



Capítulo 7:

Modulación y digitalización de señales

Apoyo en la





En este capítulo se tratarán los siguientes 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

7.1.1 Conceptos generales

Para la transmisión de información, las operaciones de modulación y digitalización son ejecutadas constantemente en las redes de transmisión, especialmente en las actuales circunstancias en que las redes suelen tener características digitales.

Muchos de los mensajes que es necesario transmitir luego de ser captados en las fuentes de la información tienen características digitales, como por ejemplo los que dan lugar a los servicios de comunicaciones de transmisión de datos. En esos casos, las señales deberán ser convertidas en señales analógicas para posibilitar su transmisión en razón a que segmentos de algunas redes, como los accesos a la RTPC, tienen tal carácter. Esta tarea se realiza a través de equipos denominados **módem** de datos.

Cada uno de estos equipos, **códec** y **módem**, realizan respectivamente las operaciones de **digitalización** y de **modulación** con el objeto de convertir las señales de manera que las redes las puedan transmitir. A su vez, cada una de estas operaciones tiene su inversa, que es realizada por los mismos equipos que han permitido las operaciones mencionadas. Estas se denominan **decodificación** y **demodulación**.

Los equipos **códec** y los equipos **módem**, aunque pareciera que realizan funciones parecidas, usan técnicas totalmente diferentes, aun en los casos en que ambos en algún momento transformen, por ejemplo, señales digitales en analógicas o viceversa.



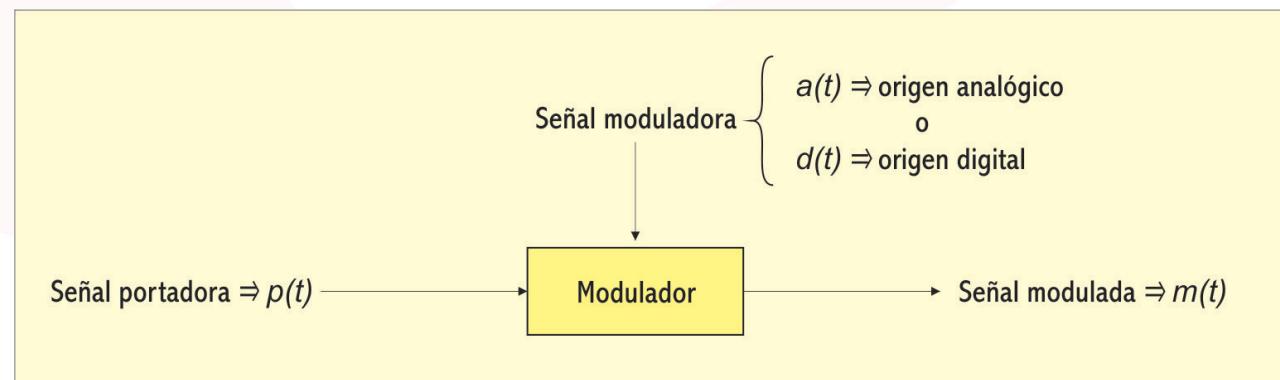
Modulación y digitalización de señales

7.2 Modulación

7.2.1 Definición

Se denomina modulación a la operación mediante la cual ciertas características de una onda, denominada portadora, se modifican en función de otra onda, denominada moduladora, que contiene información, a los efectos de poder ser transmitida. La onda en condiciones de ser transmitida se denomina señal modulada. La modificación debe hacerse de tal forma que la información no se altere en ninguna parte del proceso.

La señal moduladora que contiene la información puede tener características analógicas o digitales. En el caso de que el modulador sea parte de un equipo modem, la misma, por provenir de un computador, es digital.

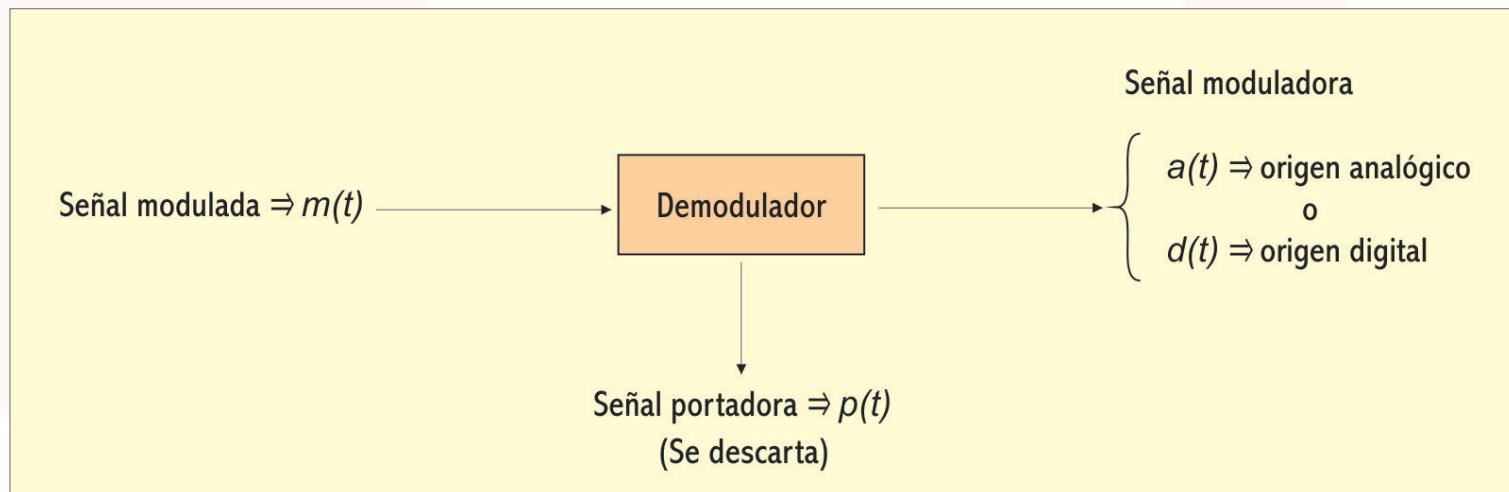




Modulación y digitalización de señales

7.2.1 Definición

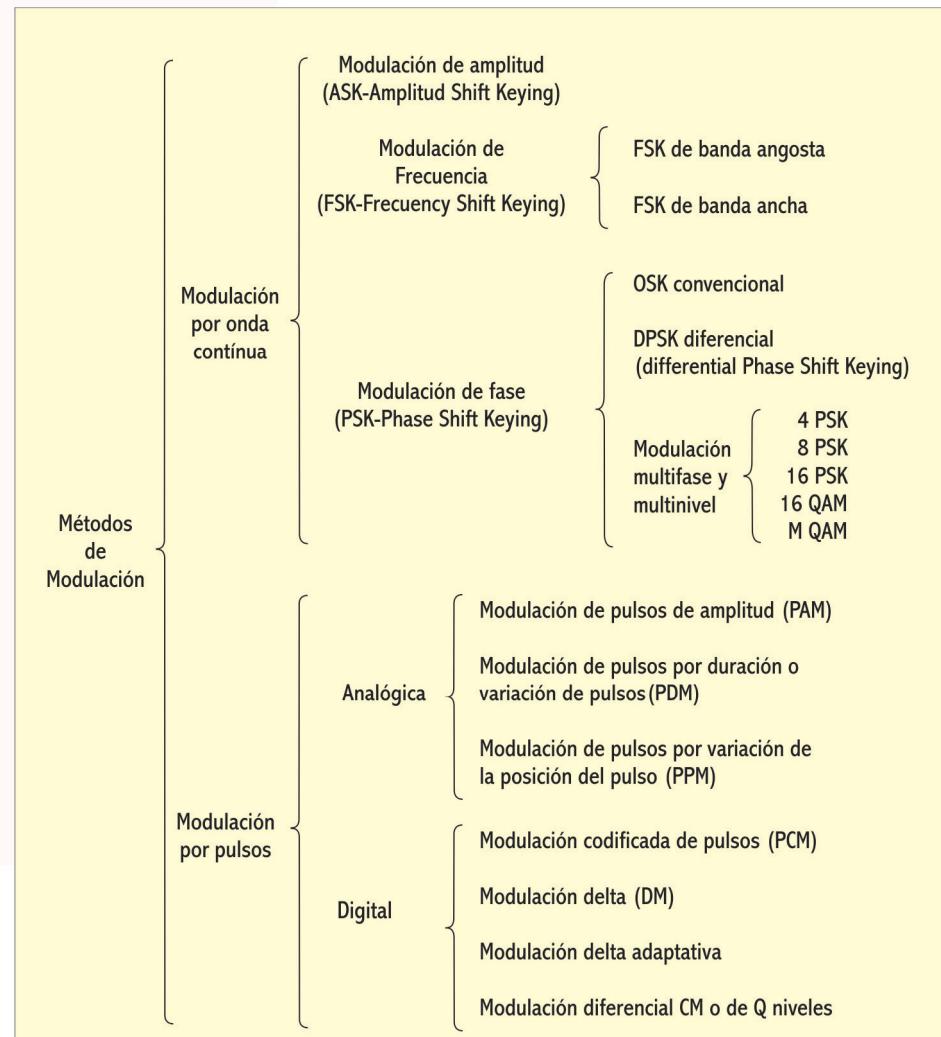
El proceso inverso se denomina **demodulación**. Luego entenderemos por demodulación a la operación mediante la cual la señal modulada, luego de ser transmitida por el medio de comunicaciones y recibida por el colector, es nuevamente procesada, recuperando la señal denominada moduladora que contiene información a los efectos de que esta sea entregada al equipo terminal que la usará.





Modulación y digitalización de señales

7.2.2 Clasificación de las técnicas de modulación

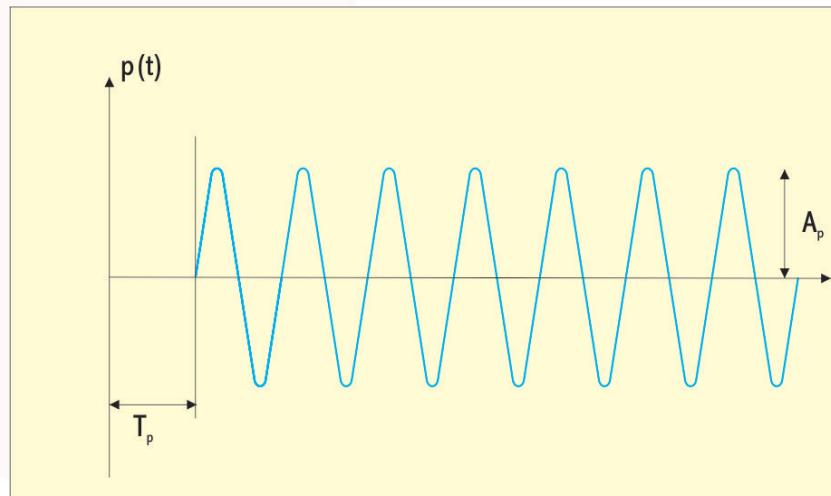




7.3 Modulación por onda continua

7.3.1 Introducción

Se denomina modulación por onda continua al proceso por el cual una señal denominada portadora, cuya forma de onda es sinusoidal, modifica su amplitud, frecuencia o fase en función de la señal moduladora, la cual contiene la información a transmitir.



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

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

7.3.2.1 Definición

Se denomina modulación de amplitud (*amplitude modulation*) a aquella en que el parámetro de la señal senoidal de la portadora que se hace variar es la amplitud.

Cuando la señal moduladora es de origen digital, la modulación de la portadora esta representada por corrientes de amplitudes distintas. Este tipo de modulación, que es conocida como modulación AM, fue la primera técnica de modulación que se implantó en la práctica.

En el caso de que la portadora sea modulada por una señal modulante que tiene valores discretos (digital), se denomina **ASK**. Actualmente, si bien no se usa con exclusividad en los sistemas de transmisión de datos, se continua empleando en radiocomunicaciones y sistemas de telefonía.

Existen dos tipos de modulación de amplitud:

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



7.3.2.2 Variación del nivel de la onda portadora

Se denomina modulación de amplitud (*amplitude modulation*) a aquella en que el parámetro de la señal senoidal de la portadora que se hace variar es la amplitud.

Cuando la señal moduladora es de origen digital, la modulación de la portadora esta representada por corrientes de amplitudes distintas. Este tipo de modulación, que es conocida como modulación AM, fue la primera técnica de modulación que se implantó en la práctica.

En el caso de que la portadora sea modulada por una señal modulante que tiene valores discretos (digital), se denomina **ASK**. Actualmente, si bien no se usa con exclusividad en los sistemas de transmisión de datos, se continua empleando en radiocomunicaciones y sistemas de telefonía.

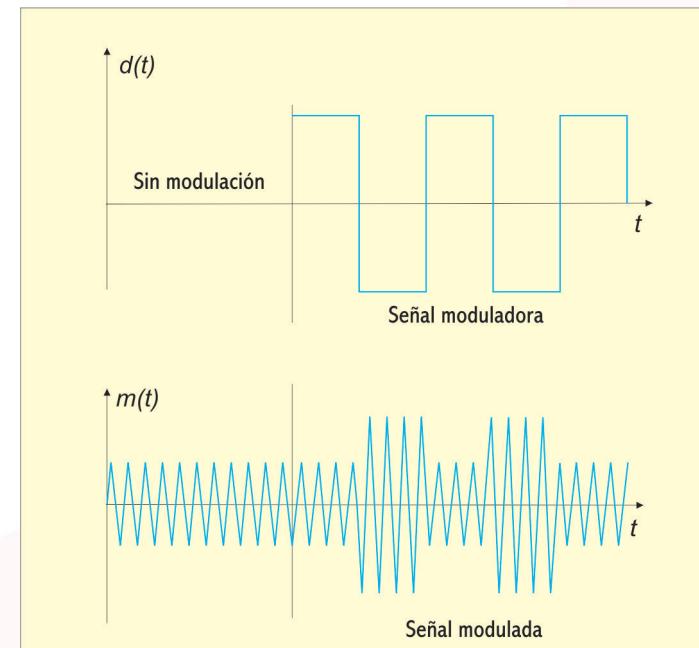
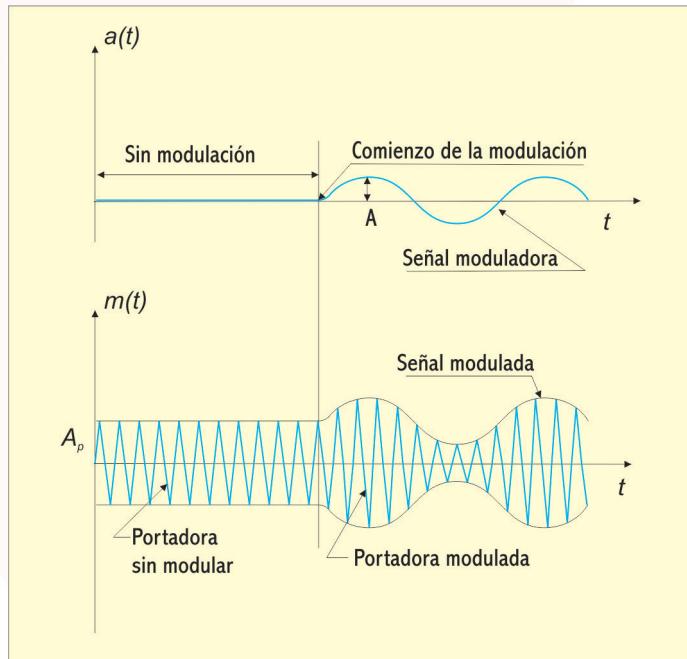
Existen dos tipos de modulación de amplitud:

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



Modulación y digitalización de señales

7.3.2.2 Variación del nivel de la onda portadora



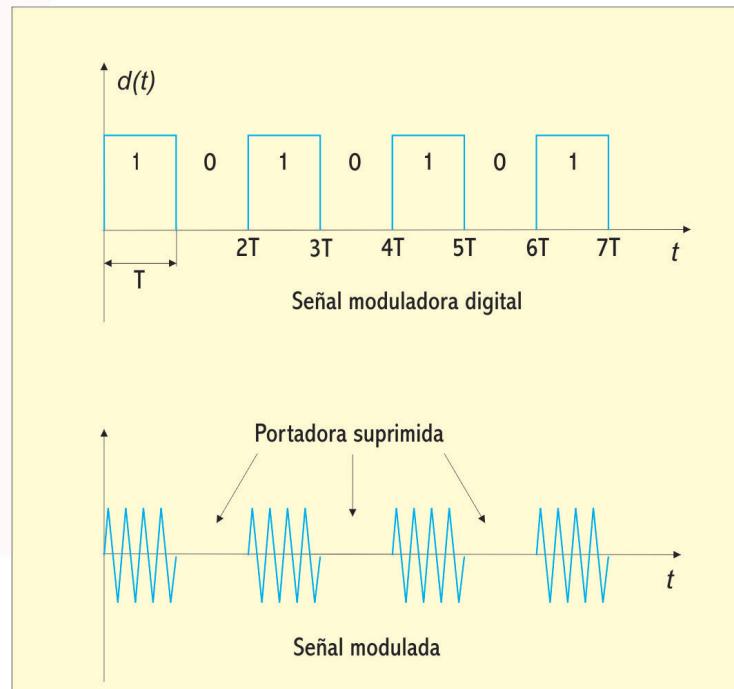


Modulación y digitalización de señales

7.3.2.3 Por supresión de la onda portadora

Este caso es el que se usa en sistemas telegráficos, donde los valores de la señal modulada varían entre un valor de amplitud A para la transmisión del dígito 1 y la directa supresión de la portadora para la transmisión del dígito 0.

La figura muestra un ejemplo de dicho método de modulación de amplitud.



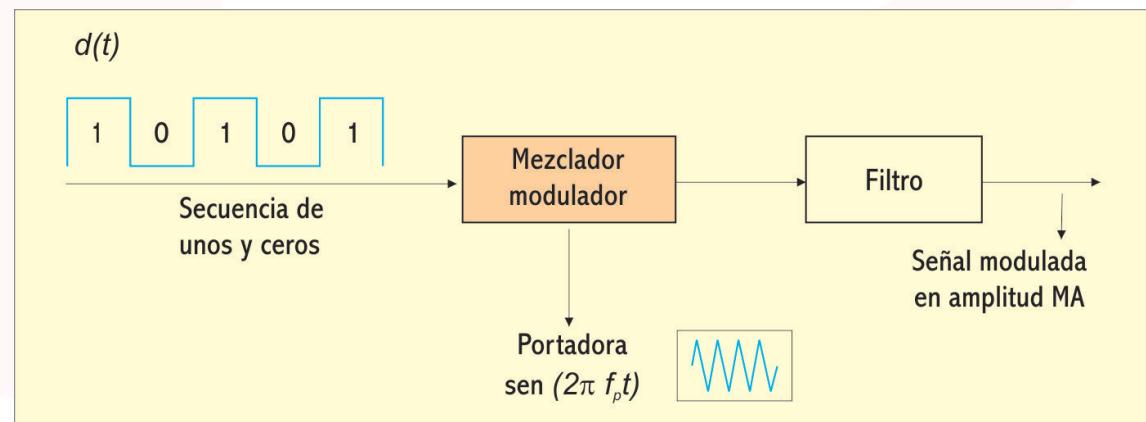


Modulación y digitalización de señales

7.3.2.4 Proceso de un modulador en amplitud

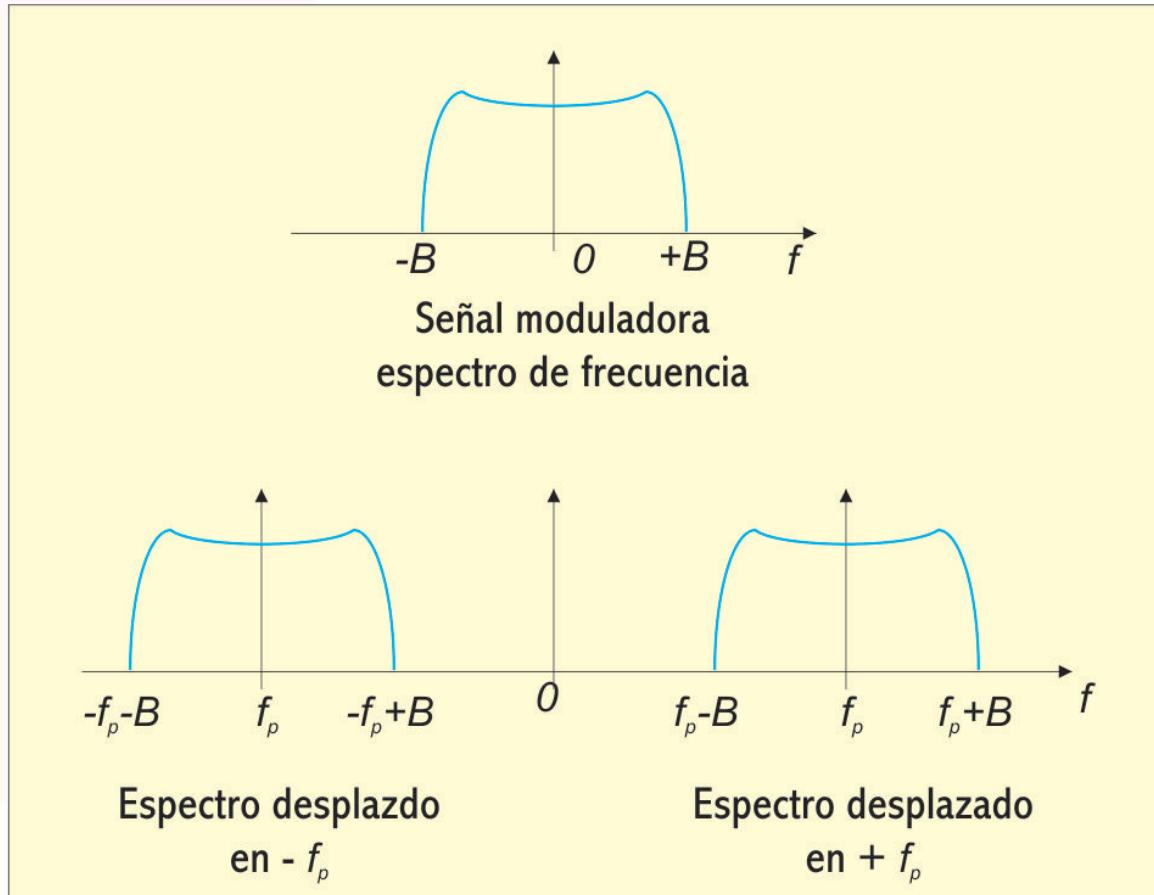
La figura nos muestra el esquema de un modulador AM, donde la función del filtro de salida es reducir el efecto de las frecuencias armónicas indeseables y conformar la señal de salida.

Para los casos descriptos, se puede observar que en la modulación de amplitud existe un desplazamiento de frecuencias del espectro de la señal moduladora original, el cual reaparece desplazado hacia las frecuencias mas altas.





7.3.2.4 Proceso de un modulador en amplitud





7.3.3 Modulación de frecuencia

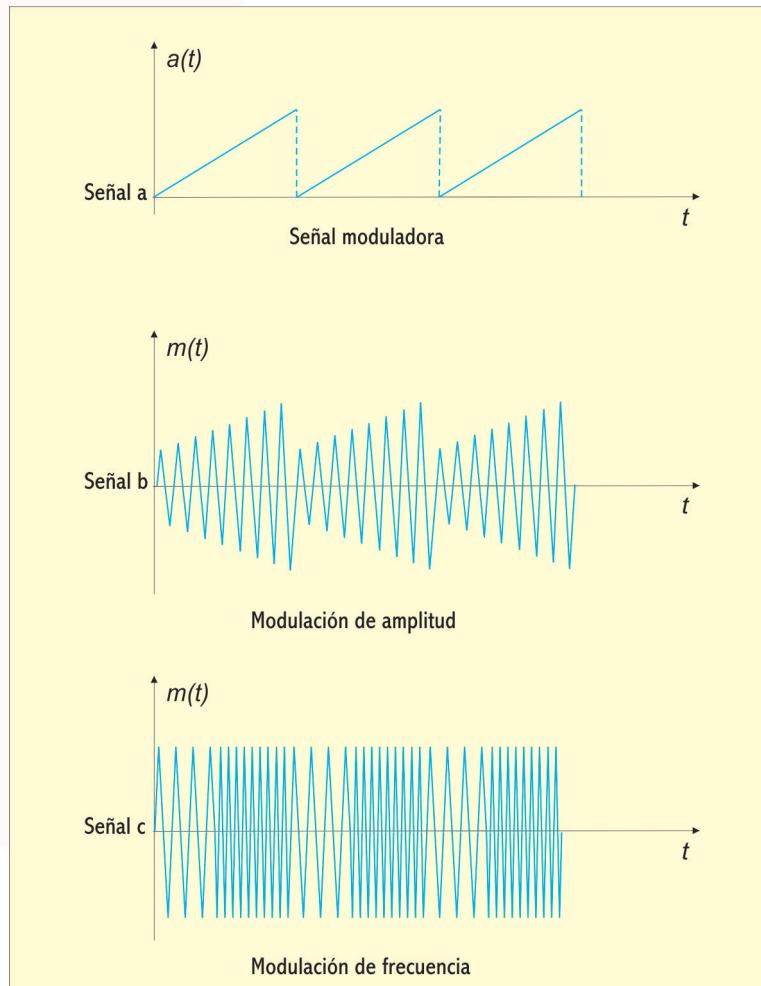
7.3.3.1 Definición

Se denomina modulación de frecuencia (*Frequency Modulation*) a Aquella en la cual el parámetro de la señal senoidal de la portadora, que se hace variar según la señal moduladora que contiene la inteligencia a transportar, es la frecuencia.

Cuando la señal moduladora es de origen analógico, la señal modulada varia su frecuencia dentro de valores continuos. Cuando, por el contrario, la señal moduladora es de origen digital, la señal modulada tomara un numero discreto de valores de la frecuencia, iguales al número de valores que corresponden a la señal moduladora.

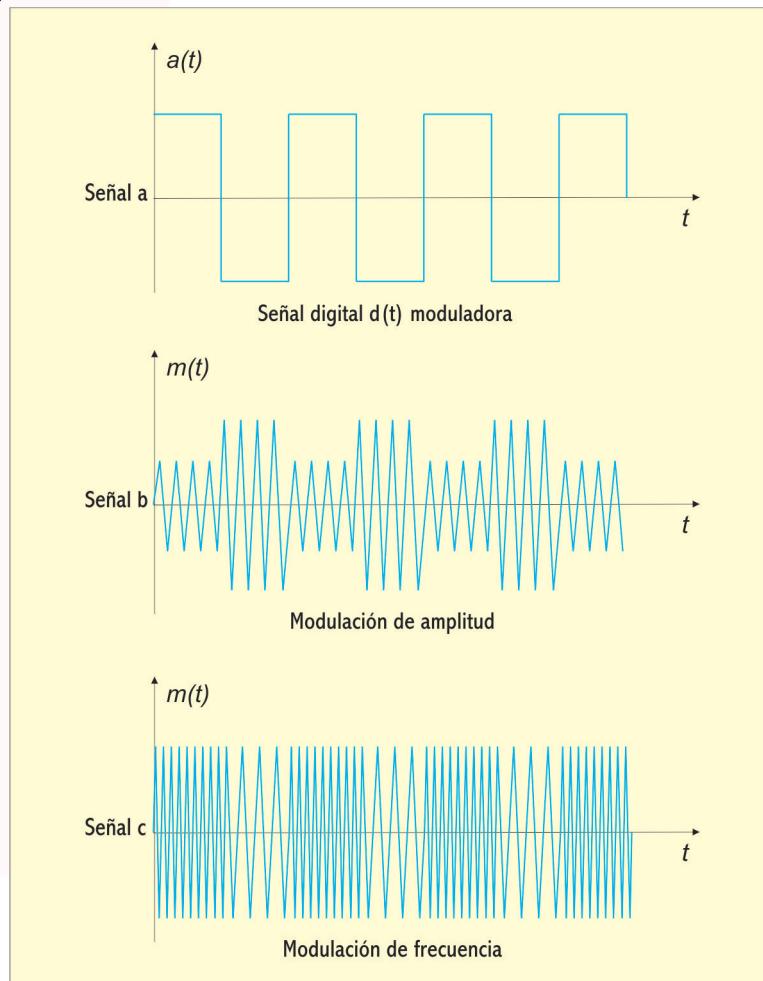


7.3.3.1 Definición





7.3.3.1 Definición



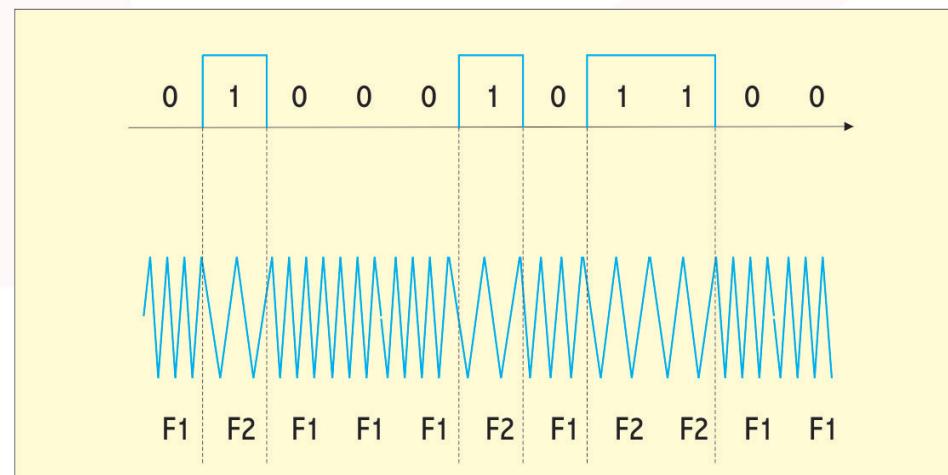


Modulación y digitalización de señales

7.3.3.3 Caso práctico de modulación en frecuencia de una señal digital

Con fines didácticos y para comprender este tipo de modulación, podemos señalar el caso de los antiguos equipos módems que seguían las recomendaciones de la UIT, en las normas V.21 y V.22, y utilizaban este tipo de modulación.

Los casos más comunes eran los que utilizaban las frecuencias de 1.080 y 1.750 Hz para las portadoras, con desviaciones de 100 Hz hacia ambos extremos de la misma.





7.3.4 Modulación de fase

7.3.4.1 Definición

Se denomina modulación de fase a aquella en la cual el parámetro de la señal senoidal de la portadora que se hace variar es la fase. La amplitud y la frecuencia de la portadora permanecen constantes.

Existen dos alternativas para este tipo de modulación:

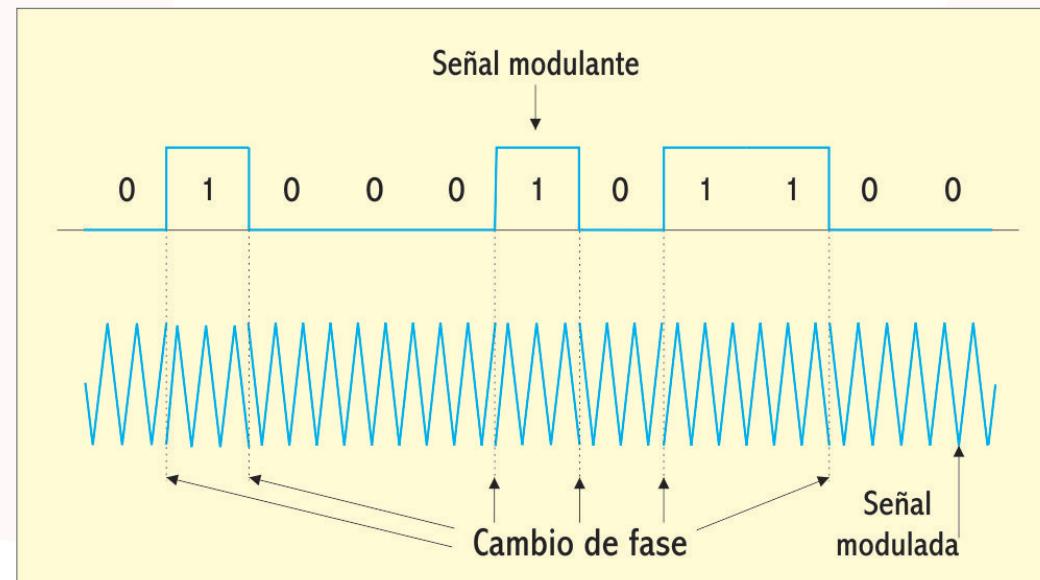
- PSK convencional: las variaciones de fase se refieren a la fase de la portadora sin modular.
- PSK diferencial: las variaciones de fase se refieren a la fase de la portadora del estado inmediatamente anterior al considerado.



Modulación y digitalización de señales

7.3.4.2 Fundamentos teóricos del proceso de modulación de fase

En la figura se pueden observar las discontinuidades de fase que aparecen al comienzo y al final de cada intervalo T , cuando hay transiciones de 0 a 1 o de 1 a 0 producidas por una señal moduladora digital.



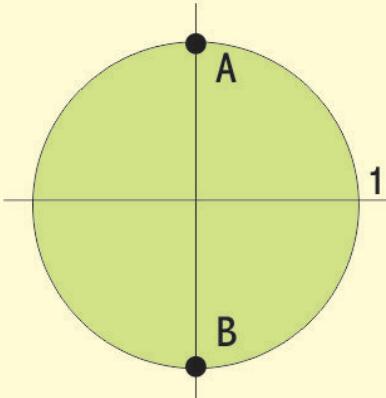


Modulación y digitalización de señales

7.3.4.2 Fundamentos teóricos del proceso de modulación de fase

Un sistema modulador que opera en 2 PSK se puede comparar con una llave electrónica que, controlada por la señal de datos (binaria), conmuta entre la portadora y su versión invertida (desfasada 180°). En la figura se representan vectorialmente las sucesivas posiciones que ocupa la portadora.

Para mayor claridad se representan las señales correspondientes a las expresiones (5-00) y (5-00) por los puntos A y B respectivamente.



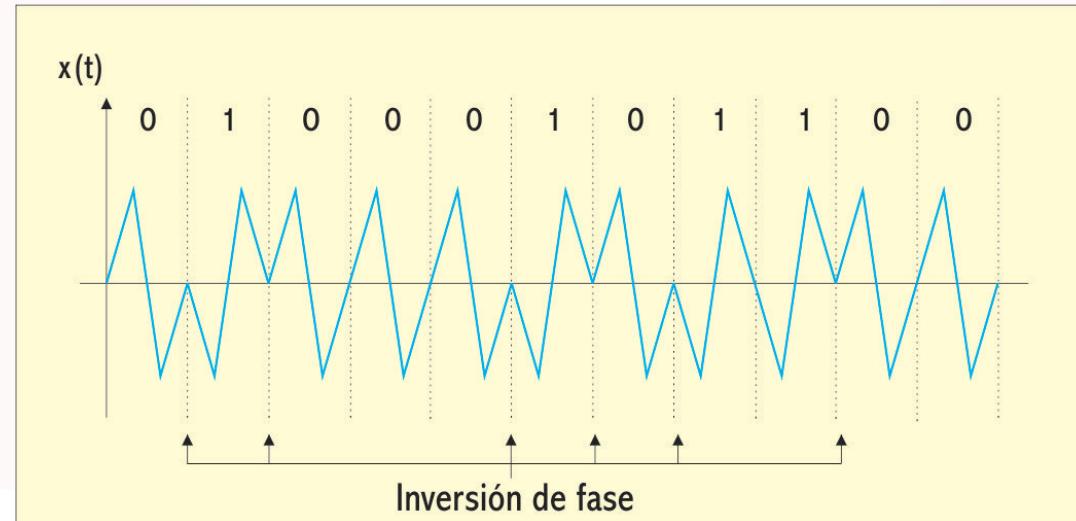
El radio de la circunferencia es igual a 1 y representa la amplitud normalizada de la portadora



Modulación y digitalización de señales

7.3.4.2 Fundamentos teóricos del proceso de modulación de fase

Asimismo, para mayor claridad se representa la forma de onda de la portadora correspondiente al esquema anteriormente indicado y que pertenece a una sucesión binaria cualquiera donde exista por lo menos una transición entre 0 y 1 o 1 y 0, según se puede observar en la figura.





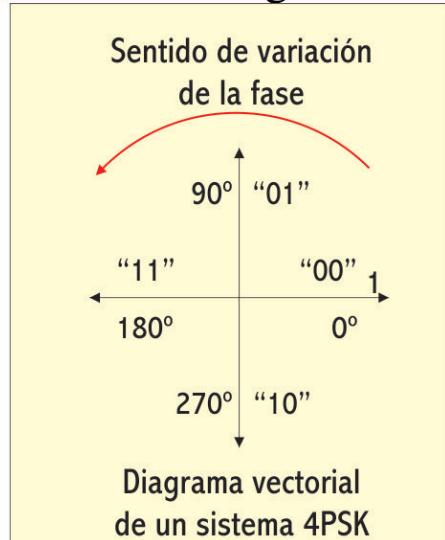
Modulación y digitalización de señales

7.3.4.3 Modulación multifase

En este sistema la fase de la onda portadora puede tomar secuencialmente M valores posibles separados entre si por un ángulo definido por la expresión:

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

Consideremos el caso de $M = 4$, con el cual tendremos el método 4 PSK o QPSK. La portadora puede tomar cuatro valores diferentes de fase, correspondientes a las cuatro posibles combinaciones de una secuencia de dos bits. En la figura se detalla el diagrama vectorial y, en la tabla, las fases asignadas.



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



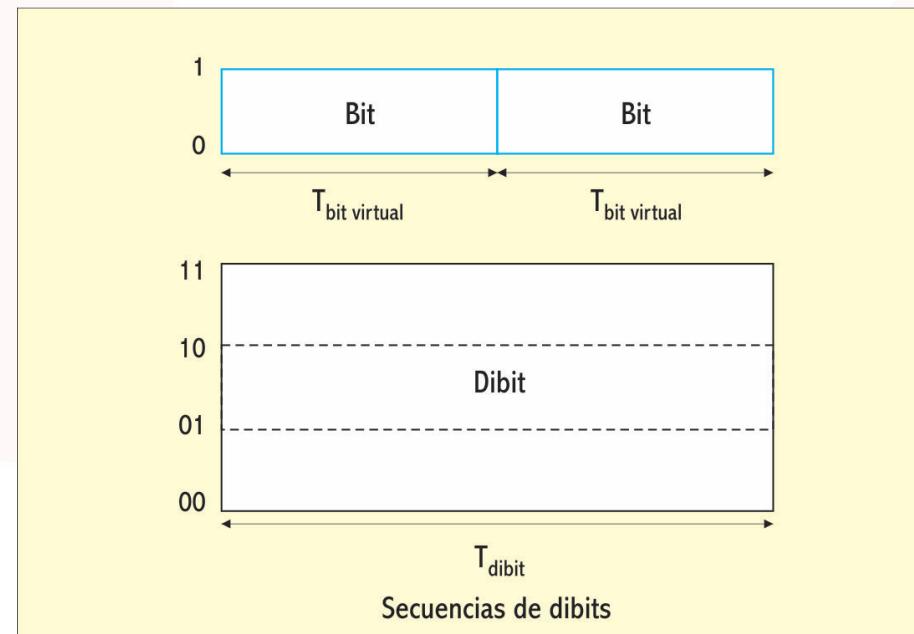
Modulación y digitalización de señales

7.3.4.3 Modulación multifase

En la figura se puede observar que en un periodo de transmisión de un díbit se están transmitiendo en realidad dos bits.

Comparando el método 2 PSK con el 4 PSK se puede observar que el ancho de banda de este último es la mitad que el correspondiente al primer método.

El sistema 4 PSK es más sensible a los fenómenos denominados de interferencia, que aumentan la tasa de error (relación entre los bits con error sobre el total de bits transmitidos) en la transmisión.

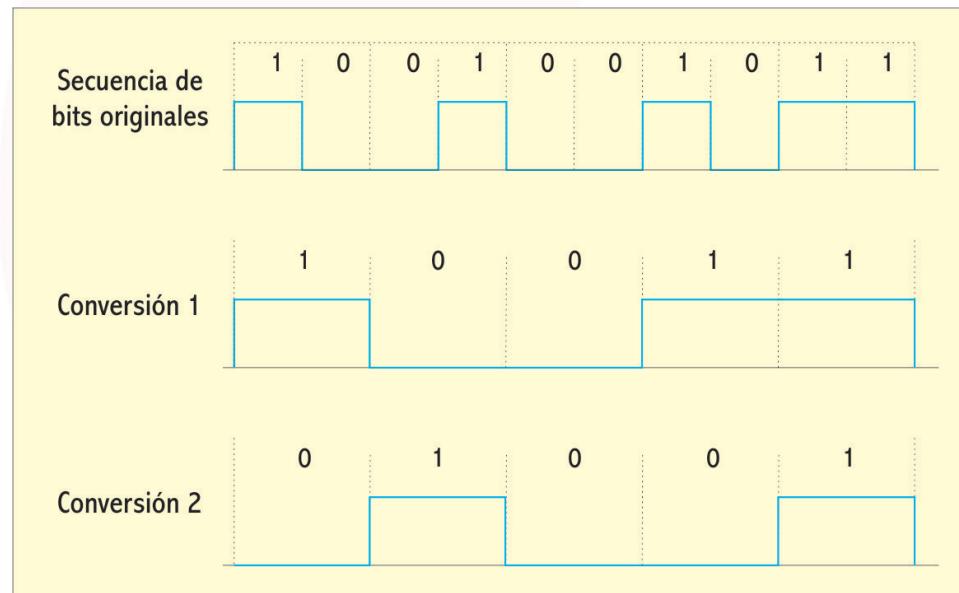




Modulación y digitalización de señales

7.3.4.3 Modulación multifase

En la figura se indica la conversión de una secuencia de bits en dos secuencias de díbits. En la tabla se puede observar la asignación de fases para la secuencia de díbits.

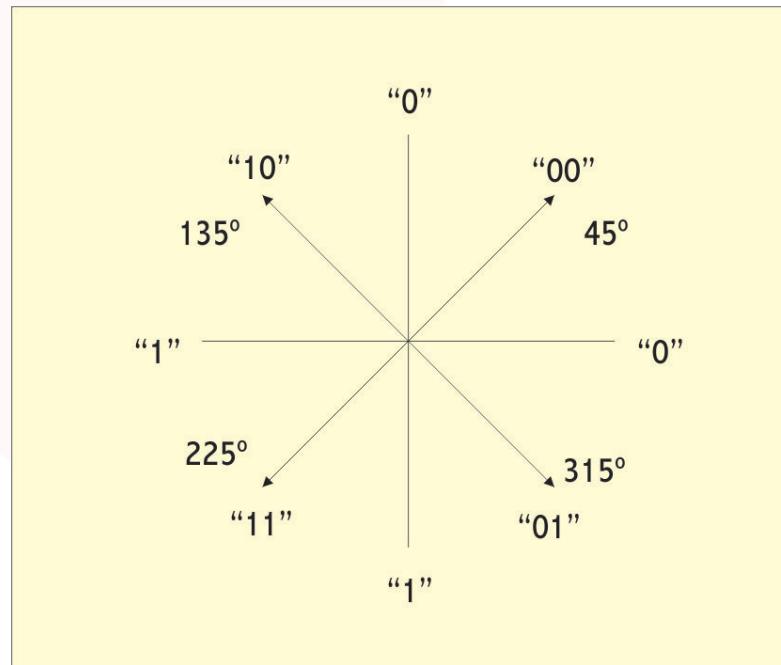


Secuencia de bits	Díbit A	Díbit B	Fase
00	0	0	$0^\circ + 45^\circ = 45^\circ$
01	0	1	$0^\circ - 45^\circ = 315^\circ$
11	1	1	$180^\circ + 45^\circ = 225^\circ$
10	1	0	$180^\circ + 45^\circ = 135^\circ$



7.3.4.3 Modulación multifase

La figura permite observar el diagrama vectorial correspondiente a la modulación en fase 8 PSK. Cada fase representará un grupo de 3 dígitos binarios, es decir, 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°

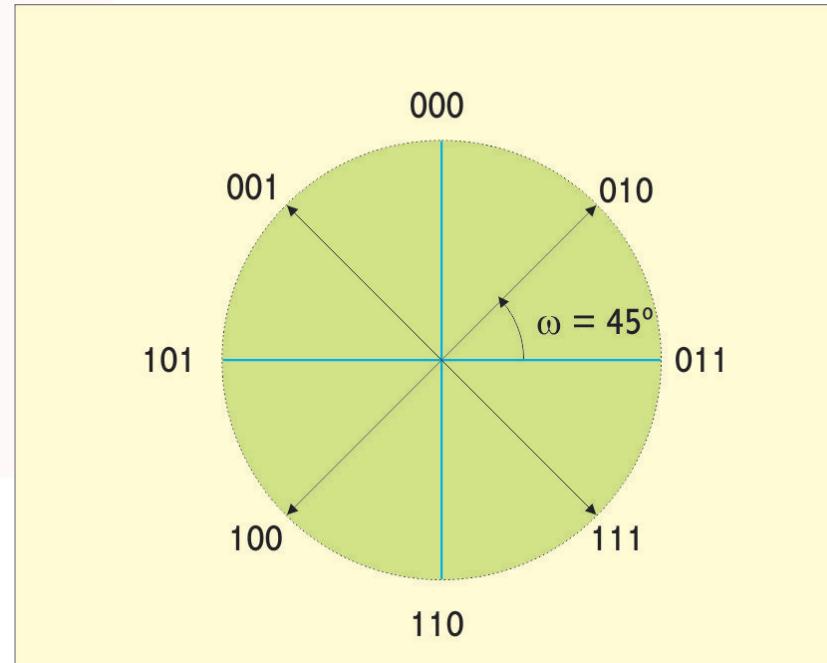


Modulación y digitalización de señales

7.3.4.3 Modulación multifase

En esta figura se puede observar el diagrama de fase de una señal 8 PSK; en él se destaca el hecho de que los tribits asignados a cada fase corresponden al denominado Código Gray.

También existen sistemas de 16 PSK en los cuales la fase de la portadora puede tomar 16 valores discretos diferentes.

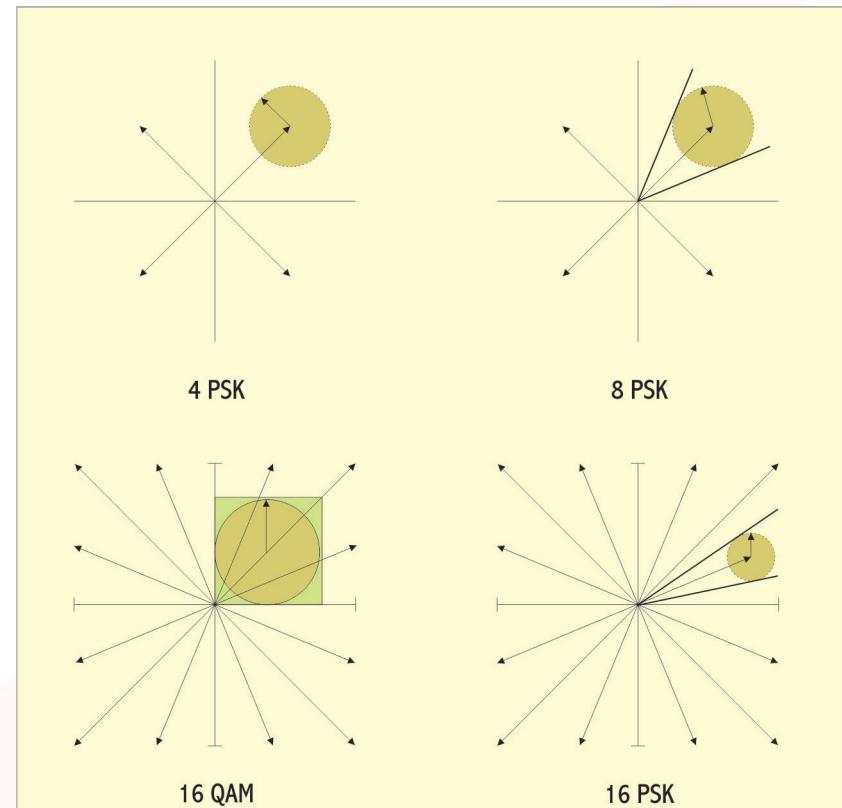




7.3.4.4 Modulación multinivel

Este método se basa en la modulación en amplitud de dos señales portadoras desfasadas 90° entre sí. Hasta ahora, en los diagramas de fases PSK todos los puntos extremos del vector se encontraban sobre una circunferencia, por lo cual tenían la misma amplitud. Ello se puede apreciar, por ejemplo, en esta figura, correspondiente a un sistema 8 PSK.

En la modulación QAM, se utilizan dos portadoras independientes en cuadratura (de allí su nombre), moduladas en amplitud; en consecuencia, ambos canales son completamente independientes, inclusive su codificación en banda base.





7.4 Equipos Módem

7.4.1 Distintos tipos de equipos módem

Los equipos denominados módem se pueden clasificar de diferentes maneras. La forma más simple es hacerlo teniendo en cuenta su función en el circuito de datos de un enlace teleinformático.

En tal carácter, los mismos pueden ser clasificados en:

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



Modulación y digitalización de señales

7.4.2 Características de los módem de rango vocal

7.4.2.1 Introducción

En muchos casos es necesario transmitir señales digitales por la Red Telefónica Conmutada, como las que producen por ejemplo los computadores para conectarse a la Red Internet.

Aunque cada vez se utilizan en menor medida las redes telefónicas analógicas dentro del espectro de las frecuencias de rango vocal, es decir, el que va de los 300 a los 3.400 Hz, a través de pares de cobre con características analógicas, la existencia en estas redes de equipos códec al ingreso a la zona de la red hacen imposible la transmisión en modo digital.

Si bien la red telefónica conmutada no constituye el medio ideal para la transmisión de datos en ese rango de frecuencias, aun en muchos casos es un medio práctico y usado hasta el momento.

Para superar ese y otros problemas técnicos se requiere un tipo especial de equipo de comunicaciones que recibe el nombre de **módem de rango vocal**, el cual brinda solución al problema presentado. Es por ello que resulta importante el estudio de estos equipos, por un lado, y de los canales que se utilizan en las redes telefónicas analógicas, por el otro.

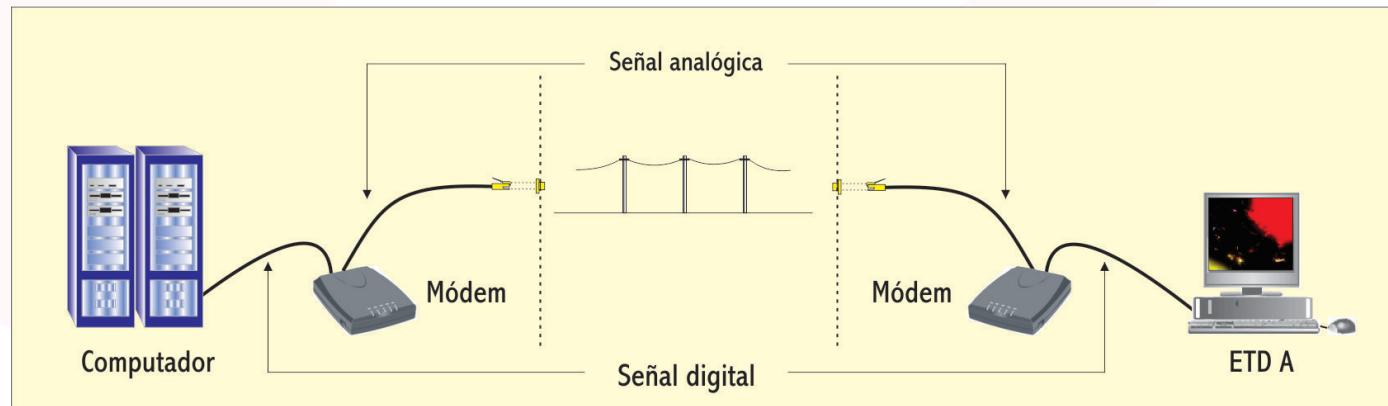


Modulación y digitalización de señales

7.4.2.2 Definición de módem de rango vocal

Se denomina equipo módem de rango vocal, o módem (modulador/demodulador), a aquel dispositivo que convierte las señales digitales provenientes de un ETD en señales analógicas aptas para ser transmitidas eficazmente por la Zona de Acceso de la Red Telefónica que funciona con esa tecnología y, en el extremo opuesto del circuito teleinformático, el mismo equipo procede en forma inversa.

Estos equipos son precisamente los utilizados para interconectar a dos ETD que posean características digitales a través de un acceso a la zona de la red de características analógicas.



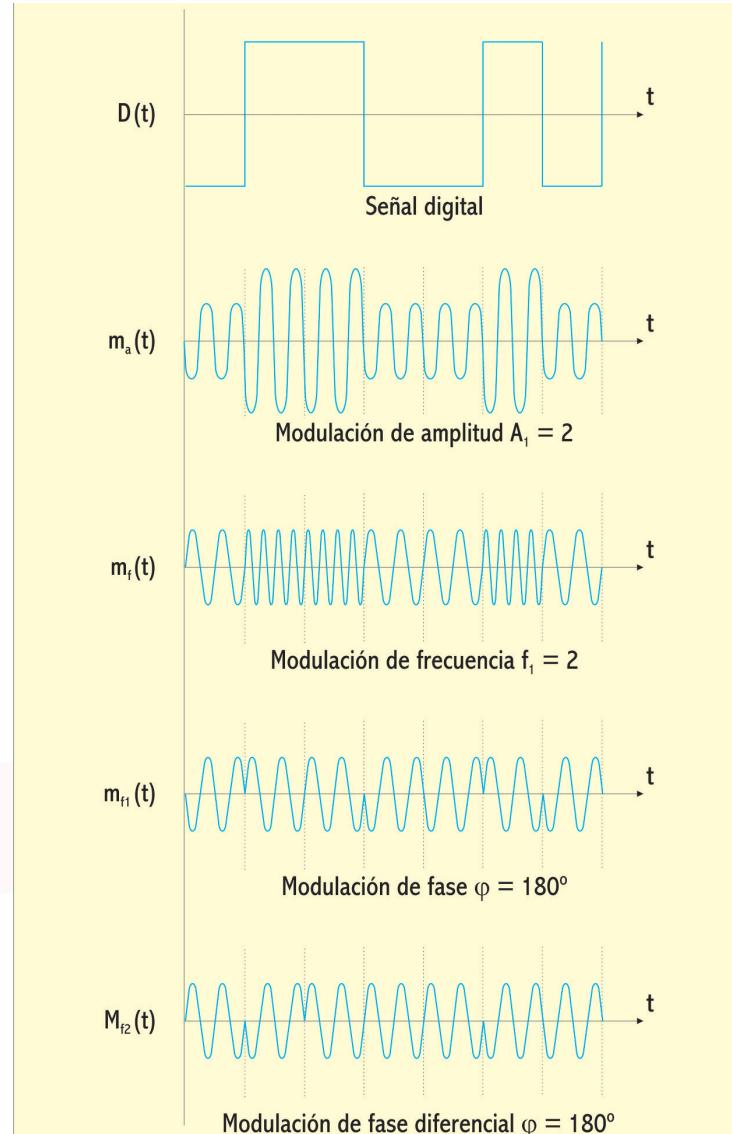


7.4.3 Funciones de los módem de rango vocal

7.4.3.1 Funciones básicas

Son funciones básicas: la codificación, la modulación, y consecuentemente sus operaciones inversas, la decodificación y la demodulación.

- La codificación y decodificación: la codificación consiste en transformar los datos recibidos del equipo terminal en códigos que tengan en cuenta los factores que hacen mas 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.

7.4.3.1 *Funciones básicas*



Modulación y digitalización de señales

7.4.3.2 Funciones complementarias

Son funciones complementarias: la recepción y transmisión de señales a través de una interfaz digital estándar y de otra analógica, el control del flujo de datos, la señalización (con el equipo ubicado en el extremo receptor), la ecualización del canal y la protección contra sobretensiones de la línea de transmisión.

La 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, independizándose del fabricante o de la función que cumple el terminal.

Las 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.

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

En todo circuito teleinformático, deben tomarse precauciones respecto a la aparición de picos de tensión en la línea de transmisión mediante el empleo de circuitos adecuados que protejan al modem de estas perturbaciones no deseadas.



7.4.3.3 Funciones especiales

Son funciones especiales: el discado y recepción automática de llamadas, almacenamiento y procesamiento de la información (reducido), detección y corrección de errores, compresión de datos, servicios de voz, servicios de facsímil y, en algunos casos, hasta el multiplexado de canales. Estas funciones son prestadas exclusivamente por los denominados módems inteligentes o *smart modem*. En realidad, la totalidad de los módems que se construyen en la actualidad son de este tipo.



7.4.3.4 Módem con canal auxiliar

Los módems de datos de rango vocal pueden funcionar en algunos casos con un canal denominado auxiliar. Estos son conocidos como **Módem con Canal Auxiliar**.

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



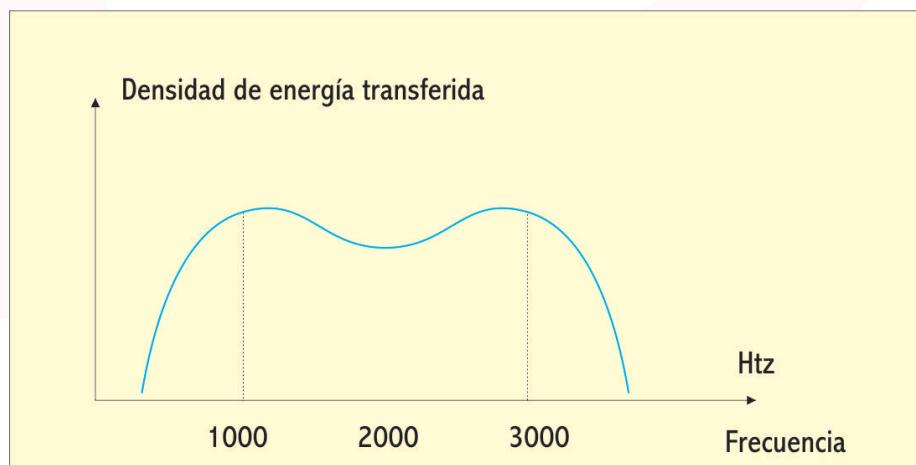
Modulación y digitalización de señales

7.4.4 Los canales telefónicos analógicos

7.4.4.1 Características de los canales telefónicos

En la red telefónica, la banda de transmisión esta dividida en canales cuyo ancho de banda es aproximadamente 3100 Hz, valor suficiente para la transmisión de señales de voz, pero insuficiente en las condiciones actuales para obtener velocidades de transmisión de datos compatibles con las necesidades que presentan los sistemas que se están operando.

No obstante, si se quiere transmitir datos dentro de dicho ancho de banda es necesario conformar el espectro de la señal de datos para adaptarlo al canal telefónico. En la figura se indica la distribución de la energía transmitida en función de la frecuencia dentro de un canal telefónico.





7.4.4.2 Utilización de módem en los canales telefónicos analógicos

En los canales telefónicos analógicos, la transmisión está afectada por perturbaciones tales como el ruido en todas sus formas y la distorsión. Su efecto sobre la transmisión vocal es imperceptible, pero sobre la transmisión de datos es importante, pues aumenta significativamente la tasa de error.

Por otra parte, las señales analógicas de voz tienen una relación elevada entre la potencia máxima y la potencia media y, por el contrario, las señales de datos poseen una relación mucho menor dado que su potencia media es elevada.

Para solucionar este inconveniente se suele disminuir la potencia media de las señales de datos, lo cual trae aparejada una disminución no deseada en la relación señal/ruido.

Todas estas características mencionadas ocasionan que el grado de eficiencia de la red telefónica conmutada para la transmisión de datos no sea suficientemente elevada, a pesar de las técnicas especiales empleadas para solucionar estos inconvenientes.

Por las características de los canales telefónicos, los módems de rango vocal pueden ser divididos en equipos de baja velocidad, que fueron los primeros que se utilizaron en mercado, y los equipos de alta y muy alta velocidad. Estos últimos tipos pueden a su vez ser inteligentes y no inteligentes.

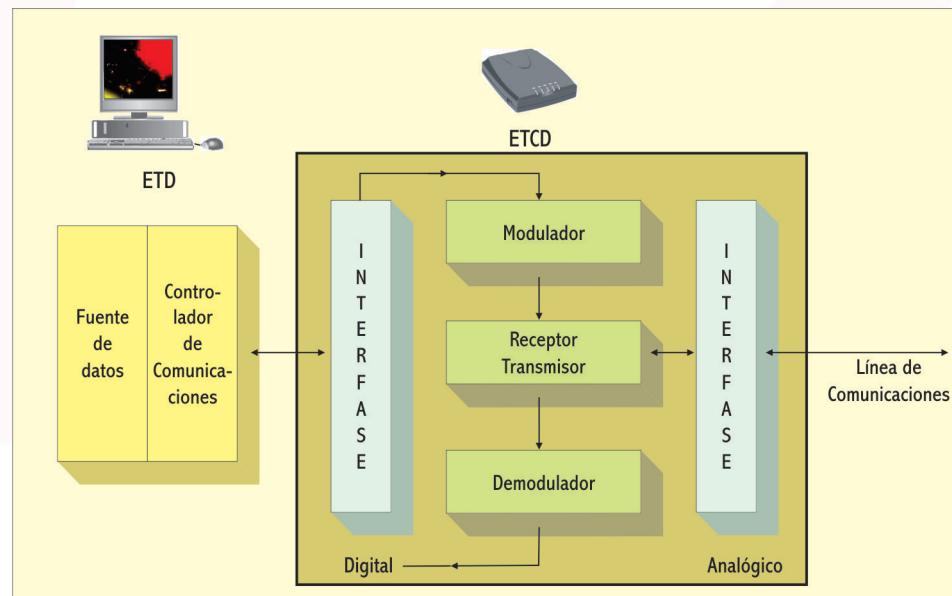


Modulación y digitalización de señales

7.4.4.3 El sincronismo de los módems

Los módems de datos de frecuencia de voz necesitan en algunos casos mantener el sincronismo durante toda la transmisión, o solo durante breves instantes en los cuales se retransmite un carácter. Por tal causa pueden comportarse, respecto al modo de comunicación que establecen entre ellos y el equipo terminal de datos al que están conectados, en asincrónicos o sincrónicos.

- Módems asincrónicos: los equipos modem que se construyen para funcionamiento en modo asincrónico son los que se utilizan para la conexión de los computadores personales a la red telefónica. Los equipos que se observan en la mayoría de las empresas de venta de *hardware* son del tipo asincrónico.





Modulación y digitalización de señales

7.4.4.4 Módems de baja calidad

Norma	V_M	$V_{T\text{máx}}$	F_p	Modulación	Modo	Tipo	Enlace
V.21	300 baudios	300 bps	Canal N° 1: 1800 Hz Canal N° 2: 1750 Hz	FSK	Asincrónico	Dúplex	RTC
V.22	600 baudios	120 bps	Canal N° 1: 1200 Hz Canal N° 2: 2400 Hz	PSK	Asincrónico Sincrónico	Dúplex	RTC
V.22 bis	600 baudios	2400 bps	Canal N° 1: 1200 Hz Canal N° 2: 2400 Hz	QAM	Asincrónico	Dúplex	RTC
V.23	1200 baudios 75 baudios	2400 bps	Canal N° 1: 1700 Hz Canal N° 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



Modulación y digitalización de señales

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

La tabla muestra las características principales de los equipos de este tipo. Dentro de este tipo están los equipos que trabajan con las recomendaciones V.32 bis, V.32 ter, v.33 y V.34.

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



Modulación y digitalización de señales

7.4.6 Módems de muy alta velocidad inteligentes

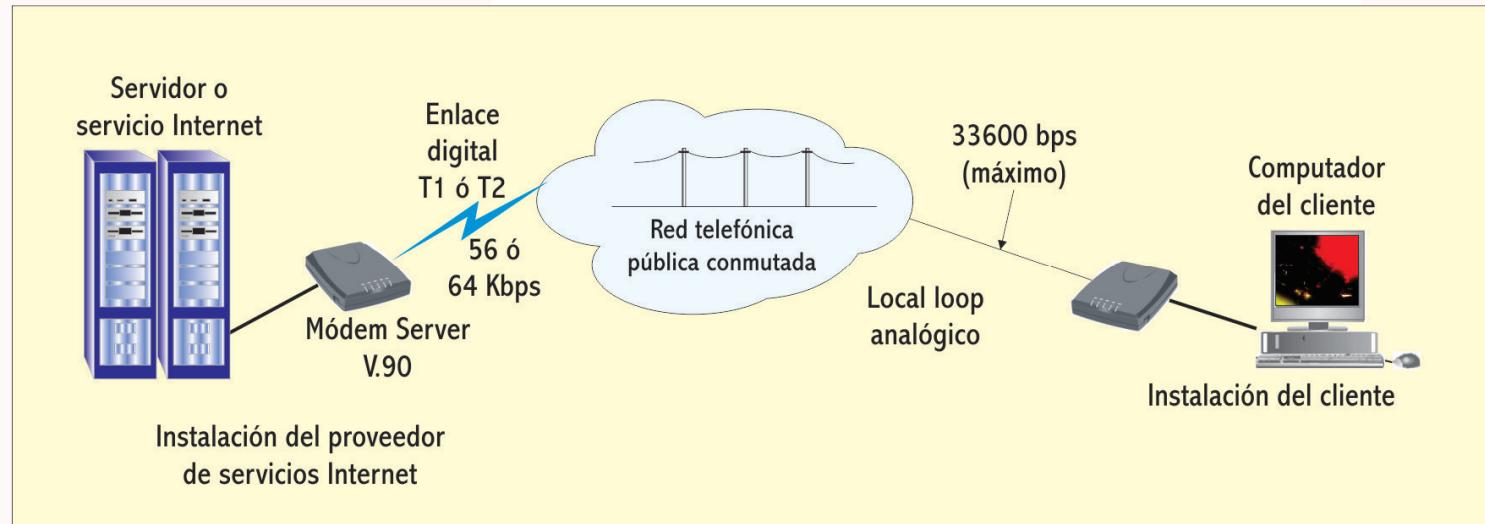
7.4.6.1 Aspectos generales

Las empresas **ISP** están conectadas en modo digital, por un lado, a la Red Internet y, por otro, a la Red telefónica Comutada. En ambos casos utilizan enlaces que pueden ser de diferentes tecnologías.

Entre ellos se pueden señalar los denominados E1 (compuestos por 30 canales de 64 kbps) y T1 (compuestos por 24 canales de 56 kbps), otros como podrían ser la denominada SDH, o su similar en la norma de EE.UU. denominada SONET, o la **NGN** a través de vínculos de muy alta velocidad denominados “switchados”.

En algunos casos la provisión del acceso a la Red Internet se efectúa por enlaces de muy alta velocidad del mismo tipo que los usados por el proveedor para obtener conectividad con dicha red, pero en otros este servicio se debe prestar a usuarios de la RTC que reciban este servicio a través de un vínculo analógico.

Por la cantidad de información que es necesario transferir desde y hacia la Red Internet, se necesitó de módems aun más veloces que los denominados de alta velocidad. Por tal causa se desarrollaron los denominados inteligentes de muy alta velocidad.

7.4.6.1 *Aspectos generales*



Modulación y digitalización de señales

7.4.6.2 Características principales

Cuando en un enlace ambos módems funcionen con las características de la Recomendación V.90 o V.92, la conexión requerirá el uso de dos tipos de módem llamados:

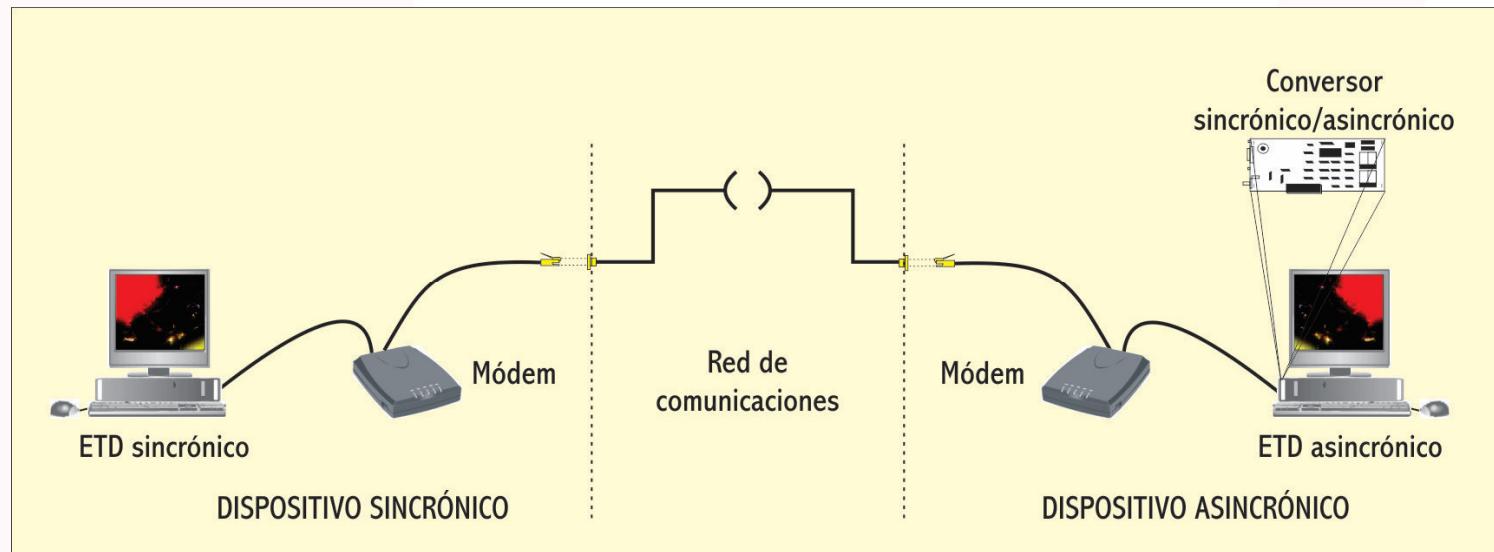
- Del lado del usuario: Módem cliente.
- Del lado del proveedor: Módem servidor.

Deben señalarse, como aspectos a tener en cuenta en caso del uso de este tipo de equipos, lo siguiente:

- La conexión a establecer resultara asimétrica, es decir, con una velocidad desde el módem cliente y otra velocidad distinta desde el módem servidor.
- Cada equipo módem ubicado en los dos extremos del canal presentarán características técnicas diferentes.
- El extremo en el que se instalará el módem servidor deberá tener acceso digital a la red telefónica.



7.4.6.2 Características principales





7.4.6.3 Funciones que prestan los módems inteligentes

7.4.6.3.1 Aspectos generales

Los módems inteligentes pueden realizar las siguientes funciones, con base en sus características técnicas, en formas parcial o total:

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



7.4.6.3.4 Modulación QAM: la Recomendación V.29

Los módems de la Recomendación V.29 significaron el primer gran avance en la comunicación de datos por la RTC. Estos equipos permitieron obtener velocidades de hasta 9600 bps a través de líneas dedicadas a cuatro hilos, con señales multinivel de 16 valores que permitían la transmisión de cuatro bits por Baudio – cuadribits, usando la modulación en cuadratura QAM, es decir, combinando la modulación de fase diferencial con la modulación de amplitud.

El procedimiento consiste en transmitir un tren de datos aleatorios. Para dicho fin, este se divide en grupos de cuatro bits de datos consecutivos que hemos llamado cuadribits. El primer bit de cada cuadribit, que se denomina Q1, sirve para determinar la amplitud del elemento de señal que debe transmitirse. Los tres siguientes: el segundo, Q2, el tercero, Q3, y el cuarto, Q4, se codifican mediante un cambio de fase con relación a la fase del elemento precedente. Precisamente, el cambio de fase es el desplazamiento real de fase en línea en la región de transición entre el centro de un elemento de señal y el centro del elemento siguiente.



Modulación y digitalización de señales

7.4.6.3.4 Modulación QAM: la Recomendación V.29

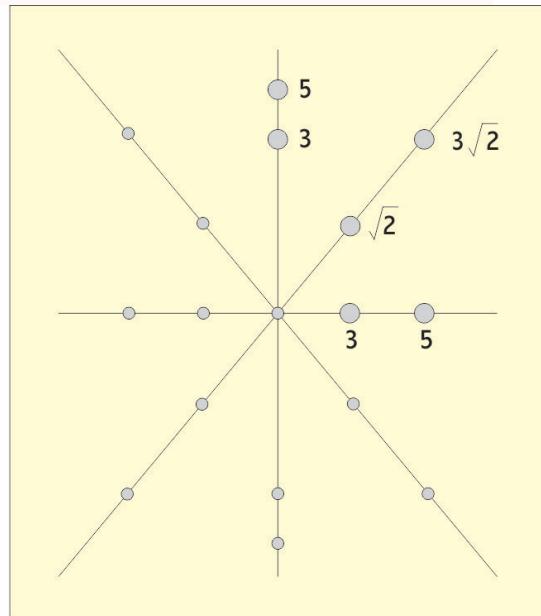
FASE ABSOLUTA	AMPLITUD RELATIVA	Q1	Q2	Q3	Q4	CAMBIO DE FASE
0°	3	0	0	0	1	0°
	5	1	0	0	1	
45°	$\sqrt{2}$	0	0	0	0	45°
	$3\sqrt{2}$	1	0	0	0	
90°	3	0	0	1	0	90°
	5	1	0	1	0	
135°	$\sqrt{2}$	0	0	1	1	135°
	$3\sqrt{2}$	1	0	1	1	
180°	3	0	1	1	1	180°
	5	1	1	1	1	
225°	$\sqrt{2}$	0	1	1	0	225°
	$3\sqrt{2}$	1	1	1	0	
270°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



Modulación y digitalización de señales

7.4.6.3.4 Modulación QAM: la Recomendación V.29

A los efectos de entender cómo se forma una constelación a partir del número de valores que toma la señal multinivel, analicemos la figura que muestra la forma que toma para la Recomendación V.29.

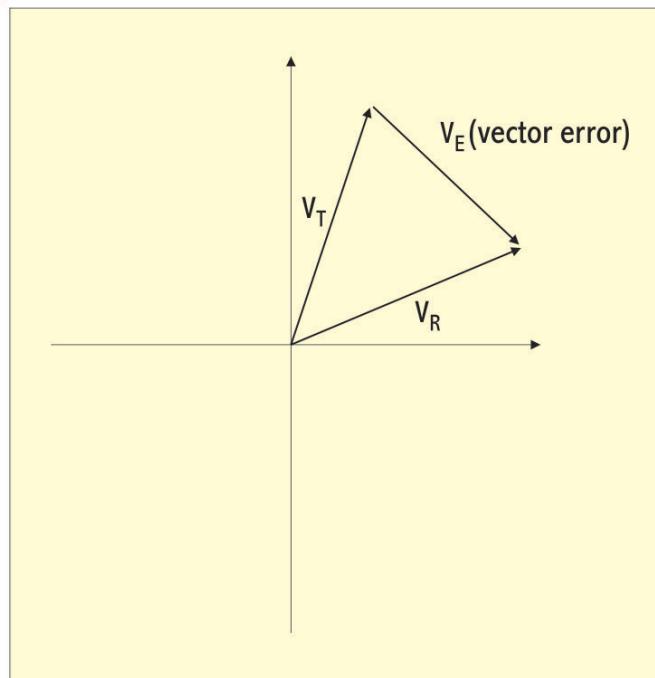


Cuadribits	Cambio de fase	Amplitud relativa	Cuadribits	Cambio de fase	Amplitud relativa
0001	0°	3	1001	0°	5
0000	+ 45°	$\sqrt{2}$	1000	+ 45°	$3\sqrt{2}$
0010	+ 90°	3	1010	+ 90°	5
0011	+ 135°	2	1011	+ 135°	3 2
0111	+ 180°	3	1111	+ 180°	5
0110	+ 225°	2	1110	+ 225°	3 2
0100	+ 270°	3	1100	+ 270°	5
0101	+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



7.4.6.3.5 Modulación QAM con codificación entrelazada

La Modulación Trellis por codificación entrelazada: es un esquema que permite la transmisión digital de datos con mucha eficiencia, en particular en canales con un ancho de banda limitado, como es el caso de los canales de frecuencia vocal que se usan en telefonía para la transmisión de datos.





Modulación y digitalización de señales

7.4.6.3.5 Modulación QAM con codificación entrelazada

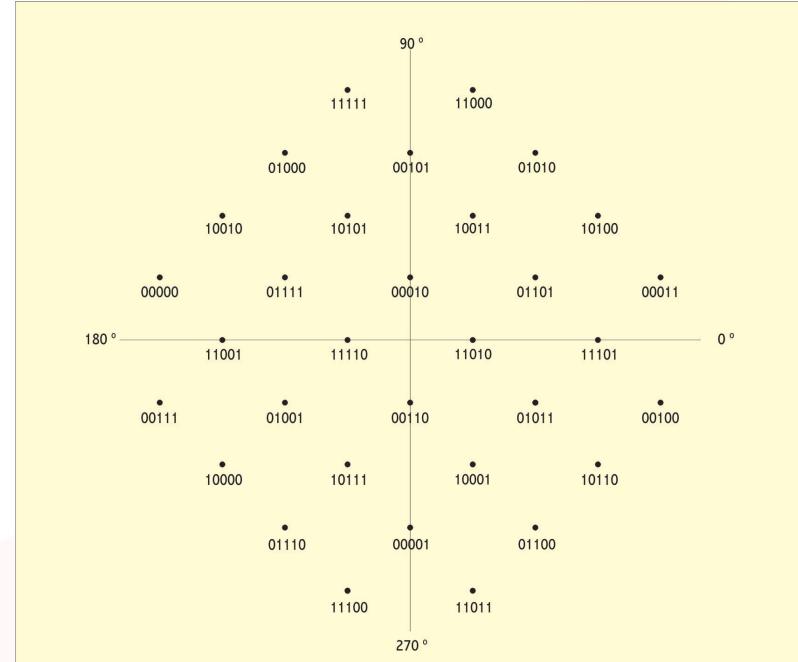
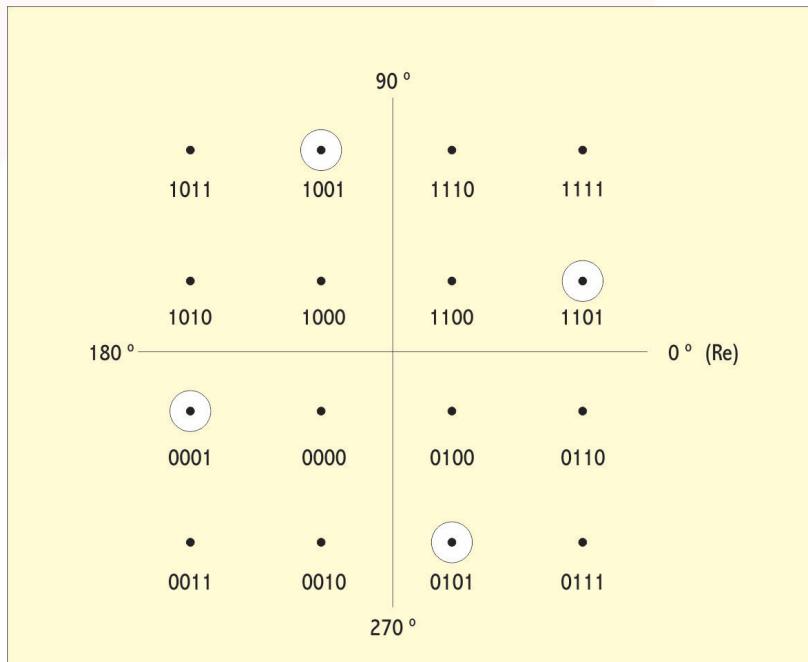
La Recomendación V.32 es uno de los primeros ejemplos de uso de la codificación entrelazada o Trellis que al ser mucho mas perfeccionada permitía transmitir a la misma velocidad, pero por circuitos arrendados a dos hilos e incluso a través de la RTC. Las características fundamentales de esta recomendación son:

- 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: uno clásico con 16 estados de portadora y que transmite cuatro bit por Baudio ($2400 \times 4 = 9600$ bps); y otro que también permite la misma velocidad de transmisión de 9600 bps pero emplea codificación entrelazada y utiliza 32 estados de portadora, transmitiendo cinco bits por Baudio.



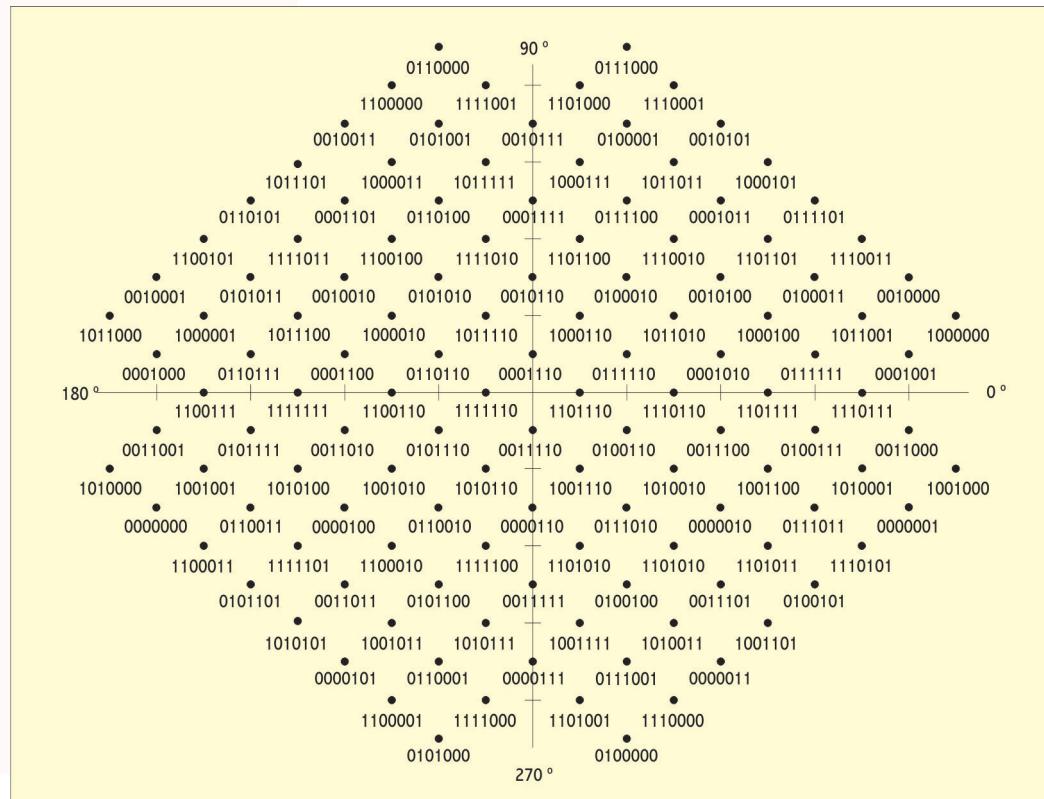
Modulación y digitalización de señales

7.4.6.3.5 Modulación QAM con codificación entrelazada





7.4.6.3.5 Modulación QAM con codificación entrelazada





7.6 Redes de acceso utilizando tecnologías xDSL

7.6.1 Concepto de redes de banda ancha

El concepto de Acceso de Banda Ancha puede tener varias interpretaciones, pero una muy generalizada es considerar que este tipo de servicios son aquellos que se proporcionan a velocidades no inferiores a 2 Mbps. Este valor debe considerarse solo como referencial y seguramente irá aumentando año a año, dado el comportamiento de la Red Internet que requiere trabajar cada día a velocidades mayores.

La idea para brindar este tipo de servicio estuvo orientada a utilizar redes con medios de comunicaciones ya desplegados de amplia cobertura geográfica y con llegada a los usuarios finales ya establecidas.

Dichas redes son las de cables de cobre utilizados en la red telefónica y las de cables coaxiales empleados en las redes de distribución de señales de televisión.

Para la primera se desarrolló un conjunto de tecnologías denominadas xDSL y, para la segunda, las normas DOCSIS que utilizan equipos denominados cable módem.



7.6.2 Características de la red de cables de cobre

La idea de brindar servicios de Acceso de Banda Ancha a través del despliegue de la red de cables de cobre que poseen las empresas telefónicas tuvo como finalidad sacar el máximo provecho a la infraestructura que las mismas ya tenían instalada, actualmente del orden de 1.400.000.000 de líneas fijas telefónicas que utilizan pares de cobre para prestar el servicio.

Así surgió la posibilidad de utilizar todo el potencial que ofrecen los pares de cobre de dicho servicio. Estos tienen, según sus características, un ancho de banda cercano a 1 Mbps que no es utilizado en telefonía por las razones descriptas.

Por un lado, esta idea significaba la reutilización de una inversión existente en la totalidad de las empresas telefónicas a través de la apertura de un nuevo negocio sobre un medio existente.

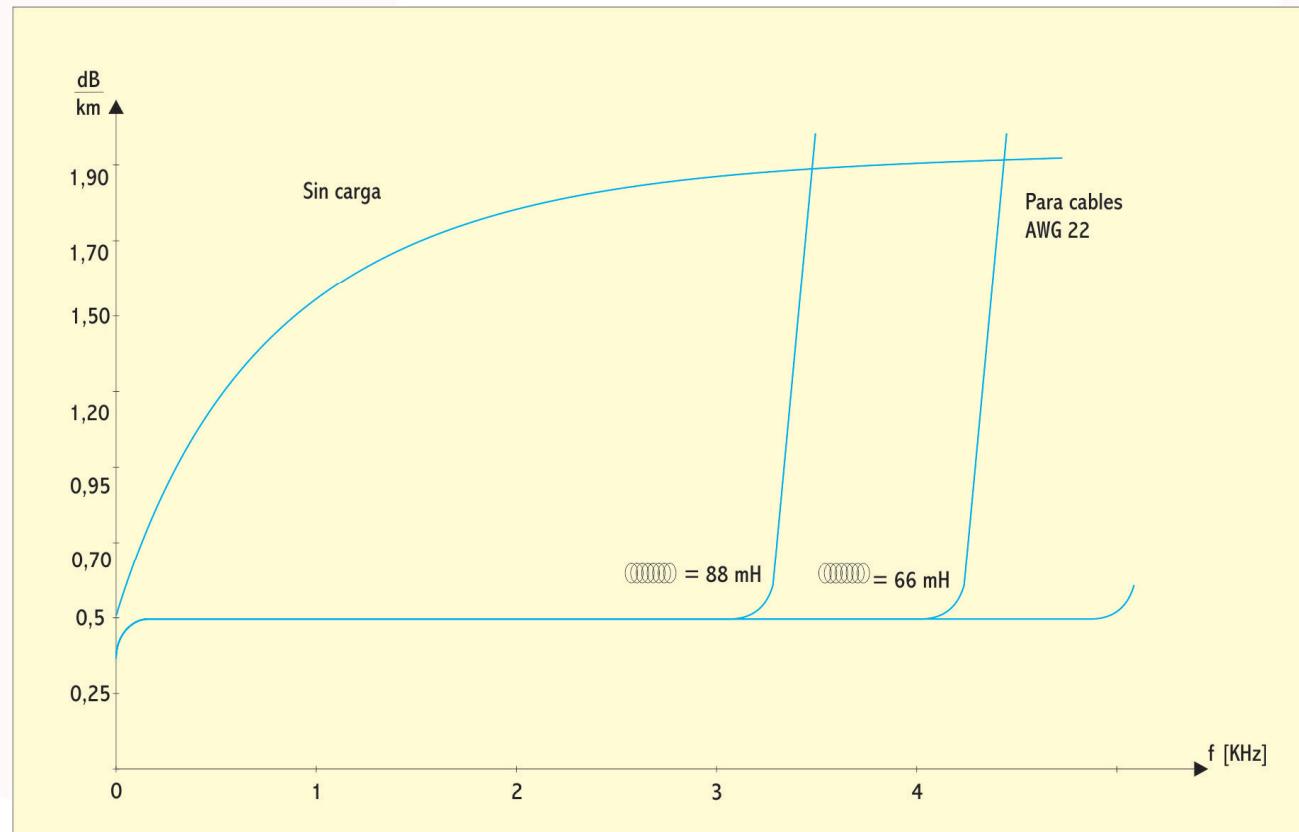
Así surge la idea de digitalizar parcialmente la línea de abonado para ofrecer servicios de transmisión de datos a alta velocidad.

No obstante, se presentaron inconvenientes técnicos. Uno de ellos es el originado por la utilización, en el par de abonado, de inductancias que permitían disminuir la atenuación. Estas se producían por efectos capacitivos que se generaban en estas líneas y limitaban su utilización cuando su extensión iba más allá de los 6.000 m aproximadamente.

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



7.6.2 Características de la red de cables de cobre





7.6.3 Las Tecnologías xDSL

Existen numerosas tecnologías bajo la denominación xDSL. Las mas utilizadas son las que se describen en la tabla. Ellas difieren en los siguientes parámetros que condicionan sus aplicaciones:

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

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



7.6.4 Tecnología ADSL

7.6.4.1 Generalidades

ADSL se presta sobre un único par de cobre por el que además se brinda el servicio telefónico domiciliario mediante un uso adecuado del ancho de banda de par de cobre que llega al usuario.

La tecnología ADSL, dentro del grupo de las llamadas xDSL, ha sido la que mas se ha utilizado para brindar el **servicio de banda ancha** con acceso a la Red Internet dirigido a los usuarios telefónicos con líneas fijas domiciliarias, especialmente ofreciendo servicio a particulares.

Este estándar esta pensado de manera que el canal descendente tenga mayor velocidad que el canal ascendente, pues de esa manera se adapta mejor a los servicios de acceso a la Red Internet en los que normalmente el volumen de información recibida es mucho mayor que la enviada desde el usuario.

Con ADSL, las velocidades son muchísimo mayores que las que permiten los módems de datos de rango vocal y resulta además una solución de bajo costo cuando se desea conectar a una LAN a la Red Internet.

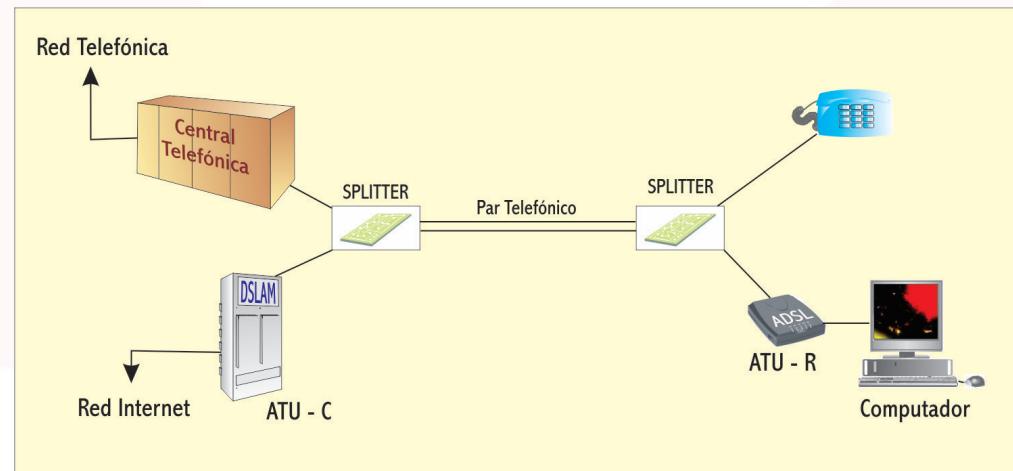


Modulación y digitalización de señales

7.6.4.2 Arquitectura ADSL

El sistema de acceso a través de una conexión ADSL se compone de los siguientes elementos:

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





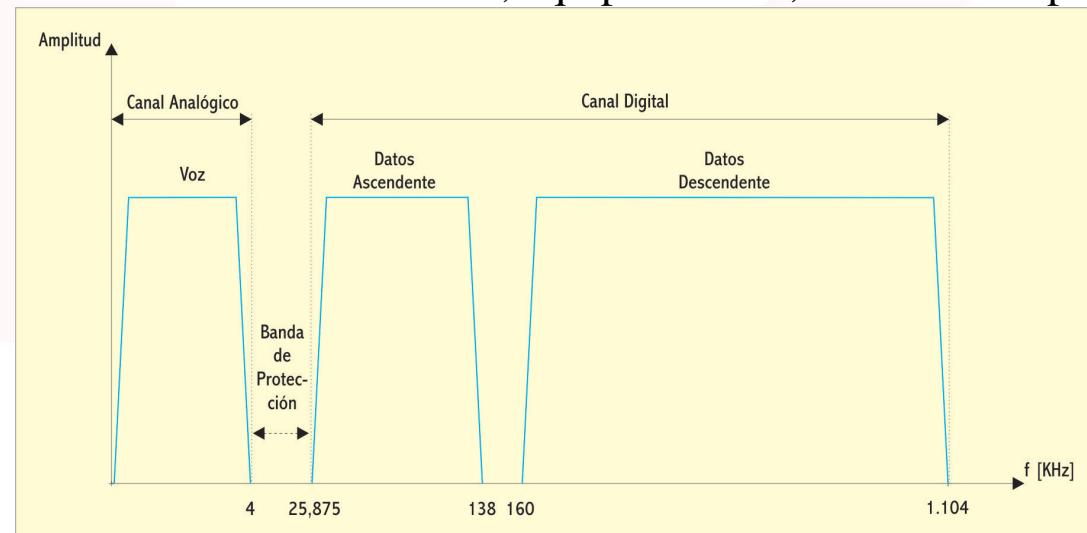
Modulación y digitalización de señales

7.6.4.2 Arquitectura ADSL

La figura muestra la forma en que se administra el ancho de banda en los pares de cobre para implementar la Recomendación UIT G.992.1. En ella se observa cómo se distribuye el ancho de banda en tres canales diferentes.

El canal de voz analógico está separado del módem digital mediante filtros contenidos en el *splitter*, asegurando así la continuidad del servicio telefónico incluso ante una caída o fallo de dicho modem. En casi todos los casos, los filtros del *splitter* están incorporados a los módems en ambos extremos.

En la central telefónica del operador, los módems DSLAM están instalados en bastidores y se conectan a la Red Internet o a otras redes de datos, equipos *router*, enlaces del tipo Ethernet o conmutadores ATM.



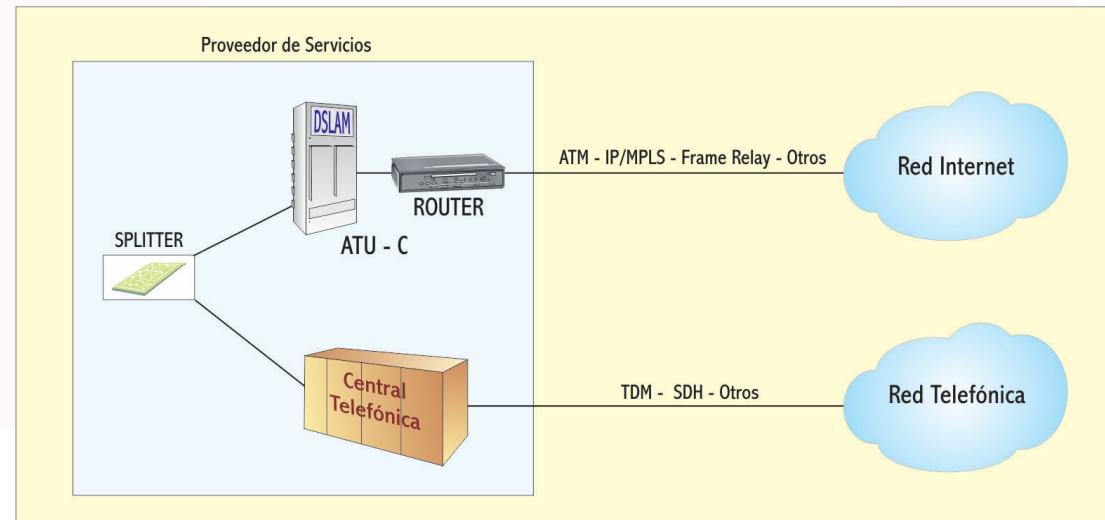


Modulación y digitalización de señales

7.6.4.3 Funcionamiento del ADSL

Como se ha mencionado, el acceso a redes de banda ancha a través de la tecnología ADSL se compone de dos módems: uno en cada extremo del par de cobre de la línea telefónica.

Del lado del usuario, el equipo módem denominado ATU-C normalmente tiene incorporado un *splitter* que divide el canal analógico que será utilizado para transmitir las señales vocales de los dos canales digitales utilizados para la transmisión de datos. Uno de ellos es descendente de alta velocidad y el otro es ascendente, de una velocidad menor hacia el proveedor del servicio.



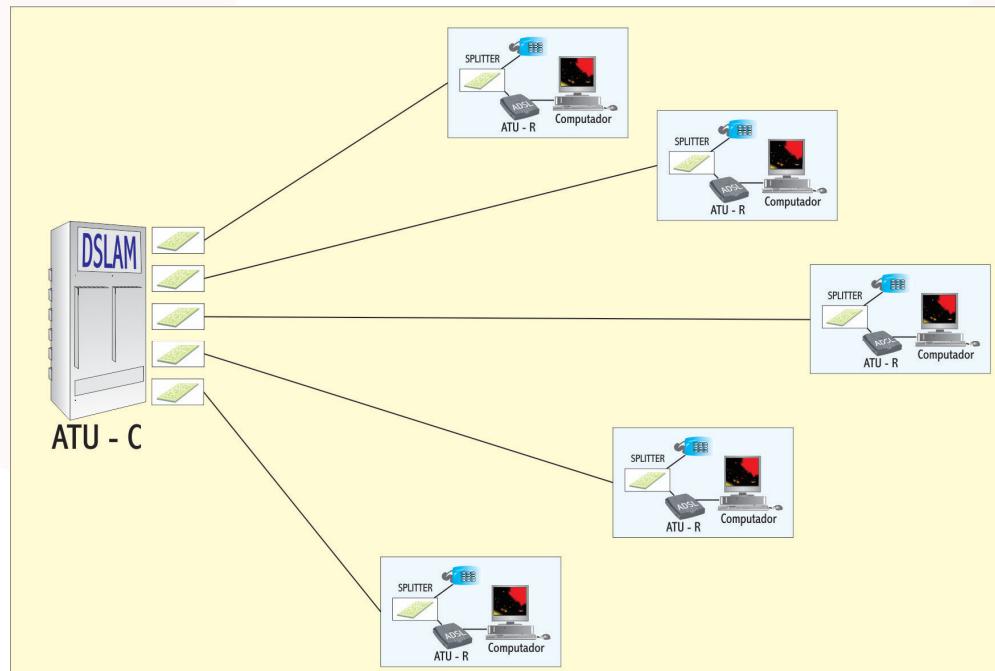


Modulación y digitalización de señales

7.6.4.3 Funcionamiento del ADSL

Esta figura nos muestra la arquitectura de varios enlaces ADSL administrados por un DSLAM. Cada modem de usuario se comunica con una tarjeta del DSLAM.

Un DSLAM solo posee funcionalidades en el nivel 2 del modelo OSI, por lo que, para encaminar el tráfico hacia diferentes destinos entre las múltiples redes con protocolo IP, debe conectarse a un *router* que cumpla las funciones de nivel 3. El *router* actuara como un equipo conmutador de paquetes. Estas funcionalidades del DSLAM están complementadas con otras, como por ejemplo la de **cancelación de eco**, que evita las interferencias que puedan producirse en el canal por intermodulación.





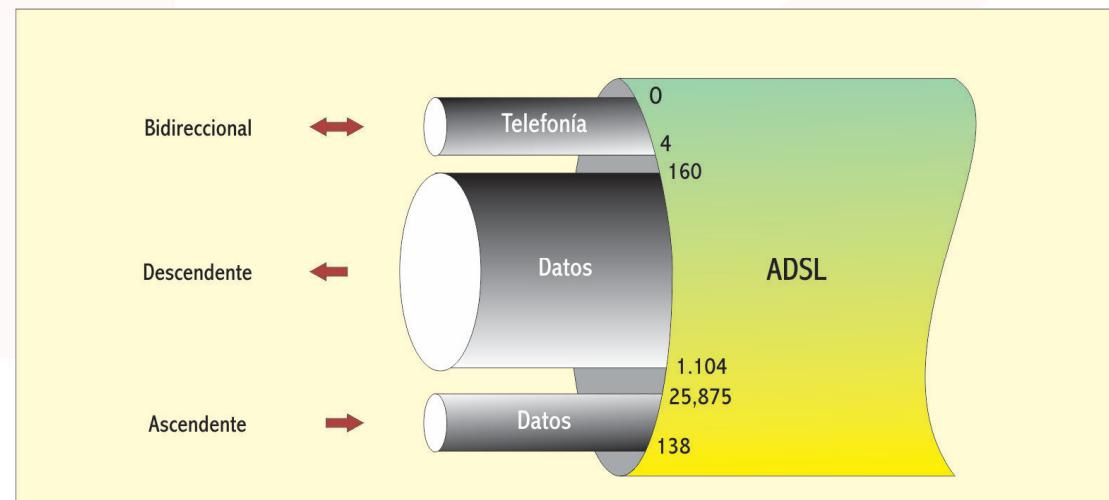
Modulación y digitalización de señales

7.6.4.3 Funcionamiento del ADSL

Para la transmisión de la señales la tecnología de acceso ADSL utiliza un código de línea conocido como **DMT**, también conocida como **OFDM**.

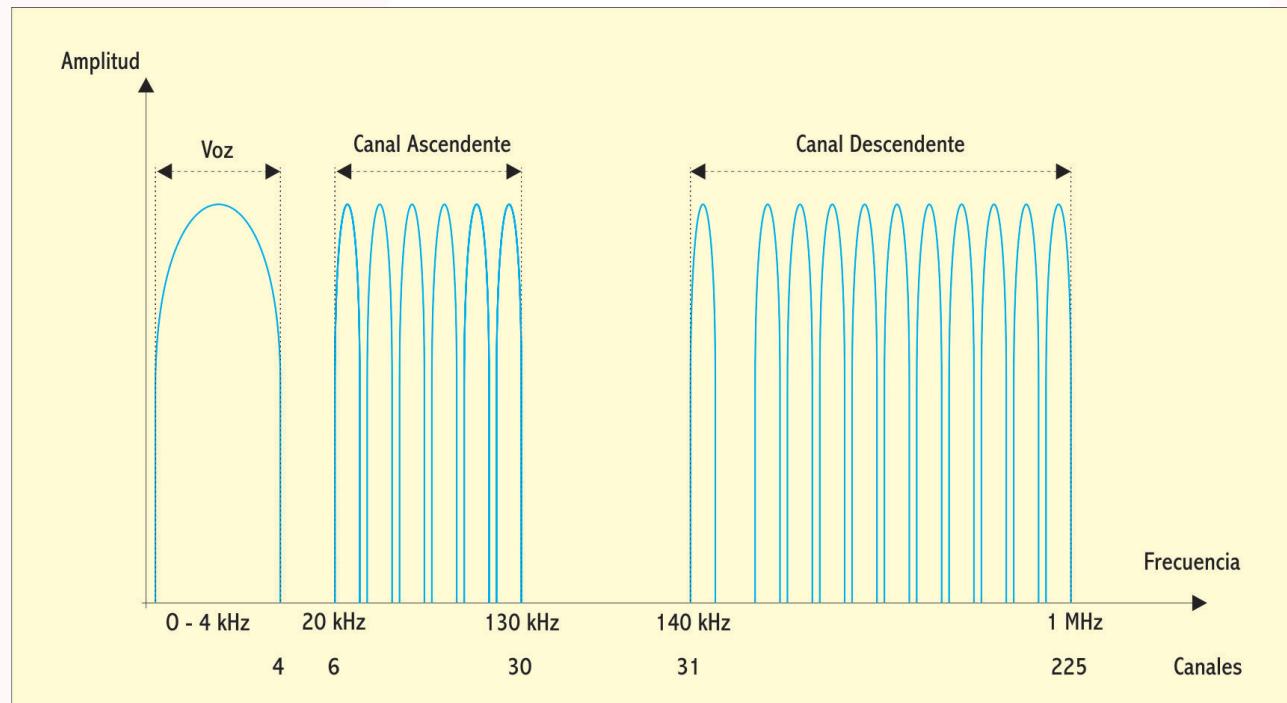
Este tipo de modulación FDM consiste en dividir el ancho de banda en un conjunto de subportadoras ortogonales de diferentes frecuencias. Luego, por cada subportadora se modula para enviar la información con las tecnologías QAM o PSK.

Esta figura nos muestra en forma didáctica como en un canal representado por un tubo coexisten los tres subcanales que llevan el canal analógico de voz y los dos canales digitales: el ascendente y el descendente.





7.6.4.3 Funcionamiento del ADSL





7.6.4.4 Las últimas versiones del estándar

Los fabricantes de equipamiento para ADSL a partir del primer estándar descripto, UIT-T. G.992.1, han continuado desarrollando equipamiento para obtener mayores velocidades sobre el par de cobre que permitiera además, brindar otros servicios adicionales al del acceso a la Red Internet, como puede ser la provisión de televisión bajo demanda, juegos de video en línea o videoconferencias de alta calidad.

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

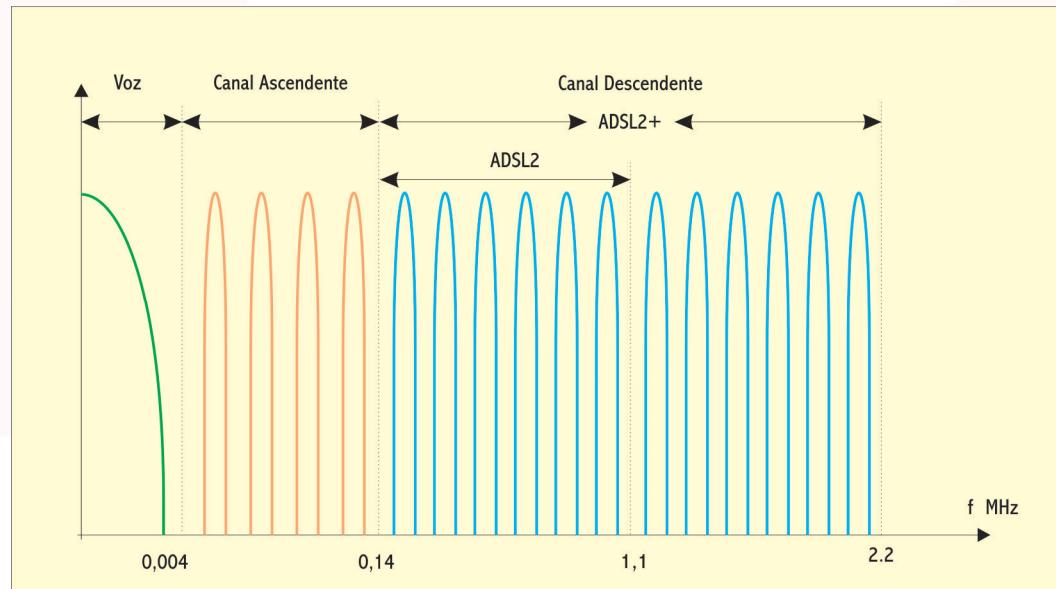


Modulación y digitalización de señales

7.6.4.4 Las últimas versiones del estándar

Las mejoras en estos nuevos estándares están orientadas a incrementar las velocidades de transmisión, en especial la velocidad en sentido descendente. En particular, la denominada ADSL2 plus permite obtener teóricamente velocidades de hasta 24 Mbps y es una evolución del sistema ADSL y ADSL2.

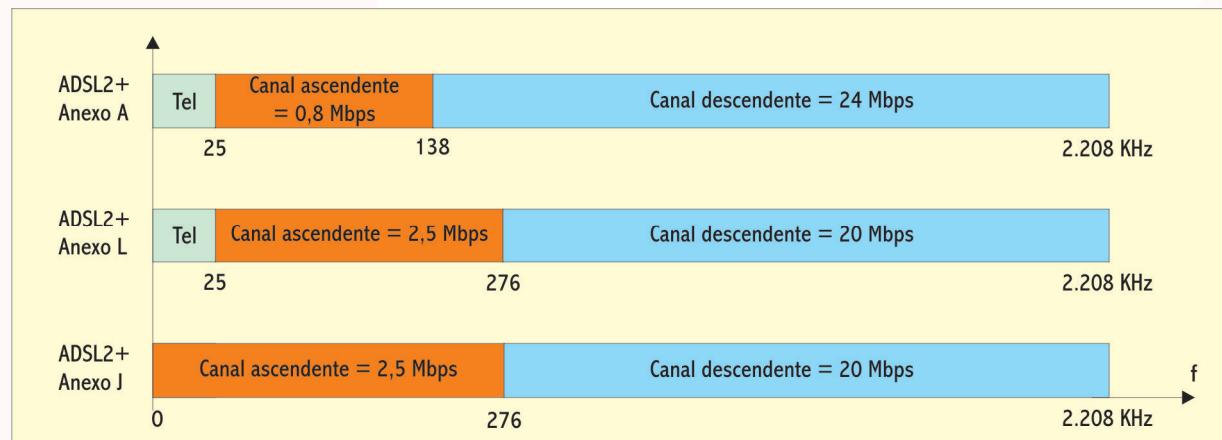
La figura nos muestra cómo se distribuye el ancho de banda disponible para la Recomendación ADSL2 y el aumento que se registra para la ADSL2+.





7.6.4.4 Las últimas versiones del estándar

La figura muestra la distribución de frecuencias y las velocidades máximas que se podrían alcanzar en los casos descriptos.





Modulación y digitalización de señales

7.6.4.5 Características del estándar ADSL ventajas y desventajas

- Permite, a través de un solo medio de comunicaciones, la operación telefónica y navegar por la Red Internet.
- No requiere una infraestructura especial, reutilizando la infraestructura de la planta externa existente de las TELCO.
- Los operadores del servicio no tienen que afrontar grandes gastos para la implantación de esta tecnología.
- Presenta ventajas, no solo para el operador sino también para el usuario por el menor costo del servicio y del tiempo de instalación del servicio una vez requerido.
- Su velocidad de conexión es mucho mayor que la obtenida mediante los servicios que utilizan los módems de frecuencia vocal.
- Comparada con la tecnología de **Cable Módem**, posee una velocidad mas constante e independiente de la cantidad de usuarios conectados.
- Permite la posibilidad de conectarse en llamadas nacionales de larga distancia e internacionales usando telefonía IP a costos mucho menores que los que se ofrecen a través de la telefonía clásica.
- Los enlaces ADSL pueden ser usados como red de *back-up* de redes WAN empresariales.



7.7 Cable Módem

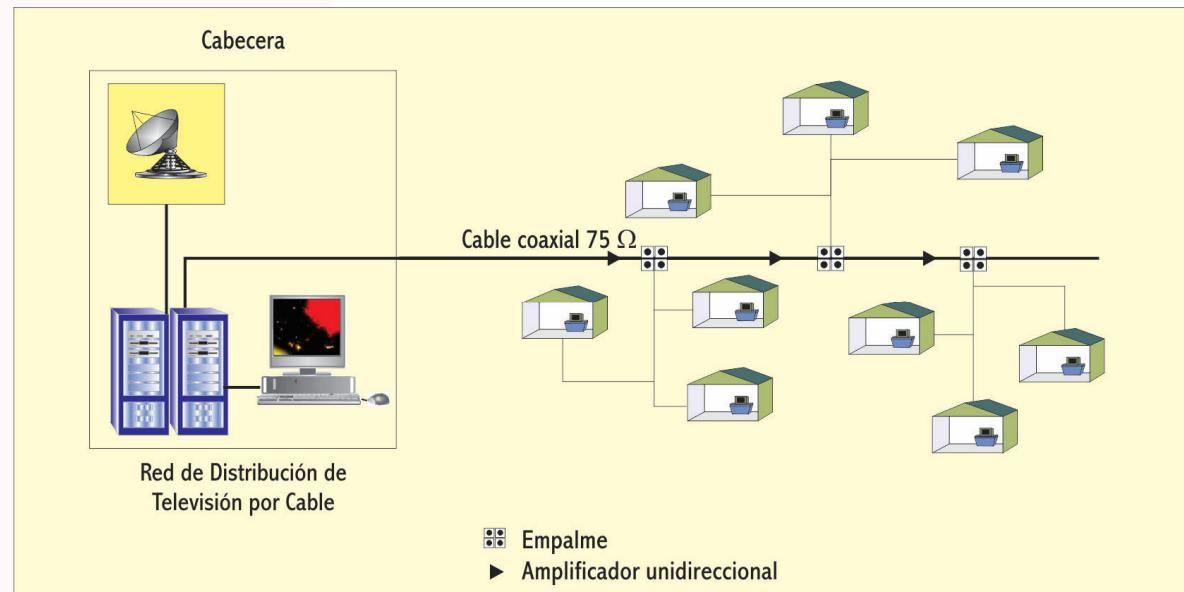
7.7.1 Introducción

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

En el mundo actual, para millones de individuos la televisión es un medio de comunicación que tiene relacionadas a personas de distintos países y diferentes lenguas. Trae noticias, ofrece programas educativos, brinda entretenimientos, permite apreciar teatro, opera y ballet, etc. En general, se ha hecho para muchos hogares un complemento infaltable en muchas horas del día.

La televisión se inicio con la recepción, por medio de antenas ubicadas en cada domicilio, de las ondas electromagnéticas que eran transmitidas en canales emisores. Estas llegaban así en forma directa a los usuarios y en forma libre.

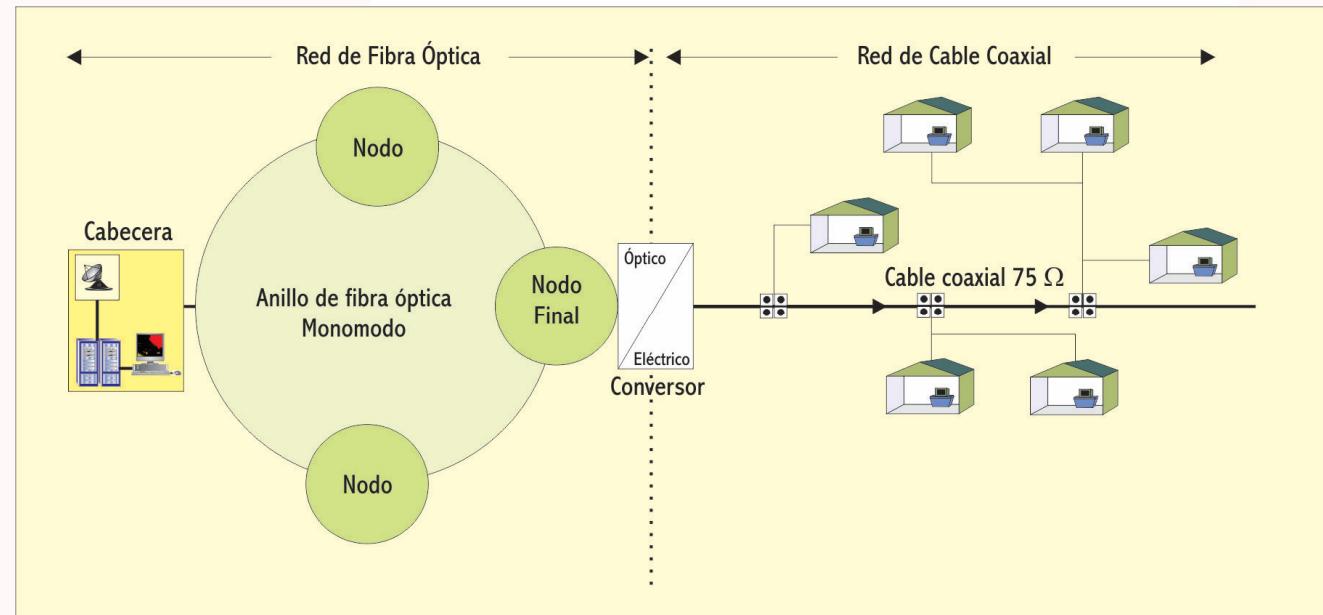
Posteriormente, dadas las características de este tipo de servicio, motivadas por la limitación del numero de canales disponibles en el espectro de frecuencias, el ruido y otros problemas vinculados a la calidad de la señal recibida, la amplia penetración de la televisión en los hogares hizo rentable la construcción de redes específicas alámbricas para la transmisión hasta el hogar de estas señales con costo a cargo de los usuarios.

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



Modulación y digitalización de señales

7.7.1.1 Las redes de distribución de señales de televisión por cable





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

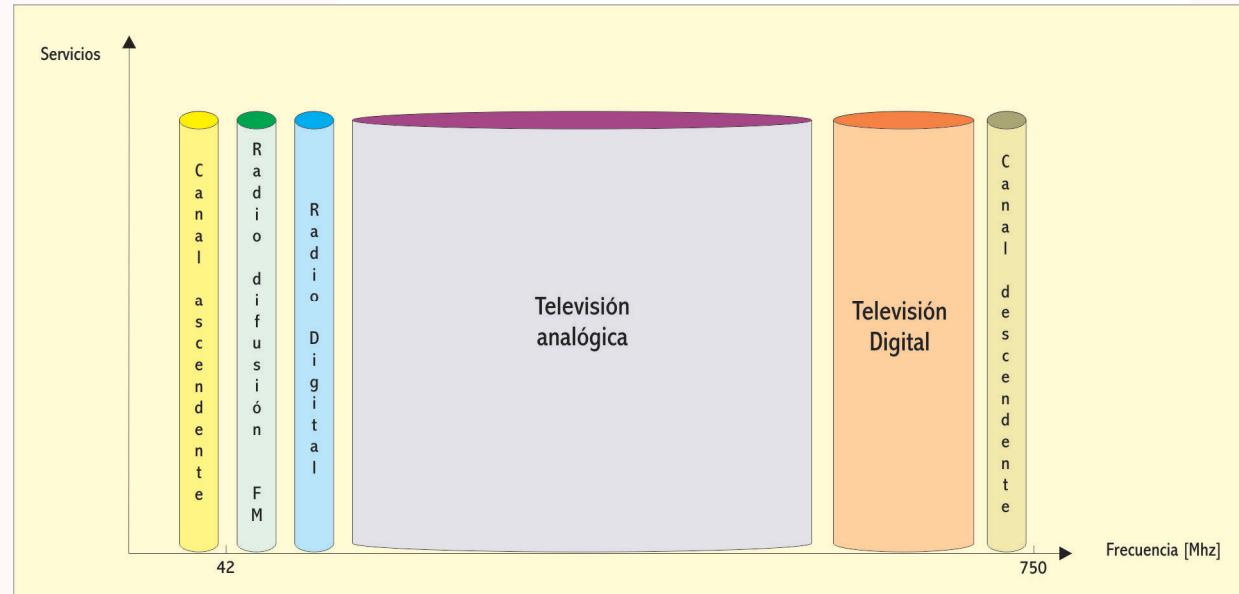
Si bien este tipo de redes fueron pensadas para la distribución de las señales de televisión, la transformación de las redes construidas inicialmente utilizando como medio de soporte solo el cable coaxial en redes hibridas ha permitido prestar una amplia gama de servicios.

Para ello fue diseñado un equipo denominado Cable Modem que permite proveer una amplia gama de servicios a través de un conjunto de protocolos basados en estandares que le permiten establecer un canal transparente entre la cabecera y el computador del 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.



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





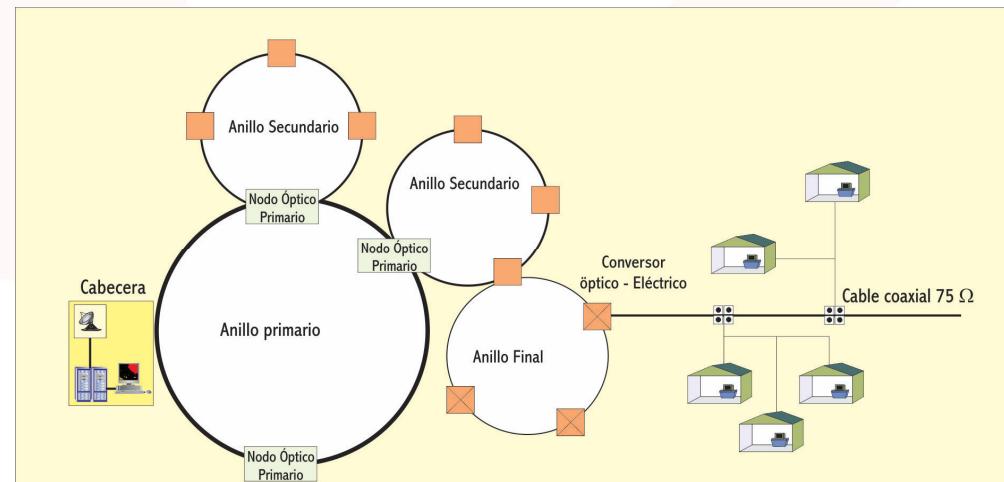
Modulación y digitalización de señales

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

7.7.2.1 Consideraciones generales

Este tipo de redes están basadas en una topología de anillos entrelazados y, a partir de estos, redes en estrella. Se pueden definir tres tipos de anillos: primarios, secundarios y finales. El anillo primario o troncal es la columna vertebral de la red. Dicho anillo troncal esta conectado a la cabecera de la RTC desde donde se envían las señales a la red.

Las redes utilizan fibras monomodo y, si es necesario por razones de distancia, amplificadores bidireccionales. Los anillos secundarios y los finales también son construidos con fibra. A partir de los anillos finales se efectúa la conversión óptico – eléctrica y se procede a su distribución a los usuarios a través de una topología en estrella.

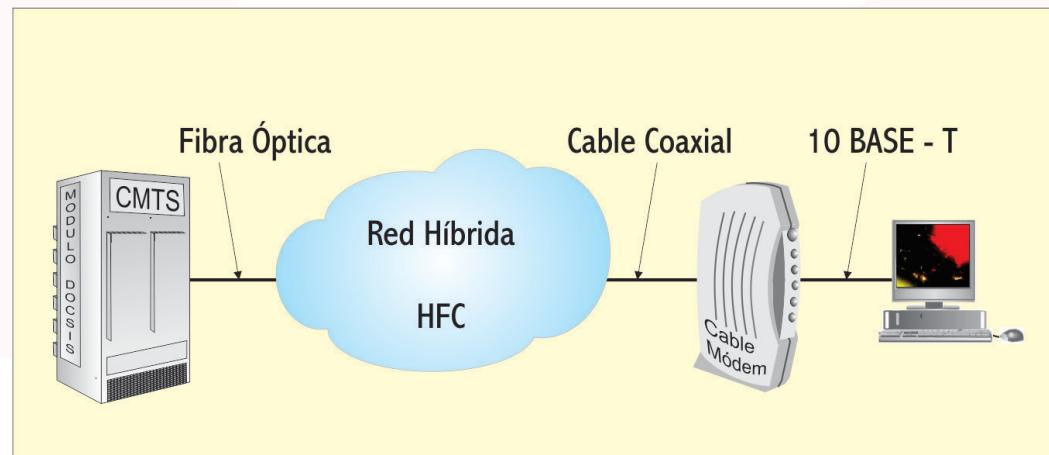




Modulación y digitalización de señales

7.7.2.2 Estructura del circuito de datos con cable módem

El circuito de datos, cuando se utiliza para acceso a la Red Internet y a otros servicios distintos a la recepción de las señales de televisión, se establece a partir de la **Cabecera de la Red de Televisión por Cable** entre el cable modem y otro equipo denominado **Sistema de Terminación del Cable Módem - CMTS** (*Cable Modem Termination System*) que puede atender a un numero importante de usuarios finales. Entre ambos equipos el transporte de datos se efectúa por medio de la Red Híbrida - HFC.

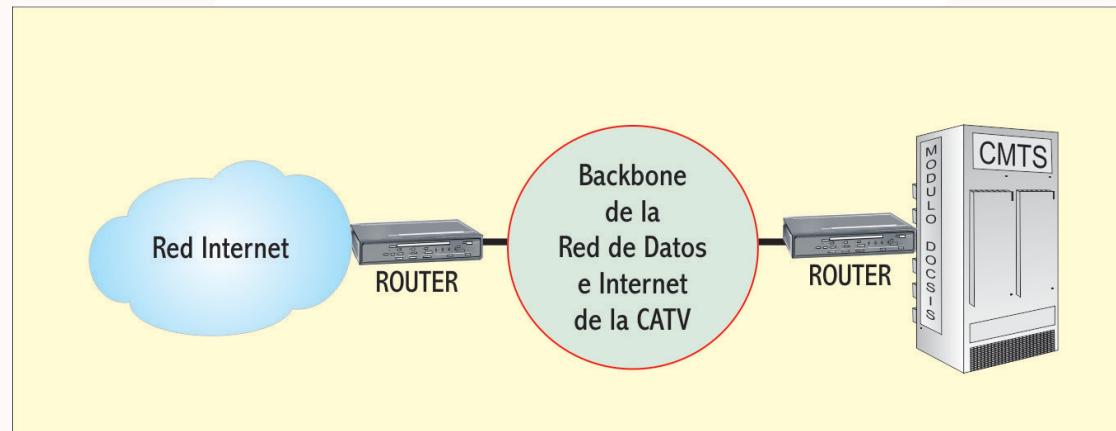




Modulación y digitalización de señales

7.7.2.2 Estructura del circuito de datos con cable módem

El CMTS es un equipo que se encuentra normalmente en la Cabecera de la Red de Televisión por Cable del operador. Este esta conectado al *Backbone* de la Red del Operador de CATV. Como el mismo debe proporcionar servicios de alta velocidad, lo conecta a la Red Internet mediante enlaces de datos de alta capacidad con un proveedor de servicios de red utilizando un *router* como equipo de acceso





Modulación y digitalización de señales

7.7.2.3 Equipo del Sistema de Terminación del Cable Módem

Un CMTS se ocupa de facilitar la información necesaria al cable modem para que pueda operar en la red de cable. Para ello procede, cuando aquel se conecta, a un proceso de configuración. El proceso consiste en enviarle los parámetros necesarios.

Una primera función es facilitar al Equipo Terminal de Datos, ubicado en el domicilio del usuario y conectado a un cable módem, la obtención de una dirección IP utilizando un protocolo denominado **DHCP**, que es un protocolo de red que trabaja en la modalidad cliente-servidor. El servidor que utiliza posee una lista de direcciones IP dinámicas y las va asignando a los clientes conforme estas van quedando liberadas.

Luego le facilita fecha y hora exacta que obtiene de los servidores y que posteriormente utilizará para almacenar los eventos de acceso de los usuarios. También facilita al cable modem el proceso de registro y de privacidad de la linea. Para realizar estas operaciones utiliza un protocolo denominado **TFTP**, que es un protocolo de transferencia muy simple.



Modulación y digitalización de señales

7.7.2.4 Equipo Cable Módem

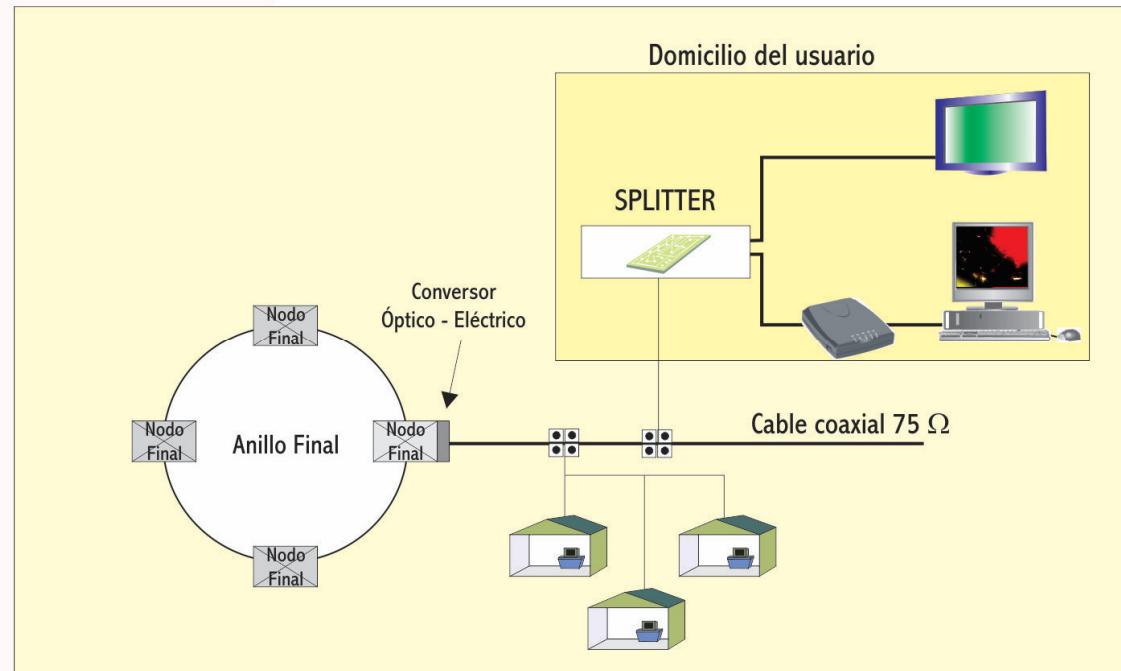
Se denomina equipo cable módem a aquel dispositivo que se comporta como un Equipo Terminal del Circuito de Datos y permite el acceso a las redes de banda ancha facilitando la transmisión de señales que proveen una amplia gama de servicios tales como acceso a la Red Internet, telefonía, videoconferencia y otros, basados en una serie de protocolos estandares, utilizando como medio de transporte a los empleados para la provisión de televisión por cable – CATV.

Los equipos cable módem pueden ser externos o internos. Los externos se conectan directamente al computador a través un una conexión Ethernet o USB. Los módems de este tipo vienen preparados normalmente para trabajar con la mayoría de los sistemas operativos y plataformas de *hardware*. Los internos se colocan como una tarjeta adicional a un bus PCI.

Los externos tienen incorporado un *splitter* que permite conectar a ellos el televisor y el computador, en este último caso en las formas descriptas.



7.7.2.4 Equipo Cable Módem



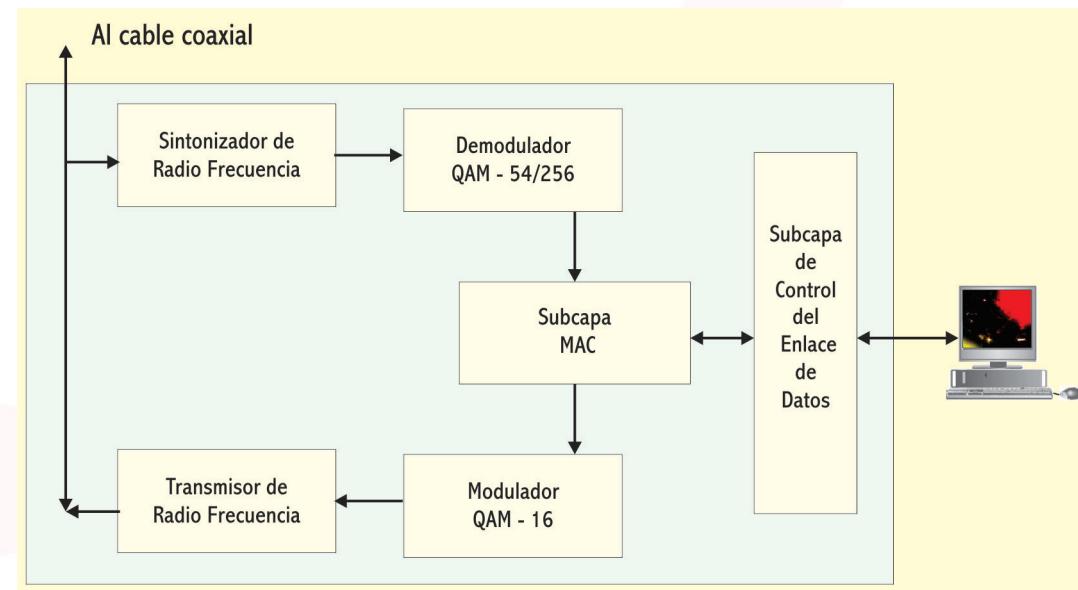


Modulación y digitalización de señales

7.7.2.4 Equipo Cable Módem

Un breve esquema del diagrama en bloque de un cable modem puede apreciarse en la figura. Las funciones principales de cada una de sus partes son las siguientes:

- 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 que definen interfaces de comunicaciones que permiten la transmisión de datos de alta velocidad sobre redes de televisión por cable. Una pagina en la Red Internet, denominada **Docsis.org**, se utiliza como fuente de información para los operadores de redes de cable - CATV. Estas normas utilizan esquemas de modulación QAM y QPSK RF.

Existen dos tipos de normas DOCSIS: las europeas (EuroDocsis), que están preparadas para operar sobre canales con un ancho de banda de 8 MHz y, por lo tanto, pueden transmitir la Norma PAL, y las de EE. UU., usadas para transmitir con la Norma NTSC sobre canales de 6 MHz. Para la elaboración de las especificaciones, certificarlas y luego publicarlas, hay dos organizaciones: **Cable Europe Labs** elabora las Normas **EuroDOCSIS** y **CableLabs** las Normas **DOCSIS** americanas.

Para la norma europea, se ha organizado una asociación profesional que agrupa a todos los operadores de banda ancha líderes en televisión por cable y sus asociaciones nacionales de comercio en toda Europa, denominada **Cable Europa**. Esta cuenta con una organización técnica de estándares denominada **Cable Labs Europa**.



Modulación y digitalización de señales

7.7.3.2 Características generales del estándar DOCSIS

Los estándares DOCSIS tienen la particularidad de ofrecer numerosas variantes dentro de una misma norma en cuanto a las frecuencias de operación, velocidades ascendentes y descendentes, esquemas de modulación, etc., lo que otorga cierta libertad a los fabricantes de equipos y operadores para que puedan adaptarse a las distintas circunstancias del negocio. Además, en los distintos países hay diferencias en el ancho de banda que se les asigna a los canales de televisión dentro del esquema de multiplexación por división de frecuencia en el medio utilizado.

Las velocidades máximas que se pueden alcanzar con las diferentes normas dependen fuertemente del esquema de modulación utilizado.

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	



Modulación y digitalización de señales

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

La comunicación del enlace de datos se establece siempre entre el CMTS y el cable modem a través de la Red Hibrida. Dicha conexión, desde el punto de vista de las especificaciones DOCSIS y de la *suite* de protocolos TCP/IP (en este ultimo caso para su enlace con la Red Internet), es transparente a los medios de comunicaciones que se utilizan: fibra óptica y cable coaxial.

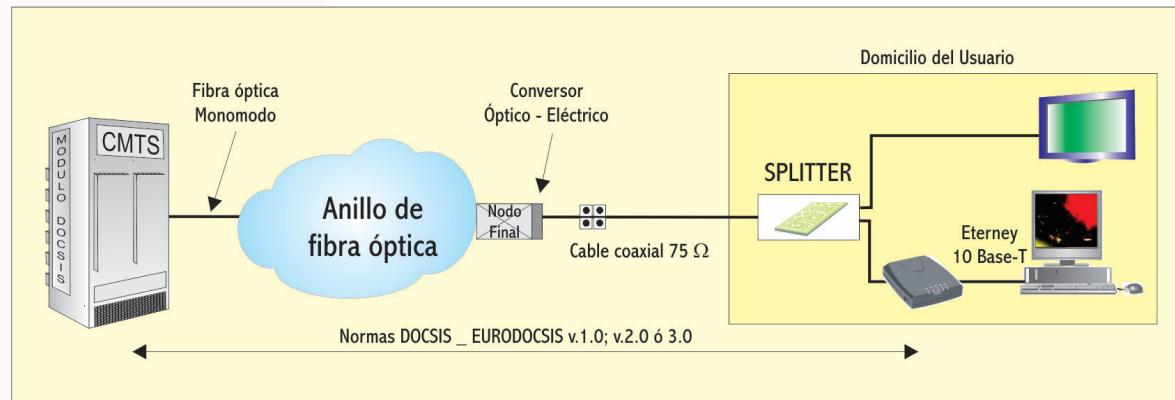
Según sea el ancho de banda y el esquema de modulación que se utilice será la velocidad máxima que se podrá establecer entre el nodo final y el CMTS. En el nodo final un convertidor transformara las señales ópticas en eléctricas y a este nodo se conectarán los distintos usuarios (con sus respectivos cable modem), ubicados en sus domicilios.

La cantidad de usuarios por canal dependerá del nivel de servicio que el proveedor le quiera dar a su red. Normalmente, el número de usuarios varia entre 100 y 500 por nodo final para el uso de canal de 6 MHz.



Modulación y digitalización de señales

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

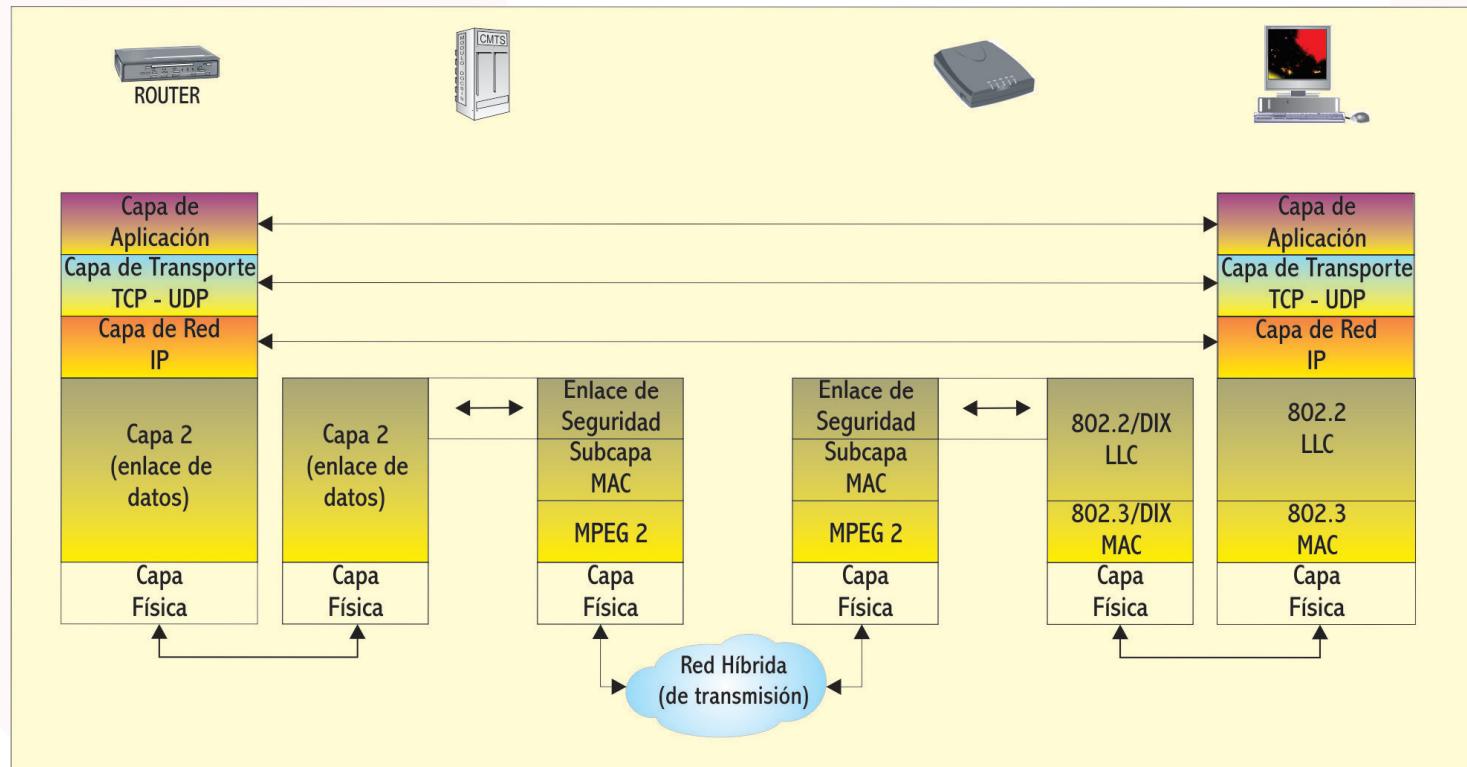


Versión	Canal descendente				Canal ascendente	
	Máximo de canales	DOCSIS	Velocidad máxima EUROCISIS	Máximo de canales	Velocidad máxima DOCSIS/EURODOCISIS	
1.0	1	42.88 Mbps	55.62 Mbps	1	10.24 Mbps	
2.0	1	42.88 Mbps	55.62 Mbps	1	30.72 Mbps	
3.0 ¹	No están definidos	42.88 Mbps	55.62 Mbps	No están definidos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



Modulación y digitalización de señales

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



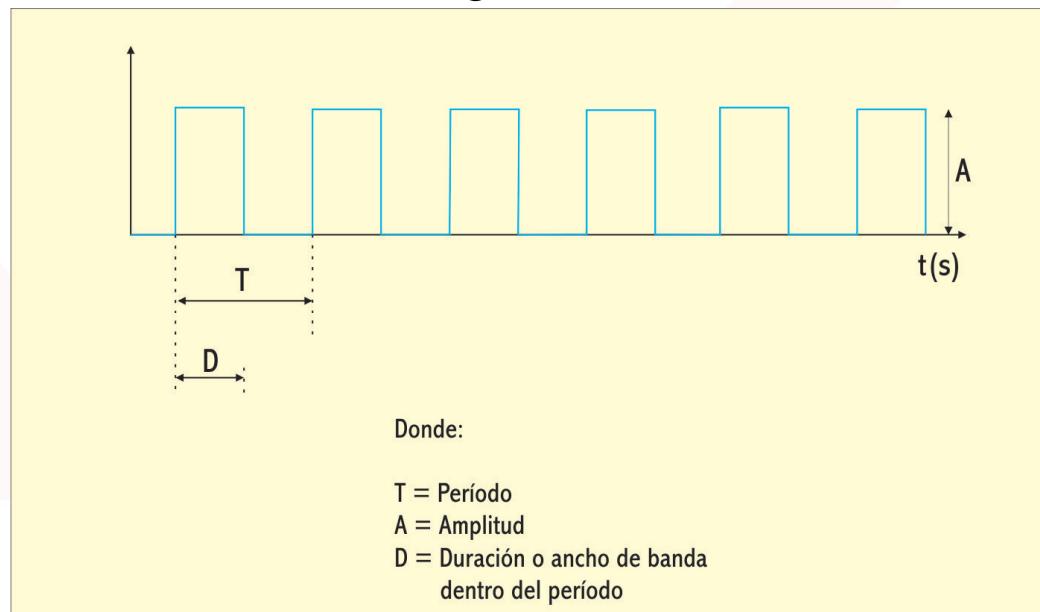
7.8 Modulación por pulsos

7.8.1 Definición

Se denomina modulación por pulsos a la modificación, por medio de una señal moduladora, de una señal portadora constituida por un tren de pulsos. Dicha modulación modifica alguno de los parámetros que caracteriza dicho tren de pulsos.

Los parámetros que pueden ser alterados son los siguientes:

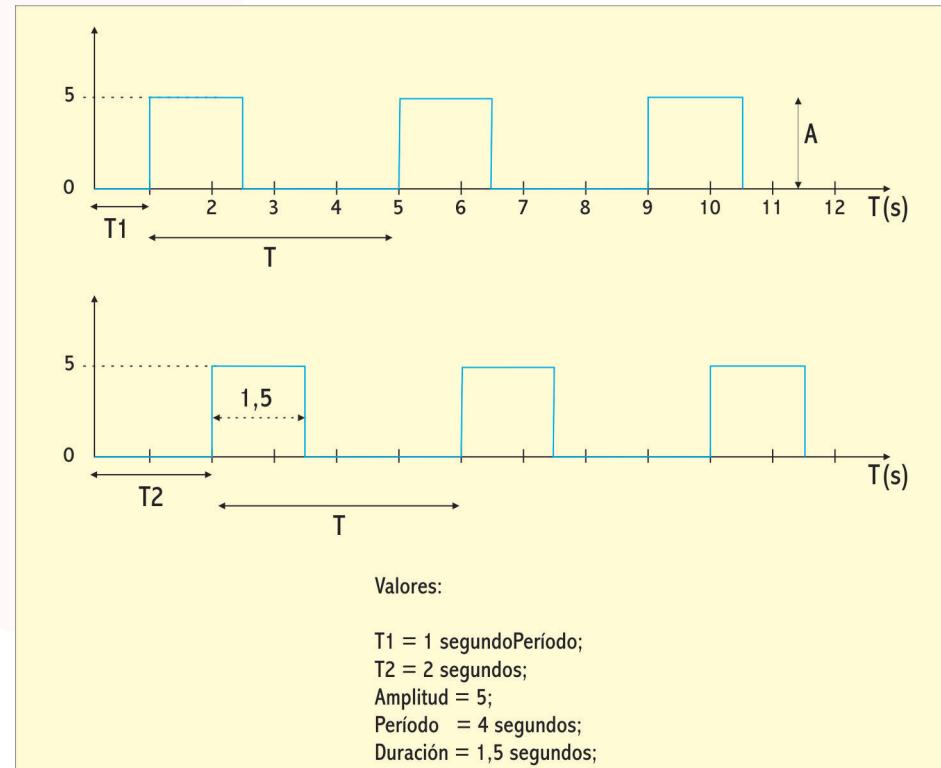
- Amplitud.
- Periodo.
- Posición del pulso.





7.8.1 Definición

Si llamamos t_1 , al tiempo que transcurre entre el inicio de un periodo y el comienzo de un pulso, la figura nos muestra dos trenes de pulsos de idéntica amplitud y periodo, pero con distintas posiciones de pulsos, caracterizadas precisamente por dos intervalos distintos: t_1 y t_2 .





7.8.2 Clasificación de la modulación por pulsos

7.8.2.1 *Modulación por pulsos analógica*

Se denomina modulación por pulsos analógica a aquella en que el tren de pulsos que compone la señal portadora puede ser modificado por la señal moduladora, tomando infinitos valores. Ejemplos de este tipo de modulación son los métodos llamados: Modulación de Amplitud de Pulso - PAM, Modulación por Duración de Pulso - PDM y la Modulación por Posición de Pulso - PPM.

7.8.2.2 *Modulación por pulsos digital*

Se denomina modulación por pulsos de tipo digital a aquella en que el tren de pulsos que compone la señal portadora puede ser modificado por la señal moduladora, tomando un numero finito de valores. Ejemplos de este tipo de modulación son los métodos denominados: Modulación por Pulses Codificados - PCM, Modulación Delta, Modulación Delta Diferencial, etc.



Modulación y digitalización de señales

7.8.3 Ventajas de la modulación por pulsos

Las ventajas de la modulación por pulsos respecto de la modulación por onda continua son:

- La potencia transmitida puede estar concentrada en ráfagas cortas, en lugar de entregarse en forma continua.
- Esto se puede lograr con procesos de almacenamiento y posterior retransmisión de los mismos a alta velocidad.
- Permiten realizar procesos de multiplexado.
- La transmisión de información inteligente modulada por pulsos tiene un nivel de calidad mucho mayor al que se puede obtener por otros procedimientos de modulación vistos anteriormente.

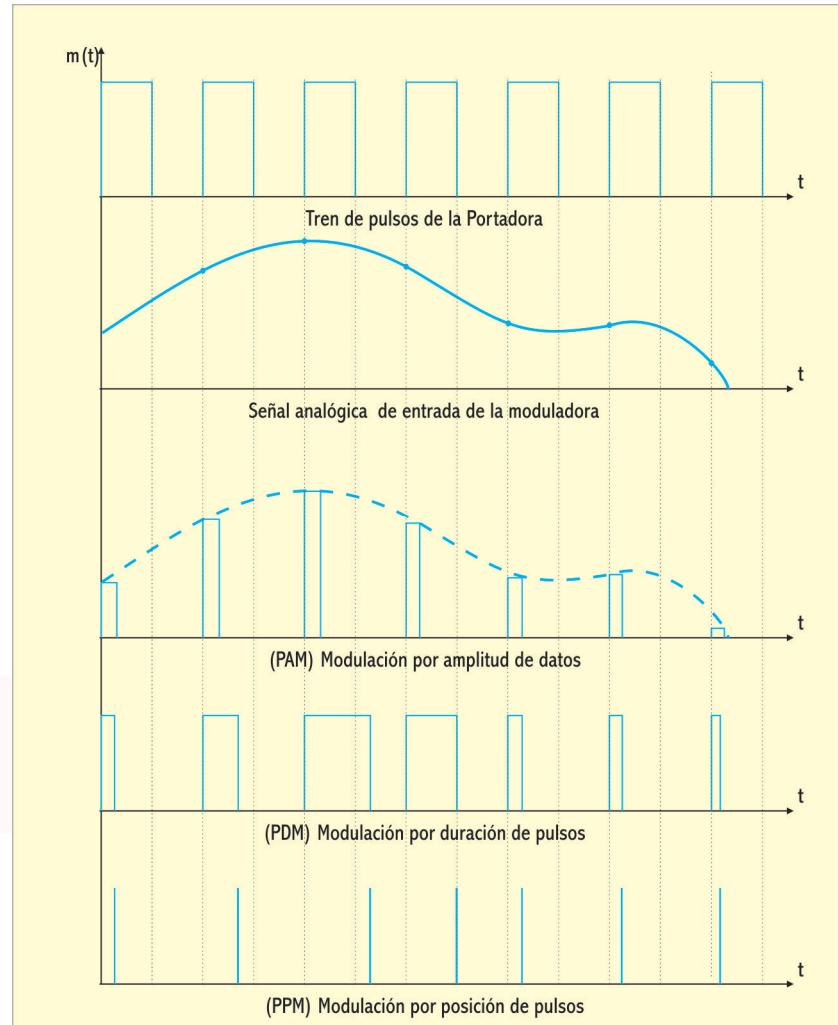
Las desventajas:

- Las señales de voz, al ser analógicas, deben ser convertidas en señales digitales y luego nuevamente ser reconvertidas en analógicas.
- Las transmisiones digitales requieren un mayor ancho de banda para transmitir señales analógicas.
- Las señales digitales requieren un proceso muy preciso de sincronización de los relojes del transmisor y receptor.



7.8.4 Modulación de pulsos analógica

7.8.4.1 Concepto general





7.8.4.2 Modulación de pulsos por amplitud

En la modulación de pulsos en amplitud - PAM, la señal de salida aumenta o disminuye su amplitud siguiendo la forma de la señal analógica moduladora. En este caso, la duración de los pulsos o su ubicación no es alterada por dicha señal.

La modulación de pulsos por amplitud - PAM y la modulación de amplitud - AM son similares porque el proceso de modulación es esencialmente el mismo en ambos casos: la señal de entrada y la portadora se combinan en un dispositivo no lineal o lineal variable en el tiempo.

En un caso, la portadora es una onda sinusoidal única; en la modulación de pulsos por amplitud PAM es un tren de pulsos rectangulares (cuya representación en serie de Fourier sería el de onda sinusoidal, denominada fundamental, y todas sus armónicas).

La modulación de pulsos por amplitud se usa como un paso intermedio en los sistemas de Modulación por Pulso Codificados – PCM, Multiplexación por División de Tiempo – TDM, Telemetría de Datos y en Sistemas de Instrumentación.



Modulación y digitalización de señales

7.8.4.3 Modulación de pulsos por variación del ancho del pulso

En la modulación de pulsos por variación del ancho del pulso - PDM, la señal de salida aumenta o disminuye la duración de su periodo siguiendo la forma de la señal analógica moduladora.

En este caso, la amplitud de los pulsos o su ubicación no es alterada por dicha señal y el parámetro que se esta modulando es el tiempo. De la misma manera ocurre en el caso siguiente de la modulación PPM. Ambas tienen este aspecto en común.

Respecto a la modulación PAM, presenta la ventaja de que la amplitud de los pulsos es constante, pero el inconveniente de que el ancho de banda requerido es mucho mayor que el que utiliza aquella.

7.8.4.4 Modulación de pulsos por modificación de la posición del pulso

En el caso de la modulación por pulsos por modificación de la posición del pulso - PPM, la señal de salida se retarda o avanza en correspondencia con la variación de la señal analógica moduladora. En este caso, el ancho y la amplitud de los pulsos permanecen inalterados.

Presenta una ventaja adicional a la modulación PDM pues la información reside en la posición del tiempo de los bordes de los pulsos, no en los mismos pulsos en si.

Tanto la modulación PDM como la PPM se utilizan en equipamientos de comunicaciones para propósitos especiales, y en particular para su uso en equipamiento de comunicaciones de uso militar.



7.9 Digitalización

7.9.1 Introducción a las redes digitales

Las redes de telecomunicaciones históricamente funcionaron usando señales analógicas para transmitir la información, en particular la voz, fenómeno que tiene precisamente esas características y que dio origen a la construcción de la RTC. Estas señales se enviaban variando en forma continua, en función del tiempo, alguna magnitud física como por ejemplo la tensión que se mide en Volt.

La irrupción de la electrónica digital y los computadores en los sistemas de comunicaciones ha llevado a la migración de estos primitivos sistemas hacia los de tecnología digital. La tendencia a digitalizar las redes analógicas, por múltiples razones, se irá acentuando con el correr del tiempo hasta que las mismas se conviertan totalmente en redes digitales.

Es por ello que el problema más importante desde el punto de vista tecnológico que se presenta para encarar esta tarea es el de convertir las señales analógicas en digitales.

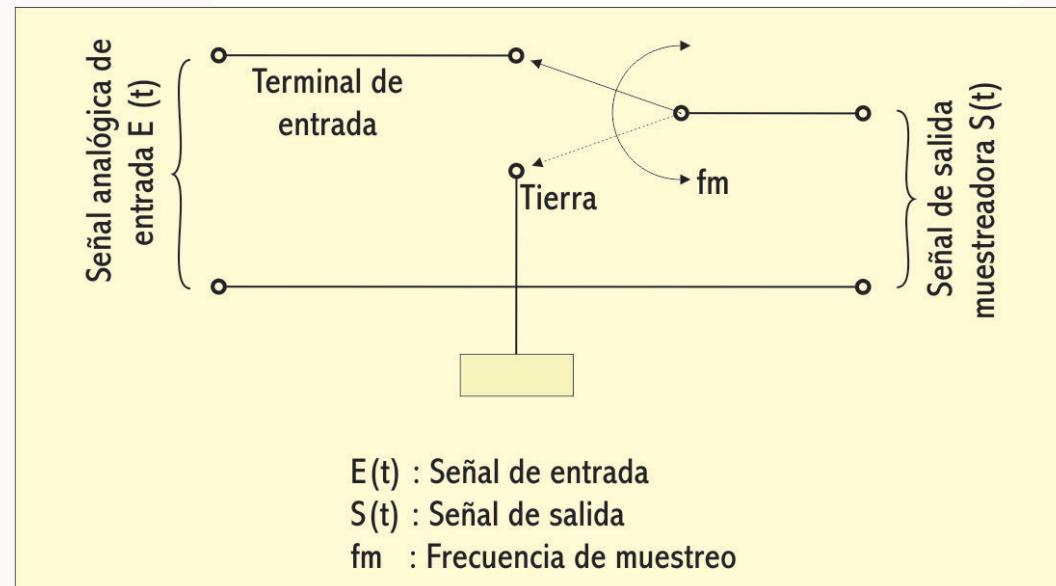
Inicialmente, revestía especial importancia la digitalización de la voz que iba a ser transmitida por la Red Telefónica, pero actualmente también es importante considerar las señales de video, la música de alta fidelidad, imágenes y otros servicios que tienen en su fuente características analógicas. En todos los casos se busca conservar, con distintos grados de calidad, inalterables las características de estas al ser digitalizadas.



Modulación y digitalización de señales

7.9.2 Antecedentes del muestreo: el Teléfono de Reis

Uno de los primeros sistemas muestreadores fue el denominado Teléfono de Reis, desarrollado en el año 1861, donde 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 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:

$$f_{m_{min}} = 2 f_{max}$$

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

A la frecuencia de muestreo mínima, se la conoce como **Frecuencia de Nyquist**. Las muestras pueden tomarse de dos maneras: con muestreo uniforme o no uniforme. En el primer caso los periodos de tiempo T serán regulares de tiempo. Si por alguna razón se prefiriere el muestreo no uniforme (periodos T diferentes), la exactitud de las muestras debe ser muy elevada, así como la información de sincronismo, para obtener el mismo resultado.



Modulación y digitalización de señales

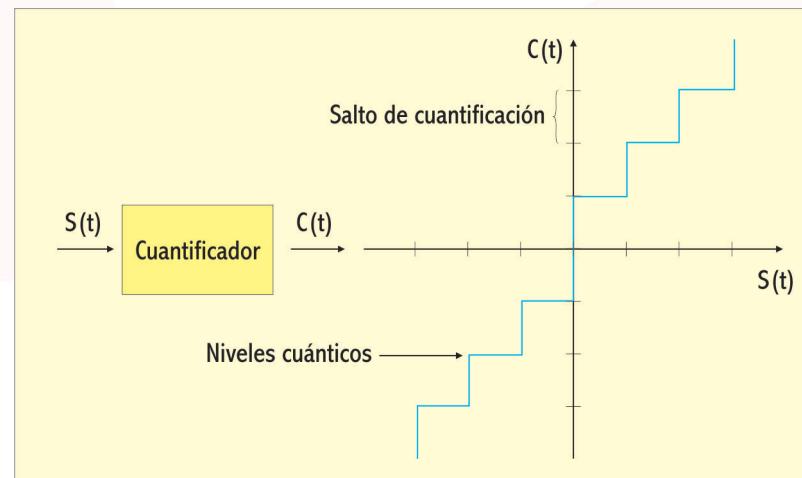
7.9.4 Cuantificación

7.9.4.1 Conceptos generales y definición

Llamamos cuantificación al proceso que consiste en transformar los niveles de amplitud continuos de la señal de entrada previamente muestreada en un conjunto de niveles discretos previamente establecidos.

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

Cada valor del conjunto elegido recibe el nombre de nivel cuántico. Ese conjunto de niveles cuánticos, generalmente, se elige entre los números que resultan de las distintas potencias del número 2 (64, 128 o 256).





7.9.4.2 Error de cuantificación

A diferencia del muestreo, el proceso de cuantificación implica una perdida irremediable de información, dado que resultara imposible reconstruir la señal analógica original a partir de la señal cuantificada.

Este hecho, en la práctica, no tiene significación por cuanto el oído humano, como cualquiera de los demás sentidos, solo puede percibir diferencias finitas de intensidad.

La diferencia existente entre la señal de entrada $S(t)$ y su versión cuantificada $C(t)$ se denomina error de cuantificación.

El error de cuantificación también se suele denominar ruido de cuantificación o, con mucha más precisión, distorsión por cuantificación, siendo en todos los casos el mismo concepto. En realidad, la forma mas correcta de denominar esta diferencia seria esta última expresión.

Lo que provocara realmente el proceso de cuantificación es una leve deformación de la señal inteligente, y eso es claramente una distorsión. Por razones didácticas, preferimos usar el termino ya definido inicialmente.



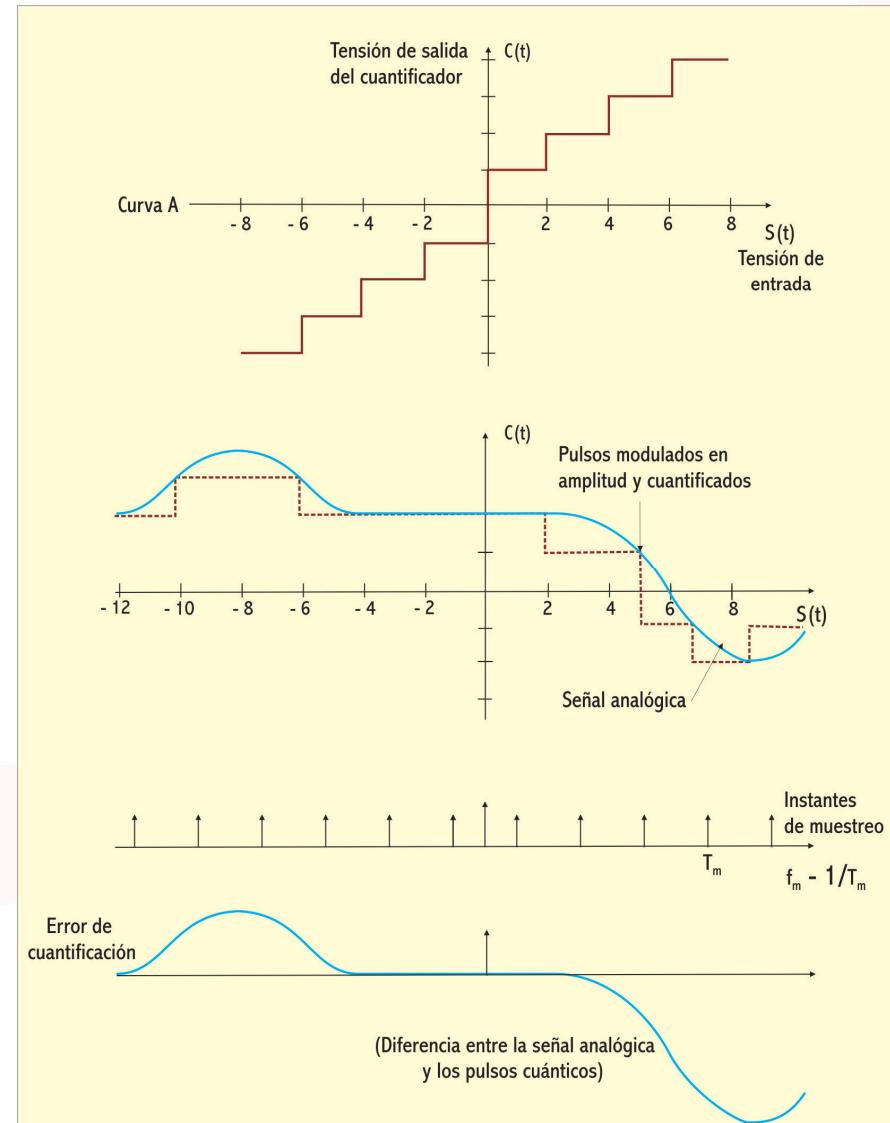
7.9.4.3 Distintos tipos de cuantificación

Se denomina cuantificación uniforme a aquella en que los distintos niveles cuánticos tienen la misma medida. Este tipo de método de cuantificación se suele denominar lineal y presenta la característica relevante de que el error de cuantificación es constante e independiente del valor de la señal de entrada.

Este tipo de cuantificación es especialmente apto para sistemas que requieren errores de cuantificación sumamente bajos y que por lo tanto usan un elevado número de niveles cuánticos.



7.9.4.3 Distintos tipos de cuantificación





Modulación y digitalización de señales

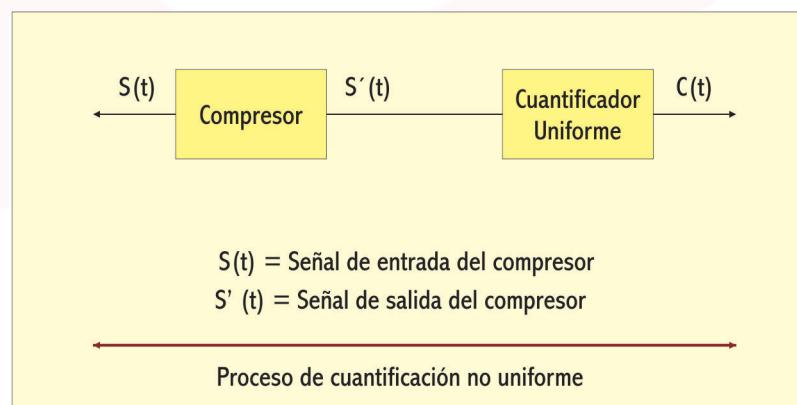
7.9.4.3 Distintos tipos de cuantificación

La **cuantificación uniforme** no es, por el contrario, especialmente apta en los casos en que la señal de entrada tiene un bajo nivel. Los inconvenientes se derivan del hecho de que al mantener el error de cuantificación constante, en estos casos, el error posee una mayor significación, comparándolo porcentualmente con el valor de la señal de entrada.

En el caso de las señales usadas en telefonía, los usuarios presentan distintos y variados niveles de intensidades de la voz, presentando diferencias de hasta 30 dB. Por lo tanto, se buscan sistemas que sean mas precisos cuanto mas bajas son las señales para disminuir este efecto.

En estos casos, se usan sistemas denominados de **cuantificación no uniforme**. Se denomina cuantificación no uniforme a aquella en la que los distintos niveles cuánticos se comprimen en proximidades al valor cero y se expanden hacia los extremos.

Un cuantificador no uniforme es equivalente a hacer pasar una señal digital en banda base, primero por un compresor y, luego de comprimida, por un cuantificador uniforme.



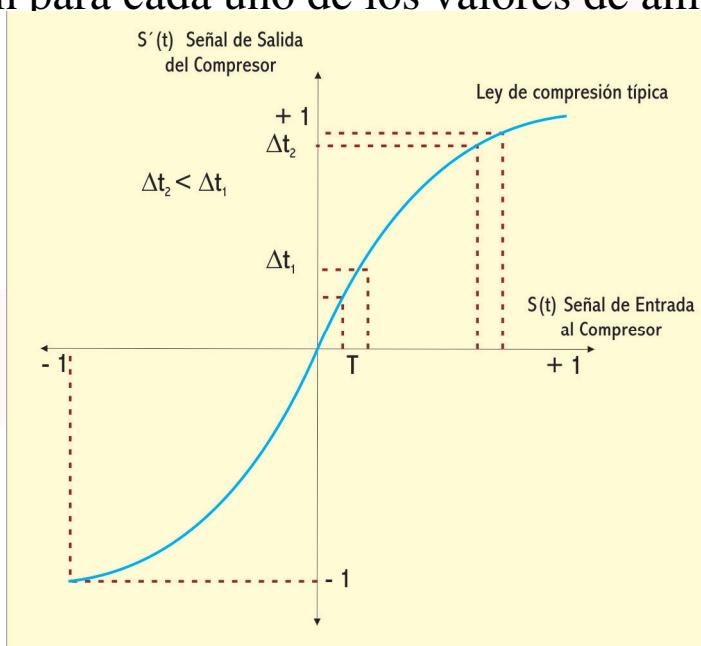


Modulación y digitalización de señales

7.9.4.4 Compansión

Se entenderá por un proceso de compansión al proceso que se realiza en los sistemas que emplean cuantificación no uniforme y consisten en comprimir la señal que se va a transmitir en la fuente mediante alguna ley, generalmente del tipo logarítmica, y a descomprimirla en destino a los efectos que vuelva a tomar su forma original.

En estos casos el esquema de compansión se realiza mediante leyes adecuadas. Estas son denominadas leyes de cuantificación que comprenden una función que define los distintos valores de los intervalos de cuantificación para cada uno de los valores de amplitud de la señal que va a ser cuantificada.





7.9.4.5 Leyes de Cuantificación

Actualmente se usan dos tipos de leyes de características logarítmicas denominadas Ley μ y Ley A debido a las letras que se usaron para calcular las constantes de compresión. Estos algoritmos están definidos en el estándar UIT – T - G.711.

En la práctica, estas leyes no se aplican estrictamente tal como han sido definidas; en su lugar, se prefiere usar un procedimiento que disminuya el costo de su implementación sin perder las ventajas ya señaladas de la compresión.

Estos procedimientos se denominan por trazos y consisten en dividir las curvas que corresponden a cada una de las leyes que se consideren en un número determinado de segmentos de recta. Para el caso de la Ley A se acostumbra a dividir en 13 segmentos y, para la Ley μ , en 15.

En realidad, el objetivo de todo sistema de comunicaciones es tener una relación señal/ruido de cuantificación constante, cualquiera sea el nivel de la señal aplicada a dicho sistema. Una posible solución para tener esta relación constante es utilizar una cuantificación no uniforme.

De esta forma, cuando la señal es pequeña se toman más niveles cuánticos, reduciéndose dicho ruido. Contrariamente, cuando el nivel de la señal es alto, se toman menos niveles, el ruido aumenta y la relación señal/ruido tiende a ser la misma.

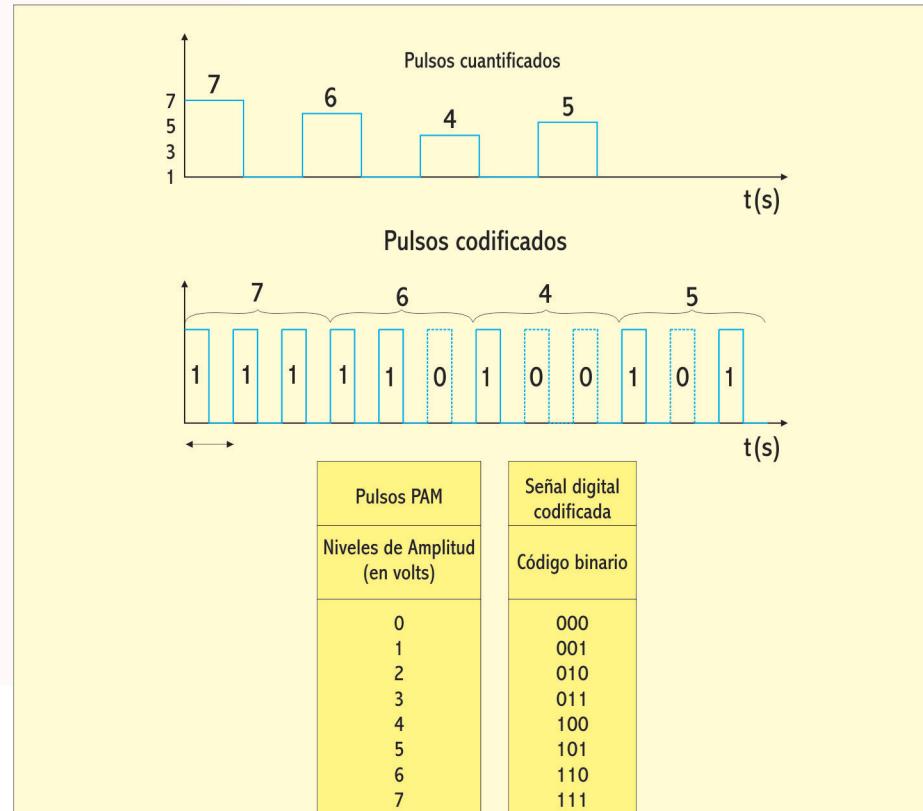
En el caso de la cuantificación uniforme, todos los niveles cuánticos tienen la misma amplitud. De ese modo, la relación de transferencia entre la señal de entrada y los niveles cuánticos es lineal.



Modulación y digitalización de señales

7.9.5 Codificación

El proceso de codificación lo definiremos como aquel que consiste en convertir los pulsos cuantificados en un grupo equivalente de pulsos binarios de amplitud constante.





7.10 Modulación digital de pulsos

7.10.1 Diferentes tipos

Los sistemas de modulación de pulsos digitales tienen como característica distintiva, respecto de los otros sistemas de modulación, que producen señales digitales a la salida del modulador.

Los diferentes sistemas pueden ser clasificados en los siguientes tipos:

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



Modulación y digitalización de señales

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 es necesario el uso de equipos modem de datos: por cuanto no es necesaria la transformación de señales analógicas a digitales, pero si debe destacarse que se deben usar en su reemplazo otros equipos que reciben el nombre genérico de Equipos Terminales del Circuito de Datos.
- Permiten la integración de servicios.
- Precisamente, la posibilidad de transformar las señales de voz, textos, datos e imágenes en señales digitales permite el uso indistinto de los medios de transmisión, con independencia del tipo de servicio que se transmita.
- Permiten optimizar:
 - — Los sistemas de codificación.
 - — Los sistemas de seguridad.
 - — Los sistemas de control de errores.
 - — Permiten abaratar costos de fabricación.



7.10.3 Modulación por pulsos codificados

7.10.3.1 Definición

Se denomina sistema de modulación por pulsos codificados al método de modulación que consiste en la transmisión de información analógica en forma de señales digitales mediante un proceso continuo de muestreo, cuantificación y codificación.

7.10.3.2 Descripción

La técnica de PCM es la opción más utilizada para la transmisión de señales digitales en las redes de telecomunicaciones. La ventaja más clara de observar es que la amplitud y el periodo de cada pulso son constantes, lo que permite un tratamiento sencillo para su transmisión y la conmutación, si fuera el caso.

En esta técnica cada pulso representa un bit de información, que caracterizará un sistema binario de ceros y unos. Los sistemas de transmisión que representan estas técnicas están constituidos por un transmisor, una línea de transmisión y un receptor. En la **fuente** deberá haber un transmisor, que debe estar compuesto por cuatro etapas, que son en orden sucesivo:

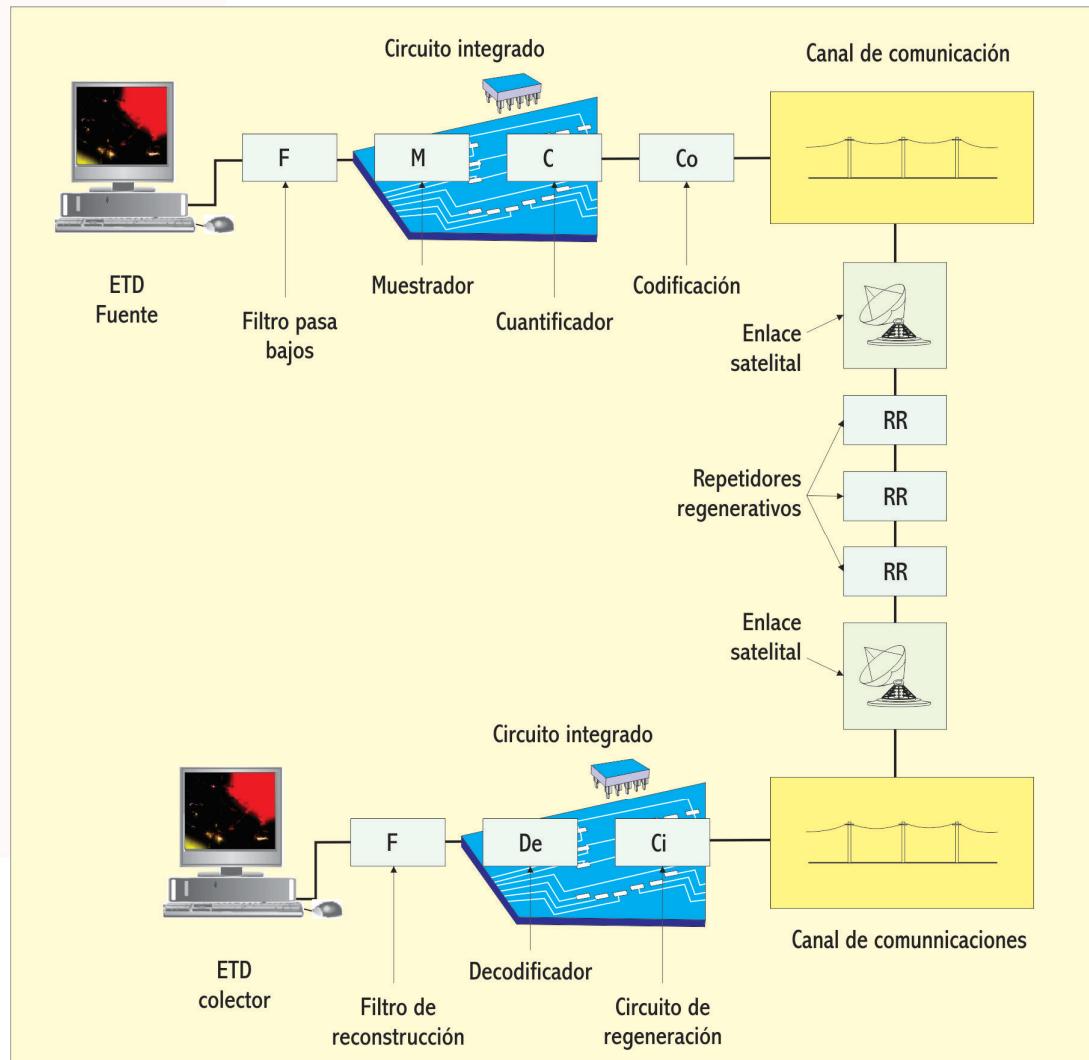
- Sistema de filtros pasa bajos.
- Muestreador.
- Cuantificador.
- Codificador.

En el **colector** deberá haber un receptor, que debe estar compuesto por tres etapas, que son orden sucesivo: etapa de regeneración, decodificador y filtro de reconstrucción de la señal original.



Modulación y digitalización de señales

7.10.3.2 Descripción





Modulación y digitalización de señales

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: cuando se habla de ruido de transmisión, si no se aclara otra cosa, nos referiremos siempre al denominado ruido blanco o gaussiano. Este tipo de ruido es el que se introduce en cualquier parte entre la salida del transmisor y la entrada al receptor. El mismo es función del tipo de medio de comunicaciones que se use. Por ejemplo, en los medios construidos con fibras ópticas el ruido siempre es mucho menor que en los medios alámbricos (cobre), dado que la fibra óptica no es afectada por las interferencias electromagnéticas.

La cantidad de repetidores regenerativos que será necesario colocar en cada caso también será función del ruido, de la atenuación y consecuentemente del medio que se use.

Precisamente, por tener menor atenuación, es la fibra óptica la que necesita, para una distancia dada, la menor cantidad de repetidores.



Modulación y digitalización de señales

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: se puede observar que los valores de los costos de implementación son función de las distancias del enlace. De ellas resultan los medios mas convenientes para cada caso. Los sistemas PCM son especialmente aptos para distancias cortas e intermedias, entendiendo por tales a las de orden urbano, es decir, en el marco de ciudades medianas a grandes.
- Economía en combinación con la conmutación digital: la introducción de la conmutación digital redujo el costo de las terminales, dado que esta es realizada directamente sobre el tren de bits digitales y ningún costo adicional de conversión analógico/digital es necesario.
- Integración de los servicios: como es un medio de transmisión digital, un enlace PCM puede transmitir no solo señales vocales sino también datos, télex, teletex, videotex, y cualquier otro moderno servicio de telecomunicaciones. Un canal PCM básico, al tener una capacidad de 64.000 bps (o 56.000 bps), constituye un poderoso canal para transmitir cualquier tipo de datos.
- Nuevos medios de transmisión: los medios de transmisión de banda ancha, como las microondas o la fibra óptica, son 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. No obstante, se puede observar que cuando muestras sucesivas están fuertemente correlacionadas, como es por ejemplo el caso de la transmisión de imágenes, muchas veces el fondo de las mismas permanece constante durante bastante tiempo.

En ese caso no resulta necesario el envío de la totalidad de las muestras y, por lo tanto, el uso de un ancho de banda tan elevado. Este tipo de fenómenos genera muestras iguales que, al ser codificadas, producen bytes similares.

De esta manera, las señales PCM transmitidas son repetidamente siempre los mismos bytes o, en el caso de pequeñas variaciones de la imagen, conjuntos de bytes muy parecidos.

La transmisión de bytes iguales no aporta información útil y, en consecuencia, una forma de aumentar la eficiencia del sistema es eliminarlos y solo transmitir las modificaciones o cambios que realmente se producen, en este caso, en la imagen.

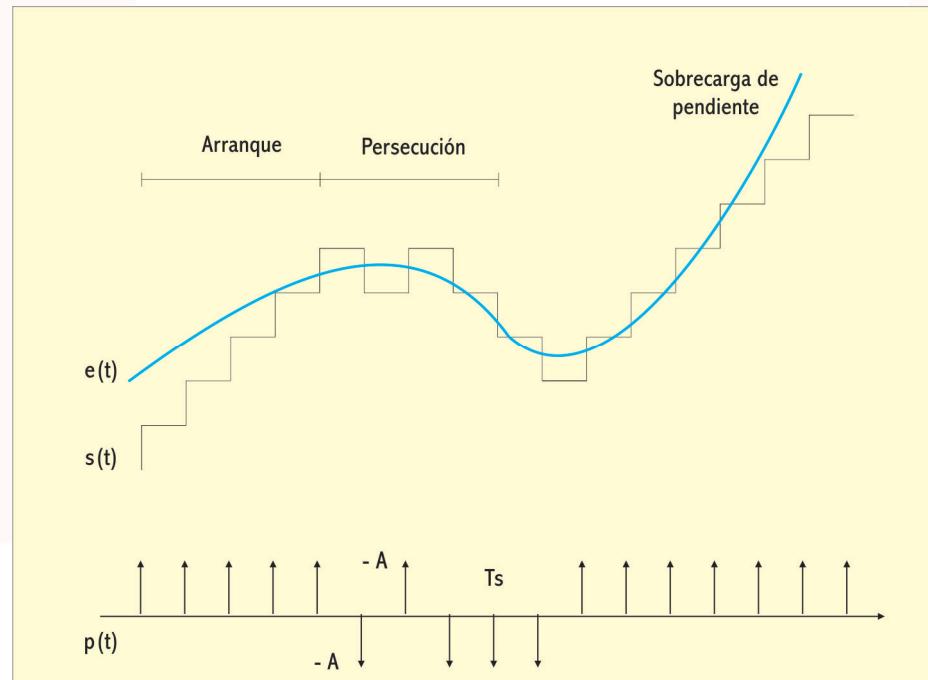
Una manera de aprovechar este fenómeno es la modulación delta y la denominada modulación PCM diferencial de Q niveles.



7.10.4.2 Modulación delta

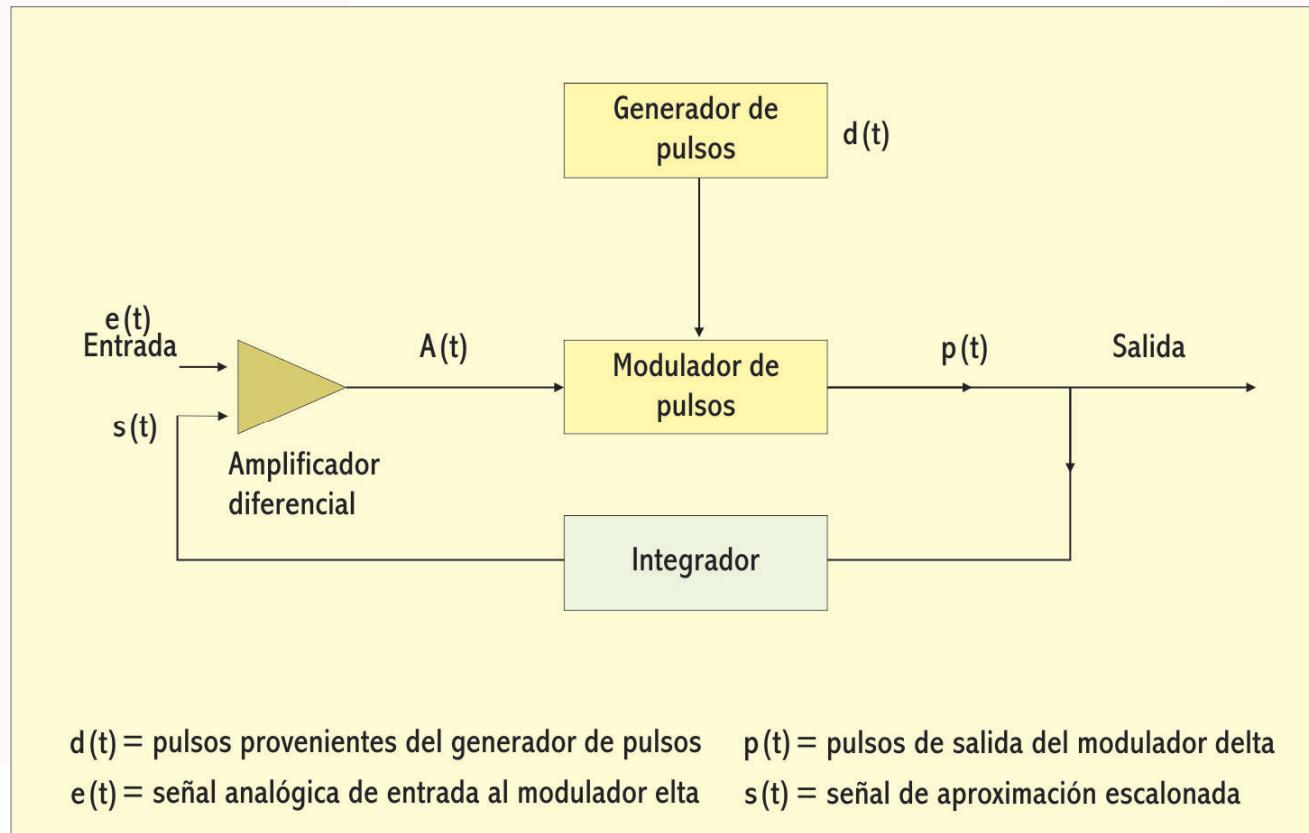
La denominada modulación delta (DM), consiste en la generación de una onda escalonada que siga las variaciones de la señal de entrada.

Para la construcción de la señal escalonada se emplean impulsos que pueden ser de igual polaridad, en cuyo caso crece la señal, o de polaridad contraria, con lo cual esta disminuye.



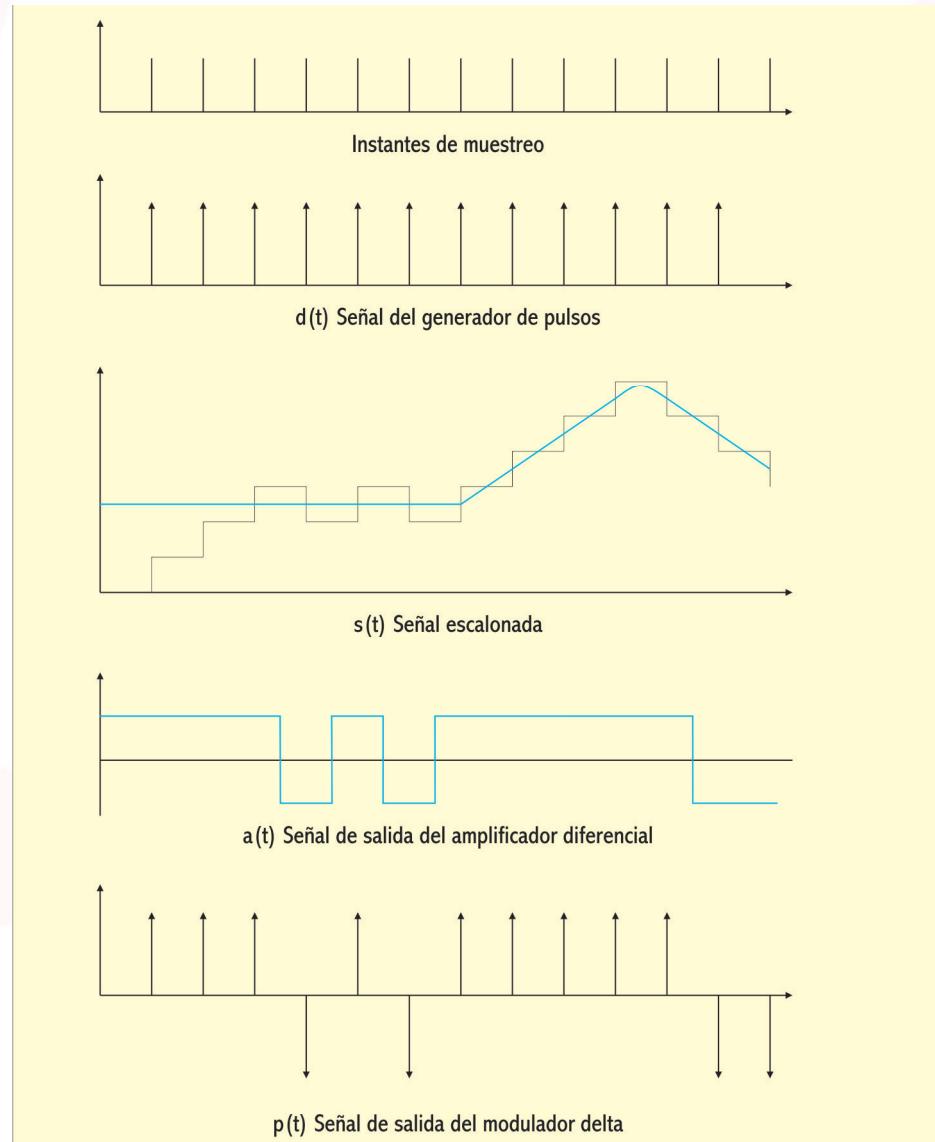


7.10.4.2 Modulación delta





7.10.4.2 Modulación delta



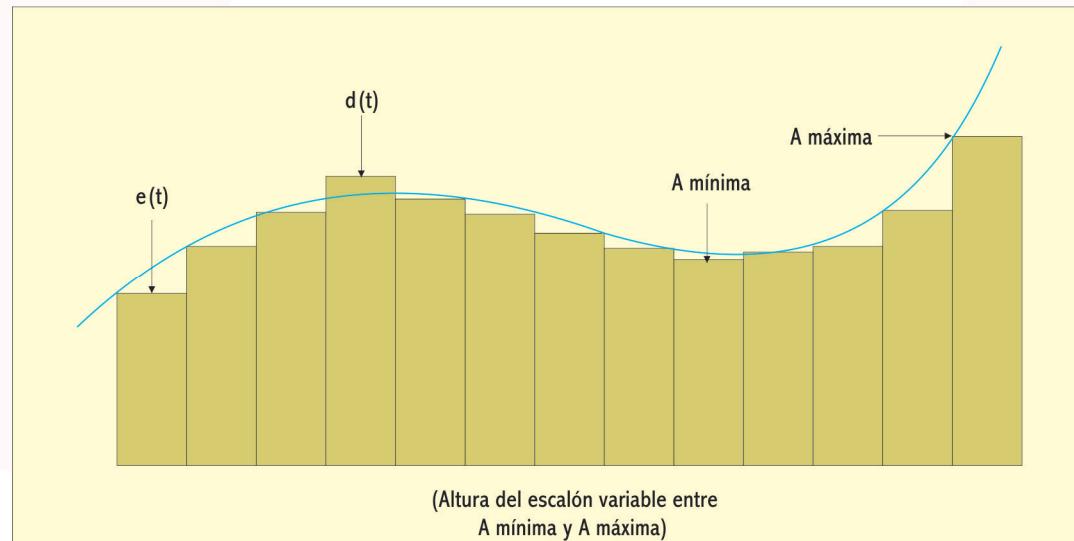


Modulación y digitalización de señales

7.10.4.3 Modulación delta adaptativa

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

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





7.10.4.4 Modulación PCM diferencial

Este sistema combina el método de modulación delta con la codificación propia de los sistemas PCM y consiste básicamente en reemplazar al modulador de pulsos por un dispositivo, constituido por un cuantificador - muestrador.

La función de este dispositivo es generar pulsos iguales en polaridad que los $p(t)$ de salida de un modulador delta, pero cuya amplitud no es fija, sino que es proporcional a la diferencia entre la señal de entrada $e(t)$ y la señal escalonada $s(t)$.

Dicha señal, correspondiente a cada muestra de error cuantificada, es transmitida como una palabra código de n bits, luego del proceso de codificación correspondiente.

Cada palabra de n bits permite representar a uno de los M niveles posibles de cuantificación que puede tomar cada muestra de error ($M = 2^n$). Este sistema combina la simplicidad de la modulación delta con la ventaja de la codificación multinivel del PCM.