

Capítulo 2 Elementos que componen las Redes Digitales.

Objetivos: Describir los elementos que componen las Redes Digitales: terminales, canal de comunicación (medios de transmisión: características físicas y eléctricas), códigos: Morse, Baudot, EBCDIC y ASCII, así como los Modos de Transmisión, PCM, modems, la transmisión serial, la interfase RS232 y los equipos básicos usados en las Redes.

2.1.-Terminales.

Todos poseemos un conocimiento intuitivo del concepto de terminal y pudieramos definirlo así: "En un sentido amplio un terminal es aquel equipo ó grupo de equipos que unido a un canal ó medio de transmisión mediante interfaces adecuados, permite la entrada/salida de información desde/hacia otro dispositivo de características similares utilizando para ello los protocolos de comunicación adecuados". Existen gran variedad de terminales, algunos ejemplos pueden ser: un computador, un teletipo, una pantalla, etc., pero a pesar de ello pueden identificarse sus partes:

- Unidad de control.
- Equipos de entrada/salida.

Estas dos partes pueden estar integradas en un mismo equipo físico ó ser equipos separados, ver **Figura 2.1.**

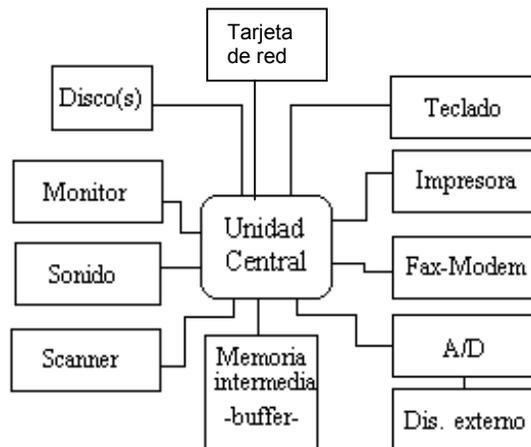


Fig. 2.1. Terminales

La unidad de control de un equipo terminal es una entidad funcional que supervisa y dirige el flujo de información entre las distintas partes del mismo equipo terminal, así como entre los diversos procesadores involucrados en el proceso de transmisión (procesadores de redes, procesador central ó procesador de comunicaciones según el caso). Además el terminal almacena temporalmente la información que se este tratando, tanto de entrada como de salida, en memorias llamadas "buffers" (también en algunos casos pueden utilizarse memorias de almacenamiento masivo) y efectúa las operaciones de verificación de la información entregada ó recibida y protección contra errores.

Los equipos de entrada/salida que puede soportar un terminal depende del uso para el que haya sido diseñado, entre ellos podemos citar:

1. *Unidades de salida*: pantallas, impresoras, graficadores (plotters), tarjetas de sonido y parlantes, decodificadores de voz, dispositivos de salida ópticos, conversores analógicos digitales, etc.
2. *Unidades de entrada*: teclados, micrófonos, lápices ópticos, lectores de barras, escaneadores (scanners), ratón (mouse), joystick, lectores de banda magnética, sensores, conversores analógicos digitales, tabletas digitalizadoras, etc.
3. *Unidades de entrada/salida*: tarjetas de red, modems, fax, dispositivos de almacenamiento masivo (unidades de disco flexible, disco duro, cinta magnética, Zip, etc.).

Los terminales pueden soportar varias velocidades de transmisión, varios protocolos de comunicación y manejar diferentes volúmenes de información.

Existen diversas clasificaciones de los terminales, la primera que mencionaremos se basa en el grado de inteligencia que posee el equipo, así tendremos:

1. *Terminales simples*: conocidos como terminales “tontos”, son aquellos que no poseen ninguna inteligencia propia, estando controlados por un dispositivo ajeno al propio terminal. Se utilizan solamente en casos muy específicos, por ejemplo pantallas de llegadas y salidas en aeropuertos.
2. *Terminales inteligentes*: son terminales dotados de cierta inteligencia que permiten ejecutar ciertas tareas específicas, por ejemplo, cajeros automáticos.
3. *Terminales programables*: son los más inteligentes y en ellos es posible programar y ejecutar programas. Un ejemplo típico son las computadoras personales que permiten desligar al computador central de las operaciones rutinarias de comunicaciones como el control de los formatos, la edición de los datos, etc. Cuando la computadora funciona así se dice que está en el “modo terminal”.

Desde otro punto de vista los terminales pueden clasificarse según el uso del mismo, en:

- Terminales de propósito general
- Terminales de propósito específico.

Los terminales de propósito general son aquellos susceptibles de ser utilizados en procesos diferentes, así tenemos:

1. *Terminales de pantalla*: constan de un teclado y un visualizador (pantalla, cristal líquido, etc.). Los datos son almacenados en un buffer y pueden ser corregidos y modificados antes de ser enviados. Un ejemplo son los equipos de información turística y los de información de calles y avenidas.
2. *Teleimpresores*: son dispositivos seriales (imprimen un carácter a la vez), son lentos y constan de un teclado y de algún dispositivo de impresión. El ejemplo más representativo son los terminales de telex.
3. *Impresoras*: son equipos que tienen todos los elementos necesarios para volcar en papel la información contenida en un buffer. Tienen posibilidades de diversos tipos de escritura, de color, de graficar, de imprimir transparencias, etc. y su calidad ha llegado a ser enorme superando a la imprenta. La **Figura 2.2** describe los tipos de impresoras seriales.
4. *Graficadores (plotters)*: sirven para dibujar sobre un papel de formato adecuado utilizando plumas, lápices ó rotuladores. La calidad es muy alta y para ello el software y la precisión mecánica es superior al de las impresoras.

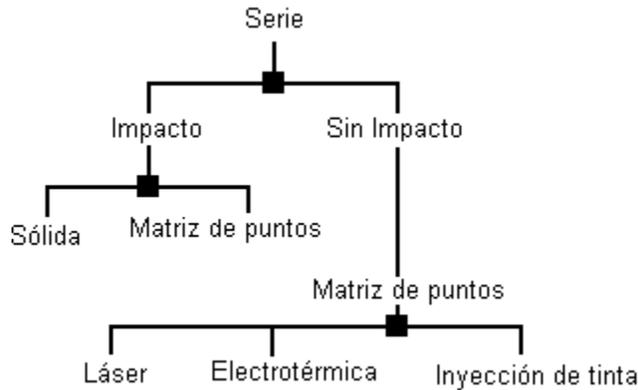


Fig. 2.2. Impresoras Seriales

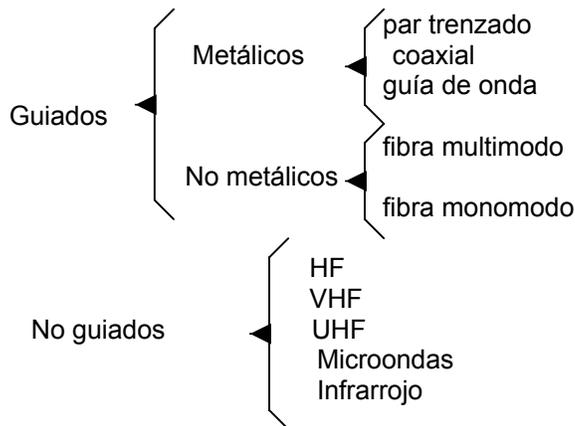
Los terminales de propósito específico son los diseñados para hacer un tarea específica y única que no puede ser cubierta (ó no es económicamente conveniente hacerlo) por un terminal de propósito general. Algunos son:

1. *Terminal teletext*: permite el envío y recepción de imágenes con textos y/o dibujos. Ejemplo de él son los terminales del sistema francés de teletext.
2. *Terminal datafono*: permite una colección determinada de operaciones bancarias con tarjetas magnéticas permitiendo acceso a bases de datos, a realizar depósitos, retiros, transferencias y pagos, es lo que llamamos “cajero automático” o “telecajero”.
3. *Terminal Internet*: son diseñados específicamente para conexión con Internet.

2.2.-Canal de Comunicación. Medios de Transmisión. Características físicas.

El canal de comunicaciones eléctricas implica un “medio de transmisión” ó “medio físico” en el que la energía electromagnética viaja desde el extremo transmisor hacia el extremo receptor.

El medio de transmisión, desde el punto de vista físico, puede clasificarse así:



Los medios guiados, con excepción de la guía de onda metálica que ha perdido importancia en lo que a redes se refiere, se engloban bajo el nombre genérico de “cables”.

2.2.1.-Cables.[1]

El cableado es de gran importancia en una red ya que:

- 40% de los empleados se mudan dentro del mismo edificio cada año.
- Hasta 70% de las fallas en una red están relacionadas con el cableado.
- El cableado representa alrededor del 5% del costo de una red local.
- El cableado es el elemento que menos obsolece en la red y el que típicamente sobrevive a los cambios de software y hardware.

El cable utilizado dependerá de la aplicación específica, la dimensión de la empresa ó instalación y las características físicas del sitio donde se instalará.

Como regla general deberán considerarse varios factores para la selección, los más importantes son:

- * Aplicaciones: tráfico de redes locales, tráfico host-terminal, tráfico de voz, etc. Considerando si habrá aplicaciones combinadas, si hay aplicaciones críticas en cuanto a tiempo fuera de servicio, ancho de banda y calidad requeridas por los usuarios.
- * Durabilidad.
- * Costo.
- * Cables existentes.
- * Vida requerida (longevidad), para asegurar que soporte el tráfico actual así como el crecimiento futuro.
- * Seguridad.

Los cables varían según el tipo de red en que se usan (LAN, WAN, MAN). En el caso de LANs el estándar más popular es el IEEE 802.3, conocido como *Ethernet*. En él se definen el método de acceso (CSMA/CD), y las llamadas capas física y de datos, tal como veremos más adelante. Entre otros incluye las implementaciones 10BASE2 (Coaxial fino), 10BASE5 (Coaxial grueso), 10BASEFL (Fibra Óptica) y 10BASE-T (par trenzado de cobre, categoría 3 ó superior).

En otros estándares las implementaciones pueden ser 100BASE-T4 (par trenzado categoría 3), 100BASE-TX (par trenzado categoría 5), 100 BASE-VG AnyLan (token ring con UTP), 100BASE-FX (con fibra), 1000BaseT o Gigabit Ethernet (par trenzado categoría 5 o superior).

De acuerdo al tendido los cables pueden dividirse en dos grupos: cables para interiores y cables para exteriores.

Los cables para interiores son los utilizados dentro de edificios, y algunos (tipo "plenum") están diseñados para resistir el fuego y producir poco humo en caso de incendio.

Los cables para exteriores pueden a su vez clasificarse en:

- Cables para instalación subterránea en ductería.
- Cables para instalación subterránea directa, que por ello son a prueba de agua.
- Cables aéreos, que serán soportados por postes y estarán suspendidos entre edificios, tienen protección contra roedores y rayos.

La configuración de los cables y el tendido para edificios son descritos en la normas EIA/TIA-568, 568A y 569 (EIA es Electronic Industries Association). En ellas se considera la parte de "backbone" (conexión entre armarios de telecomunicaciones, cuartos de equipos y facilidades de entrada (cross conect)), el tendido horizontal (que es el tendido entre el armario y los conectores de pared del usuario, cuya longitud máxima es de 90 metros), y el llamado armario de comunicaciones (Telecommunications Closet) que soporta un área de trabajo con topología estrella. Sobre esto volveremos en el Capítulo 6.

Se recomienda consultar estas normas que están a la venta a través de Global Engineering Documents, 15 Inverness Way East, Englewood, Colorado 80112, USA, o su filial Global Info Centre, 3909 N. E. Street, Ste. 10 North Miami Beach, Florida 33160 USA teléfono 305-944-1099 FAX 305-944-1028, a quienes se puede solicitar un catálogo muy completo.

De acuerdo a su geometría los cables son de tres tipos (**Figura 2.3**):

- **Par Trenzado**
- **Coaxial**
- **Fibra Óptica.**

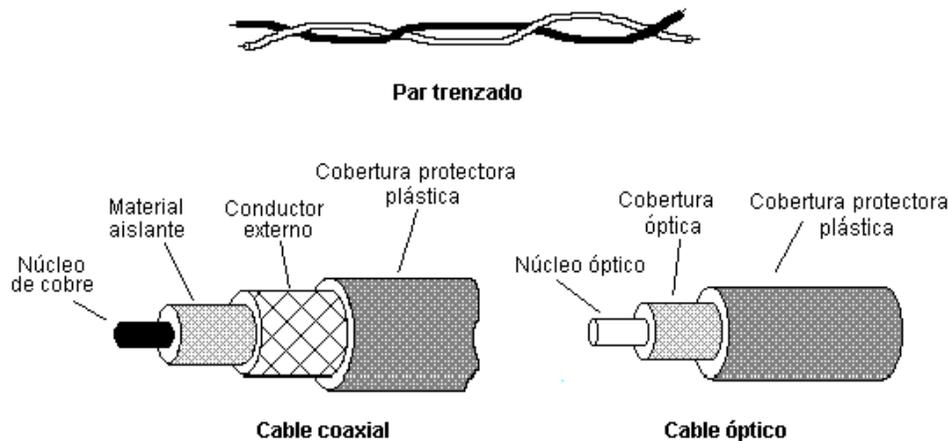


Fig. 2.3. Tipos de Cables

Par trenzado:

El par trenzado se usó originalmente para redes telefónicas. Se trata de un par de conductores de cobre cada uno cubierto de un aislante, su trenzado es para minimizar la influencia de campos externos (diafonía). Resulta barato y fácil de instalar, sin embargo, es susceptible a interferencia (ruido y diafonía). Una manera de minimizar este problema es blindando el cable.

Existen dos grandes familias de cables trenzados: los no blindados ó UTP (correspondientes a 10 BASE-T y otros) y los blindados ó SPT.

Los cables UTP vienen en varias "categorías", los grados más altos tienen mejor desempeño. Los que se usan para redes de comunicaciones (generalmente LANs) son de calidad superior al telefónico común (1UTP) que normalmente está instalado, el cual no es adecuado para redes.

La **Tabla 2.1** muestra los cables UTP y STP actuales, las categorías de UTP son las dadas en los Boletines TSB-36 y TSB-40 de EIA/TIA. Sin embargo, se recomienda obtener y consultar catálogos actualizados de fabricantes (Belden, Anixter, Siecor y otros).

CABLES UTP					
Estandar Aplicable	CCITT; REA	RS-232; StarLAN; AT&T PDS	EIA/TIA 568 TSB-36 NEMA	EIA/TIA 568 TSB-36 NEMA	EIA/TIA 568 TSB-36 NEMA
	Categoría 1	Categoría 2	Categoría 3 Standard	Categoría 4 Low Loss	Categoría 5 Low Loss Ex tended Freq.
Impedancia; Frecuencia	<i>No cubre el rango de frecuencia para aplicaciones de datos</i>	100Ω ± 30Ω; 1MHz	100Ω ± 15Ω; 1-16MHz	100Ω ± 15Ω; 1-20MHz	100Ω ± 15Ω; 1-100MHz
Atenuación(máx.) 4MHz 10MHz 16MHz 31.25MHz 100MHz		8dB/1000feet @ 1MHz	por 100m 5.6dB 9.8dB 13.1dB - -	por 100m 4.3dB 7.2dB 8.9dB - -	por 100m 4.3dB 6.6dB 8.2dB 11.8dB 22dB
N.E.X.T. (mín.) 4MHz 10MHz 16MHz 31.25MHz 100MHz			por 100m 32dB 26dB 23dB - -	por 100m 47dB 41dB 38dB - -	por 100m 53dB 47dB 44dB 40dB 32dB
Descripción	Cobre no blindado (22-24 AWG)	Par trenzado no blindado (pares individuales trenzados: 22-24 AWG)	Cuatro pares trenzados no blindados 24 AWG, hay de 2,4,6,12 y 25 pares	Cuatro pares trenzados no blindados 24 AWG	Cuatro pares trenzados no blindados 24 AWG, hay de 25 pares y mejorados
Aplicaciones Típicas	Teléfono/voz analógica; datos de baja velocidad & RS-232	Voz Digital; AppleTalk; IEEE 802.3; IBM 3270	IEEE 802.3 10 Base T; IEEE 802.5 4 Mbps UTP ; IBM 3270-System 3X/AS400	IEEE 802.5 16Mbps UTP; Aplicaciones Data Twist Three	ANSI X3T9 100Mbps TP-PMD; Aplicaciones Data Twist Three and Four
CABLE STP					
Descripción	Características Eléctricas		Especificación	Aplicaciones Típicas	
Par trenzado blindado (pares individuales trenzados: 22-24AWG)	150Ω ± 15Ω @ 10MHz; 16dB/1000feet @ 10MHz		IBM tipo 1	IEEE 802.5 @ 16Mbps; Datos de alta velocidad	

Tabla 2.1 Cables STP & UTP

En la **Tabla 2.1** se dan la impedancia característica, la atenuación, el rango de frecuencia y NEXT (Near End Cross Talk) que es una medida de como un par activo afecta adversamente la calidad de transmisión de otros cables (dB de aislación)[2][25], debe notarse que TP-PMD significa Twisted Pair-Physical Media Dependent.

La Ethernet UTP (10Base T) emplea cuatro conductores, ó sea dos pares, para transmitir y recibir la señal. Sin embargo, como veremos más adelante, allí se utilizan unos conectores identificados con RJ-45 que tienen 8 puntos de conexión, por ello el cable que se instala tiene generalmente cuatro pares, aún cuando se usan solo dos (los pares 2 y 3). En el mercado hay UTPs de 2, 4 y 25 pares.

Además existe un Programa de Certificación de Cables para LAN de la *UL* (Underwriters Laboratory) que da cinco niveles:

- **Nivel I:** para POTS (Plain Old Telephone Service) y para circuitos limitados en potencia.
- **Nivel II:** Multipar (2 a 25 pares) para comunicaciones similar al IBM Tipo 3 (mostrado en el Catalogo Belden bajo IEEE 802.5) especificado para 1MHz.
- **Nivel III:** Cumple con lo especificado en ANSI/EIA/TIA-568 y EIA/TIA TSB-36, especificado para 16 MHz.
- **Nivel IV:** Cumple con EIA/TIA 568 y el estándar propuesto de NEMA (National Electrical Manufacturers Association) para cable de telecomunicaciones de bajas pérdidas especificado para 20 MHz.
- **Nivel V:** Cumple con EIA/TIA TSN-36 y el estándar propuesto de NEMA para cable de bajas pérdidas extendido en frecuencia, y es especificado para 100 MHz.

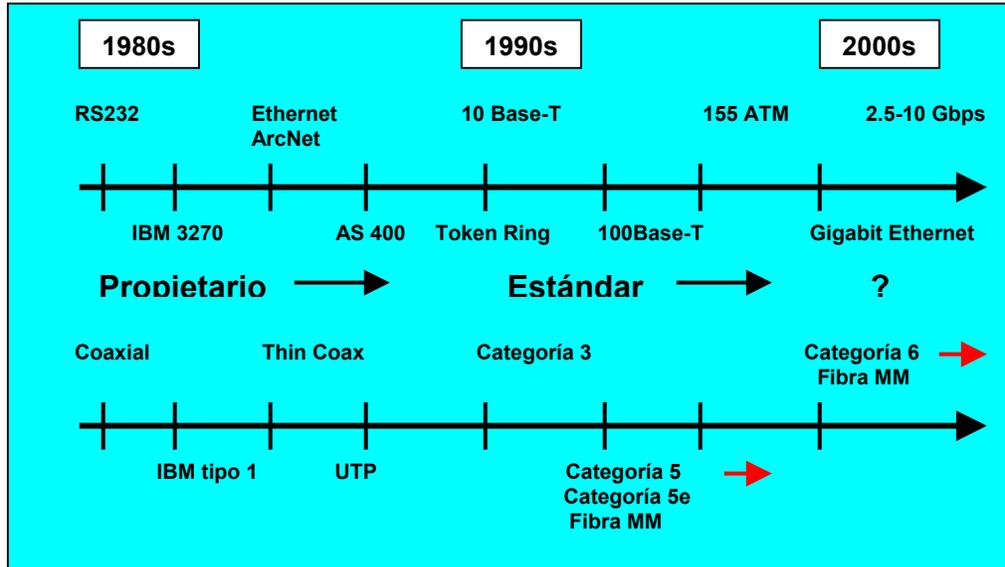
Los UTP se utilizan ampliamente en instalaciones de bajos anchos de banda y distancias cortas (100 metros).

El 3UTP fue originalmente especificado para Ethernet y su estándar 10BaseT, pero muchos usuarios han estado instalando el 5UTP, más robusto y que es especificado para redes de alta velocidad (como la de FDDI de cobre, a 100 Mbps). El STP fue especificado casi exclusivamente para un tipo particular de red (token ring) del estándar IEEE 802.5, sin embargo sus ventas han bajado en beneficio del 5UTP que se usa mucho aún en redes locales token ring.

La tecnología progresa rápidamente:

- * Existe una variedad **resistente al fuego** del 5UTP, que es el normalmente especificado por los códigos de construcción en las partes del edificio donde circula aire.
- * El 3UTP soporta 16Mbps y el 4UTP de 20 Mbps son los más utilizados en el estándar 10BASET, pero el uso del 3UTP se ha extendido, mediante el uso de codificadores de señal y transreceptores avanzados, a 100Mbps en LAN y 25Mbps en ATM, se habla también de ATM de 155Mbps (el ATM Forum produjo el estándar ATM-155 para cables UTP de Categoría 5 a 155Mbps. Además del ATM Forum puede visitarse www.scope.web/whtpapt.htm para más información).
- * En Alemania la norma DIN-44312-5 define a un cable simétrico FTP (Foil Twisted Pair) Categoría 6 @ 600MHz[24].

Las redes han evolucionado muy rápidamente tal como ilustra la siguiente figura que muestra en la primera línea temporal los distintos protocolos y en la segunda los diversos medios físicos.



Al planificar e instalar una red el usuario desea conocer su “vida útil”, ANSI/TIA/EIA 569A Design Considerations, establece que ese estándar intenta una estructura de planta que permita transmitir voz y datos de 10 o 15 años, sin embargo ese objetivo no es realista. En 1985 se estaban instalando coaxiales gruesos y finos de Ethernet de 10 Mbps, en 1987 se comenzó a instalar el primitivo UTP DIW-24 que fue reemplazado en 1990 por UTP3 y poco después este a su vez fue sustituido por UTP4. En 1995 100 BaseTX, que es la Ethernet de 100 Mbps, comenzó a instalarse con UTP5.

En diez años se progresó a través de **cinco estándares..... !!!!!**

Cinco años más tarde, en el 2000, 1000 BaseT, el estándar de 1 Gigabit para Ethernet reveló las deficiencias del UTP5. ANSI/TIA/EIA refinaron las especificaciones del UTP5, estas nuevas especificaciones, TIA/EIA 568A-5 (TIA TR-41.8.1 Addendum 5) dieron lugar a UTP5e (la e por enhanced o sea mejorado), que es recomendado por IEEE para instalaciones nuevas de Gigabit Ethernet 1000 Base T, se agregan los valores de ELFEXT y pérdidas de retorno, necesarios para comunicaciones full-duplex. La ISO/IEC 11801 simplemente mejoró las especificaciones del UTP5 y siguió llamándolo así sin utilizar la e . Como vemos UTP5 solo duró 5 años siendo sustituido por el 5e, pero éste también será reemplazado por el categoría 6 y 7.

Las tablas que se muestran a continuación resumen tecnologías, cables y estándares de LANs.

TABLA 1. Tecnologías LAN y sus cables.

Ethernet original 10 Mbps	
- 10Base 5	Thick Coaxial(coaxial grueso)
- 10Base2	Thin Coaxial (coaxial fino)
- 10Base-T	DIW-24 UTP de 2 pares
- 10Base-FL	2 hilos de fibra óptica multimodo
Fast Ethernet 100 Mbps	
- 100 Base-TX	2 pares UTP5
- 100 Base-T4	4 pares UTP3
- 100 Base-T2	2 pares UTP3
- 100 Base-FX	2 hilos de fibra óptica multimodo
Gigabit Ethernet 1000 Mbps	
- 1000 Base-SX	Fibra multimodo para longitud de onda corta
- 1000 Base-LX	Fibra monomodo para longitud de onda larga
- 1000 Base-CX	Cable coaxial
- 1000 Base-T	4 pares de UTP5 ó 5e
- 1000 Base-TX	2 pares de UTP6 (propuesta de TIA)

TABLA 2: Estándares ANSI/TIA/EIA para cableado y sus aplicaciones en LANs

Categoría	Tipo	Ancho de Banda	Longitud del enlace	Aplicaciones LAN
Categoría 3	UTP	16 Mhz	100 metros	10 Base-T, 4 Mbps Token Ring.
Categoría 4	UTP	20 Mhz	100 metros	16 Mbps Token Ring.
Categoría 5	UTP	100 Mhz	100 metros	100 Base-TX, ATM, CDDI, 1000 Base-T
Categoría 5e	UTP	100 Mhz	100 metros	1000 Base-T
Categoría 6	UTP	250 Mhz	100 metros	No hay aún
Categoría 7	UTP	600 Mhz	100 metros	No hay aún

El estándar 802.3u correspondiente a 100 Base-TX Fast Ethernet requiere full-duplex, o sea dos pares energizados simultáneamente a esa velocidad (100 Mbps), lo mismo ocurre con la norma 802.3ab de 1000 Base a 1000 Mbps, UTP5 deja de trabajar bien en estas condiciones y por ello es que se están desarrollando las Categorías 6 y 7 [26][27], pero parece mejor migrar a fibra óptica.

Cables coaxiales:

Están compuestos de un conductor central, macizo ó multifilar, que constituye la generatriz de otro conductor de diámetro mayor separado del primero por un dieléctrico de espuma de polietileno, pvc o aire, el conjunto lleva una cubierta externa de protección, ver **Figura 2.3**. Los cables coaxiales cuya disposición geométrica es favorable en lo que hace a la interferencia y a la diafonía también presentan una atenuación menor que los pares trenzados lo que aumenta la separación entre repetidores, además el ancho de banda también es significativamente mayor ya que los de pequeño diámetro operan en banda base hasta 80 Mbps y los gruesos en banda ancha (con señales analógicas de modulación primaria) hasta 400Mhz.

Por ello fueron usados ampliamente para redes locales y de área amplia con velocidades de 1.544 Mbps y 2.048 Mbps, así como en redes locales Ethernet de 10 Mbps (10BASE5).

Sin embargo es un medio difícil de instalar y de interconectar, por lo que ha quedado para "backbones". Hay dos tipos de cable coaxial comunmente usados.

- Uno grueso, amarillo, llamado Ethernet grueso (ThickWire) (10BASE5) con marcas cada 2.5 m para señalar la mínima distancia entre derivaciones (éstas se hacen con un dispositivo llamado "vampiro" para no romper el cable), su máxima longitud es de 500 m y soporta 100 nodos.
- Otro más delgado, más flexible y que utiliza conectores BNC comunes, es llamado Ethernet fino (10BASE2) (en realidad es un RG58 mejorado), soporta sólo 30 nodos, separados al menos de 0.5 m y cada segmento no debe exceder 185 m.

Como ya se dijo hablaremos más de todo esto en el Capítulo 6.

Fibra Óptica[3][4][5]

La fibra óptica es una "guía de onda" que opera a frecuencias que corresponden a la parte visible del espectro electromagnético, ó cercanas al mismo (infrarrojo), ver **Figura 2.3**.

Su geometría básica, de la que luego se darán detalles, es simple: se trata de un cilindro transparente (de óxido de silicio, SiO_2 , un dieléctrico) que está rodeado por un tubo del mismo material pero ligeramente modificado para presentar un índice de refracción menor que el del centro. El conjunto tiene luego cubrimientos protectores.

El principio de funcionamiento puede ser explicado sencillamente recordando el fenómeno de la reflexión total que ocurre cuando una onda incide oblicuamente en la superficie de discontinuidad entre dos medios, yendo de uno más "denso" (de mayor índice de refracción) a otro menos "denso" (de menor índice de refracción) con un ángulo igual ó mayor que un cierto "ángulo crítico". Si la luz en la fibra óptica es introducida con un ángulo tal que hay reflexión total eso implica que la luz queda "atrapada" en la fibra y es "guiada" por ésta. Un análisis más preciso requiere de la aplicación de la Teoría Electromagnética, y esta nos dice que en las guías de onda cilíndricas dieléctricas sucede algo similar a lo que ocurre en las guías metálicas, hay "modos", que son configuraciones de campo posibles, en número infinito pero numerable, que pueden existir dentro de la guía. Cada modo tiene una configuración perfectamente definida de campos **E** y **H**, y todos, a excepción de uno (que no existe en las fibras ópticas), comienzan a propagarse a partir de una cierta frecuencia, y por debajo de ella se dice que están "al corte". La "frecuencia de corte", está vinculada en este caso, entre otros factores, con el diámetro del cilindro central: cuanto más delgado es éste, menos modos podrán propagarse.

Estos modos pueden interpretarse en el caso de una fibra óptica como la descrita (llamada tipo **escalón** ó escalonada, por el brusco cambio del índice de refracción, y además **multimodo**, por permitir muchos modos) observando que los rayos de luz de los ángulos superiores al crítico sólo algunos al reflejarse y recorrer el camino entre las superficies reflejantes quedan en fase y se refuerzan, esto da lugar a un grupo discreto denominado **modos**.

En la primera parte de la **Figura 2.4** se muestran los “rayos” correspondientes a diversos modos. Obsérvese que cada modo recorre un camino diferente. Como la información que enviamos es un pulso de luz este distribuirá, en la entrada, su energía en los distintos modos. A la salida, al reconstruirse el pulso, este estará fuertemente deformado, pues aún suponiendo iguales velocidades (que no es el caso) el tiempo de llegada es diferente.

Para resolver este problema hay dos tipos de soluciones: la primera es hacer que el índice de refracción en vez de variar bruscamente, lo haga en forma “gradual”, con lo que se logra que los “rayos” (que ya no son rectos pues se curvan debido al cambio del índice de refracción) más largos tengan una velocidad media mayor que los rayos que recorren caminos más cortos. Esto hace que los diversos modos lleguen aproximadamente al mismo tiempo disminuyendo la deformación del pulso, lo se muestra en la segunda parte de la **Figura 2.4**. Se trata entonces de la **fibra de índice gradual**, que evidentemente es multimodo.

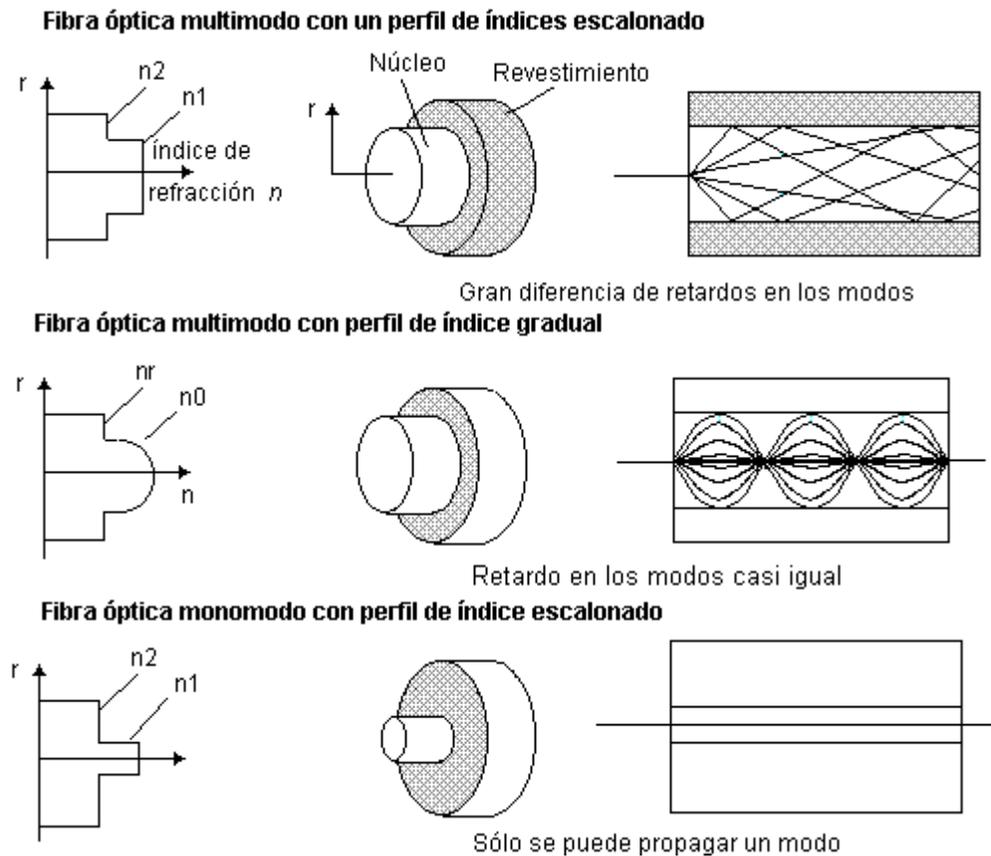


Fig. 2.4. Perfiles de Fibras Ópticas

La segunda solución es hacer el diámetro de la fibra tan pequeño (típicamente unos $9\mu\text{m}$, frente a $62.5\mu\text{m}$ de las anteriores) que se propague un solo modo, se trata de un **fibra monomodo de índice escalón**, mostrada en la tercera parte de la **Figura 2.4**, aquí la deformación del pulso es muchísimo menor que en el caso anterior y se debe a otras causas.

Lo antedicho es también ilustrado por la **Figura 2.5**.

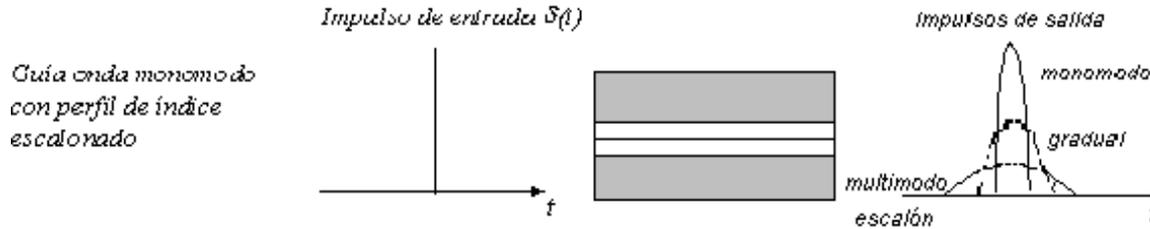


Fig. 2.5. Influencia de la dispersión sobre la señal

Otro factor a tomar en cuenta además del mencionado de deformación del pulso, llamado comunmente **efecto de la dispersión de la guía**, es la **atenuación**.

La atenuación de la fibras ópticas monomodo se ha llevado, gracias a técnicas de fabricación que aseguran una enorme pureza de los materiales que constituyen la fibra, a valores próximos a límite teórico. Una atenuación típica es del orden de 0.2 dB/Km . En **Figura 2.6** se da la atenuación de la fibra en banda base comparada con conductores de cobre y en la **Figura 2.7** la curva de atenuación de la fibra en función de la longitud de onda de operación, observándose en esta última mínimos a 1300 nm y 1550 nm que constituyen la primera y segunda ventana de operación de las fibras ópticas.

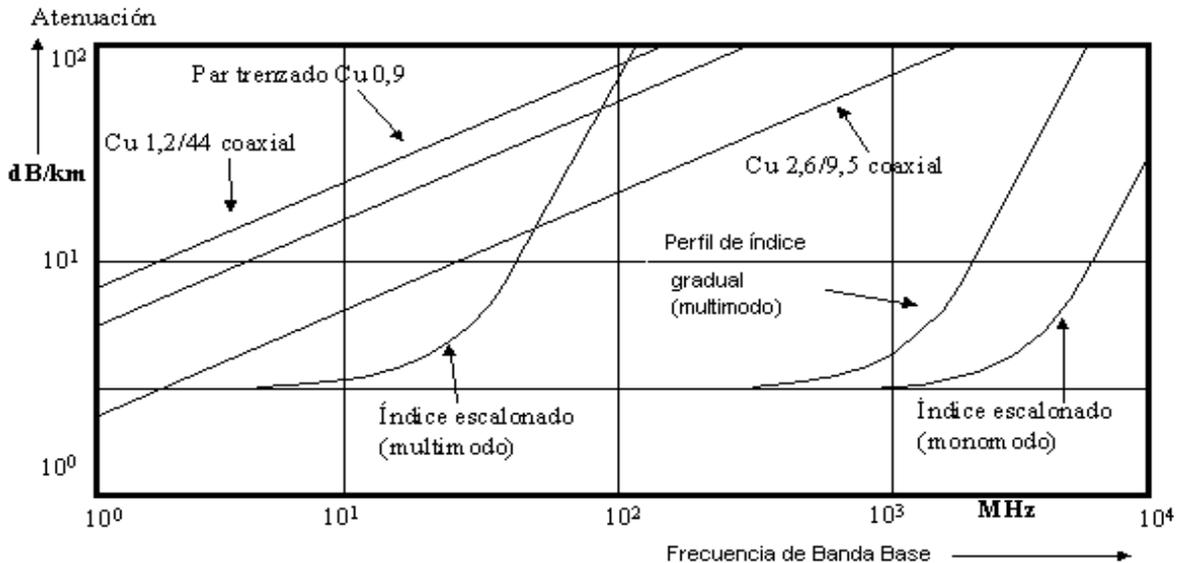


Fig.2.6 Comparación de la atenuación entre guiasondas

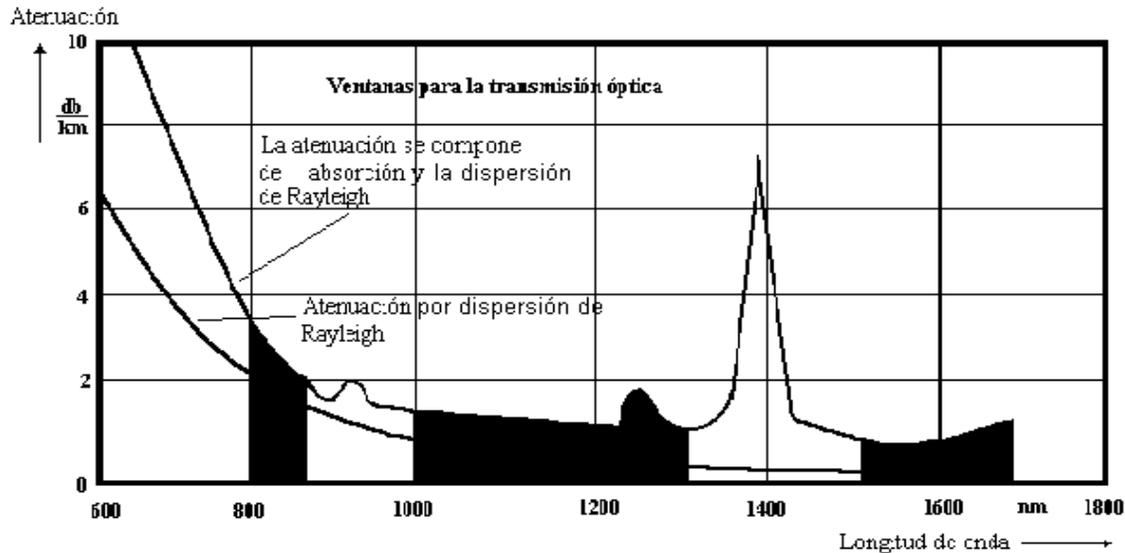


Fig. 2.7 Curva característica de la atenuación espectral en fibras ópticas

La fibra óptica presenta grandes ventajas en su utilización, algunas de las más importantes son: su enorme ancho de banda y por lo tanto la posibilidad de operar a velocidades de transmisión de la información muy altas; la baja atenuación que permite gran separación entre repetidores; la posibilidad de emplear amplificadores de luz tales como los EDFA (Erbium Doped Fiber Amplifiers) y los amplificadores de Raman ó técnicas especiales como los solitones; la ausencia de diafonía; su pequeño diámetro (que permite instalar cables de muchas fibras); la posibilidad de utilizar más de una longitud de onda (wavelength multiplexing: WDM y DWDM); su bajo costo aún en la tipo monomodo (que hoy en día, debido a los grandes volúmenes, es más barata que la multimodo); y el advenimiento de los sistemas llamados coherentes. Entre las desventajas puede citarse lo delicado en instalación y costoso de los conectores en fibra monomodo.

Los sistemas de comunicaciones que emplean fibra óptica proliferan, en redes locales, en backbones (o troncales), en CATV, en FTTH (Fiber To The Home), cables submarinos, control, etc., además de usos médicos, militares, industriales, automotrices, de aviónica, etc.

La superautopista de la información está constituida en cuanto al medio físico, principalmente por fibra óptica.

Esta es una tecnología que progresa rápidamente, en este momento (1999), podemos citar algunos resultados importantes debidos principalmente a DWDM(Dense Wavelength Division Multiplexing):

- Enlace de 150Km, (con repetidores cada 50Km), con 17 canales @ 20Gbps (total 340 Gbps)
- Enlace de 1420 Km, con EDFA cada 96 a 123 Km, 16 fibras a 2.5Gbps c/u, lo que da un factor de calidad de 56.8 Tbps.Km.
- NEC logró 32 canales de 2.5 Gbps cada uno en una sola fibra, ocupando entre 1530 y 1565 nm según los estandares del ITU-R, esto implica 80 Gbps que cubren 400 Km utilizando repetidores cada 80 Km.
- Pirelli anuncia 128 canales en una simple fibra con H-DWDM(High-DWDM) que con 10 Gbps por canal(componentes DWDM con separaciones de 200 GHz)da 1.28 Tbps, con hasta 6.000 Km y transmisión OC-3 a OC-48,OC-48 y OC-192.

Medios no guiados, radiocomunicación.[6]

El uso de las radiofrecuencias para la transmisión de información es la materialización, hecha por Marconi y muchos otros, de los conceptos e ideas elaboradas por Faraday, Maxwell, Hertz, etc.

Una onda electromagnética no guiada difiere de las consideradas hasta ahora (guiadas) en que existe un elemento irradiante (antena), que es el transductor entre la línea (onda guiada) y el espacio libre (onda no guiada), cuyo comportamiento depende de su geometría, dimensiones, y frecuencia de operación.

Por otra parte el “espacio libre” como tal no existe, una antena irradia en la presencia de la **atmósfera**, del **suelo** y de otros obstáculos, lo que da lugar a la rama de la ingeniería eléctrica llamada “**radiopropagación**”.

Estos los dos elementos citados (atmósfera y suelo) modifican los niveles de señal de espacio libre a través de varios mecanismos. La **Figura 2.8** muestra las diversas zonas de la **atmósfera**, y en esa zona, con la presencia del **suelo**, pueden presentarse 6 modos de propagación:

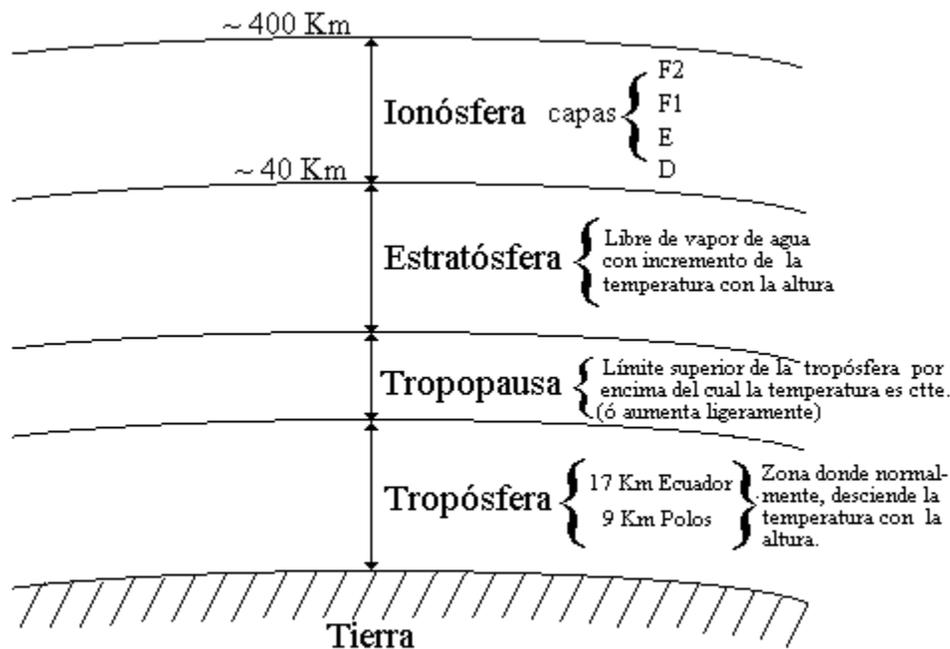


Fig. 2.8. Zonas de la atmósfera

- 1.- Espacio Libre. (ideal).
- 2.- Propagación a lo largo de un haz curvado por refracción en la tropósfera.
- 3.- Propagación más allá del horizonte por difracción de la tierra.
- 4.- Propagación más allá del horizonte por reflexión ionosférica.
- 5.- Propagación más allá del horizonte por irregularidades en la tropósfera.
- 6.- Propagación más allá del horizonte por repetidores(en tierra ó satélite).

Cada factor modificante tiene importancia a distintas frecuencias, así hablamos de propagación de:

- Ondas Hectométricas y Kilométricas.
- Ondas Decamétricas.
- Ondas Métricas.
- Ondas Decimétricas y Centimétricas.
- Ondas Milimétricas.

Ello porque la longitud de onda es un factor determinante en la propagación y cada rango debe estudiarse especialmente.

La existencia de un extremo transmisor y otro receptor vinculados por una onda no guiada, da lugar a un “**radioenlace**”. La frecuencia permite la clasificación de los mismos, así hablamos de :

* Sistemas de onda corta: son aquellos que operan a frecuencias superiores de 6 Mhz pero inferiores a 30 Mhz .A estas frecuencias las ondas electromagnéticas son reflejadas por la “ionósfera”, que es el nombre genérico de varias zonas ionizadas ubicadas entre los 40 y 400 Km. La ionización es consecuencia de la actividad solar y está directamente ligada a ésta. Debido a las diversas situaciones que las ondas de estas frecuencias encuentran en su camino, aún cuando es posible cubrir grandes distancias (lo que permitió iniciar las comunicaciones intercontinentales), la predicción de los parámetros de recepción en estos sistemas es muy compleja. Esto unido a la vulnerabilidad de estos tipos de ondas a interferencia, distorsión y desvanecimiento, así como el poco ancho de banda disponible, no las hacen indicadas para las comunicaciones digitales, salvo para usos muy especiales.

* Sistemas de VHF y UHF: para estos sistemas, cuyas frecuencias van entre 30 Mhz y 1 Ghz, la ionósfera es aproximadamente transparente, y la propagación en presencia de la tierra es fundamentalmente rectilínea. Su mayor frecuencia de operación da lugar a mayores ancho de banda utilizables y por ello a mayores velocidades de datos. Técnicas como “spread spectrum” (espectro esparcido) permiten cubrir distancias no muy largas con pequeñas potencias y buenas velocidades. En este rango de frecuencias se han desarrollado los sistemas de paquetes por radio o “packet radio” y también las **redes inalámbricas**.

* Sistemas de microondas : utilizan ondas electromagnéticas de frecuencias superiores a 1 Ghz, generalmente entre 1 y 30 Ghz. Al utilizar frecuencia elevada el ancho de banda disponible es grande y pueden enviarse muchos canales de comunicación analógica ó utilizarse velocidades de transmisión de datos altas en los sistemas digitales. En las microondas la propagación rectilínea es un efecto aún más acentuado ya que la longitud de onda muy pequeña hace que las antenas deban tener “visibilidad” directa (debe asegurarse la “línea de vista”). Cualquier objeto situado en el camino de propagación es un obstáculo infranqueable, aún la lluvia y la nieve producen atenuación importante a partir de 10 GHz. Para salvar grandes distancias se utilizan estaciones repetidoras ubicadas aproximadamente cada 50 Km.

La eficacia de estos sistemas y la exactitud de su diseño dan a estos sistemas gran fiabilidad y seguridad y por ello se utilizan profusamente. En la actualidad **sólo** se instalan radioenlaces de microondas digitales.

* Sistemas satelitales: los radioenlaces de microondas no permiten establecer comunicaciones intercontinentales, por ello aún antes de que se dispusiese de la tecnología espacial se había propuesto la utilización de satélites como estaciones repetidoras. El lanzamiento del Sputnik I en 1957, del Score en 1960 y del Early Bird en 1965 abrieron el camino de las comunicaciones satelitales.

Existen dos tipos de satélites de comunicaciones:

Geoestacionarios: aquellos sincrónicos con la tierra, que giran a la misma velocidad que esta por lo que desde ella se observan fijos. Su altura es de 36.000Km, como consecuencia la señal entre dos estaciones terrestres recorre como mínimo 72.000 Km, esto genera un retardo de la misma de alrededor de 250 mseg, lo que puede resultar un serio inconveniente en ciertas aplicaciones.

Estos satélites son utilizados ampliamente en bandas C (4-6 GHz) y Ku (12GHz) (ambas de microondas) para: TVRO (Television Receive Only, las "parabólicas"), DBS (Direct Broadcast System), Direct TV, Comunicaciones internacionales via Intelsat, VSAT, etc.

De baja altura: el congestionamiento del llamado "cinturon de Clarke", sobre el Ecuador (franja donde se ubican los geostacionarios), los 250 mseg de retardo y el desarrollo de sistemas de seguimiento más sofisticados y económicos, han impulsado el desarrollo de sistemas satelitales de baja altura (LEOs), estos son los satélites con los que se pretende configurar un sistema de PCS (Personal Communication System) universal. Iridium con 66 satélites ya en órbita y otras empresas (GlobalStar, ICO, etc) pronto comenzarán a prestar servicio.

También existen otros satélites de usos especiales, entre los que destaca el GPS (Global Positioning System) que permite mediante métodos telemétricos que cualquier usuario conozca su posición geográfica con extrema exactitud.

Mejores baterías solares y sistemas de compresión de video y de voz han permitido diseñar satélites con 48 transponders de 36 Mhz cada uno capaces de transportar 120.000 canales telefónicos ó 384 canales de video.

2.3.-Canal de Comunicaciones Eléctricas. Medios de Transmisión. Características eléctricas.

2.3.1.-Medida de la información.

Es oportuno precisar ahora que un **canal de comunicación** es el conjunto de elementos que hacen posible el envío de información de un terminal a otro (incluyendo los terminales) y es por propia naturaleza **unidireccional**. Cuando varios canales se utilizan para unir dos extremos se habla de **circuito de comunicación** y como ya sabemos hay circuitos **simplex, half duplex y duplex**.

Decir canal de comunicación eléctrico ó electromagnético implica escoger de entre todos los sistemas de comunicaciones posibles un grupo importante que hace uso de señales eléctricas, éstas como ya se dijo en la Sección 1.2, pueden ser **analógicas** ó **digitales** y algunas formas posibles de ellas se mostraron en la **Figura 1.2**.

La **Teoría de la Información**[7],[8],[9],[10],[11],[12] nos dice que la **información**, ó con más precisión la **cantidad de información** esta relacionada con la **predictibilidad** del evento, lo que quiere decir con la **probabilidad** de su ocurrencia. Cuando hablamos de que vamos a transmitir un **símbolo** escogido de entre un grupo previamente definido ó **alfabeto**, estamos hablando de **información digital**.

El alfabeto más sencillo es aquel que contiene solo dos símbolos, elementos ó eventos: A y B, por ello es llamado **binario**.

Es posible demostrar[11] que, en general para cualquier alfabeto, el **contenido de información** asociado a uno de sus elementos, por ejemplo, el elemento A, que se designa como I_A , dada una probabilidad de ocurrencia P_A , es:

$$I_A = \log_b(1/P_A) \qquad 2.1$$

La base del logaritmo es arbitraria, y su elección determina la **unidad de medida** de la información. Hartley en 1928 usó base 10 lo que da lugar a una unidad llamada **Hartley** ó **dit**.

Si escogemos logaritmo base 2, la **unidad de información** se denomina **bit**, entonces:

$$I_A = \log_2 (1/P_A) \text{ (bit)} \quad 2.2$$

En el alfabeto binario, si $P_A = P_B = 1/2$, lo que significa que los eventos son **equiprobables** :

$$I_A = I_B = 1 \text{ bit}$$

Existen muchas razones para usar preferiblemente el logaritmo en base 2 para medir la información. El experimento más simple que se pueda imaginar en este tema consiste en uno con dos resultados igualmente probables, como es el arrojar una moneda no defectuosa. Al decir "cara" ó "sello" comunicamos certeramente el resultado de la prueba y es natural pensar que hemos recibido una "pieza", "cuanto", "grajea" ó "pastilla" de información completa. Si usamos 2 como base de logaritmo podemos decir que recibimos **un bit de información**, lo que refuerza nuestro natural sentir. Por otra parte los computadores digitales son binarios y solo pueden manejar información por medio de 0 y 1 lógicos.

Si usamos pulsos eléctricos para describir los resultados precedentes:

- Cara ó 1 = presencia de pulso (1, High, pulso).
- Sello ó 0 = ausencia de pulso (0, Low, no pulso).

Cada pulso contiene lógicamente 1 bit de información y eso nos parece coherente con la naturaleza del fenómeno.

2.3.2.-Velocidad de señalización y velocidad de transmisión de la información.

Las señales eléctricas más simples utilizadas para llevar información digital binaria están compuesta por señales elementales en el tiempo, por ejemplo: pulsos, señales sinusoidales de dos frecuencias diferentes (FSK) ó de fase diferente (PSK), etc., correspondientes a cada símbolo. Los parámetros característicos de la señal (amplitud, frecuencia, fase) utilizados para representar cada símbolo permanecen constantes durante el tiempo **TM** de **duración de señalización** (quiere decir el tiempo que la señal permanece en un estado de los posibles de amplitud, frecuencia, fase, etc.).

La **velocidad de señalización** ó **número de señales elementales por unidad de tiempo**, V_s es:

$$V_s = 1/TM \quad 2.3$$

Esta velocidad se mide en 1/s, en realidad número de señales elementales/s, que para ser más específicos se denomina **baudio** ó más bien **baudios**.

Debe observarse que este sistema de señalización eléctrico puede hacerse más eficiente, en cuanto a la transmisión de información, utilizando más de dos niveles, lo que se denomina **señalización multinivel**. La **Figura 2.9** muestra un sistema de señalización en base a pulsos de ocho niveles de amplitud .

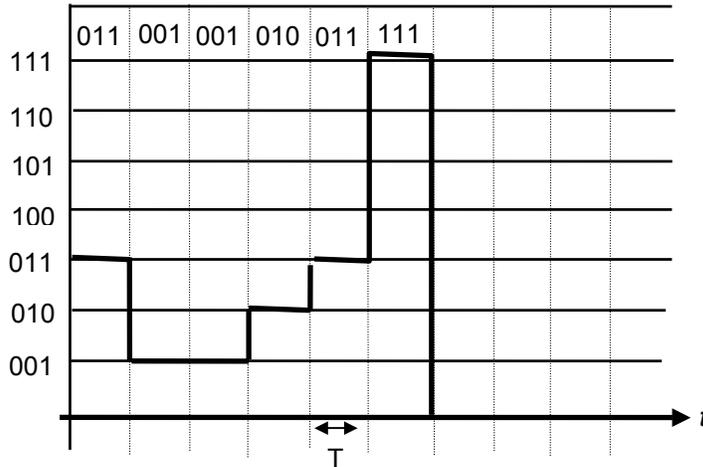


Fig. 2.9 Sistema de señalización de ocho niveles

Resulta sencillo, aún sin ver la figura, determinar que si hay ocho posibilidades cada una de ellas puede llevar una de las combinaciones de 0 y 1 tomadas de tres en tres, o sea, cada nivel identifica ó describe **tres bits** de información, lo quiere decir que en el mismo intervalo de señalización T_M en lugar de un solo bit estamos enviando tres bits.

De forma general, dado un intervalo de tiempo T_M y una señal con N niveles de amplitud pueden enviarse M bits de información, donde M viene dado por:

$$M = \log_2 N \quad (\text{bits}) \qquad 2.4$$

La **velocidad de transmisión de la información V_i** será el número de bits que se transmiten por segundo, se mide en **bps** y se obtiene multiplicando el número de cambios de estado de la señal en un segundo por el número de bits que cada nivel identifica, transporta ó describe.

$$V_i = V_s M = (1/T_M) \log_2 N \quad (\text{bps}) \qquad 2.5$$

De esta expresión se concluye que V_i (en bps) y V_s (en baudios) son iguales **sí y solo sí** $N=2$, o sea si el sistema es dos niveles, esta conclusión es importante pues con frecuencia ambas velocidades se dan por iguales sin que ello sea correcto.

2.3.3.-Atenuación y distorsión.

El “**canal de comunicaciones eléctricas ideal**” es uno en el que la señal **no es “atenuada”** y en el que **la variación de fase es lineal con la frecuencia**, tal como lo muestra la **Figura 2.10**.

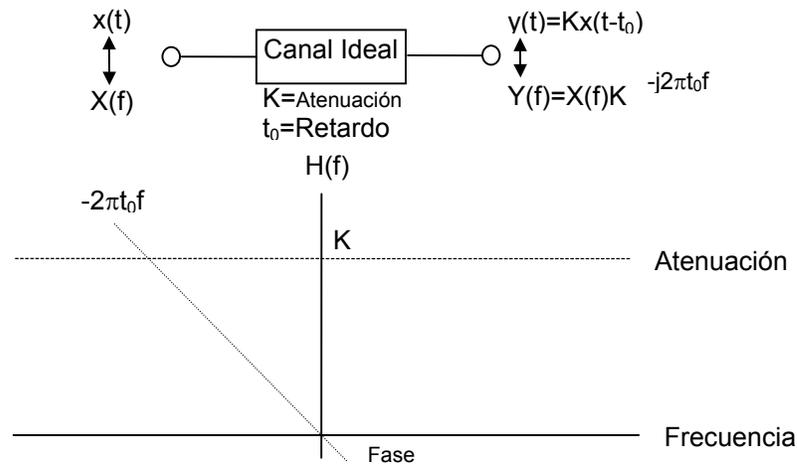


Figura 2.10 Canal Ideal

Sin embargo el “canal ideal” no existe y el real sufre de **atenuación** y **distorsión**, tal como muestra la **Figura 2.11**

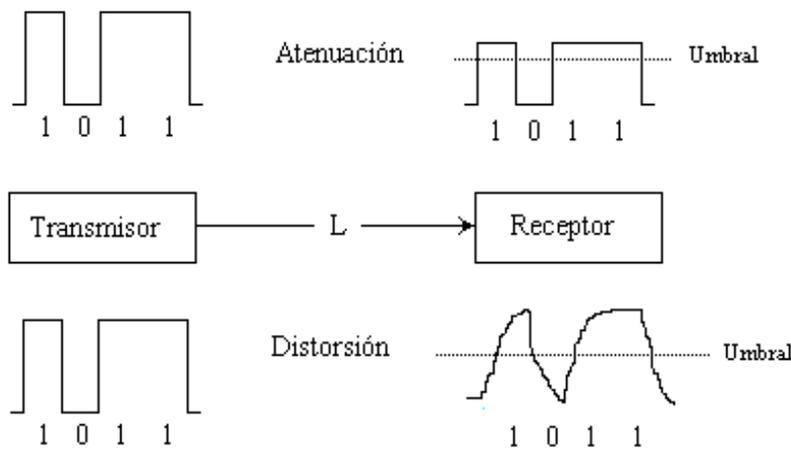


Fig. 2.11 Efectos del Canal real

2.3.3.-Ancho de banda.

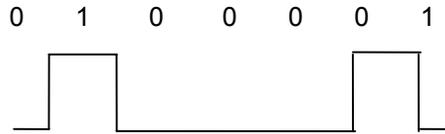
De las consideraciones anteriores se deduce que la velocidad de transmisión de la información puede aumentarse tanto como se quiera con solo disminuir el tiempo de señalización TM. Esto es cierto, pero como significa un aumento de la frecuencia de las señales eléctricas que estamos transmitiendo, deben tenerse en cuenta las limitaciones que impone el medio físico.

Por ejemplo un canal telefónico normal ocupa un ancho de banda entre 300 y 3400 Hz y la red telefónica ha sido diseñada para ese ancho de banda. Normalmente se dice que es un filtro pasabajos de 4 KHz. Si se pretendiese usar para anchos de banda mayores la información que contienen esas señales llegaría degradada ó eventualmente destruida al extremo receptor.

Decimos entonces que el medio físico y los equipos limitan el ancho de banda a usar, el efecto de limitación de ancho de banda se muestra en la **Figura 2.12**.

Impulsos antes de la transmisión.

Proporción de bits: 2000 por segundo



Impulsos después de la transmisión.

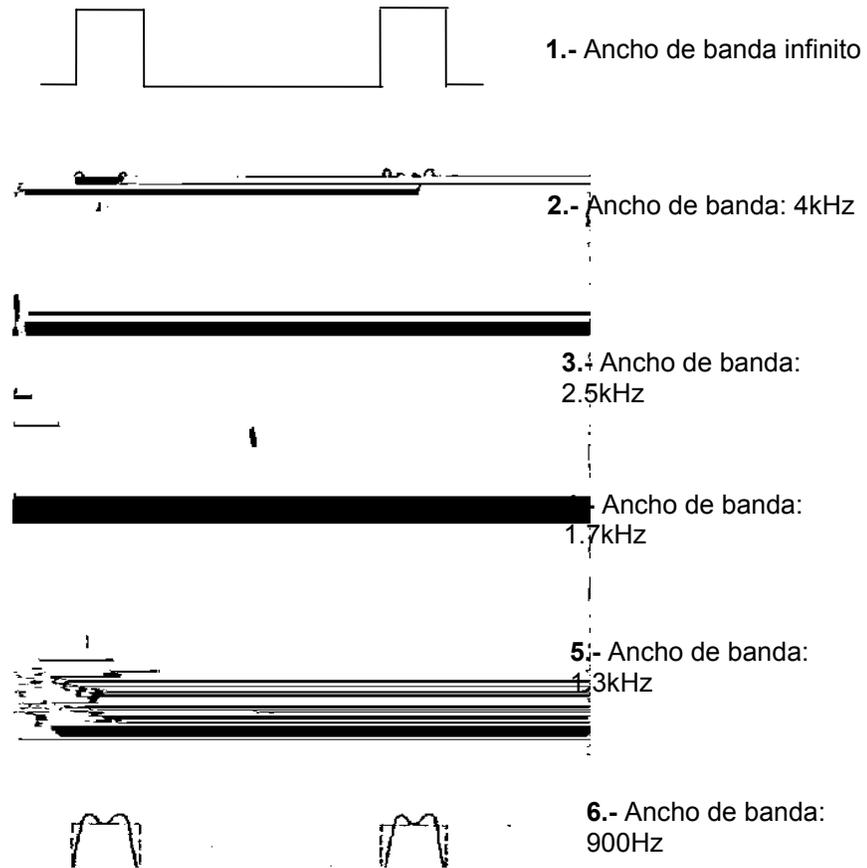


Figura 2.12 Limitación del ancho de banda

2.3.4.-Retardo de Transmisión.

Este retardo de transmisión es el tiempo que transcurre entre la entrada de un dato al canal y la salida del mismo en el extremo receptor.

Este tiempo esta compuesto de:

- El retardo de propagación en el medio físico, debido a la velocidad finita de la onda electromagnética, que además a veces depende de la frecuencia de operación (dispersión).
- Tiempo de procesamiento en los nodos, que depende del tipo y número de puntos intermedios (nodos de conmutación).

2.3.5.-Ruido, interferencia y diafonía[12].

Tres tipos de perturbaciones adicionales son inherentes a la transmisión de información, ellos son:

- **Ruido:** es cualquier señal indeseada y variable al azar que disminuye el contenido de información. Hay muchas fuentes de ruido:
 - * el hombre con sus motores, lámparas fluorescentes, equipos eléctricos y electromecánicos diversos, etc.
 - * El sol, estrellas, polvo intergaláctico, etc.
 - * Las resistencias de todo tipo consideradas en la electrónica, debido a que su temperatura es superior a 0 ° K (ruido térmico de Johnson ó de Nyquist).
- **Interferencia:** término empleado generalmente en radiocomunicación, se refiere a señales de la misma frecuencia o muy cercanas que perturban la nuestra.
- **Diafonía:** describe la perturbación electromagnética que otros cables cercanos ú otros canales próximos ejercen sobre el nuestro.

Disminuir los efectos de estos tres elementos perturbadores es de primordial importancia, los filtros, el uso de blindajes, la selección correcta de trayectos y otras técnicas se usan a este fin.

2.3.6.-Capacidad máxima de un canal de comunicación digital.

En la **Figura 1.1** se describió un Sistema de Comunicaciones. En la **Figura 2.13** se muestra un **Sistema de Comunicaciones Digitales** y se precisa la nomenclatura, tendremos:

- **Transmisor:** compuesto de: **Codificador de Fuente, Codificador de Canal y Modulador.**
- **Receptor:** compuesto de: **Demodulador, Decodificador de Canal y Decodificador de Fuente.**
- **Canal físico ó Medio de Transmisión ó Canal de Comunicación Eléctrica..**

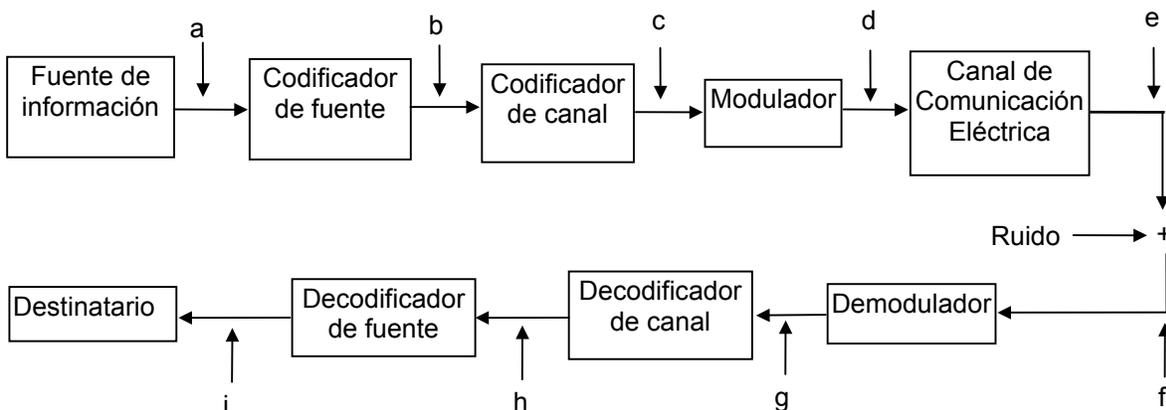


Figura 2.13 Sistema de Comunicaciones Digitales

La **Fuente de Información** produce mensajes compuestos de los símbolos del alfabeto del sistema si la fuente es digital, ó los valores cuantificados si se trata de una señal analógica muestreada y cuantificada.

El **Codificador de Fuente** convierte esos símbolos en una secuencia binaria de ceros (0) y unos (1), asignándole a cada símbolo del alfabeto una “palabra codificada” (bloques de longitud fija ó variable de 0s y 1s de los que hablaremos más adelante).

El **Codificador de Canal** tiene por función agregar bits extra con el fin de controlar errores. Esto se hace según dos técnicas: ARQ (Automatic Repeat Request) y FEC (Forward Error Correction). Sobre ello nos extenderemos en el Capítulo 3.

El **Modulador** acepta una secuencia de 0s y 1s y la convierte en una onda electromagnética adecuada para ser transmitida por el Canal de Comunicación Eléctrica.

El **Canal de Comunicación Eléctrica** como ya se dijo tiene una respuesta en amplitud y frecuencia que distorsiona la señal; sufre de ruido aditivo y multiplicativo, interferencia y diafonía y, en el caso de las radiocomunicaciones, de “desvanecimiento” producido por variaciones aleatorias en las características del medio donde se propaga la onda electromagnética. Todo ello contribuye a **errores** en la transmisión de los datos.

El extremo **Receptor** se efectúan los procesos inversos: el **Demodulador** extrae de la señal electromagnética la secuencia de 0s y 1s, el **Decodificador de Canal** detecta y a veces corrige los errores y el **Decodificador de Fuente** produce los símbolos (ó los valores cuantificados) a partir de la secuencia binaria.

El término **Canal de Comunicación** como ya se dijo incluye los equipos de los extremos y el canal de comunicación eléctrico, sin embargo debe subdividirse y según los puntos terminales y funcionalidad tendremos:

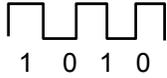
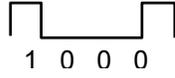
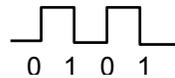
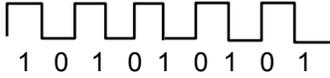
- **Canal de Modulación** (analógico), **Canal de Comunicación eléctrica**, ó también **Canal Continuo**. Su entrada y salida son formas de onda analógicas. Está comprendido entre los puntos d y f de la **Figura 2.13**. Esta parte del canal está sujeta a los mecanismos degradadores mencionados que introducen errores en la transmisión de los datos y limitan la tasa máxima a que ellos pueden ser transmitidos.
- **Canal de Codificación** (discreto) ó **Canal Discreto**. Está entre los puntos c y g de la **Figura 2.13** acepta una secuencia de 0s y 1s a la entrada y produce una secuencia de 0s y 1s a la salida. El canal está caracterizado completamente por un juego de probabilidades de transición p_{ij} , donde p_{ij} es la probabilidad de que la salida del canal sea el símbolo j cuando la entrada al mismo es el símbolo i.
- **Canal de Datos**, está comprendido entre los puntos b y h.

La **capacidad máxima de un canal discreto**[10], [11], [12] es un tema interesante que escapa al objetivo de esta Sección. Mencionaremos solamente que Shannon demostró que un canal discreto tiene una capacidad C en bps que depende del canal de que se trate (las p_{ij}), y que existe un esquema de codificación tal que si la fuente transmite a una velocidad menor que C podemos hacerlo con una probabilidad de error arbitrariamente pequeña. Shannon no dice cual es el esquema de codificación, por lo que gran parte de los esfuerzos en este campo se dedica a encontrar esquemas de codificación que se acerquen a lo prometido por el teorema.

La **capacidad de un canal continuo** viene dada por el Teorema de Shannon-Hartley, cuya demostración es muy complicada por lo que daremos un camino intuitivo.

2.3.7.-El canal continuo no ruidoso. Ley de Hartley.

Supongamos un código para enviar letras y números que usa 5 bits para cada uno (en la Sección siguiente se verá que es el Código CCITT # 2) así por ejemplo tendremos:

letra y	10101	en pulsos sería:	
letra z	10001	en pulsos sería:	
letra r	01010	en pulsos sería:	
letras y + r	1010101010	en pulsos sería:	

en este último caso tendríamos el número máximo de pulsos enviados, si la velocidad de señalización es V_s (baudios, 1/s), la fundamental de esos pulsos es de frecuencia $V_s/2$ (Hz), para poder recuperar la información el canal debe tener un ancho de banda igual ó superior.

Este ejemplo de código binario es un caso especial de la Ley de Hartley (1929), que también fue estudiado por Nyquist en 1928[8,pag.165],quién consideró el problema de la transmisión digital en un modelo de canal tipo filtro pasabajos y encontró que el coeficiente de proporcionalidad entre el ancho de banda B del canal(en Hz) y la velocidad máxima de señalización V_s (en baudios), para garantizar la independencia entre señales (que en el caso binario equivale a cero interferencia intersimbólica), luego de la transmisión es¹:

$$V_{s \max} = 2 B \tag{2.6}$$

Por lo que teniendo en cuenta la expresión 2.5 resulta que V_i máximo, que denominamos C , **capacidad máxima del canal no ruidoso**(en bps),es:

$$C = 2 B \log_2 N \tag{2.7}$$

expresión llamada **Ley de Hartley** y que nos dice que a un ancho de banda dado el modo de aumentar C es aumentando el número de niveles.

Obsérvese que no se especifica si el canal es discreto ó continuo, pues la expresión, por no haber ruido, es válida para ambos.

2.3.8.-El canal continuo ruidoso. Teorema de Shannon.

El resultado anterior es de interés teórico, pues existirá ruido y aumentar el número de niveles implica más potencia para mantener una relación señal a ruido que asegure una tasa de errores (BER, Bit Error Rate) aceptable.

Para ver el efecto del ruido supongamos tener un canal continuo en el que se envía información según un código binario y se observa experimentalmente que con una relación señal a ruido $S/N = 30$ dB, tenemos recepción sin errores y será(por ejemplo) :

niveles de voltaje de señal	0, 1
niveles de potencia	0, 1

¹ Esto es en el mejor de los casos, el problema tiene que ver con las características de los filtros ecualizadores, y hay tres métodos de Nyquist para minimizar ISI(Interferencia intersimbólica)[8].

Si ahora pasamos a un código cuaternario (de cuatro niveles ó símbolos), tendremos:

niveles de voltaje de señal	0, 1/3, 2/3, 1
niveles de potencia	0, 1/9, 4/9, 1

para mantener la misma relación S/N en el caso más crítico, que corresponde al segundo nivel (1/3 volts ó 1/9 watts) debemos aumentar la potencia nueve veces !!!.

Vamos a ver cuantos niveles podrán usarse para describir cada símbolo en presencia de ruido. Una elección aceptable es aquella en la que los niveles de voltaje están separados al menos por la desviación estándar del ruido. Para ruido de media cero con potencia N, da espaciamiento $N^{1/2}$.

Usando el valor rms del valor observado más ruido, para la gama de posibles señales, el número máximo de niveles discernibles es N_{max} :

$$N_{max} = (1 + S/N)^{1/2} \quad 2.8$$

Por lo que la 2.7 pasa a ser:

$$C = B \log_2 (1 + S/N) \quad 2.9$$

La demostración rigurosa está en la referencia [13] y es otro Teorema de Shannon que dice:

La máxima capacidad de un canal de ancho de banda B, con una relación señal a ruido S/N a la salida del canal (ruido blanco gaussiano) viene dada por la expresión 2.9, con probabilidad de error tendiendo a cero siempre que encontremos la forma óptima de representar ó codificar la información.

La expresión de Shannon es un límite teórico absoluto que solo puede ser aproximado por los sistemas reales. Se ha determinado en la práctica que la velocidad de transmisión de información en un canal caracterizado por C es menor que C a medida que es menor la probabilidad de errores (BER) tolerable.

2.4.-Códigos de representación de la información.

Un código se define como la ley que establece una correspondencia biunívoca entre los datos que se van a representar y su configuración binaria asociada.

A cada dato elemental le corresponde entonces una y solo una configuración binaria, la codificación es la operación de aplicar un código a una serie de datos.

Como la codificación es binaria (salvo que se diga expresamente lo contrario y aún cuando la señal eléctrica asociada puede ser multinivel, tal como se ha explicado) el número de caracteres que se pueden representar depende de la longitud del código. Así un código de dos bits puede representar cuatro caracteres ó situaciones (00, 01, 10 y 11), la ley es: *número de caracteres* = 2^n , donde n es la longitud del código.

El conjunto de caracteres que se pueden representar con un código se llama alfabeto. Los datos que se transmiten entre terminales normalmente incluyen:

- Las letras (generalmente latinas) (a,, z).
- Los diez dígitos del sistema de numeración decimal (0,, 9).

- Los signos de puntuación (, ; ¿; &; %; \$; etc.).
- Los caracteres de control.

Hay dos características importantes que debe tener un código, ellas son:

- Eficacia: el código ha de tener el menor número posible de caracteres inútiles.
- Simplicidad: representando cómodamente las letras tanto mayúsculas como minúsculas, así como las cifras en operaciones aritméticas.

2.4.1.-El código Morse.

El primer código de comunicación de datos de aceptación generalizada fue el código Morse, de gran auge en su momento ya que lo utilizaba el telégrafo.

El código Morse usaba tres símbolos de longitud desigual: punto, raya y espacio para codificar caracteres alfa/numéricos, de control y signos de puntuación, tal como lo muestra la **Tabla 2.2** que da el código Morse Internacional, ligera modificación del Morse original.

Código Morse Internacional

A	• —	X	— • • —
B	— • • •	Y	— • — —
C	— • — •	Z	— — • •
D	— • •	1	• — — — —
E	•	2	• • — — —
F	• • — •	3	• • • — —
G	— — •	4	• • • • —
H	• • • •	5	• • • • •
I	• •	6	— • • • •
J	• — — —	7	— — • • •
K	— • —	8	— — — • •
L	• — • •	9	— — — — •
M	— —	0	— — — — —
N	— •	Punto	• — • — • —
O	— — —	Coma	— — • • — —
P	• — — •	Signo de interrogación	• • — — • •
Q	— — • —	Punto y coma	— • — •
R	• — •	Paréntesis	— • — — • —
S	• • •	Wait (AS)	• — • • •
T	—	Break (BT)	— • • • —
U	• • —	Error	• • • • • •
V	• • • —	End Message (AR)	• — • — •
W	• — —	Finished (SK)	• • • — • —

Tabla 2.2 Código Morse

Este código es de longitud variable y fue diseñado así por Morse para hacerlo más eficiente ya que las letras más comunes (en el idioma inglés) son las más cortas, además, ninguna letra tiene más de cuatro puntos ó rayas, mientras que los números y signos tienen al menos cinco.

Por otra parte se trata en realidad de un código con solo dos elementos: el punto y el espacio ya que la raya son tres puntos seguidos (sin espacio entre ellos), por lo que precisando diremos que es un código binario y tenemos:

base de temporización	punto ó espacio
dos elementos	punto y espacio
raya	tres puntos sin espacio
separación entre caracteres	tres espacios
separación entre palabras	cinco espacios

La **Tabla 2.3** da la versión binaria del Código Morse, obsérvese que todos los caracteres comienzan y finalizan con 1 y que no hay más de un cero consecutivo para identificar fácilmente el inicio y fin del carácter.

Representación binaria del Código Morse

A	•—	10111
B	—•••	111010101
C	—•—•	11101011101
D	—••	1110101
E	•	1
F	••—•	101011101
G	— — •	111011101
H	••••	1010101
I	••	101
J	• — — —	1011101110111
K	— • —	111010111
L	• — ••	101110101
M	— —	1110111
N	— •	11101
O	— — —	11101110111
P	• — — •	10111011101
Q	— — • —	1110111010111
R	• — •	1011101
S	•••	10101
T	—	111
U	••—	1010111
V	•••—	101010111
W	• — —	101110111
X	— •• —	11101010111
Y	— • — —	1110101110111
Z	— — ••	11101110101

Tabla 2.3 Representación Binaria del Código Morse

2.4.2.-El código Baudot.

El código Morse por ser de longitud variable no se adaptaba al telex, o sea, a la telegrafía mecánica. Por ello Tomás Murray, un Ingeniero francés, desarrolló en 1875 un código de longitud fija que luego tomo el nombre de código Baudot, por Emile Baudot, quien fue un pionero de la impresión telegráfica. Éste código llamado comunmente código CCITT número 2 es un código de 5

bits, de los cuales dos caracteres son especiales y se conocen como “inversión de letras” e “inversión de números”, con lo que se desdobra el código dando lugar a 60 posibilidades. La **Tabla 2.4** muestra este código.

Juego de caracteres		Formato de bits	Juego de caracteres		Formato de bits
Letras	Cifras	5 4 3 2 1	Letras	Cifras	5 4 3 2 1
A	-	0 0 0 1 1	Q	1	1 0 1 1 1
B	?	1 1 0 0 1	R	4	0 1 0 1 0
C	:	0 1 1 1 0	S	'	0 0 1 0 1
D	\$	0 1 0 0 1	T	5	1 0 0 0 0
E	3	0 0 0 0 1	U	7	0 0 1 1 1
F	!	0 1 1 0 1	V	;	1 1 1 1 0
G	&	1 1 0 1 0	W	2	1 0 0 1 1
H	#	1 0 1 0 0	X	/	1 1 1 0 1
I	8	0 0 1 1 0	Y	6	1 0 1 0 1
J	Timbre	0 1 0 1 1	Z	"	1 0 0 0 1
K	(	0 1 1 1 1	Paso a letras	↓	1 1 1 1 1
L	)	1 0 0 1 0	Paso a cifras	↑	1 1 0 1 1
M	.	1 1 1 0 0	Espacio (SP)	=	0 0 1 0 0
N	,	0 1 1 0 0	Retrn. de carro	<	0 1 0 0 0
O	9	1 1 0 0 0	Avnc. de línea	■	0 0 0 1 0
P	0	1 0 1 1 0	Vacío		0 0 0 0 0

1 = Perforación
0 = Espacio = Sin perforación

Tabla 2.4 Código Baudot

Como el sistema se queda en un nivel de señal eléctrica alto cuando está inactivo, este código tiene un bit 0 de arranque para indicar el comienzo del carácter, y un bit 1 de una duración (generalmente) 1.42 de la temporización para indicar el fin del carácter, lo que significa que de 7.42 unidades de tiempo 2.42 son de señalización, por lo que la eficiencia es 67%.

2.4.3.-Código EBCDIC

El código EBCDIC (Extended Binary Coded Decimal Interchange Code) es un código de 8 bits, que por lo tanto da lugar a 256 caracteres posibles y es muy usado por IBM. La **Tabla 2.5** nos da este código.

2.4.4.-Código ASCII.

En 1963 Estados Unidos adoptó un código de la Bell que llamaron ASCII (American Standard Code for Information Interchange). Como luego vinieron otras versiones, aquella primera se conoce como USASCII ó ASCII-63. En 1977 una versión fue recomendada por el CCITT y es conocida como Alfabeto Internacional número 5. Es un conjunto de caracteres de 7 bits, lo que da lugar a 128 combinaciones. El bit menos significativo (LSB) se conoce como b_0 y es el que primero se transmite en una transmisión serial, y está indicado como bit 1 en la **Tabla 2.6** que muestra el código ASCII. El más significativo (MSB) es b_6 (indicado como bit 7). El b_7 (bit 8) no es parte de ASCII y generalmente se reserva para paridad, tal como veremos en el próximo capítulo.

Bits	4	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1		
	3	0	0	0	0	1	1	1	1	0	0	0	0	1	1	1	1		
	2	0	0	1	1	0	0	1	1	0	0	1	1	0	0	1	1		
	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1		
8	7	6	5																
0	0	0	0	NUL	SOH	STX	ETX	PF	HT	LC	DEL			SMM	VT	FF	CR	SO	SI
0	0	0	1	DLE	DC ₁	DC ₂	DC ₃	RES	NL	BS	IL	CAN	EM	CC		IFS	IGS	IRS	IUS
0	0	1	0	DS	SO _S	FS		BYP	LF	EO _B	PRE			SM			EN _Q	ACK	BEL
0	0	1	1			SYN		PN	RS	UC	EOT					DC	NAK		SUB
0	1	0	0	SP										c	.	<	(	+	|
0	1	0	1	&										!	\$	*)	:]
0	1	1	0	-	/									,	%	-	>	?	
0	1	1	1											:	#		;	■	”
1	0	0	0		a	b	c	d	e	f	g	h	i						
1	0	0	1		j	k	l	m	n	o	p	q	r						
1	0	1	0			s	t	u	v	w	x	y	z						
1	0	1	1																
1	1	0	0		A	B	C	D	E	F	G	H	I						
1	1	0	1		J	K	L	M	N	O	P	Q	R						
1	1	1	0			S	T	U	V	W	X	Y	Z						
1	1	1	1	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9						□

HT: Tabulación horizontal

UC: Mayúsculas

SP: Espacio

RES: Restaurar

BS: Retroceso

PN: Perforación

BYP: Desvío

EOB: Fin de bloque

PRE: Escape (ESC)

SM: Comienzo de Mensaje

Others: Resto como en ASCII

DEL: Borrado

LC: Caso superior

IL: Estado muerto

EOT: Fin de transmisión

LF: Alimentación de línea

Prefix: Prefijo

RS: Parada lectora

Tabla 2.5 Código EBCDIC

Bits	7	0	0	0	0	1	1	1	1		
	6	0	0	1	1	0	0	1	1		
	5	0	1	0	1	0	1	0	1		
	4	3	2	1	5						
0	0	0	0	NUL	DLE	SP	0	P	\	p	
0	0	0	1	SOH	DC1	!	1	A	Q	a	q
0	0	1	0	STX	DC2	“	2	B	R	b	r
0	0	1	1	ETX	DC3	#	3	C	S	c	s
0	1	0	0	EOT	DC4	\$	4	D	T	d	t
0	1	0	1	ENQ	NAK	%	5	E	U	e	u
0	1	1	0	ACK	SYN	&	6	F	V	f	v
0	1	1	1	BEL	ETB	‘	7	G	W	g	w
1	0	0	0	BS	CAN	(	8	H	X	h	x
1	0	0	1	HT	EM	)	9	I	Y	i	y
1	0	1	0	LF	SUB	*	:	J	Z	j	z
1	0	1	1	VT	ESC	+	;	K	[	k	|
1	1	0	0	FF	FS	’	<	L	\	l	:
1	1	0	1	CR	GS	-	=	M	]	m	|
1	1	1	0	SO	RS	.	>	N		n	~
1	1	1	1	SI	US	/	?	O	—	o	DEL

Tabla 2.6 Código ASCII

En las computadoras se utiliza el Extended ASCII que usa los 8 bits para identificar 256 caracteres, los 128 adicionales respecto del ASCII estándar son símbolos, letras acentuadas, etc. En Internet es común usar 8 bits de datos sin paridad y en ese caso es posible enviar los 256 caracteres mencionados.

2.5.-Modos de Transmisión: Banda Base y Banda Pasante.

Para la transmisión de las señales portadoras de información se utilizan dos técnicas fundamentales: transmisión en banda base (baseband) y transmisión en banda pasante ó pasabanda.

La transmisión en **banda base** consiste en entregar al medio de transmisión la señal de datos directamente. Es obvio que esta técnica solo podrá ser utilizada en pares trenzados y coaxiales, por otra parte esto implicará señales de frecuencia relativamente baja que sólo podrán ser transmitidas a cortas distancias. Una variante de esta técnica es **preparar** la señal mediante una **codificación ó modulación primaria** de manera de mejorar la eficiencia del medio físico, este proceso se llama **modulación** porque modifica algún parámetro de una **portadora**. Un ejemplo son las modulaciones **FSK, PSK, QAM**, etc de los **modems**, otro es un tren de pulsos (portadora) a los que una señal analógica modifica amplitud (PAM), frecuencia (PFM), duración (PDM) o posición del pulso (PPM), otro ejemplo es PCM (Pulse Code Modulation) donde una señal digital, ó una señal analógica muestreada y cuantificada, es codificada. Esta banda base puede llevar una ó varias señales multiplexadas con TDM (Time Division Multiplexing)[14]. Las transmisiones en banda base aumentan cada vez más su ancho de banda y dan lugar a **banda ancha (broadband)**.

La transmisión en **banda pasante** consiste en modular, con la señal de datos, una portadora **sinusoidal** de **alta frecuencia**, modificandole la amplitud, la frecuencia ó la fase, éste es el método utilizado en radiocomunicaciones y en fibra óptica.

2.6.-PCM (Pulse Code Modulation).

El sistema PCM, ó modulación codificada de impulsos (MCI), es un sistema en el que los pulsos son de longitud y amplitud fija. Es un sistema **binario** en el que la presencia o ausencia de pulso, dentro de la ranura de tiempo prescripta, representa la condición lógica 0 ó 1[14].

Daremos un repaso muy sumario de este sistema, más detalles pueden verse en [8],[14] y en otros textos de Comunicaciones.

El PCM se inició en telefonía y en ese caso la señal (analógica por cierto) es **muestreada** con una velocidad de muestreo igual a la establecida por el teorema del muestro de Nyquist[8,pag.89²],para el ancho de banda máximo de esa señal (como es telefonía el ancho de banda se limita a 4 KHz y la velocidad de muestreo es 8.000 muestras por segundo). Luego la señal resultante es **cuantificada** y a continuación **codificada**, tal como se muestra en la **Figura 2.14**.

² Velocidad de muestreo mínima f_s , en muestras por segundo, igual a dos veces el ancho de banda de la señal B, en Hz, o sea f_s mayor ó igual a 2B.

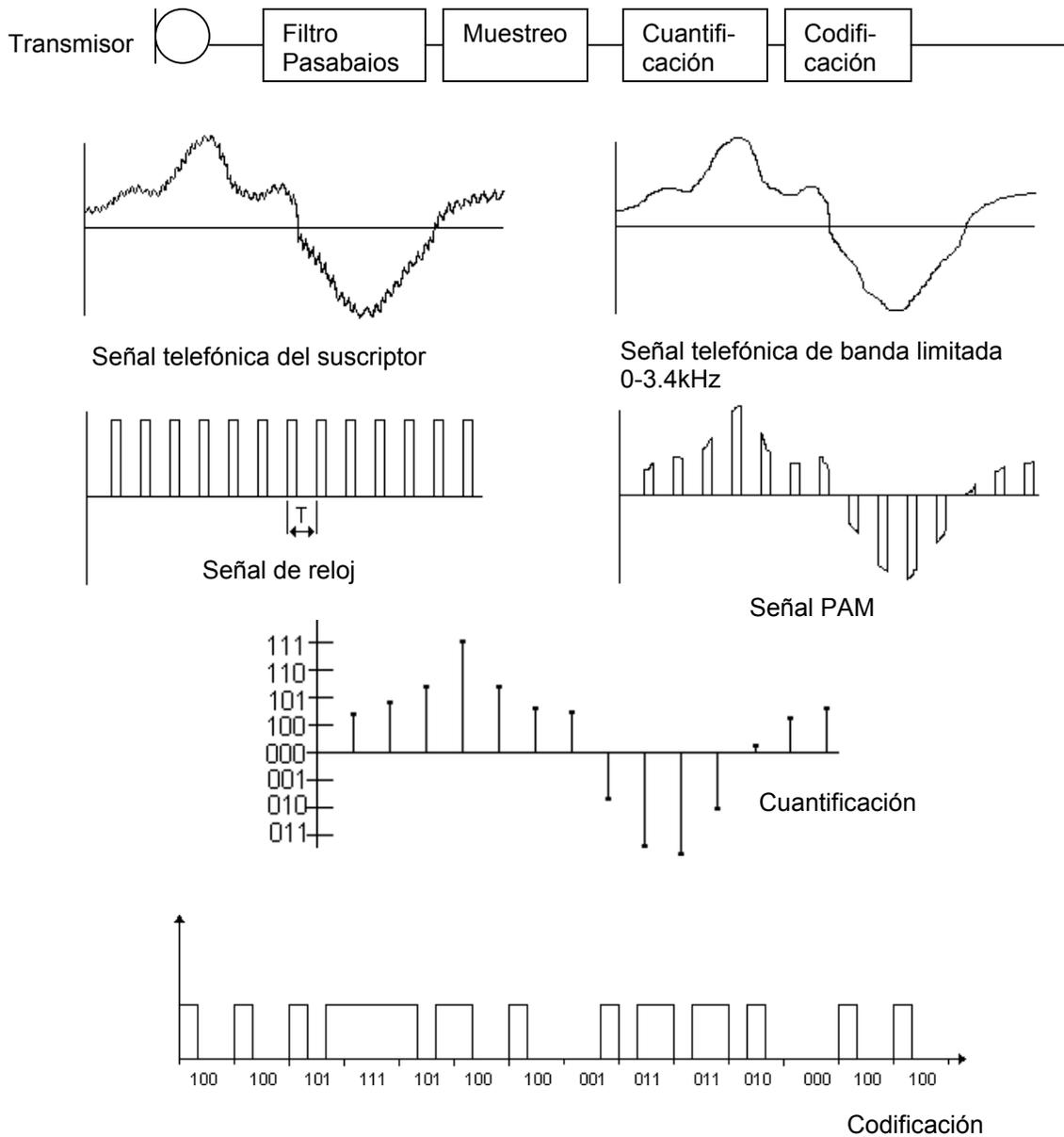


Fig. 2.14 PCM

La señal de PCM mostrada hasta ahora es **unipolar** y tiene dos inconvenientes, uno que da lugar a una DC, ó componente continua, que muchos sistemas no pueden retransmitir, y otro que la potencia es muy elevada (el doble) respecto de un sistema bipolar[14, pag 665], por ello el PCM tal como se vio en la **Figura 2.14** no es introducido así en el medio físico sino que es convertido a un código **bipolar** (como el HDB3 que se muestra entre otros en la **Figura 2.18**) tal como se ve en la parte superior de la **Figura 2.15** con el símbolo II.

La señal de PCM resultante puede ser repetida en un **repetidor regenerativo** tal como se ve en la **Figura 2.15**.

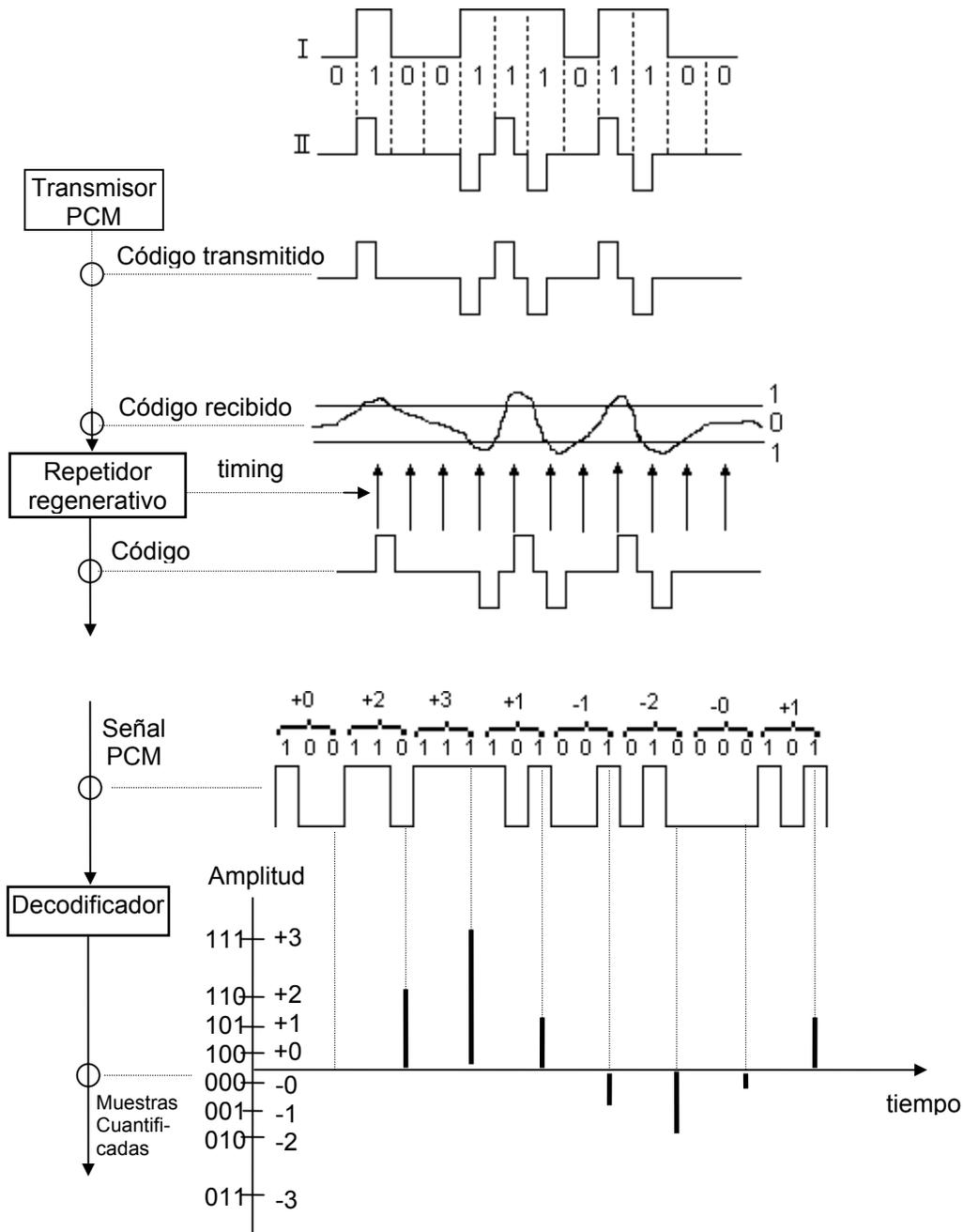


Fig. 2.15 PCM

La **señal decodificada** es reconvertida en la señal original de telefonía a través de un proceso que involucra su paso por un **circuito "hold"** y luego por un **filtro pasabajos**, ver **Figura 2.16**.

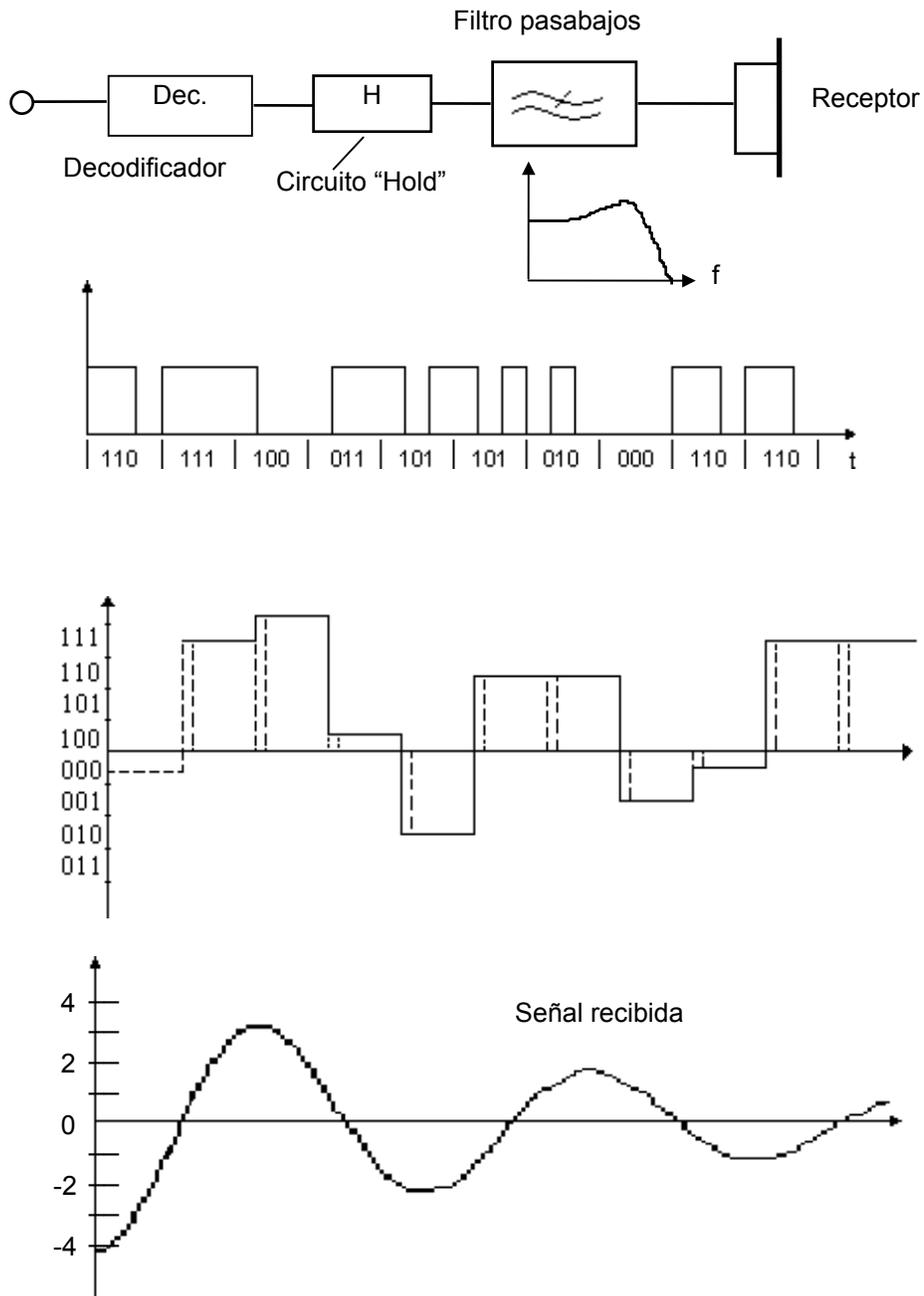


Fig. 2.16 Reconversión de PCM

Como es conocido la señal de PCM es **multiplexada** en el tiempo, esto significa que en una **ranura** de tiempo se asigna una fracción igual de ese tiempo a cada uno de los canales, y esas ranuras de tiempo se van transmitiendo consecutivamente, conformando un TDM. La **Figura 2.17** muestra como se van combinando los canales telefónicos en las Jerarquías americana, europea y japonesa y los medios físicos usados en cada nivel.

Plan Jerárquico en el Mundo

País	Multiplexing Step				
	1°	2°	3°	4°	5°
USA & Canadá	24 1.544Mb/s	96 6.312Mb/s	672 45Mb/s	4032 274Mb/s	
Europa	30 2.048Mb/s	120 8.448Mb/s	480 34Mb/s	1920 140Mb/s	7680 565Mb/s
Japón (NTT)	24 1.544Mb/s	96 6.312Mb/s	480 32Mb/s	1440 97Mb/s	5760 397Mb/s

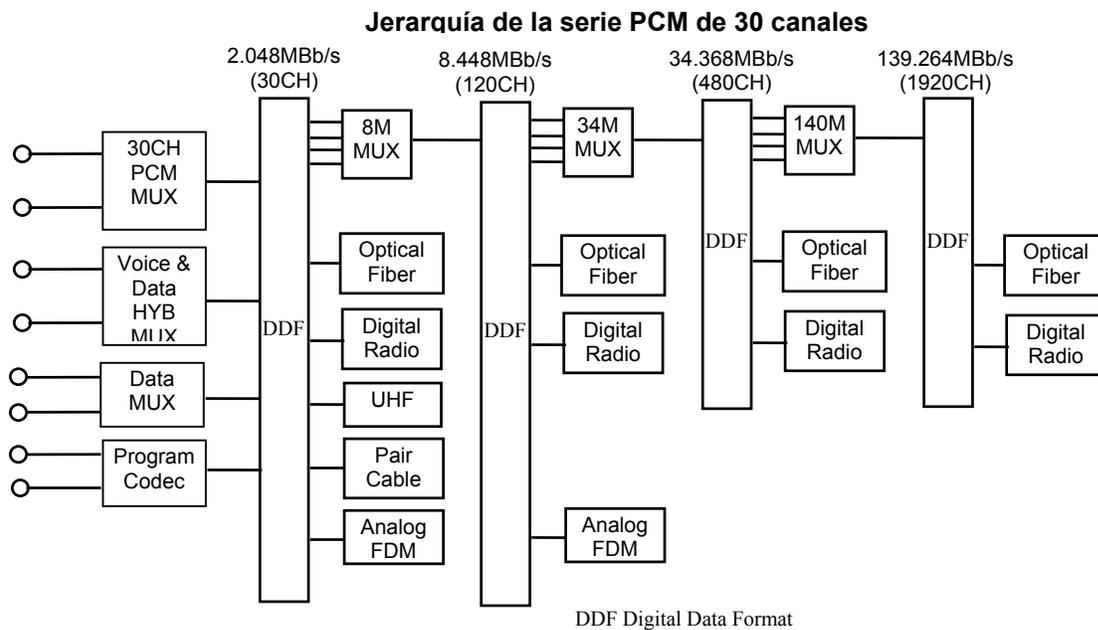


Fig. 2.17 Jerarquías Mundiales

Como ya se mencionó la señal unipolar es convertida en bipolar y en la **Figura 2.18** se muestran el código binario unipolar y varios códigos de línea bipolares que son usados frecuentemente.

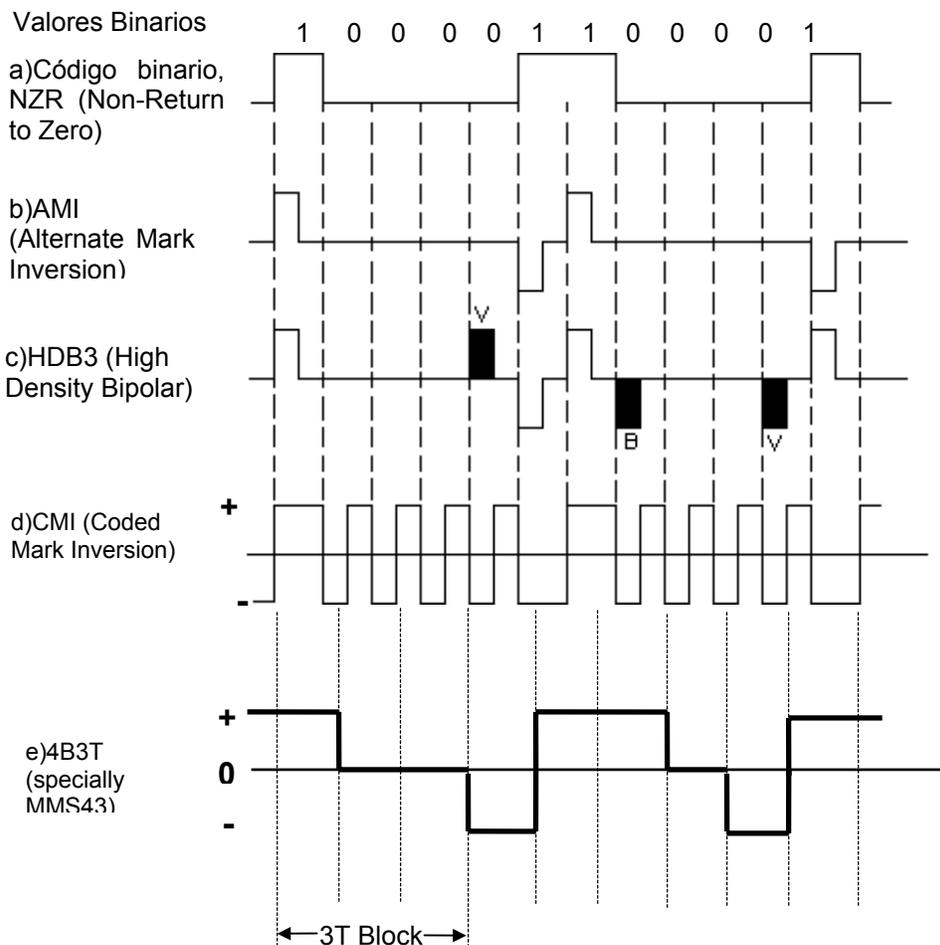


Fig. 2.18 Código Binario y otros Códigos de Línea

El sistema de PCM completo se puede ver en la **Figura 2.19**.

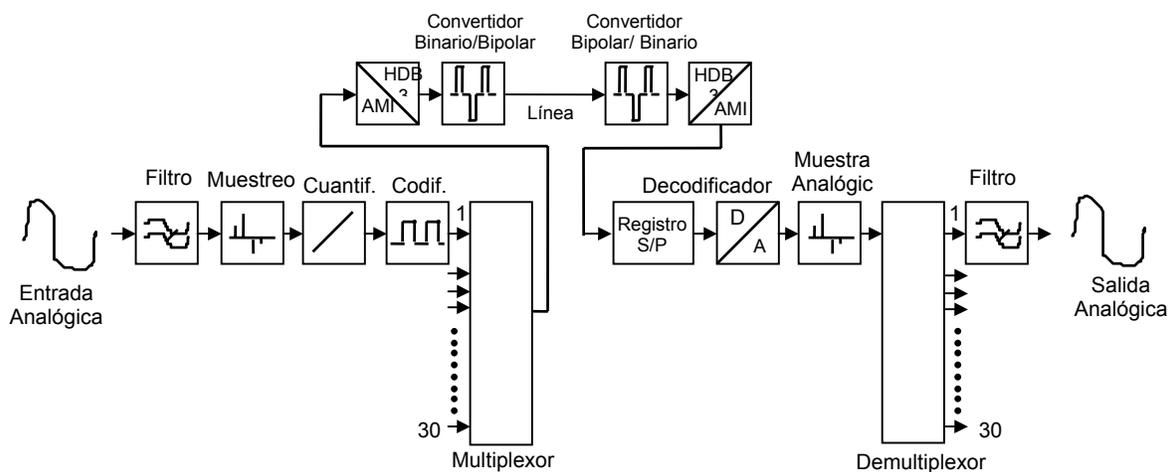


Fig. 2.19 Sistema PCM Completo

2.7.-Modems.

La señal de PCM u otra señal digital binaria, como la producida por un computador, puede ser aplicada directamente a un par de conductores trenzados ó a un coaxil para distancias cortas. Si se necesitan distancias más largas este método no es práctico porque la distorsión que sufre la señal digital debido al ancho de banda limitado del canal hace necesario “acondicionar” la línea con inductores (series loading coils) y más allá de un par de millas (unos 4 Km) es necesario colocar repetidores regenerativos. Sin embargo en la tecnología actual no se extiende la longitud de los sistemas de banda base hasta el punto donde son necesarias esas soluciones, más bien se utilizan técnicas de “preparación” de la señal como las mencionadas en la Sección 2.5 de manera de extender el rango y lo que es muy importante, poder utilizar la red telefónica, que en un porcentaje altísimo es aún una red de pares trenzados de baja calidad, con ancho de banda limitado (300-3400Hz), que usa transformadores para pasar de dos a cuatro hilos, equipos de radio, etc., por ello se requiere una señal diferente producida por los **modems**[14 Cap.13][16,Sec.11.3.1].

Para comprender el funcionamiento de este “hardware” veamos los elementos de un enlace digital punto a punto. La **Figura 2.20** (según EIA RS-449) muestra los componentes básicos de un enlace de datos de dos terminales, que es el caso más simple.

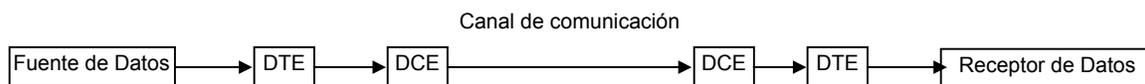


Fig. 2.20a Elementos básicos de un enlace digital

En cada extremo existe un equipo que origina ó recibe información digital, si el sistema es bidireccional cada extremo actúa como fuente y receptor de datos (**F/R**). Este equipo envía a (ó recibe datos de) otro llamado **DTE** (Data Terminal Equipment) en forma serial ó paralela (ésta es la más popular), el DTE cumple la función de convertir paralelo a serial ó viceversa de modo que los datos puedan insertarse en (ó recuperarse de) el canal que es serial, y además hace de amortiguador (buffer) entre la fuente (receptor) (**F/R**) de datos y el canal de comunicación.

Existen muchos tipos de DTE, que también son denominados LCU (Line Conditioning Unit) el más común está incorporado al F/R como ocurre con los computadores donde tenemos una salida serial, si el LCU tiene software asociado se llama FEP (Procesador Extremo Delantero) dentro del LCU pueden haber dos tipos de circuitos sencillos: UART, cuando la transmisión es asíncrona, y USRT cuando se usa transmisión síncrona. Es frecuente encontrar esta nomenclatura:

UART: (Universal Asynchronous Receiver/Transmitter) utilizado en comunicaciones de baja velocidad[15,Cap.5,18 Cap.5], es un dispositivo (chip) de 8 bits que tiene 8 hilos (buses) para funciones de entrada/salida, utiliza shift-registers y reloj proveniente de la fuente de datos (hay también **USRT** para comunicaciones síncronas).

ACIA: (Asynchronous Communications Interface Adapter), es un “chip”(UART) compatible con microprocesadores como el MC6800 de Motorola.

PCI: (Programmable Communications Interface), este equipo se utiliza para convertir los datos paralelo en seriales **síncronos**, en la transmisión síncrona frecuentemente se envían bloques de datos llamados “frames” que fluyen continuamente.

Los dos primeros equipos DTE mencionados suministran los pulsos de arranque y parada (start-stop), necesarios en los trenes de pulsos seriales asíncronos que serán introducidos al canal directamente ó vía otro equipo llamado **DCE** (Data Communication Equipment).

Los DCE entonces, acondicionan la señal de modo que pueda ser transmitida a grandes distancias, se les denomina: acopladores de línea ó conversores de señales, pero es más común llamarlos **MODEMS**. Este nombre deriva de la función de **MODULACIÓN** y **DEMODULACIÓN** que ellos llevan a cabo, en el extremo de transmisión la señal se modula, luego de viajar por el canal de comunicación, al llegar al extremo de recepción, es demodulada.

Los modems pueden ser clasificados, observando sus características, desde distintos puntos de vista, así por ejemplo hablamos de:

- **Modems internos ó externos:** según que los modems estén ubicados dentro o fuera del DTE (ó computador) a que sirven.
- **Modems asíncronos ó síncronos:** en base a que la transmisión y recepción así lo sea.
- **Modems half duplex o full duplex:** con relación a si la comunicación es uni ó bidireccional.
- **Velocidad:** este es un parámetro fundamental y las razones son simples. Tomemos un documento de 100 páginas que deba ser transmitido por vía telefónica utilizando un modem, suponiendo que cada página tiene unos 3300 caracteres cada uno de los cuales requiere de siete bits, tendremos 2.310.000 bits que transmitir. Veamos el tiempo requerido a diferentes velocidades:

Velocidades(bps)	300	1200	4800	9600	14400	28800	56K(V.90)
Tiempo(seg)	7700	1930	480	240	160	80	46 @ 50Kbps

En la práctica el tiempo dependerá además de muchos factores tales como el ruido, como los datos son empaquetados, cuantas veces se retransmite un carácter cuando hay un error, el tipo de código utilizado, etc., pero de todos modos la tabla da una clara idea de como el tiempo es reducido al aumentar la velocidad del modem.

Los modems utilizan diversos tipos de modulación: FSK, ASK, PSK, DPSK, QAM, Trellis, etc. Además, como veremos al hablar de **detección y corrección de errores**, existen estándares del CCITT y otros de la industria para ese fin (MNP, LAP-M, V.42, V.42bis, etc.), varios de ellos incluyen **compresión de datos**, el tema es sumamente extenso y excede el propósito de esta Sección, remitimos a lector al [Apéndice C](#) al final de este Capítulo, sin embargo se incluye un resumen de algunos importantes en su versión Bell y CCITT(ITU-T).

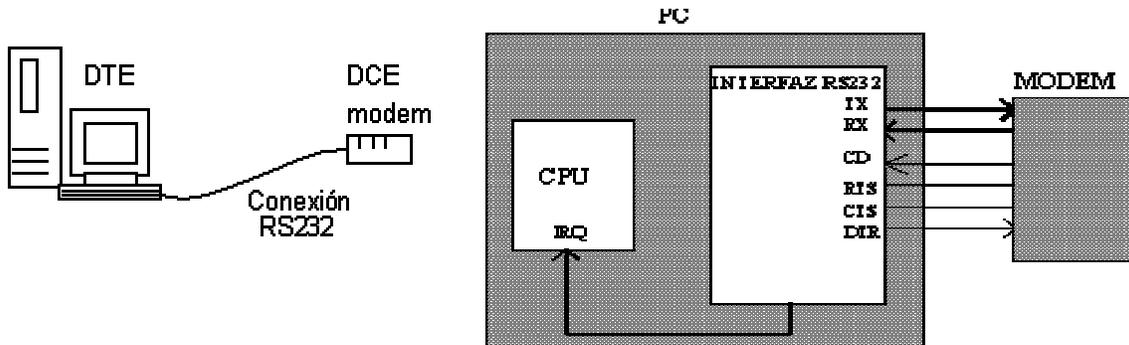


Figura 2.20b Conexión RS232 entre DTE y DCE

MODEMS, Tipos y Estándares						
Velocidad (bps)	BELL	CCITT	Asíncrono Sincrono	Velocidad de símbolos (baudios)	Modulación	Half ó Full Duplex 2/4 hilos
hasta 300	103A, FB, 113 A,B	V.21	A	300	FSK	F
600/1200	202C, D, E, R	V.23	A	600/1200	FSK	H
1200/2400	212A	V.22, V22bis	A	1200/2400	DPSK/QAM	H/F
2400	201B,C	V26,V26bis	S	1200	QPSK	H/F
4800	208A	V.27bis, V.27T	S	1800	8DPSK	H/F
9600	209A	V.29, V.32	S	1200/2400	16QAM	H/F
9600/4800		V.32	S/A	2400	QAM/Trellis	F
14400*		V.32bis	S/A	2400	Trellis	F
19200		V.32terbo				
14400		V.33	S	2400	Trellis	F
28800**		V.34	S/A	3429	QAM/Trellis	F
33600		V.34	S/A	3429	QAM/Trellis	F
56600		V.90			PCM/QAM T	
40800	301B	V.35	FM		VSB	
56000	303C	V.36			SSB	

NOTAS: * con V.42bis va a 57600 bps, con MNP5 a 28800 bps.
 ** con compresión de datos puede ir a dos o tres veces esa velocidad(57600 o 86400).esto es válido también para otros estandares.
 Trellis ,que es un esquema de modulación es llamado a vecesTCM.

Tabla 2.7a Tipos de Modems

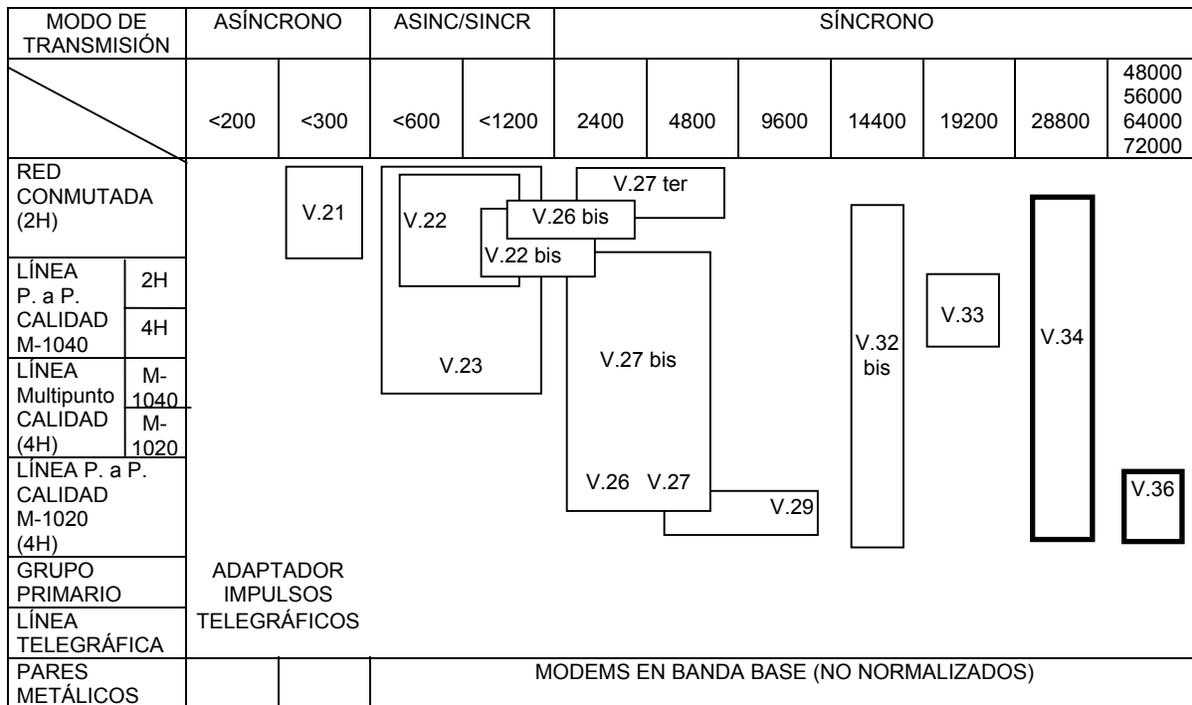
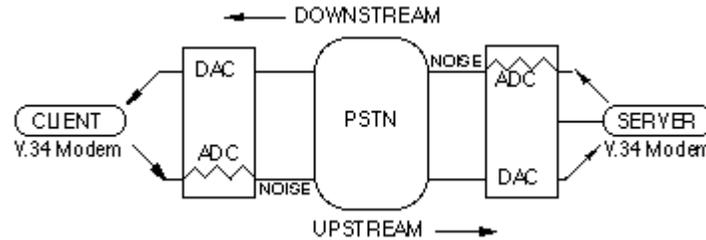


Tabla 2.7b Recomendaciones de la ITU-T Serie V para Modems

Existen modems DSVD (Datos y Voz Digitales Simultáneos) que operan a 28.800bps (algunos hasta 33600), en los que 9600bps se usan para voz comprimida y 19600 bps para transferir datos simultáneamente con la voz, esto es útil para teleconmutación y trabajos en grupo.

El estandar V.34 utiliza QAM con 960 puntos en la constelación de señal y en el tanto el ancho de banda como la frecuencia de portadora son adaptativas, la velocidad de señalización está limitada a 3429 baudios con 8.4 bits por baudio lo que lleva a poco más de 28.800 bps. La mejora de esta norma denominada V.34+ utiliza QAM de 1664 puntos con 9.8 bits por baudio lo que resulta en 33600 bps[21],[22].

En los **modems hasta 33.6 kbps** el esquema es el siguiente:



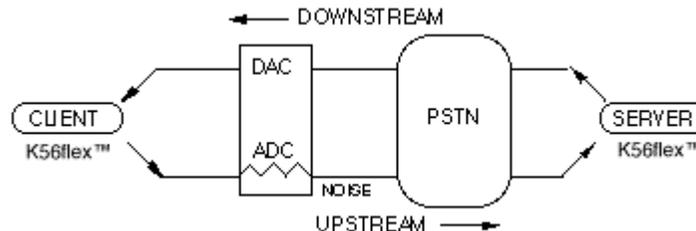
Donde se observa que en cada sentido hay una conversión analógico-digital, así por ejemplo en el sentido downstream hay una señalada con ADC en la parte superior derecha de la Figura y en el upstream hay otra en la parte inferior izquierda, cada una agrega ruido(noise).

Como consecuencia de la necesidad de mayores velocidades e impulsado por la presencia de modems de 56K no estandarizados en el mercado, el ITU-T Grupo 16, se movió con velocidad inusitada y produjo en Febrero de 1998 el **estándar V.90** que será (presumiblemente) el último de modems analógicos, a ser sustituido por cable modems ó tecnología DSL, en Septiembre 1998 se cumplió una formalidad del ITU y emite como definitivo el estándar V.90 que da lugar a los **modems de 56 Kbps**

El estándar requiere que la conexión desde la Central Local al ISP (Internet Service Provider) sea digital (al menos 64K) en ambos sentidos, que la única línea analógica sea desde el usuario hasta la Central Local y que haya una sola conversión analógica-digital (la del upstream)

El V.90 es un estándar asimétrico, en el sentido que los datos desde el ISP hacia el usuario (**downstream**) van a velocidades hasta 56Kbps (en realidad menos por la regulación del FCC y por la calidad de las líneas analógicas entre la Central Local y el usuario), en cambio en sentido inverso (**upstream**) el máximo es de 33.6 Kbps, esto obedece a que hay un **ruido de cuantificación de la conversión analógica-digital** y la limitación en velocidad que ella produce en los modems está claramente establecida por el teorema de Shannon (expresión 2.9), si utilizamos una relación S/N de 35 dB para 3000 Hz obtenemos un C de aproximadamente 35 Kbps, el ruido que da lugar a esa S/N en la comunicación analógica (necesaria por ser esas líneas analógicas) es el de la conversión analógica-digital.

En modems los **de 56 Kbps**, la situación es esta:



La digital-analógica no tiene ese ruido, la señal es siempre digital (V.90 es llamado V.PCM dado que usa tecnología PCM) y por ello no tiene las limitaciones del ruido de cuantificación, entonces el **downstream puede ir a 56 Kbps**.

Sin embargo las regulaciones del FCC limitan la velocidad a 53Kbps para evitar interferencias y además hay otros ruidos, longitud del lazo, etc que hacen menor la velocidad.

- http://www.nb.rockwell.com/K56flex/whitepapers/k56whitepaper.html#top_page
- <http://www.v90.com/overview.htm>
- <http://www.itu.int/newsroom/press/releases/1998/9>

Como el V.90 no es compatible con los que le dieron origen están en el mercado modems **duales** V.90/X2 ó 56Kflex que son una alternativa conveniente, quienes tienen ya modems X2 ó 56Kflex reciben software de actualización para compatibilizarlos con V.90.

Para celulares existe el protocolo MNP10EC que implementan muchas tarjetas modernas.

La cuestión no finaliza aquí. Constantemente se plantean nuevos aportes para incrementar la velocidad, con ello implementar multimedia, videoconferencias, etc. Los estándares H.263, H.323 Y H.324 se refieren a ello[21]. Una de las más promisorias es ADSL (Asymmetric Digital Subscriber Line) que utiliza los pares trenzados existentes, cuyo reemplazo por fibra (fiber to the home) puede tomar varias décadas, lográndose hasta 6 Mbps[23].

2.8.-Transmisión serial. Protocolos asincrónicos y sincrónicos.

Se dijo un poco más arriba que los datos paralelo son convertidos en seriales para ser transmitidos a través del canal. Estos datos seriales necesitan ser coordinados en lo que hace a la manera en que son enviados, ya que el receptor debe, de alguna manera, interpretar adecuadamente la secuencia que le llega. Las reglas que gobiernan la manera en que los datos son transmitidos y recibidos se denomina **protocolo**.

Los datos seriales pueden organizarse de dos maneras o protocolos:

- **asincrónicos**
- **sincrónicos**

Asincrónico significa “sin sincronismo” , lo que en este caso quiere decir que cada carácter ó dato es enviado en cualquier momento, con cualquier velocidad y con pausas indeterminadas, por lo tanto, para que el receptor “sepa” donde comienza y donde finaliza el dato, son agregados bits de **arranque** y de **parada**, llamados “framing bits” ó bits de encapsulado.

El bit de arranque es siempre un 0 lógico y el de parada es un 1 lógico. Los caracteres son enviados uno a la vez y el intervalo entre ellos es aleatorio quedando el sistema “idle” ó “en espera” en estado lógico 1, ver **Figura 2.21**.

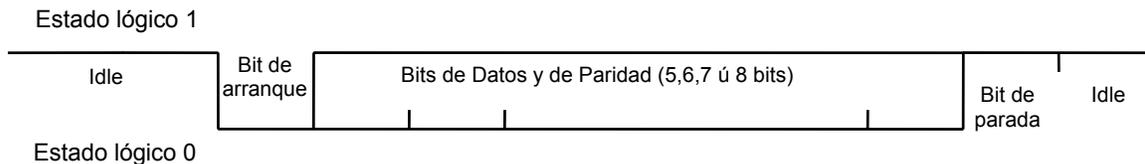


Figura 2.21 Formato de un carácter asincrónico

Este encapsulado es carácter por carácter y los bits de arranque y parada disminuyen la eficiencia de la transmisión pues se emplea un porcentaje importante del tiempo en ello.

Sincrónico quiere decir que funciona al mismo tiempo, o sea, que los eventos ocurrirán en instantes de tiempo predeterminados y perfectamente conocidos.

La sincronización puede hacerse de diversas maneras, en algunos casos se envían pulsos de reloj en **sincronismo** con cada bit transmitido **por un canal separado**, según muestra la **Figura 2.22**.

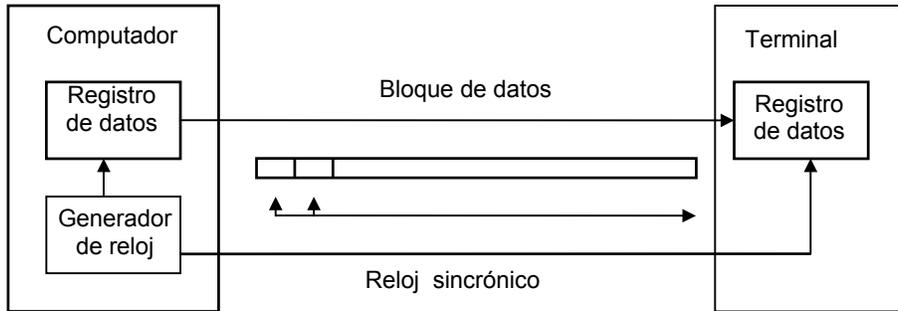


Figura 2.22 Transmisión sincrónica de datos utilizando pulsos de reloj separados

En otros eso no es conveniente pues se dedica un circuito sólo para enviar pulsos de reloj, por ello en el caso de los **modems (Figura 2.23)** la información de reloj es codificada junto con los datos y enviada vía línea telefónica, en el extremo receptor se demodulan los datos junto con los pulsos de reloj, éstos son luego separados y utilizados para muestrear los datos en el centro de cada bit.

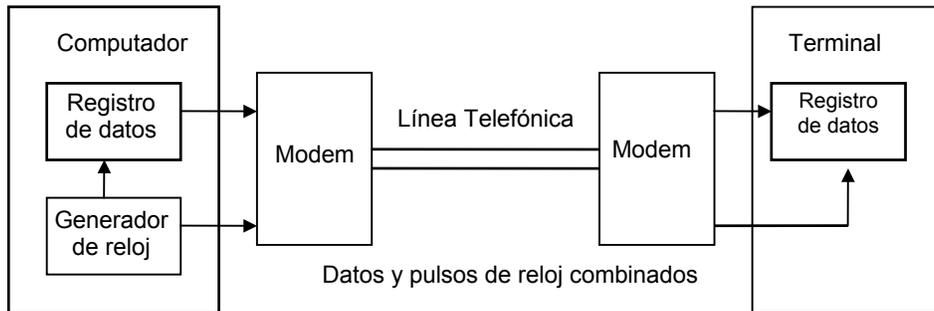


Figura 2.23 Pulsos de reloj de sincronismo enviados junto a los datos

Otro método de sincronización consiste en agrupar los datos en **bloques ó tramas**, que son una serie contigua de caracteres eliminándose así los bits de arranque y parada. La sincronización se hace bloque por bloque agregando una serie ó secuencia de bits determinada al comienzo y al fin de cada **bloque ó trama** de datos. El receptor se sincroniza con el bloque de datos cuando encuentra esa **serie de bits únicos**, para ello hace una búsqueda y cuando lo encuentra va a **sync-lock** con el bloque de datos.

El número de bits que contiene esta serie determinada ó única de bits, así como los bits que la componen (patrón de bit ó bit pattern) son particulares de cada protocolo. En ciertos protocolos se denominan **caracteres de sincronismo** y en otros **bandera de apertura y bandera de cierre (opening flag and closing flag)**.

Son muchos los protocolos usados hoy y han sido desarrollados por organismos de estandares y por fabricantes, algunos de los más comunes son:

- **BISYNC o BSC** Binary Synchronous Communications.
- **DDCMP** Digital Data Communications Message Protocol.
- **HDLC** High-level Data Link Control.
- **SDLC** Synchronous Data Link Control.

La **Figura 2.24** muestra los bloques de SDLC, de IBM y DDCMP, de Digital Equipment Corporation.

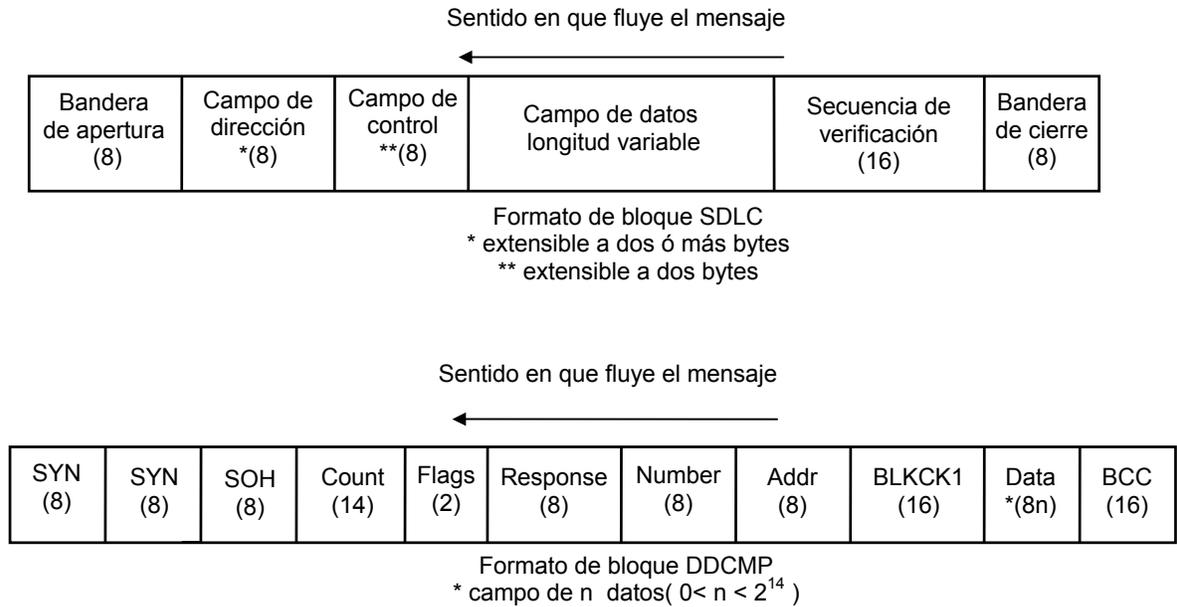


Figura 2.24 Formato de trama SDLC y de mensaje DDCMP

Ya se ha mencionado la **eficiencia** de los mecanismos ó protocolos de transmisión serial y el concepto es que debemos enviar la mayor cantidad de datos en el menor tiempo posible. Una medida habitual es el “overhead” del protocolo, que indica cuán ineficiente es un protocolo y se define según la siguiente expresión:

$$\text{Overhead} = (1 - N/(N+C)) \times 100 \quad \% \qquad 2.10$$

donde N es el número de bits de datos transmitidos y C representa el número de bits de control transmitidos.

Problemas:

- 2.1.-Calcule el overhead de un protocolo asincrónico que utiliza 1 bit de arranque, 1 bit de parada, siete bits de datos (ASCII) y un bit de paridad.
- 2.1.-Demuestre que el overhead mínimo del protocolo DDCMP es 0.073%.
- 2.2.-Demuestre que si en un DDCMP se envían dos bytes de datos el overhead pasa a ser 85.7%.

La **Tabla 2.8** dá las ventajas y desventajas de los transmisión asincrónica y sincrónica.

	Asíncrona	Síncrona
Ventajas	Adecuada para terminales ASCII y entradas de datos. Mínimo hardware. Los errores de bit se ven inmediatamente al ver los caracteres erróneos. Baja velocidad de transmisión implica menos errores.	Alta velocidad de transmisión. Pequeño overhead. Máximo throughput. Métodos de detección de errores muy confiables.
Desventajas	Lento e ineficiente. Alto overhead debido a los bits de arranque y parada.	Costoso. Exige protocolos compatibles. Un solo bit erróneo hace que e deba retransmitir todo el bloque

Tabla 2.8 Ventajas y desventajas de la transmisión serial asíncrona y sincrónica

***Throughput** es una medida de la velocidad de transmisión basada en el tiempo necesario para transmitir exitosamente un cierto número de bits, caracteres ó bloques por unidad de tiempo. Una fórmula utilizada por los diseñadores es TRIB (transmission rate of information bits):

$$TRIB = \frac{B(L - C)(1 - P)}{\frac{BL}{R} + T} \quad \text{bps} \quad 2.11$$

donde:

- B = número de bits de información por carácter.
- L = número total de caracteres o bytes en el bloque
- C = numero promedio de caracteres que no llevan información en el bloque.
- P = probabilidad de ocurrencia de un error en el bloque.
- R = velocidad de transmisión de bps.
- T = intervalo de tiempo entre bloques.

Esta formula nos dice que el throughput es reducido por overhead del protocolo y por errores.

2.9.-Transmisión serial. Interface RS-232-C.

En la **Figura 2.20a** la interconexión entre el DTE y el DCE está estandarizada con un cable conocido como **cable de interfase RS-232-C**, tal como indica la **Figura 2.20b**.

Esta norma corresponde a la **EIA** (Electronic Industries Association). Existen dos recomendaciones del **CCITT** casi idénticas a la RS-232-C, ellas son la **V.24** y **V.28**.

En el diseño del estándar se tuvieron en cuenta los siguientes criterios:

- Los niveles de voltage transmitido y recibido deben caer dentro de cierto rango,
- Las características eléctricas de la línea de transmisión, incluyendo las impedancias de fuente y de carga, deben cumplir especificaciones, estableciéndose así limitaciones a la máxima velocidad de transmisión.
- Los cables de interfase entre DCE y DTE deben incluir conectores cuyas dimensiones y número de pines sean compatibles para todos los DTE y DCE.
- Las funciones eléctricas de las señales entre DCE y DTE deben ser compatibles.
- La función de cada señal eléctrica debe tener nombre y numeración de pines comunes

La especificación RS-232-C tiene tres partes:

1. Especificación eléctrica
2. Especificación mecánica.
3. Especificación funcional.

La interfase serial basada en el estándar RS-232-C normalmente se implementa con un conector DB-25, que es un conector de 25 pines tal como el que se muestra en la **Figura 2.25**.



Fig. 2.25 Conector DB-25

El [Apéndice D](#) da una descripción de este estándar, [para más detalles ver](#) ó [17, **unidad 8**] y los estándares respectivos.

Este estándar tiene varias ventajas:

- Es útil para especificar interfaces seriales binarias asincrónicas y sincrónicas.
- Trabaja con todos los tipos de transmisión.
- Une punto a punto ó multipunto con dos ó cuatro hilos.
- Definirá interfaces para redes conmutadas.
- Tiene 21 circuitos para intercambio de datos, temporización y "handshaking" entre equipos de datos.

También tiene desventajas. Las dos más importantes son: soporta solo 20 kbps y con un límite de 50 pies, y requiere de voltajes de polaridad opuesta, debido a esto se han creado los estándares llamados de la familia RS-449 compuestos de:

- RS-442 Interfase eléctrica balanceada que opera sobre enlaces de 4000 pies hasta 100 Kbps y sobre enlaces de 50 pies hasta 10 Mbps.
- RS-423 Interfase eléctrica balanceada que opera sobre enlaces de 200 pies a 10 Kbps y sobre enlaces de 40 pies a 100 Kbps.
- RS-449 definición mecánica y funcional de los estándares anteriores. Provee de 30 circuitos de intercambio y utiliza conector de 37 pines(DB-37).

Ver Referencias [17] y [18, Capítulo 4].

El estandar más nuevo es el RS-485 que emplea los mismos niveles de señal del RS-442 pero permite enlaces de 4000 pies a 10 Mbps[18].

2.10.- Equipos básicos usados en las redes.

Existen, además de los elementos físicos (hardware) que componen una red de comunicaciones descritos hasta ahora (medios físicos, terminales, modems e interfaces) una gran variedad de otros equipos que cumplen roles importantes en las redes. Su número es grande, no existiendo entre los suplidores de estos equipos una nomenclatura uniforme y además continuamente aparecen equipos nuevos que ofrecen mejoras substanciales y/o reúnen total ó parcialmente características de los actuales. Por ello la presentación que se hará no puede ser exhaustiva, consideraremos:

- Multiplexores
- Concentradores
- Front End Processors (FEP)
- Concentradores de puertos
- Conversores de protocolo
- Patch Panels
- Transceivers
- Repetidores
- Puentes(Bridges)
- Switches
- Enrutadores
- Brouters
- Puertos(Gateways)

2.10.1.-Multiplexores.y Concentradores.

Los modems son utilizados para conectar computadores distantes y los “cables” directos para distancias cortas, cuando el número de usuarios es grande el número de cables requeridos es desmesuradamente grande.

Por otra parte el costo de las líneas dedicadas ó de las líneas discadas es alto, debiendo tenerse en cuenta también que frecuentemente las líneas son subutilizadas, ya que hay periodos de inactividad yó la velocidad empleada es inferior a la capacidad disponible.

Es conveniente entonces reducir el número de cables y optimizar el uso de los mismos. La solución es permitir el acceso al mismo recurso (cable de alta velocidad) a varios equipos en forma simultánea.

Esta tarea la realizan **multiplexores** y **concentradores**, equipos que se pagan a sí mismos en 6 meses, los cuales utilizando técnicas distintas posibilitan un mayor aprovechamiento de los medios de transmisión.

Los **multiplexores**[19] son equipos que reciben varias secuencias de datos de baja velocidad y las transforman en una única secuencia de datos de alta velocidad, que se transmite hacia un lugar lejano, en el cual se realiza la operación inversa (demultiplexión) para obtener nuevamente los flujos de baja velocidad originales. Lo que se hace es repartir el medio transmisor en varios canales independientes que permiten accesos simultáneos de los canales de baja velocidad al canal de alta velocidad, ver **Figura 2.26**.

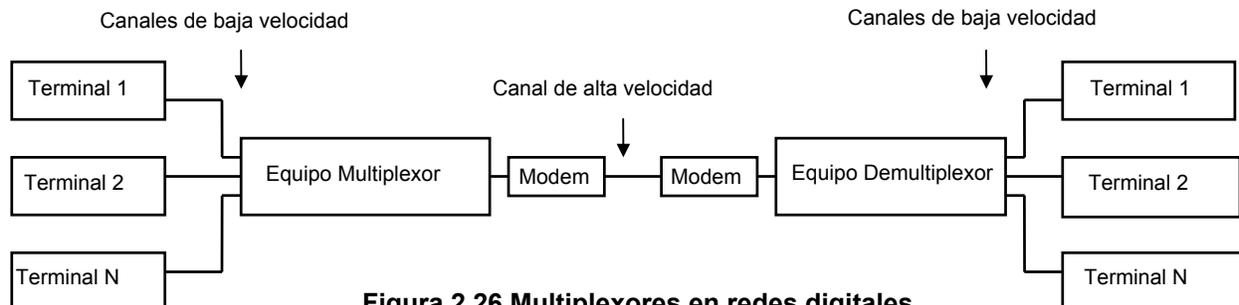


Figura 2.26 Multiplexores en redes digitales

Las **técnicas de multiplexión** utilizadas son: **FDM** (Frequency Division Multiplexing), **TDM** (time Division Multiplexing) y **STDM** (Statistical Time Division Multiplexing).

La **FDM** consiste en dividir el ancho de banda disponible en varios canales, que lógicamente serán de un ancho de banda fracción del anterior. Así si tenemos una línea capaz de transmitir a 33600 bps, podemos utilizar tres canales de 9600 bps asegurando una “banda de guarda” entre ellos para evitar interferencia cocanal (crosstalk). Esta técnica fué utilizada ya en 1874 por Baudot que envió la información producida por seis telégrafos en una sola línea. Luego esa idea fué usada extensamente por la telefonía analógica.

El **TDM** es una técnica puramente digital. En ella los bits (ó bytes) de cada canal de baja velocidad son intercalados e introducidos en el canal de alta velocidad, luego en el extremo receptor conociéndose la ubicación de cada bit (ó byte) y a que canal pertenece se reconstruye la señal de cada uno de ellos. En realidad se está asignando a cada canal la totalidad del ancho de banda durante un cierto período. Dentro del TDM hay dos variantes: una es **MTS** (multiplexión en tiempo síncrona) en ella cada canal tiene asignado tiempos constantes en el canal de alta velocidad; el otro es **MTA** (multiplexión en tiempo asíncrona) en ella se asignan a cada canal intervalos de tiempo de longitud variable, para ello los datos se agrupan en paquetes que contienen las indicaciones necesarias relativas a dirección, orden y número del terminal para que puedan reconstruirse en el extremo receptor. La técnica MTA hace un uso más provechoso del canal. La potencia y flexibilidad de MTA se aumenta usando técnicas de acceso aleatorio consistente en permitir que un canal de baja velocidad acceda al canal de alta velocidad **solo si éste está libre**.

El TDM en sus dos variantes tiene el problema que si el canal de baja velocidad está temporalmente inactivo igualmente hace uso del canal de alta velocidad, corrigiéndose esto con el **STDM (Statistical Time Division Multiplexing)** en el que solo los canales que tienen datos que enviar tienen acceso al canal de alta velocidad. En realidad los datos, que generalmente son de canales de baja velocidad asíncronos, son almacenados en un “buffer” hasta que son muestreados por un microprocesador, éste organiza los datos en un flujo síncrono de datos y cuando un número predeterminado de datos es recibido, ó el intervalo de muestreo se completa, a este bloque ó

paquete de datos se le agregan direccionamiento y datos de detección de errores y se envía. El STDm hace un uso mucho más eficiente del canal, sin embargo tiene el inconveniente de que introduce “retardo”, lo que en ciertas aplicaciones no es aceptable.

Los **concentradores**³ también son dispositivos a los que llegan muchas líneas de baja velocidad y solo sale una línea de alta velocidad, pero a diferencia de los multiplexores la capacidad de la línea de alta velocidad es menor que la suma de las velocidades de las líneas de baja velocidad. Por lo tanto, en el caso que todas las líneas de baja velocidad tengan datos que enviar, se establece una “contienda” que se soluciona ordenando a ciertas líneas entrantes que dejen de transmitir. Por ello los concentradores tienen memoria propia para gestionar el tráfico de alta velocidad e inteligencia para tratar las congestiones.

Los concentradores se usan en un solo extremo, tal como muestra la **Figura 2.27**, a diferencia de los multiplexores que requieren equipos (multiplexor y demultiplexor) en ambos extremos, en el otro extremo hay un **front-end processor** que se describirá enseguida.

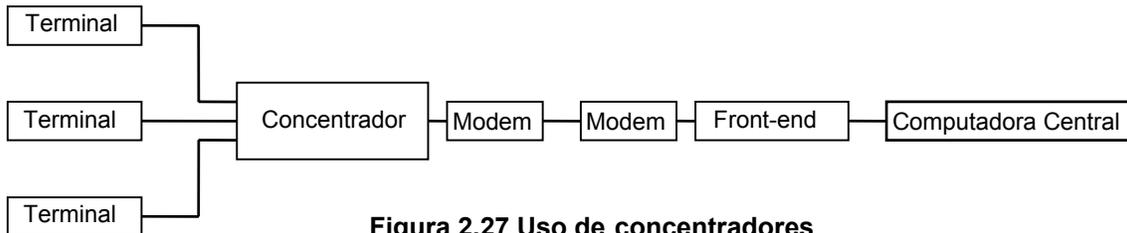


Figura 2.27 Uso de concentradores

2.10.2.-Front-end processors y Concentradores de puertos.

Los **Front-End Processors (FEP)**, término de SNA de IBM, son computadores empleados en el extremo del computador central (Host/Mainframe), ver **Figuras 2.27 y 2.28**, y tienen como función principal liberar al computador central de las tareas rutinarias usadas en la comunicación.

Las tareas típicas de un FEP son: **proceso de mensajes**, interpretando los mensajes que llegan para determinar el tipo de información requerida, luego obteniendo la información de un dispositivo de almacenamiento y enviándola al terminal solicitante sin involucrar al computador central; y **conmutación de mensajes** entre terminales (puede almacenar mensajes y enviarlos luego, *store and forward*)[19].

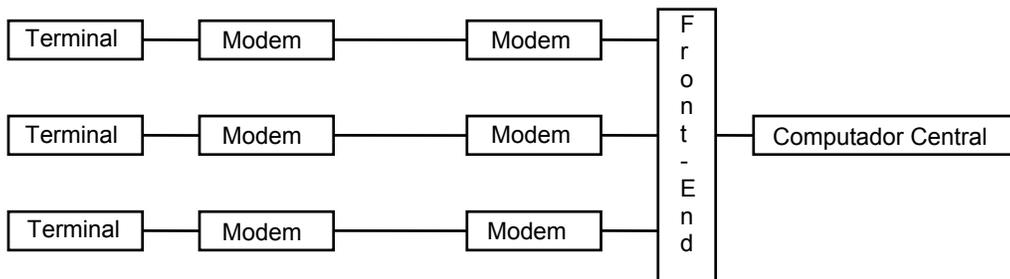


Figura 2.28 Utilización de Front-End Processors

Los **concentradores de puertos** son combinaciones entre concentradores y front-ends permitiendo atender muchos terminales con una sola salida de computadora. Proporcionan control

³ El término **concentradores** tiene aquí el significado que se le da en Comunicaciones, es un equipo **diferente** de su homónimo que describiremos en la Sección 2.10.4 y que es ampliamente utilizado en redes de computadores.

de la línea, detección de errores, sincronización entre la línea y los terminales y tienen capacidad de “polling”, que es una técnica por la que el concentrador de puertos interroga a los terminales si tienen datos que transmitir, si la respuesta es afirmativa los envía a destino. Son llamados a veces “cluster controller”[19]. Ver Figura 2.29.

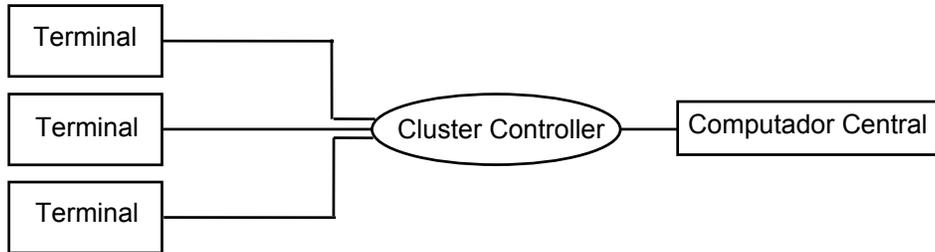


Fig. 2.29 Cluster Controller

2.10.3.-Conversores de Protocolos.

Las reglas que permiten la comunicación entre equipos electrónicos son conocidas como “protocolos”, puede decirse que son como los diversos idiomas que usan los seres humanos y obviamente cuando los que utilizan son diferentes es imposible que haya comunicación a menos que se “traduzca” el mensaje de un protocolo (idioma) al otro protocolo (idioma).

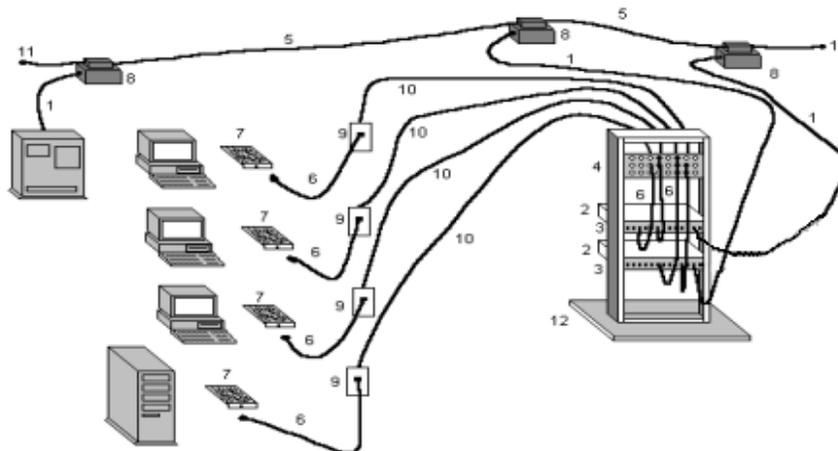
Estas tareas las efectúan los **conversores de protocolos**, los hay diseñados en base a hardware ó a software. Los que se basan en **hardware** son simplemente “cajas negras” en la línea de comunicación. Los basados en **software** consumen tiempo del computador reduciendo el dedicado a otras tareas. Inclusive los hay que pueden convertir asincrónicos en sincrónicos y viceversa. A veces se requiere convertir códigos de caracteres, por ejemplo pasar de **EBCDIC** a **ASCII**.

En ocasiones los Conversores de Protocolos realizan también otras funciones tales como multiplexión y/o concentración.

2.10.4.-Patch Panel y Transceivers

Estos dispositivos aparecen al describir el “Uso de Concentradores en LANs y cableado estructurado”.

El estándar 10 BaseT, que usa UTP, tiene topología estrella y utiliza concentradores (o hubs) para configurar la red, tal como lo muestra la **Figura 2.30**.



1. SCA-BNE3H Transceiver Cable.	7. 10 Base T Card.
2. 10 Base T Hub.	8. Ethernet Transceiver.
3. Rack Shelf.	9. South Hills Category 4 Outlets.
4. Expandable 110 Type Patch Panel.	10. Bulk 10 Base T Cable.
5. Thick Ethernet Trunk Cable.	11. Thick Ethernet Terminator.
6. 10 Base T Patch.	12. 84" Distribution Rack.

Fig. 2.30 Estándar 10 BaseT

Obsérvese que la palabra **concentrador** (ó hub) se ha utilizado aquí con un significado diferente que el dado al hablar de multiplexores y concentradores, en 10 Base T **concentrador** (ó hub inteligente ó repetidor multipuerto) es un equipo multipuerto e inteligente que **regenera y distribuye la señal en una topología estrella**.

En el ejemplo de la Figura 2.30 se observa que en estas redes Ethernet se utiliza "**cableado estructurado**", además los concentradores ó hubs son **apilables**, en el sentido que al conectarlos entre sí permiten conectar más computadores.

El **transceiver**(8) es un transreceptor utilizado aquí para conectar una red de coaxial grueso(10 Base 5) con un concentrador ó con un computador, ver Sección 6.10.La conexión se hace con **transceiver cable** que conecta el transceiver con el concentrador(hub) ó con un computador y utiliza conectores **AUI**(es un conector tipo D de 15 pines que traen los computadores frecuentemente como salida serial ó paralelo).

También se puede ver que existe un tablero de interconexión denominado **patch pannel**.

2.10.5.-Repetidores.

Cuando la señal en una red pasa a través del cable se debilita y se distorsiona, ésta **atenuación y distorsión** es proporcional a la longitud de cable por el que la señal viaja y puede deteriorarse tanto que sea imposible decodificarla, antes que ello ocurra es necesario regenerarla y amplificarla. Los equipos que hacen solamente esto se denominan **repetidores**.

Se concluye entonces que los repetidores incrementan la longitud de la red y/ó permiten la interconexión de redes **similares**, aunque estas pueden ser de distintos tipos de medio físico (en el caso de Ethernet: UPT,Base 2,Base 5,etc).

Los repetidores monitorean todos los segmentos conectados y si alguno falla el repetidor (concentrador) "segmenta" esa sección defectuosa, lo que en el caso de topología estrella generalmente sólo afecta a un computador mientras que en topología "bus" desconecta a todos los nodos que siguen al segmento defectuoso.

Un repetidor cuenta en el número total límite de nodos en segmento, así un segmento de coaxial delgado puede ser de 185 metros con 29 nodos ó estaciones y un repetidor (lo que da 30 nodos por segmento).

Por otra parte la separación entre repetidores, así como el número de estos están sujetos a limitaciones debido principalmente a la velocidad finita de propagación de la señal. En el caso de redes LAN Ethernet la norma IEEE 802.3 describe las reglas al respecto. Corresponden a la Capa 1 de la OSI, **Figura 2.31**.

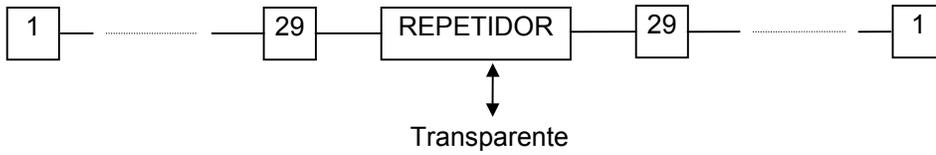


Fig. 2.31 Repetidor

2.10.6.-Puentes (Bridges).

Conectan **dos redes**, pero de la red 1, **Figura 2.32**, sólo pasan a la red 2 los datos destinados a ella y viceversa, basándose en la dirección **física** (de las tarjetas NIC que se describirán más adelante).

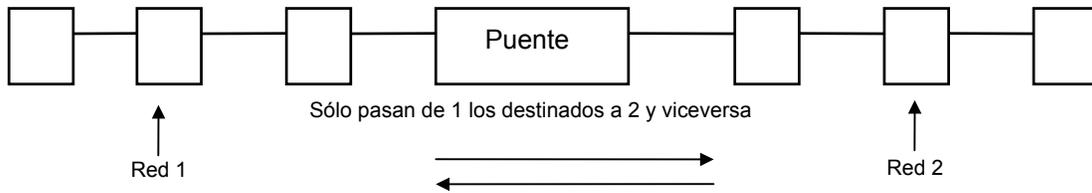


Fig 2.32 Puentes (Bridges)

Generalmente transfieren datos entre redes similares (del mismo protocolo), en función de la dirección del destinatario, son dispositivos de interconexión de redes **inteligentes** (tienen software) que permite pasar solamente los datos destinados al otro lado del puente y pueden ser empleados para interconectar redes de diferentes medio físico.

También pueden ser usados para interconectar redes que usan protocolos de bajo nivel diferentes, bajo ciertas circunstancias pueden usarse para conectar una red token ring con una tipo estrella que corren diferentes protocolos de comunicaciones.

Los puentes son dispositivos capaces de aprender “direcciones” y como además son del tipo “store and forward”, ó sea almacene y envíe, por lo que deben ver el paquete completo antes de reenviarlo (incluyendo la interpretación de la dirección), hacen la **red más lenta**. Pertenecen a la Capa 2 de la OSI (MAC), esta aseveración, y otras similares que se dan más abajo, se explicarán en el Capítulo 4 al ver dichas capas.

2.10.7.-Switches.

En la búsqueda de mayores velocidades en el proceso de filtrado y envío de los puentes, surgió la idea de disminuirlo examinando solamente la información de “dirección” que está al principio del paquete. Los dispositivos que surgieron se llamaron “cut-through” (atajo) switches y aunque al principio significaron una mejora, el aumento de velocidad de los puentes borró esa ventaja.

Hoy en día el término “Ethernet Switch” se aplica a cualquier dispositivo multipuerto capaz del filtrar y enviar paquetes a la velocidad de Ethernet (wirespeed) independientemente de que técnica se emplee (**Figura 2.33**), divide las redes físicamente y corresponde a la Capa 2 de OSI (MAC). En cambio el término “bridge” (puente) es reservado para dispositivos de dos puertos que usan la técnica “store and forward”.

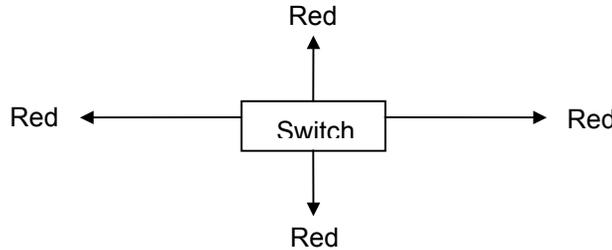


Fig 2.33 Ethernet Switch

Debe mencionarse que existen **matrix switches**, que son facilitadores de compartición de recursos y datos. Básicamente permiten a los terminales acceder a diversos procesadores sin necesidad de mover la línea de comunicación tal como ocurre en una central telefónica. Se parecen mucho en cuanto a prestaciones a las redes locales pero su velocidad es muy baja, del orden de 19.200 bps.

2.10.8.-Enrutadores (Routers) ó Encaminadores.

Trabajan de manera similar a los puentes y switches en el sentido que interconectan redes y dirigen (enrutan) paquetes, sin embargo difieren de ellos en que los paquetes deben ser direccionados al router para ser enviados, dichos paquetes además de la dirección física (NIC) tienen una dirección lógica (IP address, por ejemplo) que facilita el enrutamiento (mejor camino), **Figura 2.34**. Allí los routers se encuentran en los nodos de esta red..

Llamados a veces **Internets** porque configuran la Internet, red de redes, son más “inteligentes” que los bridges por varias razones, las tres más importantes son: pueden escoger el mejor camino (de acuerdo al estado de la red), dividen la red lógica en vez de físicamente (en subnets, de modo que solo el tráfico destinado a ciertas direcciones pase por entre segmentos) y tienen acceso al mensaje rearmándolo si es necesario para reenviarlo (los paquetes varían de dimensiones de una subnet a otra, el router los ajusta adecuadamente).

Además pueden crear barreras, “firewalls”, para evitar que tráfico de cierto tipo las atraviese. El precio que se paga por todo esto se calcula en términos de velocidad de la red, corresponden a la Capa 3 de OSI.

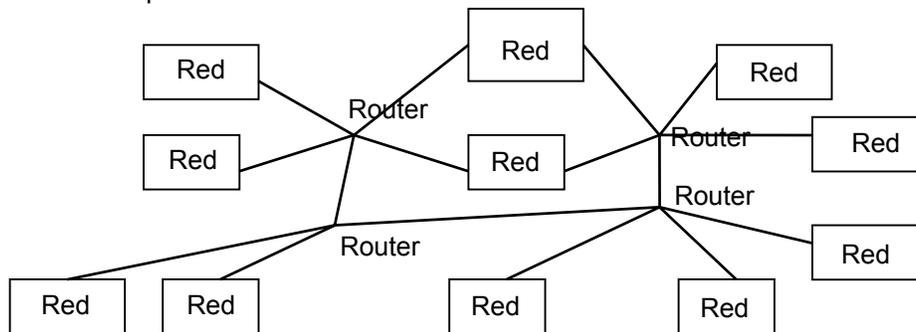


Fig. 2.34 Routers

2.10.9.-Routers.

Reúnen las funciones de puentes y enrutadores, enrutan ciertos protocolos (por ejemplo TCP/IP) y puentean otros.

2.10.10.-Puertos (Gateways).

Transfieren datos entre redes, pero no tienen capacidad de enrutamiento. Trabajan a un nivel de complejidad superior a los anteriores (Capas superiores de la OSI) pues tienen la capacidad de traducir protocolos, por ejemplo de X-25 a TCP/IP.

Un gateway (puerto) recibe un paquete de una red (por ejemplo X-25), lo traduce a un protocolo de transmisión, y lo envía al gateway (puerto) del otro extremo, allí este equipo lo traduce al protocolo que corresponde a la red de ese lado (por ejemplo TCP/IP), por lo que hay, en este ejemplo, tres protocolos involucrados, **Figura 2.35**.

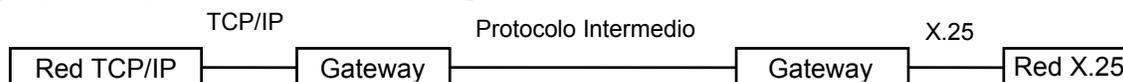


Fig. 2.35 Puerto (Gateway)

[APÉNDICE C](#)

[APÉNDICE D y también](#)

BIBLIOGRAFÍA

- [1] **Estándares EIA/TIA 568,568A,569, etc.**, Global Engineering Documents, 6303 Blue Lagoon Drive, Suite 370, Miami, FL 33126 Telef. 001-305-262-4022 Fax: 001-305-262-8232. e-mail: global.csa@ihs.com
- [2] **Wavetek Corporation**, "Handbook of LAN Cable Testing", San Diego California, USA, 1993.
- [3] **Bianchi Aldo**, "Comunicaciones por Fibra Óptica", Universidad de Carabobo, 2002 .
- [4] **Rubio Martínez Baltasar**, "Introducción a la Ingeniería de la Fibra Óptica", Addison-Wesley Iberoamericana, 1994.
- [5] **Zanger & Zanger**, "Fiber Optics", Merrill (MacMillan) New York, 1991.
- [6] **Freeman Roger L.**, "Telecommunication Transmission Handbook", Third Edition, John Wiley & Sons, New York, 1991.
- [7] **Carlson A.B.**, "Communication Systems", Third Edition, Mc Graw-Hill, New York 1986.
- [8] **Couch II L.W.**, "Digital and Analog Communication Systems", Third Edition, MacMillan Publishing Co, New York, 1990.
- [9] **Haykin S.**, "An Introduction to Analog & Digital Communications", J. Wiley & Sons, New York 1989.

- [10] **Kustra R. y Tujsnaider O.**, "Principios de Comunicaciones Digitales", Colección Técnica de AHCIET (Asociación Hispanoamericana de Centros de Investigación y Estudios de Telecomunicaciones).
- [11] **Bianchi Aldo**, Notas de Ingeniería de Comunicaciones Y, Capítulo 2, Teoría de la Información, Universidad de Carabobo, 1994.
- [12] **Belove Ch.**, "Enciclopedia de la Electrónica, Ingeniería y Técnica", Tomo 3, Capítulo 47, Oceano/Centrum.
- [13] **Taub & Schilling**, "Principles of Communications Systems", Mc Graw-Hill Kogakusha, 1971.
- [14] **Tomasi Wayne**, "Sistemas de Comunicaciones Electrónicas", Prentice Hall, 1996.
- [15] **Tomasi & Alisouskas**, "Telecommunications", Voice/Data with Fiber Optic Applications, Prentice Hall International Editions, 1988.
- [16] **Williams Richard**, "Communications Systems Analysis and Design: A Systems Approach", Prentice Hall International Editions, 1987.
- [17] **Heathkit Educational Systems**, "Data Communications and Networks".
- [18] **Hioki Warren**, "Telecommunications", Prentice-Hall, 2da Ed., 1995.
- [19] **Ramos & Schroeder**, "Contemporary Data Communications", Macmillan, 1994.
- [20] **Gibson J.D.**, Principles of Digital and Analog Communications, 2nd Edition, Macmillan 1993.
- [21] "The V.34 High Speed Modem Standard", Forney, Vedat E. & Moran III, IEEE Communications Magazine, December 1996.
- [22] "V.34 Modems-Minus-the Marketing Hype", Saunders & Zimmerman, Data Communications International, September 1996.
- [23] "Asymetric Digital Subscriber Line: Interim Technology for the Next Forty Years", Kim Maxwell, IEEE Communications Magazine, October 1996.
- [24] "Cabled to the future", Rudolf Sammueller, Telcom Report International 19(1966)No 5.
- [25] "Getting a Grip on Cable Testers", Joanna Makris, Data Communications; October 1997.
- [26] "Cabling: Making the Best of Limited Lifespan", Buddy Shipley, Business Communications Review, July 2001.
- [27] **Anixter, Communications Products Cat 6** from **Cabling Instalation and Maintenance Magazine, June 2000**, se obtiene en <http://www.anixter.com>