



CENTRO DE ESTUDIOS FINANCIEROS

VIRIATO, 52	28010 MADRID	914 44 49 20
PONZANO, 15	28010 MADRID	914 44 49 20
G. DE GRÀCIA, 171	08012 BARCELONA	934 15 09 88
ALBORAYA, 23	46010 VALENCIA	963 61 41 99

www.cef.es

info@cef.es

Índice Tema 6

1. Elementos básicos de telecomunicación. Características de canal.
2. Codificación. Modulación. Multiplexación.
3. Interfaces y protocolos. Jerarquías digitales.





CENTRO DE ESTUDIOS FINANCIEROS

VIRIATO, 52	28010 MADRID	914 44 49 20
PONZANO, 15	28010 MADRID	914 44 49 20
G. DE GRÀCIA, 171	08012 BARCELONA	934 15 09 88
ALBORAYA, 23	46010 VALENCIA	963 61 41 99

www.cef.es

info@cef.es

TEMA 6

Elementos básicos de telecomunicación. Características de canal. Codificación. Modulación. Multiplexación. Interfaces y protocolos. Jerarquías digitales.

1. ELEMENTOS BÁSICOS DE TELECOMUNICACIÓN. CARACTERÍSTICAS DE CANAL.

El término «comunicación digital» cubre un área amplia de las técnicas de las telecomunicaciones incluyendo transmisión y radio digital. La transmisión digital es la transmisión de pulsos digitales entre dos o más puntos en un sistema de comunicaciones. Radio digital es la transmisión de portadoras analógicas moduladas digitalmente; puede ser entre dos o más puntos en un sistema de comunicaciones. Los sistemas de transmisión digital requieren de una facilidad física entre el Tx y el Rx tal como cables de cobre o de fibra óptica. En un sistema de radio digital el medio de transmisión es el espacio o la atmósfera. En un sistema de transmisión digital la fuente original de transmisión puede ser digital o analógica. Si se tratara de una señal analógica, ésta deberá ser convertida a digital antes de la transmisión y será recuperada en su forma original después de haber sido recibida. En un sistema de radio digital la señal moduladora y demoduladora son pulsos digitales, los pulsos digitales podrán ser originados por un sistema de transmisión digital, por ejemplo un mainframe; entonces la propiedad que distingue a un radio digital de un radio am, fm o pm es que en éste las señales moduladora y demoduladora son pulsos digitales en vez de formas de onda analógicas.

TRANSMISIÓN DIGITAL:

- a) Transmisión de pulsos digitales entre dos o más puntos.
- b) Requiere un medio físico: cobre o fibra.
- c) La fuente puede ser analógica siempre y cuando se convierta a digital.

RADIO DIGITAL:

- a) Transmisión de portadoras analógicas moduladas digitalmente entre dos o más puntos.



- b) El espacio o la atmósfera es el medio de conducción entre el Tx y el Rx.
- c) La señal moduladora y demoduladora son pulsos digitales.

En telecomunicaciones, el término comunicaciones tiene los siguientes significados:

1. Transferencia de información, entre usuarios o procesos, de acuerdo a convenciones acordadas entre una o varias personas o máquinas donde cada cual puede ser «emisor» y «receptor» según corresponda, proceso que generalmente puede «retroalimentarse» por la interrelación entre ellos.
2. La rama de la tecnología a la que concierne la representación, transferencia, interpretación y proceso de datos entre personas, lugares y máquinas.

NOTA: el significado asignado a los datos debe ser preservado durante estas operaciones. FUENTE: FEDERAL STANDARD 1037C y MIL-STD-188.

En telecomunicación, el término canal tiene los siguientes significados:

1. Una conexión entre los puntos de inicio y terminación de un circuito.
2. Un camino único facilitado mediante un medio de transmisión que puede ser:
 - a) Con separación física, tal como un par de un cable multipares.
 - b) Con separación eléctrica, tal como la multiplexación por división de frecuencia (MDF) o por división de tiempo (MDT).
3. Un camino para el transporte de señales eléctricas o electromagnéticas, usualmente distinguido de otros caminos paralelos mediante alguno de los métodos señalados en el punto anterior.
4. En conjunción con una determinada letra, número o código hace referencia a una radiofrecuencia específica.
5. Porción de un medio de almacenamiento, tal como una pista o banda, que es accesible a una cabeza o estación de lectura o escritura.
6. En un sistema de comunicaciones, es la parte que conecta una fuente (generador) a un sumidero (receptor) de datos.

FUENTE: FEDERAL STANDARD 1037C Y MIL-STD-188.

El límite de Shannon para la capacidad de información de un canal es:

$$C = 3.32 B \log (1 + \text{SNR})$$

C = capacidad del canal.

B = ancho de banda.

SNR = relación señal/ruido.

Tomando el canal telefónico como ejemplo:

B = el ancho de banda es de 3.1 KHz (de 0.3 KHz a 3.4 KHz).

SNR = para el teléfono es de 1000, BER (Bit Error Rate) = 1×10^{-3}

C = $3.32 (3.1 \text{ K}) \log (1 + 1000) = 30.88 \text{ kbps}$

Así usando el teléfono convencional la máxima velocidad de transmisión que se puede obtener es de 30.88 kbps. Esta velocidad se puede incrementar usando métodos de compresión y de modulación.

• TEOREMA DE NYQUIST.

Supóngase una señal $f(t)$ de banda limitada a B Hz, esto significa que se encuentra libre de componentes de frecuencias mayores de B Hz. Luego se tiene una señal cuyas frecuencias son $f \leq B \text{ Hz}$.

Nyquist probó que una señal de banda limitada puede ser reconstruida si la velocidad de muestreo es $f_c \geq 2B \text{ Hz}$. Así la mínima velocidad de muestreo es de 2B veces por segundo, a esta velocidad se la denomina velocidad de muestreo de Nyquist.

Tomando como ejemplo la voz humana, ésta puede ser limitada a $B = 4 \text{ KHz}$ y aún ser reconocible. La velocidad de muestreo deberá ser, según Nyquist, $f_c = 8 \text{ KHz}$. Si se digitaliza con una resolución de 8 bits se tendrá $(8 \text{ KHz})(8 \text{ bits}) = 64 \text{ kbps}$, esta velocidad/resolución de muestreo se conoce como Toll Quality.

2. CODIFICACIÓN. MODULACIÓN. MULTIPLEXACIÓN.

• CODIFICACIÓN.

Es el modo en que se transmiten los bits de información a través de la línea física de comunicación. Las técnicas de codificación digital deben considerar algunos de los siguientes aspectos:

1. Utilización de ancho de banda pequeño para permitir que muchas señales puedan transmitirse por un canal de comunicación determinado.
2. Previsión de transmitir las señales a largas distancias sin que se debiliten.
3. Permitir tantos cambios de voltaje como sean necesarios pero manteniendo la sincronización entre el receptor y el emisor con la mínima utilización de señales extras de control.
4. Que estas variaciones de voltaje no resulten afectadas por las conexiones físicas de los cables.

El método más sencillo es el NRZ (Non Return to Zero) en el que cada bit se representa por un estado determinado de la señal.

- Un bit «0» indica un voltaje de 0 voltios.
- Un bit «1» indica un voltaje de +V voltios.

Este sistema tiene problemas para la sincronización en recepción, por lo que en muchos casos se emplean otros sistemas que facilitan la sincronización del receptor como son el NRZI (Non Return to Zero Inverted) y el Código Manchester.

• NRZI (NON RETURN TO ZERO INVERTED).

Cada bit se representa por un estado determinado de la señal.

- Un bit «0» indica un voltaje de 0 voltios.
- Un bit «1» indica un voltaje de +V voltios durante la primera mitad del bit y «0» voltios durante la segunda mitad.

Es una mejora del anterior, pero tampoco es la solución.

• CÓDIGO MANCHESTER.

Cada bit se representa por un estado determinado de la señal.

- Un bit «0» indica un voltaje de +V voltios en la primera mitad del bit y –V voltios en la segunda.
- Un bit «1» indica un voltaje de –V voltios durante la primera mitad del bit y +V voltios durante la segunda mitad.

• MODULACIÓN.

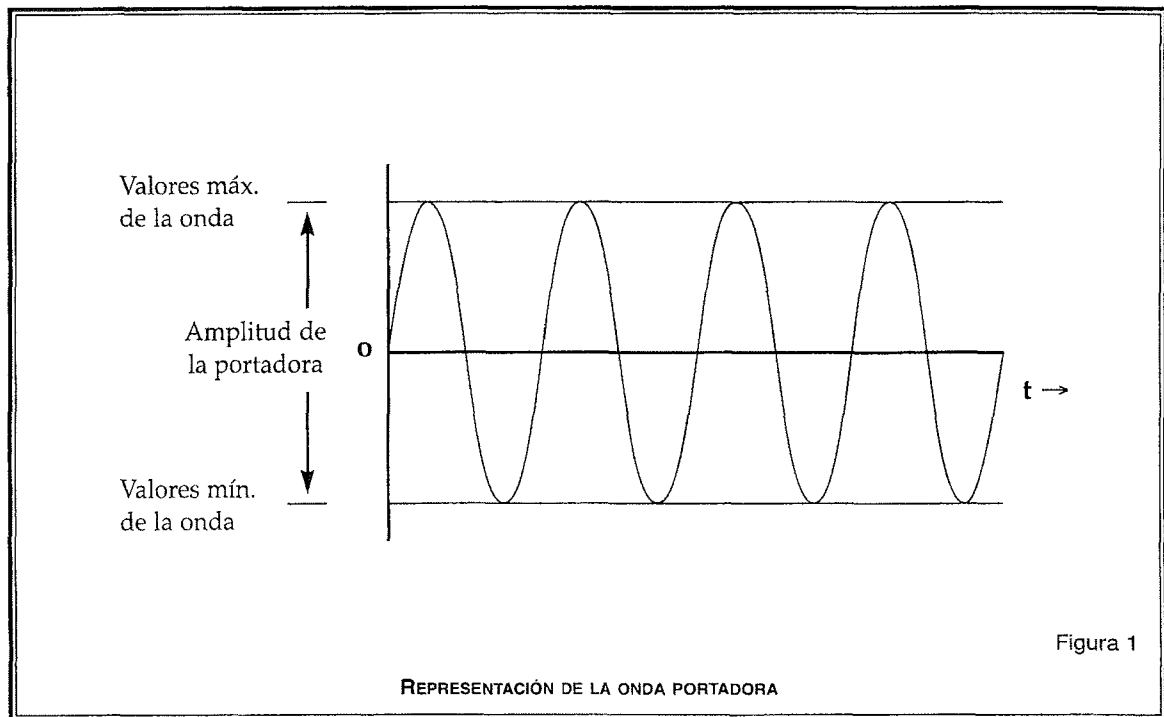
Es el método de transmisión o proceso necesario para que la señal digital pueda pasar a través del medio físico de transmisión. Existen dos tipos fundamentales de modulación que son:

Banda base. La señal digital sin sufrir ningún proceso de modulación se aplica directamente al medio físico de transmisión, que no transmite simultáneamente más que esa señal. Este modo es el más económico ya que utiliza dispositivos electrónicos sencillos para la transmisión y recepción de datos, pero tiene el inconveniente de que la velocidad que soporta es limitada.

Banda ancha. En este caso la señal digital es modulada sobre una portadora que se aplica al medio de transmisión. Con este sistema se pueden transmitir simultáneamente varias portadoras multiplexadas por división de frecuencias, lo que supone que se dispone de varios canales de transmisión sobre los que se pueden transferir datos, voz y vídeo simultáneamente. Este modo es más caro que la banda base, pero puede ser económicamente más rentable si se aprovecha su capacidad de comunica-

ción simultánea de la voz e imágenes además de los datos. Se exige que las estaciones se conecten a través de modems. Los sistemas ópticos trabajan modulando en amplitud el rayo de luz que pasa a través de la fibra óptica. En general utilizan señalización en banda base, en la que la forma de variación de la luz es similar a la tensión en los sistemas eléctricos con cables conductores.

Una portadora puede modularse de diferentes modos dependiendo del parámetro de la misma sobre el que se actúe. Se modula en amplitud una onda que llamaremos portadora, cuando la distancia existente entre el punto de la misma en el que la onda vale cero y los puntos en que toma el valor máximo o mínimo se altera.



Es la amplitud (intensidad) de la información a transmitir la que varía la amplitud de la onda portadora. Y resulta que, al añadir esta información, se obtienen tres frecuencias:

La frecuencia de la portadora f_p , la frecuencia suma de la portadora y la información $f_p + f_i$.

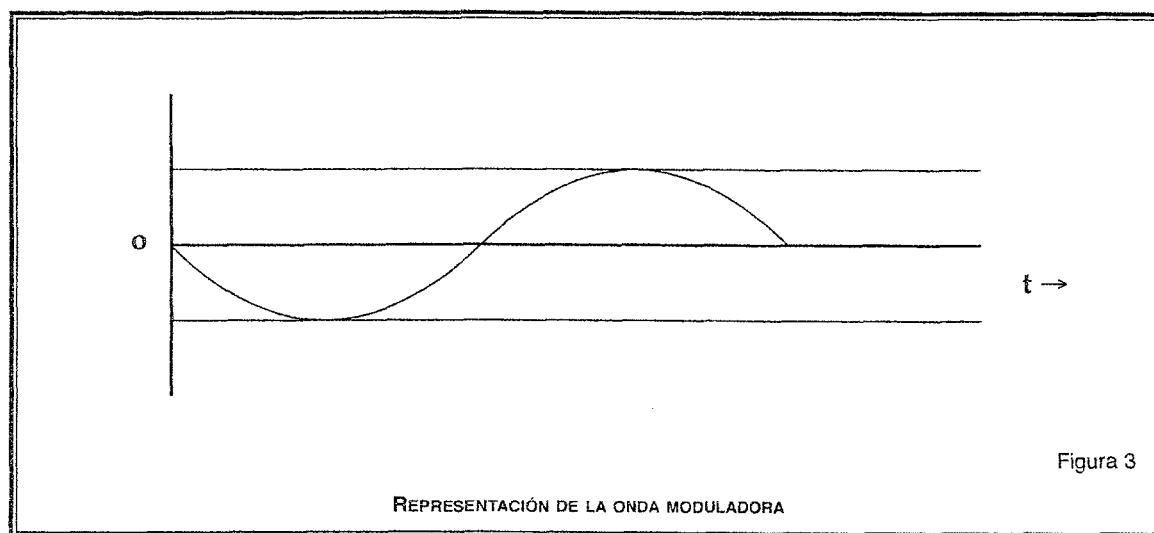
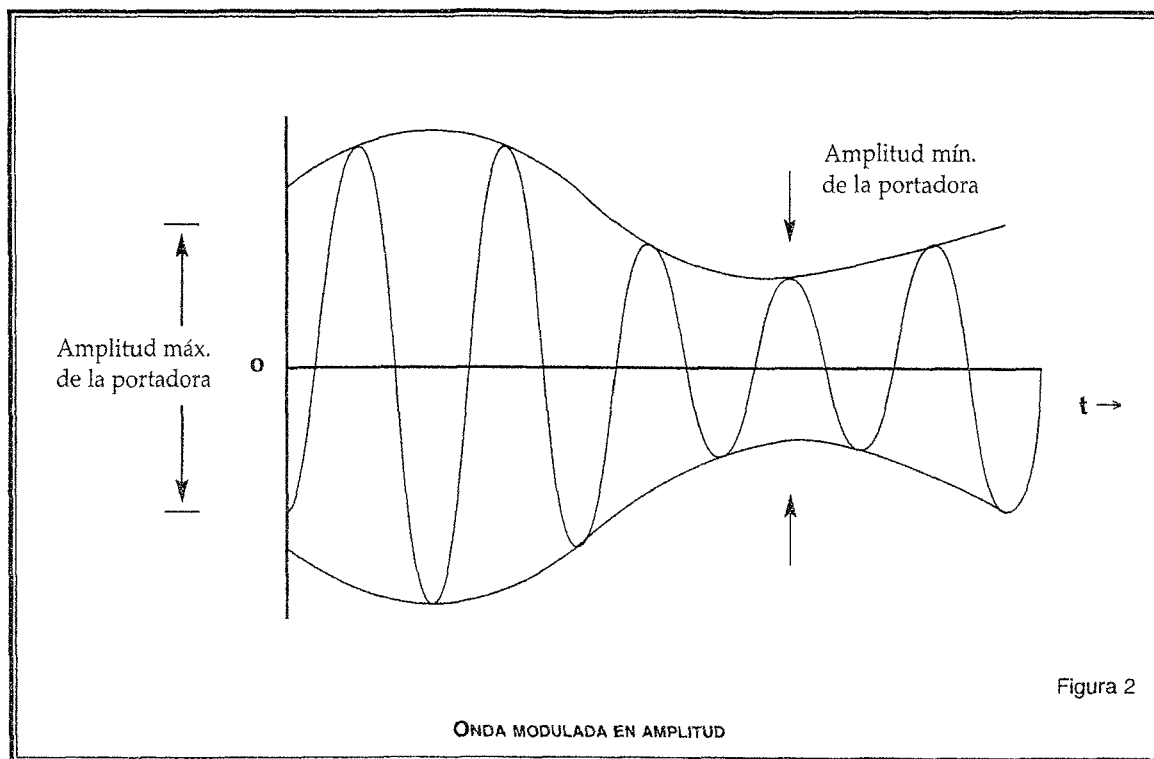
La frecuencia diferencia de la portadora y la información $f_p - f_i$.

En una onda portadora de 3500 KHz y que se module con una onda senoidal cuya frecuencia sea de 3000 Hz (3 KHz) presentará estas tres frecuencias:

$$f_p = 3500 \text{ KHz}$$

$$f_p + f_i = 3500 \text{ KHz} + 3 \text{ KHz} = 3503 \text{ KHz}$$

$$f_p - f_i = 3500 \text{ KHz} - 3 \text{ KHz} = 3497 \text{ KHz}$$



Este análisis nos lleva a pensar que, como normalmente la información no la compone una única onda, sino varias dentro de una banda, sería necesario hacer uso de un gran ancho de banda para transmitir una información cuyas frecuencias estuvieran comprendidas entre los 20 Hz y 20000 Hz (límites de la banda de frecuencias audibles por el oído humano) con buena calidad. Por otro lado, como el ancho de banda permitido para una emisora está limitado, este tipo de modulación se aplica a usos que no requieren gran calidad de sonido o en los que la información sea de frecuencias próximas entre sí.

Otra característica de la modulación de amplitud es que, en su recepción, los desvanecimientos de señal no provocan demasiado ruido, por lo que es usado en algunos casos de comunicaciones móviles, como ocurre en buena parte de las comunicaciones entre un avión y la torre de con-

trol, debido a que la posible lejanía y el movimiento del avión pueden dar lugar a desvanecimientos. Sin embargo, la modulación en amplitud tiene un inconveniente, y es la vulnerabilidad a las interferencias atmosféricas.

• MODULACIÓN (SSB).

Partiendo de la idea de que la modulación de amplitud comprende ocupar la frecuencia propia de la portadora y las adyacentes que aparecen al modularla, analizaremos el siguiente caso:

Teniendo una portadora de 1000 KHz queremos modularla con una información cuyas frecuencias comprenden entre los 5 KHz y los 10 KHz a la que llamaremos banda base. La onda modulada presentará las siguientes frecuencias:

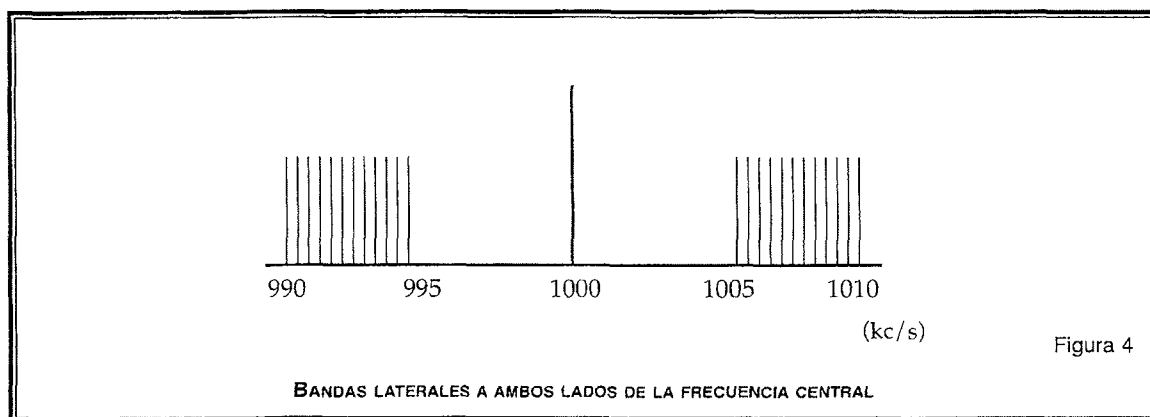
$$f_p = 1000 \text{ KHz}$$

$$f_p + f_i = 1000 \text{ KHz} + 5 \text{ KHz} = 1005 \text{ KHz}, \text{ y } 1000 \text{ KHz} + 10 \text{ KHz} = 1010 \text{ KHz},$$

es decir, todas las frecuencias comprendidas entre los 1005 KHz y 1010 KHz, la que tomará el nombre de banda lateral superior.

$$f_p - f_i = 1000 \text{ KHz} - 5 \text{ KHz} = 995 \text{ KHz}, \text{ y } 1000 \text{ KHz} - 10 \text{ KHz} = 990 \text{ KHz}.$$

Todas las comprendidas entre 990 KHz y 995 KHz, la que tomará el nombre de banda lateral inferior.



Diferenciándose la banda lateral superior (USB), las de frecuencia más elevada, de la banda lateral inferior (LSB).

Como la frecuencia portadora no es información, los transmisores con esta clase de modulación suprimen la portadora (de ahí que también conozcamos este tipo de modulación como de «portadora suprimida» -AM-PS), y transmiten únicamente las bandas laterales, y aún mejor, sólo una de ellas. Esto tiene grandes ventajas sobre la modulación de portadora continua, fundamentalmente en el rendimiento y en el ancho de banda mejorando la relación señal/ruido.

- a) Al suprimirse la portadora en ausencia de información, el ahorro de energía es muy considerable, además la disipación de potencia que el paso final de potencia de RF de un transmisor de esta clase soporta es menor que el de otro tipo de portadora continua (AM o FM), para la misma potencia. Debido a esto último un transceptor que disponga de los dos modos de modulación es capaz de suministrar hasta el doble de potencia en banda lateral que en modulación de amplitud.
- b) Otra ventaja de la SSB es la reducción del ancho de banda que se consigue al eliminar una de las bandas laterales. Cuando se selecciona el modo USB se están filtrando todas las frecuencias de la banda lateral inferior, que podrán ser ocupadas por otra estación.

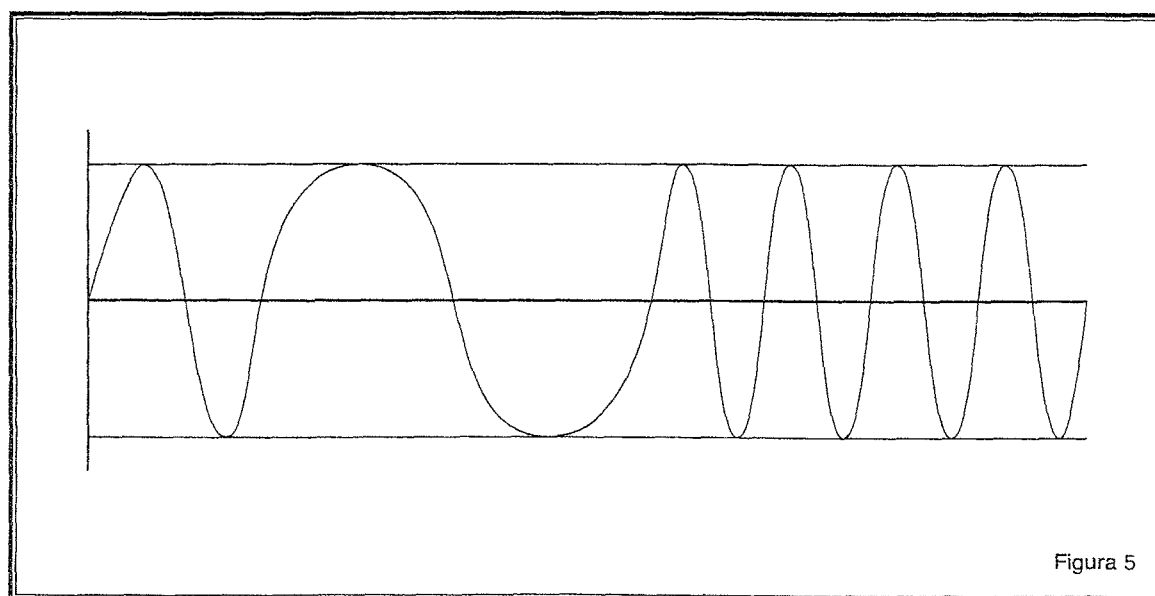
La modulación SSB es usada habitualmente por los servicios marítimos (estaciones costeras telefónica dirigida a barcos...) o los aviones (en viajes transoceánicos) cuando las distancias a salvar son grandes y se necesitan grandes potencias de emisión.

• MODULACIÓN DE FRECUENCIA (FM).

La modulación de amplitud tiene en la práctica dos inconvenientes: por un lado, no siempre se transmite la información con la suficiente calidad, ya que el ancho de banda en las emisiones está limitado; por otra parte, en la recepción es difícil eliminar las interferencias producidas por descargas atmosféricas, motores, etc.

La modulación de frecuencia consiste en variar la frecuencia de la onda portadora de acuerdo con la intensidad de la onda de información. La amplitud de la onda modulada es constante e igual que la de la onda portadora.

La frecuencia de la portadora oscila más o menos rápidamente, según la onda moduladora, esto es, si aplicamos una moduladora de 100 Hz, la onda modulada se desplaza arriba y abajo cien veces en un segundo respecto de su frecuencia central, que es la portadora; además el grado de esta variación dependerá del volumen con que modulemos la portadora, a lo que denominamos «índice de modulación».



Debido a que los ruidos o interferencias que se mencionaron anteriormente alteran la amplitud de la onda, no afecta a la información transmitida en FM, puesto que la información se extrae de la variación de frecuencia y no de la amplitud, que es constante.

Como consecuencia de estas características de modulación podemos observar cómo la calidad de sonido o imagen es mayor cuando modulamos en frecuencia que cuando lo hacemos en amplitud. Además al no alterar la frecuencia de la portadora en la medida que aplicamos la información, podemos transmitir señales sonoras o información de otro tipo (datos o imágenes), que comprenden mayor abanico de frecuencias moduladoras, sin por ello abarcar mayor ancho de banda. El nacimiento de las estaciones que a mediados de los 60 eligieron este sistema para emitir sus programas con mayor calidad de sonido dio origen a la radiodifusión comercial.

Otros usos de la frecuencia modulada son la telefonía móvil, televisión y servicios de comunicación entre los trabajadores de empresas de paquetería, talleres, comercios...

Técnica empleada para modificar una señal en un extremo con la finalidad de posibilitar el transporte de informaciones a través de un canal de comunicación y recuperar la señal en su forma original en el otro extremo.

Al proceso general mediante el cual una señal que contiene información se inserta en una segunda señal se le conoce como modulación. Al proceso de extraer la señal que contiene información se le conoce como demodulación. Existen diferentes métodos de modulación de los cuales se basan principalmente en la modificación de la amplitud, la frecuencia y la fase de la señal.

La modulación se compone entonces de los siguientes elementos: la señal original que posee la información la que llamaremos moduladora, la señal (senosoidal) que será la base para enviar la información la llamaremos señal portadora, mientras que a la señal resultado del proceso de modulación la llamaremos señal modulada.

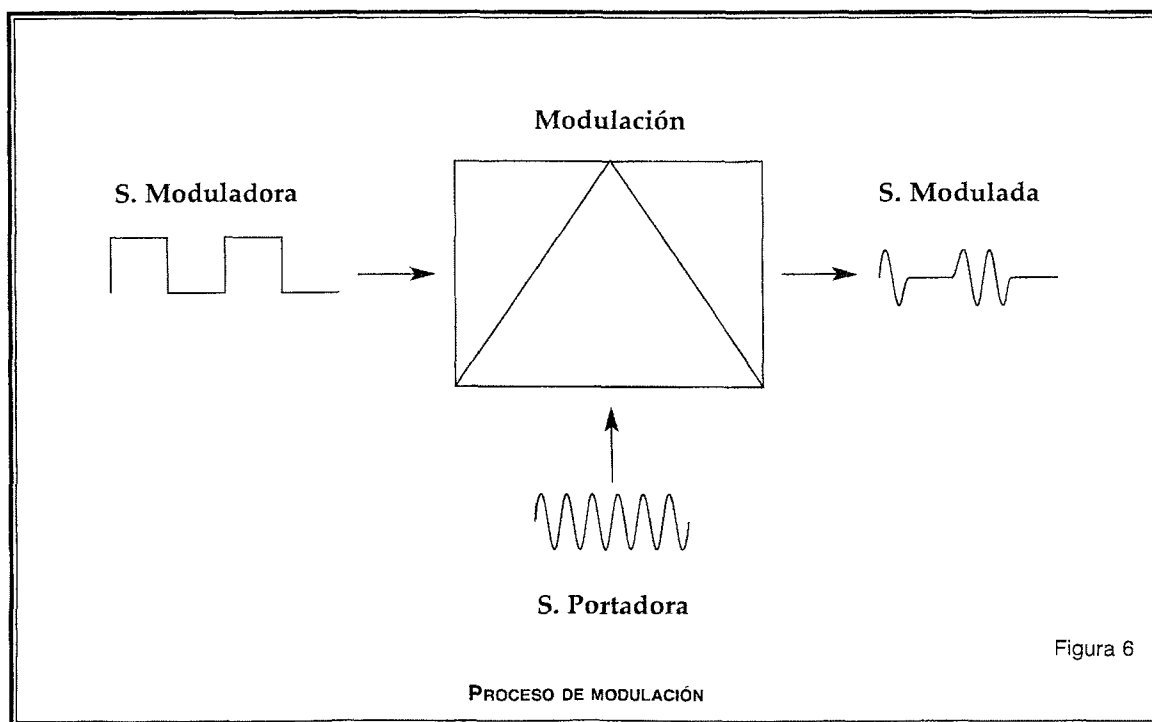
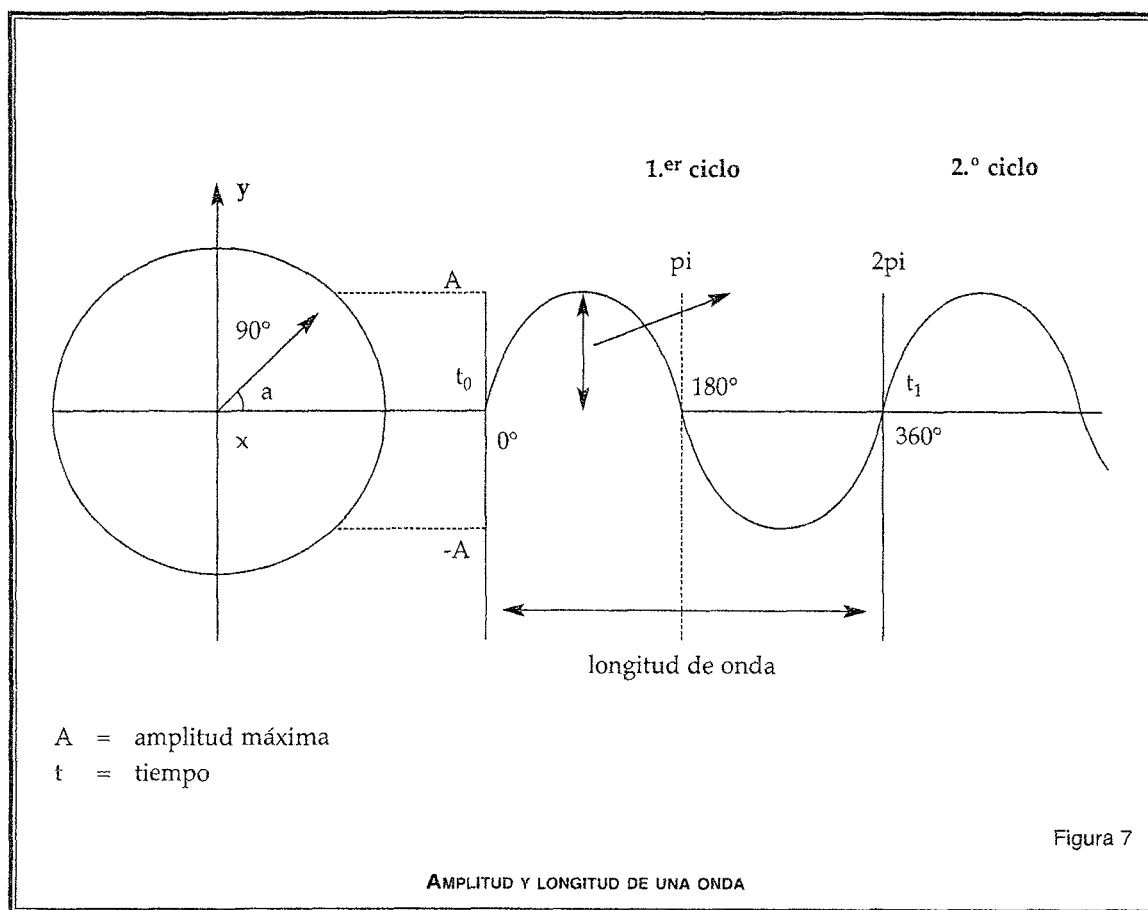


Figura 6

• MODULACIÓN ANALÓGICA.

Una señal digital generada por el equipo de procesamiento de datos es insertada en la onda portadora generada por el modem, siendo que las características originales de la onda padrón son modificadas de acuerdo a la técnica de modulación utilizada por el modem y ésta transporta los datos hasta la otra extremidad del enlace donde otro modem demodulará la señal y la entregará a un equipo de procesamiento de datos en su forma original.

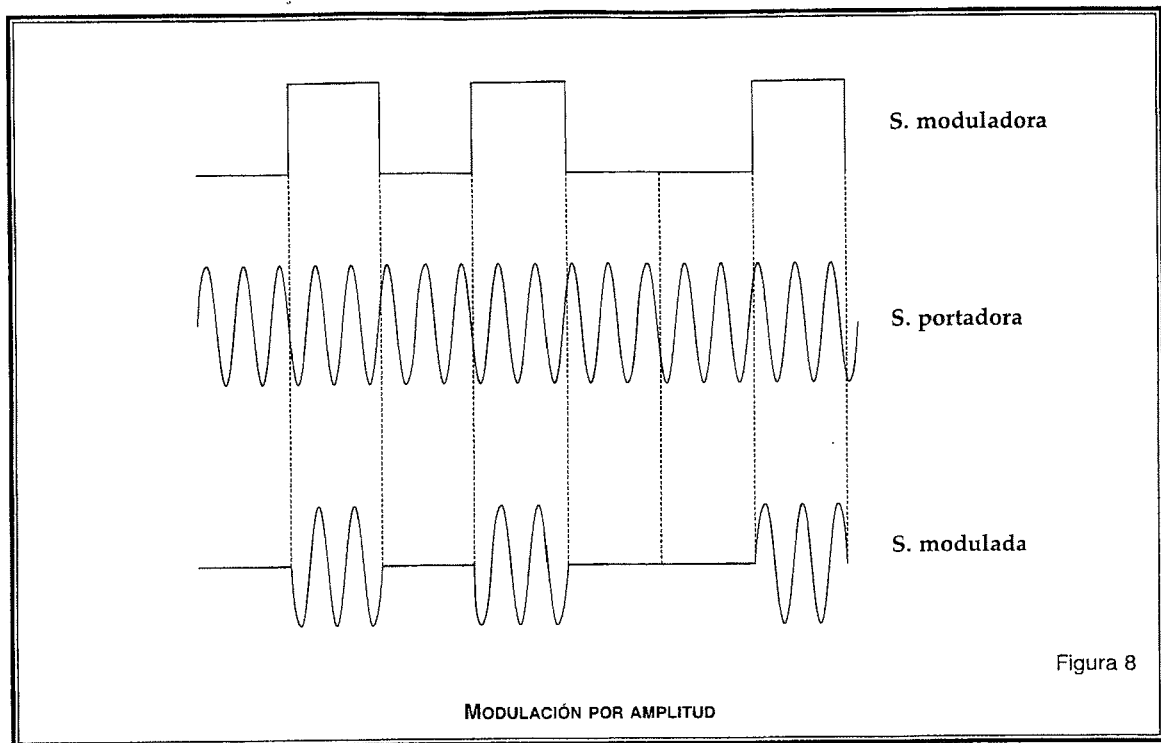
• TIPOS DE MODULACIÓN.



• MODULACIÓN DE AMPLITUD (AM).

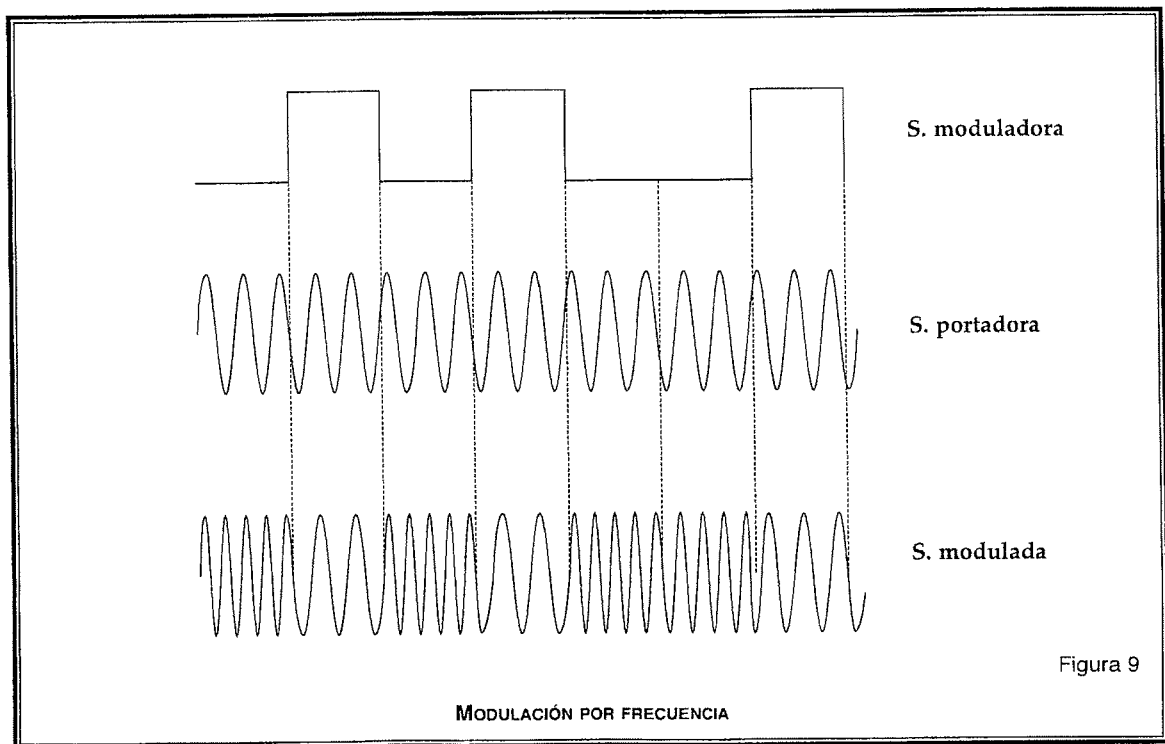
En la modulación de amplitud se modifica la amplitud de la señal portadora para indicar cambios en la información de la señal moduladora. La modulación de amplitud equivale a la multiplicación de ambas señales.

En este caso como la señal moduladora es una señal digital, la señal modulada resultante será una señal con dos niveles de amplitud, los cuales representarán 0 ó 1.



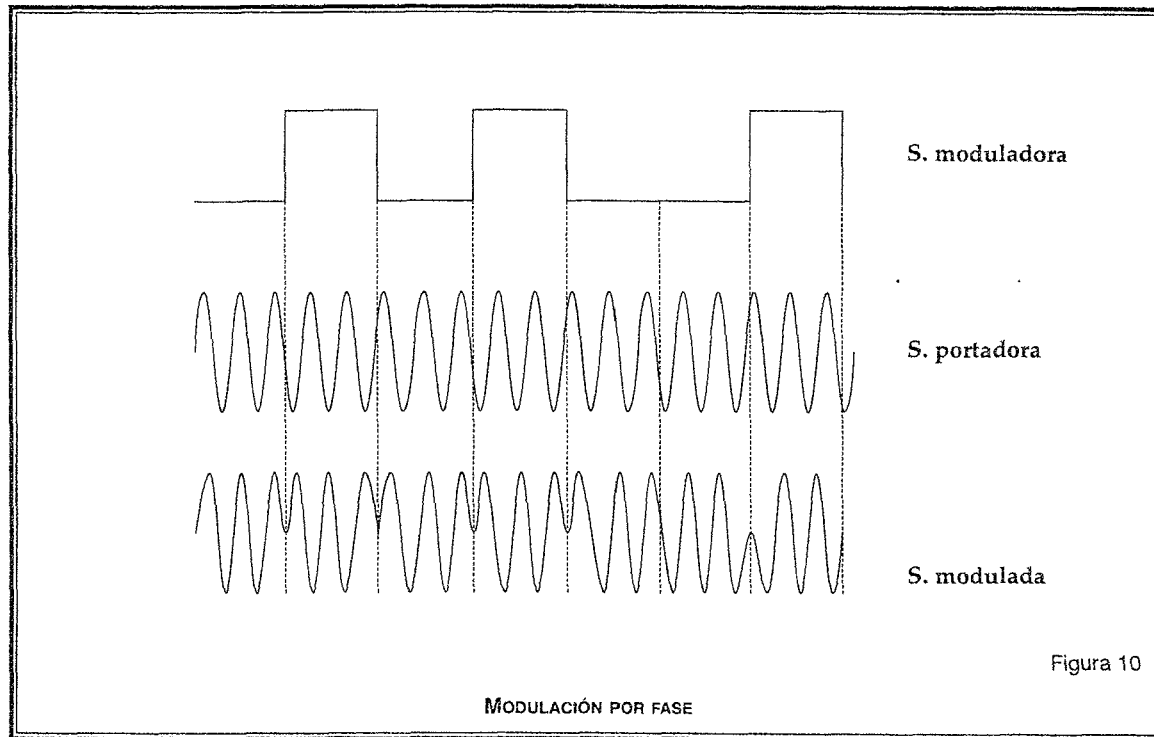
• MODULACIÓN DE FRECUENCIA (FM).

En la frecuencia modulada se hace una variación de la frecuencia de la señal portadora para representar la información, de esta forma la señal a cierta frecuencia podría representar un 1 y a otra frecuencia un 0.



- **MODULACIÓN DE FASE (PM).**

En este caso se realizan cambios en la fase de la señal portadora para representar los cambios de información:



Observe cómo en la gráfica anterior cada vez que la señal moduladora pasa de 0 a 1 o de 1 a 0, la señal modulada sufre un cambio de fase de 180°.

- **MODULACIÓN DIGITAL.**

Los modems digitales no ejecutan exactamente una modulación, sino una especie de codificación de una señal que difiere mucho en relación a una señal analógica generada por los modems analógicos.

- **MODULACIÓN POR PULSOS CODIFICADOS PCM.**

La transmisión digital es la transmisión de pulsos digitales en un sistema de comunicación. La información de la fuente original puede estar ya sea en forma digital o como nuestro caso en señales analógicas que deben convertirse a pulsos digitales, antes de su transmisión y convertir nuevamente a la forma analógica en el lado del receptor. Con los sistemas de transmisión digital y analógica, se requiere una facilidad física tal como un par de alambres metálicos, un cable coaxial o un vínculo de fibra óptica para interconectar a los dos puntos en el sistema.

La transmisión de tipo digital tiene las siguientes ventajas:

- Inmunidad al ruido.
- Se prefieren los pulsos digitales por su mejor capacidad de procesamiento y multicanalización que las señales analógicas.
- Los sistemas digitales utilizan la regeneración de señales, en vez de la amplificación de señales.
- Por lo tanto produce un sistema más resistente al ruido.
- Las señales digitales son más sencillas de evaluar. Los sistemas digitales están mejor equipados para evaluar un rendimiento de error.

Pero también presenta las siguientes desventajas:

- Requieren de más ancho de banda para transmitir la señal analógica.
- Las señales analógicas deben convertirse en códigos digitales, antes de su transmisión y convertirse nuevamente a analógica en el receptor.
- La transmisión requiere sincronización precisa de tiempo entre los relojes del transmisor y los del receptor.

• MODULACIÓN DE PULSOS.

La modulación de pulsos incluye muchos métodos diferentes para convertir información a forma de pulsos para transferir pulsos de una fuente a un destino. Los cuatro métodos predominantes son modulación de ancho del pulso (PWM), modulación de posición del pulso (PPM), modulación de amplitud del pulsos (PAM) y modulación de pulsos codificados (PCM).

PWM. Este método a veces se llama modulación de duración del pulso (PDM) o modulación de longitud del pulso (PLM). El ancho del pulso (porción activa del ciclo de trabajo) es proporcional a la amplitud de la señal analógica.

PPM. La posición de un pulso de ancho constante, dentro de una ranura de tiempo prescrita, varía de acuerdo a la amplitud de la señal analógica.

PAM. La amplitud de un pulso de posición constante y de ancho constante varía de acuerdo a la amplitud de la señal analógica.

PCM. La señal analógica se muestrea, se cuantifica y se codifica a una longitud fija, es decir, un número binario serial para transmisión. El número binario varía de acuerdo a la amplitud de la señal analógica.

• MULTIPLEXACIÓN.

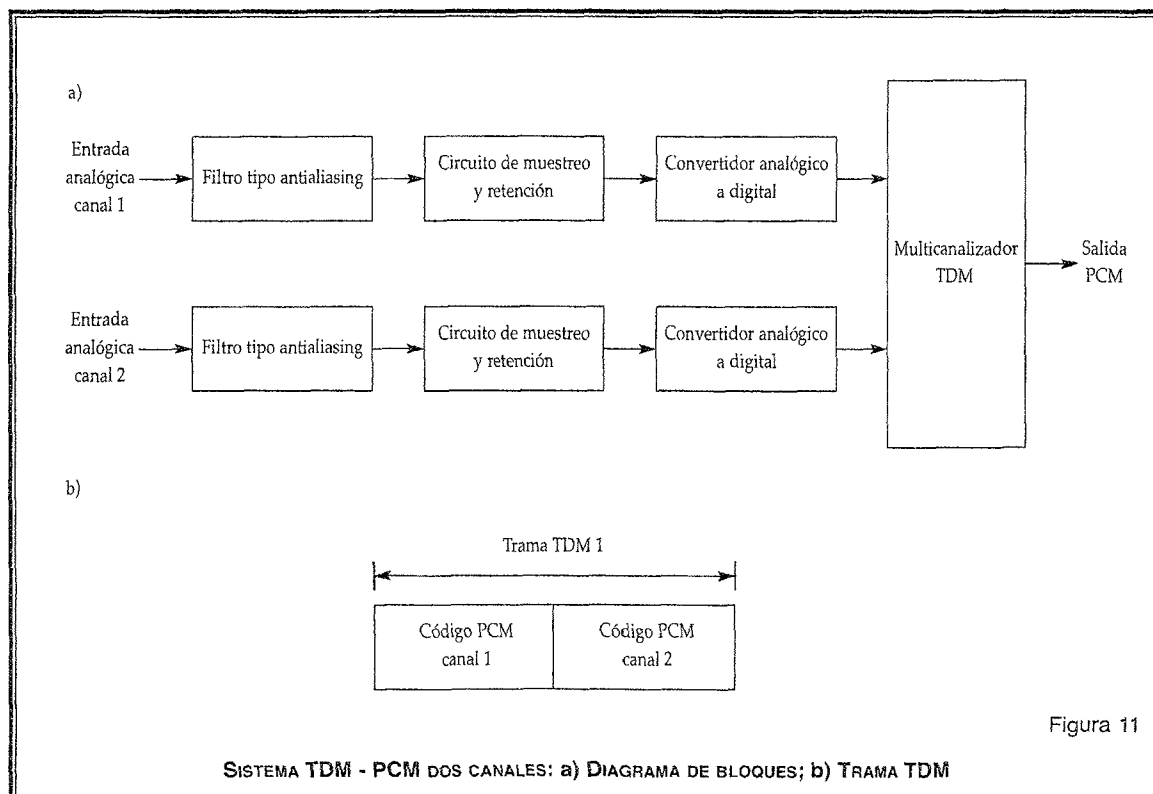
Multicanalización es la transmisión de información (ya sea de voz o de datos), de más de una fuente a más de un destino, por el mismo medio de transmisión (facilidad). Las transmisiones ocu-

ren en el mismo medio, pero no necesariamente al mismo tiempo. El medio de transmisión puede ser un par de cables metálicos, un cable coaxial, el espectro electromagnético, o un cable de fibra óptica. Hay varias formas en que se puede lograr el proceso de multicanalización, aunque los dos métodos más comunes son la multicanalización de división de frecuencia (FDM) y la multicanalización de división de tiempo (TDM).

• MULTIPLEXACIÓN POR DIVISIÓN DE TIEMPO.

Con TDM, las transmisiones para fuentes múltiples ocurren sobre el mismo medio pero no al mismo tiempo. Las transmisiones de varias fuentes se intercalan en el dominio del tiempo. El tipo más común de modulación utilizada con los sistemas TDM es PCM. Con un sistema PCM – TDM, se muestrean dos o más canales de banda de voz, convertidos a códigos PCM, y luego se utiliza el proceso de multicanalización por división de tiempo en un solo par de cables metálicos o en un cable de fibra óptica.

La Figura 11 a) muestra un diagrama de bloques simplificado de un sistema de portadora para PCM – TDM de dos canales. Cada canal, de manera alternada se usa y se convierte a un código PCM. Mientras el código PCM para el canal 1 se está transmitiendo, en el canal 2 se está procesando la información y convirtiendo a un código PCM para luego ser transmitida. Mientras el código PCM del canal 2 se está transmitiendo, la siguiente señal se toma del canal 1 y se convierte al código PCM. Este proceso continúa y se toma de manera alternativa señales de cada canal, se convierten a códigos PCM y se transmiten. El proceso de multicanalización es simplemente un interruptor electrónico con dos entradas y una salida. El canal 1 y el canal 2 se seleccionan de manera alterna y se conectan a la salida del multicanalizador. El tiempo que se toma en transmitir una señal en cada canal se llama tiempo de trama.



El tiempo de trama para cada canal ocupa una ranura de tiempo fija (ciclo) dentro de la trama total de TDM. Con un sistema de dos canales, el tiempo asignado para cada canal es igual a la mitad de la trama del tiempo total. Se toma una señal de cada canal una vez durante cada trama. Por lo tanto, el tiempo de la trama total es igual al recíproco de la razón de muestreo ($1/f_s$). La Figura 11 b) muestra la asignación de la trama para un sistema de dos canales.

• MULTIPLEXACIÓN POR DIVISIÓN DE FRECUENCIA.

En la multicanalización por división de frecuencia (FDM), múltiples fuentes que originalmente ocupaban el mismo espectro de frecuencias se convierten, cada una, a una banda de frecuencias diferentes y se transmiten simultáneamente en un solo medio de transmisión. Así, muchos canales de banda relativamente angosta se pueden transmitir en un solo sistema de transmisión de banda ancha.

El FDM es un esquema de multicanalización analógica; la información que entra a un sistema de transmisión es analógica y permanece analógica en toda la transmisión. Un ejemplo de FDM es la banda de radiodifusión comercial de AM, que ocupa un espectro de frecuencias desde 535 a 1605 KHz. Cada estación lleva una señal de información con un ancho de banda de 0 a 5 KHz. Si el audio de cada estación se transmitiera con el espectro original de frecuencias, sería imposible separar una estación de la otra. En lugar de eso, cada estación modula la amplitud de una frecuencia de portadora diferente y produce una señal de doble banda lateral de 10 KHz. Debido a que las frecuencias de portadora, de las estaciones adyacentes, están separadas por 10 KHz, la banda total comercial de AM se divide en 107 fracciones, de frecuencia de 10 KHz, apiladas unas a otras, en el dominio de la frecuencia. Para recibir una estación en particular, simplemente se sintoniza un receptor a la banda de frecuencia asociada con las transmisiones de esa estación.

Hay muchas otras aplicaciones para FDM, como FM comercial, difusión de televisión y sistemas de telecomunicaciones de gran volumen. Dentro de cualquiera de las bandas de radiodifusión comercial, las transmisiones de cada estación son independientes de las transmisiones de todas las otras estaciones. En consecuencia, el proceso de multicanalización se realiza sin ninguna sincronización entre las estaciones. Con un sistema de comunicación por teléfono, de banda de voz, se puede originar de una fuente común y terminar en un destino común. El equipo terminal de fuente y destino probablemente sea un sistema de conmutación electrónica de alta capacidad. Debido a la posibilidad de que un gran número de canales de banda angosta se originen y terminen en la misma localidad, todas las operaciones de multicanalización y demulticanalización deben estar sincronizadas.

3. INTERFACES Y PROTOCOLOS. JERARQUÍAS DIGITALES.

En el campo de la informática un protocolo es un conjunto de reglas formales que permiten a dos puntos establecer comunicación de forma no ambigua. En el campo de las redes, los protocolos de red permiten la comunicación entre uno o más dispositivos interconectados. ETD es un equipo terminal de datos. Se considera ETD a cualquier equipo informático, sea receptor o emisor final de datos.

Los protocolos de comunicaciones se desarrollan, en general, en un entorno distribuido y en el marco del llamado modelo Cliente-Servidor. Las interfaces de programación (APIs, Application Programming Interfaces) para protocolos de comunicaciones proporcionan al usuario una serie de

funciones o llamadas al Sistema Operativo con las que implementar las aplicaciones Cliente-Servidor. El API es la interfaz que se le ofrece al programador. La disponibilidad del API depende tanto del sistema operativo usado como del lenguaje de programación. Las funciones de un API en protocolos de comunicaciones son variadas: reserva de recursos para la comunicación, especificación de los puntos de comunicación locales y remotos, iniciar una conexión (cliente), esperar una conexión (servidor), enviar y/o recibir datos, terminar una conexión, abortar la comunicación, manejo de errores, liberación de recursos, etc. En este módulo se presentan las interfaces de programación (APIs) más difundidas para protocolos de comunicaciones. Éstas son las interfaces Sockets de Berkeley para sistemas operativos Unix, la interfaz Windows Sockets para sistemas operativos Windows, y la interfaz Sockets en Java multiplataforma. En cada uno de los entornos se desarrollan aplicaciones cliente-servidor utilizando las funcionalidades proporcionadas por cada interfaz.

Vamos a ver una relación de los diversos protocolos existentes en el Modelo OSI que conforman una jerarquía digital compuesta por los niveles y los protocolos de cada uno de estos niveles:

- Nivel físico.
- Nivel de enlace de datos:
 - Ethernet.
 - PPP.
- Nivel de red:
 - IP.
 - IPX.
- Nivel de transporte:
 - UDP.
 - IP.
- Nivel de sesión.
 - TCP.
 - NetBIOS.
 - UDP.
 - IPX.
 - Appletalk.
- Nivel de presentación.

- Nivel de aplicación:

- SMTP.
- FTP.
- Telnet.
- SSH.
- IRC.
- HTTP.
- POP3.

Una interfaz es la parte de un programa informático que permite a éste comunicarse con el usuario o con otras aplicaciones permitiendo el flujo de información. El concepto de interfaz no sólo es aplicable a los programas, sino que también puede aplicarse a toda aquella parte de éstos (clase, objeto, control, etc.), pudiendo definirse interfaz como aquellos comandos y métodos que permiten comunicarse a cualquier programa o elemento interno o externo a un programa. Para un mejor entendimiento, si extrapoláramos este concepto a la vida real, podríamos decir que el teclado de un teléfono sería una interfaz de usuario, mientras que la clavija sería la interfaz que permite al teléfono comunicarse con la central telefónica.

En el modelo de referencia OSI tenemos una jerarquía de siete niveles de protocolos cada uno de los cuales utiliza los de nivel inferior para ofrecer un determinado servicio. Cada nivel se corresponde en el modelo con una capa, numerada del 1 al 7, donde la capa número 1 corresponde al nivel más inferior y la capa 7 al superior, así mismo, se le conoce a cada capa con un nombre específico.

- CAPA 7. Nivel de aplicación.
- CAPA 6. Nivel de presentación.
- CAPA 5. Nivel de sesión.
- CAPA 4. Nivel de transporte.
- CAPA 3. Nivel de red.
- CAPA 2. Nivel de enlace.
- CAPA 1. Nivel físico.

Consideremos las siguientes definiciones:

- Protocolo: son las reglas que gobiernan la comunicación entre dos entidades similares, ambas situadas en el mismo nivel de comunicación (por ejemplo, ordenador a ordenador, télex a télex, persona a persona, proceso a proceso).
- Interfaz: entre cada par de niveles adyacentes debe existir una interfaz, la cual facilita el entendimiento entre ambos niveles. Para cada interfaz, esta interacción puede ser de naturaleza física o lógica, o puede precisar formatos específicos para los mensajes, etc.

• REDES DE ALTA VELOCIDAD SDH/SONET.

En los años 80 las tecnologías de alta velocidad dominantes eran las llamadas jerarquías digitales no-síncronas –referidas por el término PDH (Plesiochronous Digital Hierarchy)– tales como E1/E3 o T1/T3 (véase tabla 1). En aquellos tiempos, el tráfico de voz era el reinante en las redes de telecomunicaciones. Sin embargo, con el pasar de los años siguió un crecimiento explosivo del tráfico de información a través de las redes, debido a gran parte a la red Internet, lo que ocasionó una gran demanda de comunicación a altas velocidades. Los patrones de tráfico en los años 90 cambiaron drásticamente, ahora los datos superaban al tráfico de voz.

Las redes de alta velocidad de hoy en día son ópticas y están basadas principalmente en dos estándares conocidos como SDH y SONET, los cuales consisten en anillos de fibra óptica en los cuales la información es intercambiada electrónicamente en los nodos. Tanto SDH como SONET son las tecnologías de transporte dominantes en las redes metropolitanas de los proveedores de servicios de telecomunicaciones (carriers) en la actualidad.

TABLA 1
JERARQUÍAS DIGITALES NO-SÍNCRONAS

ANSI			ITU		
SEÑAL	TASA DE BITS	CANALES	SEÑAL	TASA DE BITS	CANALES
DS0	64 Kbps	1 DS0	E0	64 Kbps	64 Kbps
DS1	1.544 Mbps	24 DS0	E1	2.048 Mbps	32 E0
DS2	6.312 Mbps	96 DS0	E2	8.448 Mbps	128 E0
DS3	44.736 Mbps	28 DS1	E3	34.368 Mbps	16 E1
	No definido		E4	139.264 Mbps	64 E1

• QUÉ ES SONET/SDH.

SONET y SDH son un conjunto de estándares para la transmisión o transporte de datos síncronos a través de redes de fibra óptica. SONET significa por sus siglas en inglés, Synchronous Optical NETwork; SDH viene de Synchronous Digital Hierarchy. Aunque ambas tecnologías sirven para lo mismo, tienen pequeñas diferencias técnicas, de manera semejante con el T1 y el E1. SONET, por su parte, es utilizada en Estados Unidos, Canadá, Corea, Taiwan y Hong Kong; mientras que SDH es utilizada en el resto del mundo. Los estándares de SONET están definidos por la ANSI (American National Standards Institute) y los SDH por la ITU-T (International Telecommunications Union). En la Tabla 2 se muestra la equivalencia entre SDH y SONET en cuestión de velocidades o tasas de bits.

TABLA 2
EQUIVALENCIA EN JERARQUÍAS DIGITALES SDH Y SONET

SONET		SDH EQUIVALENCIA	TASA DE BITS (MBPS)
NIVEL ÓPTICO	NIVEL ELÉCTRICO		
OC-1	STS-1	STM-0	51.84
OC-3	STS-3	STM-1	155.52
OC-12	STS-12	STM-4	622.08
OC-48	STS-48	STM-16	2488.32
OC-192	STS-192	STM-64	9953.28
OC-768	STS-768	STM-256	39812.12
STM: Synchronous Transport Module (ITU-T) STS: Synchronous Transport Signal (ANSI) OC: Optical Carrier (ANSI)			

La tasa de bits se refiere a la velocidad de información que es transportada a través de la fibra óptica. Una porción de estos bits sobre la línea son designados como «overhead». El overhead transporta información que provee capacidades tales como ensamblado de tramas, multicanalización, estatus de la red, rastreo, monitoreo de desempeño y funciones conocidas como OAM&P (Operations, Administration, Maintenance and Provisioning). Los bits restantes es la carga útil, es decir, el ancho de banda disponible para transportar los datos de los usuarios tales como paquetes o celdas ATM (Asynchronous Transfer Mode) o cualquier otro tipo de información.

Tanto SONET como SDH convergen en el nivel base de SDH de 155 Mbps, definido como STM-1. El nivel base para SONET es STS-1 (OC-1) y es equivalente a 51.84 Mbps. Así, STM-1 de SDH es equivalente a STS-3 de SONET ($3 \times 51.84 \text{ Mbps} = 155.52 \text{ Mbps}$) y así sucesivamente.

• **ESTÁNDARES SDH/SONET.**

Los estándares son una parte bien importante en las telecomunicaciones. Como se mencionó anteriormente, ANSI coordina y aprueba los estándares de SONET mientras que los estándares de SDH son desarrollados por la ITU-T.

• **ESTÁNDARES ANSI DE SONET.**

Los estándares de SONET son actualmente desarrollados por el comité T1 el cual es patrocinado por la ANSI y por la ATIS (Alliance for Telecommunications Industry Solutions).

A continuación en la Tabla 3 se muestran algunos de los estándares más importantes de SONET; para ver la lista completa hay que visitar la página de la ANSI (<http://www.ansi.org/>).

TABLA 3
ESTÁNDARES ANSI DE SONET

ESTÁNDAR	DESCRIPCIÓN
ANSI T1.105: SONET	Descripción básica incluyendo estructura de multicanalización, tasas y formatos
ANSI T1.105.01:SONET	Protección automática de Conmutación
ANSI T1.105.02:SONET	Mapeos de la carga útil
ANSI T1.105.03:SONET	En las interfaces de red
ANSI T1.105.04:SONET	Protocolos y arquitecturas del canal de comunicaciones de datos
ANSI T1.105.05:SONET	Mantenimiento de conexión en cascada
ANSI T1.105.06:SONET	Especificaciones de la capa física
ANSI T1.105.07:SONET	Especificación de formatos y tasas de interfaz sub-STs
ANSI T1.105.09:SONET	Elementos de sincronización de la red
ANSI T1.119:SONET	Comunicaciones - OAM&P

• **ESTÁNDARES SDH DE LA ITU-T.**

El sector de telecomunicaciones de la ITU (ITU-T) es el encargado de coordinar y desarrollar los estándares de SDH para el mundo. A continuación en la Tabla 4 se listan los estándares más importantes de SDH; la lista completa se puede obtener en el sitio de la ITU (<http://www.itu.int/>).

TABLA 4
ESTÁNDARES SDH DE LA ITU-T

ESTÁNDAR	DESCRIPCIÓN
ITU-T G.707	Interface del nodo de red para SDH
ITU-T G.781	Estructura de recomendaciones para SDH
ITU-T G.782	Características y tipos de equipos para SDH
ITU-T G.783	Características de bloques funcionales de SDH
ITU-T G.803	Arquitectura de redes de transporte basadas en SDH

Otros estándares importantes son el ITU-T I.432 donde se especifica la capa física Interface de red-usuario de B-ISDN (ISDN de banda ancha) o mejor conocido como ATM sobre SONET. El IETF (Internet Engineering Task Force) también ha liberado algunos RFCs (Request for Comments) que describen el protocolo punto a punto para transferir tráfico nativo IP sobre SONET o SDH, tales como:

IETF RFC2615: PPP sobre SONET/SDH.

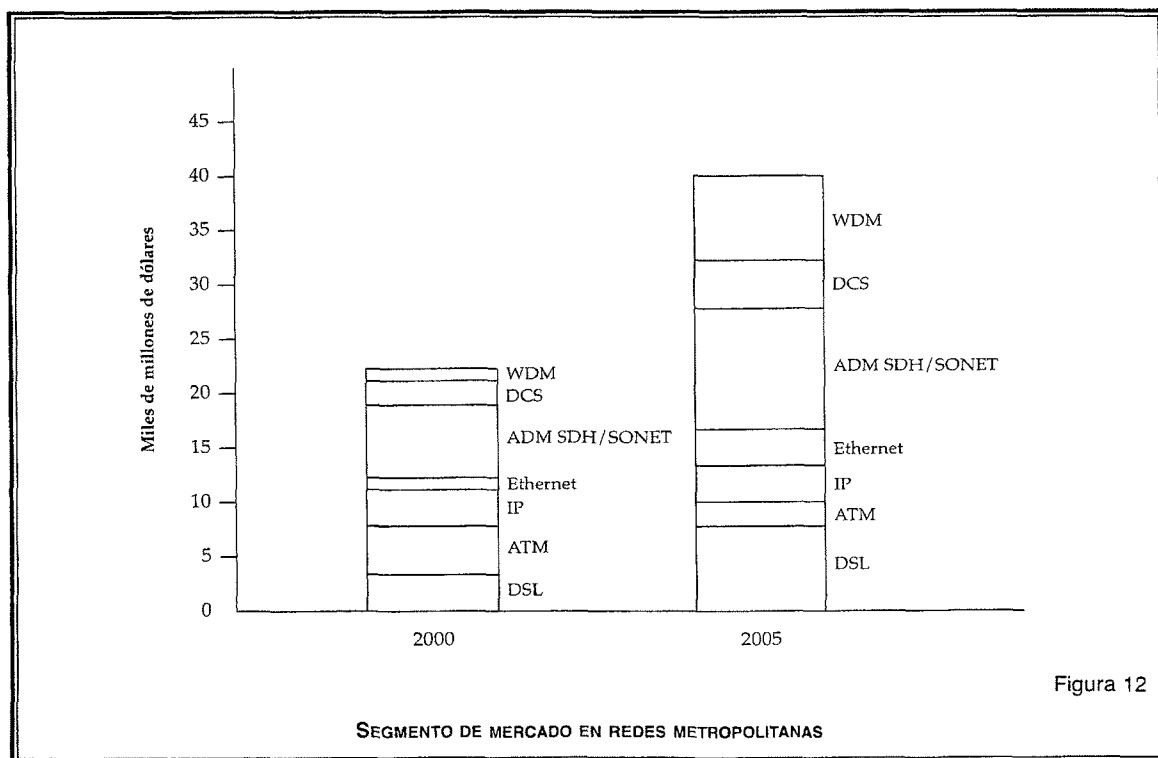
IETF RFC1661: PPP (Point to Point Protocol).

IETF RFC1662: PP en tramas HDLC (High Level Data Link Control).

• TENDENCIAS.

Las redes de alta capacidad están evolucionando constantemente hacia IPv6, Gigabit Ethernet Multicast, Photonic switching, etc., utilizadas por infraestructura de telecomunicaciones del tipo LEC (Local Exchange Carriers), IXC (IntereXchange Carriers), proveedores de servicios de Internet, compañías de cable, fabricantes de equipo y otros organismos como las comisiones de electricidad. Las mismas compañías y organizaciones tienen que adaptarse, adquirir o unirse con otras para satisfacer las demandas y expectativas de sistemas de información de los negocios y clientes en todo el mundo. Los servicios dedicados de SONET que ofrece SBC son servicios de acceso que continuarán siendo recursos que los proveedores e inversionistas ven como una fuente de ingresos en el mercado de las telecomunicaciones.

Según la firma Probe Research, Inc. (<http://www.proberesearch.com/>) el mercado global de SDH, SONET y WDM seguirá creciendo, a pesar de la crisis reciente de las telecomunicaciones. En el 2006, el total de ganancias se espera que alcancen los \$38,500 millones de dólares si continúa la tasa compuesta de crecimiento anual de 10,4 por 100 del 2001 al 2006.



En el mercado de las redes metropolitanas a nivel mundial, las ventas en equipos de redes de alta velocidad se doblarán de \$24 mil millones de dólares en el 2000 a \$41 mil millones de dólares para el 2005 según cifras de Alcatel (<http://www.alcatel.com/>). Las tecnologías involucradas en este mercado son principalmente conmutadores de paquetes (switches) ATM y Ethernet, enrutadores IP, Multicanalizadores de inserción remoción (ADM, Add Drop Multiplexers) SDH/SONET, equipos digitales de conexión cruzada (DCS, Digital Cross Connect), equipos WDM (Wavelength Division Multiplexing) y equipos DSL (Digital Subscriber Line). La creciente demanda para equipos de datos, declara Alcatel, es una consecuencia de la estable proliferación de datos, multimedia y otras aplicaciones en línea. Esta evolución está generando una gran necesidad de equipos SDH/SONET, siendo éstos la piedra angular de las modernas redes de transmisión.

Otras tendencias tecnológicas en redes de alta velocidad que utilizarán SDH/SONET como su plataforma de transporte serán: Ethernet sobre SONET/SDH, IP/MPLS (Multiprotocol Label Switching), RPR (Resilient Packet Ring), etc.

Los constantes avances en WDM permitirán el incremento en las capacidades de las redes ópticas de alta velocidad del futuro hasta en 40 Gbps. Las redes de alta velocidad basadas en SDH/SONET están teniendo una gran importancia en el suministro de nuevos servicios basados en el protocolo de Internet (IP) y en Ethernet. SDH/SONET como una red metropolitana estará cada vez más cerca de los usuarios finales y estará disponible en una variedad de formatos e interfaces.

