

Tema 5

COMUNICACIONES. MEDIOS DE
TRANSMISIÓN. MODOS DE COMUNICACIÓN.
EQUIPOS TERMINALES Y EQUIPOS DE
INTERCONEXIÓN Y CONMUTACIÓN.

Guion-resumen

1. Comunicaciones.

- 1.1. Señales analógicas y digitales
- 1.2. Banda base y banda ancha
- 1.3. Deterioro en la transmisión
- 1.4. Ancho de banda y velocidad de transmisión
- 1.5. Conmutación
- 1.6. Multiplexación
- 1.7. Detección de errores

2. Medios de transmisión

- 2.1. Medios guiados
- 2.2. Medios no guiados

3. Modos de comunicación

- 3.1. Según el tipo de interacción
- 3.2. Según el número de bits enviados simultáneamente
- 3.3. Según la sincronización entre emisor y receptor

4. Equipos terminales y equipos de interconexión y conmutación

- 4.1. Equipos terminales
- 4.2. Equipos de interconexión y conmutación
- 4.3. Dominios de colisión
- 4.4. Dominios de difusión



1. Comunicaciones

Un sistema de comunicación es un conjunto de elementos y dispositivos involucrados en una transmisión de información entre dos puntos. Normalmente, estos elementos pueden ser:

- Emisor o fuente, es el origen de la comunicación.
- Destino, el destinatario final de la información.
- Canal o medio de transmisión, es el soporte sobre que se realiza la transmisión de la información.
- Transmisor, es la interfaz entre el emisor y el canal. Su misión es la de adaptar la señal a transmitir a las características del medio de transmisión.
- Receptor, es la interfaz entre el destino y el canal. Su misión es la de adaptar la señal recibida sobre el canal a las características del destino.

Considerando a las redes de ordenadores como sistemas de comunicaciones se podrán encontrar un conjunto de equipos terminales de datos, interconectados y con capacidades de intercambio de información. Resultan fundamentales, por tanto, las siguientes características:

- **Interconexión**, la comunicación entre los distintos equipos que forman una red es posible gracias a la existencia de uno o varios canales de transmisión.
- **Autonomía**, los equipos que forman parte de una comunicación son independientes entre sí en cuanto al funcionamiento. Resultado de esta autonomía es el concepto de transparencia para el usuario en cuanto al uso de dispositivos y recursos.

Existen numerosos aspectos involucrados en el envío de información sin estructurar - de bits-, mediante un sistema de comunicación que permita el intercambio de señales entre equipos. Es obligatoria la interpretación de estas señales (actualmente de tipo electromagnético), para que pueda asignarse un significado en forma de bits a dichas señales.

El papel del canal de transmisión es fundamental pues altera de varias formas la señal transmitida. Esta situación provoca limitaciones y situaciones a resolver para una correcta transmisión de información.

1.1. Señales analógicas y digitales

Para la transmisión de la información a través del medio se utiliza una **señal**. Una señal es una magnitud física variable en el tiempo como, por ejemplo, una tensión eléctrica. Esto es: si enviamos a través de un cable una sucesión de distintos voltajes, estaremos transmitiendo datos. El emisor y el receptor deben utilizar la misma codificación: 5 voltios podría utilizarse para representar un “1” binario y -5 voltios para un “0” binario.



Las señales se pueden clasificar en **analógicas** y **digitales**. Las del primer tipo tienen un carácter continuo. Esto significa que pueden tomar cualquier valor dentro de un intervalo. En el ejemplo anterior, se admitiría cualquier valor comprendido entre -5 y 5 voltios. Obsérvese que los receptores de radio tradicionales son analógicos: para su ajuste es necesario girar la rueda del dial, pudiendo tomar cualquier valor entre dos límites.

En cambio, las **señales digitales** pueden tomar únicamente valores concretos (carácter discreto). Es el caso del primer ejemplo: solo se admiten dos voltajes y cada uno tiene un significado concreto. Las radios actuales son digitales: el salto de un punto del dial al siguiente se realiza pulsando un botón que aumenta o disminuye un valor de frecuencia constante (hay un número de posiciones discretas, no infinitas como en la radio analógica).

Los ordenadores funcionan internamente con datos digitales. Solo entienden ceros (no pasa corriente por un circuito) y unos (pasa corriente). En ocasiones hay que realizar conversiones entre la información analógica y digital. Por ejemplo, cuando queremos enviar datos digitales por una línea telefónica analógica (modulación de señal).

Un tono es una señal (onda) que varía con el tiempo de forma cosenoidal según la ecuación $f(t) = A \cos(\omega t + \varphi)$ o bien, de forma senoidal según la ecuación $f(t) = A \sin(\omega t + \varphi)$, donde:

- **Amplitud** (A). Mayor valor alcanzado por una onda en un ciclo.
- **Ciclo**. Patrón que se repite continuamente en la señal.
- **Frecuencia** (ω). Número de ciclos en una unidad de tiempo. Se mide en hercios (Hz).
- **Período** (T). Tiempo que tarda en realizarse un ciclo. Es el inverso de la frecuencia. $T = 1/\omega$; $\omega = 1/T$.
- **Fase** (φ). Desplazamiento de la señal respecto al eje de tiempo cero, medido en grados o radianes ($2 \cdot \pi$ radianes = 360°). Por ejemplo, una fase de 90° significa que la señal está desplazada $1/4$ de ciclo.

Ejemplo: Una onda con función $f(t) = 5 \sin(2t + \pi)$ oscila entre 5 voltios y -5 voltios, completa 2 ciclos en un segundo y está desplazada medio ciclo. Su periodo es de 0,5 segundos.

Según el tipo de datos que se transmiten y el tipo de señal portadora, se pueden dar las siguientes situaciones:

- **Dato analógico, señal analógica**. Ejemplo: voz transmitida por teléfono.
- **Dato digital, señal analógica**. Ejemplo: datos de ordenador transmitidos por la línea telefónica mediante un módem.
- **Dato analógico, señal digital**. Ejemplo: telefonía a través de Internet (VoIP, voz sobre IP).
- **Dato digital, señal digital**. Ejemplo: datos de ordenador transmitidos por una red local (LAN).



1.2. Banda base y banda ancha

Debemos distinguir la transmisión en banda base y en banda ancha. El primer tipo es utilizado habitualmente en las redes locales (nótese la denominación “BASE” de las variantes Ethernet). La banda ancha, en cambio, se utiliza en líneas troncales, para transmitir datos de muchos usuarios a grandes distancias.

- **Banda ancha** (broadband). Los datos son modulados en señales analógicas en el origen y demodulados en el destino. Se utilizan técnicas de multiplexación para permitir varias comunicaciones simultáneas.
- **Banda base** (baseband). Se utiliza todo el canal para la transmisión de una única señal digital. La señal se transmite de forma directa, sin modulación previa (no se utiliza módem). Solo se puede utilizar en distancias cortas. El medio de transmisión es barato.

1.3. Deterioro en la transmisión

Durante la transmisión, la señal puede sufrir distintas modificaciones que provocan que la información recibida por el destino sea distinta a la enviada por el origen. Si los medios de transmisión fuesen perfectos la información no se vería alterada pero, desafortunadamente, esto no es así y es preciso tenerlo en cuenta. Es necesario utilizar técnicas de detección de errores para que el destino compruebe si la información recibida se ajusta a la enviada originalmente.

Los principales problemas que afectan a los medios de transmisión son:

- **Atenuación.** Debilitación de la señal con la distancia. Se compensa utilizando repetidores o amplificadores de señal.
- **Distorsión de retardo.** Se produce porque cada frecuencia viaja a velocidades distintas dentro del mismo canal. Unos datos pueden llegar a solaparse con los anteriores dificultando la correcta recepción de la transmisión. Se puede solucionar mediante técnicas de ecualización.
- **Ruido.** Obedece a señales no deseables, procedentes de fuentes distintas al emisor, que se entremezclan con la señal original. Se distinguen los siguientes tipos de ruido:
 - **Ruido blanco.** Provocado por las oscilaciones térmicas del medio. Se distribuye uniformemente por la señal original. No se puede evitar.
 - **Ruido impulsivo o electromagnético.** Son interferencias aleatorias, no continuas ni previsibles. Por ejemplo, las producidas por un pico de tensión en el suministro de energía.
 - **Diafonía.** Acoplamiento no deseado entre las líneas que transportan las señales. Hace unos años la diafonía era un fenómeno frecuente en las líneas telefónicas (cruce de dos conversaciones).



Es habitual encontrar documentación que contiene la expresión SNR (*Signal to Noise Ratio*) para referirse a la proporción existente entre la potencia de una señal y la del ruido que sufre y que podría llegar a corromperla.

1.4. Ancho de banda y velocidad de transmisión

Si transmitimos 1 bit en cada pulso, necesitaremos únicamente dos niveles de tensión. Por ejemplo: -5 voltios para el "0" binario y 5 voltios para el "1" binario. Este tipo de codificación se conoce como monobit. Es lógico pensar que podemos aumentar el número de tensiones distintas para así incrementar los bits transmitidos en cada pulso de señal. Si ampliamos a 4 el número de tensiones distintas (por ejemplo: -2v, -1v, 1v y 2v) podremos codificar 2 bits a la vez (00, 01, 10 y 11). Las codificaciones de varios bits se resumen en la siguiente tabla:

Nº bits transmitidos en cada pulso (n)	Nº de niveles de tensión distintos en cada pulso (V)	Nombre de la codificación
1 bit	2 niveles	Monobit
2 bits	4 niveles	Dibit
3 bits	8 niveles	Tribit
n bits	2^n niveles	

Los **baudios** son los pulsos por segundo que se pueden transmitir en una línea. En la codificación monobit ($n=1$), los baudios coinciden con los bits/segundo. La velocidad expresada en bits/segundo de una transmisión es el producto de n por la velocidad en baudios de la línea. Por ejemplo, si tenemos una línea de 1.200 baudios y utilizamos codificación dibit ($n=2$), estaremos transmitiendo a una velocidad de $2 \cdot 1200 = 2400$ bits/s. Las velocidades se expresan habitualmente en bits/segundo. Ejemplo: un módem de 56 kbps tiene una velocidad de 56.000 bits por segundo (no baudios).

El **ancho de banda de un canal** es la diferencia entre la frecuencia máxima y la frecuencia mínima de la señal que puede transmitir. Se mide en hercios (Hz) o ciclos por segundo.

Una señal digital (onda cuadrada) se transmite por un medio de comunicación como su *descomposición de Fourier*, que consiste en una serie infinita de distintas frecuencias. El ancho de banda necesario para que esta señal sea completamente cuadrada sería infinito. Como no se puede disponer de este ancho de banda, lo que se hace es una aproximación con las primeras componentes de la serie. Cuanto mayor sea el ancho de banda del canal, mayor será el número de frecuencias distintas que se pueden transmitir. Esto generará una señal de mayor calidad y, por tanto, una velocidad mayor.



La capacidad de un canal es la velocidad máxima a la que se pueden transmitir datos por ese canal. Según lo anterior, la capacidad de un canal será mayor cuanto mayor sea el ancho de banda del canal y se transmita un mayor número de bits en cada pulso. Esta relación se expresa mediante el **Teorema de Nyquist**:

$$C = 2 H \log_2 V$$

Donde:

- C es la capacidad máxima del canal.
- H es el ancho de banda o diferencia de frecuencias ($H = f_{\text{superior}} - f_{\text{inferior}}$).
- V es el número de niveles de tensión distintos en cada pulso.
- $\log_2 V$ es el número de bits transmitidos en cada pulso (n).

Supongamos un canal de 3.100 Hz. En este caso, según el Teorema de Nyquist, podremos transmitir hasta 6.200 bps en caso de codificación monobit y hasta 12.400 bps en caso de codificación dibit.

La capacidad de un canal se ve limitada por la cantidad de ruido existente en la línea. Una línea con mucho ruido producirá transmisiones pobres. Este aspecto se refleja en el **Teorema de Shannon**, que relaciona el ruido de la línea con la velocidad de transmisión:

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

Donde:

- C es la capacidad máxima del canal.
- S es la potencia de señal.
- N es la potencia de ruido.
- S/N es la relación señal/ruido. Cuanto mayor sea este valor, la señal tendrá mayor calidad.

La relación señal ruido expresada en decibelios equivale a 10 por el logaritmo en base 10 de S/N.

$$(S/N)_{\text{dB}} = 10 \log_{10} (S/N)$$

Ejemplo: supongamos un canal de 30 dB y 3.100 Hz. Despejando S/N en la fórmula anterior, tenemos una relación señal/ruido de $S/N = 10(30/10) = 1000$. Sustituyendo en la fórmula del Teorema de Shannon, tenemos la capacidad máxima del canal: $C = 3.100 \log_2 (1 + 1000) = 30.894$ bps.

¿Cuántos niveles son necesarios para obtener 30.894 bps en un canal de 3.100 Hz? Despejando V en el Teorema de Nyquist tendremos, $V = 2 (3.0894/6.200) = 32$ niveles aproximadamente. Es decir, se necesitaría codificar 5 bits en cada pulso.



1.5. Conmutación

La comunicación entre un origen y un destino habitualmente atraviesa nodos intermedios que se encargan de encauzar el tráfico. Por ejemplo, en las llamadas telefónicas los nodos intermedios son las centralitas telefónicas y en las conexiones a Internet, los enrutadores (*routers*). Dependiendo de la utilización de estos nodos intermedios, se distingue entre conmutación de circuitos, de mensajes, de paquetes y de etiquetas.

- En la **conmutación de circuitos** se establece un camino físico entre el origen y el destino durante el tiempo que dure la transmisión de datos. Este camino es exclusivo para los dos extremos de la comunicación: no se comparte con otros usuarios (ancho de banda fijo). Si no se transmiten datos o se transmiten pocos se estará infrautilizando el canal. Las comunicaciones a través de líneas telefónicas analógicas (RTB) o digitales (*RDSI*) funcionan mediante conmutación de circuitos.
- Un mensaje que se transmite por **conmutación de mensajes** va pasando desde un nodo al siguiente, liberando el tramo anterior en cada paso para que otros puedan utilizarlo y esperando a que el siguiente tramo esté libre para transmitirlo. Esto implica que el camino origen-destino es utilizado de forma simultánea por distintos mensajes. Sin embargo, este método no es muy útil en la práctica ya que los nodos intermedios necesitarían una elevada memoria temporal para almacenar los mensajes completos.
- La **conmutación de paquetes** es la más ampliamente utilizada cuando se trata de conectar redes. Los mensajes se fragmentan en paquetes y cada uno de ellos se envía de forma independiente desde el origen al destino. De esta manera, los nodos no necesitan una gran memoria temporal y el tráfico por la red es más fluido. Nos encontramos aquí con una serie de problemas añadidos: la pérdida de un paquete provocará que se descarte el mensaje completo; además, como los paquetes pueden seguir rutas distintas puede darse el caso de que lleguen desordenados al destino.

Esta es la forma de transmisión que se utiliza en Internet: los fragmentos de un mensaje van pasando a través de distintas redes hasta llegar al destino. Cuenta con los siguientes tipos de servicios:

- **Datagrama:** es no orientado a conexión (CLNS), el envío de paquetes se realiza sin establecimiento previo de circuito físico/virtual, en destino los paquetes pueden llegar desordenados.
- **Circuito virtual:** es orientado a conexión (CONS), existe una conexión lógica (circuito virtual) entre origen y destino, los paquetes siguen un camino determinado, sobre un canal físico (entre ETD y ETCD), puede haber varios canales lógicos (cada uno con su identificador). Existen varios tipos:
 - * **Circuitos Virtuales Permanentes (CVP):** no hay establecimiento porque ya lo ha habido previamente, la comuni-



cación siempre se produce entre los mismo extremos —equivalente a una línea punto a punto—.

- * **Circuitos Virtuales Conmutados (CVC):** orientados a conexión, hay establecimiento y puede establecerse con un extremo distinto cada vez.
- **Conmutación basada en etiquetas** (en inglés *MultiProtocol Label Switching*, MPLS). Asigna etiquetas a los paquetes para una identificación más rápida, lo que redundo en un aumento de la velocidad de transmisión.

1.6. Multiplexación

La multiplexación permite aprovechar al máximo la capacidad de un canal incluyendo varias comunicaciones de forma simultánea. Los dispositivos encargados de realizar la multiplexación de varias comunicaciones en un mismo canal son los **multiplexores** (n entradas, 1 salida). En el otro extremo del canal un **demultiplexor** realiza la tarea contraria, obteniendo las distintas comunicaciones a partir de un único canal (1 entrada, n salidas).

Distinguimos tres tipos de multiplexación:

- **Multiplexación por división en frecuencias** (MDF o FDM, *Frecuency-Division Multiplexing*). Se transmiten varias señales por el mismo canal utilizando cada una de ellas una frecuencia distinta. Se puede utilizar si el medio de transmisión dispone de un ancho de banda suficiente para la transmisión de las distintas señales. Es la técnica utilizada para la difusión de radio y televisión.
- **Multiplexación por división en el tiempo** (MDT o TDM, *Time-Division Multiplexing*) o TDM síncrona. Los datos de cada una de las fuentes son divididos en ranuras temporales. Se va enviando una ranura de cada fuente a continuación de la ranura anterior, de forma cíclica. El resultado final es un conjunto de bits en el canal que pertenecen a distintas comunicaciones. Este tipo de multiplexación se utiliza para el envío de voz digitalizada (por ejemplo, en la telefonía móvil).
- **Multiplexación estadística** (TDM asíncrona o TDM estadística). Es una técnica más avanzada que la anterior. En lugar de preasignar las ranuras temporales a un número fijo de comunicaciones, detecta las comunicaciones activas y reparte el canal entre todas ellas. De esta forma se evita que una comunicación inactiva malgaste ancho de banda. Como veremos en el próximo tema, este tipo de multiplexación se utiliza en líneas “frame relay”.

1.7. Detección de errores

¿Cómo puede saber el receptor que ha recibido el mismo mensaje que envió el emisor? ¿Cómo puede saber que no se ha producido ningún error que haya alterado los datos durante la transmisión? Estas cuestiones son las que vamos a plantear en este apartado: se necesitan mecanismos de detección de errores para garantizar transmisiones libres de errores. Si el receptor detecta algún error, puede actuar de



diversas maneras según los protocolos que esté utilizando. La solución más sencilla es enviarle un mensaje al emisor pidiéndole que le reenvíe de nuevo la información que llegó defectuosa.

Los mecanismos de detección se basan en añadir a las transmisiones una serie de bits adicionales, denominados bits de redundancia. La **redundancia** es aquella parte del mensaje que sería innecesaria en ausencia de errores (es decir, no aporta información nueva: solo permite detectar errores). Algunos métodos incorporan una redundancia capaz de corregir errores. Estos son los mecanismos de detección y corrección de errores.

Como ejemplos de mecanismos de detección de errores vamos a estudiar a continuación la paridad y los códigos CRC.

1.7.1. Paridad

Las transmisiones se dividen en palabras de cierto número de bits (por ejemplo, 8 bits) y se envían secuencialmente. A cada una de estas palabras se le añade un único bit de redundancia (**bit de paridad**) de tal forma que la suma de todos los bits de la palabra sea siempre un número par (**paridad par**) o impar (**paridad impar**).

El emisor envía las palabras añadiendo los correspondientes bits de paridad. El receptor comprobará a su llegada que la suma de los bits de la palabra incluyendo la redundancia es un número par (si la codificación convenida entre emisor-receptor es de paridad par) o un número impar (paridad impar). Si el receptor encuentra alguna palabra que no se ajuste a la codificación establecida, le solicitará al emisor que le reenvíe de nuevo la información.

La paridad únicamente permite detectar errores simples, esto es, que varíe un único bit en cada palabra. Si varían 2 bits, este mecanismo no es capaz de detectar el error. Para el cálculo de la paridad par se puede utilizar la puerta lógica XOR (o exclusiva), que da un resultado de 1 cuando el número de entradas a 1 sea impar es decir, habrá detectado un error o bien, la XNOR si se trata de paridad impar que da un resultado de 1 cuando el número de entradas a 1 sea par detectándose el error.

Veamos un ejemplo de paridad par:

Datos (8 bits)	Datos + redundancia (9 bits)	Suma de bits
10110110	10110110 1	6
00101001	00101001 1	4
11001001	11001001 0	4
11001001	11111010 0	6
00010000	00010000 1	2

El receptor realizará la suma de bits a la llegada del mensaje. Si alguna palabra no suma un número par, significará que se ha producido un error durante la transmisión.



1.7.2. Códigos de Redundancia Cíclica (CRC)

Los códigos de paridad tienen el inconveniente de que se requiere demasiada redundancia para detectar únicamente errores simples. En el ejemplo que hemos visto, solo 8/9 de la información transmitida contenían datos, el resto era redundancia. Los códigos de redundancia cíclica (CRC) son muy utilizados en la práctica para la detección de errores en largas secuencias de datos. Se basan en representar las cadenas de datos como polinomios. El emisor efectúa ciertas operaciones matemáticas antes de enviar los datos. El receptor realizará, a la llegada de la transmisión, una división entre un polinomio convenido (polinomio generador). Si el resto es cero, la transmisión ha sido correcta. Si el resto es distinto significará que se han producido errores y solicitará la retransmisión al emisor.

2. Medios de transmisión

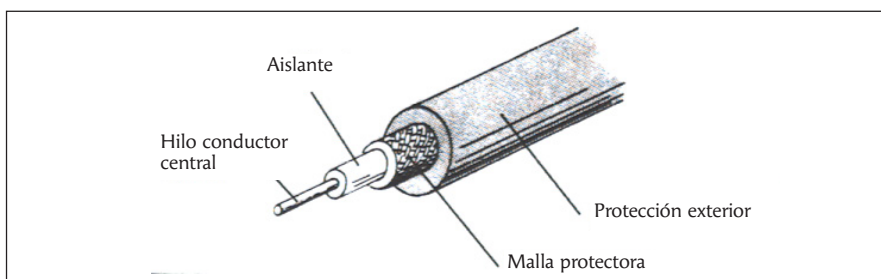
El medio de transmisión es el soporte sobre el cual viajan los datos que se intercambian durante una comunicación. Se clasifican en guiados y no guiados. Los primeros son aquellos que utilizan un medio confinado (básicamente un cable) para la transmisión. Los medios no guiados utilizan medios no confinados artificialmente (esto es, la atmósfera) para transportar los datos.

2.1. Medios guiados:

- Cable coaxial.
- Par trenzado.
- Fibra óptica.

2.1.1. Cable coaxial

Consiste en un hilo conductor de cobre en la parte central (núcleo) rodeado por una malla y separados ambos elementos conductores por un cilindro de plástico aislante (dieléctrico). La forma concéntrica de los dos conductores hace que el cable coaxial sea menos susceptible a las interferencias y diafonías que el par trenzado. Además, permite la transmisión a distancias superiores.



El cable coaxial se ha venido utilizando frecuentemente para la transmisión de televisión por cable, comunicaciones a larga distancia (gracias a su menor sensibilidad a interferencias) y en redes locales (*LAN*), ya obsoletas como fueron las redes *10BASE5* (*Thick Ethernet*) y *10BASE2* (*Thin Ethernet*).

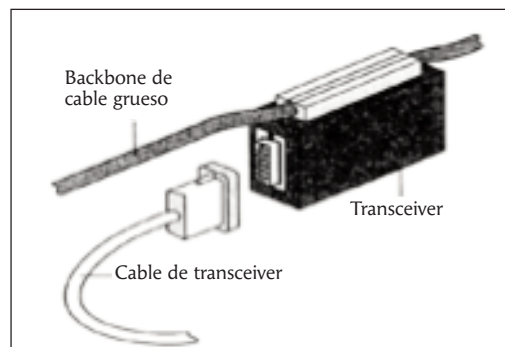
Este tipo de medio está en desuso pues es más eficiente utilizar par trenzado en el caso de las redes *LAN* o fibra óptica en el caso de precisar mayor distancia o mayor velocidad en la transmisión. Actualmente, es posible encontrar este tipo de medio en las redes de cable existentes para televisión y para líneas de respaldo en largas distancias.

El ancho de banda del cable coaxial alcanza frecuencias de 400 o 500 *MHz* en señalización analógica.

Debido a que presentan menor atenuación que los pares trenzados, posibilitan la existencia de repetidores más separados, lo que lo hace un medio más adecuado para largas distancias.

Existen dos tipos de cables coaxiales:

- **Coaxial grueso** (*thickwire*). Se utilizaba en las antiguas redes locales *Ethernet 10Base5* (el 5 indica una longitud de segmento máxima de 500 metros) y en líneas troncales de telefonía y televisión por cable. Para su conexión, emplea transceptores (*transceivers*) y conectores de tipo “vampiro”.



- **Coaxial fino** (*thin coax* o *RG-58*). Se utiliza en las redes locales *Ethernet 10Base2* (185 metros de longitud máxima de segmento). Utiliza conectores *BNC* en los extremos de los segmentos de cable. Para unir unas estaciones con otras se requieren conectores tipo T en cada estación y terminadores en los extremos del bus.

2.1.2. Cable de par trenzado

Está formado por dos hilos conductores de cobre recubiertos cada uno con un aislante y trenzados entre sí cada cierto paso. Los cables de par trenzado actuales utilizados en las redes locales contienen 4 pares (8 hilos) que a su



vez van trenzados entre sí dentro de un aislante externo. El trenzado se utiliza para reducir las interferencias electromagnéticas (diafonía) entre pares de cables adyacentes. A mayor número de trenzas por unidad de longitud el cable admite una mayor velocidad de transmisión.

Es el medio de transmisión más utilizado y económico, tanto para transmisiones analógicas (telefonía) como digitales (redes locales).

En las redes locales se utiliza un conector de 8 contactos llamado *RJ45* aunque, en realidad, solo se utilizan dos pares: uno para recepción y otro para transmisión. En telefonía se utiliza un conector de 4 contactos conocido como *RJ11* aunque solo es necesario utilizar 2 contactos (un par).

La longitud de segmento máxima de cable par trenzado, desde el dispositivo central o concentrador hasta una estación, es de 100 metros.

Si comparamos el par trenzado con otros medios de transmisión guiados, el par trenzado es más económico y sencillo de manejar, pero permite menores distancias, menor ancho de banda y menores velocidades de transmisión, aunque en distancias cortas suele aumentar llegando hasta los *Gbps*. Es muy susceptible a las interferencias y al ruido, aunque se puede proteger el cable mediante apantallamiento, utilizando una malla metálica que lo envuelva.

Existen dos estándares principales que definen las características de los cables o de los enlaces, estos son:

- *EIA/TIA 568*: normas americanas del *ANSI* referentes a las características físicas en cuanto a especificaciones mecánicas, eléctricas y procedimentales de los elementos o medios físicos de interconexión. Define categorías de cables conectados en dos puntos.
- *ISO/IEC DIS 11801*: normas internacionales de *ISO* que se encargan de la estandarización en clases medido extremo a extremo de la conexión.

La calidad del cable, su distancia de trenzado y el número de pares de hilos condicionan la velocidad máxima soportada y la frecuencia. El cable se divide en las siguientes categorías:

- **Categoría 1.** Usada para telefonía.
- **Categoría 2.** Velocidad máxima: 4 Mbps. Utilizada en redes Token Ring de esta velocidad.
- **Categoría 3.** Velocidad máxima: 10 Mbps. Utilizada para la transmisión de datos en redes Ethernet hasta 10 Mbps (10BaseT). Permiten frecuencias de hasta 16 MHz.
- **Categoría 4.** Velocidad máxima: 16 Mbps. Utilizada en redes Token Ring de esta velocidad.



- **Categoría 5.** Pueden alcanzar frecuencias de hasta 100 MHz. Se utiliza en redes Ethernet a 100 Mbps (100BaseTX), redes ATM a 155 Mbps y Gigabit Ethernet (1 Gbps).
- **Categoría 5e.** Es una mejora de la categoría 5, que incluye especificaciones más estrictas. Sus velocidades máximas teóricas son las mismas, pero ofrece mejores resultados sobre todo en redes de 1 Gbps. Soporta frecuencias de hasta 100 MHz.
- **Categoría 6.** Permite frecuencias de hasta 250 MHz y puede alcanzar velocidades del orden de 1 Gbps.
- **Categoría 6e.** Permite frecuencias de hasta 500 MHz y puede alcanzar velocidades del orden de 10 Gbps.
- **Categoría 7.** Permite frecuencias de hasta 600 MHz, con velocidades del orden de 10 Gbps.
- **Categoría 7a/Clase Fa.** Permite frecuencias de hasta 1 GHz.

Según el tipo de apantallamiento de los cables, se clasifican en:

- **UTP** (*Unshielded Twisted Pair*, par trenzado no apantallado). Presenta una cubierta de plástico que protege el cable.
- **STP** (*Shielded Twisted Pair*, par trenzado apantallado). Estos cables disponen de una cobertura exterior en forma de malla conductora y un plástico adicional que reducen las interferencias y mejoran las características de la transmisión.
- **FTP** (*Foiled Twisted Pair*, par trenzado laminado). Los cables FTP son una solución intermedia entre UTP y STP.

Los cables UTP son los más utilizados debido a su coste más bajo y a una mayor facilidad en su instalación. Los más habituales en la actualidad son UTP CAT5e y UTP CAT6. Las mejores prestaciones de los cables STP los hacen más caros. Son algo más complicados de instalar al ser más gruesos. Estos cables se utilizan, sobre todo, en circunstancias muy puntuales, por ejemplo en instalaciones que requieran una calidad de transmisión muy alta y libre de interferencias.

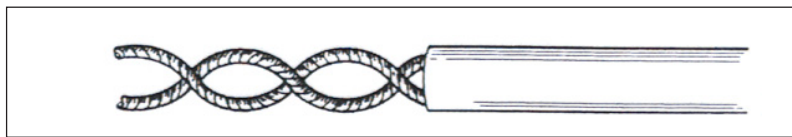
Las principales **aplicaciones de los cables de par trenzado** en los sistemas de comunicaciones son:

- El **bucle de abonado**. Es el nombre que recibe el último tramo de cable existente entre el teléfono de un abonado y la central a la que se conecta. El cable suele ser UTP de categoría 3 pues es utilizado para servicios de voz que requieren velocidades de Mbps.
- **Redes LAN**. Los cables más utilizados son UTP de categorías 5e y 6 para transmisión de datos. Se consiguen velocidades de varios centenares de Mbps.



Según la forma de instalar los conectores *RJ45* en los extremos del cable, los cables de par trenzado pueden ser directos o cruzados:

- Los cables directos tienen ambos extremos según la misma norma (*EIA/TIA-568A* o *EIA/TIA-568B*, a elegir) y se utilizan para conectar todo tipo de dispositivos como ordenadores, encaminadores (*routers*), concentradores (*hubs*) o conmutadores (*switches*).
- Los cables cruzados tienen un conector de la norma *EIA/TIA-568A* y el otro *EIA/TIA-568B*. Se utilizan para conectar 2 dispositivos del mismo tipo.



2.1.3. Fibra óptica

Los cables de fibra óptica transmiten la información en forma de pulsos de luz. La fibra consiste en materiales plásticos o de cristal capaces de transmitir luz desde un extremo hasta el extremo opuesto.

Sus principales ventajas son:

- **Mayor capacidad.** Se han llegado a alcanzar velocidades de cientos de Gbps en decenas de kilómetros de distancia. Su gran velocidad hace de la fibra óptica el medio apropiado para su utilización en líneas troncales.
- **Menor peso y tamaño.** Comparado con otros medios de transmisión, se consiguen mayores tasas de velocidad con menor peso y tamaño. Esto facilita la instalación del cableado.
- **Menor atenuación.** La pérdida de la señal es menor que en otros medios, lo que permite distanciar los repetidores de señal incluso a decenas de kilómetros.
- **Mayor aislamiento.** La fibra óptica no es vulnerable a interferencias electromagnéticas.
- **Mayor seguridad.** La dificultad para empalmar dos segmentos de fibra óptica, hace complicado “pinchar” los cables.

Los inconvenientes de la fibra óptica radican principalmente en el mayor coste de los dispositivos, cables e instalación. Además, las reparaciones y empalmes de las fibras son complicados.



La fibra óptica se ha posicionado como el medio preferido para instalaciones en redes de área extensa tanto para transmisión de voz como de datos digitales. Todavía el coste de su instalación es alto, sobre todo en la necesidad de disponer de equipos que conviertan las señales ópticas en señales electrónicas. Es de esperar que este coste vaya disminuyendo con el tiempo y su uso termine de consolidarse en redes locales, donde ya está presente parcialmente, por ejemplo en su interconexión o en la conexión de dispositivos de almacenamiento.

Una fibra está formada por dos materiales con índices de refracción distintos: núcleo (zona central con mayor índice) y revestimiento (alrededor del núcleo, con menor índice). Los materiales se eligen de tal forma que, debido al principio óptico de *reflexión interna total*, la luz se propague en el interior del núcleo sin salir hacia el revestimiento.

Las ventanas de funcionamiento en las que se envían rayos de luz son intervalos de tiempo en los que la longitud de onda tiene o bien una atenuación constante o bien menor de modo que hace idóneo el envío del haz. A continuación se detallan las ventanas de trabajo:

- 1ª ventana: 820nm (nanómetros).
- 2ª ventana: 1310nm (nanómetros).
- 3ª ventana: 1550nm (nanómetros).
- 4ª ventana: 1625nm (nanómetros).

Las fuentes ópticas emisoras de luz que se utilizan en fibra óptica son diodos *LED* o láser. Por otro lado hay que indicar que las señales ópticas se modulan apagando y encendiendo la luz así como variando su intensidad.

Según los modos de propagación (trayectorias de la luz dentro de una fibra), se consideran dos tipos de fibras ópticas:

- **Monomodo (en inglés *Single Mode, SM*).** Solo dispone de una trayectoria de luz en su interior. Esto se logra reduciendo el diámetro del núcleo hasta que solo pueda viajar un modo en su interior. Las instalaciones de fibra monomodo son las más caras, pero a cambio son las que ofrecen una mayor velocidad y menor atenuación de señal. Por este motivo, se utilizan en enlaces de larga distancia a gran velocidad. Los dispositivos utilizados son de alto coste (emisor láser). La dimensión típica (relación del diámetro del núcleo/diámetro de la cubierta) es de 9/125 micras y se alcanzan velocidades del orden de cientos de gigabits por segundo.

Es común encontrar este tipo de fibra las categorías *OS1* y *OS2*.

- **Multimodo (en inglés *MultiMode, MM*).** En estas fibras el núcleo tiene un mayor diámetro, de forma que existan distintos caminos para que la luz se propague en su interior. No todos los caminos son iguales de rápidos, lo que genera que el comportamiento de estas



fibras sea inferior, tanto en velocidad como en mayor atenuación. Se pueden utilizar con emisores de bajo coste (*LED*), aunque también con emisores láser.

Las fibras multimodo se clasifican, en función de cómo varía el índice de refracción dentro de la fibra en:

- **Multimodo de índice gradual.** El índice de refracción del núcleo disminuye progresivamente hacia el exterior. Su comportamiento es intermedio entre las fibras monomodo (mayor rendimiento) y las multimodo de índice discreto (peor rendimiento).
- **Multimodo de índice discreto o de salto de índice.** El índice de refracción del núcleo es constante, variando de forma brusca al cambiar al revestimiento.

Las dimensiones típicas de las fibras multimodo son:

— **OM1: 62.5/125 micras.**

A una distancia máxima aproximada de 200 metros alcanza una velocidad del orden de 1 Gbps (1Gb Ethernet-1000Base-SX o 1000Base-LX).

A una distancia máxima aproximada de 33 metros alcanza una velocidad del orden de 10 Gbps (10 Gb Ethernet-10GBase-SR)

— **OM2: 50/125 micras.**

A una distancia máxima aproximada de 500 metros alcanza una velocidad del orden de 1 Gbps. (1Gb Ethernet-1000Base-SX o 1000Base-LX).

A una distancia máxima aproximada de 82 metros alcanza una velocidad del orden de 10 Gbps (10 Gb Ethernet-10GBase-SR).

— **OM3: 50/125 micras, optimizada para láser.**

A una distancia máxima aproximada de 500 metros alcanza una velocidad del orden de 1 Gbps (1Gb Ethernet-1000Base-SX o 1000Base-LX).

A una distancia máxima aproximada de 300 metros alcanza una velocidad del orden de 10 Gbps (10 Gb Ethernet-10GBase-SR).

A una distancia máxima aproximada de 100 metros alcanza una velocidad del orden de 40 Gbps (40 Gb Ethernet-40GBase-SR4).

A una distancia máxima aproximada de 100 metros alcanza una velocidad del orden de 100 Gbps (100 Gb Ethernet-100GBase-SR10).

— **OM4: 50/125 micras (optimizada para láser).**

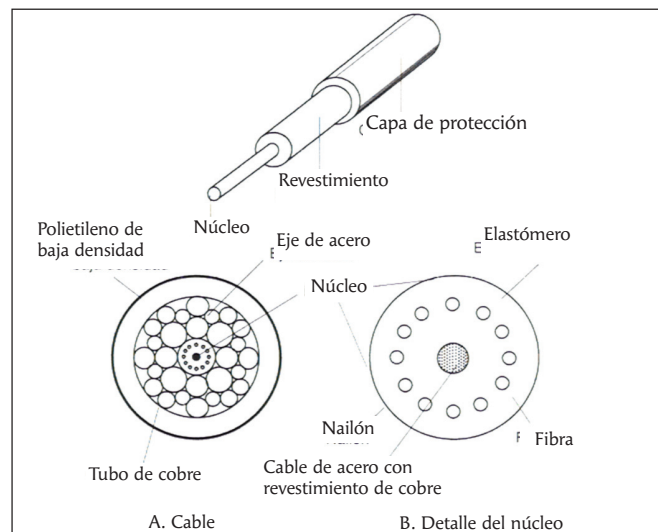
A una distancia máxima aproximada de 500 metros alcanza una velocidad del orden de 1 Gbps (1Gb Ethernet-1000Base-SX o 1000Base-LX).



A una distancia máxima aproximada de 400 metros alcanza una velocidad del orden de 10 Gbps (10 Gb Ethernet-10GBase-SR).

A una distancia máxima aproximada de 150 metros alcanza una velocidad del orden de 40 Gbps (40 Gb Ethernet-40GBase-SR4).

A una distancia máxima aproximada de 150 metros alcanza una velocidad del orden de 100 Gbps (100 Gb Ethernet-100GBase-SR10).



Para fibra óptica existen diversos tipos de conectores. Algunos de ellos son:

- **ST** (*Straight Tip*, Punta Recta), utilizado sobre todo en cables multimodo (*MM*) y para aplicaciones de redes.
- **SC** (*Suscriber Connector*, Conector de suscriptor), utilizado en cables monomodo (*SM*). Por sus bajas pérdidas es utilizado en aplicaciones de redes y televisión por cable. Por su forma cuadrada es también conocido como *Square Connector*.
- **LC** (*Lucent Connector o Little Connector*, Conector Pequeño), de menor tamaño que los anteriores pero más sofisticado. Se utiliza sobre todo en los transceptores (*transceivers*).
- **FC** (*Ferule Connector*, Conector férula), utilizado tanto en equipos de medición de longitud y existencia de anomalías a lo largo de un cable de fibra óptica como en conexiones de televisión por cable.
- **SMA** (*Sub Miniature A*, Conector de Subminiatura A), utilizado en dispositivos electrónicos que cuentan con acoplamiento óptico.



- **MT-RJ** (*Mechanic Transfer/ Media Termination Registered Jack*), se utiliza para aplicaciones de interconexión entre redes. Contiene dos fibras en el mismo conector. Se puede encontrar tanto para mono como para multimodo. Es muy fácil de conectar y desconectar y es común encontrarlos en instalaciones LAN que cuentan con fibra óptica.

En la actualidad los proveedores de servicios de Internet (*ISP*) están desplegando fibra óptica cada vez más cerca de los abonados. Estas tecnologías surgen de la sustitución total o parcial del cable de cobre en el bucle de acceso por fibra óptica. Se denominan tecnologías *FTTx*. Existen las siguientes posibilidades:

- **FTTN** (*Fiber-To-The-Node*, Fibra hasta el nodo). La fibra óptica termina en una central del operador de telecomunicaciones que presta el servicio, suele estar más lejos de los abonados que en FTTH y FTTB, típicamente en las inmediaciones del barrio.
- **FTTC** (*Fiber-To-The-Cabinet/Curb*, Fibra hasta el armario/el bordillo). Similar a FTTN, pero la cabina o armario de telecomunicaciones está más cerca del usuario, normalmente a menos de 300 metros.
- **FTTB** (*Fiber-To-The-Building o Fiber-To-The-Basement*, Fibra hasta el edificio/sótano). La fibra óptica normalmente termina en un punto de distribución intermedio en el interior o inmediaciones del edificio de los abonados. Desde este punto de distribución intermedio, se accede a los abonados finales del edificio o de la casa mediante la tecnología VDSL2 (Very high bit-rate Digital Subscriber Line 2) sobre par de cobre o Gigabit Ethernet sobre par trenzado de categoría 5. De este modo, el tendido de fibra puede hacerse de forma progresiva, en menos tiempo y con menor coste, reutilizando la infraestructura del edificio del abonado.
- **FTTH** (*Fiber-To-The-Home*, Fibra hasta el hogar). En esta modalidad, la fibra óptica llega hasta el interior de la misma casa u oficina del abonado.

2.1.4. Sistema de cableado estructurado

Un sistema de cableado estructurado es la forma ordenada y planeada de realizar cableados que permitan proveer de un sistema universal de transporte de información, basado en la normalización de todos sus elementos dentro de una organización. Características:

- Universal: capaz de conducir señales multimedia.
- Escalable: que pueda aumentar fácilmente en número de puestos y en ancho de banda.
- Flexible: fácil reorganización.
- Estandarizado.



- Duradero y fiable: entre 5 y 20 años. Es el activo más caro de instalar y desplegar de una organización.
- Gestionable y seguro.
- Topología física en estrella y lógica según corresponda a distintos protocolos.

Según la norma *ISO 11801* un **sistema de cableado estructurado consta de:**

- **Elementos básicos:** cables, conectores, adaptadores, rosetas de conexión, bandejas de cables (*cable tray*), *Patch cable* (cordón de parcheo o ‘latiguillo’), panel de parcheo (*patch panels*), bloques de conexión (*connection blocks* o *terminal blocks*), bastidores (*racks*).
- **Elementos principales:** armarios o habitaciones distribuidores de planta, armarios o habitaciones distribuidores de edificio, habitaciones distribuidores de campus (o *backbone*), cableado de planta (horizontal), cableado vertical de edificios (troncal), cableado de campus (cableado de *backbone*).

Un sistema de cableado estructurado se organiza en tres **subsistemas:**

- **Subsistema de campus**, conecta edificios mediante fibra óptica.
- **Subsistema vertical o troncal** o de distribución de edificio, en este sistema se suele conectar con fibra óptica desde el armario de distribución del edificio hasta los armarios distribuidores de planta.
- **Subsistema horizontal**, en este sistema se conecta con fibra óptica o con par trenzado de categoría 5e o 6 desde los armarios distribuidores de planta hasta los puestos de usuario.

2.2. Medios no guiados

Por su naturaleza no confinada estos medios añaden problemas a los conocidos de diafonía, atenuación o eco: son los problemas provocados por las reflexiones sufridas por las señales debido a los obstáculos existentes, desde edificios hasta montañas. Dichas reflexiones pueden provocar la recepción de copias de la misma señal en diferentes instantes de tiempo, eso sí, con diferentes amplitudes y fases. Estos efectos se denominan efectos multitrayectoria.

El conjunto de frecuencias que “soporta” el aire son muy variadas y conforman el espectro radioeléctrico. Este espectro se divide en bandas y cada una de esas bandas se asocia a servicios específicos (telefonía móvil, radiodifusión analógica de TV y radio, radares para vigilancia de tráfico aéreo, etcétera) para asegurar la protección de los mismos frente a interferencias. La división del espectro en bandas se realiza mediante ley y para ello el Estado publica el CNAF (Cuadro Nacional de Asignación de Frecuencias).

Según la situación en el espectro de radiofrecuencias, la transmisión en unas bandas de frecuencias u otras tiene características distintas. Una transmi-



sión en frecuencias bajas se propaga en todas las direcciones, recorre grandes distancias y atraviesa objetos sólidos. Por el contrario, una transmisión en frecuencias altas es muy direccional, solo es válida para distancias cortas y no atraviesa objetos sólidos.

Según el rango de frecuencias de trabajo, las transmisiones no guiadas se pueden clasificar en tres tipos:

- Ondas de radio.
- Microondas.
- Ondas de luz.

2.2.1. Ondas de radio

Se extienden desde la parte baja del espectro hasta los 300 MHz. Su principal característica es que son ondas omnidireccionales: se propagan en todas las direcciones. Otro aspecto a destacar es que todas las estaciones receptoras reciben sobre el mismo medio lo emitido desde el origen.

Son sensibles a las condiciones meteorológicas así como a la ionosfera. En esta parte se reflejan las ondas, de modo que así puedan transmitirse más allá del horizonte.

Actualmente las ondas de radio se aplican en:

- Difusión de radio y televisión.
- Comunicaciones inalámbricas en un entorno geográfico limitado, por ejemplo las WLAN (Wireless LAN) o a la telefonía móvil.

2.2.2. Microondas

Trabajan en un rango de frecuencias entre 0,3 y 30 GHz. Presentar características comunes a las ondas de radio pero sufren en mayor medida el problema de la atenuación al contar con una mayor frecuencia.

También les afecta la climatología y se reflejan en la ionosfera, consiguiendo transmitirse más allá del horizonte.

A diferencia de la transmisión de ondas de radio, la de microondas es muy direccional por lo que los enlaces son punto a punto.

Existen dos tipos de utilización de las microondas:

1. **Microondas terrestres**, utilizadas entre sistemas compuestos por estaciones terminales (transmisora y receptora) más estaciones repetidoras en la superficie terrestre. Las antenas parabólicas deben tener visión directa entre ellas lo cual hace que tengan un haz muy estrecho. Su rango de frecuencias está por debajo de los 3 GHz.



2. **Microondas Satelitales**, utilizadas para la comunicación entre un equipo terrestre y un satélite. Su rango de frecuencias está por encima de los 3 GHz. Precisan la existencia de dispositivos repetidores de señal. Suelen ubicarse fuera de la superficie terrestre para evitar obstáculos naturales.

Es preciso contar con las siguientes consideraciones:

- Los satélites suelen encontrarse en una órbita geoestacionaria (GEO), en la órbita de Kepler a unos 36.000 km del ecuador de la Tierra. La principal consecuencia de este hecho es la alta atenuación y un gran retardo en las transmisiones.

Algunos satélites se ubican en órbitas más bajas que no son estacionarias con la Tierra. Se denominan *Low Earth Orbit*, LEO, a una altura entre los 250 y los 1.500 km de altura.

También pueden ubicarse en una órbita media (*Medium Earth Orbit*, MEO), a unos 10.000 km de altura.

- La separación mínima entre satélites está en función de la frecuencia.
- Los canales de transmisión utilizados por los satélites, conocidos como *transponders*, pueden sufrir diafonía si los emisores o receptores ubicados en superficie terrestre se encuentran demasiado cerca entre sí. Es habitual utilizar frecuencias diferentes para evitar interferencias.

El uso de las microondas satelitales está indicado para comunicaciones que cubren largas distancias mientras que las terrestres están especialmente indicadas para las comunicaciones móviles (por ejemplo telefonía o WiMAX).

2.2.3. Ondas de luz

Debido a su menor longitud de onda, estas transmisiones son más direccionales que las anteriores. Esta característica obliga a que emisor y receptor deban encontrarse perfectamente alineados para permitir una transmisión adecuada.

Estas ondas cuentan con una atenuación mayor que las transmisiones de radio y microondas. También se pueden ver afectadas por las condiciones meteorológicas, así como por el polvo o existencia de insectos dentro del radio de acción del haz de luz.

- **Infrarrojos.** Son ondas direccionales incapaces de atravesar objetos sólidos (paredes, por ejemplo). Los infrarrojos son apropiados para transmisiones de corta distancia como, por ejemplo, las señales de los mandos a distancia del hogar.
- **Láser.** Estas ondas son de luz visible y también direccionales. Se pueden utilizar para comunicar dos edificios próximos instalando en cada uno de ellos un emisor láser y un fotodetector.



Este tipo de ondas fue muy utilizado para comunicaciones punto a punto de corta distancia, esto es, entre edificios cercanos o entre sistemas informáticos próximos. En los últimos años su uso está prácticamente limitado a controles remotos.

Banda de Frecuencia	Nombre	Modulación	Razón de Datos	Aplicaciones Principales
30-300 kHz	LF (low frequency)	ASK, FSK, MSK	0,1-100 bps	Navegación
300-3000 kHz	MF (medium frequency)	ASK, FSK, MSK	10-1000 bps	Radio AM comercial
3-30 MHz	HF (high frequency)	ASK, FSK, MSK	10-3000 bps	Radio de onda corta
30-300 MHz	VHF (very high frequency)	FSK, PSK	Hasta 100 kbps	Televisión VHF, radio FM
300-3000 MHz	UHF (ultra high frequency)	PSK	Hasta 10 Mbps	Televisión UHF, microondas terrestres
3-30 GHz	SHF (super high frequency)	PSK	Hasta 100 Mbps	Microondas terrestres y por satélite
30-300 GHz	EHF (extremely high frequency)	PSK	Hasta 750 Mbps	Enlaces cercanos con punto a punto experimentales

3. Modos de Comunicación

Una transmisión entre un sistema emisor y otro receptor en un canal de comunicaciones puede suceder de varias maneras, en función de las siguientes características:

- El tipo de interacción permitido.
- El número de bits enviados simultáneamente.
- La sincronización entre sistema emisor y sistema receptor.

3.1. Según el tipo de interacción permitido

Existen tres modos de transmisión diferentes:

1. **Simplex (Simple).** En una comunicación simplex la comunicación solo puede llevarse a cabo en un sentido entre el emisor y el receptor. Por ejemplo, la comunicación entre el ratón y un sistema informático.



2. **Half-duplex (Semiduplex).** La comunicación entre emisor y receptor puede llevarse a cabo en ambos sentidos pero no de forma simultánea en el tiempo. Un ejemplo lo constituyen las emisoras de radioaficionados.
3. **Full-duplex o duplex (Duplex total).** Este tipo de comunicaciones pueden llevarse a cabo simultáneamente en ambos sentidos entre emisor y receptor.

Como las señales utilizadas para transmitir información sobre un canal de comunicaciones pueden ser analógicas y digitales, pueden darse cuatro posibles situaciones originadas por las combinaciones entre el tipo de transmisión a realizar -analógica o digital- y el tipo de señal de datos de que se dispone, que también será analógica o digital.

Cada una de estas situaciones se conoce como modo de transmisión. Algunas fuentes también las citan como modulación. Nomenclaturas al margen, es el conjunto de procesos necesarios para hacer posible la transmisión adecuada en cada caso.

Es conocido que el canal de comunicación puede afectar y condicionar las señales a transmitir. Uno de los objetivos de las técnicas de modulación es el de representar la información en base a aquellas características que menos se vean afectadas por el canal.

Las cuatro situaciones o posibilidades de **modulación** son:

1. **Señales analógicas, transmisión digital.** Puesto que la práctica totalidad de las señales existentes en la naturaleza son analógicas, es necesario un proceso de conversión (analógico-digital) en el tratamiento de la información mediante sistemas informáticos. Con la conversión, una señal analógica se transforma en una secuencia de pulsos de tensión que representan los valores de las muestras tomadas de la señal original. Los procesos necesarios para la conversión son:
 - **Muestreo.** Consiste en la discretización temporal de la señal analógica. Se divide el tiempo y únicamente se consideran aquellos valores de la señal que corresponden a instantes discretos. Cada uno de los valores es una muestra.
 - **Cuantificación.** Este proceso consiste en realizar una discretización en amplitud de la señal original. Así, el número de valores aceptados para esta es discreto y numerable. Al valor de amplitud o separación existente entre dos valores de señal consecutivos aceptados se denomina paso de cuantificación.
 - **Codificación.** Una vez realizada la discretización en el tiempo y en la amplitud de la señal analógica original, es preciso decidir cómo se representará cada posible valor de las muestras. La codificación puede ser de varias formas:
 - Por amplitud de pulso (en inglés *Pulse Amplitude Modulation*, *PAM*).
 - Por duración de pulso (en inglés *Pulse Width Modulation*, *PWM*).



- Por posición de pulso (en inglés *Pulse Position Modulation*, PPM)
 - Por código de pulso (en inglés *Pulse Code Modulation*, PCM). Es la más utilizada. Utiliza pulsos de igual amplitud y duración, además de equidistantes.
2. **Señales digitales, transmisión digital.** Contrariamente a lo que pudiera parecer – por no necesitar una conversión–, sí es preciso realizar algunos procesos para garantizar una transmisión correcta. Además, debido a la existencia de diversos códigos *PCM*, que cuentan con características distintas y que son importantes para la transmisión (un ejemplo sería el ancho de banda), es preciso considerar las siguientes características de un código:
- **Espectro.** Es de gran importancia. Conviene que el ancho de banda de una señal codificada sea reducido, pues precisa menos recursos en el canal de transmisión. Adicionalmente, si existe una transferencia de energía entre emisor y receptor puede generar problemas en la conexión.
 - **Capacidad de sincronismo.** La pérdida de sincronismo entre emisor y receptor es uno de los grandes problemas en la transmisión remota. Existen códigos que ayudan a solucionarlo (códigos de autorreloj). Son utilizados también en procesos de almacenamiento en discos duros.
 - **Capacidad de detección de errores.** Existen numerosas técnicas para detectar errores en las transmisiones y también códigos con algunas propiedades similares. Por ejemplo, la detección de la polaridad de los pulsos, que ha de ser alternante por construcción.
 - **Complejidad.** Es preciso considerar la complejidad y el coste de implementación del código.

Existen distintos códigos *PCM*, denominados genéricamente **códigos de línea**:

- **NRZ (*Non-Return to Zero*).** La codificación que se realiza es:
 - El valor lógico 1 se representa mediante un valor de tensión +V voltios.
 - El bit 0 se representa con un pulso de tensión nula.

Si se realiza la representación contraria, esto es, al bit 0 se le asocia un pulso de tensión +V y al 1 un valor 0, tendríamos los códigos NRZ-M (*Mark NRZ*) y NRZ-L (*Level NRZ*) respectivamente.

También existe la variante diferencial, conocida como NRZ-I (*Inverted NRZ*).

- **Bipolar AMI (*Alternate Mark Inversion*).** En este caso se utilizan tres valores de tensión diferentes: 0, +V y –V voltios. La implementación de AMI es más compleja que la de NRZ.



- **Manchester.** Esta codificación está incluida en los denominados códigos bífase. Las reglas de esta codificación son:

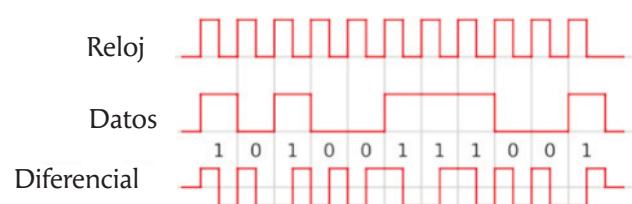
- Existencia de una transición en mitad del intervalo de bit.
- El valor 0 lógico supone una transición de alto a bajo (de +V a 0 voltios).
- El valor lógico 1 muestra una transición de bajo a alto (de 0 a +V voltios).

Cuenta con el doble de ancho de banda que el código NRZ, por lo que la eficiencia del espectro es del 50%, pues transmite la misma información y utiliza el doble de ancho de banda. Presenta una alta capacidad de sincronismo. Por ello la codificación Manchester pertenece al grupo de los códigos autorreloj. Su implementación presenta una complejidad parecida a la del código NRZ.

- **Manchester diferencial.** Es similar al código Manchester en la existencia de una transición en mitad del intervalo de bit (tanto para el valor 0 como para el 1). La diferencia está en la introducción de dependencias en la codificación de los dos valores lógicos:

- Siempre existe una transición en mitad del intervalo de bit.
- El valor lógico 0 supone una transición al comienzo del intervalo.
- El valor lógico 1 no supone una transición al inicio del intervalo.

Esta codificación diferencial permite la detección de ciertas condiciones de error en la transmisión por parte del receptor. Es más complejo de implementar que el Manchester.



- **Otros.** Han surgido otros esquemas de codificación que solventan la pérdida de eficiencia del código cuando se introduce la capacidad de sincronismo:

- **B8ZS** (*Bipolar with 8 Zeros Sustitution*). Se utiliza fundamentalmente en Norteamérica.
- **HDB3** (*High Density with Bipolar 3 zeros*). Es similar al anterior pero se utiliza en Europa.



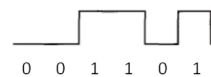
- **4B/5B-NRZI.** Se utiliza en redes LAN (como Ethernet) de alta velocidad. Consigue mejorar el sincronismo propio del esquema NRZ-I y la eficiencia del Manchester (del 50% se pasa al 80%).
 - **8B/10B.** Similar al anterior pero con mejora en su capacidad de detección de errores.
 - **MLT-3,** utiliza valores de señal ternarios.
 - **8B/6T,** transforma 8 valores binarios en 6 ternarios.
3. **Señales digitales, transmisión analógica.** Es característico en este tipo de transmisiones la simultaneidad en el medio de varias comunicaciones. Puede conseguirse mediante la utilización de técnicas de multiplexación en frecuencias.

En el proceso de transmisión de señales digitales de forma analógica se precisan tres señales:

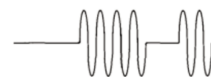
- La señal de datos original, que es digital. Es conocida como señal **moduladora**.
- La señal analógica en la que se basa la transmisión. Se conoce como señal **portadora**.
- La señal resultante a transmitir, denominada señal **modulada**.

Para obtener una señal modulada a partir de una moduladora y de una portadora existen varias técnicas. Debido a que la moduladora es digital, las técnicas se denominan de **modulación digital**. Son las siguientes:

- **Modulación en amplitud o ASK** (*Amplitude Shift Keying*). Esta técnica modula en amplitud por lo que la información de la señal digital se transmite en la amplitud de la señal portadora. Esta técnica cuenta con una fácil detección.

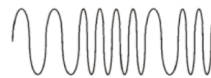


0 0 1 1 0 1



ASK
0: Amplitud 0
1: Amplitud A

- **Modulación en frecuencia o FSK** (*Frequency Shift Keying*). Esta técnica modula en la frecuencia de la señal portadora. Es una técnica más compleja que la ASK, pues precisa medir la frecuencia de la señal.



FSK
0: Frecuencia f
1: Frecuencia 2f



PSK
0: Desfase de 0°
1: Desfase de 180°

- **Modulación en fase o PSK** (*Phase Shift Keying*). En este caso, la información de la señal se transmite en la fase de la señal portadora.

La técnica ASK es más susceptible a errores en la transmisión ya que la amplitud es muy sensible al ruido. Como la fase es el parámetro



menos sensible al ruido, la técnica *PSK* es la que menos posibilidades de error presenta. Por ello, *PSK* es la más utilizada y el que más velocidad proporciona: como es menos sensible al ruido, el número de estados de señalización que pueden utilizarse es mayor que en las técnicas *ASK* y *FSK*.

Las técnicas de modulación digital no son excluyentes y pueden utilizarse combinaciones. Por ejemplo, a la combinación de las técnicas *ASK* y *PSK* se le denomina modulación de amplitud en cuadratura (*Quadrature Amplitude Modulation, QAM*).

4. **Señales analógicas, transmisión analógica.** La voz es un ejemplo de una transmisión analógica de una señal analógica. Si se quisiera transmitir la voz sobre la atmósfera se necesitarían antenas de varios kilómetros de altura. Por ello, es obligatorio procesar las señales analógicas para su transmisión aunque sea sobre un medio también analógico.

Se utilizan técnicas parecidas a las del modelo de transmisión digital-analógico, con la diferencia de que ahora la señal de datos es analógica. En este modelo, las técnicas de modulación se denominan analógicas y son las siguientes:

- **Modulación en amplitud** (en inglés *Amplitude Modulation, AM*). Es similar a la técnica *ASK* y consiste en multiplicar directamente las señales portadora y moduladora. Es muy sensible a variaciones de frecuencia y fase de la portadora local generada en el receptor respecto a la utilizada en el emisor.
- **Modulación angular.** En esta técnica la información transmitida está contenida en el ángulo de la señal portadora. Existen dos posibilidades:
 - Modulación en fase (*Phase Modulation, PM*).
 - Modulación en frecuencia (*Frequency Modulation, FM*).

3.2. Según el número de bits enviados simultáneamente

Este modo de transmisión se refiere al número de unidades de información elementales (bits) que se pueden transmitir de forma simultánea a través de los canales de comunicación. Existen dos posibilidades:

- **Transmisión en serie.** La información se transmite por una única línea. Los elementos base (bits) que forman un dato (byte) se transmiten de forma consecutiva, uno detrás de otro. Las transmisiones de larga distancia son siempre serie. Es la forma de transmisión preferida para tecnologías de transmisión como *USB* (Universal Serial Bus), *S-ATA* (*Serial ATA*) y redes de ordenadores en general.
- **Transmisión en paralelo.** Se transmiten de forma simultánea los distintos elementos base que forman un dato. Se requieren tantas líneas como elementos base tenga el dato. En el caso de los bytes, serán necesarias 8 líneas, una para cada bit. Para distancias largas no es apropiada ya que los datos de unas líneas pueden llegar antes que los de otras,



perdiendo la sincronización. Es apropiada para la comunicación de equipos informáticos con periféricos a corta distancia.

3.3. Según la sincronización entre el transmisor y el receptor

El receptor de una transmisión debe saber en qué momento y con qué regularidad el emisor le envía los datos con el fin de interpretar correctamente la información recibida. Es necesario por tanto algún tipo de sincronismo entre el emisor y el receptor. Se diferencian dos modos de transmisión: síncrona y asíncrona.

3.3.1. Transmisión asíncrona

Los datos se transmiten en intervalos irregulares, como puede ser el caso de las pulsaciones de teclas en un teclado o el movimiento de un ratón. La sincronización se produce al enviar cada carácter añadiendo unos bits de sincronismo. Para cada carácter se envían en realidad: 1 bit de comienzo (*start*), los bits del carácter (7 u 8) y 1, 1,5 o 2 bits mínimos de parada (*stop*). Después de los bits de parada, si no se transmite nada, se mantiene el mismo nivel de tensión (reposo). El bit de comienzo lo que hace es provocar una tensión opuesta, de forma que se genere una transición y el receptor lo detecte.

Este tipo de transmisión es asíncrona a nivel de carácter y síncrona a nivel de “bits”. No es un método de transmisión apropiado cuando se requiere enviar una gran cantidad de información, debido a que los numerosos bits de sincronismo necesarios desaprovechan el canal y reducen la velocidad.

3.3.2. Transmisión síncrona

El emisor y el receptor utilizan la misma base de tiempos durante toda la comunicación, con objeto de muestrear cada pulso de la señal en el centro sin que se vaya desplazando. La sincronización no se realiza carácter a carácter sino bloque a bloque, consiguiendo así mayor velocidad durante la transmisión de un flujo continuo de datos.

Debe existir entonces un mecanismo para que emisor y receptor compartan la señal de reloj. Esto se puede conseguir de dos formas: utilizando una línea adicional para el reloj o bien, incorporando la señal de reloj junto a los datos. Este último mecanismo es más eficiente.

El sincronismo puede estar orientado a carácter u orientado a bit. En el primer caso se envían varios caracteres especiales “SYN” para alertar al receptor de que va a comenzar la transmisión de datos, a continuación se envía un carácter de comienzo de texto (STX, *start text*) seguido de los datos y finalmente, el carácter de fin de bloque (ETX, *end of text*). En el sincronismo orientado a bit, los dos extremos de la comunicación deben analizar bit a bit, en lugar de carácter a carácter. En concreto, los datos se encierran entre delimitadores formados por 01111110. Una secuencia de seis unos es utilizada como marca especial. El emisor añade un cero extra cada



cinco unos de datos y el receptor lo suprime si observa el cero detrás de cinco unos. De esta forma la cadena 0111110 será siempre la marca que delimitará a los datos, sin ambigüedades.

4. Equipos terminales y equipos de interconexión y conmutación

En un sistema de comunicación existirán dispositivos de emisión/recepción con la misión de conectar los equipos terminales con el canal de transmisión. Las interacciones entre estos dispositivos con las estaciones se realizan mediante una interfaz de datos. De esta forma, cuando un equipo terminal desea transmitir datos a un equipo receptor los envía utilizando una interfaz, que será la encargada de transmitir los bits sobre el canal de transmisión utilizando los métodos adecuados. En el lado del receptor, otro dispositivo recibirá los datos directamente del canal y los enviará, utilizando nuevamente la interfaz, al dispositivo receptor.

4.1. Equipos terminales

- **DTE o ETD** (*Data Terminal Equipment*, equipo terminal de datos). Es un dispositivo que genera o recoge datos (puede ser un ordenador). Debido a que los DTE solo pueden transmitir a una distancia pequeña (mediante un cable serie o USB en el caso de un ordenador), no suelen conectarse directamente al medio de transmisión: necesitan otro dispositivo.
- **DCE o ETCD** (*Data Circuit-terminating Equipment*, equipo terminal del circuito de datos). Se sitúa entre el DTE y el medio de transmisión. Por ejemplo un módem, cuya misión es modular los datos para que puedan ser transmitidos por el medio, así como demodular los datos procedentes del medio. Los DCE no solo realizan esta tarea de adaptación de la señal sino que también suelen incorporar control de errores, compresión de los datos y mecanismos para el establecimiento de la conexión.

La comunicación entre DTE y DCE se realiza a través de una **interfaz**. Estas interfaces deben estar normalizadas para que no existan incompatibilidades.

4.1.1. Interfaces

Las interfaces de datos pueden operar en serie o en paralelo. Estas son capaces de transmitir de forma simultánea grupos de n bits mediante el uso de n líneas entre el DTE y el DCE. Sin embargo, las interfaces en serie pueden transmitir bits de forma secuencial sobre una única línea de comunicación entre DTE y DCE.

La transmisión en paralelo es capaz de lograr mayor velocidad pero precisa de un mayor número de cables, lo que puede originar un incremento de costes. Además, hay que contar con la existencia del problema de sincronismo entre las múltiples señales procedentes de cada línea. Por este motivo, la trans-



misión en paralelo se utiliza sobre todo para comunicaciones de muy corta distancia, por ejemplo periféricos o los buses de datos. Para resolver esta situación se adoptaron las operaciones de transmisión asíncrona y síncrona.

Como resultado de lo anterior, las comunicaciones en serie están más extendidas. Eso sí, presentan un problema relacionado con la sincronización de los relojes en el emisor y el receptor. Se precisa una sincronización perfecta entre ambos para evitar una deriva que podría causar una pérdida o una generación artificial de bits en la salida de la comunicación.

Una interfaz ha de contar con las características necesarias que posibiliten la correcta comunicación entre un DTE y un DCE:

- **Mecánicas.** Son relativas al número de conectores utilizados en la conexión, a sus dimensiones, al número y tipo de cables y a su ubicación atendiendo al tipo de equipo.
- **Eléctricas.** Se refiere a los niveles de tensión asignados a cada valor binario lógico (0 y 1).
- **Funcionales.** Se refiere a la interpretación de cada una de las señales que podrán aparecer en cada una de las líneas o contactos de que se cuenta en una interfaz.
- **De procedimiento.** Son relativas a las secuencias de eventos: qué líneas han de utilizarse y los pasos a seguir para establecer la comunicación.

Las interfaces han evolucionado a la par que los equipos y los sistemas informáticos. Mientras que las primeras hacían uso de múltiples líneas, cada una con un significado, las más nuevas, gracias al abaratamiento de los procesadores, son mucho más complejas y utilizan menos líneas. En ellas, el control y la señalización se realizan en base a secuencias específicas de bits que se incorporan y combinan con los datos. Es un procedimiento similar al de los protocolos de redes.

Las primeras interfaces estaban basadas en el hardware, mientras que las nuevas son más software.

Los tipos de interfaces más utilizados son:

- RS-232.
- USB.
- Firewire.
- RJ-45.
- Interfaz RDSI.
- X.21, utilizada para funcionamiento síncrono en redes públicas de datos. X.21 es la interfaz de nivel físico recomendada para el estándar X.25.



- V.35, utilizada para conectar enlaces troncales tipo E1 entre equipos de conmutación.
- HSSI (*High Speed Serial Interface*, Interfaz de serie de alta velocidad), es la interfaz de más capacidad para la especificación E3 que se utiliza para conectar encaminadores (routers) entre las LANs y las WANs mediante líneas de alta velocidad (E3 o T3).
- G.703, utilizada para la interconexión de encaminadores (routers) y multiplexores.

A) RS-232

Se basa en un dispositivo UART (*Universal Asynchronous Receiver/Transmitter*), caracterizado por realizar una transmisión asíncrona.

La primera versión fue establecida inicialmente por la EIA (*Electronic Industries Association*) en 1962 con el nombre RS-232. Actualmente se encuentra en su sexta versión: EIA-232. Es la interfaz más extendida y está definida en el estándar V.24 de la UIT-T. Este estándar únicamente define las características funcionales y de procedimiento. Para el resto de características, recurre a otras normas:

- **Características mecánicas.** Existen dos conectores: uno de 25 contactos, denominado DB-25 y otro denominado DB-9, con 9 líneas, macho en ambos casos en la parte del DTE.
- **Características eléctricas.** El estándar establece un valor de tensión menor de -3 voltios para representar al “1” lógico binario y mayor de 3 voltios para representar al “0” binario. Utiliza una codificación NRZ-L y se admiten velocidades de hasta 20 kbps y distancias de cable de hasta 15 metros.
- **Características funcionales.** Los circuitos pueden agruparse en cuatro tipos en función de la señal que transportan:
 - Datos, envían y reciben los datos a transmitir.
 - Control, realizan el control de la interfaz, cada uno de ellos con un significado establecido en la especificación funcional.
 - Temporización, posibilitan el envío de señales de reloj, esto es, transmisión síncrona.
 - Tierra, el circuito de tierra.
- **Características de procedimiento.** Define la secuencia de eventos y el modo de operar en los circuitos. Un ejemplo lo constituye el procedimiento de control de flujo (RTS-CTS). En él se establece qué hacer cuando un DTE desea enviar datos sobre la interfaz. El procedimiento dispone que el DTE debe solicitar autorización para enviar el dato activan-



do la línea RTS (*Request To Send*) y el DCE ha de aceptar la comunicación mediante la activación de la línea CTS (*Clear To Send*).

La interfaz RS-232 fue pensada para la conexión de dispositivos DTE a módems (DCE). Los módems están conectados a su vez a una línea telefónica analógica.

Sin embargo, pronto surgió la necesidad de conectar los ordenadores con dispositivos externos y se comprobó que únicamente había hacer un uso adecuado de las líneas funcionales de la interfaz para lograrlo.

También resulta posible conectar dos ordenadores utilizando esta interfaz. En este caso se precisa una configuración denominada null-módem que, en realidad, lo que hace es cruzar las señales de transmisión de un DTE con las de recepción del otro DTE.

Las velocidades logradas por la interfaz RS-232 están en torno a los 20 Kbps para distancias en torno a 15 metros.

Una alternativa de mejora de esta interfaz fue la RS-422. Entre sus características hace uso de la transmisión balanceada, lo que le permite alcanzar velocidades de hasta 2 Mbps para distancias de hasta 60 metros. Pese a estas ventajas, no ha conseguido desplazar a la interfaz RS-232 debido, sobre todo, a su incompatibilidad: la interfaz RS-422 cuenta con un conector de 49 líneas.

B) Interfaz USB

La interfaz USB (*Universal Serial Bus*) es la propuesta para mejorar la velocidad de las interfaces RS-232. Fue desarrollada entre varias de las empresas líderes en el sector de las telecomunicaciones: Lucent, Intel, Microsoft, NEC, Philips y Hewlett-Packard.

USB se diseñó con la intención de conseguir un conector universal que sirviese para todo tipo de dispositivos periféricos (impresoras, ratones, escáneres, etc.) de forma que se pudieran conectar y desconectar fácilmente. Es un bus serie que permite la conexión simultánea de hasta 127 dispositivos periféricos.

La transmisión USB está basada en el paso de un testigo y en la técnica de compartición de canal. USB es una interfaz de transmisión de datos y distribución de energía. Consta de cuatro líneas: 2 para la transmisión o recepción balanceada de datos, una línea de tensión de 5 voltios que alimenta a los periféricos conectados y la última es la línea de tierra.

La transmisión de información mediante la interfaz USB entre un host y un dispositivo se realiza en base a los bloques de información, datos transportados e información de control. El control de la interfaz es totalmente software. El controlador responsable determinará las secuencias de comandos a partir del flujo de datos.

Existen varias versiones de USB, la más actual es la 3.1 aunque la más extendida es la 2.0. Esta última posibilita tres velocidades:

- Baja velocidad, hasta 1,5 Mbps para dispositivos como ratón o teclado.



- Velocidad completa, hasta 12 Mbps, para aplicaciones con requisitos medios de ancho de banda como teléfono o audio.
- Alta velocidad, hasta 480 Mbps, para aplicaciones con altos requisitos de ancho de banda, como almacenamiento masivo o vídeo.
- El estándar 3.0 permite alcanzar velocidades de hasta 4,8 Gbps. Eso sí, precisa la conexión de cinco contactos adicionales que posibilitan la transmisión simultánea en ambos sentidos (comunicación duplex).

Versión	Velocidad máxima
USB 1.0 y 1.1	12 Mbps = 1,5 MBytes/s
USB 2.0	480 Mbps = 60 MBytes/s
USB 3.0	4,8 Gbps = 600 MBytes/s
USB 3.1	10 Gbps = 1,25 GBytes/s

C) Firewire

FireWire es el nombre propietario de Apple Computer de la interfaz IEEE 1394. Su diseño tenía el propósito de proporcionar alta velocidad en la transmisión de datos en serie. Cuenta con una velocidad superior a USB y, por este motivo, ha sido muy utilizado para transferencias de audio y vídeo o para la interconexión de dispositivos digitales (vídeos y cámaras) con ordenadores.

Soporta la conexión de hasta 63 dispositivos con cables de longitud de hasta 425 cm, es compatible con la tecnología plug and play y permite conectar dispositivos sin la necesidad de utilizar su memoria o su microprocesador.

Su diseño permite la transmisión de datos en tiempo real de un lugar a otro. Esta característica lo hace muy apreciado en sistemas que precisen supervisión constante. Un ejemplo clásico lo constituye cualquier sistema de videovigilancia.

Otra aplicación se encuentra en la edición de video digital, pues la interfaz permite la captura de video directamente desde una cámara de vídeo digital con puertos FireWire así como de sistemas analógicos mediante el uso de conversores.

Versión	Velocidad máxima
Firewire 400	50 MBytes/s
Firewire 800	100 MBytes/s
Firewire s1600	200 MBytes/s
Firewire s3200	400 MBytes/s



D) Interfaz RJ-45

Las tarjetas con conectores RJ-45 (*Registered Jack 45*) representan una de las formas de conexión más utilizadas entre ordenadores y redes, sobre todo en redes LAN de tipo BASE-T con pares trenzados de categoría 4 y superiores.

Cuenta con un aspecto similar al conector RJ-11, utilizado en conexiones telefónicas pero utiliza 8 conectores en lugar de los cuatro que utiliza este conector RJ-11.

RJ-45 define tan solo una interfaz física, es decir, dimensiones, forma y contacto de los conectores y la forma de conectar los cables, según sus códigos de colores.

En las redes LAN su forma de transmisión es serie. Utiliza un par de contactos para emitir y otro par para recibir los datos mediante una transmisión balanceada. Las otras cuatro líneas son utilizadas para transmitir energía y alimentar el equipo terminal (la nomenclatura clásica ETD se convierte aquí en TE, *Terminal Equipment*) desde el terminador de red (NT, *Network Terminal*) y viceversa.

E) Interfaz RDSI

Establece la interfaz entre el equipo terminal (llamado *TE* en la terminología de *RDSI*) y un terminal de red (*NT*).

El estándar V.24 tiene el inconveniente de la utilización de un elevado número de circuitos, lo que incrementa el coste del cableado. La idea de utilizar un menor número de circuitos pero con una mayor lógica de control se utilizó inicialmente en el estándar digital X.21 mediante conectores de 15 contactos. En la interfaz RDSI el número de contactos se ha reducido hasta 8.

Las características mecánicas de conector de 8 contactos están definidas en la norma ISO 8877. Se utilizan 2 circuitos para transmitir, 2 para recibir, 2 para suministro de energía del NE al TE y 2 para suministrar energía en sentido contrario. La transmisión RDSI únicamente usa 6 circuitos (no se usa el suministro de energía del TE al NE).

Para la codificación de los datos se utiliza la codificación pseudoternario en los accesos básicos de RDSI y la codificación AMI en los accesos primarios.

4.2. Equipos de interconexión y conmutación

La verdadera importancia de cualquier sistema en red es la posibilidad de intercomunicación con otros.

Según se establece en el modelo OSI, es la capa de red la responsable de la comunicación entre equipos y sistemas o, dicho de otra forma, la interconexión de redes.



Para conectar dos redes se necesita un dispositivo con funcionalidades que permita salvar las posibles diferencias. Los equipos de interconexión dependerán de la capa en que operen. En función de ella reciben distintos nombres y tienen asignadas funciones diferentes:

- Repetidor, trabaja en la capa física y únicamente amplifica la señal, solucionando una posible atenuación de la misma.
- Concentradores (*Hubs*), trabajan en la capa física.
- Puentes (*Bridges*), trabajan hasta la capa de enlace. Su función es la de conectar redes con distinta naturaleza (por ejemplo, una *WLAN* con una Ethernet).
- Conmutadores (*Switches*), son concentradores mejorados.
- Encaminadores (*Routers*), conectan redes a nivel de la capa de red.
- Pasarelas (*Gateways*), permiten interconectar redes que son distintas a nivel 3.
- Otros dispositivos de capa superior, trabajan por encima de la capa de red para permitir la conexión entre protocolos de la capa correspondiente.

Los dispositivos de la **capa física** únicamente reenvían la señal del cable o la amplifican, pero no entienden lo que realmente están retransmitiendo. Los **repetidores** o **amplificadores** son habituales en enlaces de larga distancia para contrarrestar el efecto de la atenuación de la señal. Los **concentradores** se utilizan para conectar los ordenadores que forman una red local Ethernet.

En la **capa de enlace** los dispositivos tienen una cierta inteligencia. Son capaces de leer las tramas físicas, filtrarlas y entregarlas donde corresponda. Los **puentes** se utilizan para convertir tramas físicas entre 2 redes distintas (Ethernet y Wi-Fi, por ejemplo). Los **conmutadores** son una versión mejorada de los concentradores. En lugar de difundir la información a todos los puestos de la red, únicamente la envían al puesto al que va destinada, observando su dirección física (MAC).

Los **encaminadores** o **routers (capa de red)** conectan unas redes con otras, para formar una red de redes. El principal protocolo utilizado por los routers es IP. El encaminador es el dispositivo encargado de dirigir los datagramas IP hacia una red u otra, observando para ello la dirección IP de destino.

Un encaminador tiene una dirección IP por cada red que conecta. Los encaminadores utilizan algoritmos y tablas de enrutamiento para conocer el camino óptimo hacia un host destino. En caso de caída de un enlace, pueden reconfigurarse para encaminar los datagramas por una ruta alternativa. Al contrario que los dispositivos vistos anteriormente, requieren una configuración inicial por parte del administrador de la red. Las empresas utilizan habitualmente los encaminadores a la entrada de sus instalaciones para la conexión a Internet o a otras redes (sucursales conectadas por Frame Relay o enlaces punto a punto, por ejemplo).



Finalmente, los dispositivos de las capas superiores, por ejemplo la **capa de aplicación**, son capaces de entender el protocolo que se está utilizando en las comunicaciones. No solo observan la dirección IP de los mensajes sino que además pueden procesar o tomar decisiones en virtud de su contenido. Un ejemplo lo constituiría la necesidad de conexión de una pasarela de correo entre el correo de Internet (SMTP) y el sistema de correo de una organización que contase con un protocolo específico. Otro ejemplo podría reflejarlo la necesidad de integrar sistemas antiguos pero muy utilizados en entornos bancarios, como el software SNA Server de Microsoft para que los antiguos mainframes IBM AS/400 puedan operar con redes más nuevas (es una pasarela entre TCP/IP y SNA).

Aunque no es frecuente, existe un dispositivo que opera en los niveles 2 y 3 llamado **brouter** (*bridge-router*). Funciona como un router multiprotocolo, aunque se comporta como un bridge cuando recibe protocolos no soportados. Debido a que la tendencia es a utilizar TCP/IP como único protocolo en todas las redes, las ventajas de un router multiprotocolo no son tales y por este motivo, este dispositivo apenas es utilizado.

Si bien los firewalls (cortafuegos) no se consideran elementos de interconexión, también se podrían incluir en el esquema anterior. Existen firewalls que operan a nivel de la capa de red y también a nivel de la capa de aplicación. Los firewalls a nivel de aplicación incluyen capacidades de filtrado por protocolos o servicios. En cambio, los firewalls a nivel de red únicamente pueden filtrar por las direcciones IP origen y destino.

4.2.1. Concentradores (hubs)

Un concentrador o hub es el punto central desde el cual parten los cables de par trenzado o fibra óptica hasta los distintos puestos de la red, siguiendo una topología de estrella. Se caracterizan por el número de puertos y las velocidades que soportan. Por ejemplo, son habituales los hubs 10/100 de 8 puertos.

- Los hubs difunden la información que reciben desde un puerto por todos los demás (su comportamiento es similar al de un ladrón eléctrico).
- Todas sus ramas funcionan a la misma velocidad. Esto es, si mezclamos tarjetas de red de 10/100 Mbps y 10 Mbps en un mismo hub, todas sus ramas funcionarán a la velocidad menor (10 Mbps).
- Es habitual que contengan un diodo luminoso para indicar si se ha producido una colisión. Además, los concentradores disponen de tantos indicadores (LED) como puertos para informar de las ramas que tienen señal.

4.2.2. Bridges

Un puente de red o bridge es un dispositivo de interconexión de redes de ordenadores que opera en la capa 2 (nivel de enlace de datos) del modelo OSI. Este interconecta segmentos de red (o divide una red en segmentos) haciendo la transferencia de datos de una red hacia otra con base en la dirección física de destino de cada paquete. En definitiva, un bridge conecta segmentos de red



formando una sola subred (permite conexión entre equipos sin necesidad de routers). Funciona a través de una tabla de direcciones MAC detectadas en cada segmento al que está conectado. Cuando detecta que un nodo de uno de los segmentos está intentando transmitir datos a un nodo del otro, el bridge copia la trama para la otra subred, teniendo la capacidad de desechar la trama (filtrado) en caso de no tener dicha subred como destino. Para conocer por dónde enviar cada trama que le llega (encaminamiento) incluye un mecanismo de aprendizaje automático (autoaprendizaje) por lo que no necesitan configuración manual.

Existen diversos tipos de puentes en función de ciertas características:

- Según su funcionamiento:
 - **Transparentes** (IEEE 802.1): actúan de forma transparente. No se requiere modificación alguna en las estaciones.
 - **Con encaminamiento desde el origen** (802.5): las estaciones deben indicar el camino que seguirá la trama. Solo existen en redes Token Ring.
- Según su interoperabilidad:
 - **Homogéneos**: solo interconectan LANs con el mismo formato de trama, es decir, (802.3-802.3 o bien 802.5-802.5).
 - **Heterogéneos o traductores**: interconectan LANs con formato distinto de trama (ej 802.3-802.5).
- Según su alcance:
 - **Locales**: interconectan LANs directamente.
 - **Remotos**: enlazan LANs a través de conexiones WAN (líneas dedicadas, enlaces X.25, Frame Relay, ATM, RDSI, etc.).

4.2.3. Conmutadores (Switches)

Un conmutador o switch es un concentrador mejorado. Cuenta con sus mismas posibilidades de interconexión -al igual que un hub, no impone ninguna restricción de acceso entre los ordenadores conectados a sus puertos-, pero se comporta de un modo más eficiente, reduciendo tanto el tráfico en las redes como el número de colisiones. Las principales características de un conmutador son:

- Un conmutador no difunde las tramas Ethernet por todos los puertos, sino que las retransmite solo por los puertos necesarios. Por ejemplo, si tenemos un ordenador A en el puerto 3, un ordenador B en el puerto 5 y otro ordenador C en el 6, y enviamos un mensaje desde A hasta C, el mensaje lo recibirá el switch por el puerto 3 y solo lo reenviará por el puerto 6 (un hub lo hubiese reenviado por todos sus puertos). Además de la mayor eficiencia, la utilización de redes conmutadas supone un aumento de



seguridad, ya que otros hosts no pueden espiar mediante un analizador de red (sniffer) el tráfico que no está dirigido a ellos.

- Cada puerto tiene un buffer o memoria intermedia para almacenar tramas Ethernet.
- Puede trabajar con **velocidades distintas** en sus ramas (*autosensing*): unas ramas pueden ir a 10 Mbps y otras a 100 Mbps.
- Suelen contener **3 diodos luminosos** para cada puerto: uno indica si hay señal (link), otro la velocidad de la rama (si está encendido es 100 Mbps, apagado es 10 Mbps) y el último se enciende si se ha producido una colisión en esa rama.

A) Aprendizaje de los conmutadores

Un conmutador debe conocer los equipos que se encuentran conectados a él. La capacidad que le permite averiguarlo de forma automática se denomina **aprendizaje**.

Los conmutadores contienen una tabla dinámica de direcciones físicas y números de puerto. Nada más enchufar el switch, esta tabla se encuentra vacía. Un procesador analiza las tramas Ethernet entrantes y busca la dirección física de destino en su tabla. Si la encuentra, únicamente reenviará la trama por el puerto indicado. Si por el contrario no la encuentra, no le quedará más remedio que actuar como un hub y difundirla por todas sus ramas.

Las tramas Ethernet contienen un campo con la dirección física de origen que puede ser utilizado por el switch para agregar una entrada a su tabla basándose en el número de puerto por el que ha recibido la trama. A medida que el tráfico se incrementa en la red, la tabla se va construyendo de forma dinámica. Para evitar que la información quede desactualizada (si se cambia un ordenador de sitio, por ejemplo) las entradas de la tabla desaparecerán cuando agoten su tiempo de vida (TTL), expresado en segundos.

B) Spanning Tree Protocol (STP)

Algoritmo utilizado en redes conmutadas (redes interconectadas a través de un switch) para prevenir bucles. Su función principal es la de permitir la duplicidad de rutas conmutadas sin sufrir la latencia de los bucles de red.

Una topología de red libre de bucles es aquella en la que existe un único camino a un destino en cada momento. Un buen diseño de red incluirá enlaces redundantes para proporcionar caminos alternativos si uno falla.

El protocolo Minimum STP asegura que solo habrá un camino en cada momento, detectando los bucles y bloqueando los puertos de los switches en consecuencia.

El algoritmo selecciona un root bridge (un switch), según el BI, Bridge Identification (en función de la dirección MAC y una prioridad configurable). Los otros switches calculan entonces la distancia más corta al root, produciendo la topología libre de bucles, el árbol.



4.2.4. Encaminadores (routers)

En entornos donde coexistan segmentos de red con diferentes protocolos y arquitecturas, un puente no sería adecuado para proporcionar una comunicación entre dichos segmentos. En estos entornos se precisa la existencia de dispositivos que conozcan tanto la dirección de cada segmento como la capacidad de decidir qué camino es el más óptimo para enviar los datos. Estos dispositivos son los encaminadores.

Los encaminadores trabajan en la capa de red del modelo OSI por lo que pueden conmutar y encaminar paquetes a lo largo de varias redes. Pueden realizarlo gracias al intercambio de información específica entre redes separadas. Estos dispositivos son capaces de realizar las siguientes funciones de un puente:

- Filtrado y aislamiento de tráfico.
- Conectar segmentos de red.

Puesto que son capaces de obtener más información de los paquetes que los puentes, proporcionan mejoras en su entrega, optimizando la gestión del tráfico de red. Además, pueden compartir información de estado y de encaminamiento con otros dispositivos, conociendo si alguno no se encuentra operativo o está congestionado y pudiendo, así, elegir otra ruta de entrega.

Los encaminadores mantienen sus propias tablas de encaminamiento. Suelen contener direcciones de red y direcciones de host si la arquitectura así lo requiere. Para determinar la dirección de destino de un dato entrante, la tabla debería contener los siguientes datos:

- Todas las direcciones de red conocidas.
- Instrucciones para conectar con otras redes.
- Posibles caminos entre encaminadores.
- El coste de enviar datos por cada uno de los posibles caminos.

Existen dos grandes tipos de encaminadores:

- **Estáticos**, precisan la existencia de un administrador que establezca y configure manualmente la tabla de encaminamiento.
- **Dinámicos**, están diseñados para descubrir automáticamente rutas, así como para examinar información de otros encaminadores y tomar decisiones para optimizar el tráfico. Requieren una mínima configuración.

4.2.5. Pasarelas (Gateways)

Permiten la comunicación entre diferentes entornos y arquitecturas. Una pasarela es capaz de conectar dos sistemas que no utilicen ni los mismos pro-



tos de comunicación, ni las mismas estructuras de formato de datos, de lenguaje o de arquitectura.

Son capaces en empaquetar y convertir datos de un entorno para que otro sistema de un entorno diferente pueda procesarlos. Pueden cambiar, incluso, el formato de un mensaje emitido por una aplicación para que pueda ser entendido por la misma aplicación existente en otro entorno.

Una pasarela consigue procesar los datos utilizando los siguientes pasos:

- Desensamblando los datos entrantes a través de la pila de protocolos de red.
- Encapsulando los datos salientes en la pila de protocolos de la red destino para que la transmisión pueda realizarse.

Con el avance de las tecnologías de interconexión, así como el deseo de integrar dispositivos, a veces las funciones de un encaminador y las de una pasarela se confunden, pese a que, conceptualmente son muy diferentes. Un encaminador es, únicamente, un dispositivo con la capacidad de encaminar tráfico mientras que una pasarela permite la interconexión de redes diferentes a nivel de capa 3. Sin embargo, a nivel práctico, estas fronteras suelen hacerse difusas y muchas veces se denomina encaminador (router) a cualquier dispositivo capaz de interconectar redes distintas.

Resumen de dispositivos de interconexión

El siguiente cuadro resumiría los distintos dispositivos de interconexión.

NIVEL MODELO OSI	DISPOSITIVOS DE INTERCONEXIÓN	EJEMPLOS DE PROTOCOLOS Y SERVICIOS
7. Aplicación	Gateway (pasarela) Proxy Firewall (cortafuegos)	HTTP, DNS, FTP, TFTP, SMTP, POP3, IMAC, IRC, NNTP, NTP, LDAP, TELNET, SSH, DHCP
4. Transporte		TCP, UDP
3. Red	Router (encaminador) Gateway (Pasarela)	IP, ARP, RARP, ICMP
2. Enlace	Switch (conmutador) Bridge (puente)	HDLC, LAPB, LAPF, PPP, SLIP, Ethernet, Token Ring, Token Bus, IEEE 802.11
1. Física	Hub (concentrador) Repetidor Amplificador	EIA-232, V.90, X.21, USB

Notas:

- Aunque se ha incluido a los cortafuegos en la capa de aplicación por ser lo más habitual, también podrían operar a nivel de la capa de red aunque, en este caso, no podrían filtrar en base a puertos ni a aplicaciones.



- Existen conmutadores que trabajan en capas superiores. Así, se habla de un switch L3 (entiende direcciones IP) o un switch L4 (entiende puertos).
- Las pasarelas suelen operar a nivel 3, pero también lo hacen a nivel de aplicación. Como ya se expresó, las fronteras son más difusas a medida que las tecnologías tratan de integrar dispositivos de interconexión.

4.3. Dominios de colisión

Un **dominio de colisión** es un segmento del cableado de la red que comparte las mismas colisiones. Cada vez que se produzca una colisión dentro de un mismo dominio de colisión, afectará a todos los ordenadores conectados a ese segmento pero no a los ordenadores pertenecientes a otros dominios de colisión.

Todas las ramas de un hub forman un mismo dominio de colisión (las colisiones se retransmiten por todos los puertos del hub). Cada rama de un switch constituye un dominio de colisiones distinto (las colisiones no se retransmiten por los puertos del switch). Este es el motivo por el cual la utilización de conmutadores reduce el número de colisiones, mejorando así la eficiencia de las redes. Al hecho de que a se conecte un PC a una boca de un switch se le llama microsegmentación.

El ancho de banda disponible se reparte entre todos los ordenadores conectados a un mismo dominio de colisión.

4.4. Dominios de difusión

Un **dominio de difusión o dominio de broadcast** lo forman el conjunto de máquinas que comparten las mismas difusiones. Si un dominio de difusión es excesivamente amplio, esto afectará al rendimiento de la red puesto que las difusiones de todos los ordenadores llegarán al resto, y estos deben atenderlas.

En redes grandes, es conveniente segmentar la red en distintos dominios de difusión para así aumentar su rendimiento. Se puede conseguir mediante:

- **Encaminadores (routers)**. Dividiendo la red en distintas redes IP con cableados distintos e interconectadas mediante routers.
- **Redes virtuales (VLAN, estándar IEEE 802.1Q)**. Dividiendo la red por departamentos o tipos de tráfico, aunque el cableado sea común.

Tanto un hub como un switch, cuando reciben una trama de difusión (dirigida a la dirección MAC FF:FF:FF:FF:FF:FF), la retransmiten por todas sus ramas. La excepción a lo anterior son los switches con soporte para VLANs. Al contrario que los hubs y switches, los routers sí permiten segmentar la red en distintos dominios de difusión.

Las VLAN se configuran en switches especiales que tienen esta característica. En cada conmutador se definen las estaciones que pertenecen a cada



VLAN, indicando para ello los puertos donde están conectadas, sus direcciones MAC u otros aspectos. **Cada VLAN forma un dominio de difusión distinto.** Además, cada VLAN utiliza una numeración de red IP diferente.

El principal objetivo de las VLAN es aumentar el desempeño de la red, aunque también incrementan la seguridad. Se pueden crear VLAN según departamentos (VLAN “Sistemas_Producción”, VLAN “Sistemas_Desarrollo”, etc.) o según tipos de tráfico (VLAN “Datos”, VLAN “VoIP”, etc.).

Es posible configurar la misma VLAN en distintos conmutadores. Para ello se origina un diálogo entre los switches denominado trunking (troncal) para identificar las tramas que pertenecen a cada VLAN. El estándar de las redes locales virtuales es IEEE 802.1Q.



