



 Alfaomega Grupo Editor

Comunicaciones

Castro-Fusario

Capítulo 7:

Modulación y digitalización de señales



Temas:

- 7.1 Introducción
- 7.2 Modulación
- 7.3 Modulación por onda continua
- 7.4 Equipos Módem
- 7.5 Módem banda base
- 7.6 Redes de acceso utilizando tecnologías xDSL
- 7.7 Cable Módem
- 7.8 Modulación por pulsos
- 7.9 Digitalización
- 7.10 Modulación digital de pulsos



7.1 Introducción

Las señales de características digitales deberán ser convertidas en señales analógicas para posibilitar su transmisión en redes telefónicas.

Esta tarea se realiza a través de equipos denominados **módem**.

Las señales de características analógicas deberán ser convertidas en señales digitales para posibilitar su transmisión en redes de datos.

Esta tarea se realiza a través de equipos denominados **códex**.

Las operaciones de **digitalización** y de **modulación** tienen sus inversas que se denominan **decodificación** y **demodulación**.

Los equipos **códec** y los equipos **módem** usan técnicas totalmente diferentes.



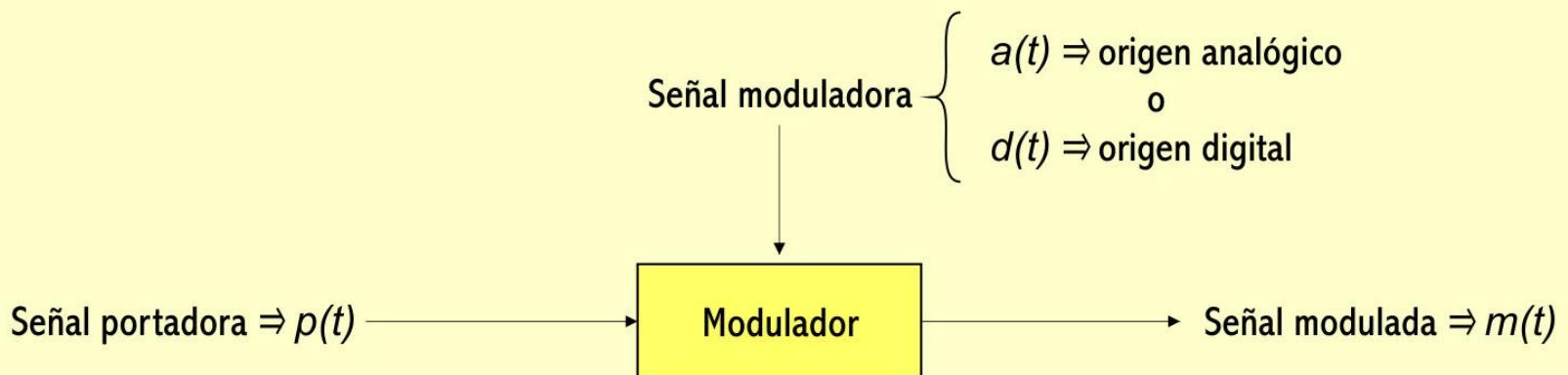
7.2 Modulación

7.2.1 Definición

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

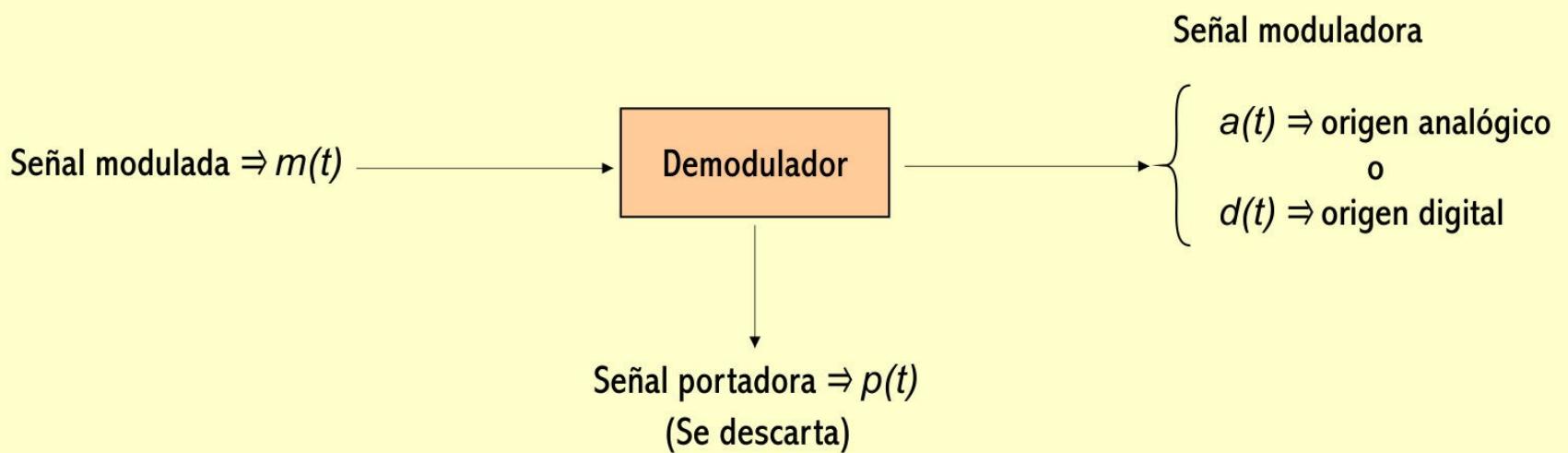
La onda en condiciones de ser transmitida se denomina señal modulada.

La señal moduladora que contiene la información puede tener características analógicas o digitales.



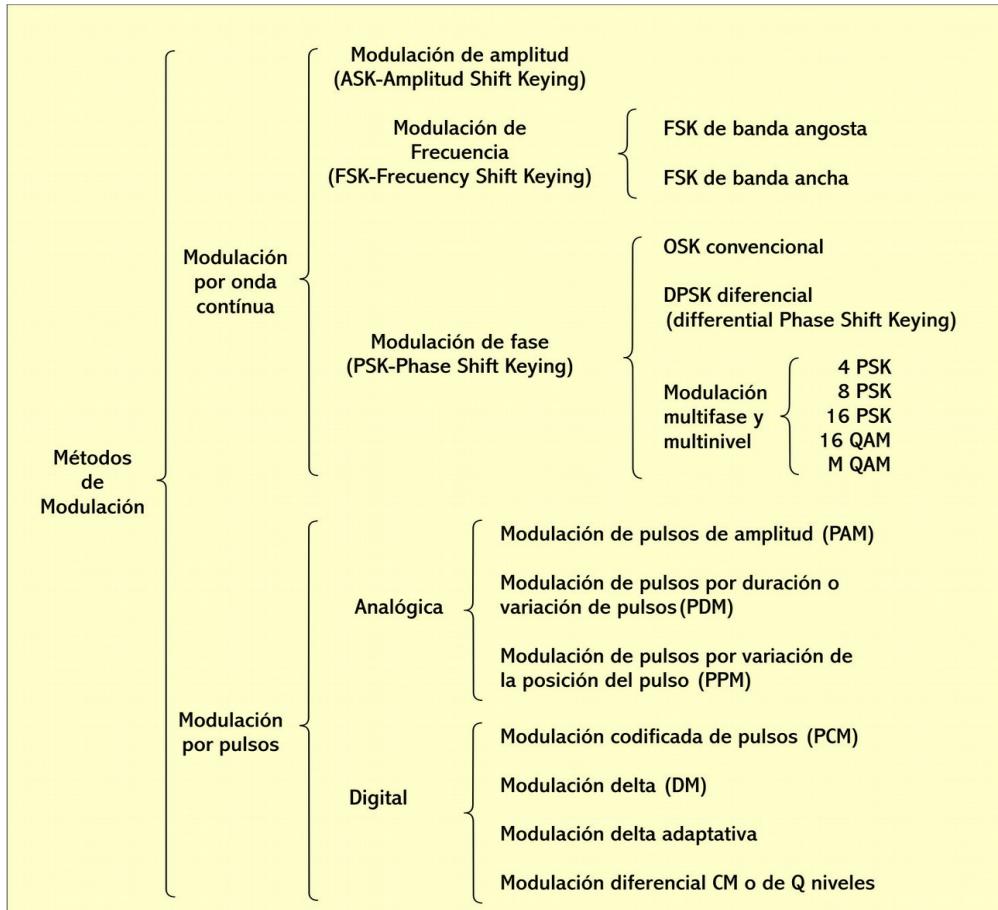


El proceso inverso se denomina **demodulación**: la señal modulada recibida es procesada, recuperando la señal moduladora que contiene la información.





7.2.2 Clasificación de las técnicas de modulación

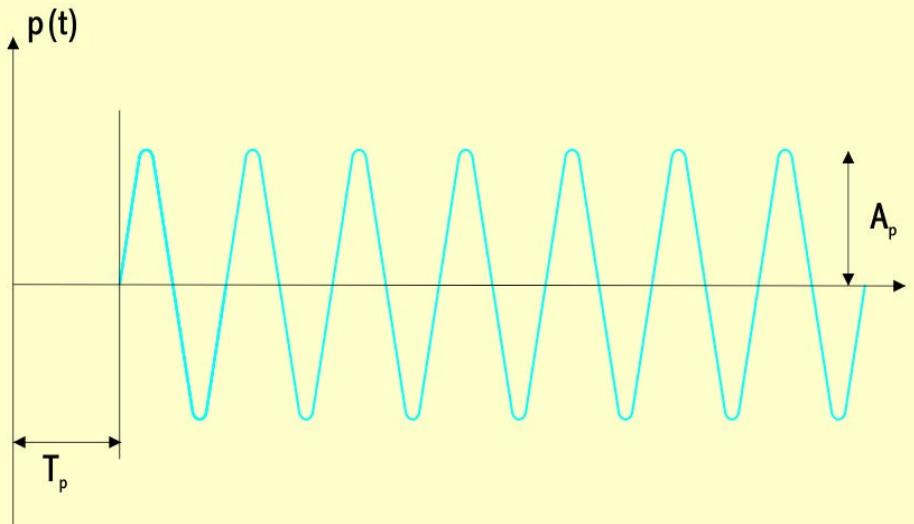




7.3 Modulación por onda continua

7.3.1 Introducción

Una señal portadora (con forma de onda sinusoidal) modifica su amplitud, frecuencia o fase en función de la señal moduladora.



$$f_p = \frac{1}{T_p} = \text{frecuencia de la portadora}$$

A_p = amplitud máxima de la portadora

T_p = período de la portadora

$\omega_p = 2\pi f_p$ = pulsación de la portadora

θ_p = fase de la portadora

$p(t)$ = amplitud máxima de la portadora



7.3.2 Modulación de amplitud (AM)

7.3.2.1 Definición

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

Cuando la señal moduladora es de origen digital, la modulación de la portadora está representada por corrientes de amplitudes distintas.

Modulación de amplitud (AM) en el caso de señal modulante digital se denomina *ASK (Amplitude Shift Keying)*.

Dos tipos de modulación de amplitud:

- Por variación del nivel de la onda portadora.
- Por supresión de onda portadora.



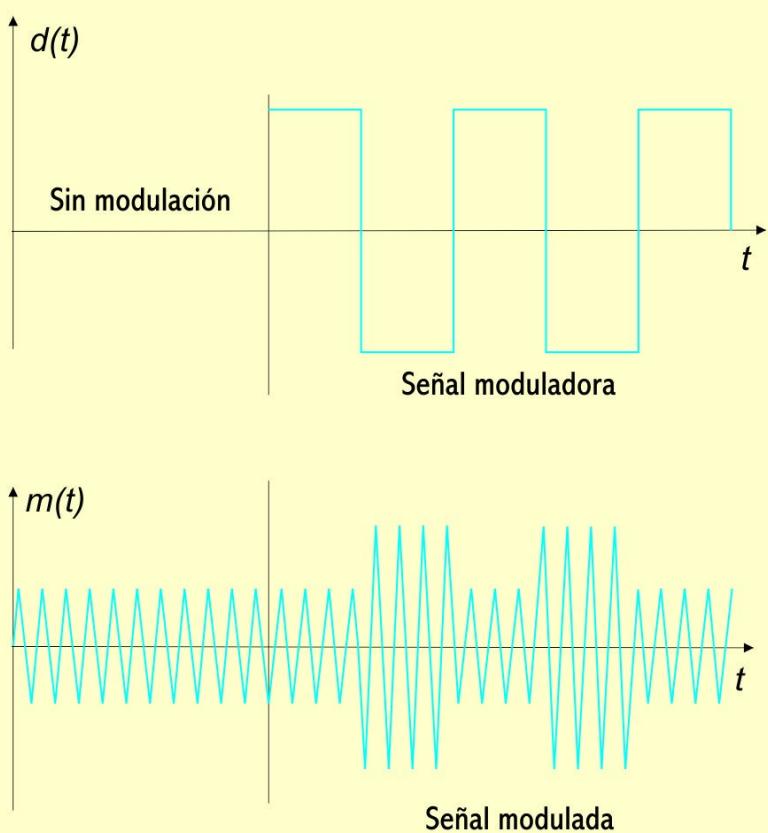
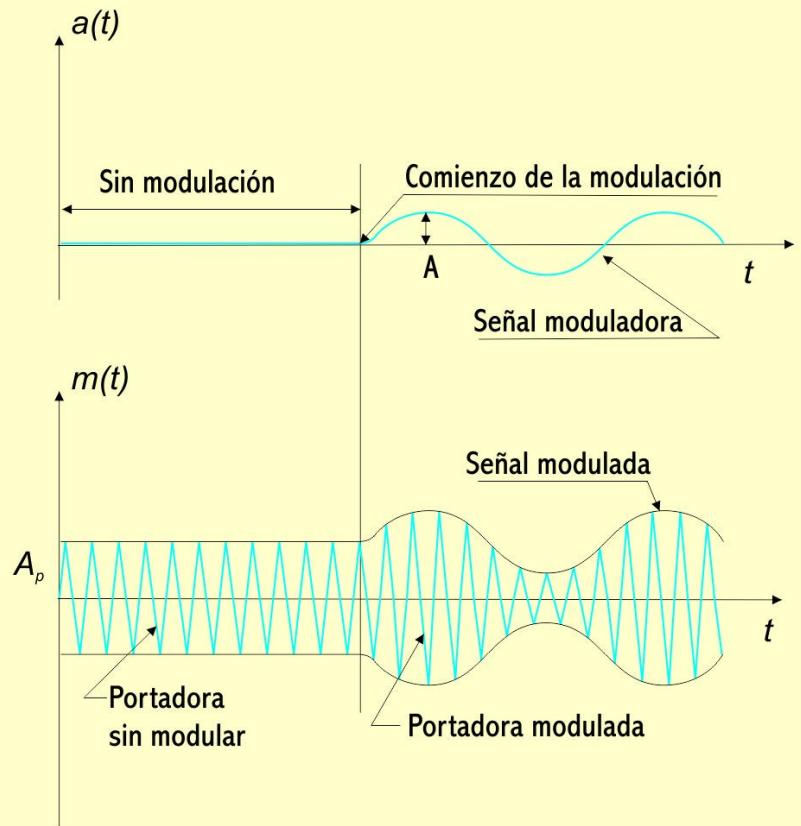
7.3.2.2 Variación del nivel de la onda portadora

Hay que diferenciar si la señal moduladora es analógica o digital.

La señal analógica es:

$$a(t) = A \cdot \operatorname{sen}(\omega_a \cdot t + \theta_a)$$

Donde $\omega_a \ll \omega_p$ para que haya una envolvente de modulación.

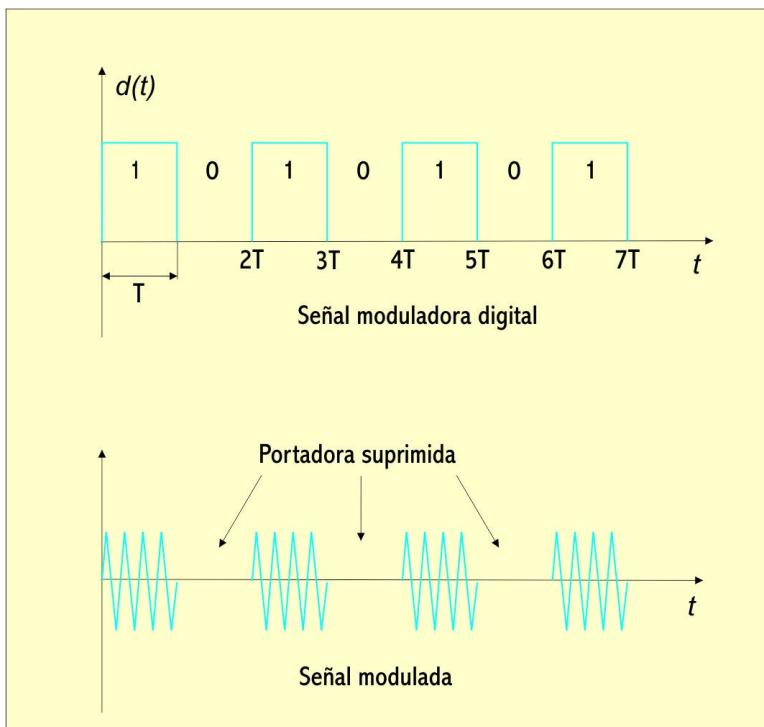




7.3.2.3 Por supresión de la onda portadora

Se usa en sistemas telegráficos, donde la señal modulada varían entre:

- amplitud A para la transmisión del dígito 1
- la supresión de la portadora para la transmisión del dígito 0.

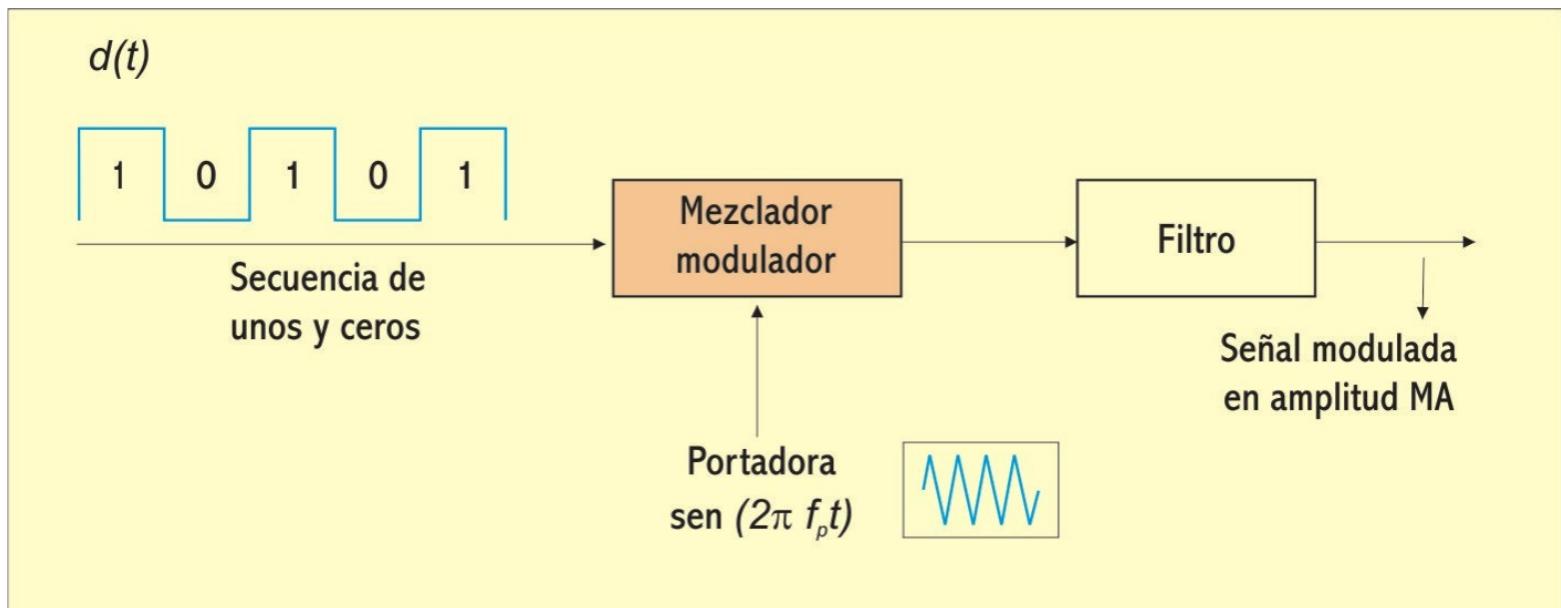


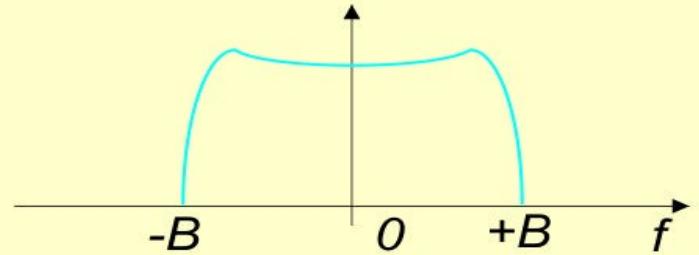


7.3.2.4 Proceso de un modulador en amplitud

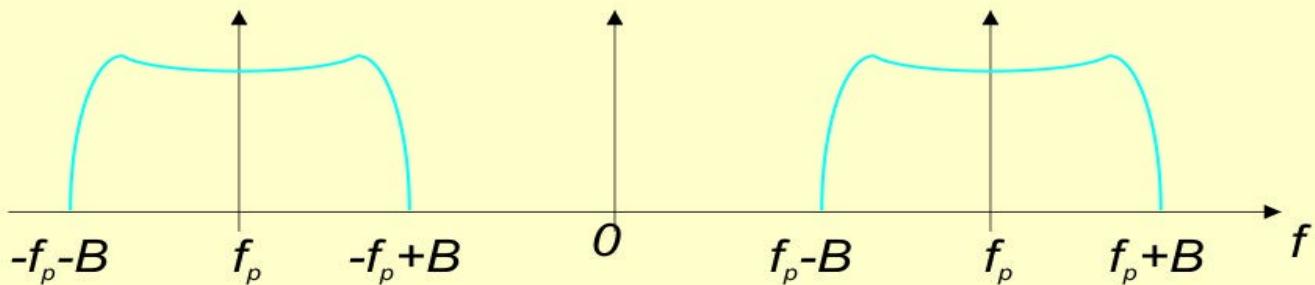
En un modulador AM se agrega un filtro de salida para reducir el efecto de las frecuencias armónicas indeseables y conformar la señal de salida.

En la modulación de amplitud existe un desplazamiento en frecuencia del espectro de la señal moduladora original.





Señal moduladora
espectro de frecuencia



Espectro desplazado
en $- f_p$

Espectro desplazado
en $+ f_p$



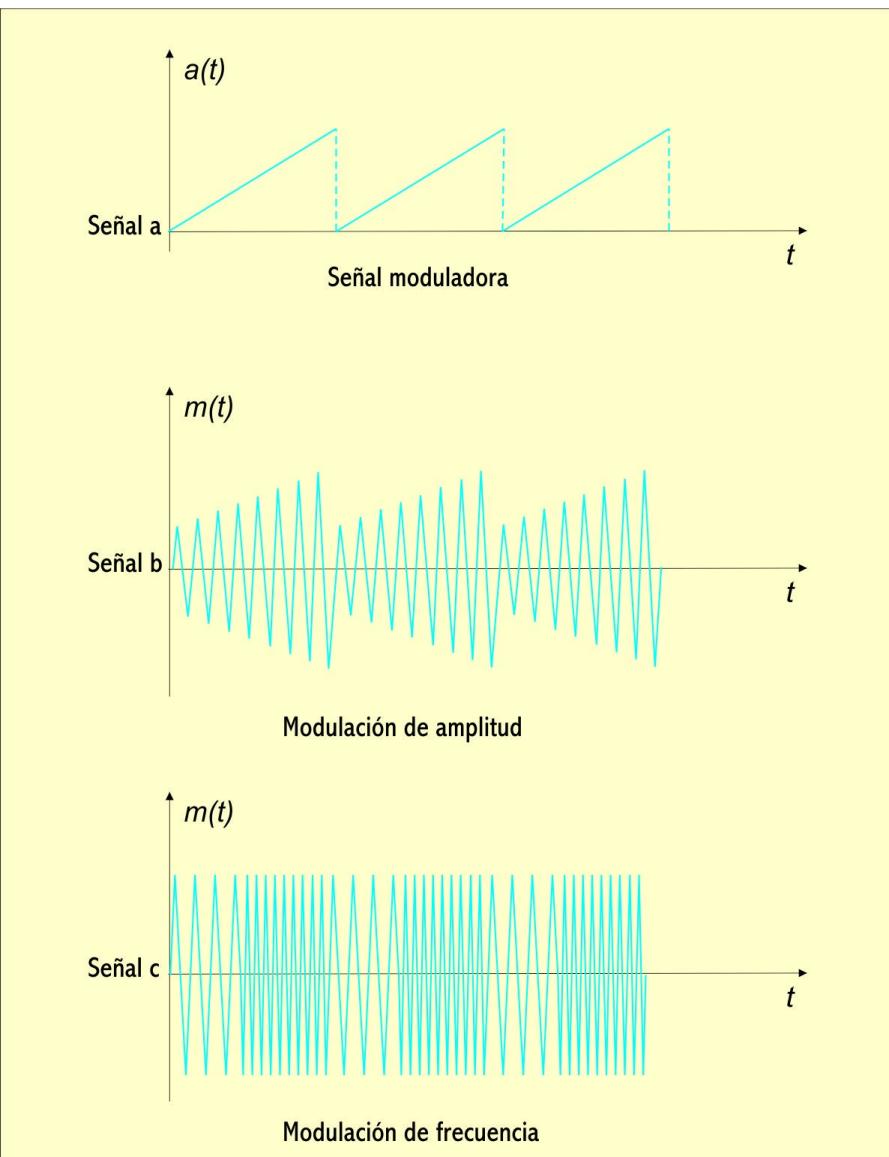
7.3.3 Modulación de frecuencia

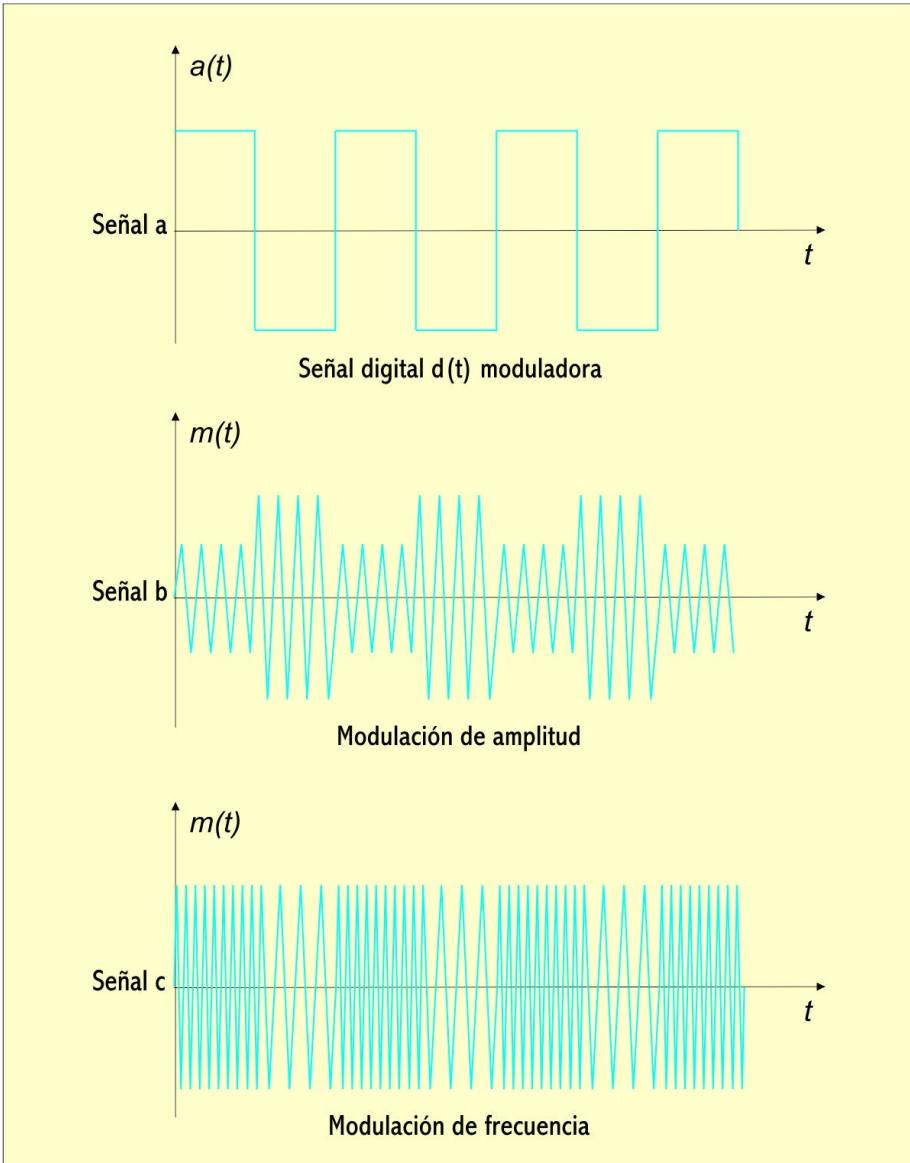
7.3.3.1 Definición

El parámetro de la señal senoidal de la portadora que se hace variar según la señal moduladora que contiene la inteligencia a transportar, es la frecuencia.

Cuando la señal moduladora es de origen analógico, la señal modulada varía su frecuencia dentro de valores continuos.

Cuando 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.







7.3.3.2 Fundamentos teóricos del proceso de modulación en frecuencia

La frecuencia f y la pulsación ω difieren en una constante 2π .

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: $f(t) = A \cdot \operatorname{sen}(\omega \cdot t)$

sino por una función sinusoidal generalizada: $f(t) = A \cdot \operatorname{sen} \theta(t)$.

El ángulo $\theta(t)$ se modula en frecuencia por la señal: $a(t) = A \cdot \operatorname{sen} \omega_a t$

La frecuencia instantánea es: $\omega_i = \omega_p + \Delta\omega \cdot \operatorname{cosen} \omega_a t$

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

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



Para una señal binaria $d(t)$ la expresión de una onda modulada en frecuencia (FSK) vale:

$$m(t) = P \cdot \cos [2\pi (f_p + d(t) \cdot \Delta f) t]$$

donde:

f_p es la frecuencia central de la portadora

$d(t)$ es la señal digital de banda base de dos niveles

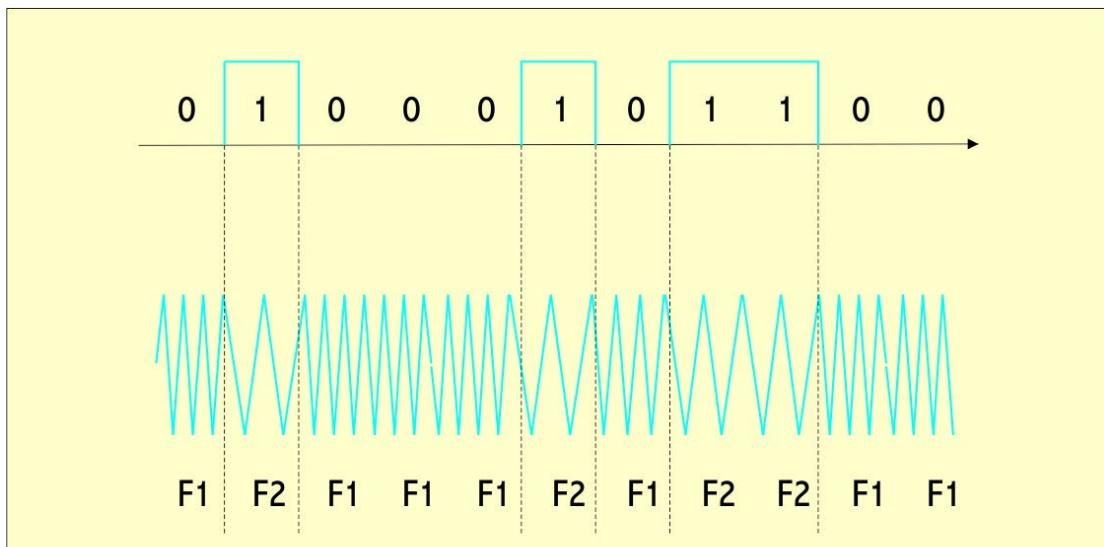
Δf es la desviación de frecuencia



7.3.3.3 Caso práctico de modulación en frecuencia de una señal digital

Los antiguos módems según las normas V.21 y V.22 de la UIT utilizaban este tipo de modulación con:

- portadoras en 1.080 y 1.750 Hz
- desviaciones de 100 Hz hacia ambos extremos

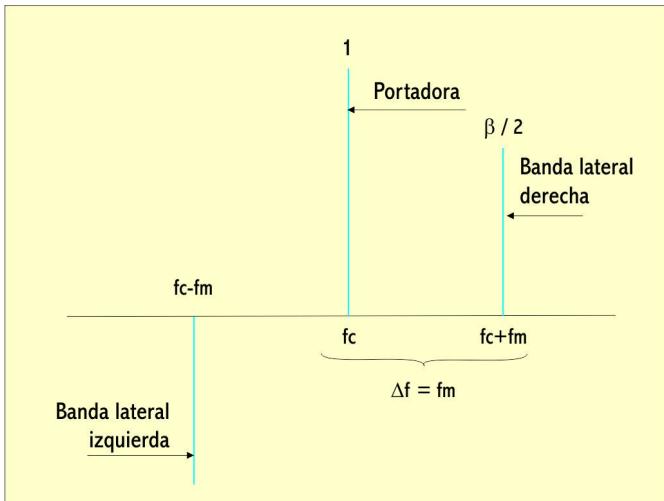




7.3.3.4 Modulación de frecuencia de banda angosta

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

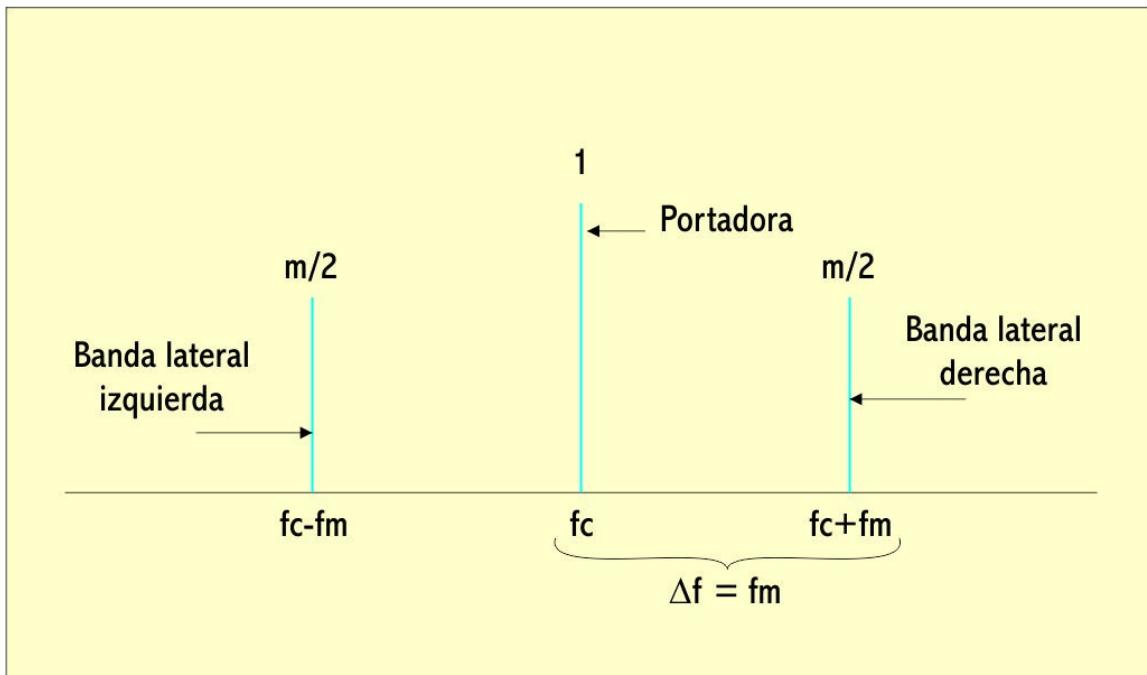
Diferencia con el espectro de modulación en amplitud: las bandas laterales están en cuadratura de fase con respecto a la portadora.





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

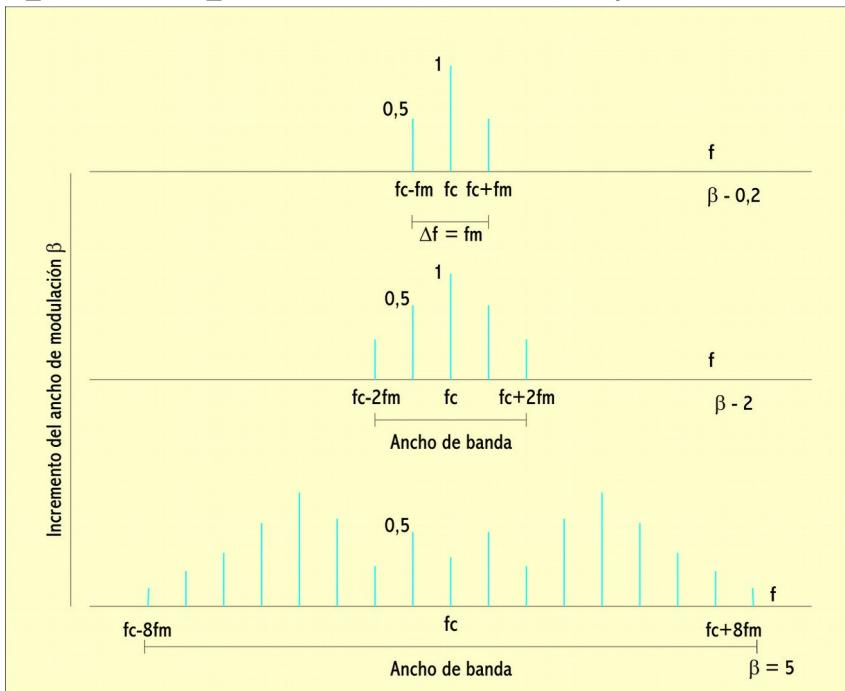




7.3.3.5 Modulación de banda ancha

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

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





7.3.4 Modulación de fase

7.3.4.1 Definición

El parámetro de la portadora que se hace variar es la fase.

La amplitud y la frecuencia de la portadora permanecen constantes.

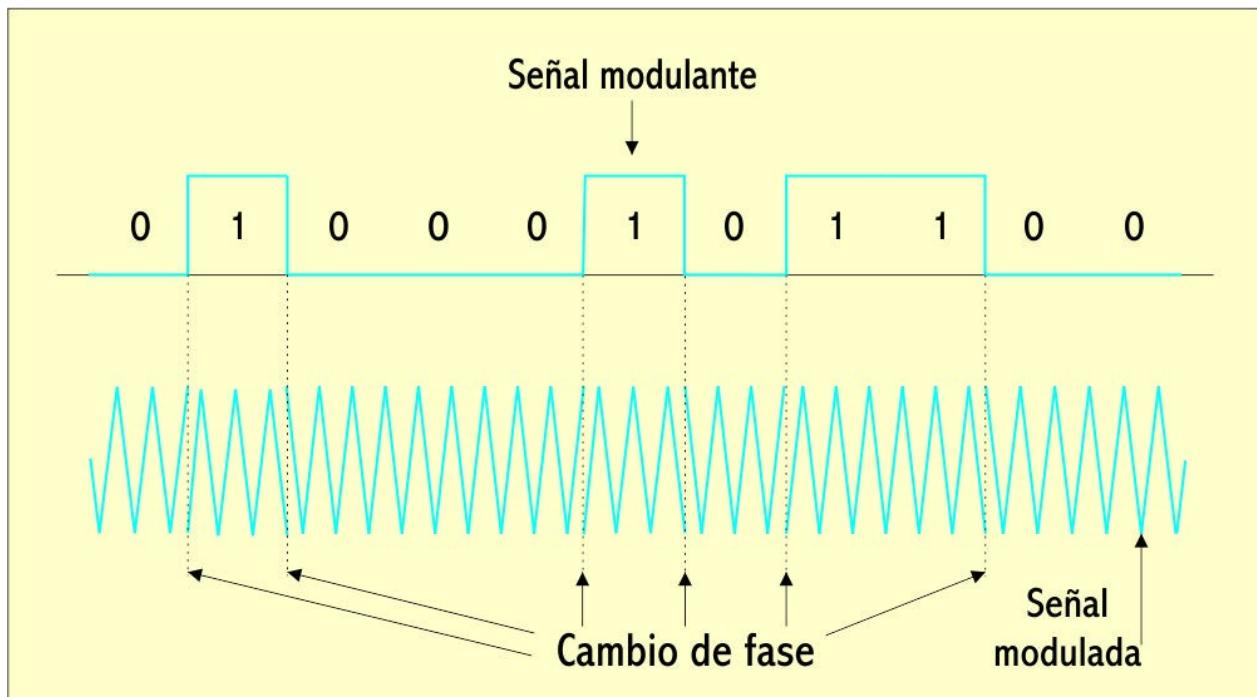
Dos alternativas:

- 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.



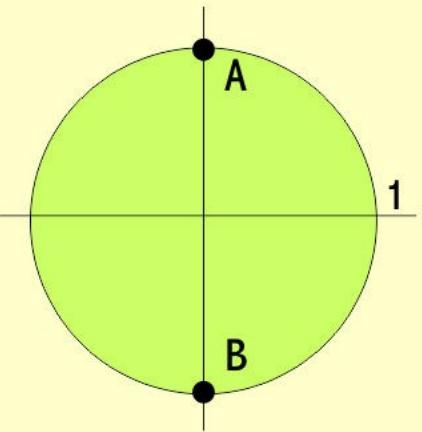
7.3.4.2 Fundamentos teóricos del proceso de modulación de fase

Hay discontinuidades de fase al comienzo y al final de cada intervalo T . Son las transiciones de 0 a 1 o de 1 a 0 producidas por la señal moduladora.





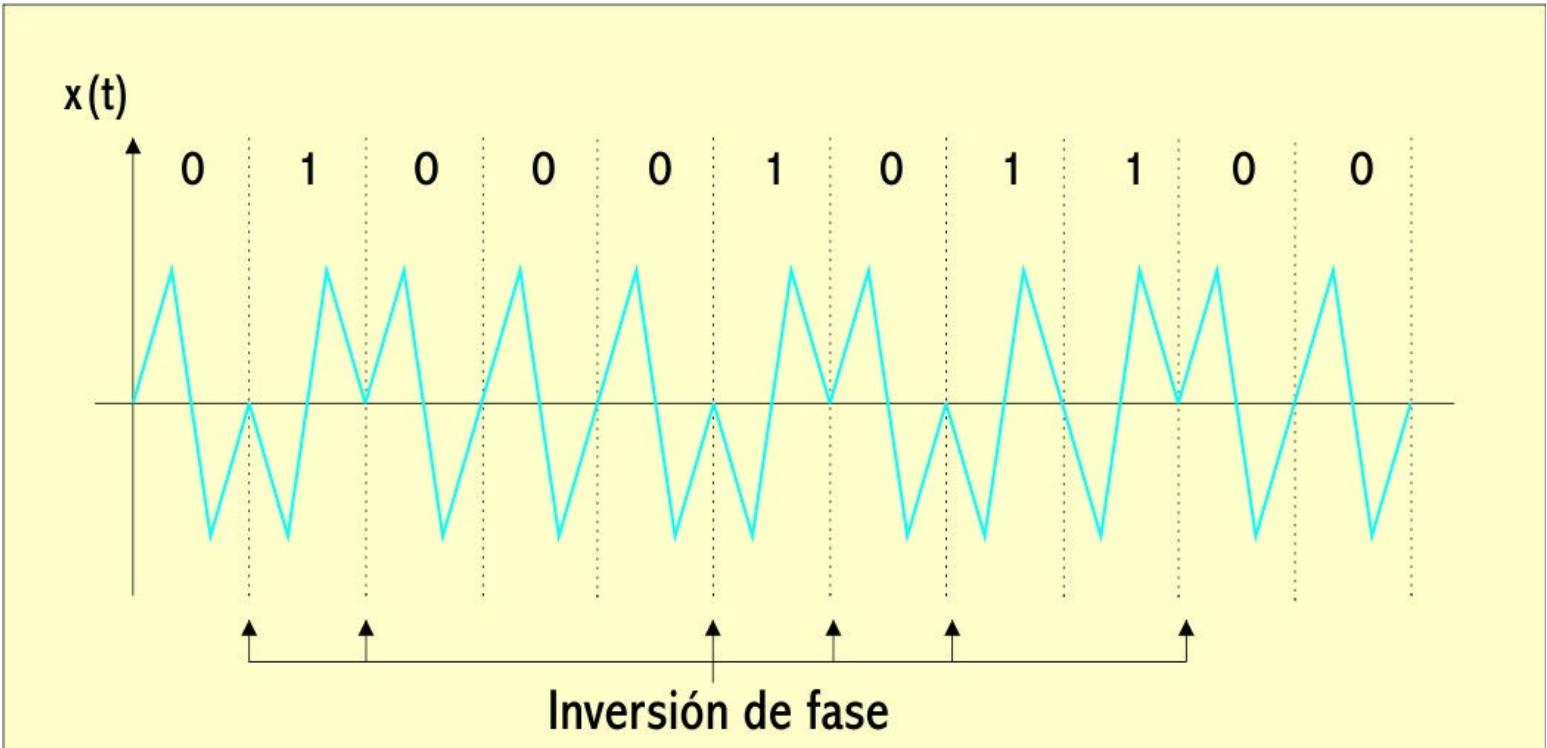
Sistema modulador en 2 PSK: es una llave electrónica controlada por la señal de datos (binaria) que conmuta entre la portadora y su versión invertida (desfasada 180°).



El radio de la circunferencia es igual a 1 y representa la amplitud normalizada de la portadora



Forma de onda de la portadora correspondiente a una sucesión binaria cualquiera donde exista por lo menos una transición entre 0 y 1 ó 1 y 0:



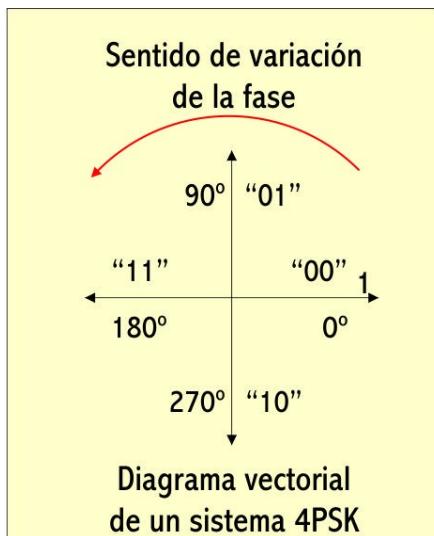


7.3.4.3 Modulación multifase

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

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

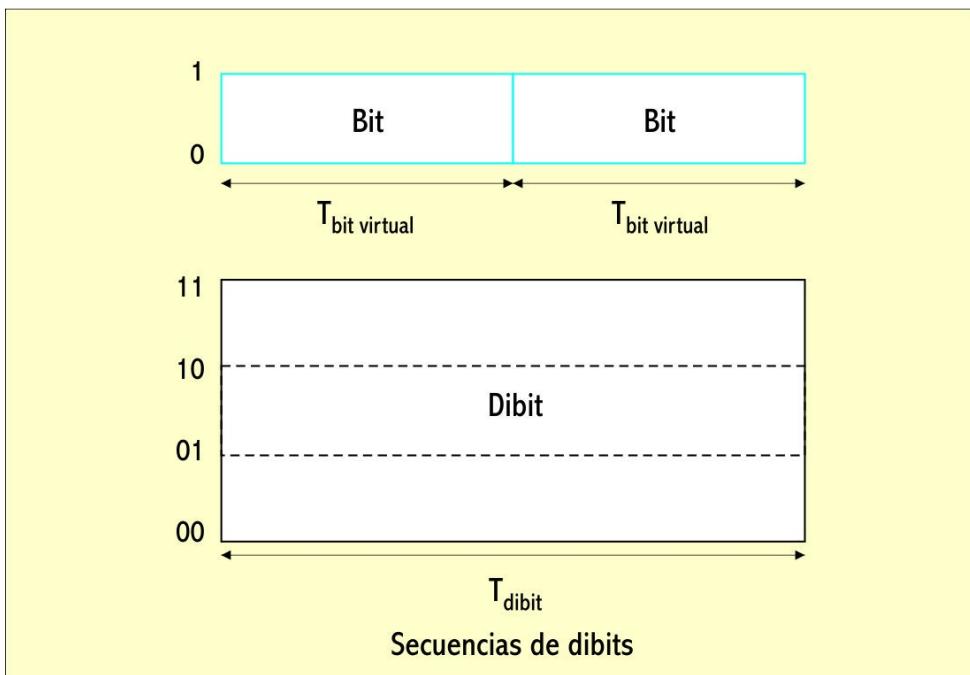
Si $M = 4$ tenemos el método 4 PSK o QPSK: hay cuatro valores diferentes de fase para las cuatro posibles combinaciones de una secuencia de dos bits.



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 díbit 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





Secuencia de bits	Dibit A	Dibit B	Fase
00	0	0	$0^\circ + 45^\circ = 45^\circ$
01	0	1	$0^\circ - 45^\circ = 315^\circ$
11	1	1	$180^\circ + 45^\circ = 225^\circ$
10	1	0	$180^\circ + 45^\circ = 135^\circ$

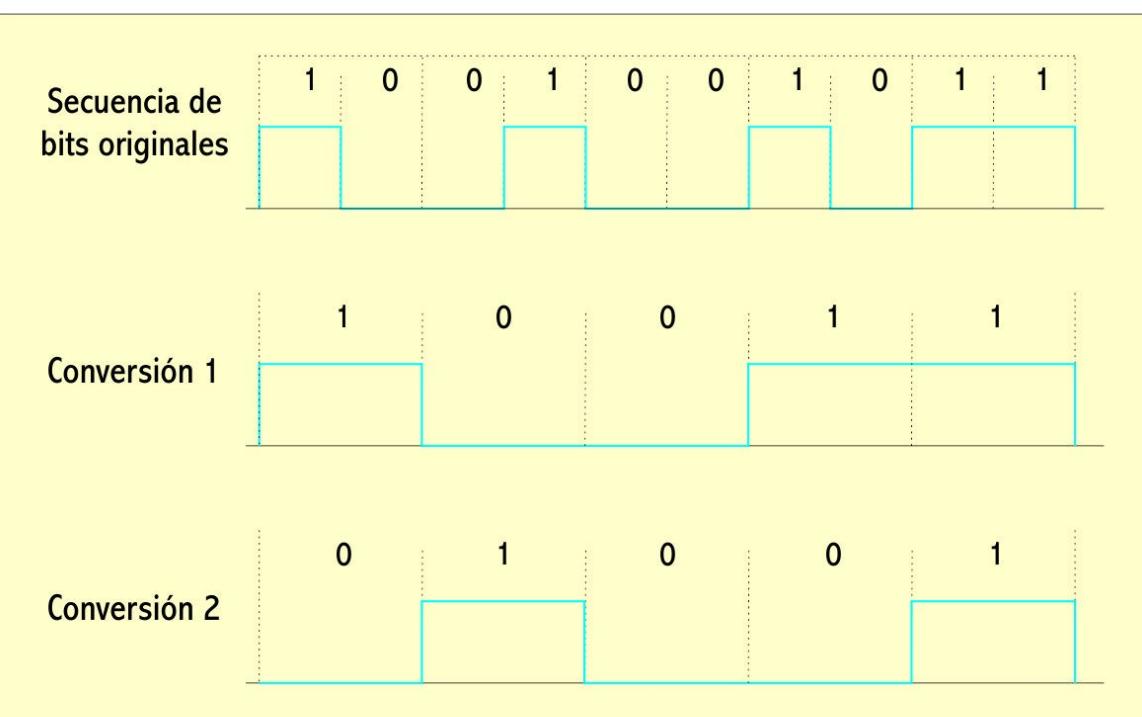
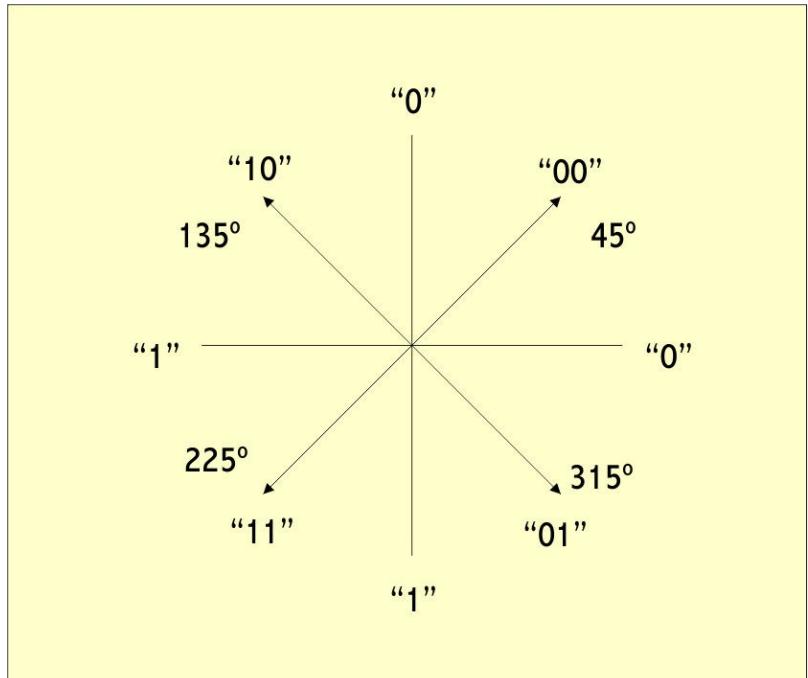




Diagrama vectorial para modulación en fase 4 PSK: (Cada fase representa un grupo de 3 dígitos binarios o tribits)

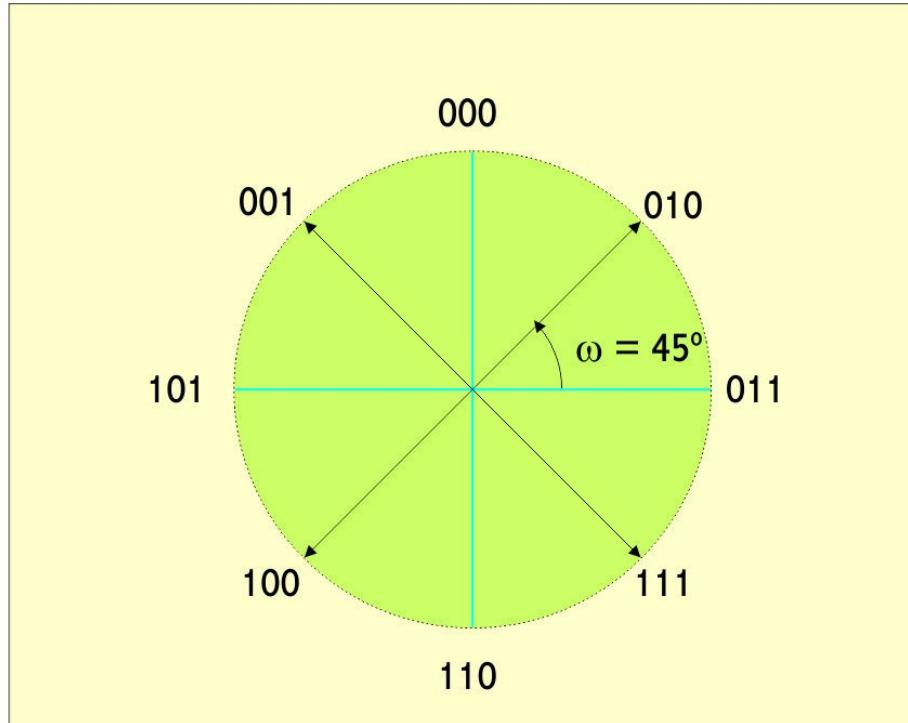


Nº de Secuencia	Dígitos binarios	Fase asignada
1	011	0°
2	010	45°
3	000	90°
4	001	135°
5	101	180°
6	100	225°
7	110	270°
8	111	315°



Diagrama de fase de una señal 8 PSK: los tribits asignados a cada fase corresponden al denominado Código Gray.

En los sistemas 16 PSK la fase de la portadora puede tomar 16 valores discretos diferentes.

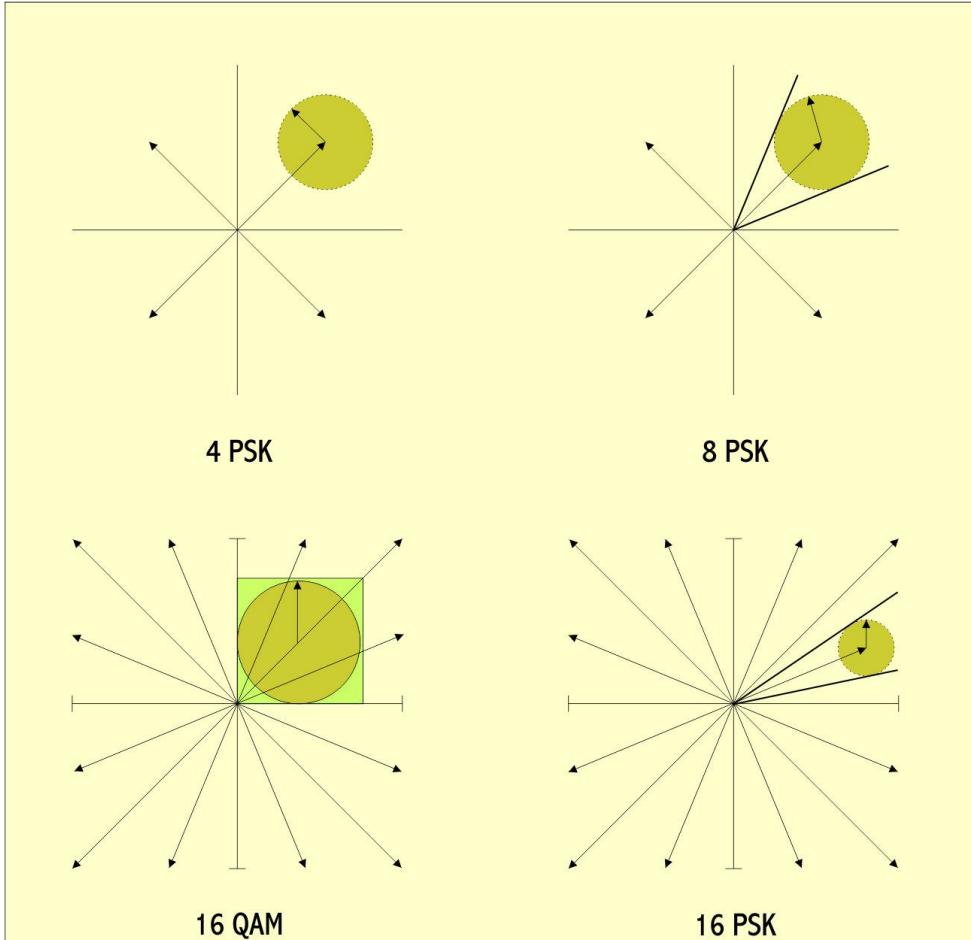




7.3.4.4 Modulación multinivel

Hay modulación en amplitud de dos señales portadoras desfasadas 90° entre sí.

En la modulación QAM se usan dos portadoras independientes en cuadratura moduladas en amplitud.





7.4 Equipos Módem

7.4.1 Distintos tipos de equipos módem

En función del circuito de datos se clasifican en:

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



7.4.2 Características de los módem de rango vocal

7.4.2.1 Introducción

Está muy difundido transmitir señales digitales por la Red Telefónica Conmutada.

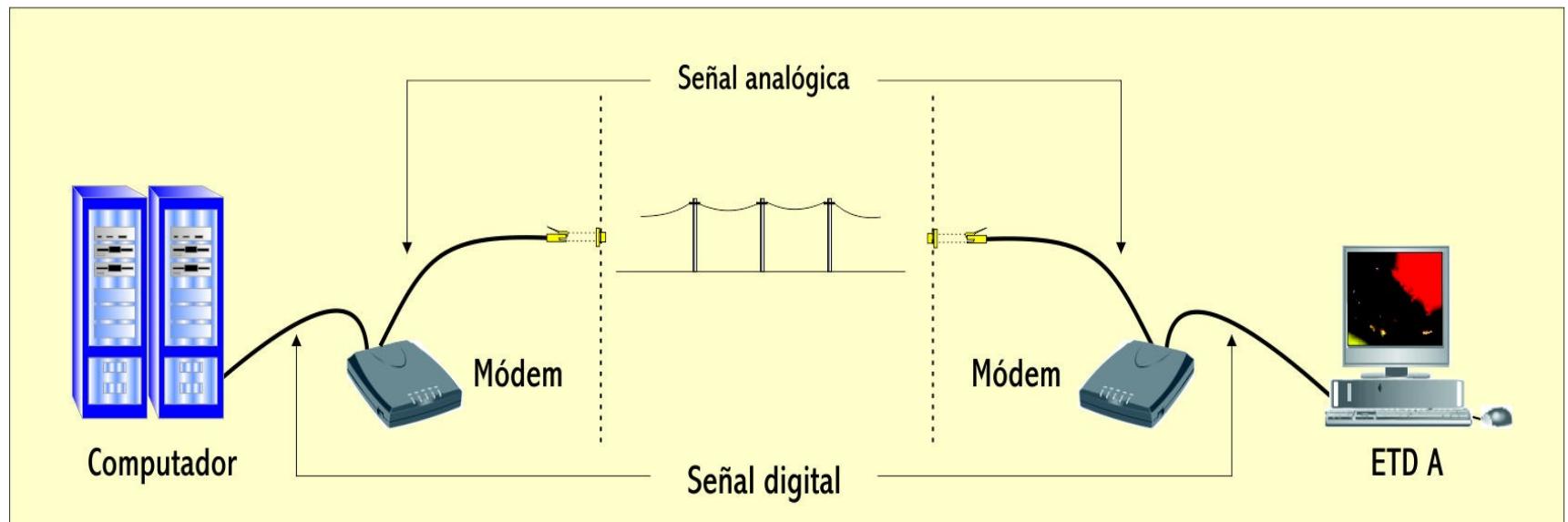
Los códec al ingreso de la central hacen imposible la transmisión en modo digital.

Se requiere un **módem de rango vocal**.



7.4.2.2 Definición de módem de rango vocal

El módem de rango vocal, o módem (modulador/demodulador) convierte las señales digitales provenientes de un ETD en señales analógicas aptas para ser transmitidas eficazmente por la Red Telefónica.

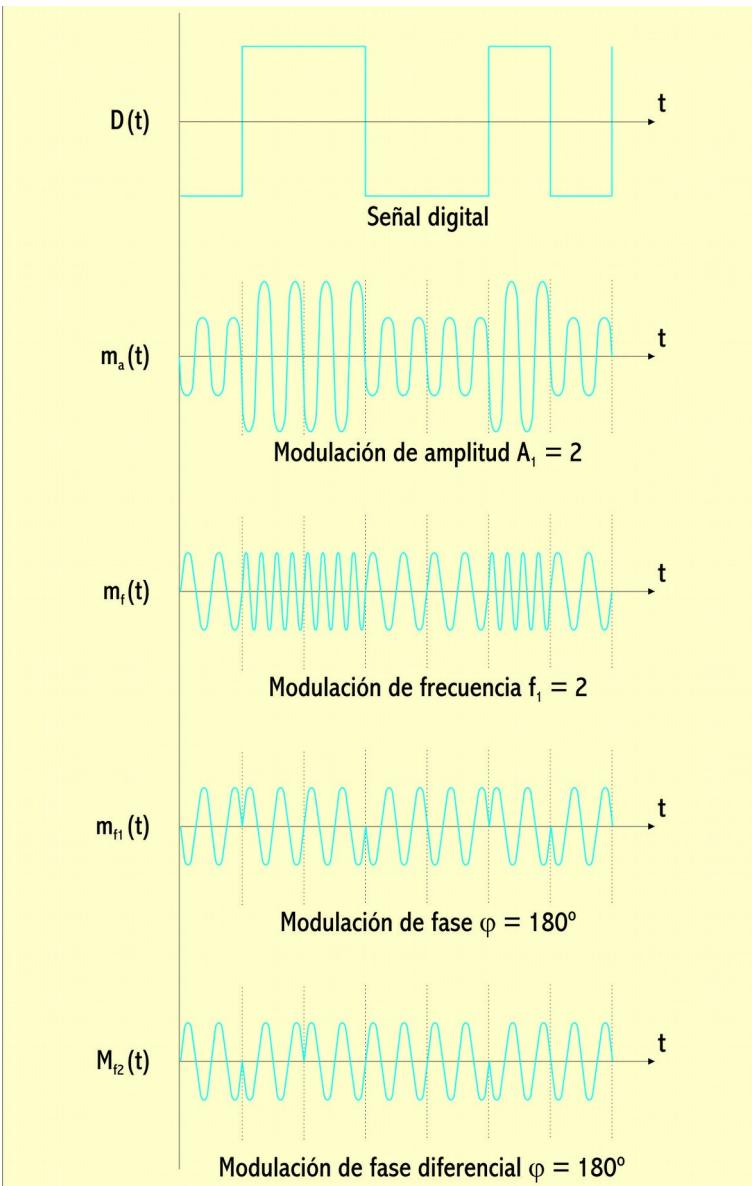




7.4.3 Funciones de los módem de rango vocal

7.4.3.1 Funciones básicas

- **La codificación y decodificación:** la codificación consiste en transformar los datos recibidos del equipo terminal en códigos que tengan en cuenta los factores que hacen más eficiente la transmisión de señales a distancia.
Esos códigos se denominan Códigos de Línea y adaptan la señal digital a la línea de transmisión.
- **La modulación y la demodulación:** la modulación consiste en el proceso por el cual las señales digitales generadas por el equipo terminal de datos son transformadas en señales analógicas, que conservan la misma información que la generada por aquellos equipos.





7.4.3.2 *Funciones complementarias*

Recepción y transmisión de señales: desde y hacia el equipo terminal de datos a través de una interfaz digital estándar le permite al modem el intercambio de información con cualquier equipo terminal de datos.

Técnicas de control del flujo: permiten que el modem pueda compensar las diferencias entre las velocidades a las que recibe la información desde el ETD y a las que transmite a la línea telefónica.

Ecualización: permite brindar un nivel de salida constante e independiente de la frecuencia que se está transmitiendo.

Protecciones: se toman precauciones para evitar picos de tensión en la línea de transmisión



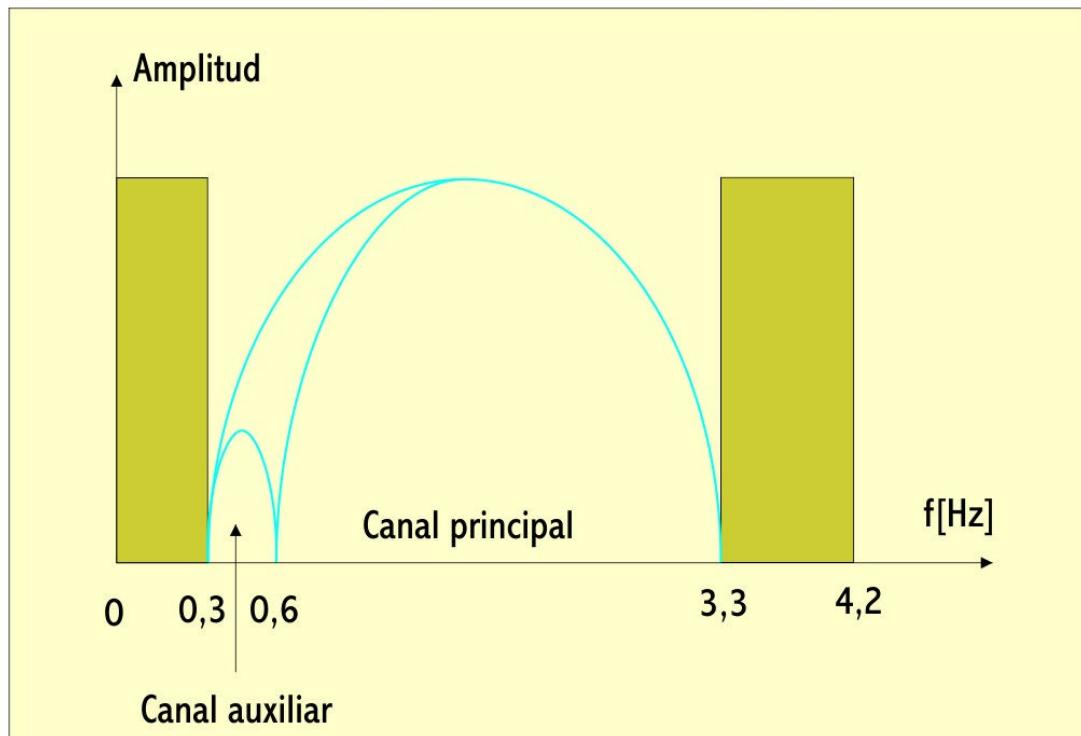
7.4.3.3 *Funciones especiales*

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



7.4.3.4 Módem con canal auxiliar

Aprovechan el ancho de banda disponible de un canal telefónico de 3100 Hz, dividen a este en un canal principal y uno o dos canales auxiliares.





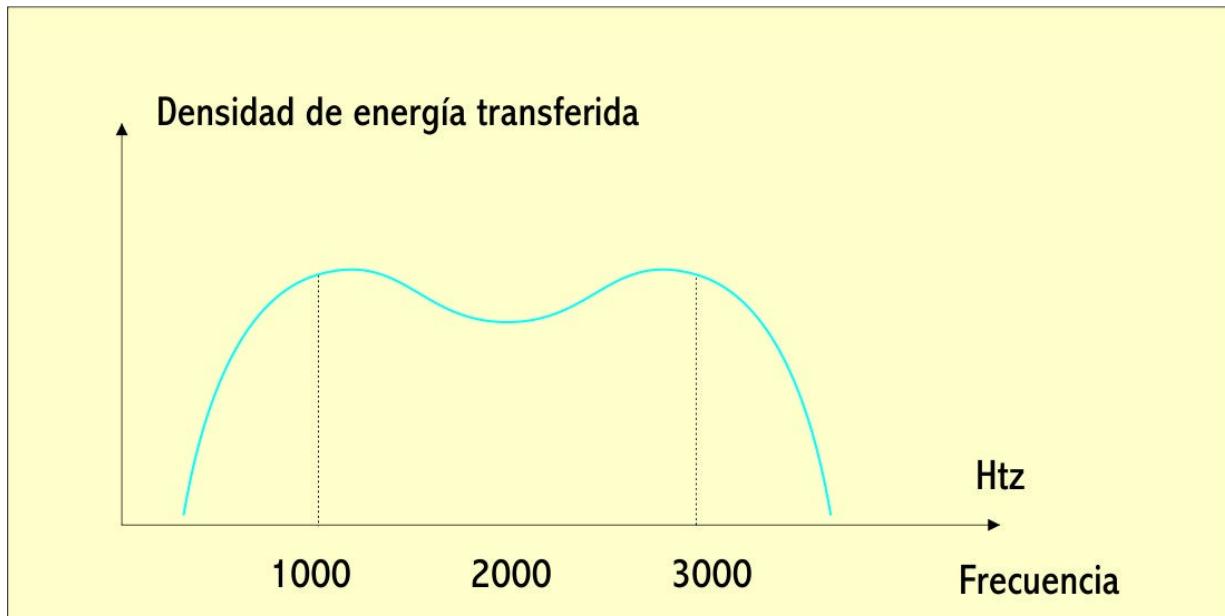
7.4.4 Los canales telefónicos analógicos

7.4.4.1 Características de los canales telefónicos

La banda de transmisión esta dividida en canales de 3100 Hz.

Es suficiente para la transmisión de voz, pero insuficiente para velocidades de datos altas.

El espectro de la señal de datos debe adaptarse al canal telefónico.





7.4.4.2 Utilización de módem en los canales telefónicos analógicos

La transmisión está afectada por perturbaciones tales como el ruido y la distorsión. Su efecto sobre la transmisión de datos es importante, pues aumenta significativamente la tasa de error.

Las señales analógicas de voz tienen una relación elevada entre la potencia máxima y la potencia media pero las señales de datos poseen una relación mucho menor, dado que su potencia media es elevada.

Se disminuye la potencia media de las señales de datos, lo que disminuye la relación señal/ruido.

Los módems de rango vocal pueden ser divididos en:

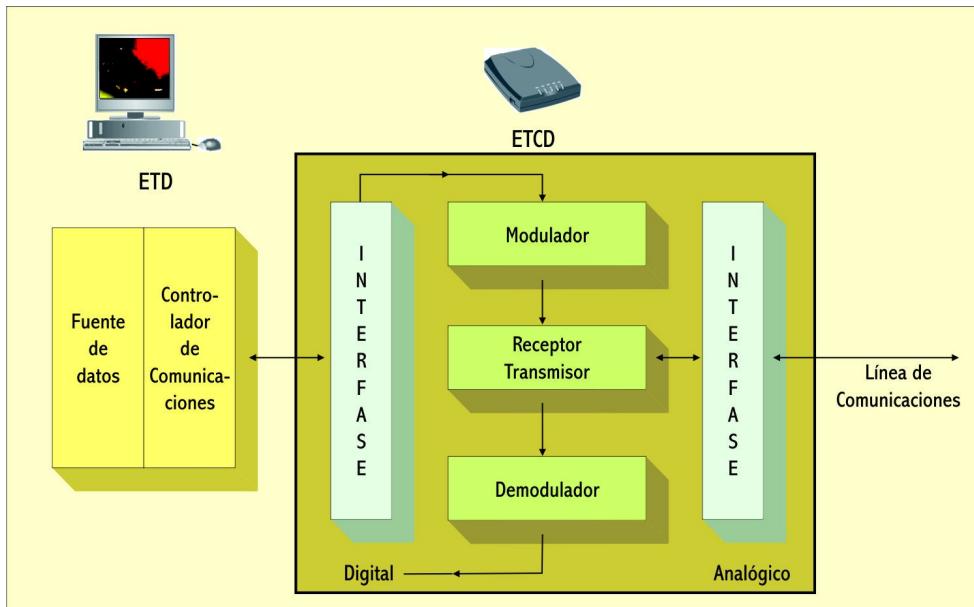
- equipos de baja velocidad, que fueron los primeros que se utilizaron en mercado
- equipos de alta y muy alta velocidad (inteligentes y no inteligentes).



7.4.4.3 El sincronismo de los módems

Los módems de datos de frecuencia de voz pueden ser asincrónicos o sincrónicos según el tipo de señal de datos que manejen.

Los modems sincrónicos usan señales de reloj en las interfaces digitales.





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 Sincrónico	Dúplex	RTC
V.22 bis	600 baudios	2400 bps	Canal N° 1: 1200 Hz Canal N° 2: 2400 Hz	QAM	Asincrónico	Dúplex	RTC
V.23	1200 baudios 75 baudios	2400 bps	Canal N° 1: 1700 Hz Canal N° R _i : 390 Hz Canal N° R _o : 450 Hz	FSK	Asincrónico Sincrónico	Dúplex	RTC
V.26	1200 baudios	2400 bps	Canal N° 1: 1700 Hz	PSK	Sincrónico	Dúplex	4 hilos
V.26 bis	1200 baudios	2400 bps	Canal N° 1: 1800 Hz	PSK	Sincrónico	Semi-dúplex	RTC
V.26 ter	1200 baudios 75 baudios	2400 bps	Canal N° 1: 1800 Hz Canal N° R _i : 390 Hz Canal N° R _o : 450 Hz	PSK	Asincrónico Sincrónico	Dúplex	RTC
V.27	1600 baudios	4800 bps	Canal N° 1: 1800 Hz	DPSK	Sincrónico	Dúplex	2 hilos
V.27 bis	1600 baudios	4800 bps	Canal N° 1: 1800 Hz	DPSK	Sincrónico	Dúplex	2 hilos
V.27 ter	1600 baudios	4800 bps	Canal N° 1: 1800 Hz	DPSK	Sincrónico	Dúplex	RTC
V.29	2400 baudios	9600 bps	Canal N° 1: 1700 Hz	QAM	Sincrónico	Dúplex	4 hilos
V.32	2400 baudios	9600 bps	Canal N° 1: 1800 Hz	QAM/TCM	Asincrónico	Dúplex	RTC



7.4.5 Módems de media y alta velocidad

7.4.5.1 La Red Internet y la necesidad de equipos módem más veloces

- Hay incremento del tráfico telefónico y de los ingresos de los prestadores de este servicio.
- Aparecen Empresas Proveedoras de accesos a la red.
- Las empresas comerciales e instituciones usan páginas *World Wide Web*.
- Aumenta el tamaño de los paquetes de información de textos, gráficos u otros de diversa índole.
- En todas las organizaciones se crean LAN que permiten a cada computadora acceder a Internet
- Las aplicaciones intensivas transfieren gran cantidad de información.



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



7.4.5.2 Características particulares de la Recomendación V.34

Los módems de la Recomendación V.34 trabajan sobre la Red Telefónica
Commutada muy cerca del límite de la Ley de Shannon.

La Recomendación V.34 admite varias velocidades de modulación.

Cuando superan la barrera de los 2400 Baudios dependen de la calidad del canal.



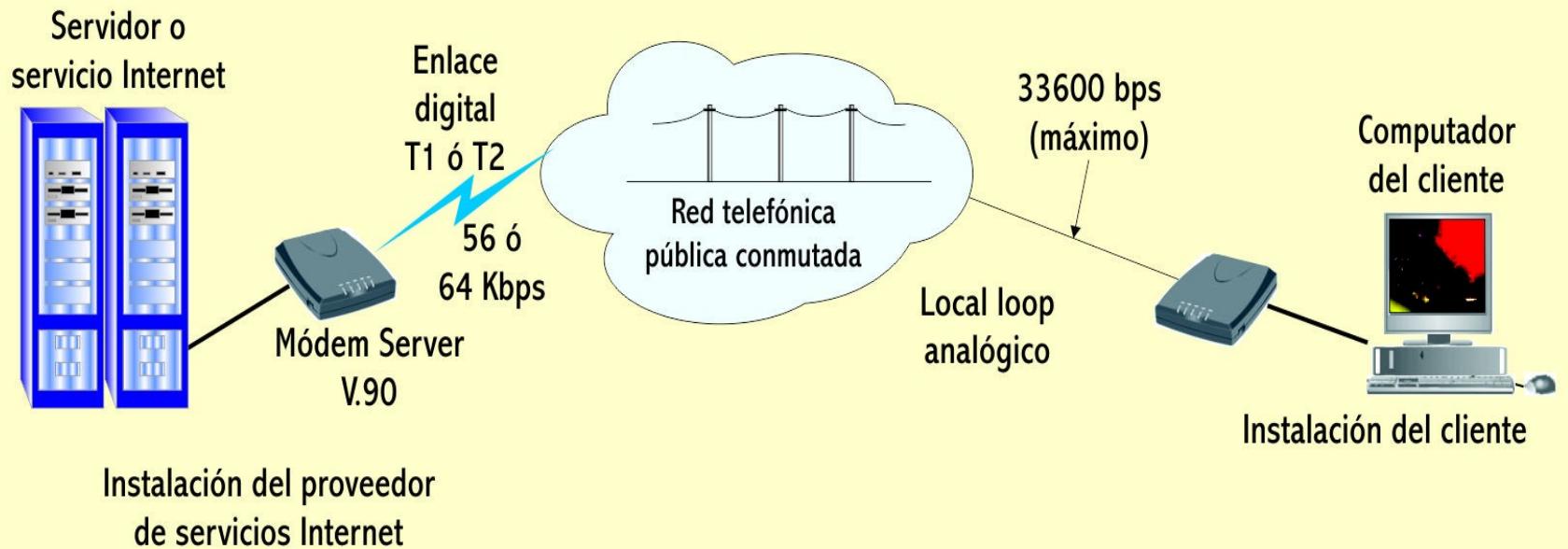
7.4.6 Módems de muy alta velocidad inteligentes

7.4.6.1 Aspectos generales

Los **ISP** (proveedores de Internet) están conectadas en modo digital a la Red Internet y en modo analógico a la Red telefónica Conmutada.

Enlaces digitales:

- E1 (compuestos por 30 canales de 64 kbps)
- T1 (compuestos por 24 canales de 56 kbps)
- SDH (155 Mbps) o SONET (51 Mbps)
- NGN** a través de vínculos Ethernet





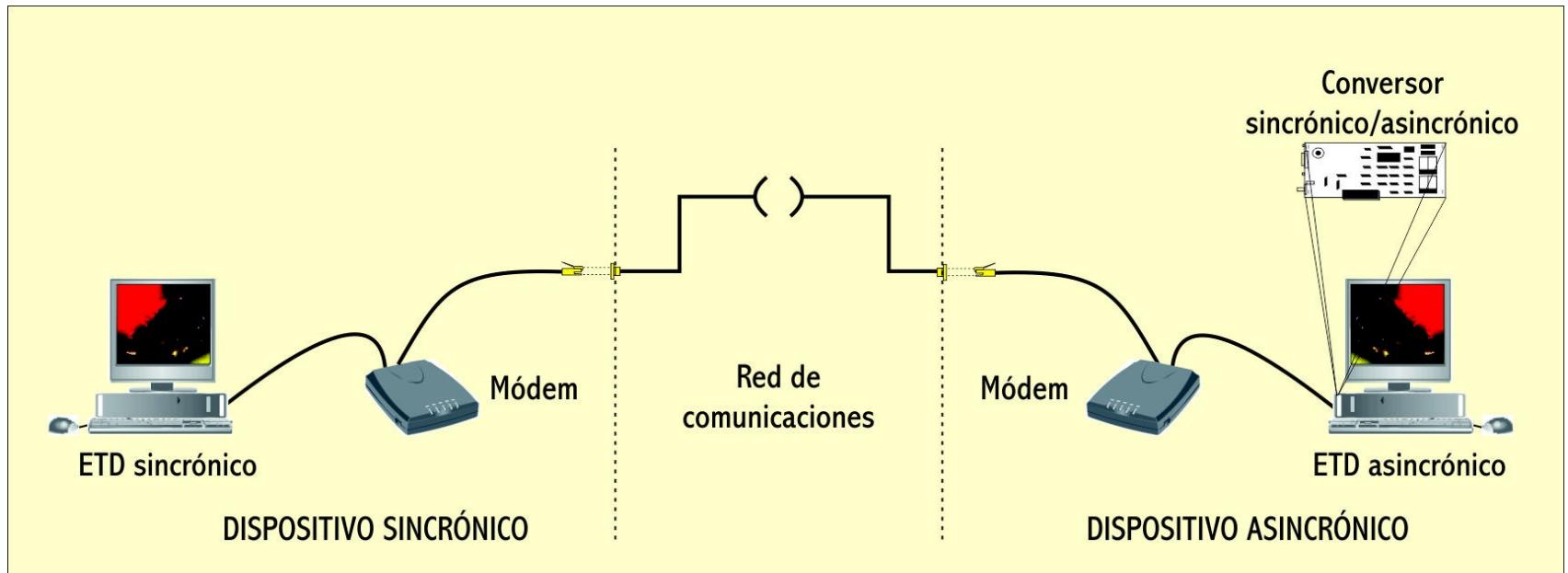
7.4.6.2 Características principales

Recomendación V.90 o V.92: la conexión requiere dos tipos de módem:

- Del lado del usuario: Módem cliente.
- Del lado del proveedor: Módem servidor.

Características:

- La conexión es asimétrica (velocidades distintas).
- Los módem se configuran diferentes:
 - el lado servidor trasmite en alta velocidad (bajada)
 - el lado cliente trasmite en baja velocidad (subida)





7.4.6.3 Funciones que prestan los módems inteligentes

7.4.6.3.1 Aspectos generales

- Capacidad de procesamiento y almacenamiento de datos.
- Procedimientos de establecimiento de la comunicación.
- Modulación QAM, con codificación entrelazada o *Trellis Coded Modulation*.
- Control del flujo de datos.
- Compresión, detección o corrección de errores.
- Operación como equipo facsímil.



7.4.6.3.2 Capacidad de procesamiento y almacenamiento de datos

Tienen un microprocesador que les permite realizar funciones en forma automática

o preprogramadas por *hardware* o por *software*.

Por hardware: hay llaves de posición de dos posiciones (DIP Switches) para elegir opciones.

Por software: se programan por comandos Hayes (desarrollados por *Hayes Microcomputer Incorporated*, aceptados como un estándar de facto).

Funcionan con distintos esquemas de modulación y de velocidades (multinorma).

- Configuración por comandos externos Hayes o Comandos AT (la inicialización del módem es mediante la secuencia AT).
- Hay comandos principales (normalizados) y extendidos (propietarios).
- Memorias de registro: almacenan parámetros de operación (Registros S).



COMANDO	FUNCIONES GENERALES	PARTICULARES
A	Facilita el modo de respuesta en forma manual.	
B	Selecciona el tono de respuesta y la velocidad de trabajo.	B _O = UIT - T. B ₁ = Normas Bell. 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.	E _O = Sin eco E ₁ = Con eco.
F	Permite seleccionar modo Dúplex o Semidúplex.	
H	Fuerza al módem a simular colgar o descolgar el microteléfono.	E _O = Colgar. E ₁ = Descolgar.
I	Solicita información sobre el equipo.	I _O = Código de identificación del producto. I ₁ = Identificación de la ROM. I _N = Otras informaciones.
L	Regula el volumen del parlante del equipo.	I _O = Mínimo. L _N = Otros valores interdios. L ₄ = 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. X ₄ = Conjunto máximo de prestaciones.
Y	Activa o desactiva señales de respuesta, o pausas.	
Z	Permite reinicializar el equipo.	



7.4.6.3.3 Procedimientos de establecimientos de la comunicación

Los módem están capacitados para trabajar a diferentes velocidades para obtener una velocidad de transmisión muy próxima al valor máximo que puede sustentar el canal en cada conexión.

El equipo, al establecer el enlace, tratará siempre de conectarse a la máxima velocidad posible que sea compatible en ambos lados del canal de comunicaciones.

Para cada comunicación conmutada podrá haber una calidad diferente en función del encaminamiento que la red haya establecido.

Las velocidades menores a la máxima se suelen denominar velocidades de repliegue, que irán siendo cada vez mas bajas a medida que la calidad del canal sea menor.



- Procedimiento de negociación: se realiza mediante un sondeo de línea, que consiste en determinar capacidades de los módems y los denominados parámetros de modulación.

Se usa un conjunto de instrucciones denominadas Secuencias INFO.

Los resultados del sondeo fijan la velocidad de modulación y de transmisión más convenientes.

Las Secuencias INFO se transmiten a 600 bps, con modulación de fase diferencial DPSK.

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



7.4.6.3.4 Modulación QAM: la Recomendación V.29

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

Se transmite un tren de datos aleatorios que se divide en grupos de cuatro bits de datos consecutivos(cuadribits).

El primer bit de cada cuadribit (Q1) determinar la amplitud de la señal

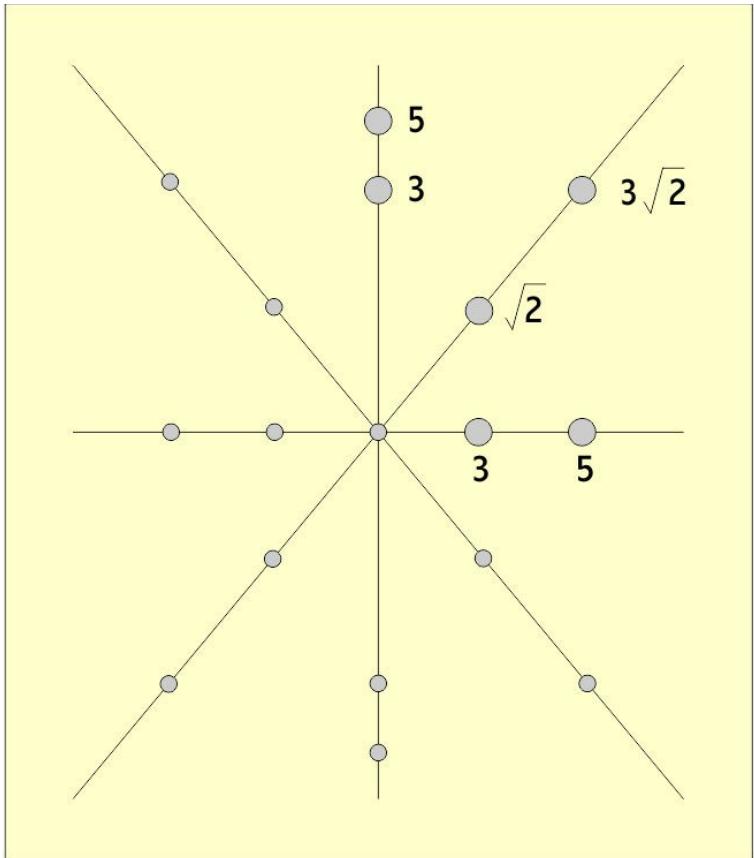
Los tres siguientes (Q2, Q3 y Q4), se codifican mediante un cambio de fase con relación a la fase del elemento precedente.



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



Constelación para la Recomendación V.29.

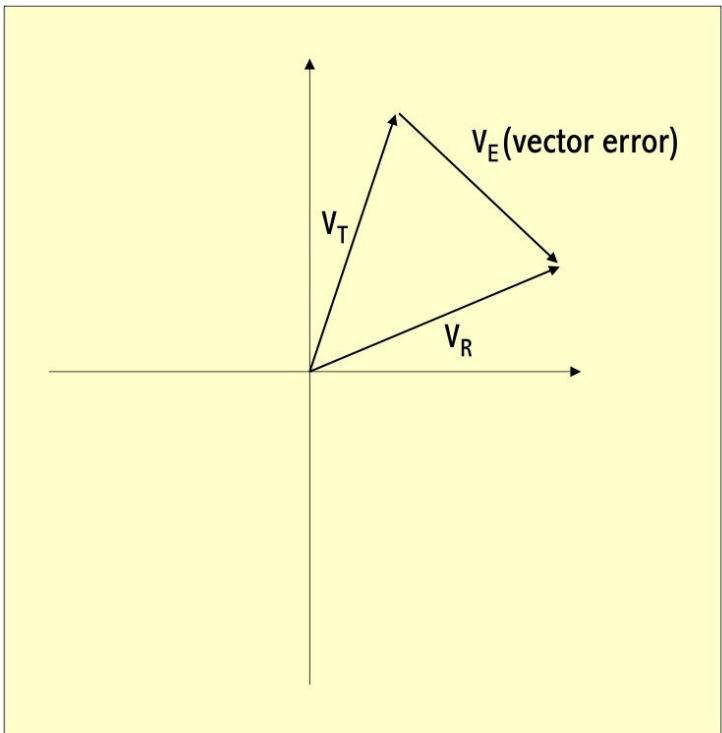


Cuadribits	Cambio de fase	Amplitud relativa	Cuadribits	Cambio de fase	Amplitud relativa
0001	0°	3	1001	0°	5
0000	+ 45°	$\sqrt{2}$	1000	+ 45°	$3\sqrt{2}$
0010	+ 90°	3	1010	+ 90°	5
0011	+ 135°	2	1011	+ 135°	3 2
0111	+ 180°	3	1111	+ 180°	5
0110	+ 225°	2	1110	+ 225°	3 2
0100	+ 270°	3	1100	+ 270°	5
0101	+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



7.4.6.3.5 Modulación QAM con codificación entrelazada

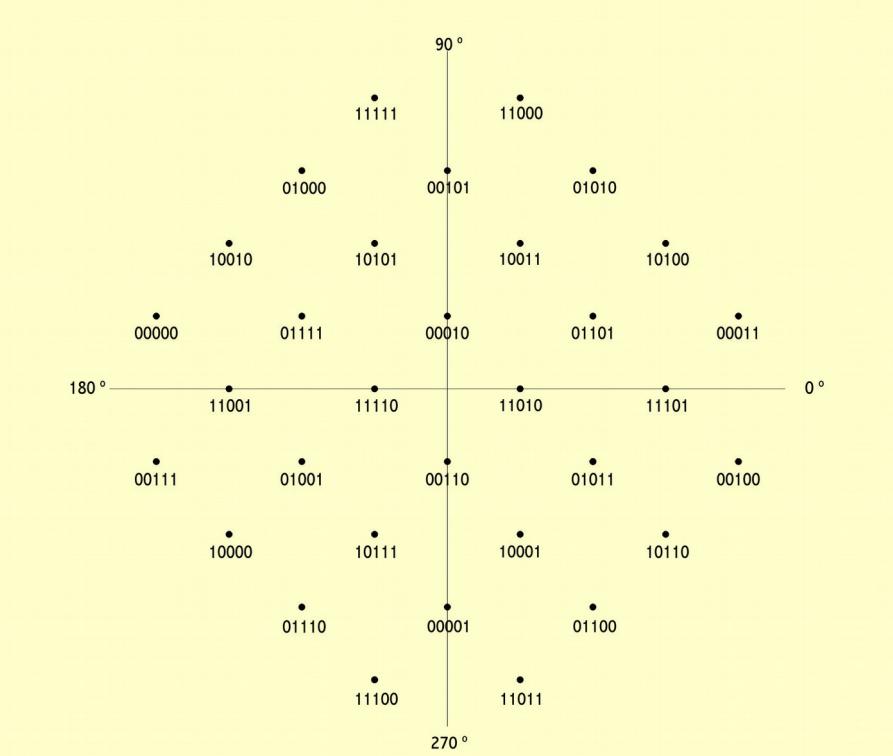
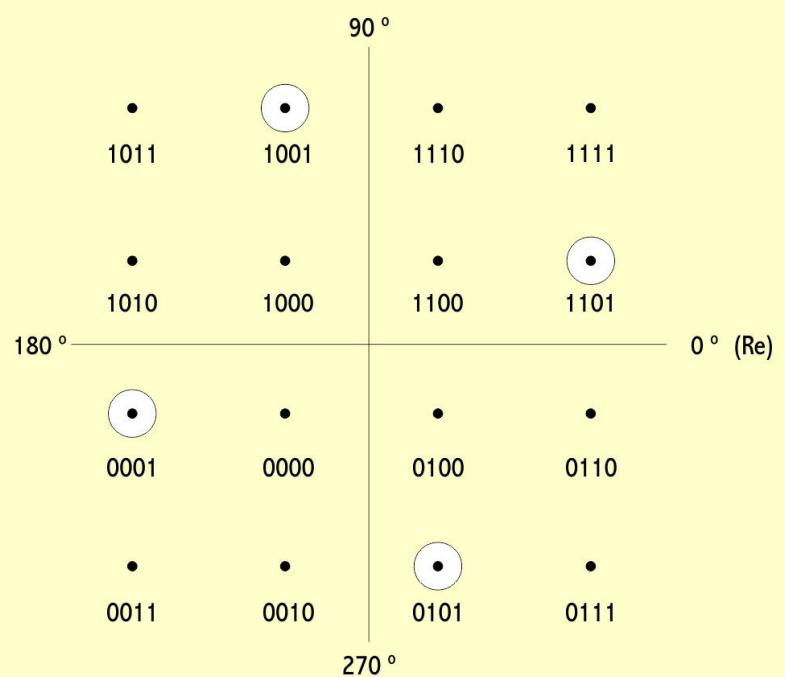
Modulación Trellis por codificación entrelazada: permite mayor eficiencia en canales con un ancho de banda limitado (frecuencia vocal).

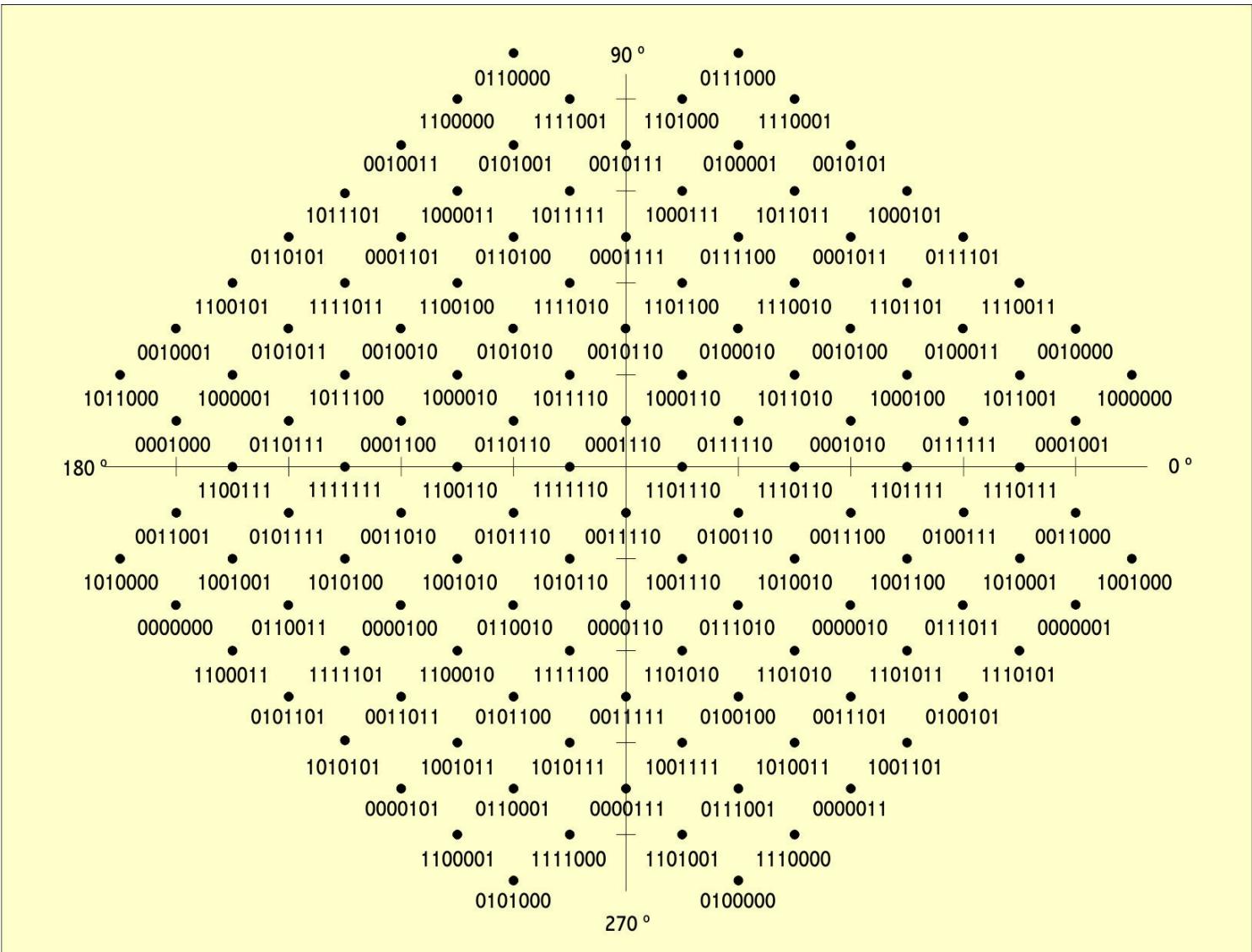




Recomendación V.32 usa la codificación entrelazada o Trellis:

- Funcionamiento en modo dúplex, tanto a través de la RTC como de circuitos arrendados a dos hilos punto a punto.
- Uso de técnicas de compensación de eco para la separación de los canales.
- Modulación de amplitud en cuadratura para cada canal con transmisión síncrona en línea a 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 ($2400 \times 4 = 9600$ bps)
 - otro con codificación entrelazada con 32 estados de portadora (cinco bits por Baudio).







7.4.6.3.6 Control del flujo de datos

- Un módem recibe bits de información desde el equipo terminal de datos fuente, los procesa y luego los envía a la interfaz que posee con la red.

La información en ambas interfaces 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
- desequilibrio entre lo que se recibe y lo que se envía.



- **Método RTS/CTS:** usa las señales de control de la interfaz serie.
Petición para transmitir (*Request To Send*): envía el ETD por Circuito 105 - Preparado para transmitir (*Clear To Send*): respuesta del ETCD por Circuito 104
Cuando el ETCD no puede seguir recibiendo datos desde el ETD, procede a desactivar el Circuito 104 llevando su valor a cero, y esa señal indicara al ETD que debe cesar la transmisión.
Se denomina *hardware flow control* .
No es necesario ningún procesamiento de datos para detener el flujo de los mismos



7.4.6.3.6 Control del flujo de datos

- **Método XON/XOFF:** usa dos caracteres de control que el ETCD manda al ETD para indicar que puede enviar datos o que debe detener el flujo de ellos.

ASCII No 17 (XON): Dispositivo de Control No 1 - *Device Control # 1*.

ASCII No 19 (XOFF): Dispositivo de Control No 3 - *Device Control # 3*.

Se denominación *software flow control*

Este procedimiento requiere procesamiento e introduce demoras.

- **Método ENQ/ACK:** se usa las señales
 - petición (Enquire-ENQ) antes de comenzar la transmisión por parte del ETD
 - aceptación (Acknowledge-ACK) aceptación del ETCD.

Es un procedimiento de *software*.



7.4.6.3.7 Detección, corrección de errores y comprensión de los datos

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

Características:

- Utiliza el procedimiento de detección de errores, denominado – CRC.
- La corrección de errores, cuando estos son detectados, se efectúa por medio de un procedimiento de retransmisión automática.
- Cuando el modem correspondiente no posee la facilidad de realizar el control de errores por medio de los procedimientos de esta recomendación, el mismo es omitido en forma automática.
- El intercambio de datos entre el ETD y el módem se hace por medio de la interfaz V.24.



7.4.6.3.8 Operación del módem como equipo facsímil

Recomendación V.32 bis o mejores permiten trabajar como facsímiles o para voz.

Facsímil está de acuerdo a la Recomendación V.17 (1991):

- velocidades de transmisión de hasta 14.400 bps
- velocidades de repliegue a 12.000, 9600 y 7200 bps
- velocidades de modulación de 2400 Baudios
- modulación QAM y Codificación Entrelazada

Recomendación T.30: Equipos Terminales y Protocolos para los Servicios de Telemática (Anexo F: Procedimiento de transmisión facsímil del Grupo 3):

- usa modulación semidúplex de la Recomendación V.34
- velocidades de hasta 33.600 bps.



7.4.7 Características técnicas y operativas de un módem

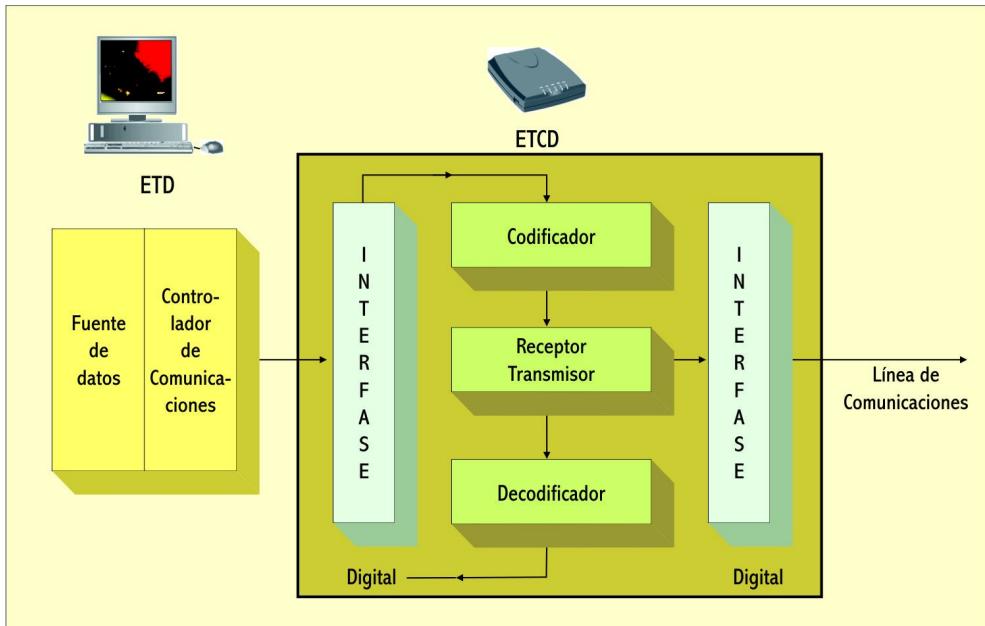
Velocidad de modulación	Tensión de alimentación
Velocidad de transmisión	Frecuencia de alimentación
Número de bits por Baudio	Sistema de portadora
Modo de transmisión	Tipo de actualización
Tipo de explotación	Requerimientos del canal
Tipo de línea a utilizar	Banda pasante
Calidad de la línea a utilizar	Distorsión
Interfase a utilizar con el ETD	Relación señal/ruido
Origen de la señal de sincronismo	Supresión de eco
Base de tiempo interna y externa	Codificación de las señales
Sensibilidad de recepción	Llamad automática
Consumo de potencia	Contestación automática
Tipo de modulación	Posibilidad de trabajo multipunto



7.5 Módem banda base

Utilizan la transmisión digital codificada y son aptos para distancias cortas en líneas especiales.

Es un “módem” que no hace modulación y demodulación sino codificación y decodificación





Utilización importante para:

- Instalaciones en radios urbanos y en cortas distancias.
- Necesidad de trabajar a velocidades altas (mas de 33.600 bps).
- Fácil instalación, puesta a punto y mantenimiento.
- Necesidad de interconectar circuitos digitales, como puede ser la de interconectar dos equipos *router* a traves de un vinculo digital de 64 kbps o de velocidad aun mayor.

Características:

- Velocidades seleccionables desde 300 bps a 2048 Mbps y aun mas en algunos casos especiales.
- Uso de líneas de pares metálicos a 2 o 4 hilos.
- Codificación en banda base del tipo codificación diferencial o similar.
- Sincronismo de bit (proporcionado por el equipo terminal o por el propio módem).
- Interfaz con el equipo terminal, normalizada en los términos de la Recomendación V.24.



7.6 Redes de acceso utilizando tecnologías xDSL

7.6.1 Concepto de redes de banda ancha

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).



7.6.2 Características de la red de cables de cobre

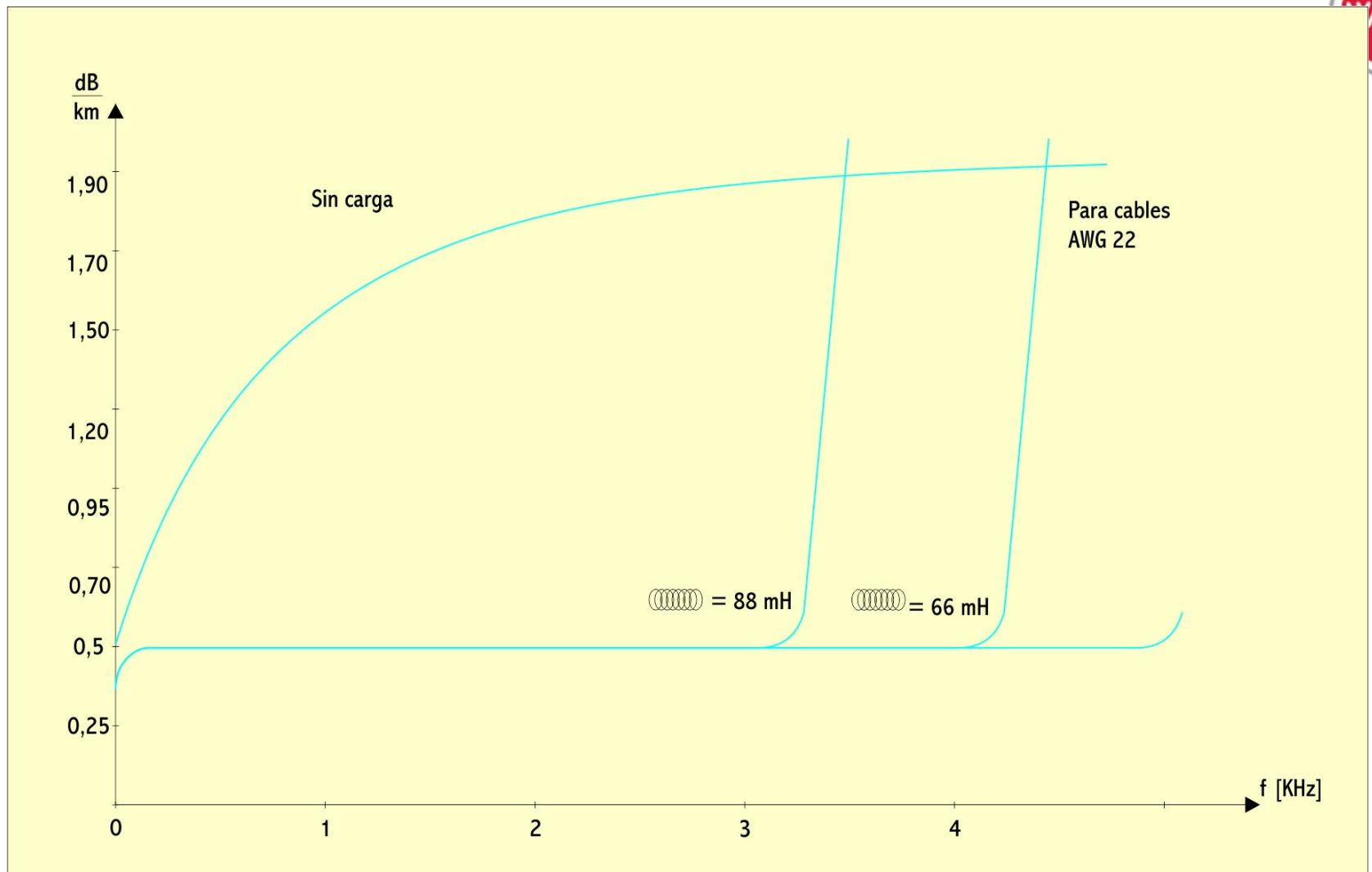
Las empresas telefónicas aprovechan la infraestructura instalada (1.400.000.000) de líneas fijas telefónicas que utilizan pares de cobre para prestar el servicio.

Ancho de banda cercano a 1 Mbps

Surge la idea de digitalizar parcialmente la línea de abonado para ofrecer servicios de transmisión de datos a alta velocidad.

Hay dificultades en el par de abonado si se usan inductancias para disminuir la atenuación (los efectos capacitivos limitan a 6 km).

Las líneas así suplementadas por inductancias se denominan **par de abonado cargado**.





7.6.3 Las Tecnologías xDSL

Parámetros :

- Distancias máximas de utilización.
- Velocidades del tráfico descendentes y ascendentes.
- Mercado al que están dirigidas.
- Utilización simultánea sobre pares telefónicos o cables de uso exclusivo.
- Características de simetría de los canales.
- Codificación de las señales digitales.
- Cantidad de pares requeridos.

**ABREVIATURA****DENOMINACIÓN****ADSL/DSL2+**

Línea Digital de Abonado Asimétrica
Asymmetric Digital Subscriber Line

RADSI

Línea Digital de Abonado Asimétrica de Velocidad Variable
Rate Adaptive Asymmetric Digital Subscriber Line

HDSL/HDSL1

Línea de Abonado de Alta Velocidad
High Bit Rate Digital Subscriber Line

SDSL

Línea Digital de Abonado Simétrica
Symmetric Digital Subscriber Line

VDSL

Línea de Digital Abonado de Muy Alta Velocidad
Very High-Speed Digital Subscriber Line



7.6.4 Tecnología ADSL

7.6.4.1 Generalidades

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 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

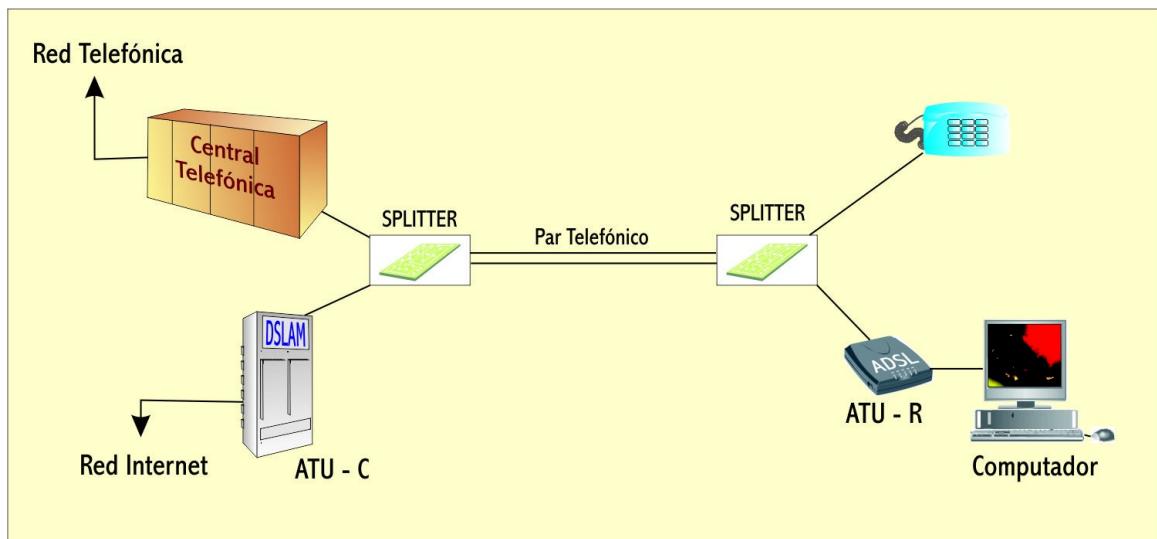
Solución de bajo costo para conectar a una LAN a la Red Internet.



7.6.4.2 Arquitectura ADSL

Elementos:

- Un par de cables de cobre (utilizado simultáneamente para el servicio telefónico).
- Un módem ADSL en el domicilio del usuario final (denominado ATU-C).
- Un equipo denominado DSLAM en el edificio donde está ubicada la central telefónica del proveedor (denominado ATU-R).
- Dos *splitter* en ambos extremos.

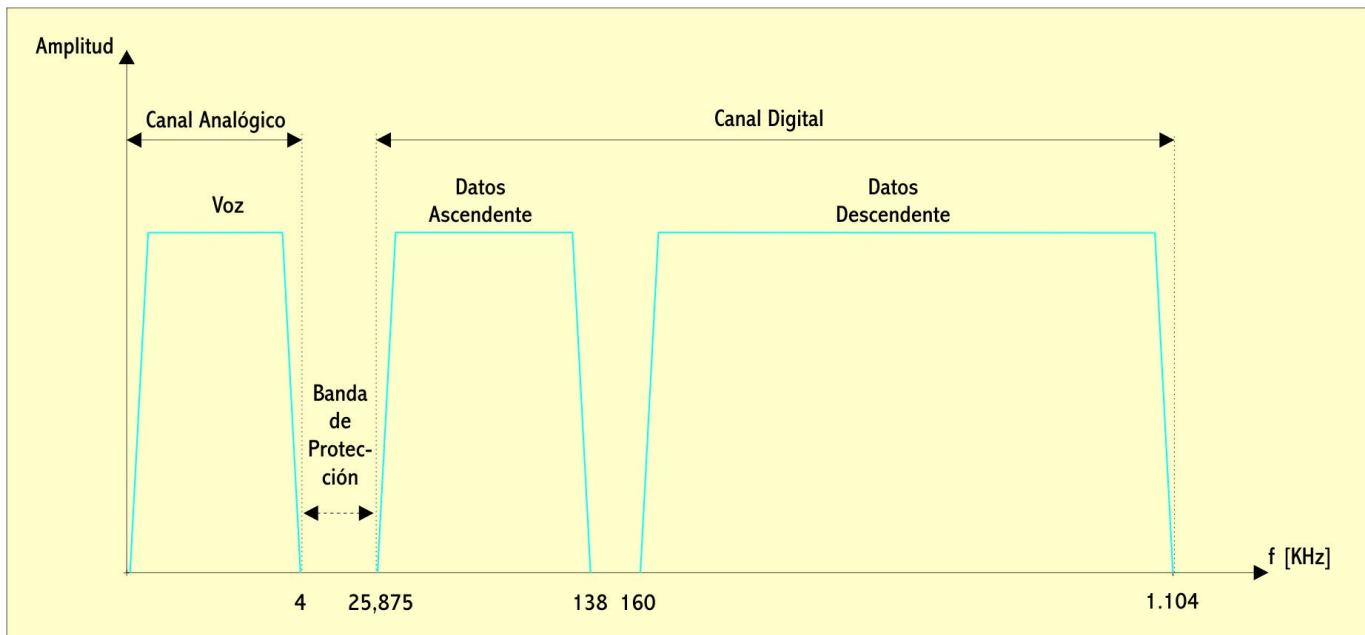




Recomendación UIT G.992.1 : administra el ancho de banda en los pares de cobre en tres canales diferentes.

El canal de voz analógico está separado del módem digital mediante filtros contenidos en el *splitter*, incorporados a los módems en ambos extremos.

En la central telefónica del operador, los módems DSLAM están instalados en bastidores y se conectan a la Red Internet mediante enlaces Ethernet o ATM.

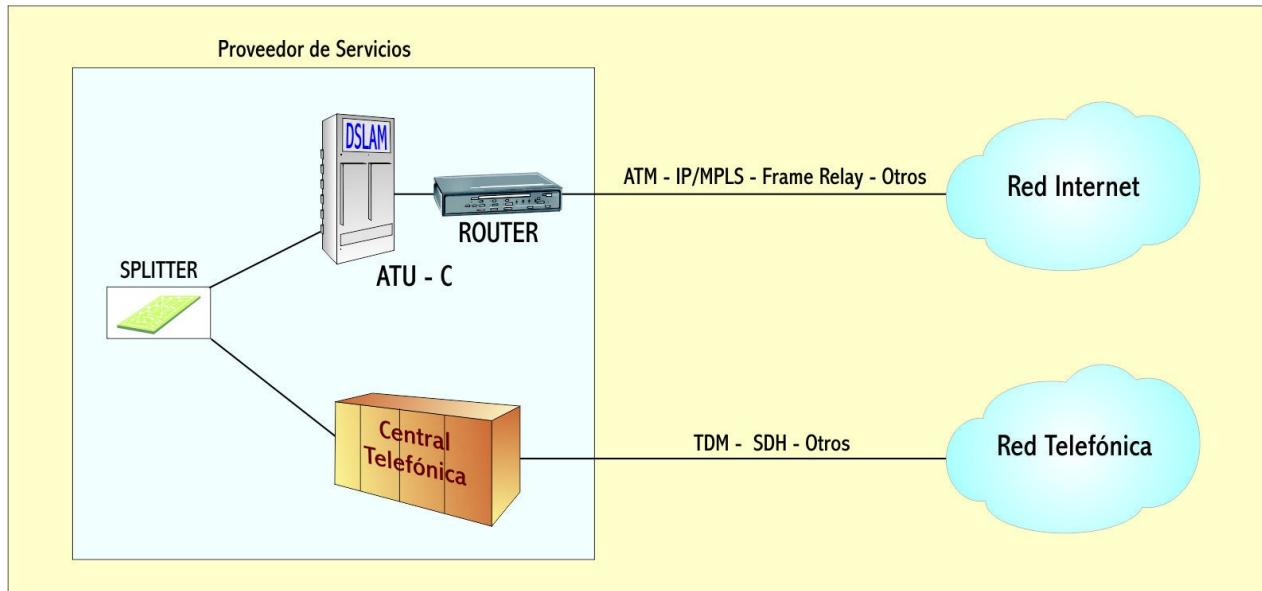




7.6.4.3 Funcionamiento del ADSL

Del lado del usuario el módem (ATU-C) tiene incorporado un *splitter* que divide en:

- un canal analógico para señales vocales
- dos canales digitales para datos: descendente de alta velocidad y ascendente de velocidad menor).





Arquitectura de varios enlaces ADSL administrados por un DSLAM.

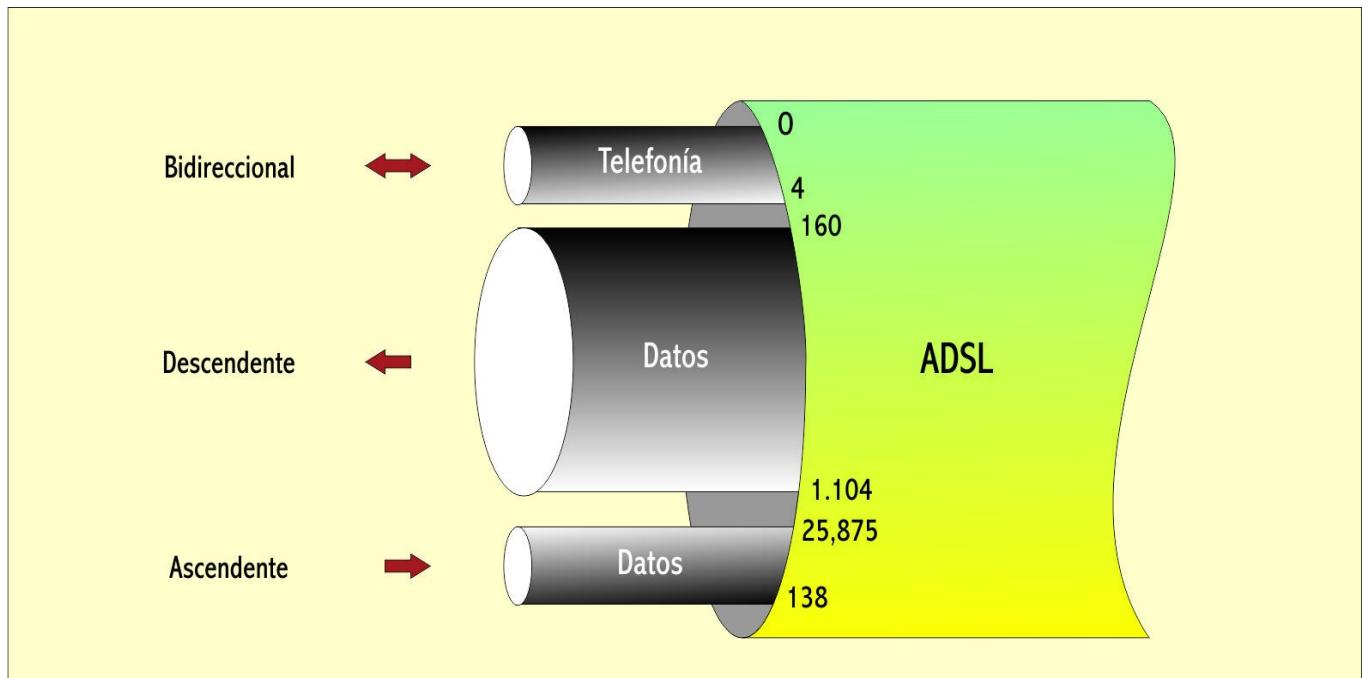
Un DSLAM funcionalidades en el nivel 2 del modelo OSI.

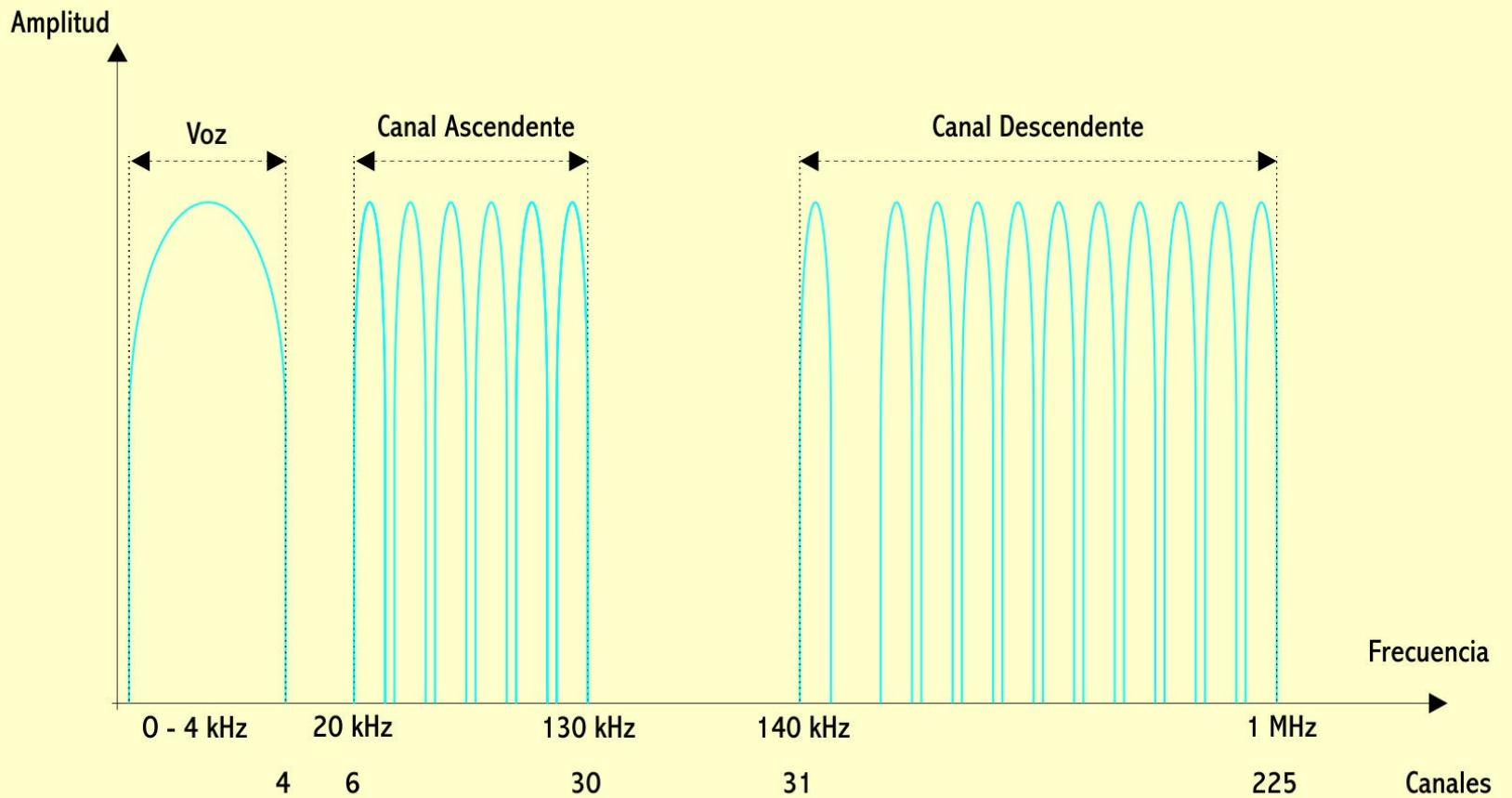
Para encaminar el tráfico hacia diferentes destinos debe conectarse a un *router* de nivel 3.

El DSLAM tiene **cancelación de eco** para evitar las interferencias por intermodulación.



Tecnología ADSL usa código de línea **DMT**, también conocida como **OFDM**. Consiste en dividir el ancho de banda en un conjunto de subportadoras ortogonales de diferentes frecuencias. Cada subportadora se modula con QAM o PSK.







7.6.4.4 Las últimas versiones del estándar

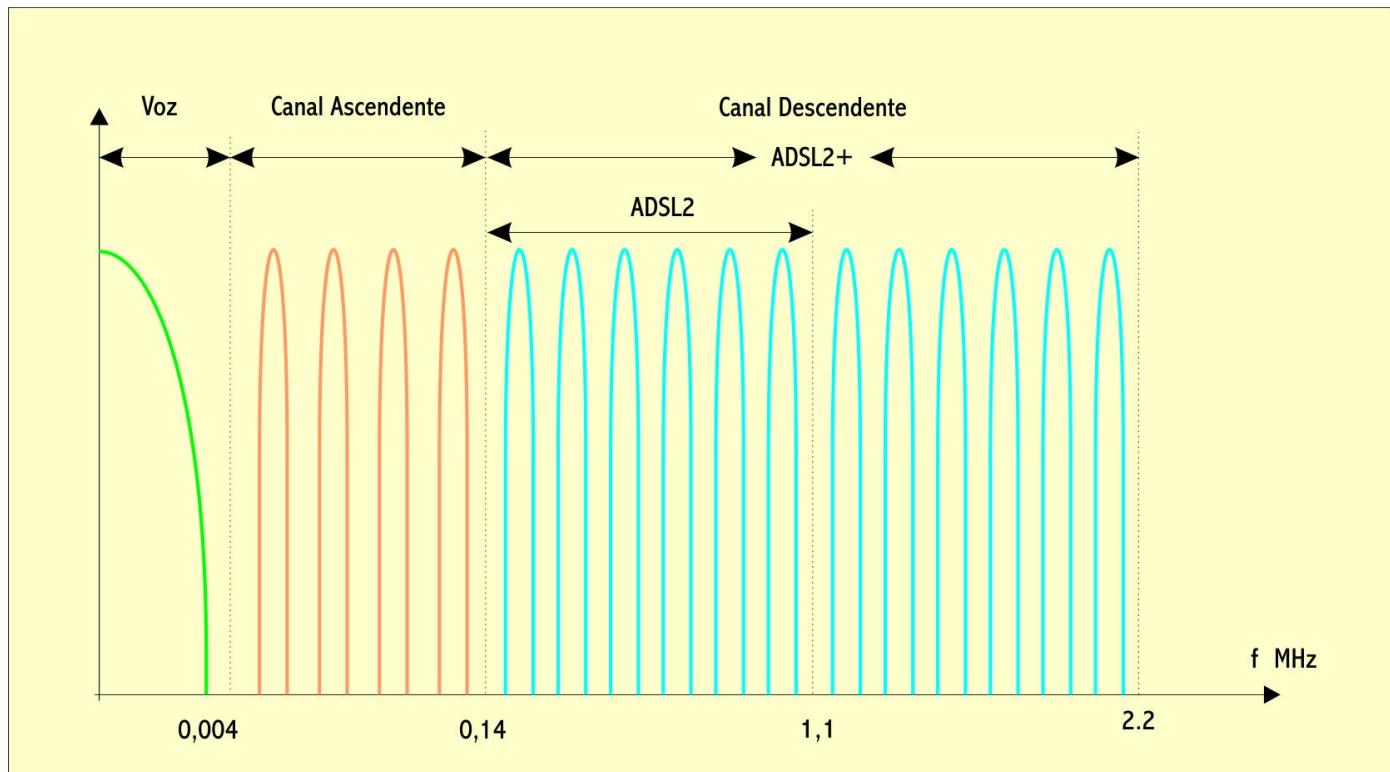
Los fabricantes han desarrollado equipos para mayores velocidades para brindar otros servicios (televisión bajo demanda, juegos de video en línea, videoconferencia).

ESTÁNDAR	DENOMINACIÓN	AÑO	OBSERVACIONES
ITU G.992.1	ADSL (<u>G.DMT</u>)	1999	Actualizada en 2003
ITU G.992.1 Anexo A	ADSL	1999	Sobre RTPC
ITU G.992.1 Anexo B	ADSL	1999	Sobre ISDN
ITU G.992.2	ADSL (<u>G.Lite</u>)	1999	Lite - Actualizada en 2003
ITU G.992.3/4	ADSL2	2009	
ITU G.992.3 Anexo J	ADSL2	2009	
ITU G.992.3 Anexo L	RE-ADSL2	2009	
ITU G.992.4	ADSL2	2002	Sin Splitter
ITU G.992.5	ADSL2+	2009	
ITU G.992.5 Anexo L	ADSL2+	2009	
ITU G.992.5 Anexo M	ADSL2+M	2009	Alcance extendido - Reach Extended



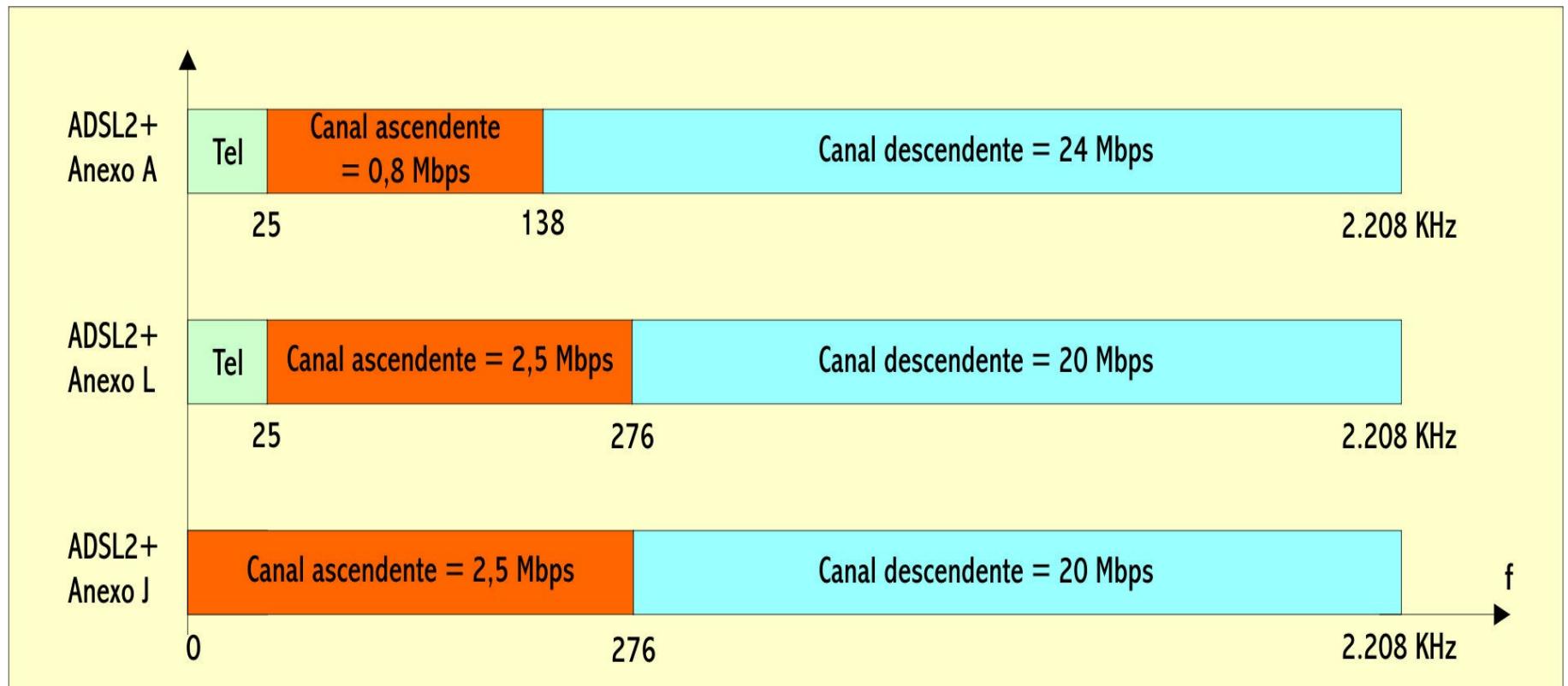
Las mejoras buscan incrementar la velocidad descendente.

ADSL2 plus: hasta 24 Mbps (evolución del sistema ADSL y ADSL2).





Distribución de frecuencias y velocidades máximas:





7.6.4.5 Características del estándar ADSL ventajas y desventajas

- Permite la operación telefónica y navegar por la Red Internet.
- No requiere una infraestructura especial, reusando la planta externa existente.
- Los operadores no afrontan grandes gastos.
- 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.



7.7 Cable Módem

7.7.1 Introducción

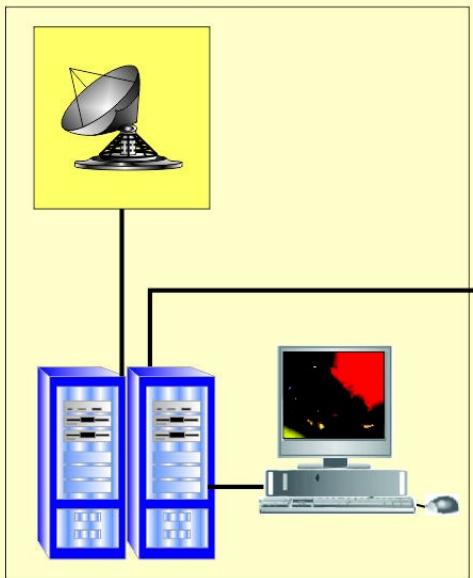
7.7.1.1 *Las redes de distribución de señales de televisión por cable*

La televisión se inicio con la recepción por medio de antenas.

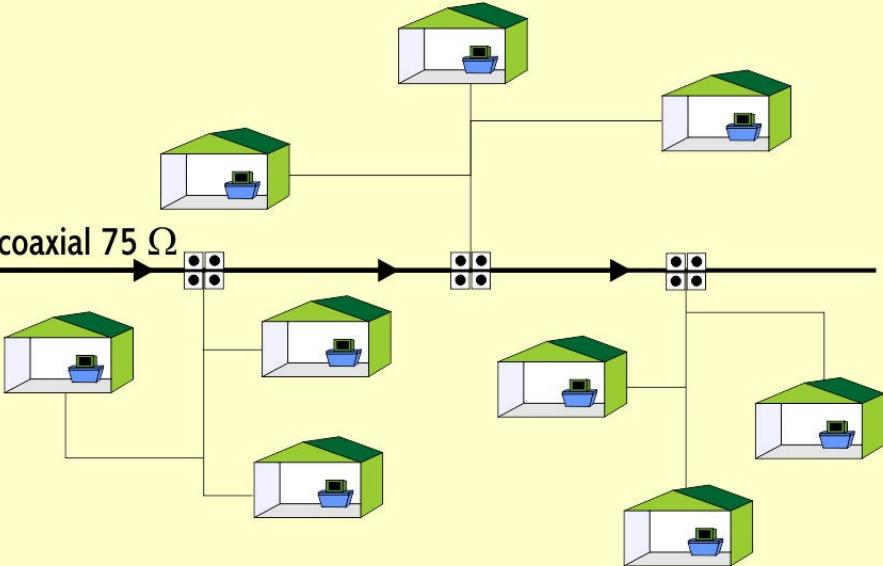
La limitación del número de canales el ruido y la calidad de la señal hizo rentable la construcción de redes alámbricas hasta el hogar.



Cabecera

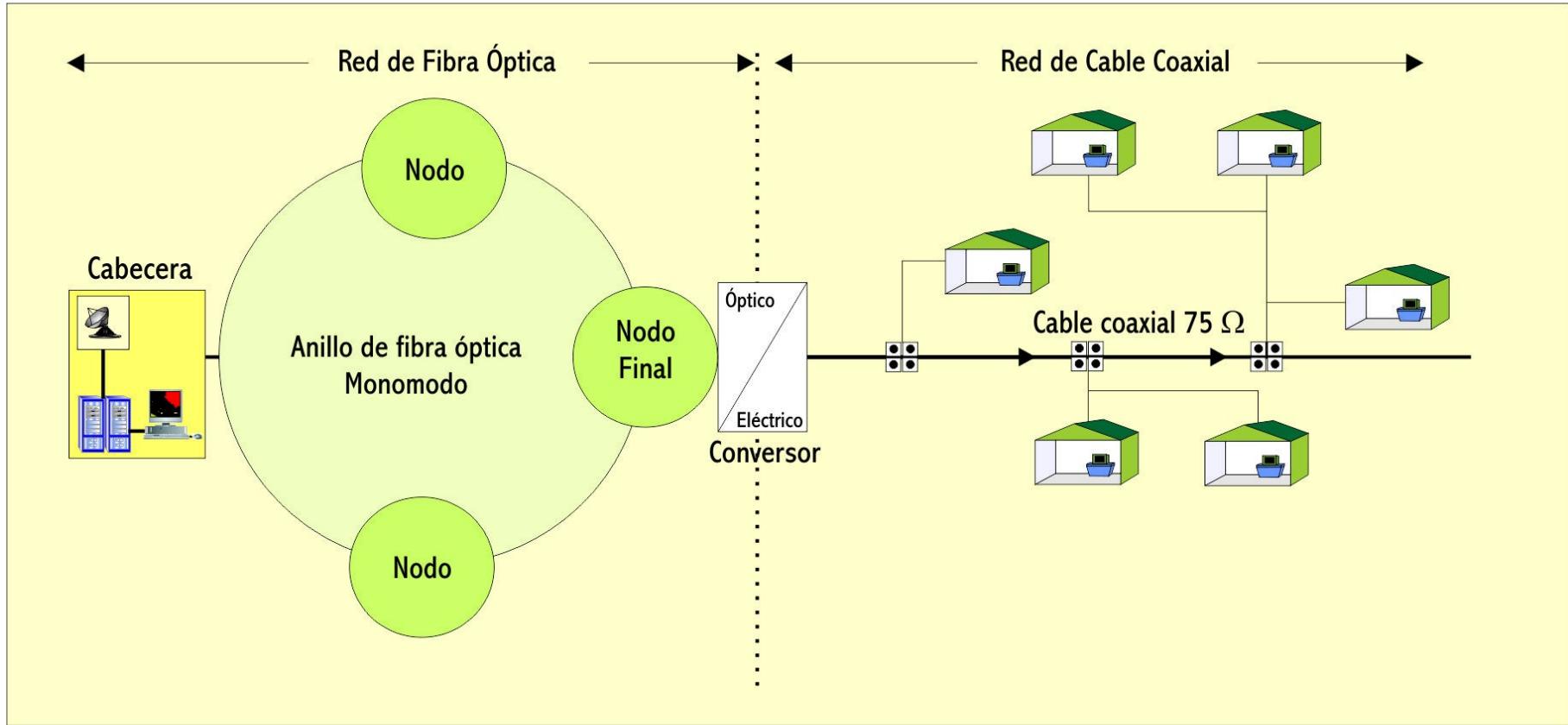


Cable coaxial 75Ω



Red de Distribución de
Televisión por Cable

- ▣ Empalme
- ▶ Amplificador unidireccional

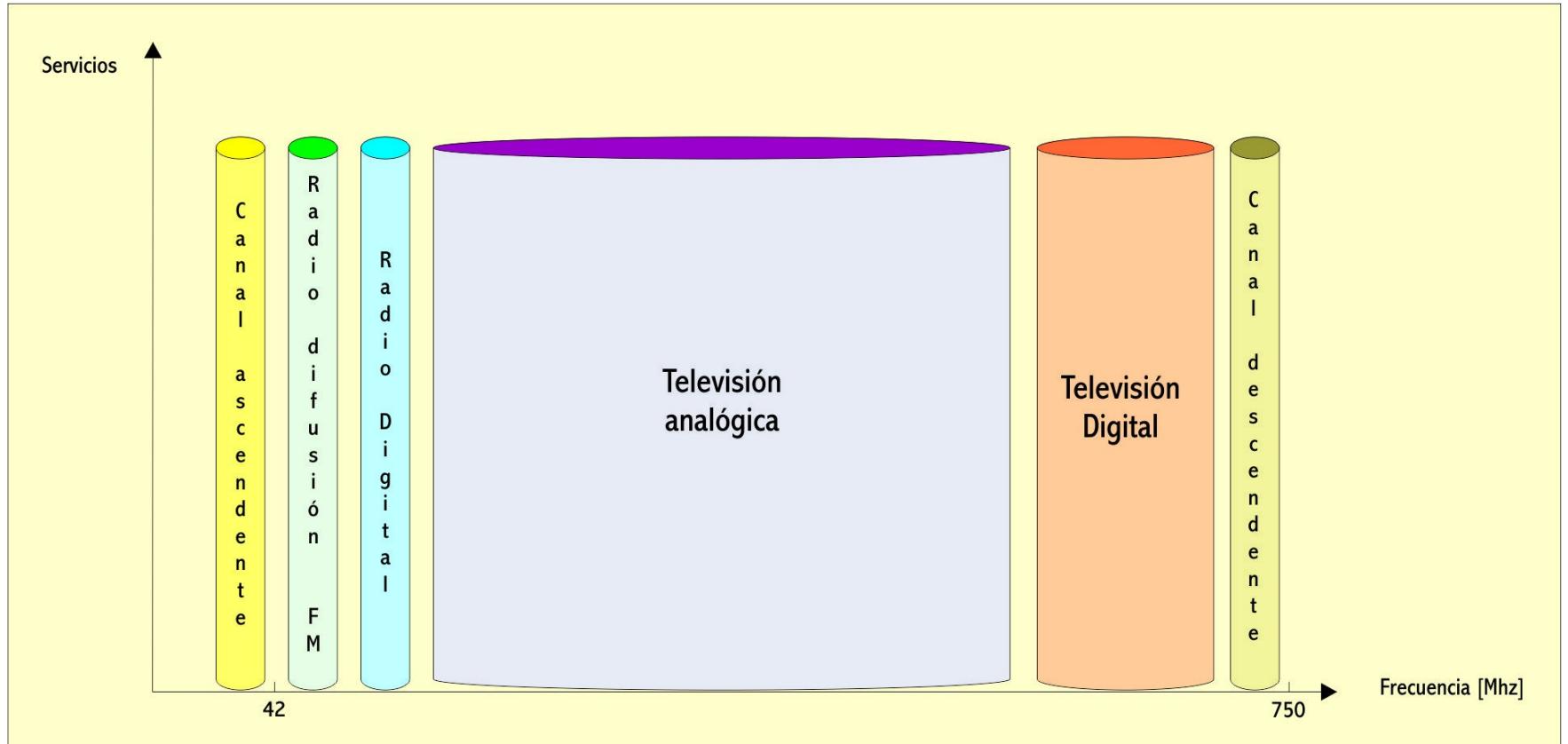




7.7.1.2 Los servicios que presta una red de distribución de señales de televisión por cable

El Cable Modem permite proveer servicios con protocolos que establecer 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 multimedio con calidad de servicio.
- Administración de los servicios.





7.7.2 Arquitectura de una red híbrida de cable para la transmisión de televisión, datos, voz y otros servicios

7.7.2.1 Consideraciones generales

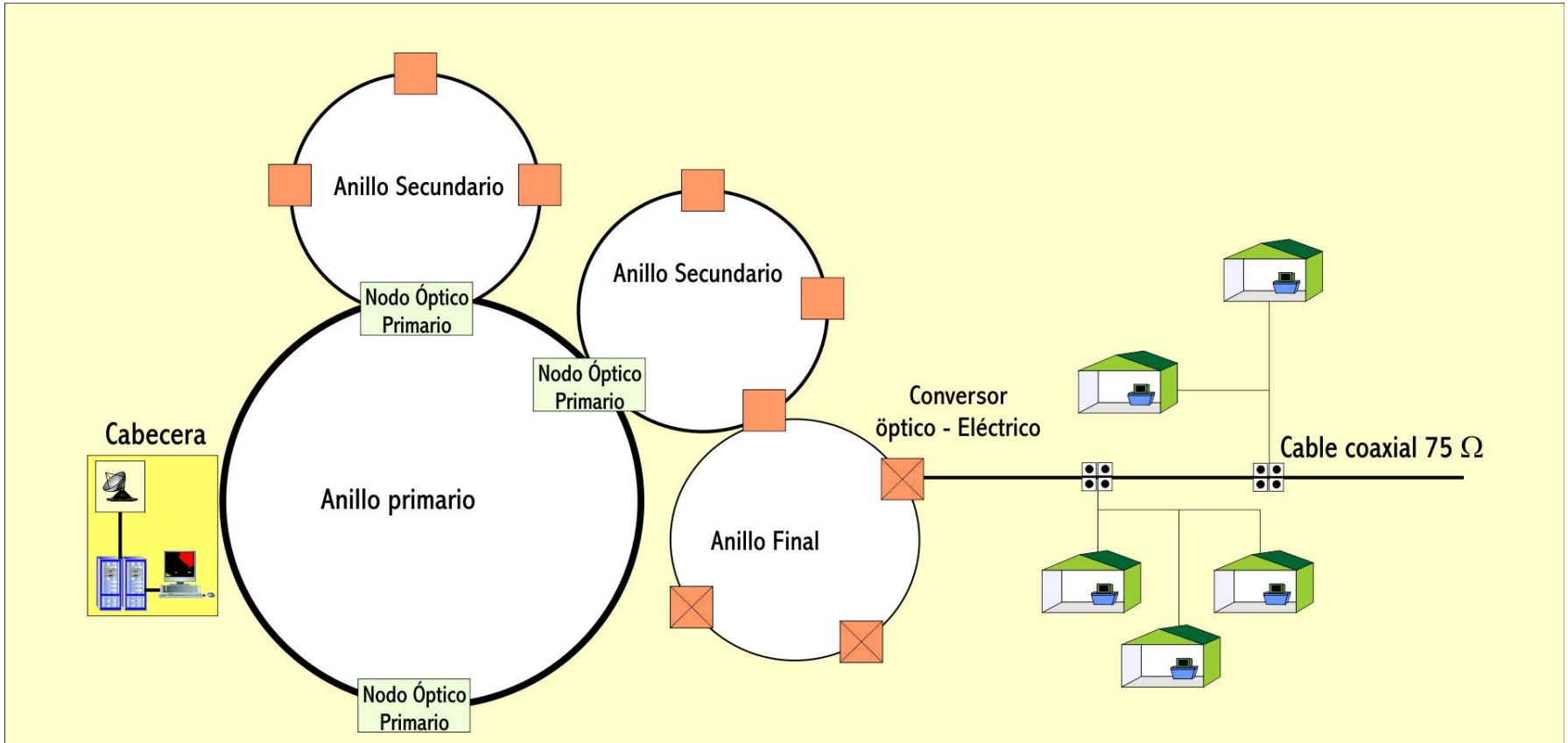
Son redes con topología de anillos entrelazados y derivaciones en estrella.

Tres tipos de anillos: primarios, secundarios y finales.

El anillo primario o troncal es la columna vertebral de la red, conectado a la cabecera donde se envían las señales a la red.

Las redes utilizan fibras monomodo con amplificadores bidireccionales.

A partir de los anillos finales se efectúa la conversión óptico/eléctrica y se procede a su distribución a los usuarios a través de una topología en estrella por cables de cobre.

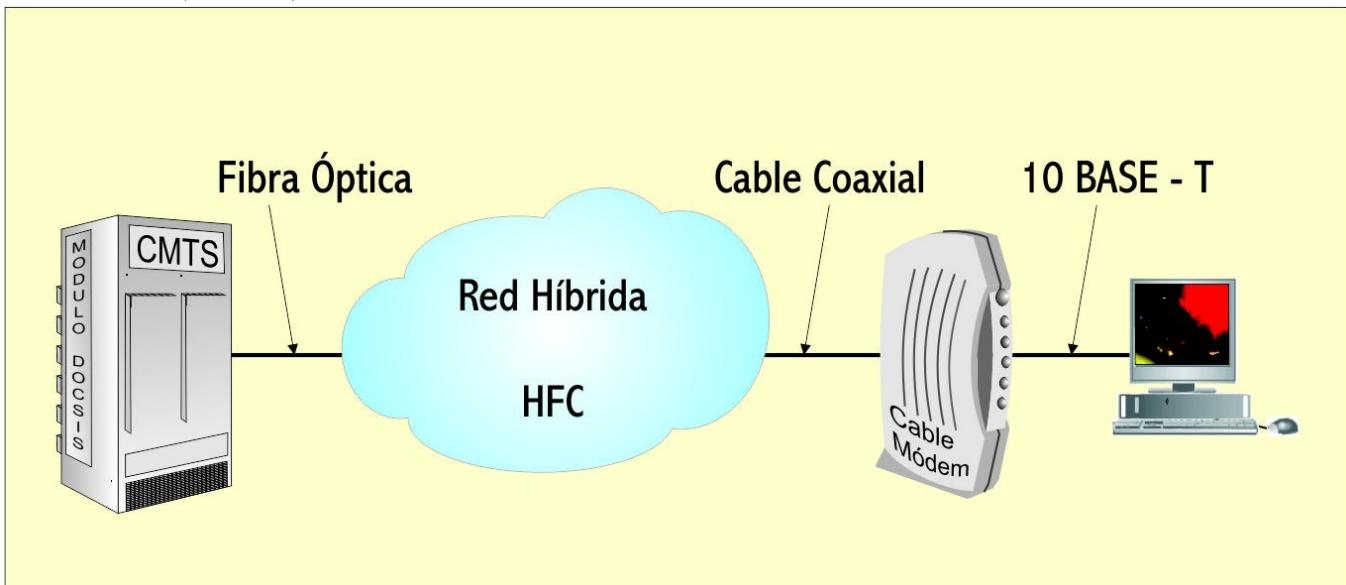




7.7.2.2 Estructura del circuito de datos con cable módem

El circuito de datos se establece entre el cable modem del usuario y el **Sistema de Terminación del Cable Módem - CMTS** (*Cable Modem Termination System*) de la cabecera que puede atender a un número importante de usuarios finales.

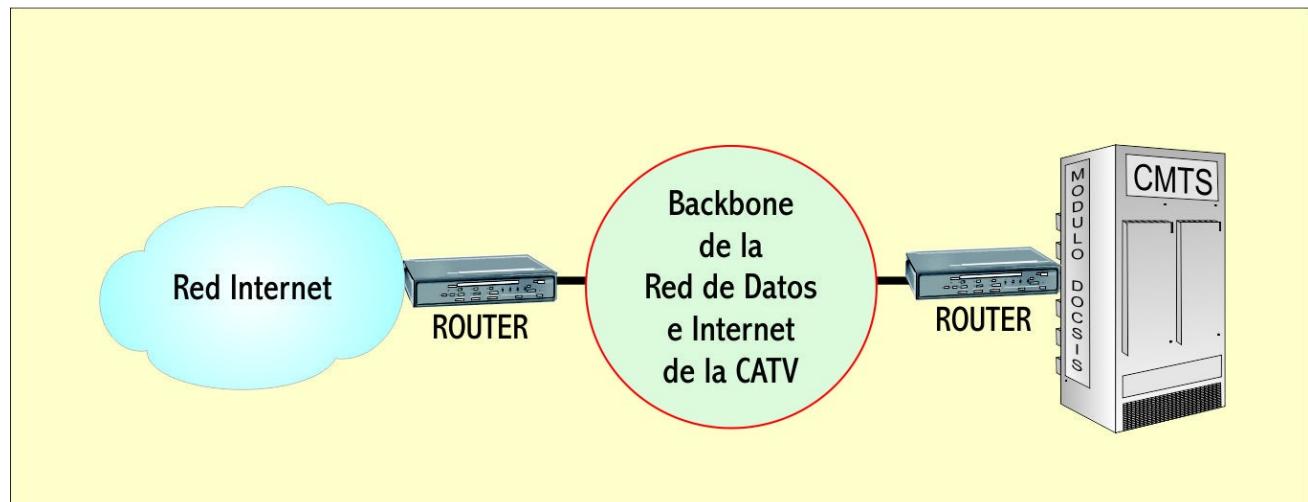
Entre ambos equipos el transporte de datos se efectúa por medio de la Red Híbrida de fibra y coaxiales (HFC).





El CMTS está en la cabecera del operador, conectado al *Backbone* de la red.

Se conecta a Internet mediante enlaces de datos de alta capacidad con un proveedor de servicios de red utilizando un *router* como equipo de acceso





7.7.2.3 Equipo del Sistema de Terminación del Cable Módem

Un CMTS entrega la información necesaria al cable modem para configurarse:

- Entrega al ETD del usuario conectado a un cable módem una dirección IP utilizando el protocolo **DHCP** (hay una lista de direcciones IP dinámicas y se van asignando a los clientes).
- Entrega fecha y hora para almacenar los eventos de acceso de los usuarios.
- Facilita al cable modem el proceso de registro y de privacidad de la línea mediante protocolo **TFTP**.



7.7.2.4 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.

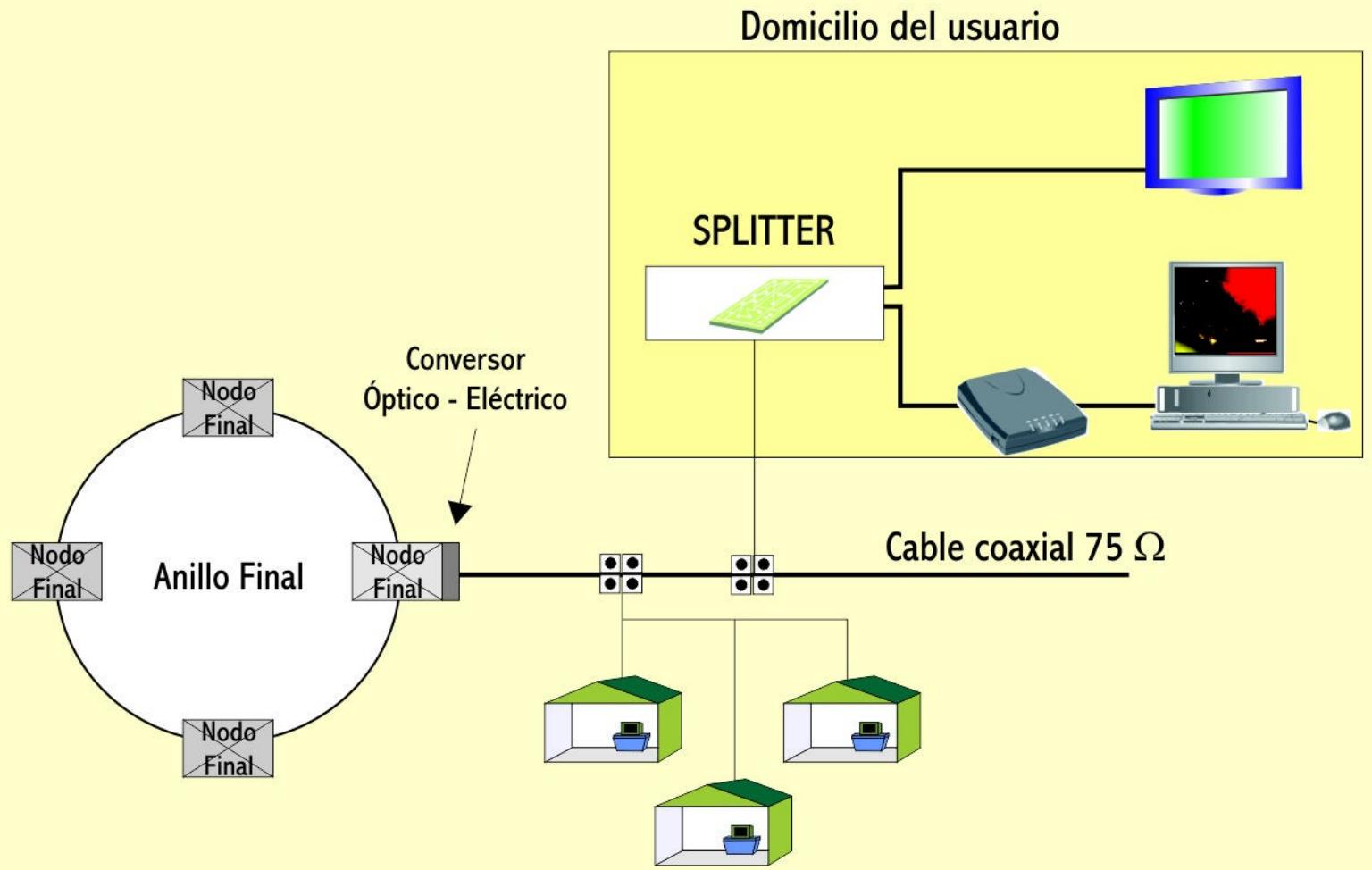
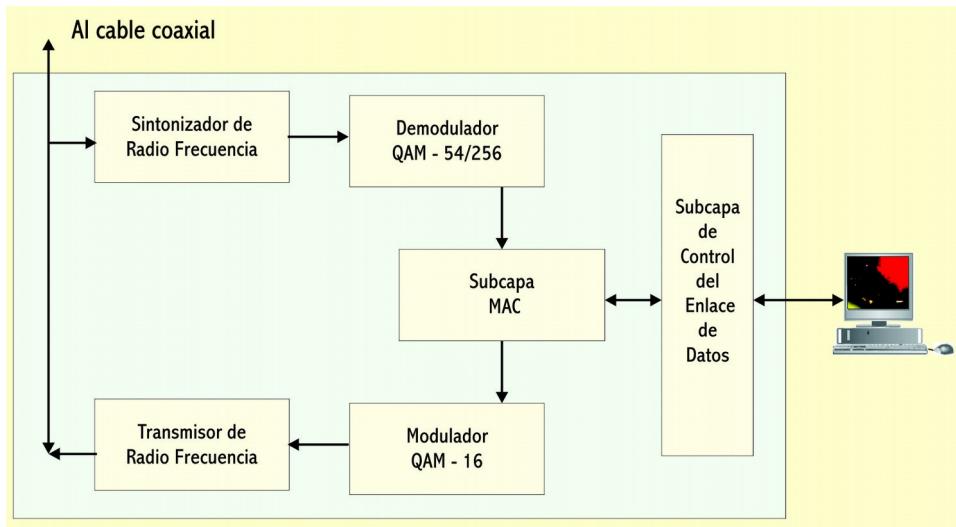




Diagrama en bloque de un cable modem:

- Sintonizador de radiofrecuencia.
- Demodulador.
- Capa MAC.
- Interfaz del control de datos.
- Modulador.
- Transmisor de radio frecuencia.





7.7.3 Las especificaciones DOCSIS

7.7.3.1 DOCSIS, Cable Labs Europa y CableLabs

DOCSIS es 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**.



7.7.3.2 Características generales del estándar DOCSIS

Numerosas variantes de frecuencias, velocidades, esquemas de modulación, etc.

En los distintos países hay diferencias en el ancho de banda asignado.

Las velocidades máximas dependen del esquema de modulación utilizado.

Uso	Modulación	Bit x Byte	Número de niveles	Observaciones
Canal ascendente	QPSK	2	4	En desuso
Canal ascendente	QAM	4	16	
Canal ascendente	QAM	5	32	Solo en algunos cables módem
Canal descendente	QAM	6	64	También en canales ascendentes
Canal descendente	QAM	8	256	



7.7.3.3 Características de la prestación del servicio de conectividad a la Red Internet

Comunicación de datos entre el CMTS y el cable modem a través de la Red Híbrida.

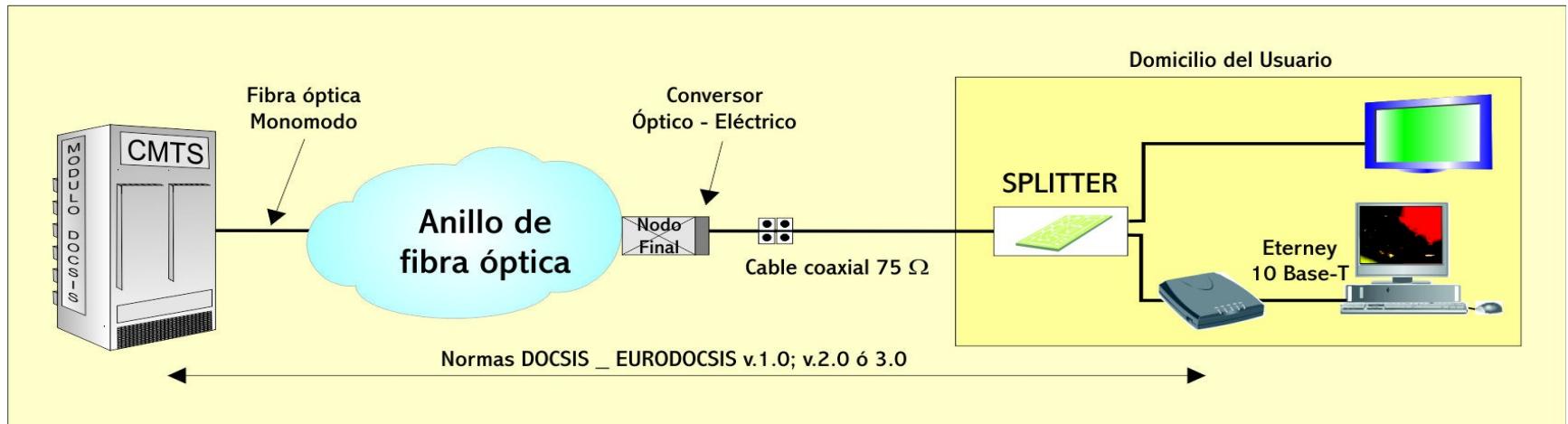
Usa especificaciones DOCSIS y protocolos TCP/IP transparente a los medios usados: fibra óptica y cable coaxial.

Según el ancho de banda y la modulación será la velocidad máxima.

En el nodo final un convertidor transformara las señales ópticas en eléctricas y las entrega a los usuarios (con su cable modem).

La cantidad de usuarios por canal dependerá del nivel de servicio.

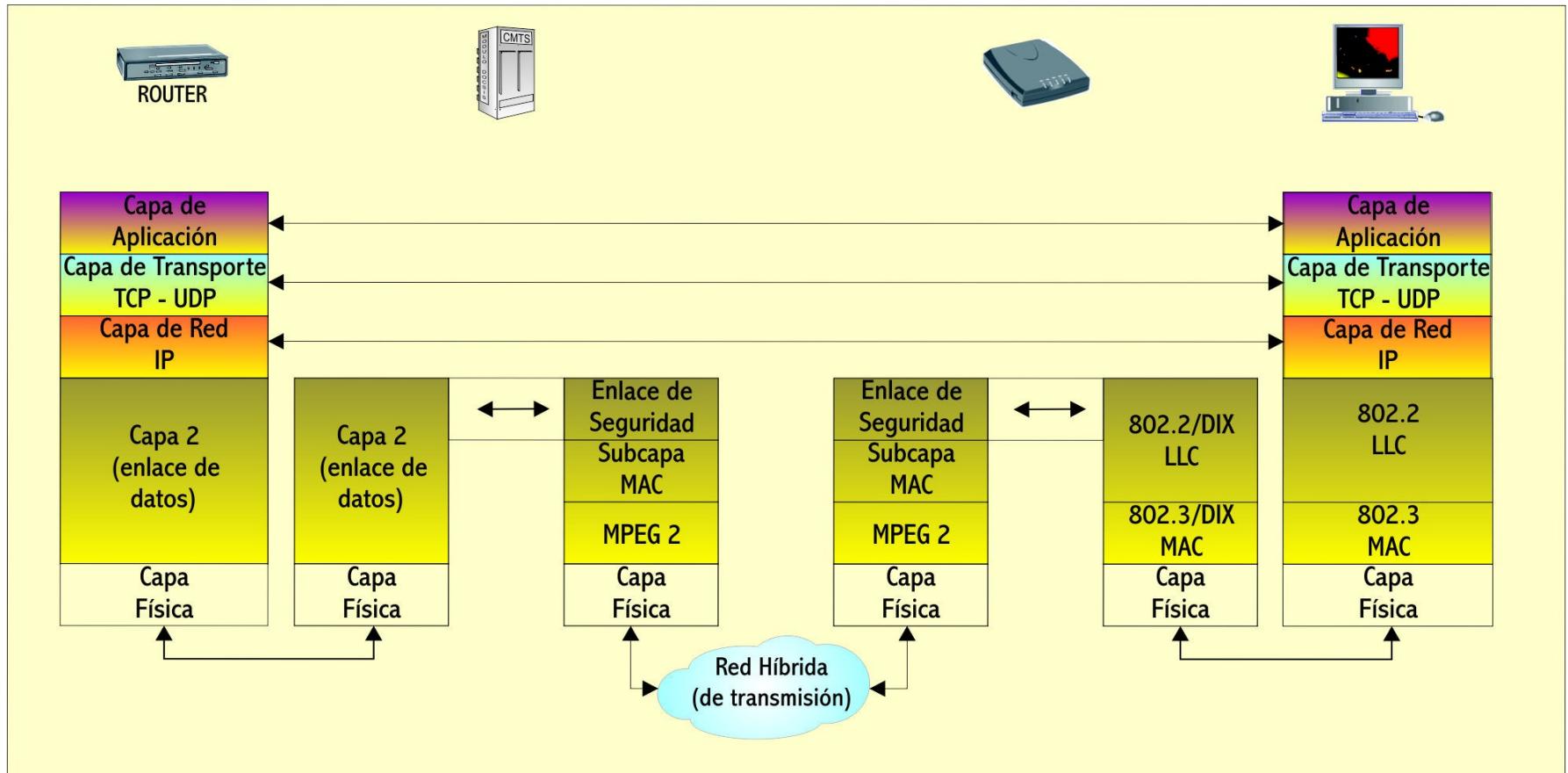
Varia entre 100 y 500 por nodo final para el uso de canal de 6 MHz.



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



7.7.3.4 Esquemas de protocolos utilizados en las normas DOCSIS





7.7.4 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



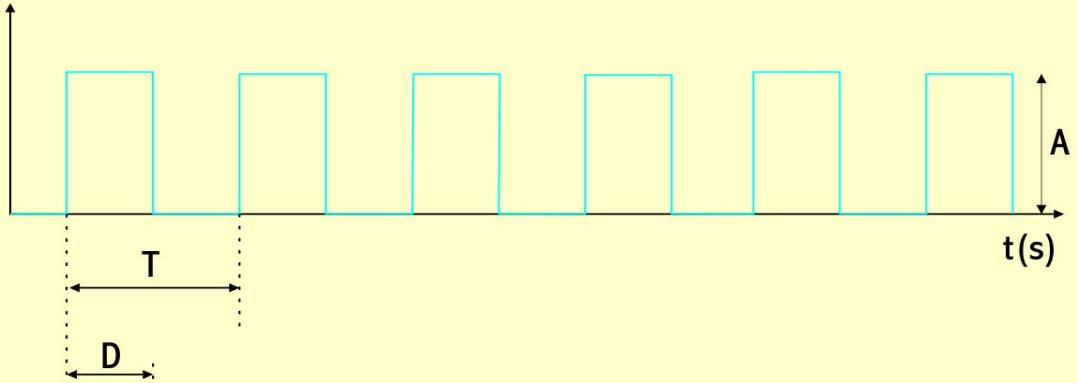
7.8 Modulación por pulsos

7.8.1 Definición

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.



Donde:

T = Período

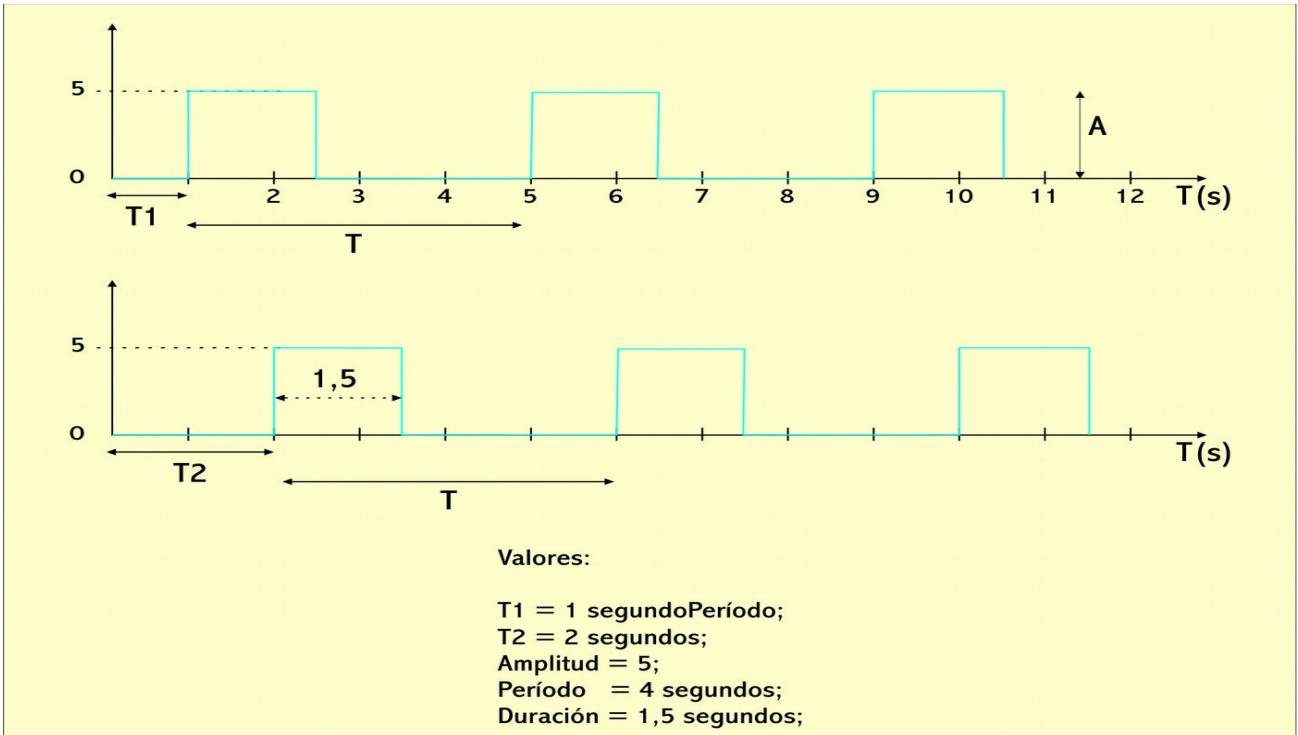
A = Amplitud

D = Duración o ancho de banda
dentro del período



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).





7.8.2 Clasificación de la modulación por pulsos

7.8.2.1 Modulación por pulsos analógica

El tren de pulsos puede ser modulado tomando infinitos valores.

Métodos: - PAM (Modulación de Amplitud de Pulso)

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

7.8.2.2 Modulación por pulsos digital

El tren de pulsos puede ser modulado tomando un numero finito de valores.

Métodos: - PCM (Modulación por Pulses Codificados)

- Modulación Delta
- Modulación Delta Diferencial, etc.



7.8.3 Ventajas de la modulación por pulsos

Ventajas respecto de la modulación por onda continua:

- 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.

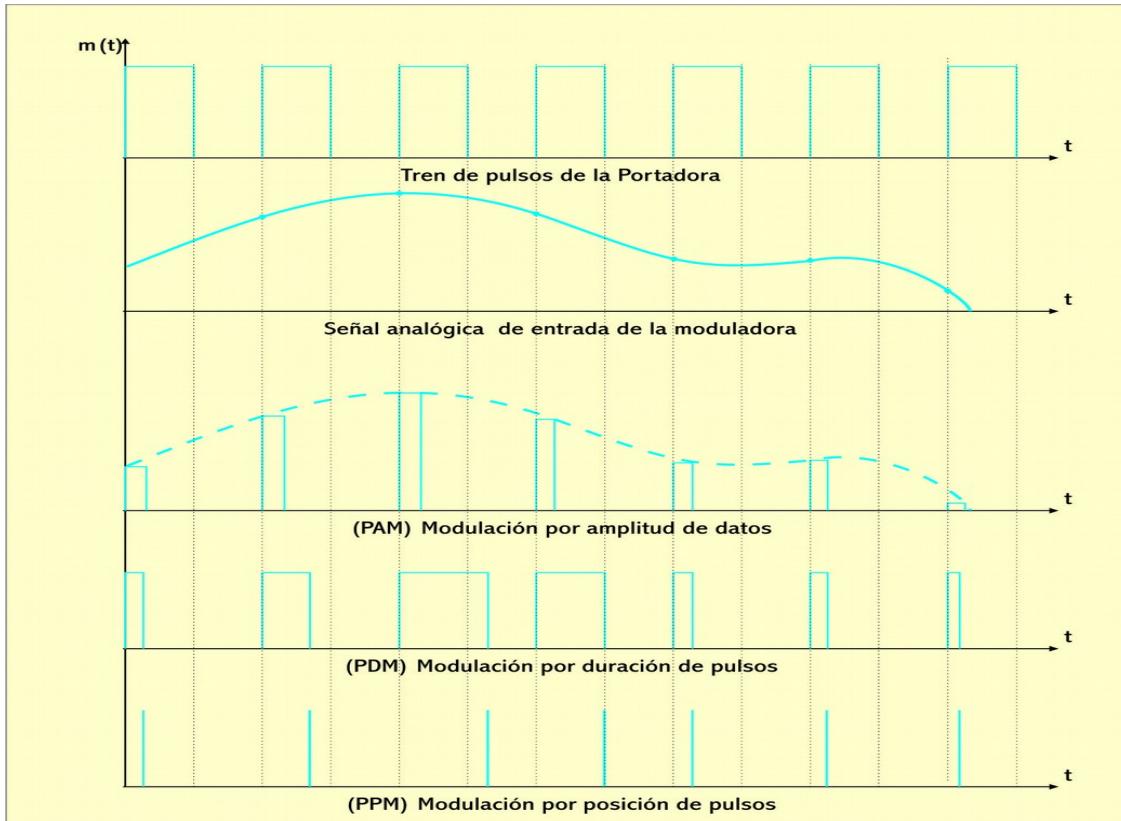
Desventajas:

- 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.



7.8.4 Modulación de pulsos analógica

7.8.4.1 Concepto general





7.8.4.2 Modulación de pulsos por amplitud

PAM: la señal de salida aumenta o disminuye su amplitud siguiendo la señal moduladora. La duración de los pulsos o su ubicación no es alterada.

Es similar a la modulación de amplitud pero la portadora no es una onda sinusoidal sino un tren de pulsos rectangulares (que por serie de Fourier es una onda sinusoidal fundamental y todas sus armónicas).

PAM es un paso intermedio para PCM y TDM.



7.8.4.3 Modulación de pulsos por variación del ancho del pulso

PDM: la señal de salida aumenta o disminuye la duración de su periodo siguiendo la señal moduladora.

La amplitud de los pulsos o su ubicación no es alterada por dicha señal .

Respecto a la modulación PAM: - ventajas (amplitud de pulsos es constante)
-inconvenientes (requiere mayor ancho de banda).

7.8.4.4 Modulación de pulsos por modificación de la posición del pulso

PPM: la señal de salida se retarda o avanza siguiendo la señal moduladora.

El ancho y la amplitud de los pulsos permanecen inalterados.

Ventaja sobre PDM: la información reside en la posición del tiempo de los bordes de los pulsos, no en los mismos pulsos en si.

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



7.9 Digitalización

7.9.1 Introducción a las redes digitales

La irrupción de la electrónica digital y los computadores en los sistemas de comunicaciones ha llevado a la migración de los primitivos sistemas analógicos hacia los de tecnología digital.

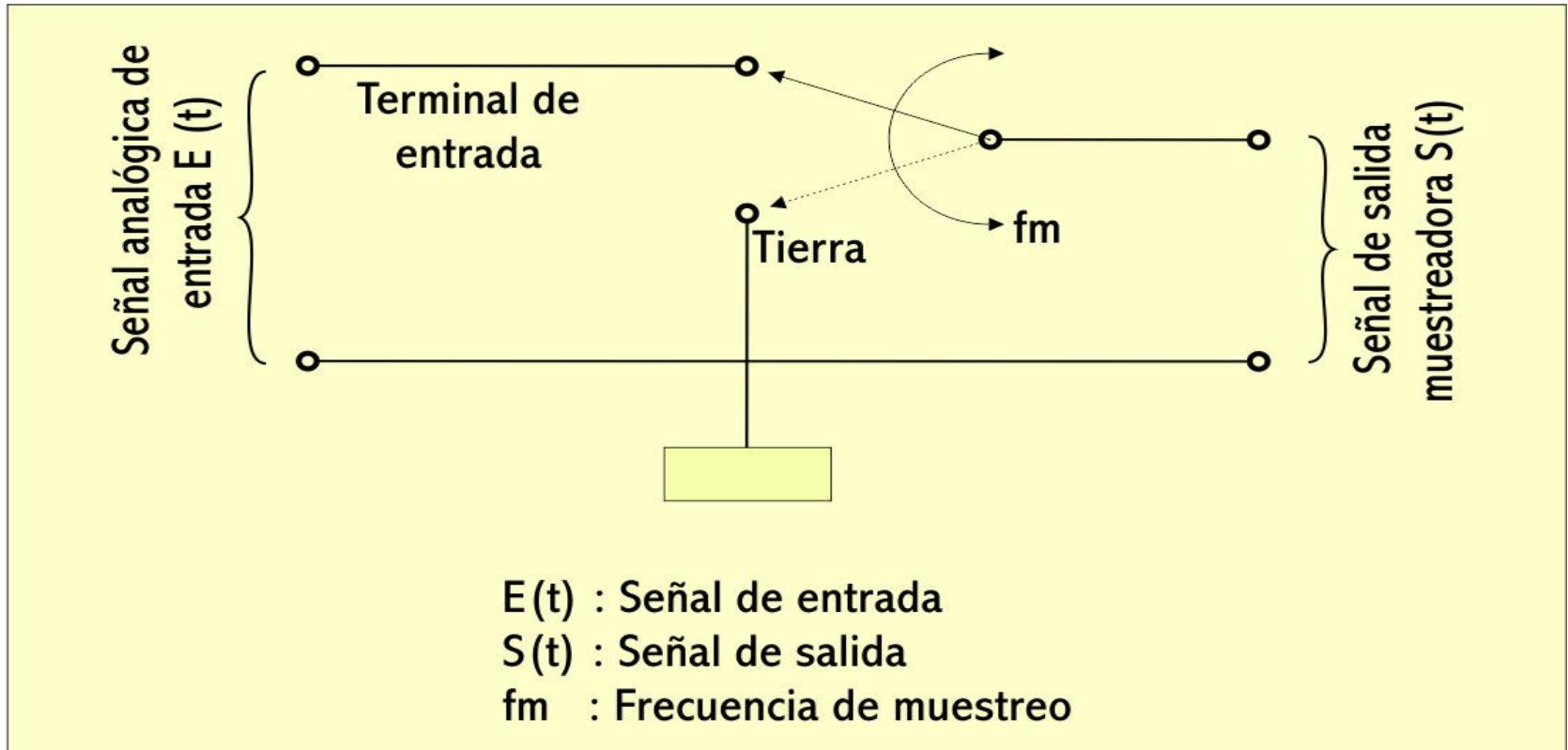
Se deben convertir las señales analógicas en digitales.

La digitalización de la voz se extiende a las señales de video, la música de alta fidelidad, imágenes y otros servicios que deben conservar sus características al ser digitalizadas.



7.9.2 Antecedentes del muestreo: el Teléfono de Reis

1861: un contacto de platino acoplado a un diafragma abría o cerraba un circuito.





7.9.3.2 Aplicación del Teorema de Nyquist o del Muestreo

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

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

Una señal de ancho de banda finito Δf puede ser satisfactoriamente definida por un conjunto de muestras instantáneas tomadas a una frecuencia de muestreo f_N mayor que el doble del ancho de banda Δf de la señal que se va a muestrear.

La frecuencia de muestreo mínima es la **Frecuencia de Nyquist**.

Las muestras pueden tomarse de dos maneras:

- con muestreo uniforme: los periodos de tiempo T son iguales
- con muestreo no uniforme: los periodos T son diferentes
(requiere exactitud de las muestras e información de sincronismo).



7.9.4 Cuantificación

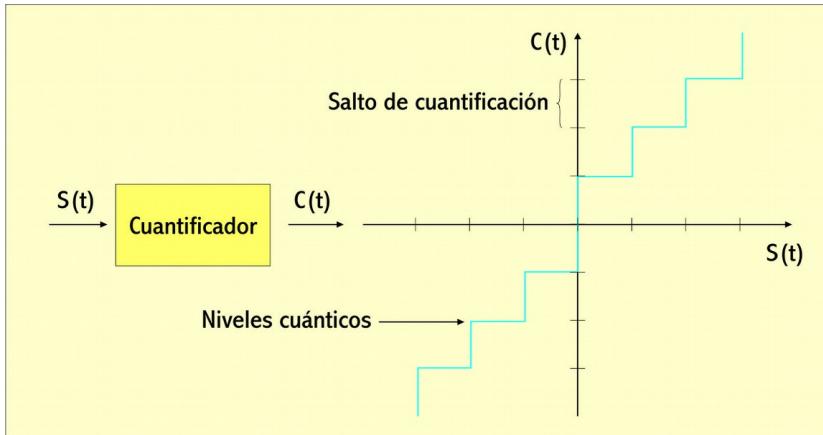
7.9.4.1 Conceptos generales y definición

Transformación de los niveles de amplitud continuos de la señal muestreada en un conjunto de niveles discretos establecidos.

Cada muestra deberá tomar un valor que esté en correspondencia con un número natural dentro de un conjunto numérico previamente establecido.

Cada valor del conjunto elegido recibe el nombre de nivel cuántico.

La cantidad de niveles cuánticos son potencias de 2 (64, 128 o 256).





7.9.4.2 Error de cuantificación

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

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

Error de cuantificación: 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.



7.9.4.3 Distintos tipos de cuantificación

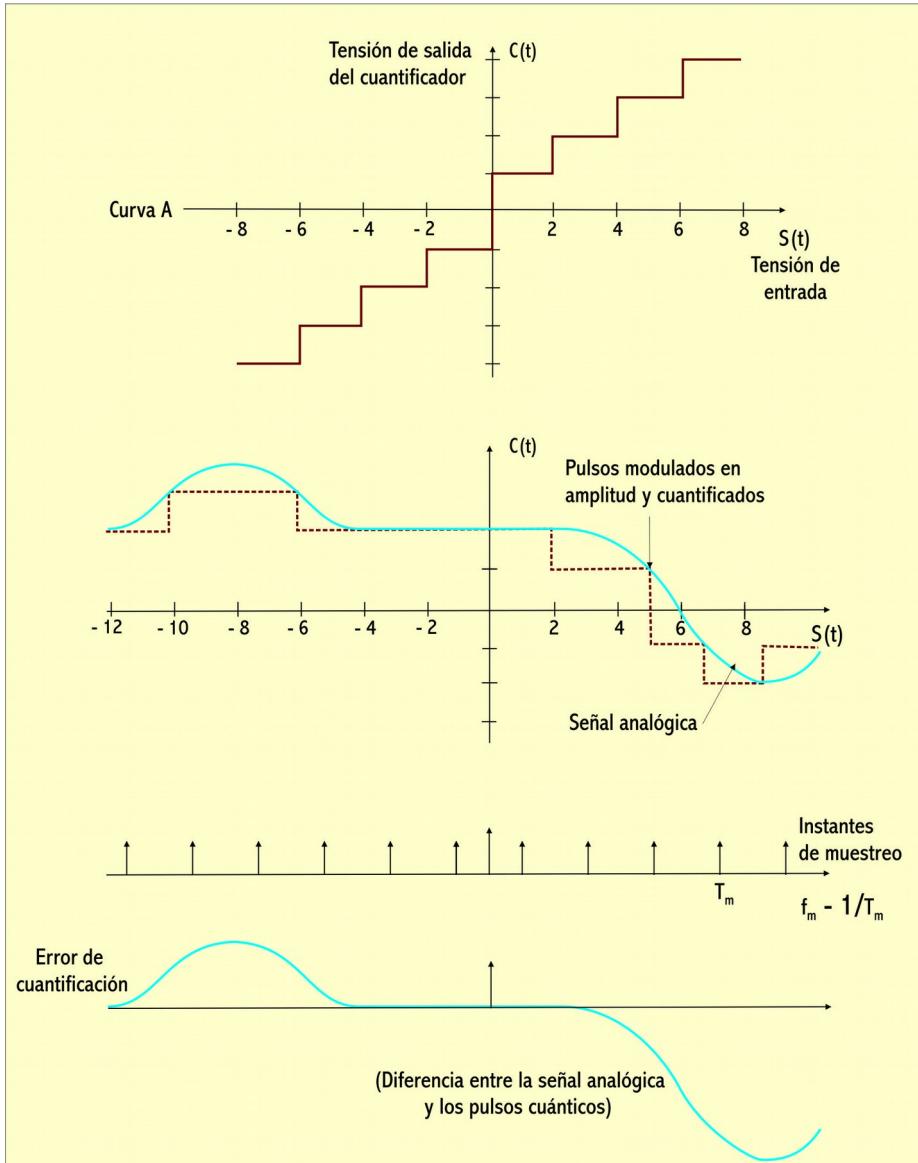
Cuantificación uniforme o lineal: los distintos niveles cuánticos tienen la misma medida.

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

Apto para sistemas que requieren errores de cuantificación bajos y que usan un elevado número de niveles cuánticos.

Esta cuantificación no es apta para señales de bajo nivel (el error de cuantificación constante es del orden de la señal)

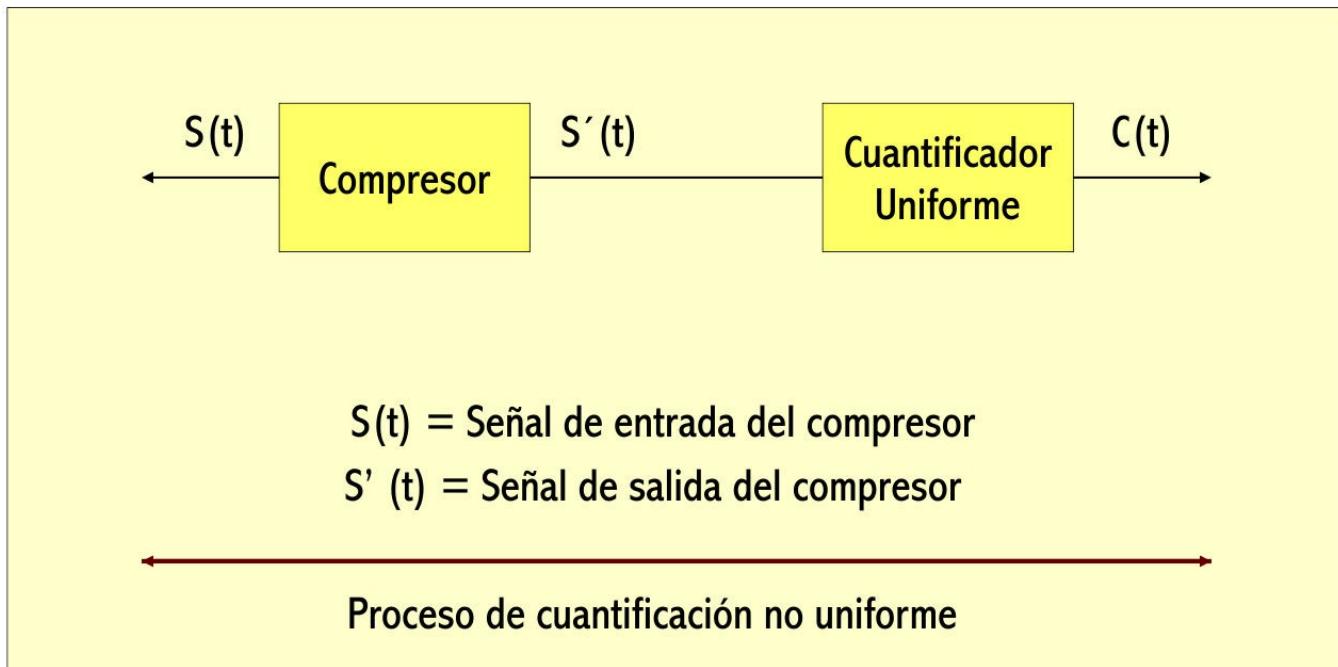
En telefonía los usuarios tienen variados niveles de intensidades de la voz, con diferencias de 30 dB.





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

Equivale a hacer pasar una señal digital en banda base por un compresor y luego por un cuantificador uniforme.



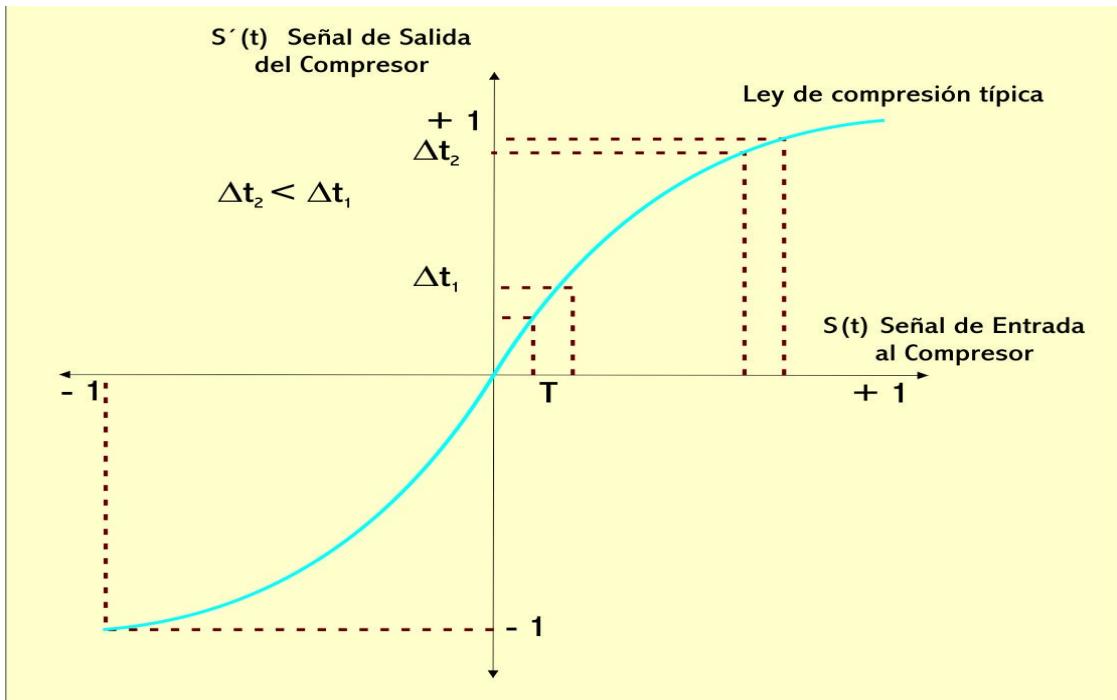


7.9.4.4 Compansión

Se realiza en los sistemas que emplean cuantificación no uniforme.

Consiste en comprimir la señal en la fuente y descomprimirla en destino.

Se aplica una ley del tipo logarítmica (leyes de cuantificación).





7.9.4.5 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 no se aplican tal como han sido definidas sino que se usar un procedimiento que disminuye el costo sin perder las ventajas.

El procedimiento por trazos consisten en dividir las curvas de cada una de las leyes en segmentos de recta (la Ley A en 13 segmentos y la 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.

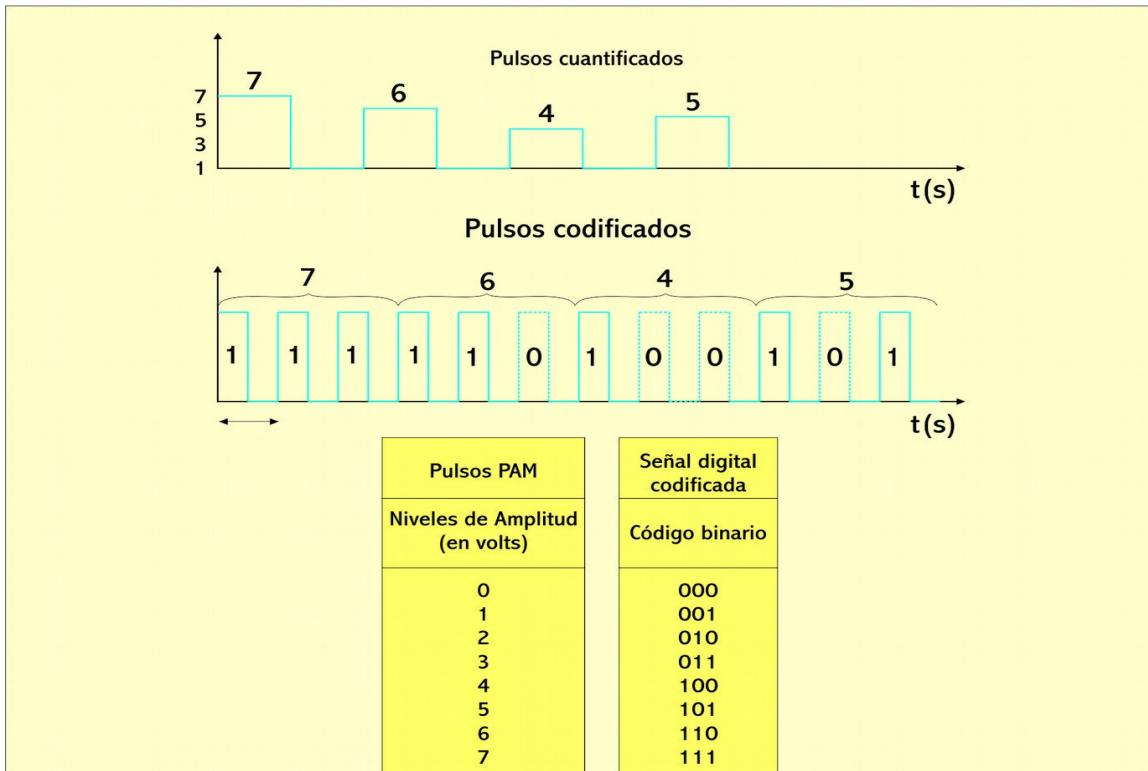
Cuando la señal es pequeña se toman más niveles cuánticos, reduciéndose dicho ruido.

Cuando la señal es alta se toman menos niveles, el ruido aumenta y la relación señal/ruido es la misma.



7.9.5 Codificación

Convierte los pulsos cuantificados en un grupo de pulsos binarios de amplitud constante.





7.10 Modulación digital de pulsos

7.10.1 Diferentes tipos

- Modulación por pulsos codificados.
- Modulación delta.
- Modulación delta adaptiva.
- Modulación por pulsos codificados diferenciales.



7.10.2 Ventajas de la modulación digital

- Calidad de transmisión uniforme: los repetidores regenerativos se encargan de mantener el nivel de calidad con independencia de la distancia y el medio usado para constituir físicamente el canal.
- No se usan modems sino Equipos Terminales del Circuito de Datos.
- Permiten la integración de servicios, transformando señales de voz, textos, datos e imágenes en señales digitales que usan los medios de transmisión con independencia del servicio.
- Permiten optimizar:
 - — Los sistemas de codificación.
 - — Los sistemas de seguridad.
 - — Los sistemas de control de errores.
 - — Los costos de fabricación.



7.10.3 Modulación por pulsos codificados

7.10.3.1 Definición

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

7.10.3.2 Descripción

La técnica de PCM es la opción más utilizada

La amplitud y el periodo de cada pulso son constantes.

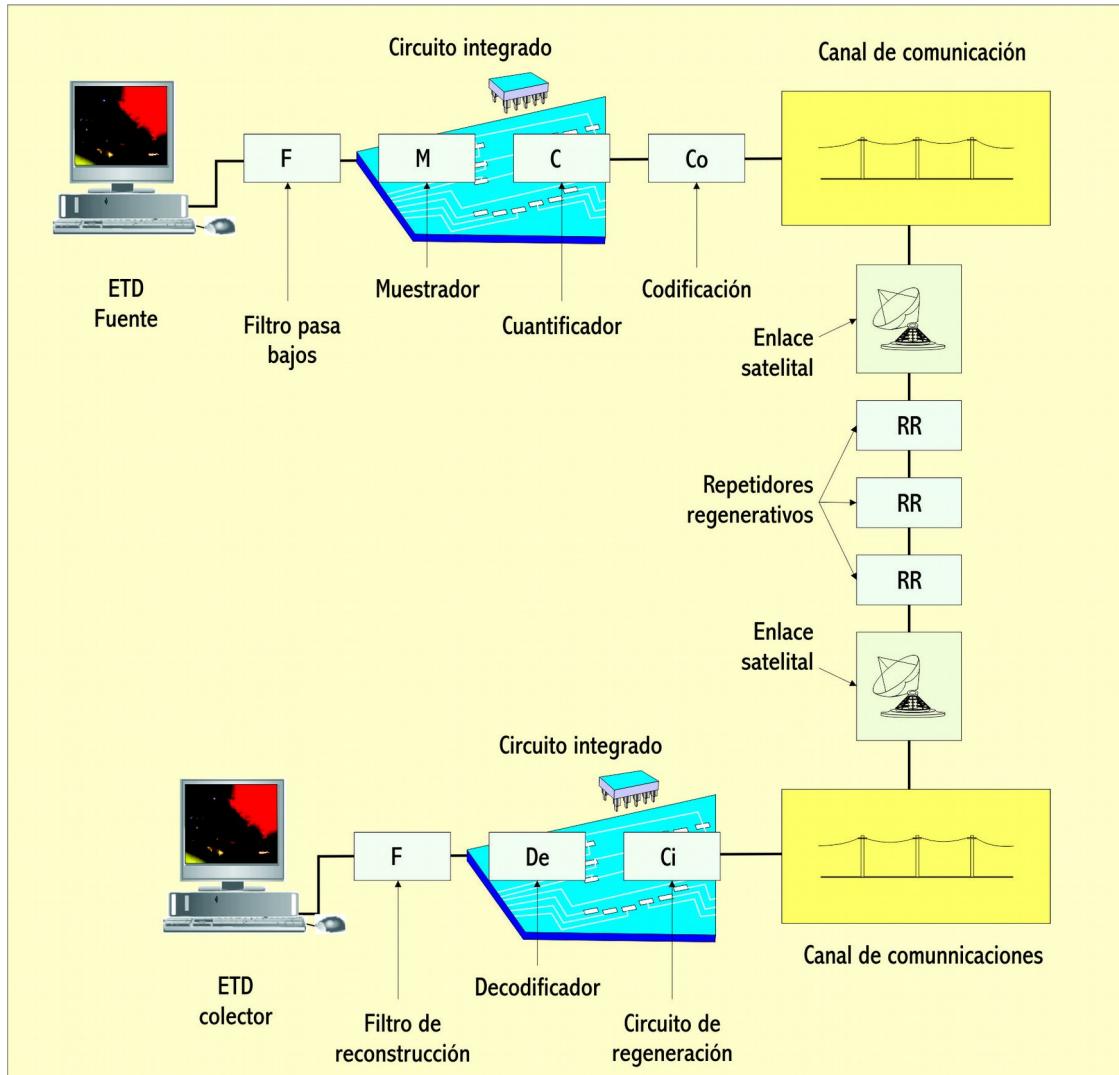
Cada pulso representa un bit de información.

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.





7.10.3.3 Ruido en los sistemas PCM

Los sistemas PCM son sensibles a dos tipos de ruido:

- Ruido de cuantificación: es el que se produce en el transmisor durante el proceso de cuantificación.
- Ruido de transmisión: ruido blanco o gaussiano, función del medio usado.

La cantidad de repetidores regenerativos será función del ruido, de la atenuación y del medio.



7.10.3.4 Características técnicas de los sistemas PCM

- Calidad de la transmisión casi independiente de la distancia.
- Bajo costo de implementación para enlaces de mediano alcance.
- Economía en combinación con la conmutación digital: no hay costo adicional de conversión analógico/digital.
- Integración de los servicios: voz, datos, télex, video
- Un canal PCM básico tiene una capacidad de 64.000 bps (o 56.000 bps).
- Nuevos medios de transmisión: los medios de transmisión de banda ancha, como las microondas o la fibra óptica, son mas aptos para la transmisión digital que para la analógica.



7.10.4 Variantes de la modulación por pulsos codificados

7.10.4.1 Conceptos generales

En el sistema PCM clásico se codifican todas las muestras obtenidas.

Puede ser que las muestras sucesivas estén fuertemente correlacionadas (en la transmisión de imágenes, muchas veces el fondo de las mismas permanece constante).

En ese caso no resulta necesario el envío de la totalidad de las muestras y el uso de gran ancho de banda.

Las señales PCM son siempre los mismos bytes o conjuntos de bytes muy parecidos que se pueden eliminar.

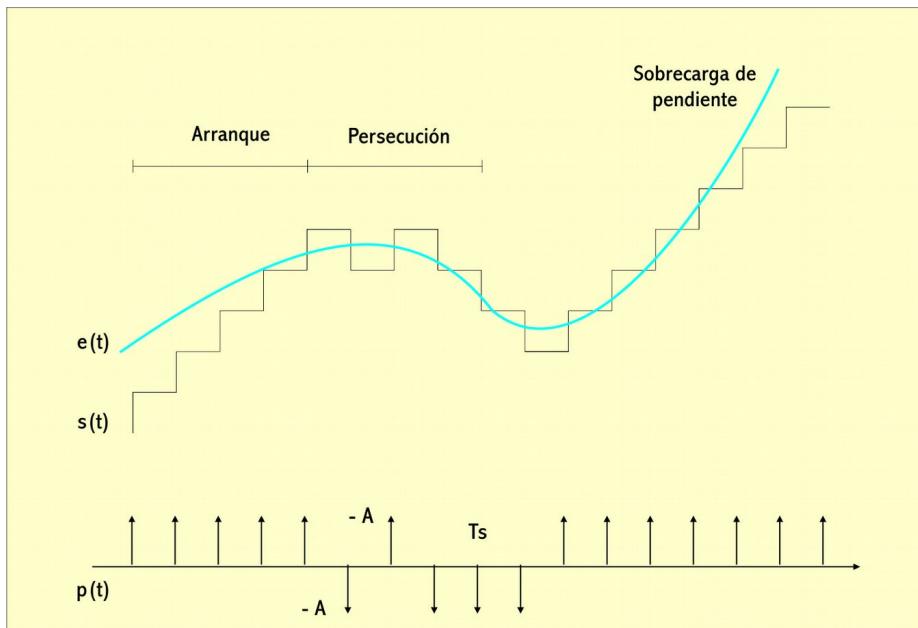
Una manera de aprovechar este fenómeno es la modulación delta y la denominada modulación PCM diferencial de Q niveles.

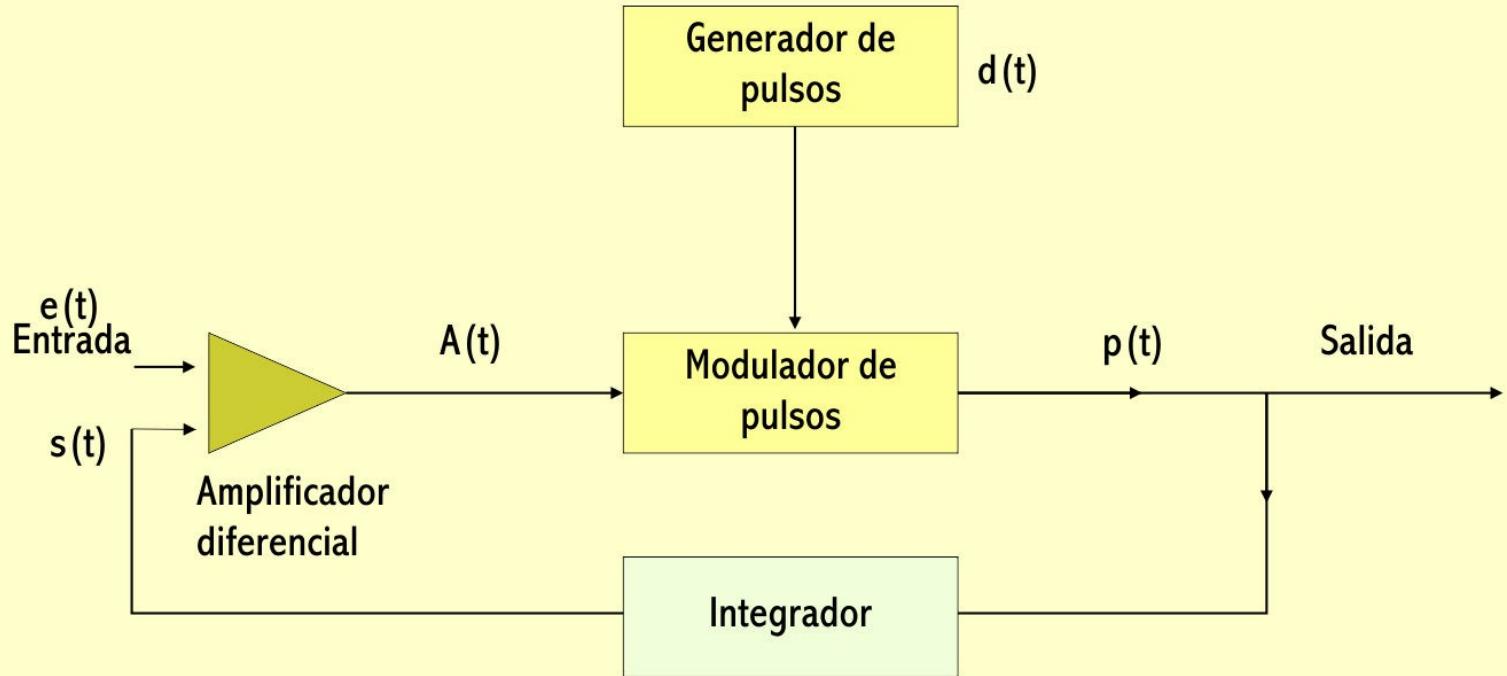


7.10.4.2 Modulación delta (DM)

Consiste en la generación de una onda escalonada que siga las variaciones de la señal de entrada.

Se emplean impulsos de igual polaridad si crece la señal, o de polaridad contraria si disminuye.



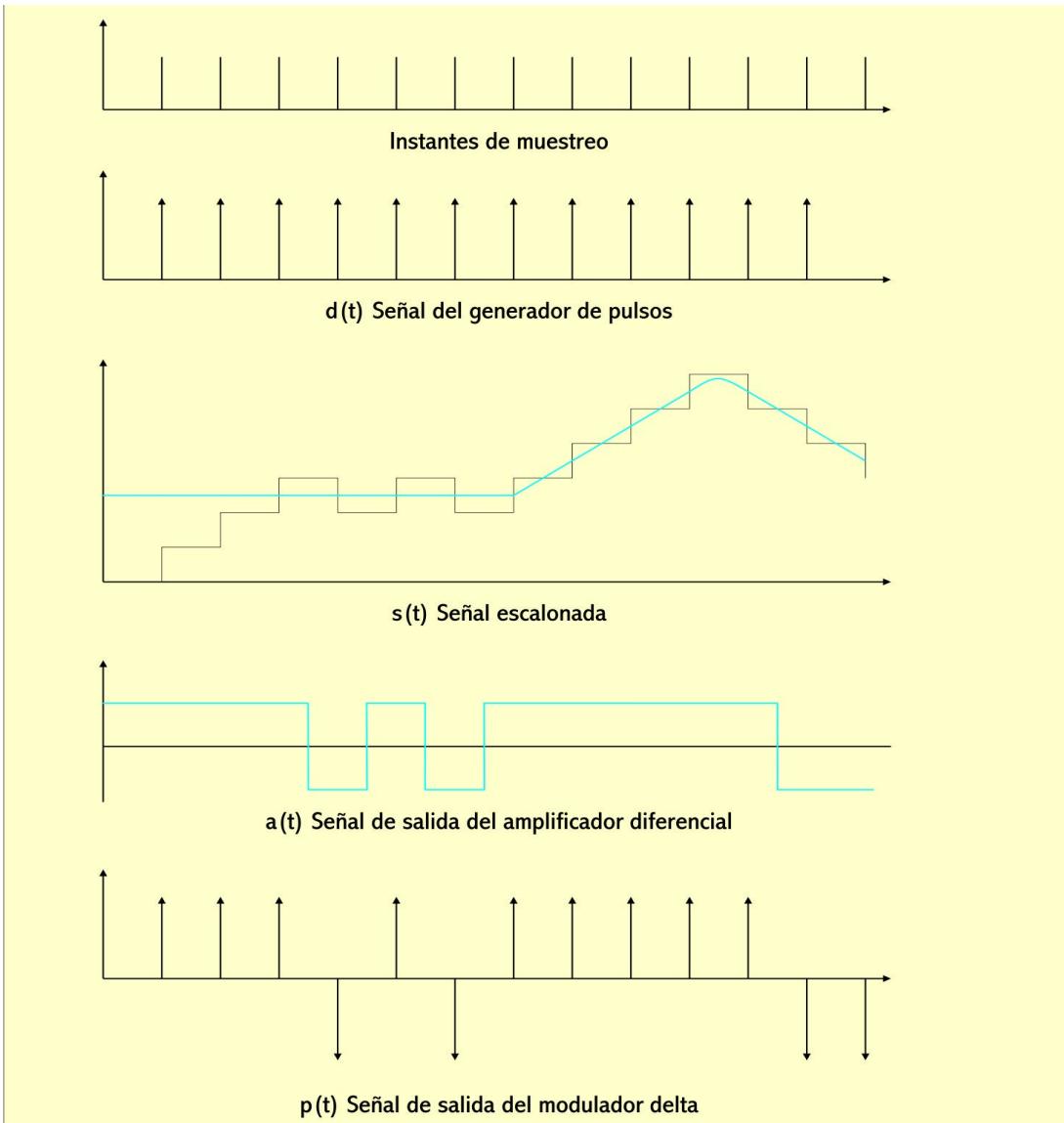


$d(t)$ = pulsos provenientes del generador de pulsos

$e(t)$ = señal analógica de entrada al modulador

$p(t)$ = pulsos de salida del modulador delta

$s(t)$ = señal de aproximación escalonada

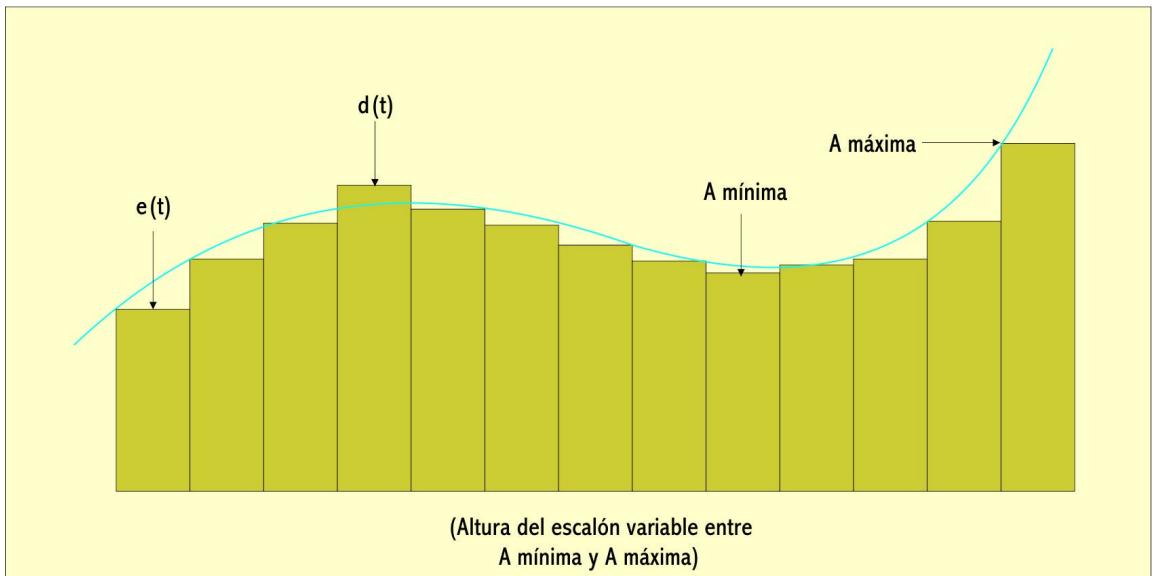




7.10.4.3 Modulación delta adaptativa

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

Como ambas distorsiones están originadas en el tamaño del escalón, con la modulación delta adaptativa se ajusta el valor de este en función de la variación de la señal de entrada.





7.10.4.4 Modulación PCM diferencial

Este sistema combina el método de modulación delta con la codificación propia de los sistemas 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.

Cada palabra de n bits permite representar a uno de los M niveles posibles de cuantificación que puede tomar cada muestra de error ($M = 2^n$).

Combina la simplicidad de la modulación delta con la ventaja de la codificación multinivel del PCM.