

Comunicaciones

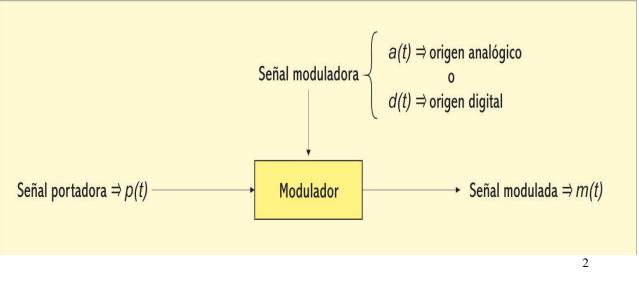
Clase 9

Modulación y digitalización de señales

1

MODULACION

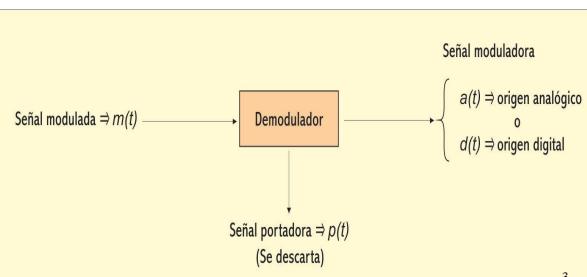
Ciertas características de una onda (portadora) se modifican en función de otra onda (moduladora), que contiene la información a transmitir resultando una onda (modulada) que será trasmisita.



2

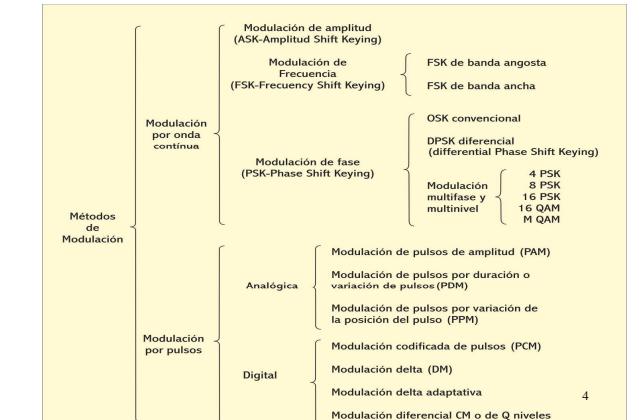
DEMODULACION

Es el proceso inverso por el cual la señal modulada recibida es procesada, recuperando la señal moduladora que contiene la información.



3

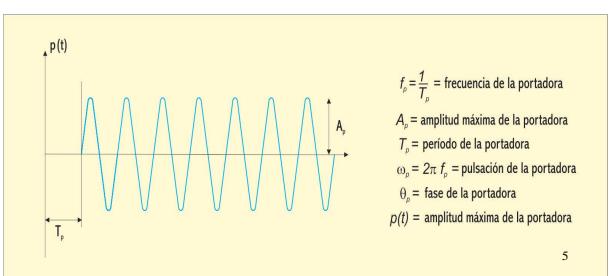
Clasificación de las técnicas de modulación



4

SEÑAL PORTADORA

Tiene una frecuencia apta para su trasmisión por el canal. Es una onda sinusoidal con tres características (amplitud, frecuencia o fase), una de las cuales se modifica en función de la señal moduladora (que es la señal útil, pero su frecuencia no es apta para la trasmisión por el canal).



5

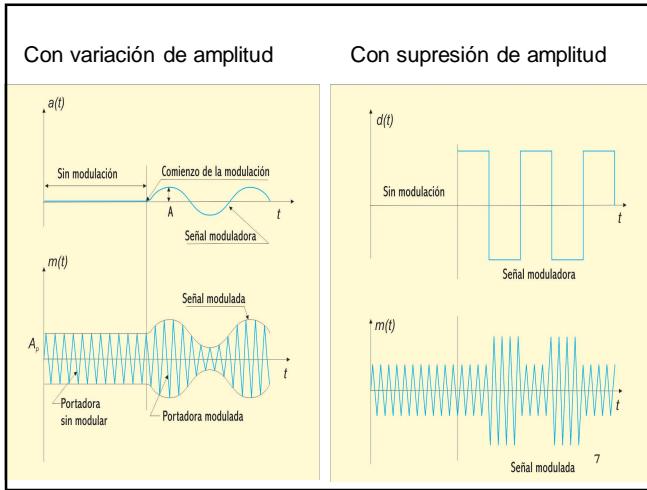
MODULACION DE AMPLITUD (AM)

El parámetro de la señal portadora que se hace variar es la amplitud.

Hay dos tipos de modulación de amplitud:

- Por variación del nivel de la onda portadora: usada para trasmisitir la voz en radios de ondas medias.
 - La frecuencia de la señal moduladora debe ser mucho menor que la frecuencia de la portadora
 - La señal moduladora es la envolvente de la modulada
- Por supresión de onda portadora: usada para trasmisitir señales digitales

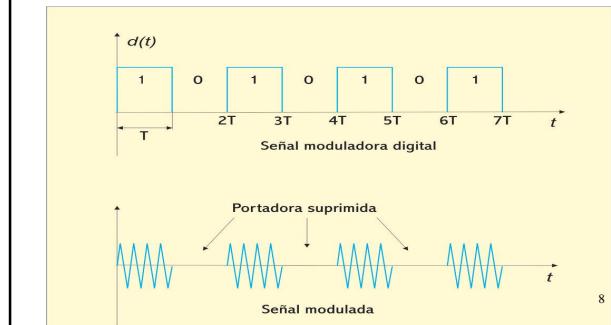
6



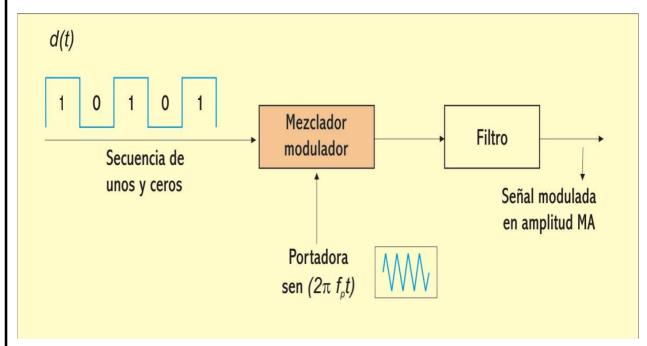
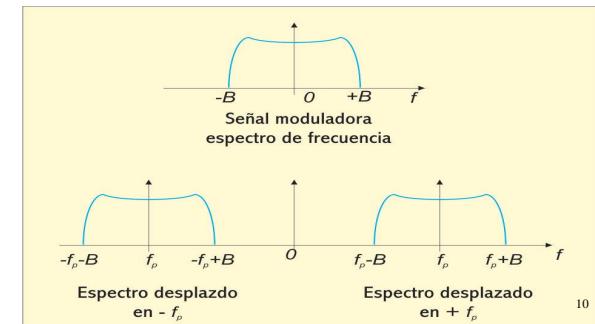
MODULACION ASK (Amplitude Shift Keying)

Usada en sistemas telegráficos, donde la señal modulada tiene:

- la misma amplitud de la portadora para enviar el 1
- la supresión de la portadora para enviar el 0.

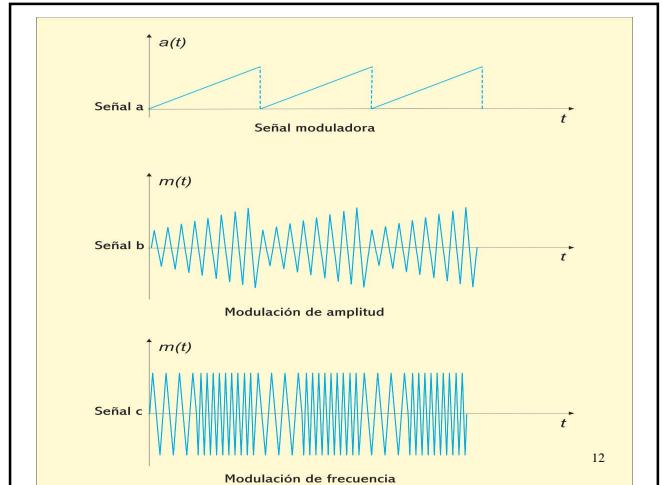


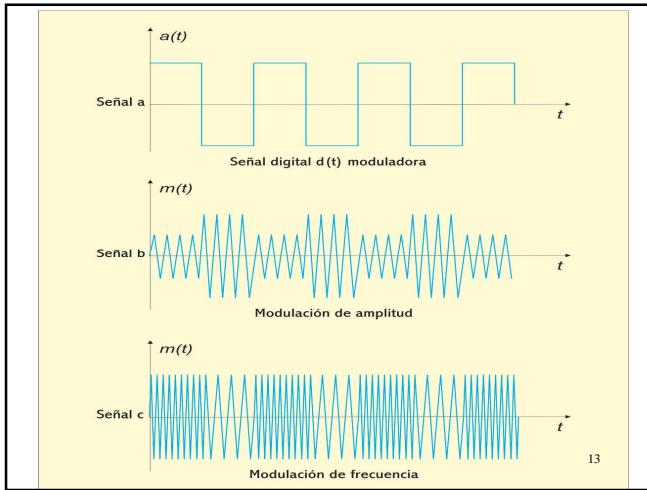
Hay un desplazamiento en frecuencia del espectro de la señal moduladora generando dos bandas laterales a ambos lados de la portadora.
El ancho de banda de la señal modulada duplica el de la señal moduladora.



MODULACION DE FRECUENCIA (FM)

- El parámetro de la señal senoidal de la portadora que se hace variar según la señal moduladora es la frecuencia.
- Cuando la señal moduladora es de origen analógico, la señal modulada varía su frecuencia dentro de valores continuos.
- Cuando la señal moduladora es de origen digital, la señal modulada toma un número discreto de valores de la frecuencia, iguales al número de valores que corresponden a la señal moduladora.





Proceso de modulación en frecuencia

La frecuencia y la pulsación están relacionadas: $\omega = 2 \pi f$
En una señal modulada en frecuencia, la frecuencia es diferente a cada instante, y la señal modulada no puede representarse mediante una expresión sinusoidal ordinaria: $f(t) = A \cdot \sin(\omega t)$ sino por una función sinusoidal generalizada: $f(t) = A \cdot \sin \theta(t)$.

El ángulo $\theta(t)$ se modula en frecuencia por la señal:

$$a(t) = A \cdot \sin \omega_a t$$

La frecuencia instantánea es: $\omega_i = \omega_p + \Delta\omega \cdot \cos \omega_a t$

Definimos desviación de frecuencia: $\Delta\omega = k \cdot \omega_a \cdot A$

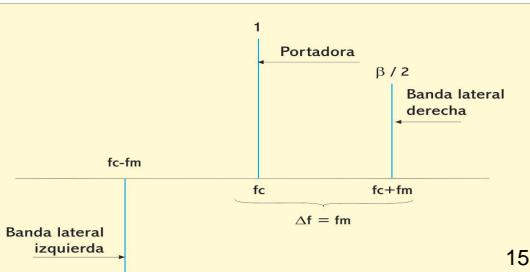
Definimos índice de modulación: $\beta = \Delta\omega / \omega_a$

14

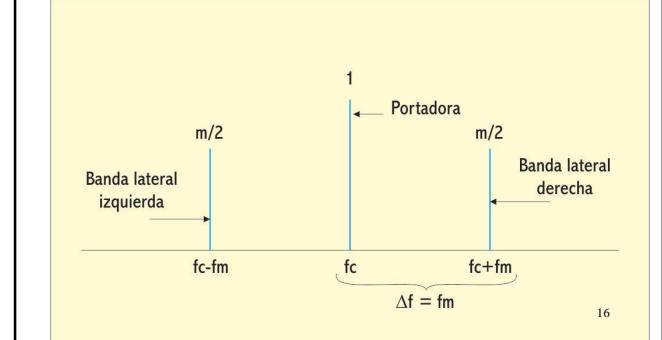
Modulación de frecuencia de banda angosta

Si el índice de modulación es pequeño ($\beta < \pi/2$) se tiene una señal de modulación de frecuencia de banda angosta.

Hay una diferencia con el espectro de modulación en amplitud: las bandas laterales están en cuadratura de fase con respecto a la portadora.



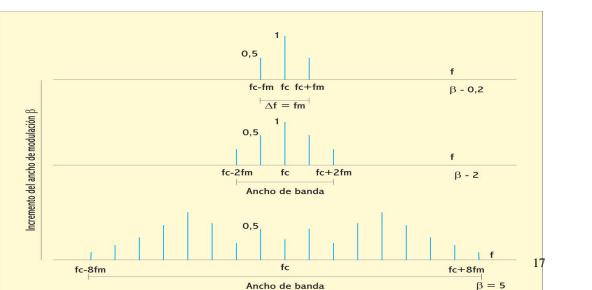
El ancho de banda de la modulación de frecuencia de banda angosta, es igual al de la modulación de amplitud y vale $2 fm$.
 fm : máxima componente de frecuencia de la señal modulante



Modulación de banda ancha

Las ventajas de la modulación FSK sobre el método ASK se hacen importantes cuando β es grande ($\beta > \pi/2$).

Esto aumenta la protección contra el ruido e interferencias, superando a la modulación de amplitud, pero usando mayor ancho de banda.



El ancho de banda se calcula con la regla de Carson:

- Para una señal portadora senoidal modulada en frecuencia la mayor parte de la energía está dentro de un ancho de banda dado por:

$$B = 2 (\Delta f + fm)$$

donde:

Δf es la máxima desviación de frecuencia que sufre la señal portadora

fm es la máxima frecuencia de la señal moduladora

18

MODULACION DE FASE (PM)

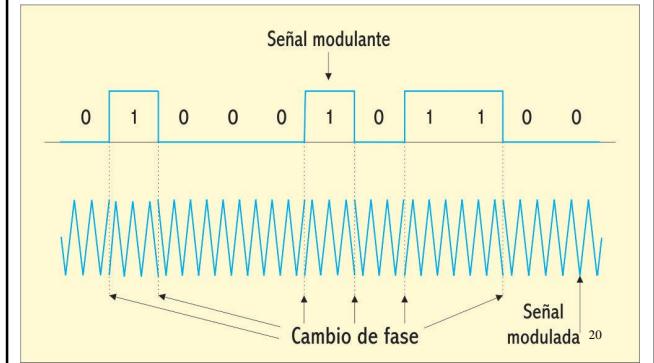
El parámetro de la portadora que se hace variar es la fase. La amplitud y la frecuencia de la portadora permanecen constantes.

Dos alternativas:

- PSK convencional: las variaciones de fase se refieren a la fase de la portadora sin modular.
- PSK diferencial: las variaciones de fase se refieren a la fase de la portadora del estado inmediatamente anterior al considerado.

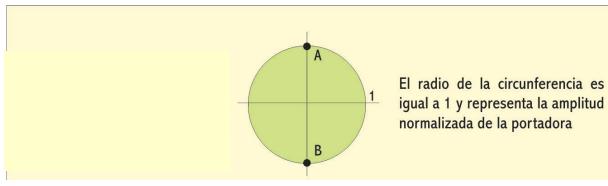
19

En la señal portadora hay discontinuidades de fase al comienzo y al final de cada intervalo T (son las transiciones de 0 a 1 ó de 1 a 0 producidas por la señal moduladora).



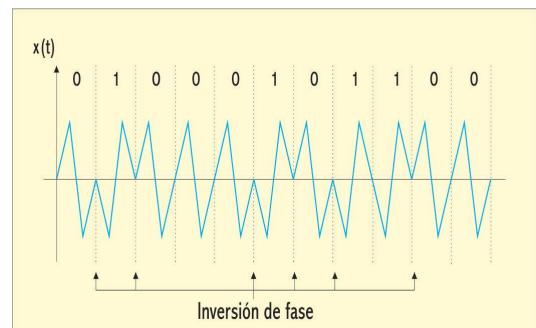
Modulación en 2 PSK

Es una llave electrónica controlada por la señal de datos (binaria) que conmuta entre la portadora y su versión invertida (desfasada 180°).



21

Forma de onda de la portadora modulada en 2 PSK



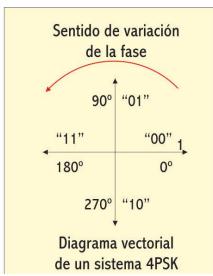
22

Modulación multifase

La fase de la onda portadora puede tomar secuencialmente M valores posibles separados entre sí por un ángulo definido por la expresión:

$$\theta = \frac{2\pi}{M}$$

Si $M = 4$ tenemos el método 4 PSK o QPSK.

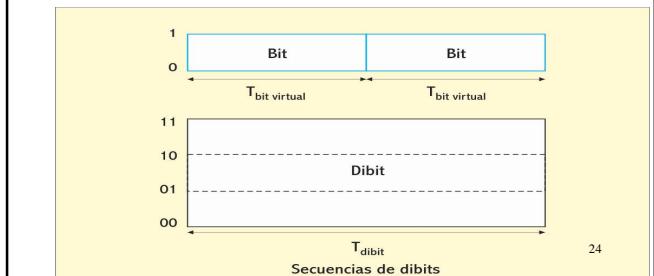


Nº de Secuencia	Secuencia de bits	Fase asignada
1	00	0°
2	01	90°
3	11	180°
4	10	270°

En un periodo de transmisión de un díbito se están transmitiendo en realidad dos bits.

Comparando 2 PSK con 4 PSK se ve que el ancho de banda de este último es la mitad.

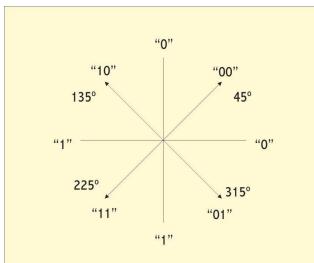
El sistema 4 PSK es más sensible a los fenómenos de interferencia y aumenta la tasa de error.



24

Modulación en 8 PSK

Cada fase representa un grupo de 3 dígitos binarios o tribits. Se usa el código de Gray (estados vecinos difieren en un bit). El diagrama de los estados posibles se llama "constelación".

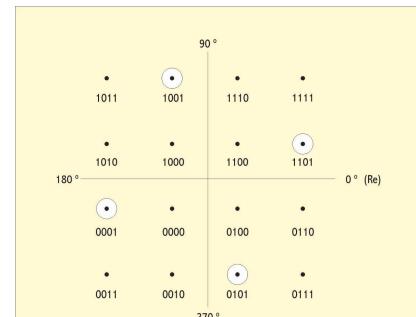


Nº de Secuencia	Dígitos binarios	Fase asignada
1	011	0°
2	010	45°
3	000	90°
4	001	135°
5	101	180°
6	100	225°
7	110	270°
8	111	315°

25

QAM es modulación en cuadratura, combina el desplazamiento de fase y amplitud.

Ejemplo: constelación del sistema 16QAM con 16 opciones, cada una transmite cuatro bits con una sola transición.



26

MODEMS

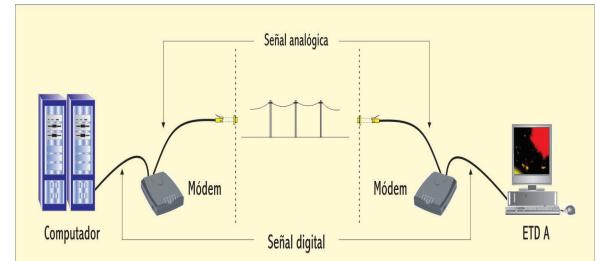
Hay distintos tipos:

- Módem de rango vocal.
- Módem banda base.
- Cable módem.
- Módem ADSL.
- Equipos excitadores de línea o driver.

27

Módem de rango vocal

Convierte las señales digitales provenientes de una computadora en señales analógicas aptas para ser transmitidas por la red telefónica.



28

Funciones básicas de los módems

- **Codificación y decodificación:** mediante códigos de línea se adaptan la señal digital a la línea de transmisión.
- **Modulación y la demodulación:** las señales digitales son transformadas en analógicas para pasar por el canal.
- **Recepción y transmisión de señales:** intercambio de datos a través de una interfaz digital estándar
- **Técnicas de control del flujo:** compensa las diferencias entre la velocidades a las que recibe los datos y a las que transmite
- **Ecualización:** permite brindar un nivel de salida constante e independiente de la frecuencia que se está transmitiendo.
- **Protecciones:** absorbe picos de tensión en la línea

29

Funciones especiales de los módems

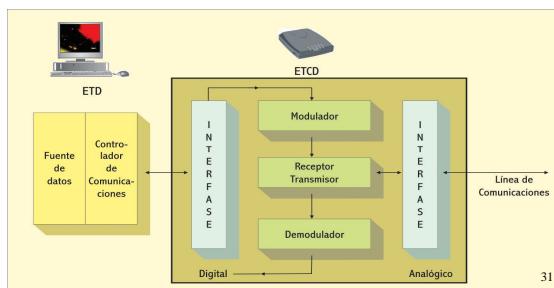
- Discado y recepción automática de llamadas
- Almacenamiento y procesamiento de la información (reducido)
- Detección y corrección de errores
- Compresión de datos
- Servicios de voz
- Servicios de fax
- Multiplexado de canales

30

Sincronismo de los módems

Los módems de datos de frecuencia de voz pueden enviar datos asincrónicos o sincrónicos.

Los modems sincrónicos usan señales de reloj en las interfaces digitales (lo genera o lo toman de la recepción).



31

Control del flujo de datos

La información entre la interfaz y la línea puede estar a distintas velocidades por lo que poseen una memoria intermedia (*buffer*).

Las razones de estas diferencias de velocidades son:

- corrección de errores de recepción
- compresión y descompresión de datos

Se hace por hardware (operando la señal RTS en la interfaz) o por software:

- enviando los códigos ASCII 17 y 19 (XON y XOFF)
- enviando las señales pedido (ENQ) y aceptación (ACK)

32

Detección y corrección de errores

Recomendación V.42: procedimientos de corrección de errores para los ETCD que utilizan la conversión de modo asincrónico a modo síncrono.

La comunicación con el computador es en modo asincrónico, mientras que la comunicación de modem a modem es sincrónica usando protocolos HDLC.

Utiliza el procedimiento CRC para detección de errores.

Otra función es la compresión de datos para reducir los tiempos de transmisión (muy útil para trasmisir imágenes).

33

Normas de módems

La principal normalización es la del UIT-T.

Los módems de frecuencia van de 300 a 56 kbps.

Están ordenados por recomendaciones de la serie V.

34

Norma	V_M	$V_{T\max}$	F_p	Modulación	Modo	Tipo	Enlace
V.21	300 baudios	300 bps	Canal N° 1: 1800 Hz Canal N° 2: 1750 Hz	FSK	Asincrónico	Dúplex	RTC
V.22	600 baudios	1200 bps	Canal N° 1: 1200 Hz Canal N° 2: 2400 Hz	PSK	Asincrónico Síncrono	Dúplex	RTC
V.22 bis	600 baudios	2400 bps	Canal N° 1: 1200 Hz Canal N° 2: 2400 Hz	QAM	Asincrónico	Dúplex	RTC
V.23	1200 baudios 75 baudios	2400 bps	Canal N° 1: 1700 Hz Canal N° R _c : 390 Hz Canal N° R _c : 450 Hz	FSK	Asincrónico Síncrono	Dúplex	RTC
V.26	1200 baudios	2400 bps	Canal N° 1: 1700 Hz	PSK	Síncronico	Dúplex	4 hilos
V.26 bis	1200 baudios	2400 bps	Canal N° 1: 1800 Hz	PSK	Síncronico	Semi-dúplex	RTC
V.26 ter	1200 baudios 75 baudios	2400 bps	Canal N° 1: 1800 Hz Canal N° R _c : 390 Hz Canal N° R _c : 450 Hz	PSK	Asincrónico Síncrono	Dúplex	RTC
V.27	1600 baudios	4800 bps	Canal N° 1: 1800 Hz	DPSK	Síncronico	Dúplex	2 hilos
V.27 bis	1600 baudios	4800 bps	Canal N° 1: 1800 Hz	DPSK	Síncronico	Dúplex	2 hilos
V.27 ter	1600 baudios	4800 bps	Canal N° 1: 1800 Hz	DPSK	Síncronico	Dúplex	RTC
V.29	2400 baudios	9600 bps	Canal N° 1: 1700 Hz	QAM	Síncronico	Dúplex	4 hilos
V.32	2400 baudios	9600 bps	Canal N° 1: 1800 Hz	QAM/TCM	Asincrónico	Dúplex	RTC

35

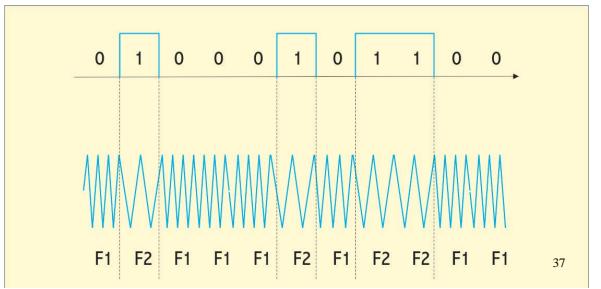
Norma	V_M	$V_{T\max}$	F_p	Modulación	Modo	Tipo	Enlace
V.32 bis	2400 baudios	14400 bps	Canal N° 1: 1800 Hz	QAM/TCM	Asincrónico	Dúplex	RTC
V.33	2400 baudios	14400 bps	Canal N° 1: 1800 Hz	QAM/TCM	Asincrónico	Dúplex	4 hilos
V.34	3429 baudios	33600 bps	Varios	QAM/TCM	Síncronico	Dúplex	RTC

36

Recomendación V.21

Los antiguos módems utilizaban este tipo de modulación para 300 bps en un canal a dos hilos con:

- portadoras en 1.080 y 1.750 Hz (una para trasmisión y otra para recepción)
- desviaciones de 100 Hz hacia ambos extremos (el cero es frecuencia alta)



37

Recomendación V.29

Permiten obtener velocidades de hasta 9600 bps a través de líneas dedicadas a cuatro hilos, con señales multivivel de 16 valores (cuatro bits por Baudio o cuadribits) usando la modulación en cuadratura QAM.

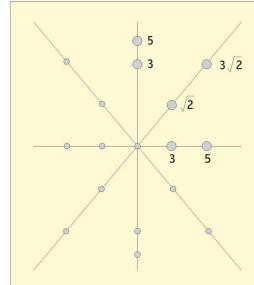
El tren de datos se divide en grupos de cuatro bits (cuadribits).

El primer bit (Q1) determina la amplitud de la señal. Los siguientes (Q2, Q3 y Q4), se codifican mediante un cambio de fase con relación a la fase del elemento precedente.

38

FASE ABSOLUTA	AMPLITUD RELATIVA	Q1	Q2	Q3	Q4	CAMBIO DE FASE
0°	3	0	0	0	1	0°
5	1	0	0	0	1	
45°	$\sqrt{2}$	0	0	0	0	45°
$3\sqrt{2}$	1	0	0	0	0	
90°	3	0	0	1	0	90°
5	1	0	1	0	0	
135°	$\sqrt{2}$	0	0	1	1	135°
$3\sqrt{2}$	1	0	1	1	1	
180°	3	0	1	1	1	180°
5	1	1	1	1	1	
225°	$\sqrt{2}$	0	1	1	0	225°
$3\sqrt{2}$	1	1	1	0	0	
270°	3	0	1	0	0	270°
5	1	1	0	0	0	
315°	$\sqrt{2}$	0	1	0	1	315°
$3\sqrt{2}$	1	1	0	1	1	

39

Constelación para la Recomendación V.29.

Cuadribits	Cambio de fase	Amplitud relativa	Cuadribits	Cambio de fase	Amplitud relativa
0001	0°	3	1001	0°	5
0000	+ 45°	$\sqrt{2}$	1000	+ 45°	$3\sqrt{2}$
0010	+ 90°	3	1010	+ 90°	5
0011	+ 135°	2	1011	+ 135°	3 2
0111	+ 180°	3	1111	+ 180°	5
0110	+ 225°	2	1110	+ 225°	3 2
0100	+ 270°	3	1100	+ 270°	5
0101	+ 315°	$\sqrt{2}$	1101	+ 315°	$3\sqrt{2}$

40

Recomendación V.32

Funcionamiento en modo dúplex a dos hilos.

Usa de técnicas de compensación de eco para la separación de los canales en ambos sentidos.

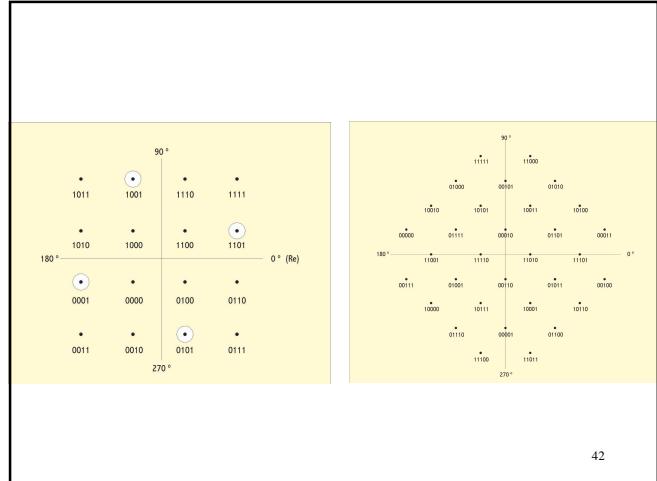
Modulación de amplitud en cuadratura para cada canal con transmisión síncrona en línea a 2400 Baudios.

A la velocidad de transmisión máxima de 9.600 bps permite utilizar dos esquemas de modulación:

-clásico con 16 estados de portadora y cuatro bit por Baudio (2400 x 4 = 9600 bps)

-otro con codificación entrelazada con 32 estados de portadora (cinco bits por Baudio).

41



42

Recomendación V.90 o V.92

Son los modems usados para conectarse a Internet por la red telefónica antes del ADSL.

La conexión es asimétrica (velocidades distintas).

- el lado servidor transmite en alta velocidad (bajada)
- el lado cliente transmite en baja velocidad (subida)

Se utiliza modulación QAM, con codificación entrelazada o *Trellis Coded Modulation*.

43

Configuración de modems

Tienen un microprocesador para hacer funciones automáticas o preprogramadas por *hardware* o por *software*.

Hardware: con llaves (DIP switches) para elegir opciones.

Software: comandos Hayes (desarrollados por *Hayes Microcomputer Incorporated*, desde la interfaz mandando la secuencia AT.

44

COMANDO	FUNCIONES GENERALES	PARTICULARES
A	Facilita el modo de respuesta en forma manual.	B0 = UTT - T. B1 = Normas Bell.
B	Selecciona el tono de respuesta y la velocidad de trabajo.	B _n = Distintas velocidades.
D	Selecciona el modo de discar por la red telefónica.	DP = Por pulsos. DT = Por tonos. D _n = Otras variantes.
E	Habilita o deshabilita el eco en la pantalla.	E0 = Sin eco E1 = Con eco.
F	Permite seleccionar modo Dúplex o Semidúplex.	
H	Fuerza al módem a simular colgar o descolgar el micrófono.	E0 = Colgar. E1 = Descolgar.
I	Solicita información sobre el equipo.	I0 = Código de identificación de la ROM. I _n = Otras informaciones. I0 = Mínimo. I _n = Otros valores intermedios.
L	Regula el volumen del parlante del equipo.	L4 = Máximo.
M	Activa o desactiva el parlante.	
O	Permite volver a conectar la línea.	
Q	Habilita o deshabilita el envío de códigos de resultado.	
S	Permite leer y mostrar el valor almacenado en un registro.	
V	Muestra los códigos de resultado en forma numérica o escrita.	
X	Habilita un conjunto de facilidades del equipo. Siempre el valor de default es el máximo.	X= = Incluye un conjunto mínimo de prestaciones. X _n = Agrega prestaciones al conjunto mínimo. X4 = Conjunto máximo de prestaciones.
Y	Activa o desactiva señales de respuesta, o pausas.	
Z	Permite reinicializar el equipo.	

45

Ajuste de velocidad

Los módem pueden trabajar a diferentes velocidades.

Al establecer el enlace, tratará siempre de conectarse a la máxima velocidad posible y bajaría a medida que la calidad del canal sea menor.

Procedimiento de negociación: se realiza un sondeo de línea con instrucciones denominadas "Secuencias INFO" cuyo resultado fija la velocidad de modulación y de transmisión más convenientes.

La velocidad de modulación puede ser diferente en cada sentido de la comunicación (velocidades asimétricas).

46

ACCESOS DE BANDA ANCHA

El concepto de Acceso de Banda Ancha se aplica a velocidades no inferiores a 2 Mbps.

Se usan redes ya desplegados de amplia cobertura geográfica y con llegada a los usuarios finales ya establecidas:

- cables de cobre utilizados en la red telefónica (tecnologías denominadas xDSL)
- cables coaxiales empleados en las redes de distribución de señales de televisión (normas DOCSIS con equipos cable módem).

47

ABREVIATURA DENOMINACIÓN

ABREVIATURA	DENOMINACIÓN
ADSL/DSL2+	Línea Digital de Abonado Asimétrica Asymmetric Digital Subscriber Line
RADSL	Línea Digital de Abonado Asimétrica de Velocidad Variable Rate Adaptive Asymmetric Digital Subscriber Line
HDSL/HDSL1	Línea de Abonado de Alta Velocidad High Bit Rate Digital Subscriber Line
SDSL	Línea Digital de Abonado Simétrica Symmetric Digital Subscriber Line
VDSL	Línea de Digital Abonado de Muy Alta Velocidad Very High-Speed Digital Subscriber Line

48

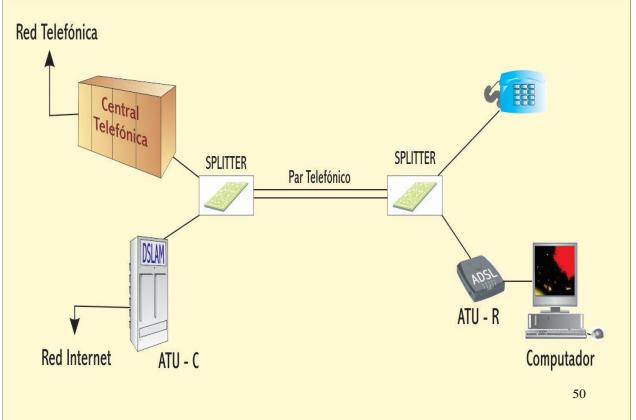
TECNOLOGIA ADSL

ADSL se presta sobre un único par de cobre por el que se brinda el servicio telefónico.

El canal descendente tiene mayor velocidad que el canal ascendente (asimétrico) ya que en Internet el volumen de información recibida es mucho mayor que la enviada desde el usuario.

Velocidades mayores a los módems de datos de rango vocal
Solución de bajo costo para conectar a una LAN a la Red Internet.

49

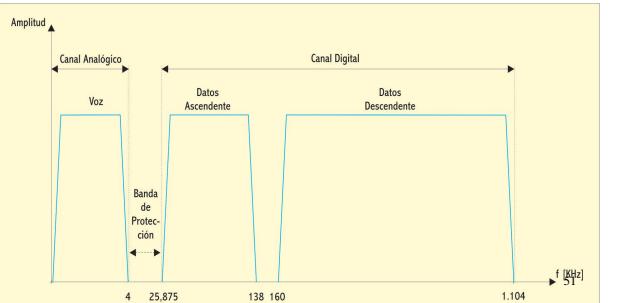


50

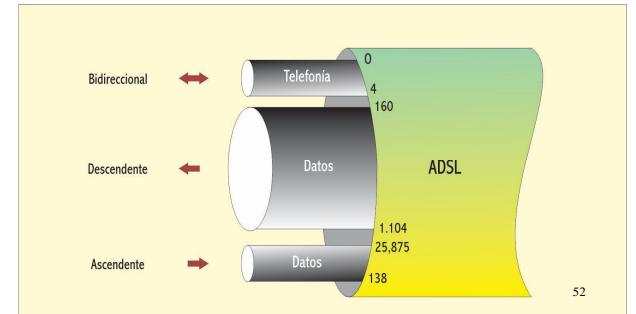
Recomendación UIT G.992.1

Divide el ancho de banda en tres canales diferentes.

- Un canal de voz analógico separado por splitters.
- Dos canales digitales (ascendente y descendente).

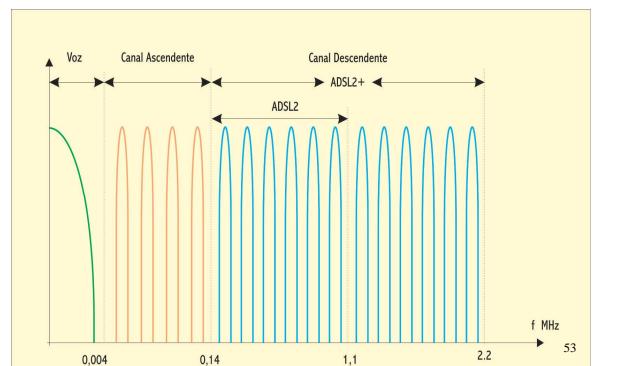


La tecnología ADSL usa código de línea **DMT**, también conocida como **OFDM** (divide el ancho de banda en un conjunto de subportadoras ortogonales de diferentes frecuencias, cada una se modula con QAM o PSK).



52

ADSL2 plus: aumenta la velocidad descendente hasta 24 Mbps (evolución del sistema ADSL y ADSL2).



Distribución de frecuencias y velocidades máximas:

ADSL2+ Anexo A	Tel	Canal ascendente = 0,8 Mbps	Canal descendente = 24 Mbps	
	25	138		2.208 KHz
ADSL2+ Anexo L	Tel	Canal ascendente = 2,5 Mbps	Canal descendente = 20 Mbps	
	25	276		2.208 KHz
ADSL2+ Anexo J		Canal ascendente = 2,5 Mbps	Canal descendente = 20 Mbps	
	0	276		2.208 KHz

54

Ventajas y desventajas de ADSL

- Permite la operación telefónica y navegar por la Red Internet.
- No requiere una infraestructura especial, reusando la planta externa existente.
- Menor costo del servicio y del tiempo de instalación.
- Velocidad mayor que con módems de frecuencia vocal.
- Respecto de **Cable Módem** tiene velocidad constante e independiente de los usuarios conectados.
- Permite la telefonía IP a costos mucho menores que la telefonía clásica.
- Los enlaces ADSL pueden ser usados como red de *back-up* de redes WAN empresariales.

55

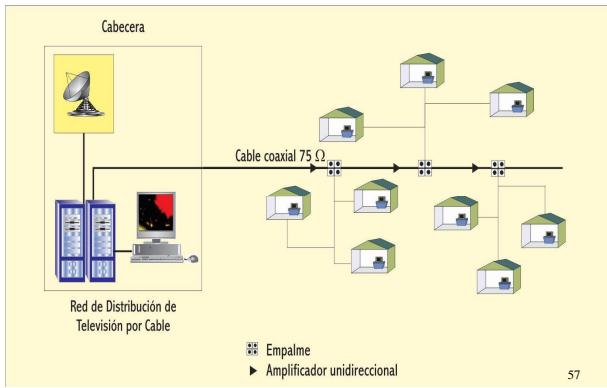
CABLE MODEM

Para la conexión con Internet se utilizan las redes de distribución de señales de televisión por cable.

Las primeras redes tenían cables coaxiales de cobre, luego se formaron redes híbridas con transporte de fibra óptica y distribución en cobre.

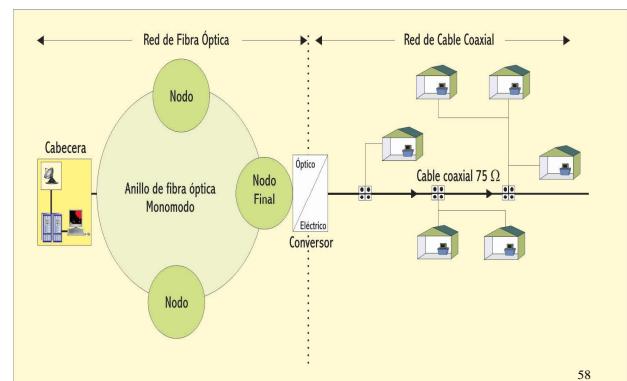
56

Red de TV por cable de cobre



57

Red de TV híbrida (por cables de fibra y de cobre)



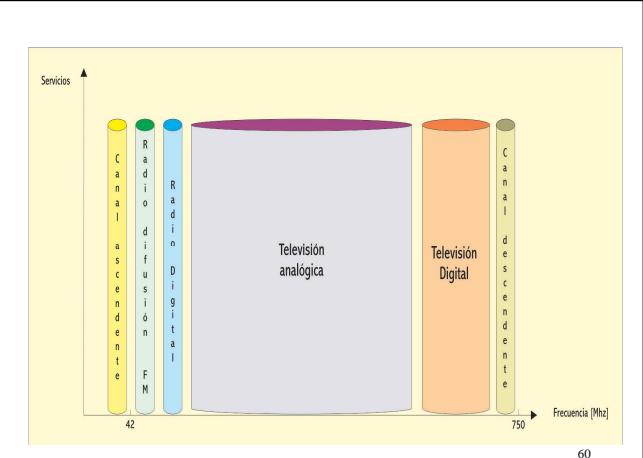
58

Servicios

El Cable Modem permite proveer servicios con protocolos que establecen un canal transparente entre la cabecera y el usuario final:

- Televisión analógica.
- Televisión Digital.
- Radio difusión FM.
- Radio digital.
- Acceso a la Red Internet.
- Telefonía.
- Servicios multimedia con calidad de servicio.
- Administración de los servicios.

59

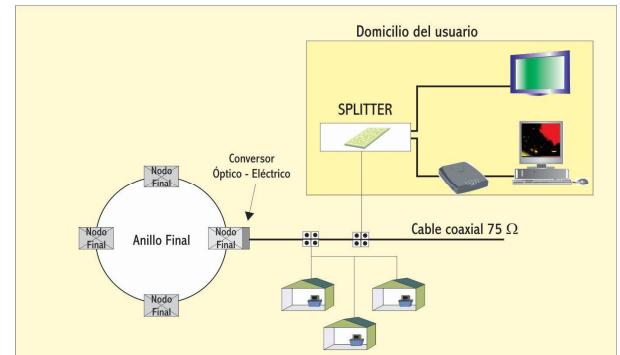


60

Equipo Cable Módem

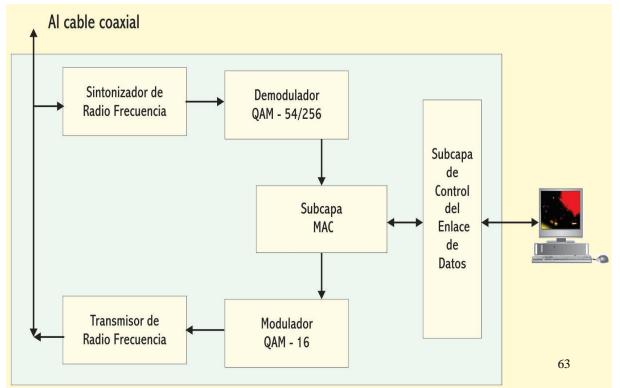
Los equipos cable módem pueden ser externos o internos.
 -Los externos se conectan directamente al computador por Ethernet o USB.
 Trabajan con la mayoría de los sistemas operativos y plataformas de *hardware*.
 Tienen incorporado un *splitter* que permite conectar a ellos el televisor y el computador.
 -Los internos se colocan como una tarjeta adicional a un bus PCI.

61



62

Diagrama en bloque de un cable modem:



63

Las especificaciones DOCSIS

Son un conjunto de estándares para transmisión de datos sobre redes de televisión por cable.

Disponibles en la página Docsis.org

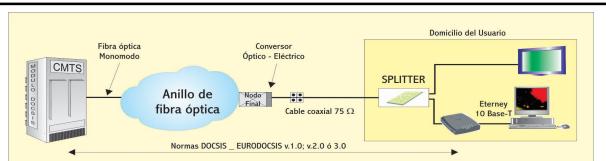
Utilizan esquemas de modulación QAM y QPSK RF.

Dos tipos de normas DOCSIS:

-europeas (EuroDOCSIS): canales de 8 MHz con Norma PAL, elaboradas por **Cable Europe Labs**

-americanas: canales de 6 MHz con Norma NTSC, elaboradas por **CableLabs**.

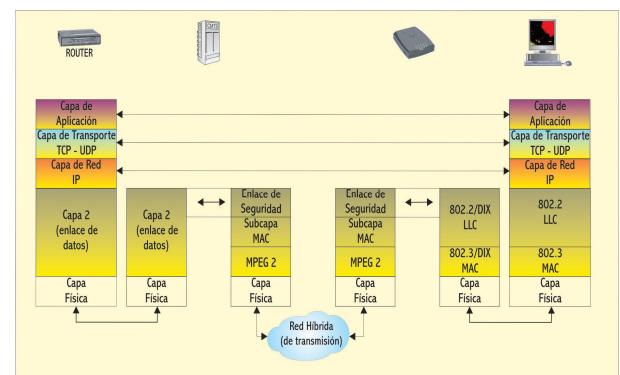
64



Versión	Canal descendente			Canal ascendente	
	Máximo de canales	Velocidad máxima DOCSIS	Velocidad máxima EURODOCSIS	Máximo de canales	Velocidad máxima DOCSIS/EURODOCSIS
1.0	1	42.88 Mbps	55.62 Mbps	1	10.24 Mbps
2.0	1	42.88 Mbps	55.62 Mbps	1	30.72 Mbps
3.0 ¹	No están definidos	42.88 Mbps	55.62 Mbps	No están definidos	30.72 Mbps

65

Protocolos utilizados en las normas DOCSIS



66

Comparación entre la tecnología XDSL y Cable Módem

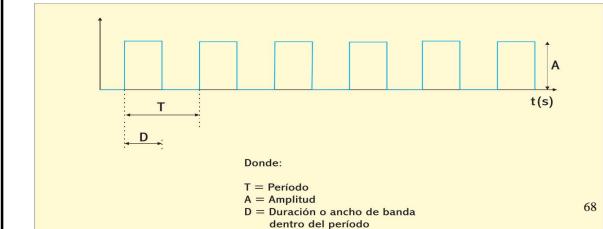
CARACTERÍSTICA	CABLE MÓDEM	ADSL
Fecha de desarrollo	1990	1987
Cableado utilizado	Coaxial 75 Ω más fibra óptica	Par telefónico
Multiplexación	Si - TDMA	No
Codificación	QAM	DMT
Ancho de banda utilizado	Descendente (NTSC) 6 MHz Descendente (PAL) 8 MHz Ascendente 2 Mhz	Descendente 160 a 1.104 kHz Ascendente 2 Mhz
Velocidades máximas	55,62 Mbps . EURODOCSIS	20 mbps (ADSL2+ - Anexo J)
Requiere amplificadores	Si - Bidireccional	No
Soporte de QoS	Si	Si
Telefonía	Si	Si
Alcance geográfico	Teóricamente ilimitado	± 6 km según el par
Servicios adicionales posibles	Si	No - Solo telefonía
Es alternativa a redes WAN	No	Si 67

MODULACION POR PULSOS

La señal moduladora modifica una señal portadora constituida por un tren de pulsos.

Los parámetros que pueden ser alterados son los siguientes:

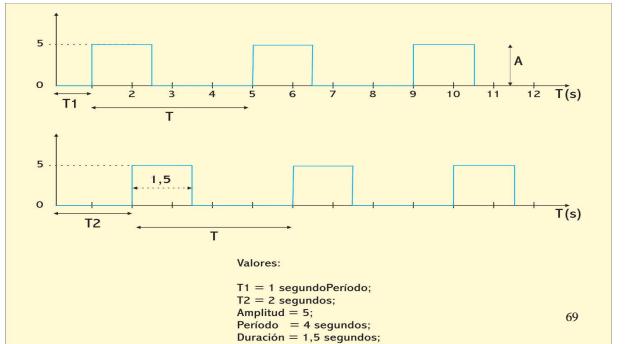
- Amplitud.
- Período.
- Posición del pulso.



68

t: tiempo entre el inicio de un periodo y el comienzo de un pulso.

Dos trenes de pulsos de idéntica amplitud y periodo, con distintas posiciones de pulsos. (*t*₁ y *t*₂).



Clasificación de la modulación por pulsos

Modulación por pulsos analógica

El tren de pulsos puede ser modulado tomando infinitos valores, según tres métodos:

- PAM (Modulación de Amplitud de Pulso)
- PDM (Modulación por Duración de Pulso)
- PPM (Modulación por Posición de Pulso)

Modulación por pulsos digital

El tren de pulsos puede ser modulado tomando un número finito de valores, según tres métodos:

- PCM (Modulación por Pulsos Codificados)
- Modulación Delta
- Modulación Delta Diferencial.

70

Comparación con la modulación por onda continua

Ventajas

La potencia transmitida puede estar concentrada en ráfagas cortas, en lugar de entregarse en forma continua (hay almacenamiento y retransmisión a alta velocidad).

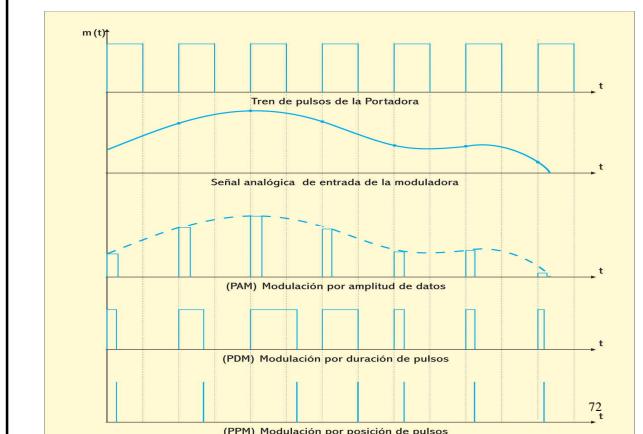
- Permiten realizar procesos de multiplexado.
- Mayor nivel de calidad que los otros procedimientos de modulación vistos antes.

Desventajas:

- Las señales analógicas deben ser convertidas en digitales y luego nuevamente en analógicas.
- Las transmisiones digitales requieren un mayor ancho de banda para transmitir señales analógicas.
- Las señales digitales requieren sincronización del transmisor y receptor.

71

Modulación de pulsos analógica



72

Tipos de modulación

PAM (Modulación de pulsos por amplitud): la señal de salida varía su amplitud siguiendo la señal moduladora, sin cambiar la duración de los pulsos o su ubicación.

PDM (Modulación de pulsos por variación del ancho del pulso): la señal de salida varía la duración de su periodo siguiendo la señal moduladora, sin cambiar la amplitud de los pulsos o su ubicación. Requiere mayor ancho de banda.

PPM (Modulación de pulsos por modificación de la posición del pulso): la señal de salida se retarda o avanza siguiendo la señal moduladora, sin cambiar el ancho y la amplitud de los pulsos.

- PDM y PPM se utilizan en comunicaciones especiales, y en aplicaciones militares.

73

DIGITALIZACION DE SEÑALES

La irrupción de la electrónica digital y los computadores en los sistemas de comunicaciones ha llevado a la migración de las redes analógicas hacia las digitales.

Se deben convertir en digitales las señales analógicas:

- Video
- Música de alta fidelidad
- Imágenes

Hay tres pasos en la digitalización:

- Muestreo
- Cuantificación
- Codificación

74

Teorema de Nyquist o del muestreo

Dada una función cuya energía está enteramente contenida en un ancho de banda cuya frecuencia máxima es f_{max} , si se muestrea a una frecuencia igual o mayor a $2 f_{max}$, la función original puede ser totalmente recuperada por medio de un filtro pasa bajos ideal.

La frecuencia mínima de muestreo será $f_{m_{min}} = 2 f_{max}$

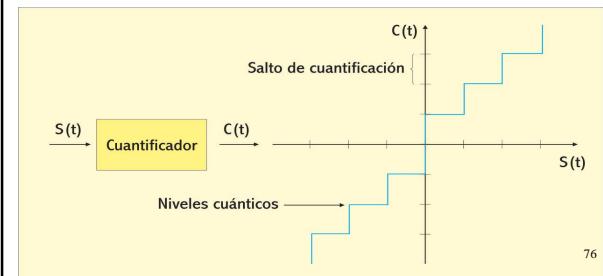
La $f_{m_{min}}$ es la "frecuencia de Nyquist".

Después del muestreo de una señal senoidal quedan muestras cuya amplitud representa la amplitud de la señal en los momentos de ser muestreada (señal PAM).

75

Cuantificación

Es la transformación de los niveles de amplitud continuos de la señal muestreada en un conjunto de niveles discretos establecidos (nivel cuántico o escalón) que son potencias de 2 (64, 128 o 256).



76

Error de cuantificación

La cuantificación implica una pérdida de información y será imposible reconstruir exactamente la señal analógica original a partir de la señal cuantificada.

No es un problema porque el oído humano solo puede percibir diferencias finitas de intensidad.

Error de cuantificación es la diferencia entre:

- la señal de entrada $S(t)$ y
- su versión cuantificada $C(t)$.

También se lo denominar ruido de cuantificación o distorsión por cuantificación.

77

Tipos de cuantificación

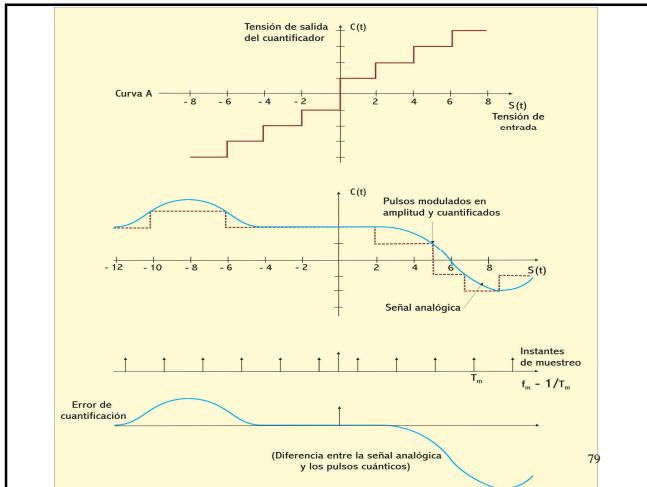
Hay dos tipos: uniforme y no uniforme

Cuantificación uniforme o lineal: los distintos niveles cuánticos tienen la misma medida.

El error de cuantificación es constante e independiente de la señal.

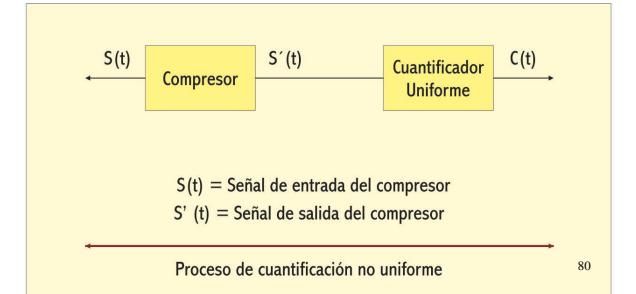
No es apta para señales de bajo nivel porque el error de cuantificación constante es del orden de la señal.

78



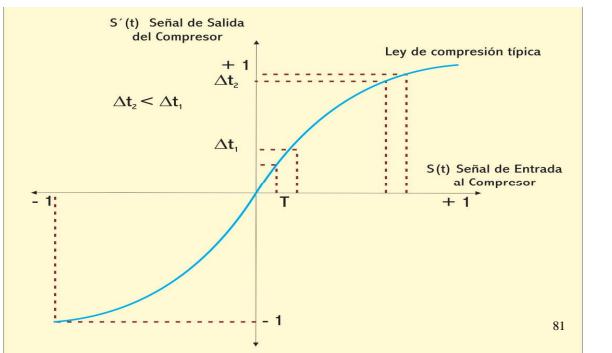
Cuantificación no uniforme: los distintos niveles cuánticos se comprimen en proximidades al valor cero y se expanden hacia los extremos.

Equivale a hacer pasar la señal por un compresor y luego por un cuantificador uniforme.



Compansión

Consiste en comprimir la señal en la fuente y expandirla en el destino mediante una ley del tipo logarítmica.



Leyes de Cuantificación

Se usan dos tipos de leyes de características logarítmicas denominadas Ley μ y Ley A.

Están definidas por el UIT – T en la norma G.711.

En la práctica se usa una aproximación por trazos que divide las curvas en segmentos de recta (Ley A en 13, Ley μ en 15).

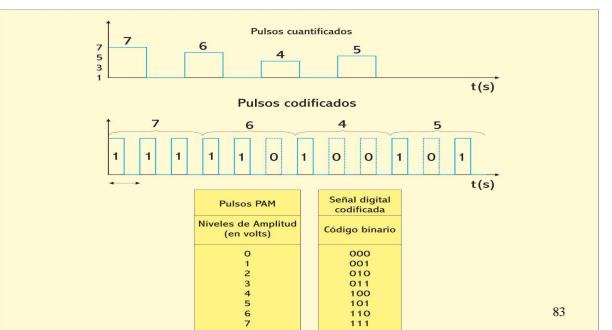
El objetivo es tener una relación señal/ruido de cuantificación constante para todo nivel de señal, para lo cual se debe utilizar una cuantificación no uniforme.

- Cuando la señal es pequeña se toman más niveles cuánticos, reduciéndose dicho ruido.
- Cuando la señal es alta se toman menos niveles, el ruido aumenta y la relación señal/ruido es la misma.

82

Codificación

Convierte los pulsos cuantificados en un grupo de pulsos binarios de amplitud constante siguiendo un código dado por una tabla.



Modulación por pulsos codificados (MIC)

Transmisión de información analógica en forma de señales digitales mediante un proceso continuo de muestreo, cuantificación y codificación.

Conocida por la sigla en inglés (PCM).

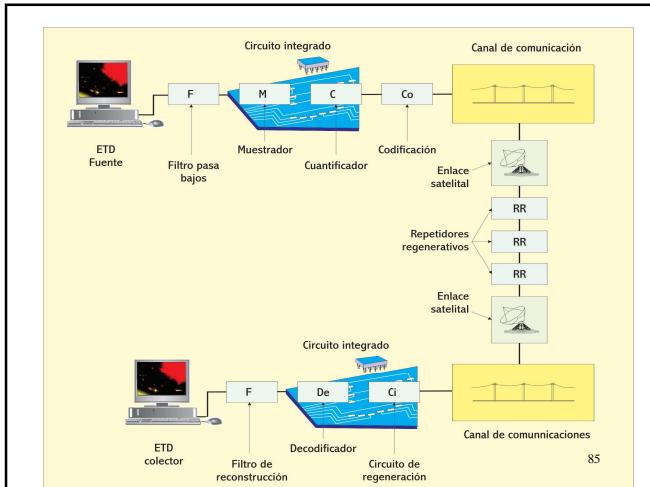
El transmisor tiene cuatro etapas:

- Sistema de filtros pasa bajos.
- Muestreador.
- Cuantificador.
- Codificador.

El receptor tiene tres etapas:

- Regeneración
- Decodificador
- Filtro de reconstrucción de la señal original.

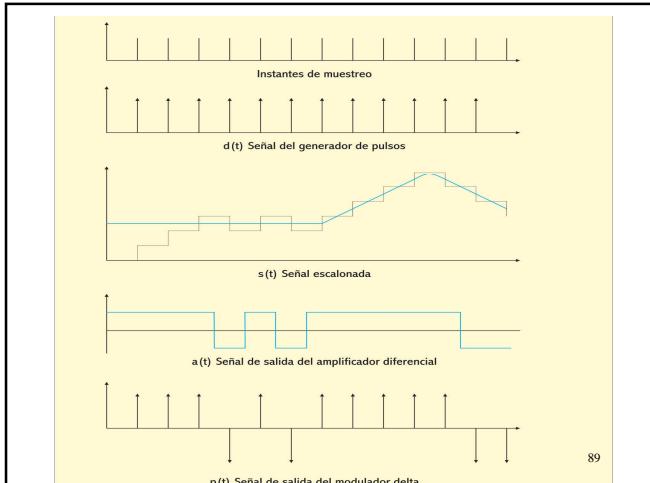
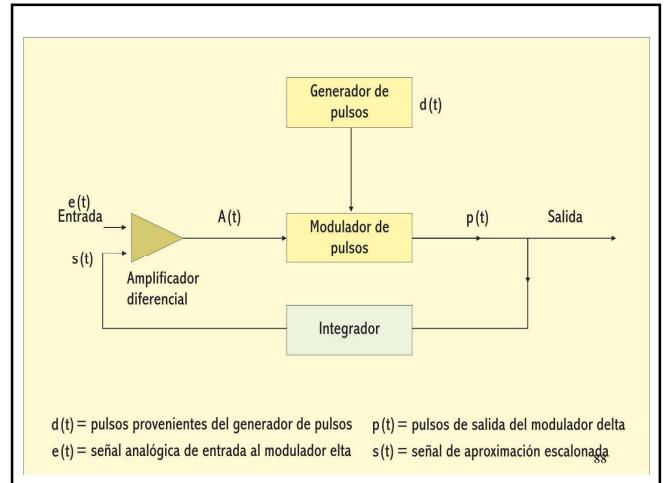
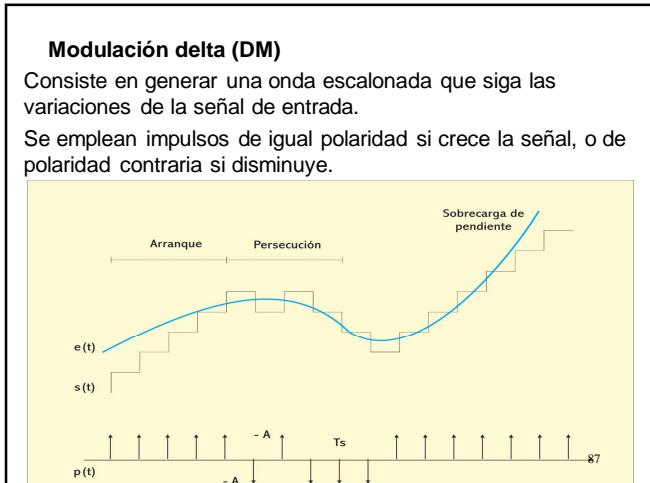
84



Cálculo de la velocidad de trasmisión en PCM

- 1) La señal analógica se filtra en 4 kHz porque las frecuencias superiores tienen poco nivel.
 - La señal se puede muestrear a $2 \times 4 \text{ kHz} = 8 \text{ kHz}$ (Nyquist)
 - Se generan 8.000 muestras por segundo
- 2) En los sistemas **europeos** cada muestra es cuantificada entre 256 niveles (2^8)
 - Cada muestra es codificada con 8 bits
 - Cada segundo se generan $8.000 \times 8 \text{ bits} = 64 \text{ kbps}$
- 3) En los sistemas **americanos** cada muestra es cuantificada entre 128 niveles (2^7)
 - Cada muestra es codificada con 7 bits
 - Cada segundo se generan $8.000 \times 7 \text{ bits} = 56 \text{ kbps}$

86

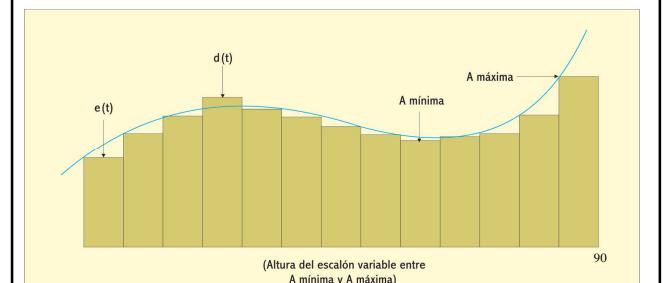


89

Modulación delta adaptativa

Este sistema soluciona los dos inconvenientes existentes en la modulación delta: el ruido granular y la sobrecarga de pendiente, originadas en el tamaño del escalón.

La modulación delta adaptativa ajusta este valor en función de la variación de la señal de entrada.



90

Modulación PCM diferencial

Combina la modulación delta con la codificación PCM.
Reemplaza el modulador de pulsos por un dispositivo cuantificador – muestreador que genera pulsos iguales en polaridad que los de salida de un modulador delta, pero con amplitud proporcional a la diferencia entre la señal de entrada y la señal escalonada.
Dicha señal, correspondiente a cada muestra de error cuantificada, es transmitida como una palabra código de n bits.