



Universidad
de Huelva

DA

TERCER CURSO. REDES DE COMPUTADORES

ETSI Universidad de Huelva

Departamento de Ing. Electrónica,
Sistemas Informáticos y Automática

TEMA 2

Interfaz Eléctrica y Transmisión de Datos

ÍNDICE

1.- Introducción.	4
2.- Análisis de señales.	5
2.1.- Definiciones básicas.	5
2.2.- Análisis de Fourier.	7
2.3.- Perturbaciones de la transmisión.	9
2.3.1.- Unidades de medida.	9
2.3.2.- Atenuación del canal.	10
2.3.3.- Distorsión de la atenuación.	10
2.3.4.- Distorsión de retardo.	12
2.3.4.- Ruido.	12
2.4.- Capacidad del canal.	14
2.4.1.- Velocidad de transmisión.	14
2.4.2.- Capacidad del canal.	15
2.5.- Modos de transmisión de la señal.	16
2.5.1.- Modulación con portadora analógica.	17
2.5.2.- Modulación con portadora digital.	20
2.5.3.- Codificación digital de datos en banda base.	22
2.5.4.- Migración a la transmisión digital.	25
3.- Interfaces de circuitos de transmisión de datos.	26
3.1.- Comunicación serie.	27
3.1.1.- Control de la transmisión en líneas serie.	28
3.1.2.- Transmisión serie síncrona.	28
3.1.3.- Transmisión serie asíncrona.	29
3.2.- Estándar EIA RS-232.	30
4.- Medios de transmisión.	33
4.1.- Cable de luz o PLC (Power Line Communications).	33
4.2.- Par trenzado.	33
4.3.- Cable coaxial.	35
4.4.- Fibra óptica.	37
4.4.1.-Tipos de fibra.	37
4.4.2.-Frecuencias utilizadas.	39
4.4.3.-Tipos de emisores y receptores.	41
4.4.4.-Tipos de conectores.	42
4.4.5.-Ventajas e inconvenientes.	42
4.4.6.-Aplicaciones.	43
4.5.- Transmisión inalámbrica.	44
4.5.1.-Ondas de radio.	47
4.5.2.-Microondas terrestres: enlaces punto a punto.	47
4.5.2.-Microondas por satélite.	49
4.5.3.-Microondas en redes LAN.	51
4.5.4.-Microondas en redes MAN.	51
4.5.4.-Infrarrojos.	51
4.5.5.-Luz visible.	52
4.5.6.- Transmisión por trayectoria óptica.	52
RESUMEN	54

BIBLIOGRAFÍA:

Apuntes de Redes de Comunicaciones. Universidad de Oviedo.

Stallings, W.; "Comunicaciones y Redes de Computadores". 6ª Edición; Prentice-Hall; 2000 (681.324 STA com)

1.- Introducción.

Para comenzar podemos clasificar los sistemas de comunicación físicos dependiendo de su medios de transmisión. La transmisión de datos entre un emisor y un receptor siempre se realiza a través de un medio de transmisión. Estos pueden clasificarse en:

- **Guiados.** La transmisión se realiza confinada a un elemento de transmisión. Estos pueden a su vez, ser:
 - Punto a punto: se emplea para conectar directamente dos equipos.
 - Multipunto: varios equipos intervienen en la comunicación.
- **No Guiados:** como por ejemplo la radio.

Los medios de transmisión pueden clasificarse, según la forma en que transmiten las señales, en:

- **Simplex:** la comunicación tiene lugar solo en un sentido.
- **Half-Duplex:** la comunicación tiene lugar en un sentido y en el contrario de forma alternada.
- **Full-Duplex:** la comunicación tiene lugar en ambos sentidos de forma simultánea.

Además de los tipos de comunicación que podemos tener, el éxito de la transmisión de los datos depende de dos factores fundamentales:

- De la calidad de la señal que se transmite.
- De las características del medio de transmisión.

Las transmisiones se realizan mediante señales electromagnéticas de diferente tipo. Estas señales pueden ser continuas (analógicas) o discretas (digitales). En los siguientes apartados vamos a comenzar estudiando las señales que vamos a transmitir. Después de estudiarlas, estudiaremos los posibles factores de degradación de la señal originados por el medio de transmisión. A continuación estudiaremos las técnicas de generación de señal necesarias para adecuar la transmisión al canal.

Después estudiaremos las características de los diversos medios de transmisión que se suelen emplear para transmisión de datos. Por último estudiaremos los mecanismos para el aprovechamiento del canal de transmisión mediante el empleo de técnicas de multiplexación.

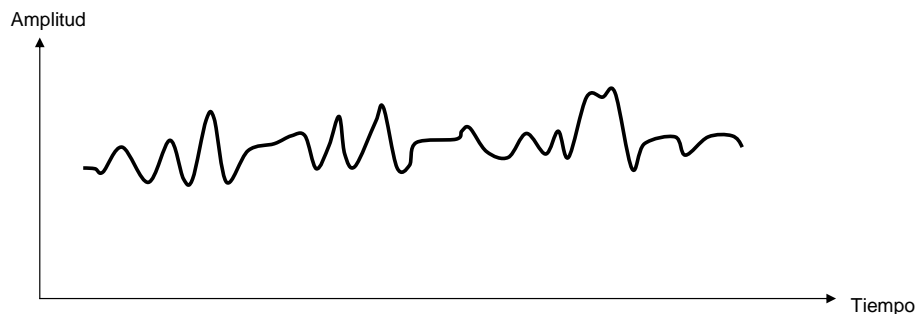
2.- Análisis de señales.

2.1.- Definiciones básicas.

Se define una **señal continua** como aquella en la que la intensidad de la señal varía suavemente en el tiempo. Matemáticamente, una señal $s(t)$ es continua si para todo a :

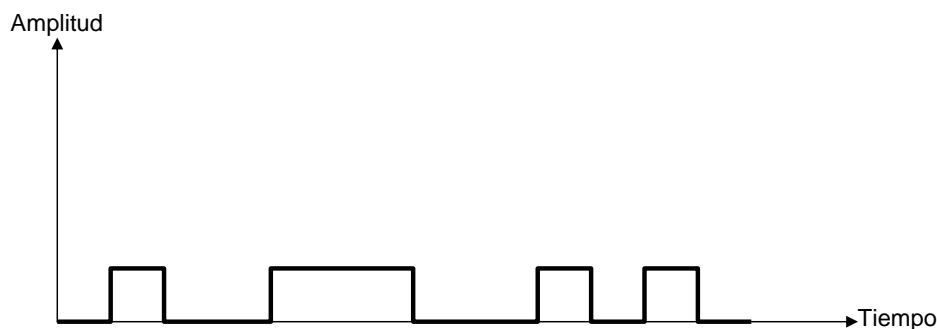
$$\lim_{t \rightarrow a} s(t) = s(a)$$

Un ejemplo de señal continua puede ser la voz.



En la práctica las señales habituales son señales continuas. Cuando estas señales varían sin detenerse en una serie de valores concretos, se denominan **analógicas**.

Se define una **señal discreta o digital** como aquella en que la intensidad de la señal se mantiene constante durante un determinado intervalo de tiempo, tras el cual la señal cambia a otro valor constante. Es decir, la señal se detiene en una serie de valores concretos, por tanto la imagen de la función que representa la señal es un conjunto discreto. Una señal digital puede representar, por ejemplo, valores binarios



Otro tipo de señales son las **periódicas**, que se caracterizan por tener un patrón que se repite a lo largo del tiempo. Matemáticamente, una señal $s(t)$ es periódica si:

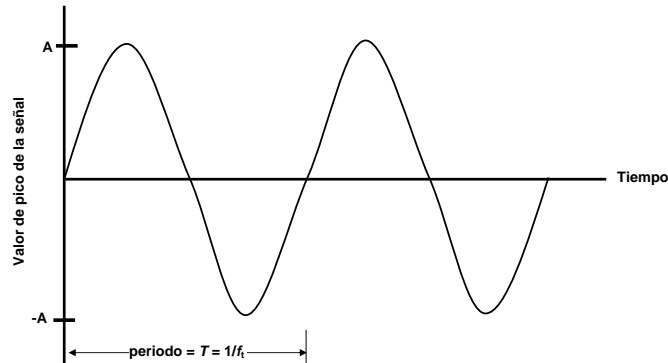
$$s(t + T) = s(t) \quad -\infty < t < \infty$$

Donde T es el periodo de la señal, que se define como la cantidad de tiempo transcurrida entre dos representaciones consecutivas de la señal.

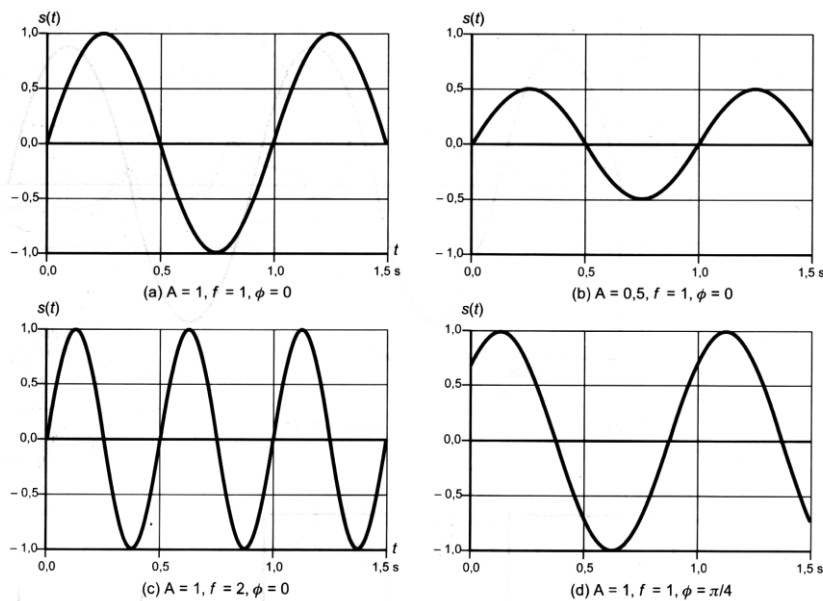
La **frecuencia** es la razón (en ciclos por segundo o Hertzios) a la que la señal se repite. Es decir, la frecuencia es la inversa del **periodo** ($f=1/T$).

La **fase** es una medida de la posición relativa de la señal dentro de un periodo de la misma.

Una **onda senoidal** es la señal periódica por excelencia. Viene expresada como $s(t) = A \sin(2\pi f t + \phi)$



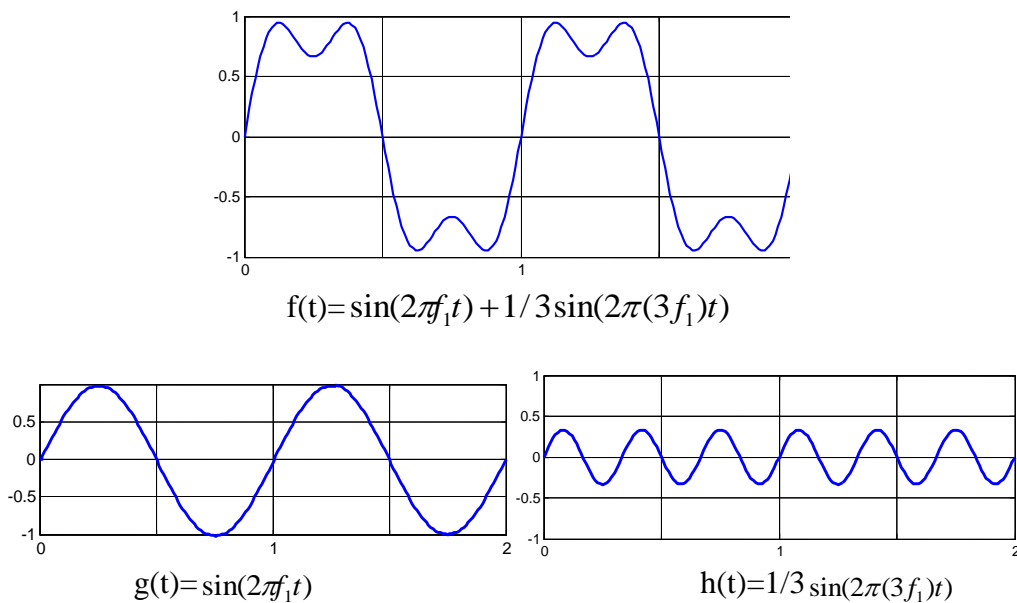
En la siguiente figura se aprecian varias ondas senoidales de diferente periodo, amplitud y fase.



Si la senoide representa una señal electromagnética propagándose por el espacio, se denomina **longitud de onda** (λ) a la distancia en metros que ocupa un ciclo, o lo que es lo mismo, la distancia entre dos puntos de igual fase en dos ciclos consecutivos. La longitud de onda está relacionada con el periodo de la señal mediante la fórmula: $\lambda = v \cdot T$, siendo v la velocidad de propagación de la señal y T el periodo.

En ocasiones, cuando se utiliza un medio de transmisión adecuado, la velocidad de propagación de la onda se iguala a la de la luz: $v = c$; ($c = 3 \cdot 10^8$ m/s).

En la práctica, una señal electromagnética puede estar compuesta por muchas frecuencias, por ejemplo en las gráficas siguientes $f(t)$ está compuesta por $g(t)$ y $h(t)$.



Cuando todas las componentes tienen frecuencias múltiplo de una dada, ésta se denomina **frecuencia fundamental**. El periodo de la señal suma de componentes es el periodo correspondiente a la frecuencia fundamental.

Se define el **espectro de una señal** como el conjunto de frecuencias que la constituyen. En la transparencia anterior, el espectro se extiende desde f_1 hasta $3f_1$.

Se define **ancho de banda absoluto** de una señal como la anchura del espectro. En el ejemplo anterior es $2f_1$.

Se denomina ancho de banda relativo o simplemente **ancho de banda** a la banda de frecuencias donde se concentra la mayor parte de la energía de la señal.

Si una señal contiene una componente de frecuencia cero, esa componente se denomina **continúa**.

2.2.- Análisis de Fourier.

Se puede demostrar, usando el análisis de Fourier, que cualquier señal está constituida por componentes senoidales de distintas frecuencias.

La información puede transmitirse por medio de cables al variar alguna de sus propiedades físicas como la tensión o la corriente que circula por él. Al representar el valor de dicha propiedad en función del tiempo, podremos modelar el comportamiento de la señal y analizarla matemáticamente.

A principios del siglo XIX, Fourier demostró que cualquier función que se comporte de forma razonablemente periódica, puede construirse mediante la suma (posiblemente infinita) de funciones seno y coseno:

$$g(t) = \frac{1}{2}c + \sum_{n=1}^{\infty} a_n \sin(2\pi nft) + \sum_{n=1}^{\infty} b_n \cos(2\pi nft)$$

$$a_n = \frac{2}{T} \int_0^T g(t) \sin(2\pi nft) dt$$

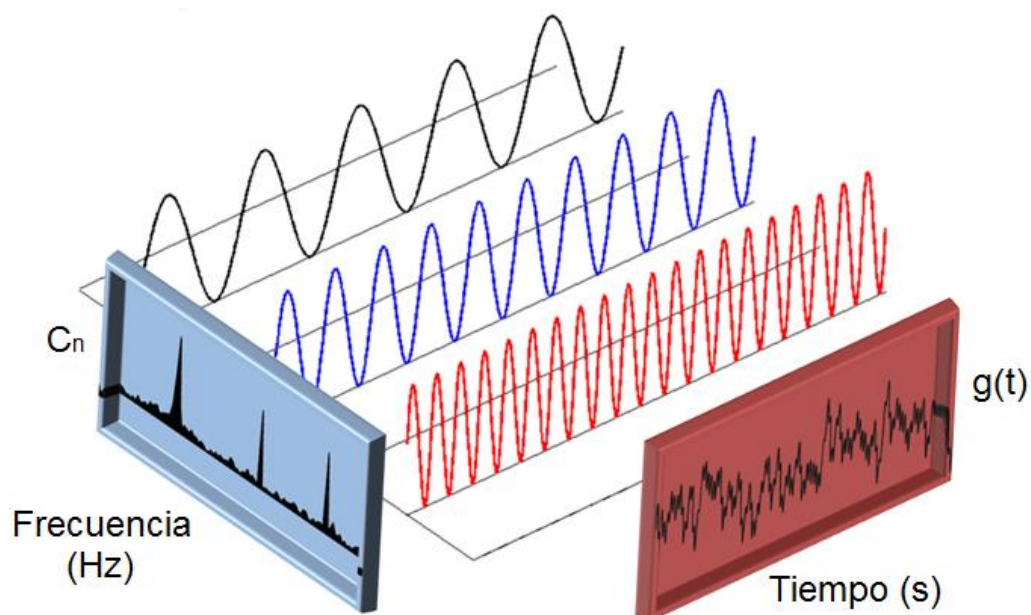
$$b_n = \frac{2}{T} \int_0^T g(t) \cos(2\pi nft) dt$$

$$c = \frac{2}{T} \int_0^T g(t) dt$$

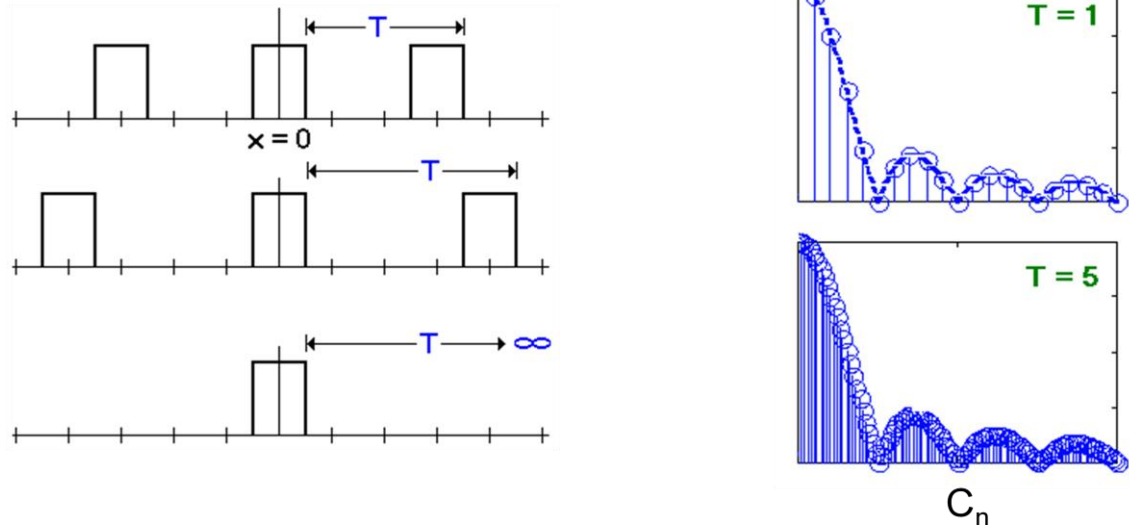
Donde $f=1/T$ representa la **frecuencia fundamental** y a_n , b_n son las amplitudes de los diferentes armónicos. Esta descomposición se conoce como serie de Fourier. Otra forma matemática equivalente de la descomposición de Fourier es la siguiente:

$$g(t) = C_0 + \sum_{n=0}^{\infty} C_n \cos(n\omega t - \varphi_n)$$

Por tanto, sea cual sea la función periódica $g(t)$, ésta puede representarse tanto en el dominio del tiempo ($g(t)$ en ordenadas con respecto t en abscisas) como una suma de señales senoidales de diferente amplitud (C_n) y cierto desfase (φ_n), ambos en dos gráficas cuyas abscisas son la frecuencia.



Todo esto bajo el supuesto de que la función es periódica. Sin embargo las que no lo son pueden analizarse suponiendo que aquella se repite una y otra vez. Obsérvese la figura siguiente. En ella se muestran diferentes señales periódicas en las que la única diferencia es que el periodo aumenta.



Como puede observarse, la representación de las amplitudes de los diferentes armónicos que componen la señal (C_n) pasa de ser una serie de puntos discretos a una línea continua. En cualquier caso, la gráfica nos sigue mostrando en qué rangos de frecuencias están las componentes de mayor peso de la señal, lo cual resultará útil en el análisis de su comportamiento en la transmisión como se muestra a continuación.

2.3.- Perturbaciones de la transmisión.

2.3.1.- Unidades de medida.

Existen varias unidades de medida que suelen utilizarse en telecomunicaciones y en otros ámbitos de la física. Una de ellas es el decibelio. El decibelio se define en general de la siguiente forma:

$$\text{Magnitud en dB} = 10 \cdot \log_{10} \frac{\text{Magnitud medida}}{\text{Valor de referencia}}$$

Por ejemplo, esta unidad se usa para expresar el ruido acústico. En este caso el valor de referencia es la presión de las ondas sonoras más débiles que el oído humano es capaz de captar (presión umbral). La presión de las ondas sonoras que se desean representar en dB se coloca en el numerador y el resultado son los decibelios equivalentes a esa presión. En el ámbito de las telecomunicaciones hay tres unidades de especial relevancia:

El **decibelio-watio** (dBW) se usa cuando se necesita expresar un nivel absoluto de potencia. Se elige como referencia 1 watio. La definición de dBW es:

$$\text{Potencia(dBW)} = 10 \log_{10} (\text{Potencia en vatios} / 1 \text{ watio})$$

Una unidad empleada en televisión por cable y LANs de banda ancha es el decibelio-milivoltio (dBmV). Es una medida absoluta que se define:

$$\text{Tensión (dBmV)} = 20 \log_{10} (\text{Tensión en mV} / 1 \text{ mV})$$

Otra unidad muy utilizada en redes inalámbricas es el decibelio-milivatio que se define:

$$\text{Potencia (dBm)} = 10 \log_{10} (\text{Potencia en vatios} / 1 \text{ milivatio})$$

Las dos unidades empleadas para medir potencia están relacionadas entre sí:

$$X_{dBW} = 10 \cdot \log_{10} \frac{X_W}{1} = 10 \cdot \log_{10} \frac{1000 \cdot X_{mW}}{1} = 10 \cdot \left(\log_{10} 10^3 + \log_{10} \frac{X_{mW}}{1} \right)$$

$$X_{dBW} = 10 \cdot (3) + 10 \cdot \log_{10} \frac{X_{mW}}{1} = 30 + X_{dBm}$$

2.3.2.- Atenuación del canal.

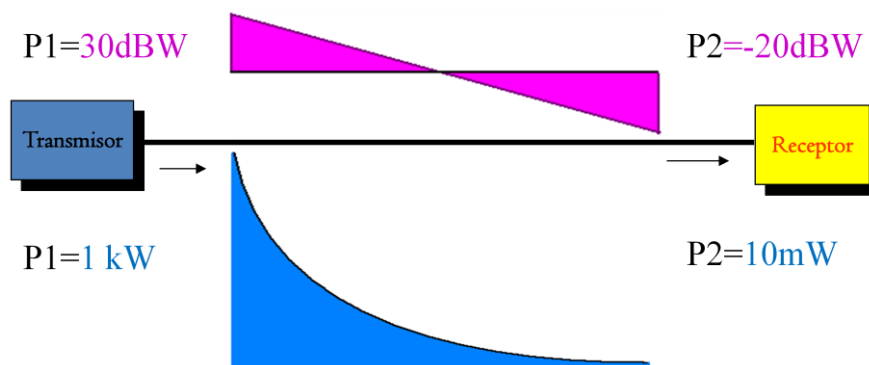
Es la relación entre la potencia de la señal a la entrada del canal de transmisión (P_e en vatios) y la potencia que tiene esta señal a la salida del canal (P_s en vatios) expresada en decibelios [dB]. Es decir:

$$\text{Atenuación}_{dB} = 10 \cdot \log_{10} \frac{P_e}{P_s}$$

O lo que es lo mismo:

$$\text{Atenuación}_{dB} = 10 \cdot \log_{10} P_e - 10 \cdot \log_{10} P_s = P_{e(dBW)} - P_{s(dBW)}$$

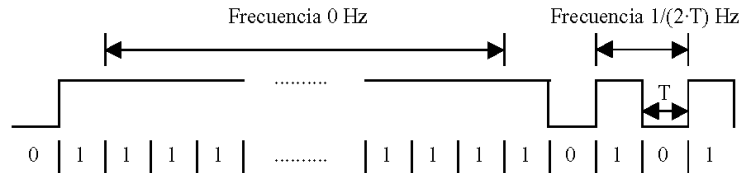
Como esta atenuación suele ser proporcional a la longitud del canal, se indica la atenuación por cada 100 m o cada km de canal de transmisión. Es decir, mientras la intensidad de la señal en vatios decrece de forma logarítmica, la misma señal expresada en decibelios lo hace de forma lineal como en la figura siguiente.



2.3.3.- Distorsión de la atenuación.

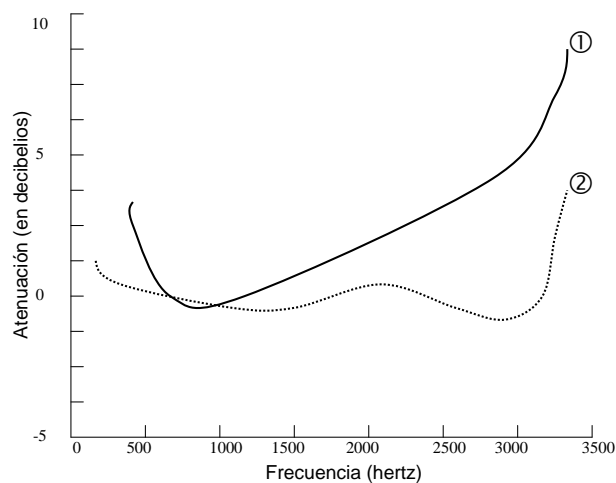
Generalmente un canal presenta distintas atenuaciones a señales de distintas frecuencias, haciendo que determinadas frecuencias apenas se propaguen por el canal. Esto hace también que el ancho de banda se reduzca a medida que aumenta la longitud del canal, debido a que también aumenta la atenuación de la señal. Por ello, en ocasiones se expresa el ancho de banda del canal por cada 100 m o cada km de longitud.

Una línea telefónica, por ejemplo, tiene un ancho de banda que va desde los 300 Hz a los 3400 Hz, y cubre con ello la parte fundamental de las frecuencias que puede generar la voz humana. El límite no viene impuesto por el tipo de cable utilizado que tiene un ancho de banda mucho mayor, sino por los amplificadores que se insertan en la línea para contrarrestar el fenómeno de atenuación de la misma y poder transmitir la señal a larga distancia.



En los sistemas cableados donde se usan señales eléctricas, el ancho de banda suele ir desde 0 Hz hasta varios MHz (salvo que como en el caso de las líneas telefónicas se introduzcan elementos amplificadores que reduzcan el ancho de banda). Esto quiere decir que se pueden transmitir por ellos señales que mantienen valores continuos (de frecuencia 0 Hz) durante cierto tiempo. Cuando las señales son electromagnéticas no suele existir esta posibilidad, por lo que todas las señales se transmiten a una frecuencia determinada.

Como ejemplo en la siguiente gráfica puede verse la atenuación de una línea telefónica antes de ecualizar (1) y después de ecualizar (2) mediante un sistema electrónico para contrarrestar la atenuación y obtener una respuesta plana (igual para todas las frecuencias útiles) del medio.



Para ver cómo aplicar lo anterior al envío de datos, considérese la transmisión del patrón “01100010”. El análisis de Fourier proporciona

$$a_n = \frac{1}{n\pi} \left[\cos\left(\frac{n\pi}{4}\right) - \cos\left(\frac{3n\pi}{4}\right) + \cos\left(\frac{6n\pi}{4}\right) - \cos\left(\frac{7n\pi}{4}\right) \right]$$

$$b_n = \frac{1}{n\pi} \left[\sin\left(\frac{3n\pi}{4}\right) - \sin\left(\frac{n\pi}{4}\right) + \sin\left(\frac{7n\pi}{4}\right) - \sin\left(\frac{6n\pi}{4}\right) \right]$$

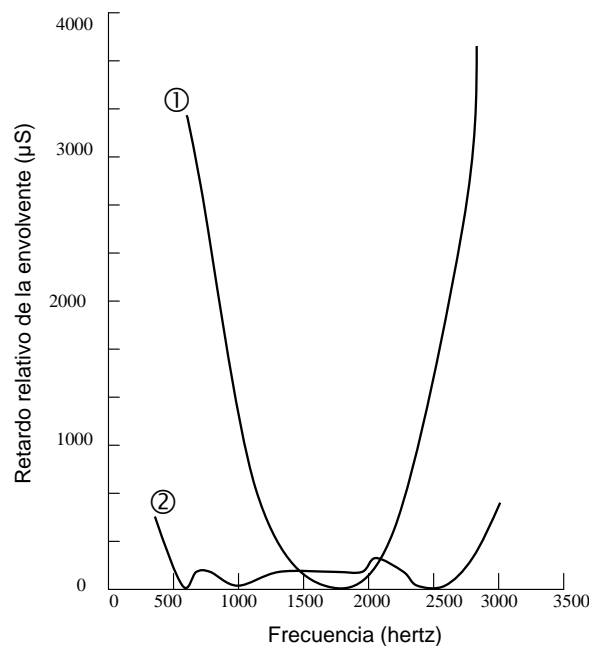
$$c_n = \frac{3}{8}$$

La amplitud de los armónicos C_n se calcula como $C_n = \sqrt{a_n^2 + b_n^2}$, la energía transmitida a cada frecuencia es proporcional al cuadrado de éste valor.

Al transmitir la señal, se sufre necesariamente una pérdida de potencia. Si todas las frecuencias se atenuasen por igual, la señal final sería igual a la inicial pero con una amplitud menor. Sin embargo, esto no es así y se produce una distorsión. En general, para amplitudes desde cero hasta cierta frecuencia f_c , denominada “frecuencia de corte”, sufren una atenuación despreciable. Por encima de dicho valor, la señal es fuertemente atenuada. La posición de esta frecuencia de corte es una propiedad física del medio de transmisión.

2.3.4.- Distorsión de retardo.

Se produce por el hecho de que la velocidad de propagación de la señal en el medio varía con la frecuencia. Normalmente la velocidad suele ser mayor en torno a una serie de frecuencias centrales, y se reduce en los extremos de la banda de transmisión, tal y como se muestra en la figura.



Si la distorsión es fuerte (por ejemplo a distancias muy largas) puede producir un fenómeno conocido como interferencia entre símbolos que consiste en un deterioro que hace ilegible la señal.

2.3.4.- Ruido.

Son las señales no deseadas que se insertan entre el emisor y el receptor. Es el factor de mayor importancia a la hora de limitar las prestaciones de un sistema de comunicación.

Puede clasificarse en:

- Ruido térmico: producido en todos los componentes electrónicos y en los cables.

- Ruido de intermodulación: debido al medio de transmisión, cuyas no linealidades provoca la inserción de señales electromagnéticas inducidas de valores múltiplos de las frecuencias originales y que interfieren.
- Diafonía: producido por la proximidad física de un cable cuya intensidad provoca por inducción electromagnética otra señal que actúa de ruido.
- Ruido impulsivo (ESD): producido por descargas súbitas eléctricas, como por ejemplo las chispas de los motores de combustión, que producen una señal interferente de un espectro muy grande.
- Ruido ambiental (RFI): Es el generado por estaciones de radio y otros dispositivos emisores cercanos.

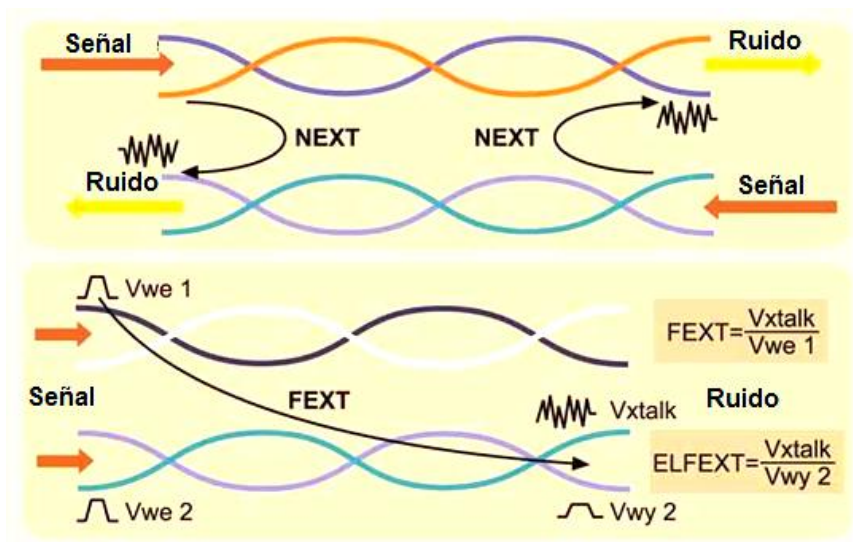
El ruido térmico se debe a la agitación térmica de los electrones dentro del conductor. El ruido térmico presente en un ancho de banda de W hertzios se puede aproximar en vatios como: $N = k \cdot T \cdot W$ siendo, k la constante de Boltzmann $= 1.3803 \times 10^{-23} \text{ J/}^\circ\text{K}$ y T la temperatura, en grados Kelvin. Si se expresa en decibelios-vatio:

$$N = 10 \log k + 10 \log T + 10 \log W;$$

$$N = -228.6 \text{ dBW} + 10 \log T + 10 \log W$$

Es decir, es un ruido muy débil, pero que puede manifestarse si la señal atraviesa múltiples etapas de amplificación y trabaja con amplios anchos de banda.

El ruido de diafonía se mide por diferentes parámetros. En general se prueba a inyectar una señal por un conductor y se mide el ruido inducido en otro conductor próximo. Los valores más relevantes son (ver figura):



NEXT: o paradiafonía del extremo cercano. El ruido se mide en el mismo lado por el que se está inyectando la señal de prueba. Si S es la señal inyectada y r_n la señal medida en el conductor próximo la NEXT se define como:

$$NEXT = 10 \cdot \log_{10} \frac{S}{r_n}$$

FEXT o paradiafonía del extremo lejano. En este caso se inyecta la señal S en un conductor y se mide la señal inducida r_e en el conductor próximo pero por el extremo opuesto al de la inyección de S.

$$FEXT = 10 \cdot \log_{10} \frac{S}{r_f}$$

Dada la definición de estos parámetros, valores altos de NEXT o FEXT implican diafonía baja. A partir de estos valores se definen otros que resultan más próximos al concepto de relación señal a ruido o SNR. Dichos valores son:

$$\begin{aligned} ACR &= \text{NEXT} - \text{Atenuación} \\ \text{ELFEXT} &= \text{FEXT} - \text{Atenuación} \end{aligned}$$

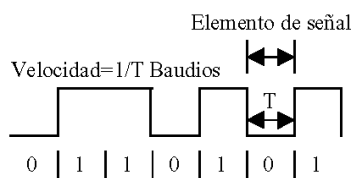
Además, hay otros parámetros que pueden medirse relacionados con la diafonía y que resultan relevantes en ciertos protocolos de comunicación como Gigabit Ethernet. Por ejemplo PSNEXT y PSFEXT resultan de medir el mismo ruido inducido pero cuando la señal S se inyecta por el resto de cables aledaños (en el caso del cable UTP serían tres pares) a la vez.

2.4.- Capacidad del canal.

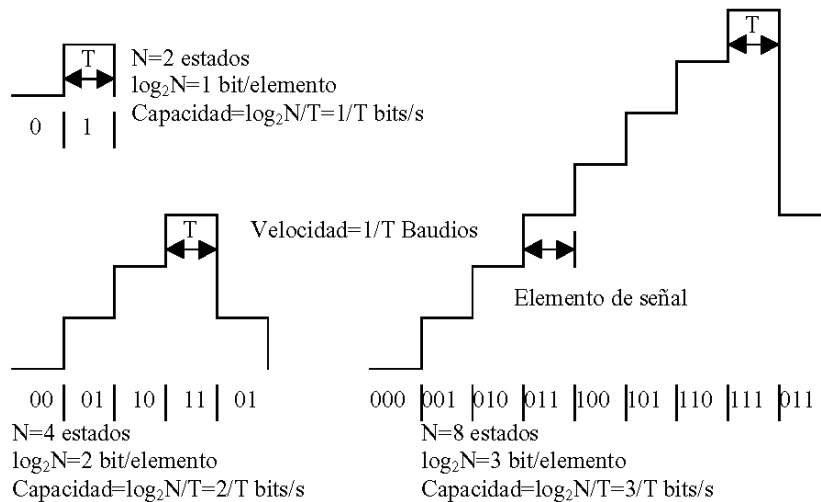
En función de los parámetros anteriormente analizados el canal nos permitirá transmitir a una determinada velocidad. A la velocidad máxima con que los datos pueden ser transmitidos se la denomina “capacidad del canal” y se mide en bits por segundo.

2.4.1.- Velocidad de transmisión.

Para transmitir información ésta se codifica bien usando niveles de tensión constante distintos, o bien fragmentos de onda senoidal que varían en frecuencia, amplitud o fase. Cuando la información se codifica usando un conjunto discreto de dichos niveles de tensión constante o fragmentos de senoide, a los elementos de este conjunto discreto se les denomina “*elementos de señal*” o “*estados*”. La unidad con la que se mide el número de elementos de señal o estados por segundo se denomina **baudio**.



Si el número de estados distintos es N, entonces a cada uno se le pueden asignar $\log_2 N$ bits. Por ejemplo si sólo se dispone de dos estados posibles (0 y 5 voltios), entonces sólo se puede asignar 1 bit (el valor 0 de ese bit se asigna 0V y el valor 1 a 5 Voltios). Si se dispone de 8 estados posibles, entonces a cada estado se le puede asignar las distintas combinaciones de tres bits (000, 001, ... 111). Es decir, cada estado transporta 3 bits.



La velocidad de transmisión dependerá del número de estados y de la velocidad de la señal en baudios (número de cambios por unidad de tiempo). Una línea de b baudios no transmite necesariamente b bits/s, ya que la señal puede enviar varios bits en cada nivel. Por ejemplo, si se emplean las tensiones 0,1,2,...,7, cada nivel codifica 3 bits por lo que la velocidad de transmisión será 3b bps.

Nyquist demostró que si una señal arbitraria se hace pasar por un filtro paso bajo con un ancho de banda W, la señal filtrada puede reconstruirse por completo mediante la obtención simple y sencilla de $2W$ muestras por segundo. Si la señal consiste en M elementos de señal diferentes, el teorema de Nyquist establece que:

$$\text{Velocidad máxima de datos (bps)} = 2 W \log_2 (M)$$

Este resultado es aplicable a canales sin ruido. Si existe ruido, se mide por la relación entre la potencia de la señal y la potencia del ruido, o **relación señal/ruido**. La relación señal-ruido se define como:

$$(S/N)_{dB} = 10 \log(\text{potencia de la señal} / \text{potencia del ruido})$$

En la práctica, el teorema de Nyquist significa que enviando $2W$ valores por segundo, como muestras de una señal de frecuencia W, podemos recomponer la señal sin perder información. Si se envían frecuencias más altas que W, serán redundantes e innecesarias para la reconstrucción de las series de valores de señal en el receptor.

En general pueden enviarse "n" bits en cualquier momento enviando $2n$ niveles posibles de señal. Por lo tanto, con $2n$ niveles de señal posibles y capaces de distinguirse, pueden transmitirse una proporción de señales de $2nW$ bits por segundo por un canal con un ancho de banda de W Hz.

2.4.2.- Capacidad del canal.

Es la velocidad máxima a la que se puede transmitir información sin errores, expresada en bits por segundo. Por lo tanto, la *capacidad del canal* será la velocidad en baudios

máxima admisible por el canal, multiplicada por el número de bits que codifica cada *elemento de señal*.

La capacidad máxima de un canal es la proporción máxima de información que se puede enviar por una línea. se mide en bits por segundo (bps). Otras unidades son Kbps (10^3 bits/segundo), Mbps (10^6 bps), Gbps (10^9 bps), Tbps (10^{12} bps).

En 1948, Claude Shanon llevó a cabo un trabajo más extenso sobre lo desarrollado por Nyquist, y lo amplió al caso de un canal con ruido aleatorio. La máxima velocidad de datos sobre un canal con ruido, cuyo ancho de banda es W Hz y su relación señal/ruido es S/N , viene dado por:

$$C = \text{Velocidad máxima de datos (bps)} = W \log_2 (1 + 10 \log_{10}(S/N))$$

El resultado del teorema de Shanon se demostró mediante el uso de la teoría de la información, y tiene una validez muy general. Este límite es un valor máximo. En la práctica resulta difícil incluso aproximarse al límite de Shanon.

2.5.- Modos de transmisión de la señal.

Básicamente, existen dos formas de enviar señales por una línea de transmisión. Podemos optar por enviar la información directamente, sin ningún tipo de modificación, como por ejemplo la señal tal como sale del micrófono de un teléfono, o bien pueden componerse con una onda de frecuencia más alta que sirve de transporte, como ocurre en la radio.

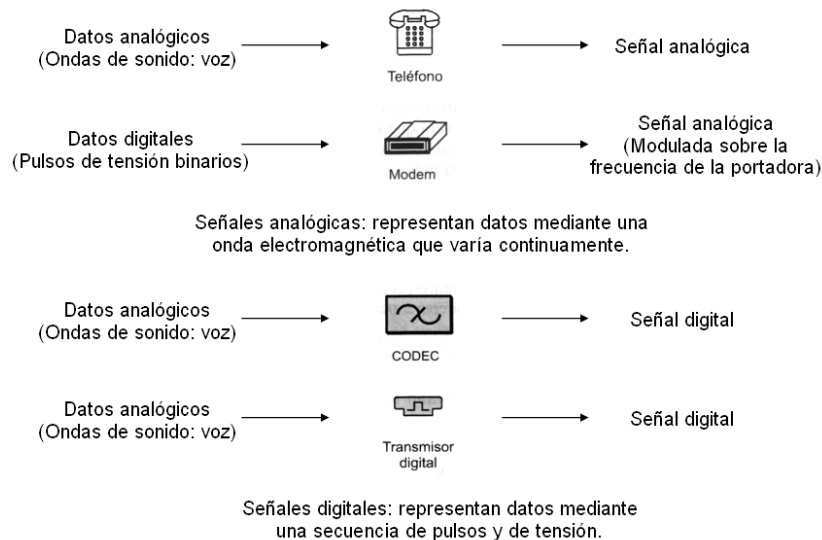
En el primer caso se habla de transmisión en Banda Base, en el segundo se trata de enviar señales moduladas sobre ondas portadoras de determinadas frecuencias. El canal de transmisión puede ofrecer entonces dos posibilidades, la transmisión en **banda portadora** cuando la señal sólo se pueda modular sobre una única portadora de una determinada frecuencia y la transmisión en **banda ancha** cuando las señales pueden ir moduladas en portadoras de distintas frecuencias, llevando en la mayoría de las ocasiones informaciones diferentes (caso de ADSL).

La **modulación** es el proceso por el cual se puede modificar una señal portadora para que lleve información, que será una señal generalmente de menor frecuencia. El proceso que permite recuperar la señal original se llama **demodulación**.

Ejemplos de Modulación	Información Analógica	Información Digital
Portadora Analógica	Emisoras de radio AM o FM	Transmisión de datos por módem telefónico
Portadora Digital	Canales de voz PCM en líneas RDSI	Transmisiones en banda base

La transmisión de radio AM (modulación en amplitud) y FM (modulación en frecuencia), son dos técnicas para enviar información, en este caso voz o música; pero que también pueden ser usadas para transmitir datos. Para conectar un ordenador a un

canal telefónico, o en general a cualquier tipo de línea de transmisión de datos se suele usar un equipo **módem** (modulador-demodulador) que convierte los datos que se envían a una forma de onda ajustada a las características del canal, y en el otro extremo la señal se convierte nuevamente en bits mediante el proceso de demodulación. En otros casos, la señal portadora puede ser una señal digital, que transporta información analógica o digital, como es el caso de los canales PCM de las líneas RDSI telefónicas. En este último ejemplo el dispositivo que hace lo contrario al módem, es decir, convertir la señal de información analógica (voz humana) en una señal digital se denomina **códec**.



2.5.1.- Modulación con portadora analógica.

Para transmitir información se usan en general señales de alta frecuencia. La razón principal es que, aunque la atenuación sufrida es mayor, la sensibilidad al ruido es mucho menor que en el caso de las bajas frecuencias.

Si se quieren enviar señales por determinados canales de transmisión, es necesario usar una frecuencia portadora modulada por la señal que se envía, propagándose por el medio hasta el receptor, donde se demodula para así obtener la señal original.

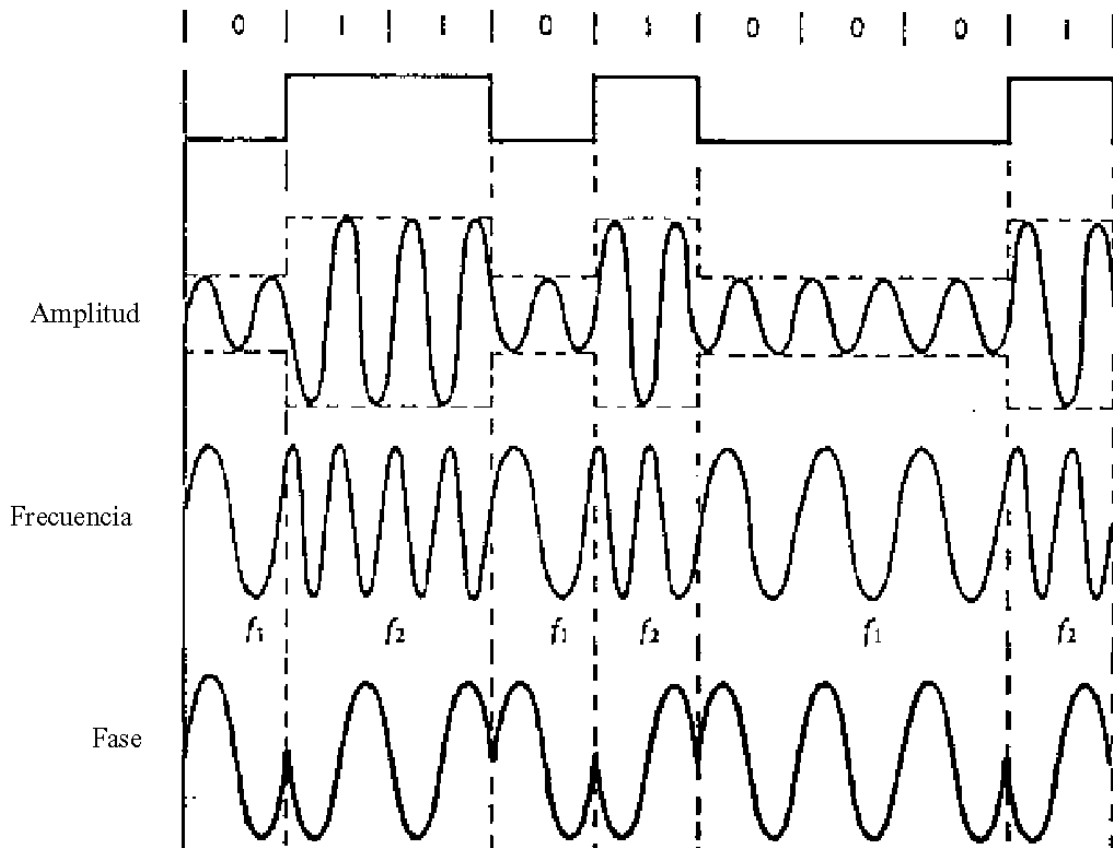
Este método se usó en principio para la transmisión por radio y luego para la transmisión por líneas. Como el canal de transmisión tiene generalmente un ancho de banda mayor que el que necesita la información, se podrán transmitir simultáneamente varias señales por la misma línea usando portadoras de diferente frecuencia (multiplexación por división de frecuencias, FDM).

Si usamos como portadora para enviar datos una onda senoidal, podremos caracterizarla por tres parámetros: amplitud, frecuencia y fase. La modulación de fase no se usa normalmente para transmitir información analógica, sin embargo es la más adecuada para las señales de datos. La portadora será de la forma:

$$a_c = A_c \sin(2\pi f_c t + \alpha_c)$$

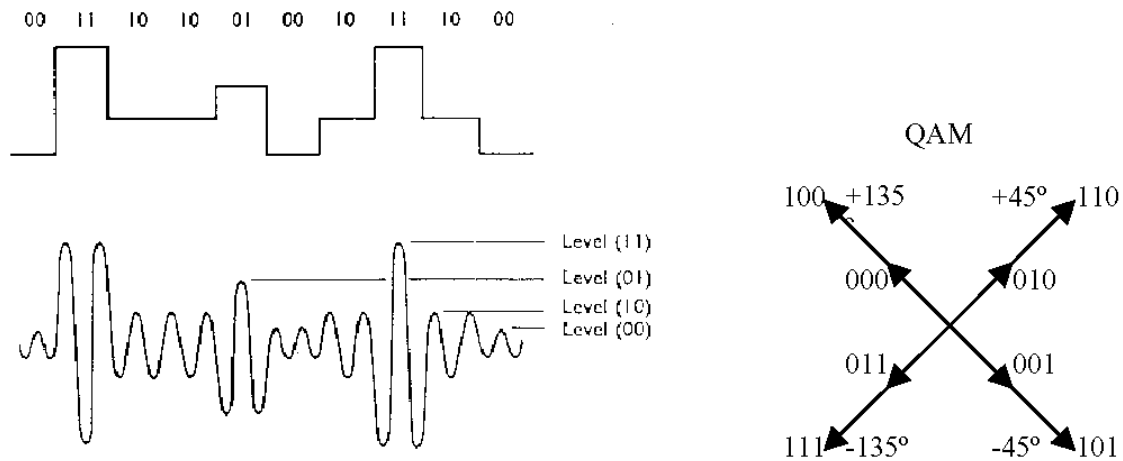
donde A_c es la amplitud máxima de la señal, f_c es su frecuencia y α_c es el ángulo de fase. Variando estos tres parámetros en función de la información a transmitir, se tienen los tres tipos de modulación básicos:

- a) **Modulación de amplitud (AM o ASK):** modificación de la amplitud A_c .
- b) **Modulación de frecuencia (FM o FSK):** modificación de la frecuencia f_c .
- c) **Modulación de fase (PSK):** modificación del ángulo de fase α_c .



Normalmente una señal digital que contiene información está representada por dos niveles de tensión diferentes que representan los bits 1 y 0. En la modulación de amplitud (AM) la portadora es modulada poniéndola en dos estados posibles, o sea, con dos amplitudes diferentes, que representan los bits 1 y 0. En la modulación de frecuencia (FM), la portadora es modulada con dos frecuencias distintas. En la modulación de fase (PM), la portadora experimenta un cambio de fase de 180° que representará el cambio de información del bit 1 al 0.

En cualquiera de los casos anteriores, se pueden elegir más de dos valores de amplitud, frecuencia o fase, con el objeto de codificar más de un bit en cada elemento de señal y aumentar así la capacidad del canal de transmisión. Es más, se pueden emplear conjuntamente varios métodos de modulación obteniéndose así un número elevado de posibles estados diferentes para cada elemento de señal. Los módem telefónicos emplean este último método para aumentar la capacidad del canal telefónico usando conjuntamente la modulación de fase y de amplitud, por ejemplo la modulación QAM (Quadrature Amplitude Modulation).



Modulación de Amplitud

En este tipo de modulación, se varía la amplitud de la onda transportadora de acuerdo con la señal que se envíe. En su forma más sencilla, la transportadora simplemente se conecta y desconecta para simular el envío de los bits 1 y 0.

La señal que se propaga por la línea es el resultado de componer la onda original con la portadora. Pueden usarse cuatro niveles diferentes para transmitir 2 bits por nivel, lo que da un margen de error más bajo, sin embargo, la susceptibilidad al ruido aumenta.

Modulación de frecuencia

En la modulación de frecuencia, al ser la amplitud constante, es inmune a todos los ruidos que varían la amplitud, pero necesita más ancho de banda. Una forma intuitiva y sencilla de modular en FM sería emplear un valor de frecuencia para indicar el valor 1 y otro para indicar el valor 0. A este tipo de modulación de conexión y desconexión se le llama conmutación de variación de frecuencia o conmutación de variación de portadora.

La forma práctica de modular en FM es un proceso analógico continuo, en donde la frecuencia varía de acuerdo con la señal que hay que enviar.

Modulación de fase

En la modulación de fase, la fase de la portadora se hace variar en función de los datos a transmitir, siendo la gama máxima de variación de $\pm 180^\circ$. Las pequeñas variaciones de fase son difíciles de transmitir y de detectar. Por ello, este tipo de modulación no suele usarse para el envío de información analógica (voz, música, ...); no obstante, pueden usarse para poner en clave los bits de datos.

2.5.2.- Modulación con portadora digital.

Hoy en día, las grandes compañías de comunicaciones, a la vista de que su mayor volumen de información a transmitir está formado por la información digital, se plantearon su política de inversiones, llegando a la conclusión de que es más rentable diseñar las nuevas líneas de comunicación para que puedan transmitir la información en banda base. Incluso se digitaliza la información analógica para enviarla por estos canales.

La principal desventaja es que la transmisión de señales en banda base requiere un mayor ancho de banda para transmitir la misma cantidad de información, aunque como tiene una relación Señal/Ruido más baja, queda compensada la desventaja. Existen tres factores que inciden en que cada vez se use más la técnica de modulación en banda de base:

- La disponibilidad de instalaciones con mayor ancho de banda
- El coste decreciente de los circuitos lógicos necesarios para los equipos electrónicos.
- La mayor necesidad para transmitir señales distintas a las de audio.

En la modulación de pulsos necesitamos también una portadora que será un tren de pulsos y será la información que hay que enviar la que module o cambie el tren de pulsos. Las diferentes técnicas de modulación de pulsos pueden dividirse en dos grupos:

- 1) En función de la información a enviar (señal de entrada), se puede cambiar alguna característica física del pulso, como puede ser la amplitud, la anchura y la posición. Esto da lugar a los siguientes modos:
 - a. PAM » Pulse Amplitud Modulation.
 - b. PWM » Pulse Width Modulation.
 - c. PPM » Pulse Position Modulation.
- 2) También podemos modular la señal a enviar en PAM, y convertir a continuación el valor de amplitud del cada pulso en dígitos para transmitirlos en banda base. Este método se conoce como modulación por codificación de pulsos (PCM, Pulse Code Modulation) y es el más utilizado.

Modulación por codificación de pulsos (PCM)

Cuando se quiere enviar una señal analógica en forma digital, lo primero es hacer una conversión A/D, mediante la técnica del muestreo, y después una cuantificación. Una vez en el receptor, se sigue el proceso inverso para poder reconstruir la señal original.

La señal analógica de entrada se observa a intervalos regulares (muestreo) y se toman muestras de la misma en puntos específicos, obteniendo una señal PAM (Pulse Amplitud Modulation). La señal PAM obtenida tras el muestreo sigue siendo una señal analógica, pues la amplitud del pulso puede tener distintos valores.

A continuación el valor de cada pulso PAM se cuantifica en distintos niveles codificados en valores binarios de Q bits. Si se dispone de N niveles de cuantificación,

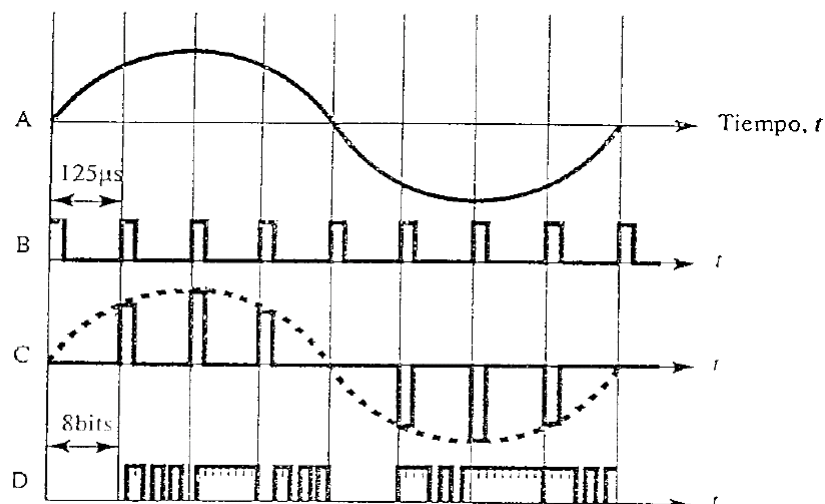
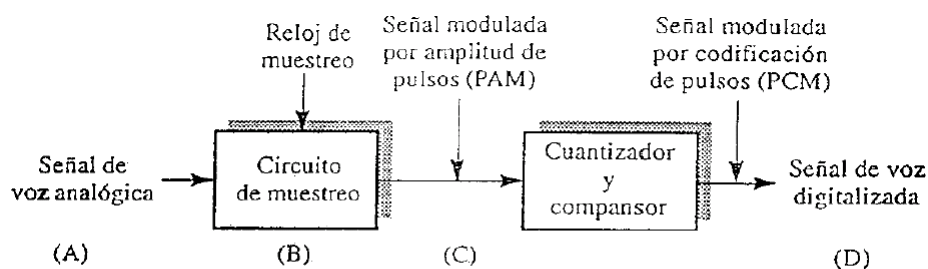
se necesitan $n = \log_2(N)$ bits para representar cada nivel. Al proceso final de muestrear y codificar en binario la señal se le denomina modulación por codificación de pulsos (PCM).

Lo más habitual es emplear 256 niveles que se codifican en 7 bits (128 niveles) más un bit de signo. Estos valores pueden transmitirse en forma binaria como un tren de pulsos, la señal PCM.

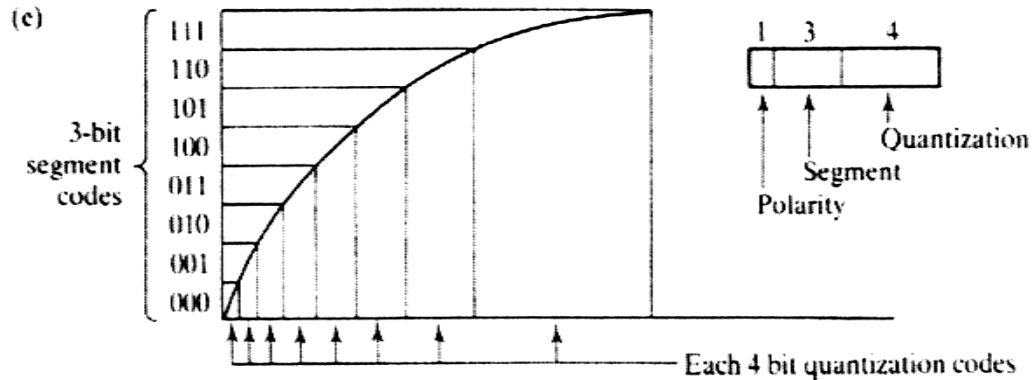
Para obtener una comunicación eficiente, necesitamos tomar un mínimo de $2H$ muestras por segundo, siendo H la frecuencia de la señal analógica a transmitir, si queremos que el receptor sea capaz de reconstruirla. Por ejemplo, para transmitir una señal de audio de un canal telefónico típico donde la frecuencia máxima es de 3.400 Hz, necesitaríamos enviar al menos 6.800 muestras/s en PCM. Lo habitual es enviar 8.000 muestras por segundo codificadas cada una con 8 bits, lo que hacen 64 kbps.

Obtenemos así una transmisión de pulsos, con las ventajas que esto conlleva:

- Facilidad para la recomposición de pulsos en estaciones repetidoras.
- Mayor inmunidad al ruido y las distorsiones que puede añadir la línea.
- Mayor facilidad para la detección de los pulsos, pues sólo existen dos niveles que representan los valores 0 y 1.

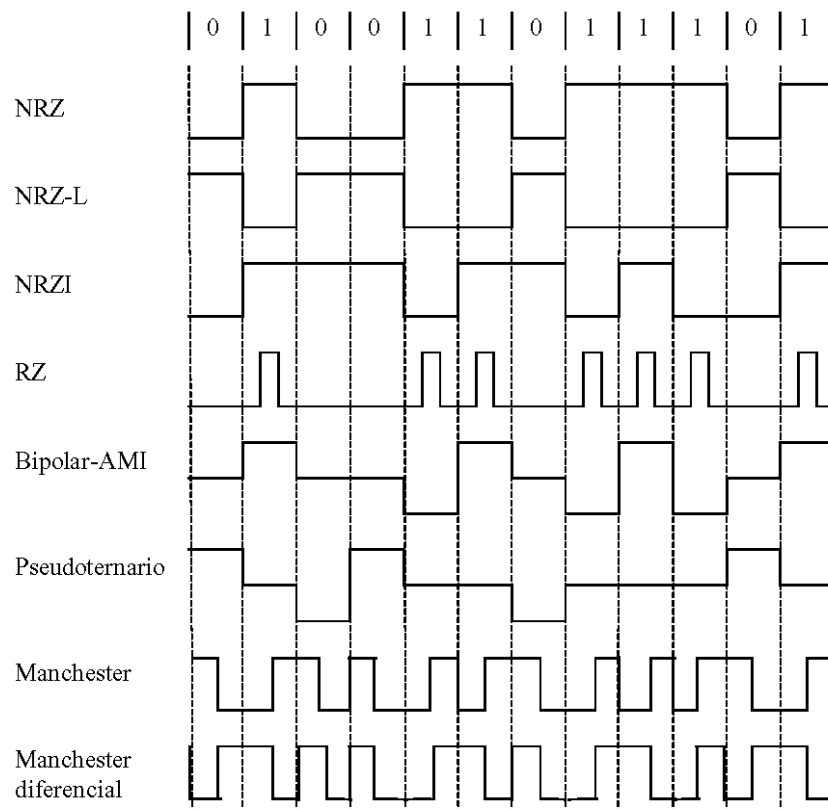


Otra técnica muy empleada en estos sistemas es la digitalización no lineal de la voz mediante un proceso denominado “companding” que consiste en digitalizar con mayores niveles de información los pasajes de voz baja. De esta forma se contrarresta el sistema de recepción humano y se permite distinguir mejor la información de voz enviada.



2.5.3.- Codificación digital de datos en banda base.

La principal ventaja que ofrece la transmisión en banda base es la sencillez y economía del proceso. Su principal inconveniente es la atenuación introducida por la línea a este tipo de señales que provoca importantes distorsiones. La transmisión en *banda base* admite distintos tipos de codificaciones (formas de representar la información binaria), como por ejemplo: codificación Manchester o Manchester diferencial, codificación por retorno a cero, codificación de no retorno a cero, etc.



En las transmisiones en *banda base* los datos se codifican en una señal digital, cuya forma de onda dependerá del **esquema de codificación** adoptado. Dicho esquema de codificación deberá optimizar el uso del medio de transmisión: minimizar ancho de banda, número de errores, etc. Su elección también influirá directamente en la complejidad de la electrónica necesaria para enviar o recibir la señal.

Dentro de las señales empleadas para la transmisión en *banda base* se pueden distinguir dos tipos:

- a) Señales **unipolares**: que son aquellas en las que todos los elementos de señal tienen la misma polaridad.
- b) Señales **bipolares**: que son aquellas en las que existen elementos de señal con polaridades diferentes.

El esquema de codificación empleado determinará:

- a) Características espectrales de la señal resultante: ancho de banda, existencia de un nivel de continua.
- b) Facilidad para sincronización: determinada por la facilidad para identificar el comienzo y el final de un bit.
- c) Capacidad para la detección de errores.
- d) Inmunidad al ruido e interferencias.
- e) Coste y complejidad del sistema.

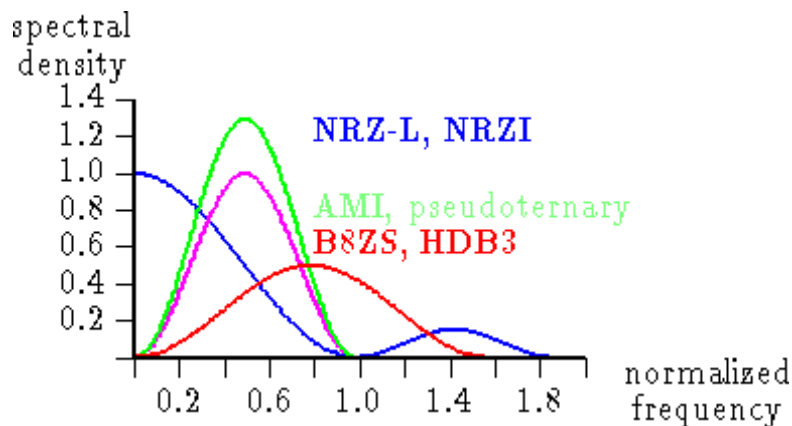
De entre los distintos tipos de codificación posibles, el más sencillo es la codificación de **no retorno a cero (NRZ)**. En este caso, a cada nivel lógico se le asigna un nivel de tensión diferente. El nivel de tensión se mantiene constante durante la duración de un bit. La forma más inmediata de hacer esta codificación consiste en asignar una tensión positiva, por ejemplo 5 voltios, al nivel lógico 1 y una tensión nula para el 0. El código **NRZ-L**, que es más usado en la práctica, asigna un nivel negativo al 1 lógico, y un nivel positivo al 0 lógico, tal y como sucede por ejemplo en una comunicación serie RS-232.

Otra variante del NRZ es el **NRZI**, (No retorno a cero, invertir en unos). En este esquema también se mantiene constante la tensión durante la duración de un bit, sin embargo, la codificación de los datos depende de si existe o no una transición de la señal al comienzo de cada bit. Un 1 se codificará mediante un cambio del nivel de la señal al comienzo del bit, mientras que la ausencia de cambio significará un cero lógico. Este tipo de código es un ejemplo de **codificación diferencial**. En este tipo de codificación, en lugar de determinar el valor absoluto, la señal se decodifica comparando la polaridad de los elementos de señal adyacentes. Esto presenta la ventaja de que en presencia de ruido puede ser más seguro detectar una transición en lugar de comparar un valor con un umbral. Otra ventaja es que es inmune a cambios en la polaridad de los cables (errores de la conexión de los cables no afecta a la interpretación de la señal). Los códigos NRZ son los más fáciles de implementar, y además hacen un uso eficaz del ancho de banda. Su principal limitación es la existencia de un nivel de continua y la ausencia de capacidad de sincronización.

Una codificación alternativa a la NRZ es la denominada **binario multinivel**. En este caso se usan más de dos niveles de señal. Dos ejemplos de este esquema de codificación

son el **bipolar-AMI**, y el **pseudoternario**. En el primer caso, un 0 binario se representa por ausencia de señal y el 1 binario por pulsos de polaridad alternante. Este tipo de esquema ofrece la ventaja de que la sincronización es más fácil, de hecho, sólo la aparición de largas cadenas de ceros la dificulta. Además, no hay componente de continua en la señal debido a la alternancia de los pulsos. Por último, la alternancia de los unos facilita la detección de errores. El código pseudoternario es similar, salvo que es el 0 binario el que se representa por pulsos de polaridad alternante. Estos códigos no son tan eficaces como los NRZ, ya que al disponer de tres niveles diferentes, se podrían codificar 1,58 bits por elemento de señal.

Los códigos **bifase** representan una alternativa muy extendida en redes locales. En particular la codificación **Manchester** y **Manchester diferencial** pertenecen a este grupo. El código Manchester se caracteriza por poseer siempre una transición en el medio del intervalo de un bit. Esta transición sirve como un procedimiento de sincronización a la vez que permite la transmisión de los datos. Así, una transición de bajo a alto representa un 1 binario, mientras que una transición de bajo a alto indica un 0. En Manchester diferencial, la transición a mitad del intervalo se usa sólo para la sincronización, mientras que la información se codifica en función de la existencia o no de una transición al comienzo del intervalo, de modo que una transición al comienzo de un bit indicará un 0 binario y su ausencia un 1.



El ancho de banda requerido por los esquemas bifase es doble del necesario para NRZ debido a la existencia de la transición en mitad de un bit. Sin embargo, tienen la ventaja de su fácil sincronización, no tiene componente de continua por lo que es posible el aislamiento galvánico de la interfaz. También es posible la detección de errores, mediante la detección de ausencia de transición.

Un último grupo de técnicas de codificación a considerar son las **técnicas de altibajos**, como por ejemplo la codificación B8ZS (Bipolar with 8-Zeros Substitution) o la HDB3 (High Density Bipolar-3 Zeros). Este tipo de técnicas se basan en las técnicas bipolares y lo que incorporan es un mecanismo para la sustitución de cadenas largas de ceros por determinadas secuencias que suponen una violación de código. Por ejemplo en el caso más sencillo, el B8ZS, una cadena de ceros se sustituye por una secuencia 000VB0VB, donde V significa violación de código y B señal bipolar válida. La violación de código consiste en repetir la polaridad del último uno enviado. Como la probabilidad de que aparezca un patrón semejante de violaciones de código es muy baja, el impacto sobre el número de errores de transmisión es despreciable. La principal ventaja que se obtiene es

mejorar la sincronización al evitar cadenas de ceros largas. Este tipo de códigos se aplican a transmisión de datos en líneas de larga distancia.

Por último existen sistemas de codificación en los que se definen secuencias de distintos niveles de tensión que se asocian a octetos de bits completos, de tal forma que no todas las secuencias de niveles de tensión son válidas. Las no válidas son aquellas que carecen de transiciones (sincronización), tienen valores medios altos (componente de continua), etc. Es decir se escogen atendiendo a los parámetros de calidad antes citados. Véase como ejemplo el sistema 8B/6T de la figura siguiente.

8 Bit	12 Bit	6T	8 Bit	12 Bit	6T
00000000	001101010011	-+00-+	00110010	101100010011	0+-0-+
00000001	010011001101	0-+-+0	00110011	101100110100	0+-+0-
00000010	010011010011	0-+0-+	00110100	110010110100	+-0+0-
00000011	010011110100	0-++0-	00110101	001011001101	-0+-+0
00000100	001101110100	-+0+0-	00110110	001011010011	-0+0-+
00000101	110100001101	+0--++	00110111	001011110100	-0++0-
00000110	110100010011	+0-0-+	00111000	110010101100	+-00+-
00000111	110100110100	+0-+0-	00111001	101100110010	0+-+0-
00001000	001101101100	-+00+-	00111010	101100101100	0+-0+-
00001001	010011110010	0-++-0	00111011	101100001011	0+-+0-
00001010	010011101100	0-+0+-	00111100	110010001011	+-0-0+
00001011	010011001011	0-+-+0+	00111101	001011110010	-0++-0
00001100	001101001011	-+0-0+	00111110	001011101100	-0+0+-
00001101	110100110010	+0-+-0	00111111	001011001011	-0+-0+
00001110	110100101100	+0-0+-	01000000	000101111011	-00+0+
00001111	110100001011	+0--0+	01000001	010001101111	0-00++
00010000	010000111011	0--++0	01000010	010001111011	0-0+0+
00010001	000100101111	-0-0++	01000011	010001111110	0-0++0
00010010	000100111011	-0-+0+	01000100	000101111110	-00++0
00010011	000100111110	-0-++0	01000101	010100101111	00-0++
00010100	010000111110	0--++0	01000110	010100111011	00-+0+
00010101	000001101111	--00++	01000111	010100111110	00-++0
00010110	000001111011	--0+0+	01001000	101011101010	00+000
00010111	000001111110	--0++0	01001001	111100101010	++-000
00011000	001101001101	-+0-+0	01001010	110011101010	++-000
00011001	110010001101	+-0-+0	01001011	001111101010	++-000

2.5.4.- Migración a la transmisión digital.

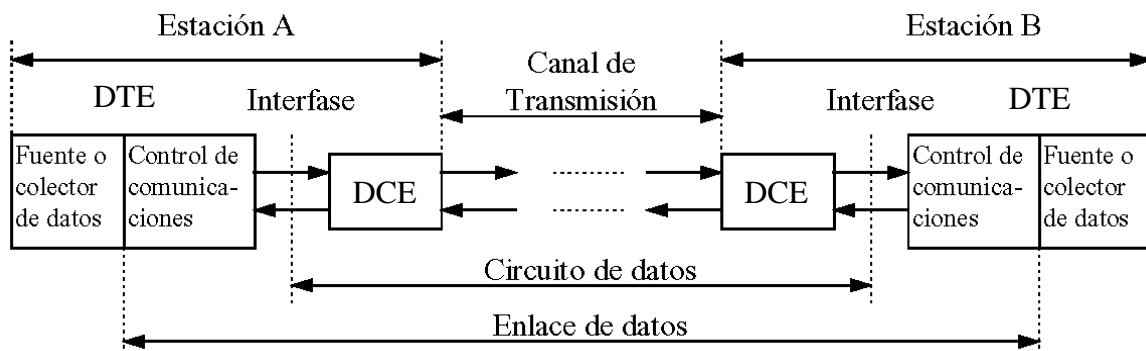
Aunque pudiera parecer que la transmisión analógica y la digital son alternativas igual de eficaces a la hora de enviar información, lo cierto es que la digital supera a la analógica por las siguientes razones.

1. **Integridad de los datos:** El formato digital permite recuperar la información íntegra entre cada par de nodos, mientras que en el analógico no hay forma de evitar la inserción de ruidos y distorsiones con cada reenvío. Por tanto cuando la información ha de atravesar largas distancias, sólo el formato digital puede garantizar la integridad de la información.
2. **Precio:** Los circuitos integrados dedicados al procesamiento analógico de señales son más costosos que los digitales.
3. **Multiplexación:** El formato digital permite agrupar la información en datagramas o paquetes y de este modo se puede multiplexar (enviar varios canales o flujos de información por un mismo medio) de una forma mucho más sencilla que la ineficiente multiplexión por frecuencias (reservar un rango de frecuencias a cada canal) que es la solución analógica. En este sentido los canales digitales pueden transportar voz, vídeo y datos indistintamente sin mayor problema.
4. **Seguridad:** Las señales analógicas no se pueden codificar con la eficacia y flexibilidad que permiten las digitales.

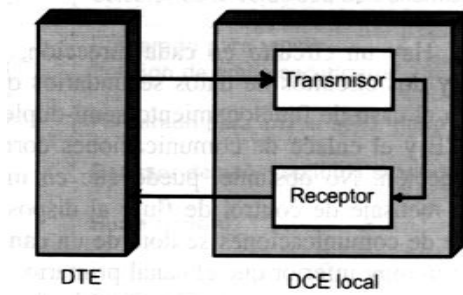
3.- Interfaces de circuitos de transmisión de datos.

En la estructura física de un circuito para la transmisión de datos se pueden distinguir los siguientes elementos:

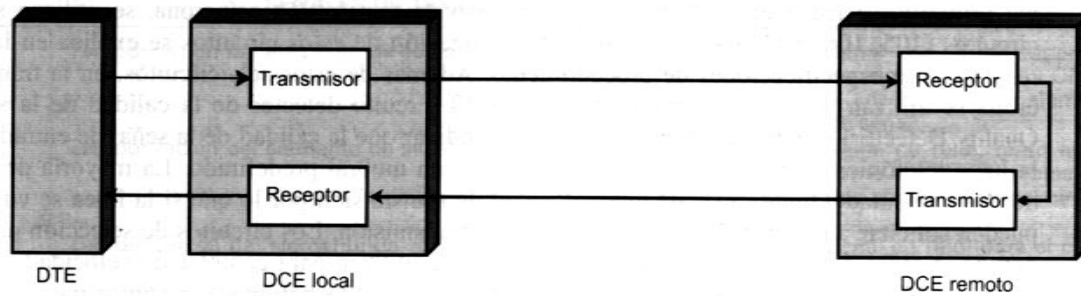
- **Equipo Terminal de Datos (DTE):** Es la fuente o destino de los datos y puede ser más o menos inteligente, desde un equipo de fax a un computador. En el se encuentran la *fuentes o colector de los datos*, en el caso de un computador sería la aplicación que genera o recibe datos, y el *control de comunicaciones*, que se podría asemejar al software (driver) que controla el dispositivo de comunicaciones (módem o interfaz de red). Se le denomina así por las siglas inglesas Data Terminating Equipment, aunque en numerosas ocasiones se le llama *ETD* en la bibliografía en castellano
- **Equipo terminal del circuito de datos (DCE):** Es el dispositivo encargado de convertir las señales que llegan por el *canal de transmisión* en otras legibles por el *DTE* y viceversa. En el caso de que el *DTE* sea un computador se trata de la NIC (Network Interface Card) o tarjeta de red. A veces la NIC consiste en un módem (cuando ésta se conecta a un cable telefónico). Otras veces el ordenador se conecta al modem a través de un cable RS-232 o USB.
- **Canal de transmisión:** Es el conjunto de medios de transmisión que unen los dos *DCE*. También se le denomina *línea de transmisión* por que en muchas ocasiones el canal es algún tipo de sistema cableado, pero no siempre es así.
- **Circuito de datos:** Es el conjunto que forman el *canal de transmisión* y los *DCEs*.
- **Enlace de datos:** Es el conjunto que forman el *circuito de datos* junto con el *control de comunicaciones* de los *DCEs*.



En este escenario hay ciertos conceptos muy utilizados en los DCEs. Cuando los DCEs no son NICs, sino equipos externos conectados a los DTEs, suelen incorporar una serie de funciones de comprobación básicas. Entre ellas disponen al menos de dos: el bucle local y el bucle remoto.



(a) Test del bucle local



(b) Test del bucle remoto

Cuando en un DCE se oprime el botón de bucle local, significa que está puenteando transmisión con recepción. Esto puede comprobarse lanzando información desde el DTE al que está conectado. Si todo funciona bien el DTE debe recibir la misma información que envía. Con esto se comprueba el estado del DTE, el DCE y el cable que une a ambos.

Cuando en un DCE se oprime el botón de bucle remoto, dicho DCE envía un mensaje a su homólogo para indicarle que conecte transmisión con recepción en su extremo. De nuevo, si todo marcha bien, cualquier información emitida por el DTE atravesará el cable que lo une a su DCE local, el propio DCE local, el canal de transmisión y el DCE remoto, volviendo de nuevo a su emisor. Con este tipo de pruebas se van descartando los posibles puntos de fallo.

3.1.- Comunicación serie.

Existen dos modos de transmitir la información: en serie o en paralelo. La transmisión paralelo suele estar limitada, en general, a dos tipos principales de aplicaciones: la transmisión de datos a través de los buses internos de los sistemas informáticos y el intercambio de información entre sistemas muy próximos entre sí, y que requieran elevadas velocidades de transmisión. La comunicación paralelo no es aceptable en aquellas aplicaciones en que la distancia entre el transmisor y el receptor es grande debido a su gran sensibilidad al ruido. La alternativa en este caso suele ser la comunicación serie. La transferencia de información puede hacerse de tres formas distintas:

1. **Transferencia síncrona** o también llamada incondicional. Es la forma más simple y directa de realizar la transferencia. El problema de este sistema es

asegurar la sincronización a velocidades de transmisión elevadas. Para ello se recurre a la incorporación de una señal de sincronismo bien en un medio paralelo o bien codificada con la información. Un ejemplo de este tipo de transferencia sería el protocolo SDH.

2. **Transferencia asíncrona** o también llamada condicional. Permite la comunicación entre equipos que presentan diferentes velocidades para el procesamiento de datos. Este modo de transferencia obliga a la sincronización (o *handshaking*) de los dos interlocutores, estableciéndose así un diálogo entre ellos a fin de asegurar que la transferencia de información se realiza en el instante y la forma apropiados. Ejemplo sería el RS-232.

La transmisión de toda la información a través de una única línea implica problemas en la sincronización de los sucesivos bits que se van enviando, en la sincronización con el inicio y final de la transmisión de un determinado número de bits que forman un carácter y en la sincronización de bloques de caracteres que forman el conjunto de la información.

3.1.1.- Control de la transmisión en líneas serie.

La sincronización de los bits en una transmisión de información serie se consigue utilizando en la recepción el mismo reloj de transmisión, que es enviado por una línea aparte o codificado junto con la información (transmisión síncrona), o bien utilizando relojes independientes pero con la misma frecuencia y fase (transmisión asíncrona). La frecuencia del reloj permite una codificación de los bits de información según algún determinado procedimiento: NZR, NRZI, Manchester, etc.

El otro problema: la detección por parte del receptor, del bit de comienzo de la palabra de información, se puede resolver a base de utilizar líneas adicionales a las de los datos para enviar pulsos que indican el inicio de un bloque de datos y contando los bits se determina el final de toda la información. Sin embargo, en los sistemas de comunicación serie se utilizan básicamente dos formas de transmisión para la sincronización:

- **Transmisión síncrona:** Un bloque de caracteres (cientos o miles) va precedido de unos caracteres de sincronismo.
- **Transmisión asíncrona:** Cada carácter se identifica mediante dos bits, uno al principio (bit de start) y otro al final (bit de stop).

3.1.2.- Transmisión serie síncrona.

La comunicación serie **síncrona** se caracteriza porque los dispositivos que intervienen en la comunicación mandan los datos en el instante que los espera el otro. La transmisión de información se realiza de una forma continua, bit a bit, y sin ninguna separación entre caracteres. La sincronización de bit se consigue normalmente utilizando una señal externa de reloj o codificándola junto con la información. El transmisor envía generalmente por una línea independiente de las de datos su reloj, que es utilizado como reloj de recepción para la llegada de datos.

Para la sincronización de carácter, se transmite delante de cada bloque de datos unos caracteres de sincronismo que indican al receptor el instante en que se inicia la transmisión, lo que permite no utilizar nuevas líneas de control. El formato de la transmisión de información en serie síncrona se indica en la figura. La parte inicial está formada por uno o dos caracteres de sincronismo, un bloque de datos, y una parte final para incorporar algún mecanismo de detección de error.

Sincronismo	Información útil	Fin de trama
1 ó 2 bytes	N bytes	1 ó 2 bytes

En el instante de la conexión, el receptor se colocará en un determinado estado y a la espera de recibir los caracteres de sincronismo. A medida que llega la información y ésta no coincide con los caracteres de sincronismo, el receptor permanece en el estado inicial sin aceptar información, pero si la información recibida coincide con dichos caracteres, el receptor cambia de estado e inicia la recepción de información.

Este tipo de comunicación es rápida pero es necesaria una gran sincronización para evitar errores. Es útil para transmitir gran cantidad de información a largas distancias. El rendimiento o eficiencia en una transmisión síncrona en la que se envíen 256 bytes de información precedidos de 2 bytes de sincronización y seguidos de otros 2 bytes para detección de errores o finalización de la trama es del 98,5% ($256/(256+2+2)=0.9846$).

3.1.3.- Transmisión serie asíncrona.

En la transmisión serie asíncrona, los datos se envían en cualquier instante. Debido a que no se utilizan señales de sincronización es necesario que cada dato lleve unas marcas para indicar el comienzo y el fin del mismo. El control de la transmisión se efectúa por bits de arranque y de parada que enmarcan cada carácter transmitido y que son utilizados por el receptor para sincronizar su reloj con el del transmisor en cada carácter.

Mientras no se envíen datos por la línea, ésta se mantiene al nivel lógico 1. Cuando se desea transmitir un carácter, se envía primero un bit de comienzo (bit de start) que pone a 0 lógico la línea durante el tiempo de un bit. De esta forma el otro dispositivo detecta que le van a enviar un dato. A continuación se envían todos los bits del carácter a transmitir con una velocidad marcada por el reloj de transmisión. La duración de cada bit de información es igual a la duración del bit de comienzo. Después se envía el bit de detección de errores por paridad si se utiliza, y uno o dos bits de stop.

Normalmente el receptor posee un reloj de recepción con período muy inferior a la duración de los bits de información. (están normalizados los períodos de 16 a 64 veces inferiores a la duración de un bit), lo que permite realizar la sincronización con una precisión elevada.

Start	Información útil	Paridad y Stop
1 bit	5 a 8 bits	1 a 3 bits

El bit o los bits de stop tiene como misión la de llevar la línea al estado lógico 1 para que el bit de comienzo del siguiente carácter provoque la transición hacia el estado lógico 0 que permita al receptor sincronizar el siguiente carácter. La señal de bit de parada es, por tanto, un 1 lógico aunque su duración no está universalmente aceptada, puesto que sirve también al receptor para dar tiempo al receptor a que se acepte el dato recibido.

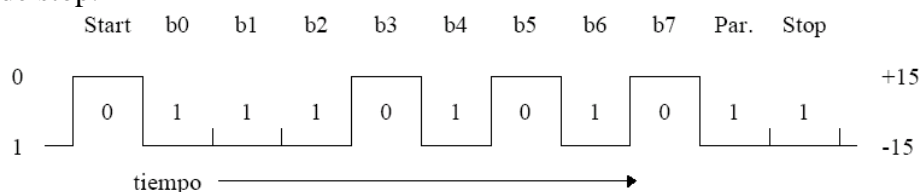
La transmisión de información serie asíncrona presenta la ventaja de permitir enviar caracteres a ritmos variables puesto que cada uno de ellos lleva incorporado la información de sincronismo. Sin embargo, cuando el volumen de información a enviar es importante, este método resulta ineficiente en comparación con la comunicación síncrona, puesto que cada carácter va lastrado por un mínimo de dos bits de sincronismo. El rendimiento es mucho menor que en la comunicación síncrona, desde un 55,5% en el caso más desfavorable ($5/(5+1+3)=0.5555$) hasta un 80% en el más favorable si no se utiliza ningún control de paridad, ($8/(8+1+1)=0.8$).

3.2.- Estándar EIA RS-232.

En 1969 la EIA (Asociación de Industrias Electrónicas), los laboratorios BELL y los fabricantes de equipos de comunicaciones, formularon cooperativamente y emitieron el EIA RS-232, que casi inmediatamente experimentó revisiones menores convirtiéndose en la RS-232-C. Un modelo similar, el V-24, fue aprobado por la organización internacional de modelos, comité consultivo internacional sobre telefonía y telegrafía (CCITT o ITU), con lo cual este modelo se hizo popular a nivel mundial en todos los dispositivos de comunicaciones de datos vía serie. Sin embargo, al no ser una norma de obligado cumplimiento muchos fabricantes hacen una interpretación bastante personal de ella, apartándose del standard y complicando la conexión de sus aparatos.

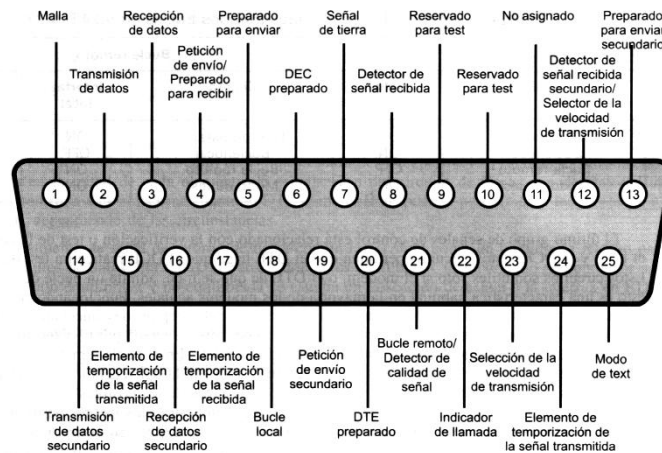
El propósito de esta norma fue establecido formalmente por su título: “Conexión entre un Equipo Terminal de Datos (DTE) y un Equipo de Comunicación de Datos (DCE) empleando un intercambio de datos binarios en serie”. En resumen especifica como conectar un terminal o computador (DTE), a un módem (DCE).

El orden de transmisión de los bits por la línea es el siguiente: se comienza con el bit de start que siempre es un “0”, luego se transmite el menos significativo (el que está más a la derecha) y así sucesivamente hasta llegar al más significativo (el que está más a la izquierda). Después va el bit de paridad en el caso de que se utilice, y por último los bits de stop, que pueden ser 1, 1.5 ó 2. El valor 1.5 indica que la línea toma el valor “1” durante un periodo y medio de un bit de tiempo. En la figura se presenta la transmisión de la letra “w” cuyo código ASCII es 87 y en binario “01010111”. Se utiliza paridad par y un bit de stop.



La norma de conexión RS-232-C establece que los conectores a utilizar deben ser del tipo SUB-D 25 también denominado DB-25. Estos conectores tienen forma de “D”, de

ahí su nombre, y disponen de 25 terminales de conexión. Sin embargo, habitualmente se usan 8 conectores como máximo, siendo lo más normal utilizar 5 ó 3. La asignación de terminales se puede observar en la siguiente figura:



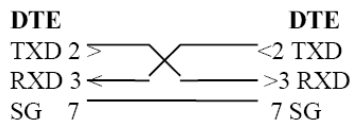
Otro problema que tenemos con los conectores, es que aunque la norma define como conector estándar el SUB-D 25, los ordenadores suelen usar como salida serie el conector SUB-D 9 (o DB-9), de forma análoga al anterior pero con 9 patillas, 5 en una fila y 4 en otra.

RS-232-C	
SUB-D 25	SUB-D 9
8	1
3	2
2	3
20	4
7	5
6	6
4	7
5	8
22	9

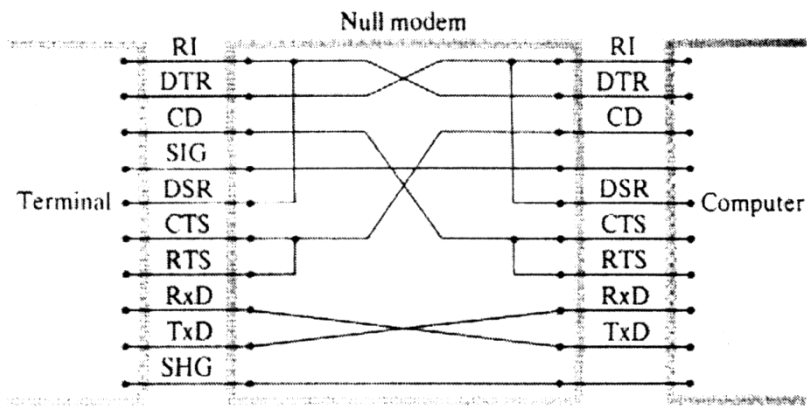


La línea TXD (2) es la que utiliza un dispositivo DTE para transmitir los datos; es por tanto salida en un DTE. Si el equipo es DCE, es por donde recibe los datos y es entrada para él. La línea RXD (3) es la que utiliza un dispositivo DTE para recibir los datos. Si el equipo es DCE es por donde transmite los datos. La línea GRN (7) es la masa digital y siempre tiene que estar conectada. Con estas tres líneas funcionaría una conexión serie básica y en la actualidad la tendencia es a usar las menos líneas posibles. Las conexiones a tres hilos son pues bastante comunes.

Uno de los usos no estándar más comunes de la norma RS-232-C es la conexión de dos DTE entre si. La forma más sencilla de conectar dos DTE (por ejemplo dos PCs) es unir la línea 2 de unos de ellos a la 3 del otro, y del mismo modo la 2 del segundo DTE a la 3 del primero. En la versión más básica de este tipo de cable, que se denomina **“de módem nulo”** o **“null-modem”**, no se conecta ninguna de las otras patillas excepto la tierra (7), que conforma el retorno común para los circuitos transmisor y receptor.



Un cable de tres hilos es suficiente, y funcionará con la mayoría de los programas (los que emplean control de flujo de la comunicación software), pero no con todos. Algunos programas inspeccionan las líneas CTS, DSR y DCD y no funcionarían a no ser que alguna o todas estas señales sean 0 lógico u ON (control de flujo hardware). No obstante se puede engañar al programa conectando adecuadamente entre sí las líneas control de los dos DTE. Existen muchos ejemplos de estos tipos de cableados, dependiendo normalmente su configuración del software de comunicaciones empleado.



Otro tipo de cable para unir un PC a un dispositivo (router, switch, etc...) y configurarlo es el denominado "roll-over". Consiste en un cable RJ-45 a DB9. El primer conector es para el dispositivo en una boca titulada "consola". El segundo es para el puerto serie del PC, que lo utilizará mediante la aplicación Hyperterminal o similar. Existen adaptadores de RJ-45 a DB9 y a DB25, con lo que suele venir el cable grimpado en RJ-45 en ambos extremos (**cable "transpuesto"**) y los adaptadores aparte.

4.- Medios de transmisión.

El propósito de la capa física consiste en transportar el flujo original de bits de una máquina a otra. Hay varios medios de transmisión sobre los que se puede llevar a cabo este propósito.

4.1.- Cable de luz o PLC (*Power Line Communications*).

El medio de transmisión más económico es el que tiene coste de instalación cero. En este sentido en cualquier lugar donde se vaya a instalar equipamiento de telecomunicaciones ha de haber al menos una red eléctrica de potencia. Dado que los cables de la luz no están concebidos para la comunicación, no tienen las mejores características en cuanto a ancho de banda. Sin embargo es posible sumar a la tensión eléctrica de potencia una señal portadora de mayor frecuencia (normalmente alrededor de los 100 kHz) sobre la cual transmitir información. Éste es el caso de múltiples protocolos domóticos como KNX o x10, en los que dada la funcionalidad no se requieren velocidades de transmisión elevadas.

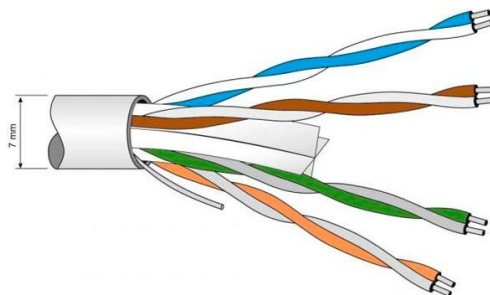
También se pueden utilizar frecuencias más altas y transmitir a velocidades típicas de LAN. Existen dispositivos que pasan tramas Ethernet a través de PLC. No obstante están sujetos a diferentes condiciones para que se pueda garantizar su funcionamiento: distancias cortas, baja presencia de ruidos, conexiones en buen estado, etc.

Los problemas del uso del cable de potencia para transmitir son varios:

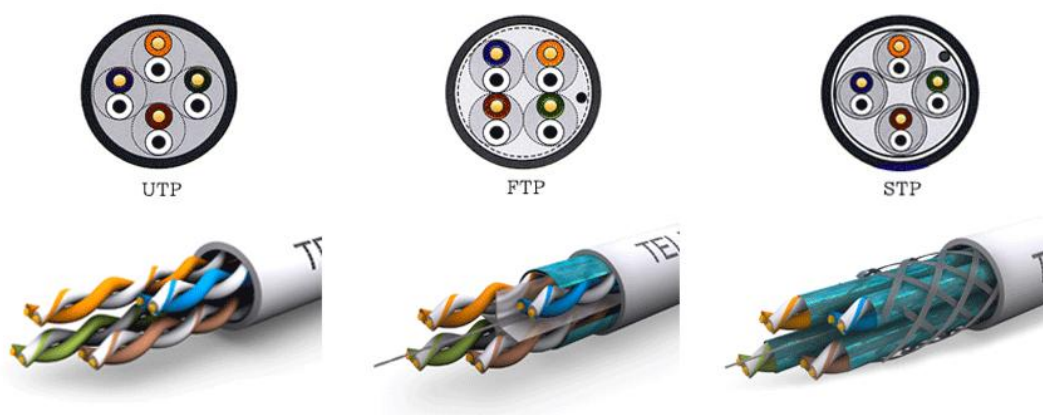
- Alta atenuación en general.
- Bajo ancho de banda, también provocado por la atenuación creciente a frecuencias altas.
- Presencia de ruidos: Debido a que no suponen un problema para el transporte de energía, los electrodomésticos nunca se han visto forzados a cuidar qué armónicos emiten hacia la red de potencia. Muchas fuentes de alimentación utilizan la conmutación, y esto inyecta ruido en la red. Se puede paliar con filtros, pero hay que instalar uno en cada punto en el que se desee la supresión de dichas frecuencias.

4.2.- Par trenzado.

El medio de transmisión más antiguo es el par trenzado, que aún es muy usado hoy en día. Consiste en dos hilos de cobre aislados, de 1 mm de espesor aproximadamente. Los conductores se trenzan en forma helicoidal para reducir la interferencia eléctrica con respecto a los pares cercanos que se encuentran a su alrededor. Su aplicación más común es el sistema telefónico. Cuando hay muchos pares trenzados en paralelo, recorriendo una distancia considerable, éstos se agrupan y se cubren con una malla protectora. Los pares trenzados pueden usarse para transmisión analógica o digital, y su ancho de banda depende del trenzado del cable y de la distancia que recorre. En muchos casos, pueden obtenerse transmisiones de varios Mbits por segundo sobre distancias de pocos kilómetros.



Debido a su buen comportamiento y bajo coste, están ampliamente difundidos. Por lo general se trata de 4 pares de cable conjuntos apantallados o no. Los tipos más utilizados y sus características son los siguientes:



- **Sin apantallar UTP** (Unshielded Twisted Pair). Es el más utilizado. Se vende en diferentes calidades o categorías. Las características para 100 metros de cable en las diferentes categorías son:

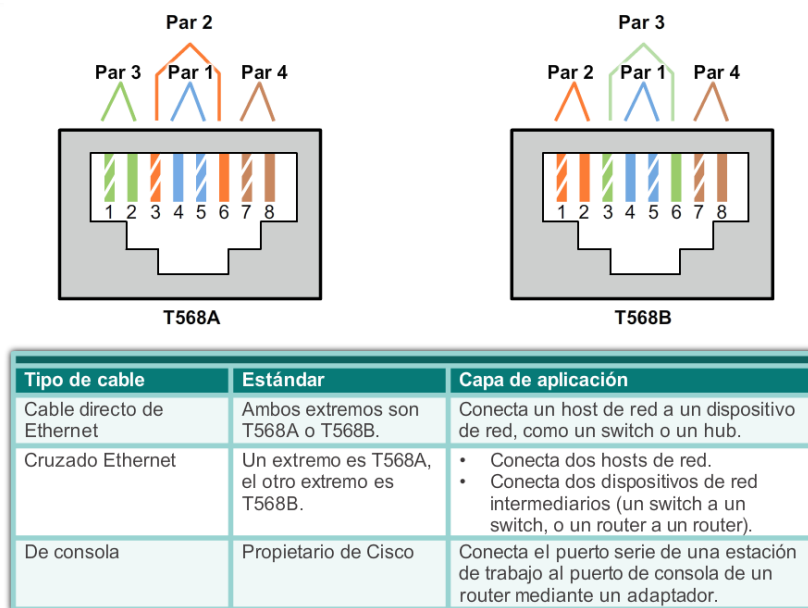
Cable	W del cable	Protocolo Ethernet	Velocidad	Ancho de banda
Cat 3	16 MHz	10BASE-T	10 Mbit/s	10 MHz
Cat 5	100 MHz	100BASE-TX	100 Mbit/s	31.25 MHz
Cat 5e	100 MHz	1000BASE-T	1000 Mbit/s	62.5 MHz
		2.5GBASE-T	2500 Mbit/s	100 MHz
Cat 6	250 MHz	5GBASE-T	5000 Mbit/s	200 MHz
Cat 6A	500 MHz	10GBASE-T	10000 Mbit/s	400 MHz
Cat 7	600 MHz			
Cat 8 (30 m)	1600/2000 MHz	25GBASE-T	25000 Mbit/s	1000 MHz
		40GBASE-T	40000 Mbit/s	1600 MHz

- **Apantallado:** Utilizan una cubierta protectora para apantallar ruidos electromagnéticos externos. Puede dar problemas si la instalación a tierra del apantallamiento es deficiente. Tipos:

- **FTP** (Foiled Twisted Pair) o ScTP. 120 Ω . La cubierta protectora es común al conjunto de cables. También conocido como ScTP.
- **STP** (Shielded Twisted Pair) o S-STP. 150 Ω de impedancia característica. 300 MHz de ancho de banda. Existe una cubierta protectora alrededor de cada par de cables y otra global.

Recientemente la nomenclatura ha cambiado para denominar la diversidad de cables existentes. Se utiliza una letra para indicar el tipo de apantallamiento del cable global y otra para cada par trenzado individualmente. Las letras son U=no apantallado, F=apantallado con película metálica y S=apantallado con malla de cobre. De este modo el cable UTP pasaría a denominarse U/UTP, el FTP sería F/UTP, y el STP sería S/FTP.

Los conectores más habituales para LAN se denominan RJ-45 y la secuencia de colores está recogida en las normas EIA/TIA 568A y B

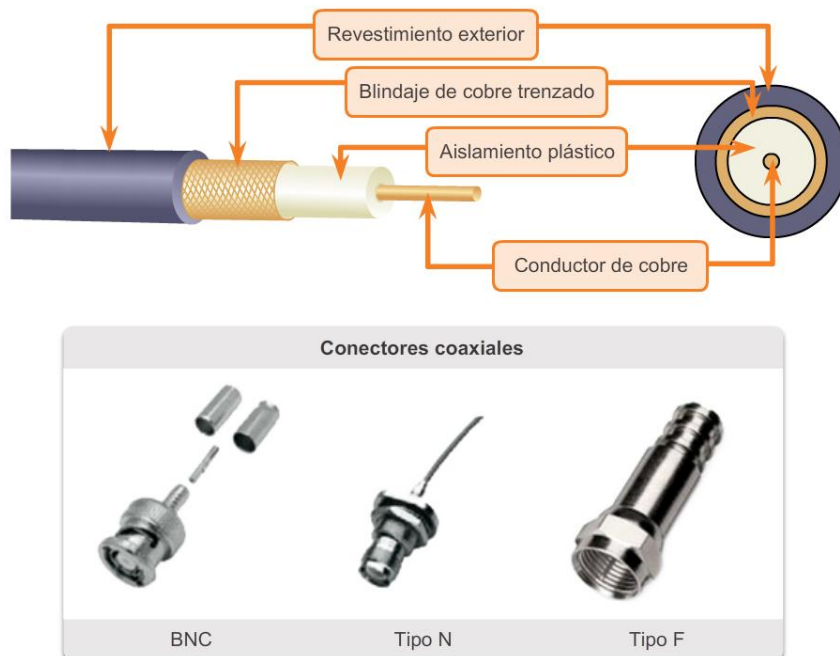


Cuando los conectores en ambos extremos siguen la misma secuencia se habla de cableado directo, y es el más habitual. La norma de preferencia en ese caso es la B. Cuando los conectores de ambos extremos siguen secuencias diferentes (A en uno y B en otro) entonces se dice que el cable está cruzado. Entre equipos antiguos, cuando se conectan dos NIC entre sí (dos PCs, dos routers o un router con un PC) es necesario usar este tipo de cable. Para todas las demás conexiones se utiliza el directo.

4.3.- Cable coaxial.

El cable coaxial es otro medio típico de transmisión. Hay dos tipos de cable coaxial, el cable coaxial de 50 Ω , que se usa en la transmisión digital y el cable coaxial de 75 Ω que se emplea para la transmisión analógica. El cable de 50 Ω también se conoce como cable coaxial de banda base, mientras que el 75 Ω se denomina cable coaxial de banda ancha.

El cable coaxial consta de un alambre de cobre en su parte central o núcleo. Este se encuentra rodeado por un material aislante. A su vez, el material aislante está recubierto por un conductor que suele presentarse como una malla trenzada. Por último, dicha malla está recubierta por una capa de plástico protector. De este diseño en forma de capas concéntricas es de donde se deriva el nombre.



El cable coaxial produce una buena combinación de un gran ancho de banda con una alta inmunidad al ruido. El ancho de banda que puede alcanzarse depende de la longitud del cable y del tipo, pudiendo ser de hasta 450 MHz. Así, un cable de 50 Ω y de 1 km de longitud permite obtener velocidades de hasta 10 Mbps en banda base y hasta 150 Mbps en transmisiones en banda ancha sobre cables de 75 Ω . Por otro lado, la señal eléctrica se propaga, según el tipo cable, a una velocidad que varía entre el 66% y el 80% de la velocidad de la luz. La atenuación de los cables varía entre los 20 y los 60 dB/100 m a 400 MHz.

Las principales ventajas e inconvenientes del cable coaxial respecto a otros medios de transmisión son:

- Mayor inmunidad a ruidos externos que el par trenzado.
- Mayores distancias y ancho de banda que el par trenzado.
- Coste del cable más elevado (25 céntimos el metro frente a 17 del cable UTP cat 5e)
- Coste de la instalación más elevado: las conexiones coaxiales consumen mucho más tiempo que las UTP.

Las aplicaciones actuales del cable coaxial son:

- Distribución de señales de televisión
- Antena para televisión.
- Televisión por cable (CATV).
- Distribución de datos local

-Cablemodems (TV+Teléfono+Internet). Son redes de distribución colocadas por los operadores (ISPs) de tal modo que lo que llega al cliente es un cable coaxial por donde recibe los tres servicios: telefonía fija, televisión y acceso a Internet. En el cliente hay un cablemódem, es decir, un equipo que desmultiplexa las tres señales.

-Conexión fibra – equipos de datos. Resuelve la conexión entre equipamiento de red a altas velocidades y distancias cortas. Suelen corresponder con equipos que reciben o emiten por fibra óptica y que demultiplexan un alto flujo de datos desde la fibra a múltiples canales que se reparten con coaxial.

Aplicaciones antiguas:

-LAN: Ethernet 10Base5 y 10Base2, Token Ring 10Mbps, Token Bus.

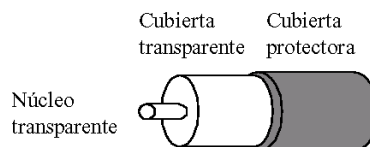
-Telefonía a larga distancia multiplexando varios canales en frecuencia.

4.4. Fibra óptica.

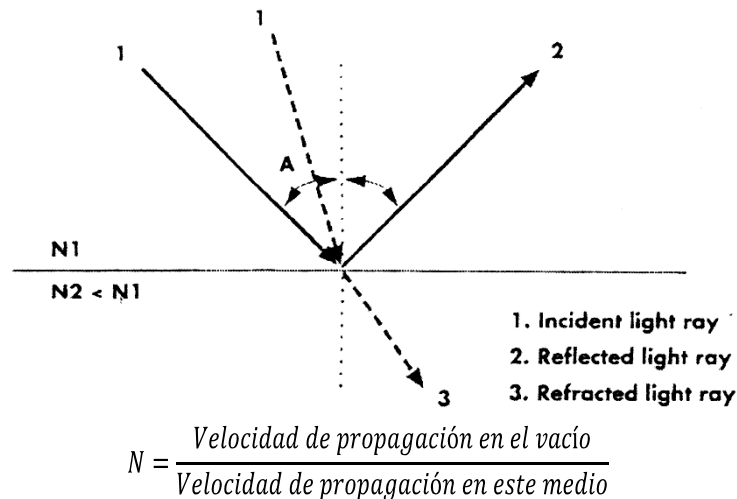
Los avances en el campo de la tecnología óptica han hecho posible la transmisión de información mediante pulsos de luz. Un pulso de luz puede utilizarse para indicar un bit de valor 1, y su ausencia un bit de valor cero. La luz visible tiene una frecuencia de alrededor de 0.5 PHz (10^{15} Hz), por lo que el ancho de banda de un sistema de este tipo tiene un potencial enorme. En lugar de definir las portadoras de luz por su frecuencia suele hacerse por su longitud de onda. Por ejemplo para la luz amarilla sería 570 nm (nanómetros 10^{-9} m). Un sistema de transmisión óptica tiene 3 componentes: el medio de transmisión, la fuente de luz y el detector.

4.4.1.-Tipos de fibra.

El medio de transmisión es una fibra ultradelgada de vidrio o silicio fundido. También existen fibras fabricadas con polímeros plásticos de calidad inferior a las de vidrio.



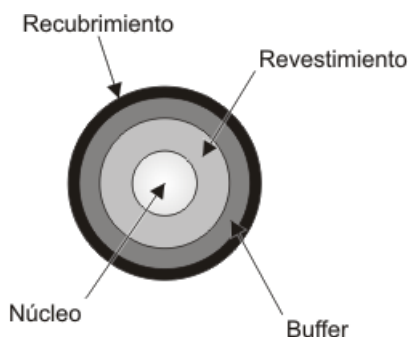
El sistema se basa en el principio físico de la refracción. Cuando un rayo de luz pasa de un medio a otro, el rayo se refracta en la frontera entre ambos medios. En general, el ángulo de refracción depende de las propiedades de los medios en contacto, en particular de sus índices de refracción. Si el ángulo de incidencia se encuentra por encima de un determinado valor crítico, la luz se refleja y no sale del medio.



La fibra óptica esta compuesta por dos medios transparentes de distinto índice de refracción, un núcleo y un revestimiento que lo envuelve. Finalmente se cubre el conjunto con una cubierta opaca. Así, los rayos que incidan por encima del **ángulo crítico** van a quedar atrapados dentro del núcleo de la fibra, y pueden propagarse a lo largo de varios kilómetros sin apenas tener pérdidas.

Dado que cualquier rayo de luz incidente, por encima del ángulo crítico, se reflejará internamente, existirá una gran cantidad de rayos diferentes rebotando a distintos ángulos. A esta situación se la conoce como **fibra multimodo**. Si el índice de refracción es uniforme en todo el núcleo, la fibra se denomina de **índice de escala** y los haces rebotarán bruscamente en el punto de contacto del núcleo con el revestimiento, que tiene un índice de refracción diferente. Si el índice de refracción del núcleo varia gradualmente, aumentando poco a poco hacia el centro del mismo, la fibra se denomina de **índice gradual** y los haces de luz son conducidos de forma más suave hacia el interior de la fibra, sin que reboten bruscamente reduciendo así las pérdidas en la propagación del haz. Llegan hasta los 2 Km.

Si el diámetro se reduce hasta que sea semejante 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 monomodo**. Estas fibras necesitan diodos láser para su excitación, se asegura una mayor eficiencia y pueden usarse en distancias muy largas (3 Km). La estructura de la fibra es la siguiente:

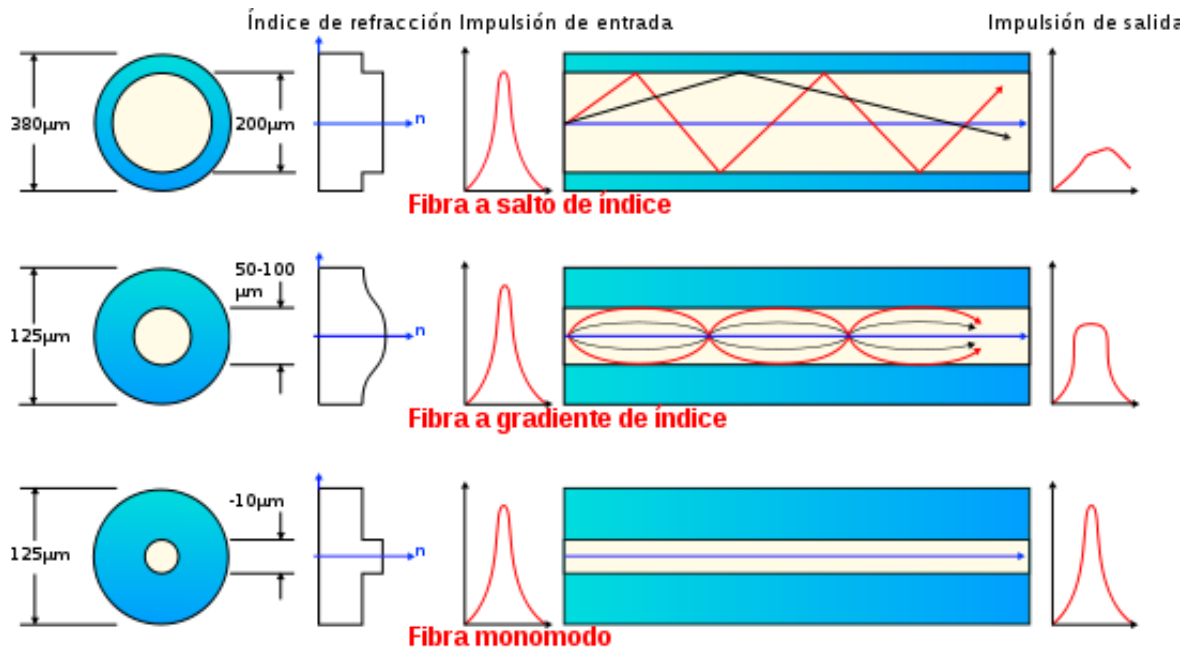


Núcleo: El vidrio de alto índice de refracción por el que viajan las ondas.

Revestimiento: El vidrio de bajo índice de refracción que impide la dispersión e las ondas.

Buffer: Tubo de plástico vacío o Tubo de plástico de amortiguación estrecha.

Recubrimiento: Una capa de Kevlar o fibra de Aramido y una capa de plástico naranja.



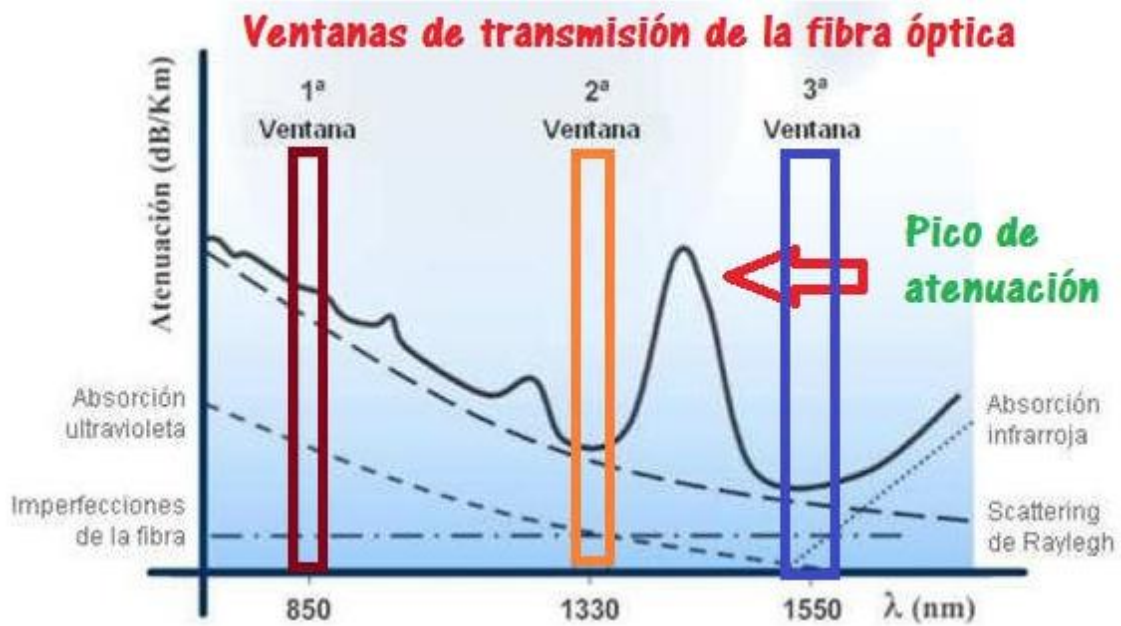
La **apertura numérica** de una fibra óptica es el parámetro que define el **ángulo crítico** para que la luz se propague a través de la fibra óptica. En concreto, la *apertura numérica*, es seno del máximo ángulo respecto al eje longitudinal con el que un haz de luz puede incidir en el extremo de una fibra óptica para que se propague por la misma. Este parámetro está íntimamente relacionado con los diámetros del núcleo y el revestimiento.

Cuanto más grandes sean éstos, mayor es la *apertura numérica* y más fácil resultará el acoplamiento de dos segmentos de fibra óptica o de esta con los dispositivos emisor y receptor. Sin embargo, crecerán a la vez las pérdidas en la propagación de la luz.

Los enlaces de fibra óptica se están usando para la sustitución de enlaces telefónicos de larga distancia. Hasta ahora se usaba cable coaxial de banda ancha. También se usan para el montaje de redes LAN, aunque requieren una tecnología más compleja que el cable coaxial. El problema fundamental es que la realización de conexiones intermedias es complicada y supone una importante pérdida de luz. Para medirla existen dos instrumentos importantes: los medidores de Pérdida Óptica y los Reflectómetros Ópticos de Dominio de tiempo (OTDR).

4.4.2.-Frecuencias utilizadas.

La distorsión de la atenuación dentro de la fibra favorece determinados rangos preferentes de frecuencias denominados ventanas.



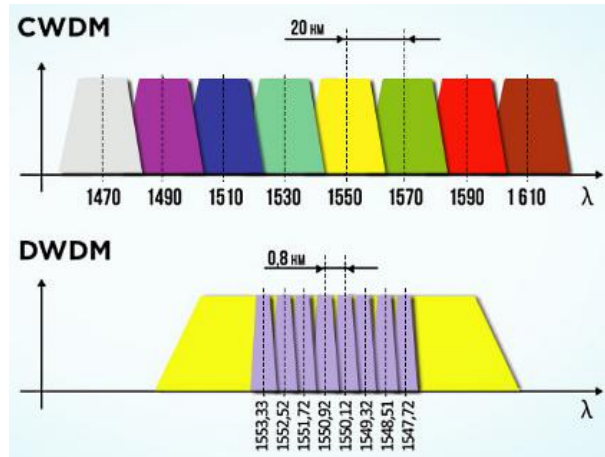
La primera ventana, en torno a los 850 nm, es la más usada para transmisiones a corta distancia como troncales de redes LAN. La segunda ventana (en torno a los 1330nm) puede ser usada además para larga distancia. La tercera ventana (1550 nm) se usa casi exclusivamente en larga distancia.

Longitud de onda	Tipo de Fibra (núcleo/revestimiento)	distancia máxima
850 nm	multimodo	0.1
		0.5
		1
		5
1330 nm	50/125 μm	10
	9/125 μm	50
1550 nm	9/125 μm	+100

En la tercera ventana existen además dos técnicas de multiplexión por frecuencias que aumentan ostensiblemente el caudal de transmisión. Estas técnicas se denominan **WDM** (Wave Division Multiplexing):

-**CWDM** (Coarse WDM) realiza una división más basta del ancho de banda lo cual permite mayor holgura en la dispersión de la portadora. Está diseñada para permitir el uso de equipamiento de bajo costo.

-**DWDM** (Dense WDM) consiste en un uso mucho más eficiente del ancho de banda pero requiere el uso de láseres de más calidad lo que supone un equipamiento de transmisión más costoso.

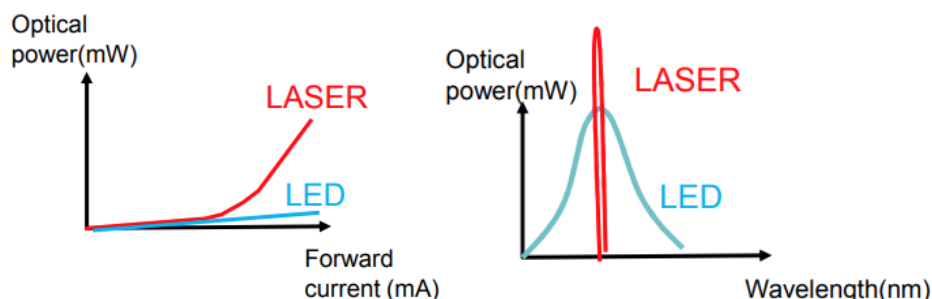


4.4.3.-Tipos de emisores y receptores.

La fuente de luz puede ser un LED (normalmente emite en 850 nm o 1310 nm, más usado en LAN) o un láser (sobre todo emite en 1310 nm o 1550 nm, Ej: VCSEL). El detector es un fotodiodo tipo PIN (diodos P-Intrínsecos-N) que genera un pulso eléctrico en el momento en el que recibe un rayo de luz. Otro tipo de detector más sensible es el fotodiodo de avalancha o APD. La transmisión de datos que se obtiene es unidireccional, lo que implica que los cables suelen venir por pares.

Los fotones en los LEDs se producen cuando un electrón cae desde la banda de conducción a la banda de valencia. Dada la multiplicidad de suborbitales que densifican ambas bandas, habrá una frecuencia generada principal, pero un conjunto significativo de frecuencias aledañas. La potencia de los LEDs en fibra óptica va desde unos cientos de microvatios hasta unos pocos milivatios

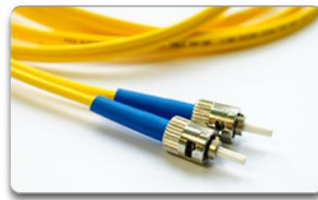
En general los emisores de tipo LED son más baratos, pero están limitados en potencia (lo cual significa un menor alcance) y suelen presentar un espectro de frecuencias más abierto, lo que no interesa de cara a los efectos de distorsión en la recepción de la señal ni de consumo de ancho de banda.



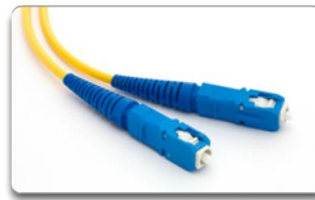
Por el contrario la potencia que se puede obtener con láser es mucho mayor (desde centenas de mW hasta W) y dada su naturaleza, la luz generada se mantiene en una misma frecuencia. En un láser parte de los fotones se generan cuando otro pasa por el electrón excitado. Al hacerlo caer el nuevo fotón emitido está en la misma fase que el primero, con lo que la onda emitida siempre suma a la anterior.

4.4.4.-Tipos de conectores.

Los conectores pueden ser de muy diverso tipo. Además, pueden venir acoplados por parejas, dado que en fibra siempre encontraremos dos puntas: transmisión y recepción.



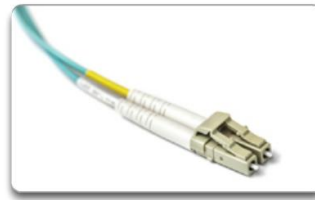
Conectores ST



Conectores SC

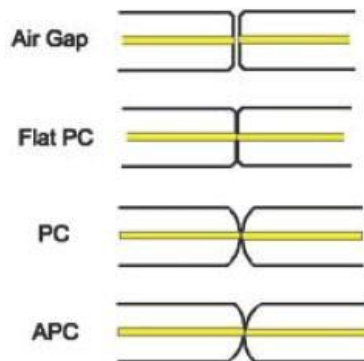


Conector LC



Conectores LC multimodo dúplex

Los más usuales son los SC (cuadrados, normalmente asociados a fibra multimodo), los ST (redondos tipo BNC, típicos de monomodo) y LC (con pestaña superior tipo RJ-45). Además del conector hay que precisar qué tipo de pulido se efectuará en la punta. Cada tipo de pulido tiene diferentes propiedades. Por ejemplo el pulido oblícuo elimina el ruido causado por la propia señal al reflectarse de nuevo hacia el conductor. Las más usuales son: planas con separación (air gap), planas con contacto, redondeadas ortogonales y redondeadas oblícuas.



4.4.5.-Ventajas e inconvenientes.

Las ventajas del uso de la fibra óptica son los siguientes:

- Ancho de banda muy superior a los medios de cobre, por tanto una enorme capacidad del canal. De hecho, la velocidad teórica de transmisión alcanzable muy elevada (entorno a 50.000 Gbps). En la práctica, la velocidad real de transmisión es mucho menor, limitada por la frecuencia de trabajo de los fotoemisores y fotorreceptores. Actualmente se llega a 100 Gbps en distancias cortas y 4 Gbps en distancias largas (300 km).

- Menor atenuación y mayores distancias sin necesidad de repetidores.
- Totalmente inmune a las interferencias electromagnéticas externas
- Los cables de fibra son muy delgados y ligeros. Por tanto la instalación de una red de fibra óptica requiere conductos mucho más reducidos. Se pueden agrupar decenas de fibras en mangueras de reducido diámetro.

Las desventajas de la fibra óptica son:

- La transmisión de luz es intrínsecamente unidireccional.
- La manipulación de la fibra óptica es muy compleja, por lo que se precisa de mayor especialización y equipos caros (OTDR).
- Los empalmes aumentan la atenuación de forma irreversible.
- El precio de la fibra es unas tres veces superior al cobre.

4.4.6.-Aplicaciones.

La fibra es omnipresente en WAN y en zona troncal de las redes LAN compite con el cobre. Los usos más habituales de la fibra hoy día son:

Enlaces telefónicos de larga distancia

Hasta 1.500 km

Entre 20.000 y 60.000 canales de voz simultáneos

Enlaces telefónicos metropolitanos

Longitud media de 12 Km

Hasta 100.000 canales de voz simultáneos

Bucles de abonado (FTTH, Fiber to the home):

Try Play: Televisión, voz y datos usando fibra

Splitters pasivos (PON)

Iniciativa pública.

Redes de área local y metropolitana

Usado tradicionalmente en redes MAN (FDDI, DQDB, etc.)

Actualmente se utiliza también en redes LAN Ethernet de alta velocidad

Gigabit Ethernet - 1Gbps (1000BASE-SX y 1000BASE-LX)

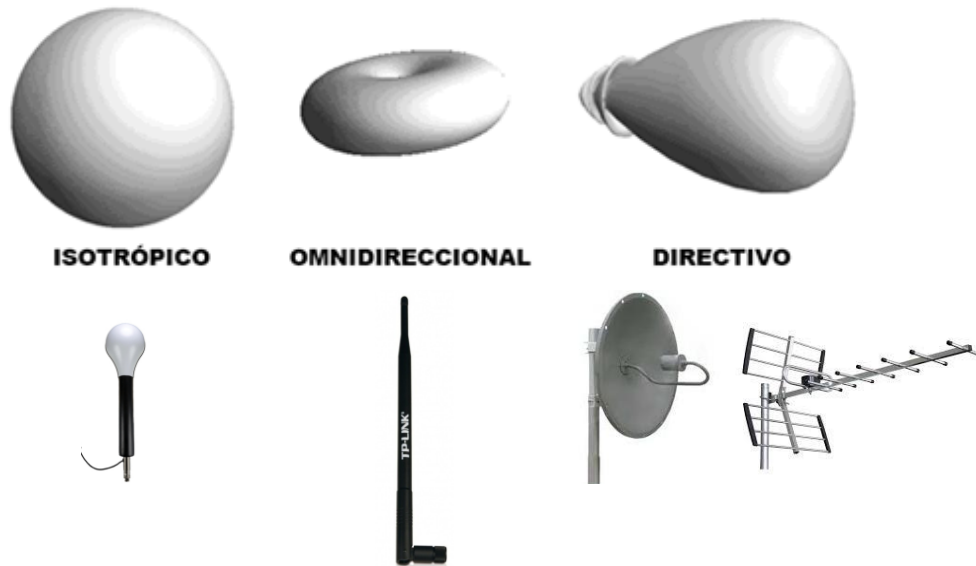
10Gigabit Ethernet - 10 Gbps

Implementaciones futuras: 100 Gigabit, 1 Terabit y 10 Terabit Ethernet

En concreto, las operadoras están sustituyendo su red de distribución por fibra en lo que se conoce como FTTH (Fiber to the home), es decir, el bucle de abonado también se sustituye por fibra óptica y en el cliente se coloca un nodo que desmultiplexa la señal en teléfono, televisión e internet. Existen dos formas de lograrlo: conexión en estrella donde cada usuario dispone de una señal individual por su fibra y conexión compartida donde la misma señal se comparte entre varios usuarios. Esta última resulta muy económica dado que los repartidores (splitters) de señal utilizan dispositivos ópticos pasivos, prismas, es decir, ni consumen electricidad ni resultan caros. En el primer caso se habla de multiplexores activos (AON), en el segundo de multiplexores pasivos (PON).

4.5.- Transmisión inalámbrica.

La transmisión inalámbrica aprovecha el hecho de que las señales electromagnéticas no necesita un medio guiado para propagarse. En este caso se utilizan antenas para la emisión y la recepción de la señal. Según cómo sea la antena y los rangos de frecuencias utilizados, la energía de la señal tendrá una propagación en el espacio diferente



Se denominan antenas **isotrópicas** aquellas que emiten la misma energía en todas direcciones. Por tanto el perfil en el espacio de la distribución de energía será esférico. Las demás antenas, las reales, se llaman **anisotrópicas**. Por ejemplo las antenas dipolo (las que consisten en una varilla recta) tienen un perfil de emisión toroidal, las parabólicas tienen un perfil lobular, al igual que las yagui. Esta anisotropía se especifica con diferentes parámetros:

Direccionalidad de una antena: Para una dirección determinada es la intensidad (potencia/m²) que se está entregando en esa dirección en comparación a la de una antena isótropa (dBi).

$$d(\theta, \varphi) = I(\theta, \varphi) / I_{iso}$$

$$D(\theta, \varphi) = 10 \log I(\theta, \varphi) / I_{iso}$$

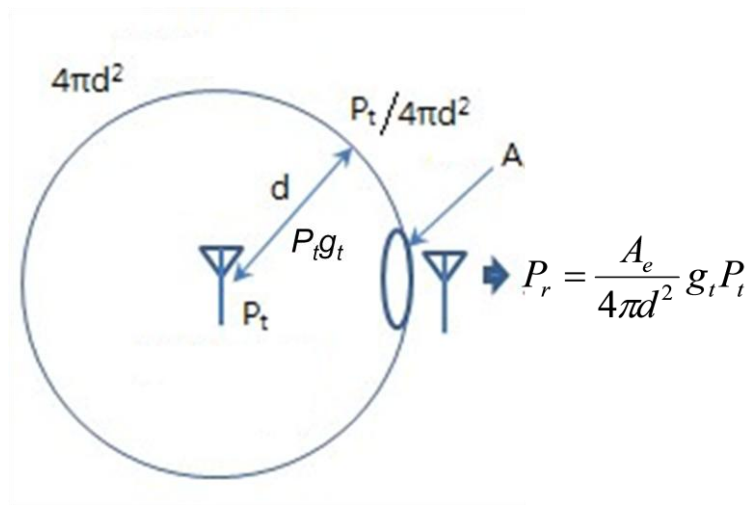
Ganancia de una antena: Potencia en la dirección máxima en relación a la potencia con la que se alimenta la antena. Es la direccionalidad pero considerando las pérdidas Joule en la antena.

$$G = 10 \log \eta \cdot I_{\max} / I_{iso} \therefore g = \eta \cdot d_{\max}$$

Área específica de una antena: Área sensible que presenta la antena a las ondas recibidas. Existe una relación directa entre éste área y la direccionalidad de la antena

$$d_{\max} = \frac{4\pi A_e}{\lambda^2} = \frac{4\pi f^2 A_e}{c^2}$$

A la hora de calcular la atenuación total debida a la transmisión inalámbrica, se plantea cual sería si las antenas fueran isotrópicas y luego se considera la direccionalidad de la antena, o lo que es equivalente, su área específica.



La potencia total emitida por la antena emisora P_t se repartiría equitativamente en todas direcciones por igual si fuera isotrópica, por lo tanto, a una distancia d tendría el mismo valor en todos los puntos de una esfera de radio d . Dicho de otro modo, la densidad de potencia en cada punto de esa esfera sería igual a la potencia emitida P_t dividida por la superficie de la misma.

Si ahora se tiene en cuenta la anisotropía de la antena, en la dirección de máxima emisión, habrá un factor de ganancia de la antena g_t . Por otro lado la antena receptora será capaz de captar sólo la energía que llegue a su área específica. De ahí se obtiene la potencia recibida por la antena P_r .

Por otro lado la ganancia de una antena g_r y su área específica A_e están relacionadas por la ecuación:

$$A_e = \frac{g_r \lambda^2}{4\pi}$$

Al aplicar esta ecuación a la de la figura anterior se obtiene:

$$P_r = \frac{A_e}{4\pi d^2} g_t P_t = \frac{\frac{g_r \lambda^2}{4\pi}}{4\pi d^2} g_t P_t = \frac{\lambda^2 g_r g_t}{(4\pi d)^2} P_t$$

Por tanto la atenuación, expresada en decibelios sería:

$$Aten = 10 \log \frac{P_t}{P_r} = 10 \log \frac{(4\pi d)^2}{g_t g_r \lambda^2} = 10 \log \frac{(4\pi f d)^2}{g_t g_r c^2} = 20 \log \frac{4\pi f d}{c} - G_t - G_r$$

Si las antenas fueran isotrópicas ($g_t = g_r = 1$), la atenuación sólo sería el término $20 \log(4\pi f d/c)$, y a este término se le denomina **pérdida en el espacio libre**. De dicho

término puede observarse que a mayor frecuencia mayor atenuación. Sería la atenuación sin tener en cuenta el tipo de antena elegida.

$$G_t = 10 \log g_t \quad 20 \log \frac{4\pi d f}{c} \quad G_r = 10 \log g_r$$

- + -

Atenuación

Sin embargo, dada un área específica de antena fija, a mayor frecuencia la direccionalidad de las antenas también aumenta, por lo que no parece claro cuál es la frecuencia óptima para transmitir. Para salir de dudas se plantea el caso de antenas de área específica constante y se plantea la atenuación en función de las mismas:

$$A_e = \frac{g_r \lambda^2}{4\pi}$$

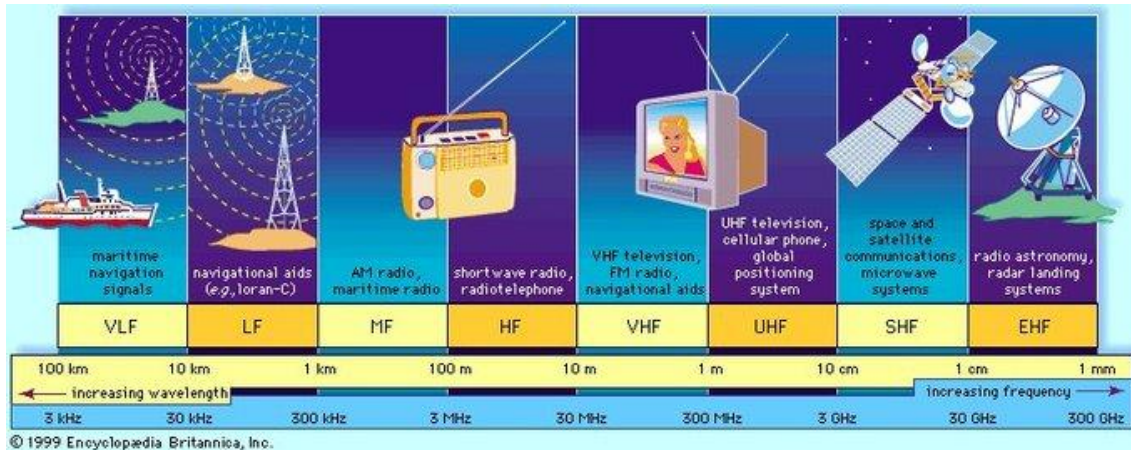
$$Aten = 10 \log \frac{(4\pi d)^2}{g_t g_r \lambda^2} = 10 \log \frac{d^2 \lambda^2}{A_{et} A_{er}} = 10 \log \frac{d^2 c^2}{A_{et} A_{er} f^2}$$

Es decir, dada una misma área específica de antena, a mayor frecuencia menor atenuación. A esto se une el hecho de que según Shannon a mayor ancho de banda (lo cual se logra a frecuencias portadoras más altas), mayor capacidad del canal. De estas consideraciones teóricas se obtienen los siguientes resultados prácticos:

- Las frecuencias preferidas para la comunicación entre dos interlocutores fijos son las más altas sin absorción relevante por parte del medio, que son las microondas (>1GHz). Por encima del rango de las microondas existe un alto grado de atenuación por el medio (partículas en suspensión, aire, humedad, obstáculos, etc) o bien hay un ruido significativo en esas frecuencias (infrarrojos, luz solar).
- Las antenas utilizadas son normalmente parabólicas, pues son altamente direccionales.
- Las antenas deben estar orientadas entre sí con precisión, dispuestas en soportes fijos.
- Si los interlocutores son móviles, las antenas han de ser omnidireccionales y entonces la atenuación será mucho mayor, el alcance más reducido, y cuanto menor sea la frecuencia menor será dicha atenuación.

Las ecuaciones anteriores son aplicables a todas las frecuencias del espectro radioeléctrico. En principio todas son susceptibles de uso para comunicaciones, pero en realidad hay varios factores que las limitan:

- Baja capacidad del canal a frecuencias bajas.
- Presencia de ruido en determinadas bandas.
- Aumento de la capacidad de absorción del medio físico a frecuencias altas, que se traduce en mayor atenuación.
- Limitaciones técnicas a la hora de emitir en los extremos del espectro: tamaño excesivo de las antenas en las bajas frecuencias y emisores costosos en las muy altas.



4.5.1.-Ondas de radio.

Se consideran en este apartado la fracción del espectro radioeléctrico desde los 300 kHz hasta 1GHz. Las aplicaciones usualmente omnidireccionales (radio, domótica, walkie-talkie, etc.), aunque en las frecuencias más altas se usan antenas direccionales (televisión).

Las bandas están reguladas por el ministerio de industria de modo que parte de ellas están asignadas a determinadas empresas por un precio para su explotación. Otra parte está liberada para uso ciudadano, es decir, cualquiera puede usarlas sin necesidad de pedir permiso ni pagar nada.

Bandas de pago:

- Radiomódem (200-500 MHz): mediante el pago de unas licencias se pueden utilizar para la comunicación inalámbrica a larga distancia de datos.

- Frecuencias de radio y televisión (TDT). Se paga para la transmisión al público a través de determinados canales.

Bandas de uso libre:

- Los artículos de uso privado como walkie-talkies, juguetes de control remoto, etc.

- Los protocolos domóticos: EnOcean, KNX, ZigBee, Z-Wave emiten en 868 MHz que es una banda libre, para el control de los electrodomésticos y sistemas inteligentes del hogar. Dado que estos sistemas transportan poca información (sensores todo/nada de presencia, luminosidad, temperatura) no tienen problema con la capacidad del canal.

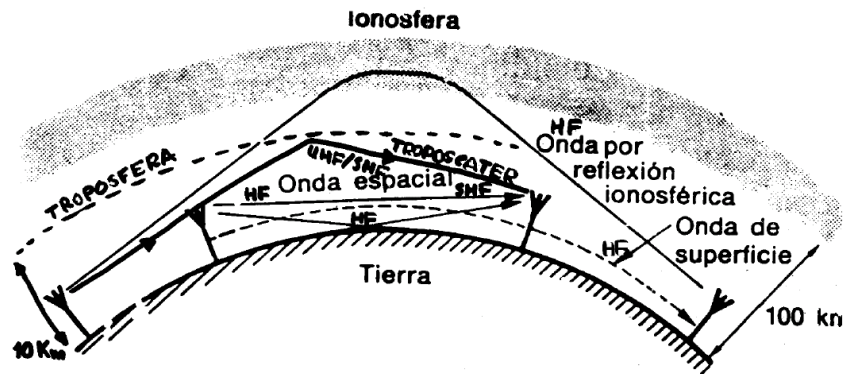
- Algunos protocolos de uso comercial como NFC (RFID) en 13,56 MHz y otras bandas. Se usa para identificación de artículos, pagos, comunicación entre móviles, etc. Distancias muy cortas: menos de un metro en tarjetas pasivas, hasta 10m en activas. Velocidades de transmisión de 106 kbps a 424 kbps.

4.5.2.-Microondas terrestres: enlaces punto a punto.

En aplicaciones de comunicaciones a larga distancia se ha empleado la transmisión por radio de microondas. Las antenas parabólicas se pueden montar sobre torres para enviar un haz de señales a otra antena a decenas de kilómetros de distancia. El sistema es muy

usado en transmisiones telefónicas y de vídeo. Cuanto más alta sea la torre mayor es el alcance ya que se propagan fundamentalmente en línea recta.

La transmisión mediante microondas se lleva a cabo en una escala de frecuencias que va de 2 a 40 GHz. Estas frecuencias se han dividido en bandas de portadoras para uso gubernamental, militar, etc. Con una torre de 100 m pueden llegar a cubrirse distancias de 100 km.



Otras ondas pueden propagarse de distintas maneras permitiendo alcanzar mayores distancias como en el caso de las ondas de alta frecuencia (HF). Según la forma en que se propagan se tienen los siguientes tipos de ondas:

- **Ondas espaciales:** Es la forma en que se propagan la mayoría de las ondas, en línea recta o con una simple reflexión sobre la superficie terrestre (que a veces puede ser perjudicial y provoca ecos de la señal).
- **Ondas de superficie:** Algunas frecuencias de la banda de HF tienen la propiedad de propagarse siguiendo la curvatura de la superficie terrestre, lo que les permite alcanzar mayores distancias.
- **Ondas ionosféricas:** Se trata de ondas capaces de reflejarse en la ionosfera, una capa de la atmósfera terrestre situada a 100 km de altura. Algunas frecuencias de la banda HF alcanzan grandes distancias gracias a esta propiedad.
- **Troposcater:** Frecuencias de las bandas UHF y SHF (microondas) tienen la propiedad de ser reflejadas por una capa de la atmósfera terrestre denominada troposfera a 10 km sobre la superficie terrestre.

La distancia máxima entre antenas verifica: $d = 7.14 \sqrt{k \cdot h}$ siendo: d la distancia de separación en kilómetros, H la altura de la antena en metros y k el factor de corrección de la refracción de las microondas con la curvatura de la tierra, típicamente $k=4/3$. A mayor ancho de banda mayor capacidad del canal, aunque las velocidades de transmisión usadas serán siempre inferiores a este límite. Como ejemplo tenemos la siguiente tabla:

Banda (GHz)	Ancho de banda (MHz)	Razón de datos (Mbps)
2	7	12
6	30	90
11	40	90
18	220	274

4.5.2.-Microondas por satélite.

Los primeros satélites de comunicaciones se emplearon de forma experimental por la NASA en 1960. Se trataba de unos simples globos de mylar aluminado, de unos 33 metros de diámetro, denominados Echo I y Echo II ya que actuaban como simples reflectores pasivos. En ese mismo año se lanzaron los primeros satélites activos.

En la actualidad este tipo de comunicación puede imaginarse como si tuviésemos un enorme repetidor de microondas en el cielo. Está constituido por uno o más dispositivos receptor-transmisor, cada uno de los cuales escucha una parte del espectro, amplificando la señal de entrada y retransmitiendo a otra frecuencia para evitar los efectos de interferencia.

El flujo hacia la tierra puede ser muy amplio y cubrir una parte significativa de la superficie terrestre, o bien ser pequeño y cubrir un área de unos cientos de kilómetros de diámetro, en este último caso se conocen como configuración VSAT (Very Small Aperture Terminal).

La mejor órbita de los satélites de comunicaciones es una **órbita geoestacionaria**, es decir, una órbita en la que la velocidad angular del satélite en el espacio coincida con la de la tierra, de modo que desde la superficie terrestre se vea con un punto fijo en el cielo. De este modo las antenas pueden instalarse con una orientación fija. El problema es que sólo existe una región del espacio donde dicha órbita sea posible, y es un anillo único a 35784 km sobre el ecuador. Con la tecnología actual no es deseable tener satélites espaciados a menos de 2°. El haz proveniente de la tierra, considerando separaciones menores, iluminaría al que se desea y también a los que le rodean. Con este espaciamiento sólo puede haber 180 satélites geoestacionarios al mismo tiempo y el problema es aún más grave en el cuadrante más utilizado, el que se encuentra sobre EEUU y Europa.

Debido a su gran potencia, los satélites de TV necesitan un espaciado de 8°. Hay una gran competencia por el uso de los mismos. Dos satélites que operen en bandas de frecuencia distintas, si pueden ocupar la misma **ranura orbital** (sector del anillo geoestacionario).

Existen acuerdos internacionales para el uso de ranuras orbitales y frecuencias. Las bandas de 3.7 a 4.2 GHz y de 5.925 a 6.425 GHz se han asignado como frecuencias de telecomunicación vía satélite para flujos provenientes del satélite o dirigidos hacia él. En la actualidad estas bandas están superpobladas porque también se utilizan por los proveedores de servicios portadores para enlaces terrestres de microondas.

Las bandas superiores siguientes que se encuentran disponibles son las de 12-14 GHz, y a estas frecuencias los satélites pueden tener un espaciado de 1°. El problema en este caso es la lluvia, ya que el agua es un gran absorbente de este tipo de microondas. Las bandas de 20-30 GHz también se han reservado para comunicaciones por satélites, pero el coste de la tecnología necesaria resulta prohibitivo.

Un satélite típico divide su ancho de banda de 500 MHz en unos 12 receptores-transmisores de un ancho de banda de 36 MHz cada uno. Cada par puede emplearse para codificar un flujo de información de 500 Mbps, 800 canales de voz digitalizada de 64 kbps, o bien, otras combinaciones diferentes.

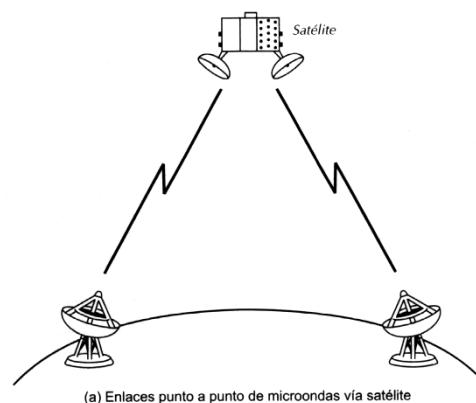
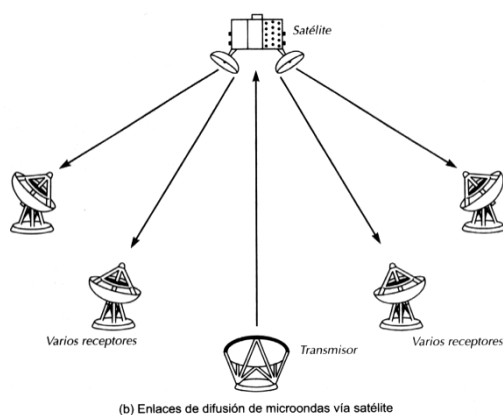
En los primeros satélites, la división en canales era estática separando el ancho de banda en bandas de frecuencias fijas. En la actualidad el canal se separa en el tiempo, primero una estación, luego otra, y así sucesivamente. El sistema se denomina de multiplexión por división en el tiempo. También tenían un solo haz espacial que cubría todas las estaciones terrestres. Con los desarrollos experimentados en microelectrónica, un satélite moderno posee múltiples antenas y pares receptor-transmisor. Cada haz de información proveniente del satélite puede enfocarse sobre un área muy pequeña de forma que pueden hacerse simultáneamente varias transmisiones hacia o desde el satélite. A estas transmisiones se les llama traza de ondas dirigidas.

La información transmitida a través del satélite sufre un retardo adicional como consecuencia de la larga distancia que debe recorrer la señal. Este tiempo extremo a extremo oscila entre 250 y 300 ms.

Los enlaces terrestres tienen un retardo de propagación de unos 3 ms/km. en un cable coaxial el retardo es de unos 5 ms/km (la velocidad de la señal eléctrica en el cobre es menor que la de la electromagnética en el aire). El retardo total depende del ancho de banda y la tasa de errores. Así, para x kbits enviados por un enlace terrestre de 9600 bps se emplean $x/9.6$ segundos.

Para enviar la misma información por satélite, a una velocidad de 5 Mbps se emplean $(x/5000+0.270)$ segundos, incluyendo el retardo de propagación. Para $x > 2.6$ kbits, la transmisión vía satélite es más rápida. Si además incluyésemos la tasa de errores, el resultado es aún más favorable para el satélite. Además la tarifa es independiente de la distancia.

Otra propiedad interesante del envío de datos por satélite es su difusión. Todas las estaciones incluidas bajo el área del haz, pueden recibir la comunicación, incluso las estaciones piratas. Las implicaciones en cuanto a la privacidad son inmediatas. Es necesario alguna forma de encriptación para mantener el secreto de las comunicaciones privadas.



En cuanto a los fenómenos que dificultan las comunicaciones vía satélite, se han de incluir también el movimiento aparente en 8 de los satélites de la órbita geoestacionaria debido a los balanceos de la Tierra en su rotación, los *eclipses de Sol* en los que la tierra impide que el satélite pueda cargar baterías con sus células solares y los *tránsitos solares*, en los que el Sol interfiere las comunicaciones del satélite al encontrarse este en la trayectoria entre el Sol y la Tierra.

4.5.3.-Microondas en redes LAN.

En las bandas de 2,5 GHz y 5 GHz se han establecido diferentes protocolos de comunicación para redes LAN inalámbricas como IEEE 802.11g (wifi) o Bluetooth. Al ser redes de dispositivos portátiles o móviles, las antenas han de ser omnidireccionales. Esto implica alcances mucho menores que los casos anteriores (50 metros en wifi y menos en Bluetooth). Las velocidades han ido aumentando progresivamente con la edición de los nuevos protocolos. Actualmente es posible alcanzar los 600 Mbps, pero se está contemplando llegar al Gbps.

4.5.4.-Microondas en redes MAN.

Las redes MAN inalámbricas por excelencia son las redes de telefonía móvil consistentes en una distribución geográfica regular de múltiples nodos con tríos o cuartetos de antenas direccionales. Este esquema divide el espacio urbano en celdas (cuadrículas o hexágonos) dentro de las cuales los móviles de los usuarios siempre quedan dentro del rango de alcance de una antena (alrededor del km). Los protocolos WMAN (wireless MAN) más conocidos son:

- GSM (2G): Banda de 900 MHz y 1,6 GHz. Sólo para el servicio de llamadas (transmisión de voz) y SMS.
- GPRS(2.5G): Datos 9,6 - 40 kbps.
- EDGE(2.5G?): 236 kbps
- UMTS (3G): 900 MHz y 2.1 GHz. Datos 384 kbps.
- WIMAX (IEEE 802.16 MAN): 2,5 y 5,8 GHz. 20Mbps.
- LTE. 326 Mbps.

Las especificaciones 2G, 3G, 4G y 5G se refieren a las prestaciones de la red, no del protocolo que las cumple. Por ejemplo:

- (4G) 1Gbps en estático y 100Mbps en movimiento
- (5G). 20Gbps pico. >20 GHz. En la realidad sólo mejoran un 50% 4G.

Lograr dichas especificaciones significa reducir el tamaño de las celdas y/o aumentar el ancho de banda disponible. Las evoluciones de LTE y Wimax están en esta línea.

4.5.4.-Infrarrojos.

Los infrarrojos son frecuencias superiores a las microondas. No llegan a ser luz visible, pero comparten muchas de sus características. Al comparar los infrarrojos con respecto a las microondas hay que destacar:

- Menor coste de equipos transmisores/receptores de infrarrojos

- Menor consumo de potencia
- Mayor privacidad
- Menor alcance
- Movilidad limitada

Existen protocolos abiertos para la transmisión por infrarrojos como el IrDA (9,6kbps-4Mbps). Es un estándar asentado entre calculadoras, móviles, impresoras, etc. También existen múltiples protocolos propietarios: mandos de televisores, altavoces inalámbricos, etc. La forma de emitir los pulsos infrarrojos varía:

DFIR (Diffused Infrared) o infrarrojo de haz difuso

- Velocidades de transmisión moderadas (1 Mbps).
- Adecuado en oficinas de tamaño moderado que no presenten grandes obstáculos (paredes, mamparas, librerías, etc.), 25 m.
- Receptor y transmisor deben estar alineados o pueden aprovechar superficies reflectantes como el techo. Ejemplo: altavoces inalámbricos.

DBIR (Directed Beam Infrared) o infrarrojo de haz directo

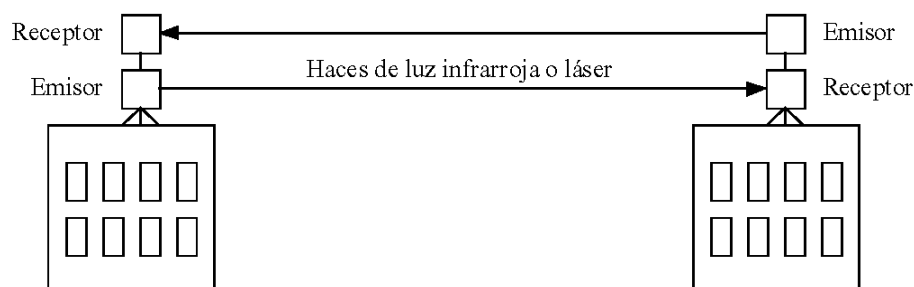
- Permiten alcanzar mayores velocidades de transmisión (10 Mbps)
- No permiten movilidad de los equipos sólo son útiles en aplicaciones que emplean terminales fijos, hasta 60 m.

4.5.5.-Luz visible.

Actualmente, dado que la iluminación artificial en interiores está migrando a LED, y dado que los LEDs pueden conmutar a velocidades enormes, existe la posibilidad de usar la propia iluminación para enviar información. A este sistema se le ha denominado Lifi (light fidelity). En ensayos de laboratorio se ha llegado hasta 224 Gbps. Puede usar luz visible, ultravioleta e infrarroja. Se puede implementar sobre múltiples fuentes de luz siempre que se base en LEDs: iluminación del hogar, faros de vehículos, semáforos, comercios... Lifi es una especificación en desarrollo que alcanzaría los 10 Gbps. De momento, en entornos reales sólo se ha llegado a 1Gbps (IEEE 802.3bt).

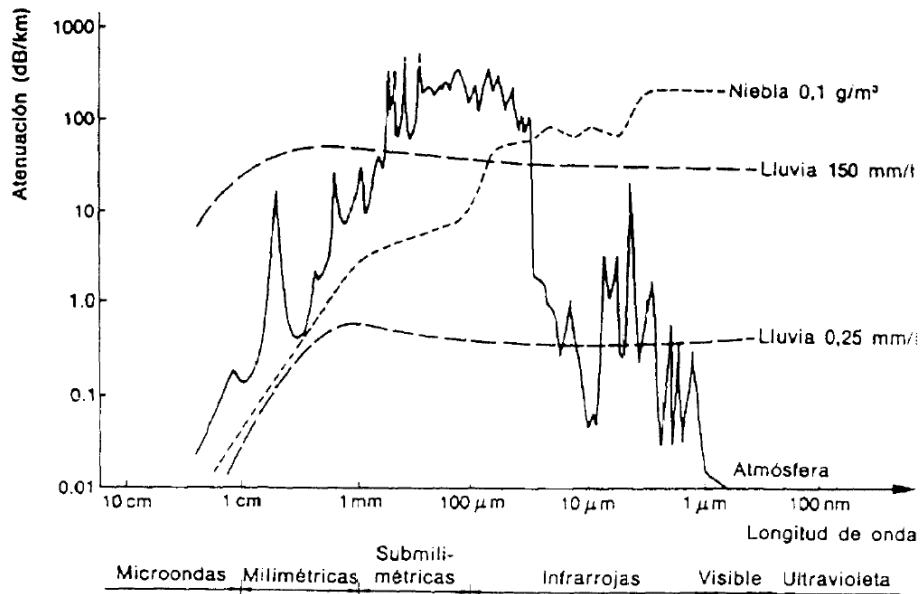
4.5.6.- Transmisión por trayectoria óptica.

Los sistemas por trayectoria óptica son básicamente un enlace de fibra óptica en el que se ha sustituido esta por el aire. La transmisión de datos puede realizarse mediante rayos infrarrojos para distancias cortas y láser para distancias de hasta unos 2 km.



Como la transmisión es eminentemente unidireccional es preciso que en cada extremo del enlace exista un transmisor y un receptor dotados de una óptica adecuada para un óptimo enfoque.

Por ejemplo, en el tendido de una red LAN a través de varios edificios de un campus o de una compañía, usar un cable para unirlos, puede resultar caro e incluso inconveniente. Una solución puede ser el empleo de enlaces ópticos al aire libre por láser desde las azoteas de los edificios. Son fáciles y rápidos de instalar, no requieren permisos de las autoridades de telecomunicaciones, son inmunes a interferencias eléctricas y se pueden transmitir voz y datos hasta 45 Mbps.



La comunicación por láser o infrarrojo es totalmente digital, altamente directiva y en consecuencia las partículas en suspensión en la atmósfera como la lluvia o la niebla pueden ocasionar interferencia en la comunicación en función de la longitud de onda elegida.

Además, las brisas ascensionales provocadas por variaciones de temperatura que modifican la densidad del aire, provocan desviaciones del haz de luz evitando que incida correctamente en el receptor. La utilización de la luz coherente del láser añade el peligro de los posibles daños en la retina si es enfocada en el ojo humano.

RESUMEN

Definiciones: Medio guiado, simplex, half-duplex, full-duplex; frecuencia fundamental, espectro, ancho de banda relativo y absoluto; dB, dBW, dBmV; Capacidad del canal, razón de señalización, Baudio, BER; Banda base, portadora y ancha; modem, códec; síncrono, asíncrono y plesiócrono; DTE, DCE. RS-232, cable null-modem;

Tipos de perturbación de la señal.

Fórmulas de Nyquist y Shanon.

Tipos de modulación.

Tipos de PCM

Companding

Metodos de codificación digital: Ventajas e inconvenientes de cada sistema.

Pruebas habituales de los DCEs.

Cables UTP,FTP y STP

Tipos de coaxial

Tipos de fibra, estructura, ventajas e inconvenientes, características, tecnología de emisión/recepción.

Microondas: enlaces punto a punto y satelitales (VSAT, ventajas).

Microondas: WLAN y WMAN

Infrarrojos

LiFi