fases:

1. Inicio

- *Avisar al otro extremo*: Uno de los dos extremos avisa al otro sobre la solicitud de la iniciación.
- *Especificar el modo*: Se especifica el tipo de modo (NRM, ABM, ARM).
- *Numero de secuencia*: Se especifica si se utiliza números de secuencia de 3 o 7 bits.
- *Respuesta del receptor*: Si la solicitud se acepta, envía una trama de confirmación no numerada (UA) y si se rechaza se envía una trama de modo desconectado (DM).

2. Transferencia de datos

- *Tramas-I*: Si la solicitud es aceptada ambos lados pueden comenzar a enviar datos mediante tramas-I.
Los campos N(S) y N(R) de las tramas-I controlan el flujo y los errores y también se pueden utilizar tramas-S.
- *RR(Receptor preparado)*: La trama RR confirma una trama-I recibida. Indicando a la vez la siguiente trama-I que espera recibir. Esta confirmación se puede incorporar si el receptor envía una trama-I al otro extremo.
- *RNR(Receptor no preparado)* : La trama RNR confirma la trama-I al igual que RR, pero solicita al otro extremo del enlace que suspenda la transmisión de tramas-I . Cuando la entidad envió la RNR, este preparada enviara un RR para decir que esta en disposición de recibir tramas-I.
- *REJ*: La trama REJ sirve para indicar el procedimiento ARQ con Vuelta atrás N. Con ella se indica que la ultima trama-I recibida es rechazada y solicita la retransmisión de todas las tramas-I con números de secuencia posteriores al N(R).
- *SREJ*: La trama de rechazo selectivo SREJ se usa para solicitar la retransmisión de una única trama.

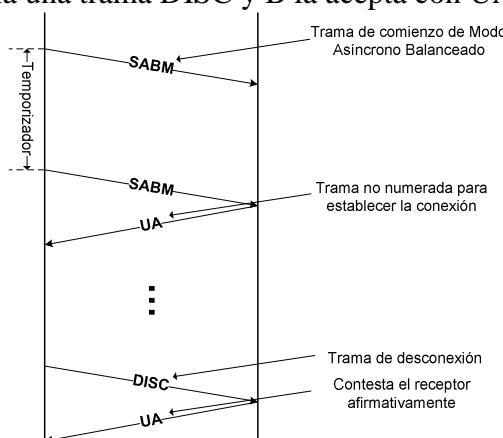
3. Desconexión

Cualquiera de los dos extremos puede iniciar la desconexión, a través de la trama DISC. El otro extremo confirmara la desconexión con la trama UA.

Establecimiento y desconexión del enlace (Trama SABM)

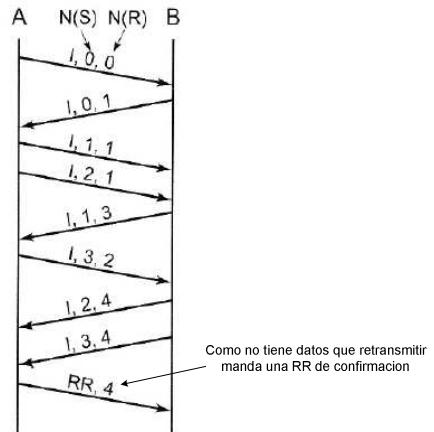
Una entidad envía una trama SABM para solicitar la conexión, si tras un periodo de tiempo no recibe UA (para aceptar la conexión) o DM para rechazarla, se reenviara de nuevo la trama SABM.

Para desconectar A envía una trama DISC y B la acepta con UA o la rechaza con DM.



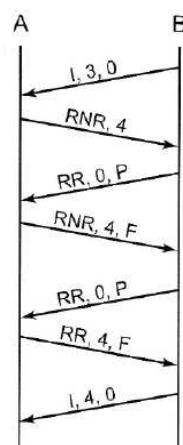
Intercambio de datos bidireccional

Cuando una de las entidades envíe una serie de trama-I consecutivas, N(R) se repetirá en todas ellas. Cuando una entidad recibe una serie de tramas-I contiguas, el numero de secuencia recibido de la siguiente trama que se envíe refleja esta actividad acumulada.



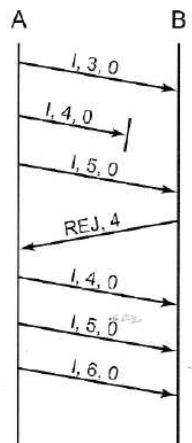
Condición de ocupado

Si A está ocupado, avisa a B con una trama RNR 4 (confirmando a la vez a la trama 4). B sondeara periódicamente a A, enviado tramas RR con el bit P=1. Y cuando A este preparado mandara un RR si esta preparado o RNR si no lo esta.



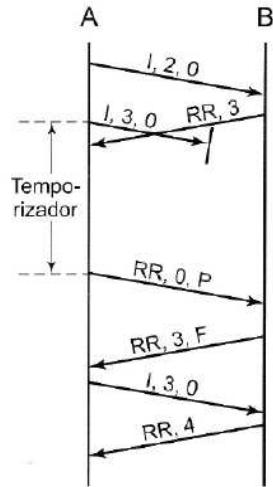
Recuperación mediante rechazo

A transmite tramas-I numerada con 3, 4, 5. La numero 4 se pierde. Cuando B recibe la trama-I numero 5 la descarta debido a que la a recibido fuera de orden , y envía una trama REJ con el campo N(R) igual a 4 , que es la trama que espera . A retransmite la trama-I numero 4 y todas las siguientes.



Recuperación mediante expiración del contador

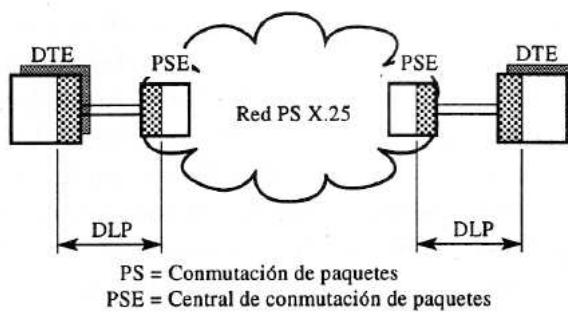
A transmite la trama-I numero 3 y esta llega a B errónea. B detecta el error pero no hace nada. El temporizador de A expira al no recibir confirmación de esa trama y envía a B una orden RR con el bit P=1, para realizar un sondeo del otro extremo. B responde con una trama RR indicando que está preparado para recibir y espera la trama-I numero 3, luego A retransmite esa trama.



5. Otros protocolos basados en HDLC

▪ Procedimiento de acceso a enlace versión B (LAPB)

Controla el flujo a través de un enlace de datos duplex punto a punto, conectando un computador a una red de comunicación de paquetes X.25. Emplea el modelo balanceado asíncrono (ABM), teniendo como estaciones combinadas el DTE y DCE. Es una versión ampliada de LAPA.



▪ Procedimiento de acceso a enlace canal D (LAPD)

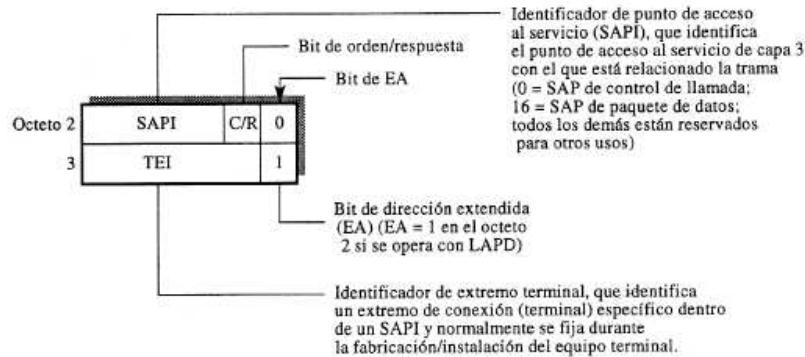
Controla el flujo del canal de señalización (D) de RDSI.

Proporciona dos servicios:

Orientado a conexión: Transfiere mensajes entre un teléfono o DTE y la central (establecimiento de llamadas).

No orientado a conexión: Transfiere mensajes relacionados con la gestión.

Campo de dirección:



▪ Protocolo punto a punto (PPP)

Protocolo orientado a caracteres (RFC 1661, 1662, 1663).

Comunicación de estaciones punto a punto en Internet:

- Enrutadores distantes
- Conexiones domésticas

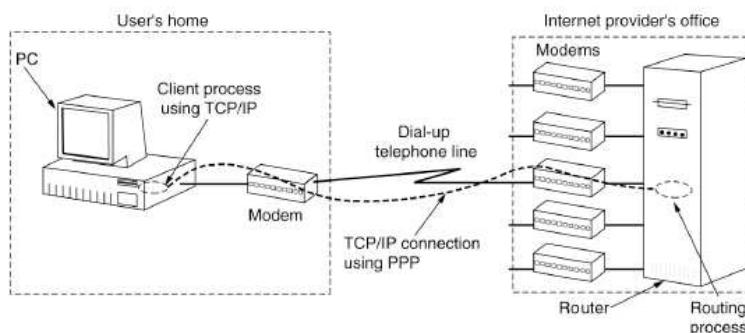
Detección de errores

Soporta múltiples protocolos

Permite autenticación

Dos protocolos:

- Protocolo de control de enlace (LCP): Tras establecer la conexión física, se configuran las características del enlace.
- Protocolo de control de red (NCP): Negociar las opciones de la capa de red. Un NCP por cada protocolo de red soportado. (si utilizamos IP como protocolo de red, se tiene que encargar de la dirección IP y asignara dinámicamente IP cuando IP sea el protocolo de red).



Estructura de trama

Bytes	1	1	1	1 or 2	Variable	2 or 4	1
	Flag 01111110	Address 11111111	Control 00000011	Protocol	Payload {{}}	Checksum	Flag 01111110

Flag : Es la bandera de HDLC: 01111110

Address: Es el campo de dirección: 11111111 esta todo fijo a 1 por que es una línea punto a punto.

Control: Es el campo de control 00000011 no hay números de secuencia son tramas no numeradas.

Protocol: Es el campo de protocolo códigos para LCP, NCP, IP , IPX , Apple Talk...

Los de capa de red empiezan por 0.

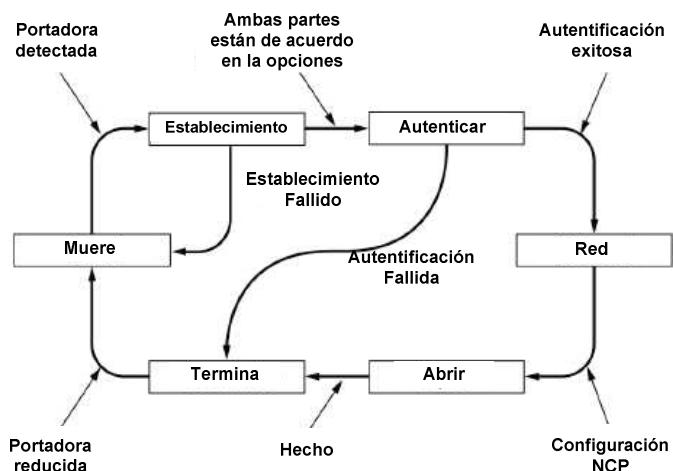
LCP y NCP empiezan por 1.

Payload: Es la carga útil de longitud negociada, cuando se establece la conexión se negocia la longitud de tramas.

Checksum: Suma de verificación

PPPoE es el protocolo punto a punto sobre ethernet

Funcionamiento



TEMA 4: REDES DE AREA LOCAL

1. IEEE 802

Para las redes de área local (LAN) se utiliza el estándar 802. Este define los estándares con distintas capas físicas y capas MAC, pero igual subcapa de control de enlace lógico (LLC).

Number	Topic
802.1	Overview and architecture of LANs
802.2 ↓	Logical link control
802.3 *	Ethernet
802.4 ↓	Token bus (was briefly used in manufacturing plants)
802.5	Token ring (IBM's entry into the LAN world)
802.6 ↓	Dual queue dual bus (early metropolitan area network)
802.7 ↓	Technical advisory group on broadband technologies
802.8 †	Technical advisory group on fiber optic technologies
802.9 ↓	Isochronous LANs (for real-time applications)
802.10 ↓	Virtual LANs and security
802.11 *	Wireless LANs
802.12 ↓	Demand priority (Hewlett-Packard's AnyLAN)
802.13	Unlucky number. Nobody wanted it
802.14 ↓	Cable modems (defunct: an industry consortium got there first)
802.15 *	Personal area networks (Bluetooth)
802.16 *	Broadband wireless
802.17	Resilient packet ring

2. Protocolos de acceso múltiple

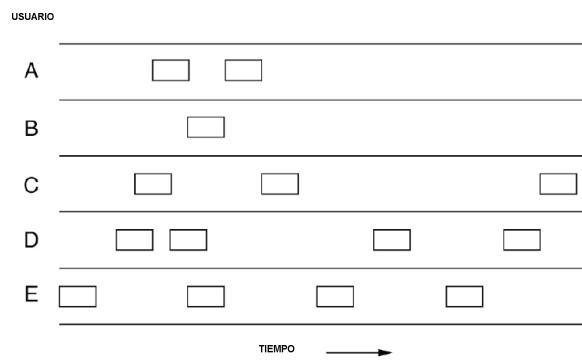
Se utilizan en redes de difusión.

Su principal problema es como repartir un solo canal entre varios usuarios. Hay dos maneras de compartir el canal:

- *Asignación estática:* Se comparte el canal realizando un reparto estático, utilizando TDM o FDM, con este tipo de asignación se hace un uso ineficiente de la capacidad de la red.
- *Asignación dinámica:* Hacen reserva del canal según la demanda.
 - Estaciones que generan tramas con una tasa de llegada.
 - Comparten un canal único.
 - Pueden existir colisiones, si dos estaciones transmiten simultáneamente.

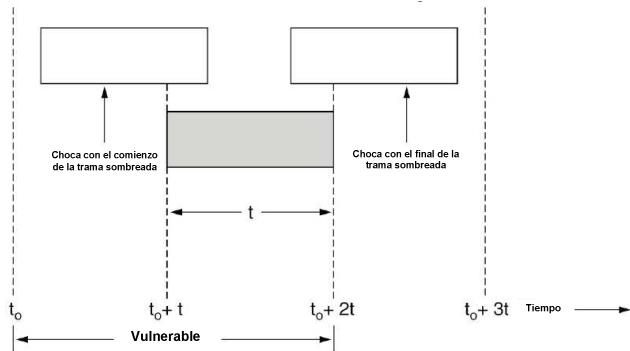
■ ALOHA puro

Si una estación quiere transmitir, transmite sin esperar ni comprobar el estado de la red. Si durante un intervalo de escucha la estación recibe confirmación, el paquete habrá llegado, si no recibe nada vuelve a retransmitir. Cuando existe colisión la estación espera un tiempo aleatorio y reenvía.



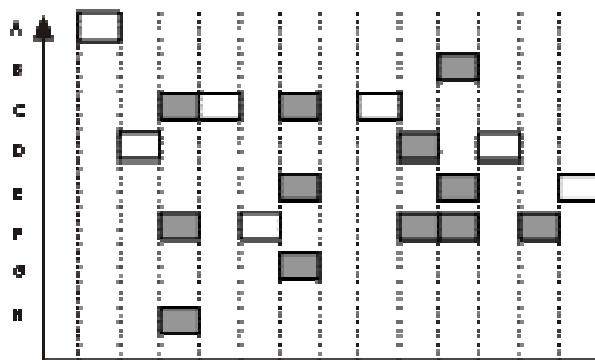
Eficiencia:

- Tiempo de trama
- N : Media de tramas nuevas por tiempo de trama, distribución de Poisson.
- G : Media de tramas (nuevas y transmitidas) por tiempo de trama, distribución de Poisson.
- S : Velocidad real de transporte: $S = GP_0$
- Probabilidad de k tramas generadas por tiempo de trama. $\Pr[k] = \frac{G^k e^{-G}}{k!}$
- En dos tiempos de trama, el numero medio de tramas generadas es $2G$.
- Velocidad real de transporte máxima con $G = 0,5$, $S = \frac{1}{2}e = 0,184$ es decir una eficiencia del 18%



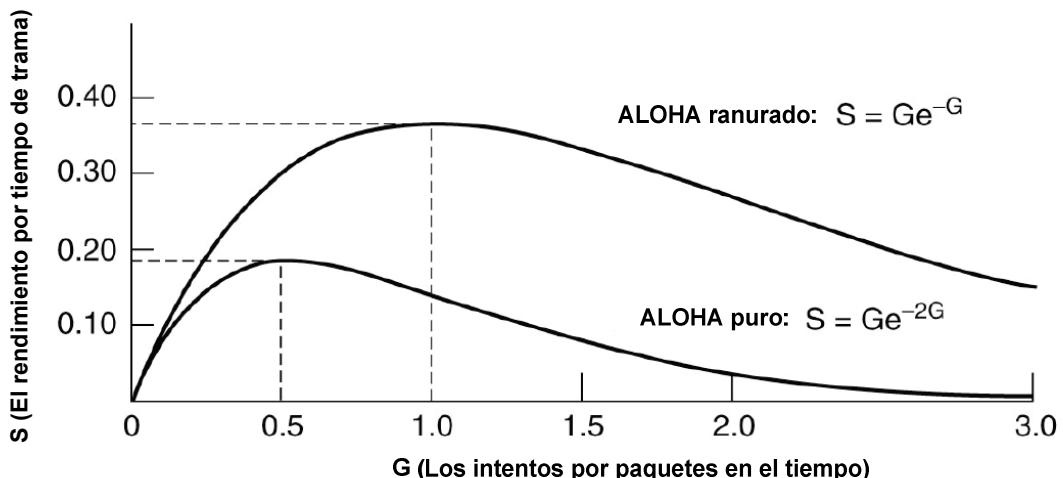
■ ALOHA rasurado

Si una estación quiere transmitir espera a la siguiente ranura de tiempo (igual al tiempo de transmisión de una trama). Tiene el inconveniente de que se acumulan las transmisiones en cada ranura. Cuando existe colisión la estación espera un tiempo aleatorio y reenvía.



Los que están sombreados indican que hubo colisión

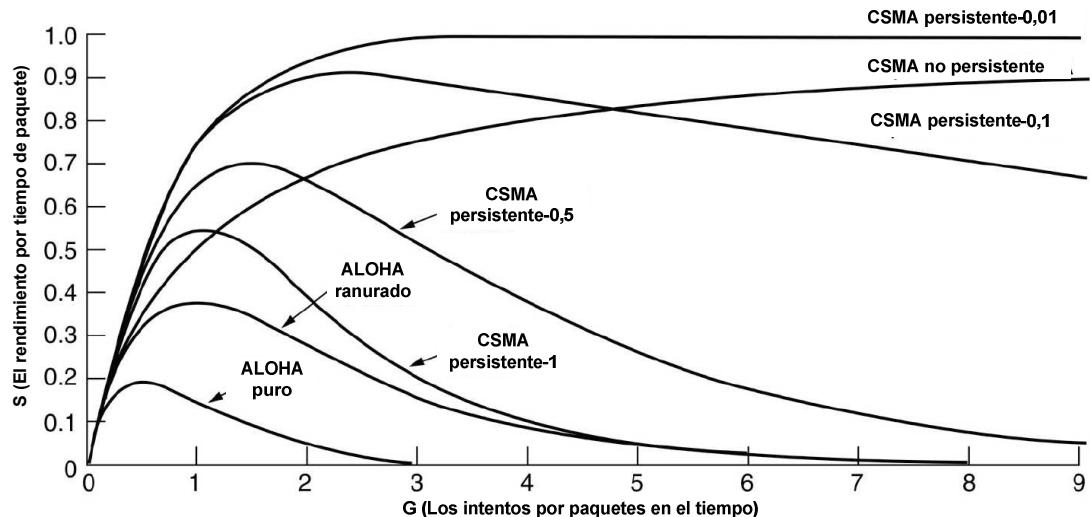
La velocidad real de transporte $G = 1$, $S = \frac{1}{e} = 0,368$ es decir una eficiencia del 37%



■ Protocolos con detección de portadora

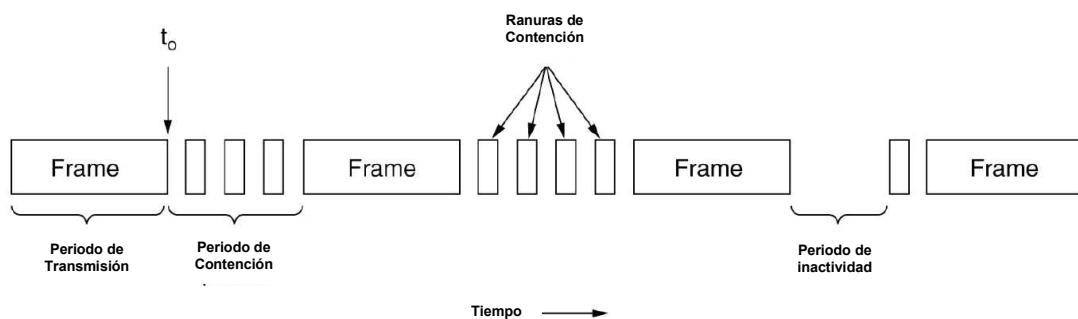
CSMA

- **CSMA persistente-1:** Si una máquina desea transmitir, sondea el canal, si esta libre transmite con probabilidad 1, y si está ocupado espera a que se libere y transmite inmediatamente. Las colisiones generan un retardo de propagación.
- **CSMA no persistente:** Si una máquina quiere transmitir, sondea el medio si está libre transmite, y si está ocupado espera un tiempo aleatorio y repite el algoritmo.
- **CSMA persistente-p:** Si una máquina desea transmitir, sondea el medio, si está libre transmite con probabilidad p y si está ocupado espera a la siguiente ranura.



CSMA/CD

CSMA con detección de colisiones. Las estaciones abortan sus transmisiones cuando detectan colisión. Esperan un tiempo aleatorio e intenta transmitir de nuevo. Este modelo consiste en períodos alternantes de *contención* y *transmisión*, ocurriendo períodos *inactividad* cuando todas las estaciones están calladas.

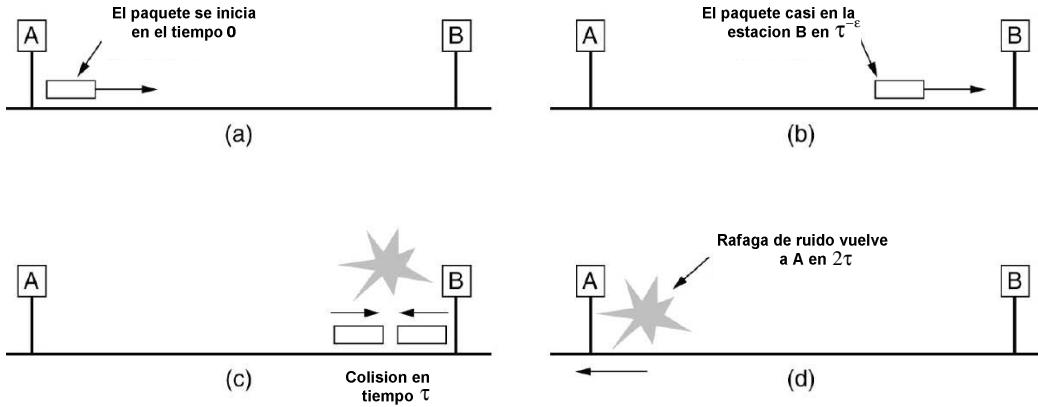


Las estaciones se dan cuenta de que ha habido colisión ¿En cuanto tiempo se dan cuenta?. La respuesta a esta pregunta es vital para determinar el periodo de contención, y por tanto el retardo y el rendimiento. Se parte del peor de los casos:

Consideramos τ el tiempo que tarda una señal en propagarse entre dos estaciones lejanas. Si tenemos dos estaciones A y B que encuentran libre el canal y transmiten. La señal que envía A al otro extremo de la red tarda un tiempo τ . Cerca de la estación B,

colisionan las dos señales. B se dará cuenta de la colisión inmediatamente, pero la señal de la colisión de la trama de A tarda un tiempo τ en llegar a la estación A.

Por lo tanto desde que se transmite la señal hasta que la máquina se entera de la colisión transcurre un tiempo de 2τ (Duración del periodo de contención). Las colisiones ocurren en el periodo de contención.



Algoritmo de retroceso exponencial binario

En CSMA/CD cuando se detecta una colisión se espera un tiempo aleatorio antes de volver a intentar la transmisión. Veamos el proceso al detalle:

- Cuando se detecta una colisión el tiempo se divide en ranuras discretas cuya longitud es el doble del tiempo de propagación (2τ).
- Tras la primera colisión cada estación espera 0 o 1 ranuras de tiempo antes de intentarlo de nuevo.
- Si ambas estaciones han generado el mismo numero aleatorio, se volverá a producir una colisión. En este caso, cada estación escogerá un numero de 0, 1, 2 o 3 ranuras de tiempo. Esperara ese número de ranuras y volverá a intentarlo.
- Cada vez que se produce una nueva colisión, el intervalo de los números de ranura se expande. Es decir tras i colisiones, se escoge un numero entero uniformemente distribuido en $[0, 2^i - 1]$ y se salta a ese numero de ranura. El intervalo se limita a 1023 ranuras es decir a partir de la décima colisión se congela en 1023. $2^{10} - 1 = 1023$.
- Tras 16 colisiones, se aborta la transmisión de la trama.

▪ Protocolos libres de colisiones

Protocolo de mapa de bits

El periodo de contención o de contienda consiste en N ranuras, una por cada estación. La estación que va a transmitir pone un 1 en su ranura de contención (en la figura emiten la 1, 3 y 7). En general, la estación j transmite un bit 1 en el intervalo j si tiene frame o marco para mandar. Después de las N ranuras del periodo de contención, todas las estaciones saben cuales quieren transmitir frames o marcos. Las estaciones empiezan a transmitir en orden numérico.



Al estar todas de acuerdo en el orden de transmisión, nunca habrá colisiones.

Después de la última transmisión de un frame, empieza un nuevo periodo nuevo de contención de N bits. Si una estación queda lista después de que ha pasado su ranura de contienda, ha tenido mala suerte y deberá permanecer callada hasta que cada estación haya tenido su oportunidad y comience un nuevo periodo de contención. Los protocolos como este en los que el deseo de transmitir se difunde antes de la transmisión se llaman *protocolos de reserva*.

La eficiencia de un canal cuando la carga es baja: $d/(N + d)$

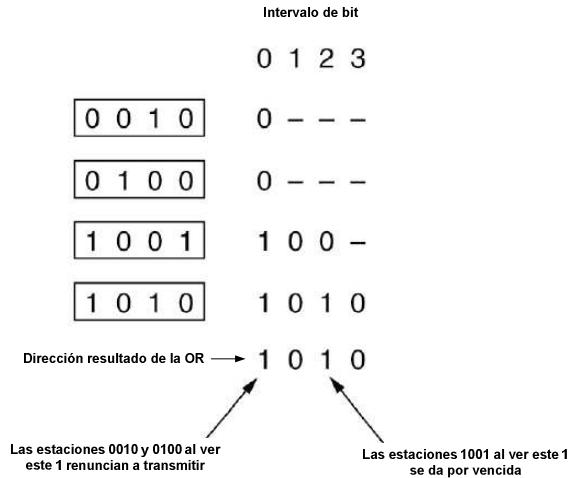
La eficiencia de un canal cuando la carga es alta: $d/(1+d)$ con este todas las estaciones transmiten.

d es la cantidad de datos en bits (si d es grande el protocolo es bastante eficiente).
 N es la información extra por marco.

Conteo descendente binario

El periodo de contienda ahora tiene $\log_2 N$ ranuras, que es la longitud de la dirección de cada estación (por ejemplo, direcciones son 0000, 0001, etc). Si tenemos 16 estaciones, tenemos $N=16$ por lo tanto habrá un intervalo de bit de $\log_2 16 = 4$ bits. Cada estación que quiere mandar un marco transmite el bit de mayor peso de su dirección en el intervalo 0, el próximo en el intervalo 1, etc. Se hace un OR de los bits en el canal. Cuando una estación ve un 1 en un intervalo en el que el bit que transmitió fue un 0, abandona el intento de transmitir en ese turno. Finalmente solamente la estación con la dirección más alta transmite su marco después del periodo de contención o contienda.

Suele utilizar reparto de dirección equitativos (cambia la asignación de direcciones, por ejemplo después de transmitir una estación a esta se le asigna la dirección 0 y aumentan las otras, aumentando con ello la prioridad de las otras).



Este protocolo, no es utilizado por ninguna red, pero es muy bueno.

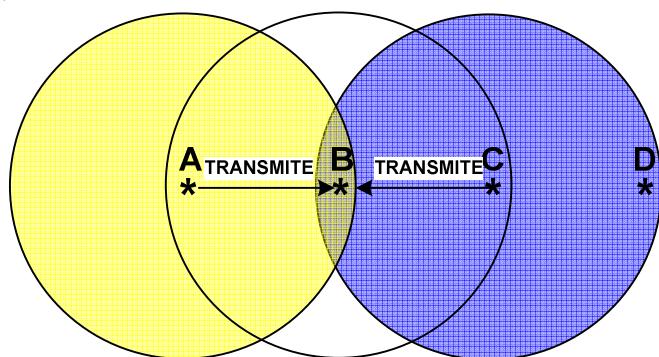
Su eficiencia es $\frac{d}{(d + \log_2 N)}$. Podemos hablar de una eficiencia del 100%.

▪ Protocolos de LAN inalámbricas

En las LAN no se puede utilizar CSMA por que da estos problemas:

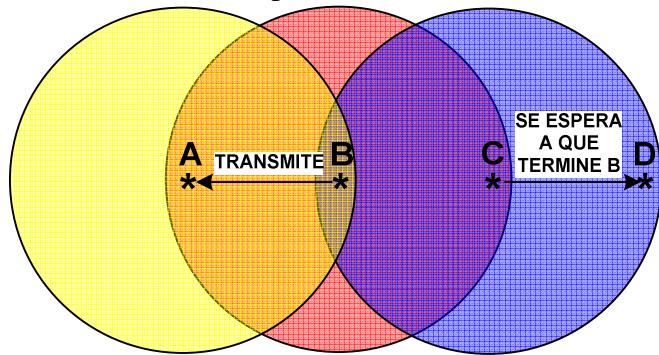
Si existen 4 nodos A, B, C y D situados en línea separados por 10 metros. El alcance máximo de cada uno de ellos es un poco mayor que la distancia que los separa, por ejemplo 12 metros, y el protocolo de transmisión es CSMA (este sondea el canal antes de transmitir). Puede ocurrir que:

A desea transmitir datos a B, A sondea el canal y lo encuentra libre y comienza la transmisión. A esta transmitiendo a B y C también quiere transmitir datos hacia B, C sondea el canal y lo encuentra libre (C no escucha a A pues esta a 20 metros de distancia), por lo tanto, C empieza a transmitir. El resultado es una colisión en el receptor B que no es detectada ni por A ni por C. Esto se conoce como el **problema de la estación oculta**.



Si ahora B desea transmitir datos hacia A, detecta el medio libre e inicia la transmisión. Después C desea transmitir datos hacia D, y como detecta que B está transmitiendo espera a que termine para evitar una colisión. El resultado es que una transmisión que se podía haber hecho sin interferencias (ya que A no puede escuchar a C y D no puede escuchar a B) no se lleva a cabo, reduciéndose así la eficiencia del sistema. Esto es conocido como el **problema de la estación expuesta**. Notar que las transmisiones pueden

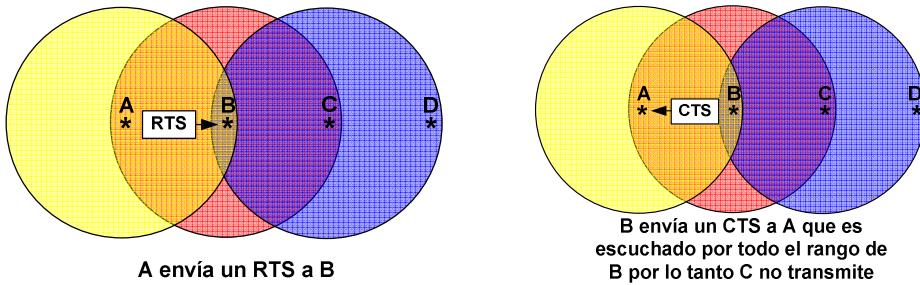
llevarse a cabo si no se sondea el canal, y no existirán problemas de colisiones , debido a que estas tienen efecto solo en el receptor , el cual es inalcanzable en este caso.



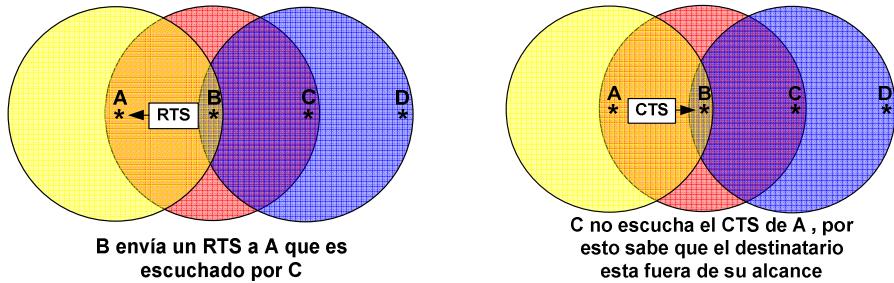
MACA

Es un protocolo MAC que resuelve los problemas anteriores haciendo señalizaciones con señales RTS y CTS, sin sondear el canal. Cuando una estación tiene un frame que transmitir, antes de enviarlo, y sin comprobar si el medio esta libre, envía un RTS (Solicitud de envío), el nodo destino responde con CTS (libre para el envío).

En el caso de la estación oculta ocurre lo siguiente: A envía un RTS a B , B responde con un CTS , C capta la respuesta de B , conociendo que habrá una transmisión en la que B actuara como receptor , por lo que deberá permanecer en silencio durante la transmisión . A envía los datos a B y una vez finalizada la transmisión (pasado un tiempo) C podrá mandar un RTS a B para enviarle datos, y B contestara con un CTS.



En el caso de la estación expuesta ocurre lo siguiente: B transmite a A un RTS indicándole que quiere enviarle datos. En este momento C se entera de las intenciones de B , A devuelve a B un CTS , comprende que aunque detecta que B esta transmitiendo el destinatario esta fuera de su alcance por lo que se puede comunicar con D cuando quiera sin esperar a que B termine. También puede haber colisiones en este algoritmo, como por ejemplo que choquen dos RTS vecinos. La solución se encuentra en que el o los nodos destinos no devolverán CTS, por lo que pasado un cierto tiempo, se implementara un algoritmo de retransmisión que permitirá a los emisores generar un nuevo RTS.



MACAW

MACA Wireless es una versión mejorada del protocolo anterior que funciona de manera similar, pero ahora utiliza ACK después de cada transmisión exitosa. Con la ACK mejora en los tiempos de respuesta. La transmisión se lleva a cabo de la siguiente manera, el emisor envía (sin escuchar el canal) un RTS al receptor , quien responde con un CTS , una vez recibido este , el emisor envía los datos a transmitir. En caso de recibir los datos correctamente el receptor devuelve un ACK, en caso contrario no lo hace y se retransmite la información siguiendo el mismo esquema partiendo del RTS. Si se pierde el ACK, se envía de nuevo el RTS y el receptor responderá con el mismo ACK.

3. Ethernet IEEE 802.3

Consiste en un bus de 10 Mbps basado en CSMA/CD persistente-1, utilizando el algoritmo de retroceso exponencial binario. También usa la codificación Manchester.

El formato de la trama MAC del protocolo 802.3

La trama del estándar DIX sigue la especificación primitiva del Ethernet

Bytes	8	6	6	2	0-1500	0-46	4
	Preámbulo	Dirección Destino	Dirección Origen	Tipo	DATOS	Relleno o Pad	Check-Sum

Preámbulo (8 bytes): El receptor usa un octeto patrón para establecer la sincronización entre emisor y receptor (son 8 octetos con este patrón 10101010).

Dirección de destino (6 bytes) : Estación o estaciones a las que va dirigida la trama.

- Unicast: Solamente a un nodo.
- Multidifusión (multicast): Envío a múltiples nodos de la red. Bit de mayor orden (bit 47) a 1.
- Difusión (broadcast): Envío a todos los nodos de la red, todos los bits a 1.

Dirección de origen (6 bytes): Es la MAC origen de la trama.

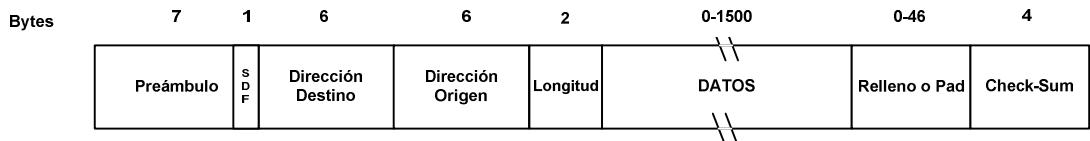
Tipo (2 bytes): Indica el protocolo de nivel de red.

DATOS (0 a 1500 bytes): Es donde van los datos, es de longitud variable.

Relleno (0 a 46 bytes): Son octetos añadidos para asegurar que la trama sea lo suficientemente larga tal que la técnica de detección de colisión funcione correctamente.

Check-Sum (4 bytes): Es la suma de comprobación de redundancia cíclica de 32 bits.

La trama que sigue la norma IEEE 802.3



Preámbulo (7 bytes): El receptor usa un octeto patrón para establecer la sincronización entre emisor y receptor (son 7 octetos con este patrón 10101010).

SDF (Delimitador de comienzo de trama) (1 byte): Delimitador del comienzo de la trama (es un octeto con el patrón 10101011).

Dirección de destino (6 bytes): Estación o estaciones a las que va dirigida la trama.

- Unicast: Solamente a un nodo.
- Multidifusión (multicast): Envió a múltiples nodos de la red. Bit de mayor orden (bit 47) a 1.
- Difusión (broadcast): Envió a todos los nodos de la red, todos los bits a 1.

Dirección de origen (6 bytes): Es la MAC origen de la trama.

Longitud (2 bytes): Indica el protocolo de nivel de red.

DATOS (0 a 1500 bytes): Es donde van los datos, es de longitud variable.

Relleno (0 a 46 bytes): Son octetos añadidos para asegurar que la trama sea lo suficientemente larga tal que la técnica de detección de colisión funcione correctamente.

Check-Sum (4 bytes): Es la suma de comprobación de redundancia cíclica de 32 bits.

Dentro de los datos se encuentra el LLC.

$$\tau = \frac{d}{v} = \frac{2500 \text{ metros}}{10^8} = 25 \mu\text{s}$$

$2\tau = 50 \mu\text{s}$ ¿Cuántos bits se van a transmitir en $50 \mu\text{s}$?

$$L_{\min} = 2\tau \cdot R = (50 \cdot 10^{-6} \text{ s}) \cdot (10 \cdot 10^6) = 500 \text{ bits en } 50 \mu\text{s}.$$

R en Ethernet tiene el valor 10 Megabits.

d es la distancia.

τ es el tiempo de propagación.

v es la velocidad de propagación.

■ Cableado Ethernet

Utilizan la codificación Manchester: +0,85 y -0,85.

Especificaciones IEEE 802.3 a 10 Mbps

El comité ha desarrollado una notación concisa con el fin de distinguir entre las diferentes implementaciones disponibles:

<Velocidad de transmisión en Mbps><Método de señalización><Longitud máxima del segmento en centenas de metro>



Nombre	Cable	Longitud Máxima Segmento	Nodos por segmento	Ventajas
10Base5	Coaxial grueso	500 m	100	Ya está obsoleto
10Base2	Coaxial fino	185 m	30	No necesita hub
10Base-T	Cable de pares	100 m	1024	Sistema más económico
10Base-F	Fibra óptica	2000 m	1024	Mejor entre edificios

Sigue la regla 5-4-3

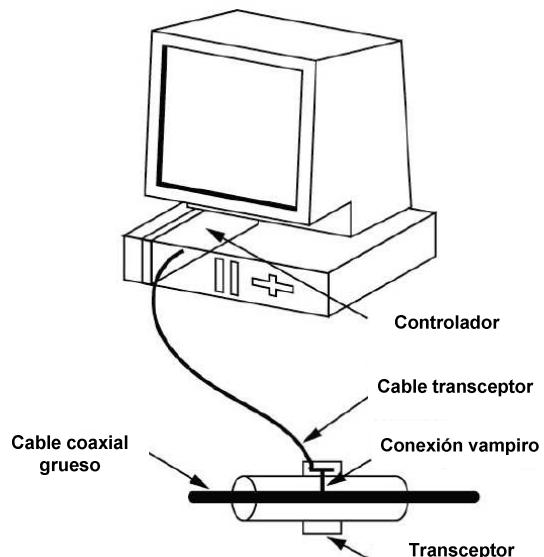
5 es el número máximo de segmentos.

4 es el número máximo de repetidores.

3 es el número máximo de segmentos con estaciones.

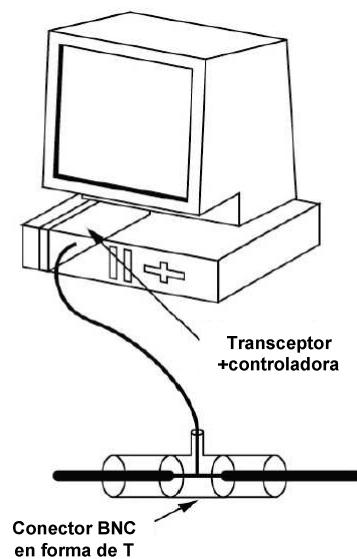
10Base5

Utiliza cable coaxial grueso que conecta todos los nodos entre si. Conexiones mediante derivaciones vampiro, transceptor, que lleva la señal a la puerta AUI de la tarjeta de red. Un cable transceptor conecta el transceptor a una tarjeta de interfaz en la computadora.



10Base2

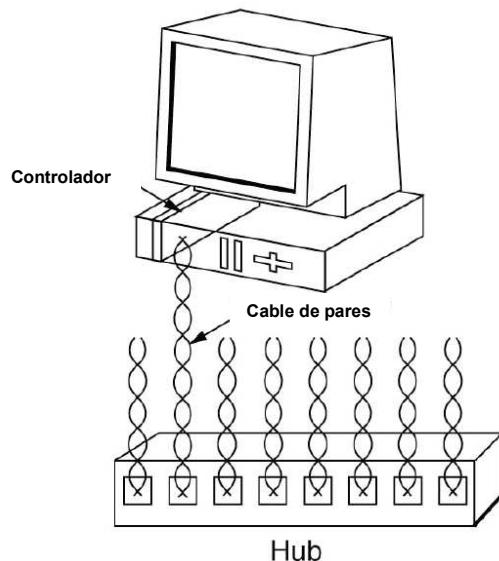
Utiliza cable coaxial fino. Las conexiones se hacen usando conectores BNC estándar en forma de T. Mas baratas y fácil de usar. Tiene una limitación de 185 metros con 30 maquinas. El transceptor esta en la tarjeta controladora, y cada estación tiene su propio transceptor.



10Base-T – 10Base-F

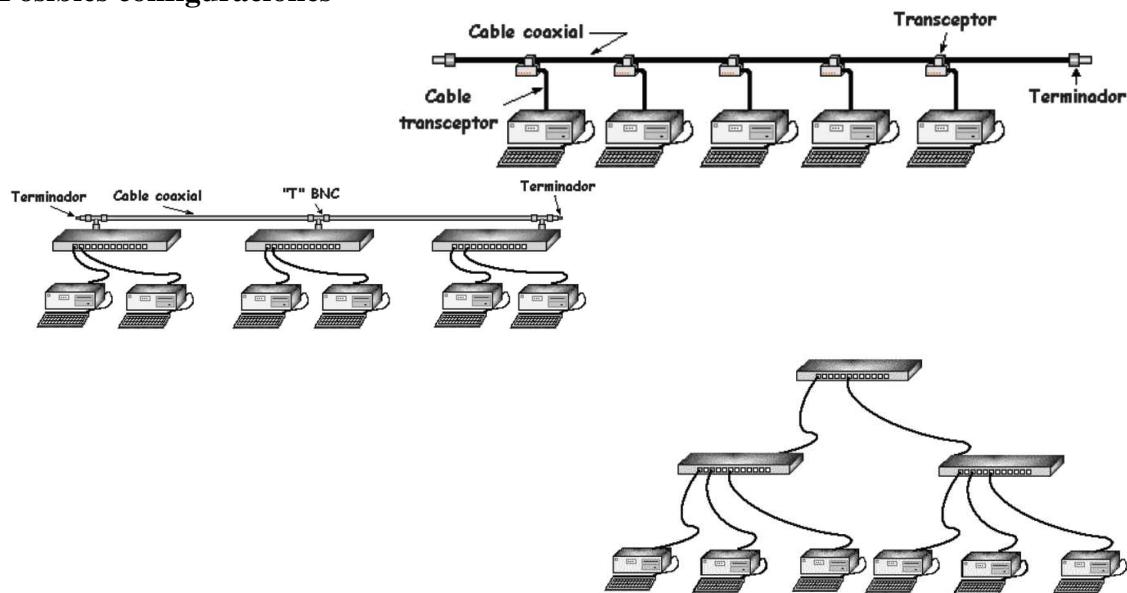
10Base-T: No hay cables solo un concentrador (hub). Agregar o remover estaciones es más sencillo, y las rupturas de cable se detectan con facilidad.

Es lo mismo que un bus por lo tanto un hub es un dominio de colisión.



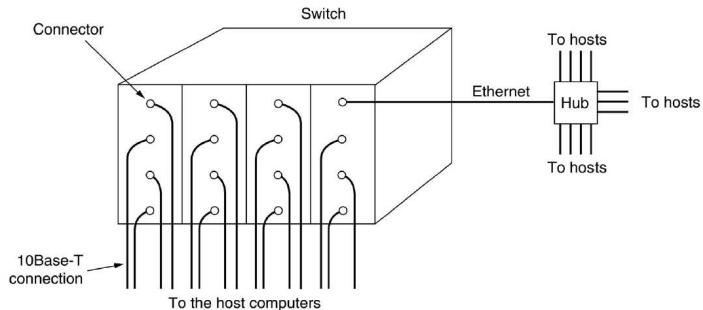
10Base-F: Usa fibra óptica. Es cara pero ofrece excelente inmunidad contra el ruido, y es extensible a una mayor distancia.

Posibles configuraciones



▪ Ethernet conmutada

Cuando se conectan muchas estaciones a una LAN 802.3 aumenta el tráfico y se satura la red. Para solucionarlo se utiliza la Ethernet conmutada, que es un conmutador que disminuye el dominio de colisión, cada puerto del conmutador será un dominio de colisión independiente. Cada puerto tiene una conexión 10Base-T.

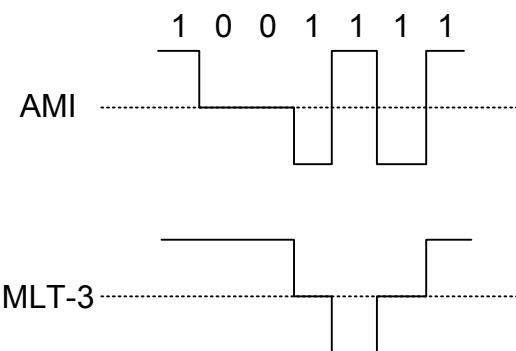


▪ Fast Ethernet (802.3u)

Proporciona una red LAN de bajo coste compatible con Ethernet (802.3). Su velocidad es 100 Mbps.

	100Base-TX	100Base-FX	100Base-T4
Medio de transmisión	2 pares , STP	2 pares UTP categoría 5	2 fibras ópticas
Técnica de señalización	MLT-3	MLT-3	4B5B, NRZI
Velocidad de transmisión	100 Mbps	100 Mbps	100 Mbps
Longitud máxima del segmento	100 m	100 m	100 m
Cobertura de red	200 m	200 m	200 m

100Base-TX: Utiliza dos pares de cable de par trenzado uno para transmisión y otro para repetición. Conmutadores o concentradores y codificación MLT-3.



100Base-FX: Usa dos hilos de fibra multimodo, uno para transmitir y otro para recibir, por lo que también es duplex. Solo conmutadores o switch.

La señalización 4B5B indica que por cada 4 bit se transmiten 5 en realidad.

Para conseguir 100 Mbps se hace:

Cat 3 → 4 pares → 25 MHz (25 millones de bits por segundo)

4 pares: 1 par para un sentido, 1 par para el otro sentido, 2 pares para sentidos alternantes.

Podremos tener hasta 3 niveles por cada par en el mismo sentido, suponiendo que podemos tener 3 pares para un mismo sentido $3^3 = 27$ símbolos – nos quedamos de esos 27 con 16 símbolos.

Cada símbolo es representado por 4 bits.

$$4 \text{ bits} \cdot 25 \text{ MHz} = 100 \text{ Mbps}$$

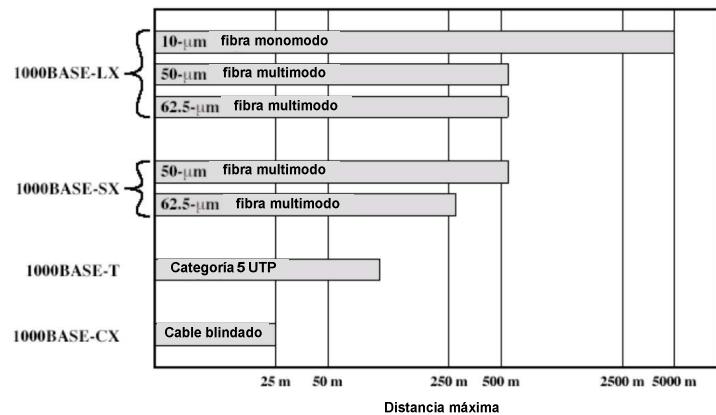
Esto anteriormente resuelto es señalización 8B6T que emplea código ternario en lugar de binario, y este en concreto antes de ser transmitido cada conjunto de 8 bit se convierten en 6 símbolos ternarios.

▪ Gigabit Ethernet (802.3z)

Es el estándar a 1 Gbps. Los concentradores de 1 Gbps proporcionan conectividad entre los servidores y los concentradores de alta velocidad, mediante duplex total.

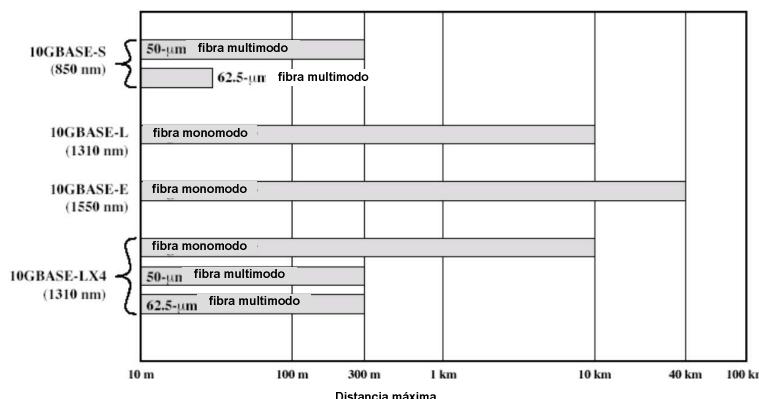
Al igual que en Fast Ethernet, en Gigabit Ethernet se sigue adaptando el protocolo CSMA/CD para el funcionamiento de los concentradores para ello hace:

- *Extensión de la portadora:* Hace las tramas mas largas para que tenga mayor longitud y el tiempo de transmisión sea mayor que el tiempo de propagación a 1Gbps.
- *Ráfagas de tramas:* Concatena varias tramas cortas consecutivamente, evitando la redundancia y el gasto de la técnica de extensión de la portadora.



▪ Ethernet 10 Gbps (802.3ae)

Se utiliza en redes troncales de alta velocidad permite trabajar a 10 Gbps. Con su utilización las redes MAN y WAN podrían alcanzar hasta 40 Km.



4. LAN inalámbricas IEEE 802.11

Aplicaciones de las LAN inalámbricas:

- Ampliaciones de LAN
- Interconexión de edificios
- Acceso nómada: Para tener movilidad en un computador portátil, en cualquier parte del edificio habrá conexión.
- Redes *ad hoc*: Son redes entre ordenadores sin punto de acceso.

▪ Capa física

El estándar 802.11 se definen tres medios físicos:

- Infrarrojos a velocidades de 1 o 2 Mbps.
- Espectro expandido con salto de Frecuencia (FHSS): Funcionando en la banda ISM de los 2,4 GHz con velocidades a 1 o 2 Mbps (79 canales de 1 MHz).
- Espectro expandido de Secuencia Directa (DSSS): Funcionando en la banda ISM de los 2,4 GHz con velocidades de 1 o 2 Mbps.

Estas son los medios físicos que utiliza el estándar original.

Multiplexación por División de Frecuencias Ortogonales (OFDM)

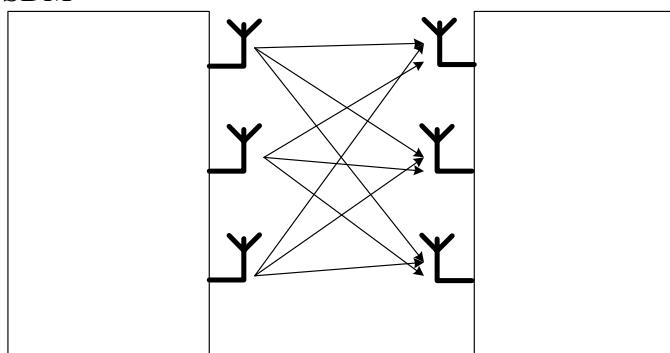
- **802.11a:** 54 Mbps en ISM 5 GHz
- **802.11g:** 54 Mbps en ISM 2,4 GHz
- Hacen uso de PSK o QAM: A mayor distancia hay que buscar medios de modulación más robustos.

Secuencia Directa de Alta Velocidad (HRDSSS) es utilizada en:

- **802.11b:** 11 Mbps en ISM 2,4 GHz.

En la banda ISM no hace falta licencia para trabajar.

802.11n : Utiliza SDM



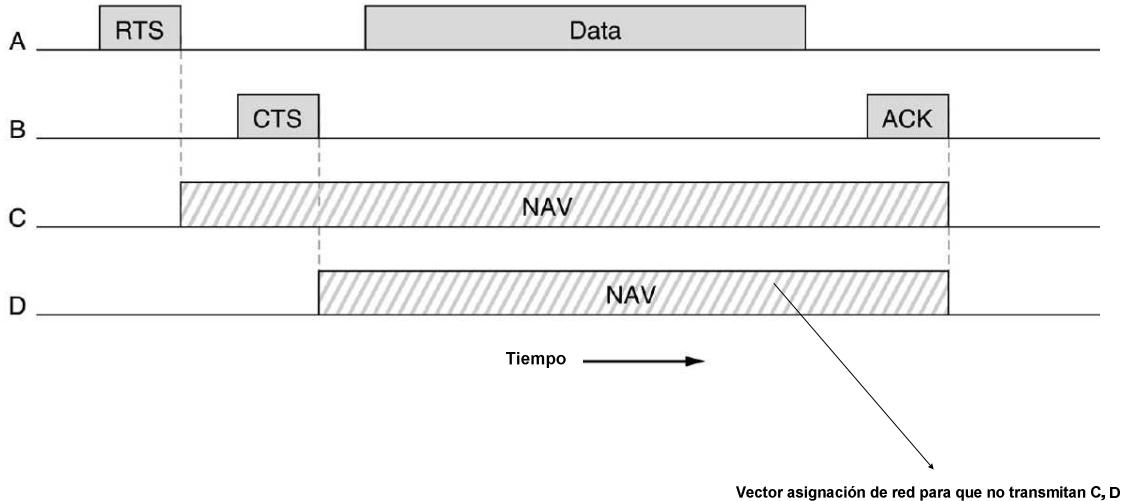
Reparte los bits por cada una de las tres antenas y en la recepción también recibe con tres antenas. Gracias al desfase el receptor puede reconstruir la señal. La señal multiplica por 3 la potencia por tanto tendremos mejores velocidades. Se utilizan técnicas MIMO (múltiple entrada , múltiple salida).

▪ Subcapa MAC

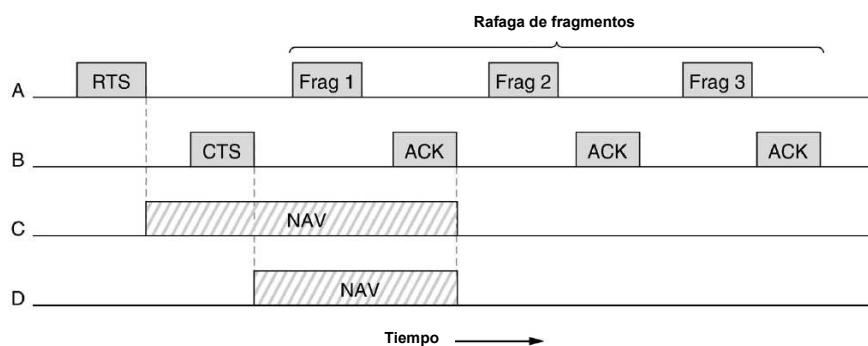
Dos modos de funcionamiento:

- *Función de coordinación distribuida (DCF):* Utiliza el algoritmo de contención para proporcionar acceso a la totalidad del tráfico. DFC utiliza CSMA/CA que esta basado en MACAW.

- *Función de Coordinación Puntual (PCF):* Es opcional. Es un algoritmo MAC centralizado usado para ofrecer un servicio libre de contención. Consiste en un sondeo mediante turno rotatorio: trama de beacon. (El punto de acceso cada cierto tiempo transmite la trama beacon periodo en el que las estaciones pueden contestar).

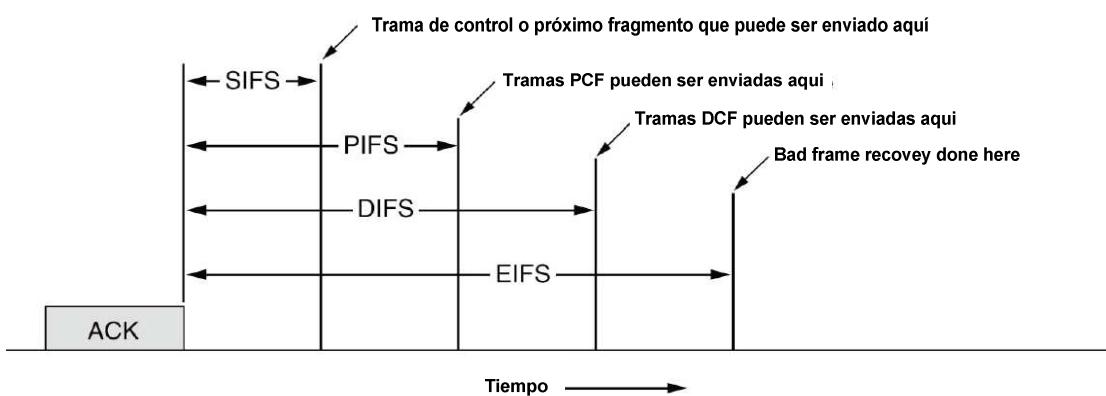


- *Ráfaga de fragmentos:*



DCF y PCF pueden coexistir: Se definen unos intervalos

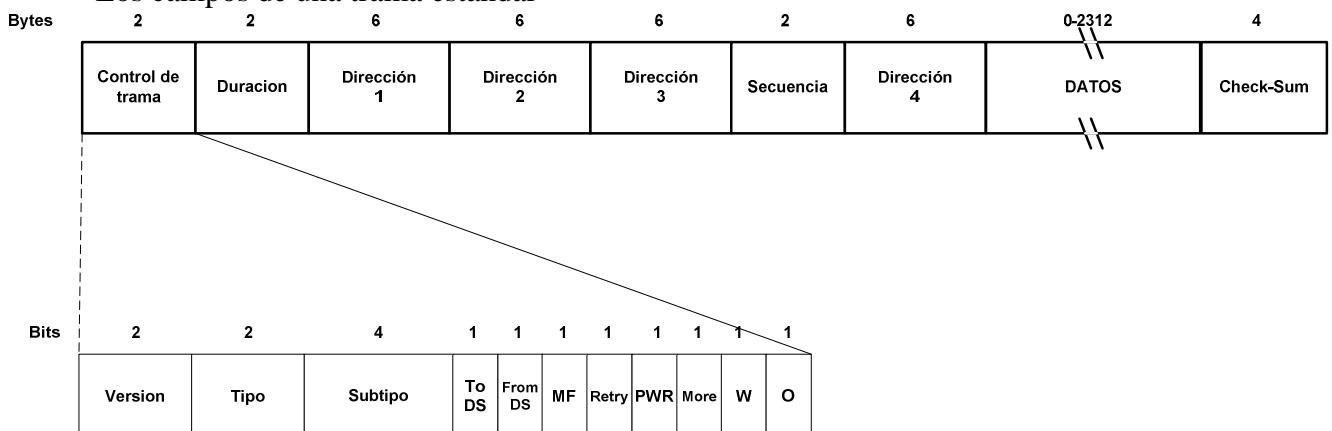
- SIFS (Espaciado corto entre tramas)
- PIFS (Espaciado entre tramas PCF)
- DIFS (Espaciado entre tramas DCF)
- EIFS (Espaciado entre tramas extendido).



A partir de SIFS solo puede contestar 1.

■ Trama MAC

Los campos de una trama estándar



Control de trama (2 bytes): Indica el tipo de trama (control, administración o datos). Compuesto por los siguientes campos.

- **Versión:** Tipo de 802.11 (a, b , g , etc).
- **Tipo:** Tipo de dato (control, administración o datos).
- **Subtipo:** RTC, CTS, ACK (tramas de control).
- **To DS:** DS es el sistema de distribución. Enlace ascendente
- **From DS :** DS es el sistema de distribución. Enlace descendente.
- **MF:** Multifragmento (dice si la trama es un fragmento).
- **Retry:** Si la trama se esta retransmitiendo.
- **PWR:** Poner en stambay.
- **More:** Indica al receptor si el emisor tiene mas tramas que enviarle.
- **W**
- **O**

Duración (2 bytes): Sirve para indicar el tiempo que esta reservado el canal.

Dirección 4 x (6 bytes): Necesitamos 4 direcciones:

En modo *ad hoc* solo se usan dos. Las tramas de administración tienen una dirección menos.

- Origen: Es la dirección de quien crea la trama.
- Destino: Es la dirección destino de la trama.
- Transmisor: Es la dirección de la estación inalámbrica que transmite.
- Receptor: Estación inalámbrica que debe procesar la trama.

Secuencia (12 bits para numerar tramas enviadas y 4 para fragmentación = 2 bytes)

Datos (0 a 2312 bytes): Es para introducir los datos y es de longitud variable llegando hasta los 2312 bytes.

Check-sum (4 bytes): Comprobación de redundancia cíclica de 32 bits.

■ Servicios

Servicios para ofrecer una funcionalidad equivalente a una LAN cableada.

Servicios de distribución: Este conjunto de servicios es el encargado de tomar las decisiones de cómo las tramas deben ser enviadas por la red.

- Asociación: Establece una asociación inicial entre una estación y un AP.
- Disociación: Notificación de que la asociación deja de tener validez.
- Reasociación: Una asociación sea transferida desde un AP a otro (acceso nómada).
- Distribución: Utilizado para intercambiar tramas MAC.
- Integración: Las tramas 802.11x tienen que ser compatibles con las 802.x

Servicios de estación

- Autenticación: Comprobar que la máquina conectada está autenticada.
- Desautenticación: Finaliza la autenticación existente.
- Privacidad: Mecanismos de encriptación.
- Entrega de datos: Asegura que los datos sean transmitidos de manera confiable de un dispositivo a otro.

5. Control Lógico del Enlace IEEE 802.2

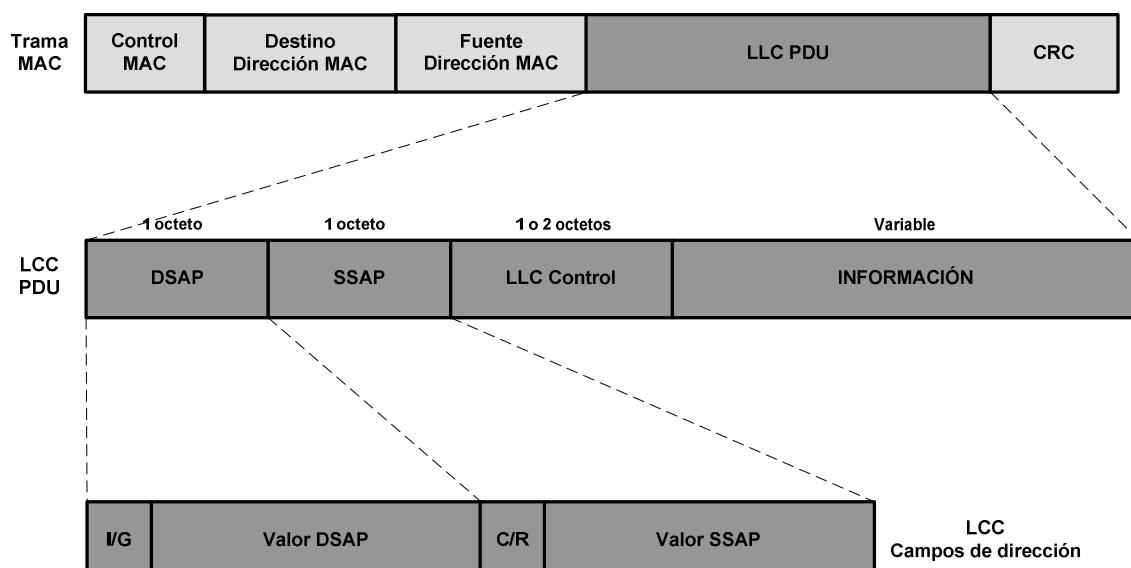
Es un protocolo que sirve a todas las redes de una interfaz común. Incorpora tres opciones de servicio:

No orientado a conexión sin confirmación. Permite mandar tramas:

- A un único destino (punto a punto o transferencia unicast).
- A múltiples destinos de la misma red (multicast).
- A todas las estaciones de la red (broadcast).

No orientado a conexión con confirmación. Únicamente soporta conexión punto a punto.

Orientado a conexión. Como SAMB (SAMBE) de HDLC. La enumeración en secuencia asegura que los paquetes llegan en el orden en que han sido mandados, y ninguno se ha perdido.



I/G = Individual/Grupo
C/R= Comando/Respuesta

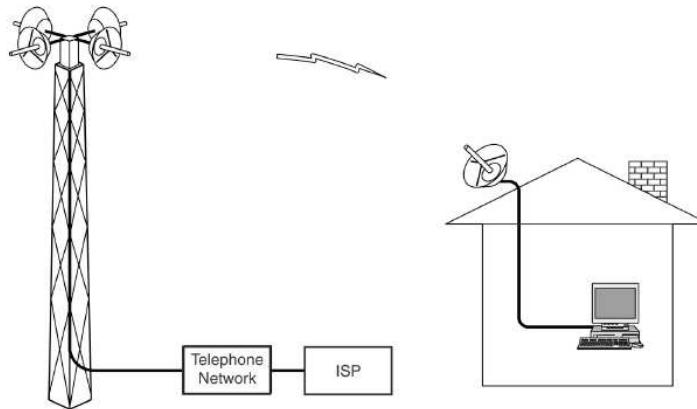
Encabezado LCC (de la LLC PDU):

- DSAP : Servicio de destino del punto de acceso
- SSAP : Servicio fuente del punto de acceso

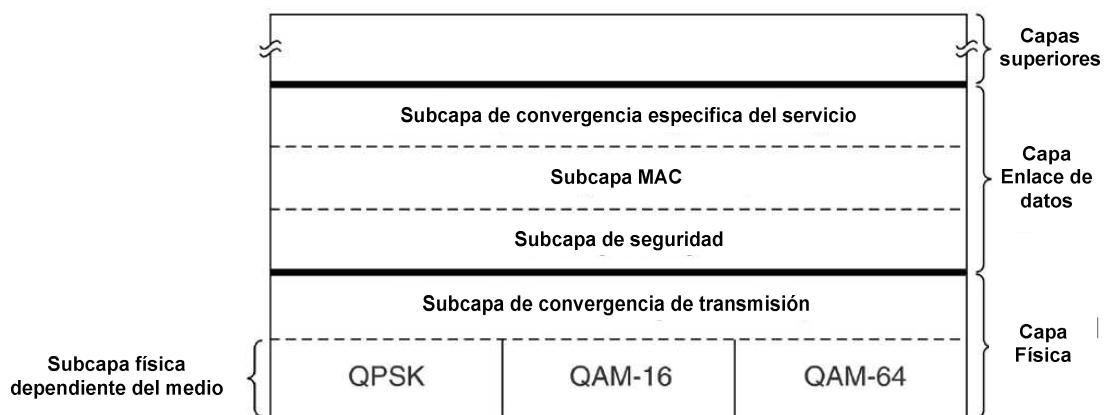
- LCC Control: Especifica el tipo de servicio utilizado.

6. MAN inalámbricas IEEE 802.16

Circuito local inalámbrico (WLL) : LMDS (Servicio Local de Difusión Multipunto) .
Dar servicio de telefonía y datos a clientes muy alejados.



Tambien llamada WiMAX IEEE 802.16

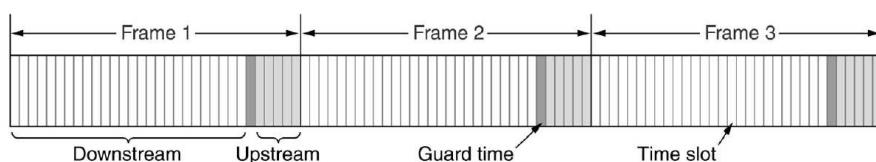


■ Capa física

Esquemas de modulación en función de la distancia.

- QAM-64: Alcanza los 150 Mbps con 25 MHz, ya que 6 bits para 64 símbolos. $6 \cdot 25 = 150$ Mbps.
- QAM-16: Alcanza los 100 Mbps con 25 MHz, ya que 4 bits para representar 16 símbolos. $4 \cdot 25 = 100$ Mbps.
- QPSK: Alcanza hasta los 50 Mbps, ya que 2 bits para representar los 4 símbolos. $2 \cdot 25 = 50$ Mbps.

Reparto del canal: Utilizando Duplexación por División de Frecuencia (FDD) o Duplexacion por División de Tiempo (TDD).



Estándar inicial: Bandas de 10 – 66 GHz . Torres LOS que son antenas que se tienen que estar viendo la una a la otra.

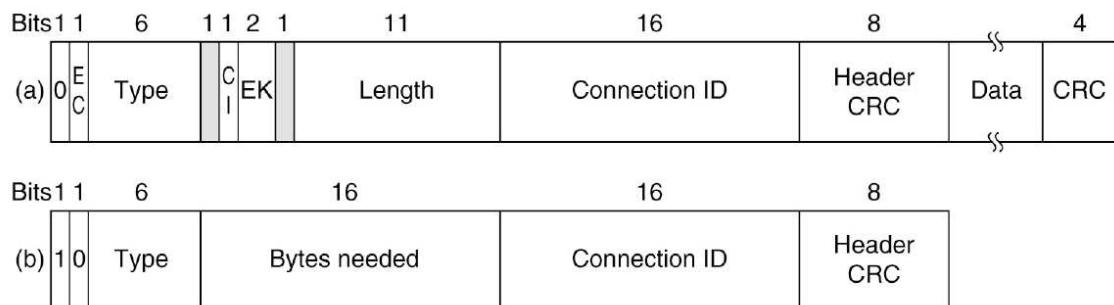
Estándar 802.16a: Bandas de 2 – 11 GHz (75 Mbps). Torres NLOS, estas no necesitan visión de la otra antena. OFDM – 256 fijos en una posición.

Estándar 802.16e: SOFDMA es Wimax móvil

■ Subcapa MAC

Servicios orientados a conexión: Hay que hacer el enlace antes de intercambiar datos.
 Servicios de tasa de bit constante.
 Servicios en tiempo real (multimedia).
 Servicios en tiempo no real (archivos).
 Servicios de mejor esfuerzo (contienda).

Trama MAC



EC: Indica si la trama esta encriptada o no.

Tipo: Indica los subencabezados y tipos de datos especiales, que están en el mensaje de datos.

CI: Indica si la trama lleva CRC.

EK: Indica la clave de encriptación utilizada.

Length: Indica la longitud de los datos.

Connection ID: Indica el tiempo dedicado a transmitir.

Header CRC: Cabecera del CRC es $X^8 + X^2 + X + 1$

Data: Son los datos.

CRC: Es la comprobación de redundancia cíclica.

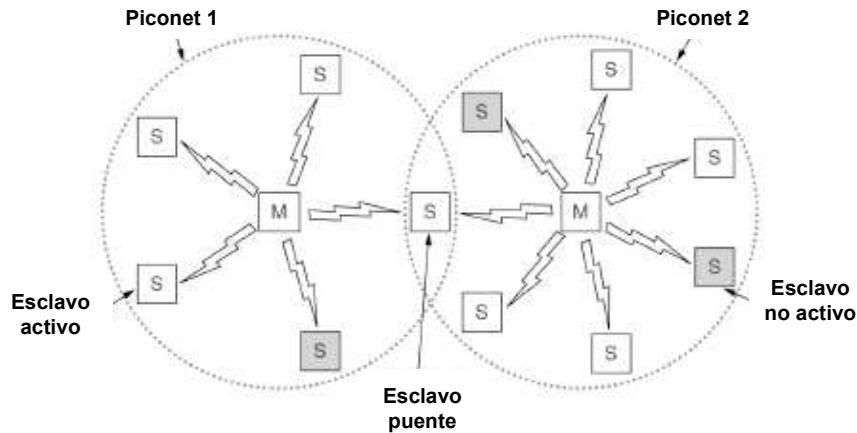
Bytes needed: Son los bits necesarios para relleno.

7. Bluetooth IEEE 802.15

El estándar 802.15 no es solamente bluetooth. Se creo a partir de un consorcio entre Ericsson, IBM , Intel , Nokia y Toshiba.

Piconet son redes que se conectan utilizando bluetooth, se componen de un maestro y todos los demás esclavos hasta 7 esclavos activos.

Las piconet unidas mediante nodos puente se conocen como: Scattrnet



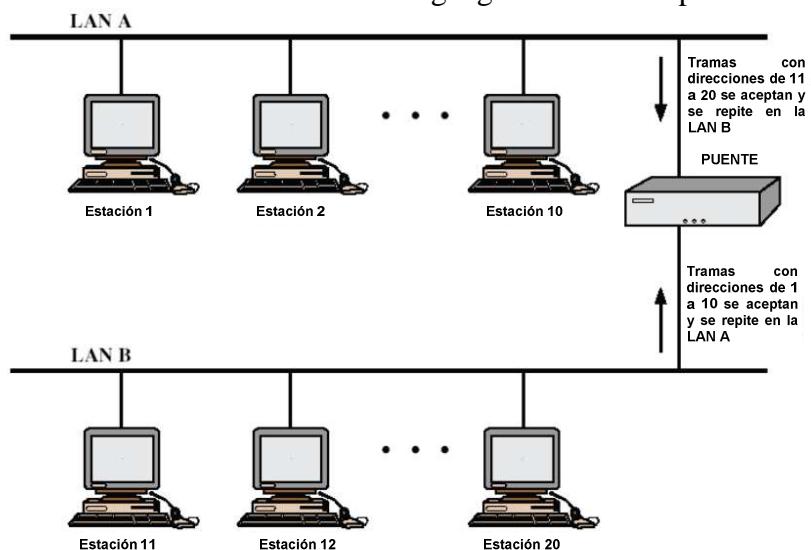
El bluetooth tiene 13 perfiles de acceso: Acceso genérico, puerto serie, acceso telefónico a redes, manos libres....

El estándar 802.15.4 se utiliza para redes de sensores.

8. Puentes

Los puentes (bridges) son dispositivos que interconectan LAN con LAN o separan. Y proporcionan:

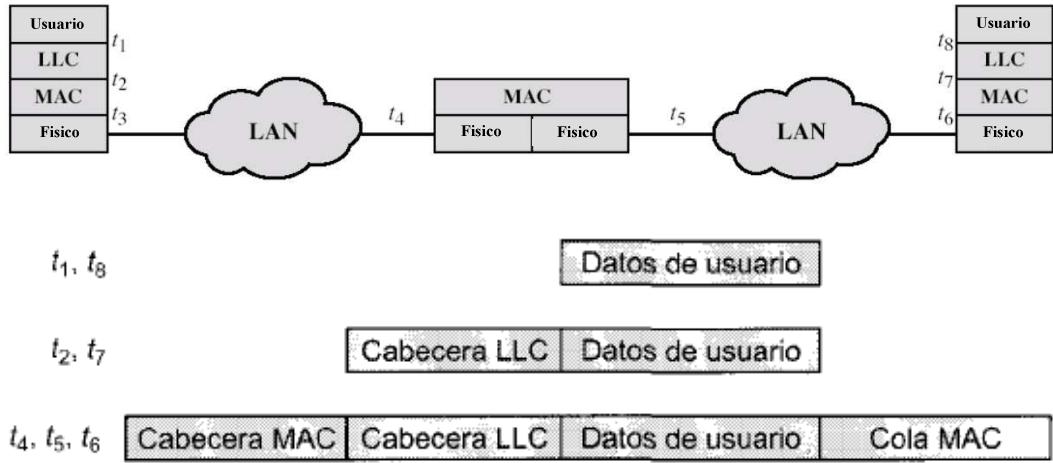
- **Fiabilidad:** Partimos redes en dos trozos y aunque un segmento de la red deje de funcionar solo lo será ese el que haya dejado de funcionar.
- **Prestaciones:** Ya que se reduce el dominio de colisión , LAN A es un dominio de colisión independiente del dominio de colisión de LAN B
- **Seguridad**
- **Geografía:** Podemos unir trozos de red en zonas geográficamente separadas.



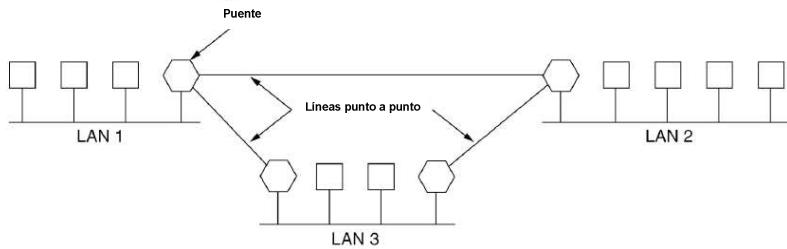
El puente debe de ser transparente como si hubiese una única red.

▪ Arquitectura de protocolos

Los puentes funcionan a nivel MAC



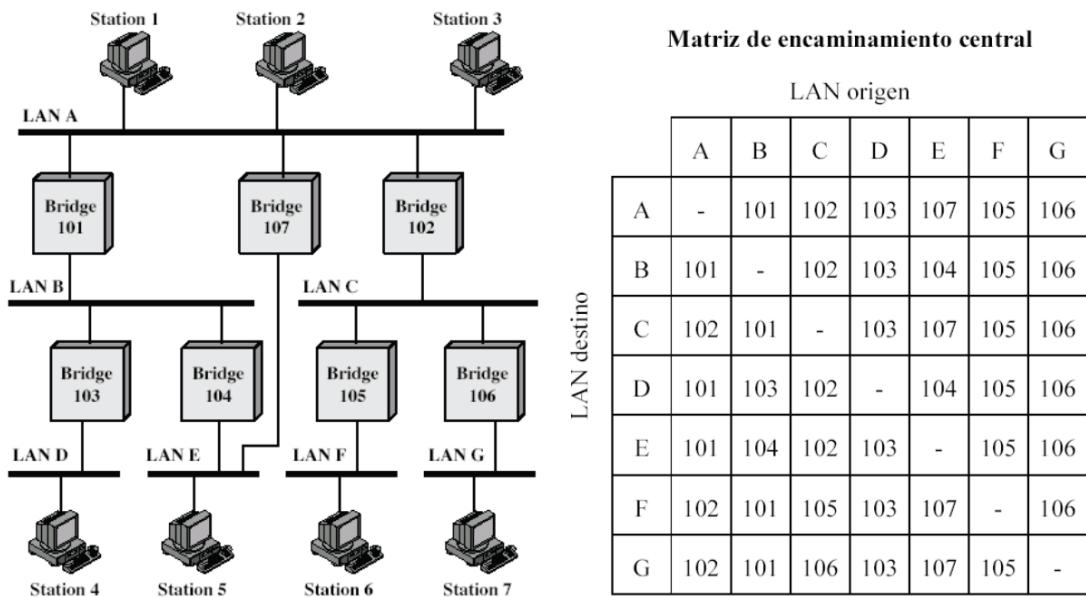
Puentes remotos: Para unir LANs que están en zonas geográficas muy distantes, pero que actué como una sola . Se logra poniendo un puente en cada LAN y conectando los puentes con líneas punto a punto.



▪ **Encaminamiento estático**

Se escoge una ruta fija entre cualquier par de estaciones, por norma general la ruta con menor numero de saltos, o la que minimice la métrica a utilizar.

Esta tabla si se realizan cambios en la topología, estos no son asumidos y se debe reconstruir la tabla.



▪ Técnica de árbol de expansión

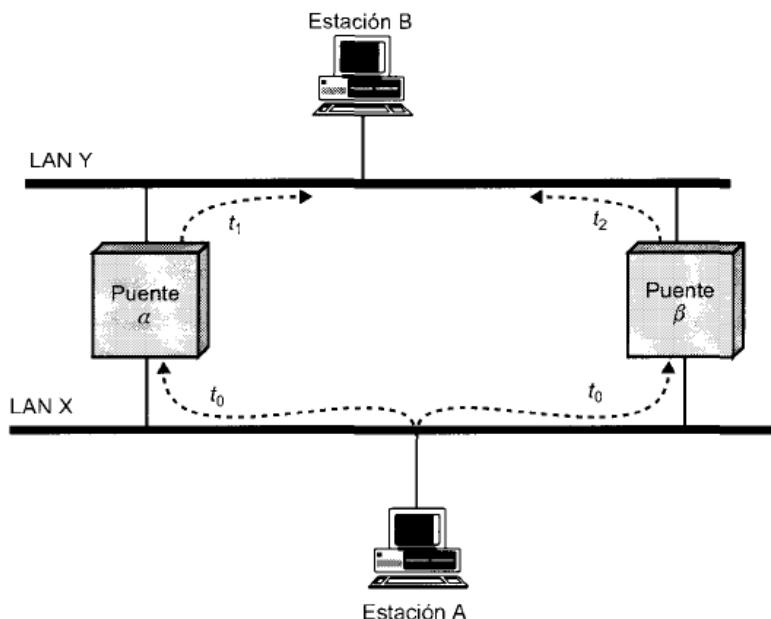
Retransmisión de tramas utilizando la base de datos (o tablas) de retransmisión:

- Si la dirección se encuentra en el mismo puerto, se descarta la trama pues ya habrá llegado a su destino.
- Si la dirección esta en un puerto distinto, la transmite por el puerto donde este la dirección.
- Si no se encuentra en ningún puerto, hace inundación que consiste en transmitir en todas las salidas excepto por el sitio por el que entro.

Aprendizaje de direcciones lo realiza el puente en base a la dirección de origen de las tramas. La tabla del puente se actualiza cada vez que llega una trama.

Problemas de bucles cerrados

A transmite una trama destinada a B en el instante t_0 . Ambos puentes capturan esa trama y actualizan sus bases de datos para indicar que la estación A se encuentra en la dirección de la LAN X, y retransmiten la trama a través de la LAN Y. Supongamos que el puente α retransmite en el instante t_1 y el puente β en el instante t_2 . B recibirá dos copias de la trama. Además cada puente recibirá la transmisiones de el puente opuesto a través de la LAN Y. Obsérvese que cada transmisión es una trama MAC con dirección origen de A y dirección destino B , con lo que cada puente actualizará su base de datos para indicar que la estación A se encuentra en la dirección de LAN Y. Ningún paquete es capaz ahora de retransmitir una trama hacia la estación A ya que los puentes piensan que A está en la LAN Y.

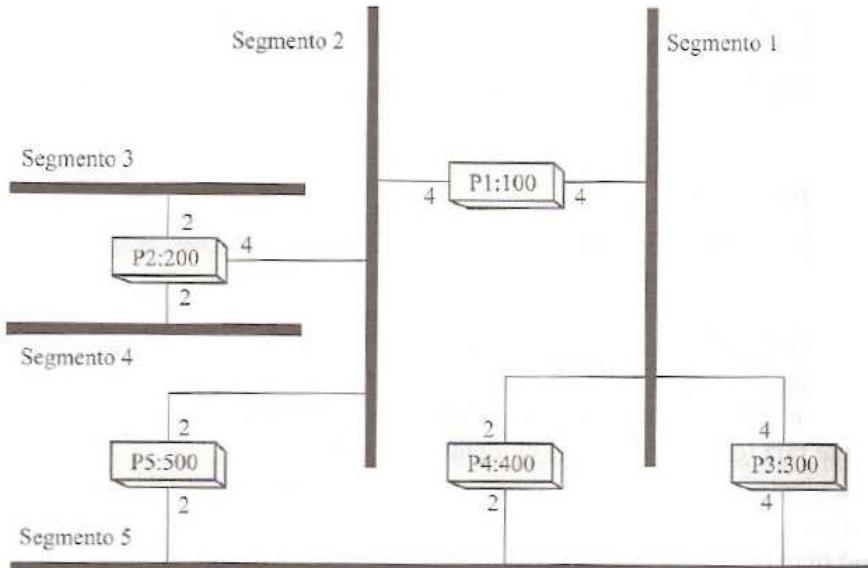


Algoritmo del árbol de expansión

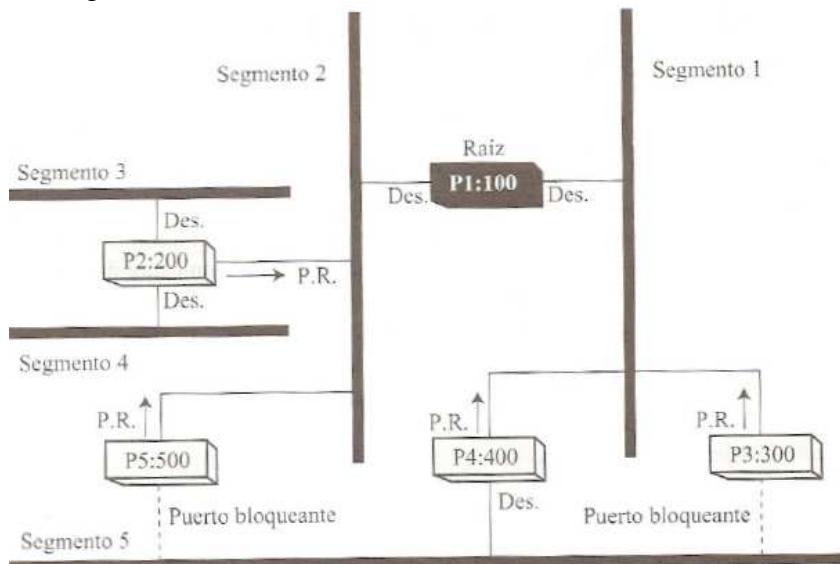
Consta de tres pasos:

- **Búsqueda de un puente raíz:** Los puentes reciben BPDU
 - Si un puente recibe una BPDU con la ID mas baja este puente deja de mandar sus BPDU y reenvía las BPDU de la raíz, incrementa el coste del camino a la raíz.
 - Si un puente tiene una ID menor que la que le llega, descarta la BPDU recibidas.

- **Búsqueda de un puerto raíz:** Es el puerto cuya BPDU tiene el mínimo coste acumulado.
- **Elección del puente designado :** El que transmita desde la LAN a la raíz con el menor coste
 - Puertos designados y puertos raíz.
 - Puertos bloqueados.



Ya realizado el algoritmo

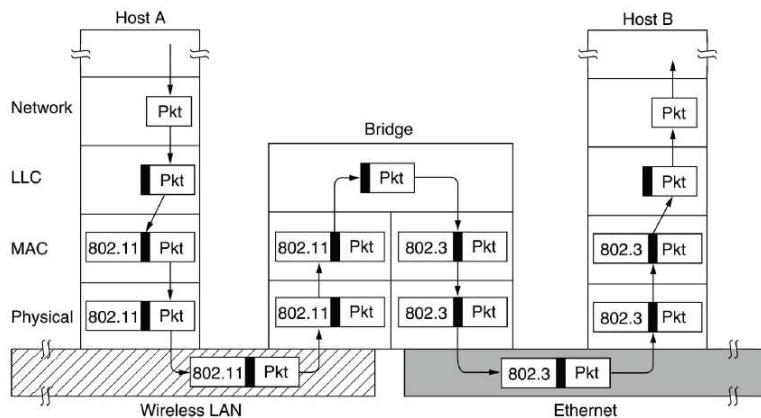


▪ Puentes conectados a LAN diferentes

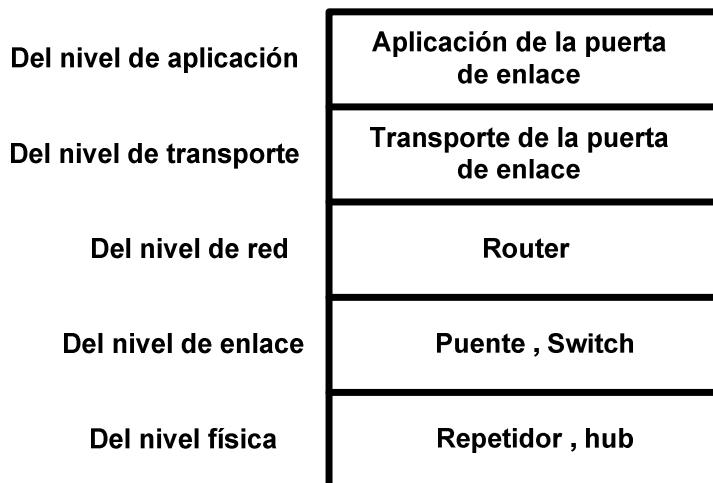
Un puente debe conectar LAN con diferentes MAC:

- Formato de trama
- Tamaño de carga
- Tasa de datos
- Otros: confirmaciones, prioridad, encriptación de datos...

Son necesarios puentes para conectar cada combinación de 802.x y 802.y . Los protocolos tienen formatos de trama distintos, velocidades distintas, y longitudes máximas de trama distintas.



9. Dispositivos de interconexión

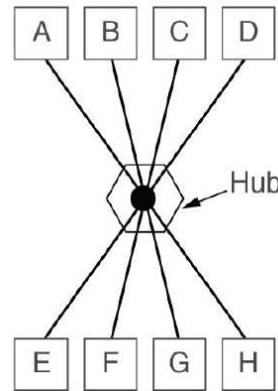


▪ Repetidores y concentradores

Los repetidores:

- Amplifican la señal para permitir cables más largos.
- No distinguen tramas, trabajan a nivel eléctrico.
- Ethernet permite hasta 4 repetidores.

Los concentradores (hub): Es un equipo de redes que permite conectar entre si otros equipos y retransmite los paquetes que recibe desde cualquiera de ellos a todos los demás. Genera muchas colisiones.

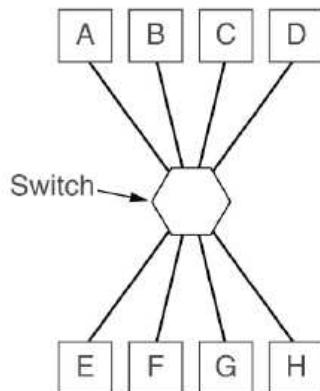


▪ Conmutadores de capa 2

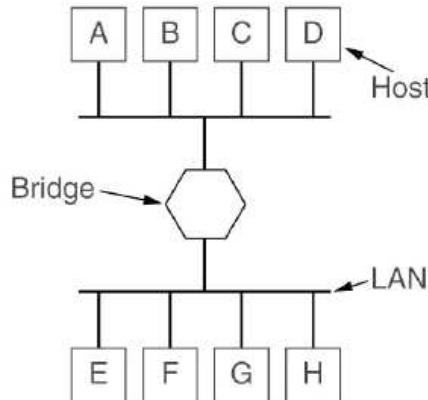
Switches o conmutador: Los switches de grupos de trabajo agregan inteligencia a la administración de transferencia de datos. No solo son capaces de determinar si los datos deben permanecer o no en una LAN, sino que pueden transferir los datos únicamente a la conexión que necesita esos datos. Los hay de dos tipos:

- Almacenamiento y reenvío (store-and-forward-switch) : Le llega una trama la almacena y la reenvía cuando este completa.
- Rápido (cut-through switch): Lo que recibe lo saca rápidamente.

Un switch es como un puente multipuerto.



Bridge o puente: Los puentes convierten los formatos de transmisión de datos de la red además de realizar la administración básica de la transmisión de datos. Los puentes, tal como su nombre indica, proporcionan conexiones entre LAN. Los puentes no solo conectan LAN, sino que verifican los datos para determinar si les corresponde cruzar el o no cruzar el puente. Esto aumenta la eficiencia de cada parte de la red.



▪ Conmutadores de capa 3

Hay dos problemas en los conmutadores de capa 2:

- Sobrecarga de difusión
- Camino único entre dos dispositivos

Los conmutadores de capa 3 dividen las redes en subredes.

Los tipos de conmutadores de capa 3 son:

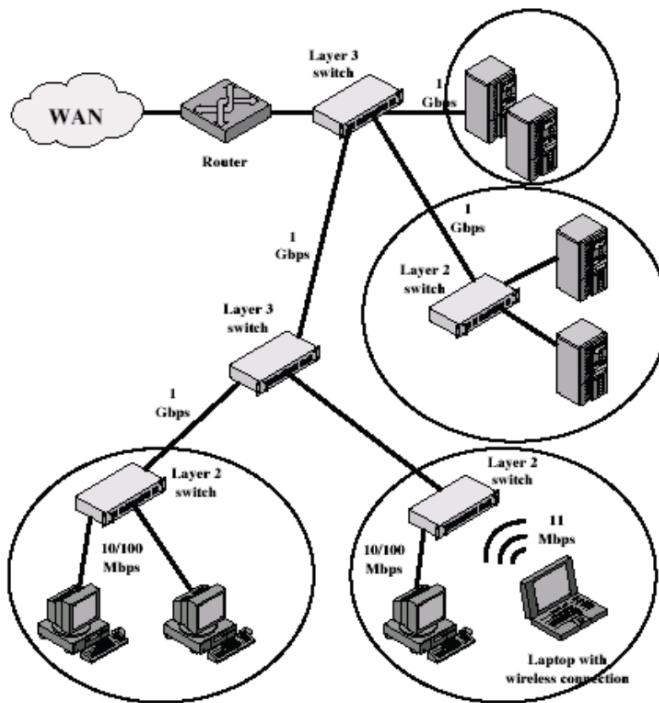
- Tipo paquete a paquete: Cada paquete se analiza individualmente.
- Basado en flujos: Sabe que existe un flujo de datos continuo entre dos equipos.
Le da salida rápidamente.

LAN virtual o VLAN (IEEE 802.1q) modifica el formato de Ethernet para incluir un identificador VLAN. Podemos tener una red de área local aunque estén separados geográficamente.

Los routers pueden generar señales, concentrar múltiples conexiones, convertir formatos de transmisión de datos, y manejar transferencias de datos.

También pueden conectarse a una WAN, lo que permite conectar LANs que se encuentran geográficamente separadas. Ninguno de los demás dispositivos puede proporcionar este tipo de conexión. Los router sirven para conectar dos o más redes, y para encontrar la mejor ruta entre dos dispositivos.

Configuración típica



10. Cableado estructurado

Los objetivos del cableado estructurado son:

- Proporcionar una infraestructura física
- Integrar servicios
- Administración centralizada
- Cableado independiente de la tecnología utilizada
- Flexibilidad y modularidad.
- Cumplimiento de las normativas
 - UNE-EN50173 (CENELEC): Sobre cableado.
 - ANSI-EIA/TIA 568
 - Normas sobre compatibilidad electromagnética (EMC)
 - Normas sobre protección contra incendios.

■ Descripción de un SCE

La norma UNE-EN50173 especifica un SCE:

- Cableado de pares de cobre y fibra óptica.
- Optimizada hasta 1000000 m² de oficina y de 50 a 50000 personas.

Elementos funcionales agrupados en subsistemas: subsistema de campus (CD) , subsistema vertical o troncal(BD) y horizontal (FD), (TP) y (TO).

Es una estructura jerárquica.

Este compuesto por los siguientes elementos:

CD (Distribuidor de campus)

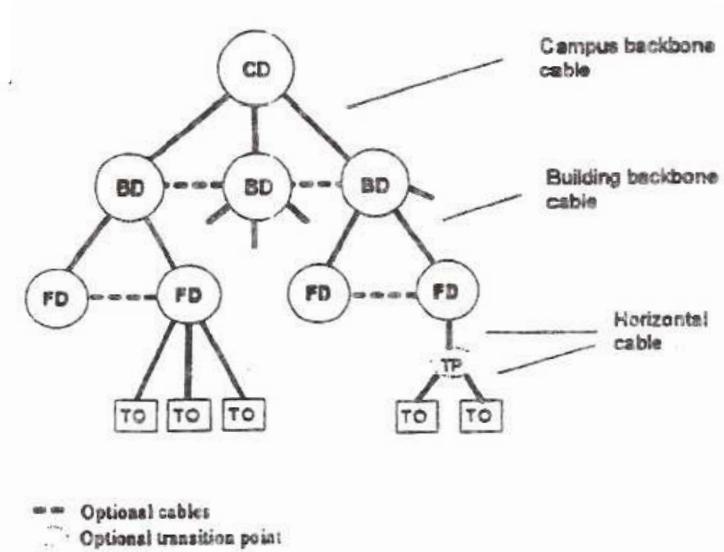
Cable de campus o troncal de campus

BD (Distribuidor de edificio)

Cableado vertical troncal

FD (Distribuidor de planta)

En la planta hay un cableado de planta.
 TP (Punto de transición)
 TO (Toma de usuario o roseta)

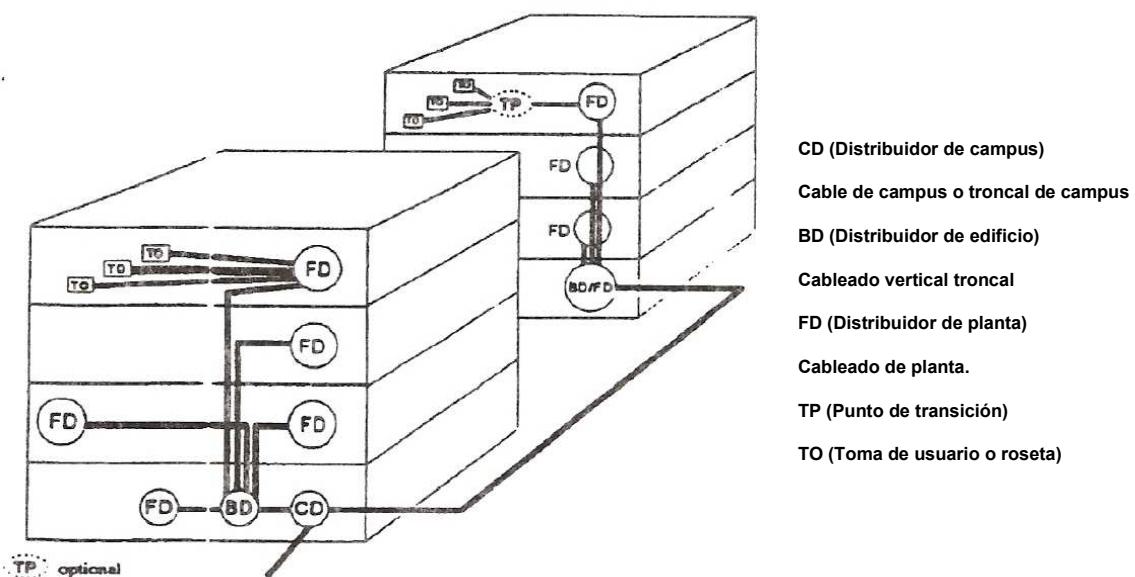


Fuente: Norma EN50173 CEN/CENELEC

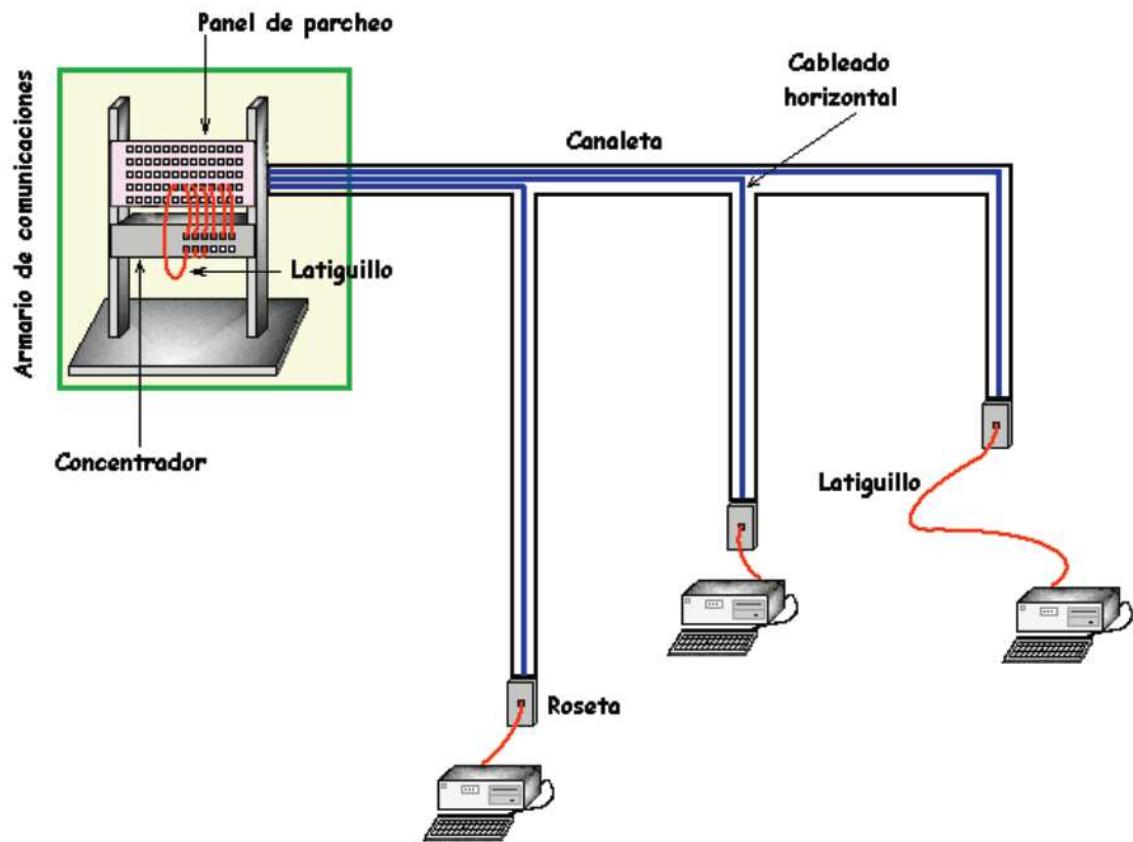
Leyenda:

Campus backbone cable: Cableado troncal de Campus
 Building backbone cable: Cableado troncal de Edificio
 Horizontal cable: Cableado horizontal

FD: Distribuidor de Planta (Floor Distributor)
 TP: Punto de Transición (Transition Point)
 TO: Toma de usuario (Telecommunications Outlet)
 CD: Distribuidor de Campus (Campus Distributor)
 BD: Distribuidor de Edificio (Building Distributor)



El subsistema de cableado horizontal

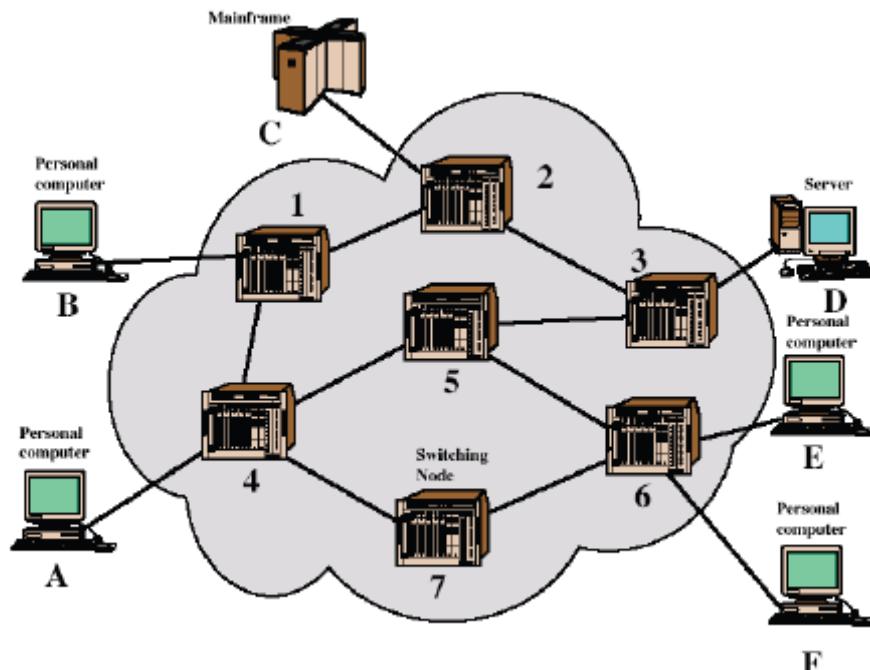


TEMA 5: REDES DE AREA AMPLIA

1. Redes Conmutadas

En las redes conmutadas para la transmisión de datos entre estaciones a larga distancia, se realiza a través de nodos de conmutación intermedios.

- Estaciones: Son los dispositivos finales.
- Nodos: Son los dispositivos intermedios que proporcionan comunicación.
- Red de comunicación: Son el conjunto de nodos.
- Redes de comunicación conmutadas: Los datos que entran se encaminan hacia su destino mediante la conmutación nodo a nodo.



Se emplean dos tecnologías diferentes:

- Comutación de circuitos
- Comutación de paquetes

▪ Redes de conmutación de circuitos

Este tipo de redes implican la existencia de un camino dedicado entre dos estaciones, que es una secuencia de enlaces conectados entre dos nodos de la red. En cada uno de los enlaces físicos se dedica un canal lógico para cada conexión establecida. Tiene tres fases:

- Establecimiento del circuito: Lo primero es establecer el circuito de extremo a extremo. A envía una solicitud al nodo 4 pidiendo conexión a E; el nodo 4 debe encontrar el siguiente enlace de la ruta para alcanzar el nodo siguiente en función del encaminamiento, encuentra libre al nodo 5, reserva un canal libre del enlace y debe encontrar el siguiente enlace que será el nodo 6 que está libre, reservara un canal y este envía a E, solicitando la conexión. Tras ello queda establecido un camino dedicado desde A hasta E.
- Transferencia de datos: Se transmite la información desde A hasta E, a través de la red, es una conexión full-duplex (enviar y recibir simultáneamente).
- Desconexión del circuito: La conexión es finalizada por una de las dos estaciones. Los nodos liberan los recursos dedicados a la conexión.

Possible ineficiencia:

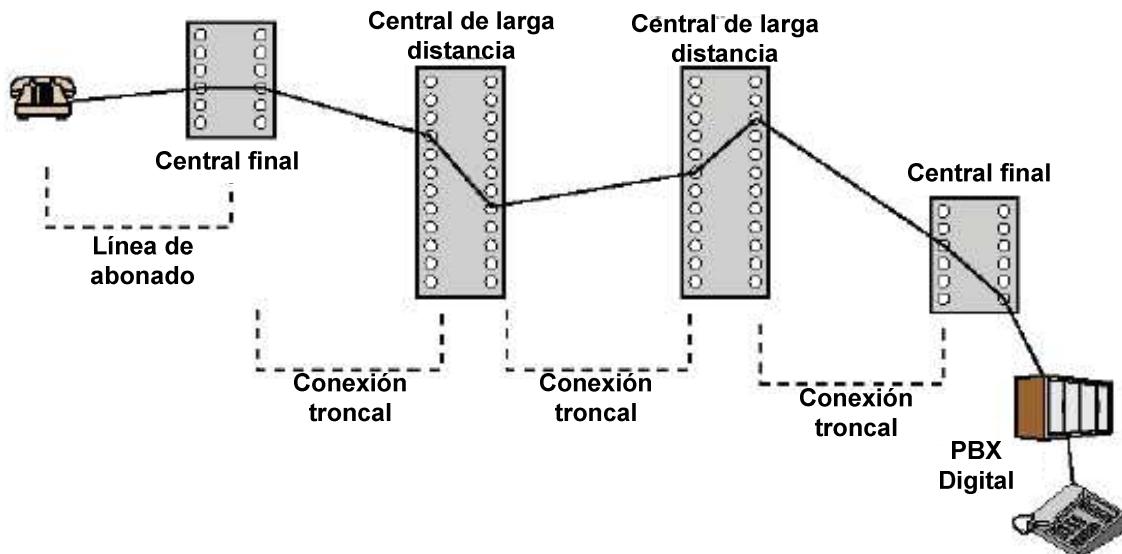
- Hay un canal dedicado permanentemente a una conexión (se transmita o no).
- Hay un retardo previo debido al establecimiento de la conexión.

Ejemplos:

- Red telefónica pública
- Centralitas PBX

Arquitectura de red pública:

- Abonados: Son los dispositivos que se conectan a la red.
- Línea de abonado: Enlace entre abonado y la red (par trenzado).
- Centrales: Centros de conmutación de la red. Los centros de conmutación a los que se conectan directamente los abonados son las centrales finales.
- Líneas troncales: Concentra y unifica varias comunicaciones simultáneas en una sola señal para un transporte y transmisión a distancia más eficiente.



Ventajas de la conmutación de circuitos:

- Transparencia, una vez que se ha establecido el circuito este parece una conexión directa entre las dos estaciones conectadas.
- Tiene una velocidad de transmisión constante.

■ **Redes de conmutación de paquetes**

En paquetes grandes se segmenta en una serie de paquetes, que contiene los datos y también información de control para encaminar el paquete del origen al destino. Cada nodo determina la siguiente ruta.

Ventajas frente a la conmutación de circuitos:

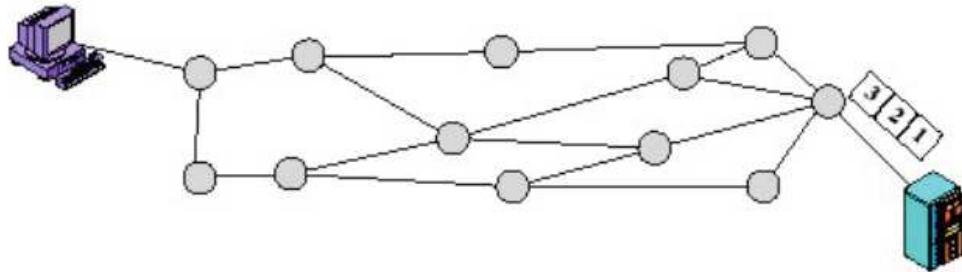
- Mayor eficiencia ya que comparte dinámicamente el canal.
- Conversión en la velocidad de datos, ya que hay enlaces a distintas velocidades.
- Mejor comportamiento ante el aumento del tráfico por ejemplo en fin de año la conmutación de circuitos el teléfono deja de funcionar, Internet si funciona.

- Posibilidad de utilizar prioridades, para poder tener transmisiones en tiempo real le da más prioridad a algún usuario.

Según como se encaminen los paquetes existe datagramas y circuitos virtuales.

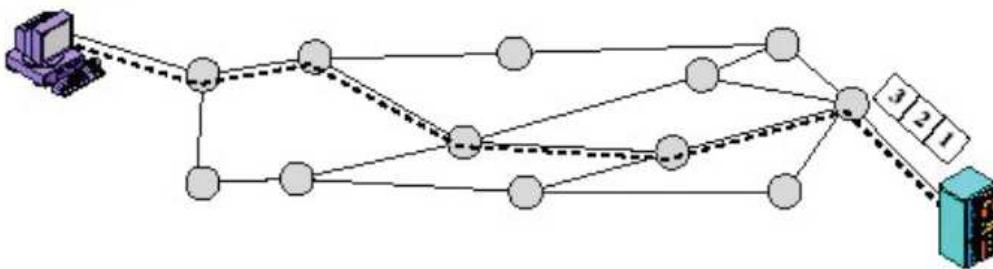
Datagramas: Es una forma de enviar información sin necesidad de establecer un circuito. Cada paquete se trata independientemente sin ninguna referencia a los paquetes precedentes. Cada nodo elige la siguiente ruta del paquete.

- Cada datagrama tiene dirección origen y destino.
- Cada datagrama se puede encaminar por una ruta distinta, dependiendo del estado de la red.
- Los datagramas pueden perderse o llegar fuera de orden, en el destino se trata esos problemas.



Circuitos virtuales: Se establece una ruta previa que se mantiene para todos los paquetes de esa secuencia. Cada paquete además de los datos, tiene un identificador de circuito virtual en lugar de una dirección de destino.

- Se envía primero un paquete especial de establecimiento del circuito.
- El resto de paquetes siguen siempre la misma ruta.
- Los paquetes llegan en orden.
- Al terminar se libera el circuito virtual.
- El circuito virtual no es un camino dedicado entre ambos como en conmutación de circuitos, ya que el circuito virtual no bloquea la red o el canal, si no que un usuario puede tener varios circuitos virtuales abiertos , el circuito físico (teléfono) no lo permite.



Ventajas e inconvenientes entre ambos:

- En la red de datagramas se tiene que realizar el encaminamiento en cada paquete y en la red de circuitos solo una vez.
- En la red de datagramas los paquetes pueden llegar desordenados, y en la red de circuito virtual siempre ordenados.
- En la red de datagramas si se satura la red se escoge otra ruta para encaminar, pero en la red de circuito virtual se debe cerrar la conexión y crear otra.
- Para enviar pocos paquetes es mejor datagrama que circuito virtual.

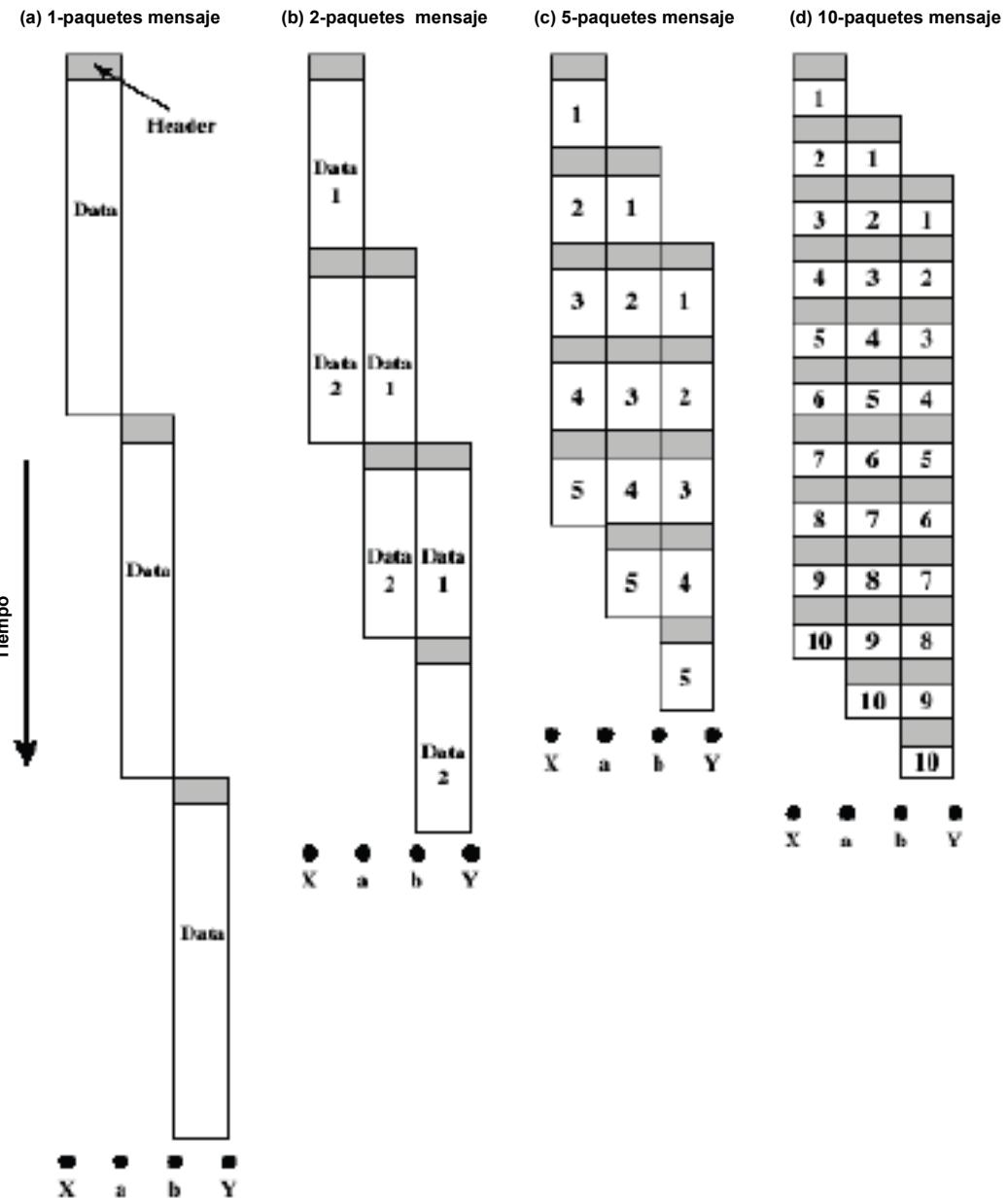
Tamaño de paquete

Existe una relación entre el tamaño de paquete y el tiempo de transmisión.

Se supone que un circuito virtual de la estación “X” a “Y” a través de los nodos a través de los nodos “a” y “b”. Se desea enviar un paquete de 40 octetos y cada paquete tiene 3 octetos. Al enviar en un único paquete de 40 octetos, este se envía de “X” hacia “a”, cuando los recibe “a” lo envía a “b”, y este a “Y”. Despreciando el tiempo de conmutación, el tiempo total de transmisión es 120 veces el tiempo de duración de un octeto ($40 * 3$ transmisiones de paquete).

Si suponemos que el mensaje se envía en dos paquetes de 20 octetos mas 3 de cabecera, son 23 octetos por paquete. “X” envía el primer paquete a “a”, seguidamente “a” envía el primer paquete a “b”, al mismo instante que “X” envía el segundo paquete a “a”. Después “b” envía el primer paquete a “Y”, y en el mismo tiempo “a” envía el segundo paquete a “b”. Finalmente “b” envía el segundo paquete a “Y”. El tiempo total es 93 veces el tiempo de duración de un octeto.

Si el mensaje se envía en 5 paquetes, el tiempo baja a 77 veces el tiempo de un octeto.



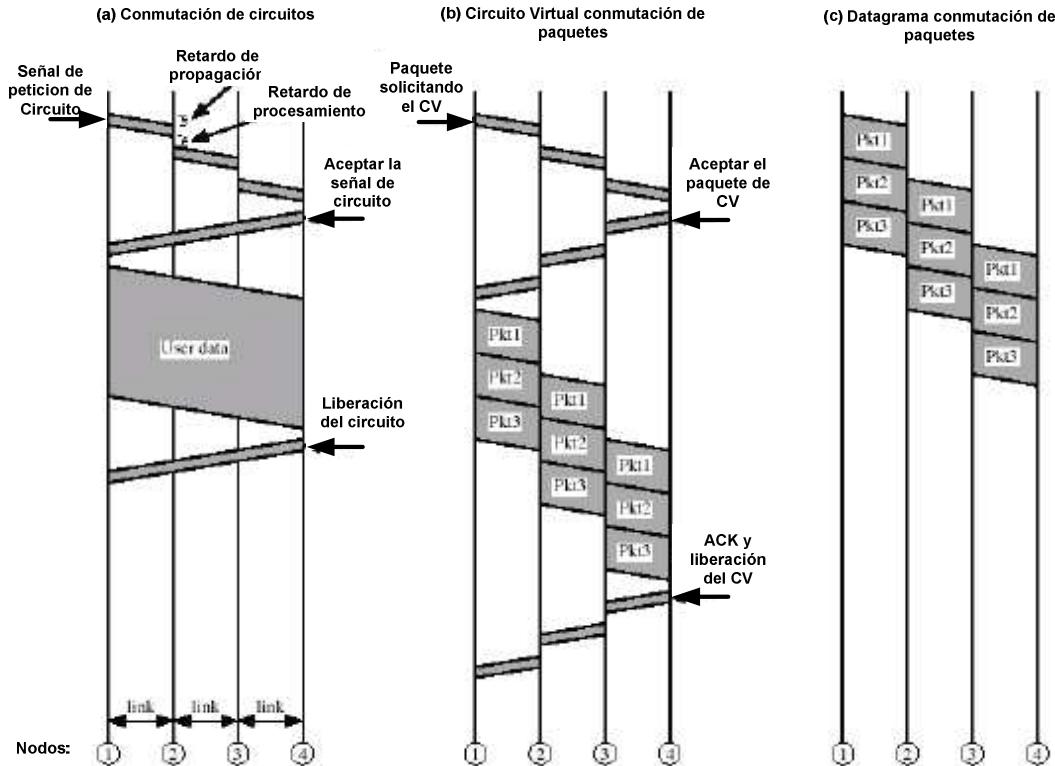
■ Comparación

Comparación entre conmutación de circuitos, circuitos virtuales y datagramas:

En conmutación de circuitos existe retardo de establecimiento de llamada, debido a la necesidad de establecer una ruta para la conexión, si la estación destino no está ocupada devuelve una señal de llamada aceptada, la cual no tiene retardos por que la conexión ya está establecida. El envío no tiene retardos, es directo.

En circuitos virtuales hay retardo para establecer la llamada para establecer la ruta de la conexión, el envío de la llamada aceptando el CV tiene retardos porque en cada nodo se pone a la cola y espera su turno para la transmisión. El envío del mensaje también tiene retardos.

En datagramas no hay retardo de establecimiento de llamada. El procesamiento en cada nodo puede ser superior que en circuitos virtuales. Según las circunstancias puede ser mejor los CV.



2. Encaminamiento en redes de conmutación de circuitos

En el establecimiento de la llamada para establecer el circuito, la red debe encontrar la ruta a través de varios conmutadores y enlaces.

- **Encaminamiento estático:** Los conmutadores están organizados en forma de árbol. Se establece una ruta a través del árbol comenzando en el abonado llamante hasta el primer nodo común, y después hasta el abonado llamado. Para añadir flexibilidad, incorpora enlaces de alta capacidad. No se adapta a condiciones cambiantes.
- **Encaminamiento dinámico:** Las decisiones de encaminamiento se toman en base a las condiciones de tráfico que haya en ese momento. Todos los nodos tienen una relación igual a igual, no hay relación jerárquica. Es más flexible al haber más rutas alternativas.
- **Encaminamiento alternativo:** Las posibles rutas entre dos centrales finales se encuentran predefinidas. Un conmutador elegirá la mas apropiada dependiendo de las circunstancias.
 - **Encaminamiento alternativo fijo:** Solo se define una secuencia de encaminamiento para cada pareja origen-destino.
 - **Encaminamiento alternativo dinámico:** Usa un conjunto diferente de rutas preplanificadas en instantes distintos de tiempo, para aprovechar las distintas condiciones de tráfico en diferentes zonas horarias o períodos del día.

3. Encaminamiento en redes de conmutación de paquetes

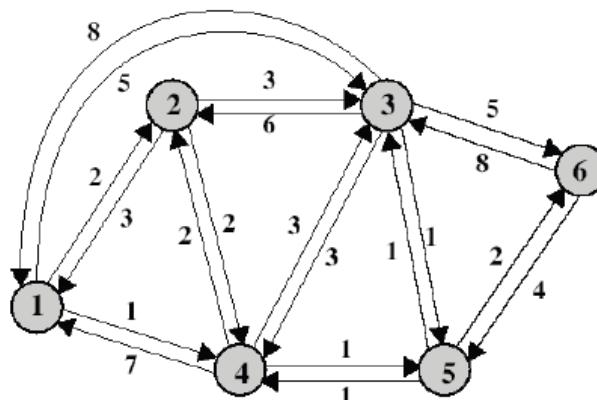
El encaminamiento en conmutación de paquetes tiene que cumplir unos requisitos de robustez, imparcialidad y eficiencia,...

La elección de la ruta se fundamenta en algún criterio de funcionamiento y debe minimizar el consumo de recursos de la red. Por ejemplo: el algoritmo de coste mínimo.

Entre los criterios de rendimiento se encuentran:

- Caminos con menor número de saltos.
- Camino de mínimo coste (velocidad y retardo de la cola son los costes)

Se tendrá en cuenta el instante de decisión (para cada paquete, en el establecimiento del circuito virtual) y el lugar en que se toma la decisión (encaminamiento distribuido, encaminamiento centralizado y encaminamiento desde el origen), fuente de información de la red (Local, nodos adyacentes, nodos a lo largo de una ruta, todos no los nodos) y tiempo de actualización (continua, periódica, cambios en la carga, cambios en la topología).



■ Estrategias de encaminamiento

- **Encaminamiento estático:** Una única ruta y fija para cada par de nodos origen-destino en la red, utilizando un algoritmo de coste mínimo. Se implementara mediante una matriz de encaminamiento central y las tablas de encaminamiento almacenadas en cada nodo. Cada nodo solo necesitará almacenar una sola columna de la tabla de encaminamiento, indicándose en ella el nodo siguiente para cada destino. No hay diferencias entre circuito virtual y datagrama.

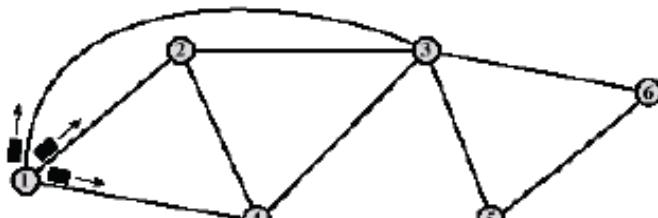
Matriz de encaminamiento central

		Del nodo					
		1	2	3	4	5	6
A nodo	1	-	1	5	2	4	5
	2	2	-	5	2	4	5
	3	4	3	-	5	3	5
	4	4	4	5	-	4	5
	5	4	4	5	5	-	5
	6	4	4	5	5	6	-

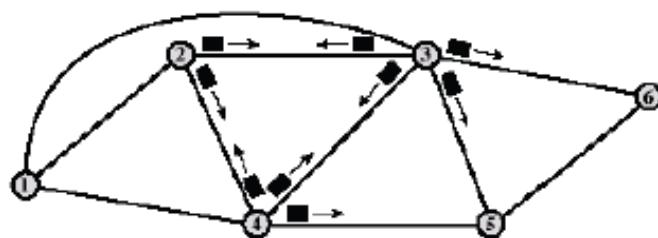
Tablas de encaminamiento de los nodos

Tabla Nodo 1		Tabla Nodo 2		Tabla Nodo 3		Tabla Nodo 4		Tabla Nodo 5		Tabla Nodo 6	
Destino	Próximo Nodo										
2	2	1	1	1	5	1	2	1	4	1	5
3	4	3	3	2	5	2	2	2	4	2	5
4	4	4	4	4	6	3	5	3	3	3	5
5	4	5	4	5	5	5	5	4	4	4	5
6	4	6	4	6	5	6	5	6	6	5	5

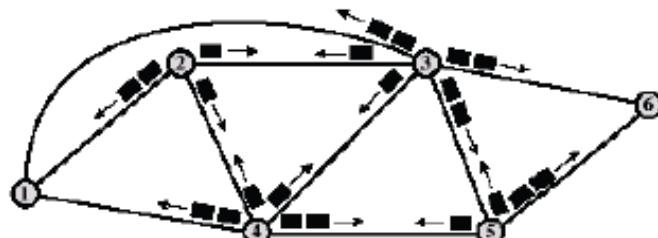
- Inundaciones:** No se necesita información de la red. un nodo origen envía un paquete a todos sus nodos vecinos, los cuales a su vez , lo envían sobre todos los enlaces de salida excepto por el que llego . Para evitar retransmisiones cada nodo debe recordar la identidad de los paquetes que ha retransmitido con anterioridad y rechazar los que han llegado ya dos veces.



(a) Primer salto



(b) Segundo salto



(c) Tercer salto

- Encaminamiento aleatorio:** No se necesita información de la red. Un nodo selecciona de forma aleatoria, un único camino de salida para retransmitir un paquete entrante, excluyendo el enlace por donde llegó. Para mejorarlo se puede asignar una probabilidad a cada enlace de salida.

$$P_i = \frac{R_i}{\sum_j R_j}$$

P es la probabilidad de seleccionar el enlace i

R velocidad del enlace i

- **Encaminamiento adaptable:** Las decisiones de encaminamiento cambian en la medida que lo hacen las condiciones de la red. Las principales condiciones son:

- Fallos de un nodo o fallos en la línea principal.
- Congestión en parte de la red.

Es necesario que los nodos intercambien información acerca del estado de la red.

Ventajas:

- Las prestaciones mejoran
- Resulta de ayuda al control de la congestión.

Desventajas:

- Decisión de encaminamiento mas compleja
- El intercambio de información supone tráfico adicional a la red.

▪ Algoritmos de mínimo coste

Las redes de commutación de paquetes basan su encaminamiento en algún criterio de mínimo coste:

Dada una red de nodos conectados entre si por enlaces bidireccionales, donde cada enlace tiene un coste asociado en cada sentido, se define el coste de una ruta entre dos nodos como la suma de los costes de los enlaces atravesados.

La mayor parte de los algoritmos utilizados son variantes de:

- Algoritmo de Dijkstra
- Algoritmo de Bellman-Ford

Algoritmo de Dijkstra

Encontrar las rutas mas cortas entre un nodo origen dado y todos los demás nodos, desarrollando los caminos en orden creciente de longitud.

El algoritmo define:

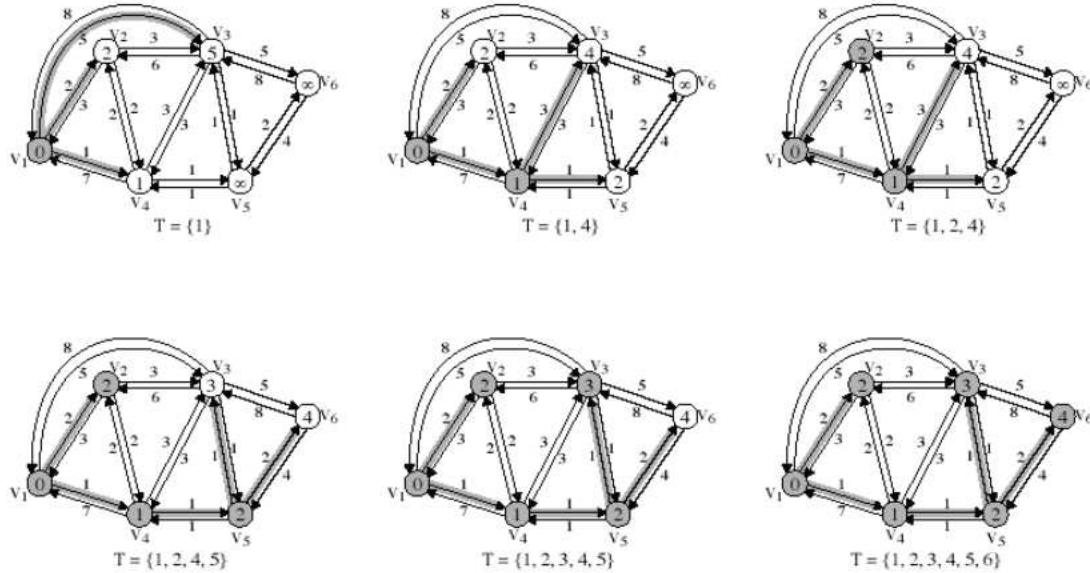
- N = Conjunto de nodos de la red
- s = Nodo origen
- T = Conjunto de nodos incorporados por el algoritmo
- $w(i, j)$ = Coste del enlace del nodo i al nodo j .
- $L(n)$ = Coste en curso obtenido por el algoritmo del nodo s al nodo n . Al finalizar el algoritmo corresponde al camino de mínimo coste.

Tres pasos para realizar el Dijkstra:

- Inicialización
 - $T = \{s\}$
 - $L(n) = w(s,n)$, para $n \neq s$
- Obtención del siguiente nodo
 - Encontrar x no perteneciente a T tal que $L(x) = \min[L(j), j]$ no perteneciente a T .
 - Añadir x a T .
- Actualización de los caminos de mínimo coste
 - $L(n) = \min[L(n), L(x)+w(x,n)]$, para todo n no perteneciente a T

El algoritmo concluye cuando todos los nodos han sido añadidos a T .

Iteración	T	$L(2)$	Ruta	$L(3)$	Ruta	$L(4)$	Ruta	$L(5)$	Ruta	$L(6)$	Ruta
1	{1}	2	1 - 2	5	1 - 3	1	1 - 4	∞	—	∞	—
2	{1, 4}	2	1 - 2	4	1 - 4 - 3	1	1 - 4	2	1 - 4 - 5	∞	—
3	{1, 2, 4}	2	1 - 2	4	1 - 4 - 3	1	1 - 4	2	1 - 4 - 5	∞	—
4	{1, 2, 4, 5}	2	1 - 2	3	1 - 4 - 5 - 3	1	1 - 4	2	1 - 4 - 5	4	1 - 4 - 5 - 6
5	{1, 2, 3, 4, 5}	2	1 - 2	3	1 - 4 - 5 - 3	1	1 - 4	2	1 - 4 - 5	4	1 - 4 - 5 - 6
6	{1, 2, 3, 4, 5, 6}	2	1 - 2	3	1 - 4 - 5 - 3	1	1 - 4	2	1 - 4 - 5	4	1 - 4 - 5 - 6



Algoritmo de Bellman-Ford

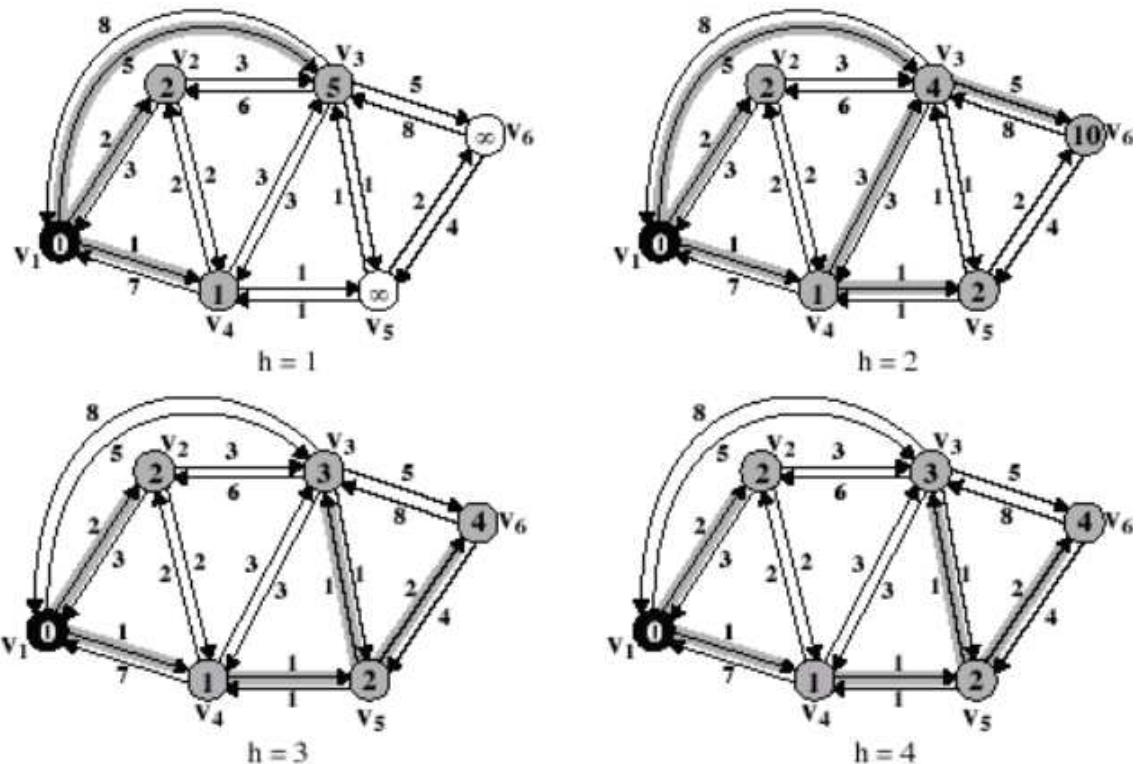
Encontrar los caminos mas cortos desde un nodo origen dado con la condición de que estos contengan a lo sumo un enlace, a continuación, encontrar los caminos mas cortos que contengan dos enlaces y asi sucesivamente.

Dos pasos para realizar el Bellman-Ford:

- Inicialización
 - $L_0(n) = \infty$ para todo $n \neq s$
 - $L_h(s) = 0$ para todo h
- Actualización (sucesivos ($h \geq 0$))
 - $L_h+1(n) = \min[L_h(j) + w(j, n)]$, para todo j y $n \neq s$

En cada etapa se determinan las rutas de mínimo coste con un número de enlaces igual a h .

h	$L_h(2)$	Ruta	$L_h(3)$	Ruta	$L_h(4)$	Ruta	$L_h(5)$	Ruta	$L_h(6)$	Ruta
0	∞	—	∞	—	∞	—	∞	—	∞	—
1	2	1 - 2	5	1 - 3	1	1 - 4	∞	—	∞	—
2	2	1 - 2	4	1 - 4 - 3	1	1 - 4	2	1 - 4 - 5	10	1 - 3 - 6
3	2	1 - 2	3	1 - 4 - 5 - 3	1	1 - 4	2	1 - 4 - 5	4	1 - 4 - 5 - 6
4	2	1 - 2	3	1 - 4 - 5 - 3	1	1 - 4	2	1 - 4 - 5	4	1 - 4 - 5 - 6



4. Congestión de redes de datos

La congestión ocurre cuando el número de paquetes que se transmiten sobre una red comienza a aproximarse al límite de la capacidad de gestión de paquetes de la misma.

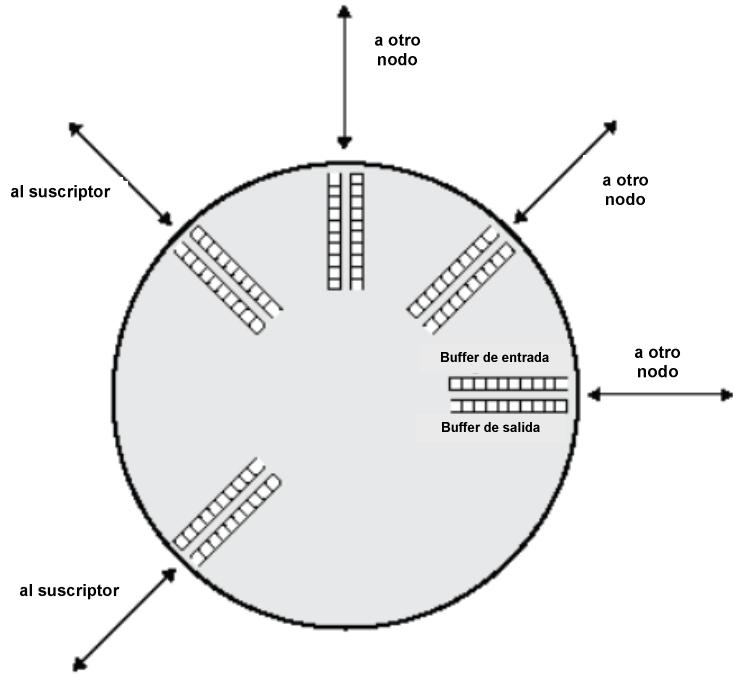
Una red de datos es una red de colas

- En cada nodo existe una cola de paquetes asociada a cada canal de salida.
- La cola crece al aproximarse la velocidad de llegada de paquetes a la velocidad de transmisión. Sus consecuencias son:
 - Aumenta el retardo en cada nodo
 - Desbordamiento de la cola que implica la pérdida de paquetes.

■ Efectos de la congestión

Cada nodo tiene puertos de entrada/salida hacia otros nodos o hacia sistemas finales. Los paquetes se reciben y transmiten por cada puerto. Existen dos memorias temporales por cada puerto: Entrada y salida de paquetes, una para aceptar los puertos de llegada y otra para gestionar los paquetes a transmitir.

A medida que se reciben los paquetes , se almacenan en la memoria principal de entrada del puerto correspondiente . El nodo examina cada paquete de entrada para tomar la decisión de encaminamiento y lo coloca en la memoria temporal de salida pertinente.



Una tasa de llegada alta, puede hacer que se agote la memoria temporal. Al alcanzar un punto de saturación se puede adoptar dos estrategias:

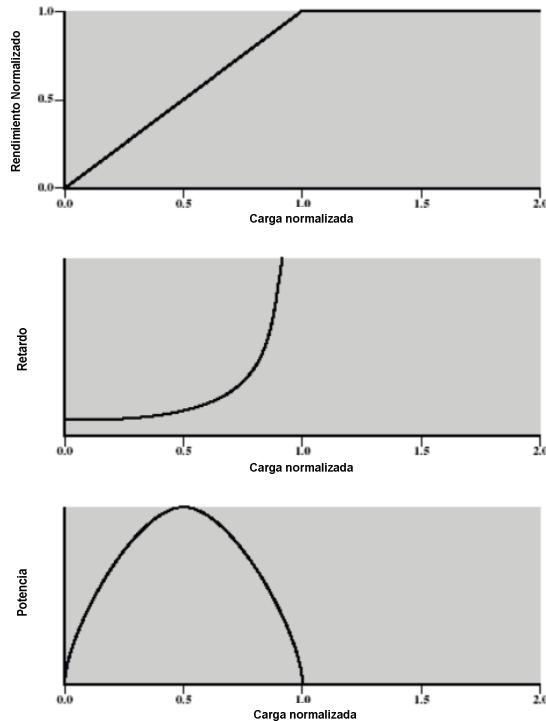
- Descartar paquetes de entrada
- Control de flujo sobre vecinos

Funcionamiento ideal

Se supone una memoria temporal infinita:

- El rendimiento de la red crece hasta aceptar una cantidad de carga igual a la capacidad de la red.
- El retardo aumenta con la carga, cuando la carga excede la capacidad de la red, el retardo se dispara.
- Cuando se mejora el rendimiento, existe un retardo mayor.

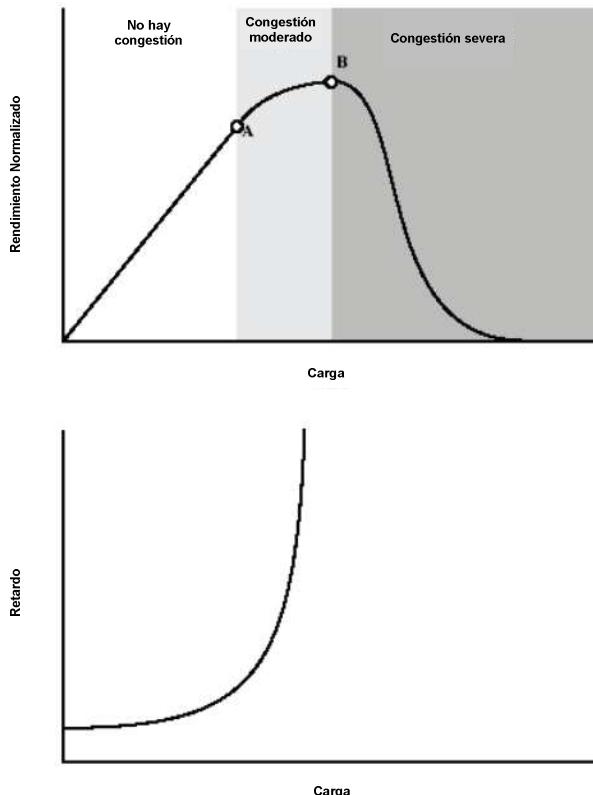
La potencia se define como la relación entre el rendimiento y el retardo.



Funcionamiento real

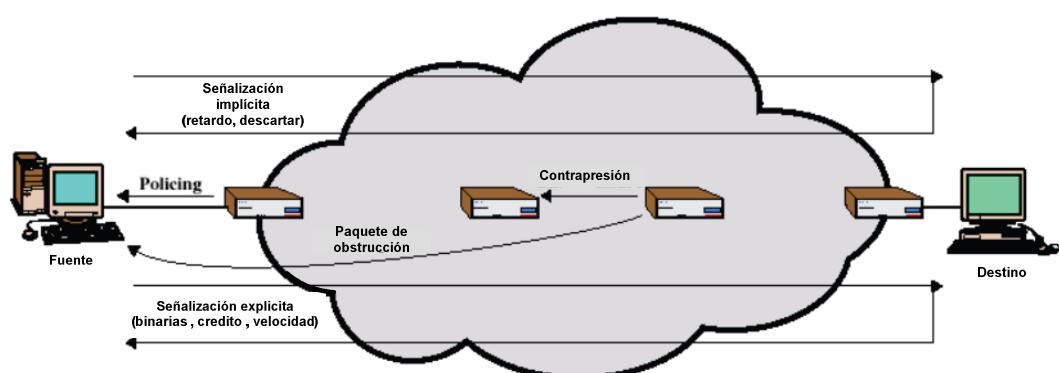
Se supone una memoria temporal finita:

- A mas carga, mas rendimiento de la red , pero llega el momento en el que el rendimiento crece a una velocidad menor que la carga , debido a que entra en estado de congestión moderado, aumentando los retardos de los paquetes. Si la carga sigue creciendo, llega un momento en el que se llenan las memorias temporales de los nodos y se rechazan paquetes y el rendimiento decae.



■ Control de congestión

Principales técnicas de control de congestión.



Contrapresión

Un nodo que sufre congestión frena total o parcialmente el flujo del nodo anterior. Si persiste la restricción se propaga hacia atrás. Se utiliza en redes orientadas a conexión que permiten control de flujo a nivel de enlace (ej X25). Si un nodo se satura avisa al nodo si lo está saturando y así hacia atrás hasta que se termine la saturación.

Paquetes de obstrucción

Es un paquete de control generado por un nodo congestionado y transmitido hacia atrás para reducir el flujo.

El origen reduce la velocidad de envío de tráfico hasta que deje de recibir mensaje de ralentización.

- Envía un mensaje de ralentización por cada datagrama rechazado.
- Para anticiparnos a la congestión se pueden enviar mensajes de ralentización cuando la ocupación de las memorias temporales se aproxime a su capacidad.

Señalización implícita

Los sistemas finales deben tener la capacidad de detectar la congestión. Detectando:

- Incremento del retardo de transmisión.
- Rechazo de paquetes.

Útil en configuraciones no orientadas a conexión (datagramas)

- TCP establece conexiones lógicas entre sistemas finales.

También en redes orientadas a conexión (LAPF – Frame Relay)

Señalización explícita

La red alerta a los sistemas finales acerca del incremento de la congestión, y estos toman las medidas oportunas para reducir la carga.

En redes orientadas a conexión. Las aproximaciones de señalización explícita de congestión pueden trabajar en estos dos sentidos:

- Hacia atrás: Prevención aplicable en sentido opuesto al de notificación. Los paquetes pueden encontrar recursos congestionados.
- Hacia delante: Prevención aplicable en sentido de notificación. Los paquetes han encontrado congestión.
 - Se devuelve el eco hacia el emisor
 - Control de flujo en capa superior
- En ambos casos se notifica mediante bits en cabecera de paquetes de datos o paquetes de control específicos.

Tres categorías de técnicas:

- Binarias: Se activa un bit en el paquete de datos transmitido por un nodo congestionado.
- Basadas en crédito: El emisor tiene un crédito sobre la conexión lógica
- Basadas en velocidad: Límite de velocidad para el emisor sobre una conexión lógica.

■ Gestión de tráfico

En función del tipo de tráfico hay que encaminar los paquetes. Criterios para la aplicación de las técnicas de control de congestión y la política de rechazo.

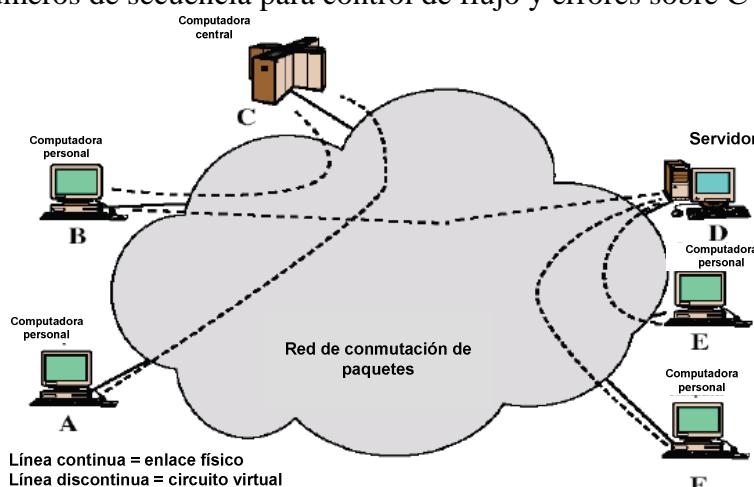
- Imparcialidad: Distintos flujos, igual congestión
 - Último recibido, primero descartado.
 - Mantenimiento de una cola por cada conexión lógica.
- Calidad de servicio: Distintos flujos de tráfico, distinta QoS.
 - Sensible al retardo, insensible a pérdidas.
 - Insensible al retardo, sensible a pérdidas.
 - Sensible al retardo, sensible a pérdidas (video en tiempo real).
- Reservas : Acuerdo entre la red y el usuario

- Trafico que excede el acuerdo es susceptible de rechazo.
- El nodo al que se conecta el usuario supervisa el trafico.

5. X.25

Conecta un DTE a una red de conmutación de paquetes proporcionando un circuito virtual. Estándar ITU-T . Especifica tres niveles:

- Capa física: Entre DTE y DCE (modem local) . Recomendación del estándar X.21
- Capa de enlace: Usa el protocolo LAPB (Protocolo Equilibrado de Acceso a Enlace).
- Capa de paquete: Define una conexión lógica entre estaciones (circuito virtual externo) . Añade a los datos de usuario una cabecera:
 - Identificación de CV
 - Números de secuencia para control de flujo y errores sobre CV.



6. X.25-Frame Relay

Características X.25:

- Paquetes de control de llamada por el mismo circuito virtual.
- Multiplexación de circuitos virtuales en capa 3 (red).
- Capa 2 y capa 3 incluyen mecanismos de control de flujo y errores.

Características de Frame Relay

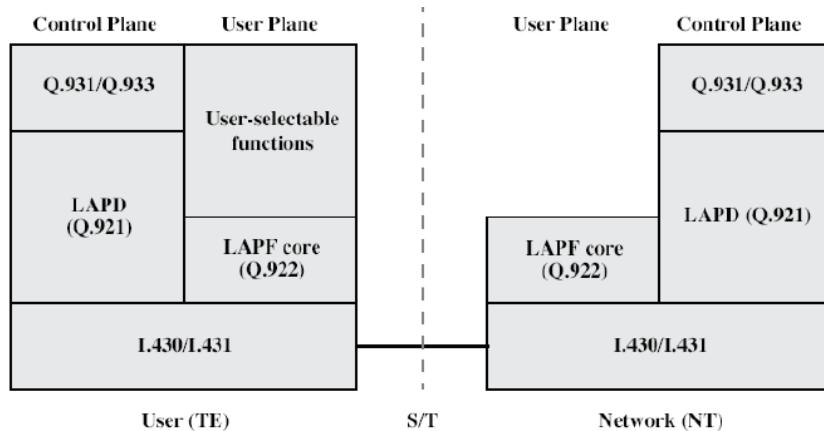
- Control a través de una conexión lógica distinta
- Multiplexación y conmutación en capa 2.
- No hay control de flujo ni de errores.

7. Frame Relay

En Frame Relay se consideran dos planos de operación:

- El plano de control (C) , involucrado en el establecimiento y liberación de conexiones lógicas. Los protocolos del plano de control se implementan entre el usuario y la red. En el nivel de enlace se utiliza el protocolo LAPD.
- El plano de usuario (U) , responsable de la transferencia de datos y da la funcionalidad extremo a extremo . En retransmisión de funciones básicas LAPF:
 - Delimitación de tramas , alineación y transferencia.
 - Multiplexación/demultiplexación utilizando el campo de dirección.
 - Detección de errores.

- Funciones de control de congestión.

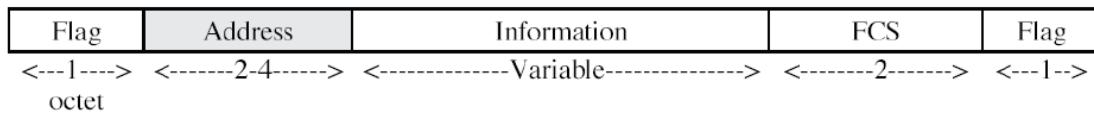


Servicio orientado a conexión:

- Se preserva el orden de transferencia de tramas.
- Probabilidad pequeña de pérdida.

Formato de trama (no tiene campo de control)

- Un único tipo de trama.
- La conexión lógica solo transmite datos de usuario
- No hay números de secuencia.



8. ATM

Modo de transferencia asíncrono que proporciona un esquema de transmisión de datos flexible y de alta capacidad. Es una red de conmutación de paquetes orientada a conexión. Paquetes de tamaño fijo llamados celdas.

La idea básica de ATM es que, mediante multiplexación estadística, el canal de transmisión nunca se desaproveche por no haber nada que enviar en un instante.

Arquitectura de protocolos:

El modelo de referencia de protocolo de la RDSI-BA está formado por tres planos, el plano de gestión, el plano de control y el plano de usuario.

- El plano de control se encarga de la señalización y del tratamiento de la información de control de la conexión.
- El plano de usuario es el responsable de la transferencia de la información útil.
- El plano de gestión se divide en dos bloques:
 - El plano de gestión propiamente dicho que controla el funcionamiento global del sistema.
 - Gestión de capa, encargadas del manejo de recursos, parámetros de usuario y de la información de Operación y Mantenimiento de la red.

El plano de usuario proporciona funciones para la transferencia de información de usuario: voz , video , datos Las conexiones commutadas son gestionadas a través de las funciones del plano de control, que se encarga del establecimiento , monitorización y terminación de las conexiones.

Conexiones lógicas ATM

- Conexión de canal virtual (VCC).
- Conexión de camino virtual (VPC).

El canal virtual , CV , se define en ATM como un termino genérico para describir la capacidad de comunicación unidireccional para transportar celdas ATM. El camino virtual TV, es un termino genérico para designar un agrupamiento de canales virtuales. Todos los CV de un TV tienen los mismos puntos de terminación.

Características:

- Calidad del servicio
- Conexiones commutadas y semipermanentes
- Integridad de la secuencia
- Negociación de parámetros

La capa ATM genera celdas de 53 bytes , constituidas por una cabecera de 5 bytes que transporta la información de control y un cuerpo de 48 bytes con la información útil (de usuario , de gestión , etc) procedente de las capas superiores.

