

1 Conexión entre una computadora y sus terminales remotas

1 Las topologías lógicas y físicas

La topología (del griego *topos* = forma, *logos* = estudio) es una descripción de la manera en que los elementos que integran una red se encuentran enlazados. La Ilustración 1 muestra diferentes maneras de alambrear un edificio para crear una red local. En la Ilustración 1(a), un solo cable pasa entre cuarto y cuarto, conectándose cada estación a él en el punto más cercano (**topología de bus**). En la Ilustración 1(b), una columna vertical corre del sótano al techo, conectándose a ella cables horizontales en cada piso mediante amplificadores especiales (repetidores). En algunos edificios los cables horizontales son delgados, y el **backbone** (columna vertebral) es grueso. Una topología aún más general es la de **árbol**, mostrada en la Ilustración 1(c). La Ilustración 1(d) muestra una variante, que consiste en un **bus extendido** a través del uso de un repetidor que recibe, amplifica y retransmite señales en ambas direcciones.

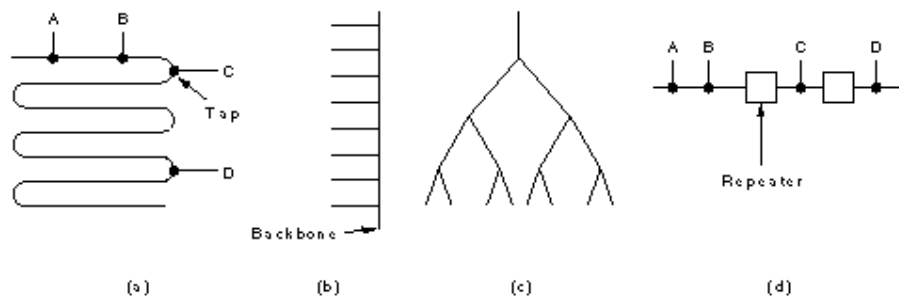


Ilustración 1.- Topologías de cableado. (a) Lineal. (b) backbone. (c) Arbol. (d) Segmentada.

Sin embargo, un análisis más detallado de dichas **topologías físicas**, demostrará que en realidad sólo existen dos posibles **topologías lógicas**, es decir, que desde el punto de vista lógico, sólo existen dos formas posibles de interconectar varias computadoras en una red de área local: todas ellas conectadas en paralelo a un mismo medio (**topología de bus**), o bien creando conexiones punto a punto entre estaciones (conexión serial), hasta formar una **topología de anillo**.

1.1 Topología lógica de bus

La red **en bus** consiste en un simple cable lineal, al cuál todas las estaciones están conectadas.

La ventaja de este tipo de red consiste en la reducción de la longitud del cable, puesto que no es necesario cerrar el ciclo. Esta topología, según el tipo de cable y de conectores utilizados, permite conectar o desconectar con facilidad un nodo sin afectar el funcionamiento de la red. Sin embargo, su principal inconveniente es la dificultad de

poder localizar una falla en una estación o en un cable defectuoso. La red Ethernet es el tipo de red que usa con mayor frecuencia la topología de bus. Es posible crear una estructura de árbol de bus por medio de unir varias redes en bus en un medio de transmisión como la fibra óptica para formar una red unificadora o en espina dorsal (backbone). La Ilustración 1(c) ilustra un ejemplo de una estructura de árbol de bus.

2.1 Topología lógica en anillo

La red **en anillo** (ring) consiste en un ciclo continuo y cerrado que enlaza las estaciones de la red de área local; es decir, cada estación de trabajo está conectada de manera directa a la estación precedente y así en lo sucesivo hasta llegar a la última estación que está conectada a la primera, con lo cual se completa el ciclo. La red que utiliza esta topología con mayor frecuencia es Token Ring, desarrollada por IBM.

En esta topología es factible agregar o eliminar un nodo con relativa facilidad y la longitud total del cable es inferior a la del cableado en estrella. No obstante, su principal inconveniente es que una descompostura del cable causa un paro total de la red. Una topología más costosa, como la de anillo doble, limita los riesgos de interrupción del servicio, pero aumenta en gran medida el costo de la instalación.

2 El problema del acceso al medio

En una topología lógica de bus, se presenta el problema de que cada nodo puede transmitir sobre el mismo cable de conexión. Así, el principal problema en este tipo de redes es controlar la forma de acceso al medio, para que todas las estaciones puedan utilizarlo sin entrar en conflictos las unas con las otras. Como puede apreciarse en la Ilustración 2, el nivel 2 del modelo de referencia OSI (que se explicará con mayor detalle posteriormente), está dividido en dos subniveles: **control de enlace lógico** (*Logical Link Control*, o LLC) y **control de acceso al medio** (*Media Access Control*, o MAC). El nivel LLC asegura la independencia de los procesos entre los niveles superiores y el nivel MAC.

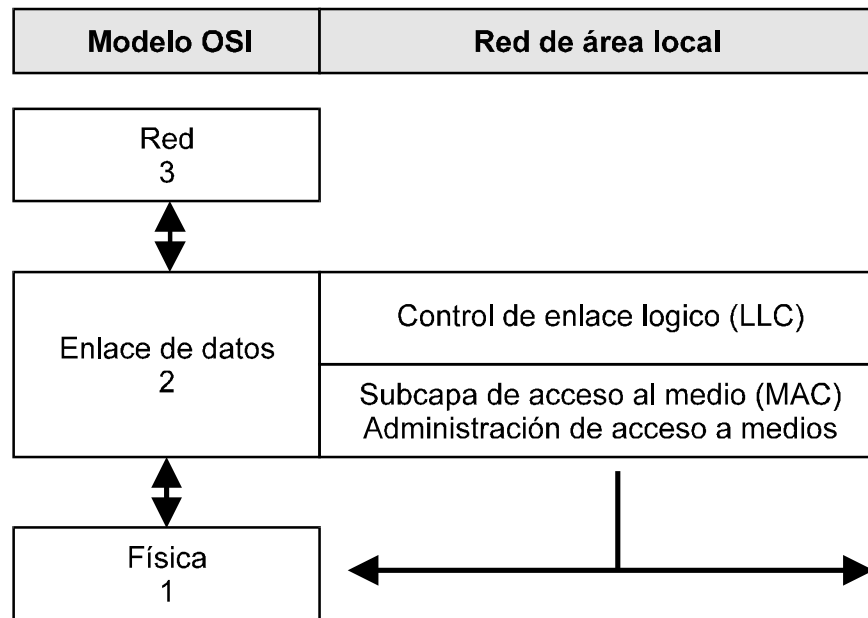


Ilustración 2.- La capa de enlace de datos en una LAN.

Existen dos formas importantes para el control del acceso al medio: la contención **CSMA** (Carrier Sense Multiple Access o acceso múltiple por detección de portadora) y el paso de testigo (**token passing**). La **contención**, en una red de área local, es un método de acceso al canal en el que el acceso al mismo está basado en la política “el primero en llegar es el primero en ser atendido”. En el **paso de estafeta en anillo**, cada nodo tiene la misma posibilidad de transmitir, pero el derecho de transmisión lo otorga la estafeta que se transporta de un nodo a otro.

El Instituto de Ingenieros Eléctricos y Electrónicos (IEEE) de los Estados Unidos, ha publicado protocolos que especifican cada tipo de protocolos, mismos que se explican a continuación.

1.2 IEEE 802.3: CSMA/CD

El protocolo de acceso CSMA/CD, también llamado “escuchar antes de emitir”, es adecuado para las topologías de bus, y se basa en el concepto de **transmisión por difusión** (broadcast) a todas las estaciones. El estándar IEEE 802.3 define cómo crear una LAN utilizando la tecnología CSMA/CD. Esto significa que cuando una estación quiere transmitir, escucha el cable. Si el cable está ocupado, la estación espera hasta que se desocupa; de otra manera, transmite de inmediato. Si dos o más estaciones comienzan a transmitir simultáneamente, por un cable inactivo, habrá una colisión. Todas las estaciones en colisión terminan entonces su transmisión, esperan un tiempo aleatorio y repiten de nuevo todo el proceso.

Tabla 1.- Algoritmo simplificado de CSMA/CD.

1. Escuchar el medio a fin de ver si está libre.
2. Si el canal está libre, transmitir el mensaje. Si está ocupado, esperar hasta que quede libre y luego transmitir.
3. Si se produce una colisión, esperar durante un tiempo aleatorio hasta que el medio quede libre para poder retransmitir.

El estándar 802.3 tiene una historia interesante. El comienzo real fue el sistema **ALOHA** construido para permitir la comunicación por radio entre máquinas diseminadas por las islas hawaianas. Posteriormente, se agregó detección de portadora, y Xerox PARC construyó un sistema CSMA/CD de 2.94 Mbps para conectar más de 100 estaciones de trabajo personales a un cable de 1 km. Este sistema fue bautizado **Ethernet** por el *éter luminífero*, a través del cual alguna vez se pensó que se propagaba la radiación electromagnética.

La Ethernet de Xerox tuvo tanto éxito que Xerox, DEC e Intel diseñaron un estándar para una Ethernet de 10 Mbps. Este estándar formó la base de 802.3. El estándar 802.3 publicado difiere de la especificación Ethernet en cuanto a que describe una familia completa de sistemas CSMA/CD, operando a velocidades de 1 a 10 Mbps en varios medios. También, el único campo de cabecera difiere entre los dos (el campo de longitud del 802.3 se usa para el tipo de paquete en Ethernet). El estándar inicial también da los parámetros para un sistema de banda base de 10 Mbps usando cable coaxial de 50 ohms. Los grupos de parámetros para los demás medios y velocidades vinieron después.

Mucha gente usa (incorrectamente) el nombre “Ethernet” en un sentido genérico para referirse a todos los protocolos CSMA/CD, aun cuando en realidad se refiere a un producto específico que casi implementa el 802.3.

2.2 IEEE 802.4: Token Bus

Aunque 802.3 se usa ampliamente en entornos de oficinas, durante el desarrollo del estándar 802 la gente de General Motors y otras compañías interesadas en la automatización de la manufactura tuvieron dudas serias sobre él. Por una parte, debido al protocolo de acceso al medio probabilístico, con un poco de mala suerte una estación podría tener que esperar un tiempo arbitrariamente largo para enviar un marco (es decir, el peor caso no está determinado). Por otra parte, los marcos de 802.3 no tienen prioridades, lo que los hace inadecuados para los sistemas de tiempo real en los que los marcos importantes no deben ser detenidos por esperar marcos sin importancia. Un sistema sencillo con un peor caso conocido es un anillo en el que las estaciones toman turnos para enviar marcos. A la gente de automatización de manufactura del comité 802 le gustó la idea conceptual de un anillo, pero no les gustó la implementación física porque una ruptura del cable del anillo inhabilitaría la red completa. Además, notaron que un anillo es poco adecuado para la topología lineal de la mayoría de las líneas de ensamble. Como resultado, se desarrolló un estándar nuevo, con la robustez del cable de difusión 802.3 pero el comportamiento conocido de peor caso de un anillo.

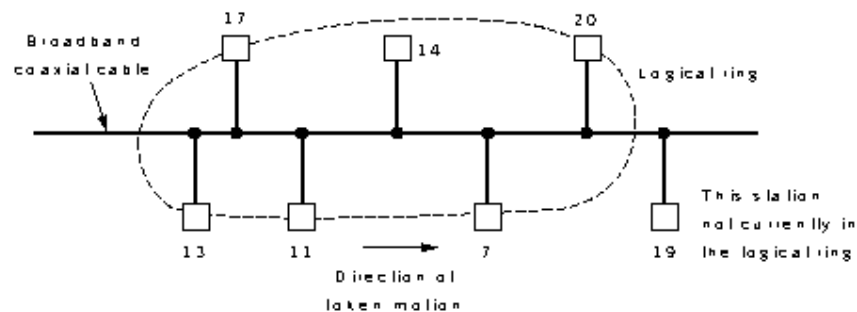


Ilustración 3.- Paso de testigo en bus.

Este estándar, el 802.4, describe una LAN llamada **token bus** (paso de testigo o estafeta en bus). Físicamente, el token bus es un cable lineal o en forma de árbol al que se conectan las estaciones. Las estaciones están organizadas lógicamente en forma de anillo (véase la Ilustración 3), donde cada estación conoce la dirección de la estación a su “izquierda” y a su “derecha”. Cuando se inicializa el anillo lógico, la estación de número más alto puede enviar el primer marco. Hecho esto, pasa el permiso a su vecino inmediato enviándole un marco de control especial llamado testigo o estafeta (**token**). La estafeta se propaga alrededor del anillo lógico, teniendo permiso de transmitir marcos sólo quien tiene la estafeta. Dado que sólo una estación a la vez tiene la estafeta, no ocurren colisiones.

Un punto importante a notar es que no es importante el orden físico en el que están conectadas las estaciones de trabajo. Dado que el cable inherentemente es un medio de difusión, todas las estaciones reciben todos los marcos, descartando los que no estén dirigidos a ellas. Cuando una estación pasa la estafeta, envía un marco de estafeta dirigido específicamente a su vecino lógico en el anillo, sin importar la ubicación física de esa estación en el cable. También vale la pena notar que, cuando inicialmente se prneden las estaciones, no están en el anillo (por ejemplo, las estaciones 14 y 19 de la Ilustración 3), por lo que el protocolo de acceso al medio contempla la adición y eliminación de estaciones del anillo.

Tabla 2.- Algoritmo simplificado de paso de testigo en anillo.

- | |
|--|
| <ol style="list-style-type: none">1. Esperar la llegada del testigo de transmisión. El testigo circula y pasa de nodo en nodo de manera secuencial. Sólo el poseedor del testigo puede transmitir el mensaje.2. Si el estigo de transmisión se recibe y no hay mensaje para enviar, se pasa al nodo siguiente.3. Si el testigo de transmisión se recibe y hay un mensaje para transmitir, entonces.<ol style="list-style-type: none">a) Sólo el poseedor del testigo puede transmitir un mensaje.b) El mensaje se rescata al pasar por el destinatario, quien lo regresa al emisor para así “confirmar la llegada”.c) Cuando el mensaje completa el recorrido del anillo, el emisor lo toma a fin de verificar que su recepción haya sido correcta, antes de destruirlo y liberar la señal.d) El testigo se pasa al nodo siguiente. |
|--|

3.2 IEEE 802.5: Token Ring

Las redes en anillo no son nada nuevo, pues se han utilizado desde hace mucho tiempo para redes tanto locales como de área amplia. Entre sus muchas características atractivas está el que un anillo no es realmente un medio de difusión, sino un conjunto de enlaces punto a punto individuales que, coincidentemente, forman un círculo. Los enlaces punto a punto implican una tecnología bien entendida y probada en el campo que puede operar en par trenzado, cable coaxial y fibra óptica. La ingeniería de anillos es casi completamente digital. En contraste, por ejemplo, 802.3 tiene una componente analógica considerable para la detección de colisiones. Un anillo también es equitativo y tiene un límite superior conocido de acceso al canal. Por estas razones, IBM escogió el anillo como su LAN y el IEEE ha incluido el estándar **token ring** como el 802.5. Un anillo en realidad consta de un conjunto de interfaces de anillo conectadas por líneas punto a punto. Cada bit que llega a la interfaz se copia en un buffer de 1 bit y luego se copia en el anillo nuevamente. Mientras está en el buffer, el bit se puede inspeccionar y posiblemente modificar antes de enviarse. Este paso de copiado introduce un retardo de 1 bit en cada interfaz. En la Ilustración 4 se muestra un anillo y sus interfaces.

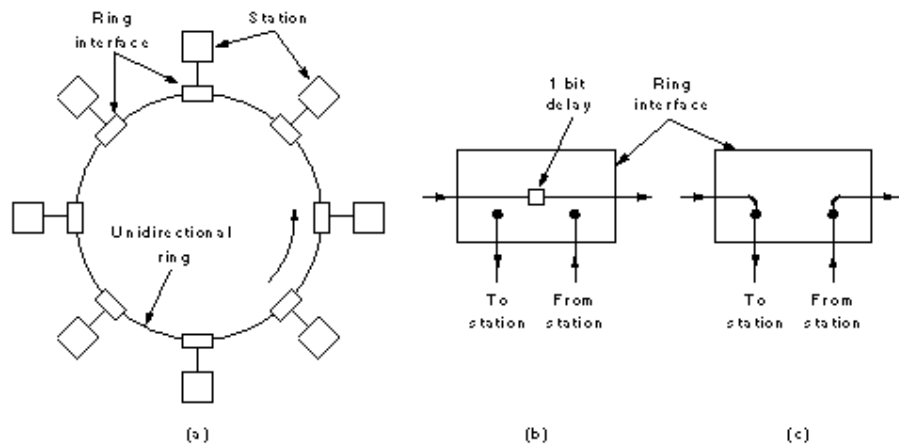


Ilustración 4.- (a) Red en anillo. (b) Modo de escuchar. (c) Modo de transmitir.

En un token ring (paso de testigo en anillo) circula un patrón de bit especial, llamado testigo (**token**) alrededor del anillo cuando todas las estaciones están inactivas. Cuando una estación quiere transmitir un marco, debe tomar el testigo y retirarlo del anillo antes de transmitir. Esta acción se lleva a cabo invirtiendo un solo bit del testigo de 3 bytes, lo que instantáneamente lo convierte en los tres primeros bytes de un marco de datos normal. Debido a que sólo hay un testigo, sólo una estación puede transmitir en un instante dado, resolviendo por tanto el problema de acceso al medio de la misma manera en que lo resuelve el token bus.

Una implicación del diseño token ring es que el anillo mismo debe tener un retardo (**delay**) suficiente para contener un testigo completo que circule cuando todas las estaciones están inactivas. El retardo tiene dos componentes: el retardo de 1 bit introducido por cada estación y el retardo de propagación de señal. En la mayoría de los anillos, los diseñadores deben suponer que pueden apagarse estaciones en diferentes momentos, especialmente durante la noche. Si las interfaces se alimentan de energía o energizan desde el anillo, el apagado de la estación no tiene ningún efecto sobre la interfaz, pero si las interfaces se energizan externamente deben estar diseñadas para conectar la entrada a la salida al interrumpirse la energía, con lo que se elimina el retardo de 1 bit.

Las interfaces de anillo tienen dos modos operativos, escuchar y transmitir. En el modo de escuchar, los bits de entrada simplemente se copian en la salida, con un retardo de un tiempo de bit, como lo muestra la Ilustración 4(b). En el modo de transmitir, al que se entra una vez que se tiene el testigo, la interfaz rompe la conexión entre la entrada y la salida, introduciendo sus propios datos en el anillo. Para poder conmutar del modo de escuchar al de transmitir en un tiempo de 1 bit, la interfaz generalmente necesita almacenar en un buffer uno o más marcos, en lugar de obtenerlos de la estación con tan poca anticipación.

A medida que los bits propagados alrededor del anillo regresan, son retirados por el transmisor. La estación transmisora puede guardarlos, para compararlos con los datos originales y verificar la confiabilidad del anillo, o descartarlos. Como el marco completo nunca aparece en el anillo en un mismo instante, esta arquitectura de anillo no pone límite al tamaño de los marcos. Una vez que la estación ha terminado de transmitir el último bit de su último marco, debe regenerar el testigo. Cuando ha regresado el último bit del marco, debe retirarse, y de inmediato la interfaz debe conmutarse

nuevamente al modo de escuchar para evitar retirar el testigo que podría seguir si ninguna otra estación la ha retirado.

El manejo de acuses de recibo es directo en un token ring. El formato de marco sólo necesita incluir un campo de 1 bit para acuse de recibo, inicialmente cero. Cuando la estación de destino ha recibido el marco, establece el bit. Por supuesto, si el acuse significa que la suma de comprobación ha sido verificada, el bit debe seguir a la suma de comprobación y la interfaz con el anillo debe ser capaz de verificar la suma de comprobación tan pronto haya recibido el último bit. Cuando un marco se difunde a múltiples estaciones, debe usarse un mecanismo de acuse más complicado (si es que se usa uno).

Cuando el tráfico es ligero, el testigo pasará la mayor parte del tiempo circulando inactivamente alrededor del anillo. Ocasionalmente, una estación lo tomará, transmitirá un marco, y entonces emitirá un testigo nuevo. Sin embargo, cuando el tráfico es pesado, de modo que hay una cola en cada estación, tan pronto una estación termina su transmisión y regenera el testigo la siguiente estación verá y retirará el testigo. De esta manera, el permiso para enviar gira continuamente, por turno circular. La eficiencia de la red puede acercarse al 100% en condiciones de carga pesada.

4.2 Comparación entre los métodos de acceso al medio

A continuación se presenta una tabla donde se comparan las dos principales tecnologías de contención existentes, señalando sus similitudes y diferencias.

Tabla 3.- Comparación de CSMA/CD y token passing.

Contención CSMA/CD	Paso de testigo
Un mismo acceso para todos los nodos.	Un mismo acceso para todos los nodos.
El tiempo máximo de espera para transmitir es difícil de predecir, y depende de las colisiones.	El tiempo máximo de espera para transmitir es el lapso total de circulación del testigo.
El tiempo promedio de espera para transmitir es imprevisible.	El tiempo promedio de espera para transmitir es previsible.
La congestión de la red puede causar colisiones y, por tanto, reducir su eficacia.	La congestión de la red no afecta de manera negativa a su eficacia.
Un nodo puede transmitir de inmediato.	Un nodo debe esperar recibir el testigo antes de transmitir.
Un nodo puede monopolizar la red.	Un nodo no puede monopolizar la red.
Un nodo puede transmitir cuando la red está libre.	Los anillos grandes pueden causar demoras demasiado prolongadas antes de que un nodo reciba la estafeta.
El desempeño es imprevisible en las redes demasiado ocupadas, a causa de la posibilidad de colisiones.	Un desempeño uniforme para las grandes redes demasiado solicitadas.

3 Topología física

Existen varias formas de unir de manera física dos elementos: la topología de malla para las redes remotas; y las de bus, de anillo y de estrella para las redes locales. También está la topología en árbol, la cual es una combinación de las de estrella y de bus.

Para elegir el tipo de topología más apropiado, el usuario deberá considerar los siguientes elementos:

- Flexibilidad relativa del desplazamiento de nodos después de la puesta en servicio.
- Indicaciones de localización de los diferentes nodos, donde se conectaron las estaciones. Por ejemplo, en el caso donde todas las estaciones estén reagrupadas excepto dos o tres situadas en dos pisos diferentes de un edificio, una topología física en anillo nunca será apropiada.
- Número de estaciones que se han de instalar y la posibilidad de expansión deseada para la red.

1.3 Redes en estrella

La red **en estrella** (star) tiene una computadora o centro al cuál están conectados todos los nodos. Los nodos no están conectados uno con otro, sino sólo con el centro por el cual pasan los mensajes, de manera que forman una estrella. El nodo central, un hub, por lo general se encuentra en el tablero del sistema de cableado (tablero de conexión).

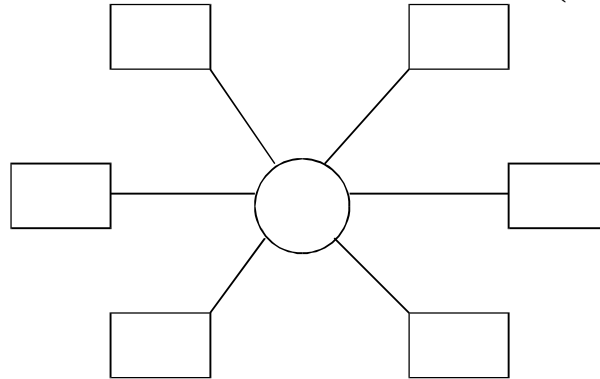


Ilustración 5.- Topología física de estrella.

La ventaja de esta topología es su facilidad de mantenimiento: sólo se debe administrar el nodo central de la red. También es muy fácil agregar una estación de trabajo, puesto que basta establecer un enlace entre el nodo central y la nueva estación sin perturbar el funcionamiento de la red.

No obstante, el inconveniente de una red en estrella es el hecho de que se requiere una cantidad considerable de cables para conectar cada estación al punto central.

Las redes Ethernet han evolucionado a topologías físicas de estrella. El nodo central es un repetidor multipuerto que amplía la señal a todos los nodos cuando una estación transmite un mensaje. Las redes que utilizan Token Ring también han evolucionado a una topología física en estrella. El nodo central funge como un equipo al cual se conectan las líneas de modo que forman un anillo a manera de estrella.

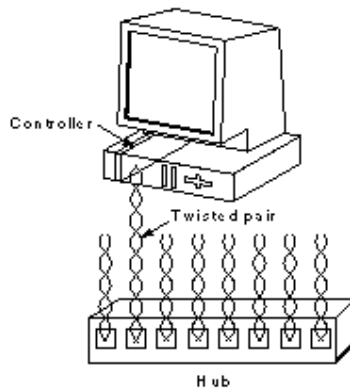


Ilustración 6.- Detalle de una red Ethernet con cableado de par trenzado, usando topología física de estrella.

También las redes Token Ring se adaptan a una topología física de estrella: dado que en una topología de anillo, si se rompe el cable en alguna parte, el anillo se inhabilita, se acostumbra crear una topología física de estrella a partir de un **centro de alambrado o MSAU (Multi Station Access Unit)**, un concentrador Token Ring, tal como se muestra en la Ilustración 7.

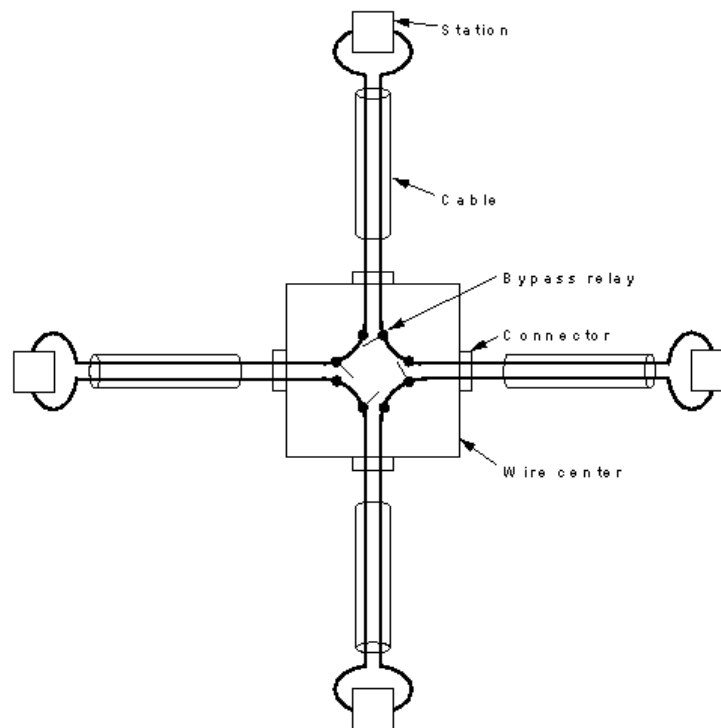


Ilustración 7.- Cuatro estaciones conectadas mediante un MSAU.

2.3 Redes en árbol

Cuando se enlazan varios hubs, es decir, varias estrellas entre sí, se obtiene una estructura de árbol de estrellas, también llamada topología **de árbol (tree)**. Esta combinación resulta particularmente apropiada, cuando la tecnología de red usada viene en dos distintas velocidades: por ejemplo, Ethernet clásico (10 Mbps) y Fast Ethernet

(100 Mbps). Bajo estas condiciones, las ramas más altas del árbol se instrumentan con Fast Ethernet, mientras que la conexión de las estaciones de trabajo se realiza con Ethernet normal, más económico, tal como muestra la Ilustración 8.

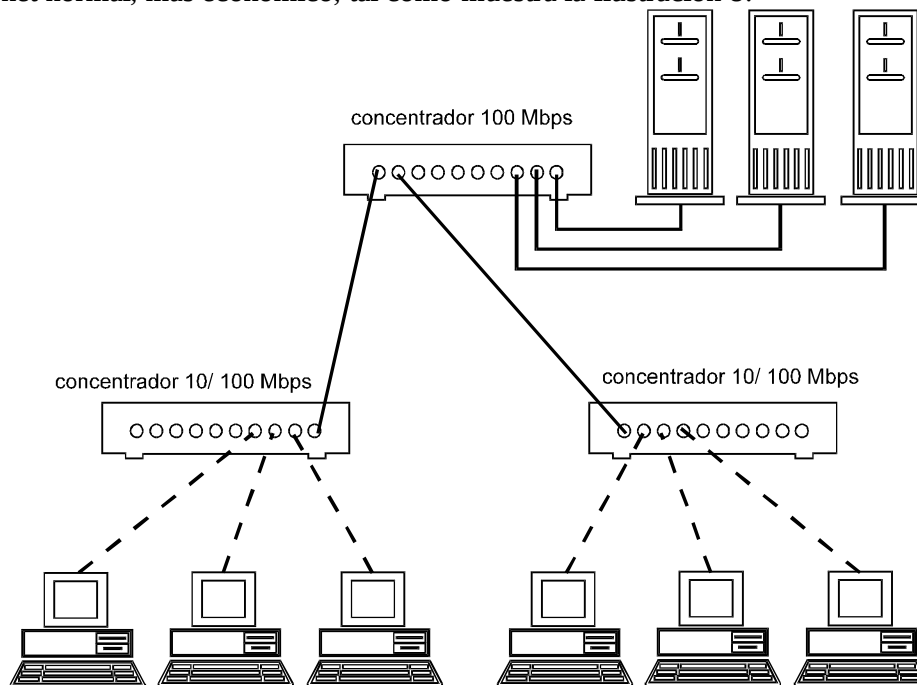


Ilustración 8.- Topología física de árbol, basada en Fast Ethernet (100 Mbps) y Ethernet clásico (10 Mbps).

3.3 Redes en malla

En una topología de **mall**a (mesh), cada nodo de la red está conectado con otros, como se muestra en la Ilustración 9. Un ejemplo de este tipo de topología es la red telefónica. La ventaja principal de esta topología es la redundancia de enlaces que presenta: existen varias rutas de envío entre dos puntos.

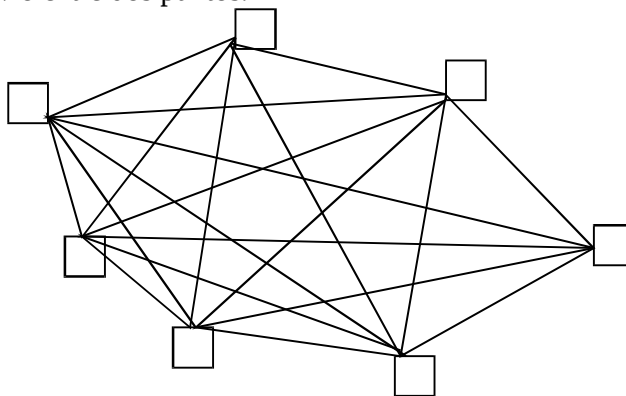


Ilustración 9.- Topología física de malla completa.