

SEMINARIO DE REDES

Este trabajo ha sido realizado por **Juan Alberto Devincenzi**. <http://ar.geocities.com/jadevlaplata>

ÍNDICE

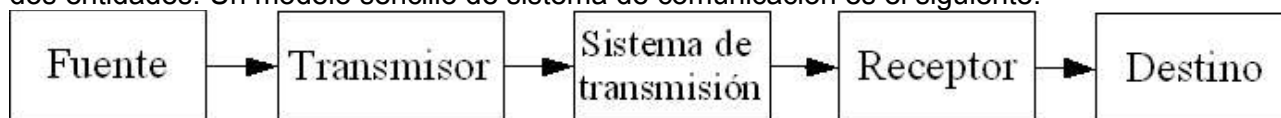
MODELO BÁSICO DE COMUNICACIÓN	1
PROTOCOLOS Y ARQUITECTURA DE PROTOCOLOS	3
PROTOCOLOS	3
TRANSMISIÓN DE DATOS	8
MEDIOS DE TRANSMISIÓN	11
CODIFICACIÓN DE DATOS	13
LA INTERFAZ EN LA COMUNICACIÓN DE DATOS	18
CONTROL DEL ENLACE DE DATOS	21
MULTIPLEXACIÓN	28
CAPA DE RED (FUNCIONALIDAD)	29
CAPA DE RED. REDES DE CONMUTACIÓN DE CIRCUITOS	29
CAPA DE RED. RED DE CONMUTACIÓN DE PAQUETES	32
TECNOLOGÍAS LAN	38
PROTOCOLO TCP/IP	44
BIBLIOGRAFÍA	48

ACLARACIONES:

Este texto intenta ser un resumen teórico para rendir el final de la materia Seminario de Redes de la Facultad de Informática (UNLP). La información ha sido sustraída de distintas fuentes y se espera sirva para la mejor comprensión del tema. Pido disculpas de antemano por cualquier error desde ya involuntario. Cuando leas por ejemplo (Ver libro pág. 178 figura 6.9) me refiero al libro de William Stallings al que se hace referencia en la bibliografía.

MODELO BÁSICO DE COMUNICACIÓN

El objetivo principal de todo sistema de comunicación es intercambiar información entre dos entidades. Un modelo sencillo de sistema de comunicación es el siguiente:



- **Fuente:** Es el dispositivo que genera los datos a transmitir. (Ejemplo: computador, teléfono)
- **Transmisor:** Normalmente los datos no se transmiten directamente tal y como son generados; el transmisor transforma y codifica la información. Por ejemplo un modem convierte una cadena de bits en una señal analógica que será transmitida a través de una línea telefónica.
- **Sistema de transmisión:** Puede ser desde una línea de transmisión hasta una compleja red.
- **Receptor:** Acepta la señal proveniente del sistema de transmisión y la transforma para que sea manejada por el dispositivo destino.
- **Destino:** Toma los datos del receptor.

CONCEPTO DE RED DE COMPUTADORES

Al intercambio de información entre computadores con el propósito de cooperar se denomina “**comunicación entre computadores**”.

Se denomina “**red de computadores**” al conjunto de computadores que se interconectan a través de una red de comunicaciones. Su objetivo es compartir recursos, distribuir tareas, ahorro económico e intercambio de información.

TIPOS DE REDES

Se sugieren dos grandes categorías tradicionales: **WAN** (wide area networks) o redes de área amplia y redes de área local **LAN** (local area network). Las diferencias entre estas son cada vez más difusas.

REDES DE ÁREA AMPLIA

Son todas aquellas que cubren una extensa área geográfica; requieren atravesar rutas de acceso público y generalmente utilizan servicios de una empresa de telecomunicaciones.

Generalmente consiste en una serie de dispositivos de comunicación interconectados, llamados nodos. La transmisión generada por cualquier dispositivo se encaminará a través de los nodos internos hasta alcanzar el destino. A estos nodos no les concierne el contenido de los datos sino proporcionar el servicio de comunicación.

Tradicionalmente las WAN se han implementado con alguna de las dos tecnologías siguientes: conmutación de circuitos y conmutación de paquetes aunque últimamente se utiliza “frame relay” o ATM.

- **Conmutación de circuitos:** En las redes de conmutación de circuitos se establece a través de los nodos de la red un camino dedicado a la interconexión entre dos estaciones. El camino es una secuencia conectada de enlaces físicos entre nodos. En cada enlace se dedica un canal lógico a cada conexión. Los datos generados por la estación fuente se transmiten por el camino dedicado tan rápido como se pueda. En cada nodo los datos se encaminan o conmutan por el canal apropiado de salida sin retardos. Ejemplo: red telefónica.
- **Conmutación de paquetes:** En este caso no se hace una reserva a priori de los recursos en el camino. Por el contrario, los datos se envían en secuencias de pequeñas unidades llamadas paquetes. Cada paquete se pasa de nodo a nodo en la red siguiendo algún camino entre la estación origen y la estación destino. En cada nodo el paquete se recibe completamente; se almacena durante un intervalo breve y posteriormente se transmite al siguiente nodo. Las redes de conmutación de paquetes se usan fundamentalmente para comunicaciones terminal – computador y computador – computador.
- **Retransmisión de tramas:** “Frame Relay”. En los esquemas de conmutación de paquetes se realiza un esfuerzo considerable al añadir información redundante en cada paquete, así como la realización de un proceso extra tanto en el destino como en los nodos intermedios necesario para detectar errores y en su caso corregirlos. Frame Relay aprovecha las ventajas de la nueva tecnología que ha reducido drásticamente la tasa de errores. Mientras que las redes de conmutación de paquetes fueron diseñadas para una transmisión final de usuario de 64 kbps, las redes frame relay ofrece velocidades de transmisión de 2 Mbps. La clave está en eliminar la mayor parte de la información redundante y el procesamiento asociado para el control de errores.
- **ATM:** Es la culminación de todo el desarrollo en conmutación de circuitos y paquetes. Es una evolución de frame relay. Frame relay usa paquetes de longitud variable mientras que en ATM son fijos (“cell relay”). Introduce poca información para el control de errores. ATM trabaja a velocidades de transmisión de 10 a 100 Mbps e incluso del orden de los Gbps.
- **RDSI y RDSI de banda ancha:** RDSI significa Red Digital de Servicios Integrados. Se ha diseñado para sustituir a las redes públicas de telecomunicaciones existentes, proporcionando una gran cantidad de servicios. Se han implementado como un conjunto de conmutadores y enlaces que proporcionan una gran variedad de tipos de tráfico y servicios de valor añadido. RSDI está ya en su segunda generación; la primera generación denominada de banda estrecha se basa en el uso de canales de 64 Kbps; presentando una orientación a la conmutación de circuitos. La segunda generación denominada de banda ancha llega a cientos de Mbps y tiene una cierta orientación a la conmutación de paquetes y la contribución técnica principal para esta fue ATM.

REDES DE ÁREA LOCAL

Diferencias entre LAN y WAN:

- La cobertura de una LAN es pequeña, típicamente un edificio o un conjunto de edificios próximos.
- Las velocidades de transmisión de una LAN son mayores.

En las LAN se utiliza la difusión en vez de la conmutación. En una red de difusión no hay nodos intermedios. En cada estación hay un transmisor / receptor que se comunica con las otras estaciones a través de un medio compartido. La transmisión será recibida por las otras estaciones. Los datos se transmiten en forma de paquetes. Como el medio es compartido una y solo una estación en cada instante de tiempo puede transmitir el paquete.

PROCOLOS Y ARQUITECTURA DE PROCOLOS

Son relevantes los conceptos siguientes:

- Los protocolos.
- La arquitectura.

Para la comunicación entre dos entidades situadas en diferentes sistemas es necesario utilización de un protocolo. Una entidad puede ser por ejemplo un programa de aplicación. Un sistema podría ser un computador, un terminal, etc. En general una entidad es cualquier cosa capaz de enviar y recibir información y un sistema es un objeto físico que contiene una o más entidades.

Para que dos entidades puedan intercambiar información se necesita que hablen el mismo idioma. Qué, como, y cuando se comunican son una serie de convenciones mutuamente aceptadas por las entidades involucradas. Este conjunto de convenios se denomina **protocolo** y se caracteriza por lo siguiente:

- Sintaxis: Formato de los datos y niveles de señal.
- Semántica: Control de coordinación y manejo de errores.
- Temporización: Sincronización de velocidades y secuenciación.

En lugar de implementar toda la lógica para llevar a cabo la comunicación en un único módulo; dicha tarea se divide en subtarear cada una de las cuales se realiza por separado. Es decir se considera una estructura consistente en un conjunto de módulos que realizarán todas las funciones. Esta estructura se denomina **arquitectura de protocolos**. Ejemplos son OSI y TCP/IP.

PROCOLOS

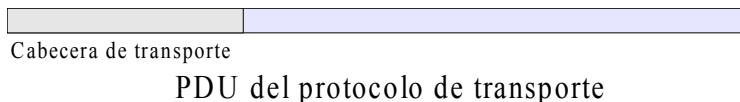
Los protocolos se caracterizan por ser:

- **Directos / Indirectos**: Si dos sistemas que se van a comunicar comparten una línea punto a punto; las entidades de estos sistemas se podrían comunicar directamente. Si los sistemas se conectan a través de una red conmutada no se podrá aplicar un protocolo directo.
- **Monolíticos / Estructurados**: Otra característica es ser monolítico o estructurado. En la aproximación monolítica se concibe al protocolo como un todo; una modificación en cualquiera de los detalles implicaría que toda la aplicación debiera modificarse; con el riesgo de introducir errores. Una alternativa es el diseño e implementación estructurado; en este caso habrá un conjunto de protocolos organizados por estructura por capas o jerarquía.
- **Simétricos / Asimétricos**: Un protocolo es simétrico cuando involucra entidades pares; es decir, de la misma naturaleza.
- **Estándares / No estándares**: Un protocolo puede ser estándar o no estándar. Un protocolo no estándar es aquel que se diseña y se implementa para una comunicación o computador con un modelo particular.

FUNCIONES

A continuación se describirán un conjunto reducido de funciones que constituye la base de todos los protocolos. No todos los protocolos proporcionan estas funciones; pero si hay algunas que se repiten:

- **Encapsulamiento:** Cada PDU (unidad de datos de protocolo), no solo contiene datos sino también información de control; como puede ser dirección; código para detección de errores y código para control de protocolo. Se denomina encapsulamiento al hecho de añadir datos e información de control; los datos se generan o aceptan por una entidad y se encapsulan en la PDU junto con la información de control.



- **Segmentación y ensamblado:** La unidad lógica de datos a transmitir se denomina mensaje. Sin embargo a veces los protocolos de las capas inferiores pueden partir los datos en bloques más pequeños. Esto se denomina segmentación y presenta las siguientes ventajas:

- La red puede que solo acepte bloques de datos de tamaño limitado.
- Los mecanismos de control de errores pueden ser más eficientes al ser más pequeño el bloque.

Entre las desventajas se encuentran:

- Cuanto menor sea el bloque mayor información suplementaria.
- El tiempo para procesar PDUs pequeñas, por tanto más numerosas, será superior.

El procedimiento contrario es el ensamblado. Los datos segmentados tendrán que ensamblarse recuperando el formato original. Es más complicado para PDUs desordenadas.

- **Control de conexión:** Una asociación lógica o conexión se establece entre dos entidades. Este tipo de transferencia se da en tres fases:

- Establecimiento de la conexión.
- Transferencia de datos.
- Cierre de la conexión.

Los protocolos más avanzados podrían interrumpir y recuperar conexiones.

Se puede definir la transferencia orientada a conexión como aquella en la que los dos extremos numeran y controlan las PDUs tanto de entrada como de salida.

- **Entrega en orden:** A veces es necesario que las PDU lleguen con un cierto orden, que puede ser distinto al de partida. En un protocolo orientado a conexión se exige que se mantenga el orden de las PDU.
- **Control de flujo:** El control de flujo es una operación realizada por la entidad receptora para limitar la velocidad o cantidad de datos que envía la entidad emisora. Ejemplos son parada y espera y ventana deslizante. El control de flujo es un ejemplo típico de una función que se debe realizar en varios protocolos.
- **Control de errores:** Las técnicas de control de errores son necesarias para recuperar pérdidas o deterioros de la información. Generalmente se implementan dos funciones separadas; la detección de errores y la retransmisión. Algunos protocolos llegan a corregir los errores. Esto se realiza en varios niveles de la arquitectura.
- **Direccionamiento:** Abarca una serie de cuestiones:
 - *Nivel de direccionamiento:* Hace referencia al nivel de la arquitectura de comunicaciones en el que se identifica a la entidad. Por ejemplo, un router en la arquitectura TCP/IP tendrá una dirección IP. A cada aplicación o usuario se le podría asignar un identificador único; lo que en TCP/IP se llama puerto. Es decir, se ven dos niveles de direccionamiento dentro del sistema.
 - *Alcance de direccionamiento:* Las direcciones de Internet por ejemplo son globales. Las características fundamentales de las direcciones globales son: la no ambigüedad global donde una dirección global identifica a un único sistema. Puede un mismo sistema tener varias direcciones. Y la aplicabilidad global; donde desde cualquier sistema se puede identificar a otro.
 - *Identificadores de interconexión:* Tiene sentido para transferencia orientada a conexión. Presenta las siguientes ventajas:

- Reducción de cabeceras.
- Encaminamiento.
- Multiplexación.
- Uso de información de estado.
- *Modo de direccionamiento*: Tenemos dos posibilidades. Una dirección que alude a un único sistema (unicast), o una dirección que identifique a varios usuarios (broadcast) dentro de un dominio. Cuando se refiere a un subconjunto de entidades específico se llamará (multicast).
- **Multiplexación**: Un esquema de multiplexación es aquel en el que se establecen varias conexiones dentro de un único sistema. La multiplexación se puede dar usando los nombres de los puertos los cuales permiten a su vez múltiples conexiones. Se puede realizar de dos formas:
 - *Ascendente o hacia adentro*: Que consiste en que varias conexiones del nivel superior comparten o se multiplexan sobre una única conexión del nivel inferior.
 - *Descendente o división*: Consiste en establecer una única conexión del nivel superior utilizando varias conexiones del nivel inferior. Se puede utilizar para añadir seguridad a la conexión.
- **Servicio de transmisión**: Un protocolo debe proporcionar una serie de servicios a las entidades que lo utilicen. Ejemplos son prioridades, calidad en el servicio y seguridad.

EL MODELO OSI

Una técnica muy utilizada y elegida es la jerarquización en capas. En esta técnica, las funciones de comunicación se distribuyen en un conjunto jerárquico de capas. Cada capa realiza un conjunto de funciones relacionadas entre sí, necesarias para comunicarse con otros sistemas. Cada capa se sustenta en la capa inmediatamente inferior; la cual realizará funciones más específicas o con un nivel de detalle mayor; ocultando los detalles a las capas superiores. Una capa proporciona servicios a la capa inmediatamente superior.

La división resultante debería agrupar las funciones que fueran conceptualmente próximas, y a su vez debería implicar el suficiente número de capas como para que su complejidad fuera pequeña; pero por otro lado este número no debe de ser muy elevado. El modelo de referencia resultante consta de siete capas. Exceptuando la capa física no existe comunicación directa entre las capas paritarias.

NORMALIZACIÓN DENTRO DEL MODELO DE REFERENCIA OSI

La principal motivación para el desarrollo del modelo OSI fue proporcionar un modelo de referencia para la normalización. En cada capa se pueden desarrollar uno o más protocolos debido a que en cada capa tenemos funciones bien definidas.

Como los límites entre capas están bien definidos los cambios en los estándares de una capa no afecta al software de otras.

PRIMITIVAS Y SERVICIOS

Una primitiva especifica la acción que se va a llevar a cabo y los parámetros se utilizan para pasar datos e información de control. Ejemplo: Consideramos la transferencia de datos de la entidad N a la entidad N par en otro sistema.

1. La entidad origen N invoca a la entidad N-1 con una primitiva de solicitud (y sus parámetros).
2. La entidad N-1 prepara una PDU (N-1) para enviarla a la entidad N-1 par en el destino.
3. La entidad destino N-1 entrega los datos a la entidad N a través de la primitiva de indicación.
4. Si requiere una confirmación la entidad destino N emite una primitiva de respuesta a la entidad N-1.
5. La entidad N-1 convierte la confirmación en una PDU (N-1).
6. La confirmación se entrega a la entidad N (origen) con una primitiva de confirmación.

Esto se llama servicio confirmado ya que el que inicia la transferencia recibe una confirmación de que el servicio solicitado ha tenido el efecto deseado en el otro extremo.

CAPAS DE OSI

- **Capa física:** Se encarga de la interfaz física entre los dispositivos; además define las reglas que rigen en la transmisión de cadenas de bits no estructuradas sobre el medio físico. Tiene cuatro características importantes:
 - ✓ *Mecánicas:* Relacionada con las propiedades físicas de la interfaz y el medio de transmisión.
 - ✓ *Eléctricas:* Especifican como se representan los bits; así como la velocidad de transmisión.
 - ✓ *Funcionales:* Especifica las funciones que realiza cada circuito de la interfaz física entre el sistema y el medio.
 - ✓ *De procedimiento:* Especifica secuencia de eventos que se llevan a cabo en el intercambio de flujo a través del medio.
- **Capa de enlace:** Intenta hacer que el enlace físico sea seguro. Además proporciona los medios para activar, mantener y desactivar el enlace. El servicio principal es la detección y corrección de errores.
- **Capa de red:** Realiza la transferencia de información entre los sistemas finales. Libera a las capas superiores de la necesidad de tener conocimiento sobre la transmisión subyacente y las tecnologías de conmutación. En esta capa se establece un diálogo con la red para especificar la dirección destino y solicitar por ejemplo prioridades. Podemos tener desde enlaces punto a punto a sistemas finales conectados entre redes.
- **Capa de transporte:** Proporciona el mecanismo para intercambiar datos entre sistemas finales. Puede estar involucrado en la optimización del uso de los servicios de red.
- **Capa de sesión:** Aquí se definen las normas y especificaciones técnicas que permiten a dos computadores abrir, establecer y cerrar una sesión entre ellas. Al abrir una sesión ambas máquinas efectúan un reconocimiento mutuo y establecen detalles como seguridad, tamaño de paquete, etc.
- **Capa de presentación:** Define el formato de los datos que se van a intercambiar entre las aplicaciones y ofrece a los programas de aplicación un conjunto de servicios de transformación de datos. Define la sintaxis utilizada en la capa de aplicación. Algunos de los servicios pueden ser cifrado y compresión de datos.
- **Capa de aplicación:** Proporciona a los programas de aplicación un medio para acceder al entrono OSI. Incluye funciones de administración entre otros. Un ejemplo de aplicación sería la de transferencia de ficheros, correo electrónico, etc.

TCP/IP

En el modelo OSI los protocolos del mismo nivel tienen características comunes; esto desemboca en el concepto de nivel o capas. El modelo OSI ordena que los protocolos de una determinada capa realicen determinadas funciones. Esto puede no ser siempre deseable, es posible definir más de un protocolo dentro de una capa dada y en ese caso puede variar la funcionalidad del protocolo. Ahora bien, lo que tienen en común un conjunto de protocolos de la misma capa es que se sustentan sobre el mismo conjunto de protocolos de la capa inferior adyacente.

Para eludir este tipo de problemas las especificaciones OSI introducen el concepto de subcapas o capa nulas. En el modelo TCP/IP; el uso estricto de todas las capas no es obligatorio. Por ejemplo hay protocolos de aplicación que operan directamente sobre IP.

ARQUITECTURA TCP/IP

Consta de 5 capas:

- **Capa física:** Define las características del medio de transmisión; la tasa de señalización y el esquema de codificación de señales.
- **Capa de acceso a la red:** Responsable del intercambio entre el sistema final y la red a la cual está conectado. Está relacionada con el acceso y encaminamiento de los datos a través de la red.
- **Capa de Internet:** Relacionada con el encaminamiento de los datos desde el origen al destino a través de una o más redes.

- **Capa de transporte:** Proporciona servicio de transferencia de datos extremo a extremo. Puede incluir mecanismos de seguridad. Oculta detalles de la red o redes subyacentes a la capa de aplicación.
- **Capa de aplicación:** Proporciona comunicación entre procesos o aplicaciones de computadores separados.

Nótese que los protocolos de la capa física y de acceso a la red proporcionan interacción entre el sistema final y la red; mientras que la capa de aplicación y transporte lo hacen “extremo a extremo”. La capa de Internet tiene algo de las dos aproximaciones anteriores (“sistema final y red” y “extremo a extremo”).

FUNCIONAMIENTO

Primero hay que decir que se necesitan dos niveles de direccionamiento; uno para reconocer el sistema unívocamente y otro para reconocer la entidad en el sistema (única en el sistema) denominada puerto.

Supongamos que una aplicación o proceso asociado al puerto 1 en el computador A decide enviar un mensaje al puerto 2 del computador B.

1. El proceso en A pasa el mensaje al TCP con la instrucción de enviarlo al puerto 2 del computador B.
2. El TCP pasa al IP con instrucción de enviarlo al computador B (no le interesa a que puerto). El TCP puede dividir la información en segmentos más pequeños para hacerlos más manejables además de información de control como puerto destino; número de secuencia, suma de comprobación. Luego TCP pasa cada segmento a la IP con instrucciones para transmitirlo a B. La información puede circular a través de varias subredes por lo que se requiere mayor información de control. Así; se formará un datagrama IP.
3. El IP pasa el mensaje a la capa de acceso a la red con mandato expreso de enviarlo al dispositivo de encaminamiento X (por ejemplo con lógica Ethernet). Se crea una trama o paquete.
4. Cada datagrama IP pasa a la capa de acceso a la red donde se crea un paquete o trama. Éste se transmite a través de la red hacia el dispositivo de encaminamiento. La cabecera de paquete contiene la dirección destino y funciones solicitadas entre otras cosas.
5. En el dispositivo de encaminamiento se elimina la cabecera del paquete. El módulo IP del dispositivo de encaminamiento direcciona el paquete hacia B una vez que están en la subred de destino.
6. Una vez que se reciben los datos en B ocurre el proceso inverso. En cada capa se elimina la cabecera correspondiente y el resto se pasa a la capa superior hasta que los datos alcancen el proceso destino.

La arquitectura TCP/IP no exige que se haga uso de todas las capas. Es posible desarrollar aplicaciones que invoquen directamente los servicios de cualquier capa.

PROTOCOLOS DE LA FAMILIA TCP/IP

Algunos de los protocolos más importantes son:

- HTTP: Protocolo de transferencia de hipertexto.
 - FTP: Protocolo de transferencia de ficheros. Permite a un computador “subir o bajar” archivos desde un servidor FTP.
 - Telnet: Permite que una computadora tenga acceso remoto sobre otra e incluso que ejecute sus aplicaciones a distancia.
 - SMTP: Simple Mail Transport Protocol. Permite que una computadora con TCP/IP pueda enviar correo electrónico a un servidor SMTP del proveedor.
 - Pop3: Post Office Protocol 3. Permite que una computadora con TCP/IP recibir correo electrónico proporcionado por el servidor.
 - UDP: En el mismo nivel de transporte (TCP) existe UDP que es más sencillo y rápido que TCP pero menos seguro pues no puede recuperar paquetes extraviados durante la transmisión. Congestiona menos la red. Se lo utiliza generalmente para sonido y vídeo.
- Otros protocolos del nivel de enlace son: ODI y NDSI.



TRANSMISIÓN DE DATOS

TERMINOLOGÍA

La transmisión de datos entre un emisor y un receptor es siempre a través de un medio de transmisión. Los medios de transmisión se pueden clasificar como **guiados o no guiados** y transmitirán señales electromagnéticas. En los medios guiados lo harán a través de un enlace físico mientras que en los no guiados la propagación puede ser a través del aire o en el vacío entre otros.

El término **enlace directo** hace referencia al camino de transmisión entre dos dispositivos en la que la señal se propaga directamente del emisor al receptor sin ningún dispositivo intermedio que no sea amplificador o repetidor.

Un medio de transmisión guiado es **punto a punto** si proporciona un enlace directo entre dos dispositivos que comparten el medio.

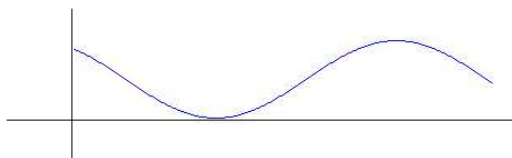
En una configuración **multipunto** el mismo medio es compartido por más de dos dispositivos.

Un medio de transmisión puede ser:

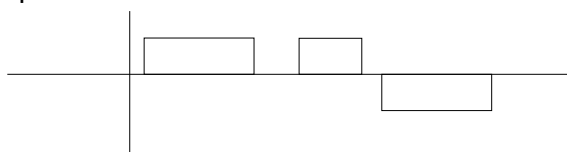
- **Simplex**: Las señales se transmiten sólo en una dirección.
- **Half duplex**: Ambas estaciones pueden transmitir pero no simultáneamente.
- **Full duplex**: Ambas estaciones pueden transmitir simultáneamente.

CONCEPTOS DEL DOMINIO TEMPORAL

Una **señal continua** es aquella en la que la intensidad de la señal varía suavemente en el tiempo. No presenta saltos ni discontinuidades.



Una **señal discreta** es aquella en la que la intensidad se mantiene constante durante un determinado intervalo de tiempo tras el cual la señal cambia a otro valor constante.



Una **señal periódica** es el tipo de señal más sencilla y que se caracteriza por tener un

patrón que se repite a lo largo del tiempo. Matemáticamente $s(t)$ es periódica si $s(t+T)=s(t)$ con t entre menos infinito y más infinito. Donde T es el **período** de la señal. En cualquier otro caso la señal es no periódica.

La onda del seno es la señal periódica por excelencia. Cualquier onda del seno se puede medir por tres parámetros:

- **Amplitud:**(A) Es el valor de la señal en el tiempo. Se mide en voltios.
- **Frecuencia:**(f) Es la razón (en ciclos por segundo o hertzios) a la que la señal se repite. Un parámetro equivalente es el período T definido como la cantidad de tiempo transcurrido entre dos repeticiones consecutivas de la señal. $T=1/f$
- **Fase:**(Θ) Es una medida de la posición relativa de la señal dentro de un período de la misma.

La fórmula de la señal es $s(t)= A * \sin(2\pi f t+ \Theta)+...+...$

Tiene distinta variación con respecto a cada uno de los 3 parámetros (Ver libro pág. 66 figura 3.3).

Se define longitud de onda como la distancia que ocupa un ciclo; en otras palabras la distancia entre dos puntos de igual fase en dos ciclos consecutivos.

CONCEPTOS DE DOMINIO DE FRECUENCIA

Una señal electromagnética puede estar compuesta por muchas frecuencias. Por ejemplo:

$$s(t)= 4/\pi * (\sin(2\pi f t) + 1/3 * (\sin(2\pi(3 f t))))$$

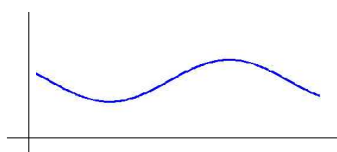
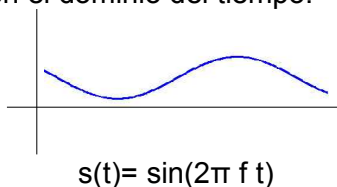
En este ejemplo la señal está compuesta por dos términos correspondientes a la frecuencia f y $3f$.

La frecuencia de la segunda componente es múltiplo de la primera. Cuando sucede que todas las componentes son múltiplos de una dada; esta se denomina frecuencia fundamental.

El período de la señal es el período correspondiente a la frecuencia fundamental.

Se denomina **espectro** de la señal al conjunto de frecuencias que la constituyen. **Ancho de banda** de una señal es la anchura del espectro [frecuencia máxima – frecuencia mínima].

Componente continua es un número que se le suma a la señal. Sin este la señal tiene una amplitud media igual a 0 vista en el dominio del tiempo.



$s(t)=1+ \sin(2\pi f t)$. 1 es la componente continua.

VELOCIDAD DE TRANSMISIÓN Y ANCHO DE BANDA

Para explicar esto supondremos que:

- Un binario se representa con un pulso positivo o negativo. $f=1/T$.
 - La duración de cada pulso es $1/2f$ (media frecuencia). Luego la velocidad de transmisión es $2f$ bits por segundo.
 - Suponemos un sistema de transmisión digital con un ancho de banda de 4Mhz.
- ¿Qué velocidad de transmisión podemos conseguir?

Suponemos $s(t)= 4/\pi [\sin(2\pi 10^6 t) + 1/3 \sin(2\pi 3 * 10^6 t) + 1/5 \sin(2\pi 5 * 10^6 t)]$

- Caso 1: El ancho de banda es $5*10^6-10^6=4*10^6= 4\text{Mhz}$. El período T de frecuencia fundamental es $T=1/10^6= 1$ microsegundo. Un bit aparece cada 0,5 microsegundos; por lo tanto la velocidad será de $2*10^6=2\text{Mbps}$.
- Caso 2: Suponemos un ancho de banda de 8Mhz pero $f=2\text{Mhz}$ entonces el ancho de

banda es $5 \cdot 2 \cdot 10^6 - 2 \cdot 10^6 = 8 \text{ Mhz}$. Pero en este caso $T=1/f=0,5$ microsegundos. Por lo tanto un bit aparece cada 0,25 microsegundos entonces la velocidad de transmisión es de 4Mbps.

- Caso 3: supongamos $s(t) = 4/\pi [\sin(2\pi \cdot 10^6 t) + 1/3 \sin(2\pi \cdot 3 \cdot 10^6 t)]$. La diferencia es de 2 Mhz. $T=1/f=0,5$ microsegundos. Aparece un bit cada 0,25 microsegundos entonces la velocidad de transmisión es de 4Mbps y el ancho de banda $3 \cdot 2 \cdot 10^6 - 2 \cdot 10^6 = 4 \text{ Mhz}$.

Resumiendo:

1. Ancho de banda= 4Mhz Velocidad=2Mbps.
2. Ancho de banda= 8Mhz Velocidad=4Mbps.
3. Ancho de banda= 4Mhz Velocidad=4Mbps.

Cuanto mayor ancho de banda, mayor coste.

Cuanto menor ancho de banda, menor distorsión de señal.

Cuanto mayor velocidad, mayor ancho de banda.

Cuanto mayor ancho de banda, mayor velocidad.

DATOS, SEÑALIZACIÓN Y TRANSMISIÓN

- **Datos:** Se define dato como cualquier entidad capaz de transportar información. Los conceptos de datos analógicos o digitales son sencillos. Los analógicos pueden tomar distintos valores en un intervalo continuo mientras que los digitales toman valores discretos.
- **Señales:** Son representaciones eléctricas o electromagnéticas de los datos. La señalización es el hecho de la propagación física de las señales a través de un medio adecuado.
- **Transmisión:** Comunicación de datos mediante la propagación y procesamiento de señales.

PERTURBACIONES EN LA TRANSMISIÓN

- **Atenuación:** Se da cuando la energía de la señal cae con la distancia en el medio de transmisión. Se expresa en decibelios. En medios guiados esta reducción es logarítmica. En medios no guiados es más compleja y depende de la situación atmosférica.

$$At = 10 \log_{10} \left(\frac{P_1}{P_2} \right)$$

Donde P_1 es la potencia de entrada y P_2 es la potencia de salida. Para resolver este problema se utilizan amplificadores o repetidores.

- **Distorsión de Atenuación:** Es un problema menor para señales digitales. La energía de la señal decae rápidamente con la frecuencia; la mayor parte de sus componentes están centradas en torno a la frecuencia fundamental o a la velocidad de transmisión de la señal.
- **Distorsión de retardo:** Es propia de los medios guiados y está causada por el hecho de que la velocidad de propagación de la señal en el medio varía con la frecuencia. Para una señal de banda limitada la velocidad tiende a ser mayor cerca de la frecuencia central y disminuye al acercarse a los extremos de la banda. Por lo tanto las distintas componentes en frecuencia de la señal llegarán al receptor en instantes diferentes de tiempo dando lugar a desplazamientos en fase de las diferentes frecuencias. Los componentes de una señal reciben un retardo variable que distorsiona la señal. Debido a las distorsiones de retardo algunas de las componentes de la señal en un bit se desplazarán hacia otras posiciones en las que provocarán interferencia entre símbolos.
- **Ruido:** Son señales no deseadas que se insertan en algún punto entre el emisor y el receptor. El ruido es el factor de mayor importancia a la hora de limitar las prestaciones de un sistema de comunicación. Se clasifica en:
 - **Ruido térmico:** Se debe a agitación térmica de electrones. Presente en todos los dispositivos y medios de transmisión. No se puede eliminar.
 - **Intermodulación:** Aparición de señales a frecuencias que son suma o resta de otras frecuencias originales o múltiplos de estas. Se produce cuando hay alguna no

linealidad en el transmisor, receptor o sistema de transmisión.

- **Diafonía:** Acoplamiento no deseado entre las líneas que transportan señales.
- **Impulsivo:** Constituido por pulsos y picos irregulares de corta duración y de amplitud relativamente grande; se produce por ejemplo por perturbaciones electromagnéticas exteriores producidas por tormentas atmosféricas. Es una de las causas principales de error en la comunicación de datos digitales; no así en analógicos.

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

S=P2 Potencia de recepción. N= Potencia de ruido.

CAPACIDAD DEL CANAL

Se denomina **capacidad del canal** a la velocidad a la que puede transmitir los bits en un canal de comunicación de datos. Hay cuatro conceptos relacionados:

- **Velocidad de transmisión:** Velocidad expresada en bps a la que se transmiten los datos.
- **Ancho de banda:** Ancho de banda de la señal transmitida limitada por medio de transmisión; se mide en ciclos por segundo o hertzios.
- **Ruido:** Nivel medio de ruido a través del medio de transmisión.
- **Tasa de errores:** tasa en que ocurren errores. Se considera error cuando se recibe un 0 y se esperaba un 1 o viceversa.

Fórmula de la capacidad del canal:

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

W= Ancho banda. S= Potencia recepción. N= Potencia de ruido. Si me los dan directamente reemplazo sin hacer fórmula de ruido.

Fórmula de la capacidad del canal sin ruido:

$$C = W \log_2 (M)$$

M= nivel señal.

MEDIOS DE TRANSMISIÓN

Hay una serie de factores relacionados con los medios de transmisión:

- **Ancho de banda:** Si todos los otros factores se mantienen constantes al aumentar el *ancho de banda se puede aumentar la velocidad de transmisión.*
- **Dificultades en la transmisión:** Dificultades como la atenuación, limitan la distancia.
- **Interferencias:** Son importantes en medios no guiados pero son un problema a considerar en los medios guiados.
- **Número de receptores:** Un medio guiado puede usarse para enlace punto a punto como compartido; en el último caso cada uno de los conectores puede distorsionar o atenuar la señal.

MEDIOS DE TRANSMISIÓN GUIADOS

La capacidad de transmisión en términos de la velocidad de transmisión o ancho de banda depende de la distancia y si el medio se utiliza para enlace punto a punto o multipunto. En los medios guiados las señales se confinan en un medio sólido, el cual es el que establece los límites en la transmisión de los datos.

PAR TRENZADO

Es más económico y usado. Consta de dos cables de cobre embutidos en un aislante; entrecruzados en forma de espiral. El uso del par trenzado tiende a disminuir las interferencias

electromagnéticas (diafonía) entre los pares adyacentes dentro de la misma envoltura (puede haber más de uno).

Sirve para la transmisión de señales analógicas y digitales. Para las analógicas se necesitan amplificadores cada 5 ó 6 km y para digitales se requieren repetidores cada 2 ó 3 km.

Comparado con otros medios guiados; el par trenzado permite menores distancias, menor ancho de banda y menor velocidad aunque permite unir varios km sin amplificar. Posee gran atenuación a altas frecuencias y además es susceptible a interferencias y ruido. Para reducir esto se utiliza apantallamiento y trenzado de cables; el primero para interferencias externas y el segundo reduce las interferencias de baja frecuencia y la diafonía.

Para la señalización analógica permite hasta 1 Mhz de ancho de banda lo que permite transportar un buen número de canales de voz. En el caso de la señalización digital punto a punto de larga distancia se pueden conseguir unos pocos Mbps; para distancias cortas actualmente hay productos comerciales que alcanzan los 100Mbps e incluso 1 Gbps.

Hay dos variantes de pares trenzados:

- **No apantallados:** (UTP) En general el de telefonía. Es económico, fácil de instalar y manipular. Se puede ver afectado por interferencias electromagnéticas externas; incluyendo interferencias de pares cercanos y ruido.
- **Apantallado:** (STP) Proporciona mejores resultados a velocidades de transmisión bajas. Es más costoso y difícil de instalar y manipular.

Se consideran tres tipos de categorías de cables UTP:

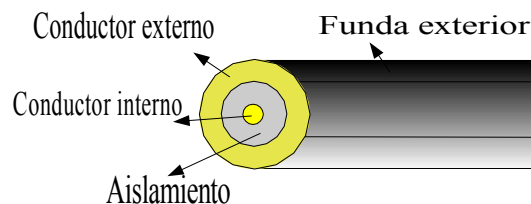
- Tipo 3: Cables y hardware asociado diseñado para frecuencias de hasta 16Mhz.
- Tipo 4: Ídem 3 pero frecuencias hasta 20Mhz.
- Tipo 5: Ídem 3 pero frecuencias hasta 100Mhz.

La diferencia entre tipo 3 y 5 es la cantidad de trenzas por unidad de distancia entre trenza; es de 0,6 a 0,85 cm para tipo 5 mientras que para tipo 3 es 7,5 cm a 10 cm.

CABLE COAXIAL

Consiste en un conductor cilíndrico externo que rodea a un cable conductor. Debido a su tipo de apantallamiento es mucho menos susceptible a interferencias y diafonía que el par trenzado. Este cubre mayores distancias y puede conectar a un número mayor de estaciones en una línea compartida. Se usa para distribución de televisión; telefonía a larga distancia y redes LAN. Puede transmitir tanto señales digitales como analógicas. Permite mayores frecuencias que el par trenzado y por ende mayor velocidad de transmisión. Sus principales inconvenientes son la atenuación, el ruido térmico y el ruido de intermodulación. El último aparece cuando se usan simultáneamente varios canales o bandas de frecuencia.

Para transmisión analógica se necesitan amplificadores separados por pocos km. El espectro para señales analógicas se extiende hasta 500Mhz. Para digital es necesario un repetidor cada Km incluso menos para mayores velocidades.



FIBRA ÓPTICA

Es un medio flexible y fino capaz de confinar un haz de naturaleza óptica. Para la fibra se puede usar cristal o plástico. Las pérdidas menores se consiguen utilizando fibras de silicio fundido ultra puro (difícil de fabricar).

Las fibras de cristal multicomponente son más económicas y con prestaciones suficientes. Las de fibra de plástico son más baratas aún; se usan para distancias cortas; para las que son aceptables pérdidas moderadamente altas.

Se lo usa para redes que requieren un gran ancho de banda ya que soporta velocidades del orden de los Gbps.

Esta formado por tres secciones concéntricas, **núcleo, revestimiento y cubierta**. El núcleo es la sección más interna y está construida por una o más fibras muy finas de cristal o

plástico y tiene un diámetro de entre 8 y 100 nanómetros. Cada fibra está rodeada por su propio revestimiento; que es otro cristal o plástico con propiedades ópticas distintas a las del núcleo. La separación entre núcleo y revestimiento actúa como reflector perfecto confinando el haz de luz que de otra manera se perdería. La capa más exterior que envuelve a uno o varios revestimientos es la cubierta. Está hecha de plásticos y otros materiales para proteger de humedad, abrasión y aplastamiento entre otros.



A la fibra óptica se la reconoce por las siguientes características:

- *Mayor capacidad:* Cientos de Gbps para decenas de Km.
- *Menor tamaño y peso.*
- *Atenuación menor.*
- *Aislamiento electromagnético:* No se ven afectados por campos magnéticos exteriores. No es vulnerable a interferencias, ruido impulsivo y diafonía. Proporcionan privacidad y son difíciles de “pinchar”.
- *Mayor separación entre repetidores:* Decenas de Km (incluso cientos).

Se las utiliza para: Transmisión a larga distancia, transmisión metropolitana, acceso áreas rurales, bucles de abonado y redes de área local.

Existen dos tipos de propagación de rayos dentro del núcleo de fibra: el **multimodo** que transmite por rebotes de luz y el **monomodo** que transmite por una línea recta y teniendo mayor alcance y velocidad.

Se usan dos tipos diferentes de fuentes de luz. El **LED**, menos costoso y de vida media superior. Y el **ILD**, que está basado en el mismo principio que los ILD láser y es más eficaz y veloz.

La fibra óptica tiene un rango de frecuencias de 10^{14} á 10^{15} Hz.

MEDIOS DE TRANSMISIÓN NO GUIADOS

Tanto la transmisión como la recepción se lleva a cabo utilizando antenas. Existen dos tipos de configuraciones: la **direccional** donde la antena emite la señal concentrándola en un haz y la **omnidireccional** en donde la antena emite en todas las direcciones.

MICROONDAS TERRESTRES

Van desde los 2 Ghz a los 40 Ghz y se pueden conseguir haces altamente direccionables (adecuado para enlaces punto a punto).

MICROONDAS SATELITALES

Utiliza un satélite que retransmite microondas. Se usa como enlace de dos o mas transmisores terrestres. El rango de frecuencias va de 1 Ghz a 10 Ghz. Influye el ruido. Se utiliza para televisión, larga distancia y red privada.

ONDAS DE RADIO

Frecuencias de 30 Mhz a 1 Ghz. Susceptible a interferencias. Se utilizan para señales de radio y televisión.

INFRARROJOS

Se lleva a cabo mediante transmisores – receptores que modulan luz infrarroja. Deben estar bien alineados. No pueden atravesar paredes. Tienen un gran ancho de banda y velocidad de transmisión.

CODIFICACIÓN DE DATOS

La finalidad de la codificación de datos es mejorar las prestaciones del sistema, esto es disminuir el consumo de ancho de banda y/o minimizar los errores.

Codificar datos es definir la correspondencia entre bits de datos y los elementos de la

señal para ser presentados sobre un medio físico de comunicación.

Todos los formatos de información se pueden representar como señales electromagnéticas. Dependiendo del medio de transmisión y el entorno donde se realicen las comunicaciones se pueden utilizar señales analógicas o digitales para transportar la información.

DATOS DIGITALES SEÑALES DIGITALES

Una señal digital es una secuencia de pulsos discretos y discontinuos donde cada pulso es un elemento de la señal. En el caso más sencillo habrá una correspondencia uno a uno entre los bits y dichos elementos.

Si todos los elementos de una señal tienen el mismo signo algebraico, la señal es **unipolar**. En una señal **polar** por el contrario un estado se representa mediante un pulso positivo y otro con uno negativo. La **duración o longitud de un bit** se define como el tiempo empleado en el transmisor para emitir un bit. Para una velocidad de transmisión de R bps la duración del bit es $1/R$. La **velocidad de modulación** es por el contrario la velocidad a la que cambia el nivel de la señal. Esto depende del esquema de codificación elegido. La velocidad de modulación se expresa en baudios, que equivale a un elemento de señal por segundo. Para lograr la interpretación de señales el receptor debe conocer o determinar la duración de cada bit. En segundo lugar se debe determinar que significa un pulso alto o bajo.

El éxito o fracaso de la transmisión está determinado por la relación señal/ruido, la velocidad de transmisión y el ancho de banda. Se pueden establecer las siguientes afirmaciones:

- Aumenta velocidad de transmisión, entonces aumenta la tasa de errores.
- Aumenta relación señal/ruido, entonces reduce la tasa de errores.
- Aumenta ancho de banda, entonces aumenta la razón de datos.

Otro factor que se puede utilizar para mejorar las prestaciones es el propio esquema de codificación. Este, es la correspondencia que se establece entre los bits de los datos con los elementos de la señal. Hay distintos elementos para comparar y evaluar técnicas de codificación:

- Espectro de la señal: La ausencia de componentes a alta frecuencia permite reducir el ancho de banda. La ausencia de componente continua también es deseable, pues es posible la transmisión mediante transformadores, lo que reduce las interferencias.
- Sincronización: Determina principio y fin de cada bit.
- Detección de errores.
- Inmunidad a ruido e interferencias.
- Coste y complejidad: Mayor nivel significa mayor coste.

NO RETORNO AL CERO

La forma más frecuente y fácil de transmitir señales digitales es mediante la utilización de un nivel diferente de tensión para cada dígito binario. El nivel de tensión se mantiene constante durante la duración del bit. NRZ-L se utiliza generalmente para generar o interpretar datos binarios.

Una variante de NRZ se denomina NRZ-I (invertido), que al igual que NRZ-L mantiene constante el nivel de tensión durante la duración del bit. Los datos se codifican mediante una ausencia o presencia de transición de la señal al principio del intervalo de la duración de bit. Un 1 se codifica mediante la transición alto-bajo o bajo-alto al principio del intervalo de señalización; mientras que el 0 se representa mediante la ausencia de transición.

NRZ-I es un ejemplo de **codificación diferencial**. En esta la señal se codifica comparando la polaridad de los elementos de señal adyacentes. Generalmente si se trata de un 0 se codifica con el mismo nivel que el bit anterior y lo contrario pasa con el 1.

Una ventaja de este esquema es que en presencia de ruido puede ser más seguro detectar una transición en lugar de comparar un valor con un umbral. Otra ventaja es que en un esquema complicado de transmisión, no es difícil perder la polaridad de la señal. Por ejemplo en una línea de par trenzado, si los cables se invierten un 1 pasa a ser un 0 (y viceversa). Esto no pasa en un esquema diferencial.

Los códigos NRZ son más fáciles de implementar y se caracterizan por hacer un uso eficaz del ancho de banda.

La principal limitación de las señales NRZ es la presencia de una componente continua y la ausencia de la capacidad de sincronización. Tener en cuenta que una cadena larga de ceros en

un esquema NRZ-L o NRZ-I se codificará como un nivel de tensión constante. Así cualquier fluctuación entre relojes dará lugar a pérdida de sincronización.

Los códigos NRZ se utilizan generalmente en grabaciones magnéticas; no obstante sus limitaciones no lo hacen bueno para transmisión de señales.

BINARIO MULTINIVEL

Estas técnicas subsanan deficiencias de la anterior. Estos códigos usan más de dos niveles de señal. Podemos nombrar el bipolar-AMI y el pseudo ternario.

En el caso de bipolar-AMI, un 0 se representa por la ausencia de señal y el 1 como un pulso positivo o negativo. Los pulsos correspondientes a los 1 tienen una polaridad alternante. Las ventajas son que no habrá problemas de sincronización, en el caso de que haya una cadena larga de 1. La cadena larga de 0 sigue siendo un problema. Como los 1 alteran el nivel de tensión no hay componente continua, lo que significa un beneficio. El ancho de banda es menor al de NRZ. Por último la alternancia entre pulsos proporciona una forma sencilla de detectar errores. Cualquier error aislado, tanto si elimina como introduce un pulso significa un incumplimiento de dicha propiedad.

Para los códigos pseudo ternarios. El bit 1 se representa por la ausencia de señal y el 0 mediante pulsos de polaridad alterante. No hay ninguna ventaja particular respecto al anterior. No obstante se presentan problemas a la hora de tener una cadena larga de 0 (AMI) o 1 (pseudo ternario). Para solucionar esto se proponen otra serie de códigos. Una aproximación es insertar bits que fueren transiciones (utilizado en RDSI).

BIFASE

Fueron diseñadas para superar las dificultades de NRZ. Manchester y Manchester diferencial son las que más se utilizan en sistemas de comunicación.

En Manchester siempre hay una transición en la mitad del intervalo de la duración del bit. Esto sirve como procedimiento para la sincronización a la vez que para transmitir datos. Una transición de bajo a alto representa un 1 y de alto a bajo un 0.

En Manchester Diferencial la transición a mitad del intervalo se utiliza para proporcionar sincronización. Un 0 se representa con la presencia de una transición al principio del intervalo y un 1 por la ausencia de esta. Tiene como ventajas adicionales las derivadas de la utilización de la aproximación diferencial.

Como se fuerza al menos una transición por cada bit pudiendo tener hasta dos en un mismo período, la velocidad de modulación máxima es el doble que en NRZ; esto significa que el ancho de banda necesario es mayor. Sin embargo presenta las siguientes ventajas:

- Sincronización: Debido a que la transición ocurre en la duración correspondiente a un bit, el receptor puede sincronizarse utilizando dicha transición.
- No tienen componente continua: Esto implica las ventajas antes mencionadas.
- Detección de errores: Se pueden detectar errores ante la falta de transición en la mitad del intervalo. Para que el ruido provocara un error tendría que alterar la señal antes y después de la transición.

Manchester ha sido elegido como parte de la especificación de la normalización IEEE 802.3 para redes LAN con con bus CSMA/CD, usando cable coaxial en banda base o par trenzado. Manchester Diferencial ha sido elegido como parte de la especificación de la normalización IEEE 802.5 para redes LAN con con paso de testigo usando par trenzado apantallado.

VELOCIDAD

Hay una diferencia entre **velocidad de transmisión** de datos (bps) y **velocidad de modulación** (baudios). La primera también se denomina tasa de bits y es $1/T_b$ donde T_b es la duración del bit. La velocidad de modulación es aquella con la que se generan los elementos de la señal. Por ejemplo vemos que en Manchester tiene la mitad del intervalo de la duración de un bit, esto hace que la velocidad de modulación sea de $2/T_b$ (2 elementos de señal por duración de bit). En general:

$$D=R/b=R/\log_2(L)$$

donde

D es la velocidad de modulación en baudios.

R es la velocidad de transmisión en bps.

b es el número de bits por elemento de señal.

L es el número de elementos diferentes de señalización.

TÉCNICAS DE “SCRAMBLING”

Los esquemas bifase son buenos para redes LAN pero no para redes de larga distancia. Una aproximación alternativa es utilizar técnicas de “scrambling” que reemplazan las secuencias de bits que dan lugar a niveles de tensión constante por secuencias que proporcionan suficiente número de transiciones de forma tal que el reloj se mantenga sincronizado. El receptor identifica la secuencia reemplazada y la sustituye por la original. La secuencia reemplazada tendrá la misma longitud que la original, por lo que no implica un cambio de velocidad. El objetivo de estas técnicas se resume en:

- Evitar componente continua.
- Evitar secuencia larga que corresponde a señales de tensión nula.
- No reducir la velocidad de transmisión de datos.
- Tener cierta capacidad de detectar errores.

Un esquema es B8ZS y se basa en AMI bipolar; donde una secuencia larga de 0 puede producir una pérdida en la sincronización. Para evitar esto B8ZS lo trata de la siguiente manera:

- Si aparece un octeto con todos 0 y el último valor de tensión anterior a dicho octeto fue positivo; codificará el octeto como 000+-0-+.
- Si aparece un octeto con todos 0 y el último valor de tensión anterior a dicho octeto fue negativo; codificará el octeto como 000-+0+-.

Otro esquema HDB3, que también se basa en codificación AMI. Aquí se reemplazan las cadenas de cuatro 0 por lo siguiente:

<i>Polaridad pulso anterior</i>	<i>Impar</i>	<i>Par</i>
-	(000-)	+00+
+	(000+)	-00-

Se maneja como AMI bipolar para los demás casos. Si la última violación (cambio de cuatro 0) fue negativa; la siguiente será positiva y viceversa.

RESUMEN DE LAS TÉCNICAS DE CODIFICACIÓN DE SEÑALES DIGITALES – DIGITALES

(Ver libro pág. 126 figura 5.2)

DATOS DIGITALES SEÑALES ANALÓGICAS

La situación más habitual para este tipo de situaciones es la de transmisiones digitales a través de la línea telefónica. Esta red se diseñó para recibir, conmutar y transmitir señales analógicas en el rango de frecuencias de 300 a 3.400 Hz. Se pueden conectar dispositivos digitales a través de la red por medio de modems (modulador – demodulador) que convierten las señales digitales a analógicas y viceversa.

TÉCNICAS DE CODIFICACIÓN

Hay tres técnicas básicas de codificación:

- Desplazamiento de Amplitud. (ASK)
- Desplazamiento de Frecuencia. (FSK)
- Desplazamiento de Fase. (PSK)

En todos los casos la señal resultante ocupa un ancho de banda centrado en torno a la frecuencia de la señal portadora.

En ASK, los valores binarios se representan mediante dos amplitudes diferentes de la portadora.

$$s(t) = \begin{cases} A \cos(2(\pi) f t) & 1 \text{ binario} \\ 0 & 0 \text{ binario} \end{cases}$$

ASK es bastante ineficaz en líneas de calidad telefónica. Se utiliza generalmente para la transmisión de datos en fibras óptica.

En FSK los valores binarios se representan mediante dos frecuencias diferentes; próximas a la frecuencia de la portadora.

$$s(t) = \begin{cases} A \cos(2(\pi) f_1 t) & 1 \text{ binario} \\ A \cos(2(\pi) f_2 t) & 0 \text{ binario} \end{cases}$$

Es menos sensible a errores que ASK. En líneas de calidad telefónica se usa a velocidades de hasta 1200 bps.

En el esquema PSK la fase de la señal portadora se desplaza, para con ello representar datos digitales. El 0 no presentará cambios en la fase con respecto a la señal anteriormente enviada, mientras que el 1 si lo hará. A esta se la llama también PSK diferencial.

$$s(t) = \begin{cases} A \cos(2(\pi) f t + (\pi)) & 1 \text{ binario} \\ A \cos(2(\pi) f t) & 0 \text{ binario} \end{cases}$$

Una forma de mejorar esta técnica es utilizar a codificación denominada desplazamiento de fase en cuadratura (QPSK); que considera desplazamientos de fase de $(\pi)/2$ (90°).

$$s(t) = \begin{cases} A \cos(2(\pi) f t + (\pi)/4) & 11 \\ A \cos(2(\pi) f t + ((3/4)(\pi))) & 10 \\ A \cos(2(\pi) f t + ((5/4)(\pi))) & 00 \\ A \cos(2(\pi) f t + ((7/4)(\pi))) & 01 \end{cases}$$

Cada elemento de señal puede representar dos bits en lugar de uno.

Este esquema se puede ampliar ya que se pueden transmitir tres bits cada vez si se usan ocho ángulos diferentes.

En general; divido $2(\pi)$ por $2^{\text{(cantidad de bits por elemento de señal)}}$. Cada una de las combinaciones estará a la distancia con la que quiero trabajar. Por ejemplo $(2(\pi))/4 = (\pi)/2$; por lo tanto si mi 1º fase está en $(\pi)/4$, mi segunda fase estará en $((\pi)/4) + ((\pi)/2) = (3/4)(\pi)$.

DATOS ANALÓGICOS SEÑALES DIGITALES

El dispositivo que se utiliza para la conversión de datos analógicos en digitales, y que posteriormente recupera los datos analógicos iniciales de los digitales, se denomina codec (codificador – decodificador).

Existen dos técnicas que se consideran las más importantes:

- **Modulación por codificación de impulsos (PCM).**
- **Modulación Delta (DM).**

La modulación por codificación de impulsos (PCM) se basa en el siguiente teorema:

“Si la señal $f(t)$ se muestra a intervalos regulares de tiempo con una frecuencia mayor

que el doble de la frecuencia más alta de la señal, entonces las muestras así obtenidas contienen toda la información de la señal original.”

Consta de dos etapas: PAM (Pulse Amplitude Modulation), donde se representan las muestras como pulsos proporcionales al valor de la señal original y Quantizer, donde la amplitud de cada pulso PAM es aproximado a un entero de n bits.

En modulación delta (DM) la entrada analógica se aproxima mediante una función escalera en la que cada intervalo de muestreo sube o baja un nivel de cuantificación. Se genera un 1 si la función crece y un 0 en cualquier otro caso. Al transmitir ocurre lo siguiente: por cada intervalo de muestreo la señal analógica de entrada se compara con el valor más reciente de la función escalera. Por tanto la función escalera siempre se modifica en la dirección de la señal de entrada. La salida del proceso de modulación delta es por lo tanto una secuencia binaria que se puede utilizar en el receptor para reconstruir la función original. Hay dos parámetros importantes en DM: el tamaño del cuanto asignado a cada dígito binario y la frecuencia de muestreo.

La principal ventaja de DM con respecto a PCM es la sencillez de su implementación. No obstante PCM consigue en general una mejor relación señal/ruido para la misma velocidad de transmisión.

LA INTERFAZ EN LA COMUNICACIÓN DE DATOS

TRANSMISIÓN ASÍNCRONA

Los datos se transmiten carácter a carácter, normalmente cada carácter tiene una longitud de cinco a ocho bits. La sincronización se debe mantener durante la duración del carácter, para que el receptor tenga capacidad de resincronizarse al principio de cada carácter nuevo.

Cuando no se transmite ningún carácter, la línea esta en estado de reposo. Esto equivale al 1 binario. El principio de cada carácter se indica mediante un bit de comienzo correspondiente al valor 0; a continuación se transmite el carácter. Luego de los bits correspondientes al carácter va un bit de paridad, que ocupará el bit más significativo, y sirve para determinar el número de unos dentro del carácter. Este bit lo usa el receptor para detección de errores. Por último está el bit de parada que corresponde a un 1 binario. Se debe especificar la longitud del elemento de parada, que normalmente es de 1, 1,5 ó 2 veces la duración del bit. Se transmitirá el elemento de parada hasta que vaya a transmitir el siguiente carácter. La transmisión asíncrona es sencilla y barata. Por ejemplo un código de ocho bits sin paridad y con un elemento de parada de duración 1 bit, cada 10 bits 2 no contendrán información ya que se dedicarán a la sincronización, por tanto los bits suplementarios llegarán a un 20%.

Cuanto mayor sea el bloque de bits mayor será el error de temporización acumulativo. No es bueno para bloques de datos excesivos debido a que se desincronizan los relojes. Para conseguir un mejor rendimiento se utiliza la transmisión síncrona.

TRANSMISIÓN SÍNCRONA

El bloque puede tener una longitud de muchos bits, llamado **trama**. Para prevenir la desincronización entre el emisor y el receptor sus relojes se deberán sincronizar de alguna manera. Una posibilidad es hacerlo a través de una línea independiente. Desde un extremo se envía un pulso de corta duración; el otro extremo utiliza esta señal a modo de reloj. Esto funciona bien a distancias cortas, pero a distancias largas puede tener errores de sincronización. Otra alternativa consiste en incluir información relativa a la sincronización en la propia señal. Esto se puede lograr utilizando codificación Manchester (o M. Diferencial) para datos digitales, y para analógicos se utiliza la portadora usando la fase.

En la transmisión síncrona se requiere además un nivel de sincronización adicional para que el receptor pueda determinar el comienzo y fin de cada bloque de datos, para esto cada bloque comienza con un patrón denominado preámbulo y otro denominado final. Los datos, junto con el preámbulo y el final, más información de control, se denomina trama.

Delimitador (preámbulo)	Campos de control	Campo de Datos	Campos de control	Delimitador (final)
----------------------------	-------------------	----------------	-------------------	------------------------

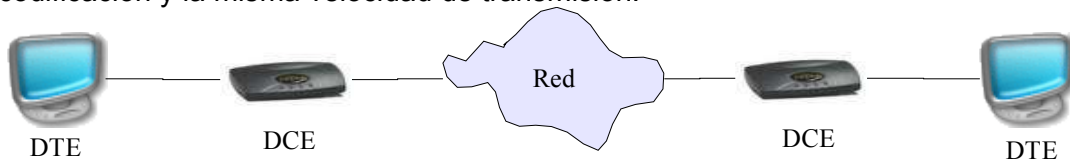
Formato de una trama.

Para bloques de datos que sean de suficiente tamaño; la transmisión síncrona es más eficiente que la asíncrona.

INTERFACES

Los dispositivos finales (terminales y computadores) generalmente se denominan “equipo terminal de datos” (**DTE**). Un DTE hace uso del medio de transmisión mediante la utilización de un equipo de terminación del circuito de datos (DCE), como por ejemplo un modem.

El **DCE** es el responsable de transmitir y recibir bits a través del medio. Por otro lado debe interactuar con el DTE; esto exige que intercambien datos e información de control a través de un conjunto de cables denominados “circuitos de intercambio”. Ambos DCE deben usar el mismo tipo de codificación y la misma velocidad de transmisión.



Se han desarrollado normalizaciones para especificar la naturaleza de la interfaz entre DTE y DCE, estas son:

- Mecánicas: Tratan la conexión física entre DTE y DCE. Generalmente los circuitos de intercambio de control y datos. El DTE y el DCE deben tener conectores de distinto género a cada extremo del cable (Macho y hembra).
- Eléctricas: Relacionados con los niveles de temporización. Deben usar la misma temporización y los mismos elementos de señal. Estas características determinan la velocidad de transmisión y las máximas velocidades que se pueden conseguir.
- Funcionales: Especifican las funciones que se realizan a través de cada uno de los circuitos de intercambio. Las funciones a realizar se pueden clasificar en cuatro grandes categorías: datos, control, temporización y tierra.
- De procedimiento: Especifica la secuencia de eventos que se deben dar en la transmisión de datos, basándose en las características funcionales de la interfaz.

LA INTERFAZ V.24/EIA-232-F

Solo especifica aspectos funcionales y de procedimiento de la interfaz. V24 hace referencia a otros aspectos eléctricos y mecánicos. Características:

- Mecánicas: ISO 2110
- Eléctricas: V28
- Funcionales: V24
- De procedimiento: V24

ESPECIFICACIONES MECÁNICAS

Se usa un conector de 25 contactos metálicos distribuidos de una manera específica. (Ver libro pág. 173 figura 6.5)

<i>Terminal de contacto</i>	<i>Función</i>
1	Malla
2	Transmisión de datos
3	Recepción de datos
4	Petición envío/ preparado para recibir
5	Preparado para enviar
6	DEC preparado
7	Señal de tierra
8	Detector de señal recibida
9	Reservado para test

10	Reservado para test
11	No asignado
12	Detector de señal recibida secundario/ Selector de la velocidad de transmisión
13	Preparado para enviar secundario
14	Transmisión de datos secundario
15	Elemento de temporización de señal transmitida
16	Recepción de datos secundario
17	Elemento de temporización de señal recibida
18	Bucle local
19	Petición de envío secundario
20	DTE preparado
21	Bucle remoto / detección de calidad de señal
22	Indicador de llamada
23	Selección de velocidad de transmisión
24	Elemento de temporización de señal transmitida
25	Modo de texto

ESPECIFICACIONES ELÉCTRICAS

Define la señalización entre DTE y DCE. Se utiliza señalización digital en todos los circuitos de intercambio. Los valores eléctricos se interpretan como señales de control, dependiendo de la función del circuito de intercambio, (menos de 3 voltios un 1 binario, más de 3 voltios un 0 binario).

ESPECIFICACIONES FUNCIONALES:

Los circuitos se pueden clasificar en datos, control, temporización y los de tierra. Hay un circuito en cada dirección por lo que es posible el funcionamiento full duplex. Existen dos circuitos de datos secundarios para funcionamiento semi duplex.

Hay 13 circuitos de control, 4 relacionados con la transmisión de datos y tres circuitos de temporización.

ESPECIFICACIONES DE PROCEDIMIENTO:

Están relacionadas con la conexión física entre DTE y DCE. Definen la secuenciación de los diferentes circuitos en una aplicación determinada.

Por ejemplo en el caso de querer intercambiar información entre 2 DTEs A y B conectados a sus respectivos DCE a una distancia corta a través de un medio se utilizan los siguientes circuitos de intercambio:

- Señal de Tierra
- Transmisión de datos
- Petición de envío
- Preparado para enviar
- DCE preparado
- Detector de señal recibida

Los pasos a seguir serán los siguientes:

1. DTE A: "DTE preparado=ON" y a través de "transmisión de datos" transmite el número de teléfono al DCE A.
2. DTE B: El DTE B a través del "indicador de llamada" hace "DTE preparado=ON" y "DCE preparado=ON".
3. DTE A: El DTE A a través del "detector de señal recibida" hace DCE preparado=ON" y el DCE A le envía un mensaje a la pantalla a través de "recepción de datos".
4. DTE B: El DCE A le envía su propia señal portadora al DCE B que se lo informa a través del "detector de señal recibida" al DTE B.
5. DTE A: Activa la petición de envío y el DCE A le responde con "preparado para enviar". Luego le envía los datos a través de "transmisión de datos" y el DCE A modula los

pulsos para enviarlos en la portadora analógica.

6. DTE B: El DCE B reconvierte la señal a formato digital y se le envía a través de la “recepción de datos”.

Para transmitir datos a través de una línea de teléfono convencional se necesitan otros circuitos como:

- DTE preparado
- Indicador de llamada

El null modem o modem nulo se usa cuando la distancia entre los dispositivos es muy chica y permite a los DTEs conectarse directamente. Este tipo de configuración consiste en conectar los circuitos de manera tal que “engañe” a ambos DTEs haciéndoles creer que están conectados a un modem.

LA INTERFAZ DE LA RDSI

Utiliza menos circuitos incorporando más lógica de control entre las interfaces del DTE y el DCE. Esta tendencia se ha adoptado de forma más radical en la especificación de un conector de 8 contactos para la Red Digital de Servicios Integrados (RDSI).

En la terminología RDSI se establece una conexión física entre el equipo terminal **TE** (DTE) y el equipo terminador de línea **NT** (DCE).

Para transmitir datos en cada una de las dos direcciones se usan dos contactos. Los contactos se utilizan para conectar mediante pares trenzados los circuitos entre el NT y el TE. Debido a que los circuitos no tienen especificaciones funcionales específicas, los circuitos de recepción y transmisión se utilizan para transmitir señales de datos y de control. La información de control se transmite enviando mensajes. (Ver libro pág. 178 figura 6.9)

ESPECIFICACIONES ELÉCTRICAS

Establece que se utilice “**transmisión equilibrada**”. En la transmisión equilibrada, las señales se transmiten utilizando dos conductores como por ejemplo par trenzado. La señal se transmite con una corriente que va a través de uno de los conductores y retorna por el otro formando un circuito cerrado. La “transmisión no equilibrada” se usa en interfaces más antiguas como EIA-232.

El formato utilizado en la codificación de datos depende de la velocidad de transmisión de los datos. Para una velocidad de acceso básico (192 kbps) se utiliza codificación pseudo ternaria mientras que para accesos primarios (1.544 Mbps) se utiliza B8ZS y a 2.048 Mbps se usa AMI con HDB3. Esto es así por motivos históricos ya que ninguno presenta ventajas con respecto al otro.

CONTROL DEL ENLACE DE DATOS

Los requisitos para que la comunicación de datos entre la estación emisora y receptora sea efectiva son:

- **Sincronización de la trama:** Los datos se envían en bloques que se denominan tramas. El comienzo y final deben ser identificables.
- **Control de flujo:** El emisor no debe enviar tramas a una velocidad más rápida que el receptor puede absorber.
- **Control de errores:** Se debe corregir cualquier error introducido por el sistema de transmisión en los bits.
- **Direccionamiento:** Por ejemplo en una LAN se deben identificar las estaciones involucradas.
- **Datos y control sobre el mismo enlace:** No se desea tener un enlace independiente para información de control. El receptor debe ser capaz de diferenciar entre lo que es control y lo que es datos.
- **Gestión del enlace:** El inicio, mantenimiento y la conclusión del intercambio de datos implica un alto grado de cooperación entre partes involucradas. Se necesita de procedimientos para gestionar este intercambio.

Ninguno de estos requisitos se cumple en las técnicas para la interfaz física estudiadas.

CONTROL DE FLUJO

El control de flujo es una técnica utilizada para asegurar que la entidad de transmisión no sobrecargue a la entidad receptora con una excesiva cantidad de datos. La entidad receptora reserva una zona de memoria temporal para la transferencia. Al recibir los datos el receptor realiza un procesamiento antes de pasar los datos a las capas superiores. Si no se hiciera control de flujo, la memoria temporal podría desbordarse. Los datos se envían usando una secuencia de tramas donde cada una tiene una secuencia de datos más información de control. Se define tiempo de transmisión como el tiempo empleado por una estación para transmitir todos los bits de una trama. Tiempo de propagación es el empleado por un bit desde el origen hasta el destino.

Básicamente existen dos protocolos: **Parada y espera** y **Ventana deslizante**.

CONTROL DE FLUJO MEDIANTE PARADA Y ESPERA

Es el procedimiento más sencillo para controlar el flujo y funciona de la siguiente manera:

- Cuando se recibe una trama, el receptor destino indica su deseo de aceptar otra trama enviando una confirmación de la trama que se acaba de recibir.
- La fuente antes de transmitir la siguiente trama deberá esperar hasta que se reciba la confirmación. El destino detendrá el flujo de datos simplemente reteniendo las confirmaciones.

Este método tiene buenas prestaciones cuando se usa un número reducido de tramas de gran tamaño. Sin embargo es normal que se rompa el bloque de datos en bloques pequeños por las siguientes razones:

- El tamaño de memoria temporal del receptor puede ser limitado.
- Cuanto más larga la transmisión, más posibilidad de errores. Al usar tramas más pequeñas los errores se detectan antes y se retransmite una cantidad menor de datos.
- En una LAN se debe evitar que una estación ocupe el medio durante un período largo debido a que otras estaciones sufrirían retardos.

Si se usan varias tramas para un solo mensaje, este procedimiento puede ser inadecuado porque solo puede haber una trama en tránsito. En situaciones donde la longitud del enlace (cantidad de bits presentes cuando el enlace se ocupa completamente), sea mayor a la longitud de la trama, aparecerán ineficiencias. Es decir, es inadecuado para largas distancias y altas velocidades, pero eficiente cuando un mensaje se transmite en pocas y largas tramas.

CONTROL DE FLUJO MEDIANTE VENTANA DESLIZANTE

Intenta solucionar el problema anterior haciendo que varias tramas transiten al mismo tiempo por el enlace. Aquí, para confirmar las tramas recibidas sólo se confirma la última que se ha recibido, por lo que el emisor considera que se ha recibido esa trama y las anteriores. La confirmación no es otra cosa que la petición de la próxima trama que se espera recibir. Por ejemplo: Si se tienen dos estaciones A y B con suficiente memoria para almacenar n tramas. A envía n tramas sin necesidad de recibir una confirmación. Para saber que trama se ha confirmado cada una se etiqueta con un número de secuencia. B confirma una trama, enviando una confirmación que incluye el número de secuencia de la siguiente trama a recibir. Esto también indica que B está preparado para recibir las n tramas siguientes a partir de la especificada. A mantiene una lista de los números de secuencia que se pueden transmitir y B de los que está esperando recibir. A estas listas se las denomina ventanas.

Para enumerar los números de secuencia, si se tienen k bits para su representación, el rango de números de secuencia es $2^k - 1$ y las tramas se enumerarán módulo 2.

Veamos un ejemplo concreto:

Tenemos un campo de 3 bits para los números de secuencia, es decir un máximo para las ventanas de siete tramas. Inicialmente A puede transmitir siete tramas y B las puede recibir. A transmite las tramas 0,1 y 2 sin confirmación. A cierra su ventana hasta tener un tamaño de cuatro tramas y se queda con una copia de las tres transmitidas. La ventana A indica que puede transmitir cuatro tramas empezando por la 3. B transmite una trama receptor preparado RR3. Una vez que A recibe esta trama estará preparado para transmitir siete tramas empezando por la 3 y puede descartar las tramas que acaban de ser confirmadas. A transmite 3,4,5 y 6 y recibe RR4 con lo que confirma 3 por lo que abre su ventana un lugar. (Ver libro pág. 187 figura 7.4)

La mayoría de los protocolos también permiten que la estación pueda interrumpir totalmente la transmisión de tramas desde el otro lado con un mensaje RNRx donde la x confirma la trama recibida (y las anteriores) pero detiene la transmisión. Luego transmitirá una confirmación para continuar la transmisión.

DETECCIÓN DE ERRORES

Dada una trama de bits, se añaden bits adicionales por parte del transmisor para formar un código con capacidad de detectar errores. Este código se calculará en función de los otros bits que se vayan a transmitir. El receptor realizará el mismo cálculo y comparará los dos resultados. Se detectará un error si y solamente si los dos resultados mencionados no coinciden.

COMPROBACIÓN DE PARIDAD

Se añade un bit de paridad al final del bloque de datos. El valor de este bit se determina de tal forma que el carácter resultante tenga un número impar de unos (paridad impar) o un número par (paridad par). Por ejemplo si se debe transmitir 1110001 y se utiliza paridad impar se añadirá un 1 y se transmitirá 11100011. El receptor examina el carácter recibido y si el número total de unos es impar, se supondrá que no hubo errores. El problema es que si dos bits se invierten por error, aparecerá un error no detectado. Generalmente se utiliza paridad par para la transmisión síncrona y paridad impar para la asíncrona.

Si en la paridad impar se invierte un número impar de bits se detecta un error. No se detecta con un número par de bits invertidos. Lo mismo pasa en la paridad par con un número par de bits invertidos.

COMPROBACIÓN DE REDUNDANCIA CÍCLICA (CRC)

Dado un bloque o un mensaje de k bits, el transmisor genera una secuencia de n bits, denominada secuencia de comprobación de la trama (FCS), de manera tal que la trama resultante con n+k bits sea divisible por algún número predeterminado o patrón. El receptor dividirá la trama recibida por ese número y si no hay resto en la división se supone que no hubo errores.

Veamos tres maneras de hacer esto:

- Aritmética módulo 2: Supongamos un mensaje M de 10 bits, un patrón P de 6 bits y la FCS de 5 bits. El mensaje M se multiplica por 2^5 (equivale a agregar cinco 0 al final de M). El resultado anterior se divide por P. El resto de la división anterior se suma al $(2^5)M$ ya obtenido para formar la trama a ser enviada. Si no hay errores y la trama se recibe intacta, esta se divide por P en el receptor y el resto dará 0. El patrón P se elige con una longitud de un bit más que la FCS. Como mínimo el bit más y menos significativo de P debe ser 1. Hay un método para detectar uno o más errores, debido a que un error dará lugar a que un bit se invierta. Esto es equivalente a sumar módulo 2 un 1 a dicho bit. Es decir los errores en una trama de n+k bits se pueden representar mediante una palabra de n+k bits, teniendo 1 en aquellas posiciones que coincidan con un error. El receptor falla cuando los errores hacen que la trama siga siendo divisible por el patrón.
- Polinomios: Una segunda forma de ver el proceso CRC es expresar todos los valores como polinomios de una variable muda X con coeficientes binarios. Los coeficientes corresponderán con los bits del número en binario. Así, si M es igual a 110011 se tendrá que $M(X)=X^5+X^4+X+1$ y si P es 11001 entonces $P(X)=X^4+X^3+1$. De nuevo las operaciones aritméticas son en módulo 2 y trabaja de la misma forma que en el punto anterior. Un error no se detectará si el polinomio es divisible por P(X). Los siguientes errores no son divisibles mediante la elección del polinomio adecuado P(X) y por lo tanto se podrán detectar:
 - Todos los errores de un único bit.
 - Todos los errores dobles, siempre que P(X) tenga al menos tres 1.
 - Cualquier número impar de errores, siempre que P(X) tenga el factor (X+1)
 - Cualquier ráfaga de errores en la que la longitud de la ráfaga sea menor que la longitud del polinomio divisor, es decir menor o igual que la longitud de la FCS.
 - La mayoría de las ráfagas de mayor longitud.

Es frecuente utilizar alguna de las siguientes definiciones para P(X): CRC-12, CRC-16,

CRC-CCITT y CRC-22.

- Lógica digital: Se implementa con un circuito divisor formado por puertas de or exclusivo y un registro de desplazamiento. (Ver libro pág. 193. Lógica digital)

CONTROL DE ERRORES

Hace referencia a los mecanismos necesarios para la detección y la corrección de errores que aparecen en la transmisión de tramas. Se contemplan dos tipos de errores:

- **Trama perdida:** Que se da cuando una trama enviada no llega al otro lado.
- **Trama dañada:** Ocurre cuando llega una trama, pero con algunos bits erróneos modificados durante la transmisión.

Las técnicas más usadas para el control de errores son básicamente las siguientes:

- **Detección de errores:** Tema anterior.
- **Confirmaciones positivas:** El destino devuelve una confirmación positiva por cada trama recibida y libre de errores.
- **Retransmisión después de la expiración de un intervalo de tiempo:** La fuente retransmite las tramas que no se han confirmado tras un período de tiempo predeterminado.
- **Confirmación negativa y retransmisión:** El destino devuelve una confirmación negativa al detectar errores en las tramas recibidas. La fuente retransmitirá de nuevo esas tramas.

Todos estos mecanismos se denominan “solicitud de repetición automática” (ARQ). Su objetivo es convertir un enlace de datos no seguro en seguro. Hay tres variantes:

- **ARQ con parada y espera.**
- **ARQ con vuelta atrás N.**
- **ARQ con rechazo selectivo.**

ARQ CON PARADA Y ESPERA

Se basa en la técnica de control de flujo de parada y espera. La fuente transmite una única trama y debe esperar la recepción de una confirmación (ACK). No se puede enviar ninguna otra trama hasta que la respuesta de la estación destino vuelva al emisor.

Pueden ocurrir dos tipos de error. El primero consistirá en que la trama que llegue a destino puede estar dañada. El receptor detectará esto mediante la utilización de las técnicas de detección de errores mencionadas anteriormente y simplemente descartará la trama. Para esto la estación fuente utiliza un temporizador. Tras el envío de la trama la estación fuente espera la recepción de una confirmación. Si no se recibe una confirmación antes que el temporizador expire, la trama anterior se reenvía de nuevo. Esto exige que la fuente conserve una copia de la trama transmitida.

El segundo tipo de error puede originarse si la confirmación se deteriora. Tanto si la fuente no recibe un mensaje, como si recibe una confirmación deteriorada, su temporizador expirará y se reenviará la trama. El receptor aceptará dos copias de la misma trama como si fueran distintas. Para evitar esto las tramas se etiquetan alternada mente con 0 Y 1 (ACK0 y ACK1). Para mantener las convenciones con el procedimiento de ventana deslizante, un ACK0 confirma la recepción de la trama numerada con 1 e indica que el receptor está preparado para recibir la trama numerada con 0. (Ver libro pág. 196 figura 7.8)

La ventaja de ARQ con parada y espera es su sencillez. Su desventaja principal es la propia del control de flujo mediante parada y espera.

ARQ CON VUELTA ATRÁS N

Esta técnica permite que se pueda enviar una serie de tramas numeradas secuencialmente módulo algún valor máximo. Utiliza la técnica de control de flujo mediante ventanas deslizantes; entonces el número de tramas pendientes de confirmar se determina mediante el tamaño de la ventana. Mientras no aparezcan errores, el destino confirmará (RR) las tramas recibidas como es habitual. Si la estación destino detecta un error, enviará una confirmación negativa (REJ) para esa trama. La estación destino descartará esa trama y todas las que se reciban en el futuro hasta que la trama errónea se reciba correctamente. Por tanto cuando la estación fuente reciba un REJ, deberá retransmitir la trama errónea más todas las posteriores que hayan sido transmitida entre tanto. Siendo A y B fuente y destino respectivamente se tienen

en cuenta las siguientes contingencias:

- **Trama deteriorada:** Al recibir la trama i , si la trama recibida no es válida (B detecta un error), B descarta dicha trama. Se plantean dos posibilidades:
 - a) A envía la trama $(i+1)$ dentro de un período de tiempo razonable. B recibe la trama fuera de orden y envía un REJ i . A deberá retransmitir la trama i más las posteriores.
 - b) A no envía tramas adicionales en un período de tiempo. B no recibe nada por lo que no devuelve ni una RR ni una REJ. Cuando el temporizador de A expira, se transmitirá una trama RR que incluirá **un bit denominado P**, que será puesto en 1. B interpretará la trama RR con el bit P igual a 1 como si fuera una orden que debe ser confirmada enviando una RR para indicar la siguiente trama que se espera recibir, es decir la trama i . Cuando A recibe la RR, retransmite la trama i .
- **Una RR deteriorada.** Hay dos casos posibles:
 - a) B recibe la trama i y envía RR $(i+1)$ que se pierde en el camino. Aquí puede ocurrir que A reciba una RR posterior para una trama posterior y que llegue antes que le temporizador de la trama i expire.
 - b) Si el temporizador de A expira, se transmite una orden RR como en el caso b) del punto anterior. Se inicia otro temporizador denominado el temporizador del bit P. Si B no responde a la RR o la respuesta se deteriora, entonces el temporizador del bit P en A expirará. En este caso A lo intentará de nuevo enviando otra orden RR, reiniciando el temporizador del bit P. Este procedimiento se repite una serie de veces. Si A no recibe la confirmación tras una serie de intentos, comenzará un procedimiento de reinicio.
- **Una trama REJ deteriorada:** La pérdida de la trama REJ es equivalente al caso del primer punto b).

(Ver libro pág. 199 figura 7.9a)

A modo de ejemplo supóngase que se utilizan números de secuencia de 3 bits (8 números de secuencia). Supóngase que la estación envía la trama 0 y recibe de vuelta una RR1, posteriormente envía las tramas 1,2,3,4,5,6,7,0 y recibe otra RR1. Esto podría significar que todas las 8 tramas se recibieron correctamente y que la RR1 es una confirmación acumulativa. También podría interpretarse como que las 8 tramas se han deteriorado o incluso perdido y que la estación receptora está repitiendo la RR1 anterior. Esta posible ambigüedad se evita si el tamaño máximo de la ventana se fija a 7, es decir (2^k-1) .

ARQ CON RECHAZO SELECTIVO

Las únicas tramas que se retransmiten son aquellas para las que se recibe una confirmación negativa, denominada SREJ o aquellas para las que el temporizador correspondiente expira. Para esto debe reservarse una zona de memoria temporal lo suficientemente grande para almacenar las tramas tras un SREJ, ya que podrá seguir aceptando tramas hasta que reciba la trama que había sido errónea en forma correcta. Esto también requiere lógica adicional para insertar la trama reenviada en la posición correspondiente. El transmisor también necesita una lógica más compleja para ser capaz de enviar tramas fuera de orden. Por estas complicaciones ARQ con rechazo selectivo se utiliza mucho menos que el ARQ con vuelta atrás N.

Existe un problema cuando la confirmación del último número de secuencia posible se pierde en el camino o expira el temporizador del emisor, que entiende que debe comenzar la transmisión de las tramas ya enviadas. El receptor entenderá que son tramas nuevas y las aceptará como tales; habiendo duplicados. Para evitar esto el tamaño de la ventana no debe ser mayor que la mitad del rango de los números de secuencia. En general para un campo con números de secuencia de k bits tendremos una ventana de 2^{k-1} . (Ver libro pág. 199 figura 7.9b)

CONTROL DE ENLACE DE DATOS A ALTO NIVEL (HDLC -HIGH LEVEL DATA LINK CONTROL)

El protocolo más importante para el enlace de datos es el **HDLC**. Es el más utilizado y ha sido la base de otros protocolos importantes en esta capa, donde se usan formatos similares e iguales procedimientos que en HDLC. HDLC es orientado a bits. Utiliza transmisión síncrona. Una trama HDLC tiene una longitud máxima.

CARACTERÍSTICAS BÁSICAS

HDLC define tres tipos de estaciones, dos configuraciones de enlace y tres módulos de operación para la transferencia de los datos. Los tres tipos de estaciones son:

- **Estación primaria:** Tiene la responsabilidad de controlar el funcionamiento del enlace. Las tramas generadas por esta estación se denominan órdenes.
- **Estación secundaria:** Funciona bajo el control de la estación primaria. Las tramas generadas por la estación secundaria se denominan respuestas. La primaria establece un enlace lógico independiente para cada una de las secundarias presentes en la línea.
- **Estación combinada:** Es una mezcla entre primaria y secundaria. Genera órdenes como respuestas.

Las posibles configuraciones del enlace son:

- **Configuración no balanceada:** formada por una estación primaria y una o más secundarias. Permite transmisión full duplex y semi duplex.
- **Configuración balanceada:** Consiste en dos estaciones combinadas. Permite igualmente transmisión full duplex y semi duplex.

Los tres modos de transferencia de datos son:

- **Modo de respuesta normal (NRM):** Se utiliza en la configuración no balanceada. La estación primaria puede iniciar la transferencia de datos a la secundaria, pero la secundaria solo puede transmitir datos usando respuestas a las órdenes emitidas por la primaria.
- **Modo balanceado asíncrono (ABM):** Se utiliza en la configuración balanceada. En este modo cualquier estación combinada podrá iniciar la transmisión sin necesidad de recibir permiso por parte de la otra estación combinada.
- **Modo de respuesta asíncrono (ARM):** Se utiliza en la configuración no balanceada. La estación secundaria puede iniciar la transmisión sin tener permiso explícito por parte de la primaria. La estación primaria sigue teniendo la responsabilidad del funcionamiento de la línea, incluyendo la iniciación, la recuperación de errores y la desconexión lógica.

ESTRUCTURA DE LA TRAMA

Todos los intercambios se realizan a través de tramas. HDLC utiliza un formato único de trama que es válido para todos los posibles intercambios: datos e información de control. (Ver libro pág. 201 figura 7.10)

- **Campos de delimitación:** Están localizados en los dos extremos de la trama y tienen una combinación determinada (01111110). Se pueden usar como final y comienzo de la siguiente trama simultáneamente. Como en el protocolo se permite cualquier combinación de bits, no hay garantías de que la combinación no aparezca en un lugar dentro de la trama. Para evitar esto se utiliza la inserción de bits. En la transmisión de los bits que estén entre dos delimitadores de comienzo y final, el transmisor insertará un 0 extra siempre que se encuentre con la aparición de cinco 1 consecutivos. El receptor, tras la detección del delimitador de comienzo, monitorizará la cadena de bits recibida, de tal manera que cuando aparezca una combinación de cinco 1 seguidos, el sexto bit se examinará. Si dicho bit es 0, se eliminará sin más. Si es 1 y el séptimo es un 0, la combinación se considera como un delimitador. Esta técnica se denomina "bit stuffing". Si los bits sexto y séptimo son ambos igual a 1 se interpreta como una indicación de cierre generada por el emisor. Lo malo de esto es que al usar un solo delimitador como fin y comienzo, un simple error en un bit puede causar que las tramas se fundan en una o que una se partiera en dos. (Ver libro pág. 202 figura 7.11)
- **Campo de dirección:** El campo de dirección indica a la estación secundaria que ha transmitido o que va a recibir la trama. Este campo no se necesita en enlaces punto a punto aunque se incluye. Tiene normalmente ocho bits, si bien se puede negociar que tenga un múltiplo de 7 bits. El bit menos significativo de cada octeto será 0 y 1 respectivamente si es o no el último campo de dirección. Un octeto de la forma 11111111 se interpreta como la dirección correspondiente a todas las direcciones, tanto en formato básico como ampliado.
- **Campo de control:** Se definen tres tipos de tramas. Las *tramas de información*

transportan los datos generados por el usuario e incluye información para el control ARQ de errores y del flujo. La *trama de supervisión* proporcionan el mecanismo ARQ cuando la incorporación de las confirmaciones en las tramas de información no es factible. Las *tramas no numeradas* proporcionan funciones complementarias para controlar el enlace. Todos los campos de control contienen un bit de sondeo (Pool/final). Su utilización depende del contexto. En las tramas de órdenes se denomina bit P, y se fija en 1 para solicitar la respuesta a la entidad HDLC par. En las tramas de respuesta, el bit se denomina F y se fija en un valor igual a 1 para identificar a la trama tipo respuesta devuelta tras la recepción de una orden.

- **Campo de información:** El campo de información sólo está presente en las tramas de información y en algunas tramas no numeradas. Este campo puede contener cualquier secuencia de bits, con la única restricción de que el número de bits sea igual a un múltiplo entero de 8. La longitud del campo de información es variable y siempre será menor que un valor máximo predefinido.
- **Campo de la secuencia de la comprobación de la trama:** La secuencia de comprobación de la trama es un código para la detección de errores calculado a partir de los bits de la trama excluyendo los delimitadores. Generalmente es de 16 bits pero se puede utilizar de 32 bits.

FUNCIONAMIENTO (ver libro tabla 7.1 pág. 204)

Consiste en el intercambio de tramas de información, de supervisión y no numeradas.

- **Iniciación:** La iniciación la puede solicitar cualquiera de los dos extremos transmitiendo una de las órdenes previstas para fijar el modo. Esta orden sirve para tres objetivos:
 1. Se avisa al otro extremo sobre la solicitud de la iniciación.
 2. Se especifica cuál de los tres modos se ha solicitado.
 3. Se especifica si se van a utilizar números de secuencia de 3 ó 7 bits.

Si se acepta la solicitud se informará con una trama de confirmación no numerada (UA). Si es rechazada con una (DM).

- **Transferencia de datos:** Cuando la iniciación se haya solicitado y aceptado entonces habrá una conexión lógica. Se puede empezar a intercambiar tramas de información comenzando con números de secuencia igual a 0. Los campos N(S) y N(R) de una trama de información contendrán los números de secuencia con los que se lleva a cabo el control de flujo y errores. Las tramas de supervisión también se pueden utilizar para control de flujo y errores. La trama receptor preparado (RR) confirma una trama recibida, indicando a la vez la siguiente trama de información que se espera recibir. La (RR) se usa cuando no hay tráfico en sentido contrario en el que se puedan incluir las confirmaciones. La trama (RNR) confirma una trama de información como lo hace (RR) pero pide que se suspenda la transmisión de las tramas de información. Cuando la entidad que envió la (RNR) está de nuevo preparada enviará una (RR). La trama (REJ) sirve para iniciar el procedimiento ARQ con vuelta atrás N; con ella se indica que la última trama de información se ha rechazado y se solicita la retransmisión de las tramas de información con números de secuencia posteriores a N(R). La trama de rechazo selectivo SREJ se usa para solicitar la retransmisión de una única trama.
- **Desconexión:** Cualquiera de las dos entidades puede iniciar la desconexión; tanto por iniciativa propia ante un fallo como por pedido de las capas superiores. Se envía la trama (DISC). El otro extremo confirma la desconexión con una trama (UA) e informando a la capa 3 sobre la desconexión. Se puede perder cualquier trama de información pendiente de confirmarse; en ese caso es responsabilidad de las capas superiores.

(Ver libro: Ejemplos de funcionamiento. Pág. 205)

OTROS PROTOCOLOS PARA EL CONTROL DEL ENLACE DE DATOS

LAPB

Se desarrollo como parte de la norma X25 para la interfaz a redes de conmutación de paquetes. Es un subconjunto de HDLC que proporciona solamente el modo balanceado asíncrono. Se diseñó para enlaces punto a punto entre el sistema del usuario y un nodo de una

red de conmutación de paquetes. El formato de las tramas es igual que el de HDLC.

LAPD

Diseñado para la RDSI. Proporciona el procedimiento para el control del enlace de datos sobre un canal D, que es el canal lógico de la interfaz entre el usuario y la RDSI. Hay varias diferencias entre HDLC y LAPD; por ejemplo que se restringe al ABM, que usa números de secuencia de 7 bits y que su campo de dirección tiene 16 bits, entre otras.

CONTROL DE ENLACE LÓGICO (LLC)

Es parte de la familia IEEE 802 para el control del funcionamiento en redes de área local. No se usan todas las características de HDLC y a la vez tiene unas adicionales. La principal diferencia está en el formato de las tramas. En LLC las funciones se dividen en dos capas: la capa de control de acceso al medio (MAC) y la capa LLC que funciona por encima de la MAC. La detección de errores se realiza a nivel MAC.

LAPF (utilizado en retransmisión de tramas)

La retransmisión de tramas es una utilidad para el control del enlace de datos diseñada para proporcionar una utilización más eficiente de la capacidad de las redes de alta velocidad de conmutación de paquetes. Este protocolo se denomina LAPF. En realidad hay dos protocolos: uno con características similares a HDLC y otro que es un subconjunto del protocolo de control. Hay varias diferencias entre HDLC y LAPF.

MODO DE TRANSFERENCIA ASÍNCRONO

Diseñado para ATM. No está basado en HDLC sino en unas tramas con formato totalmente diferentes llamadas celdas, con las que se reduce el procesamiento adicional. Cada celda tiene una longitud fija de 53 octetos.

MULTIPLEXACIÓN

La multiplexación es la capacidad de compartir el medio entre distintos flujos de datos provenientes de distintas terminales. Un multiplexor recibe n líneas con un ancho de banda k , y une las señales de tal forma que salgan por una única línea con un ancho de banda de por lo menos $k*n$. Típicamente este valor suele ser mayor por cuestiones que se detallan más adelante. Luego el demultiplexor acepta la cadena de datos multiplexada, separa los datos de acuerdo con el canal al que pertenecen y los distribuye a la línea apropiada de salida.

TÉCNICAS DE MULTIPLEXACIÓN

Existen tres técnicas de multiplexación: FDM, TDM y STDM.

- **FDM:** (Multiplexación por división de frecuencia). Es posible siempre que el ancho útil de la transmisión sea mayor que el ancho de banda de la señal transmitida. Modulando cada señal con una frecuencia portadora distinta, se puede transmitir simultáneamente varias señales. Para ello las portadoras deben estar lo suficientemente separadas para que los distintos anchos de banda no se solapen. La señal transmitida es analógica, aunque las señales de entrada pueden ser tanto analógicas como digitales, debiendo estas últimas ser moduladas para convertirlas en analógicas. Por lo último podemos decir que un canal es la frecuencia a la que cada señal está modulada, y para evitar interferencias estos canales se separan por una banda de seguridad, que son bandas del espectro que se dejan sin utilizar.
- **TDM:** (Multiplexación por división de tiempo). Es posible cuando la razón de datos a conseguir en el medio es mayor que la de datos original de las señales a transmitir. Se pueden transmitir varias señales digitales, o señales analógicas que transportan datos digitales, en un único camino de transmisión mezclando distintas porciones de las señales originales en el tiempo. Los datos de entrada se almacenan en un buffer, para que luego el multiplexor haga un barrido de este y forme la cadena de datos a transmitir. Los datos se organizan en tramas; cada trama contiene un ciclo de subdivisiones o ranuras temporales, y en cada trama se dedica una o más subdivisiones para cada una

de las fuentes. La secuencia de subdivisiones que se dedica a una sola fuente, de trama en trama, se denomina canal. Luego la longitud de las subdivisiones es igual a la longitud del buffer. Este TDM se denomina sincrónico, no porque se use transmisión sincrónica, sino porque las subdivisiones temporales se asignan de antemano a las distintas fuentes. Estas subdivisiones transmiten tanto si las fuentes tienen datos como si no, malgastando así la capacidad de la línea. La cadena de datos transmitida no necesita cabecera ni cola, propias de la transmisión síncrona, porque no hay control de enlace. No hay control de flujo porque el multiplexor y el demultiplexor trabajan a la misma razón. Si una línea de entrada se interrumpe por saturación, no hay que parar la transmisión; directamente la salida correspondiente dejará de producir datos por un tiempo. Tampoco hay control de errores porque no se puede pedir la retransmisión de una trama. Los dispositivos que estuvieran utilizando otros canales no querrían una retransmisión, ni siquiera sabrían que se ha solicitado por algún otro canal. La solución sería aplicar el control de errores en cada canal de forma independiente.

- **STDM:** (Multiplexación por división en el tiempo estadística). Aprovecha la propiedad de cómo se generan asignando divisiones temporales dinámicamente y bajo demanda. La razón de datos de la línea multiplexada es menor que la suma de las razones de datos de las n líneas de entrada. Hay n líneas de entrada y salida, pero tan solo k canales, donde $n \geq k$. El multiplexor barre los buffers tomando datos hasta que la trama se forme, y el demultiplexor recibe la trama y distribuye cada subdivisión en el dispositivo de salida correspondiente. Este método se basa en que no todos los equipos se van a mantener todo el tiempo transmitiendo datos. El TDM resuelve esto con espacios vacíos, lo que genera una pérdida de rendimiento. Por el otro lado, requiere información adicional en cada subdivisión para que el demultiplexor sepa a qué terminal enviar el dato. Generalmente utiliza HDLC. Para el caso en que todas las unidades quieran transmitir al mismo tiempo, se utilizan buffers en el multiplexor, que se llaman concentradores, y que evitan la pérdida de los datos. En ellos se almacenan los datos que no se pueden enviar por el medio hasta que el canal esté libre.

CAPA DE RED (FUNCIONALIDAD)

Sus principales funciones son:

- Rutear los paquetes desde el origen al destino.
- Posibilidad de encontrar congestión.
- Interconexión de redes heterogéneas.

CAPA DE RED - REDES DE CONMUTACIÓN DE CIRCUITOS

La comunicación vía conmutación de circuitos implican tres fases:(Ver libro pág. 262 figura

9.1)

- **Establecimiento del circuito:** Antes de transmitir señal alguna, se establece un circuito extremo a extremo. Por ejemplo, la estación A envía una solicitud al nodo 4 pidiendo una conexión con la estación E. Generalmente, el enlace entre A y 4 es una línea dedicada, por lo que esa parte de la conexión existe ya. El nodo 4 debe encontrar el siguiente enlace de la ruta para alcanzar el nodo 6. En función de la información de encaminamiento y de las medidas de disponibilidad y, quizás el coste, el nodo 4 selecciona el enlace hacia el nodo 5, reserva un canal libre de enlace (FDM o TDM) y envía un mensaje a E solicitando la conexión. Tras esto queda establecido un camino dedicado desde A hasta 5 a través de 4. Dado que pueden existir varias estaciones conectadas al nodo 4, este debe ser capaz de establecer rutas internas desde varias estaciones a múltiples nodos. El resto del proceso es similar. El nodo 5 reserva un canal hasta el nodo 6 y asigna internamente este canal, que viene desde el nodo 4. El nodo 6 completa la conexión con E, para lo cual se realiza un test con objeto de determinar si E está ocupada o para aceptar la conexión.
- **Transferencia de datos:** Luego de establecer el circuito se puede transmitir la

información desde A hasta E a través de la red. Los datos pueden ser analógicos o digitales. Normalmente la conexión es full duplex.

- **Desconexión del circuito:** Luego de la transferencia, la conexión finaliza por orden de una de las dos estaciones involucradas. Las señales se deben propagar a los nodos 4,5 y 6 para que todos liberen recursos.

Se puede decir entonces que un canal se debe reservar antes, entre cada par de nodos en la ruta, y cada uno debe ser capaz de conmutar internamente para gestionar la conexión solicitada. Los conmutadores cuentan con esta inteligencia.

La conmutación de circuitos puede llegar a ser muy ineficiente debido a que se dedica permanentemente la conexión mientras dura ésta, incluso sin transferir datos. Además existe un retardo previo a la transferencia debido al establecimiento de la llamada. La información se transmite a una velocidad fija siendo despreciable el retardo introducido por cada nodo de la ruta. El mejor ejemplo de red de conmutación de circuitos es la red telefónica pública.

CONCEPTOS DE LA CONMUTACIÓN DE CIRCUITOS

Consideramos como ejemplo del funcionamiento de un solo nodo conmutado. Una red diseñada en torno a un único nodo de conmutación de circuitos consiste en un conjunto de estaciones conectadas a una unidad central de conmutación. El **conmutador central** establecerá un canal dedicado entre cualesquiera dos dispositivos que deseen comunicarse.

La parte central de todo sistema moderno es el *conmutador digital*, cuya función es proporcionar una ruta transparente entre cualesquiera dos dispositivos conectados. El camino es transparente en el sentido de que parece como si existiera una conexión directa entre los dispositivos. Generalmente la conexión es full duplex.

Una característica importante de un dispositivo de conmutación de circuitos es si es **bloqueante o no bloqueante**. El bloqueo ocurre cuando la red no puede conectar a dos estaciones debido a que todos los posibles caminos entre ellas están siendo ya utilizados. Una red bloqueante es aquella en la que es posible el bloqueo. Una red no bloqueante es aquella que garantiza a todas las solicitudes de conexión posibles siempre que el destino esté libre. Un ejemplo de red bloqueante es la red telefónica que espera a que las llamadas sean de corta duración mientras que una red no bloqueante se espera que se utilice para procesamiento de datos.

CONMUTACIÓN POR DIVISIÓN EN EL ESPACIO

Un conmutador por división en el espacio es aquel en el que las rutas de señal que se establecen son físicamente independientes entre sí (divididas en el espacio). Cada conexión necesita el establecimiento de un camino físico a través del conmutador que se dedique únicamente a la transferencia de señales entre los extremos. El bloque básico de un conmutador consiste en una matriz de conexiones metálicas o puertas semi conductoras que una unidad de control pueda habilitar o deshabilitar. (Ver libro pág. 266 figura 9.5)

Los conmutadores matriciales presentan varias limitaciones:

- El número de conexiones crece.
- La pérdida de un cruce impide la conexión entre los dos dispositivos cuyas líneas interseccionan en ese punto de cruce.
- Las conexiones se utilizan ineficientemente: Cuando todos los dispositivos conectados se encuentran activos, sólo está ocupada una pequeña fracción de los puntos de cruce.

Para evitar estos problemas se emplean conmutadores **multietapa** (Ver libro pág. 267 figura 9.6). Esta solución permite dos ventajas:

- El número de conexiones se reduce, aumentando la utilización de las líneas de cruce.
- Existe más de una ruta a través de una red para conectar dos extremos, incrementándose así la seguridad de la red.

Por supuesto una red multietapa necesita un esquema de control más complejo. Una cuestión importante acerca de un conmutador por división en el espacio multietapa es que puede ser bloqueante. Por ejemplo (ver figura) en este estado, la línea de entrada 10, no se puede conectar a las líneas de salida 3, 4 o 5 aún cuando estuvieran disponibles. Esto puede convertirse en no bloqueante aumentando el número o el tamaño de los conmutadores intermedios, si bien ello incrementa el costo.

CONMUTACIÓN POR DIVISIÓN DE TIEMPO

La conmutación por división de tiempo involucra la fragmentación de una cadena de bits de menor velocidad, en segmentos que compartirán una secuencia de velocidad superior con otras cadenas de bits. Los fragmentos individuales, o ranuras, se gestionan por parte de la lógica de control con el fin de encaminar los datos desde la entrada hacia la salida. Existen distintas variantes dentro de este concepto básico. Vamos a ver una de las técnicas más sencillas denominada *conmutación mediante bus TDM* que se fundamenta en la multiplexación por división de tiempo síncrona. Las entradas se muestran por turnos. Las muestras en serie se organizan en ranuras (canales) para formar una trama recurrente de ranuras, siendo el número de ranuras por trama igual al número de entradas. Una ranura puede ser un bit, un octeto o un bloque de longitud mayor. Una cuestión importante a resaltar es que con TDM síncrona se conocen el origen y el destino para cada ranura. Cada dispositivo se conecta al conmutador a través de una línea full duplex.

Estas líneas se conectan a un bus digital de alta velocidad a través de unas puertas controlables. A cada línea de entrada se le asigna una ranura temporal. La puerta de una línea se encuentra habilitada durante el período de la trama asociada, permitiendo así, que una ráfaga pequeña de datos se dirija hacia el bus. Durante esa misma ranura se encuentra habilitada también una de las puertas correspondiente a una de las líneas de salida. De este modo durante esa ranura temporal, los datos se comunican desde la línea de entrada hasta la línea de salida habilitadas. A través de las sucesivas ranuras se habilitan diferentes parejas de líneas de entrada/salida, permitiendo así numerosas conexiones sobre el bus compartido. Los dispositivos conectados al bus consiguen la operación full duplex transmitiendo durante una ranura asignada y recibiendo durante otra. El otro extremo de la conexión es una pareja de entrada/salida para la que estas ranuras temporales tienen, el significado contrario al anterior.

ENCAMINAMIENTO EN REDES DE CONMUTACIÓN DE CIRCUITOS

Existen dos requisitos fundamentales para la arquitectura de red que tiene efecto sobre la estrategia de encaminamiento: **eficiencia y flexibilidad**. La eficiencia se debe a que es deseable minimizar la cantidad de equipos (conmutadores y enlaces) en la red teniendo en cuenta que debe ser capaz de aceptar toda la carga esperada. La flexibilidad se relaciona más con el hecho de que es deseable que la red proporcione un nivel razonable bajo circunstancias no deseadas (ejemplo: una gran tormenta).

La naturaleza del compromiso entre la eficiencia y flexibilidad es la estrategia de encaminamiento.

Esencialmente los conmutadores de una red se organizaban en una estructura en árbol o jerárquica. Se establecía una ruta a través del árbol comenzando en el abonado llamante hasta el primer nodo común y después hasta el abonado llamado.

Para hacer frente a la creciente demanda de las redes de telecomunicaciones públicas; los proveedores han pasado de una **aproximación jerárquica** estática a una **dinámica**, donde las decisiones de encaminamiento están influenciadas en cada instante de tiempo por las condiciones de tráfico actuales. Generalmente los nodos de conmutación de circuitos tienen una relación de igual a igual entre sí en lugar de una jerárquica. Todos los nodos están capacitados para realizar las mismas funciones. Esta arquitectura es más compleja pero flexible, debido a que hay más rutas alternativas.

Existe una forma de encaminamiento llamada **encaminamiento alternativo**. La esencia de este es que la posible ruta entre dos centrales finales se encuentran predefinidas. Es responsabilidad del conmutador origen seleccionar el camino adecuado para cada llamada. Cada conmutador dispone de un conjunto de rutas prefijadas en orden de preferencia para cada destino. Las secuencias de encaminamiento reflejan un análisis basado en patrones de tráfico conocidos y se diseñan para optimizar la utilización de la red. Si sólo se define una secuencia de encaminamiento para cada pareja origen destino, el esquema se conoce como **encaminamiento alternativo fijo**. Si se usan un conjunto diferente de rutas, preplanificadas en instantes distintos de tiempo, para aprovechar las distintas condiciones de tráfico según zonas horarias y períodos del día se denomina **encaminamiento alternativo dinámico**. (Ver libro pág. 272 figura 9.9)

CAPA DE RED - RED DE CONMUTACIÓN DE PAQUETES

Una característica fundamental de las redes de conmutación de circuitos es que se dedican recursos internos de la red a una llamada particular. A medida que fue creciendo para conexiones de datos, se pusieron en manifiesto los siguientes inconvenientes:

- En una conexión de datos usuario/estación típica la línea está desocupada la mayor parte del tiempo. Por tanto, la técnica de conmutación de circuitos resulta ineficiente para conexiones de datos.
- En una red de conmutación de circuitos la conexión ofrece una velocidad de datos constante, de modo que los dos dispositivos conectados debe transmitir y recibir a la misma velocidad. Esto limita la utilidad de la red para la interconexión de distintos tipos de computadores y estaciones de trabajo.

Veamos como funciona la técnica de conmutación de paquetes. Los datos se transmiten en paquetes cortos, siendo 1000 octetos un límite superior de los mismos. Si el emisor tiene que enviar un mensaje de mayor longitud, éste se segmenta en una serie de paquetes. Cada paquete contiene una parte (o todas para mensajes cortos) de los datos de usuario más cierta información de control. Esta información comprende, como mínimo, la información que necesita la red para encaminar el paquete a través de ella y alcanzar el destino deseado. En cada nodo de la ruta, el paquete se recibe, se almacena temporalmente y se envía al siguiente nodo. Esto presenta varias ventajas:

- La eficiencia de la línea es superior, ya que un único enlace entre dos nodos se puede compartir dinámicamente en el tiempo por varios paquetes. Los paquetes forman una cola y se transmiten sobre el enlace tan rápidamente como es posible. Por el contrario, en la conmutación de circuitos la capacidad temporal de un enlace se reserva a priori mediante la utilización de la técnica de multiplexación, por lo que el enlace puede estar desocupado la mayor parte del tiempo dado que una parte de éste se dedica a una conexión sin datos.
- Una red de conmutación de paquetes puede realizar una conversación en la velocidad de los datos. Dos estaciones de diferentes velocidades pueden intercambiar paquetes ya que cada una se conecta a su nodo con su propia velocidad.
- Cuando aumenta el tráfico en una red de conmutación de circuitos, algunas llamadas se bloquean; es decir, la red rechaza la aceptación de solicitudes de conexión adicionales mientras no disminuya la carga de la red. En cambio, en una red de conmutación de paquetes, estos se siguen aceptando si bien aumenta el retardo de la transmisión.
- Se puede hacer uso de las prioridades, de modo que si un nodo tiene varios paquetes en cola para su transmisión, éste puede transmitir primero aquellos con mayor prioridad. Estos paquetes experimentarán así un retardo menor que los de prioridad inferior.

TÉCNICA DE CONMUTACIÓN

Si una estación tiene que enviar un mensaje de longitud superior a la del tamaño máximo de paquete permitido a través de una red de conmutación de paquetes, ésta fragmenta el mensaje en paquetes y los envía, de uno en uno hacia la red. La cuestión que surge es cómo gestiona la red esta secuencia de paquetes para encaminarlos a través de la red y entregarlos en el destino deseado. Existen dos aproximaciones usadas en las redes actuales: *datagramas* y *circuitos virtuales*.

En la técnica de datagrama cada paquete se trata en forma independiente, sin referencia alguna a los paquetes anteriores. Aunque todos los paquetes tienen el mismo destino no todos siguen la misma ruta. De esta forma es posible que los paquetes se reciban en el destino en orden distinto al que se enviaron, siendo tarea de esta estación su reordenación. También es posible que un paquete se destruya en la red. Por ejemplo si un nodo se cae momentáneamente, pueden perderse todos los paquetes existentes en sus colas. Puede suceder que un nodo no tenga forma de saber que se ha perdido uno de los paquetes de la secuencia. De nuevo es misión del destino detectar la pérdida de un paquete y ver la forma de recuperarlo. En esta técnica cada paquete tratado de forma independiente, se denomina datagrama.

En la técnica de circuitos virtuales se fija una ruta previa al envío de algún paquete. La estación origen envía un paquete de control llamado "Petición de llamada" al nodo sobre la conexión lógica con la estación del destino. El nodo decide dirigir la petición y los paquetes

siguientes a otro nodo y así sucesivamente hasta que el nodo que está conectado a la estación destino le envía el paquete de control. Si éste acepta la conexión, envía un paquete de “Llamada aceptada” al nodo, quien lo manda a los nodos intermedios hasta llegar a la estación origen. Luego, las estaciones ya pueden intercambiar datos a través de la ruta establecida. Cada paquete contiene, además de los datos, un identificador del circuito virtual. Como cada nodo conoce el camino a seguir por los paquetes, no son necesarias las decisiones de ruteo. La finalización de la conexión se produce cuando una de las estaciones transmite un paquete de “Petición de Liberación”. Además, cada estación puede disponer de más de un circuito virtual hacia otra estación en un instante de tiempo, así como de circuitos virtuales a más de una estación.

La principal característica de la técnica de circuitos virtuales es que la ruta entre las estaciones se establece antes de la transferencia de los datos. Obsérvese que esto no significa que sea una ruta dedicada como en el caso de conmutación de circuitos. Un paquete continúa siendo almacenado en cada nodo y puesto en cola sobre una línea de salida, mientras que otros paquetes en otros circuitos virtuales pueden compartir el uso de la línea. La diferencia con la técnica de datagramas es que, con circuitos virtuales, el nodo no necesita tomar decisiones de encaminamiento para cada paquete, sino que ésta se toma una sola vez para todos los paquetes que usan dicho circuito virtual. Hay ciertas ventajas al utilizar la técnica de circuitos virtuales:

- La red puede ofrecer servicios sobre el circuito virtual, incluyendo orden secuencial y control de errores.
- Otra ventaja es que los paquetes viajan por la red más rápidamente haciendo uso de circuitos virtuales, ya que no es necesaria una decisión de encaminamiento para cada nodo.

Entre las ventajas de los datagramas podemos citar:

- Que no existe la fase de establecimiento de llamada. El envío del datagrama resulta más rápido.
- Dado que es más rudimentario; es más flexible.
- Es más seguro. En el envío de un datagrama, si un nodo falla los paquetes siguientes pueden encontrar una ruta alternativa que no atraviese dicho nodo.

ESTRATEGIAS DE ENCAMINAMIENTO

- **Ruteo Estático:** Se elige una ruta para cada par de nodos origen-destino en la red. Se pueden usar cualquiera de los dos algoritmos de costo mínimo (Dijkstra y Belleman-Ford). Las rutas son fijas, al menos mientras lo sea la topología de la red. De esta manera, los costos usados para el diseño de las rutas no pueden estar basados en variables dinámicas tales como el tráfico, aunque podría estarlo en capacidad o tráfico esperados. Las rutas estáticas se implementan con una matriz almacenada, por ejemplo, en un centro de control de red. Esta matriz especifica para cada par de nodos origen-destino la identidad del siguiente nodo de la ruta. No es necesario almacenar la ruta completa para cada par de nodos de la red. Es suficiente conocer para cada par cuál es el primer nodo en el camino.
- **Inundaciones:** Un nodo fuente envía un paquete a todos sus nodos vecinos, los cuales a su vez lo envían por todas sus líneas de salida excepto por la que llegó. Podemos ver que a menos que se haga algo para cesar las continuas retransmisiones de paquetes, el número de estos en circulación para un mismo paquete origen crece sin límites. Una forma de prevenir estas retransmisiones consiste en que cada nodo recuerde el identificador de los paquetes retransmitidos, de manera que descarte copias duplicadas. Una técnica sencilla consiste en incluir un campo contador de saltos en cada paquete, y cuyo valor inicial será el diámetro de la red. Cada vez que un nodo transmite un paquete, se disminuye el contador en uno. Cuando éste alcance el valor 0, se elimina el paquete.
- **Ruteo Aleatorio:** Un nodo selecciona un único camino para la retransmisión del paquete recibido. La línea elegida se selecciona de forma aleatoria, generalmente excluyendo la línea por la que llegó el paquete. Si todas las líneas son igualmente probables de ser elegidas, una implementación sencilla consistirá en seleccionarlas de forma alternada. Como en el caso de inundaciones, el ruteo aleatorio no necesita el uso de información de red. Dado que la ruta se selecciona de forma aleatoria, la ruta real no corresponderá en general con la de costo mínimo. Por lo tanto la red soportará un tráfico superior al óptimo

aunque inferior al de la técnica basada en inundaciones.

- **Ruteo Adaptable:** Prácticamente todas las redes de conmutación de paquetes usan algún tipo de técnica adaptable, es decir que las decisiones de ruteo cambian en la medida que lo hacen las condiciones de la red, que se ven influenciadas por fallos y por congestión. Para que este tipo de ruteo sea posible, es necesario que los nodos intercambien información acerca del estado de la red, existiendo un compromiso entre la calidad de la información y el costo de la misma. Cuanta más información se intercambie y mayor sea la frecuencia de intercambio, mejor será la decisión de ruteo de cada nodo, lo que supone una carga adicional en la red. Sin embargo, las estrategias adaptables son las más usadas porque el usuario de la red percibe que las prestaciones aumentan con el uso de estas técnicas y pueden ayudar en el control de congestión.

COMPARACIÓN ENTRE LAS TÉCNICAS DE CONMUTACIÓN DE CIRCUITOS Y DE PAQUETES

Debemos hablar de tres tipos de retardo:

- Retardo de propagación: Es el tiempo que tarda la señal en propagarse desde un nodo hasta el siguiente. Este tiempo es generalmente despreciable, ya que la velocidad de las señales magnéticas a través de un cable son por ejemplo de $2 \cdot 10^8$ m/s.
- Tiempo de transmisión: Es el tiempo que tarda un transmisor en enviar un bloque de datos. Por ejemplo, en una línea de 10kbps se tarda 1 segundo en transmitir un bloque de 10000 bits.
- Retardo del nodo: Es el tiempo que tarda un nodo en realizar los procesos necesarios para la conmutación de datos.

En la conmutación de circuitos existe un cierto retardo antes de que se pueda enviar el mensaje. Primero se envía a través de la red una señal Petición de llamada para establecer una conexión con el destino. Si la estación de destino no está ocupada, devuelve una señal Llamada aceptada. Obsérvese la aparición de un retardo de procesamiento en cada nodo durante la solicitud de llamada, debido a la necesidad de establecer la ruta para la conexión. A la vuelta no se requiere procesamiento dado que la conexión está ya establecida. Una vez establecida la conexión, el mensaje se envía como un único bloque, sin retardos en los nodos de conmutación.

La técnica de conmutación de paquetes mediante circuitos virtuales parece muy similar a la de conmutación de circuitos. Un circuito virtual se solicita mediante el uso de un paquete Petición de llamada, lo que provoca un retardo en cada nodo. El circuito virtual se acepta mediante un paquete Llamada aceptada. Al contrario que en el caso de conmutación de circuitos, la aceptación de llamada también experimenta retardos en los nodos aunque la ruta del circuito virtual se encuentre ya establecida. La razón es que el paquete se pone en cola en cada nodo y debe esperar un turno para su transmisión. Una vez establecido en circuito virtual, el mensaje se transmite en paquetes. Esta operación no puede ser más rápida, para redes comparables, que en el caso de la conmutación de circuitos. Esto se debe a que la conmutación de circuitos es esencialmente un proceso transparente, proporcionándose una velocidad de datos constante a través de la red. La conmutación de paquetes involucra cierto retardo en cada nodo de la ruta; pero aún este retardo es variable y aumenta con la carga.

La técnica de conmutación de paquetes mediante datagramas no precisa un establecimiento de la llamada, de modo que para mensajes cortos resulta más rápida que la conmutación de paquetes mediante circuitos virtuales y, quizás, que la conmutación de circuitos. Sin embargo, dado que cada datagrama individual se encamina de forma independiente, el procesamiento de cada uno de ellos en cada nodo puede llegar a ser superior que en el caso de circuitos virtuales. Por tanto, para mensajes grandes, la técnica de circuitos virtuales puede ser mejor.

En una red de conmutación de paquetes se permite el intercambio de paquetes entre estaciones a diferentes velocidades, pues cada una se conecta a su nodo con su propia velocidad.

En una red de conmutación de circuitos, cuando el tráfico crece, algunas llamadas se bloquean, es decir que la red rechaza la aceptación de peticiones de conexión adicionales mientras no disminuya la carga de la red. En cambio, en una red de conmutación de paquetes,

estas son aceptadas aunque el retardo en la transmisión aumente.

Principales diferencias:

	<i>Conmutación de circuitos</i>	<i>Conmutación de paquetes</i>
Datos	Única ruta dedicada	Diferentes rutas
Mensajes	Pasa directamente por el nodo	Almacenamiento temporal en cada nodo
Estado del nodo	Todos deben estar activos	Sólo el nodo origen debe estar activo
Conexión	Dedicada	Compartida
Utilización	Pobre	Buena
Razón de datos	Fija	Variable
Prioridades	No soporta	Soporta

ESTÁNDAR X.25

X25 es el protocolo estándar más conocido y más usado. Especifica la interfaz entre una estación y una red de conmutación de paquetes. Se tienen 3 capas de funcionalidad: física, de enlace y de paquetes, que se corresponden con las capas física, de enlace y de red del modelo OSI.

La máquina del usuario es el DTE y el nodo de conmutación de paquetes al que el DTE se encuentra conectado es el DCE.

La capa física trata la interfaz física entre DTE y DCE, y usa el estándar X.21. La capa de enlace se encarga de la transmisión fiable de datos a través del enlace físico mediante la transmisión de éstos en base a una secuencia de tramas, y usa el LAPB, que es un subconjunto de HDLC. La capa de paquetes proporciona un servicio basado en circuitos virtuales externos, que se dividen en dos tipos: **llamadas virtuales (VC)** y **circuitos virtuales permanentes (PVC)**. Un VC es un circuito virtual establecido dinámicamente usando una petición de llamada y otra de liberación. Un PVC es un circuito virtual fijo asignado en la red, y la transferencia de los datos se produce como con los VC, pero sin las llamadas de establecimiento y cierre. Además podemos decir que en una red se tiene 1 PVC por cada ventana. O sea que una conexión con 2 PVC se pueden mandar paquetes por ambos indistintamente.

Cada DCE y DTE tienen definidos canales lógicos para la comunicación. Los DCEs transmiten y reciben información a través del canal lógico más chico y los DTEs a través del canal lógico más grande. Es decir que si un DTE tiene definidos los canales lógicos del 3 al 5 y otro DTE configurado como DCE tiene los canales del 1 al 5, podemos ver que sólo el DCE puede aceptar llamadas del DTE, ya que éste transmite por el canal 5 (que el DCE lo tiene), pero el DCE no puede transmitirle nada al DTE porque no tiene el canal 1 que usa el DCE.

PAQUETES X.25

Los datos se segmentan en bloques de tamaño máximo, añadiéndole a cada bloque una cabecera de 24 o 32 bits para formar un paquete de datos. La cabecera incluye 12 bits para especificar un número de circuito virtual (4 para el grupo y 8 para el canal), 6 bits para el control de flujo y de errores (3 para la secuencia de envío de paquetes o P(S) y 3 para la secuencia de recepción de paquetes o P(R)) y un bit Q para que el usuario pueda distinguir entre dos tipos de datos.

Existen dos bits que indican la forma en que se gestionan los paquetes. Son los bits **M** y **D**. El bit D es útil para dos cosas: cuando D=0, el valor de P(R) indica el reconocimiento de la recepción de los paquetes de datos por parte de la red, y cuando D=1, el campo P(R) se utiliza para indicar la aceptación del paquete entre extremos. El bit M identifica una secuencia relacionada de paquetes que viaja por la red, lo que le sirve de ayuda a los DTEs y a la red para mantener la identidad de los bloques de datos cuando éstos son divididos por la red en paquetes más pequeños.

La combinación de los bits M y D establece dos categorías dentro de X25: **paquetes A** y **B**, permitiendo que los DTEs y los DCEs indiquen secuencias de más de un paquete. Luego, una secuencia de paquetes completa se define como un único paquete B y los contiguos tipo A que lo

precedan (si hay alguno).

Además de los datos, X25 debe transmitir información de control relacionada con el establecimiento, mantenimiento y liberación de circuitos virtuales, la cual se transmite en paquetes de control que incluyen el número de circuito virtual, el tipo de paquete que identifica la función de control particular, en información de control adicional relacionada con esta función.

Los tipos de paquetes son:

Del DTE al DCE	Del DCE al DTE
• Solicitud de llamada	• Llamada entrante
• Llamada aceptada	• Comunicación establecida
• Solicitud de liberación	• Indicación de liberación
• Confirmación de liberación	• Confirmación de liberación
• Datos	• Datos
• Interrupción	• Interrupción
• Confirmación de interrupción	• Confirmación de interrupción
• RR	• RR
• RNR	• RNR
• REJ	• Indicación de reinicio
• Solicitud de reinicio	• Confirmación de reinicio
• Confirmación de reinicio	• Indicación de rearmar
• Solicitud de rearmar	• Confirmación de rearmar
• Confirmación de rearmar	• Diagnóstico
• Solicitud de registro	• Registro
	• Confirmación

Los **paquetes de interrupción** permiten que un DTE transmita a otro paquete fuera de secuencia sin seguir los procedimientos normales de control de flujo establecidos.

Los paquetes de **Receptor Preparado (RR)** y de **Receptor no Preparado (RNR)** se utilizan de forma muy similar a las mismas órdenes existentes en HDLC y su misión es controlar el flujo de datos iniciado por los dispositivos de usuario. Ambos tienen un número de secuencia de recepción en el campo de paquete. El RR se utiliza para indicarle al transmisor que puede comenzar a enviar paquetes de datos, y se puede utilizar para aceptar paquetes recibidos incluso cuando no haya que devolver paquetes de datos al centro transmisor. El RNR se utiliza para solicitar al centro transmisor que deje de enviar paquetes y utiliza también un campo de número de secuencia para aceptar paquetes recibidos previamente.

El paquete de **rechazo (REJ)** se emplea para rechazar específicamente el paquete recibido, lo que implica que la estación requiere la retransmisión de los paquetes, comenzando por el número coincidente con el valor del campo de número de secuencia de recepción.

Los paquetes de **reinicio** se usan para reinicializar una VC conmutada o un PVC, eliminando todos los paquetes de datos y de interrupción que pudiera haber en la red entre las dos estaciones.

Los paquetes de **rearmar** se utilizan para inicializar o reinicializar la interfaz DTE/DCE a nivel de paquetes, y lo que hace es borrar todas las VC y reinicializa todos los PVC en el nivel de interfaz. Todos los paquetes pendientes se pierden y deben ser recobrados por un protocolo de nivel superior.

El paquete de **liberación** se utiliza para diversas funciones en la red, como liberar una sesión entre DTEs o indicar que no se puede completar una solicitud de llamada.

Los paquetes de **diagnóstico** indican ciertas condiciones de error no consideradas por otros métodos, como el reinicio o el rearmar.

Los paquetes de **registro** se utilizan para llamar o confirmar utilidades de X25.

FRAME RELAY (RETRANSMISIÓN DE TRAMAS)

La técnica de retransmisión de tramas (frame relay), se diseñó para proporcionar un esquema de transmisión más eficiente que el de X25. Algunas características básicas de X25 son:

- Los paquetes de control de llamada, usados para el establecimiento y liberación de

circuitos virtuales, se transmiten por el mismo canal y circuito virtual que los paquetes de datos, empleándose en consecuencia una señalización en banda.

- La multiplexación de circuitos virtuales tiene lugar en la capa 3.
- Tanto la capa 2 como la 3 incluyen mecanismos de control de flujo y errores.

Esta aproximación es muy costosa, ya que en cada salto a través de la red el protocolo de control de enlace intercambia tramas de datos y de confirmación. Además, cada nodo intermedio debe mantener tablas de estado para cada circuito virtual con el objeto de abordar aspectos de gestión de llamadas y de control de flujo y errores del protocolo X25. Este coste queda justificado en caso de que la probabilidad de error en los enlaces de la red sea significativa, por lo que esta técnica puede no ser la más apropiada para los servicios de comunicación digitales modernos dado que las redes actuales hacen uso de tecnologías de transmisión fiables sobre enlaces de transmisión de alta calidad, fibra óptica en muchos de los casos. Adicionalmente a este hecho, con la utilización de fibra óptica y transmisión digital se pueden conseguir velocidades de transmisión de datos elevadas. En este contexto, el coste de X25 no sólo es innecesario sino que además degrada la utilización efectiva de las altas velocidades de transmisión disponibles.

La retransmisión de tramas se ha diseñado para eliminar gran parte del coste que supone X25. Las principales diferencias con éste último son:

- La señalización de control de llamadas se transmite a través de una conexión lógica distinta de la de datos de usuario. De este modo, los nodos intermedios no necesitan mantener tablas de estado ni procesar mensajes relacionados con el control de llamadas individuales.
- La multiplexación y conmutación de conexiones lógicas tienen lugar en la capa 2 en lugar de la capa 3, eliminándose así una capa completa de procesamiento.
- No existe control de flujo ni de errores a nivel de líneas individuales. Si se lleva a cabo este control, será extremo a extremo y responsabilidad de capas superiores.

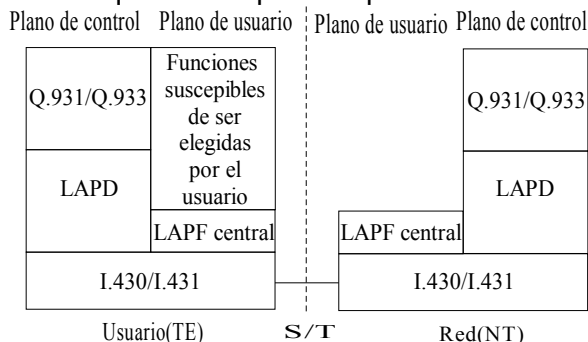
COMPARACIÓN CON X25

En comparación con X25, la principal desventaja teórica en retransmisión de tramas es que se pierde la posibilidad de llevar a cabo un control de flujo y errores en cada enlace. En frame relay este se lleva a cabo en el nivel superior. En X25 la transmisión es más fiable a nivel de enlace desde el origen a destino. El protocolo de control de enlace proporciona además fiabilidad en cada enlace de la red. Con el uso de la técnica de retransmisión de tramas desaparece dicho control a nivel de enlace, aunque este hecho supone un gran inconveniente gracias al incremento en la fiabilidad en la transmisión y en los servicios de conmutación.

La ventaja de retransmisión de tramas es la potencia del proceso de comunicaciones. En consecuencia, cabe esperar un menor retardo y un mayor rendimiento.

ARQUITECTURA DE PROTOCOLOS EN RETRANSMISIÓN DE TRAMAS

Se considera dos planos diferentes de operación: Plano de Control (C), relacionado con el establecimiento y liberación de conexiones lógicas, y Plano de Usuario (U), responde a la transferencia de datos entre usuarios abonados. Así los protocolos del Plano C se implementan entre el usuario y la red, mientras que los del plano U proveen funcionalidad extremo a extremo.



- **Plano de control:** Se utiliza un canal lógico diferente para la información de control. En la capa de enlace se utiliza LAPD para proporcionar un servicio de control de enlace de datos fiable, con control de errores y de flujo, entre el usuario y la red sobre un canal.

Este servicio de enlace de datos se usa para el intercambio de mensajes de señalización de control.

- **Plano de usuario:** LAPP es el protocolo del plano de usuario para la transferencia real de información entre usuarios finales. Este protocolo es una versión mejorada de LAPD. El usuario puede seleccionar funciones extremo a extremo adicionales de la capa de enlace o de la red, las cuales no forman parte del servicio de retransmisión de tramas. De acuerdo con las funciones básicas, una red ofrece retransmisión de tramas como un servicio orientado a conexión de la capa de enlace, con las siguientes propiedades: Se preserva el orden de la transferencia de tramas entre el origen y el destino; y existe la posibilidad pequeña de pérdida de tramas.

OTRAS CONSIDERACIONES

En frame relay el control de congestión se lleva a cabo utilizando dos bits en los campos de dirección de sus tramas y estos son:

- **Bit BECN:** Notificación explícita de congestión hacia atrás. Paquetes enviados por usuario encontrarán congestión.
- **Bit FECN:** Notificación explícita de congestión hacia adelante. En el mismo sentido del paquete se encontrará congestión.

Para mejorar la reserva de los recursos, el servicio de retransmisión de tramas incluye el concepto de tasa de información contratada (CIR). Este parámetro es una velocidad, en bits por segundo, que acuerda la red para dar soporte a una conexión particular en un modo trama. Cualquier dato transmitido a una velocidad superior al CIR es susceptible a ser rechazado cuando se produce congestión.

TECNOLOGÍAS LAN

Las redes LAN tienen mucha mayor capacidad que las de área amplia, permitiendo el transporte de un tráfico de comunicaciones interno generalmente superior.

Todos los dispositivos están conectados a un medio de transmisión compartido, de forma que una transmisión realizada desde un dispositivo se puede recibir en los restantes dispositivos conectados a la red. Las LAN han proporcionado tradicionalmente velocidades en torno al rango de 1 a 20 Mbps. Hoy por hoy, los trabajos recientes se han centrado en el desarrollo de redes LAN de alta velocidad con velocidades comprendidas entre los 100 Mbps y 1 Gbps.

Los aspectos tecnológicos principales que determinan la naturaleza de una red LAN o un MAN son:

- **Topología**
- **Medio de transmisión**
- **Técnica de control de acceso al medio**

ARQUITECTURA

La arquitectura de una LAN se describe mejor en términos de una jerarquía de protocolos que organizan las funciones básicas de la misma. La arquitectura de protocolos estandarizada para redes LAN incluye la capa física, de control de acceso al medio y control de enlace lógico.

Según OSI, los protocolos de capas superiores (capas 3 ó 4 y superiores) son independientes de la arquitectura de red y son aplicables a redes LAN, MAN y WAN. Así pues el estudio de protocolos LAN está relacionado con las capas inferiores del modelo OSI.

La arquitectura en este caso fue desarrollada por el comité IEEE 802 y ha sido adoptada por todas las organizaciones que trabajan en la especificación de los estándares LAN. Es la referida como el modelo de referencia IEEE 802.

La capa inferior del modelo de referencia IEEE 802 es la capa física del modelo OSI e incluye funciones tales como:

- Codificación/decodificación de señales.
- Generación/eliminación de preámbulo (para sincronización).
- Transmisión/recepción de bits.

La capa física del modelo 802 incluye una especificación del medio de transmisión y de la topología. Generalmente, esto se considera “debajo” de la capa inferior del modelo OSI; sin

embargo, incluye una especificación del medio.

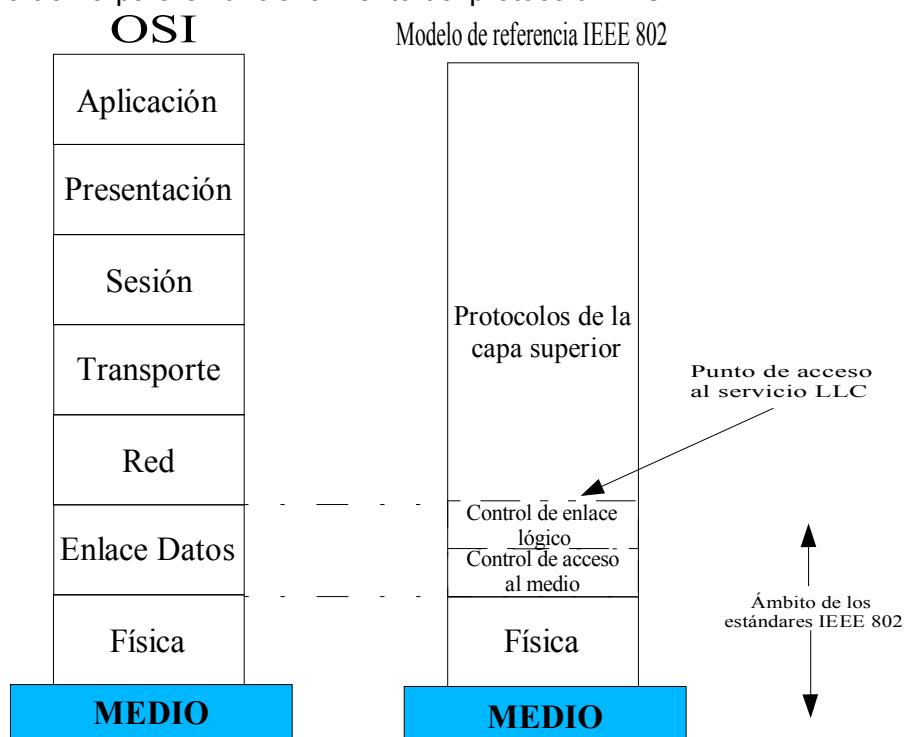
Por encima de la capa física se encuentran las funciones asociadas a los servicios ofrecidos a los usuarios LAN. Entre ellas se encuentran las siguientes:

- En transmisión, ensamblado de datos en tramas con campos de dirección y de detección de errores.
- En recepción, desensamblado de tramas, reconocimiento de dirección y detección de errores.
- Control de acceso al medio de transmisión LAN.
- Interfaz con las capas superiores y control de errores y de flujo.

Estas funciones se asocian generalmente a la capa 2 de OSI. El conjunto de funciones del último punto de los cuatro indicados se agrupan en la capa de control de enlace lógico (LLC), mientras que las funciones especificadas en los tres primeros puntos se tratan en una capa separada denominada control de acceso al medio (MAC). Esta separación de funciones se debe a las siguientes razones:

- La lógica necesaria para la gestión de acceso a un medio compartido no se encuentra en la capa de control de enlace de datos tradicional.
- Se puede ofrecer varias opciones MAC para el mismo LLC.

Los datos del nivel superior se pasan hacia abajo al nivel LLC, que añade una cabecera de información de control dando lugar a una PDU LLC. Esta información de control se utiliza para el funcionamiento del protocolo LLC. La PDU LLC se pasa a la capa MAC, que añade información de control en la trama para el funcionamiento del protocolo MAC.



TOPOLOGÍAS

Las topologías usuales en LAN son bus, árbol, anillo y estrella. El bus es un caso especial de la topología en árbol con un solo tronco y sin ramas.

- **Topologías en bus y en árbol:** Ambas topologías se caracterizan por el uso de un medio multipunto. En el caso de la topología en bus, todas las estaciones se encuentran directamente conectadas, a través de interfaces físicas apropiadas conocidas como tomas de conexión (“tips”), a un medio de transmisión lineal o bus. El funcionamiento full duplex entre la estación y la toma de conexión permite la transmisión de datos a través del bus y la recepción de estos desde aquel. Una transmisión desde cualquier estación se propaga a través del medio en ambos sentidos y es recibida por el resto de estaciones. En cada extremo del bus existe un terminador que absorbe las señales,

eliminándolas del bus.

La topología en árbol es una generalización de la topología en bus. El medio de transmisión es un cable ramificado sin bucles cerrados, que comienza en un punto conocido como raíz o cabecera. Uno o más cables comienzan en el punto raíz, y cada uno de ellos puede presentar ramificaciones. Las ramas pueden disponer de ramas adicionales, dando lugar a esquemas más complejos. De nuevo, la transmisión desde una estación se propaga a través del medio y puede alcanzar al resto de estaciones.

Existen dos problemas en esta disposición. En primer lugar, es necesario un método para indicar a quien va dirigida la transmisión. En segundo lugar, se precisa un mecanismo para regular la transmisión debido a que dos estaciones pueden intentar transmitir simultáneamente y la información se solaparía; o, en otro caso, una estación puede desear transmitir ininterrumpidamente durante un período largo de tiempo.

Para solucionar este tipo de problemas, las estaciones transmiten datos en bloques pequeños llamados tramas. Cada trama consta de una porción de los datos, además de información de control. A cada estación se le asigna una dirección o identificador, incluyéndose en la cabecera la dirección destino de la trama.

La estructura de la trama resuelve el primer problema: proporciona un mecanismo para indicar el receptor de datos. También proporciona una herramienta básica para resolver el segundo problema, el control de acceso. En particular las estaciones transmiten por turnos en forma cooperativa, lo que implica uso de información adicional en la cabecera.

En esta topología no son necesarias acciones especiales para eliminar tramas del medio: cuando una señal alcanza el final de éste, es absorbida por el terminador.

- **Topología en anillo:** En esta, la red consta de un conjunto de repetidores unidos por enlaces punto a punto formando un bucle cerrado. El repetidor es un dispositivo relativamente simple, capaz de recibir datos a través del enlace y de transmitirlos bit a bit, a través del otro enlace tan rápido como son recibidos. Los enlaces son unidireccionales. Cada estación se conecta a la red mediante un repetidor. Los datos se transmiten en tramas. La estación destino reconoce su dirección y copia la trama. La trama continúa viajando hasta alcanzar de nuevo la estación origen donde es eliminada. Dado que el anillo es compartido, se necesita una técnica de control de acceso al medio para determinar cuándo puede insertar tramas cada estación. (Ver libro pág. 406 figura 13.5)
- **Topología en estrella:** Cada estación está conectada a un nodo central, generalmente a través de dos enlaces punto a punto, uno para transmisión y otro para recepción. En general existen dos alternativas para el funcionamiento del nodo central. Una es el funcionamiento en modo de difusión, en el que la transmisión de una trama por parte de una estación se retransmite sobre todos los enlaces de salida del nodo central. En este caso, funciona como un bus. Otra aproximación es el funcionamiento del nodo central como dispositivo de conmutación de tramas. Una trama se almacena en el nodo y se retransmite sobre un enlace de salida hacia la estación de destino.

CONTROL DE ACCESO AL MEDIO

Se requiere algún método de control de acceso al medio con objeto de hacer un uso eficiente del mismo. Esta es función del protocolo de control de acceso al medio (MAC).

El control se realiza en forma centralizada o distribuida. En el esquema centralizado se define un controlador con autoridad para conceder el acceso a la red, de modo que una estación que desee transmitir debe esperar hasta que se le conceda permiso por parte del controlador. En una red descentralizada, las estaciones realizan conjuntamente la función de control de acceso al medio para determinar dinámicamente el orden en que transmitirán. Un esquema centralizado presenta las siguientes ventajas:

- Puede mejorar el control de acceso proporcionando prioridades, rechazos y capacidad garantizada.
- Permite el uso de una lógica de acceso relativamente sencilla en cada estación.
- Resuelve problemas de coordinación distribuida entre entidades paritarias.

Las principales desventajas del sistema centralizado son:

- Genera un punto de falla: si se produce un fallo en el centro, fallará toda la red.
- Puede actuar como cuello de botella, reduciendo prestaciones.

Los pros y contras de los esquemas distribuidos son los contrarios de los puntos anteriores.

Las técnicas de control de acceso también las podemos clasificar como síncronas o asíncronas. Con las técnicas síncronas se dedica una capacidad dada a la conexión (como en la usada en conmutación de circuitos). Estas técnicas no son óptimas para redes LAN. Es preferible la aproximación asíncrona, que se divide en tres categorías :

- **Rotación circular:** Con la técnica de rotación circular a cada estación se le da la oportunidad de transmitir, ante lo que la estación puede declinar la proposición o puede transmitir sujeta a un límite superior, especificado generalmente en términos de cantidad de datos a transmitir o tiempo para ello. En cualquier caso cuando la estación debe ceder el control de transmisión a la siguiente estación en la secuencia lógica. El control de secuencia puede ser centralizado o distribuido, siendo el método de sondeo un ejemplo de técnica centralizada.

Cuando varias estaciones disponen de datos a transmitir durante un largo período de tiempo, las técnicas de rotación circular pueden resultar muy eficientes. En cambio, si sólo unas pocas estaciones disponen de datos a transmitir durante un extenso período de tiempo existirá un coste considerable en el paso del turno entre estaciones, ya que la mayoría de ellas no transmiten datos sino que solamente ceden el turno. En este caso pueden ser preferibles otras técnicas dependientes de si el tráfico de datos es a ráfagas o continuo. El tráfico continuo se caracteriza por transmisiones largas y razonablemente continuas; algunos ejemplos son la comunicación por voz y transferencia de ficheros. El tráfico a ráfagas se caracteriza por transmisiones cortas y esporádicas como en el caso de tráfico interactivo terminal - estación.

- **Reserva:** Las técnicas de reserva son adecuadas para el tráfico continuo. Generalmente en estas técnicas se divide el tiempo en ranuras, como en TDM síncrona. Una estación que desea transmitir reserva futuras ranuras para un largo, incluso indefinido período de tiempo. Una vez más, las reservas se pueden llevar a cabo de forma centralizada o distribuida.
- **Contención:** Usualmente las técnicas de contención son apropiadas para tráfico a ráfagas. No realizan control para determinar de quién es el turno, sino que todas las estaciones compiten en una forma que puede ser caótica. Estas técnicas son necesariamente de naturaleza distribuida y su principal ventaja es que son más fáciles de implementar y eficientes en condiciones de baja y media carga.

Para formar la trama MAC, se recibe un bloque de la capa LLC y se realizan funciones relacionadas con el acceso al medio y transmisión de datos. MAC implementa estas funciones haciendo uso de una unidad de datos de protocolo que se denomina trama MAC. En general todas las tramas MAC tienen el mismo formato. Los campos son:

- **Control MAC:** Este campo contiene información de control de protocolo necesaria para el funcionamiento del protocolo MAC.
- **Dirección MAC destino:** Punto de conexión física MAC en la LAN del destino de la trama.
- **Dirección MAC origen:** Punto de conexión física MAC en la LAN del origen de la trama.
- **LLC:** Datos LLC de la capa inmediatamente superior.
- **CRC:** Campo de control de redundancia cíclica, para detección de errores.

La entidad de protocolo es responsable no sólo de la detección de errores haciendo uso del campo CRC, sino también de la recuperación de la recuperación de estos mediante la retransmisión de las tramas erróneas. Estas dos funciones se dividen entre las capas MAC y LLC. La capa MAC es responsable de la detección de errores y del rechazo de tramas erróneas. La capa LLC controla qué tramas han sido recibidas correctamente y retransmite las erróneas.

ESPECIFICACIÓN IEEE 802.X

IEEE 802.X es un estándar para LAN y está separado en varias partes: La 802.1 da especificaciones para la capa física. La capa de enlace se divide en dos partes, y trabaja de la manera que se vio en CONTROL DE ACCESO AL MEDIO.

El 802.2 es un estándar para la capa superior y usa protocolo LLC. Del 802.3 al 802.5 se describen los estándares para LAN, como el CSMA/CD, el token bus y el token ring.

ETHERNET

Ethernet es una tecnología LAN que transmite información entre computadoras a velocidades de 10 a 100Mbps. Actualmente, la versión más usada es la de par trenzado de 10Mbps. Este sistema consiste en tres elementos básicos:

- El medio físico usado para transmitir las señales Ethernet entre computadoras.
- Un conjunto de reglas de control de acceso al medio incrustado en cada interfase Ethernet que permite a múltiples computadoras controlar el acceso al canal compartido.
- Una trama ethernet, que consiste en un conjunto estándar de bits usados para transmitir los datos del sistema.

Cada estación opera independientemente de las otras estaciones de red; es decir que no hay un controlador central. Para que una estación pueda transmitir, escucha al medio y si está libre transmite lo que se llama una trama ethernet. Después de cada transmisión, todas las estaciones tienen igual oportunidad para la transmisión de la próxima trama. Esto asegura que el acceso al canal de la red es justo y que ninguna estación puede bloquear a otras. El acceso al canal compartido es determinado por el control de acceso al medio (MAC), que se basa en el sistema CSMA/CD

DIFERENCIAS ENTRE 802.3 Y ETHERNET

Ethernet fue la base tecnológica para la especificación IEEE 802.3. Ethernet y IEEE 802.3 juntos mantienen el gran compartimento del mercado de cualquier protocolo LAN. Ambos utilizan el método de acceso CSMA/CD (Carrier Sense Multiple Acces with Collision Detection), cuyas estaciones pueden acceder a la red en cualquier momento. Además Ethernet e IEEE 802.3 son redes de broadcast, es decir que todas las estaciones ven todas las tramas.

Las diferencias son muy sutiles. Ethernet provee servicios correspondientes a las capas 1 y 2 del modelo OSI, mientras que IEEE 802.3 especifica la capa física y la parte del canal de acceso de la capa de enlace, pero sin definir un protocolo de control de enlace lógico. Ambos están implementados en hardware.

IEEE 802.3 especifica varias capas físicas diferentes y Ethernet define una sola. Cada protocolo de la capa física de IEEE 802.3 tiene un nombre que concentra sus características.

ALGORITMO DE ACCESO AL MEDIO EN ETHERNET Y 802.3 (CSMA/DA)

Este algoritmo trata de que cada estación debe esperar a que no haya ninguna señal en el medio. Luego puede comenzar a transmitir. Si alguna otra estación está transmitiendo, habría una señal en el canal que lo indique llamada "carrier". Todas las demás estaciones deben esperar hasta que el carrier termine antes de transmitir. A este proceso se lo denomina "Carrier Sense". Todas las estaciones tienen la misma prioridad para transmitir. Con esto se refiere a "Multiple Access". Como las señales tienen un tiempo finito para viajar de un lado a otro en el medio, los primeros bits de una trama que se está transmitiendo no llegan a todas las estaciones simultáneamente. Luego es posible que dos estaciones quieran transmitir a la vez, ya que cuando escucharon al medio vieron que estaba libre. Cuando esto sucede, el sistema tiene una forma de detectar esta colisión, parar la transmisión y reenviar las tramas. Esto se llama "Collision Detect".

Podemos resumir el algoritmo de la siguiente manera: Cuando una estación desea transmitir, escucha al medio para ver si está en uso. Si está ocupado, espera. Si está libre, transmite y sigue escuchando. Si se detecta una colisión durante la transmisión, inmediatamente se deja de transmitir la trama y transmite una señal para asegurar que todas las estaciones se enteren de la colisión. Luego la estación espera un tiempo aleatorio para poder volver a transmitir.

TOPOLOGÍA EN ANILLO EN 802.4 Y 802.5

El 802.4 describe una LAN **token bus**. Físicamente, el bus es lineal o en forma de árbol, pero las estaciones se organizan en un anillo lógico. Cada estación conoce la dirección de la estación izquierda y derecha. Cuando se inicializa el anillo, la estación con número más grande puede enviar la trama. Apenas lo hace, le pasa el permiso a su vecino mediante un token, el cual se propaga por el anillo lógico. Una estación a la vez toma el token y puede transmitir. No hay colisiones.

Las tramas son recibidas por todas las estaciones, pero sólo la toma la estación a la que está direccionada. Cuando una estación pasa el token, también pasa una trama con el token direccionando a su estación vecina lógica.

Con respecto al mantenimiento, cuando una estación se prende, no está en el anillo. Entonces el protocolo MAC debe proveer la forma de agregar y sacar estaciones del anillo. Las estaciones se insertan en el orden de sus direcciones, de mayor a menor. Si la estación no tiene datos, pasa el token inmediatamente. Cuando una estación toma el token, puede transmitir por un cierto tiempo y después lo tiene que pasar.

En el 802.5 los anillos físicos se usan tanto para LAN como para WAN. Un anillo no es un medio de broadcast, sino conexiones punto a punto entre las estaciones, las cuales se pueden hacer con par trenzado, con cable coaxial o con fibra óptica. En cada estación hay un buffer donde se guarda un bit del token, que puede ser examinado y modificado, y que luego se vuelve a copiar al anillo. Para su mantenimiento, cuando se apagan las estaciones hay que proveer mecanismos en las interfaces para que conecten la entrada con la salida, evitando el retardo de un bit al copiarlo en el buffer. Para esto hay una estación monitor que vigila el anillo y que es responsable de que el anillo funcione. Si éste se apaga, hay que elegir otra estación como monitor. Si alguna estación nota que no hay monitor, transmite una trama de control llamada "claim token". Si da la vuelta antes de que otro claim token se envíe, el que lo envió se convierte en monitor. La responsabilidad del monitor es ver que el token no se pierda, borrar una acción cuando se rompe el anillo, limpiar el anillo cuando aparecen tramas con basura y controlar que no hayan tramas sin destinatario.

La técnica de **token ring** se basa en el uso de una trama pequeña (token) que circula cuando las estaciones están libres. Cuando una estación desea transmitir, debe esperar a que le llegue un token, para luego cambiarle uno de sus bits y convirtiéndolo en una secuencia de comienzo de trama para una trama de datos. Luego la estación agrega y transmite el resto de campos requeridos en la construcción de una trama. Cuando una estación toma un token y comienza a transmitir una trama de datos, el token no está más en el anillo, de manera que el resto de las estaciones que deseen transmitir deben esperar. La trama en el anillo realiza una vuelta completa y se absorbe en la estación transmisora, quien insertará un nuevo token en el anillo cuando la misma haya completado la transmisión de su trama o cuando los bits iniciales de la trama han vuelto a la estación.

PROBLEMAS DE CONEXIÓN DE ESTACIONES 802.3 Y 802.5 EN MISMO SEGMENTO LAN

En un mismo segmento de LAN no se pueden conectar estaciones 802.3 y 802.5 porque la cabecera o header de sus capas MAC son distintas y el acceso al medio también. Las 802.3 tienen acceso al medio CSMA/CD y las 802.5 tienen token ring sin colisiones y con un uso de prioridades. Para poder conectarlas necesitaríamos un bridge. Cuando se quiera transmitir de una LAN 802.3 a una 802.5, el bridge convierte el header de la capa MAC del 802.3 en un header 802.5. La cabecera de LLC no la toca, porque esta capa es igual en ambas topologías y el bridge es un dispositivo de nivel 2.

En cambio para transmitir de una 802.5 a una 802.3 es más complicado porque la trama MAC del 802.5 tiene los bits A y C que indican el estado de la trama. Cuando éste llega a la interfase de la estación con la dirección de destino, la misma setea el bit A y la trama sigue. Si la interfase copia la trama a la estación, también setea el bit C. Luego si una estación 802.5 quiere transmitir a una 802.3, la cabecera del 802.3 no tiene estos bits y no los puede setear para avisarle a la estación 802.5 que recibió la trama y la copió. El bridge puede mentir y setear esos bits, pero si luego la 802.3 no puede copiar la trama por falta de espacio y necesita una retransmisión, no hay forma de avisárselo a la estación 802.5. Entonces como conclusión, a veces el bridge puede cambiar el significado semántico de los bits, pero problemas como el anterior son difíciles de solucionar.

DISPOSITIVOS DE INTERCONEXIÓN Y ENCAMINAMIENTO EN LAN

Antes debemos definir que es una dirección de **broadcast**: es aquella que permite que un mensaje lo lean todas las máquinas conectadas a la red.

Existen básicamente tres dispositivos:

- **Hub**: Es un dispositivo que permite interconectar todos los hosts de una red o subred, y su

función es intercomunicar a los host. O sea que cada host se interconecta con los demás hosts. Este dispositivo actúa en la capa 1 del modelo OSI. Actúa como repetidor cuando recibe una señal y replica esa señal por cada línea de salida que posee. Si recibe dos señales al mismo tiempo se produce colisión o se producen colisiones cuando todas las estaciones conectadas a él quieren transmitir. Las desventajas de un hub se pueden enumerar en que:

- No hay lógica.
 - Repite a todas las máquinas que se conectan a él.
 - Se producen colisiones si dos estaciones transmiten al mismo tiempo.
- **Bridge:** Es un dispositivo que permite conectar dos o más subredes que utilizan el mismo protocolo. El bridge actúa como filtro de direcciones recogiendo paquetes de una LAN que van dirigidos a un destino de otra LAN y pasándolos hacia adelante. El bridge no modifica el contenido del paquete ni le incorpora nada. Las redes interconectadas deben manejar el mismo protocolo. Opera en la capa 2 del modelo OSI. Sufre colisiones con tormentas de broadcast. Separa dominios de colisión; que es un conjunto de estaciones y dispositivos conectados donde se pueden producir colisiones. No separa dominios de broadcast. Entre las desventajas se encuentra:
 - Todas las estaciones vecinas del destino escuchan el mensaje. Los mensajes de broadcast pasan a la otra subred.
 - **Switch:** El switch es un dispositivo que realiza una conexión 1 a 1. Puede ser host con host, host con hub, o hub con hub. La conexión es entre componentes de 2 subredes. Este dispositivo trabaja en la capa 2 del modelo OSI. Se produce colisión cuando dos o más estaciones quieren mandar un mensaje a la misma estación. Separa dominios de colisión. Sus desventajas son:
 - Sobrecarga del dispositivo al tener varias estaciones conectadas.Como ventaja podemos citar:
 - Mayor ancho de banda; acelera la salida de paquetes al segmentar la red en pequeños dominios de colisión.

PROTOCOLO TCP/IP

EL PROTOCOLO INTERNET

El protocolo Internet (IP) es parte del conjunto de protocolos TCP/IP y es el protocolo de interconexión entre redes más utilizado. Como cualquier protocolo estándar, IP se especifica en dos partes:

- La interfaz con la capa superior (TCP), especificando los servicios que proporciona IP.
- El formato real del protocolo y los mecanismos asociados.

PROTOCOLO IP

El protocolo entre entidades IP se describe mejor mediante la referencia al formato del datagrama IP. Los campos son los siguientes:

- **Versión:** Indica la versión del protocolo.
- **Longitud de la cabecera Internet:** expresada en palabras de 32 bits.
- **Tipo de servicio:** Especifica los parámetros de seguridad, prioridad, retardo y rendimiento.
- **Longitud total:** Longitud total del datagrama, en octetos.
- **Identificador:** Es un número de secuencia que, junto a la dirección origen y destino y el protocolo usuario se utilizan para identificar de forma única un datagrama. Por lo tanto, el identificador debe ser único para la dirección origen del datagrama.
- **Indicadores:** (3 bits) Sólo se usan 2 de ellos. Uno es para segmentación y ensamblado. El otro para no fragmentación.
- **Desplazamiento de fragmento.**
- **Tiempo de vida:** Cuanto tiempo en segundos, se le permite a un datagrama IP permanecer en la red.
- **Suma de comprobación para la cabecera:** Código de detección de errores sólo para la

cabecera.

- **Dirección de origen:** (32 bits) Codificada para permitir una asignación variable de bits para especificar la red y el sistema final conectado a la red especificada.
- **Dirección destino:** (32 bits) Igual que el campo anterior.
- **Opciones:** (variable en cantidad de bits).
- **Relleno:** (variable en cantidad de bits) Se usa para asegurar que la cabecera del datagrama tiene una longitud múltiplo de 32 bits.
- **Datos:** El campo de datos debe tener una longitud múltiplo de 8 bits. La máxima longitud de un datagrama (campo datos más cabecera) es de 65355 octetos.

0	4	8	16	19	31
Versión		IHL		Tipo servicio	
Identificación			Indicadores	Desplazamiento de fragmento	
Tiempo de vida		Protocolo		Suma de comprobación de la cabecera	
Dirección origen					
Dirección destino					
Opciones + Relleno					

Cabecera Ipv4

DIRECCIONES IP

Los campos de dirección origen y destino de la cabecera IP contienen cada uno una dirección Internet de 32 bit global, que generalmente consta de un identificador de red y un identificador de computador.

La dirección está codificada para permitir una asignación variable de bits para especificar la red y el computador. Esto proporciona flexibilidad al asignar las direcciones a los computadores y permite la mezcla de tamaños de red en un conjunto de redes. En particular existen tres clases de redes que se pueden asociar a las siguientes condiciones:

- **Clase A:** pocas redes y muchos computadores. 7 bits para dirección de red y 24 para los hosts.
- **Clase B:** un número medio de redes y un número medio de computadores. 14 bits para red y 16 para hosts.
- **Clase C:** Muchas redes y pocos computadores. 21 bits para red y 8 para hosts.

Si todos los bits de la dirección de host están en 0, es porque se está referenciando a si misma, si están todos en uno es porque se está referenciando un broadcast a todos los hosts de esa red (no todas las redes cuentan con este servicio).

Existen dos clases D y E con fines experimentales y multitask.

El resumen de valores para cada clase es el siguiente:

<i>Clase</i>	<i>Primera dirección</i>	<i>Última dirección</i>
A	0.1.1.1	126.0.0.0
B	128.0.0.0	191.255.0.0
C	192.0.1.0	223.255.255.0
D	224.0.0.0	239.255.255.255
E	240.0.0.0	247.255.255.255

Las direcciones IP se describen normalmente en lo que se llama **notación punto decimal**, utilizando un número decimal para representar cada uno de los octetos de la dirección de 32 bits. Por ejemplo la dirección 11000000 11100100 00010001 00111001 se escribe como

192.228.17.57.

Hay que tener en cuenta que todas las direcciones de Clase A empiezan con un 0 binario. Las direcciones de red con el primer octeto puesto a 0 ó sea que 127 (desde 00000000 a 01111111) están reservadas, por lo tanto existen 126 números de red potenciales Clase A en los cuales su primer octeto en formato punto decimal está en el rango de 1 a 126. Las direcciones de Clase B comienzan con un número binario 10; de forma que su primer número decimal está entre 128 y 191. El segundo octeto también forma parte de la dirección de Clase B, de forma que existen $2^{14}=16.284$ direcciones de Clase B. Para las direcciones de Clase C el primer número decimal va de 192 a 223. El número total de direcciones es de $2^{21}=2.097.152$.

SUBREDES Y MÁSCARAS DE SUBRED

Para permitir que los dispositivos de encaminamiento funcionen correctamente, a cada LAN se le proporciona un número de subred. La parte de computador en la dirección de internet se divide en un número de subred y un número de computador para acomodar este nuevo nivel de direccionamiento.

Dentro de la red dividida en subredes, los dispositivos de encaminamiento locales deben encaminar sobre la base de un número de red extendido consistente de la porción de red de la dirección IP y el número de subred. Las posiciones a nivel de bit que contienen este número extendido se indican mediante la máscara de dirección. El uso de esta máscara de dirección permite a un computador determinar si un datagrama de salida va destinado a otro computador en la misma LAN o en otra. Se supone que se utiliza algún otro medio (por ejemplo manual) para crear la máscara de dirección y darla a conocer a los dispositivos de encaminamiento locales.

Máscaras por defecto son:

255.0.0.0 para la Clase A

255.255.0.0 para la Clase B

255.255.255.0 para la Clase C

CREACIÓN DE SUBREDES

Debemos recordar que la posición del 0 entre los primeros tres bits del primer octeto determinan la clase de red que poseemos.

Clase A 011

Clase B 101

Clase C 110

Las máscaras de subred en binario serán las siguientes.

<i>Clase</i>	<i>Definición Máscara lógica N=red; h=host</i>	<i>Máscara de la subred en binario</i>
A	NNNNNNNN.hhhhhhhh.hhhhhhhh.hhhhhhhh..	11111111.00000000.00000000.00000000
B	NNNNNNNN.NNNNNNNN.hhhhhhhh.hhhhhhhh	11111111.11111111..00000000.00000000
C	NNNNNNNN.NNNNNNNN.NNNNNNNN.hhhhhhhh	11111111.11111111.11111111..00000000

En la asignación de subredes tomamos prestados bits que pertenecen al host para crear más identificadores de red.

Los pasos para la creación de la subred son los siguientes: Supongamos que tenemos la siguiente dirección Clase B: 127.250.0.0. La máscara de subred por defecto es 11111111.11111111.00000000.00000000

1. Determinamos la cantidad de subredes que necesitamos. Por ejemplo 5 subredes.
2. Utilizamos la cantidad de bits necesaria para esta número. Para 5 subredes con 2 bits no alcanza ($2^2=4$), por eso tomo 3 bits ($2^3=8$).
3. Nuestro tercer octeto para la máscara de subred binaria será: 11100000.
4. Lo convertimos a decimal: 224
5. Así la máscara para subred nos queda 255.255.224.0.

Podemos observar que tendremos $2^3=8$ subredes y una cantidad de hosts para cada subred de dos elevado a la cantidad de 0 que me quedan en este caso 13. Por lo tanto $2^{13}=8192$ host para cada subred. Como en cada subred hay un número de subred y otro de

broadcast entonces habrá efectivamente $8192-2=8190$ hosts para asignar direcciones.

RUTEO

En una red física, el ruteo selecciona un camino por el que se debe enviar un datagrama. El algoritmo de ruteo IP debe ver cómo enviar un datagrama pasando por muchas redes físicas. Una red de redes se compone de muchas redes físicas interconectadas por **routers**. Cada router tiene conexiones directas hacia 2 ó más redes. Tanto los routers como los hosts participan en el ruteo de datagramas IP que viajan a su destino. Cuando una aplicación en un host intenta comunicarse, los protocolos TCP/IP generan uno o más datagramas IP. El host debe tomar una decisión de ruteo cuando elige a donde enviar los datagramas. Los routers también toman decisiones de ruteo IP.

La transmisión de un datagrama IP entre dos máquinas dentro de una misma red física no involucra routers. El transmisor encapsula el datagrama dentro de una trama física, transforma la dirección IP de destino en una dirección física de hardware y envía la trama resultante directamente a su destino.

El algoritmo usual de ruteo IP emplea una tabla de ruteo Internet en cada máquina que almacena información sobre posibles destinos y sobre cómo alcanzarlos. Debido a que tanto los routers como los hosts rutean datagramas, ambos tienen tablas de ruteo IP.

Generalmente una tabla de ruteo contiene pares (N,R), donde N es la dirección IP de una red de destino y R la dirección IP del siguiente router en el camino hacia la red N. Por lo tanto, la tabla de ruteo en el router R sólo especifica un paso a lo largo del camino de R a su red de destino. O sea que el router no conoce el camino completo hacia el destino. Todos los routers de la tabla de ruteo de la máquina M deben residir en las redes con las que M se conecta de manera directa. Cuando un datagrama está listo para dejar M, el software IP localiza la dirección IP de ruteo, seleccionando un router para que se pueda alcanzar directamente.

Para ocultar información, mantener reducidas las tablas de ruteo y tomar las decisiones de ruteo de manera eficiente, el software de ruteo IP sólo puede guardar información sobre las direcciones de las redes destino, no sobre las direcciones de hosts individuales.

PROTOCOLO ARP

El protocolo ARP (Address Resolution Protocol) permite que un host encuentre la dirección física de otro host dentro de la misma red física con sólo proporcionar la dirección IP de destino. Todas las máquinas de la red reciben esta dirección y la que la tiene responde a la que la envió. Una ventaja de esto, es que las máquinas pueden asociar direcciones sin tener un registro permanente de asignaciones. Por ejemplo en una LAN es difícil mantener la correspondencia entre las direcciones IP y las direcciones de LAN. El protocolo ARP permite que una máquina haga un broadcast para preguntar que dirección local pertenece a alguna dirección IP. De esta manera no se necesita una tabla de asignación, lo que simplifica la administración.

PROTOCOLO DE MENSAJES DE CONTROL ICMP

Proporciona un medio para transferir mensajes desde los dispositivos de encaminamiento y otros computadores a un computador. En esencia, ICMP proporciona información de realimentación sobre problemas del entorno de la comunicación. Algunas situaciones donde se utiliza son: cuando un datagrama no puede alcanzar su destino, cuando el dispositivo de encaminamiento indica a una estación que envíe el tráfico por otra ruta más corta. En la mayoría de los casos, el mensaje ICMP se envía, en respuesta de un datagrama, bien por un dispositivo de encaminamiento en el camino del datagrama o por el computador destino deseado.

PROTOCOLO DE TRANSPORTE

La capa de transporte proporciona un mecanismo para intercambiar datos entre sistemas finales. El servicio de transporte orientado a conexión asegura que los datos se entregan en orden y sin pérdidas ni duplicaciones. Un protocolo de la capa de transporte puede ser orientado a conexión como TCP o no orientado a conexión como UDP. El primero es más seguro ofreciendo direccionamiento, multiplexación, control de flujo, establecimiento y cierre de conexión y control de congestión. UDP es no seguro; la entrega y control de duplicados no está garantizada. En

contrapartida reduce la información suplementaria del protocolo.

Para tener éxito en la transmisión; cada sistema global debe tener una única dirección. En realidad se necesitan dos niveles de direccionamiento. Cada computador en la red debe tener una única dirección de internet que permita enviar los datos al computador adecuado. Además cada proceso que se ejecute dentro de un computador en red debe tener a su vez una dirección única dentro del mismo (a esto se le llama puerto). Esto permite a TCP entregar los datos al proceso adecuado. El número de puerto destino estará en la cabecera TCP (también el de origen). A nivel IP esto no es visible. (Ver libro pág. 587 figura 17.11 y pág. 600 figura 17.15)

FIN DEL APUNTE

BIBLIOGRAFÍA

- Apunte teórico de la cátedra de Seminario de Redes (Facultad de informática -UNLP) año 2003.
- Apuntes adicionales.
- “Comunicación y Redes de Computadores” Sexta edición. Willam Stallings. Editorial Prentice Hall.