

William Stallings

Comunicaciones y Redes de Computadores

Capítulo 13

Tecnologías LAN

Aplicaciones de redes LAN

- LAN de computadores personales:
 - | Bajo coste.
 - | Velocidad de datos limitada.
- Redes de respaldo y de almacenamiento:
 - | Se utilizan para interconectar grandes sistemas (computadores centrales, supercomputadores y dispositivos de almacenamiento masivo):
 - | Alta velocidad.
 - | Interfaz de alta velocidad.
 - | Acceso distribuido.
 - | Distancia limitada.
 - | Número limitado de dispositivos.

Aplicaciones de redes LAN

- Redes ofimáticas de alta velocidad:
 - Procesadores de imágenes de sobremesa.
 - Alta capacidad de almacenamiento local.
- LAN troncales:
 - Interconecta LAN locales de baja velocidad.
 - Fiabilidad.
 - Capacidad.
 - Coste.

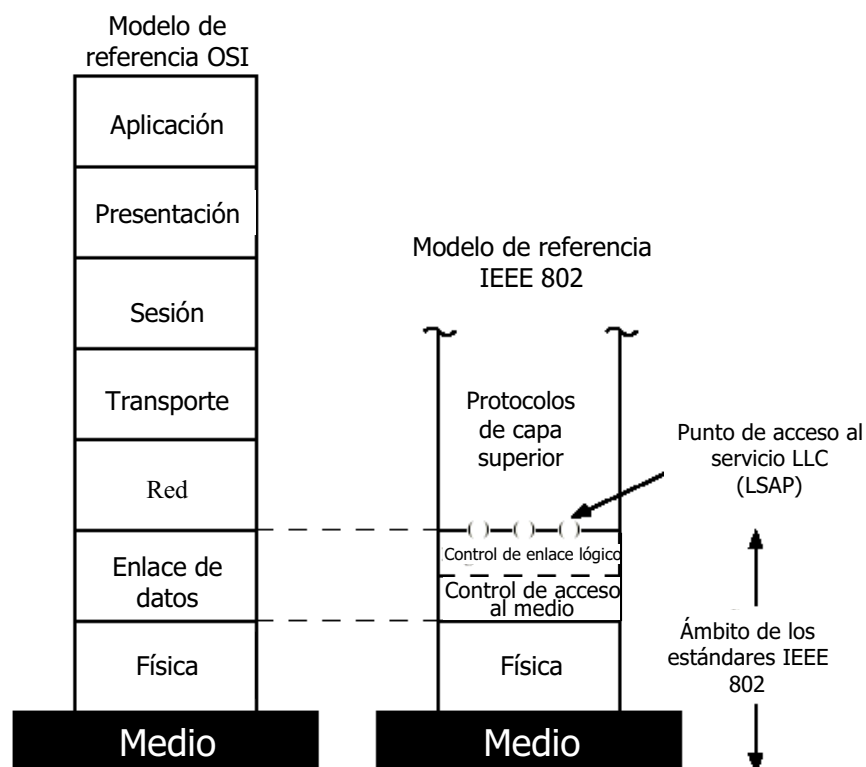
Arquitectura LAN

- Arquitectura de protocolos.
- Topologías.
- Control de acceso al medio.
- Control de enlace lógico.

Arquitectura de protocolos

- Capas inferiores del modelo OSI.
- Modelo de referencia IEEE 802.
- Capa física.
- Control de enlace lógico (LLC, logical link control).
- Control de acceso al medio (MAC, media access control).

Capas del protocolo IEEE 802 en comparación con las del modelo OSI



Capa física del modelo IEEE 802

- Codificación/decodificación de señales.
- Generación/eliminación de preámbulo (para sincronización).
- Transmisión/recepción de bits.
- Medio de transmisión y de la topología.

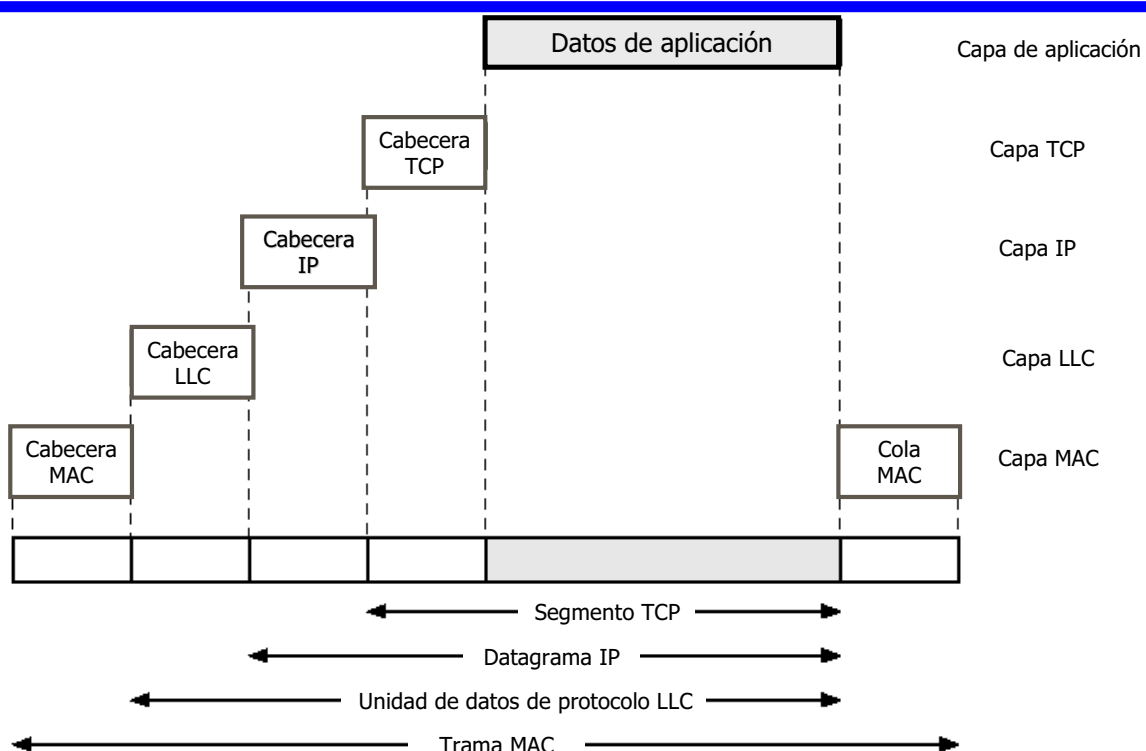
Capa de control de enlace lógico del modelo IEEE 802

- Interfaz con las capas superiores.
- Control de errores y de flujo.

Capa de control de acceso al medio del modelo IEEE 802

- Ensamblaje de datos en tramas con campos de dirección y de detección de errores.
- Desensamblaje de tramas:
 - Reconocimiento de dirección.
 - Detección de errores.
- Control de acceso al medio de transmisión:
 - No se encuentra en la capa 2 de control de enlace de datos tradicionales.
- Para un mismo LLC, están disponibles varios MAC.

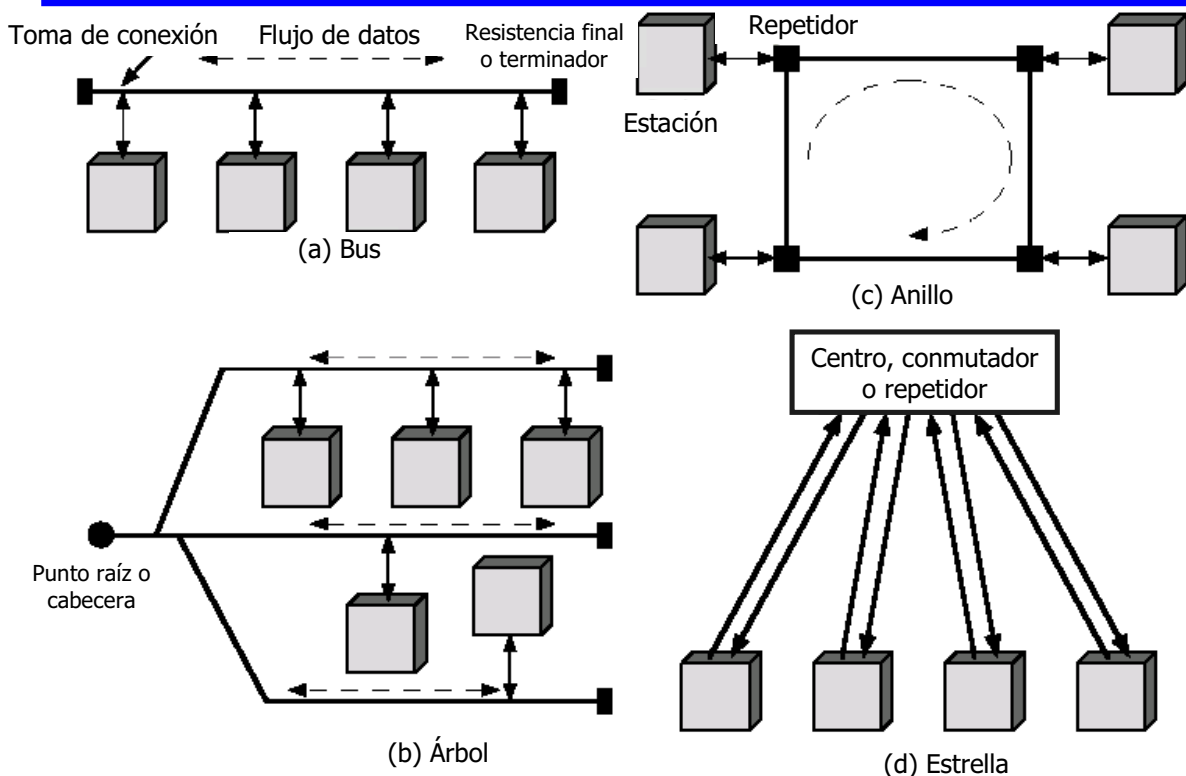
Protocolos LAN en contexto



Topologías

- En árbol.
- En bus:
 - Tipo especial de tipología en árbol:
 - Una línea principal, ninguna ramificación.
- En anillo.
- En estrella.

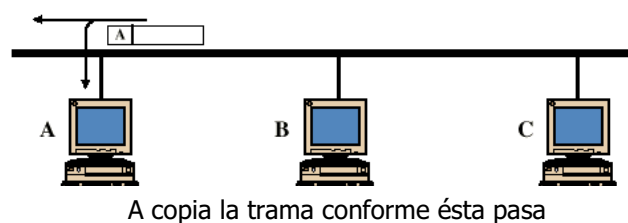
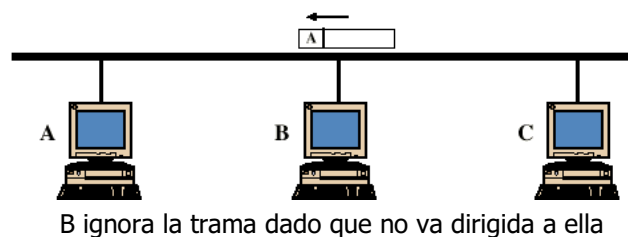
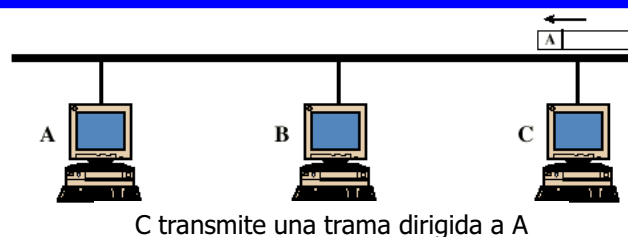
Topologías en LAN



Topologías en bus y en árbol

- Uso de un medio multipunto.
- Una transmisión se propaga a través del medio.
- Recibida por todas las estaciones:
 - Es necesario identificar la estación de destino:
 - Cada estación tiene una única dirección.
- Conexión *full-duplex* entre la estación y la toma de conexión:
 - Permite la transmisión y recepción de datos.
- Es necesario regular la transmisión:
 - Para evitar las colisiones.
 - Para evitar la superposición:
 - Los datos se transmiten en pequeños bloques llamados tramas.
- El terminador absorbe las tramas, cuando la señal alcanza el final del medio.

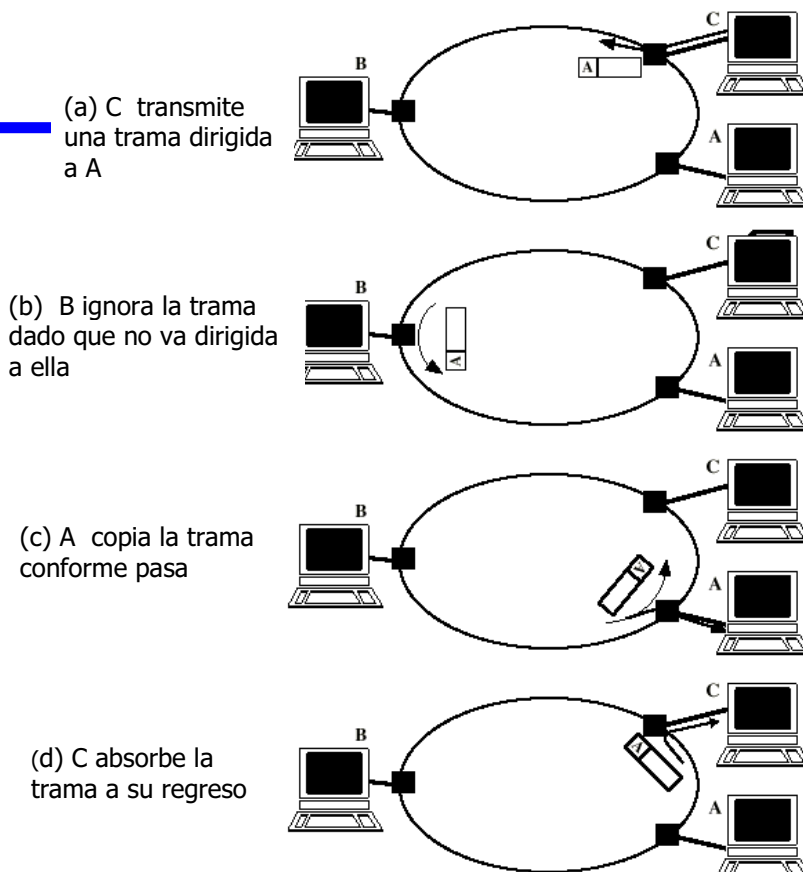
Transmisión de tramas en una LAN en bus



Topología en anillo

- Repetidores unidos por enlaces punto a punto formando un bucle cerrado:
 - Reciben datos a través de un enlace y los transmiten a través de otro enlace.
 - Enlaces unidireccionales.
 - Cada estación se conecta mediante un repetidor.
- Datos transmitidos en tramas:
 - Circulan por todas las estaciones.
 - La estación de destino reconoce su dirección y copia la trama.
 - La trama continúa circulando hasta que alcanza la estación origen, donde es eliminada del medio.
- El control de acceso al medio determina cuándo puede insertar tramas cada estación.

Transmisión de tramas LAN en anillo



Topología en estrella

- Cada estación está conectada directamente a un nodo central:
 - Generalmente a través de dos enlaces punto a punto.
- El nodo central puede transmitir en difusión:
 - Aunque la disposición física es una estrella, funciona como un bus.
 - Sólo puede transmitir una estación en un instante de tiempo dado.
- El nodo central puede funcionar como dispositivo de conmutación de tramas.

Control de acceso al medio

- *Dónde:*
 - Forma centralizada:
 - Mejora el control.
 - Lógica de acceso relativamente sencilla en cada estación.
 - Resuelve problemas de coordinación.
 - Genera un punto de falla.
 - Posible cuello de botella.
 - Forma distribuida.
- *Cómo:*
 - Síncrono:
 - Se dedica una capacidad dada a la conexión.
 - Asíncrono:
 - En respuesta a solicitudes.

Sistemas asíncronos

- Rotación circular:
 - Técnica efectiva cuando varias estaciones disponen de datos a transmitir durante un largo periodo de tiempo.
- Reserva:
 - Técnica adecuada para un tráfico continuo.
- Contención:
 - Técnicas apropiadas para un tráfico a ráfagas.
 - Todas las estaciones compiten.
 - Naturaleza distributiva.
 - Sencillas de implantar.
 - Eficientes en condiciones de moderada carga.
 - Tienden a deteriorarse bajo condiciones de alta carga.

Formato de trama MAC

- La capa MAC recibe datos de la capa LLC.
- Los campos de la trama MAC son:
 - Control MAC.
 - Dirección MAC de destino.
 - Dirección MAC de origen.
 - LLC
 - CRC
- La capa MAC detecta errores y rechaza las tramas erróneas.
- Opcionalmente, la capa LLC retransmite las tramas erróneas.

Control de enlace lógico

- Transmisión de datos de protocolo del nivel de enlace (PDU) entre dos estaciones.
- Debe admitir acceso múltiple, medio compartido.
- La capa MAC descarga algunos detalles del acceso al enlace.
- El direccionamiento en LLC implica la especificación de los usuarios LLC origen y destino:
 - Se denominan puntos de acceso al servicio (SAP).
 - Normalmente, protocolo de capa superior.

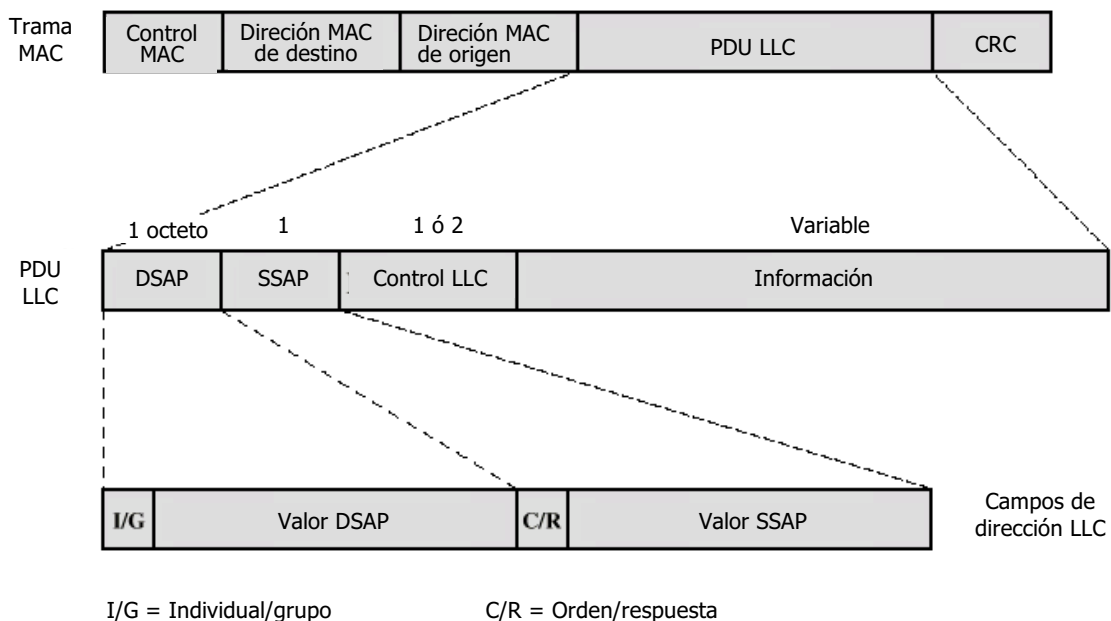
Servicios LLC

- Basado en HDLC.
- Servicio no orientado a conexión sin confirmación.
- Servicio en modo conexión.
- Servicio no orientado a conexión con confirmación.

Protocolo LLC

- Se diseñó después de HDLC.
- Utiliza el modo de operación de balanceo asíncrono para dar soporte al servicio LLC (operación de tipo 2).
- Ofrece un servicio no orientado a conexión sin confirmación, usando la PDU de información no numerada (operación de tipo 1).
- Multiplexación utilizando LSAP.

Formato genérico de trama



Redes LAN en bus

■ Equilibrio de señales:

- La señal debe ser suficientemente fuerte para que llegue al receptor con una potencia mínima.
- Debe presentar una relación señal-ruido adecuada.
- No debe ser tan potente como para saturar el circuito del emisor.
- Deberá cumplir todo esto para cualquier combinación de estaciones emisoras y receptoras en el bus.
- Una solución normal es dividir el medio en segmentos más pequeños.
- Enlazar segmentos mediante amplificadores o repetidores.

Medios de transmisión

■ Par trenzado:

- No resulta práctico para velocidades superiores en un bus compartido.

■ Cable coaxial de banda base:

- Utilizada por Ethernet.

■ Cable coaxial de banda ancha:

- Se incluyen en la especificación 802.3, aunque no se ha vuelto a considerar.

■ Fibra óptica:

- Alto coste.
- Dificultad y disponibilidad.
- No se utiliza.

■ Algunas nuevas instalaciones :

- Reemplazado por el par trenzado en estrella y la fibra óptica.

Cable coaxial de banda base

- Utiliza señales digitales.
- Codificación Manchester o Manchester Diferencial.
- Se ocupa todo el espectro de frecuencias del cable.
- Un único canal en el cable.
- Bidireccional.
- Extensión de pocos kilómetros.
- Ethernet, base del estándar IEEE 802.3, que opera a 10 Mbps.
- 50 ohmios de cable.

10BASE5

- Originariamente, Ethernet 802.3 utilizaba 0,4 pulgadas de diámetro de cable y una velocidad de 10 Mbps.
- La longitud máxima del cable es de 500 metros.
- La distancia entre tomas es un múltiplo de 2,5 metros:
 - Esto asegura que las reflexiones en tomas de conexión adyacentes no se sumen en fase.
- Permite un máximo de 100 tomas de conexión.
- Este sistema se denomina: 10BASE5.

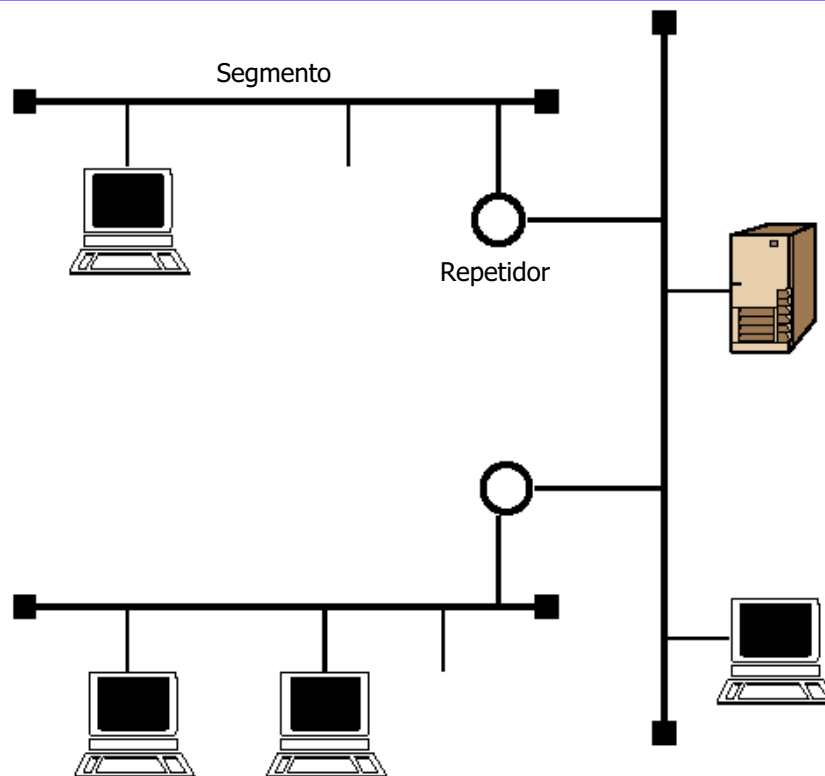
10BASE2

- Denominado Cheapernet.
- Cable de 0,5 cm:
 - Más flexible.
 - Más fácil de conectar a la estación de trabajo.
 - Electrónica más sencilla.
 - Mayor atenuación.
 - Menor inmunidad al ruido.
 - Menor número de tomas de conexión (30).
 - Menor distancia (185 metros).

Repetidores

- Transmiten en ambos sentidos.
- Une dos segmentos de cable.
- No llevan a cabo almacenamientos temporales.
- No aíslan lógicamente un segmento de otro.
- Si dos estaciones en segmentos diferentes intentan transmitir al mismo tiempo, sus paquetes colisionarán.
- Sólo se permite un camino de segmentos y repetidores entre dos estaciones cualesquiera.

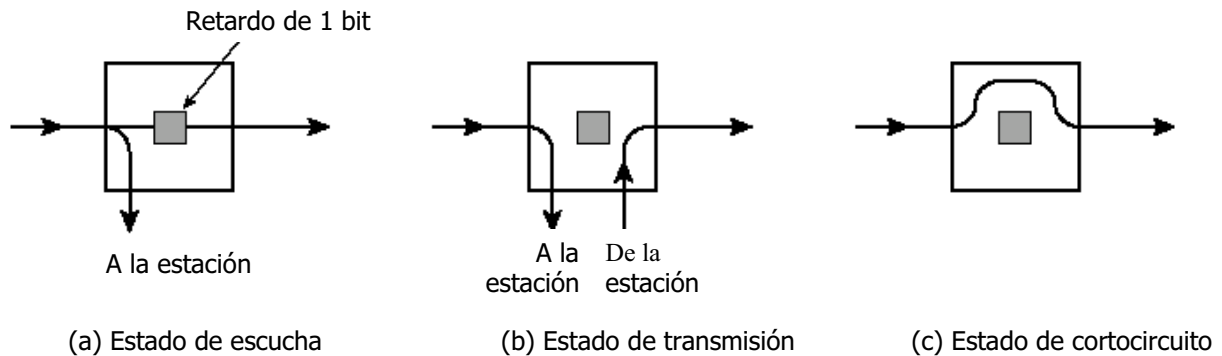
Configuración en banda base



LAN en anillo

- Cada repetidor está conectado a otros dos por líneas de transmisión unidireccionales.
- Se forma un único camino cerrado.
- Los datos se transmiten secuencialmente, bit a bit, desde un repetidor hacia el siguiente.
- Cada repetidor regenera y retransmite cada bit.
- Cada repetidor realiza la función de: inserción de datos, recepción de datos, eliminación de datos.
- Los repetidores actúan como puntos de conexión.
- Tras circular por el anillo, el transmisor suprime el paquete.

Estados del repetidor de un anillo



Funciones del estado de escucha

- Búsqueda de secuencias patrones de bits:
 - Dirección de las estaciones conectadas.
 - Permiso para transmitir.
- Captación de cada bit entrante y su envío a la estación conectada:
 - Esto se realizará para cada bit.
- Modificación de un bit mientras circula:
 - Ejemplo: para indicar que el paquete ha sido copiado (esto sirve como confirmación).

Funciones del estado de transmisión

- La estación dispone de datos.
- El repetidor tiene permiso.
- Recibe bits de la estación:
 - Si la longitud del anillo es menor que el paquete:
 - | Pasa los bits hacia la estación para comprobarlos como método de confirmación.
 - Pueden existir más de un paquete en el anillo:
 - | Almacenamiento temporal para posterior retransmisión.

Estado de cortocircuito (“bypass”)

- Las señales propagadas atraviesan el repetidor sin más retardo que el de propagación en el medio.
- Solución parcial al problema de fiabilidad (se verá posteriormente).
- Prestaciones mejoradas.

Medios del anillo

- Par trenzado.
- Cable coaxial de banda base.
- Fibra óptica.
- Cable coaxial de banda ancha no se utiliza:
 - Tendría que recibir y transmitir datos de forma asíncrona en varios canales.

Fluctuación en la temporización

- La señal incluye sincronización:
 - Ejemplo: el uso de codificación Manchester Diferencial.
 - Sincronismo obtenido por los repetidores:
 - Para saber cuándo hacer un muestreo de la señal de entrada para obtener los bits de datos.
 - Utilizar el sincronismo para la retransmisión.
 - La obtención de sincronismo se puede realizar de forma aleatoria a partir de transmisiones en mitad del intervalo:
 - Ruido.
 - Imperfecciones en la circuitería.
- Retransmisión sin retardo, pero con error de temporización.
- El efecto acumulativo provoca la variación en la longitud del bit.
- Limita el número de repetidores en el anillo.

Soluciones a las limitaciones de la fluctuación en la temporización

- Cada repetidor incluye un bucle cerrado en fase (PLL):
 - Minimiza la desviación entre un tiempo de bit y el siguiente.
- Utilización de memoria temporal en uno o más repetidores:
 - Gestiona un determinado número de bits.
 - Se amplía y reduce para mantener constante la longitud de bit en el anillo.
- Incremento significativo del tamaño máximo de anillo permitido.

Problemas potenciales en el anillo

- La rotura de un enlace hace que la red deje de funcionar.
- El fallo en un repetidor hace que la red deje de funcionar.
- La instalación de un nuevo repetidor para poder conectar nuevos dispositivos a la red necesita la identificación de dos repetidores cercanos, topológicamente adyacentes.
- Fluctuación en la temporización.
- Se necesita algún método para eliminar los paquetes que circulan:
 - Con técnicas de apoyo en caso de error.
- La mayoría de los problemas se solucionan mejorando la topología del anillo.

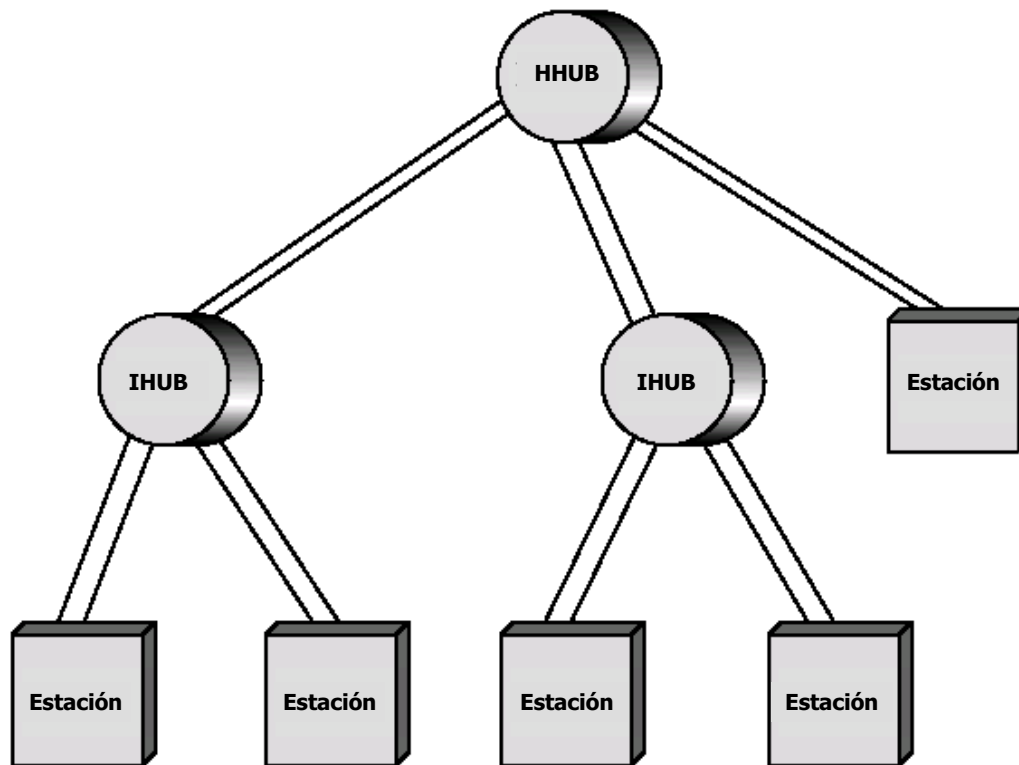
Arquitectura en estrella-anillo

- Pasar los enlaces entre repetidores por un único lugar:
 - Concentrador.
 - Proporciona acceso centralizado a la señal en cualquier enlace.
 - Resulta fácil encontrar fallos.
 - Se puede enviar un mensaje sobre el anillo y ver hasta dónde llega.
 - Se puede desconectar un segmento con problemas y repararlo más tarde.
 - La incorporación de nuevos repetidores al anillo es sencilla.
 - El relé de cortocircuito se puede desplazar al concentrador.
 - Conlleva una gran cantidad de cable.

LAN en estrella

- Usa pares no apantallados para el cableado de redes (cable telefónico).
 - Coste mínimo:
 - Puede que la instalación ya exista.
 - Todos los lugares del edificio están cubiertos por una instalación ya existente.
- Conectado a un centro activo ("hub").
- Dos enlaces:
 - Transmitir y recibir.
- El centro replica la señal en la línea de salida hacia cada estación.
- Longitud de un enlace está limitada en torno a 100 m.
 - Fibra óptica con una longitud máxima de 500 m.
- Funciona lógicamente como un bus: se produce colisión, si dos estaciones transmiten al mismo tiempo.

Topología en estrella en dos niveles



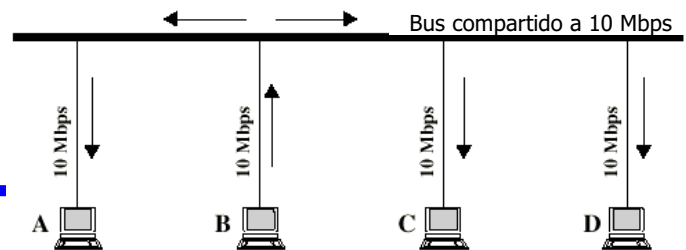
Centros y conmutadores

- Centro compartido:
 - Tiene un centro raíz.
 - El centro retransmite la señal recibida sobre todas las líneas de salida.
 - Sólo una estación puede transmitir en un momento dado.
 - La capacidad total de la LAN es de 10 Mbps.
- Centro de LAN conmutada:
 - El centro raíz actúa como un conmutador.
 - Una trama procedente de una estación dada es conmutada hacia la correspondiente línea de salida.
 - Las líneas desocupadas se pueden usar para conmutar otro tráfico.
 - Con dos pares de líneas en funcionamiento, la capacidad total es 20 Mbps.

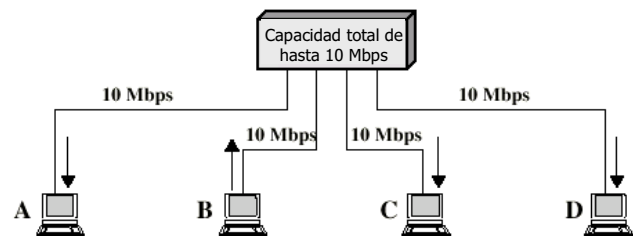
Centros de conmutación

- No se necesita cambiar el software o el hardware de los dispositivos.
- Cada dispositivo tiene una capacidad dedicada.
- Permite el escalado de forma sencilla.
- Conmutador de almacenamiento y envío:
 - El centro acepta una línea de entrada, que almacena temporalmente y después la encamina hacia la línea de salida.
- Conmutador rápido:
 - Aprovecha que la dirección de destino se encuentra al comienzo de la trama.
 - Comienza retransmitiendo la trama entrante sobre la línea de salida tan pronto como reconoce la dirección.
 - Puede propagar tramas erróneas.

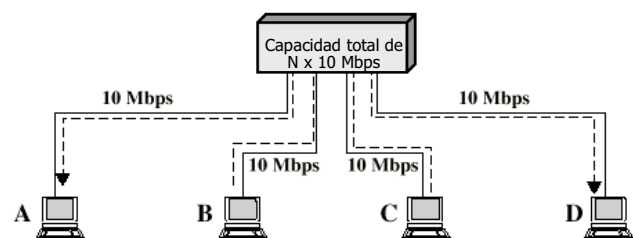
Centros y conmutadores



(a) Bus compartido



(b) Centro compartido



(c) Centro de conmutación

Redes LAN inalámbricas

- Movilidad.
- Flexibilidad.
- Zonas difíciles de cablear.
- Coste reducido.
- Mejor funcionamiento.

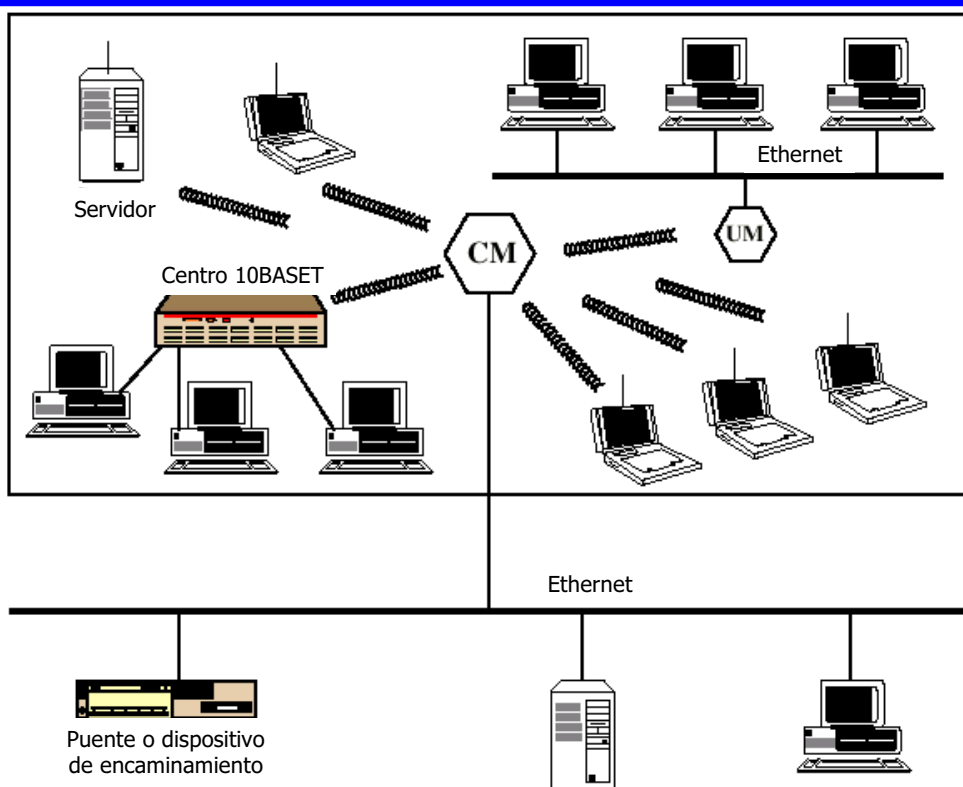
Aplicaciones de LAN inalámbricas

- Ampliación de redes LAN.
- Interconexión de edificios.
- Acceso nómada.
- Redes *ad hoc*.

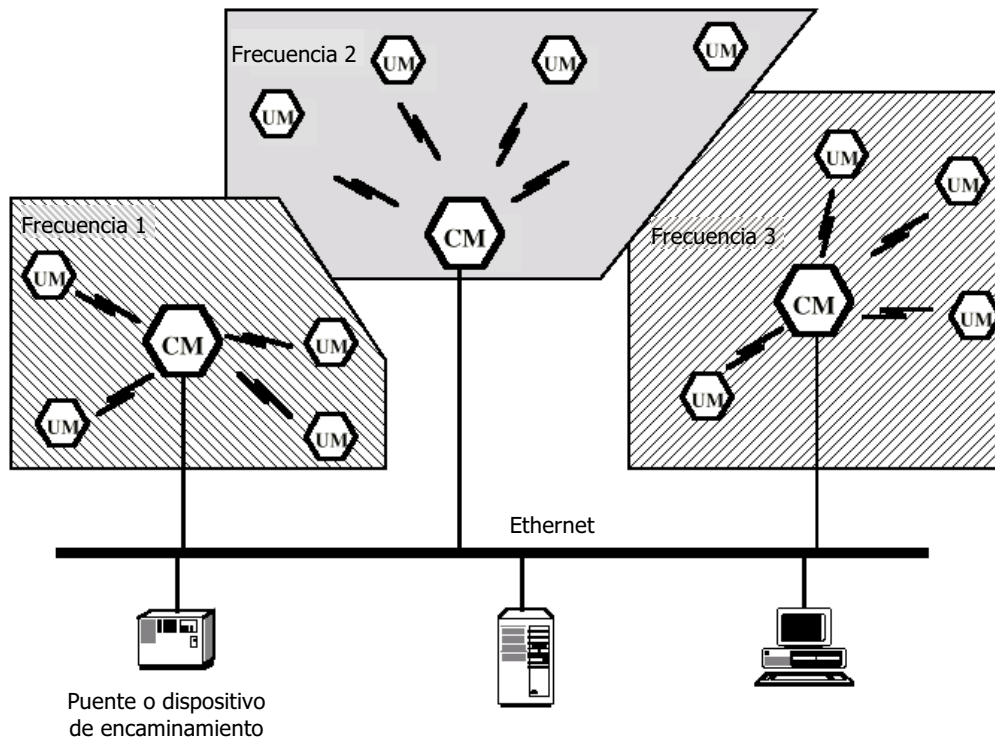
Ampliación de redes LAN

- Edificios de gran superficie:
 - Plantas de fabricación.
 - Almacenes.
- Edificios históricos.
- Pequeñas oficinas.
- Puede mezclarse con un sistema de cableado fijo.

LAN inalámbrica de celda única



LAN inalámbrica de celdas múltiples



Interconexión de edificios

- Enlace punto a punto entre edificios.
- Generalmente son puentes o dispositivos de encaminamiento.
- Se utiliza cuando no es posible una conexión por cable:
 - | Ejemplo: al otro lado de una calle.

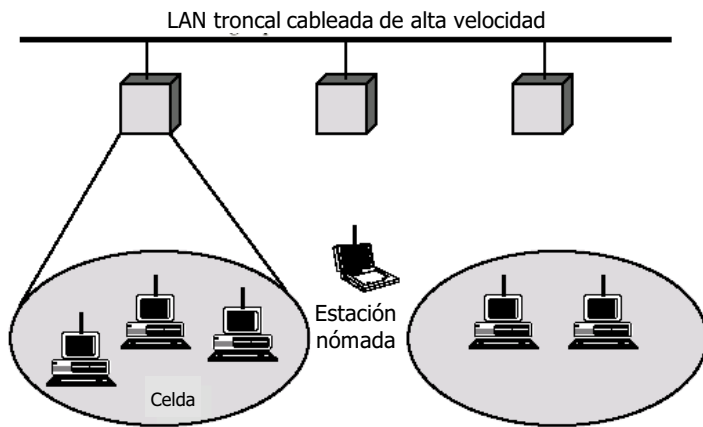
Acceso nómada

- Terminal de datos móvil:
 - Ejemplo: computador portátil.
- Transferencia de datos desde un computador portátil a un servidor.
- Campus o centro financiero de un grupo de edificios.

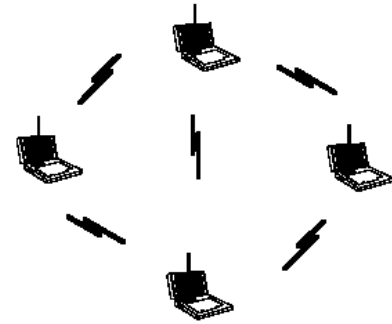
Trabajo en red *ad hoc*

- Red igual a igual.
- Establecida temporalmente.
- Ejemplo: una conferencia.

Configuraciones de redes LAN inalámbricas



(a) LAN inalámbrica con infraestructura



(b) LAN *ad hoc*

Requisitos de las LAN inalámbricas

- Rendimiento.
- Número de nodos.
- Conexión a la LAN troncal.
- Área de servicio.
- Consumo de batería.
- Robustez en la transmisión y seguridad.
- Funcionamiento de red ordenada.
- Funcionamiento sin licencia.
- Sin intervención/nómada.
- Configuración dinámica.

Tecnologías de LAN inalámbricas

- LAN de infrarrojos (IR).
- LAN de espectro expandido.
- Microondas de banda estrecha.

Puentes

- Capacidad para llevar a cabo una expansión más allá de una LAN.
- Proporciona interconexión con otras LAN y con redes de área amplia.
- Uso de puentes o dispositivos de encaminamiento.
- El uso de puentes es más sencillo:
 - Conecta todas las LAN similares entre sí.
 - Protocolos idénticos en las capas física y de acceso al medio.
 - Mínimo procesamiento.
- Los dispositivos de encaminamiento tienen un propósito más general:
 - Interconectar una gran variedad de redes LAN y WAN.

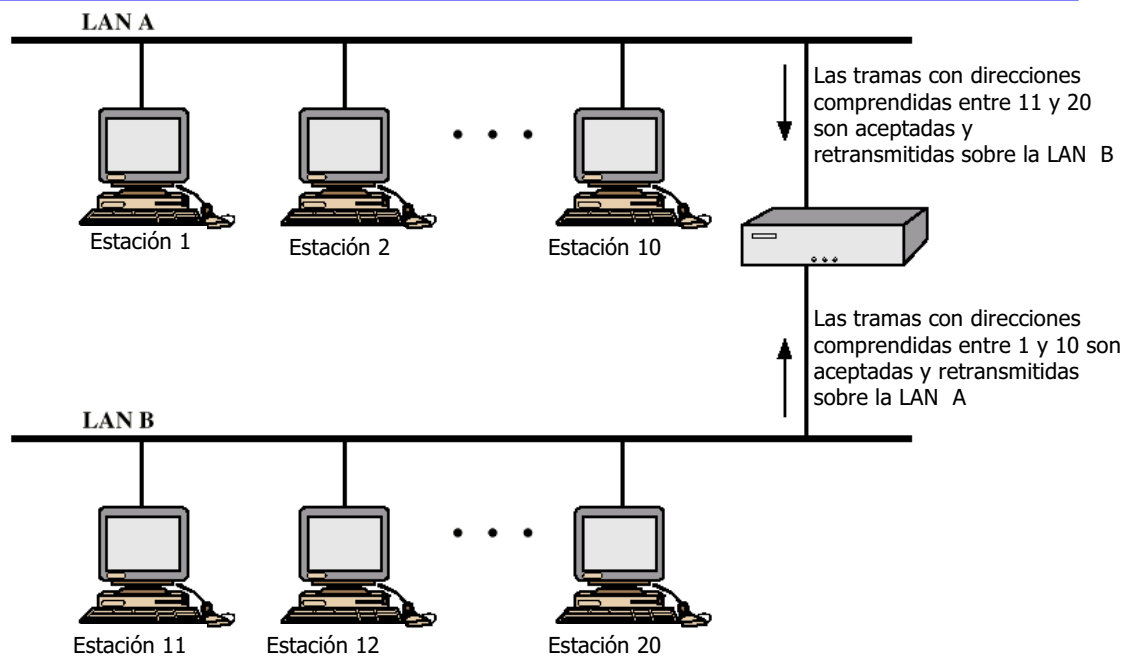
Razones para el empleo de puentes

- Fiabilidad.
- Prestaciones.
- Seguridad.
- Geografía.

Funciones de los puentes

- Lectura de todas las tramas transmitidas en una LAN y aceptación de aquellas dirigidas a cualquier estación en otra LAN.
- Retransmisión de cada una de las tramas, utilizando el protocolo MAC para la segunda LAN.
- Realizar el mismo proceso para el tráfico inverso.

Funcionamiento de los puentes



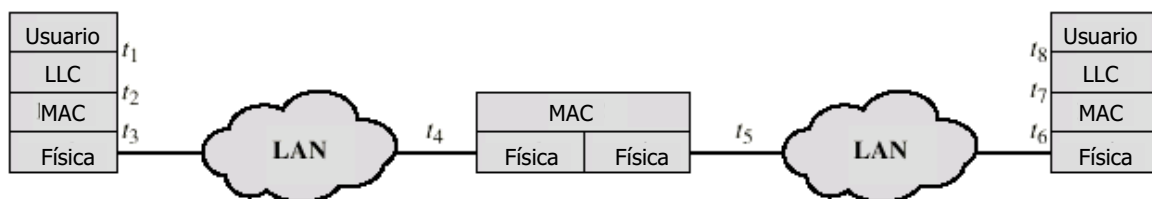
Aspectos del diseño de los puentes

- No modifica el contenido o formato de las tramas.
- No las encapsula.
- Copia exacta del patrón de bits de la trama.
- Debe disponer de suficiente memoria temporal para aceptar demandas de pico.
- Presenta capacidad de direccionamiento y de encaminamiento:
 - Debe determinar qué tramas dejará pasar.
 - Pueden existir varios puentes para cruzar.
- Puede conectar más de dos LAN.
- El funcionamiento de los puentes resulta sencillo para las estaciones:
 - Se manifiesta ante todas las estaciones conectadas a las LAN como si estuvieran en una única red LAN

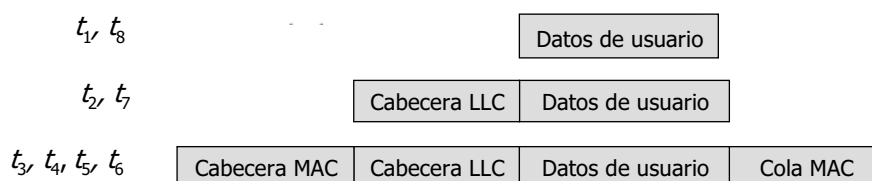
Arquitectura de protocolos de puentes

- Especificación IEEE 802.1D.
- Nivel MAC:
 - ┆ La dirección de estación se establece en este nivel.
- El puente no precisa una capa LLC:
 - ┆ Su función es la retransmisión de las tramas MAC.
- Puede transmitir las tramas sobre el sistema de comunicaciones externo:
 - ┆ Ejemplo: enlace WAN.
 - ┆ Captura la trama.
 - ┆ La encapsula.
 - ┆ La transmite a través del enlace.
 - ┆ Elimina la encapsulación y transmite sobre el enlace LAN.

Conexión de dos redes LAN



(a) Arquitectura

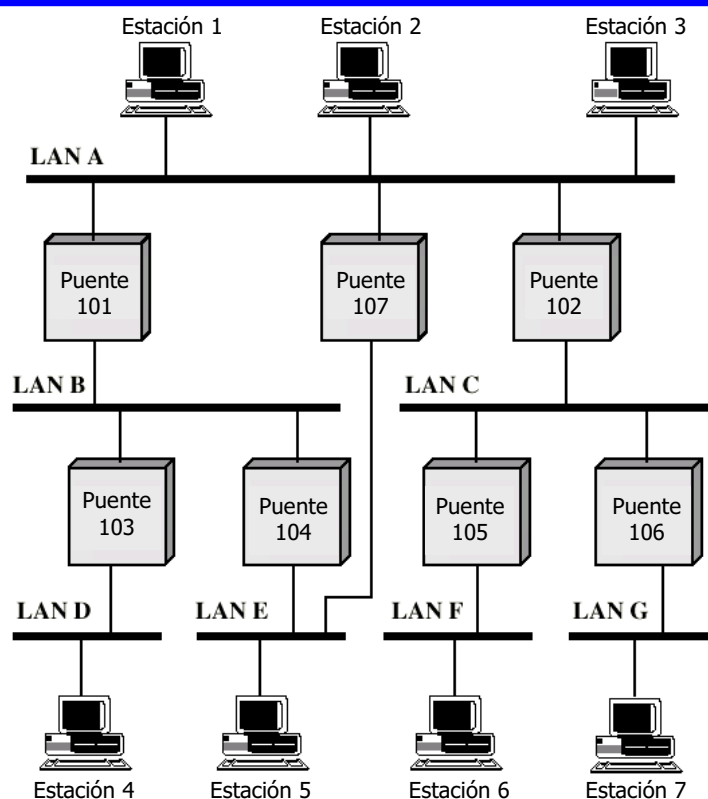


(b) Operación

Encaminamiento estático

- Las LAN mayores necesitan rutas alternativas:
 - Equilibrado de carga.
 - Pueden aparecer fallos.
- El puente debe decidir si transmitir o no la trama.
- El puente debe decidir sobre qué LAN retransmitirá.
- Selección de una ruta para cada pareja origen-destino en las LAN :
 - Se hace en la configuración.
 - Generalmente, la ruta con menor número de saltos.
 - Sólo cambia cuando se produce un cambio en la topología.

LAN múltiples



Árbol de expansión

- El puente desarrolla automáticamente una tabla de encaminamiento.
- Actualiza la tabla en respuesta a cambios.
- Retransmisión de tramas.
- Aprendizaje de direcciones.
- Mecanismo para evitar bucles.

Retransmisión de tramas

- Mantiene una base de datos de retransmisión para cada puerto:
 - Indica las direcciones de estación alcanzadas a través de cada puerto.
- Para una trama que llega al puerto X :
 - Búsqueda en la base de datos de retransmisión para determinar si la dirección MAC se asocia a un puerto distinto de X .
 - Si no se encuentra la dirección, se envía a través de todos los puertos excepto por X .
 - Si la dirección estaba indicada para el puerto Y , se examina el puerto Y para comprobar si se encuentra en estado de bloqueo o de envío:
 - El bloqueo impide al puerto recibir y transmitir.
 - Si no está bloqueado, transmite la trama a través del puerto Y .

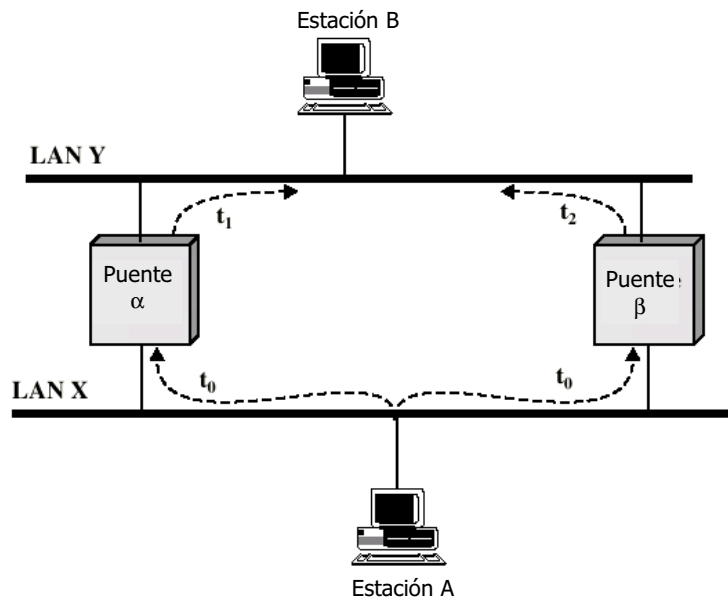
Aprendizaje de direcciones

- Puede cargar la base de datos de transmisión a priori.
- Se pueden aprender las direcciones.
- Cuando la trama llega al puerto X , viene desde la LAN asignada al puerto X .
- Utiliza la dirección de origen para actualizar la base de datos de retransmisión para que el puerto X incluya dicha dirección.
- Temporizador en cada nueva entrada a la base de datos.
- Cada vez que llega una trama, se analiza la dirección de origen en la base de datos.

Algoritmo del árbol de expansión

- El aprendizaje de direcciones es efectivo, si la topología es un árbol:
 - Ejemplo: sin bucles cerrados.
- Para cualquier grafo conectado existe un árbol de expansión de terminales que mantiene la conectividad, pero no contiene bucles cerrados.
- Cada puente tiene asignado un identificador único.
- Intercambio entre puentes para establecer el árbol de expansión.

Bucle de puentes



Lecturas recomendadas

- Stallings, W. *Comunicaciones y Redes de Computadores*, sexta edición. Madrid: Prentice Hall, 2000: Capítulo 13.
- Extensa información en los sitios web recomendados en el libro de texto.