



Universidad
de Huelva

DA
iESi

TERCER CURSO. REDES DE COMPUTADORES

Escuela Politécnica Superior
Universidad de Huelva

Departamento de Ing. Electrónica,
Sistemas Informáticos y Automática

TEMA 2

Interfaz Eléctrica y Transmisión de Datos

Manuel Sánchez Raya
Versión 0.1
4 de Octubre de 2003

ÍNDICE

1.- Introducción.	3
2.- Análisis de señales.	4
2.1.- Definiciones básicas.	4
2.2.- Análisis de Fourier.....	6
2.3.- Perturbaciones de la transmisión.	7
2.3.1.- Atenuación del canal.....	7
2.3.2.- Ancho de Banda.	8
2.3.3.- Distorsión de retardo.....	9
2.3.4.- Ruido.....	10
2.4.- Características del canal en función de las propiedades del medio.	11
2.4.1.- Velocidad de transmisión.....	11
2.4.2.- Capacidad del canal.	12
2.5.- Modos de transmisión de la señal.....	12
2.5.1.- Modulación con portadora analógica.....	13
2.5.2.- Modulación con portadora digital.....	16
2.5.3.- Codificación digital de datos en banda base.....	18
3.- Interfaces de circuitos de transmisión de datos.....	21
3.1.- Comunicación paralelo.....	22
3.1.1.- Circuitos de comunicación paralelo.....	23
3.2.- Comunicación serie.	25
3.2.1.- Control de la transmisión en líneas serie.	26
3.2.2.- Transmisión serie síncrona.	26
3.2.3.- Transmisión serie asíncrona.....	27
3.2.4.- Circuitos de comunicación serie.....	28
3.3.- Estandar EIA RS-232.	29
3.4.- Estándar EIA RS-499.	31
4.- Medios de transmisión.	32
4.1.- Par trenzado.	32
4.2.- Cable coaxial.	33
4.2.1.- Cable coaxial en banda base.	33
4.2.2.- Cable coaxial de banda ancha.	34
4.3.- Fibra óptica.	35
4.4.- Transmisión por trayectoria óptica.....	38
4.5.- Enlaces por radio y microondas.....	39
4.6.- Comunicación por satélite.	41
5.- Multiplexación.	43
5.1.- Multiplexión por división de frecuencias.....	43
5.2.- Multiplexación por división en tiempo.....	44
5.3.- Multiplexación estadística.	45

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.

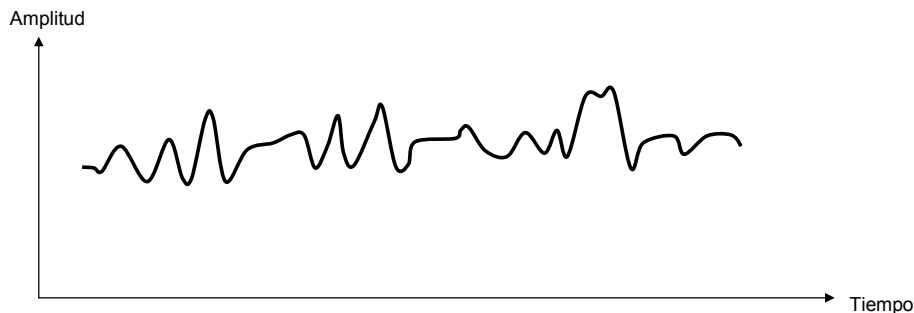
2.- Análisis de señales.

2.1.- Definiciones básicas.

Se define una **señal continua** como aquella en la que la intensidad de la señal varía suavemente en el tiempo.

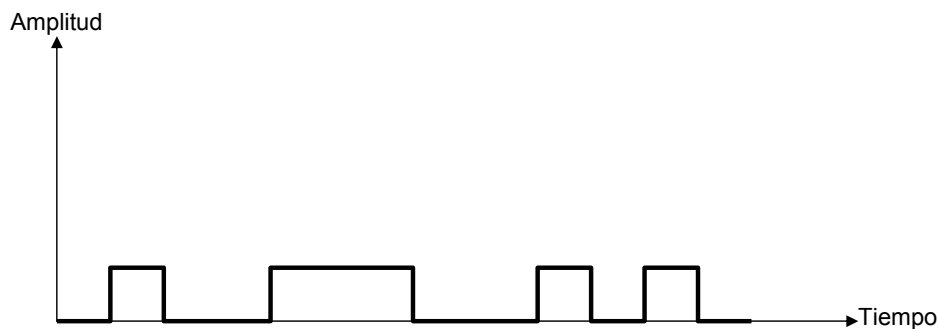
Matemáticamente, una señal $s(t)$ es continua si: $\lim_{t \rightarrow a} s(t) = s(a)$ para todo a .

Un ejemplo de señal continua puede ser la voz.



La teoría de señales solo funciona para señales continuas, de ahí su importancia. En la práctica las señales que se manejan son señales continua, también se denominan analógicas.

Se define una **señal discreta** 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. Una señal discreta puede representar, por ejemplo, valores binarios



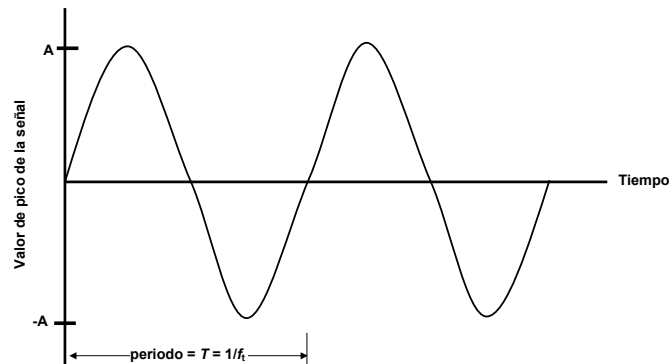
Las señales más interesantes y sencillas que pueden considerarse son las **periódicas**, que se caracterizan por tener un patrón que se repite a lo largo del tiempo.

Matemáticamente, una señal $s(t)$ es periódica si: $s(t + T) = s(t)$ $-\infty < t < \infty$, donde T es el periodo de la señal, que se define como la cantidad de tiempo transcurridos entre dos representaciones consecutivas de la señal.

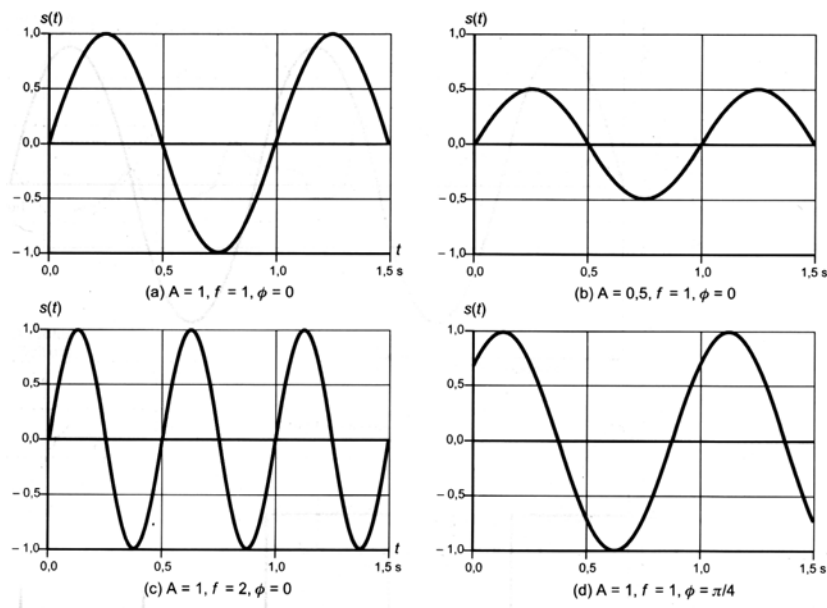
La **frecuencia** es la razón (en ciclos por segundo o Hertzios) a la que la señal se repite. La frecuencia es la inversa del **periodo**.

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 continua por excelencia. Viene expresada como $s(t) = A \sin(2\pi f t + \phi)$



En la siguiente figura se aprecian varias ondas senodiales de diferente periodo.

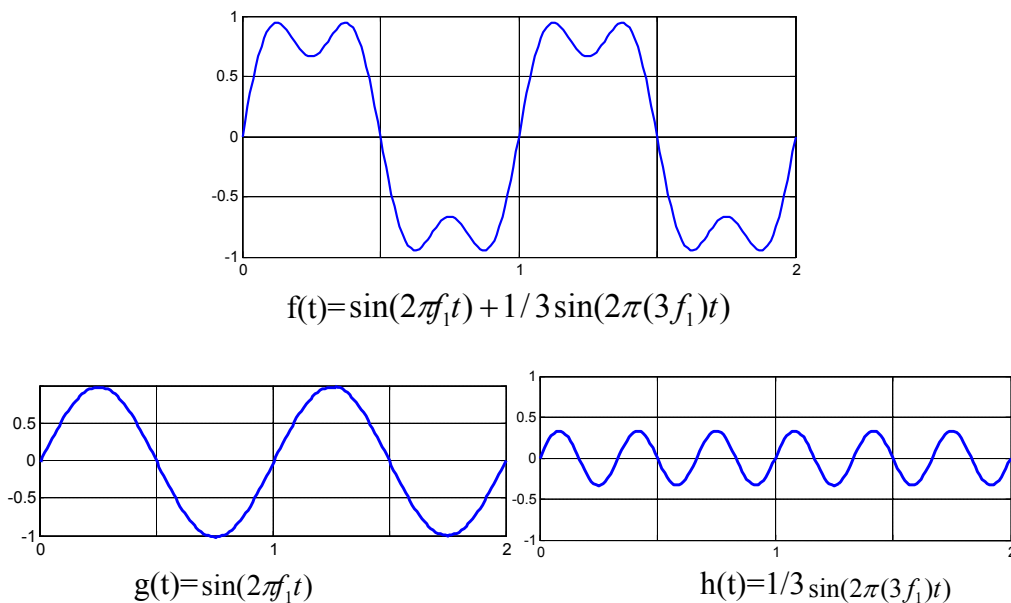


Se denomina **longitud de onda** (λ) a la distancia que ocupa un ciclo, o lo que es lo mismo, la distancia entre dos puntos de igual fase en dos ciclos consecutivos.

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, esta 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:

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

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.

Una señal de datos que tiene una duración finita, puede manejarse suponiendo que aquella se repite una y otra vez:

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

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

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

2.3.- Perturbaciones de la transmisión.

2.3.1.- Atenuación del canal.

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

$$\text{Atenuación} = 10 \cdot \log_{10} \frac{\text{Potencia_en_la_Entrada}}{\text{Potencia_a_la_Salida}} \quad [\text{dB}]$$

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. El **decibelio** es una medida de la diferencia entre dos niveles de potencia.

El **decibelio-watio** (dBW) se usa cuando se necesita expresar un nivel absoluto de potencia. Suele emplearse en aplicaciones de microondas. Se elige como referencia 1 watio y se define como 0 dBW. El nivel absoluto de una potencia en 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, donde 0 dBmV corresponde a 1 mV:

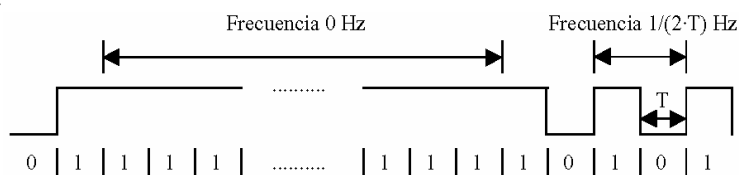
$$\text{Tensión (dBmV)} = 20 \log_{10} (\text{Tensión en mV} / 1 \text{ mV})$$

2.3.2.- Ancho de Banda.

Describe el rango de valores de frecuencia que pueden tener las señales a transmitir a través de ese medio de transmisión, ya sean de carácter eléctrico o electromagnético.

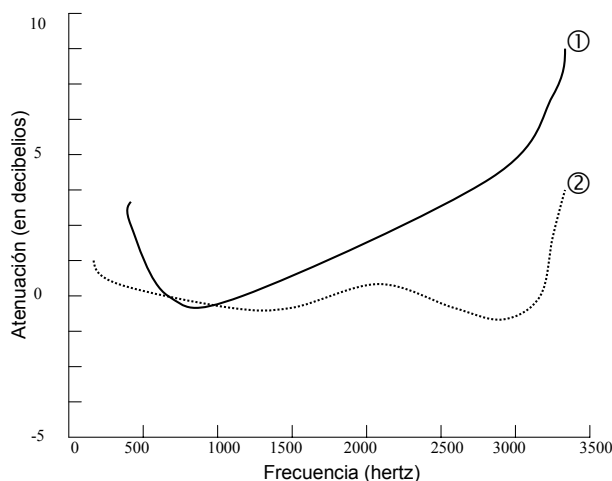
Generalmente un canal presenta distintas atenuaciones a señales de distintas frecuencias, haciendo que determinadas frecuencias apenas se propaguen por el canal. Esto hace también que el ancho de banda se reduzca a medida que aumenta la longitud del canal, debido a que también aumenta la atenuación de 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 de “b”. El patrón a transmitir es 01100010. El análisis de Fourier proporciona

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

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

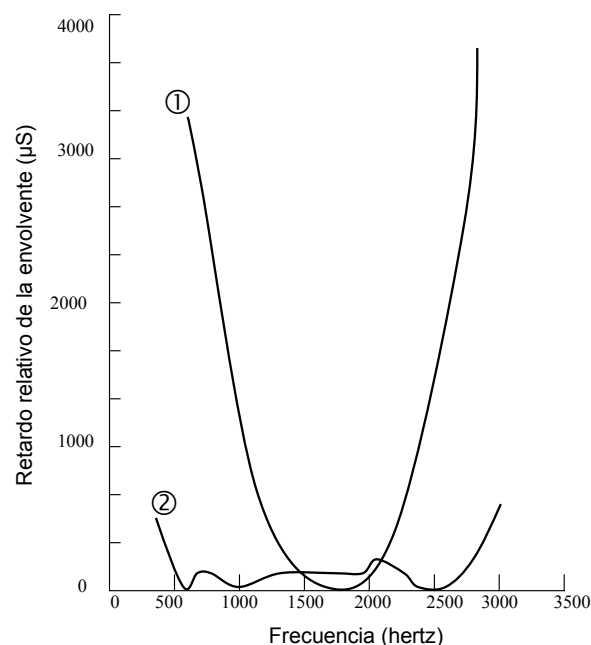
$$c_n = \frac{3}{8}$$

La amplitud rms de los armónicos se calcula como $rms = \sqrt{a_n^2 + b_n^2}$, 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 f_c 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.

2.3.3.- Distorsión de retardo.

Se produce por el hecho de que la velocidad de propagación de la señal en el medio varía con la frecuencia. Puede producir interferencia entre los símbolos del código.



El tiempo T que se necesita para enviar un carácter depende del método de codificación y de la velocidad de la señal (número de cambios por unidad de tiempo). El número de cambios por segundo se mide en baudios. 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 b baudios corresponden a $3b$ bps.

Si suponemos que sólo se usan dos niveles, dada una señal de b bps, el tiempo empleado para enviar 8 bits, es $8/b$ segundos, por lo que el primer armónico es $b/8$ Hz.

En una línea de calidad telefónica, la frecuencia de corte está en 3 kHz. Esto significa que el número de armónicos que pasan por ella es aproximadamente $3000/(b/8)$ o $24000/b$.

bps	T (mseg)	Primer armónico (Hz)	nº armónicos enviados
300	26.67	37.5	80
600	13.33	75	40
1200	6.67	150	20
2400	3.33	300	10
4800	1.67	600	5
9600	0.83	1200	2
19200	0.42	2400	1
38400	0.21	4800	0

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: producido por la presencia de señales electromagnéticas que interfieren.
- Diafonía: producido por la proximidad física de un cable que provoca una inducción magnética de señal.
- Ruido impulsivo: producido por chispas y motores de combustión que producen una señal interferente de un espectro muy grande.

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 expresar en vatios como: $N = k \cdot T \cdot W$ siendo, k la constante de Boltzmann = 1.3803×10^{-23} J/°K y T la temperatura, en grados Kelvin. Si lo expresamos en decibelios-vatio:

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

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

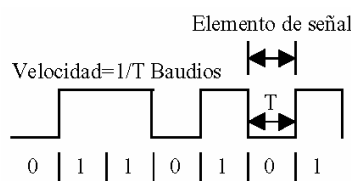
2.4.- Características del canal en función de las propiedades del medio.

En función de los parámetros anteriormente analizados el canal nos permitira transmitir una determinada cantidad de información.

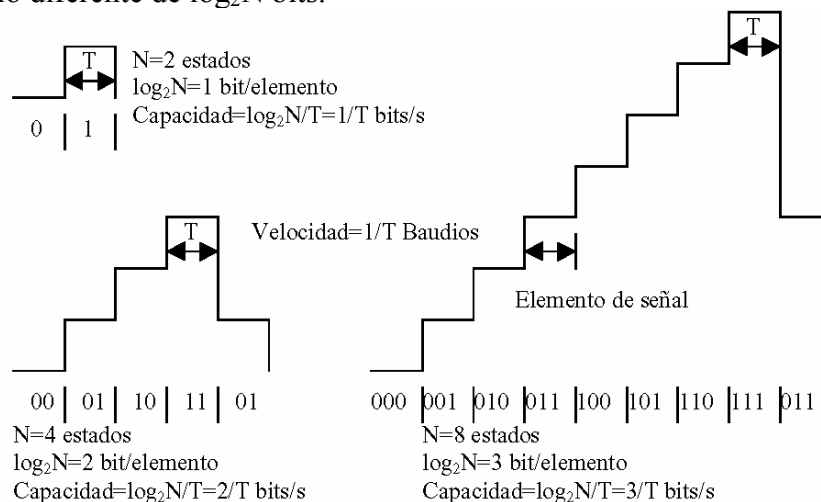
2.4.1.- Velocidad de transmisión.

Es el número de elementos de señal o cambios de condición por segundo. Se mide en **baudios**, que son el número de *elementos de señal* por segundo que se transmiten.

Un *elemento de señal* es un determinado valor de amplitud, fase, frecuencia, etc. O combinación de ellos, que codifica un determinado valor binario, de uno o varios bits.



Un *elemento de señal* puede tener N estados diferentes, que codificarán cada uno un valor binario diferente de $\log_2 N$ bits.



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 niveles discretos, 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.

También se la denomina *velocidad de transmisión de la información*. 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). Esta capacidad depende del ancho de banda.

En 1924, H. Nyquist derivó una ecuación que expresaba la velocidad máxima de datos a través de un canal sin ruido, con un ancho de banda finito. 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 ruidoso, cuyo ancho de banda es W Hz y su relación señal/ruido es S/N , viene dado por:

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

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, en forma digital o bien pueden componerse con una onda de frecuencia más alta que sirve de transporte.

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.

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.

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.

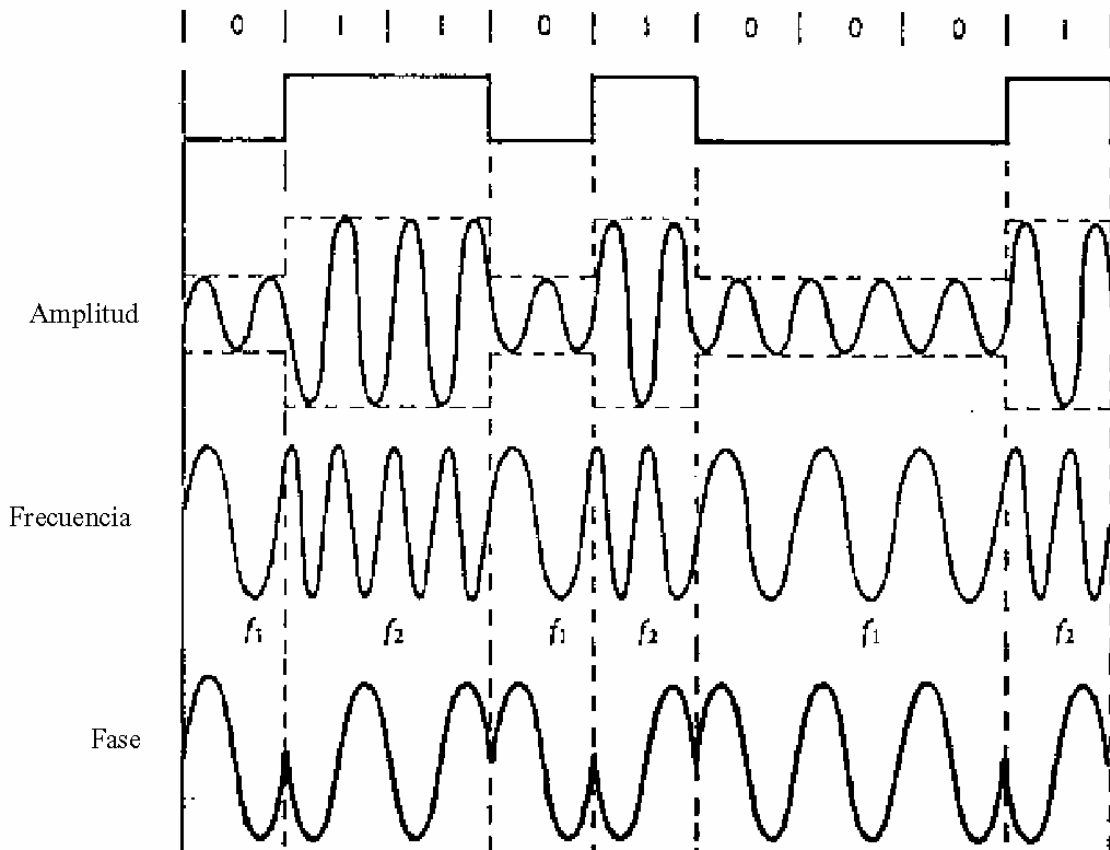
Este método se usó en principio para la transmisión por radio y luego para la transmisión por líneas. Como el canal de transmisión tiene generalmente un ancho de banda mayor que el que necesita la información, se podrán transmitir simultáneamente varias señales por la misma línea usando portadoras de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

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

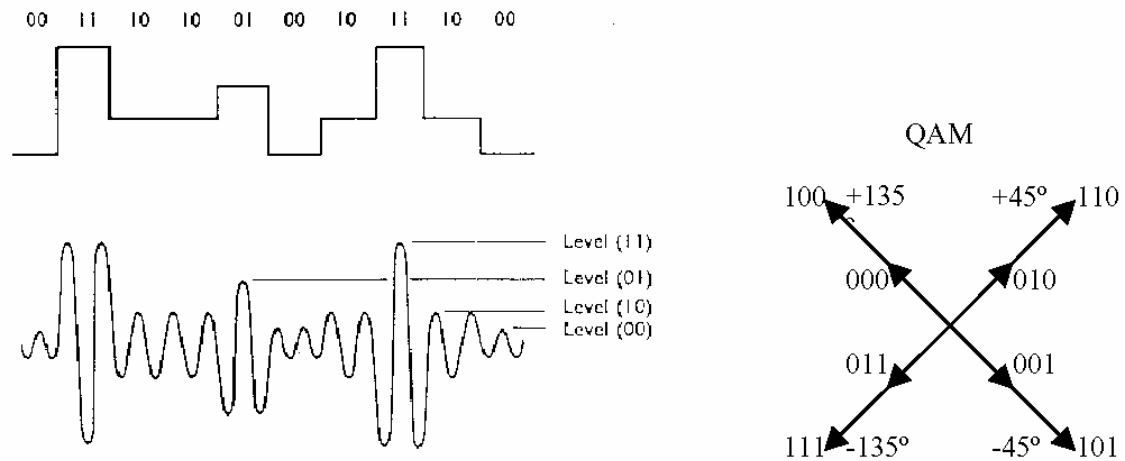
donde A_c es la amplitud máxima de la señal, f_c es su frecuencia y α_c es el ángulo de fase. Variando estos tres parámetros en función de la información a transmitir, se tienen los tres tipos de modulación básicos:

- a) **Modulación de amplitud:** modificación de la amplitud A_c .
- b) **Modulación de frecuencia:** modificación de la frecuencia f_c .
- c) **Modulación de fase:** 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.

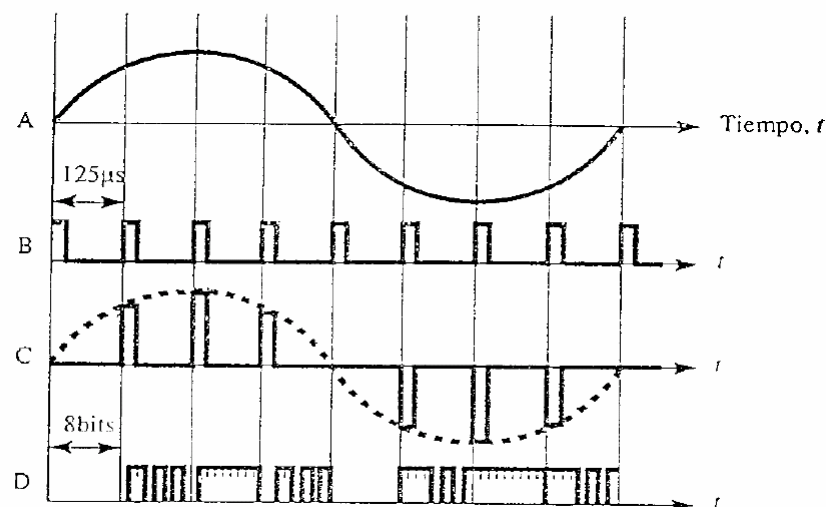
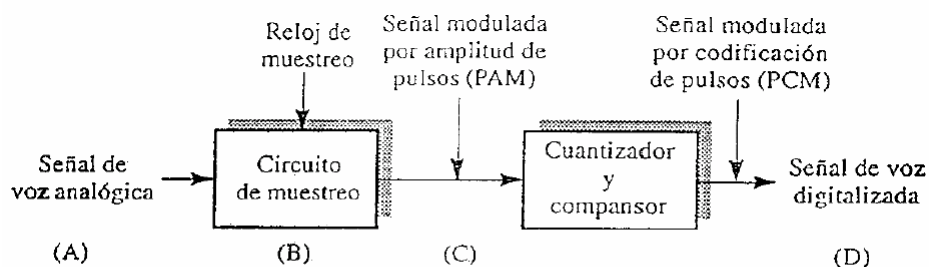
A continuación el valor de cada pulso PAM se cuantifica en distintos niveles codificados en valores binarios de Q bits. Si se dispone de N niveles de cuantificación, se necesitan $n = \log_2(N)$ bits para representar cada nivel. Al proceso final de muestrear y codificar en binario la señal se le denomina 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.

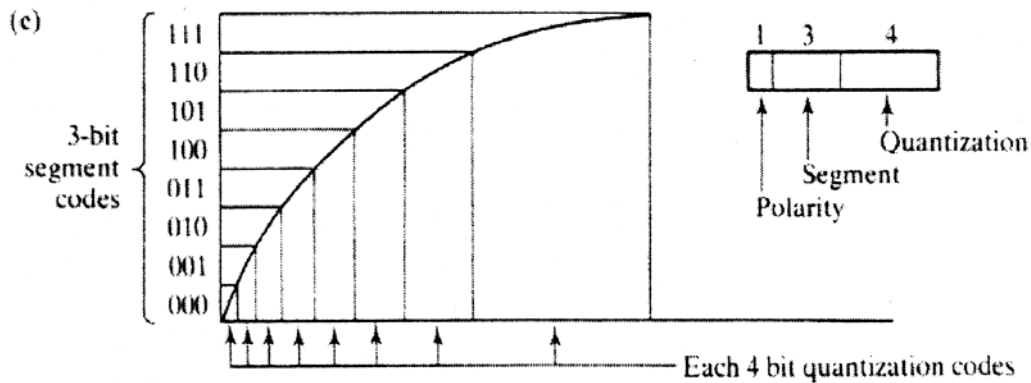
Para obtener una comunicación eficiente, necesitamos tomar un mínimo de $2H$ muestras por segundo, siendo H la frecuencia de la señal analógica a transmitir, si queremos que el receptor sea capaz de reconstruirla. Por ejemplo, para transmitir una señal de audio de un canal telefónico típico donde la 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.

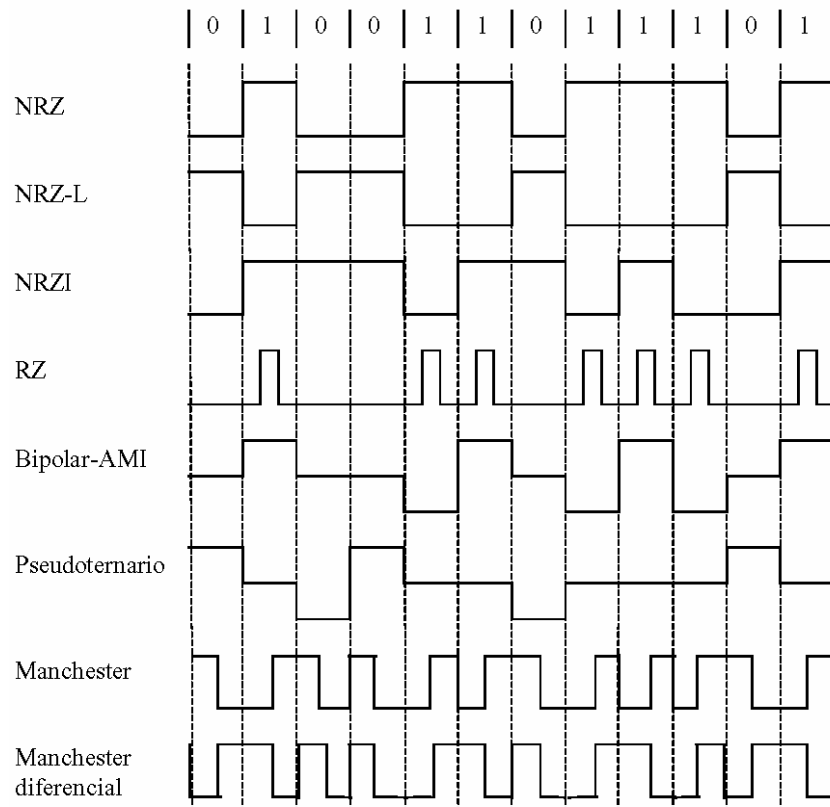


Otra técnica muy empleada en estos sistemas es la digitalización no lineal de la voz mediante un proceso denominado “companding” que consiste en digitalizar con mayores niveles de información los pasajes de voz baja. De esta forma se contrarresta el sistema de recepción humano y se permite distinguir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

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 alto a bajo 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.

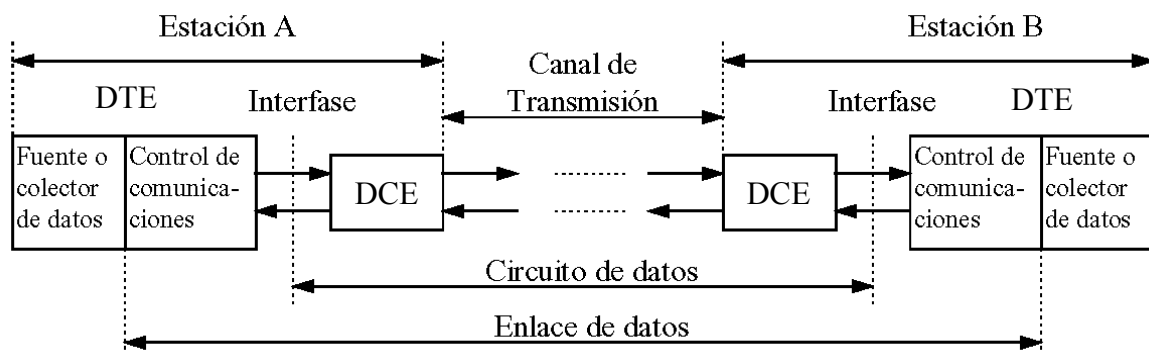
El ancho de banda requerido por los esquemas bifase es doble del necesario para NRZ debido a la existencia de la transición en mitad de un bit. Sin embargo, tienen la ventaja de su fácil sincronización, no tiene componente de continua por lo que es posible el aislamiento galvánico de la interfaz. También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

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 formando junto con la *estación, nodo o host* de comunicaciones. En el caso de que el *DTE* sea un computador se trata de un dispositivo de comunicaciones (módem o interfaz de red).
- **Canal de transmisión:** Es el conjunto de medios de transmisión que unen los dos *ETCD*. 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 *ETCD*.
- **Enlace de datos:** Es el conjunto que forman el *circuito de datos* junto con el *control de comunicaciones* de los *ETD*.



En este ámbito, el interfaz se refiere a la conexión entre el DTE y el DCE. Las especificaciones de un interfaz tienen cuatro características importantes:

- Mecánicas.
- Eléctricas.
- Funcionales.
- De procedimiento.

3.1.- Comunicación paralelo.

La comunicación paralelo consiste en interconectar los sistemas digitales entre los que debe haber transferencia de datos mediante tantas líneas como número de bits tenga la longitud de la palabra de datos. Normalmente no es el propio microprocesador el que se encarga de hacer la transferencia de los datos. Lo habitual es que exista un sistema intermedio entre el microprocesador y la línea, cuya función es iniciar, realizar y controlar el flujo de información a través de las líneas, descargando así al procesador de esta tarea. Llamaremos a este sistema *unidad de control de E/S paralelo*.

La transmisión paralelo suele estar limitada, en general, a dos tipos principales de aplicaciones:

1. La transmisión de datos a través de los buses internos de los sistemas informáticos.
2. Intercambio de información entre sistemas muy próximos entre sí, y que requieran elevadas velocidades de transmisión.

En general, el microprocesador intercambiará información con la unidad de control de Entrada/Salida, mediante instrucciones de carga o lectura de los registros de la unidad de control.

La transferencia de información puede hacerse de dos formas distintas:

1. **Transferencia síncrona** o también llamada incondicional. Es la forma más simple y directa de realizar la transferencia. Es iniciada en cualquier instante y no se consulta al sistema periférico sobre su estado ni el periférico envía señal alguna de control.

Aunque con este tipo de transferencia, puede realizarse el envío de datos en cualquier instante, sin necesidad de una sincronización previa, el mayor inconveniente que limita su uso es que solamente es posible utilizar la transferencia síncrona con periféricos que estén siempre preparados para aceptar datos, y que procesen la información en tiempos similares a los empleados por el origen. En general, el dispositivo remoto será un sistema digital combinacional como un equipo de pulsadores para la entrada de datos, o visualizadores alfanuméricos para la salida de datos.

2. **Transferencia asíncrona** o también llamada condicional. Es la más utilizada dentro de la comunicación paralelo puesto que 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.

Para permitir un diálogo, es necesario que cada extremo de la comunicación conozca el estado del otro. Para ello, junto con las líneas de datos, se añaden líneas (*líneas de control*) que permiten transmitir dicho estado de un extremo a otro.

La sincronización puede hacerse de dos formas básicas:

- a. **Sincronización por consulta de estado**, en la que un extremo se dedica a escuchar las líneas de control hasta que éstas indican que la transmisión es posible.
- b. **Sincronización mediante interrupción**, En cuanto la transmisión es posible, se genera una interrupción. La rutina de interrupción de dicha señal es la que se encarga de continuar con la comunicación.

La sincronización por consulta de estado puede implementarse de dos formas distintas: el método de bloqueo de proceso o por el método de consulta periódica (polling). El método de bloqueo del proceso se realiza haciendo que el programa de comunicación se detenga en un bucle de espera hasta que el otro extremo entregue o lea el dato. Con este método se puede perder mucho tiempo consultando el estado, con lo que la potencia máxima del sistema puede verse muy afectada. Por ello, su utilización solamente es admisible cuando el proceso a ejecutar es sencillo y no hay ninguna tarea prioritaria que atender aparte de la propia comunicación.

El bloqueo del proceso se puede realizar mediante dos formas, cada una con sus ventajas y sus inconvenientes: **bloqueo del proceso por programa** y **bloqueo del proceso por entrada de paro**. En el primero de ellos, el paro se produce porque el programa entra en un bucle de espera consultando el estado del otro extremo, hasta que se cumpla una determinada condición. En el segundo caso, el sistema dispone de una señal eléctrica, cuya activación provoca el paro del procesador. El programa continuará cuando dicha señal se desactive. La activación o desactivación de la misma es función del estado del otro lado de la comunicación. El método de consulta periódica (o polling), consiste en preguntar secuencialmente a los demás elementos envueltos en la comunicación si están preparados para enviar o recibir datos.

3.1.1.- Circuitos de comunicación paralelo.

Un circuito de comunicación paralelo requiere como mínimo tantos biestables “latch” de entrada y de salida como líneas de comunicación se tengan. Su objetivo es doble, por una parte deben mantener el valor del dato que entra o sale del dispositivo hasta la llegada de uno nuevo, y a la vez, sirven de aislamiento de las líneas. Además de estos biestables, se necesitará un mecanismo de selección y un control de la lectura y escritura de estos registros. La aparición de circuitos programables de Entrada/Salida permite aumentar las prestaciones de la comunicación paralelo. Desafortunadamente, cada familia de microprocesadores dispone de un circuito de comunicaciones diferente, aunque sus funciones y sus características generales sean muy similares.

CIRCUITO	FABRICANTE
PIO	Zilog
PPI	Intel
PIA	Motorola

En general, estos circuitos actúan como registros intermedios que comunican el bus de datos con la lógica externa al sistema, siendo el microprocesador quien selecciona estos registros realizando las operaciones de lectura y escritura de una manera totalmente similar a como las realiza con las posiciones de memoria. Todos estos circuitos suelen presentar las siguientes características comunes:

- a) **Acomplamiento compatible con la CPU:** Estos circuitos están íntimamente ligados a los buses de datos y de direcciones y también a determinadas líneas del bus de control.
- b) **Acoplamiento con la lógica externa:** Las líneas hacia el exterior pueden actuar como entradas, salidas o ser bidireccionales, por ello, y para evitar problemas eléctricos, la interfaz entre el controlador y las líneas externas suele un registro triestado, o una salida en colector abierto.
- c) **Control:** Estos circuitos disponen, en la mayoría de los casos, de los medios suficientes para controlar toda la transferencia de datos. Por una parte disponen de líneas de comunicación con el exterior de señales estándar para *handshaking*, y de líneas especiales como las de petición y reconocimiento de interrupciones. Por otra parte, disponen de todas las líneas necesarias para seleccionar y acceder a los distintos registros de configuración del circuito de control. Los registros más habituales son:
 - Registro de salida: Conectado directamente con la lógica externa, permite el almacenamiento del último dato leído.
 - Registro de estado: En este registro se indican los datos necesarios para que los dos sistemas involucrados en la comunicación puedan sincronizarse. Así, permite detectar si ha llegado un nuevo dato o no, si el dispositivo externo está en disposición de recibir datos, ...
 - Registro de error: Su utilización permite detectar la existencia o no de algún tipo de error tanto en la transmisión como en la recepción de datos.
 - Registro de control: Es el que permite la programación del circuito de entrada/salida.
 - Registro de dirección de datos: Permite la configuración de las líneas externas como entradas, salidas o como líneas bidireccionales.
 - Reloj y selección: Permiten la activación/desactivación del circuito, así como la propagación de una señal de reloj que puede usarse en comunicaciones síncronas.
 - Puertos de Entrada/Salida: En general, estos circuitos presentan más de un puerto a través del cual comunicarse. Los registros de cada puerto se direccionan de forma independiente.

3.2.- Comunicación serie.

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 comunicación serie es más antigua que la comunicación paralelo, y debido a su gran difusión, existen diversas normas que han estandarizado este tipo de interfaz.

La transmisión por el método serie se efectúa de forma secuencial en el tiempo, transmitiendo todos los bits de la palabra, uno tras otro por una única línea de datos, aunque puedan existir otras líneas de control (reloj, protocolos de comunicación hardware, etc.).

En un sistema de comunicación serie los datos son enviados por el sistema (o llegan al mismo) a través de una única línea de datos. El circuito de acoplamiento de entrada/salida serie entre el bus de datos y las líneas de transmisión es normalmente una unidad programable que efectúa la conversión serie-paralelo o paralelo-serie de los datos. Cuando la transmisión se efectúa de modo asíncrono, el circuito de acoplamiento serie se denomina genéricamente UART (Universal Asynchronous Receiver-Transmitter) donde las secciones de transmisión y recepción son independientes, aunque en el mismo circuito. Los circuitos UART pueden operar tanto en el modo semiduplex (half-duplex) como en el modo duplex (full-duplex), es decir, transmisión de información en ambos sentidos en forma alternativa o simultánea respectivamente.

Una de las funciones básicas de los circuitos UART es la conversión serie-paralelo o paralelo-serie de los datos, siendo su modo de actuación totalmente similar al de los registros de desplazamiento.

El modo de operación de un centro transmisor, se puede explicar como un registro de desplazamiento. Una palabra cualquiera procedente del bus de datos se carga, en primer lugar, en forma paralela en un determinado registro de trabajo y a partir de esa posición se realiza la transmisión serie. El centro receptor deberá realizar la operación inversa, por lo que cargará en un registro de conversión serie-paralelo los datos recibidos en forma serie, para su posterior conexión a un bus determinado.

Para poder realizar la transmisión de forma correcta, es evidente que tanto el centro transmisor como el receptor deben utilizar las mismas *reglas de juego*, o dicho de otra manera, deben utilizar los mismo protocolos de comunicación serie, que serán, en general más complicados que los de comunicación paralelo.

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.

3.2.1.- Control de la transmisión en líneas serie.

Al realizar una transmisión, se conoce previamente el número de bits de la unidad de información y el orden en que se envían dichos bits. Por lo tanto, el receptor debe detectar donde empieza y donde acaba cada bit en la señal recibida así como la posición del primer bit.

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 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).

3.2.2.- 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% ($256/(256+2+2)=0.9846$).

3.2.3.- 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, ($8/(8+1+1)=0.8$).

3.2.4.- Circuitos de comunicación serie.

Todo circuito de comunicación serie estándar, está dividido en tres secciones: la de recepción, la de transmisión y la de control, necesarias para realizar las comunicaciones, en un formato adecuado. El módulo de control recibirá órdenes procedentes del microprocesador y realizará las oportunas operaciones, suministrando a la vez información al propio microprocesador del estado de la propia UART.

Según sea el modo de transmisión existen circuitos universales para la transmisión. El transmisor/receptor universal síncrono (USRT) se emplea para transmisiones síncronas. Para el caso de transmisiones asíncronas se emplea el transmisor/receptor universal asíncrono (UART).

La forma fundamental del transmisor serie es un registro de desplazamiento de entrada paralelo y salida serie, mientras que en el receptor el registro de desplazamiento es el de entrada serie y salida paralelo. Ambos reciben los pulsos de desplazamiento desde la unidad de control.

El circuito de comunicación serie necesitará, por tanto, al menos tres registros independientes: **registro de transmisión**, **registro de recepción** y un **registro de datos** para comunicar directamente con el microprocesador. Estos dispositivos poseen registros intermedios situados entre los Registros de Transmisión y Recepción y el Registro de Datos. Esta técnica, denominada de *almacenamiento intermedio* (double buffering) permite aumentar considerablemente el tiempo concedido al microprocesador para procesar la información.

La unidad de control debe incorporar la posibilidad de diferentes opciones en el modo de operación que permita al usuario seleccionar tanto determinados parámetros como el modo de operación. Para ello se dota al circuito de un registro programable, el registro de control, en donde se especifican las acciones de operación, cambiando el contenido del registro, mientras el circuito esté en funcionamiento. Los parámetros más importantes y usuales que son manejados por el registro de control, tanto en la recepción como en la transformación son:

- Número de bits de cada carácter transmitido o recibido, que suele variar de cinco a ocho.
- Generación o reconocimiento de los bits de comienzo y de parada en la transmisión o recepción asíncrona, así como número y configuración de los caracteres de sincronismo en la comunicación síncrona.
- Generación o reconocimiento del bit de paridad en su caso, así como el tipo de paridad.
- Velocidad de transmisión o recepción.

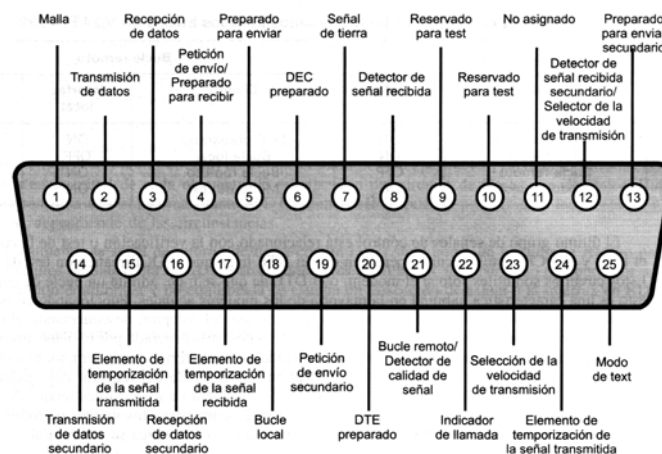
La unidad de control también debe incorporar un registro de estado, donde se indique al microprocesador cuándo los registros de transmisión y de recepción se encuentran en condiciones de procesar una información y si se ha producido algún error tanto en la transmisión como en la recepción.

3.3.- Estandar EIA RS-232.

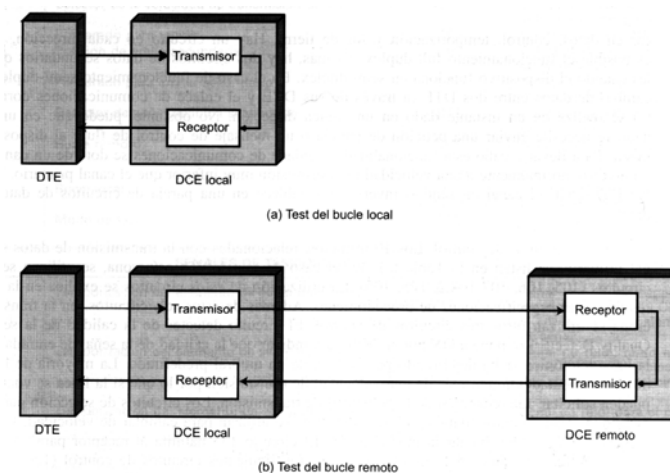
La primera especificación del estándar EIA RS-232 fue en 1962, la actual es la quinta versión (1991). Las especificaciones se encuentran recogidas en los siguientes “sub-estándares” :

- Mecánicas: ISO 2110
- Eléctricas: V.28 (establecida en 1993)
- Funcionales: V.24 (establecida en 1993)
- De procedimiento: V.24

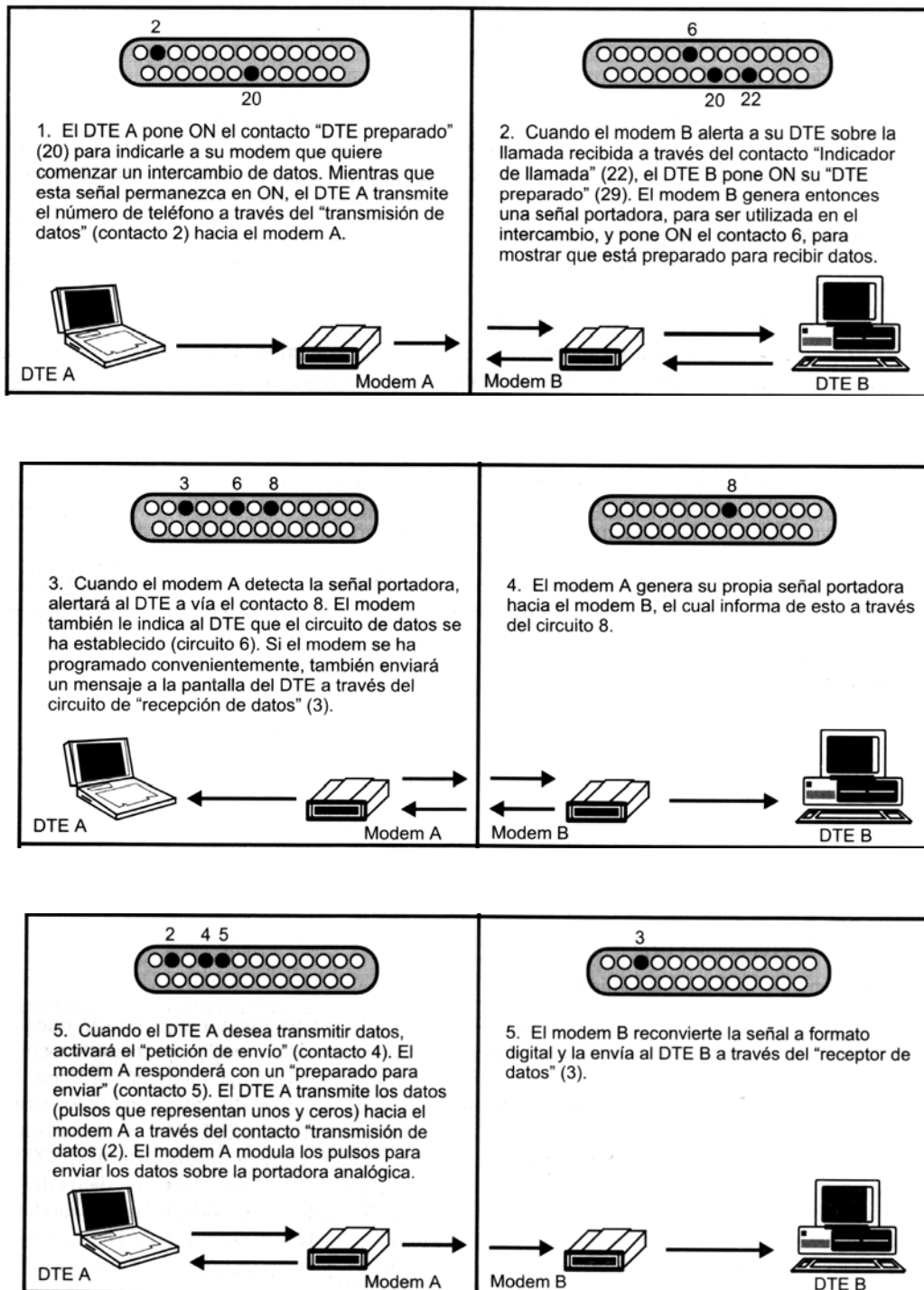
La asignación de terminales se puede observar en la siguiente figura:



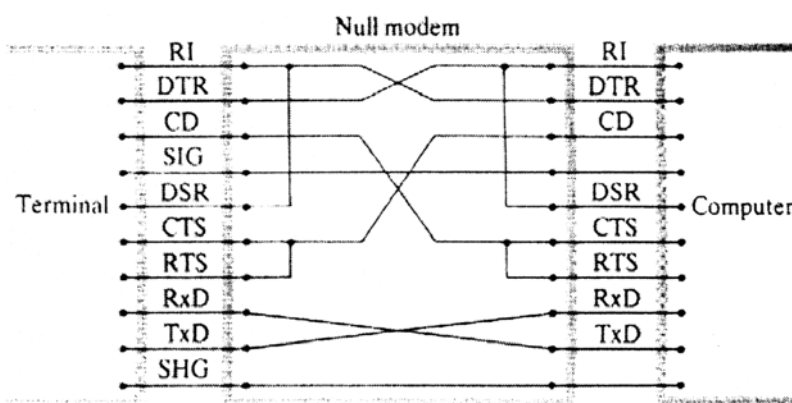
El estándar define varios modos de test. Estos modos son los que permiten comprobar el correcto funcionamiento de bucle local y del bucle remoto.



El establecimiento de la llamada también se recoge en el estándar. Es importante que emisor y receptor sepan que tienen que hacer para efectuar la conexión sobre líneas públicas de comunicación mediante el establecimiento de una llamada.



En el caso en el que tengamos que conectar dos equipos ETD y no sea necesario disponer de modem o equipo terminal del circuito de datos (ECD) es posible la conexión directa intercambiando las señales de control y las de datos. Este tipo de conexión se denomina "Null-modem" o modem nulo.



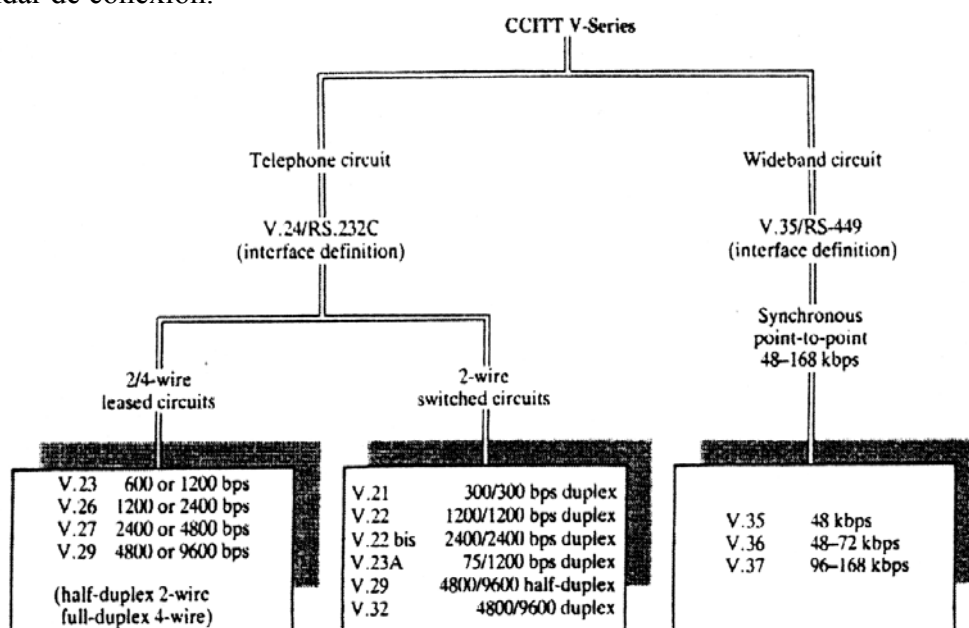
3.4.- Estándar EIA RS-499.

Este estándar se usa con las señales eléctricas definidas según otro estándar, el RS-422/423 cuando se necesita una separación mayor entre el DCE y el DTE.

- Emplea un conector de 37 patillas.
- Cada línea RS-422, al ser diferencial, necesita dos cables.
- En la práctica, hay dos especificaciones separadas: RS-422 (balanceada) y RS-423 (no balanceada).

Circuito Receptor	Máxima separación (m)	Máxima tasa de bits
RS-423	10	100 kbps
	100	10 kbps
	1000	1 kbps
	10	10 Mbps
RS-422	100	1 Mbps
	1000	100 kbps

Como resumen el siguiente cuadro muestra la jerarquía existen entre los diversos estándar de conexión.



4.- Medios de transmision.

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.- Par trenzado.

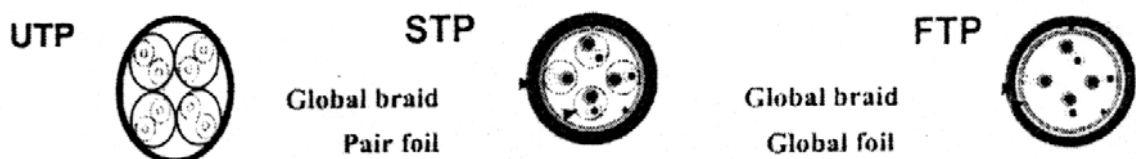
El medio de transmisión más antiguo es el par trenzado, que aún es muy usado hoy en día. Consiste en dos hilos de cobre aislados, de 1 mm de espesor aproximadamente. Los conductores se trenzan en forma helicoidal para reducir la interferencia eléctrica con respecto a los pares cercanos que se encuentran a su alrededor. Dos cables paralelos constituyen una antena simple, mientras que si se trenzan no.

Su aplicación más común es el sistema telefónico. Con estos cables se pueden recorrer varios kilómetros sin tener que amplificar las señales, aunque si son necesarios repetidores para distancias más largas. Cuando hay muchos pares trenzados en paralelo, recorriendo una distancia considerable, éstos se agrupan y se cubren con una malla protectora. Los pares dentro de estos grupos podrían sufrir interferencias mutuas si no estuviesen trenzados. 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** (Unshielded Twisted Pair, UTP). 100 W de impedancia característica.
 - Tipo 3: 16 MHz de ancho de banda. Calidad telefónica. 7 a 10 cm por trenza.
 - Tipo 4: 20 MHz de ancho de banda.
 - Tipo 5: 100 MHz de ancho de banda. Calidad de datos. 0,5 a 1 cm por trenza.
- **Apantallado** (Shielded Twisted Pair, STP). 100 W de impedancia característica. 300 MHz de ancho de banda.

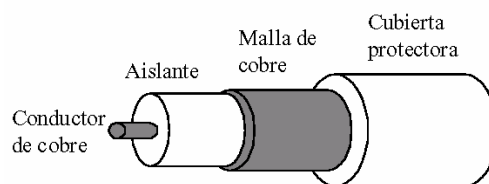
Las capacidades típicas que se suelen alcanzar son: 100 Mbps sobre 100 metros, 2 Mbps sobre 1500 metros y 60 kbps sobre líneas telefónicas. Las tasas de error están entorno a 1 bit entre cada millón.



4.2.- 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.

4.2.1.- Cable coaxial en banda base.

En las redes locales se suele usar el cable coaxial como bus de comunicación sobre el que se transmiten señales en banda base. El bus de cable coaxial ha de tener en cada extremo una resistencia con la impedancia característica del cable (p.ej. 50 Ω) para evitar reflexiones en los mismos de la señal eléctrica que producirían interferencias e impedirían la comunicación. Ocasionalmente se utilizan en conexiones punto a punto sin necesidad del uso de terminadores.

Existen dos formas de conectar ordenadores a un bus de cable coaxial: uso de conectores T o uso de conectores tipo vampiro. En el primer caso, hay que cortar el cable en dos partes e insertar una unión T, que vuelve a reconectar el cable y además proporciona una tercera conexión hacia el ordenador. El segundo tipo de conector consiste en hacer un orificio en el cable, de un diámetro y profundidad muy precisos, que atraviesa el cable hasta el núcleo. En el orificio se atornilla un conector especial que lleva a cabo la misma función de la unión en T, pero sin la necesidad de cortar el cable en dos.

El hecho de incluir una unión en T implica realizar un corte en el cable y por tanto desconectar temporalmente la red. Para una red con un gran nivel de utilización, detenerla cada vez que se conecta un nuevo equipo puede ser un gran inconveniente. Además, cuantos más conectores haya en el cable, más probabilidad existe de que alguna conexión sea defectuosa y ocasione problemas de vez en cuando.

Los conectores tipo vampiro no ofrecen este problema, pero son más difíciles de instalar. Si el orificio es muy profundo puede llegar a romper el núcleo provocando falsos contactos. Por otra parte, si no es suficiente profundo, pueden provocarse falsos contactos debido al aislante. Además, los cables en este tipo de conexión son más gruesos y por tanto más caros.

4.2.2. Cable coaxial de banda ancha.

Este cableado se utiliza comúnmente para el envío de la señal de televisión por cable. El término banda ancha proviene del medio telefónico, y se refiere a frecuencias mayores a 4 kHz.

Utilizan la tecnología patrón para envío de señales de televisión por cable y por ello pueden llegarse a alcanzar hasta 450 MHz de ancho de banda para longitudes de hasta 100 m. Un cable típico de 300 MHz puede, por lo general, mantener velocidades de hasta 150 Mbps.

Es habitual que los sistemas de banda ancha se dividan en varios canales, por ejemplo en canales de 6 MHz para el envío de señal de televisión. Cada canal puede emplearse de forma independiente, por lo que en un mismo cable pueden coexistir señales de vídeo, voz y datos.

Una diferencia clave entre los sistemas de banda base y los de banda ancha es que los últimos necesitan amplificadores que repitan la señal en forma periódica. Estos amplificadores sólo pueden transmitir señales en una dirección de manera que un ordenador que de salida a un bloque de información sólo puede alcanzar a otros ordenadores que estén “aguas abajo”. Hay dos formas de solucionar este problema: uso de cable dual y uso de canales distintos.

En los sistemas de cable dual, se tienden dos cables idénticos paralelos. Para transmitir información el ordenador emplea uno de ellos, que envía el mensaje hacia el repetidor central (en la cabeza de la red). Una vez que el mensaje alcanza dicho repetidor se reenvía por el otro cable para que todos los ordenadores puedan leerlo.

El otro sistema consiste en aplicar diferentes frecuencias para las señales que entran y salen de un ordenador, sobre un cable sencillo. La banda de baja frecuencia se emplea para enviar información hacia el repetidor central para que éste la reenvíe hacia los ordenadores por la banda de mayor frecuencia. En el *sistema de asignación baja* el tráfico de llegada al repetidor usa una frecuencia de entre 5 y 30 MHz, mientras que el de salida usa una banda entre 40 y 300 MHz. En el *sistema de asignación media*, el tráfico entrante va entre 5 y 116 MHz, mientras que el de salida va entre 168 y 300 MHz. La adopción de estas técnicas se debe en parte a la fiabilidad y bajo coste del hardware empleado.

Un sistema de banda ancha puede usarse de diferentes maneras. Por ejemplo, se puede asignar un canal para su uso exclusivo por un par de ordenadores, mientras que los demás deben competir por el uso de un canal temporal mientras dure la comunicación. La forma en que se establece la competencia por el uso del canal se estudiará en la capa de enlace.

La instalación del sistema de banda base es simple y económica y emplea interfaces baratas. Ofrece un sólo canal digital con velocidades de unos 10 Mbps para distancias de 1 km. Son muy empleados para el diseño de redes locales.

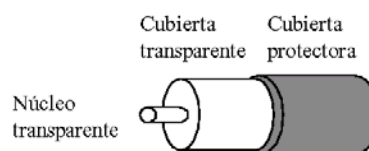
La instalación del sistema de banda ancha requiere por lo general personal especializado. Además es necesario realizar un mantenimiento del sistema para asegurar que todos los repetidores están correctamente sintonizados. Por otra parte, un fallo en el repetidor central llevaría a la desconexión del sistema. Este resulta en general más costoso.

Sin embargo, ofrece el uso de varios canales, aunque se limitan a unos 3 Mbps cada uno, y permite la transmisión simultánea de datos, voz y señales de televisión. En general, el ancho de banda adicional de estos sistemas no llega a justificar su complejidad y elevado coste, de manera que los sistemas de banda base son los de mayor uso.

4.3. 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 108 MHz, por lo que el ancho de banda de un sistema de este tipo tiene un potencial enorme.

Un sistema de transmisión óptica tiene 3 componentes: el medio de transmisión, la fuente de luz y el detector. 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. La fuente de luz puede ser un LED o un diodo láser; cualquiera de los dos emite luz cuando se le aplica una corriente eléctrica. El detector es un fotodiodo que genera un pulso eléctrico en el momento en el que recibe un rayo de luz. La transmisión de datos que se obtiene es unidireccional.

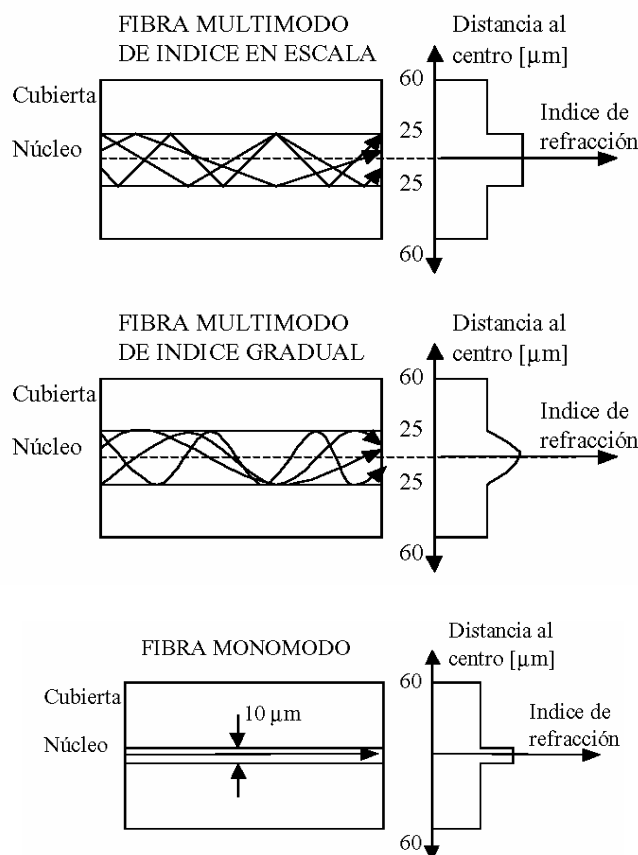


El sistema se basa en el principio físico de la refracción. Cuando un rayo de luz pasa de un medio a otro, el rayo se refracta en la frontera entre ambos medios. En general, el ángulo de refracción depende de las propiedades de los medios en contacto, en particular de sus índices de refracción. Si el 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.

Si el diámetros 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.



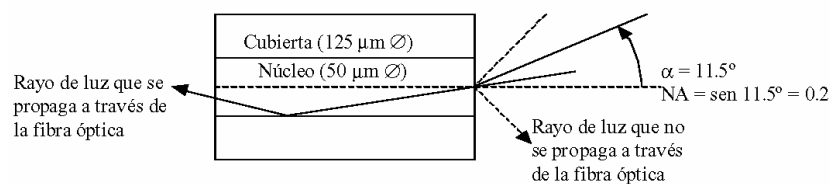
La **apertura numérica** de una fibra óptica es el parámetro que define el ángulo crítico para que la luz se propague a través de la fibra óptica. En concreto, la *apertura numérica*, es seno del máximo ángulo respecto al eje longitudinal con el que un haz de

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 estos, 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.



Una red en forma de anillo es una solución al problema ya que es en realidad una colección de enlaces punto a punto. La interfaz que existe en cada ordenador permite el paso del flujo de los pulsos de luz al siguiente enlace y como unión en T por medio de la cual el ordenador envía y acepta mensajes.

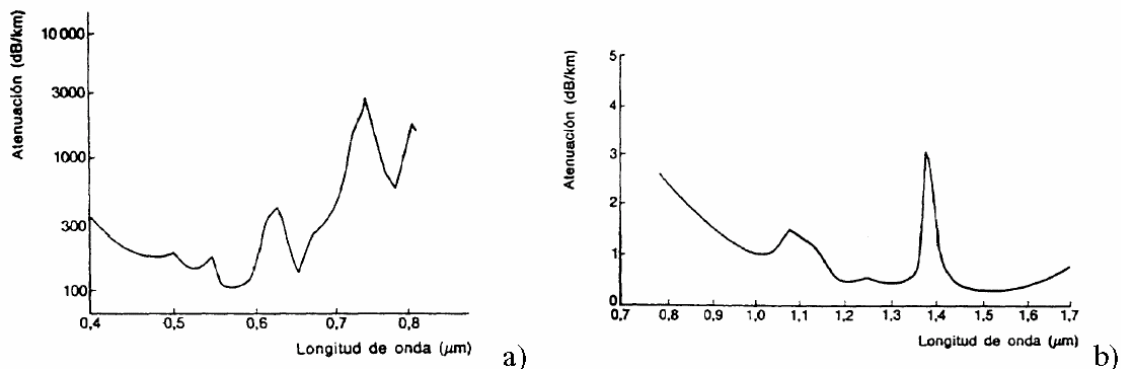
Hay dos tipos de interfaz. Uno es de tipo pasivo. Está formado por dos conectores fusionados con la fibra principal, uno tiene un LED en su extremo (para transmisión) y el otro tiene un fotodiodo (para recepción). La conexión es completamente pasiva y por tanto muy fiable.

El otro tipo de interfaz es el receptor activo. La luz incidente se convierte en señal eléctrica y se regenera a su máximo valor, retransmitiéndose de nuevo como luz. Como en cada enlace se regenera la señal, cada línea puede tener varios kilómetros de longitud. En cambio en un anillo pasivo, se pierde luz en cada enlace por lo que está limitado el número de estaciones y la longitud total del anillo.

Entre las principales ventajas cabe destacar las siguientes:

- Mayor velocidad de propagación de la señal. La señal luminosa se propaga a la velocidad de la luz.
- Mayor capacidad de transmisión. En la actualidad se pueden hacer transmisiones de hasta 1 Gbps en distancias de 1 km.
- Inmunidad ante interferencias electromagnéticas.
- Menor atenuación. 5 a 20 dB/km a 400 Mhz.
- Mayor ancho de banda.
- Tasas de error menores. 1 error por cada 10^9 bits frente a 1 por cada 10^6 en los cables eléctricos.
- No hay riesgos de cortocircuitos o daños de origen eléctrico.
- Peso mucho menor.

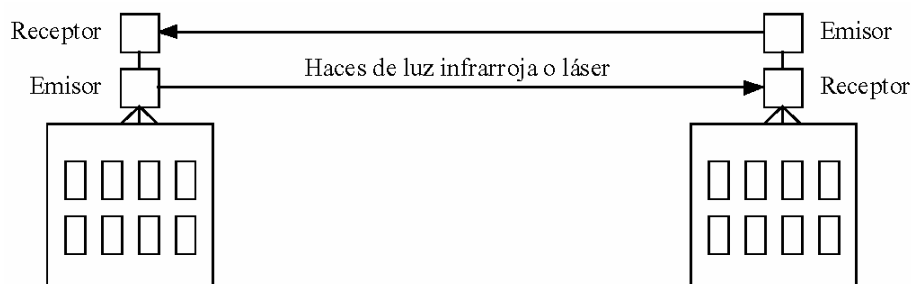
- i) Menor diámetro y más flexibles lo que facilita su instalación.
- j) Es más difícil realizar escuchas sobre una fibra óptica que sobre un cable eléctrico.
- k) Se pueden emplear varios canales empleando longitudes de onda diferentes simultáneamente sobre la misma fibra.
- l) Tiene mayor resistencia a los ambientes corrosivos que los cables eléctricos.
- m) Las materias primas para su fabricación son abundantes.
- n) Su vida media es mucho más larga que la de un cable eléctrico.



Sin embargo también presentan inconvenientes. Por un lado, las fibras ópticas son inherentemente unidireccionales y el coste de las interfaces es mucho mayor que en el caso eléctrico. Por otro lado, la unión de fibras ópticas es complicada y todavía más su derivación. Uno de los elementos más costosos de una instalación de fibra óptica es la incorporación de las férulas de conexión en los extremos de las fibras. Las férulas suelen ser complejas y de laboriosa instalación. De la delicada y correcta instalación de estas férulas, depende el correcto alineamiento entre los extremos de las dos fibras que se vayan a conectar o del extremo de la fibra con los dispositivos emisor o receptor. Si el alineamiento no es correcto, la limitada apertura numérica de una fibra puede impedir total o parcialmente la propagación de la señal luminosa.

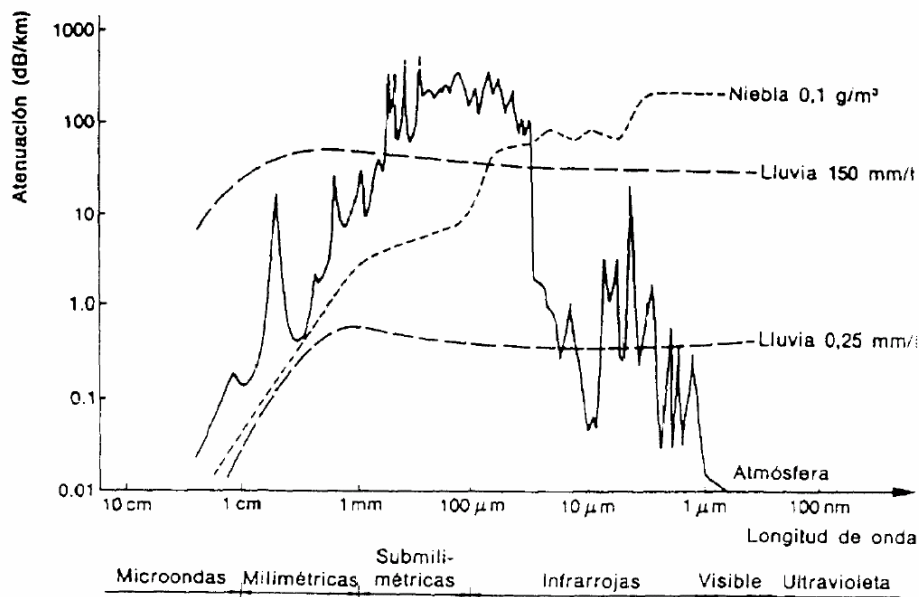
4.4.- Transmisión por trayectoria óptica.

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.

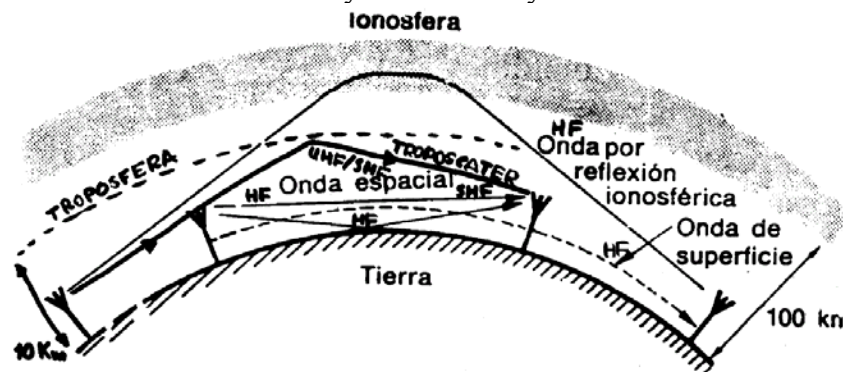
Además, las brisas ascensionales provocadas por variaciones de temperatura que modifican la densidad del aire, provocan desviaciones del haz de luz evitando que incida correctamente en el receptor. La utilización de la luz coherente del láser añade el peligro de los posibles daños en la retina si es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

4.5.- Enlaces por radio y microondas.

Todas las frecuencias del espectro radioeléctrico pueden ser utilizadas para la transmisión de datos, aunque las microondas resultan especialmente adecuadas.

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. La atenuación es tanto mayor cuanto mayor es la frecuencia.



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 $k=4/3$.

Para las microondas terrestres, la atenuación viene expresada como: $L = 10 \log \left(\frac{4\pi d}{\lambda^2} \right)^2$ en dB, siendo: d la distancia y λ la longitud de onda. La frecuencia de emisión determina el ancho de banda y la razón de bits que puede utilizarse.

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

4.6.- Comunicación 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).

Habitualmente, la mejor órbita de los satélites de comunicaciones es una **órbita geoestacionaria**. Con la tecnología actual no es deseable tener satélites espaciados a menos de 4°. 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 90 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 espacial.

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

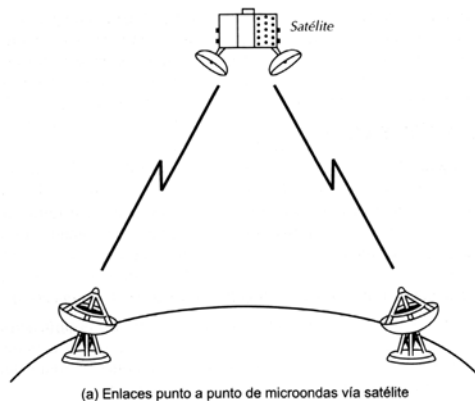
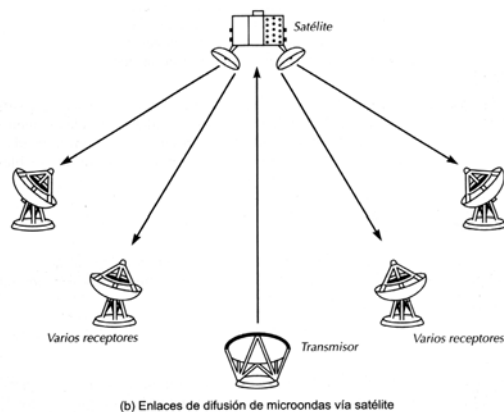
estaciones terrestres. Con los desarrollos experimentados en microelectrónica, un satélite moderno posee múltiples antenas y pares receptor-transmisor. Cada haz de información proveniente del satélite puede enfocarse sobre un área muy pequeña de forma que pueden hacerse simultáneamente varias transmisiones 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.

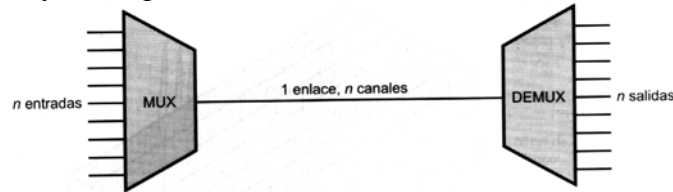
Otra propiedad interesante del envío de datos por satélite es su difusión. Todas las estaciones incluidas bajo el área del haz, pueden recibir la comunicación, incluso las estaciones piratas. Las implicaciones en cuanto a la privacidad son inmediatas. Es necesario alguna forma de encriptación para mantener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

5.- Multiplexación.

La multiplexación consiste en compartir la capacidad de un enlace de datos entre varias estaciones emisoras y/o receptoras de datos.



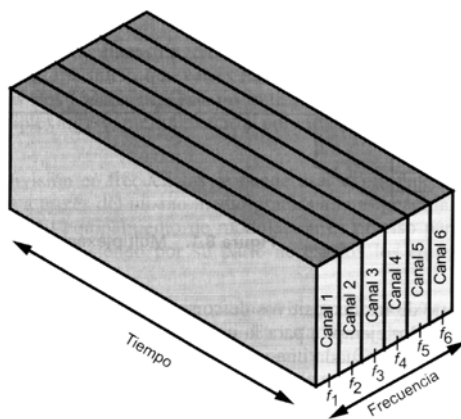
Los tipos fundamentales de multiplexación son:

- Multiplexación por división en frecuencias (**FDM** – Frequency Division Multiplexing).
- Multiplexación por división en el tiempo síncrona (**TDM** – Time Division Multiplexing).
- Multiplexación **TDM estadística**.

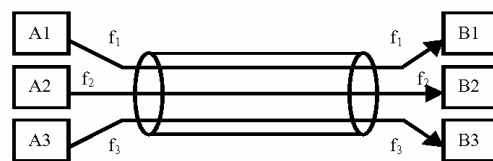
En los dos casos, se usa una misma línea de transmisión para transmitir en paralelo varias señales con información, orígenes o destinos diferentes.

5.1.- Multiplexión por división de frecuencias.

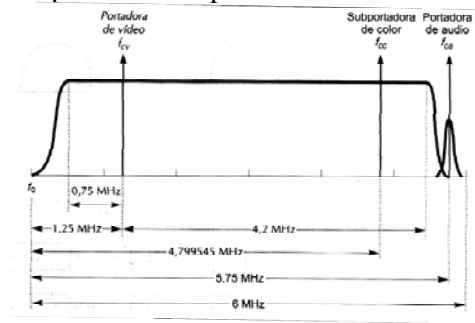
En el caso de la multiplexación por división de frecuencia (FDM), se transmiten diferentes señales moduladas cada una sobre una portadora de distinta frecuencia. Estas portadoras están suficientemente separadas en el espectro de frecuencia como para evitar interferencias y diafonías que perjudiquen la comunicación.



(a) Multiplexación por división en frecuencias

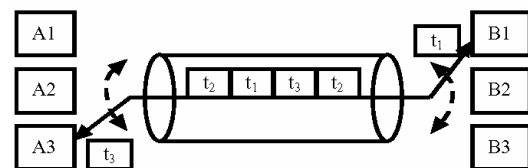
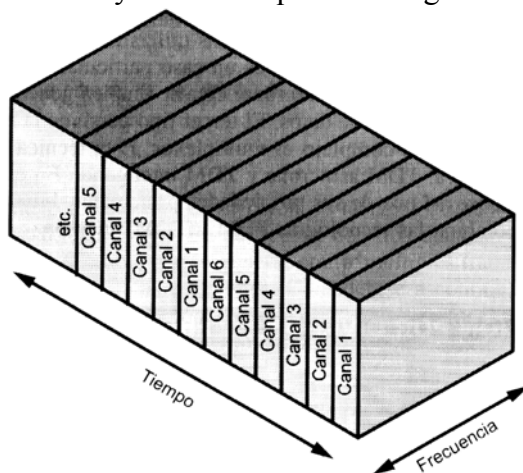


Por ejemplo tenemos la señal analógica de televisión, que se envía según un estándar internacional donde el sonido aparece multiplexado en frecuencia con la imagen.

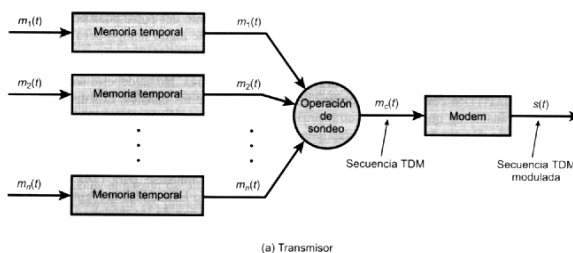


5.2.- Multiplexación por división en tiempo.

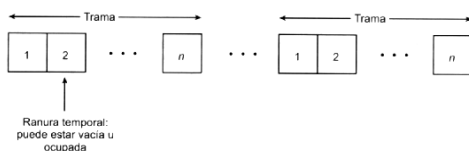
En el caso de la multiplexación por división de tiempo (TDM), las señales de entrada están desfasadas en el tiempo, de forma que en un instante sólo se transmite información correspondiente a una única señal. En cierto modo, puede verse como si el tiempo se dividiese en un conjunto de bloques sucesivos que se transmite de forma continuada y a cada bloque se le asigna a una señal.



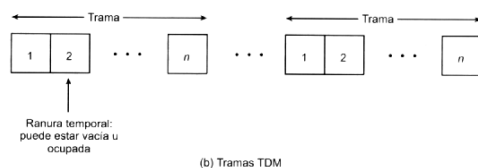
(b) Multiplexación por división en el tiempo



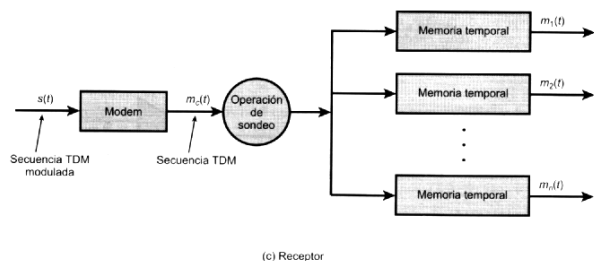
(a) Transmisor



(b) Tramas TDM



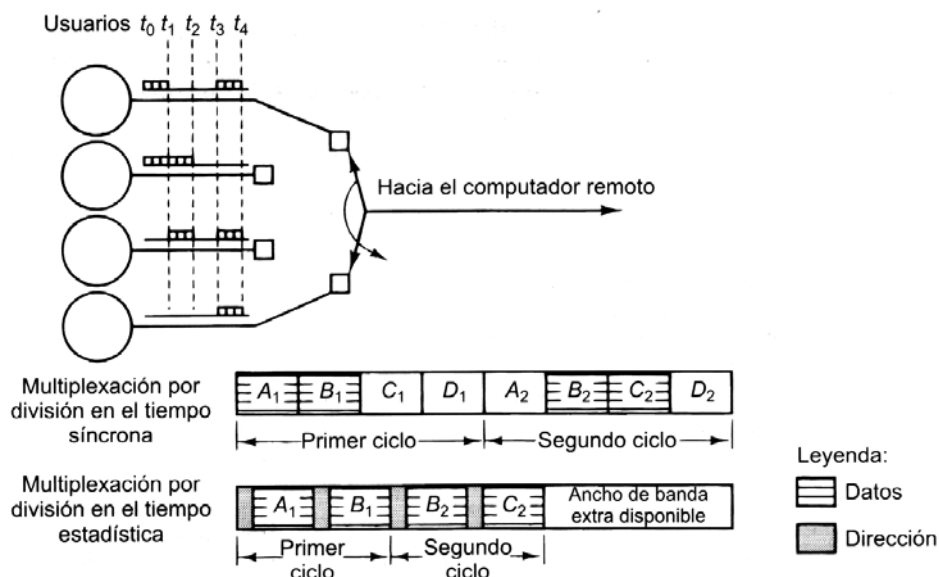
(b) Tramas TDM



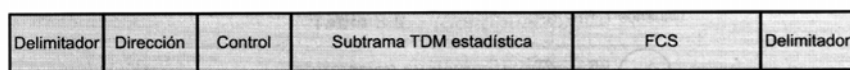
(c) Receptor

5.3.- Multiplexación estadística.

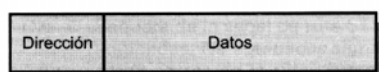
Cada usuario comparte un cuanto de tiempo el canal en función de algún parámetro, como puede ser su prioridad de transmisión, la cantidad de información que va a transmitir o algún otro.



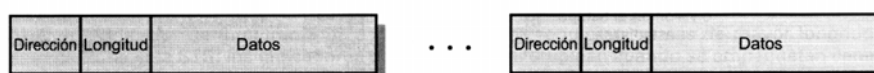
Para reconocer el comienzo, el final de la transmisión y el tipo de transmisión se incluye información junto con la transmisión. Esta información se incluye formando un paquete o **trama de datos**. Los formatos más extendidos de trama son los siguientes:



(a) Trama completa



(b) Subtrama con una fuente por trama



(c) Subtrama con varias fuentes por trama