

Apuntes
de
Redes de Ordenadores

Tema 2
Capa Física

Uploaded by

IngTeleco

<http://ingteleco.iespana.es>
ingtelecoweb@hotmail.com

La dirección URL puede sufrir modificaciones en el futuro. Si no funciona contacta por email

TEMA 2: LA CAPA FÍSICA

2.1.- INTRODUCCIÓN

La primera capa dentro de cualquier modelo de red es la formada por las interfaces eléctricas y ópticas con el medio físico de transmisión. Independientemente de cual sea el conjunto de protocolos a utilizar es imprescindible que haya compatibilidad entre los equipos a nivel físico. Tanto si hablamos de redes WAN como LAN, o simplemente de la interconexión de dos equipos debemos asegurarnos que el interfaz del equipo y del terminador de la línea de conexión coinciden, y en caso contrario utilizar el conversores apropiad; en algunas ocasiones la conversión se hace con un cable únicamente, en otras mediante un adaptador pasivo (no alimentado), y en otras será preciso un equipo con alimentación eléctrica; la casuística en este campo es tan variada que no podemos entrar en detalles concretos a este respecto. En el caso de una LAN hay diferentes tipos de medios de transmisión, de conectores e interfaces y conviene estar familiarizado con ellos para adoptar en cada caso la solución más adecuada, ya que las prestaciones de unos y otros pueden ser sustancialmente distintas.

2.1.1.- Transmisión de datos: bases teóricas

Teorema de Nyquist

Cualquier medio o canal de transmisión que utilicemos tiene un ancho de banda finito y limitado lo que impondrá, como veremos una limitación a la hora de fijar la velocidad máxima a la cual puede transmitirse haciendo uso de dicho medio físico.

Tanto si la transmisión se produce en Banda Base (sin modular una portadora) o haciendo uso de modulación (ASK, FSK, PSK, QPSK) denominaremos *estados o niveles* a los diferentes valores que puede tomar la señal que representa la información (podrán ser distintos valores de amplitud, o de frecuencia o de fase). Los equipos que se comunican deber estar sincronizados para transmitir/recibir el mismo número de cambios por segundo, ya que de otro modo la comunicación no resultaría posible. Al número de cambios de estado o sincronizaciones por segundo que tienen lugar en una comunicación entre dos equipos se le denomina **baudios**. Cada una de estos cambios de estado de la señal puede representar uno o varios bits, por lo que la velocidad de transmisión expresada en bps (bits por segundo) dependerá del número de bits representados por cada señal.

A pesar de todo el ingenio aplicado a las modernas técnicas de tratamiento digital de la señal, los canales de transmisión tienen un límite. Ya en 1924 Nyquist observó la existencia de un límite fundamental en las transmisiones digitales sobre canales analógicos, que se conoce como **teorema de Nyquist**, y que establece que *el número máximo de baudios que puede transmitirse por un canal no puede ser superior al doble de su ancho de banda*. Este teorema no tiene en consideración los efectos de las perturbaciones del medio físico en la transmisión por lo que se dice que sólo es aplicable a canales ideales; en cualquier caso, nos proporciona una idea del límite máximo de la velocidad alcanzable a través de un medio físico.

Podemos comprender intuitivamente el teorema de Nyquist si imaginamos cual sería la frecuencia que tendría una señal digital que transmitiera 6 Kbaudios; supongamos por sencillez que 1 baudio = 1 bps, o sea que manejamos únicamente dos estados, y que utilizamos una corriente de 1 voltio para indicar un bit a 1 y de -1 voltio para indicar un bit a 0; la frecuencia mínima de la señal, que sería de cero hertzios, se produciría cuando transmiéramos continuamente ceros o unos, mientras que la frecuencia máxima se produciría cuando transmiéramos la secuencia 010101..., momento en el que obtendríamos una onda cuadrada de 3 KHz de frecuencia (ya que cada dos bits forman una oscilación completa); así pues para transmitir 6 Kbaudios necesitaríamos un ancho de banda de 3 KHz, conclusión que coincide con la que habríamos obtenido a partir del teorema de Nyquist.

El teorema de Nyquist no establece el nº de bits por baudio, que depende del nº de estados que se utilicen. Así en el caso anterior si en vez de dos valores de voltaje utilizamos cuatro (por ejemplo -2, -1, 1 y 2 voltios) con el mismo nº de baudios podemos duplicar el nº de bits por segundo.

Podemos expresar el teorema de Nyquist también en forma de ecuación relacionándolo con la velocidad máxima de transmisión, así si H es el ancho de banda y V el número de niveles o estados posibles, entonces la velocidad máxima de transmisión C viene dada por:

$$C = 2 H \log_2 V$$

Por ejemplo, un canal telefónico ($H=3$ KHz) con tres bits por baudio (ocho estados, $V=8$) la máxima velocidad de transmisión posible es 18 Kb/s.

Podemos calcular también la eficiencia de un canal de comunicación, E , que es la relación entre la velocidad de transmisión y el ancho de banda:

$$E = C/H$$

Así en nuestro ejemplo anterior la eficiencia era de 6 bits/Hz.

Combinando las dos fórmulas anteriores podemos expresar de otra forma el Teorema de Nyquist:

$$E = 2 \log_2 V$$

Dicho de otro modo, la eficiencia máxima de un canal está fijada por el número de estados diferentes de la señal, o sea por la forma como se codifica ésta.

Debido a la relación directa que el teorema de Nyquist postula entre ancho de banda y velocidad de transmisión es frecuente en telemática considerar ambas expresiones como sinónimos; así decimos por ejemplo que la transmisión de grandes ficheros necesita un elevado ancho de banda queriendo decir que requiere una elevada velocidad de transmisión.

Ley de Shannon-Hartley

El teorema de Nyquist supone la utilización de un canal de comunicación perfecto, es decir sin ruido. En la realidad los canales experimentan, entre otros tipos de ruido menos previsibles, un ruido aleatorio denominado ruido térmico, cuya característica principal es que tiene una distribución espectral constante; esto significa que la potencia del ruido térmico que encontramos es independiente de la frecuencia en la que busquemos. Generalmente el ruido térmico se mide por su valor relativo a la señal principal, y se conoce como relación señal-ruido, S/R o S/N (signal-noise ratio). El valor de esta magnitud se suele indicar en decibelios (dB), que equivalen a $10 \log_{10} S/N$.

Dado que la percepción de la intensidad del sonido por el oído humano sigue una escala logarítmica la medida en decibelios da una idea más exacta de la impresión que producirá un nivel de ruido determinado. En 1948 Shannon y Hartley generalizaron el teorema de Nyquist al caso de un canal de comunicación con ruido aleatorio, derivando lo que se conoce como la **ley de Shannon-Hartley**, que está expresada en la siguiente ecuación:

$$C = H \log_2 (1 + S/N)$$

(De nuevo aquí H representa el ancho de banda y C la velocidad de transmisión). Por ejemplo, con un ancho de banda de 3 KHz y una relación señal-ruido de 30 dB (o sea 1000, valor típico de una buena conexión telefónica) obtenemos una velocidad de transmisión máxima de 29 902 bps. Si la relación señal-ruido desciende a 20 dB (cosa bastante normal) la velocidad máxima baja a 19 963 bps.

Si lo expresamos en términos de eficiencia obtendremos:

$$E = \log_2 (1 + S/N)$$

Vista de este modo la Ley de Shannon-Hartley establece una eficiencia máxima para un valor dado de la relación señal-ruido, independientemente de la frecuencia y del ancho de banda asignado al canal. Así por ejemplo, para una relación señal-ruido de 40 dB la eficiencia máxima teórica es de 13,3 bps/Hz. En la práctica la eficiencia de una señal depende de muchos factores y puede estar en un rango muy amplio, entre 0,25 y 10 bps/Hz.

Conviene destacar que tanto el teorema de Nyquist como la Ley de Shannon-Hartley han sido derivados en base a planteamientos puramente teóricos y no son fruto de experimentos; además de eso han sido verificados reiteradamente en la vida real. Por tanto su validez puede considerarse universal y los contraejemplos deberían tratarse con el mismo escepticismo que las máquinas de movimiento perpetuo. Haciendo un cierto paralelismo con la Termodinámica se podría decir que el Teorema de Nyquist equivale al primer principio de la Termodinámica (que postula la ley de conservación de la energía) y la Ley de Shannon-Hartley equivale al segundo principio, que establece que no es posible convertir totalmente en trabajo útil la energía obtenida de una fuente de calor, o dicho de otro modo, que un motor nunca puede funcionar al 100% de eficiencia.

2.2.- MEDIOS DE TRANSMISIÓN

El medio de transmisión, es probablemente la parte más crítica en el diseño de una red, especialmente cuando se trata de redes locales. Mientras que el conjunto de protocolos a utilizar suele estar determinado de antemano por factores externos, y permite por tanto poco margen de maniobra, en el medio físico de transmisión existen generalmente varias posibilidades razonables sobre las que debe decidir el diseñador. Además las inversiones que se hacen en infraestructura suelen ser la parte más importante del costo total de la red y, además, es la más difícil de modificar más adelante (es más sencillo cambiar ordenadores o equipos de comunicaciones que retirar el cableado instalado en el edificio y sustituirlo por uno nuevo). Por otro lado, este es un campo que por suerte o desgracia evoluciona con mucha rapidez, y lo que hoy puede parecer adecuado quizá no lo sea dentro de dos años (históricamente se consideraba que la velocidad de transmisión de las redes LAN se duplica cada 18 a 24 meses, aunque este ritmo se ha incrementado ultimamente); para tomar una decisión acertada necesario hacer una estimación objetiva de las necesidades actuales y futuras, y una valoración adecuada de las tecnologías disponibles tomando en cuenta su relación costo/prestaciones.

A continuación profundizaremos en los diversos medios de transmisión utilizados actualmente, sin embargo, éste es un campo tan dinámico que la validez de algunos de los datos proporcionados aquí puede ser muy precaria y no alcanzar siquiera a la terminación del curso. Afortunadamente existen multitud de revistas que tratan con más o menos detalle de las novedades que se producen en cuanto a medios de transmisión; la literatura propia de los fabricantes de equipos suele ser otra fuente importante de información.

2.2.1.- Pares de cobre

Es el medio de transmisión mas común hoy en día y consiste en un par de hilos de cobre aislados, con un diámetro del ordende 0,51 mm (24 AWG). Un mismo cable contiene varios pares (generalmente 4) que normalmente están doblados dos a dos formando una doble (o cuádruple) hélice, por lo que se conocen habitualmente como cable de pares trenzados (twisted pair - TP). El propósito del trenzado es minimizar la interferencia eléctrica entre los pares vecinos y la emisión al exterior.

Los cables de par trenzado pueden ir protegidos, además de por su cubierta de plástico por una protección metálica o apantallamiento. Según el tipo de protección o apantallamiento de los cables estos pueden categorizarse en trenzado no apantallado o UTP (Unshielded Twisted Pair), par trenzado apantallado o ScTP (Screened Twisted Pair) y par trenzado completamente apantallado SSTP (Fully shielded twisted Pair). En el primer caso, UTP, el conjunto de 4 pares trenzados va recubierto únicamente por una cubierta de plástico; en el segundo, ScTP, el conjunto de pares va recubierto de una pantalla de papel de aluminio, mientras que en el tercero SSTP, cada par trenzado va recubierto por la na pantalla de papel de aluminio y el conjunto de pares, a su vez, recubierto por una malla de hilos de cobre. Este último tipo de cable es considerablemente más voluminoso y caro, por lo cual se utiliza con menos frecuencia. El objetivo de las pantallas metálicas es reducir las interferencias entre pares adyacentes y la atenuación, mejorando por lo tanto las características de transmisión del cable.

El comportamiento del cable de par trenzado depende de aspectos tales como el grosor, la distancia máxima, el tipo de aislamiento, la densidad de vueltas o grado de trenzado, etc. Los parámetros que se analizan y caracterizan los distintos tipos de cable, además de su ancho de banda, son los siguientes:

- Atenuación

Es la medida de la pérdida de energía de la señal a lo largo de la línea de transmisión, debida a la energía radiada al ambiente. Asegurar una atenuación pequeña es crítico, porque la tecnología de procesamiento de señal no puede compensar una atenuación excesiva de ésta. Cuanto mas apantallado está un cable, menor es la atenuación que experimenta. Por otro lado, la atenuación depende de la frecuencia de la señal transmitida, siendo esta mayor para frecuencias mayores, cualquiera que sea el tipo de cable.

- Near-End Crosstalk (NEXT) y Equal Level Far-End Crosstalk (ELFEXT)

La interferencia entre pares NEXT cuantifica el acoplamiento de señal no deseado entre pares adyacentes que es recibido en el mismo extremo del cable donde se produce la transmisión de los pares que producen la interferencia.

Aunque inicialmente se prestaba menos atención a la interferencia FEXT, la naturaleza sofisticada de la transmisión full-dúplex hace que también sea preciso especificar dicha interferencia. La interferencia FEXT entre pares cuantifica el acoplamiento de señal no deseado entre pares adyacentes en el extremo receptor de los pares que provocan la interferencia. ELFEXT se calcula restando la atenuación de la pérdida FEXT. Los niveles pobres de ELFEXT pueden provocar un aumento de la tasa de error y pérdida de paquetes.

- Relación Atenuación a Interferencia (ACR)

Una característica clave de los sistemas UTP y ScTP es la diferencia entre la atenuación y el NEXT, conocida como ACR. Un valor positivo de ACR significa que la potencia de la señal transmitida es mayor que el NEX. El valor de ACR permite definir un ancho de banda para el cual la relación señal/ruido es suficiente para soportar ciertas aplicaciones. Es interesante tener en cuenta que el procesamiento digital de la señal puede efectuar una cancelación de las interferencias permitiendo a ciertas aplicaciones extender el ancho de banda utilizable hasta y por encima del punto por el cual ACR es igual a cero. Incluso en este caso, la frecuencia para la cual está asegurado un valor de ACR positivo proporciona el límite del ancho de banda útil de los sistemas de par trenzado.

- Suma de potencia

La suma de NEXT y FEXT permite asegurar que los canales son lo suficientemente robustos para soportar la interferencia de múltiples pares que interfieren. El sumatorio acumula la interferencia de todas las combinaciones de pares. Es preciso controlar esta característica para asegurar la compatibilidad del cable con aplicaciones que utilizan los cuatro pares para transmitir y recibir señales simultáneamente, como por ejemplo Gigabit Ethernet.

- Pérdida de retorno

La pérdida de retorno es una medida de las reflexiones que se producen a lo largo de la línea de transmisión y está relacionada con la diferencia de impedancias que aparecen a lo largo del cableado. Dado que algunos de los estándares emergentes hacen uso de esquemas de codificación de transmisión full dúplex (se superponen sobre el mismo par de conductores señales transmitidas y recibidas) son sensibles a errores debidos a los retornos de señal.

- Retraso de propagación y dispersión del retraso

El retraso en la propagación es el tiempo que pasa desde que la señal se transmite hasta que es recibida en el otro extremo. La dispersión en el retraso es la diferencia entre los pares con retraso menor y mayor respectivamente. Existen errores de transmisión relacionados con el retraso excesivo y la dispersión de retraso, como por ejemplo el aumento en el "jitter" y tasas de error de bi elevadas.

Dependiendo de las características de los cables de par trenzado, su rango de frecuencias de operación puede variar desde los 100 Mhz hasta los 600 Mhz, soportando Mb/s a varios kilómetros o incluso Gb/s en algunos cientos de metros. Hoy en día todos los sistemas de red local pueden emplear este tipo de cable, que es junto con la fibra óptica el más utilizado. Debido a sus características, capacidad, flexibilidad y precio, es de esperar que siga siendo popular durante bastantes años, especialmente mientras la electrónica de comunicaciones que utiliza sea sensiblemente más barata que la utilizada por los sistemas de fibra óptica.

Como se mencionará más adelante, existen unas normas para el establecimiento de cableado en edificios comerciales. El cableado realizado según esas normas se denomina cableado estructurado, y permite integrar voz (telefonía) y datos (red local). Esas normas son la ANSI/EIA/TIA 568-B y la ISO/IEC 11801.

Entre otros aspectos, las normativas de cableado estructurado clasifican los diferentes tipos de cable de pares trenzados en categorías de acuerdo con sus características para la transmisión de datos, las cuales vienen fijadas fundamentalmente por la densidad de trenzado del cable (número de vueltas por metro) y los materiales utilizados en el recubrimiento aislante. Conforme sube la categoría aumenta la densidad de vueltas y mejora la propagación de señales eléctricas de alta frecuencia (por ejemplo la atenuación disminuye), por otro lado, cuanto mayor es la frecuencia de la señal transmitida, mayor es la atenuación que sufre para un determinado cable. Por esta razón los estándares especifican valores límite en los parámetros anteriores para diversas frecuencias hasta una considerada la máxima admisible para cada categoría. En la tabla adjunta aparecen las categorías actualmente definidas o en curso de definición, y las frecuencias máximas correspondientes.

Categoría	Categoría 5 y Clase D con requisitos adicionales TSB95 y FDAM 2	Categoría 5e (568-A-5)	Propuesta de Categoría 6 Clase E (Rendimiento a 250 MHz mostrado en paréntesis)	Propuesta de Categoría 7 Clase F (Rendimiento a 600 MHz mostrado en paréntesis)
Rango de frecuencias	1-100 MHz	1-100 MHz	1-250 MHz	1-600 MHz
Atenuación	24 dB	24 dB	21.7 dB (36 dB)	20.8 dB (54.1 dB)
NEXT	27.1 dB	30.1 dB	39.9 dB (33.1 dB)	62.1 dB (51 dB)
Suma NEXT	N/A	27.1 dB	37.1 dB (30.2 dB)	59.1 dB (48 dB)
ACR	3.1 dB	6.1 dB	18.2 dB (-2.9 dB)	41.3 dB (-3.1 dB)
Suma ACR	N/A	3.1 dB	15.4 dB (-5.8 dB)	38.3 dB (-6.1 dB)
ELFEXT	17 dB (new requirement)	17.4 dB	23.2 dB (15.3 dB)	ffs
Suma ELFEXT	14.4 dB (new requirement)	14.4 dB	20.2 dB (12.3 dB)	ffs
Pérdida de retorno	8 dB (new requirement)	10 dB	12 dB (8 dB)	14.1 dB (8.7 dB)
Retraso de propagación	548 nsec	548 nsec	548 nsec (546 nsec)	504 nsec (501 nsec)
Dispersión de la propagación	50 nsec	50 nsec	50 nsec	20 nsec

Tabla 2.1

Las categorías 1 y 2, definidas en las primeras versiones del estándar, no forman parte de las normativas de cableado estructurado y no se utilizan (de hecho no son UTP en sentido estricto, ya que carecen de trenzado). Para cableado estructurado actualmente están definidas las categorías 3, 5e y 6, no siendo ya reconocidas las categorías 4 y 5. El cable de categoría 3 apenas se utiliza, pues su rango de operación 1-16 Mhz, suficiente para la operación de los estándares originales de Ethernet y Token Ring se ha visto superado por las velocidades crecientes demandados por los usuarios. El cable más utilizado hoy en día es el de categoría 5e, si bien se está extendiendo ya el uso del de categoría 6.

La 7 se encuentra en curso de especificación y hará uso de cable SSTP, para alcanzar frecuencias de hasta 600 Mhz, muy superiores a las necesidades actuales. El elevado costo del cable SSTP y de su instalación, comparable al de la fibra óptica, lo hace poco atractivo para el usuario final, al menos por el momento.

La clasificación en categorías, además de aplicarse a un cable aislado se aplica a instalaciones ya hechas; a menudo sucede que una instalación hecha con cable categoría 5 no puede funcionar a 100 MHz debido a que el operario no ha puesto suficiente cuidado en la instalación: errores comunes son por ejemplo destrenzar una longitud excesiva en los conectores, apretar demasiado las bridas o doblar excesivamente el cable. A veces una instalación hecha con cable categoría 5 es utilizada inicialmente con redes de 10 Mb/s y funciona perfectamente, pero deja de funcionar cuando más tarde se utiliza el mismo cableado para montar una red de 100 Mb/s, que explota realmente al límite las posibilidades del cableado instalado.

2.2.2.- Cable coaxial

El cable coaxial es otro medio de transmisión común. Tiene mejor apantallamiento que el par trenzado de cualquier tipo y categoría, por lo que puede llegar a distancias y velocidades mayores. En transmisión de datos suelen usarse dos tipos de cable coaxial: el de 50 Ω y el de 75 Ω . El de 50 Ω se utiliza en transmisión digital y se suele denominar *cable coaxial de banda base*; el cable de 75 Ω se utiliza en transmisión analógica y se denomina *cable coaxial de banda ancha*; el término *banda ancha* tiene su origen en la transmisión telefónica, donde se utiliza para indicar cualquier canal con una anchura mayor de 4 KHz. El cable de 50 Ω se utiliza en redes locales antiguas (de hecho, aunque el estándar de cableado estructurado recoge su existencia lo desaconseja para nuevas instalaciones); el de 75 Ω se emplea sobre todo en las redes de televisión por cable.

Un cable coaxial esta formado por un núcleo de cobre rodeado de un material aislante; el aislante está cubierto por una pantalla de material conductor, que según el tipo de cable y su calidad puede estar formada por una o dos mallas de cobre, un papel de aluminio, o ambos. Este material de pantalla está recubierto a su vez por otra capa de material aislante.

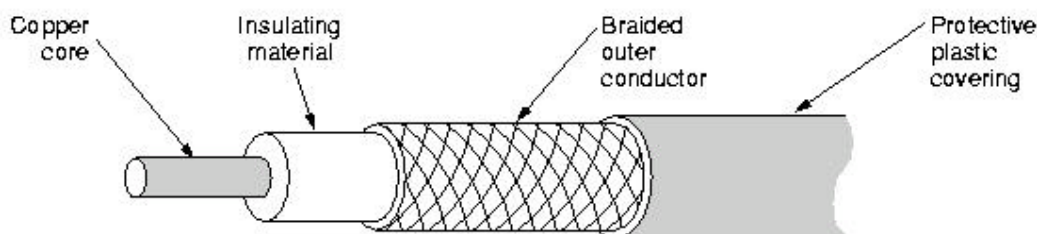


Figura 2.1

Por su construcción el cable coaxial tiene una alta inmunidad frente al ruido, y puede llegar a tener unos anchos de banda considerables. En distancias de hasta 1 Km es factible llegar a velocidades de algunos Gb/s. El cable coaxial debe manipularse con cuidado ya que por ejemplo un golpe o doblez excesivo pueden producir una deformación en la malla que reduzca el alcance del cable.

Existen dos formas de conectar dispositivos a un cable coaxial.

- Los *conectores intrusivos*, que consisten en cortar el cable e insertar una *unión en T*, que reconecta el cable y al mismo tiempo, proporcione una tercera conexión hacia el dispositivo.
- Los *conectores no intrusivos* o de *tipo vampiro*; en ellos se practica un orificio en el cable, con un diámetro y profundidad muy precisos, que atraviesa la malla y las dos capas aislantes y termina en el conductor central. El conector abraza el cable y tiene tres contactos, dos de ellos perforan la cubierta externa conectando con la malla del cable coaxial y el tercero penetra en el orificio haciendo contacto con el núcleo y proporcionando una salida hacia el ordenador.

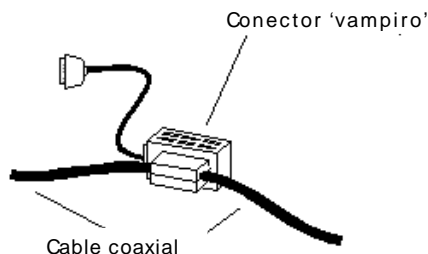


Figura 2.2

Los conectores en T presentan la desventaja de tener que poner la red fuera de servicio cuando se va a realizar una nueva conexión; además, cuantos más conectores haya en el cable, mayor atenuación se produce en la señal y mayor probabilidad hay de que alguno de ellos tenga una mala conexión y origine problemas intermitentes.

Los conectores de tipo vampiro no presentan estos problemas, pero deben instalarse con mucho cuidado, especialmente en la perforación del orificio, puesto que si es muy profundo puede romper el núcleo de cobre y si es poco profundo puede provocar fallos intermitentes en la conexión.

El uso del cable coaxial en redes LAN ha caído en desuso debido a las facilidades en el empleo del par trenzado, por lo que sólo se encuentra en algunos segmentos de redes muy antiguas.

2.2.3.- Fibra óptica

Si hubiera que mencionar un único factor como el principal causante del elevado desarrollo que han tenido las comunicaciones telemáticas en los años recientes, ese sería sin duda las fibras ópticas.

Recordemos que tanto el teorema de Nyquist como la ley de Shannon-Hartley establecen que la capacidad de un canal viene limitada por su ancho de banda, que a su vez está limitada por la frecuencia de la señal portadora. Así pues, si queremos aumentar la capacidad deberemos subir la frecuencia portadora; siguiendo por este camino llegamos a la luz visible. Sólo necesitamos tres elementos: un emisor, un medio de transmisión, y un detector. El emisor transmite un bit por baudio, es decir, tiene dos estados posibles: un pulso de luz representa un 1 y la ausencia de pulso un 0. El medio de transmisión es una fibra de vidrio ultrafina (de unas pocas micras de diámetro). El detector genera un pulso eléctrico cuando recibe luz. La transmisión por fibra óptica siempre es simplex; para conseguir comunicación full-duplex es necesario instalar dos fibras, una para cada sentido.

Para conseguir que la luz que sale del emisor sea 'capturada' por la fibra hasta su destino y no se pierda por difusión hacia el exterior se aprovecha una propiedad de las ondas conocida como *reflexión*, consistente en que cuando una onda pasa de un medio a otro es parcialmente reflejada hacia el primero (como si se tratara de un espejo); la proporción en que la onda se refleja depende de los índices de refracción de ambos medios (una propiedad física característica de cada material relacionada con la velocidad de la luz en ese medio) y del ángulo de incidencia, a mayor ángulo mayor reflexión (el ángulo se mide referido a una línea perpendicular a la superficie de separación de ambos medios); cuando la luz pasa de un medio con mayor índice de refracción a uno con menor índice existe un ángulo de incidencia, conocido como *ángulo límite*, por encima del cual la luz se refleja totalmente. Así, si el rayo de luz incide de forma suficientemente longitudinal en la fibra como para no superar el ángulo límite 'rebotará' y quedará 'atrapado' en la fibra, pudiendo así viajar grandes distancias sin apenas pérdidas. Si la fibra fuera un simple hilo de vidrio la superficie exterior actuaría como superficie de reflexión, aprovechando que el aire tiene un menor índice de refracción que el vidrio, pero esto requeriría tener controlado el entorno exterior para asegurar que la fibra siempre está rodeada de aire, lo cual es casi imposible; en su lugar lo que se hace es utilizar dos fibras concéntricas, la interior con un índice de refracción mayor transporta la luz, y la exterior actúa como 'jaula' para evitar que ésta escape.

Existen básicamente dos sistemas de transmisión de datos por fibras ópticas: los que utilizan LEDs (Light-Emitting Diode) y los que utilizan diodos láser. En los sistemas que utilizan LEDs la transmisión de un pulso de luz (equivalente a un bit) genera múltiples rayos de luz, pues se trata de luz normal no coherente; se dice que cada uno de estos rayos tiene un *modo* y a la fibra que se utiliza para transmitir luz de emisores LED se la denomina **fibra multimodo**. Las fibras se especifican indicando el diámetro de la fibra interior y exterior; las fibras multimodo típicas son de 50/100 y 62,5/125 micras (que significa diámetro interior de 62.5 y exterior de 125 micras); a título comparativo diremos que un cabello humano tiene un diámetro de 80 a 100 micras.

Los diodos láser emiten luz coherente, hay un único rayo y la fibra se comporta como un guía-ondas; la luz se propaga a través de ella sin dispersión; la fibra utilizada para luz láser se llama **fibra monomodo**. Las fibras monomodo se utilizan para transmitir a grandes velocidades y/o a grandes distancias. La fibra interior (la que transmite la luz) en una fibra monomodo es de un diámetro muy pequeño, de 8 a 10 micras (del mismo orden de magnitud que la longitud de onda de la luz que transmite); una fibra monomodo típica es la de 8,1/125 micras.

Para la transmisión de luz por fibras ópticas se utilizan tres rangos de frecuencias, aquellos en los que las fibras muestran menor absorción (mayor 'transparencia'). Son bandas situadas alrededor de 850, 1300 y 1550 nm, y se encuentran por tanto en la zona infrarroja del espectro (la parte visible esta entre 400 y 760 nm); se conocen como primera, segunda y tercera ventana, respectivamente. El costo de la optoelectrónica aumenta conforme aumenta la longitud de onda utilizada, es decir los emisores y detectores de primera ventana son los más baratos y los de tercera los más caros.

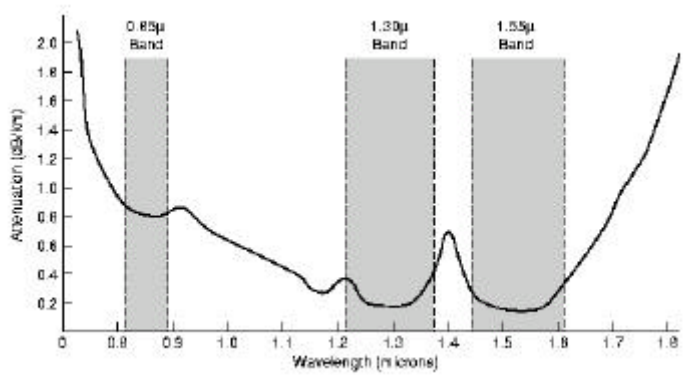


Figura 2.3

El pico a 1,4 micras que separa la segunda y tercera ventanas se debe a la absorción producida por el ion hidroxilo, consecuencia de cantidades residuales de agua en el proceso de fabricación del vidrio. La mejora en las técnicas de producción de fibras ópticas está ampliando continuamente estas ventanas. La segunda ventana tiene una anchura de 18 THz (THz = 1 TeraHertzio = 1000 GHz = 10^{12} Hz), y la tercera una anchura de 12,5 THz. Suponiendo una eficiencia de 1 bps/Hz la segunda y tercera ventanas suministrarían un ancho de banda de ¡ 30 Tbps !.

A modo de ejemplo estas son las características de atenuación de los tipos de fibra más comunes:

Tipo de fibra	Diámetro del núcleo (mm)	Diámetro de la funda (mm)	Atenuación (dB/Km)		
			850 nm	1300 nm	1500 nm
Monomodo	5,0	85 o 125	2,3		
Monomodo	8,1	125		0,5	0,25
Multimodo	50	125	2,4	0,6	0,5
Multimodo	62,5	125	3,0	0,7	0,3
Multimodo	100	140	3,5	1,5	0,9

Tabla 2.2

La fibra óptica es un medio de transmisión extremadamente eficiente. En comparación un cable UTP-5 transmitiendo una señal de 62,5 MHz (la frecuencia utilizada por 100BASE-TX) tiene una atenuación de 17 dB/100m. Esto significa que mientras que en 1 Km de fibra óptica perdemos el 50% de la señal en primera ventana, el 15% en segunda y el 7% en tercera, cuando conectamos dos equipos por Fast Ethernet (100BASE-TX) con 100 m de cable UTP-5 perdemos el 98% de la señal.

Cuando se interconectan dos equipos mediante un par de fibras ópticas multimodo, si utilizan luz normal no láser en primera ventana es posible averiguar cual es el lado transmisor simplemente mirando el extremo de ambas fibras y viendo cual de ellas emite luz. **Esto nunca debe hacerse cuando el emisor es una luz láser, como es el caso de fibras monomodo, ya que la luz láser es perjudicial para la vista,** y además al tratarse de una emisión infrarroja en una banda muy estrecha el ojo no aprecia luz alguna, con lo que el daño puede ser aún mayor.

Normalmente en redes locales, con distancias no superiores a 2 Km, se utilizan fibras multimodo con emisores LED no láser de primera o segunda ventana. A muy altas velocidades (por encima de 400-600 Mb/s) es necesario utilizar emisores láser, ya que los emisores de luz normal no pueden

reaccionar con la rapidez suficiente. Por eso en algunas redes locales (Gigabit Ethernet, Fibre Channel y ATM) se utilizan emisores láser de primera ventana, incluso a cortas distancias.

En redes de área extensa siempre se utiliza fibra monomodo y emisores láser. Actualmente en segunda ventana se puede llegar a distancias de 40 Km y en tercera hasta 160 Km sin amplificadores intermedios. El mayor costo de los emisores se ve en este caso sobradamente compensado por la reducción en amplificadores y regeneradores de la señal

Las tecnologías de red local llegan a velocidades de transferencia de hasta 1 Gb/s sobre fibra óptica (Gigabit Ethernet por ejemplo). En redes de área extensa el mayor costo de la fibra estimula su mejor aprovechamiento, por lo que se llega actualmente a velocidades de 2,5 y 10 Gb/s.

Para mejor aprovechar las fibras ópticas de largo alcance actualmente se utilizan varias longitudes de onda por fibra en una misma ventana (normalmente la tercera) mediante lo que se conoce como multiplexación por división en longitud de onda (WDM, Wavelength Division Multiplexing). En una experiencia hecha en 1996 Fujitsu consiguió transmitir 55 canales (haces) independientes por una fibra monomodo utilizando tercera ventana; cada canal tenía una anchura de 0,6 nm y transportaba una señal de 20 Gb/s, con lo que la capacidad total de la fibra era de 1,1 Tb/s. Actualmente ya hay sistemas que permiten enviar 32 haces de 10 Gb/s cada uno por una misma fibra, dando un rendimiento total de 320 Gb/s. Para poder utilizar WDM el emisor debe ajustarse con mucha precisión, los amplificadores han de actuar sobre todo el rango de longitudes de onda de la manera mas lineal posible, y en el lado receptor se ha de descomponer la señal en los canales originales, también de forma muy precisa.

Para la interconexión de fibras ópticas se utilizan tres sistemas: conectores, empalmes y soldaduras. Los conectores ofrecen máxima versatilidad pues pueden ser manipulados por cualquier persona; sin embargo introducen una pérdida de la señal de un 10% aproximadamente (0,5 dB). El empalme consiste en unir y alinear los extremos con cuidado; pierde un 5% de señal (0,2 dB) y lo puede realizar en unos minutos una persona entrenada. La soldadura o fusión tiene una pérdida de señal muy pequeña, pero ha de llevarla a cabo un técnico especializado con equipo altamente sofisticado.

En una comunicación por fibra óptica el emisor transmite con una potencia constante y el receptor tiene una sensibilidad mínima para captar la señal de manera fiable. Dicha potencia y sensibilidad suelen medirse en una unidad llamada dBm, que se calcula de la siguiente manera:

$$\text{potencia (dBm)} = 10 \log (P)$$

donde P es la potencia en milivatios. Así, un emisor con una potencia de 1 milivatio equivale a 0 dBm, con un microvatio a -30 dBm, y así sucesivamente.

Un emisor LED tiene una potencia típica entre -10 y -25 dBm, y uno láser entre 0 a -13 dBm. Por otro lado, la sensibilidad (potencia mínima que un receptor debe recibir para poder detectar la señal sin errores) es de -20 a -35 dBm en detectores LEDs y de -20 a -45 dBm en láser.

Cuando una señal viaja por una fibra se produce una atenuación debido a los empalmes y conectores, y a la absorción de la luz por la fibra; por ejemplo en segunda ventana la pérdida es de aproximadamente 1 dB/Km en fibras multimodo y de 0,4 dB/Km en fibras monomodo. Al valor así obtenido se debe añadir 1,5 dB debido a otros factores que no detallaremos. Con estos datos y sabiendo la longitud de fibra y el número de conectores y empalmes es posible calcular la pérdida de señal que se producirá en un trayecto determinado; si conocemos la potencia del emisor y la sensibilidad del receptor podremos calcular la distancia máxima a la que la señal llegará de manera fiable.

Por ejemplo, si utilizamos fibra multimodo, emisores LED de -15 dBm de potencia, y receptores de sensibilidad mínima de -25 dBm y tenemos dos parejas de conectores en el trayecto (0,5 dB cada una) podremos resistir una pérdida de 7,5 dB en la fibra, equivalente a una distancia de 7,5 Km. Conviene mencionar que esta sería la distancia máxima teórica; en la práctica se suele añadir un factor de seguridad a estos cálculos reduciendo los valores al menos en un 30% para tomar en cuenta los efectos de cambios de temperatura, envejecimiento del material, defectos en la instalación mecánica, etc.

Cuando se transmite un pulso por una fibra multimodo los rayos se reflejan múltiples veces antes de llegar a su destino, con ángulos diversos (todos por encima del ángulo límite, pues de lo contrario se perderían) lo cual hace que la longitud del trayecto seguido por los rayos que forman el pulso no sea exactamente igual para todos ellos; esto produce un *ensanchamiento* del pulso recibido, conocido como **dispersión**, que limita la velocidad de transferencia, ya que el emisor no puede enviar los pulsos con la rapidez que en principio podría; la dispersión es función de dos factores: el ancho de banda y la longitud de la fibra, y se calcula como el producto de ambas magnitudes, así por ejemplo una fibra de 2 Km que transmita a 155 Mb/s (equivalente a 155 MHz) tendrá una dispersión de 310 MHz Km. Con las fibras, emisores y receptores actuales la dispersión máxima tolerable es de 500 MHz Km; por ejemplo, si se transmite con fibras multimodo a 622 Mb/s (que es la velocidad máxima que suele utilizarse con este tipo de fibras) la distancia máxima que puede utilizarse viene limitada a 800 metros por el efecto de dispersión. A 155 Mb/s esta distancia es de 3,2 Km, y a 100 Mb/s de 5 Km. Es fácil comprender por que en distancias grandes se utiliza fibra monomodo. Actualmente se esta trabajando en el desarrollo de pulsos con una forma especial de manera que los efectos de dispersión se cancelen mutuamente. Estos pulsos se llaman *solitones* y son un campo muy activo de investigación.

A menudo los fabricantes dan cifras orientativas del alcance de sus equipos, como por ejemplo que la distancia máxima en fibra multimodo es de 2 Km o en monomodo de 15 a 30 Km. Estos valores suelen ser muy conservadores y no dar problemas, pero en casos que haya muchos conectores o empalmes, o que queramos superar las distancias que da el fabricante, deberemos proceder a hacer los cálculos detallados para asegurarnos que no superamos la atenuación máxima recomendable; para los cálculos deberemos conocer la potencia del emisor y la sensibilidad del receptor.

En redes locales, donde las distancias son pequeñas, se suele utilizar emisores LED y fibras multimodo, ya que son mas baratos que los láser, tienen una vida mas larga, son menos sensibles a los cambios de temperatura y son mas seguros. En cambio las compañías telefónicas, que normalmente necesitan largas distancias y altas velocidades, utilizan casi exclusivamente emisores láser y fibras monomodo.

2.2.4.- Comparación de fibra óptica y cable de cobre

A menudo en el diseño del cableado de una red local es necesario elegir entre fibra óptica o cable de cobre, ya que la mayoría de los sistemas de red local admiten el uso de ambos medios. En la mayoría de los casos las únicas opciones que vale la pena considerar son el cableado de cobre UTP categoría 5 y la fibra óptica multimodo 62,5/125 (salvo que por distancia tuviéramos que usar fibra monomodo); el cable de cobre permite llegar a 1 Gb/s hasta 100m y con la fibra a velocidades similares (o mayores con enlaces agrupados) y distancias de algunos Km. Así pues, si la distancia a cubrir es superior a 100 metros es preciso usar fibra. Además se recomienda utilizar fibra cuando se da alguna de las siguientes circunstancias:

- El cableado une edificios diferentes; en este caso el uso de cable de cobre podría causar problemas debido a posibles diferencias de potencial entre las tierras de los edificios que podrían provocar corrientes inducidas en el cable.
- Se prevé pasar a velocidades superiores a 155 Mb/s más adelante; si la distancia es superior a 500-800 metros se debería además considerar la posibilidad de instalar fibra monomodo.
- Se desea máxima seguridad en la red (el cobre es más fácil de interceptar que la fibra).
- Se atraviesan atmósferas que pueden resultar corrosivos para los metales
- Se sospecha que puede haber problemas de interferencia eléctrica por proximidad de motores, luces fluorescentes, o equipos de alta tensión (por ejemplo, equipos de laboratorio).

Para evaluar la necesidad o no de instalar fibra para evitar las interferencias producidas por la red eléctrica existe una serie de recomendaciones sobre la distancia mínima recomendada entre líneas de alimentación eléctrica y cables de datos UTP. Se supone que la tensión en las líneas eléctricas es menor de 480 voltios.

	Potencia (en KVA)		
	Menos de 2	Entre 2 y 5	Mas de 5
Líneas de corriente o equipos eléctricos no apantallados	13 cm	30 cm	60 cm
Líneas de corriente o equipos no apantallados pero próximos a cables de tierra	6 cm	15 cm	30 cm
Líneas apantalladas (p. ej. dentro de tubo metálico con toma de tierra)	0 cm	15 cm	30 cm
Transformadores y motores eléctricos	1 m	1 m	1 m
Luces fluorescentes	30 cm	30 cm	30 cm

Tabla 2.3

Cuando no se requiere fibra es recomendable utilizar cobre, ya que es más barato el propio cableado, la instalación y sobre todo las interfaces de conexión de los equipos; además es más fácil realizar modificaciones en los paneles de conexión, empalmes, etc.

No obstante al diseñar una nueva instalación es importante prever futuras modificaciones o ampliaciones que se puedan producir y que requieran el uso de un cableado diferente.

En general, y como veremos más adelante, en una instalación se utiliza fibra para los tendidos principales (uniones entre edificios y probablemente distribución por plantas dentro del edificio) y cobre para la distribución de red a los despachos.

2.3.- TRANSMISIÓN INALÁMBRICA

Hasta aquí hemos visto como las ondas eléctricas transmitidas por hilos de cobre, o las ondas luminosas transmitidas por fibras ópticas, nos permitían transportar bits. En realidad las ondas eléctricas y luminosas son dos tipos de ondas electromagnéticas. Ahora vamos a ver como se utilizan esas mismas ondas electromagnéticas para transmitir bits cuando se propagan por el aire y no las mantenemos cautivas en un hilo de cobre o de vidrio. Este tipo de enlaces tienen interés cuando se trata de establecer una conexión con un ordenador en movimiento, o cuando se quiere realizar una conexión entre ordenadores sin tender cableado, bien por razones de rapidez, provisionalidad, estética o imposibilidad física.

2.3.1.- El espectro electromagnético

La zona del espectro electromagnético que tiene interés para la transmisión de datos incluye las partes denominadas radiofrecuencia (10 KHz a 300 MHz), microondas (300 MHz a 300 GHz), e infrarroja (300 GHz a 400 THz). Cuando se trata de radiofrecuencia o microondas es normal referirse a las ondas por su frecuencia, en cambio cuando se habla del infrarrojo se suele utilizar la longitud de onda. Recordemos que ambas magnitudes están relacionadas por la fórmula:

$$\lambda f = c$$

donde λ es la longitud de onda, f la frecuencia y c la velocidad de la luz en el vacío. Así por ejemplo, una onda de 30 GHz, que corresponde a la zona de microondas, tiene una longitud de onda de 1 cm.

Las características de transmisión de las ondas en el aire dependen en gran medida de la frecuencia de la onda que se transmite. En la zona de radiofrecuencias el comportamiento es poco direccional y las ondas pueden atravesar obstáculos de cierto tamaño sin dificultad. Por ello se utiliza esta parte del espectro para emisiones de radio principalmente. Conforme nos acercamos a las microondas la transmisión es cada vez mas direccional y sensible a los obstáculos; a partir de 100 MHz la transmisión se hace en línea recta y los obstáculos (un edificio o una montaña) impiden la comunicación; a partir de unos 10 GHz incluso la lluvia absorbe parte de la potencia, reduciendo la

señal recibida. Por último en el infrarrojo (a partir de unos 500 GHz) el comportamiento es completamente direccional y la absorción por fenómenos meteorológicos como la niebla o la contaminación es notable, por lo que sólo pueden realizarse transmisiones a corta distancia y con buenas condiciones meteorológicas.

En la práctica el rango de frecuencias más utilizado para la transmisión de datos es el de las microondas porque permite elevadas velocidades de transmisión dado su ancho de banda, tienen un alcance razonable y está relativamente exento de interferencias de los fenómenos más comunes. La elevada direccionalidad impone la condición de la visión directa, lo cual obliga a instalar repetidores cuando se cubren grandes distancias, pero es también una ventaja ya que permite disponer de la misma frecuencia en haces próximos sin interferencia, y concentrar la potencia de emisión en un solo sentido. Antes de la aparición de las fibras ópticas las microondas eran el sistema preferido por las compañías telefónicas para cubrir grandes distancias con anchos de banda elevados; aún hoy en día se basa en este sistema buena parte de la infraestructura, ya que es barato y efectivo. Es bastante típico utilizar radioenlaces de 2, 34 y 140 Mb/s. Por ejemplo Retevisión dispone en España de un total de 47.000 Km de circuitos digitales por radioenlaces de microondas de 140 Mb/s; estos circuitos se utilizan para transmitir las diversas señales de televisión, para unir la red de telefonía móvil GSM de Airtel y para ofrecer circuitos de datos y telefonía a larga distancia.

Las ondas de radio se emplean para comunicaciones de baja velocidad; equipos conocidos como radio-módems permiten realizar una conexión de 9,6 Kb/s por un canal de radio. Los radioaficionados utilizan sus sistemas de transmisión para transmitir paquetes IP constituyendo actualmente una parte importante de la Internet; sin embargo, debido a la poca anchura de las bandas asignadas a estos fines, a la poca potencia de los emisores y a su mucha interferencia las velocidades que se obtienen son muy bajas; además su uso con fines comerciales está prohibido.

Para evitar el caos en las emisiones de radio la asignación de frecuencias está sujeta a unas normas internacionales dictadas por la ITU-R, y en cada país existe un organismo encargado de asignar las frecuencias que pueden utilizarse (esto sólo rige para la radiofrecuencia y las microondas, la luz infrarroja no lo requiere debido a su elevada direccionalidad y corto alcance). En España el organismo encargado de la asignación de frecuencias era hasta 1997 la hoy extinta DGTEL (Dirección General de Telecomunicaciones). Generalmente se aplica una política altamente restrictiva en la asignación de frecuencias ya que se las considera un bien escaso, por lo que sólo se conceden a empresas portadoras (Telefónica, Airtel, Retevisión, etc.) y a servicios públicos y de emergencia (Correos y Telégrafos y Protección Civil por ejemplo). Como excepción a lo anterior se puede utilizar sin autorización la banda comprendida en el rango de 2,400 a 2,484 GHz, denominada banda Industrial/Científica/Médica, cuando se utilizan emisores homologados cuya potencia no supere los 100 mW; existen en el mercado equipos de estas características que con una antena yagi altamente direccional (parecida a las antenas de recepción de televisión) permiten establecer un enlace de 2 Mb/s a distancias de 4 a 6 Km. Esta banda es utilizada también por algunas LANs inalámbricas; en estos casos si se quiere tener movilidad se utilizan antenas omnidireccionales (aunque es preciso mantener la visión directa con el emisor). Estos equipos de transmisión de datos por radio incorporan sofisticados sistemas y protocolos propios de bajo nivel que aseguran una transmisión fiable de la información aun en ambientes ruidosos desde el punto de vista radioeléctrico.

La radiación infrarroja puede utilizarse para transmitir datos a través del aire, igual que se utiliza el mando a distancia para transmitir órdenes al televisor. La direccionalidad es casi absoluta, como cabría esperar de una onda luminosa; también es muy buena la relación señal-ruido; el único inconveniente es que el alcance es relativamente pequeño, lo cual la convierte en un buen candidato para una LAN inalámbrica. Los sistemas de transmisión por luz infrarroja también pueden enlazar edificios separados por distancias cortas (máximo 1 Km) con velocidades que pueden llegar a los 155 Mb/s; podemos considerar el equipo de transmisión en este caso como la fibra óptica 'virtual' que une ambos edificios por arriba.

2.4.- Cableado Estructurado

A medida que las redes de comunicaciones se han vuelto más complejas y más críticas las tareas que se desarrollan sobre ellas, resulta tanto más importante que estén construidas sobre unos buenos cimientos. El primer paso para conseguir la adaptabilidad, flexibilidad y longevidad necesaria en las redes locales de hoy en día es la utilización de cableado estructurado.

Si el cableado está bien diseñado como un sistema estructurado, puede permitir una administración sencilla de movimientos, añadidos y cambios y una migración suave y sencilla a nuevas topologías de red. Un mal diseño, por el contrario, limitará todos los aspectos anteriores, además de producir errores de red más frecuentes y dificultar la resolución de problemas en la red.

A principios de los ochenta fueron numerosos, diferentes e incompatibles los sistemas de cableado que se utilizaron. Los fabricantes "capturaban" a los clientes en sistemas propietarios, basados en tipos de cables diferentes (coaxiales, twinaxiales, ...) con parámetros y topologías particulares y que no interoperaban con los de otros fabricantes. Además, si un cliente decidía cambiar sus sistemas, no sólo necesitaría nueva electrónica y software sino que debería instalar un nuevo sistema de cableado.

La resolución de problemas sobre estos sistemas propietarios resultaba costosa: un problema en una estación de trabajo podía hacer que todo el sistema se viniera abajo, sin proporcionar ninguna indicación para que el gestor de la red pudiera identificar el problema. En el caso de una topología de anillo, por ejemplo, la búsqueda de un problema suponía comenzar en una máquina y físicamente seguir los cables hasta la siguiente y así sucesivamente hasta encontrar la causa del problema, por ejemplo una conexión estropeada; una vez que se reparaba, el sistema volvía a estar en línea. Este proceso podía durar horas o días, dejando a los usuarios sin acceso a la red.

Los movimientos, cambios o incorporaciones a la red también resultaban complicados. Cada vez que se añadía una máquina a la red, se debía instalar nuevo cableado e insertarlo en el anillo o unirlo al bus. Además, todo el sistema debía detenerse para poder añadir al nuevo usuario.

Estos factores contribuyeron al crecimiento de la frustración entre los administradores de red, que buscaban constantemente un modo más fácil de gestionar su red, reducir el tiempo que estaba fuera de servicio y reducir los costes. De hecho, los estudios muestran que hasta el 70% del tiempo que la red permanece fuera de servicio era atribuible al cableado en un sistema no estructurado o propietario (LAN Times, 1991).

Para empeorar las cosas, como parte del acuerdo de división de AT&T de 1984, ésta dejó de ser responsable del cableado dentro de los edificios de los clientes. Desde entonces, el proveedor de servicio sólo mantiene el sistema hasta el punto de demarcación donde el servicio telefónico entra en el edificio. A partir de ese punto, el mantenimiento y actualización del sistema telefónico era responsabilidad del cliente. Como resultado de esta decisión, los administradores de red tenían dos sistemas distintos (el de voz y el de datos) que requerían su atención. El deseo de un solo sistema que pudiera soportar cualquier aplicación sin las ineficiencias y preocupaciones de los sistemas pasados creció exponencialmente desembocando en la aparición del Cableado estructurado.

2.4.1.- Estándares de Cableado Estructurado

El cableado estructurado está diseñado para soportar cualquier aplicación, eliminando la necesidad de seguir las reglas de un fabricante respecto de tipos de cable, conectores, distancias o topologías. Permite la instalación de cableado para un uso y adaptarlo a cualquier aplicación desde la telefonía a una red local (LAN) Ethernet o Token Ring, o a otras tecnologías como ATM.

Una planta de cableado flexible es posible gracias a los estándares adoptados tanto por parte de los fabricantes de cable como los de electrónica. Si un usuario final sigue estos mismos estándares, cualquier aplicación, cable, conector o dispositivo electrónico construido de acuerdo a ellos funcionará sobre su sistema.

El estándar central que especifica un sistema de cableado de telecomunicaciones que soporte un entorno multiproducto y multivendor es el ANSI/TIA/EIA-568-B ("Commercial Building Telecommunications Cabling Standard"). Este estándar fue desarrollado y aprobado en su primera versión en 1991 por los comités del "American National Standards Institute" (ANSI), la "Telecommunications Industry Association" (TIA) y la "Electronics Industry Association" (EIA), especificando los requisitos mínimos y las recomendaciones para la instalación de un cableado de telecomunicaciones dentro de un edificio comercial y entre edificios en un campus. En 1995 el Grupo de Trabajo sobre cableado de telecomunicaciones TR41.8.1 de la TIA publicó la versión ANSI/TIA/EIA-568-A y más recientemente, ha sido publicado la versión ANSI/TIA/EIA-568-B, el cual

ha sido descompuesto por el Comité Técnico TR42 de la TIA en una serie de documentos denominados B.1, B.2 and B.3. El documento B.1 contiene la información necesaria para diseñar, instalar y hacer pruebas de campo de un sistema de cableado estructurado genérico. Los documentos B.2 y B.3 contienen especificaciones de fabricación y prueba de fiabilidad de cables, cables de parcheo y hardware de interconexión. El documento B.3 fue publicado en Abril de 2000 especificando la fibra óptica. El documento B.2 contiene los requisitos eléctricos y mecánicos del par trenzado balanceada, UTP y ScTP. Los documentos B.1 y B.2 se espera que sean publicados dentro del año 2001.

Hay otros estándares relacionados que deben ser tenidos en cuenta para aprovechar todos los beneficios de un sistema de cableado estructurado. Estos estándares incluyen el ANSI/EIA/TIA-569, que proporciona una guía para la preparación de edificios, habitaciones, áreas y caminos en los que se va a instalar medios y equipos de telecomunicaciones, el ANSI/TIA/EIA-606, que estandariza los códigos de colores, etiquetado y documentación en un sistema de cableado, el ANSI/TIA/EIA-607, que prescribe prácticas para la instalación de sistemas de tierra y asegurar un nivel de referencia de tierra fiable, etc.

Por otro lado, el Grupo de Trabajo sobre cableado de telecomunicaciones JTC1 SC 25/WG 3 de la ISO ("International Organization for Standardization") publicó el estándar ISO/IEC 11801 "Information Technology – Generic Cabling for Customer Premises" en 1995. Este grupo ha continuado con la evolución y mejora del estándar ISO/IEC 11801, cuya edición 1.2 se publicó en enero de 2000. Está pendiente la segunda edición con las indicaciones del estándar para las clases E y F cabling así como para los cables y hardware de interconexión de las categorías 6 y 7. Los temas de más interés en las áreas de trabajo son los interfaces para la categoría 7 y la atenuación de los sistemas de cobre. En fibra óptica, el documento ha estandarizado tres clases de cableado de fibra óptica para dar servicio a las aplicaciones presentes y futuras de con longitudes de 300m, 500m y 2000m. La versión de este documento se espera también para el año 2001.

La información recogida en este apartado está recogida del estándar 568-B, de los "Telecomunicación Systems Bulletins" (TSBs): TSB 67, TSB 72, TSB 75, TSB 95 y de los addendum de la TIA/EIA-568-A-1, 'A-2, 'A-3, 'A-4, and 'A-5 y TIA/EIA/IS-729; dado que en algunos casos la terminología y los requisitos técnicos no coinciden con el 11801, sería recomendable la revisión de éste para conocer las diferencias.

Los objetivos de estos estándares son los siguientes:

- Especificar un sistema de cableado de telecomunicaciones genérico de voz y datos que soporte entornos multiproducto y multivendedor.
- Proporcionar directivas para el diseño de equipamiento de telecomunicaciones y productos de cableado destinados a ser empleados por empresas comerciales.
- Permitir la planificación e instalación de sistemas de cableado estructurados en edificios comerciales capaces de soportar las necesidades diversas de comunicación de sus ocupantes.
- Establecer criterios técnicos y de rendimiento para diversos tipos de cableado y hardware de interconexión y para el diseño de sistemas de cableados y su instalación.

El ámbito de los estándares es el siguiente:

- Las especificaciones están dirigidas a instalaciones de telecomunicaciones orientadas a oficinas.
- Los requisitos están pensados para sistemas de cableado estructurado con un tiempo de vida superior a 10 años.
- Las especificaciones incluyen:
 - Medios reconocidos, cable y hardware de conexión, rendimiento, topología, distancias de cableado, prácticas de instalación, interfaces de usuario, rendimientos del canal.

2.4.2.- El Estándar ANSI/TIA/EIA-568-B e ISO/IEC 11801 2ª edición

De acuerdo con el estándar ANSI/TIA/EIA-568-B, un sistema de cableado estructurado consta de seis subsistemas funcionales:

1. La **punto de entrada** o "entrance facility" (EF) es el punto en el que los cables externos se introducen en el edificio y donde está situado el hardware asociado. Los puntos de entrada pueden ser utilizadas para servicios de redes públicas, servicios privados o ambos. Están situados aquí el punto de demarcación entre el portador y el cliente, y los dispositivos de protección contra sobretensiones.
2. La **sala de equipos** o "equipment room" (ER) es un espacio centralizado para los equipos de telecomunicaciones (PBX, conmutadores de vídeo, routers, etc.) que sirven a los usuarios del edificio.
3. El **sistema de cableado troncal** o "backbone cabling", que proporciona interconexiones entre los armarios de telecomunicaciones, salas de equipos y puntos de entrada. Consta de los cables troncales, los "cross-connects" principales e intermedios (MC, IC), las terminaciones mecánicas, y los cables de parcheo ("patch cords") o "jumpers" utilizados para las interconexiones. Los sistemas troncales pueden conectar armarios ("closets") dentro de un edificio o entre edificios.
4. El **armario de telecomunicaciones** o "telecommunication closet" (TC) es el punto donde se termina la distribución horizontal de cables. Todos los tipos reconocidos de cableado horizontal se terminan en un hardware de conexión compatible. Similarmemente, los cables troncales reconocidos también se terminan en el armario. La interconexión se realiza con "jumpers" o "patch cords" para proporcionar una conectividad flexible.
5. El **sistema de cableado horizontal** o "horizontal cabling", que consiste en el medio físico utilizado para conectar cada armario con otro. Pueden utilizarse varios tipos de cables para la distribución horizontal, cada uno con sus propias limitaciones de rendimiento, tamaño, coste y facilidad de empleo.
6. Los componentes del **área de trabajo** o "work-area" (WA) extienden el conector de salida "telecommunication outlet/connector" del sistema de cableado horizontal hasta el equipo o estación. Todos los adaptadores, filtros o "baluns" utilizados para adaptar los distintos equipos electrónicos al sistema de cableado estructurado deben ser externos al armario de telecomunicaciones y quedan fuera del ámbito del estándar 568-B.

El estándar 568-B especifica que un sistema de cableado estructurado debe utilizar una topología de estrella. Cada "telecommunication outlet" de un área de trabajo debe estar conectado a un "cross connect" en un armario de telecomunicaciones. Todos los cables de una planta o área de un edificio, por lo tanto correrán a un punto central para su administración. Cada armario de telecomunicaciones debe estar cableado en estrella al equipo de comunicaciones del edificio. En un entorno de campus, cada edificio está cableado en estrella a un área principal de administración.

Utilizando una topología de estrella se eliminan muchos de los problemas originados por los sistemas propietarios. En primer lugar, una estrella física se mantendrá operativa, puesto que tanto si está conectada como un anillo o como un bus, si falla una estación, la electrónica de comunicaciones puede aislar a la estación particular; esto aísla problemas locales en una estación o su cable de un problema global en el sistema. En segundo lugar, el cableado en estrella permite cambios en la red, tales como el paso de un anillo a un bus sin tender nuevo cable, ahorrando así tiempo, esfuerzo y dinero.

Con una buena planificación, el cambio de un teléfono por una estación de trabajo puede llevarse a cabo fácilmente sin más que cambiar los cables de parcheo en el armario.

2.4.4.- Estructura del sistema de cableado horizontal

El sistema de cableado horizontal se extiende desde el conector del área de trabajo ("telecommunication outlet") hasta el distribuidor horizontal ("horizontal cross-connect") en el armario de telecomunicaciones.

El cableado Horizontal es el cableado que perdurara en una estructura, y debido a la dificultad para remplazarlo, es primordial que se consideren todos los servicios de telecomunicaciones al diseñar el cableado Horizontal.

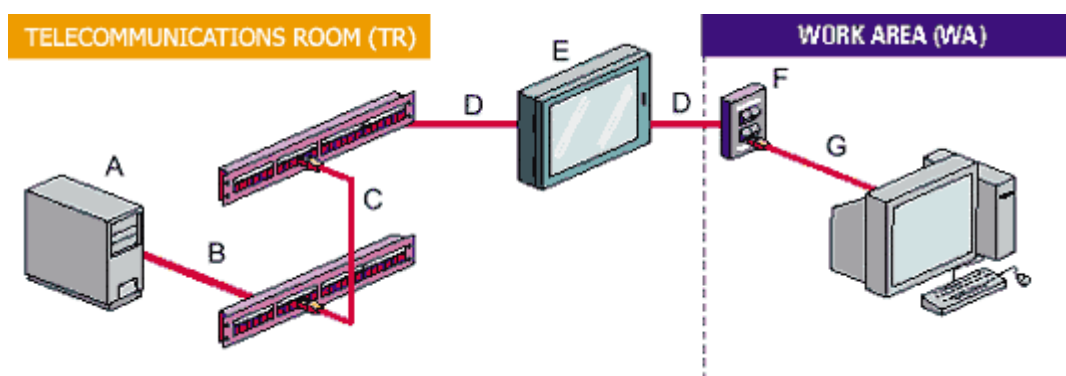


Figura 2-4

Los elementos representados en la Figura 2-4 son los siguientes, los indicado con asterisco no están incluidos en el sistema de cableado horizontal:

- A Equipo del cliente (*)
- B Cable del equipo al HC (*)
- C Cables de parcheo empleados en el distribuidor (Horizontal Cross-Connect, HC), que no deberían exceder los 6m.
- D Cableado horizontal de 90m como máximo en total.
- E Punto de transición/consolidación, TP/CP (opcional)
- F Conector de salida de telecomunicaciones ("Telecommunications outlet/connector") (TO)
- G Cable al equipo del área de trabajo (WA) que no debería exceder de 3m. (*)

Los normas básicas de distancias del cableado horizontal:

1. La distancia máxima para todos los medios en el cableado Horizontal es 90 m. (295 pies).
2. Los cables de interconexión o cables de parcheo en el punto de interconexión no deben de exceder 6 m. (20 pies).
3. Se permite que los cables de parcheo de la toma/conector de telecomunicaciones al área de trabajo sean de 3 m. (9.8 pies).
4. El total permitido para los cables de parcheo o cables de interconexión en un tendido horizontal es 10 m. (33 pies)

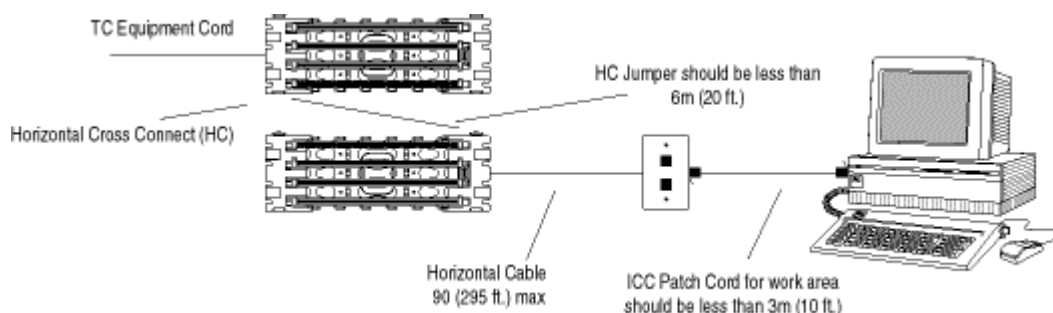


Figura 2-5

Algunos de los puntos especificados en el estándar para el subsistema de cableado horizontal son:

- Los cables reconocidos para ser utilizados en este ámbito son:
 - Par trenzado no apantallado de 4 pares y 100 Ω .
 - 2 Fibras Ópticas (duplex) de 62.5/125 μm o multimodo 50/125 μm
- Están permitidos los cables multipares y multi-unidad, siempre que satisfagan los requisitos de los cables híbridos/agrupados del estándar TIA/EIA-568-B-2.

- Son precisas un mínimo de dos salidas de telecomunicaciones para cada área de trabajo individual.
 - La primera: 100 Ω twisted-pair (5e)
 - La segunda: 100 Ω twisted-pair (5e) o fibra multimodo 62.5/125 μm o 50/125 μm .
- Está permitido un punto de transición ("transition point", TP). Sin embargo, dicho término seá eliminado de la segunda edición del estándar ISO/IEC 11801. Además, el cable plano "bajo moqueta" no está contemplado en el estándar.
- En la versión anterior se contemplo el cable coaxial 50 Ω , si bien no se recomendaba para nuevas instalaciones, en la actual ni siquiera se menciona ya. Tampoco e recomienda ya el cable STP de 150 Ω
- Pueden proporcionarse salidas adicionales, que se sumarán pero no reemplazarán los requisitos mínimos del estándar.
- No se permiten "Bridged taps" ni "splices" para cableado de cobre. (Los "Splices" se permiten para fibra)
- No deberían instalarse componentes específicos como parte del cableado horizontal. Cuando sean necesarios, deben ser ubicados externamente al armario de telecomunicaciones o al distribuidos horizontal (por ejemplo "splitters", "baluns", etc.).
- Debería ser tenida en cuenta la proximidad al cableado horizontal a fuentes de interferencias electromagnéticas (EMI).

El cableado horizontal deberá configurarse con una topología de estrella, estando conectada cada salida del área de trabajo al interconector horizontal (HC) del armario de telecomunicaciones.

2.4.5.- Estructura del sistema de cableado troncal

El sistema de cableado troncal ("backbone") proporciona la interconexión entre armarios de telecomunicaciones, salas de equipos, y puntos de entrada. Incluye cables troncales, puntos de interconexión principales e intermedios, terminaciones mecánicas, y cables de parcheo o "jumpers" empleados para interconexiones troncal a troncal. El cableado troncal también se extiende entre edificios en un entorno de campus.

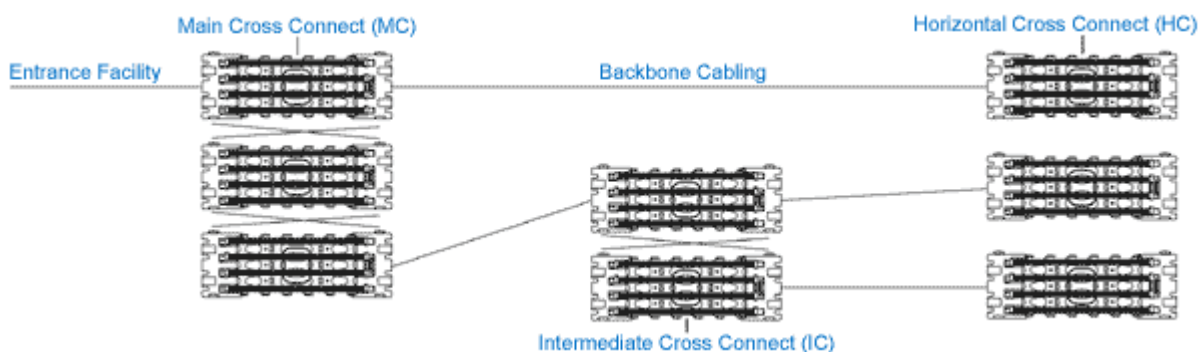


Figura 2-6

Algunos puntos especificados en el estándar ANSI/TIA/EIA-568-B para el subsistema troncal son :

- Los equipos de conexión al cableado troncal deberían estar realizados con longitudes de cable de inferiores a 30m.
- El cableado troncal estará configurado con topología de estrella. Cada punto de interconexión /distribuidor horizontal está conectado directamente al punto de interconexión principal o a un punto de interconexión intermedio, y después al punto de interconexión principal.
- El cableado troncal está limitado a no más de dos niveles jerárquicos de puntos de interconexión (principal e intermedio). No puede existir más de puntos de interconexión punto de interconexión entre un punto de interconexión principal y otro horizontal y no pueden existir más de tres puntos de interconexión entre dos puntos de interconexión horizontales cualesquiera.
- La distancia de cableado troncal máxima será de 90m para gran ancho de banda sobre cobre (sin puntos de interconexión intermedios).

- La distancia entre las terminaciones en la punto de entrada y el punto de interconexión principal estarán documentadas y debería estar disponible para el proveedor de servicios.
- Los tipos de medio reconocidos pueden utilizarse individualmente o en combinación, según se necesite en la instalación. La cantidad de pares y fibras necesarias en un cable troncal individual depende del área servida. Los cables troncal contemplados son:
 - UTP de 4 pares Y 100 Ω
 - Fibra óptica Multimodo 62.5/125 μm o 50/125 μm
 - Fibra Optica Monomodo
- Está permitido el cable multiplexar siempre que se satisfagan los requisitos de la suma de interferencias.
- Debería tenerse en cuenta la proximidad del cableado troncal a fuentes de interferencia electromagnética (EMI).
- Los puntos de interconexión para diferentes tipos de cable deben estar ubicados en las mismas facilidades.
- No están permitidas los **“Bridged taps”** ni **splitters**.

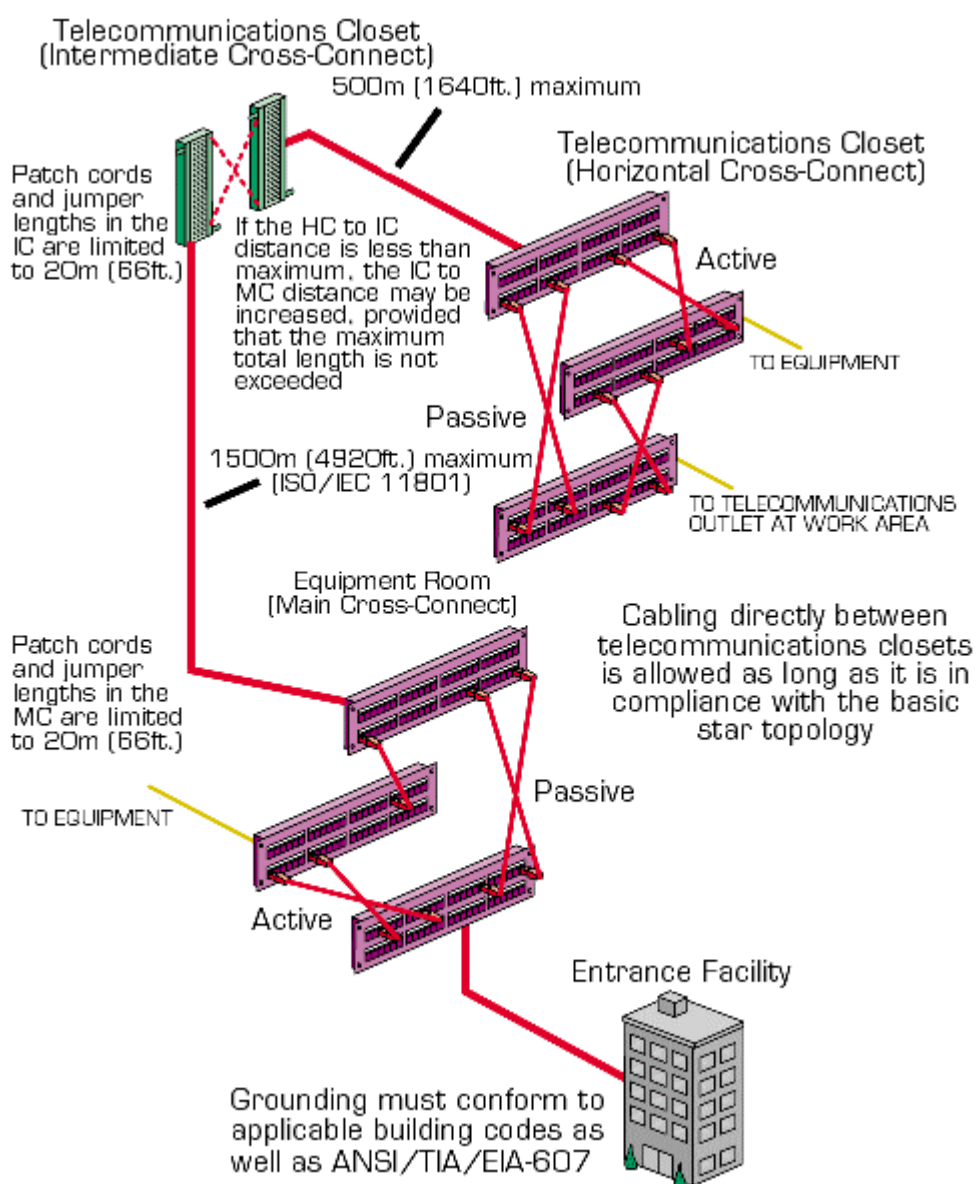


Figura 2-7

Al igual que en el sistema de cableado horizontal, el cable coaxial 50 Ω estaba contemplado en '568-A, pero no se recomendaba para nuevas instalaciones. Los cables coaxiales se contemplan en el estándar principalmente porque su base instalada se utilizó en Ethernet (10BASE2 y 10BASE5). En otras palabras, si un sistema ya ha sido instalado con cable coaxial, puede mantenerse, aunque, no debería utilizarse para nuevas instalaciones. Esta tolerancia, sin embargo ya ha desaparecido en la última versión del estandar.

2.4.6.- El armario de telecomunicaciones

Los armarios de telecomunicaciones (telecommunication closets) son considerados habitualmente como facilidades para la distribución de cableado horizontal, sin embargo también pueden utilizarse para interconexiones principales e intermedias.

Algunas de las especificaciones recogidas en los estándares y relacionadas con los armarios de telecomunicaciones son las siguientes:

- Los armarios diseñados y equipados de acuerdo al estándar ANSI/TIA/EIA-569-A.
- Debería evitarse el estrés del cable que se produce por curvas cerradas, pinzados y estiramiento realizando una gestión del cable bien diseñada.
- Sólo debería utilizarse hardware de conexión que se ajuste al estandar.
- Los cables utilizados para la conexión de los equipos activos están fuera del ámbito del estándar (está permitido un total de 10m para los cables de parcheo, cables de equipos, y cables de área de trabajo para cada enlace).
- No deberán instalarse componentes eléctricos específicos de aplicación como parte del cableado horizontal.
- Las terminaciones del cable horizontal no deberán ser utilizadas para administrar cambios de sistemas de cableado. En su lugar, son necesarios cables de equipos o "jumpers patch cords" para reconfigurar conexiones de cableado.

Los dos tipos de esquemas utilizados para conectar subsistemas de cableado entre sí y con otros equipos son conocidos como "interconnections" o "cross-connections" dependiendo del modo en que se realicen. Es importante tener en cuenta que un distribuidor o punto de interconexión es una facilidad, mientras que una interconexión es un esquema de conexión.

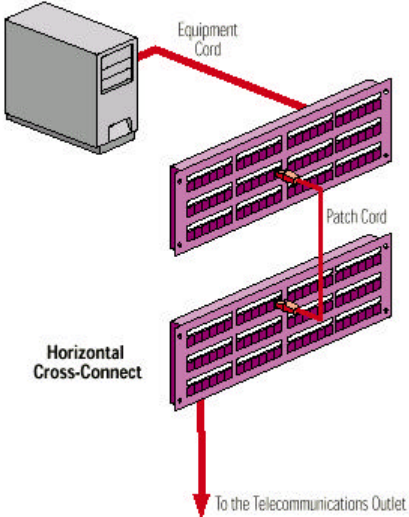
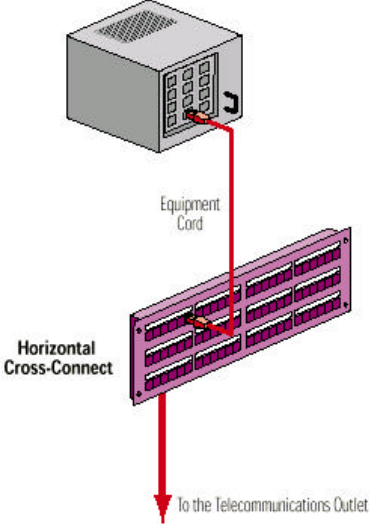
"Cross-Connection"	Interconexión "Interconnection"
Esquema de conexión que emplea cables de parcheo o "jumpers" para unirse en cada extremo el hardware que se conecta.	Esquema de conexión que proporciona conexiones directas al cableado del edificio a los equipos sin utilizar un cable de parcheo.
	

Figura 2-8

Algunos puntos especificados en el estándar ANSI/TIA/EIA-568-B para el subsistema troncal incluyen:

- Los equipos de conexión al cableado troncal deberían estar realizados con longitudes de cable de inferiores a 30m.
- El cableado troncal estará configurado con topología de estrella. Cada punto de interconexión /distribuidor horizontal está conectado directamente al punto de interconexión principal o a un punto de interconexión intermedio, y después al punto de interconexión principal.
- El cableado troncal está limitado a no más de dos niveles jerárquicos de puntos de interconexión (principal e intermedio). No puede existir más de puntos de interconexión punto de interconexión entre un punto de interconexión principal y otro horizontal y no pueden existir más de tres puntos de interconexión entre dos puntos de interconexión horizontales cualesquiera.
- La distancia de cableado troncal máxima será de 90m para gran ancho de banda sobre cobre (sin puntos de interconexión intermedios).
- La distancia entre las terminaciones en la punto de entrada y el punto de interconexión principal estarán documentadas y debería estar disponible para el proveedor de servicios.
- Los tipos de medio reconocidos pueden utilizarse individualmente o en combinación, según se necesite en la instalación. La cantidad de pares y fibras necesarias en un cable troncal individual depende del área servida. Los cables troncal contemplados son:
 - UTP de 4 pares Y 100 Ω
 - Fibra óptica Multimodo 62.5/125 μm o 50/125 μm
 - Fibra Optica Monomodo
- Está permitido el cable multipar siempre que se satisfagan los requisitos de la suma de interferencias.
- Debería tenerse en cuenta la proximidad del cableado troncal a fuentes de interferencia electromagnética (EMI).
- Los puntos de interconexión para diferentes tipos de cable deben estar ubicados en las mismas facilidades.
- No están permitidas los "Bridged taps" ni splitters.

2.4.7.- El área de trabajo

El conector de telecomunicaciones "telecommunications outlet" sirve como interfaz del área de trabajo con el sistema de cableado. Se encuentran incluidos en el ámbito del estándar 568-B.1 los equipos del área de trabajo y los cables utilizados para conectar los mismos con el "telecommunications outlet".

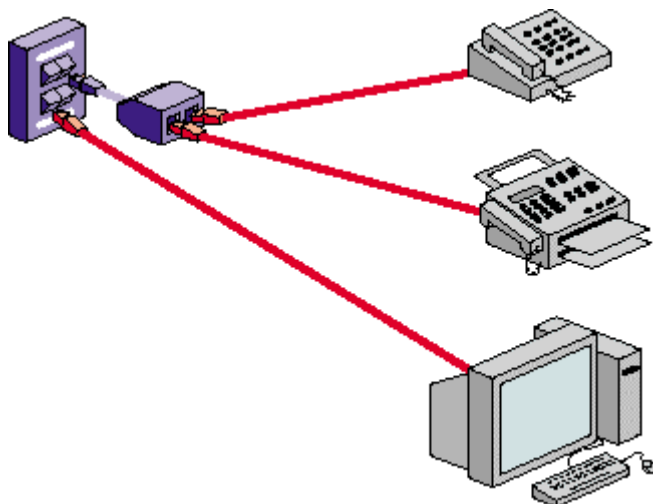


Figura 2-9

Algunas de las especificaciones relacionadas con el cableado del área de trabajo son las siguientes:

- Se supone que los cables de los equipos tienen el mismo rendimiento que los cables de parcheo del mismo tipo y categoría.
- Cuando se utilizan, los adaptadores se suponen compatibles con las capacidades de transmisión de los equipos a los cuales se conectan.
- Las longitudes de los cables horizontales se especifican con la suposición de que la longitud máxima del cable empleado para unir los equipos del área de trabajo es de 5m.

2.4.8.- Cableado de Cobre

El estándar ANSI/TIA/EIA-568-B en su recientemente publicado documento B2 describe los requisitos eléctricos y mecánicos de los cables de par trenzado UTP Y ScTP. En él se considera la utilización de cableado UTP de las categorías 3, 5e, 6 y 7 ya descritas anteriormente.

Categoría 5e/Clase D

Ya en el addendum TSB95 al estándar ANSI/TIA/EIA-568-A se proporcionaban recomendaciones para los parámetros de la nueva categoría 5. Estas recomendaciones fueron especificadas para verificar el rendimiento del cableado de categoría 5 instalado y heredado para asegurar que pueda dar soporte a Gigabit Ethernet. Los valores recomendados para la pérdida de retorno (return loss) y pérdida por TSB95 se derivan del peor caso de rendimiento de transmisión de canales con sólo dos puntos de conexión, topología que resulta consistente con la suposición del comité IEEE de que el cableado utilizado para soportar los sistemas Gigabit Ethernet utilizará probablemente una interconexión en lugar de un distribuidor y no incluirá un punto de transición o consolidación intermedio.

El cableado existente de categoría 5 debería ser verificado para asegurar que se ajusta a estas recomendaciones mínimas antes de intentar utilizarlo para sistemas Gigabit Ethernet.

Simultáneamente, en el Addendum 5 a ANSI/TIA/EIA-568-A se especificaban los requisitos de una categoría 5 mejorada (categoría 5e), y que finalmente han sido recogidos en el documento B2 del estándar 568-B. Es recomendable que las instalaciones nuevas de cableado de categoría 5 sean especificadas para satisfacer estos requisitos mínimos. Estas especificaciones son de carácter normativo a diferencia de las especificaciones anteriores que son simplemente recomendaciones.

La figura siguiente resume las mejoras de los parámetros eléctricos para el canal que ofrece la norma propuesta para Categoría 5e en comparación con Categoría 5. Es importante hacer mención que los requisitos eléctricos para tanto Categoría 5 como para la propuesta Categoría 5e se caracterizan por una frecuencia máxima de 100 MHz.

Parámetros, dB	Cat 5 @ 100MHz	Cat 5e @ 100MHz
Atenuación	24.0	24.0
NEXT	27.1	30.1
PS-NEXT	N/A	27.1
ELFEXT	N/A	17.4
PS-ELFEXT	N/A	14.4
ACR	3.1	6.1
PS-ACR	N/A	3.1
Interferencia	8.0	10.0

Tabla 2-4

Categoría 6/Clase E

Los estándares propuestos como categoría 6/clase E han sido desarrollados por grupos de trabajo TIA e ISO y describen un nuevo rango de rendimiento para cableado de par trenzado no apantallado y apantallado (screened). Como en casos anteriores, el objetivo del grupo de trabajo que ha desarrollado los requisitos de la categoría 6/clase E ha sido especificar el mejor rendimiento para el que que las soluciones de cableado UTP y ScTP pueden ser diseñados. Estos requisitos han sido

especificados para una banda de frecuencia de al menos 1-250 MHz y deben ser capaces de soportar un valor positivo de ACR ("power sum attenuation to crosstalk ratio") hasta 200 MHz.

Para las topologías de cableado categoría 6/clase E se ha acordado la utilización de un interfaz modular jack de 8 posiciones, que será obligatorio en el interfaz del área de trabajo para ser consistentes con los requisitos de las categorías previas.. Las especificaciones de la categoría 6/clase E serán compatibles con las inferiores en el sentido de que las aplicaciones que operen en categorías inferiores serán soportadas por la infraestructura de categoría 6/clase E. Si deben mezclarse componentes de diferentes categorías/clases con componentes de categoría 6/clase E la combinación deberá ajustarse a los requisitos de transmisión de los componentes de categoría/clase de menor rendimiento.

TIA, ISO, CENELEC, y otros han colaborado estrechamente para desarrollar estos estándares.

Categoría 7/Clase F

Los requisitos propuestos para categoría 7/clase F están siendo desarrollados para cableado de par trenzado completamente apantallado. La categoría 7/clase F será soportada por un diseño completamente nuevo de interfaz (i.e. plug and socket). Aunque estos requisitos sean soportados por un nuevo interfaz hardware de conexión, la categoría 7/clase F será compatible con categorías de rendimiento inferior. Se ha anticipado que los requisitos de la categoría 7/clase F serán especificados en un banda de al menos 1-600 MHz. En este momento no existen aplicaciones, ni pendientes ni propuestas, que estén bajo desarrollo para su operación sobre cableado de categoría 7/clase F.

Es interesante mencionar que la TIA no está desarrollando activamente un estándar para la categoría 7 y probablemente armonizará los requisitos con los de la clase F propuestos por ISO. Si el consenso de la industria se alcanza por la selección de un diseño de interfaz para el área de trabajo de categoría 7, resulta concebible que los requisitos de la clase F estarán disponibles en el mismo tiempo que las especificaciones de la categoría 6/clase E.

2.4.9.- Sistemas de Fibra Optica

La especificación '568-B.3 sobre cable de fibra óptica contempla un tipo de cable reconocido para subsistemas horizontales y dos tipos de cable para subsistemas troncales:

- Horizontal – 50/125µm o 62.5/125µm multimodo (dos fibras por toma).
- Troncal – 50/125µm o 62.5/125µm multimodo o monomodo.

Fibra Optica Parámetros de rendimiento de transmisión	Horizontal/Backbone		Backbone			
	Multimode 62.5/125µm		Singlemode (Inside)		Singlemode (Outside)	
Longitud de onda (nm)	850	1300	1310	1550	1310	1550
Atenuación máxima (dB/km)	3.75	1.5	1.0	1.0	0.5	0.5
Ancho de banda mínimo (MHz-km)	160	500	n/a	n/a	n/a	n/a

Tabla 2-5

Los cables de parcheo de Fibra Optica:

- Deben ser un cable de dos fibras (duplex) del mismo tipo que los cables a los que se conecta.
- Deben estar configurados de modo que los extremos de transmisión y recepción estén invertidos.



Figura 2-10

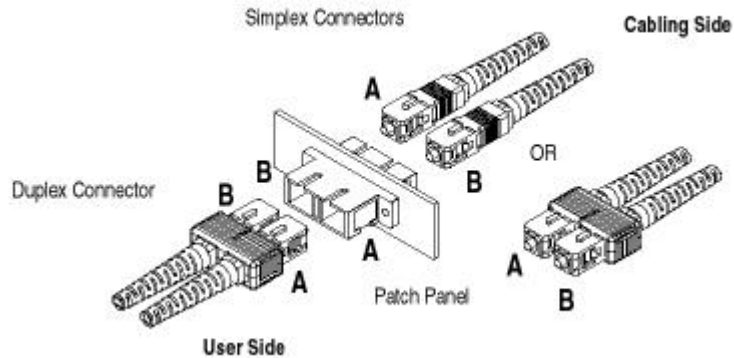


Figura 2-11

Conectores de Fibra Óptica

Se recomienda el conector 568SC pues este mantiene la polaridad. La posición correspondiente a los dos conectores del 568SC en su adaptador, se denominan como A y B. Esto ayuda a mantener la polaridad correcta en el sistema de cableado y permite al adaptador a implementar polaridad inversa acertada de pares entre los conectores.

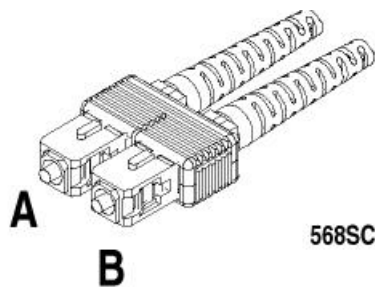


Figura 2-12

Los sistemas con conectores BFOC/2.5 y adaptadores (Tipo ST) instalados pueden seguir siendo utilizados en plataformas actuales y futuras.

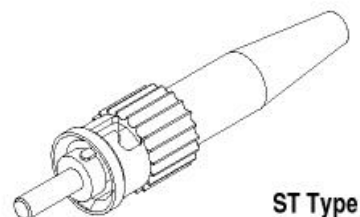


Figura 2-13

La caja de conexión del área de trabajo debe tener:

- Medios para gestionar el cable que aseguren un radio de curvatura mínimo de 25mm y debería haber capacidad para almacenar el cable sobrante.
- Provisión para terminar un mínimo de dos fibras ópticas.

Con el fin de facilitar la instalación y manipulación, es preciso identificar conectores y adaptadores del modo siguiente:

- Los conectores y adaptadores Multimodo se identifican por el color marfil
- Los conectores y adaptadores Monomodo se identifican por el color azul.

Los parámetros de rendimiento de transmisión del conector de Fibra Optica son los siguientes:

	Multimode 62.5/125µm	Singlemode
Max Insertion (dB)	0.75	0.4
Min Return Loss (dB)	20	26

Tabla 2-6

Conectores SFF ("Small Form Factor"):

- Los diseños de conectores SFF duplex y multifibra pueden utilizarse en los distribuidores principales, intermedios horizontales, puntos de consolidación y en el área de trabajo.
- El estándar FOCIS de TIA ("Fiber Optic Connect Intermateability Standard") describe cada diseño SFF.
- El diseño SFF satisfará los requisitos especificados en el Anexo A del estándar '568-B.3'.

Algunas ventajas de los conectores SFF son su tamaño compacto, compatibilidad modular con el interfaz de cobre y la adaptabilidad a electrónica de comunicaciones de alta densidad.



Figura 2-14

2.5.- CODIFICACION

Una señal digital es una secuencia de pulsos de tensión discretos y discontinuos. Cada pulso es un elemento de señal. Los datos binarios se transmiten codificando cada bit en elementos de una señal. El caso más simple es aquel en el que hay una correspondencia uno a uno entre los bits y los elementos de la señal.

En primer lugar deben definirse algunos términos que se emplearán en adelante:

- Una señal es unipolar o no balanceada cuando todos los elementos de la misma son nulos o tienen el mismo signo algebraico, es decir, no hay señales negativas y positivas.
- Una señal es de tipo polar o balanceada cuando un estado lógico es representado por un nivel positivo de tensión y el otro por un nivel negativo.
- La velocidad de los datos es la velocidad a que estos son transmitidos en bits por segundo y se expresa en bps.
- La duración o longitud de un bit es la cantidad de tiempo que lleva para el transmisor emitir el bit; para una velocidad R, la duración del bit es 1/R.
- La velocidad de modulación, por el contrario, es la velocidad con la que cambia el nivel de la señal. Esto dependerá de la naturaleza de la codificación, como se explica más adelante. La velocidad de modulación se expresa en baudios, que significa elementos de señal por segundo.
- Finalmente, los términos de marca y espacio se utilizan por razones históricas, refiriéndose a los dígitos binarios 1 y 0 respectivamente.

Para que pueda realizarse correctamente una transmisión, el receptor debe conocer la temporización de cada bit, es decir cuando comienza y termina cada bit. Además debe determinar con precisión si el nivel de la señal corresponde a un nivel alto o bajo (1 ó 0).

Como ya se ha visto los factores que pueden determinar que el receptor interprete correctamente la señal son la relación señal/ruido, la velocidad de transferencia de datos y el ancho de banda, pudiendo realizarse las siguientes apreciaciones, considerando constantes los demás factores:

- Si se incrementa la velocidad de transferencia de los datos aumenta la tasa de error de la transmisión.
- Un aumento de la relación señal/ruido supone una disminución en la tasa de error de la transmisión.
- Un aumento del ancho de banda supone mayores velocidades de transmisión.

Hay otro factor que puede usarse para mejorar el rendimiento y es el esquema de codificación empleado. El esquema de codificación es simplemente la conversión de los bits de datos en elementos de señal. A continuación se describen los esquemas más comunes.

Definición de los formatos de codificación

NRZ-L (Nonreturn-to-Zero-Level)

0 = nivel alto

1 = nivel bajo

NRZ-I (Nonreturn-to-Zero-Inverted)

0 = no hay transición al principio del intervalo (duración un bit)

1 = transición al principio del intervalo

AMI Bipolar

0 = no hay señal

1 = nivel positivo o negativo, alternándose para unos sucesivos

Pseudoternario

0 = nivel positivo o negativo, alternándose para ceros sucesivos

1 = no hay señal

Manchester

0 = Transición de nivel alto a bajo en medio del intervalo

1 = Transición de nivel bajo a alto en medio del intervalo

Manchester diferencial

Siempre hay transición en medio del intervalo

1 = No hay transición al principio del intervalo

0 = Transición al principio del intervalo

BnZ

Igual que el AMI bipolar, pero se reemplazan los grupos de n ceros por cadenas con dos violaciones de código.

HDB3

Igual que el AMI bipolar, pero los grupos de 4 ceros se reemplazan por una cadena con una violación de código.

Tabla 2.7

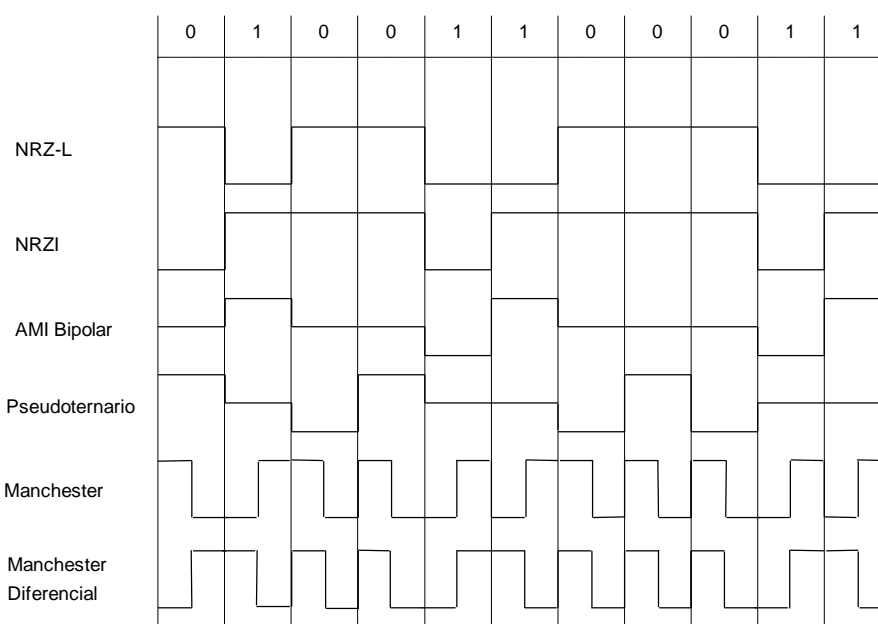


Fig 2.15

Para comparar las técnicas de codificación hay que considerar estos aspectos:

- Espectro de la señal:
- Reloj:
- Detección de errores:
- Interferencia de la señal e inmunidad al ruido:

Espectro de la señal:

La falta de componentes de alta frecuencia supone que se necesitará menos ancho de banda para la transmisión. Por otro lado, la falta de componente continua de corriente (dc) es conveniente, para poder emplear un acoplamiento de corriente alterna con el consiguiente aislamiento eléctrico de los dispositivos. Finalmente, la magnitud de los efectos de la distorsión las interferencias depende del espectro de la señal transmitida. Para que la distorsión de la señal fuera mínima la señal debería concentrarse en la parte central del ancho de banda.

Reloj:

El receptor necesita determinar el principio y final de cada bit. Una forma posible pero costosa sería proporcionar un reloj separado de la señal que sincronizase al transmisor y el receptor. La alternativa es proporcionar un mecanismo de sincronización que se base en la señal transmitida.

Detección de errores:

Existen diversas técnicas para la detección de errores que se llevan a cabo en niveles superiores, sin embargo, es conveniente incluir cierta capacidad de detección de errores en el propio esquema de codificación de la señal física.

Interferencia de la señal e inmunidad al ruido:

Ciertos códigos exhiben mejor comportamiento en presencia del ruido que otros, lo que se representa en términos de tasa de error.

2.5.1.- NRZ (Nonreturn to Zero)

El modo más común y sencillo de transmitir señales digitales es usar diferentes niveles de tensión para los dos dígitos binarios. El nivel de tensión es constante durante el intervalo de un bit, no habiendo transición.

El modo más común de utilizarlo es emplear una tensión negativa para representar un uno binario y una tensión positiva para representar un cero, método conocido como NRZ-L (Nonreturn to Zero Level). Este método aparece representado en la Figura 3-1, y es empleado generalmente para transmitir datos por terminales y otros dispositivos

Hay una variación conocida como NRZI (Nonreturn to Zero, invert on ones). Al igual que todos los esquemas NRZ, se mantiene un nivel de tensión constante durante un intervalo de un bit. Un 1 binario se representa mediante una transición (bajo a alto o alto a bajo) al principio del bit y una ausencia de transición representa un 0 binario.

NRZI es un ejemplo de codificación diferencial, es decir, la señal se decodifica comparando la polaridad de elementos de señal adyacentes en lugar de venir determinada por el valor absoluto de la señal.

La ventaja de este tipo de esquema es que resulta más sencillo determinar una transmisión en presencia de ruido que comparar el resultado con un nivel umbral de tensión.

Los códigos NRZ son los más sencillos de implementar y además hacen un uso bastante eficiente del ancho de banda, como se ve en la Figura 2.6, donde se compara la densidad espectral de varios esquemas de codificación. Se aprecia que la mayor parte de la energía de los códigos NRZ y NRZI está comprendida entre la componente continua y la mitad de la velocidad de transmisión.

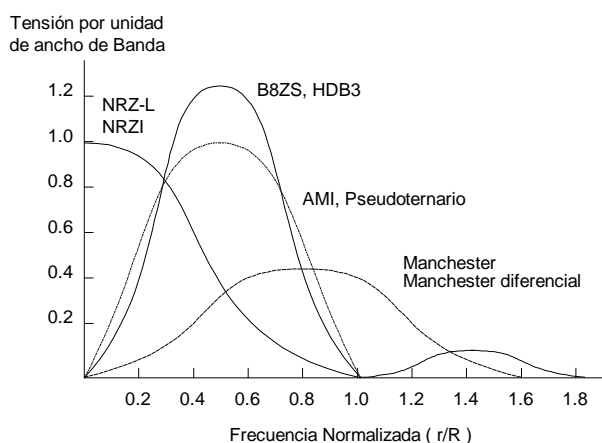


Fig 2.16

La principal limitación de las señales NRZ es la presencia de componente continua y la falta de un medio de sincronización. Es posible la existencia de secuencias largas de unos o ceros en NRZ-L y de secuencias de ceros en NRZI, lo que hace que sea fácil perder el sincronismo entre emisor y receptor.

Los códigos NRZ se usan habitualmente en la grabación digital magnética por su simplicidad y características de respuesta a baja frecuencia. Sin embargo, sus limitaciones hacen que resulten poco atractivos para la transmisión de señales.

2.5.2.- Binario Multinivel

Algunas de las deficiencias de los códigos NRZ se resuelven por las técnicas binarias multinivel. Estos códigos emplean más de dos niveles de tensión. Dos ejemplos de estas técnicas son los esquemas AMI-bipolar y el pseudoternario.

En el caso del esquema AMI-bipolar, un 0 binario se representa mediante la ausencia de señal y un 1 binario mediante un pulso positivo o negativo de forma alternativa. Esto supone ciertas ventajas:

No hay pérdida de sincronización en caso de que se produzca una serie larga de unos. Cada uno introduce una transición, y el receptor puede establecer el sincronismo de nuevo con dicha transición. Sin embargo, persiste el problema en el caso de una larga secuencia de ceros.

Dado que los unos alternan en tensión de positivo a negativo no hay componente continua en la señal.

La anchura de banda de la señal resultante es considerablemente menor que la de un esquema NRZ.

La alternación de los pulsos de tensión proporciona un método simple de detección de errores. Un error aislado, de desaparición o aparición de un pulso origina una violación de esta propiedad.

En el caso de un esquema PSEUDOTERNARIO un uno binario se representa mediante la ausencia de señal y un cero binario mediante pulsos alternativos de pulsos positivos y negativos. No hay ninguna ventaja particular de este método frente al anterior.

Aunque estos códigos proporcionan un cierto grado de sincronización, una secuencia larga de ceros en el caso de AMI o de unos en el pseudoternario representa un problema. Para solucionarlo se han desarrollado distintas técnicas.

Una solución es insertar bits adicionales que fuerzan las transiciones. Esta técnica se emplea en RDSI a velocidades de transmisión muy bajas. A velocidades elevadas este esquema es costoso dado que suponen un aumento de la velocidad de transmisión. Para estos casos deben utilizarse otras técnicas como se verá más adelante.

Los esquemas multinivel binarios resuelven ciertos problemas de los códigos NRZ, pero no son tan eficaces como los NRZ (una señal puede tomar uno de tres niveles, con lo que cada señal podría representar $\log_2 3 = 1.58$ bits de información, en lugar de 1 bit que representa en realidad). Además, el receptor debe distinguir entre tres umbrales de señal en vez de dos, y por ello, la señal binaria multinivel necesita 3 dB más de potencia en la señal que una señal de dos valores para la misma probabilidad de error, o lo que es lo mismo, para una determinada relación Señal/Ruido la tasa de error de un código binario multinivel es considerablemente superior a un NRZ.

2.5.3.- Bifase

Hay otro conjunto de técnicas alternativas de codificación, agrupadas bajo el término de bifase. Dos de estas técnicas, Manchester y Manchester Diferencial son las más comunes.

En el código Manchester hay una transición en medio de cada período de un bit. La transición a medio bit sirve como mecanismo de sincronización a la vez que de codificación de datos. Una transición de nivel bajo a nivel alto representa un 1 y una transición de nivel alto a nivel bajo representa un 0.

En el código Manchester diferencial, la transición en medio de un bit se emplea sólo para proporcionar la sincronización. La codificación de un 0 se representa mediante la presencia de transición al principio del período del bit, mientras que un 1 se representa mediante la ausencia de transición al principio del período del bit. Este código tiene la ventaja de emplear una codificación diferencial.

Todas las técnicas bifase requieren al menos una transición por bit y pueden tener hasta dos transiciones. Así, la velocidad de modulación máxima es el doble que en NRZ; esto significa que el ancho de banda requerido es considerablemente mayor. Por el contrario, presentan ciertas ventajas:

- Sincronización: Debido a que hay una transición en cada bit, el receptor puede sincronizarse con ella. Por esta razón, se conoce a estos métodos como códigos de auto-sincronización.
- No hay componente continua: Los códigos bifases no tienen componente continua, con las ventajas que esto representa.

- **Detección de errores:** La ausencia de una transición esperada puede usarse para detectar errores. El ruido de la línea puede haber invertido la señal antes y después de la transición, lo que originaría un error no detectable.

Estos códigos son muy populares y se han empleado en las especificaciones de IEEE para redes de área local, Manchester en IEEE 802.3 y Manchester Diferencial en IEEE 802.5.

2.5.4.- Velocidad de modulación

Cuando se emplean técnicas de codificación, debe distinguirse entre la velocidad de transferencia de los datos y la velocidad de modulación. La velocidad de los datos o de transferencia de bits es $1 / t_B$, donde t_B es la duración de un bit. Sin embargo, la velocidad de modulación es la velocidad con la que se generan elementos de señal. En el caso de la codificación Manchester, por ejemplo, el elemento mínimo de señal es un pulso de duración la mitad del intervalo de un bit. Para una secuencia de ceros o unos binarios, se genera un tren de dichos pulsos, lo que hace que la velocidad de modulación máxima para un código Manchester sea de $2 / t_B$.

	Mínimo	101010....	Máximo
NRZ-L	0 (todos 0 ó 1)	1	1
NRZI	0 (todos 0)	0.5	1 (todos 1)
AMI Binario	0 (todos 0)	1	1
Pseudoternario	0 (todos 1)	1	1
Manchester	1 (1010 ...)	1	2 (todos 0 ó 1)
Manchester Diferencial	1 (todos 1)	1.5	2 (todos 0)

Tabla 2.9

Una forma de caracterizar la velocidad de modulación es determinar el número medio de transiciones que se producen en el intervalo de un bit. En general, depende de la secuencia de bits transmitida. En la Tabla 2.9 se comparan las tasas de modulación para diversas técnicas, para el caso de un tren alternado de unos y ceros y para el caso que produce la velocidad de modulación máxima y mínima.

2.5.5.- Técnicas de "scrambling"

Las técnicas de codificación bifase, si bien han alcanzado una difusión amplia en el ámbito de las aplicaciones de área local a velocidades relativamente elevadas (hasta 10 Mbps), no se han empleado profusamente en aplicaciones de larga distancia. La razón principal es que se requiere una velocidad de modulación de la señal muy alta respecto a la velocidad de transmisión de los datos. Esta ineficiencia resulta más costosa en las aplicaciones de larga distancia que en sistemas de amplitud más reducida.

La idea de las técnicas de "scrambling" es simple: reemplazar las secuencias que originarían un nivel de tensión constante en la línea con secuencias que proporcionan suficientes transiciones para que el reloj del receptor mantengan la sincronización. La secuencia de relleno debe ser reconocida por el receptor para que pueda reemplazarla con la secuencia de datos originales. La secuencia de relleno es de la misma longitud que la original, de modo que no hay aumento en la velocidad de transferencia de datos. Los objetivos perseguidos con esta técnica son los siguientes:

- Evitar la componente continua
- Evitar largas secuencias señales de tensión cero en la línea
- No hay reducción en la velocidad de transmisión de los datos
- Capacidad de detección de errores

Se usan dos técnicas de "scrambling" distintas en los servicios de transmisión de largas distancias, tal y como se indica en la Figura 2.17

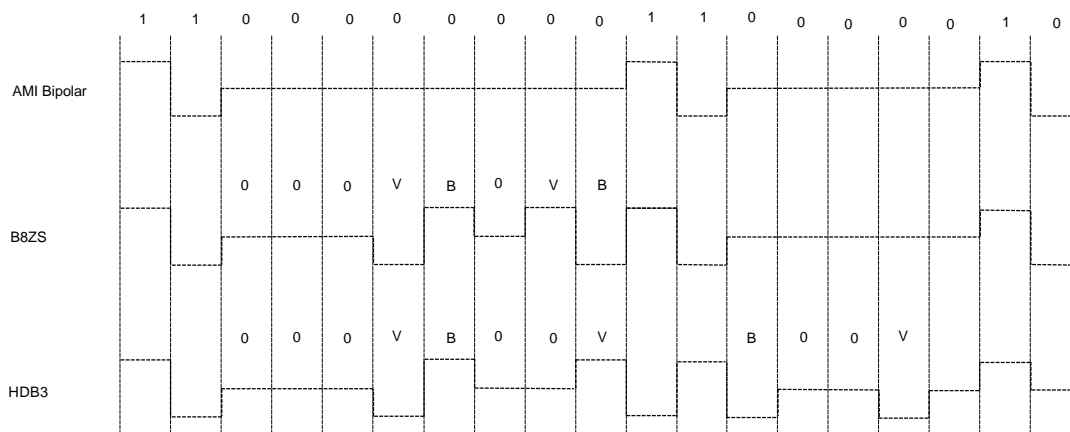


Fig 2-17

En Estados Unidos se emplea habitualmente el código B8ZS (bipolar con sustitución de 8 ceros). El esquema se basa en el AMI bipolar, resolviendo el problema de la pérdida de sincronismo de este cuando se produce una secuencia larga de ceros. Para solucionar este problema se emplea una codificación basada en las siguientes reglas:

- Si se produce un octeto de ceros y el último pulso de tensión que precede a este octeto es positivo, los siguientes ocho ceros se codifican como 000+-0-+.
 - Si se produce un octeto de ceros y el último pulso de tensión que precede a este octeto es negativo, los siguientes ocho ceros se codifican como 000-+0+-
- Estas técnicas fuerzan dos violaciones del código AMI, algo difícil de producirse debido al

ruido u otros defectos de la transmisión. El receptor reconoce el esquema e interpreta que el octeto consiste en ocho ceros.

Un esquema común en Europa y Japón es el HDB3 (bipolar de alta densidad - 3 ceros). Al igual que el anterior, se basa en el uso de un AMI bipolar. En este caso, el esquema reemplaza cadenas de cuatro ceros con secuencias que contienen uno o dos pulsos. En cada caso, el cuarto cero se reemplaza con una violación de código. Es necesaria una regla que asegure que las sucesivas violaciones sean de polaridad alternada para no introducir componente continua. Si la última violación fue positiva, la siguiente será negativa y así sucesivamente. Como se ve en la Tabla 2.10 se analiza si el número de pulsos desde la última violación fue par o impar y la polaridad del último pulso anterior a los 4 ceros.

Polaridad del pulso precedente	Número de pulsos desde la última sustitución	
	impar	par
-	000-	+00+
+	000+	-00-

Tabla 2.10

En la Figura 2.6 aparecen las propiedades espectrales de estos dos códigos. Como puede apreciarse, en ninguno de ellos hay componente continua. La mayor parte de la energía se concentra en un espectro muy estrecho alrededor de una frecuencia igual a la mitad de la velocidad de transmisión. Así, estos códigos se ajustan bien a altas velocidades de transmisión.

TEMA 2: LA CAPA FÍSICA	1
2.1.- INTRODUCCIÓN	1
2.1.1.- Transmisión de datos: bases teóricas	1
2.2.- MEDIOS DE TRANSMISIÓN	3
2.2.1.- Pares de cobre	4
2.2.2.- Cable coaxial	7
2.2.3.- Fibra óptica	8
2.2.4.- Comparación de fibra óptica y cable de cobre	11
2.3.- TRANSMISIÓN INALÁMBRICA	12
2.3.1.- El espectro electromagnético	12
2.4.- Cableado Estructurado	13
2.4.1.- Estándares de Cableado Estructurado	14
2.4.2.- El Estándar ANSI/TIA/EIA-568-B e ISO/IEC 11801 2ª edición	16
2.4.4.- Estructura del sistema de cableado horizontal	16
2.4.5.- Estructura del sistema de cableado troncal	18
2.4.6.- El armario de telecomunicaciones	20
2.4.7.- El área de trabajo	21
2.4.8.- Cableado de Cobre	22
2.4.9.- Sistemas de Fibra Optica	23
2.5.- CODIFICACION	25
2.5.1.- NRZ (Nonreturn to Zero)	28
2.5.2.- Binario Multinivel	28
2.5.3.- Bifase	29
2.5.4.- Velocidad de modulacion	30
2.5.5.- Técnicas de "scrambling"	30