

Redes de área local

Después del estudio de los conceptos previos, válidos para todo tipo de redes, procederemos a ilustrar realizaciones concretas en el ámbito de las redes de área local. En esta unidad de trabajo, nos apoyaremos en los conocimientos adquiridos al estudiar los dos niveles inferiores en la arquitectura OSI. Sin los cuales no es posible ninguna comunicación.

1 Introducción

1.1 Necesidad de la red de área local

La aparición de ordenadores personales ha beneficiado la estandarización y la utilización masiva de la informática. Sin embargo, el PC es una herramienta personal orientada al trabajo individual. Cada usuario posee sus propias herramientas informáticas y su propio software. Se pierden así los beneficios de la utilización del resto de los recursos de la organización (impresoras, datos de otros usuarios, mensajes) que pueden facilitar tareas y fomentar la cooperación con otros usuarios de la red.

En una instalación de red se puede hacer uso de todas estas posibilidades, utilizando recursos, compartiendo archivos, evitando la información redundante y los trabajos duplicados. Las redes proporcionan también la posibilidad de centralizar los datos y poder establecer permisos y seguridad sobre los distintos recursos, hacer backup o copias de seguridad de modo selectivos, etc.

Entre los principales argumentos que aconsejan la utilización de una red de área local se encuentran los siguientes:

- **Razones económicas.** Compartir periféricos evita la necesidad de que cada nodo de la red tenga todos los recursos localmente. Cuando alguien necesita imprimir puede hacerlo por su impresora local, si la tiene, o por una impresora corporativa, compartida por toda la oficina, con unas características apropiadas al tipo de trabajo de impresión.
- **Accesibilidad a los datos.** En el desarrollo de la tarea propia de cualquier organización es imprescindible compartir los datos que se generan en los distintos estados de un proceso. Es necesario, por tanto, un sistema en el que los distintos usuarios de la red intercambien su información, con el fin de facilitar una cooperación entre ellos.
- **Creación de sistemas de información distribuida.** En ocasiones, es imposible, o al menos, no es fácil, que toda la información que se debe utilizar resida en el mismo ordenador, ni siquiera en la misma red. Esto lleva a la necesidad de crear sistemas distribuidos de información, que requieren enlaces seguros para el transporte de los datos desde el punto en el que residen hasta el lugar en donde son relacionados o procesados. Estas técnicas están muy desarrolladas en los sistemas relacionales de bases de datos distribuidas.
- **Evitar redundancias inútiles de la información.** En sistemas aislados, cuando distintos usuarios utilizan la misma información, cada uno debe poseer una copia de los datos que utilizará. Al disponer en el sistema de múltiples copias no sincronizadas, una por usuario, se pueden producir desfases en la información original, que impiden precisar cuál de todas las copias debe tomarse como correcta. Se evita que haya información redundante, o incluso contradictoria, si todos los usuarios de la red trabajan con la misma copia de la información, la única que existe de modo *on line* en la red. Además, tener

múltiples copias incrementa la ocupación de los recursos de almacenamiento en disco de cualquier sistema.

- **Proceso distribuido.** Un sistema informático en red permite que el trabajo que se va a desarrollar por el sistema se divida entre los distintos nodos que componen la red, de modo que las cargas queden balanceadas entre todos los equipos. Además, algunas tareas complejas requieren la cooperación de distintos equipos o periféricos que pueden estar distribuidos por el sistema. Las redes, por tanto, permiten la distribución de los datos y de las tareas que los procesan.
- **Recursos compartidos.** Una red posibilita tener recursos a disposición de los usuarios con derechos de acceso sobre ellos. Ello permite la clasificación de los distintos periféricos por categorías, calidades, costes de utilización, rendimientos, etc. Por ejemplo, un trabajo que debe ser impreso será conducido a una impresora o a otra en función de la calidad de impresión que requiera, para ello tendremos impresoras de borrador o de alta calidad, blanco y negro o color, de alto nivel de producción o de velocidad moderada, escáneres de alta o baja resolución, etc.
- **Simplificación de la gestión de los sistemas.** Tener la posibilidad de centralizar información o procedimientos facilita la administración y la gestión de los equipos. Por ejemplo, en la mayor parte de las redes de área local se puede administrar todos los equipos de la red desde un solo puesto o consola de red, tener un único sistema de cuentas de acceso, un único gestor de derechos de usuario etcétera.
- **Trabajo corporativo.** Con la red de área local pueden integrarse los procesos y datos de cada uno de los usuarios en un sistema de trabajo corporativo o *workflow*. Esto permite la automatización de las tareas y del flujo de datos en cada una de sus fases así como el control del estado en el que se encuentra cada una de las tareas que lo componen. Para ello se requieren capacidades en los nodos de la red para intercambio de datos entre los distintos servidores o puestos y entre las distintas tareas que corren en los distintos ordenadores.

Cualquiera de los puntos anteriores redundan en un beneficio económico, aunque ésta no sea la única razón por la que son convenientes las redes de área local.

1.2 Características esenciales de una LAN

La IEEE proporciona una definición oficial del concepto de red de área local del siguiente modo:

«Una red de área local se distingue de otros tipos de redes de datos en que las comunicaciones están normalmente confinadas a un área geográfica limitada tal como un edificio de oficinas, un almacén o un campus; utilizando un canal de comunicación de velocidad moderada alta y una tasa de error baja».

En esta definición de la IEEE se observan claramente los elementos esenciales de cualquier red de área local: ámbito, seguridad y velocidad.

Otras características que aparecen frecuentemente en las redes de área local y que están relacionadas entre sí son:

- *Los canales de transmisión suelen ser multiacceso.* Los nodos utilizan un único canal para comunicarse con el resto de los equipos que componen la red. Todos los paquetes de red que los nodos escribe en el canal son enviados indistintamente a cualquier punto de la red o a subconjuntos concretos de estos equipos.
- *Las líneas de comunicación suelen ser multipunto* a diferencia de las redes WAN, en donde la conexión suele ser punto a punto a través de centrales de conmutación.
- *El tipo de red depende del tipo de cableado.* Por ejemplo, el cable de pares telefónico es una instalación apropiada para el acceso a una red WAN, sin embargo no tiene la calidad requerida para cumplir las especificaciones de velocidad en una red de área local. El tipo de red también depende de la topología y de los protocolos utilizados. Las redes de área local admiten cualquier topología, mientras que las de tipo WAN suelen ser mallas de nodos y centrales conmutadoras. Una red en anillo difícilmente puede

constituir el núcleo de una gran red de área extensa, pues los anillos más grandes no pueden superar los 200 Km. de perímetro.

Resumiendo, la topología influye en gran medida en el tipo de red. Aunque existe una gran diversidad de topologías y protocolos, no existen todas las combinaciones posibles entre ellas. La conjunción de una topología y de un protocolo o una familia de ellos da lugar a una tecnología concreta de red. Algunas de estas tecnologías serán tratadas en esta unidad de trabajo.

2 Diseño físico de la red

El cableado determina en alguna medida el diseño de la red. Ya conocemos las propiedades físicas de cada tipo de cable que puede ser utilizado en las redes de distribución de datos, así como la naturaleza de las señales que soporta. A partir de aquí aplicaremos estos conocimientos al diseño de las redes de área local.

Su estudio se puede abordar de dos maneras. La primera se refiere a la estructura física del cable y a su distribución geográfica en la red, es decir, su topología. La segunda se centra más en los componentes de hardware utilizados, independientemente de la topología, e integrados en cada nodo de la red. Este último punto de vista al que ahora nos referimos será estudiado en la Unidad de trabajo 6.

2.1 La topología en la red

Según hemos visto, la forma física de cada topología básica está ligada al modo en que se extiende su estructura de cableado. Cada topología básica tiene unas ventajas y unos inconvenientes.

2.1.1 Topología en bus

Las redes de área local con topología en bus son las más sencillas de instalar. No requieren dispositivos altamente especializados para realizar las conexiones físicas entre nodos. Todos los equipos que se conectan a la red lo hacen a través de componentes pasivos o que requieren poca electrónica.

El medio de transmisión que forma la red es un único bus multiacceso compartido por todos los nodos, estableciéndose una contienda para determinar quién tiene derechos de acceso a los recursos de comunicación en cada instante. Este sistema de contienda determina el tipo de red. Por ejemplo, una red en bus muy común, con sistema de contienda CSMA/CD, es la IEEE 802.3 o Ethernet. Por contraste, una red en bus, pero con sistema de contienda por testigo, es la IEEE 802.4 o Token Bus.

El bus tiene una estructura lineal. Con el fin de evitar ecos o reflexiones no deseadas que perjudiquen las condiciones eléctricas de transmisión, los extremos de este bus deben estar terminados con unos acopladores de impedancia eléctrica o terminadores, específicos para el tipo de cable de que se trate. Son típicos los cables coaxiales RG-58 con terminadores de 50 ohmios.

La ruptura del bus impide la comunicación entre cualesquiera dos nodos de la red, lo que hace que esta topología sea muy sensible a la ruptura del cable o a problemas en las conexiones de los nodos a la red. Es conveniente, por tanto, que los cables de datos estén protegidos convenientemente.



Este tipo de red es la más extendida en instalaciones en las que el número de nodos no sea excesivo, aunque poco a poco se sustituye por la topología de red en estrella, que utiliza como nodo central un concentrador o un conmutador.

2.1.2 Topología en estrella

En las redes que tienen su topología en estrella, las estaciones se conectan entre sí a través de un nodo especialmente privilegiado que ocupa la posición central de la red, formando una estrella con el resto de las estaciones. A este nodo se le denomina estación concentradora de la estrella.

La ventaja principal de una red en estrella reside en la seguridad. El concentrador tiene las funciones de intercomunicador entre cualesquiera dos estaciones y de aislador de los problemas que pudieran surgir en cualquiera de los segmentos, de modo que si un segmento se deteriora, sólo él se queda sin el servicio de red. Aunque un segmento se rompa o funcione incorrectamente, el resto de la red permanece en buen estado.

Puesto que a cada nodo le llega un sólo cable de red, las conexiones suelen ser más limpias que el cableado en bus, ya que para mantener la estructura de un bus es necesario llegar físicamente a cada nodo y añadir a continuación un nuevo cable de retorno. Sin embargo, el problema de la topología en estrella se presenta en el entorno del concentrador, ya que todos los segmentos deben terminar en él, produciendo una importante madeja de cables.

El gasto de cableado en una red en estrella es mayor que en el caso de una red en bus. Por ejemplo, si incrementamos 10 metros la distancia de cada nodo de la red al concentrador, en una red de 50 puestos, necesitaríamos 500 metros más de cable.

2.1.3 Topología en anillo

El rendimiento de una red en anillo es superior al de una red Ethernet porque utiliza protocolos de nivel de enlace para acceso al medio libres de colisiones, en concreto el método de paso por testigo. Según esto, las redes en anillo serían las más interesantes de instalar. Sin embargo, para conseguir un funcionamiento correcto del anillo que forma la red, se requieren *elementos electrónicamente activos* (MAU) que encarecen sensiblemente la instalación frente a otras redes de prestaciones semejantes.



La red en anillo más extendida está diseñada por IBM y recibe el nombre de Token Ring. Tiene una estructura muy parecida a la del estándar IEEE 802.5.

Las señales recorren el anillo a la velocidad de la luz en el medio de transporte y requieren retardadores para evitar que unos bits se superpongan a otros, no hay que olvidar que la transmisión en una red en anillo es secuencial. También son necesarios elementos direccionales selectivos para conseguir que la transmisión de bits se produzca en un sólo sentido en el anillo. Si el bit se transmitiera en ambos sentidos del anillo, como ocurre en el bus de Ethernet, se producirían interferencias entre cada bit y el siguiente.

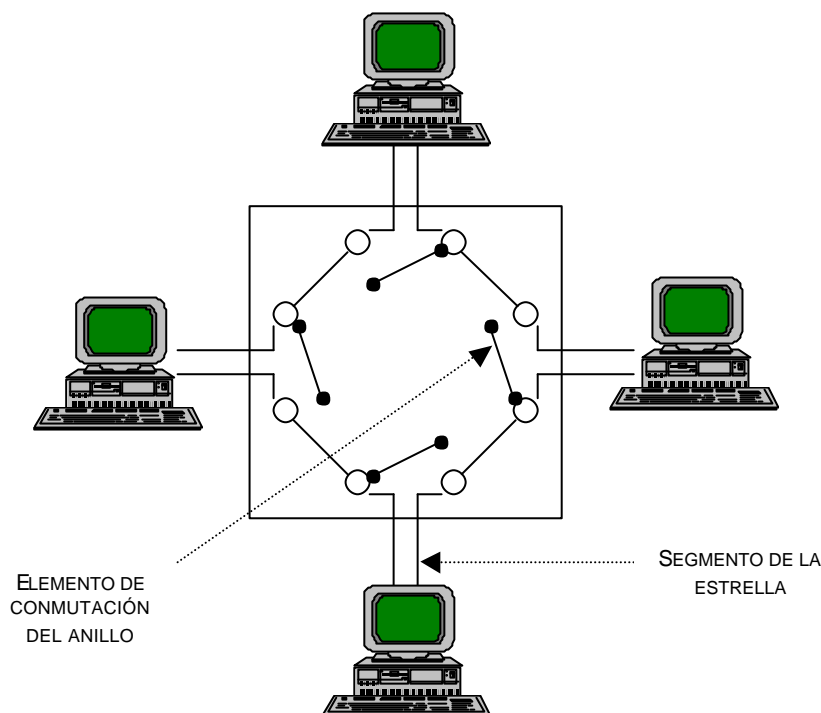
Como consecuencia de todo ello podemos deducir que un anillo no es simplemente un bus cerrado por sus extremos, sino que se trata de una tecnología completamente diferente.

El dispositivo encargado de realizar físicamente el anillo se llama MAU (*Multistation Access Unit*). Este hardware tiene una serie de componentes de conmutación que crean un nuevo anillo cada vez que se conecta una nueva estación como segmento de la estrella.

Si la línea de transmisión que llega a la estación se rompe, el anillo se cierra automáticamente en el interior de la MAU, activando el conmutador de esa línea que se ha estropeado, de modo que la integridad del resto de la red está garantizada.

Si el anillo no llega a romperse pero se produce una mala conexión del equipo terminal con el anillo, disminuye considerablemente el rendimiento de la red, debido a problemas de reflexiones de señal y a la modificación de otros parámetros eléctricos.

El cableado típico para una red en anillo Token Ring es el par trenzado STP. Otras redes en anillo pueden utilizar otro tipo de cableado, por ejemplo, la red FDDI, que estudiaremos más adelante, utiliza como medio de transmisión un anillo de fibra óptica.

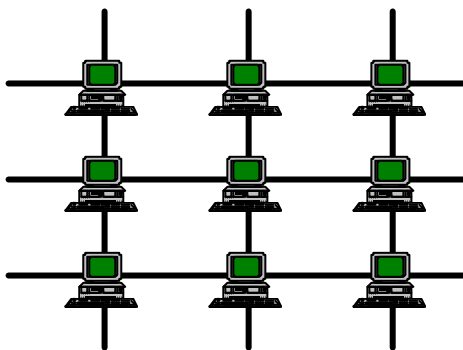


En el caso de Token Ring, la longitud máxima de la línea que une la estación con la MAU es de 45 metros.

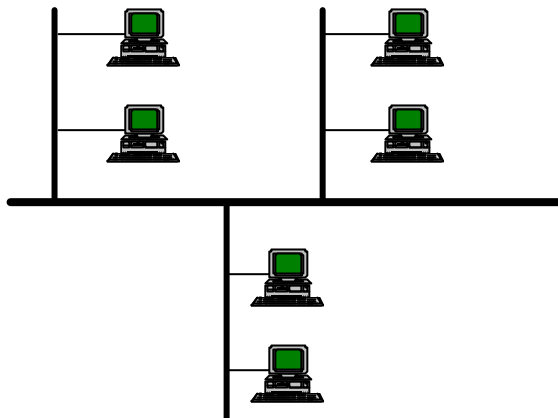
2.1.4 Otras topologías de red

En ocasiones, y para aplicaciones muy específicas, se utilizan topologías más complejas que permiten conexiones múltiples entre distintos equipos.

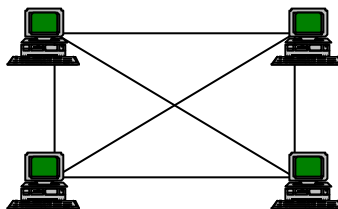
- *Topología en malla.* Se trata de construir una malla de cableado situando los nodos de la red en sus vértices. De este modo, cada nodo está siempre conectado con líneas punto a punto con cualquier otro nodo adyacente.



- *Topología en árbol.* Es una extensión de la topología en bus. Consiste en la conexión de distintos buses lineales (ramas) a un nuevo bus troncal del que se reparte la señal hacia las ramas. Esta topología es muy utilizada en la distribución de señal de televisión por cable.



- *Topología de interconexión total.* Consiste en conectar todos los ordenadores de una red entre sí a través de líneas punto a punto. Esta topología es muy poco utilizada por la gran cantidad de recursos que son necesarios, aunque es la más segura.



2.2 Los componentes físicos de la red

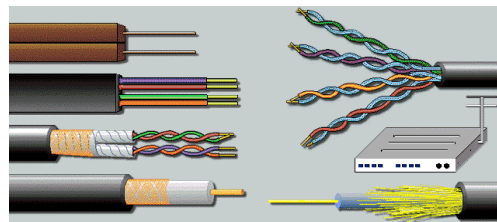
El sistema de cableado está formado por el conjunto integrado de todos los componentes físicos que externamente conectan los ordenadores entre sí. Están determinados por dos factores: el tipo de medio de transmisión junto con los conectores y la topología.

- *El tipo de medio de transmisión* influye tanto en el rendimiento como en las prestaciones que se le pueden pedir a la red. Cada medio de transmisión tiene unas características propias de velocidad de transferencia de datos y ancho de banda.
- *La topología* suele determinar la seguridad y, de algún modo, el coste de la instalación, aunque en su elección influye también la disposición geográfica de los dispositivos de red, así como los protocolos de comunicación que deban ser utilizados.

Una vez escogida una topología de red o una combinación de ellas, hay que integrar el resto de los componentes físicos. Algunos de ellos están ligados intrínsecamente a la topología, mientras que otros son comunes a diversas topologías y pueden ser utilizados en distintas configuraciones.

Entre los distintos tipos de componentes físicos que se pueden encontrar en una red podemos destacar los siguientes:

1. **Cables.** Es el elemento fundamental de cualquier instalación para una red de área local. Representa el soporte físico para la transmisión de las señales. Los principales tipos de cables que se utilizan en las LAN ya se han estudiado anteriormente, aquí sólo los nombraremos:



- UTP
- STP.
- Coaxial grueso.
- Coaxial fino.
- Otros cables coaxiales con funciones específicas son el twinaxial o el dual coax.
- Fibra óptica.

2. **Conectores.** El conector es el interface entre el cable y el DTE o el DCE de un sistema de comunicación o entre dos dispositivos intermedios en cualquier parte de la red. En las redes de área extendida la estandarización es muy importante, puesto que hay que garantizar que sea cual sea el fabricante de los equipos, los ordenadores conectados se puedan entender, incluso en el nivel físico. En las redes de área local, como sólo existe un propietario, hay una mayor libertad en la elección de los conectores. Aún así, se han estandarizado en gran medida. Algunos de estos conectores se describen a continuación:

- RJ11, RJ12, RJ45. Estos conectores se suelen utilizar con cables UTP, STP y con otros cables de pares. Para estos cables habíamos definido distintas clases y categorías, que son también heredadas por los conectores. Por tanto, al adquirir los conectores se debe especificar la categoría del cable que se pretende utilizar con ellos.



- AUI, DB 15. Se utilizan en la formación de topologías en estrella con cables de pares o para la conexión de **transceptores** a las estaciones. Los transceptores o *transceivers* serán vistos posteriormente.

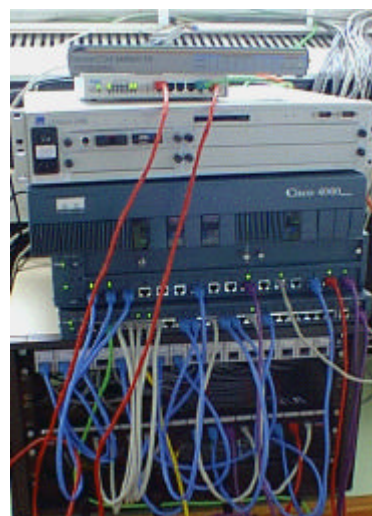
- BNC. Se utiliza con cable coaxial fino, típico de Ethernet. Mantiene la estructura coaxial del cable en cada conexión.



- T coaxial. Es el modo natural de conectar una estación en un bus de cable coaxial.
- DB25 y DB9. Son conectores utilizados para transmisiones en serie.

3. Otros elementos físicos

- **Baluns y transceptores.** Son capaces de adaptar la señal pasándola de coaxial, twinaxial, dual coaxial a UTP o, en general, a cables de pares, sean trenzados o no. La utilización de este tipo de elementos produce pérdidas de señal, ya que deben adaptar la impedancia de un tipo de cable al otro.
- **Rack.** Es un armario que recoge de modo ordenado las conexiones de toda o una parte de la red.
- **Latiguillos.** Son cables cortos utilizados para prolongar los cables entrantes o salientes del rack.
- **Canaleta.** Es una estructura metálica o de plástico, adosada al suelo o a la pared, que alberga en su interior todo el cableado de red, de modo que el acceso a cualquier punto esté más organizado y se eviten deterioros indeseados en los cables.



- **Placas de conectores y rosetas.** Son conectores que se insertan en las canaletas o se adosan a la pared y que sirven de interface entre el latiguillo que lleva la señal al nodo y el cable de red.

2.3 Cableado estructurado

La **seguridad** de la red de área local es uno de los factores más importantes que cualquier administrador o instalador de red debe considerar.

Por otra parte, son frecuentes los cambios que se deben realizar en las instalaciones de red, especialmente en su cableado, debido a la evolución de los equipos y a las necesidades de los usuarios de la red. Esto nos lleva a tener en cuenta otro factor importante: la **flexibilidad**.

Por tanto, un sistema de cableado bien diseñado debe tener estas dos cualidades: seguridad y flexibilidad. A estos parámetros se le pueden añadir otros, menos exigentes desde el punto de vista del diseño de la red, como son el coste económico, la facilidad de instalación, etc.

En ocasiones, trasladar el lugar de un puesto de trabajo hace necesarios unos cambios profundos en el cableado de un edificio. Transformar la estructura de comunicaciones por cable de un edificio no es una tarea sencilla ni económica. Puede ser inviable para una instalación debido a dos factores:

- **Económico.** El elevado coste de una instalación completa de cableado hace que se eviten los cambios en la medida de lo posible. A menudo se requiere la modificación de los tendidos eléctricos, una nueva proyección de obras en el edificio, etc. Mientras que los componentes de software (sistemas operativos de red, instalaciones de software en los clientes, etc.) son fácilmente actualizables, los componentes físicos exigen bastantes cambios. Una buena base en el cableado implica un ahorro considerable para el mantenimiento de la instalación, tanto de las redes de datos como de las redes de distribución del fluido eléctrico. Por esta razón se suele decir que la red es el cable. Los edificios de nueva planta se construyen de modo que se facilite tanto la estructura de cableado como su integración y su posible revisión futura: la *Domótica* es una nueva técnica que se ocupa de estructurar las comunicaciones y los automatismos en los edificios inteligentes: estudia la aplicación de la informática y las comunicaciones en el hogar.
- **Logístico.** Los puestos de trabajo fuertemente dependientes de la red hacen que los cambios en la red supongan importantes consecuencias para el desarrollo de sus tareas. Además, algunos nodos de la red pueden tener funciones de servicio corporativas, que no pueden dejar de funcionar sin un grave perjuicio para todos los usuarios. Es el caso de los servidores de discos, de impresoras, etc., en los que, al quedar fuera de línea, dejan sin trabajo una gran parte de los puestos de la red.

Frecuentemente se producen cambios sustanciales en los sistemas de red, de modo que las empresas deben disponer de sistemas que reúnan tanto flexibilidad como seguridad para conseguir una transición tecnológica sencilla. La propia red va transformando el modo de trabajar de los usuarios de la red, les dota de nuevas soluciones y recursos y automatiza su flujo de trabajo. Sin embargo, la transición, al menos en lo referente a los componentes físicos de la red, no es simple, requiere de un estudio pormenorizado de las fases en que se llevará a cabo en forma de proyecto.

Para la realización de este proyecto hay que partir de unas premisas que consideren el posible crecimiento futuro de la red. Comentaremos aquí algunas de ellas, aunque se estudiarán con profundidad al referirnos a la instalación, administración y seguridad de redes.

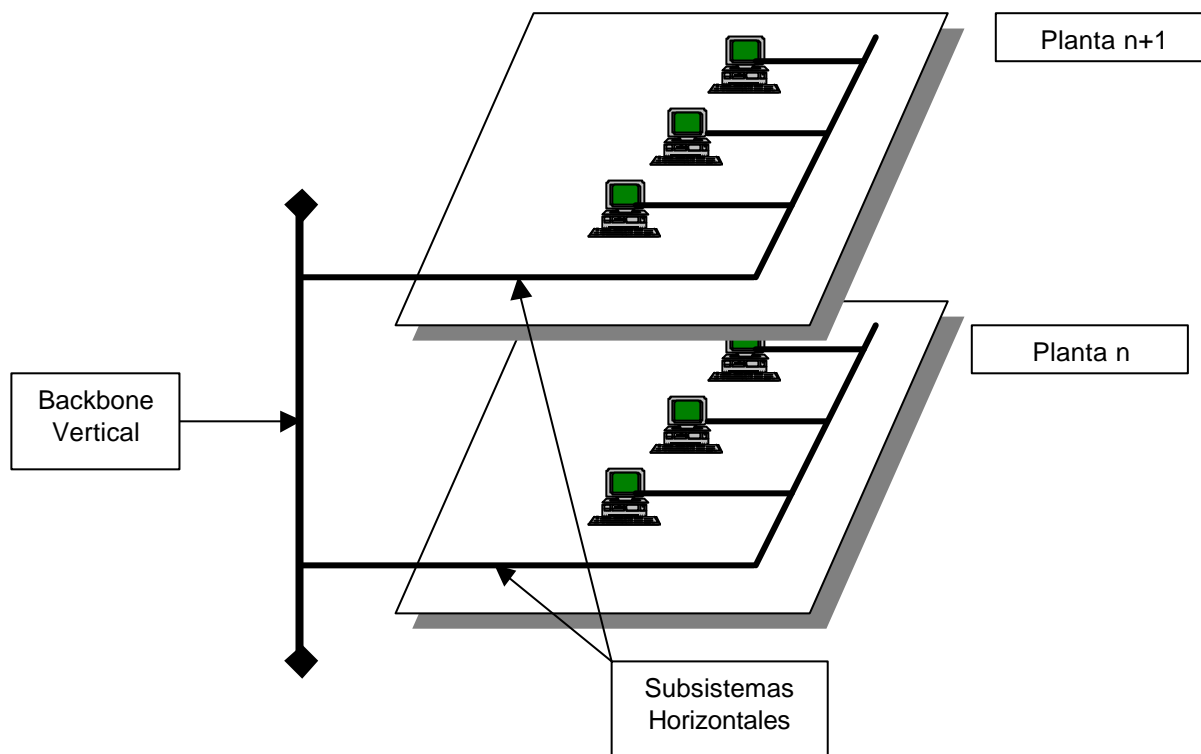
Un puesto de trabajo, especialmente si se trata de un PC o similar, es probable que tenga que ser sustituido cada dos o tres años debido a la alta caducidad tecnológica. Sin embargo, cambiar un sistema completo de cableado es más complejo, porque afecta a la estructura del edificio.

El cable UTP es uno de los componentes que las compañías suministradoras de redes de área local utilizan con más frecuencia, en parte por su facilidad de instalación y en parte por su flexibilidad. Puede ser usado, como veremos más adelante, en redes en estrella de tipo Ethernet (10BaseT y 100BaseT), en Token Ring, así como en

todo tipo de cableado telefónico, ya sea para la red telefónica básica con transmisiones analógicas o para la RDSI, totalmente digital.

La estructuración del cable se consigue construyendo módulos independientes que segmenten la red completa en subsistemas de red, independientes pero integrados en una organización jerarquizada, de forma que un subsistema queda limitado por el siguiente subsistema.

De este modo, se puede definir el **cableado estructurado** como *la técnica que permite cambiar, identificar, mover periféricos o equipos de una red con flexibilidad y sencillez*. Según esta definición, una solución de cableado estructurado debe tener dos características: modularidad, que sirve para construir arquitecturas de red de mayor tamaño sin incrementar la complejidad del sistema, y flexibilidad, que permite el crecimiento no traumático de la red.



Partiendo del subsistema de más bajo nivel jerárquico tenemos la siguiente organización:

- **Localización de cada puesto de trabajo.** A cada puesto deben poder llegar todos los posibles medios de transmisión de la señal que requiera cada equipamiento: UTP, STP, fibra óptica, cables para el uso de transeceptores y baluns, etc.
- **Subsistema horizontal o de planta.** Es recomendable la instalación de una canaleta o un subsuelo por el que llevar los sistemas de cableado a cada puesto. Las exigencias de ancho de banda pueden requerir el uso de dispositivos especiales para conmutar paquetes de red, o concentrar y repartir el cableado en estrella. En este nivel se pueden utilizar todos los tipos de cableados mencionados: coaxial, UTP, STP, fibra, etc., aunque alguno de ellos, como el coaxial, presentan problemas por su facilidad de ruptura, con la consiguiente caída de toda la red. Sólo si el sistema se compone de un número reducido de puestos, el cable coaxial puede compensar por su facilidad de instalación. Además, no requiere ningún dispositivo activo para que la red comience a funcionar.
- **Subsistema distribuidor o administrador.** Aquí podemos incluir los racks, los distribuidores de red con sus latiguillos, etc.
- **Subsistema vertical o backbone.** Este subsistema está encargado de comunicar todos los subsistemas horizontales, por lo que requiere de medios de transmisión de señal con un ancho de banda elevado y de alta protección. Para confeccionar un backbone se puede utilizar cable coaxial fino o grueso, fibra

óptica u otro tipo de medios de transmisión de alta velocidad. También se pueden emplear cables de pares, pero siempre en configuración de estrella utilizando concentradores especiales para ello. Los backbones más modernos se construyen con tecnología ATM o con redes FDDI. Este tipo de comunicaciones es ideal para su uso en multimedia.

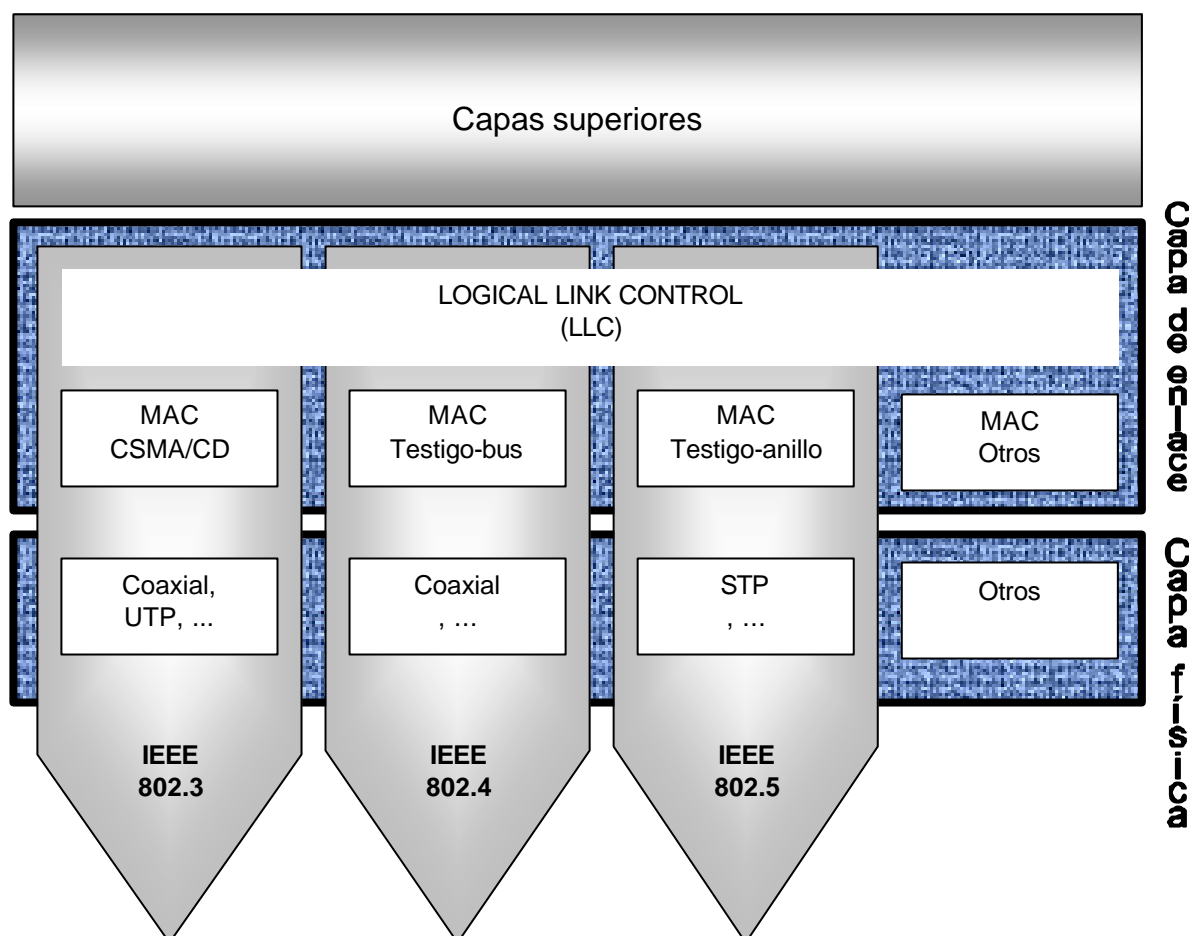
- **Subsistema de campus.** Extiende la red de área local al entorno de varios edificios, por tanto, en cuanto a su extensión se parece a una red MAN, pero mantiene toda la funcionalidad de una red de área local. El medio de transmisión utilizado con mayor frecuencia es la fibra óptica con topología de doble anillo. Las redes de fibra óptica se estudiarán al final de esta unidad de trabajo.

3 Estándar IEEE 802

La IEEE ha propuesto varias normas relativas a las redes de área local, conocidas como IEEE 802. Posteriormente han sido aceptadas por otras asociaciones de normas nacionales, como la ANSI, o internacionales, como la ISO (norma ISO 8802).

Estas normas incluyen varios tipos de acceso al medio (subcapa inferior del nivel de enlace), como son el CSMA/CD, el acceso por paso de testigo en bus y el de paso de testigo en anillo.

Estas tres técnicas de acceso que son definidas por los estándares IEEE 802.3, IEEE 802.4 e IEEE 802.5, respectivamente, difieren en la capa física y en la subcapa de acceso al medio; sin embargo, son totalmente compatibles en la subcapa superior de la capa de enlace, ya que las tres utilizan el protocolo LLC al que ya nos hemos referido como un protocolo derivado del HDLC.



La norma IEEE 802.1 define las primitivas del interface entre las capas y proporciona una introducción a todo el conjunto de normas IEEE 802. Por su parte, la IEEE 802.2 hace una descripción de la subcapa superior del nivel de enlace y, por tanto, del protocolo LLC.

LLC está construido de modo que su funcionamiento sea independiente del método de acceso que tenga la red al medio de transmisión. Además, sirve como interface con las capas superiores. Por tanto, las principales funciones del protocolo LLC son las siguientes:

- Habilitar la transferencia de datos entre la capa de red (por ejemplo, procedente del protocolo IP) y la subcapa de acceso al medio.
- Controlar el flujo de datos por medio de la utilización de operaciones semejantes a las que hemos visto en el protocolo HDLC, por ejemplo, utilizando las tramas RR, RNR, etc.
- Efectuar enlaces para los servicios orientados a la conexión entre aplicaciones situadas en distintos puntos de la red. Estas conexiones se efectúan poniendo a los distintos nodos en el modo asíncrono balanceado.
- LLC puede ser configurado de modo más simple, como un protocolo sin conexión utilizando las tramas no numeradas de información (trama UI, Unnumbered Information).

Los distintos tipos de servicios de capa de enlace se configuran como asociaciones de primitivas OSI (.request, .indication, .response y .confirm), perfectamente descritas en la norma 802.2. Se incluyen cuatro tipos de servicio en el protocolo LLC.

- **Tipo 1. Sin conexión y sin confirmación.** Todas las redes 802 deben proveer este tipo de servicio. Se trata de un servicio sin confirmación, con lo que carece de control de flujo y de control de errores. Sólo podrá ser utilizado por aplicaciones de red en las que la seguridad no sea crítica. Un ejemplo podría ser la transmisión de una temperatura a ritmo constante. Si una lectura falla en su transmisión, en el instante siguiente se volverá a medir y se transmitirá de nuevo el mismo valor o casi el mismo.
- **Tipo 2. Orientado a la conexión.** Es un servicio completo, con corrección de errores y control de flujo. Una aplicación bancaria debería utilizar siempre este tipo de servicio.
- **Tipo 3. Sin conexión y con confirmación.** Este tipo de servicio no realiza una conexión, sin embargo provee confirmación de las unidades de datos recibidas. Por tanto, se trata de un servicio rápido en el inicio de la comunicación (al no tener conexión) pero con las debidas garantías de seguridad.
- **Tipo 4.** Este tipo es la combinación en un solo servicio de los tipos 1, 2 y 3.

La norma 802.2 describe las siguientes primitivas:

Servicio	Primitiva	Significa	Servicio	Primitiva	Significa
Sin conexión	DL_UNITDATA.request DL_UNITDATA.indication	Transferencia de datos	Orientado a la conexión	DL_CONNECTION_FOWCONTROL.request DL_CONNECTION_FLOWCONTROL.indication	Acción de control de flujo
Orientado a la conexión	DL_CONNECT.request DL_CONNECT.indication DL_CONNECT.response DL_CONNECT.confirm	Solicitud de conexión	Orientado a la conexión	DL_RESET.request DL_RESET.indication DL_RESET.response DL_RESET.confirm	Solicitud de reset
Orientado a la conexión	DL_DATA.request DL_DATA.indication	Transferencia de datos	Orientado a la conexión	DL_DISCONNECT.confirm DL_DISCONNECT.indication	Solicitud de desconexión

Además, se definen tres primitivas para la comunicación con la capa MAC: `MA_UNITDATA.request` y `MA_UNITDATA.indication`, para el paso de datos, y `MA_UNITDATA_STATUS.indication`, para el análisis del éxito de la transferencia.

4 Estándar IEEE 802.3 y Ethernet

La norma IEEE 802.3 define un modelo de red de área local utilizando el protocolo de acceso al medio CSMA/CD con persistencia de 1, es decir, las estaciones están permanentemente a la escucha del canal y cuando lo encuentran libre de señal efectúan sus transmisiones inmediatamente (1-persistente). Esto puede llevar a una colisión que hará que las estaciones suspendan sus transmisiones, esperen un tiempo aleatorio y vuelvan a intentarlo.

IEEE 802.3 tiene su predecesora en el protocolo ALOHA, al que ya nos hemos referido en capítulos anteriores. Posteriormente, la compañía *Xerox* construyó una red CSMA/CD de casi 3 Mbps de velocidad de transferencia denominada Ethernet, que permitía conectar hasta 100 estaciones a lo largo de un cable de 1 Km. de longitud. En una fase posterior, las compañías DEC (Digital Equipment Corporation) e *Intel*, junto con *Xerox*, definieron un estándar para Ethernet de 10 Mbps en la que está basada la norma IEEE 802.3 que ahora nos ocupa.

4.1 Los protocolos IEEE 802.3

En el nivel físico, las redes IEEE 802.3 utilizan codificación Manchester diferencial, que representa cada bit, no como un estado alto o bajo, sino como la transición bajo-alto o alto-bajo, dependiendo del valor del bit. Esto tiene la ventaja de que sea cual sea la secuencia binaria a transmitir, las corrientes eléctricas son iguales en un sentido o en el otro, es decir, el valor medio de la señal en cada bit es cero (físicamente, se dice que la componente de continua se anula), lo que tiene ventajas eléctricas importantes.

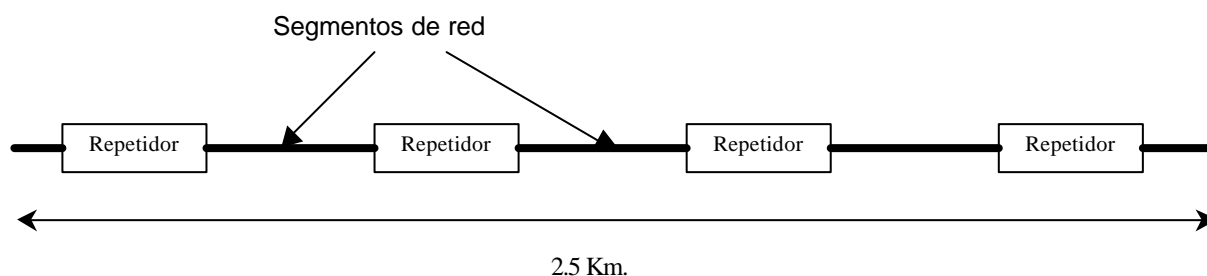
En cualquier instante el cable puede estar en alguno de estos tres estados posibles:

- *Transmisión de un cero lógico*. El cero lógico está constituido por una señal de -0,85 voltios seguida de otra de +0,85 voltios.
- *Transmisión de un uno lógico*. El uno lógico es la inversión del cero lógico, es decir, una señal de +0,85 voltios seguida de otra de -0,85 voltios.
- *Canal inactivo*, sin transmisión. Se caracteriza por tener el canal a 0 voltios.

Cualquier estación conectada a una red IEEE 802.3 debe poseer una tarjeta (tarjeta de red) con los componentes electrónicos y el software adecuado para la generación y recepción de tramas. La tarjeta puede contener o no el **transceptor**, que es el encargado de la detección de portadora y del gobierno de la colisión. Si la tarjeta no contiene el transceptor, debe incorporársele uno externamente a través del cable apropiado para ello, que no excederá de 50 m de longitud. Está constituido por cinco pares de cables trenzados y aislados individualmente, aunque no se utilizan todos necesariamente, depende de las aplicaciones.

La tarjeta o adaptador de red (NIC; *Network Interface Controller*) contiene un controlador que es el encargado de verificar las tramas que le llegan desde el canal y de ensamblar los datos de información dándoles la forma de una trama, calculando los códigos de redundancia cíclica, etc. La tarjeta también es la encargada de negociar los recursos que necesita con el sistema operativo del ordenador en que se instala.

La longitud máxima permitida para el bus en que se basa una red IEEE 802.3 es de 500 metros. Sin embargo, es posible conectar varios segmentos a través de unos dispositivos especiales llamados repetidores. El repetidor opera en la capa física y se encarga de amplificar (realmente lo que hace es regenerar) la señal eléctrica para que su amplitud sea la adecuada y llegue correctamente a los posibles receptores. Existe una limitación en la longitud total del bus (incluyendo la configuración con repetidores): dos transceptores no pueden distanciarse más de 2.500 metros. Además, entre dos transceptores cualesquiera no puede haber un camino de red con más de cuatro repetidores.



El modo en que las tramas IEEE 802.3 son puestas en el medio de transmisión físico depende de las especificaciones de hardware y de los requerimientos del tipo de cableado elegido. Se definen para ello varios subestándares, todos ellos integrados dentro de la IEEE 802.3, que especifican el tipo de conector y de cable que es preciso para alcanzar los rendimientos previstos utilizando siempre el método CSMA/CD. Algunos de estos subestándares son los siguientes:

- 10Base5. Es la especificación original de Ethernet y utiliza coaxial grueso para el transporte de las señales.
- 10Base2. También es una especificación original de Ethernet que utiliza cable coaxial fino, en concreto se suele utilizar el cable RG-58, de 50 ohmios de impedancia, para transmisiones de hasta 10 Mbps.
- 10Broad36. Define un estándar para cable coaxial en banda ancha. Apenas se utiliza en la actualidad.
- 10BaseT. Utiliza cables de par trenzado UTP para producir transmisiones de hasta 10 Mbps. Configura la Ethernet como una estrella.
- 100BaseT. Es semejante al 10BaseT, pero con velocidades hasta 100 Mbps, utilizando cables UTP de categoría 5.

Una trama IEEE 802.3 se compone de los siguientes campos:

Preámbulo	Inicio	Direc. destino	Direc. origen	Long. Datos	Datos	Relleno	CRC
-----------	--------	----------------	---------------	-------------	-------	---------	-----

- **Preámbulo.** Este campo tiene una extensión de 7 bytes que siguen la secuencia «10101010», semejante a la bandera señalizadora del protocolo HDLC. Cuando esta secuencia de bits se codifica en Manchester diferencial, se genera una onda cuadrada (y digital, discreta) de 10 Mhz de frecuencia, que además durará 5,6 microsegundos. Este es el tiempo del que dispone el receptor para sincronizarse con el reloj del emisor.
- **Inicio.** Es un campo de 1 byte con la secuencia «10101011 » que indica que comienza la trama. Al final de esta secuencia aparecen dos unos seguidos, lo que genera una señal cuadrada de 20 Mhz de frecuencia. Por tanto, un receptor reconoce el comienzo de trama cuando escucha un preámbulo de 10 Mhz seguido de una señal de 20 Mhz.
- **Dirección de destino.** Es un campo de 2 ó 6 bytes que contiene la dirección del destinatario. Aunque la norma permite las dos longitudes para este campo, la utilizada en la red de 10 Mbps es la de 6 bytes. Esta dirección puede ser local o global. Es local cuando la dirección sólo tiene sentido dentro de la propia red, suele estar asignada por el administrador de red. Una dirección global (dirección MAC o dirección Ethernet) es única para cada tarjeta de red, normalmente codifica la compañía constructora de la tarjeta y un número de serie. El bit de mayor orden de este campo, que ocupa el lugar 47, codifica si la dirección de destino es un único destinatario (bit puesto a 0) o si representa una dirección de grupo (bit puesto a 1). Una dirección de grupo es la dirección a la que varias estaciones tienen derecho de escucha (transmisión de uno a varios). Cuando todos los bits del campo dirección están a 1, se codifica una difusión o broadcast, es decir, codifica una trama para todas las estaciones de la red. El sistema sabe si se trata de una dirección local o global analizando el valor del bit 46.

- **Dirección de origen.** Es semejante al campo de dirección de destino, pero codifica la dirección MAC de la tarjeta que originó la trama.
- **Longitud.** Este campo de dos bytes codifica los bytes que contiene el campo de datos. Su valor oscila en un rango entre 0 y 1.500.
- **Datos.** Es un campo que puede codificar entre 0 y 1.500 bytes. Incluye la información de usuario procedente de la capa de red.
- **Relleno.** La IEEE 802.3 especifica que una trama no puede tener un tamaño inferior a 64 bytes, por tanto, cuando la longitud del campo de datos es muy pequeña es necesario rellenar este campo para completar una trama mínima de, al menos, 64 bytes. Es un campo que puede, por tanto, tener una longitud comprendida entre 0 y 64 bytes.
- **CRC.** Es el campo en donde se codifica el control de errores de la trama por el método de redundancia cíclica.

4.2 Operativa del protocolo

Veamos el modo en que se resuelven las colisiones. Cuando se produce una colisión, las estaciones implicadas en ella interrumpen sus transmisiones, generan una señal de ruido para alertar al resto de las estaciones de la red y esperan un tiempo pseudoaleatorio para volver a retransmitir. El sistema de asignación de tiempos de espera consiste en dividir el tiempo en ranuras temporales de valor 51,2 microsegundos. En este tiempo la red hubiera podido transmitir 512 bytes, que se hubieran desplazado 2,5 Km. (la distancia máxima permitida en la red).

Después de la colisión, las estaciones generan un número aleatorio que se resuelve como 0 ó 1. Si el resultado es 0, se produce la retransmisión inmediatamente, mientras que si fue 1 se espera una ranura para efectuar la retransmisión. Si ambas estaciones eligieron el mismo número aleatorio, se producirá de nuevo otra colisión. La probabilidad de colisión es 1/2. En ese caso se repite el proceso, pero ahora generando números aleatorios con resultado 0, 1, 2 ó 3, esperando ese número de ranuras para producir la transmisión. Puede que vuelvan a colisionar, pero ahora la probabilidad de que suceda es de 1/4.

Así se repite el proceso hasta que se consigue una retransmisión eficaz. Con cada colisión se retarda la transmisión, pero la probabilidad de nueva colisión se reduce exponencialmente.

Las funciones de la subcapa MAC se pueden agrupar del siguiente modo:

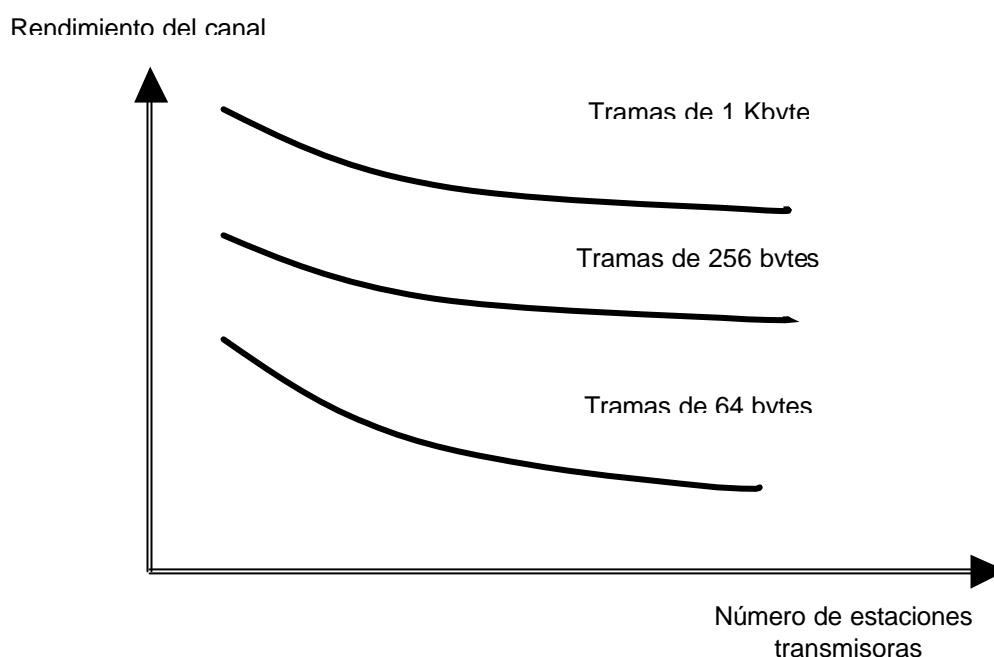
- Aceptar datos de la subcapa LLC en emisión o pasárselos en recepción.
- Calcular el CRC e insertarlo al final de la trama en emisión y comprobarlo en recepción.
- Pasar la secuencia de bits que forman la trama a la capa Física en emisión o recibirlos en recepción.
- Insertar un campo de relleno para garantizar que la trama tiene al menos 64 bytes de longitud.
- Detener la transmisión y generar una señal de ruido cuando se produce una colisión.
- Descargarse de tramas inválidas o incompletas.
- Retransmitir las tramas que han sufrido colisión después de aplicar el algoritmo de espera para la contienda.
- Observar el canal en espera de que se libere para producir una transmisión.
- Aceptar cualquier trama cuya dirección de destino le corresponda.

4.3 Rendimiento

Debido a que la especificación IEEE 802.3 propone un protocolo no libre de colisiones, hay que considerar que la probabilidad de colisión depende de muchos factores: de la longitud de la trama, del número de estaciones que estén transmitiendo, de sus necesidades de transmisión, etc.

Podemos definir el rendimiento de una red en transmisión según la proporción entre la cantidad de información enviada y el ancho de banda del canal, es decir, si un canal tiene un ancho de banda de 10 Mbps, un rendimiento del 100% implicaría que el receptor está aceptando datos a esa misma velocidad.

En la gráfica observamos que el rendimiento del canal disminuye con el crecimiento del número de estaciones transmisoras porque se incrementa la probabilidad de colisión. Además, si las tramas son de pequeña longitud, para transmitir la misma cantidad de información se requieren más tramas, lo que provoca un mayor índice de colisiones y, por tanto, un descenso del rendimiento.



5 Estándar IEEE 802.4 y Token Bus

5.1 Los protocolos IEEE 802.4

Las redes que siguen el protocolo IEEE 802.3 se han extendido rápidamente, sobre todo por su facilidad de instalación. Sin embargo, tienen un problema que representa un escollo importante en algunas aplicaciones: su carácter probabilístico en la resolución de las colisiones puede provocar retardos importantes en las transmisiones en casos extremos. Algunas aplicaciones no soportan tales retardos, sobre todo las que son críticas en el tiempo, es decir, en aplicaciones en tiempo real, como el control de procesos industriales.

Una red que no tiene el problema de colisiones podría ser una red en anillo, como veremos más adelante. Sin embargo, la topología básica en anillo tiene desventajas importantes cuando el ámbito de la red es más amplio: es más fácil cablear un edificio con segmentos de cable longitudinales que con líneas circulares.

Estas razones pusieron en marcha que la IEEE pensara en un nuevo estándar que aglutinara las ventajas físicas de una red en bus con las lógicas de una red en anillo. El resultado fue el estándar IEEE 802.4, que define una red en bus por paso de testigo. El testigo no es más que una trama de control que informa del permiso que tiene una estación para usar los recursos de la red. Ninguna estación puede transmitir mientras no recibe el testigo que la habilita para hacerlo.

La red IEEE 802.4 está físicamente constituida como un bus, semejante al de la red IEEE 802.3, aunque desde el punto de vista lógico la red se organiza como si se tratase de un anillo. Cada estación tiene un número asociado por el que es identificada unívocamente. El testigo es generado por la estación con el número mayor cuando se pone en marcha la red. El testigo se pasa a la estación siguiente en orden descendente de numeración. Esta nueva estación recoge el testigo y se reserva el derecho de emisión. Cuando ha transmitido cuanto necesitaba, o si ha expirado un tiempo determinado, debe generar otro testigo con la dirección de la inmediatamente inferior. El proceso se repite para cada estación de la red. De este modo, todas las estaciones pueden transmitir periódicamente; se trata, por tanto, de un complejo sistema de multiplexación en el tiempo.

Evidentemente, el protocolo MAC de la IEEE 802.4 debe prever el modo en que las estaciones se incorporarán al anillo lógico cuando sean encendidas o, por el contrario, la manera en que se desconectarán, sin interrumpir por ello el procedimiento lógico de paso de testigo.

En la capa física, la red IEEE 802.4 utiliza cable coaxial de 75 ohmios por el que viajarán señales moduladas, es decir, IEEE 802.4 es una red en banda ancha que modula sus señales en el nivel físico. También se permite la utilización de repetidores con objeto de alargar la longitud de la red. Las velocidades de transferencia de datos que prevé esta norma están comprendidas entre 1,5 y 10 Mbps. Hay que hacer notar que aunque la estructura física de la IEEE 802.3 y de la IEEE 802.4 es semejante desde el punto de vista topológico, las normas son totalmente incompatibles desde el punto de vista físico: ni el medio de transmisión es el mismo, ni la codificación de las señales coinciden. Ni siquiera en un nivel superior el formato de trama es directamente compatible, aunque efectivamente son semejantes como veremos a continuación.

La trama de una red que sigue el estándar IEEE 802.4 tiene los siguientes campos:

Preámbulo	D.C.	Control	Direc. destino	Direc. origen	Datos	CRC	D.F.
-----------	------	---------	----------------	---------------	-------	-----	------

- **Preámbulo.** Este campo es semejante al preámbulo de la IEEE 802.3, que estaba heredado del protocolo HDLC. Se trata de emitir la secuencia binaria «10101010» en un byte. Como se ve, este campo es de mucha menor longitud que en la red Ethernet, en la que esta secuencia se repite siete veces y, por tanto, ocupa siete bytes. La misión de este campo, como en el caso de Ethernet, es la de sincronizar emisor y receptor.
- **Delimitador de comienzo.** Consiste en la emisión de una señal distinta de «0» o «1»; por tanto, una secuencia prohibida en el código binario durante el tiempo de emisión de un byte. Como es una configuración prohibida en el código binario, es imposible que esta secuencia se repita en cualquier otro punto de la trama, y en especial en el campo de datos, por lo que es un buen delimitador de trama. Cualquier estación a la escucha sabe que comienza una trama al leer del canal esta señal prohibida.
- **Control de trama.** Este campo codifica en un byte el tipo de trama de que se trata. Así, hay tramas encargadas de transmitir datos, otras de transferir el testigo a otra estación, también hay tramas cuya misión es el mantenimiento del anillo, como la incorporación de nuevas estaciones, etc.
- **Dirección de destino.** En este campo se codifica la dirección de la estación destinataria de la trama con dos o seis bytes. El sistema de direccionamiento de la IEEE 802.4 es idéntico al de la red IEEE 802.3. De lo único que hay que asegurarse es de que en la misma red no conviven estaciones con dirección de dos bytes con otras de seis bytes, ya que no se deben mezclar.
- **Dirección de origen.** Es un campo semejante al de dirección de destino, pero en el que se codifica la dirección de la estación que genera la trama.

- **Campo de datos.** En este campo se codifica la información del usuario. Su longitud varía entre 0 y 8.182 bytes, en el caso de tramas con direcciones de dos bytes, o entre 0 y 8.174 bytes, para tramas con direcciones de seis bytes.
- **CRC.** Es un campo semejante al de la IEEE 802.3, encargado del control de errores por el sistema de redundancia cíclica.
- **Delimitador de fin.** Es un campo idéntico al delimitador de inicio. Su misión es señalar el final de la trama.

5.2 Operativa de funcionamiento

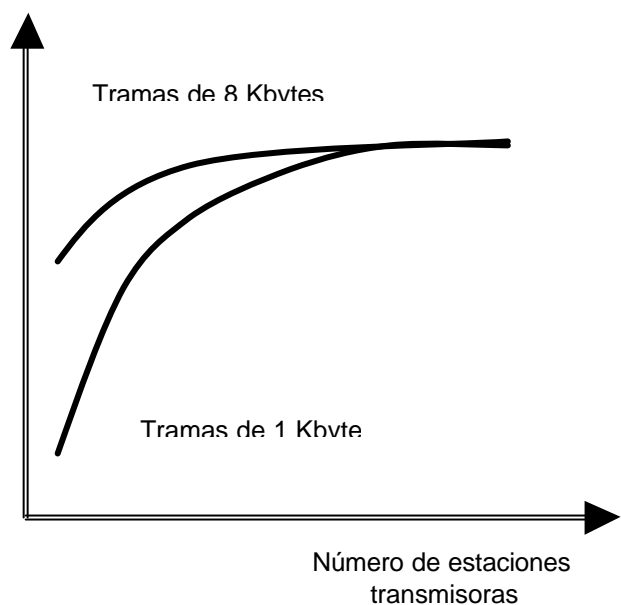
Lo más complejo del estándar IEEE 802.4 es el procedimiento de mantenimiento del anillo lógico. Debe ser capaz de resolver problemas como los que siguen:

- Tomar la decisión de qué estación debe generar un testigo en el caso de que se haya perdido o deteriorado el testigo anterior.
- Resolver los conflictos provocados por la existencia de dos o más testigos en la red, generados por un mal funcionamiento de la red en un momento determinado.
- Determinar quién es la estación sucesora o predecesora de cualquier estación de la red.
- Dar de baja en el anillo una estación que desea ser desconectada. Esto supone informar a las estaciones sucesora y predecesora que deben establecer una relación de continuidad lógica en el anillo.
- Dar de alta en el anillo una estación que solicita entrar en la red, lo que implica insertar la estación entre una sucesora y una predecesora, que deben ser informadas de la inserción.
- Si no hay actividad en la red durante un cierto tiempo, cualquier estación puede emitir tramas de solicitud de testigo estableciendo una contienda apropiada (que no es la propia del anillo) con el fin de determinar si es ella la encargada de generar un testigo que inicie el anillo lógico.

5.3 Rendimiento

Como IEEE 802.4 es un estándar que define protocolos libres de errores, su rendimiento crece con el número de estaciones transmisoras hasta que se agota el ancho de banda del medio de transmisión. Por tanto, es una red muy eficaz.

Rendimiento del canal



6 Estándar IEEE 802.5 y Token Ring

6.1 El protocolo IEEE 802.5

La constitución física de un anillo no es una línea circular, como puede parecer por la forma en que se representa gráficamente en la bibliografía. Más bien está constituido como un conjunto de interfaces a los que se conectan cada estación del anillo y una serie de líneas punto a punto entre cada dos interfaces consecutivos en forma cerrada.

Son muchos los tipos de anillos que se pueden construir, pero el más extendido es el recomendado por la norma IEEE 802.5 que propone una red en anillo con paso de testigo.

Desde el punto de vista del diseño, hay una serie de elementos que deben ser considerados. El primero de ellos es lo que llamaremos la «**longitud de un bit**» en el anillo. Al ser la topología física la de una estructura cerrada, sólo cabe un número finito de bits dentro del anillo simultáneamente.

Cada bit tarda un tiempo en recorrer el anillo, y después de conseguirlo tiene que ser drenado por la estación que lo generó. Así, en un anillo cuya velocidad de transferencia es de V bps se emitirá un bit cada $1/V$ segundos. Si consideramos que la velocidad de transmisión de las señales (la velocidad de la luz en el medio de transmisión) es « c », entonces cuando una estación termine de transmitir un bit, el punto inicial de ese mismo bit habrá viajado c/V metros.

Si a estas cantidades les damos valores típicos tendríamos magnitudes del siguiente orden: $V=16$ Mbps y $c=3 \cdot 10^8$ m/s. Entonces, cada bit que viaja en la red ocuparía 18,75 metros. Si la longitud de la red fuera de 1 km, en ese anillo cabrían sólo 53 bits.

6.2 Operativa de funcionamiento

El interface de cada estación recoge cada bit que circula por el anillo, lo analiza y lo pasa a una memoria interna o lo rescribe en el anillo para que sea enviado a la siguiente estación. Mientras posee el bit, tiene capacidad de analizarlo, de transformarlo, etc. Este proceso de copiado genera un retardo en la comunicación de, al menos, el tiempo que tarda en transmitirse un bit, lo que provoca que en el anillo quepan más bits que los que cabrían de modo natural por la longitud de su circunferencia.

En la red se dispone de un protocolo que hace que una estación genere un testigo libre, que no es más que una trama especial de control que arbitra quién es la estación que puede transmitir. Cuando una estación recibe este testigo, adquiere los derechos de transmisión, pone en el anillo la trama de datos que desea enviar y, a continuación, genera un nuevo testigo que pasa a la siguiente estación, de modo que se anulan las posibilidades de colisión, como ocurría en el caso de la red en bus por paso de testigo (IEEE 802.4).

Es evidente que por ser el testigo la trama fundamental que controla el acceso al canal, el anillo debe poseer un retardo suficiente (suma del producido por la longitud del anillo más los retardos de los interfaces), como para contener un testigo completo, que en el caso de la IEEE 802.5 ocupa 24 bits.

Cada estación tiene dos modos de funcionamiento. En el primer modo (de escucha) se produce una copia del bit que lee en cada momento y lo regenera en el otro lado del interface para reconducirlo a la siguiente estación. En el segundo modo (de transmisión), la estación recoge cada bit e inserta sus datos al otro lado del interface, convirtiendo lo que era un testigo en una trama de datos. Cuando la trama ha dado la vuelta completa al anillo, la estación que la transmitió drena cada uno de los bits que la componían hasta que ésta desaparece totalmente, momento en que genera un nuevo testigo para habilitar la posibilidad de comunicación en la siguiente estación del anillo.

En el protocolo IEEE 802.5 no se necesitan tramas de confirmación especiales. La trama tiene un bit que el receptor pone a uno cuando ha recibido correctamente la trama. Como esta trama llegará necesariamente al emisor, éste detectará, mediante un test a este bit, si la trama llegó o no correctamente al receptor.

En las redes IEEE 802.5 se utilizan cables de pares trenzados STP, que en una primera versión operaban a velocidades comprendidas entre 1 y 4 Mbps, aunque en la actualidad hay redes basadas en este estándar, como la Token Ring de IBM, que operan a 16 Mbps. Como en Ethernet, también aquí la codificación es del tipo Manchester diferencial, utilizando 3 voltios positivos para el valor alto de la señal y -4.5 voltios para el valor bajo de la misma. Para marcar el inicio y el final de la trama se utilizan códigos prohibidos de esta codificación Manchester.

Un gran problema de las redes en anillo se produce con la ruptura del mismo; sin embargo, este problema se puede eliminar si el anillo se genera sobre una conmutación de relés o dispositivos de conmutación sobre segmentos estrellados (MAU, *Multistation Access Unit*). Cuando un segmento estrellado del anillo se rompe, se dispara el conmutador que anula el segmento y vuelve a cerrar el anillo.

6.3 El protocolo de subcapa MAC

En ausencia de actividad en la red, un testigo formado por tres bytes circula continuamente por el anillo en espera de que alguien lo drene de la red sustituyéndolo por una trama de datos. Cuando una estación quiere transmitir, debe esperar a que el testigo pase por su interface, poniendo el bit número 0 del segundo byte a 1. Con esto, la estación convierte los dos primeros bytes del testigo en los campos de delimitador de comienzo y de control de acceso que se estudiarán más adelante. Después se manda el resto de la trama: campos de direcciones y de datos, códigos de errores, etc.

Una estación puede retener el testigo y, por tanto, el derecho de transmisión, durante un tiempo previamente establecido que se denomina «*tiempo de retención de testigo*», un valor típico para este tiempo es 10 milisegundos. Durante este tiempo la estación poseedora del testigo puede transmitir las tramas que desee. Si antes de ese tiempo ya no tiene nada que transmitir, o, aún teniendo tramas que transmitir, ha expirado este tiempo de retención, la estación está obligada a generar un nuevo testigo, pasando los derechos de transmisión a la siguiente estación del anillo.

Los campos que forman una trama IEEE 802.5 son los siguientes:

Testigo

DC	CA	DF
----	----	----

Trama

DC	CA	CT	Direc. destino	Direc. origen	Datos	CRC	DF	ET
----	----	----	----------------	---------------	-------	-----	----	----

DC: Delimitador de comienzo de trama
 CA: Control de acceso
 CT: Control de trama
 DF: Delimitador de fin de trama
 ET: Estado de la trama

- **Delimitador de comienzo de trama.** Es un byte que actúa de bandera señalizadora de principio de trama. La señalización se produce mediante códigos Manchester inválidos.
- **Control de acceso.** Este campo de un byte contiene el bit de testigo (puesto a 0 cuando la trama es un verdadero testigo y puesto a 1 en caso contrario), el bit de monitor, los bits de prioridad y los bits de reserva.
- **Control de trama.** También ocupa un byte. Sirve para distinguir las tramas de datos de las de control.

- **Dirección de destino.** Codifica con dos o seis bytes la dirección de la estación destinataria de la trama. El sistema de direccionamiento es similar al de los estándares IEEE 802.3 e IEEE 802.4.
- **Dirección de origen.** Es similar al campo de dirección de destino, pero codificando la dirección de la estación que genera la trama.
- **Campo de datos.** Es el campo que contiene los datos de usuario. No tiene límite de longitud.
- **CRC.** Es el campo que realiza control de errores de modo semejante a los estándares Ethernet y Token Bus, con cuatro bytes.
- **Delimitador de fin de trama.** Es semejante al campo delimitador de comienzo de trama, aunque posee algunos bits codificadores de situaciones de errores detectados por los interfaces o indicadores de última trama en una secuencia lógica de varias tramas.
- **Estado de trama.** Es un campo de un byte en el que se contienen entre otros los bits denominados «A» y «C», que estudiaremos a continuación.

El bit A es puesto a 1 por la estación destinataria al pasar por su interface. Sin embargo, si esta trama es aceptada por la estación, además pone a 1 el bit C. Por tanto, cuando la trama llega (modificada en sus bits A y C por la estación receptora) de nuevo a la estación emisora, ésta analizará estos bits y podrá determinar que:

- Si A=0 y C=0, entonces el destinatario no ha sido encontrado, por ejemplo, porque esté apagado o ausente de la red.
- Si A=1 y C=0, entonces el destinatario está presente, pero no ha aceptado la trama bien porque es errónea, porque no tiene memoria para copiar la trama o por otras causas que han impedido realizar la copia.
- Si A=1 y C=1, entonces el destinatario está presente y además ha copiado la trama correctamente.
- El caso A=0 y C=1 es imposible, puesto que si se realiza la copia es porque la trama llegó previamente al interface, con lo que A debería haber sido puesto a 1.

También es posible organizar la red con un sistema de prioridades. Así, si se establece un testigo con prioridad «p», sólo las estaciones con esa prioridad o mayor podrán hacerse con los derechos de transmisión cuando pase el testigo por su interface. Además, es posible reservarse el derecho de acceso, dentro del sistema de prioridades, cuando una trama de datos pasa por el interface de una estación escribiendo los bits de reserva. El siguiente acceso será para la estación si no hay ninguna con mayor prioridad que necesite transmitir. De este modo se optimizan las comunicaciones, aunque los algoritmos de gobierno del anillo son extraordinariamente sofisticados.

Cada anillo de una red IEEE 802.5 tiene una estación especial encargada de velar por el correcto funcionamiento de la red: **la estación supervisora**. Si, por alguna razón, la estación supervisora deja de funcionar correctamente o se desconecta, se establece un protocolo de contienda para determinar una nueva estación supervisora.

Entre las funciones de las estaciones supervisoras podemos destacar el mantenimiento del testigo, la toma de decisiones cuando se rompe el anillo, la limpieza de tramas inválidas en el anillo, etc. Además, la estación supervisora debe generar un retardo de red suficiente para que quepa en el anillo al menos un testigo completo, es decir, 24 bits.

Aquí se han expuesto brevemente unas líneas maestras del funcionamiento del protocolo; sin embargo, tratado en profundidad, el protocolo IEEE 802.5 es mucho más complejo.

7 Otros estándares

7.1 Estándar IEEE 802.6 para redes metropolitanas

Este estándar ha sido adoptado por la IEEE a partir de la especificación DQDB (Distributed Queue Double Bus). Esta red ha sido esponsorizada por Telecom Australia. El DQDB define un protocolo para la integración de voz y datos en el mismo medio de transmisión. Es ideal para la transmisión de televisión por cable en áreas de hasta 50 km de diámetro.

7.2 Estándar IEEE 802.12 para Ethernet de alta velocidad

La necesidad de combinar voz y datos y, en general, aplicaciones interactivas en tiempo real en una misma red, ha producido estándares de alta velocidad (hasta 100 Mbps) capaces de combinar la eficacia de Ethernet con la densidad de tráfico de Token Ring. Uno de estos estándares es el IEEE 802.12, también llamado 100Base VG. Ha sido apoyado por Hewlett-Packard e IBM.

7.3 Estándar IEEE 802.7, IEEE 802.8 e IEEE 802.11

El estándar IEEE 802.7 especifica una serie de protocolos que se pueden utilizar para redes de banda ancha. El IEEE 802.8 añade además la conducción a través de fibra óptica. Por su parte, la IEEE 802.11 se ocupa de las redes de transmisión sin cables, por radio.

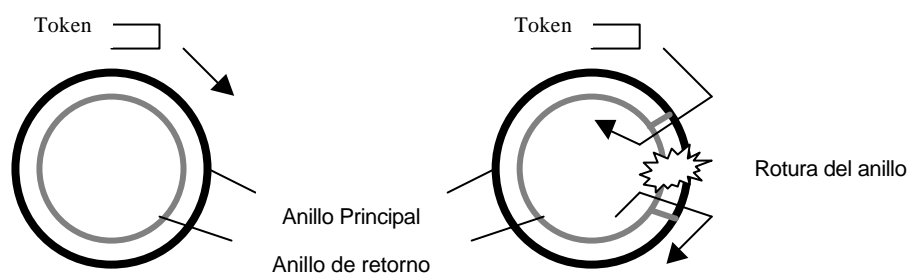
8 Redes de fibra óptica

8.1 El estándar FDDI

FDDI son las siglas de *Fiber Optics Data Distributed Interface*, es decir, interface de datos distribuidos por fibras ópticas. FDDI se constituye como un doble anillo de fibra óptica que utiliza la técnica de paso de testigo para establecer la contienda de acceso entre las estaciones conectadas. Permite hasta 1.000 estaciones conectadas en anillos de longitudes hasta 200 Km. y una velocidad de transferencia de datos de 100 Mbps. Se puede configurar como una auténtica red de área local, pero es frecuente configurarla como una red primaria que interconecte otras redes, por ejemplo, redes del tipo IEEE 802.

FDDI utiliza fibras ópticas multimodo para producir sus transmisiones. La fuente de luz es un diodo LED, no es necesario que sea un láser, lo que abarata el producto y simplifica la tecnología. La tasa de error exigida por FDDI es realmente baja, debe estar por debajo de 1 bit erróneo por cada $2,5 \times 10^{10}$ bits transmitidos, lo que hace que estas redes sean muy veloces y fiables.

Los medios ópticos de transmisión en FDDI se configuran como un doble anillo de fibra. Cada anillo transmite información en un sentido único, pero diverso. Si alguno de los anillos se desactiva, el otro puede actuar como línea de retorno que garantiza que siempre habrá un anillo en funcionamiento. El procedimiento se explica gráficamente en la siguiente figura:



En FDDI se definen dos clases de estaciones:

- **Estación de tipo A.** Esta estación se conecta a los dos anillos y es capaz de producir la conmutación entre ellos si observa algún problema de transmisión en los segmentos anterior o posterior a ella. Son, por tanto, estaciones encargadas de la seguridad frente a la ruptura del anillo. La conexión al anillo de una estación de tipo A tiene un precio elevado.
- **Estación de tipo B.** Esta estación se conecta únicamente a uno de los dos anillos. No pueden tener, por tanto, funciones de seguridad. Son más económicas.

La señalización en FDDI sigue un sistema llamado «código 4 de 5» que consiste en codificar 4 símbolos MAC (0, 1 y ciertos símbolos que no son de datos, como un inicio de marco) con 5 bits. Dieciséis de las 32 combinaciones son para datos, 3 son para delimitadores, 2 son de control, 3 para señalamiento al hardware y 8 no se usan (reservados para versiones futuras). Con este sistema se gana ancho de banda con respecto a la codificación Manchester diferencial (100 Mhz frente a 200 Mhz con Manchester Diferencial), pero se pierde capacidad de sincronización entre las estaciones, lo que debe ser compensado con unos preámbulos de trama relativamente grandes y una elevada calidad en la construcción de los relojes de las estaciones. Es posible enviar tramas de más de 4 Kbytes si se dan todas estas condiciones sin que emisor y receptor pierdan la sincronía de los datos.

FDDI se parece mucho en cuanto a sus protocolos a los de la red IEEE 802.5, especialmente en todo lo que se refiere al paso del testigo. Sin embargo, hay una diferencia significativa: en una red de longitud tan grande (hasta 200 km) sería una pérdida de eficacia esperar a que el testigo recorra todo el anillo. Para paliar este problema se generan varios testigos, lo que produce que en el interior del anillo FDDI puedan convivir varias tramas simultáneamente.

Las tramas de FDDI son similares a las de la red IEEE 802.5, pero también puede aceptar tramas síncronas procedentes de una red de transmisión RDSI conmutada o de una modulación PCM (Pulse Code Modulation o Modulación de Impulsos Codificados MIC), que es un tipo especial de modulación digital que sirve para codificar en binario de modo periódico las distintas muestras que se van tomando de la señal que se modula. Una estación maestra se encarga de generar tramas síncronas de estas características a razón de 8.000 muestras/segundo, es decir, se genera una trama cada 125 microsegundos. Los sistemas PCM tienen necesidades de transmisión de este orden (8.000 muestras de señal por segundo).

Cada una de estas tramas síncronas se compone de una cabecera, de un campo de datos para los circuitos no conmutados (16 bytes) y de otro para los circuitos conmutados (hasta 96 bytes). Esto quiere decir que, si se utilizan los 96 bytes posibles en cada trama síncrona a razón de 1 byte por cada canal PCM, se podrían mantener 96 canales PCM abiertos, todos ellos transmitiendo datos simultáneamente en esa trama, por ejemplo, soportando 96 conversaciones telefónicas a la vez.

Por ello, FDDI es una red muy apropiada para la transmisión de voz y datos, perfectamente adaptable para aplicaciones en tiempo real, que requieren transmisiones sin retardos significativos y con una cadencia de transmisión continua. Se dice que es una red con propiedades isócronas.

9 Otras redes de fibra óptica

9.1 Fibernet

La filosofía de funcionamiento en Fibernet es la construcción de una red de fibra óptica totalmente compatible con Ethernet, de esta manera se puede combinar el gran ancho de banda de las comunicaciones ópticas con la sencillez de funcionamiento e instalación de Ethernet.

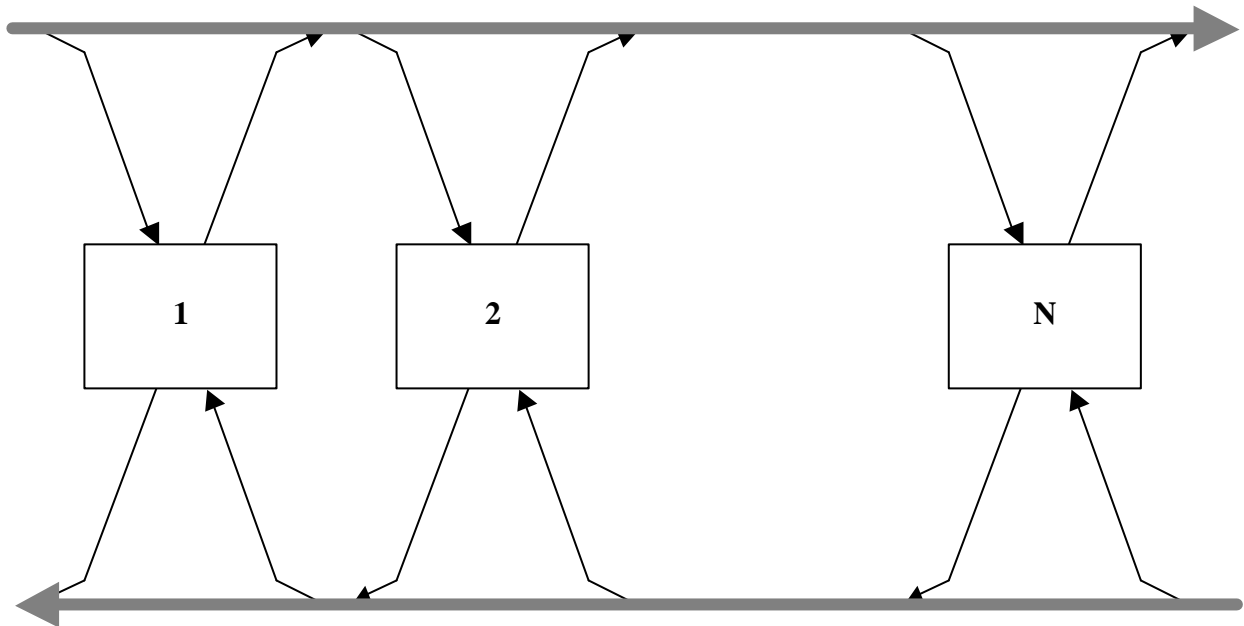
Lo más característico y complejo en Fibernet es la tecnología de detección de colisiones. Fibernet propone algunos modos de detección, entre los que se encuentran los siguientes:

- Si cuando está transmitiendo una estación, se observa que en el canal de transmisión hay más energía de la que ella ha liberado, esto implica que hay más estaciones transmitiendo a la vez y que, por tanto, se ha producido una colisión.
- En una colisión, la duración de los pulsos luminosos transmitidos es mayor, por tanto, es posible detectar colisiones midiendo la duración de los pulsos.

Todas estas tecnologías son muy difíciles de construir, pues en cada conexión a la estrella Ethernet en que se configura Fibernet se debe producir una división de la señal óptica para que salga por cada una de las fibras, lo que produce atenuaciones significativas de la señal.

9.2 Fasnet

Es una red de fibra óptica que puede ser configurada como una red de área local o como metropolitana. El núcleo topológico de Fasnet está constituido por un doble bus lineal de fibra óptica en el que las tramas viajan en un único sentido. Cada estación de la red se conecta a los dos buses y se identifica mediante un número. Si la estación con número N necesita transmitir a otra estación con número M lo hace por un bus o por otro, dependiendo de si $N < M$ o $N > M$, utilizando un sistema de ranuras temporales. Fasnet proporciona redes síncronas de alto rendimiento.



A pesar de la gran cantidad de diseños que existen en la actualidad sobre redes de fibras ópticas, estas tecnologías están cediendo ante la presión de estándares mucho más flexibles y apropiados, tanto para redes de área local como extendida. Pongamos como ejemplo las redes ATM.