

ESCUELA DE PREPARACIÓN DE OPOSITORES

E. P. O.

C/. La Merced, 8 – Bajo A Telf.: 968 24 85 54
30001 MURCIA

INF63

Funciones y servicios del nivel físico. Tipos y medios de transmisión. Adaptación al medio de transmisión. Limitaciones a la transmisión. Estándares.

SAI53

Transmisión de datos. Medios. Tipos. Técnicas. Perturbaciones.

Esquema.

1	INTRODUCCIÓN.....	2
2	FUNCIONES Y SERVICIOS DEL NIVEL FÍSICO.....	2
3	TIPOS Y MEDIOS DE TRANSMISIÓN.	3
3.1	TIPOS DE TRANSMISIÓN.	3
3.1.1	Modos de transmisión: Sincrona y Asíncrona.	3
3.1.2	Transmisión serie y paralelo.....	3
3.1.3	Transmisión analógica y digital.	4
3.1.4	Explotación de los circuitos de datos.	4
	Comunicación simplex.	4
	Comunicación semidúplex.	4
	Comunicación full-dúplex.....	4
3.2	MEDIOS DE TRANSMISIÓN.....	4
3.2.1	Medios guiados.	4
	Cable coaxial.	4
	Par trenzado.....	5
	Fibra óptica.....	7
	Líneas eléctricas.	8
3.2.2	Medios no guiados 8	
	Ondas de radio.....	9
	Microondas.....	10
	Infrarrojos.....	11
4	ADAPTACIÓN AL MEDIO DE TRANSMISIÓN.....	11
4.1	TRANSMISIÓN DIGITAL.	11
4.1.1	Codificación de línea.	11
4.1.2	Codificación de bloques.....	13
4.1.3	Aleatorización.....	14
4.2	TRANSMISIÓN ANALÓGICA.....	14
4.2.1	Modulación por desplazamiento de amplitud (ASK, Amplitude Shift Keying).	14
4.2.2	Modulación por desplazamiento de frecuencia (FSK, Frequency Shift Keying).	15
4.2.3	Modulación por desplazamiento de fase (PSK, Phase Shift Keying).	15
4.2.4	Modulación de amplitud en cuadratura (QAM).	16
4.3	MULTIPLEXACIÓN.	16
4.3.1	Multiplexación por división de frecuencia (FDM).	16
4.3.2	Multiplexación por división en el tiempo síncrona (TDM).....	16
4.3.3	Multiplexación por división en el tiempo estadística (TDME).	17

4.3.4 Acceso Múltiple por División de Código (CDMA, Code Division Multiple Access).	17
4.4 ESPECTRO EXPANDIDO.	17
4.4.1 Espectro expandido por salto de frecuencia (FHSS).	17
4.4.2 Espectro expandido por secuencia directa (DSSS).	18
5 LIMITACIONES A LA TRANSMISIÓN.	18
5.1 ATENUACIÓN.	18
5.2 DISTORSIÓN.	19
5.3 RUIDO.	19
5.4 LÍMITES DE LA VELOCIDAD DE DATOS.	20
5.4.1 Ancho de banda.	20
5.4.2 Teorema de Nyquist o de muestreo. Canal libre de ruido.	22
5.4.3 Teorema de Shannon. Canal con ruido.	23
6 ESTÁNDARES.	23
6.1 LÍNEA DIGITAL DE ABONADO (ADSL).	23
6.2 LA CAPA FÍSICA DEL ESTÁNDAR IEEE 802.3.	25
6.2.1 Fast Ethernet.	26
6.2.2 Gigabit Ethernet.	26
7 CONCLUSIONES.	27

1 Introducción.

La capa física representa el nivel más bajo de la jerarquía de capas del modelo de referencia OSI. Su función consiste en la transmisión de bits por un canal de comunicación, ofreciendo al nivel inmediatamente superior el establecimiento de un canal binario entre un par de puntos adyacentes.

En este tema empezaremos nuestro estudio con los tipos y medios de transmisión utilizados hoy en día, tanto guiados como no guiados, para a continuación estudiar las técnicas utilizadas para la transmisión de datos digitales y analizar los factores físicos que intervienen en la transmisión de información, puesto que a la hora de realizar transmisiones de datos la naturaleza fija límites sobre lo que se puede enviar a través de un canal. Concluiremos nuestro estudio con los estándares más importantes de nivel físico.

2 Funciones y servicios del nivel físico.

La capa física tiene que ver con la transmisión de bits por un canal de comunicación. El servicio que se ofrece al nivel inmediatamente superior es el establecimiento de un canal binario entre un par de puntos adyacentes.

Las consideraciones de diseño tienen que ver con la acción de asegurarse de que cuando un lado envíe un bit 1, se reciba en el otro lado un bit 1, no un bit 0. Las preguntas típicas aquí son: cuántos voltios deberán usarse para representar un 1 y cuántos para un 0; cuántos microsegundos dura un bit; si la transmisión se puede efectuar simultáneamente en ambas direcciones o no; cómo se establece la conexión inicial y cómo se interrumpe cuando ambos lados han terminado; y cuántos pines tiene el conector de la red y para qué sirve cada uno. Las consideraciones de diseño tienen mucho que ver con las interfaces mecánica, eléctrica y de procedimientos, y con el medio de transmisión físico que está bajo la capa física.

3 Tipos y medios de transmisión.

3.1 Tipos de transmisión.

La transmisión de datos consiste en el transporte de señales entre un emisor que origina la comunicación y un receptor que acepta los datos.

3.1.1 Modos de transmisión: Síncrona y Asíncrona.

Es necesario que el emisor y el receptor se pongan de acuerdo sobre el instante en el que comienza o acaba una información que se ha puesto en el medio de transmisión. Esto se conoce como sincronismo. Un error de sincronismo implica la imposibilidad de interpretar correctamente la información. La sincronización requiere la definición común de una base de tiempos sobre la que medir los diferentes eventos que ocurrirán durante toda la transmisión. Se puede establecer la sincronización a 3 niveles:

- Nivel de bit. Hay que reconocer el comienzo y final de cada bit.
- Nivel de carácter. Hay que reconocer el principio y final de cada carácter.
- Nivel de bloque. Hay que reconocer el principio y fin de unidades de datos de más de un carácter.

En la transmisión asíncrona se envían pequeños bloques de bits (normalmente palabras de código) y se sincronizan al principio de cada bloque. Es necesario un acuerdo en la temporización a nivel de bit (cuánto dura un bit). Se suele utilizar como sincronización a nivel de carácter y se lleva a cabo a través de bits especiales que ayudan a definir el entorno de cada código. Si no se transmite nada, la línea se mantiene a nivel alto (valor lógico 1). La transmisión de un bit de arranque (bit de *start*) con el valor lógico 0 indica el comienzo de un carácter. El último bit del carácter está seguido de un bit de parada (bit de *stop*) con el valor lógico 1, cuya duración suele ser de 1, 1'5 ó 2 veces la duración de un bit normal. La sincronía se restaura en cada carácter, lo que origina que una vez fijada la velocidad de transmisión, es un método poco sensible a los problemas ocasionados por la falta de sincronismo. Un fallo de sincronismo, afecta como mucho a un carácter pero no al siguiente, ya que su bit de *start* produce una resincronización.

En la transmisión síncrona los bits transmitidos se envían a ritmo constante. No se utilizan bits de *start* ni de *stop*. Exige tanto transmisión de datos como de una señal de reloj que marque la cadencia del envío con el fin de sincronizar emisor y receptor (puede ser generada por el emisor o por el receptor). Permite velocidades de transmisión mayores que en el caso de transferencia asíncrona porque es menos sensible al ruido y porque obtiene un mejor rendimiento de la línea de datos.

3.1.2 Transmisión serie y paralelo.

No todas las líneas efectúan la transmisión del mismo modo. Un canal de comunicación puede estar compuesto de una o más líneas que pueden tener funciones diferentes o semejantes (por ejemplo unas llevan datos y otras señales de control).

En la transmisión serie, los bits se transmiten en cadena por la línea de datos a una velocidad constante negociada entre el emisor y el receptor. Es adecuada para transmisiones a larga distancia. Por el contrario, en la transmisión paralelo se transmiten simultáneamente un grupo de bits, uno por cada línea del mismo canal. Los grupos de bits pueden ser caracteres u otras asociaciones de bits en función del tipo de canal. Se utilizan para pequeñas distancias.

3.1.3 Transmisión analógica y digital.

No todas las líneas pueden transmitir todo tipo de señales (por ejemplo la línea telefónica es apta para transmisiones analógicas pero no para transmisiones digitales).

La transmisión analógica es capaz de tomar todos los valores posibles de un rango, mientras que en la transmisión digital la información sólo toma un número finito de valores.

3.1.4 Explotación de los circuitos de datos.

Comunicación simplex.

Están perfectamente definidas las funciones del emisor y del receptor. La transmisión de datos siempre se efectúa en una dirección (de emisor a receptor). La estación emisora transmite las señales a los receptores sin que haya posibilidad de que éstos interactúen contra la estación emisora. Hay, por tanto, un único canal físico y un único canal lógico unidireccional.

Comunicación semidúplex.

La comunicación puede ser bidireccional. El emisor y el receptor pueden intercambiarse los papeles. La bidireccionalidad no puede ser simultánea. Cuando el emisor emite, el receptor recibe, y posteriormente el receptor puede transformarse en emisor si el antiguo emisor se convierte en receptor. Hay, por tanto, un único canal físico y un único canal lógico bidireccional.

Comunicación full-dúplex.

La comunicación es bidireccional y simultánea. El emisor y el receptor no están perfectamente definidos. Ambos actúan como emisor y receptor indistintamente. Hay un canal físico y dos canales lógicos.

3.2 Medios de transmisión.

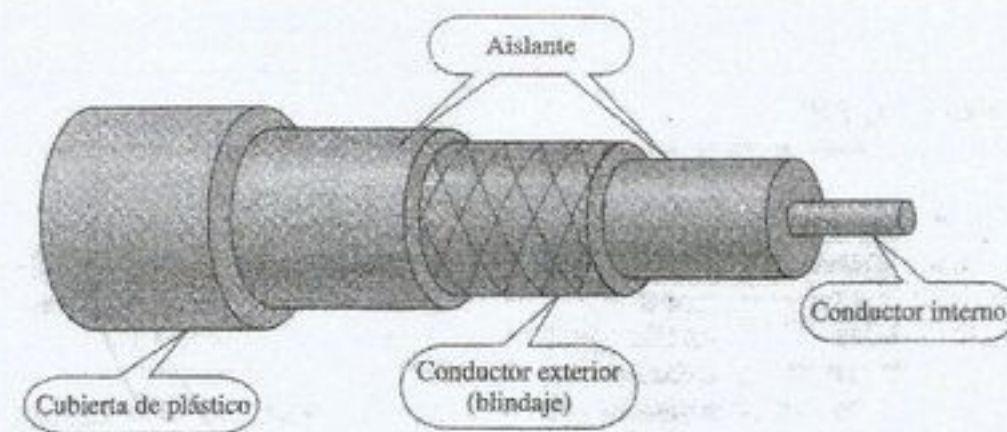
En las telecomunicaciones, los medios de transmisión se pueden dividir en dos grandes categorías: guiados y no guiados. Los guiados incluyen el cable de par trenzado, cable coaxial y el cable de fibra óptica. El medio no guiado es el espacio abierto.

3.2.1 Medios guiados.

Los medios guiados son aquellos que proporcionan un conductor de un dispositivo al otro e incluyen los cables de pares trenzados, el cable coaxial y los cables de fibra óptica. Una señal viajando por cualquiera de estos medios es dirigida y contenida por los límites físicos del medio. El par trenzado y el cable coaxial usan conductores metálicos (de cobre) que aceptan y transportan señales de corriente eléctrica. La fibra óptica es un cable de cristal o plástico que acepta y transporta señales en forma de luz.

Cable coaxial.

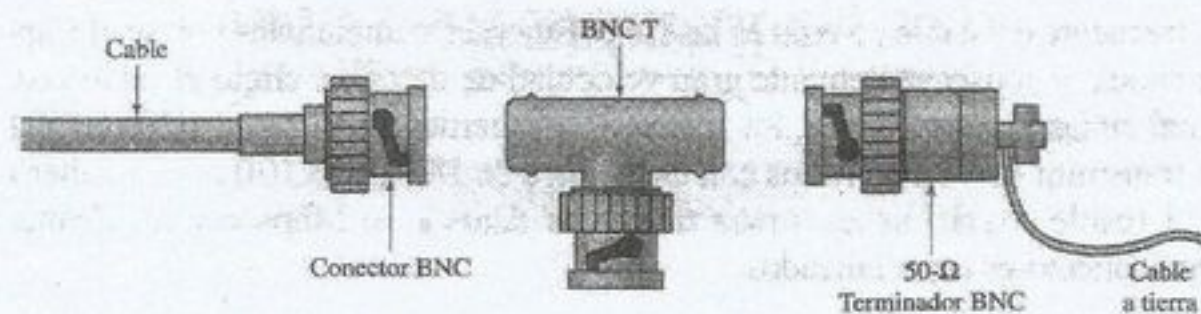
Consta de un alambre de cobre duro en su parte central que constituye el núcleo, el cual se encuentra rodeado por un material aislante (generalmente plástico). Este material aislante está rodeado por un conductor cilíndrico que se presenta como una malla de tejido trenzado. El conductor externo, finalmente, se encuentra cubierto por una capa de plástico protector.



Los cables coaxiales se pueden clasificar según sus clasificaciones de radio del gobierno (RG). Cada número RG denota un conjunto único de especificaciones físicas, incluyendo el grosor del cable del conductor interno, el grosor y el tipo del aislante interior, la construcción del blindaje y el tamaño y el tipo de la cubierta exterior. Hay dos tipos de cables coaxiales que son los más utilizados: el cable de 50 ohmios, usado para transmisión de señales digitales; y el cable de 75 ohmios que se emplea para transmisión analógica, así como televisión e Internet por cable.

Categoría	Impedancia	Uso
RG-59	75Ω	TV por cable
RG-58	50Ω	Ethernet 10BASE-2
RG-11	50Ω	Ethernet 10BASE-5

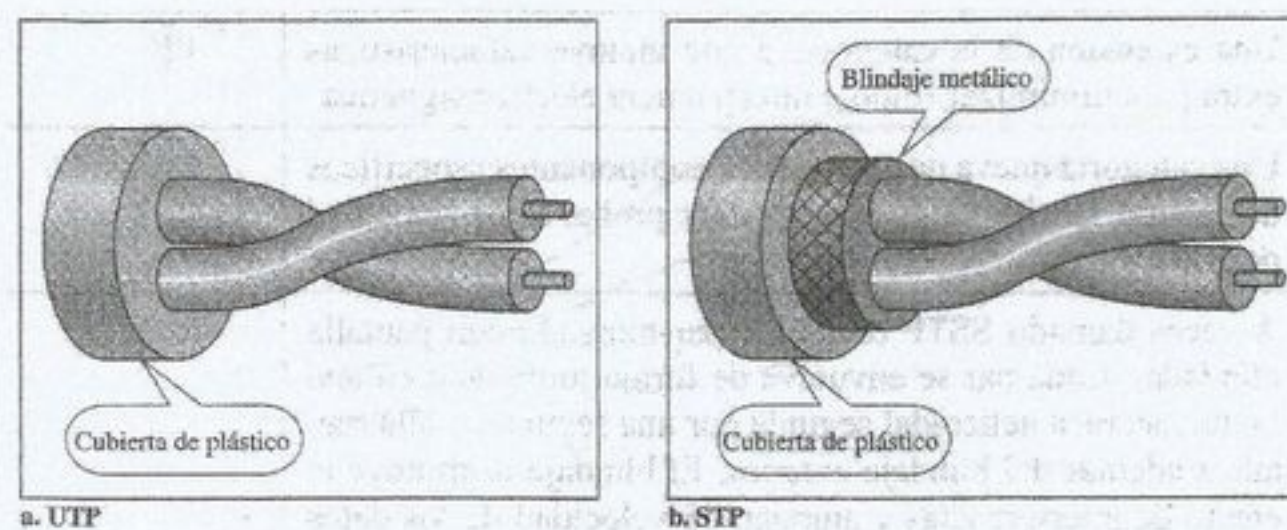
El conector coaxial más usado actualmente es el BNC (*Bayonet Network Connector*), el cual conecta el extremo del cable a un dispositivo.



Permiten un gran ancho de banda (los cables modernos tienen un ancho de banda cercano a 1Ghz) y proporcionan una excelente inmunidad al ruido, aunque presentan una fuerte atenuación por lo que requieren el uso de repetidores.

Par trenzado.

Está formado por dos alambres de cobre aislados entrelazados en forma helicoidal (similar al ADN) para reducir la interferencia eléctrica con respecto a los pares cercanos que se encuentran a su alrededor y de otras fuentes como motores, relés y transformadores. Uno de los cables se usa para llevar señales al receptor y el otro sólo se usa como señal de referencia de tierra. El receptor usa la diferencia entre ambos.



Un cable de par trenzado es un manojo de uno o más pares trenzados rodeados por un aislante. Existen 2 tipos de cables trenzados: el par trenzado sin apantallar o UTP (*Unshielded Twisted Pair*), que es el más utilizado, y el par trenzado apantallado o STP (*Shielded Twisted Pair*). El cable STP tiene una envoltura metálica o un recubrimiento

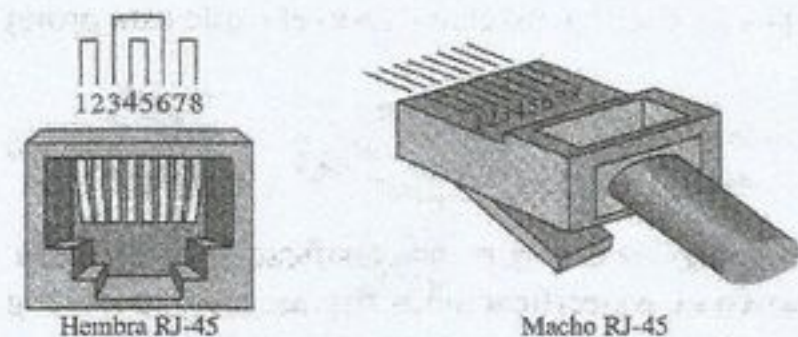
de malla entrelazada que rodea cada par de conductores aislados. Aunque la envoltura metálica mejora la calidad del cable previniendo la penetración de ruido o de interferencias, el cable ocupa más y es más caro razón por la cual goza de menor popularidad. Nuestro estudio se centrará principalmente sobre el cable UTP por ser el más utilizado.

Se pueden utilizar para transmisión tanto analógica como digital, permitiendo realizar transmisiones a varios kilómetros de distancia sin amplificar. Su ancho de banda depende del calibre del conductor y de la distancia a recorrer.

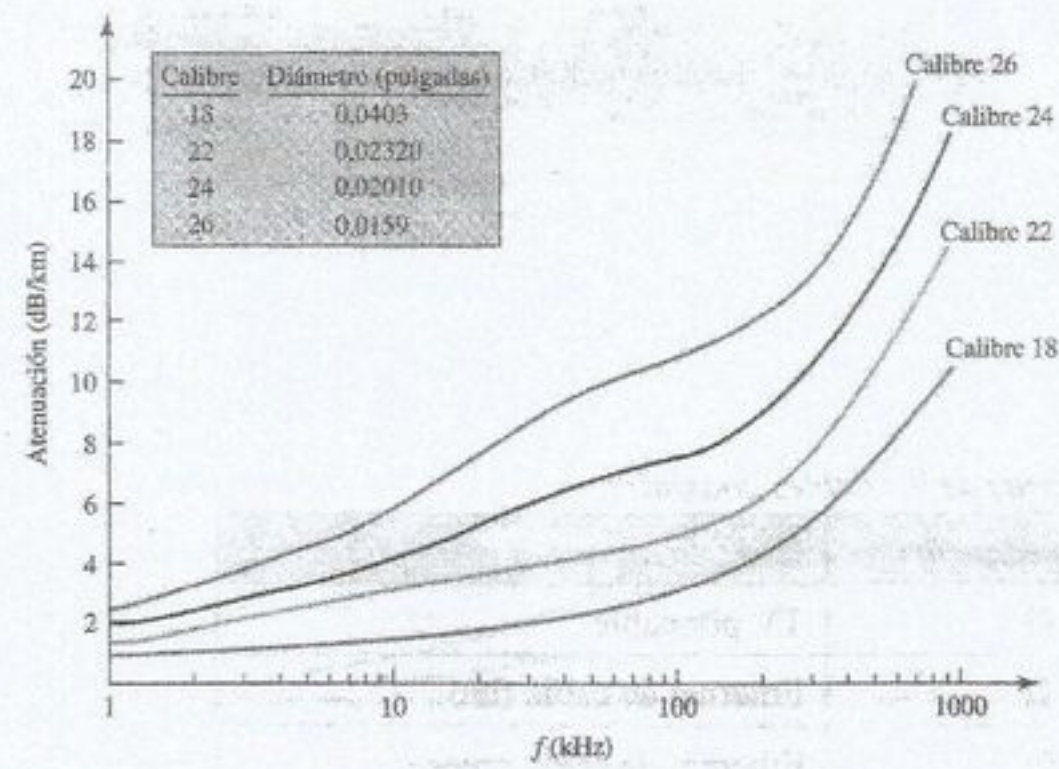
La EIA (Asociación de Industrias Electrónicas) ha desarrollado estándares para clasificar los cables de par trenzado en categorías según la calidad de los mismos. Estas categorías especifican propiedades eléctricas para el cable: atenuación, capacidad de la línea e impedancia. De entre las categorías que define, destacamos por su importancia en las redes de computadoras los siguientes:

- Categoría 3. Consiste en un cable formado por cuatro pares y nueve trenzas por metro. Tiene capacidad para manejar señales de 16 MHz de ancho de banda. Es el cable requerido para la norma 10BASE-T (Ethernet a 10 Mbps).
- Categoría 5. Define un cable de cuatro pares similar a los de categoría 3, pero con más vueltas por metro, lo que produce una menor diafonía y una señal de mejor calidad a distancias más largas. Maneja señales de hasta 100 MHz de ancho de banda. Es uno de los cables utilizados para la norma IEEE 802.3u (variante 100BASE-T2) o Fast Ethernet, pudiéndose utilizar también bajo la norma IEEE 803.ab (1000BASE-T) o Gigabit Ethernet. Existe una versión mejorada conocida como categoría 5E (*enhanced*) diseñada y fabricada de una manera más cuidadosa de modo que ofrece mejores resultados frente a la atenuación y a las interferencias.
- Categoría 6. Define un cable de cuatro pares similar a los anteriores. Maneja señales de hasta 250 MHz de ancho de banda. Es el cable utilizado para la norma IEEE 802.3an (10GBASE-T) o 10Gigabit Ethernet.

Los conectores más usados son los RJ45. Es un conector de posición única, lo que significa que el conector se puede insertar solo de una forma.



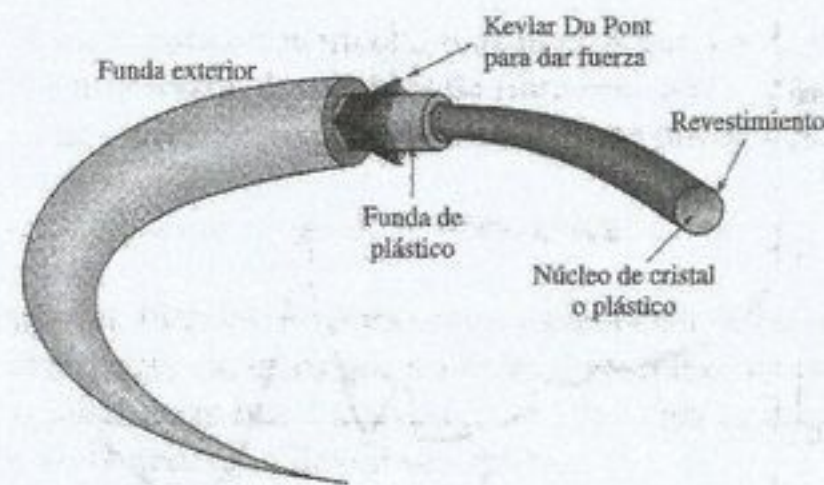
Un cable de par trenzado puede transmitir un amplio rango de frecuencias. Sin embargo, a medida que aumenta la frecuencia, la atenuación aumenta acusadamente (cuando se sobrepasan los 100 kHz), tal y como vemos en la siguiente figura, donde el calibre, conocido como AWG, es la medida del espesor del cable.



Fibra óptica.

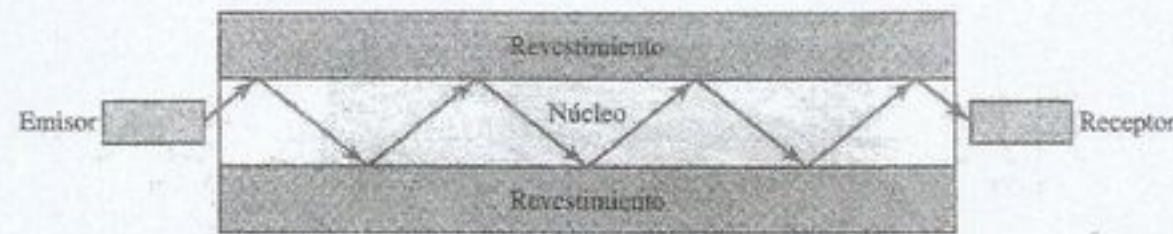
La naturaleza de la información deja de ser eléctrica para convertirse en pulsos de luz. Un pulso de luz puede utilizarse para indicar un bit de valor 1 y la ausencia de luz para indicar el 0. Al no ser eléctrica la información que circula, sino pulsos de luz, es insensible a las interferencias electromagnéticas y a las alteraciones de voltaje.

La fibra óptica está compuesta por un núcleo de cristal o plástico que es el conductor de la señal luminosa y presenta una atenuación despreciable, un revestimiento y una cubierta externa protectora. El rayo no puede escapar del núcleo debido a las reflexiones internas. Además no es posible la adición de señales externas. La funda exterior está hecha con PVC o teflón. Dentro del revestimiento hay tiras de Kevlar para fortalecer el cable. Debajo del Kevlar hay otra capa de plástico para proteger la fibra. La fibra está en el centro del cable y está formada por el revestimiento y el núcleo.



Cuando un rayo de luz pasa de un medio a otro, por ejemplo del silicio fundido al aire, sufre una refracción (se desvía) en la frontera de los dos medios. Para ángulos de incidencia que se encuentren por encima de un valor crítico, la luz se refracta y llega al silicio, nada de ella escapa al aire. Así el rayo de luz que incida por encima del mencionado ángulo crítico, queda atrapado en el interior de la fibra y puede propagarse a lo largo de varios kilómetros sin tener ninguna pérdida.

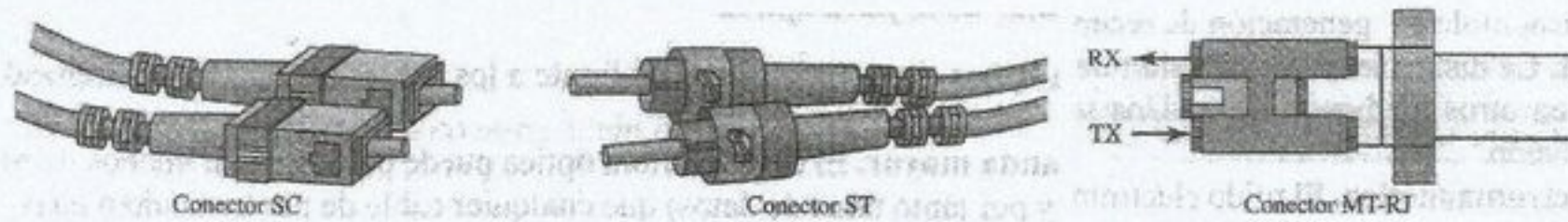
Dado que cualquier rayo de luz incidente, por encima del ángulo crítico, se reflejará internamente, existirán una gran cantidad de rayos diferentes rebotando a distintos ángulos. A esta situación se le conoce como fibra multimodo. Sin embargo, si el diámetro de la fibra se reduce al valor de la longitud de onda de la luz, la fibra actúa como una guía de ondas, y la luz se propaga en línea recta sin rebotar, produciendo así una fibra de un solo modo conocida como fibra monomodo. Las fibras monomodo son más caras pero se pueden utilizar en distancias más grandes.



Las fibras ópticas se definen por la relación entre el diámetro de su núcleo y el diámetro de su cubierta, ambas expresadas en micrones (micrómetros). Los tamaños más frecuentes se muestran en la siguiente tabla:

Tipo de fibra	Núcleo (micrones)	Revestimiento (micrones)	Modo
50/125	50,0	125	Multimodo
62,5/125	52,5	125	Multimodo
100/125	100,0	125	Multimodo
9/125	8,3	125	Monomodo

Hay varios tipos de conectores para cables de fibra óptica. De ellos, podemos destacar el conector SC (*Subscriber Channel*) utilizado para la electrónica de consumo, el conector ST (*Straight Tip*) utilizado en dispositivos de red, y el conector MT-RJ que es del mismo tamaño que el RJ45.



Las fibras proporcionan un gran ancho de banda con poca pérdida de potencia, por ello para distancias muy largas hay pocos repetidores economizando el tendido de las líneas. Otra ventaja es que no se ven afectadas por alteraciones de voltaje o corriente en las líneas de potencia ni tampoco por interferencias electromagnéticas.

Líneas eléctricas.

En los últimos años ha surgido un creciente interés en el uso de las líneas eléctricas como medio de transmisión de datos, siendo posible hoy en día utilizarlas en las LAN domésticas.

3.2.2 Medios no guiados

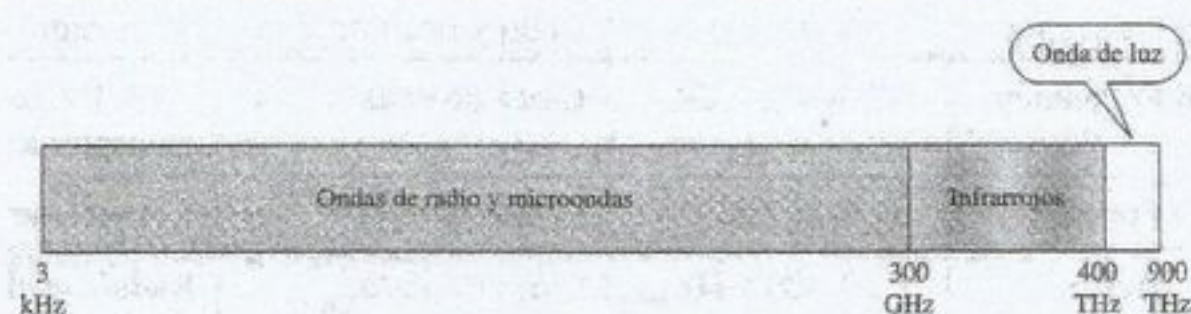
Los medios no guiados transportan ondas electromagnéticas sin usar un conductor físico. Este tipo de comunicación se denomina a menudo comunicación inalámbrica. Las señales se radian a través del aire y, por tanto, están disponibles para cualquiera que tenga un dispositivo capaz de recibirlas.

Las señales no guiadas pueden viajar del origen al destino de distintas formas: en superficie, por el cielo y en línea de visión. En la propagación en superficie, las ondas de radio viajan a través de la porción más baja de la atmósfera, abrazando a la tierra. A las frecuencias más bajas, las señales emanan en todas las direcciones desde la antena de transmisión y siguen la curvatura del planeta. La distancia depende de la potencia de la señal. En la propagación por el cielo, las ondas de radio con una frecuencia mayor se radian hacia arriba en la ionosfera donde se reflejan hacia la superficie de la tierra. Este tipo de transmisión permite distancias mayores con una potencia de salida menor. En la propagación por línea de vista se transmiten señales de muy alta frecuencia directamente de antena a antena siguiendo una línea recta. Las antenas deben ser direccionales, estando enfrentadas entre sí y, o bien están suficientemente altas o suficientemente juntas para no verse afectadas por la curvatura de la tierra. La propagación por línea de

vista presenta mayores dificultades porque las transmisiones de radio no se pueden enfocar completamente.



Se pueden dividir las transmisiones inalámbricas en tres grandes grupos: ondas de radio, microondas y ondas infrarrojas. La siguiente figura muestra la parte del espectro electromagnético, que varía entre 3 kHz y 900 THz, usado para la comunicación inalámbrica.



Ondas de radio.

Las ondas electromagnéticas entre las frecuencias de 3 kHz y de 1 GHz se denominan normalmente ondas de radio, y, en su mayor parte, son omnidireccionales, lo que significa que cuando una antena transmite ondas de radio, se propagan en todas las direcciones. Por tanto, las antenas emisoras y receptoras no necesitan estar alineadas, aunque tienen la desventaja de que son susceptibles de ser interferidas por otra antena que envíe señales en la misma banda o frecuencia.

Las ondas de radio, particularmente aquellas que se propagan por el cielo, pueden viajar largas distancias. Esto hace que las señales de radio sean buenas candidatas para la emisión a larga distancia de radio AM.

Las ondas de radio, particularmente aquellas de frecuencia media y baja, pueden atravesar paredes. Esta característica es una ventaja porque permite recibir señales dentro de un edificio, pero también es una desventaja porque no se puede aislar la comunicación dentro o fuera del edificio.

La banda de ondas de radio es relativamente estrecha, comparada con la de microondas. Cuando esta banda se divide en sub-bandas, las sub-bandas también son estrechas, lo que conduce a una baja velocidad de datos para las comunicaciones digitales.

Casi toda la banda está regulada por las autoridades (por ejemplo, la FCC en Estados Unidos). Usar cualquier parte de la banda requiere permisos de las autoridades.

Las ondas de radio usan antenas omnidireccionales. Una antena es un conductor eléctrico utilizado para radiar y/o captar energía electromagnética. En general, una antena radiará potencia en todas las direcciones, si bien normalmente no lo hará igual de bien en todas ellas. Esto se caracteriza mediante su diagrama de radiación, el cual consiste en una representación gráfica de las propiedades de radiación de la antena en función de la dirección. El diagrama de radiación más simple lo proporcionan las antenas

omnidireccionales ideales o isotrópicas, que radian potencia de igual forma en todas las direcciones.

La ganancia de una antena es una medida de su direccionalidad. Dada una dirección, se define la ganancia de una antena como la potencia de salida en esa dirección, comparada con la potencia transmitida en cualquier dirección por una antena omnidireccional ideal. El incremento de potencia radiada en una dirección dada se consigue a expensas de la potencia radiada en las otras direcciones.

Las características omnidireccionales de las ondas de radio las hacen útiles para los envíos *multicast*, en los que hay un emisor pero muchos receptores. La radio AM y FM, la televisión y los teléfonos inalámbricos son ejemplos de envíos *multicast*.

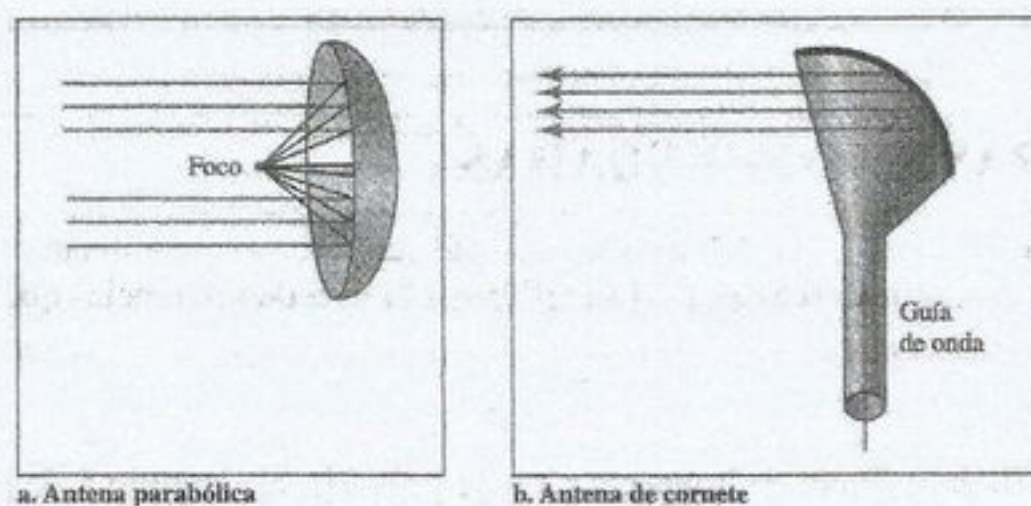
Microondas.

Las ondas electromagnéticas con frecuencias entre 1 y 300 GHz se denominan microondas. Las microondas son unidireccionales, lo que significa que las antenas emisoras y receptoras deben estar alineadas. La propiedad unidireccional tiene la ventaja de que un par de antenas se pueden alinear sin que sean interferidas por otras antenas. A continuación se describen algunas características de la propagación de las microondas:

- Propagación por línea de vista. Puesto que las torres con las antenas montadas deben verse entre sí directamente, las torres que están muy lejos deben ser muy altas. A menudo se necesitan repetidores para la comunicación a larga distancia.
- Las microondas de frecuencia muy alta no penetran las paredes.
- La banda de microondas es relativamente ancha. Por tanto, se pueden asignar sub-bandas más anchas y se consigue una mayor velocidad de datos.
- El uso de ciertas porciones de la banda necesita permiso de las autoridades.

Las antenas de los microondas son tradicionalmente unidireccionales. Se usan dos tipos de antenas para la comunicación vía microondas: parabólicas y de cornete.

Una antena parabólica se basa en la geometría de una parábola: cada línea paralela a la línea de simetría (línea de vista) refleja la curva en ángulos que intersecan en un punto común denominado foco. El plato parabólico funciona como un embudo, capturando un amplio rango de ondas y dirigiéndolas a un punto común. De esta forma, se recupera más señal de lo que sería posible con un receptor de punto único. Las transmisiones de salida se radian a través de un cornete apuntado al disco. Las microondas golpean el disco y son deflexionadas hacia fuera.



Una antena de cornete se parece a una cuchara gigante. Las transmisiones de salida son radiadas hacia arriba por un mástil y deflexionadas hacia fuera en una serie de estrechos haces paralelos mediante la cabeza curvada. Las transmisiones recibidas son

recolectadas por la forma de cuchara del cornete, de forma similar a la antena parabólica, y son deflexionadas mástil abajo.

Las microondas, debido a su propiedad unidireccional, son muy útiles cuando se necesitan comunicaciones *unicast* (uno a uno) entre el emisor y el receptor. Se usan en los teléfonos móviles, redes de satélites y redes inalámbricas.

Infrarrojos.

Las ondas infrarrojas, con frecuencias entre 300 GHz y 400 THz se pueden usar para comunicaciones de corto alcance. Las ondas infrarrojas, que tienen altas frecuencias, no pueden penetrar las paredes, lo que evita interferencias entre un sistema y otro, pero hace que sean inútiles para comunicaciones a larga distancia. Además, no se pueden usar fuera de un edificio porque los rayos de sol contienen este tipo de ondas y pueden interferir la comunicación.

La banda infrarroja, casi 400 THz, tiene un potencial excelente para la transmisión de datos. Un ancho de banda tan grande se puede usar para transmitir datos digitales a una gran velocidad. La Asociación de datos con infrarrojos (IrDA), ha establecido estándares para usar estas señales en la comunicación entre dispositivos tales como teclados, ratones, PC e impresoras (por línea de vista).

4 Adaptación al medio de transmisión.

A la hora de realizar la transmisión datos, éstos deben ser adaptados a las características propias del medio de transmisión a utilizar.

En este apartado vamos a centrar nuestro estudio en la transmisión de datos digitales, por ser éstos los utilizados por un computador. No obstante, debemos mencionar que para el caso de los datos analógicos, éstos serán digitalizados para su transmisión digital (mediante técnicas como PCM, modulación por codificación de pulsos; o DM, modulación delta); o modulados para su transmisión analógica (mediante técnicas de modulación en amplitud, como AM; modulación en frecuencia, como FM; o modulación en fase, como PM).

4.1 Transmisión digital.

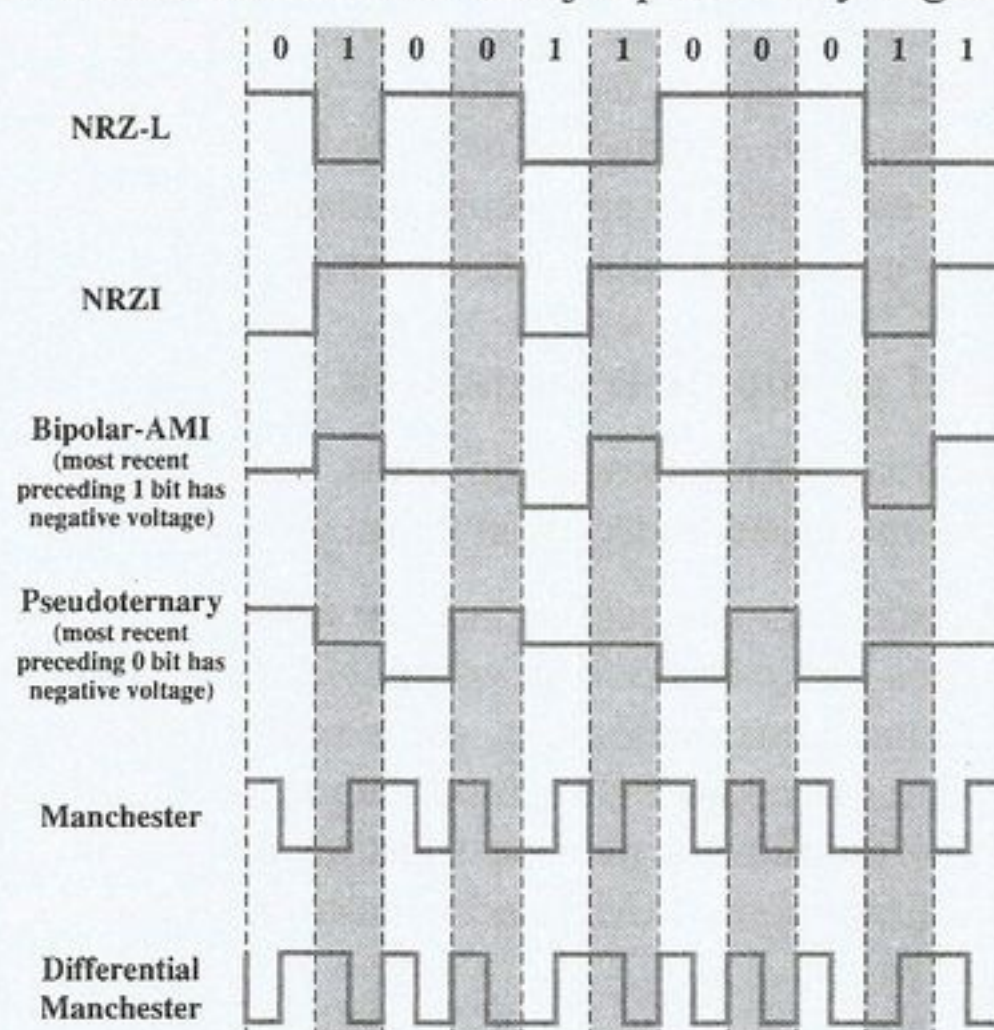
La conversión de datos digitales para su transmisión digital involucra tres técnicas: codificación de línea, codificación de bloques y la aleatorización (*scrambling*). La codificación de línea siempre es necesaria; la codificación de bloques y la aleatorización pueden no ser necesarios.

4.1.1 Codificación de línea.

La codificación de línea es el proceso de convertir datos digitales en señales digitales. De entre los diferentes esquemas de codificación de la línea destacamos:

- Esquemas polares. Los voltajes se encuentran a ambos lados del eje del tiempo. Por ejemplo, el nivel de voltaje para el 0 puede ser positivo y el nivel de voltaje para el 1 puede ser negativo. Destacan:
 - Sin retorno a cero (NRZ). Se utilizan dos niveles de amplitud de voltaje. Hay dos versiones: NRZ-L y NRZ-I. En NRZ-L (nivel NRZ), el nivel de voltaje determina el valor del bit. En NRZ-I (NRZ invertido), el cambio o falta de cambio en el nivel de voltaje determina el valor del bit. Si no hay cambio, el bit es 0, si hay cambio, el bit es 1.

- Bifásica: Manchester y Manchester diferencial. En la codificación Manchester, la duración del bit se divide en dos mitades. El voltaje permanece en un nivel durante la primera mitad y cambia de nivel en la segunda mitad. La transición en la mitad del bit proporciona sincronización. En la codificación Manchester diferencial siempre hay una transición en la mitad del bit, pero los valores del bit se determinan al comienzo del bit. Si el siguiente bit es 0, hay una transición; si el siguiente bit es 1 no la hay.
- Esquemas bipolares. Hay tres niveles de voltaje: positivo, negativo y cero. El nivel de voltaje para un elemento de datos está en el cero, mientras que el nivel de voltaje para otro elemento alterna entre positivo y negativo. Destacan:
 - Bipolar con inversión de marca alternada (AMI). Un valor de voltaje neutral representa un 0 binario, mientras que los unos binarios se representan alternando voltajes positivos y negativos.
 - Codificación pseudoternaria. Un bit 1 se codifica como un voltaje cero y un bit 0 se codifica alternando voltajes positivos y negativos.



- Esquemas multinivel. El objetivo es incrementar el número de bits por baudio codificando un patrón de m elementos de datos en un patrón de n elementos de señal. Sólo hay dos tipos de elementos de datos (0 y 1), lo que significa que un grupo de m elementos de datos puede producir una combinación de 2^m patrones de datos. Con L niveles diferentes se pueden producir L^n combinaciones de patrones de señal. Si $2^m = L^n$, entonces cada patrón de dato se codifica en el mismo patrón de señal. Si $2^m < L^n$, los patrones de datos ocupan sólo un subconjunto de los patrones de señal. La codificación de datos no es posible si $2^m > L^n$, debido a que algunos patrones de datos no se pueden codificar. Se clasifican estos tipos de codificación como $mBnL$, donde m es la longitud del patrón binario, B significa dato binario, n es la longitud del patrón de señal y L es el número de niveles de la señal. Con frecuencia se usa B (binario) para $L = 2$, T (ternario) para $L = 3$, y Q (cuaternario) para $L = 4$. Las dos primeras letras definen el patrón de datos y las dos segundas definen el patrón de señal. Destacan:
 - 2B1Q. Utiliza patrones de tamaño 2 y codifica patrones de dos bits como un elemento de señal que pertenece a una señal de cuatro niveles. Utili-

zando 2B1Q se pueden enviar datos dos veces más rápido que utilizando NRZ-L. Sin embargo, 2B1Q utiliza cuatro niveles de señal diferentes, lo que significa que el receptor tiene que discernir cuatro umbrales diferentes. 2B1Q se utiliza en la tecnología HDSL (*High Data Rate Digital Subscriber Line*).

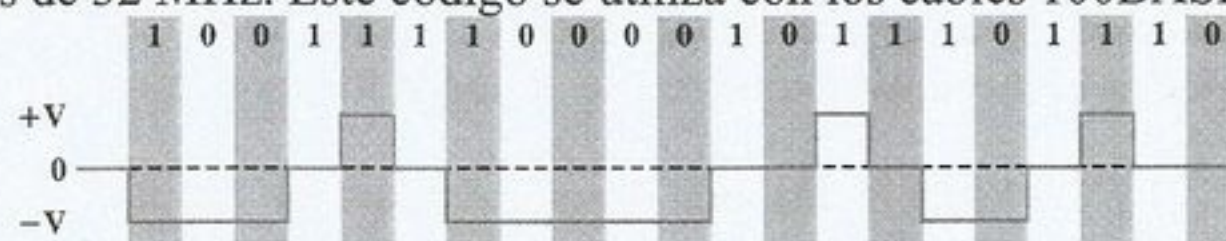
- 8B6T. La idea es codificar un patrón de 8 bits como un patrón de 6 elementos de señal, donde la señal tiene tres niveles (ternario). En este tipo de esquema, se pueden tener 2^8 (256) patrones de datos diferentes y 3^6 (478) patrones de señal diferentes. Hay $478 - 256 = 222$ elementos de señal redundantes que ofrecen sincronización y detección de errores. Este código se utiliza con los cables 100BASE-4T.
- 4D-PAM5. El término 4D significa que los datos se envían utilizando cuatro cables al mismo tiempo. Utiliza cinco niveles de voltaje, tales como -2, -1, 0, 1 y 2. Sin embargo, el nivel 0, se utiliza sólo para detección de errores. Si se asume que el código es de una dimensión, los cuatro niveles crean algo similar a 8B4Q. En otras palabras, una palabra de 8 bits se traduce en un elemento de señal de cuatro niveles diferentes.

La técnica se diseñó para enviar datos sobre cuatro canales (cuatro cables). Las redes LAN Gigabit utilizan esta técnica para enviar datos a 1 Gbps sobre cuatro cables de cobre que pueden manejar 125 Mbaudios. Este esquema tiene mucha redundancia en el patrón de señales debido a que 2^8 (256) patrones de datos se hacen corresponder con 4^4 (256) patrones de señales. Los patrones de señales extra se pueden utilizar para otros propósitos como la detección de errores.

- Transmisión multilínea. Si se tiene una señal con más de dos niveles, se puede diseñar un esquema de codificación diferencial con más de dos reglas de transición.

- MLT-3. Es un esquema que utiliza tres niveles (+V, 0 y -V) y tres reglas de transición para moverse entre los niveles.
 1. Si el siguiente bit es 0, no hay transición.
 2. Si el siguiente bit es 1 y el nivel actual no es 0, el siguiente nivel es 0.
 3. Si el siguiente bit es 1 y el nivel actual es 0, el siguiente nivel es el opuesto al último nivel distinto de cero.

La forma de la señal en este esquema ayuda a reducir el ancho de banda requerido. Esto hace de MLT-3 un esquema adecuado cuando se necesitan enviar datos a 100 Mbps sobre un cable de cobre que no puede soportar más de 32 MHz. Este código se utiliza con los cables 100BASE-TX.



4.1.2 Codificación de bloques.

La codificación de bloques ofrece redundancia para asegurar la sincronización y ofrecer detección de errores, mejorando las prestaciones de la codificación de línea. En general, la codificación de bloques, cambia un bloque de m bits en un bloque de n bits, donde n es mayor que m . Se conoce también como técnica de codificación mB/nB .

La codificación de bloques normalmente involucra tres etapas: división, sustitución y combinación. En la etapa de división, una secuencia de bits se divide en grupos de m bits. En la etapa de sustitución se sustituye un grupo de m bits por un grupo de n

bits. Finalmente, los grupos de n bits se combinan juntos para formar un flujo. El nuevo flujo tiene más bits que los bits originales.

Un ejemplo es 4B/5B-NRZI, que es el esquema de codificación usado en 100BASE-X. La secuencia original de bits se divide en grupos de 4 bits, y en la codificación se sustituye un código de 4 bits por un grupo de 5 bits. Fue diseñado para su utilización en combinación con NRZ-I, ya que NRZ-I consume la mitad de ancho de banda que las bifásicas, pero una larga secuencia de ceros hace que el receptor pierda la sincronización. Una solución es cambiar el flujo de bits para que no aparezcan grandes secuencias de 0. Con el esquema 4B/5B el flujo codificado en bloques no tiene más de tres ceros consecutivos. En el receptor, la señal codificada mediante NRZ-I es decodificada primero a un flujo de bits y luego decodificada para eliminar la redundancia.

Un grupo de 4 bits puede tener sólo 16 combinaciones diferentes mientras que un grupo de 5 bits puede tener 32 combinaciones diferentes. Esto significa que hay 16 grupos que no se utilizan en la codificación 4B/5B. Algunos de estos grupos se emplean para control; los otros no se utilizan. Si llega un grupo de 5 bits que pertenece a una porción no usada, el receptor sabe que hay un error en la transmisión.

4.1.3 Aleatorización

Ni los esquemas bifásicos ni la combinación de la codificación de bloques y la codificación NRZ son adecuados para la comunicación a largas distancias. La codificación bipolar AMI sí lo es, pero una larga secuencia de 0 provoca problemas de sincronización. Una solución es la aleatorización. Se modifica parte de la regla AMI para incluir aleatorización, la cual se realiza al mismo tiempo que la codificación. El sistema necesita insertar los pulsos requeridos de acuerdo a las reglas de aleatorización definidas. Dos técnicas comunes de aleatorización son B8ZS y HDB3.

4.2 Transmisión analógica.

Una onda sinusoidal se define por tres características: amplitud, frecuencia y fase. Cuando se cambian cualquiera de estas características, se crea una segunda versión de esta onda. La modulación consiste en cambiar una característica de una señal eléctrica para representar datos. Cualquiera de las tres características citadas puede alterarse de esta forma, dándonos al menos tres mecanismos para modular datos digitales en señales analógicas: Modulación por desplazamiento de amplitud (ASK, *Amplitude Shift Keying*), Modulación por desplazamiento de frecuencia (FSK, *Frequency Shift Keying*) y Modulación por desplazamiento de fase (PSK, *Phase Shift Keying*). Además, hay un cuarto mecanismo (y mejor) que combina cambios en fase y amplitud y que se denomina modulación de amplitud en cuadratura (QAM). QAM es la más eficiente de estas opciones y es el mecanismo que se usa en todos los módems modernos.

4.2.1 Modulación por desplazamiento de amplitud (ASK, *Amplitude Shift Keying*).

Dada la señal portadora $S_p(t) = A \sin(2\pi Ft + \theta)$, donde S_p se ha seleccionado adecuadamente de forma que se propaga por canales que admiten la frecuencia F , en la modulación en amplitud incluimos la información en la amplitud si $A = M(t)$, donde $M(t)$ representa el mensaje en función del tiempo. La señal que introducimos en el canal S_c es $S_c(t) = M(t) \sin(2\pi Ft + \theta)$. Por tanto, $S_c(t) = M(t) * S_p(t)$. El espectro de $S_c(t)$ está muy próximo a $S_p(t)$, el cual sabemos que se propaga correctamente por el canal.

De este modo, en lugar de transmitir $M(t)$, transmitiremos $Sp(t)$ que contiene la misma información y es fácilmente transportable. Esto es un desplazamiento del espectro de frecuencias. El valor del desplazamiento es la frecuencia de la señal portadora usada para modular. La información viaja en la amplitud de la señal.

Para transmisión de datos digitales la modulación en amplitud se conoce como modulación ASK. Los 2 valores binarios se representan mediante 2 amplitudes distintas de la portadora: $Sc(t) = A \text{ sen}(2\pi Ft + \theta)$, para el 1, y $Sc(t) = 0$, para el 0. La modulación ASK es susceptible a los cambios de ganancia, por lo que sobre líneas telefónicas sólo se usa hasta 1200 bps. También se suele usar en fibra óptica.

Se puede tener un ASK multinivel con más de dos niveles. Se pueden usar 4, 8, 16 o más amplitudes distintas para la señal y modular los datos usando 2, 3, 4 o más bits al tiempo. Aunque no se implemente con ASK puro, se implementa con QAM.

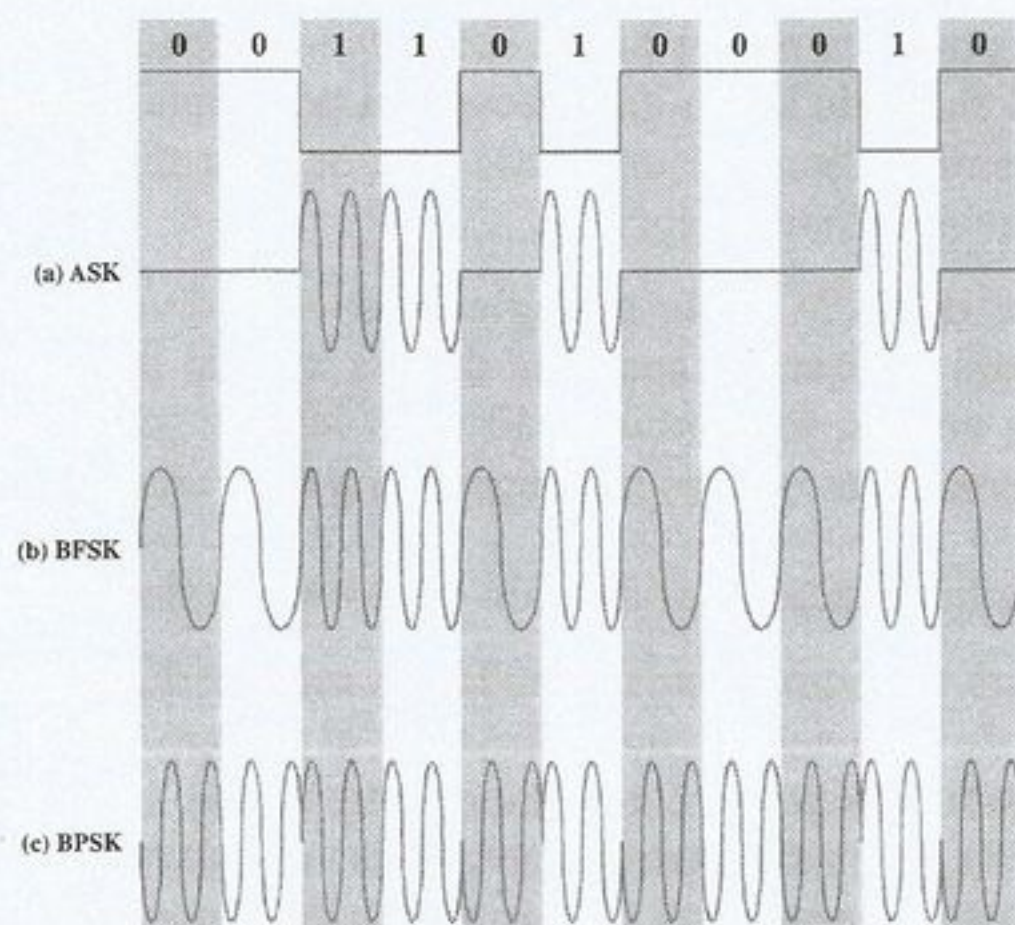
4.2.2 Modulación por desplazamiento de frecuencia (FSK, *Frequency Shift Keying*).

La modulación en frecuencia modifica el parámetro de la frecuencia en la señal sinusoidal portadora, de manera que la información reside en la frecuencia. En este caso, la señal que introduciremos en el canal será $Sc(t) = A * \text{sen}(2\pi M(t)t + \theta)$.

Para transmisión de datos digitales la modulación en frecuencia se conoce como modulación FSK. La forma más común de FSK es BFSK (FSK binario), donde los 2 valores binarios se representan mediante 2 frecuencias diferentes: $Sc(t) = A * \text{sen}(2\pi F_1t + \theta)$, para el 1, y $Sc(t) = A * \text{sen}(2\pi F_2t + \theta)$, para el 0. En general, la modulación FSK consume más ancho de banda que la modulación en amplitud pero es menos sensible al ruido del canal.

4.2.3 Modulación por desplazamiento de fase (PSK, *Phase Shift Keying*).

En la modulación en fase codificamos la información del mensaje en la fase de la señal portadora, de forma que $Sc(t) = A * \text{sen}(2\pi Ft + M(t))$. En el caso de datos digitales la modulación en fase se conoce como modulación PSK. En la figura siguiente se muestra BPSK (PSK binario) en contraste con ASK y BFSK.



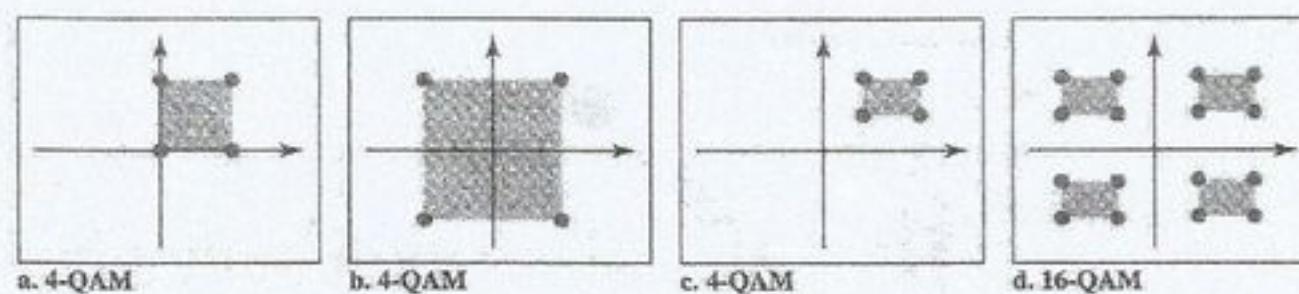
Se puede hacer un uso más eficaz del ancho de banda si cada señal representa más de un bit. Por ejemplo, cambios de fase 90 grados en lugar de 180 grados, es lo que

se conoce como cuadratura de fase (QPSK). En ella se usan las cuatro fases siguientes: 45° , -45° , 135° y -135° , para codificar 2 bits en cada una de ellas.

4.2.4 Modulación de amplitud en cuadratura (QAM).

PSK está limitado por la habilidad de los equipos de distinguir pequeñas diferencias en fase. Usar dos portadoras, una en fase y otra en cuadratura, con distintos niveles de amplitud para cada portadora es el concepto que subyace tras QAM.

Las variaciones posibles de QAM son numerosas. La siguiente figura muestra algunos de estos esquemas. En el caso (a) se muestra el esquema 4-QAM más sencillo (cuatro tipos distintos de elementos de señal) usando una señal NRZ unipolar para modular cada portadora. La parte (b) muestra otro 4-QAM usando NRZ polar, equivalente a QPSK. La parte (c) muestra otra 4-QAM en el que se ha usado una señal con dos niveles positivos para modular cada una de las portadoras. Finalmente, la parte (d) muestra una constelación 16-QAM de una señal con ocho niveles, cuatro positivos y cuatro negativos.



Por último, destacar que QAM se utiliza en ADSL (*Asymmetric Digital Subscriber Line*).

4.3 Multiplexación.

Siempre que el ancho de banda de un medio que enlaza dos dispositivos es mayor que el ancho de banda que necesitan los dispositivos, el enlace se puede compartir. La multiplexación es el conjunto de técnicas que permiten la transmisión simultánea de múltiples señales a través de un único enlace de datos.

4.3.1 Multiplexación por división de frecuencia (FDM).

Se utiliza para transmitir datos en señales analógicas. Se puede usar cuando el ancho de banda del medio es mayor que la suma de los anchos de banda de los posibles canales. Cada señal se modula con una frecuencia portadora distinta, y las frecuencias portadoras están lo suficientemente separadas para que los anchos de banda de las señales no se solapen (previene interferencias).

Una variante de FDM es la multiplexación por división de longitud de onda (WDM), diseñada para utilizar la capacidad de alta tasa de datos de la fibra óptica. La idea de WDM es la misma: se combinan distintas señales sobre frecuencias diferentes. Sin embargo, la diferencia es que las frecuencias son muy altas.

4.3.2 Multiplexación por división en el tiempo síncrona (TDM).

Se utiliza para transmitir datos digitales en señales digitales o analógicas. Se intercalan posiciones de cada señal a multiplexar en el tiempo. En el multiplexor la capacidad del canal de salida debe ser como mínimo igual a la suma de las capacidades de los canales de entrada. Se llama síncrona porque las ranuras de tiempo están preasignadas a las fuentes y permanecen fijas, de forma que cada ranura de tiempo es usada por su fuente correspondiente independientemente de que tenga o no datos que transmitir.

4.3.3 Multiplexación por división en el tiempo estadística (TDME).

Se utiliza para transmitir datos digitales en señales digitales o analógicas. El multiplexor examina el buffer y coge la información de la fuente que quiere enviar y los envía. El demultiplexor recoge los datos y los redistribuye a sus canales de salida. Esta implementación es algo más compleja, ya que es necesario añadir información para saber quien está enviando. La velocidad de la línea multiplexada puede ser menor que la suma de las velocidades de todas las líneas de entrada, puesto que no todas las líneas transmiten al mismo tiempo, y si lo hacen pueden emplearse búferes.

4.3.4 Acceso Múltiple por División de Código (CDMA, *Code Division Multiple Access*).

CDMA permite que cada estación transmita todo el tiempo a través de todo el espectro de frecuencia, gracias a que supone que las tramas que colisionan no son totalmente distorsionadas, sino que se agregan múltiples señales de forma lineal. La clave de CDMA es tener la capacidad de extraer la señal deseada y rechazar todo lo demás como ruido aleatorio.

En CDMA, cada tiempo de bit se subdivide en m intervalos cortos llamados chips. Por lo general, hay 64 ó 128 chips por bit. A cada estación se le asigna un código único de m bits llamado secuencia de chip. Para transmitir un bit 1, una estación envía su secuencia de chips. Para transmitir un bit 0, envía el complemento de uno de su secuencia de chips. No se permiten otros patrones. El incremento de la cantidad de información que se va a enviar de b bits/seg a mb chips/seg sólo puede realizarse si el ancho de banda disponible se incrementa por un factor de m , lo que hace de CDMA una forma de comunicaciones de espectro expandido. Por ejemplo, si tenemos una banda de 1 MHz disponible para 100 estaciones, con FDM cada una tendría 10 kHz y podría enviarse a 10 kbps (suponiendo 1 bit por Hz). Con CDMA, cada estación utiliza completamente el MHz, por lo que la tasa de chips es de 1 megachip por segundo. Con menos de 100 chips por bit, el ancho de banda efectivo por estación es mayor para CDMA que FDM.

4.4 Espectro expandido.

El espectro expandido se diseñó para su uso en aplicaciones inalámbricas (LAN y WAN). La idea básica es la modulación de la señal, de modo que se incremente de manera significativa el ancho de banda (expansión del espectro) de la señal a transmitir con objeto de dificultar las interferencias y la interceptación.

Hay dos técnicas para ensanchar el ancho de banda: espectro expandido por salto de frecuencia (FHSS) y espectro expandido por secuencia directa (DSSS). Ambas variantes se utilizan en numerosos estándares de comunicaciones inalámbricas.

4.4.1 Espectro expandido por salto de frecuencia (FHSS).

FHSS es una técnica que utiliza M frecuencias portadoras diferentes que son moduladas por la señal origen. En un instante, la señal modula una frecuencia portada; en el siguiente, la señal modula otra frecuencia. Aunque la modulación se hace utilizando una frecuencia portadora cada vez, se usan M frecuencias durante un largo periodo.

4.4.2 Espectro expandido por secuencia directa (DSSS)

En DSSS se reemplaza cada bit de datos por n bits utilizando un código de expansión. En otras palabras, cada bit tiene asignado un código de n bits, denominados chips, donde la tasa de chips es n veces la tasa de bits de datos.

5 Limitaciones a la transmisión.

Las señales viajan a través de medios de transmisión, que no son perfectos. Las imperfecciones pueden causar deterioros en las señales, lo que significa que la señal al principio y al final del medio es distinta, pudiendo provocar que lo recibido no sea lo enviado.

5.1 Atenuación.

La atenuación es un efecto producido por el debilitamiento de la señal, debido a la resistencia eléctrica (impedancia) del canal de transmisión y otros elementos que intervienen. Se manifiesta en un descenso de la amplitud de la señal transmitida, esto es, una pérdida de energía.

Las señales eléctricas sufren una disminución de su nivel energético cuando se transmiten por cualquier medio. Es la resistencia eléctrica o impedancia, que no es una constante sino que depende de la frecuencia de la señal que el material debe transportar.

$$R = \frac{V}{I}$$

donde R es la resistencia o impedancia (medida en ohmios), V es la tensión eléctrica (medida en voltios) e I es la intensidad (medida en amperios).

La ley de Ohm relaciona la diferencia de tensión eléctrica entre los extremos del material y la intensidad que la atraviesa. Ningún medio puede efectuar una transmisión de señales sin dejar de perder potencia en dicho proceso. Se llama ganancia de un sistema a la proporción entre las potencias de salida y entrada. Esta proporción se mide en decibelios (dB).

$$\text{Número de dB} = 10 \log (\text{Pot. Salida} / \text{Pot. Entrada})$$

Si la potencia de salida es igual a la potencia entrada, la ganancia es de 0 dB. Si la potencia de salida es mayor que la potencia de entrada, se amplifica la señal. Si la potencia de salida es menor que la potencia de entrada, se atenúa la señal.

Existen 3 consideraciones a tener en cuenta respecto a la atenuación:

- La señal recibida debe tener la suficiente potencia para que los circuitos eléctricos del receptor puedan detectar e interpretar la señal.
- La señal debe mantenerse a un nivel suficientemente más alto que el ruido para que se reciba sin errores.
- La atenuación se incrementa con la frecuencia.

Las dos primeras consideraciones se resuelven cuidando la potencia de la señal y utilizando repetidores y amplificadores, mientras que la tercera se resuelve con ecualizadores.

La potencia en las señales digitales se concentra en frecuencias más bajas (alrededor de la frecuencia fundamental). Por tanto, en estas señales la atenuación no es un

factor muy importante. Las señales digitales se transmiten en un ancho de banda inferior y más resistente a la atenuación.

5.2 Distorsión.

La distorsión consiste en la deformación de la señal debido a que el canal se comporta de forma diferente para cada frecuencia.

Una señal lleva asociada una energía (potencia) que se distribuye de manera distinta según las frecuencias de las señales que la componen. Si todas las componentes perdieran potencia por igual se produciría atenuación. Sin embargo, en cualquier medio las amplitudes (potencia) se transmiten sin degradación de frecuencia, en una escala desde 0 hasta una determinada frecuencia de corte F_c , y a frecuencias superiores a F_c son fuertemente atenuadas. F_c es en algunos casos una propiedad del medio, y en otros un filtro introducido artificialmente cuya finalidad es limitar el ancho de banda disponible para cada usuario.

Además, la velocidad de propagación de la señal a través de un medio varía con la frecuencia. Las velocidades de propagación disminuyen en los extremos de la banda y aumenta cerca de la frecuencia central, de forma que los componentes que integran la señal llegan en momentos distintos.

En la transmisión de datos (bits) si algunas de las señales que componen el valor en la posición de un bit, se mezclan con las señales de las posiciones de otros bits se produce interferencia de símbolos. Este efecto es crítico en señales digitales.

Para eliminar o disminuir esta distorsión se utilizan técnicas de ecualización. Limitando el ancho de banda se homogeneiza la velocidad de los componentes. Sin embargo, limitar el ancho de banda implica disminuir la velocidad de transmisión.

5.3 Ruido.

El ruido consiste en la suma de múltiples interferencias, posiblemente de origen desconocido y de naturaleza aleatoria. Los propios componentes del canal generan ruido eléctrico. En ocasiones, el ruido es selectivo y se puede aislar, mientras que en otros casos está muy extendido en la gama de frecuencias y su neutralización se hace difícil.

Podemos clasificar el ruido en 4 categorías:

- Ruido térmico. Silbido de fondo producido por la agitación térmica de los electrones en el medio conductor. Es función de la temperatura y se distribuye uniformemente a través de todo el espectro de frecuencias, por ello se le conoce como ruido blanco y no puede eliminarse. Al amplificar la señal, se amplifica.
- Ruido de intermodulación. Señales no deseadas con una frecuencia que es la suma o diferencia de 2 frecuencias originales o un múltiplo de ellas.
- Diafonía (*Crosstalk*). Los conductores o líneas de transmisión no están alejadas sino que van juntos. Esta proximidad, según la ley de Faraday, hace que se cree un campo magnético alrededor de un conductor por el que pasa la corriente, y como consecuencia, ese campo magnético induce una corriente en los conductores sometidos a él. Puede reducirse o evitarse apantallando los conductores. Es del mismo orden de magnitud o menor que el ruido térmico.
- Ruido impulsivo. Ruido no continuo que consiste en pulsos irregulares o picos de corta duración y gran amplitud. Causado por perturbaciones electromagnéticas externas (rayos, etc.) y fallos o caídas del sistema de comunica-

ción. Es menos importante en transmisión de datos analógicos, pero es la primera causa de error en comunicaciones digitales. Consideremos por ejemplo un pico de energía de 0'01 seg., no afectará a una transmisión de voz, pero en una transmisión digital a 4800 bps pueden verse afectados casi 50 bits.

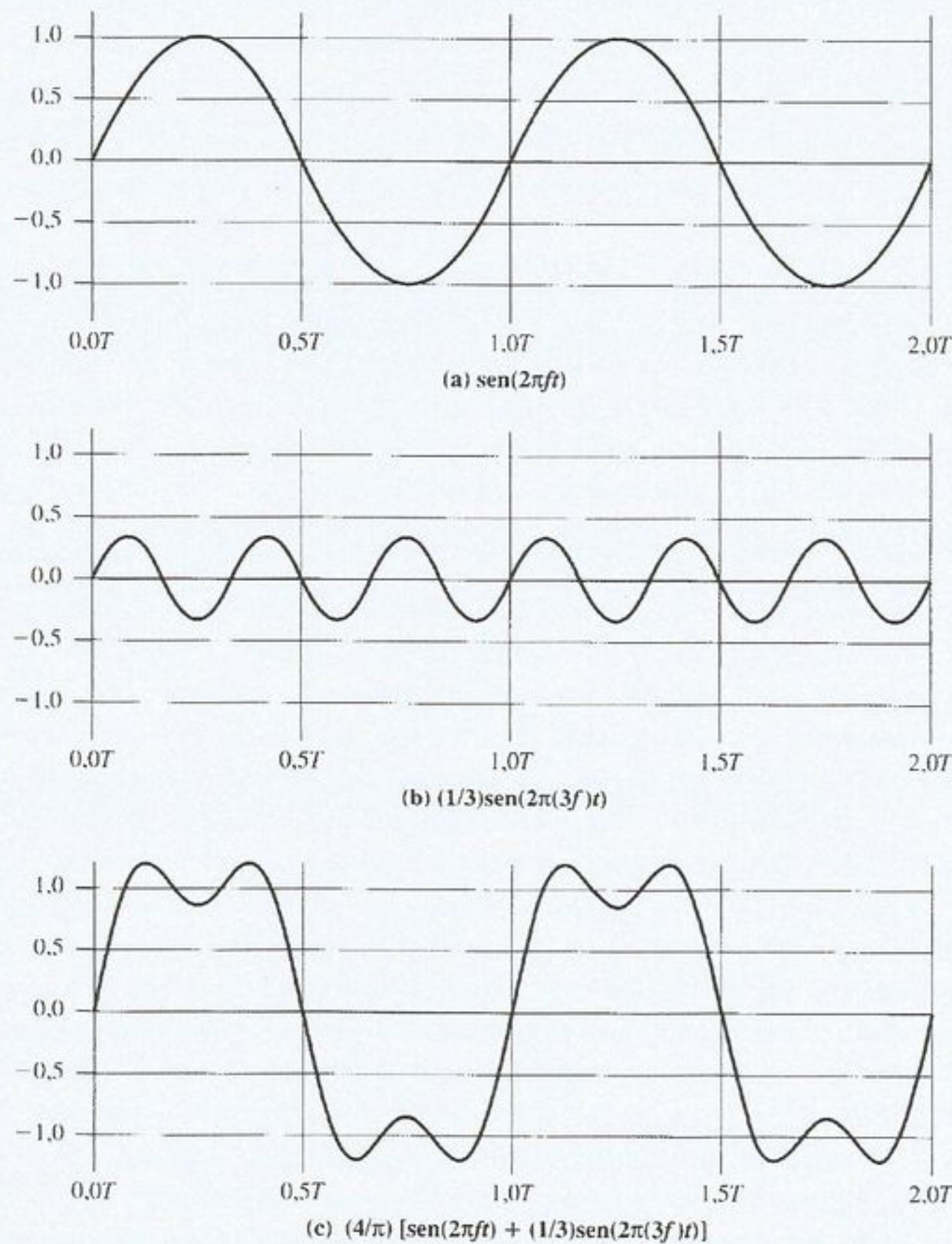
5.4 Límites de la velocidad de datos.

La velocidad de datos depende de tres factores: el ancho de banda disponible, los niveles de señal que se usan, y la calidad del canal (el nivel de ruido).

5.4.1 Ancho de banda.

Se puede demostrar matemáticamente mediante el análisis de Fourier que cualquier señal está constituida por componentes sinusoidales de distintas frecuencias, de modo que podemos afirmar que cualquier señal electromagnética está constituida por una colección de señales periódicas sinusoidales con diferentes amplitudes, frecuencias y fases.

En el ejemplo de la siguiente figura la señal (c) está compuesta por sólo dos términos seno correspondientes a las frecuencias f y $3f$. Dichas componentes se muestran en las partes (a) y (b) de la figura.

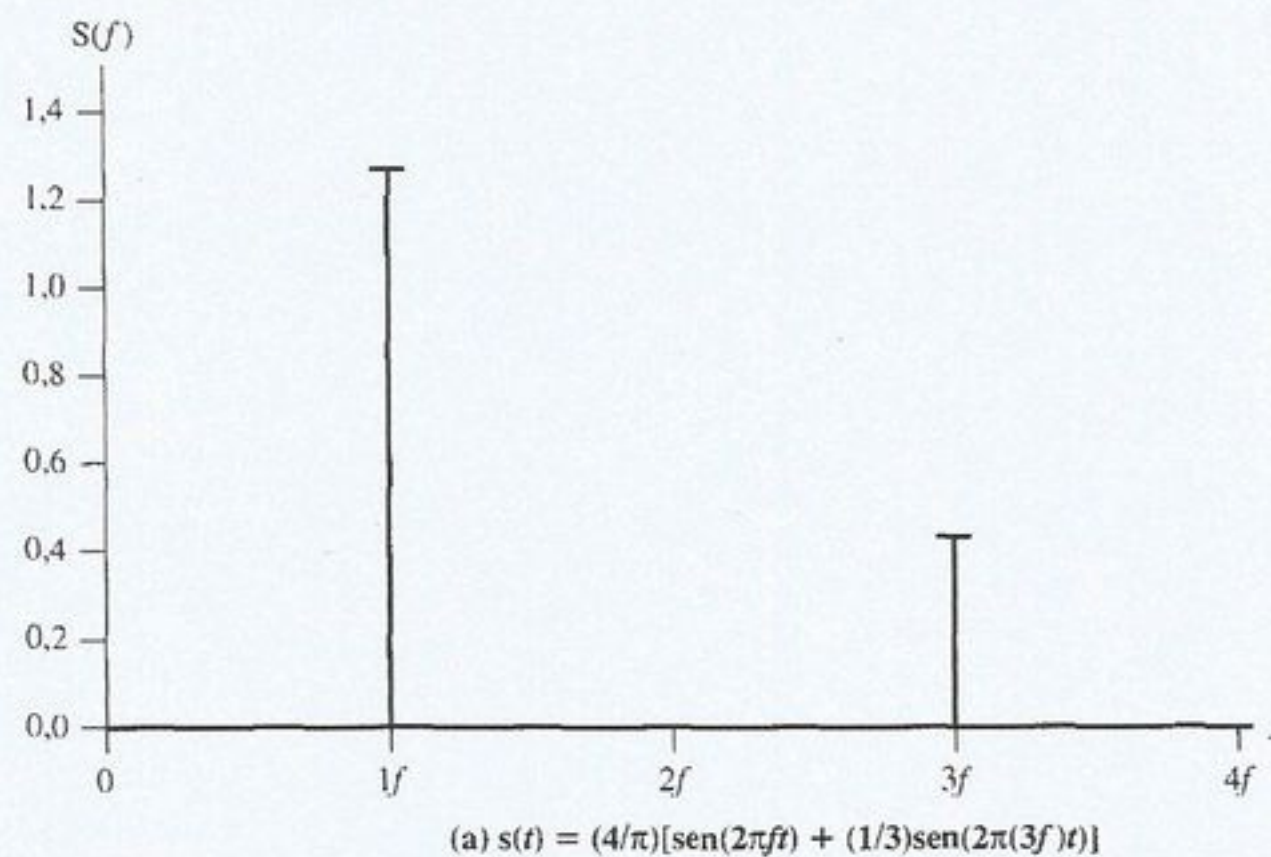


Hay dos comentarios interesantes que se pueden hacer a la vista de la figura:

- La frecuencia de la segunda componente es un múltiplo entero de la frecuencia de la primera. Cuando todas las componentes de una señal tienen frecuencias múltiplo de una dada, ésta se denomina frecuencia fundamental.
- El periodo de la señal total de componentes es el periodo correspondiente a la frecuencia fundamental.

En general, en las señales periódicas las frecuencias están relacionadas por números enteros, de forma que si T es el periodo, la forma de onda tiene una frecuencia fundamental de $1/T$ (primer armónico). La siguiente frecuencia más cercana contenida en la forma de onda es $2/T$ (segundo armónico), y así sucesivamente.

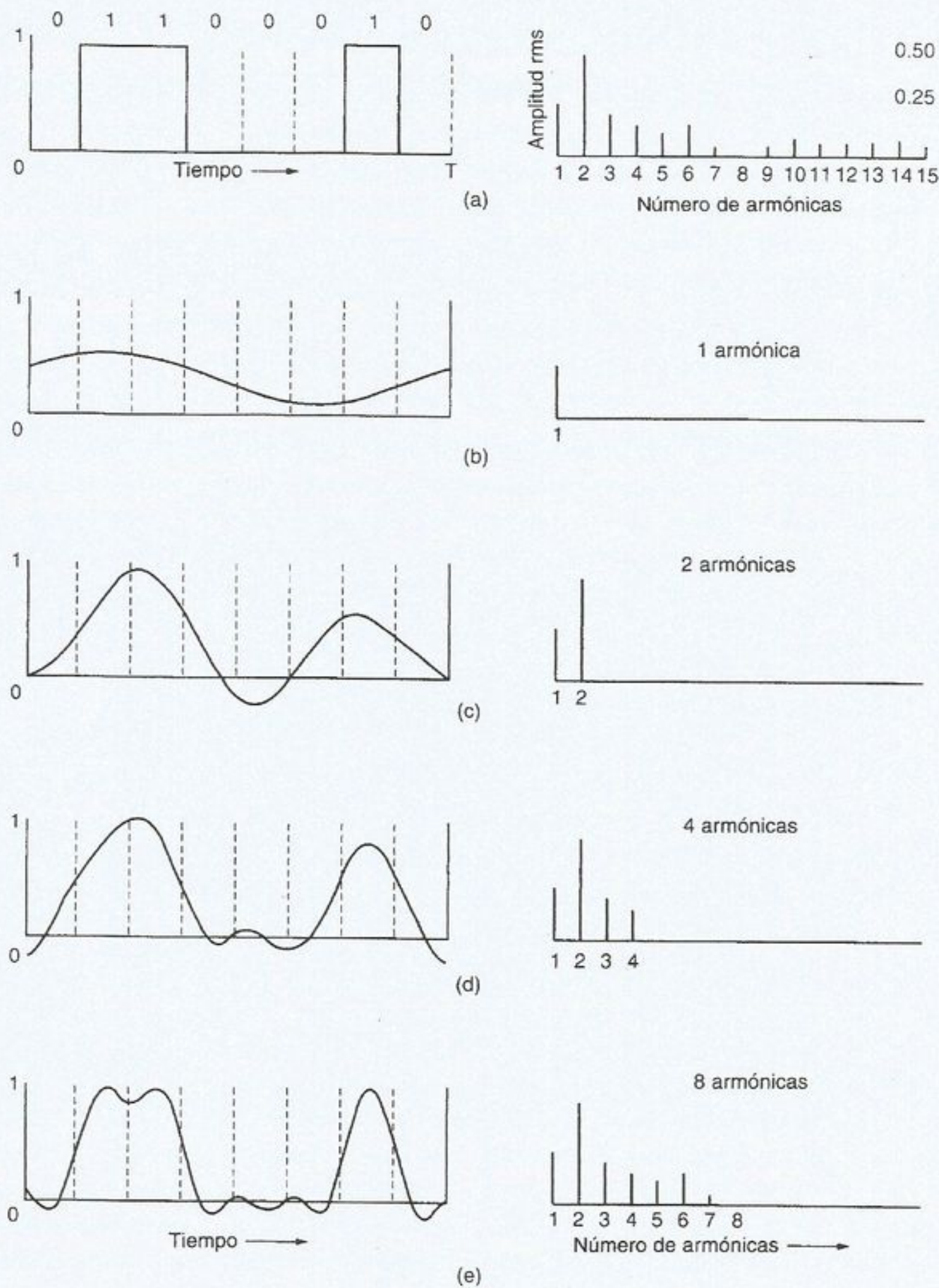
Se define espectro de una señal como el conjunto de frecuencias que la constituyen, mientras que los distintos componentes en frecuencia que la constituyen se denominan componentes espectrales o líneas espectrales.



De igual modo, se define ancho de banda absoluto de una señal como la anchura de su espectro, esto es, la diferencia entre el valor máximo y el mínimo de las frecuencias del espectro de la señal ($F_{\text{máxima}} - F_{\text{mínimo}}$). Para aquellas señales que presentan un ancho de banda infinito, se define ancho de banda efectivo, o simplemente ancho de banda, como la banda donde se concentra la mayor parte de la energía de la señal.

De igual manera, podemos definir el ancho de banda de un canal como la diferencia entre las frecuencias máxima y mínima que el canal es capaz de transmitir. El canal transmite todas las señales cuyo espectro está incluido dentro del ancho de banda del canal. Si una parte del espectro de la señal cae fuera del ancho de banda del canal, la transmisión será imposible o no será de fidelidad. Se dice entonces que la señal ha sido filtrada por el canal.

En la transmisión de datos digitales, el objetivo es obtener una señal lo suficientemente fiel que permita reconstruir la secuencia de bits transmitida. En la siguiente figura podemos ver como cuanto mayor es el ancho de banda de un canal, más armónicos podemos incluir, de forma que la señal es más representativa. Sin embargo, introducir más armónicos implica un mayor ancho de banda en la señal emitida, lo cual sólo será posible si el medio lo permite.



5.4.2 Teorema de Nyquist o de muestreo. Canal libre de ruido.

Permite obtener la mínima frecuencia con la que se puede muestrear una señal para reconstruirla sin pérdida de información. Nyquist demostró que la frecuencia de muestreo debe ser al menos 2 veces la máxima componente de frecuencia contenida en la señal. Si una señal arbitraria se hace pasar por un medio con un ancho de banda W , no podemos transmitir una componente cuya frecuencia sea superior a W , por lo que la máxima frecuencia que podemos recibir es W . La señal se puede reconstruir por completo mediante la obtención simple y sencilla de $2W$ muestras por segundo. Muestrear la línea a una frecuencia mayor de $2W$ no tiene sentido pues las componentes mayores a W han sido filtradas.

Si la señal tiene n estados, obtenemos $\log_2 n$ bits por estado, por tanto:

$$V_{I \max} = 2 \cdot W \cdot \log_2 n$$

Podríamos pensar que aumentando el número de estados, llegaríamos a valores más altos de $V_{t \max}$, pero esto no es posible por las limitaciones fijadas tanto por la potencia de la señal que podemos enviar por una línea real, como por la sensibilidad de los circuitos transmisor y receptor.

5.4.3 Teorema de Shannon. Canal con ruido.

La cantidad de ruido de un canal se mide por la relación que existe entre la potencia de la señal y la potencia del ruido (relación señal/ruido):

$$\left(\frac{S}{R}\right)_{dB} = 10 \cdot \log \frac{S}{R}$$

Teorema de Shannon. Cuanto mayor sea el número de decibelios en la relación señal/ruido mejor será la calidad de la señal, puesto que la potencia del ruido será bastante menor que la potencia de la señal. Por tanto, la máxima capacidad de un canal será:

$$V_{t \max} = W \cdot \log_2 \left(1 + \frac{S}{R}\right)$$

Este valor representa el máximo teórico que puede alcanzarse. En la práctica se alcanzan velocidades menores, ya que en la fórmula sólo se tiene en cuenta el ruido blanco.

6 Estándares.

Los estándares que podemos encontrar en el nivel físico son sobre protocolos que proporcionan el control del medio físico de transmisión, es decir, los que propician la comunicación entre el nivel físico del ETD y el ECD. Entre estos estándares podemos destacar RS-232, las normas V de ITU-T relativas a los módems telefónicos, las tecnologías DSL y cable-módem, WCDMA (*Wideband CDMA*) y UMTS (*Universal Mobile Telecommunication System*) usados en la telefonía móvil de tercera generación o 3G, LTE (*Long Term Evolution*) usado en la telefonía móvil de cuarta generación o 4G, así como los diferentes estándares de nivel físico definidos por IEEE para las redes Ethernet (IEEE 802.3), Wi-Fi (IEEE 802.11), Bluetooth (IEEE 802.15), y WiMAX (IEEE 802.16).

6.1 Línea digital de abonado (ADSL).

El sistema telefónico fue creado para transportar la voz humana, por lo que en el lugar donde cada circuito local termina en la oficina central, el cable pasa a través de un filtro que atenúa todas las frecuencias inferiores a 300 Hz y superiores a 3400 Hz. El corte no es abrupto de tal manera que el ancho de banda se indica como 4000 Hz. Sin embargo, los cables son capaces de transmitir señales con un espectro mucho más amplio (alrededor de 1.1MHz). El truco para que xDSL funcione es que cuando un cliente se suscribe al servicio, la línea de entrada se conecta a un tipo distinto de conmutador, que no cuenta con el filtro, gracias a lo cual toda la capacidad del circuito local queda disponible.

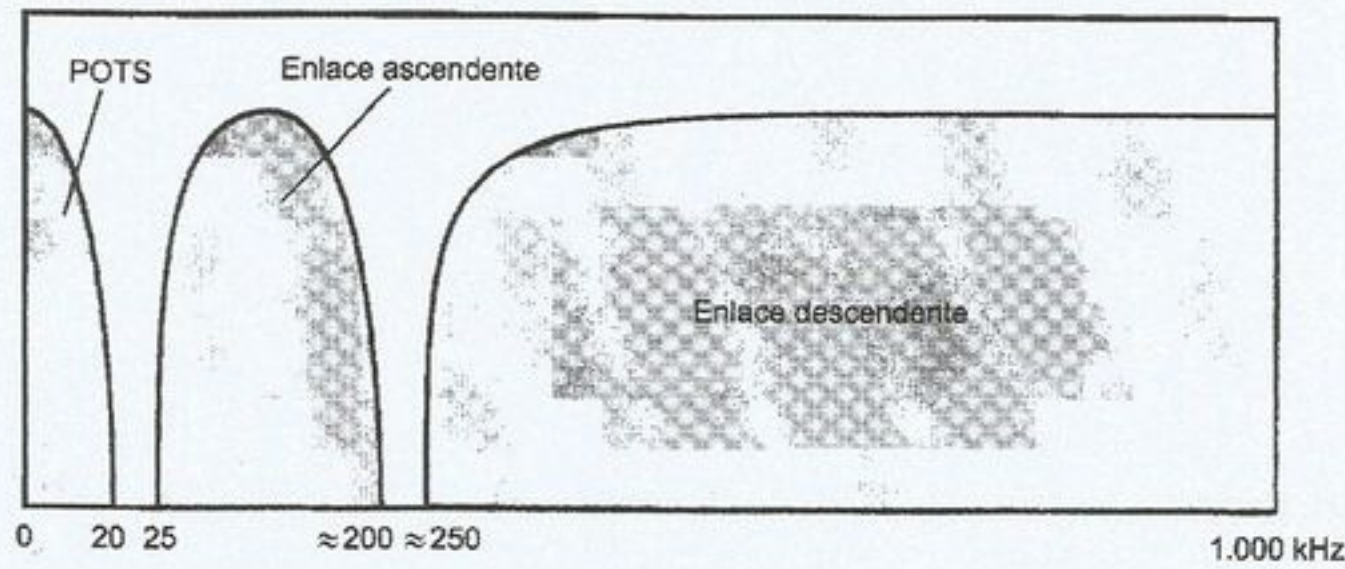
DSL es una tecnología basada en módem que utiliza las líneas telefónicas de par trenzado para transportar datos de gran ancho de banda. El término xDSL aborda numerosas formas de DSL, entre las cuales destaca la DSL asimétrica (ADSL). El término

asimétrico se refiere a que ADSL proporciona más capacidad de transmisión en el enlace descendente que en el ascendente.

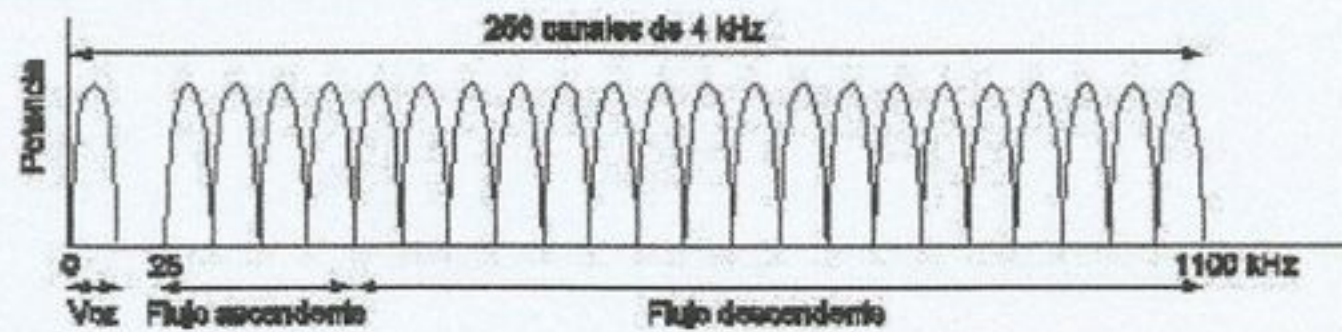
ADSL es un estándar de la capa física que permite velocidades de hasta 8 Mbps para el flujo descendente y de 1 Mbps para el flujo ascendente.

AT&T hizo la oferta inicial de ADSL (ANSI T1.413) que funcionaba dividiendo el espectro disponible en el circuito local en tres bandas de frecuencia mediante multiplexión por división de frecuencia:

- POTS (*Plain Old Telephone Service* o Servicio Telefónico Convencional), que reserva de los 25 kHz inferiores para voz. La voz se transmite sólo en la banda 0-4 kHz, sirviendo el ancho de banda adicional para evitar la diafonía entre los canales de voz y de datos.
- Canal ascendente (del usuario a la oficina central).
- Canal descendente (de la oficina central al usuario).



Las ofertas de otros proveedores han seguido un enfoque distinto (ITU G.992.1 y G.992.2) y se han impuesto. Este enfoque, conocido como multitono discreto (DMT) consiste en hacer uso de varias señales portadora a diferentes frecuencias de modo que se envíen algunos de los bits en cada canal. El ancho de banda disponible se divide en 256 subcanales de 4 kHz.



En el proceso de iniciación, el módem DMT prueba los subcanales con el fin de determinar la relación señal-ruido en cada uno de ellos. Realizado el test, el módem asigna más bits de datos a los canales con mejor calidad de transmisión de señal y un número de bits menor para aquellos canales de calidad inferior.



La figura muestra una situación típica en la que existe un aumento de la atenuación y, por tanto, un decremento en la relación señal-ruido a altas frecuencias. En consecuencia, los subcanales de frecuencia superior transportan menos datos.

Dentro de cada canal se utiliza un esquema de modulación similar a V34, aunque la tasa de muestreo es de 4000 baudios en vez de 2400. Los datos se envían con un máximo de 15 bits por baudio. De este modo, y a modo de ejemplo, con 224 canales descendentes y 15 bits/baudio a 4000 baudios, el ancho de banda del flujo descendente es de 13,44 Mbps. En la práctica, la relación señal a ruido nunca es suficientemente buena para alcanzar esta tasa, pero en trayectorias cortas sobre circuitos de alta calidad es posible lograr 8 Mbps, razón por la cual el estándar llega hasta este punto.

Las diferencias entre los estándares ITU G.922.1 y G.922.2 residen en el tipo de instalación en el domicilio del abonado. En ITU G.922.1 (también conocido como G.dmt) se instala un divisor (filtro analógico, también conocido como *splitter*) que separa la banda de 0-4000 Hz utilizada por la voz (POTS) de los datos. La señal POTS se enruta hacia el teléfono o fax existente, y la señal de datos se enruta a un módem (procesador de señales digitales configurado para funcionar como 256 módems operando en paralelo a diferentes frecuencias). En el otro extremo del cable, en la oficina central, se instala un divisor. Se filtra la porción de voz de la señal y se envía al conmutador de voz normal. Las señales por encima de 26 kHz se enrutan hacia un dispositivo conocido como DSLAM (Multiplexor de Acceso de Línea Digital de Suscriptor), que contiene el mismo tipo de procesador digital de señales que el módem ADSL. Una vez que la señal digital se extrae de un flujo de bits, se elaboran paquetes y se envían al ISP.

La instalación del divisor en la residencia del cliente sólo puede realizarla un técnico, lo que resulta bastante costoso. Por ello, en ITU G.992.2 (también conocido como G.lite) la línea telefónica existente se utiliza tal como está. La diferencia es que se tiene que colocar un microfiltro en cada conector telefónico, entre el teléfono o el módem ADSL y el cable. El microfiltro para el teléfono es un filtro pasa bajas que elimina frecuencias por encima de 3400 Hz; el microfiltro para el módem ADSL es un filtro pasa altas que elimina las frecuencias por debajo de 26 kHz. G.lite aún requiere un divisor en la oficina central pero este tipo de instalación es relativamente económica y sencilla.

ADSL2 y ADSL2+ ofrecen tasas de transferencia mayores que las proporcionadas por ADSL convencional, haciendo uso de la misma infraestructura telefónica basada en cables de cobre. Además de la mejora del ancho de banda, se contempla una serie de implementaciones que mejoran la supervisión de la conexión y la calidad de servicio (QoS) de los servicios demandados a través de la línea.

La migración de ADSL a ADSL2 sólo requiere establecer entre la central telefónica y el usuario un terminal especial que permita el nuevo ancho de banda. Hay dos estándares para ADSL2, ITU G.992.3 (G.dmt.bis) y G.992.4 (G.lite.bis), que se diferencian nuevamente en el uso o no de un divisor respectivamente.

Por su parte, la norma ITU G.992.5 especifica para ADSL2+ un ancho de banda de 2.2 MHz, lo que permite duplicar la velocidad.

6.2 La capa física del estándar IEEE 802.3.

El estándar IEEE 802.3 define diferentes niveles físicos y los medios de transmisión asociados a cada uno de ellos. El estándar identifica los diferentes niveles físicos como: <velocidad de transmisión><tipo de modulación><distinción adicional>. La ve-

locidad de transmisión, si es sólo un número, se refiere a Mbps, mientras que si lleva el sufijo "G" se refiere a Gbps. El tipo de modulación indica cómo se transmiten sobre el medio los datos codificados (por ejemplo, "BASE" para señalización banda Base). La distinción adicional identifica características de la transmisión o el medio (por ejemplo, "T" para par trenzado).

Aunque históricamente se han utilizado múltiples estándares de nivel físico, tales como 10BASE2, 10BASE5, 10BASE-T y 10BASE-F, nosotros vamos a centrar nuestro estudio en los más utilizados en la actualidad.

6.2.1 Fast Ethernet.

IEEE creó Fast Ethernet bajo el estándar IEEE 802.3u. Fast Ethernet presenta compatibilidad hacia atrás con la Ethernet Estándar, pero puede transmitir datos a una velocidad de 100 Mbps.

Al abordar estos cambios se tomó la decisión de abandonar las topologías físicas en bus y mantener únicamente la topología física en estrella, decisión que se ha mantenido en los subsiguientes estándares publicados.

Si sólo hay dos estaciones, se pueden conectar punto a punto. Tres o más estaciones deben estar conectadas con una topología física en estrella usando un *hub* o un *switch* como elemento central de la misma.

En Fast Ethernet destacamos 3 opciones de implementación:

- 100BASE-T4. Se diseñó para usar cables UTP de categoría 3 o superior y poder aprovechar el cableado existente en las organizaciones. Necesita cuatro pares, uno siempre transmite hacia el *hub*, otro siempre en sentido contrario y los dos restantes conmutan para transmitir en un sentido u otro. El segmento máximo permitido es de 100 m.
- 100BASE-TX. Se usan dos pares UTP o STP de categoría 5 o STP. El cableado es idéntico al descrito para 10BASE-T en la red Ethernet estándar, por lo que si el cableado es de calidad adecuada, se puede emplear el cableado antiguo. Al igual que 100Base-T4, el segmento máximo permitido es de 100 m.
- 100BASE-FX. Usa dos pares de cables de fibra óptica multimodo que permiten una longitud máxima de 2000 m.

6.2.2 Gigabit Ethernet.

IEEE creó Gigabit Ethernet bajo el estándar 802.3z. Destacamos 4 opciones de implementación:

- 1000BASE-SX. Usa 2 cables de fibra óptica multimodo que permiten una longitud máxima de 550 m.
- 1000BASE-LX. Usa 2 cables de fibra óptica monomodo o multimodo que permiten una longitud máxima de 5000 m.
- 1000BASE-CX. Usa 2 pares STP que permiten una distancia máxima de 25 m.
- 1000BASE-T. Utiliza los cuatro pares del cable UTP de categoría 5. Se diseñó en respuesta a aquellos usuarios que ya tenían instalado este tipo de cables para otros propósitos, como por ejemplo Fast Ethernet.

7 Conclusiones.

En este tema hemos estudiado la capa física en las arquitecturas de redes de comunicaciones, la cual se encarga de transmitir bits entre un par de nodos adyacentes. Para ello, utiliza los medios de transmisión, que se clasifican en guiados y no guiados.

Las transmisiones pueden ser síncronas o asíncronas, digitales o analógicas, se pueden realizar en modo serie o en modo paralelo, y en función de la explotación del circuito de datos, pueden ser simplex, semidúplex o full-dúplex.

Para poder transmitir la información a través del medio físico, es necesario adecuarla a las características propias del medio. Para ello, sobre transmisión digital los datos deben ser codificados, mientras que si la transmisión es analógica será necesario utilizar técnicas de modulación, para adaptar la señal a las características del medio.

La multiplexación permite realizar varias transmisiones simultáneas sobre un único canal, lo que posibilita una mayor explotación del ancho de banda del mismo. Sin embargo, en la comunicación inalámbrica surge la necesidad inversa, consistente en aumentar el ancho de banda utilizado por una comunicación para dificultar las interferencias y la interceptación. Las técnicas utilizadas para tal fin se conocen como espectro expandido.

Los estándares que encontramos en el nivel físico son sobre protocolos que proporcionan el control del medio físico de transmisión. De entre ellos, hemos estudiado el nivel físico de la tecnología ADSL, así como los más utilizados en la actualidad en las redes Ethernet (basados en la norma IEEE 802.3).