

# Apuntes de Redes - 2º curso de Ingeniería Técnica Informática

Versión 1.0

12 de junio de 2006

# Índice general

<b>1. Introducción a las redes de computadores</b>	<b>4</b>
1.1. Un modelo para las comunicaciones . . . . .	4
1.1.1. Modelo para las comunicaciones de datos . . . . .	4
1.1.2. Problemática de la comunicación de datos . . . . .	4
1.1.3. Definición de telemática . . . . .	5
1.2. Comunicación de datos a través de redes . . . . .	5
1.2.1. Objetivos de las redes de computadores . . . . .	6
1.2.2. Estructura y clasificación de las redes . . . . .	6
1.3. Protocolos y arquitectura de protocolos . . . . .	7
1.3.1. Modelo de tres capas . . . . .	8
1.3.2. La arquitectura de protocolos TCP/IP . . . . .	9
1.3.3. El modelo OSI ( <i>Open Systems Interconnection</i> ) . . . . .	9
1.4. Normalizaciones . . . . .	10
1.4.1. Organizaciones de normalización . . . . .	10
<b>2. Transmisión de datos y teoría de la información</b>	<b>11</b>
2.1. Conceptos y definiciones básicas . . . . .	11
2.1.1. Elementos de un sistema de comunicación . . . . .	11
2.1.2. Teoría de señales y comunicación de datos . . . . .	12
2.1.3. Representación en el dominio de la frecuencia . . . . .	12
2.1.4. Ancho de banda y su efecto sobre la transmisión . . . . .	12
2.1.5. Relación entre la velocidad de transmisión y el ancho de banda . . . . .	13
2.2. Transmisión de datos analógicos y digitales . . . . .	13
2.3. Perturbaciones en la transmisión . . . . .	13
2.3.1. Atenuación y distorsión de la atenuación . . . . .	14
2.3.2. Distorsión de retardo . . . . .	14
2.3.3. Ruido . . . . .	14
2.4. Capacidad del canal . . . . .	14
<b>3. Modulación y demodulación de señales</b>	<b>15</b>
3.1. Introducción . . . . .	15
3.2. Datos digitales . . . . .	15
3.2.1. Señales digitales . . . . .	15
3.2.2. Señales analógicas . . . . .	18
3.3. Datos analógicos . . . . .	19
3.3.1. Señales digitales . . . . .	19
3.3.2. Señales analógicas . . . . .	19

<b>4. Multiplexación</b>	<b>21</b>
4.1. Introducción . . . . .	21
4.2. Multiplexación por división en frecuencias . . . . .	21
4.3. ADSL . . . . .	21
4.4. Multiplexación por división en el tiempo síncrona . . . . .	22
4.4.1. Sistemas con portadora digital . . . . .	23
4.5. Multiplexación por división en el tiempo estadística . . . . .	23
<b>5. Arquitectura de redes de computadores</b>	<b>25</b>
5.1. Introducción . . . . .	25
5.2. Objetivos de las redes . . . . .	25
5.3. Estructura de red . . . . .	26
5.4. Protocolos . . . . .	26
5.5. Arquitectura de protocolos . . . . .	26
5.5.1. Arquitectura OSI . . . . .	27
5.5.2. Arquitectura TCP/IP . . . . .	27
<b>6. El nivel físico</b>	<b>29</b>
6.1. Introducción . . . . .	29
6.2. Transmisión analógica . . . . .	30
6.2.1. La recomendación ITU-T V.24 . . . . .	30
6.3. Transmisión digital . . . . .	31
6.3.1. Interfase digital X.21 . . . . .	31
6.4. Conmutación . . . . .	31
6.5. Gestión de terminal . . . . .	33
<b>7. Redes de área local</b>	<b>34</b>
7.1. Introducción . . . . .	34
7.2. Protocolos Aloha . . . . .	34
7.3. Protocolos de red de área local . . . . .	34
7.4. Norma IEEE 802 para redes de área local . . . . .	36
7.4.1. Norma IEEE 802.3: Ethernet . . . . .	37
7.4.2. Norma IEEE 802.4: Paso de testigo en bus . . . . .	39
7.4.3. Norma IEEE 802.5: Paso de testigo en anillo . . . . .	40
7.5. Redes de fibra óptica . . . . .	42
7.6. Redes de satélites . . . . .	42
<b>8. Nivel de enlace de datos</b>	<b>43</b>
8.1. Introducción . . . . .	43
8.2. Protocolos elementales de nivel 2 . . . . .	43
8.2.1. Unilateral no restringido . . . . .	43
8.2.2. Unilateral de parada y espera . . . . .	44
8.2.3. Unilateral para un canal ruidoso . . . . .	44
8.2.4. De ventana deslizante . . . . .	46
8.3. Protocolos orientados a carácter . . . . .	47
8.4. Protocolos orientados a bit . . . . .	47
8.4.1. Protocolo HDLC . . . . .	48
<b>9. Nivel de red</b>	<b>51</b>
9.1. Introducción . . . . .	51
9.2. Servicios proporcionados a la capa de transporte . . . . .	51
9.3. Organización interna de la capa de red . . . . .	51
9.4. Encaminamiento o <i>routing</i> . . . . .	52

9.4.1. Encaminamiento por el camino más corto . . . . .	52
9.4.2. Encaminamiento Centralizado . . . . .	52
9.4.3. Encaminamiento Aislado . . . . .	53
9.4.4. Inundación . . . . .	53
9.4.5. Encaminamiento Distribuido . . . . .	53
9.5. Control de la congestión . . . . .	54
9.5.1. Algoritmos de control de la congestión . . . . .	54
9.6. Interconexión de redes . . . . .	54
<b>10.Arquitectura de la red Internet</b>	<b>55</b>
10.1. Introducción . . . . .	55
10.2. Organización en capas . . . . .	55
10.3. La capa Internet y el protocolo IP . . . . .	55
10.4. La Capa de transporte y los protocolos TCP y UDP . . . . .	57
10.4.1. El protocolo TCP . . . . .	57
10.4.2. El protocolo UDP . . . . .	57

# Capítulo 1

## Introducción a las redes de computadores

### 1.1. Un modelo para las comunicaciones

#### 1.1.1. Modelo para las comunicaciones de datos

El objetivo de un sistema de comunicaciones es intercambiar información entre dos entidades. En este intercambio intervienen varios elementos: fuente, transmisor, medio de transmisión, receptor y destino.

La fuente sería el emisor propiamente dicho, el transmisor sería el mecanismo por el cual llega al canal de transmisión, y a través de éste se alcanzaría el receptor, que transmitiría la información al destino. En la comunicación de datos a través de una red, la fuente y el destino podrían ser dos máquinas, el transmisor y el receptor serían los modems que utilizan para conectarse, y el medio sería la red telefónica.

#### 1.1.2. Problemática de la comunicación de datos

Cuando surge la necesidad de comunicarse con otro ordenador para compartir información y recursos de manera sencilla y eficiente, se ha de elegir el medio de transmisión (cable metálico, fibra óptica, radio...), el tipo de señal (digital o analógica) y la modulación y codificación (AM, FM, Manchester, bipolar RZ, etc.). También se debe decidir cómo es la transmisión: simplex (sólo se puede transmitir en un sentido), half-duplex (en ambos sentidos, pero sólo uno al mismo tiempo) o duplex (en ambos sentidos a la vez). Otra característica es la preferencia de transmisión, existiendo un maestro y esclavos o teniendo todos la misma. En el caso de que se quisiera construir una red local, se debería especificar la topología de la red (estrella, anillo, bus...) y controlar dónde irían dirigidos los datos a través de direcciones de enlace.

Cuando dos equipos quieren transmitir al mismo tiempo, se produce una colisión. Si transmiten a distinta velocidad, hay que realizar un control del flujo, de forma que se igualen. Por otra parte, se pueden producir errores en la transmisión, debido a:

- Ruidos térmicos (o ruido blanco): Es el ruido producido por el movimiento de los electrones en los elementos integrantes de los circuitos, tales como conductores, semiconductores, tubos de vacío, etc. El ruido blanco se caracteriza por el hecho de que su valor en dos momentos cualesquiera no es correlativo, y está uniformemente distribuido en el espectro de frecuencias.

- Interferencias en radio-enlaces (diafonía): Entre dos circuitos existe diafonía cuando parte de las señales presentes en uno de ellos, considerado perturbador, aparece en el otro, considerado perturbado.
- Ruidos inducidos por relés o ecos.
- Pérdidas de sincronismo en transmisiones digitales.

Éstos se pueden detectar a través de varios mecanismos, como:

- Adición de información redundante.
- CRC (Códigos de Redundancia Cíclica): Códigos basados en el uso de un polinomio generador  $G(X)$  de grado  $r$ , y en el principio de que  $n$  bits de datos binarios se pueden considerar como los coeficientes de un polinomio de orden  $n-1$ .
- Bits de paridad: Especifican si la cantidad de bits con valor 1 de la palabra es par o impar.

Los errores se pueden tratar de diversas formas: corrigiéndolos en el receptor, pidiendo la retransmisión al emisor, anulando la comunicación...

En lo relativo a las redes de área extensa (WAN), sería imposible montar una red única a nivel mundial. Por ello, se forman redes locales interconectadas de diferentes empresas, a través de repetidores, puentes (bridges), routers, gateways, etc. La organización ISO se encarga de compatibilizar y establecer un sistema de direccionamiento único a nivel mundial. También es necesaria una conversión a una sintaxis común para permitir, por ejemplo, la comunicación entre Mac y PC.

El envío de datos se realiza dividiendo los mensajes en paquetes, que viajan entre nodos interconectados que reciben datos, los almacenan y los retransmiten al nodo vecino que consideren más oportuno según sea el destino de los datos, utilizando para ello un algoritmo de encaminamiento o *routing*. Si un nodo se satura o se cae, se deben proporcionar mecanismos para que los datos lleguen a su destino y que no se bloquee la red. Para adaptarse a los cambios de tráfico, la red debe disponer de algoritmos denominados de “encaminamiento adaptativo dinámicamente”. Además, la red debe proporcionar un nivel de errores o de retardo de datos lo más bajo posible, puesto que, en caso contrario, se haría imposible la comunicación.

En cuanto a seguridad, se deben evitar lecturas por personal no autorizado (mediante algoritmos de codificación), detectar posibles adulteraciones de los datos, permitir el envío de documentos firmados digitalmente...

### 1.1.3. Definición de telemática

La telemática es la ciencia-ingeniería de la inter-operación entre procesos para la accesibilidad remota y distribución de la información codificada utilizando sistemas de telecomunicación. Es una ciencia porque busca el conocimiento de las cosas por sus principios y causas, y una ingeniería porque acumula conocimientos y técnicas que permiten aplicar el saber científico al uso de la materia y de las fuentes de energía mediante invenciones útiles para el hombre.

## 1.2. Comunicación de datos a través de redes

Normalmente no es práctico realizar un enlace punto a punto, porque los dispositivos están muy alejados y se necesitarían un gran número de conexiones. Por ello, se conectan

a una red de comunicación. En una red de computadoras, los ordenadores son autónomos (no necesitan de ningún otro ordenador para operar), pero están interconectados (intercambian información).

### 1.2.1. Objetivos de las redes de computadores

Son los siguientes:

- Compartir recursos (archivos, datos, programas, CPU) y permitir acceso a la información, con independencia de la localización del usuario y o el recurso.
- Mejorar la fiabilidad ante fallos (por ejemplo, en una CPU), duplicando ficheros o mediante copias de seguridad.
- Ahorro.
- Expansibilidad.
- Servir como medio de comunicación.
- Permitir las comunicaciones interpersonales.
- Diversión interactiva.

### 1.2.2. Estructura y clasificación de las redes

Los criterios de clasificación utilizados son dos:

- Por tecnología de transmisión:
  - Redes multidifusión (*broadcast*): Existe un canal común para varios ordenadores, y la información se divide en paquetes, en los que se incluye la información sobre el destino. El broadcasting consiste en enviar mensajes a todos los ordenadores, el multicasting a varios simultáneamente.
  - Redes punto a punto (*point-to-point*): Se realizan conexiones entre pares de ordenadores o dispositivos, y para alcanzar el destino los paquetes deben pasar por máquinas intermedias, en las que se almacenan temporalmente.
- Por escala:
  - WAN (*Wide Area Network*): Está compuesta por hosts (un conjunto de máquinas de usuario) y una subred que los comunica. Esta subred se compone de líneas de transmisión y elementos de conmutación (IMP) donde se almacenan temporalmente los datos. Para transferirlos, se utilizan algoritmos de encaminamiento.  
Estas redes ocupan una extensa área geográfica, y requieren atravesar rutas de acceso público. Por ello, utiliza circuitos de proveedores de servicios de telecomunicación.  
Se ha implementado con diferentes tecnologías:
    - Conmutación de circuitos: Camino de comunicaciones dedicado a la interconexión de dos estaciones.
    - Conmutación de paquetes: Datos enviados en secuencias de pequeñas unidades (paquetes) de información, que se pasan de nodo a nodo. Se usa para comunicaciones terminal-computador y computador-computador.

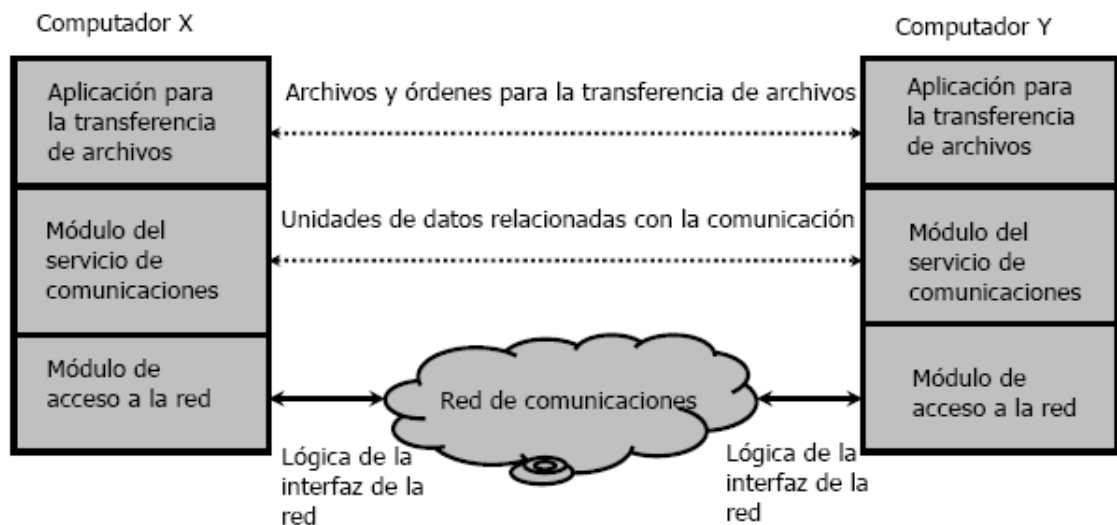
- Retransmisión de tramas (*Frame Relay*): Mejora de las técnicas de conmutación de paquetes convencionales en la que, para compensar los errores, se utiliza información redundante y el procesamiento asociado en los esquemas de conmutación. En los sistemas actuales de comunicaciones casi se pueden eliminar, tratando los errores en el sistema final.
- Modo de Transferencia Asíncrono (ATM): Evolución de la retransmisión de tramas. Introduce poca información adicional para el control de errores, y los paquetes (celdas) tienen longitud fija. Ofrecen velocidades de transmisión constantes desde 10 Mbps.
- RDSI (Red digital de servicios integrados): Diseñada para sustituir a las redes públicas de telecomunicaciones, ofrece gran variedad de servicios. Dominio digital en su totalidad.
- LAN (*Local Area Network*): Ofrecen cobertura a edificios o conjunto de edificios próximos. Necesitan de un mecanismo de control de acceso al medio (MAC), y no se suelen utilizar mecanismos de interconexión de redes ni nodos intermedios. Poseen una mayor capacidad de transmisión de datos y usan sistemas de difusión. Recientemente se han introducido sistemas de conmutación y ATM.

### 1.3. Protocolos y arquitectura de protocolos

Un protocolo es un conjunto de reglas que gobiernan el intercambio de información entre dos entidades (aplicaciones para usuarios, correo electrónico, terminales...). En un protocolo se deben tener en cuenta:

- La sintaxis: El formato de los datos y los niveles de señal.
- La semántica: La información de control y el manejo de errores.
- La temporización: La sintonización de velocidades y la secuenciación.

Una arquitectura de protocolos es una estructura formada por los módulos que realizan las funciones de comunicación entre entidades. Simplificada podría ser como la siguiente:



### 1.3.1. Modelo de tres capas

Las comunicaciones involucran a tres agentes: aplicaciones, computadores y redes; y se organizan en tres capas (que se muestran en la figura en la parte inferior de la página):

- Capa de acceso a la red: Dependiente del tipo de red, intercambia los datos entre el computador y ésta. El computador emisor proporciona a la red la dirección de destino.
- Capa de transporte: Capa común compartida por todas las aplicaciones, independiente de la naturaleza de éstas y de la red que se use, que permite un intercambio seguro en el que todos los datos llegan al destino en el mismo orden en que se enviaron.
- Capa de aplicación: Admite varias aplicaciones de usuario (correo, navegador...), y para cada tipo de éstas se necesita un módulo independiente

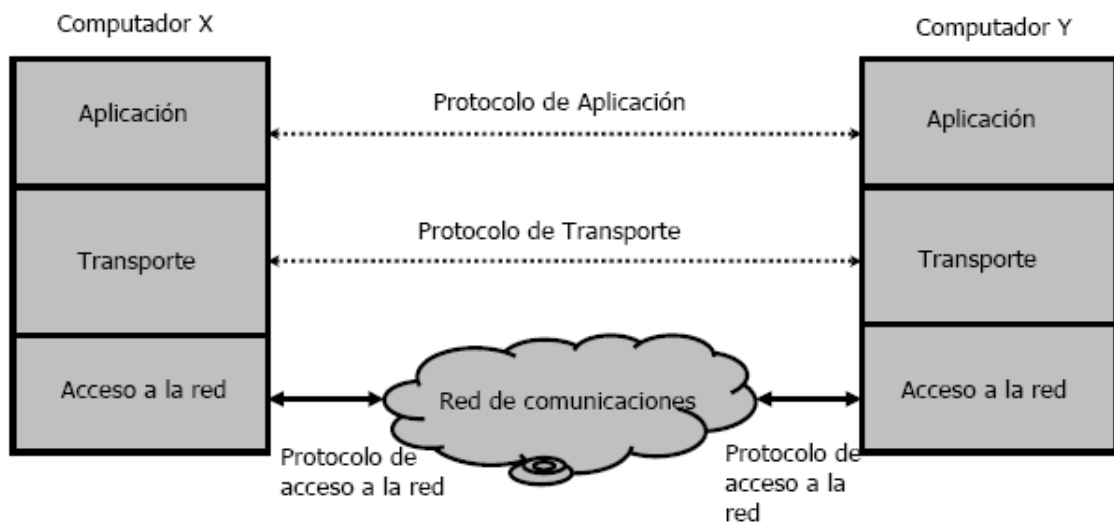
En una red existen dos modos de direccionamiento: el punto de acceso al servicio (SAP), que interactúa con las capas de transporte y aplicación, y la dirección de red, que permite el acceso a ésta.

En cada capa, se añade información de control a los datos del usuario. Además, la capa de transporte puede fragmentarlos. Cada fragmento tendrá una cabecera de transporte:

- SAP (Service Access Point) de destino.
- Número de secuencia de las PDU de transporte.
- Código de detección de errores.

Como resultado, se obtiene una unidad de datos de transporte de protocolos o PDU, al que se le añade la cabecera de acceso a la red, que contiene:

- La dirección del computador destino.
- Solicitud de recursos.



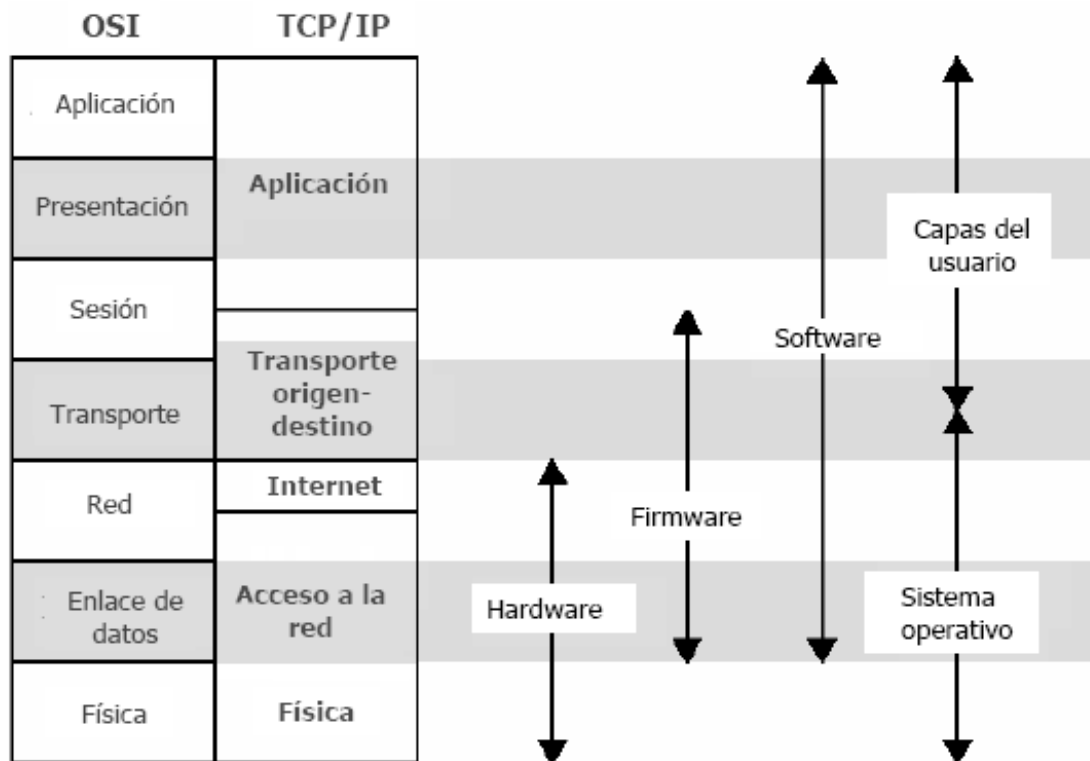
### 1.3.2. La arquitectura de protocolos TCP/IP

Fue desarrollada en ARPANET y financiada por la Agencia DARPA, convirtiéndose en el estándar de Internet. No existe un modelo oficial, pero sí funcional, formado por las siguientes capas, del más “alto” al más “bajo” nivel:

- Capa de aplicación: Posibilita las distintas aplicaciones de usuario.
- Capa origen-destino o de transporte: Permite un intercambio seguro en el que todos los datos llegan al destino en el mismo orden en que se enviaron.
- Capa Internet: Los dispositivos pueden estar conectados a redes diferentes, por lo que se realiza un encaminamiento. Este protocolo se implementa tanto en los sistemas finales y como en los routers intermedios.
- Capa de acceso a la red: Intercambia los datos entre el sistema final y la red a la que se está conectado. Debe proporcionar a la red la dirección de destino, e implica ciertos servicios, como solicitar una determinada prioridad.
- Capa física: Interfaz física entre el dispositivo de transmisión de datos y la red. Es necesario especificar las características del medio de transmisión, la naturaleza de las señales, la velocidad de datos, etc.

### 1.3.3. El modelo OSI (*Open Systems Interconnection*)

Fue desarrollado por la Organización Internacional de Estandarización (ISO), pero su modelo de siete capas en su conjunto no ha prosperado y la arquitectura TCP/IP se ha erigido como dominante.



## 1.4. Normalizaciones

Son necesarias para conseguir la interoperabilidad entre equipos, permitiendo que los productos de diferentes fabricantes se comuniquen.

Las desventajas son que tienden a congelar la tecnología y que pueden existir varios estándares para una misma función.

### 1.4.1. Organizaciones de normalización

La IEFT (*Internet Engineering Task Force*) es la responsable del desarrollo e ingeniería de los protocolos.

La ISO (*International Organization for Standardization*) es la agencia internacional para el desarrollo de normalizaciones.

La ITU-T (*International Telecommunications Union*) estudia y define recomendaciones de cuestiones técnicas, tecnológicas, de operación y tarificación para normalizar las telecomunicaciones a nivel mundial.

El Forum ATM acelera el procedimiento de elaboración de normas para ATM.

## Capítulo 2

# Transmisión de datos y teoría de la información

### 2.1. Conceptos y definiciones básicas

#### 2.1.1. Elementos de un sistema de comunicación

En un sistema de comunicación, como se ha visto en el tema anterior, intervienen diversos elementos:

- Origen: Genera el mensaje.
- Transductor de entrada: Convierte el mensaje de entrada a una señal física (señal en banda-base).
- Transmisor: Adecúa la señal para su transmisión.
- Canal: Medio físico de transmisión. En la transmisión la señal se contamina con ruido.
- Receptor: deshace las operaciones efectuadas por el transmisor. La señal recibida es la transmitida distorsionada más la señal ruido.
- Transductor de salida: Reconvierte el mensaje a su forma original.
- Destino: Procesa el mensaje recibido.

Los mensajes pueden ser digitales (conformados en base a un alfabeto de símbolos discretos) o analógicos (formados en base a valores continuos). En estos últimos, la forma de onda varía continuamente con el valor del mensaje.

Como ventajas, los mensajes digitales presentan las siguientes:

- Robustez: Son más robustos frente a los efectos del canal porque la información no está codificada en la forma de onda sino en la existencia o no de un pulso.
- Regeneración: Se regeneran en los repetidores. Se puede reconstruir la forma original de los pulsos a lo largo del canal, y eliminar el efecto acumulativo de la distorsión y ruido del canal.

En cuanto a los medios de transmisión, pueden ser guiados (como los pares trenzados o la fibra óptica) o no (como el aire).

Los tipos de enlace pueden ser:

- Directo: Sin dispositivo intermedio.
- Punto a punto: Enlace directo entre sólo dos dispositivos.
- Multipunto: El mismo medio es compartido por más de dos dispositivos.

En lo relativo a sentido de la transmisión, se pueden clasificar en:

- Simplex: Un único sentido.
- Half-duplex: Ambas estaciones pueden transmitir, pero no simultáneamente.
- Full-duplex: Ambas estaciones pueden transmitir al mismo tiempo.

### 2.1.2. Teoría de señales y comunicación de datos

Las señales pueden ser continuas o discretas (según varíen suavemente en el tiempo o no), periódicas o no periódicas (según se repitan cada cierto intervalo o no). Un tipo destacable de onda es la sinusoidal, cuyas características se citan a continuación:

- Amplitud de pico (A): Valor máximo de la señal, medido en voltios.
- Frecuencia (f): Razón a la que la señal se repite, medida en Hertzios (Hz) o ciclos por segundo.
- Período (T): Tiempo transcurrido entre dos repeticiones consecutivas de la señal. Es el inverso de la frecuencia.
- Fase (φ): Posición relativa de la señal dentro de un período.
- Longitud de onda (λ): Distancia que ocupa un ciclo. Si una señal se propaga a una velocidad  $v$ :  $\lambda = vT$  y  $\lambda f = v$ .

La transmisión de información se realiza a través de variaciones de tensiones o corrientes, analizándose éstas (dominio del tiempo) o descomponiéndose las señales en componentes de diferentes frecuencias (dominio de la frecuencia), lo que se denomina “análisis de Fourier”.

### 2.1.3. Representación en el dominio de la frecuencia

En el dominio de la frecuencia intervienen varios conceptos:

- La señal puede estar compuesta de muchas frecuencias.
- Los componentes son ondas sinusoidales. Se puede demostrar, usando el análisis de Fourier, que cualquier señal está constituida por componentes sinusoidales.
- Se pueden expresar funciones en el dominio de la frecuencia.

### 2.1.4. Ancho de banda y su efecto sobre la transmisión

El espectro es el conjunto de frecuencias que constituyen una señal. Su anchura se denomina “ancho de banda absoluto (BW absoluto)”. El ancho de banda efectivo (BW) es la banda de frecuencias que contiene la mayor parte de energía. La componente continua (DC) es la componente de frecuencia cero.

### 2.1.5. Relación entre la velocidad de transmisión y el ancho de banda

Un sistema de transmisión sólo puede transferir una banda limitada de frecuencias, lo que limita la velocidad de transmisión máxima en el medio. El ancho de banda unas veces viene impuesto por el medio, otras por los equipos y otras por regulaciones administrativas. Se debe distinguir entre el ancho de banda de la señal (la banda de frecuencias con más energía) y del sistema (la banda que puede transferir).

## 2.2. Transmisión de datos analógicos y digitales

Los datos son entidades capaces de transportar información. Pueden ser analógicos (con valores en algún intervalo continuo) o digitales (con valores discretos).

Las señales son representaciones eléctricas o electromagnéticas de datos. Pueden ser analógicas (si varían continuamente) o digitales (se usan N niveles de tensión constante). Normalmente, se usan señales analógicas para representar datos analógicos, y señales digitales para representar datos digitales, aunque los datos digitales se pueden representar mediante señales analógicas (con modems) y los datos analógicos se pueden representar mediante señales digitales (en un CD, por ejemplo).

La transmisión es la comunicación de datos mediante la propagación y el procesamiento de señales.

- Transmisión analógica: Los datos pueden ser analógicos o digitales. Se debilita con la distancia. Incluye amplificadores que inyectan energía a la señal, pero también se amplifica el ruido.
- Transmisión digital: Depende del contenido de la señal. Para compensar la atenuación, el ruido y otros aspectos negativos, se usan repetidores que regeneran el patrón. Algunas ventajas de la transmisión digital son:
  - Uso de tecnología digital, que disminuye el coste en las tecnologías LSI/VLSI.
  - Los datos se pueden transmitir a distancias mayores con líneas de menor calidad.
  - El tendido de líneas de transmisión de banda ancha es económico, y la multiplexación más fácil.
  - Se pueden usar técnicas de encriptación.
  - El tratamiento de datos analógicos y digitales es similar.
  - Ruido no acumulativo.

## 2.3. Perturbaciones en la transmisión

La señal que se recibe puede diferir de la señal transmitida, por una degradación de la calidad de la señal en las analógicas o por bits erróneos en las digitales. Las perturbaciones más significativas son las que se tratan a continuación.

### 2.3.1. Atenuación y distorsión de la atenuación

La energía de la señal decae con la distancia. La señal recibida debe tener suficiente energía para ser detectada y conservar un nivel suficientemente mayor que el ruido. La energía disminuye en razón inversa al cuadrado de la distancia transmitida. Además, los agentes atmosféricos atenúan mucho la señal, por ejemplo, las variaciones de temperatura y humedad.

### 2.3.2. Distorsión de retardo

Consiste en la diferencia de velocidad de propagación en función de la frecuencia. Sólo se da en los medios guiados.

### 2.3.3. Ruido

Está compuesto por señales adicionales que se insertan entre el emisor y el receptor. El ruido puede ser de varios tipos:

- Ruido térmico o ruido blanco: Se debe a la agitación térmica de los electrones. Está uniformemente distribuido.
- Ruido de intermodulación: Se produce cuando las señales están a frecuencias que son suma o diferencia de las dos frecuencias originales que comparten el mismo medio.
- Diafonía: Acoplamiento entre las líneas que transportan las señales.
- Ruido impulsivo: Pulsos o picos irregulares de corta duración y amplitud grande.
- Eco: Generado por el desacople de impedancias en la línea.

## 2.4. Capacidad del canal

Es la tasa máxima de información que se puede enviar por la línea, medida en bps. Según el criterio de Nyquist, en una señal binaria con ancho de banda  $W$ ,  $C = 2W$  bps, y en una señal con  $M$  valores,  $C = 2W \log_2 M$  bps. Por su parte, Shannon comprobó que la capacidad de un canal con ruido blanco gaussiano viene dada por  $C = W \log_2(1 + \frac{S}{N})$ , siendo  $\frac{S}{N}$  el cociente entre la potencia de la señal y la potencia del ruido.

## Capítulo 3

# Modulación y demodulación de señales

### 3.1. Introducción

La información analógica y digital puede ser codificada mediante señales analógicas y digitales. Al elegir la codificación, se deben tener en cuenta los requisitos, el medio de transmisión y los recursos disponibles. Además, se debe intentar optimizar la transmisión, aprovechando el ancho de banda, sincronizando el emisor y el receptor, y evitando el ruido y los sistemas complejos.

Para interpretar de las señales el receptor debe conocer la duración de cada bit y el nivel para cada uno. La relación entre la señal y el ruido, la velocidad de transmisión y el ancho de banda pueden decidir el éxito o el fracaso de la transmisión.

Para estudiar una técnica de codificación, se tienen en cuenta los siguientes factores:

- Espectro de la señal: La ausencia de componentes a altas frecuencias reduce el ancho de banda requerido (la potencia se concentra en la parte central). La ausencia de componente continua permite su transmisión mediante transformadores acoplados, proporcionando aislamiento eléctrico.

**Nota 1** *Se denomina transformador a un dispositivo electromagnético que permite aumentar o disminuir el voltaje y la intensidad de una corriente alterna de forma que su producto permanezca constante.*

- Sincronización del receptor con el transmisor: La señal de reloj puede ir por separado, o sincronizarse mediante la propia señal transmitida.
- Detección de errores.
- Inmunidad al ruido e interferencias.
- Coste y complejidad: Cuanto mayor es la velocidad de elementos de señal para una velocidad de transmisión dada, mayor es el coste. Algunos códigos implican mayor velocidad de elementos de señalización que de transmisión de datos.

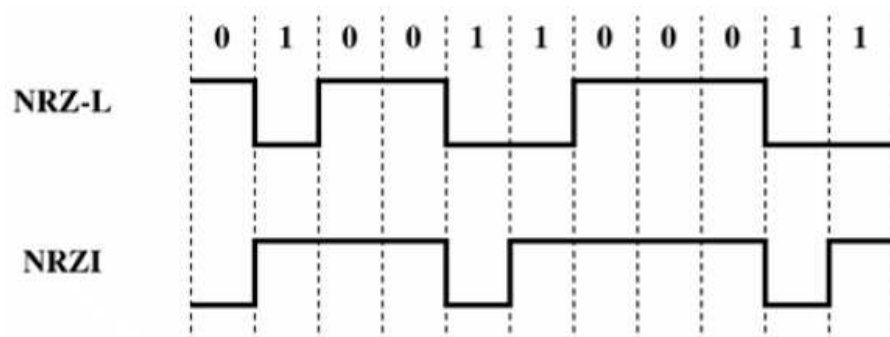
### 3.2. Datos digitales

#### 3.2.1. Señales digitales

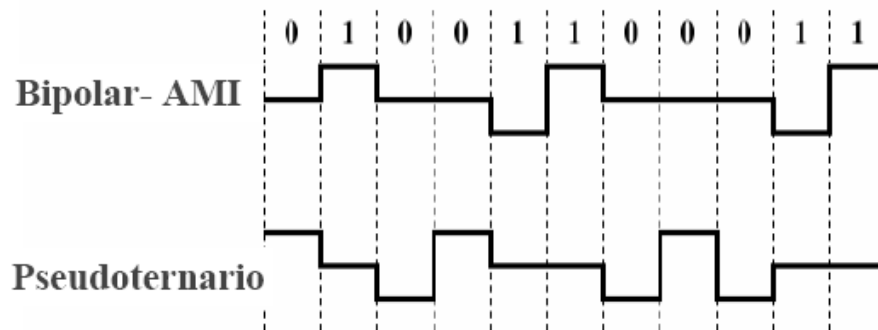
Una señal digital es una secuencia de pulsos discretos y discontinuos. Los datos binarios se transmiten codificando cada bit de datos en estos elementos de señal. Existen

varias alternativas:

- Non Return to Zero (NRZ): Asignan a cada símbolo (bit) un nivel de tensión, que se mantiene constante durante la duración del bit; no hay transiciones (retorno al nivel cero de tensión). Sus ventajas son la facilidad de implementación y el uso eficaz del ancho de banda, pero poseen una componente continua y carecen de capacidad de sincronización. Se suelen usar en las grabaciones magnéticas, no en la transmisión de señales. Existen dos modalidades:
  - NRZ-L (*Non Return to Zero Level*): El cero se representa con el nivel alto de tensión, y el uno con el nivel bajo.
  - NRZI (*Non Return to Zero Invert on Ones*): Se basa en transiciones al principio del intervalo. Para el cero no hay, y para el uno sí. En esta codificación, llamada “diferencial”, los datos se representan por los cambios que se producen, no por los niveles que se establecen. En un sistema complicado de transmisión porque es fácil perder la polaridad de la señal.



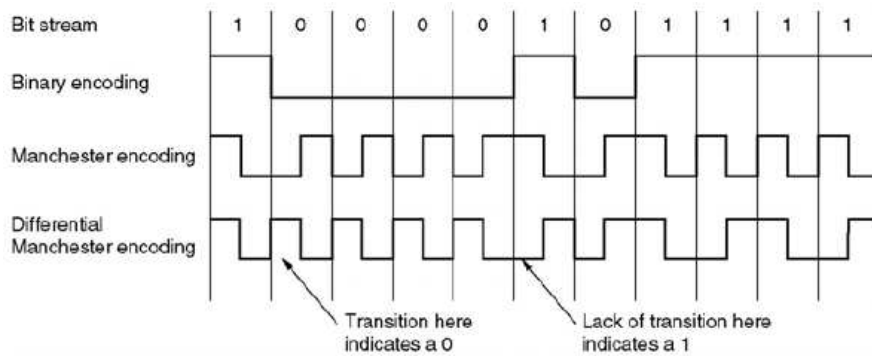
- Binario multinivel: Usan más de dos niveles de señal.
  - Bipolar-AMI (*Alternate Mark Inversion*): Con el cero no hay señal, y con el uno hay un pulso positivo o negativo, que se va alternando. Aunque no habrá problemas de sincronización en cadenas largas de unos, sí en las de ceros. No posee componente continua, y es fácil detectar errores.
  - Pseudoternario: El pulso de polaridad alternante se produce en el cero.



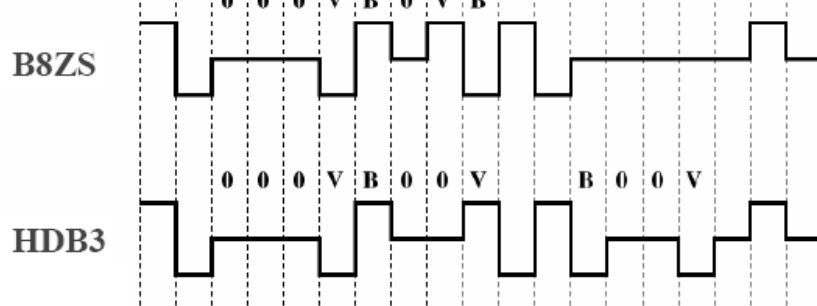
■ Códigos bifase:

- Manchester: Se produce una transición en mitad del intervalo de duración del bit, que sirve como procedimiento de sincronización y de transmisión de datos. En el caso del uno, se pasa de bajo a alto nivel, y el cero, de alto a bajo. Se utiliza en la LAN Ethernet.
- Manchester Diferencial: Esquema de codificación diferencial en el que la transmisión a mitad del intervalo se utiliza sólo para proporcionar sincronización. En el caso del cero, se produce una transición al principio del intervalo, no así en el uno. Se utiliza en la LAN con paso de testigo en anillo.

Como ventajas están la detección de errores y la sincronización gracias a las transiciones (código auto-sincronizado), y que no posee componente continua. Por contra, necesita más ancho de banda porque la velocidad de modulación máxima es el doble que en los NRZ (hay más transiciones).



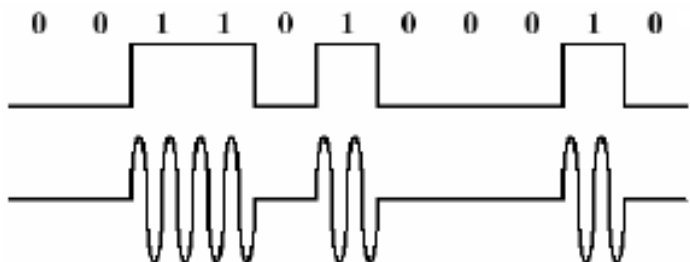
- Técnicas de “Scrambling”: Reemplazan las secuencias largas de tensión nula, que pueden provocar la pérdida de sincronización. La secuencia reemplazada debe tener la misma longitud que la original, y ser reconocida por el receptor. Se evita la componente en continua y la reducción de la velocidad de transmisión de los datos. Poseen cierta capacidad para detectar errores. Hay varias modalidades:
  - B8ZS (*Bipolar With 8-Zeros Substitution*): Se basa en un AMI bipolar (aunque se fuerzan dos violaciones). Si aparece un octeto con todo ceros y el anterior valor a dicho octeto fue positivo, lo codifica como 000+-0-+ . Si fue negativo, como 000-+0+- .
  - HDB3 (*High Density Bipolar-3 Zeros*): Se basa en la codificación AMI, reemplazando las cadenas de cuatro ceros por cadenas que contienen uno o dos pulsos. Si el número de unos desde la última sustitución fue impar, se reemplaza por 000V, y si fue par, por B00V, siendo B la señal bipolar válida y V una violación bipolar.



### 3.2.2. Señales analógicas

Un ejemplo son los sistemas de red telefónica, con un rango de frecuencias de voz entre 300 Hz y 3.400 Hz, que utilizan dispositivos módem (modulador-demodulador). Se utilizan diversas técnicas:

- Desplazamiento de amplitud (ASK, *Amplitude-Shift-Keying*): Los valores binarios se representan mediante dos amplitudes diferentes de la portadora. Es normal que una de las amplitudes sea cero. Es sensible a cambios repentinos de la ganancia, y por ello ineficaz. Se usa típicamente hasta 1.200 bps, en líneas de calidad telefónica, y en fibras ópticas.
- Desplazamiento de frecuencia (FSK, *Frequency-Shift-Keying*): Los valores se representan mediante frecuencias diferentes próximas a la de la portadora. Es menos sensible a errores que ASK, pero también se usa en líneas de alta calidad telefónica. De todas formas, puede emplearse en transmisiones de radio a más altas frecuencias, y en redes de área local que utilicen cable coaxial.
- Desplazamiento de fase (PSK, *Phase-Shift-Keying*): La fase de la señal portadora se desplaza para representar los datos. En el PSK diferencial, el desplazamiento en fase es relativo a la fase correspondiente al último símbolo transmitido, en lugar de a alguna constante.



(a) Desplazamiento de amplitud (ASK)

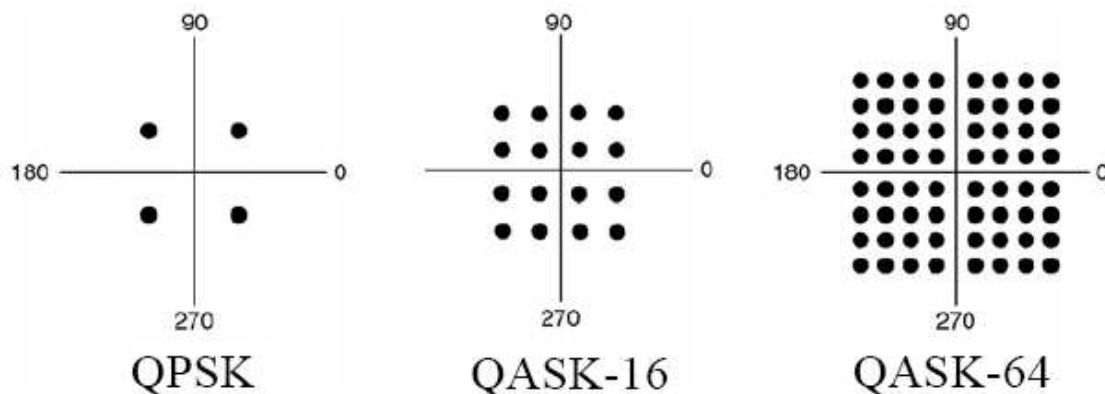


(b) Desplazamiento de frecuencia (FSK)



(c) Desplazamiento de fase (PSK)

- Desplazamiento de fase en cuadratura (QPSK, *Quadrature-Phase-Shift-Keying*): Los desplazamientos de fase corresponden a múltiplos de  $\frac{\pi}{2}$ . Cada elemento de señal representa dos bits, con lo que se puede conseguir una utilización más eficaz del ancho de banda.



### 3.3. Datos analógicos

#### 3.3.1. Señales digitales

La digitalización es la transformación de datos analógicos en señales digitales a través de un codec. Los datos digitales se transmiten usando NRZ-L, y se codifican usando un código diferente.

Existen dos estrategias de digitalización:

- Modulación por impulsos codificados (PCM): Un sistema de  $n$  bits permite  $2^n$  niveles, llegando a una calidad comparable a la de la transmisión analógica. Reduce la distorsión media de la señal, y es una codificación no-lineal (Los niveles de cuantización no están igualmente separados). Según el Teorema de Nyquist:

Si una señal se muestrea a intervalos regulares de tiempo con una frecuencia mayor que el doble de la frecuencia más alta de la señal, las muestras obtenidas contienen toda la información de la señal original.

Por ejemplo, los datos de voz se limitan a frecuencias por debajo de 4.000 Hz en canales telefónicos, por lo que se necesitan 8.000 muestras por segundo, denominadas “muestras PAM” (*Pulse Amplitude Modulation*) y que llevan asignado un código digital. En esta misma transmisión de voz: 8.000 muestras/segundo x 8 bits/muestra = 64 kbps.

- Modulación delta (DM): La entrada analógica se aproxima mediante una función escalera, que en cada intervalo de muestreo sube o baja un nivel de cuantización ( $\delta$ ). Por ello, se dice que posee un comportamiento binario.

#### 3.3.2. Señales analógicas

Las razones para la transmisión de señales analógicas mediante modulación son que permite la multiplexación por división en frecuencias, y que una frecuencia mayor permite una transmisión más efectiva. Los tipos de modulación son AM (en amplitud), FM

(en frecuencias) y PM (en fase).

Por ejemplo, en una red local se usan transmisiones analógicas y digitales para comunicación entre computadores, y las conversiones se realizan mediante modems y codecs.

# Capítulo 4

## Multiplexación

### 4.1. Introducción

El objetivo de la multiplexación es compartir la capacidad de transmisión de datos sobre un mismo enlace para aumentar la eficiencia (sobre todo en líneas de grandes distancias). Esta función está situada entre el nivel de enlace y el nivel físico. Para realizarla, se combina el uso de un multiplexor y un demultiplexor. Al primero llegan  $n$  entradas, que se transmiten a través de una sola salida que va a dar al canal de transmisión. Éste llega hasta el demultiplexor, que transforma esta entrada de nuevo en  $n$  salidas.

### 4.2. Multiplexación por división en frecuencias

Se modula cada señal con portadora distinta y suficientemente separada por una banda de seguridad para no solapar.

**Nota 2 Modular:** *Desplazar una señal de banda base a una banda apropiada para la transmisión conjunta.*

La señal multiplexada se puede multiplexar de nuevo en su conjunto en un nivel jerárquico superior, y el ancho de banda de la señal compuesta será mayor que la suma de las que la compongan. Por contra, se pueden dar varios problemas:

- Diafonía: Solapamientos.
- Intermodulación: Es la distorsión (diferencia entre señal que entra a un equipo y señal que luego sale del mismo) que se produce cuando dos o más señales atraviesan simultáneamente un sistema no lineal.

En la FDM se siguen principalmente 2 normativas: la de AT&T y la ITU-T. La AT&T va desde el grupo, con 12 canales de voz con 4 kHz cada uno (espectro en 60 - 108 kHz), hasta el grupo jumbo multiplexado, con 10800 canales. La ITU-T llega desde el grupo, con 12 canales, hasta el grupo supermaestro, con 900.

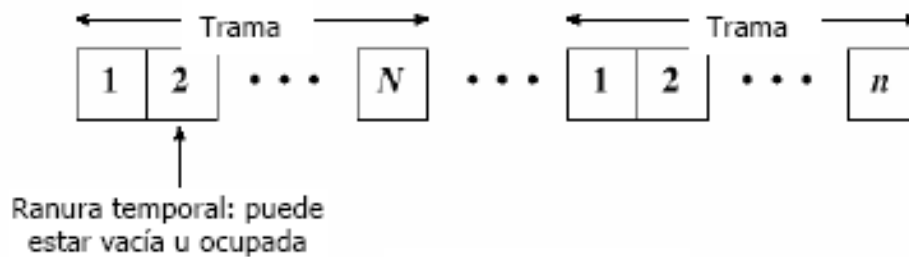
### 4.3. ADSL

El significado de sus siglas es “línea de abonado digital asimétrica”. El enlace entre el abonado y la red se realiza a nivel local, y aprovecha el cable de par trenzado ya instalado con la línea telefónica. Puede transmitir señales con un espectro

muy amplio (1 MHz o más), y permite distancias de hasta 5,5 km. En cuanto al diseño, es asimétrico, permitiendo mayor capacidad de transmisión en el enlace descendente que en el ascendente. La modulación se realiza por división en frecuencias, reservando los 25 kHz inferiores para voz (POTS, *Plain old telephone service*). Utiliza cancelación de eco o de FDM para dar cabida a dos bandas, y en éstas se usa FDM.

#### 4.4. Multiplexación por división en el tiempo síncrona

Sus siglas en inglés son TDM (*Time Division Multiplexing*). Mezcla en el tiempo varias señales digitales, realizando el proceso a nivel de bits o en bloques de octetos. La velocidad de transmisión por el medio excede la velocidad de las señales digitales a transmitir. Los datos se organizan en tramas sin cabeceras (para control de flujo o errores), pero con subdivisiones de tiempo (un bit o un carácter). Las ranuras temporales se preasignan y fijan a las distintas fuentes; se asignan, incluso, si no hay datos (una ranura puede estar vacía), y no se tienen que distribuir de manera igualitaria entre las fuentes.



Para delimitar las tramas se usa un bit de control en cada trama con una combinación predefinida (101010...) que se busca hasta que se consigue la sincronización. Además, a veces se insertan bits en posiciones fijas (a veces relleno, a veces datos). En lo relativo al control del flujo, la velocidad de datos en la línea del multiplexor es fija, y se usan equipos diseñados para esa velocidad. Si un canal receptor no puede recibir datos, los otros lo harán. El control de errores se realiza en cada canal individual.

Entrada<sub>1</sub> ..... F<sub>1</sub> f<sub>1</sub> f<sub>1</sub> d<sub>1</sub> d<sub>1</sub> d<sub>1</sub> C<sub>1</sub> A<sub>1</sub> F<sub>1</sub> f<sub>1</sub> f<sub>1</sub> d<sub>1</sub> d<sub>1</sub> d<sub>1</sub> C<sub>1</sub> A<sub>1</sub> F<sub>1</sub>  
 Entrada<sub>2</sub> .. F<sub>2</sub> f<sub>2</sub> f<sub>2</sub> d<sub>2</sub> d<sub>2</sub> d<sub>2</sub> C<sub>2</sub> A<sub>2</sub> F<sub>2</sub> f<sub>2</sub> f<sub>2</sub> d<sub>2</sub> d<sub>2</sub> d<sub>2</sub> C<sub>2</sub> A<sub>2</sub> F<sub>2</sub>

**Cadenas de datos de entrada**

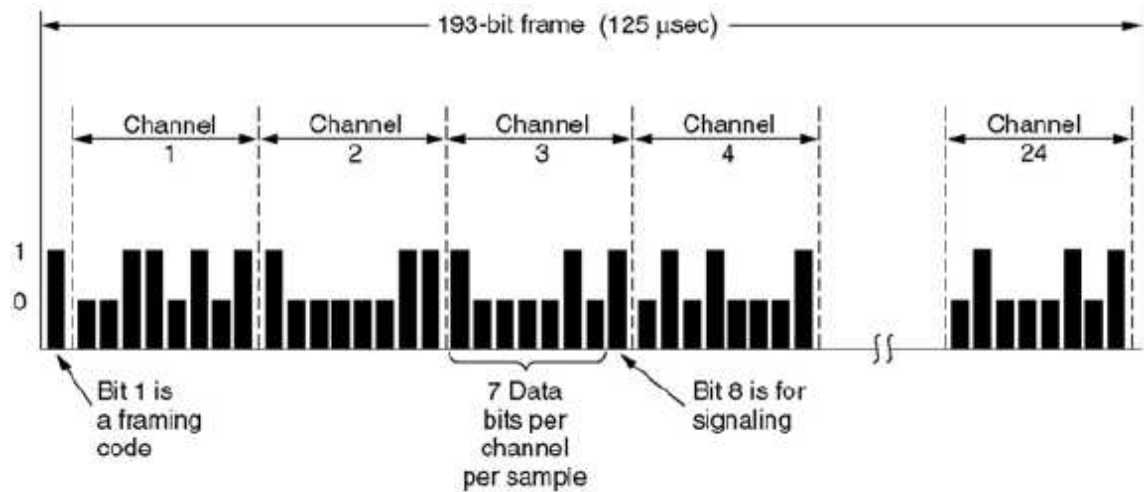
... f<sub>2</sub> F<sub>1</sub> d<sub>2</sub> f<sub>1</sub> d<sub>2</sub> f<sub>1</sub> d<sub>2</sub> d<sub>1</sub> d<sub>2</sub> d<sub>1</sub> C<sub>2</sub> d<sub>1</sub> A<sub>2</sub> C<sub>1</sub> F<sub>2</sub> A<sub>1</sub> f<sub>2</sub> F<sub>1</sub> f<sub>2</sub> f<sub>1</sub> d<sub>2</sub> f<sub>1</sub> d<sub>2</sub> d<sub>1</sub> d<sub>2</sub> d<sub>1</sub> d<sub>2</sub> d<sub>1</sub> C<sub>2</sub> C<sub>1</sub> A<sub>2</sub> A<sub>1</sub> F<sub>2</sub> F<sub>1</sub>

**Cadenas de datos multiplexada**

**Leyenda:** F = campo delimitador      d = un octeto del campo de datos  
 A = campo de direcciones      f = un octeto del campo FCS  
 C = campo de control

#### 4.4.1. Sistemas con portadora digital

Jerarquía de estructuras TDM adoptada en Estados Unidos, Canadá y Japón, donde se multiplexan 24 canales y cada trama contiene un bit de delimitación más 8 bits por canal, en total  $1+24 \times 8=193$  bits por trama. El sistema de Estados Unidos se basa en el formato de transmisión DS-1.



Para transmisiones de voz, cada canal contiene una palabra de datos de voz digitalizada (PCM a una velocidad de 8.000 muestras por segundo).

- La velocidad es de  $8.000 \times 193 = 1.544$  Mbps.
- En cinco de cada seis tramas se utilizan muestras PCM de 8 bits. Cada 6 tramas, cada uno de los canales contiene una palabra PCM de 7 bits más uno de señalización.
- Los bits de señalización forman una secuencia para cada canal de voz que contiene información de control de red y de encaminamiento.
- Formato similar para los datos digitales:
- 23 canales de datos: En cada canal 7 bits por trama más un bit de indicación si hay datos de usuario o de control del sistema.
- El canal 24 es un sync.

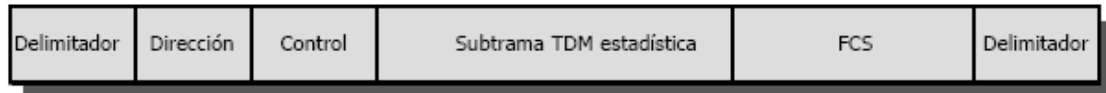
El formato DS-1 se puede usar para transportar una mezcla de canales de voz y de datos. Usa los 24 canales, y no existe octeto sync. En su jerarquía TDM, en el sistema DS-2 se puede mezclar los bits procedentes de entradas DS-1, combinando cuatro entradas en una cadena de 6.312Mbps.

#### 4.5. Multiplexación por división en el tiempo estadística

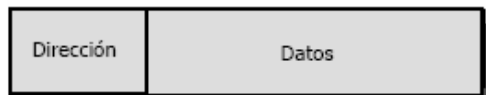
En una TDM síncrona se desaprovechan muchas de las ranuras temporales. La TDM estadística las distribuye de manera dinámica, basándose en la demanda. El multiplexor

sondea las memorias de almacenamiento de entrada, aceptando datos hasta que se complete una trama.

La velocidad de la línea multiplexada es menor que la suma de las velocidades de las líneas de entrada, y la velocidad de salida es menor que la suma de las velocidades de las entradas. Esto puede causar problemas en períodos pico, al almacenar temporalmente el exceso de datos de entrada; se puede mantener el tamaño de la memoria temporal al mínimo para evitar que haya retardo.



Trama completa



Subtrama con una fuente por trama



Subtrama con varias fuentes por trama

## Capítulo 5

# Arquitectura de redes de computadores

### 5.1. Introducción

En la historia de los ordenadores se pueden distinguir varias etapas, divisibles de forma aproximada en tres: el uso de grandes mainframes, la existencia de miniordenadores sin conectar, y la expansión de las redes de PCs.

Una red de ordenadores es una colección interconectada de ordenadores autónomos. Se entiende que dos ordenadores está interconectados si son capaces de intercambiar información. No forman una red de ordenadores el servidor del que cuelgan sus terminales remotos. Además, hay que distinguir entre redes de computadores y sistemas distribuidos:

- En una red de ordenadores, el usuario trabaja explícitamente con una máquina, y la diferencia radica en el software más que en el hardware.
- En un sistema distribuido, la existencia de múltiples ordenadores es transparente al usuario. Los sistemas distribuidos son casos especiales de redes de computadores en el que el software da un alto grado de transparencia.

### 5.2. Objetivos de las redes

Existen tres objetivos principales:

- Compartir recursos: Permitir que la información sea accesible desde cualquier localización.
- Fiabilidad: Existencia de información replicada para que en caso de fallo se pueda seguir trabajando.
- Ahorro económico: Los equipos más pequeños tienen una mejor relación coste/rendimiento que los grandes ordenadores. La ampliación mediante la incorporación de nuevos equipos es mucho más barata.

Asimismo, se pueden distinguir varios tipos de redes:

- LAN (*Local Area Networks*): Redes de área local o redes locales.
- MAN (*Metropolitan Area Networks*): Redes de área metropolitana.
- WAN (*Wide Area Networks*): Redes de área extensa.

### 5.3. Estructura de red

Una red se compone de hosts, máquinas destinadas a ejecutar programas de usuario, y una subred de comunicaciones, compuesta a su vez de IMPs, elementos de conmutación consistentes en máquinas destinadas al intercambio de mensajes, y líneas de transmisión que los conectan. Según las conexiones entre los IMPs, las redes pueden ser punto a punto (anillo, árbol, estrella, etc.) o de difusión, utilizando un canal común (anillo, satélite, etc.). También se pueden clasificar por área cubierta:

- WAN: Ocupa una extensa área geográfica. Requiere atravesar rutas de acceso público y usa parcialmente circuitos de proveedores de servicios de telecomunicación.
- LAN: Tienen una cobertura pequeña, un edificio o conjunto de edificios próximos. Normalmente pertenecen a la entidad propietaria de los dispositivos conectados a la red, y en ellas hay una gran transmisión de datos. Utilizan sistemas de difusión, y recientemente se han introducido sistemas de conmutación y ATM.

### 5.4. Protocolos

Son los conjuntos de reglas que gobiernan el intercambio de información entre dos entidades (aplicaciones, gestores de correo...) situadas en diferentes sistemas (computadores, terminales, sensores, etc.). Dos entidades que se comunican necesitan hablar el mismo “idioma”, y saber cuándo se comunica y cómo se comunica.

### 5.5. Arquitectura de protocolos

Las comunicaciones involucran a 3 agentes: aplicaciones, computadores y redes, y suponen una tarea compleja que se debe dividir en subtarear o módulos, utilizando una organización en 3 niveles:

- Capa de acceso a red: Trata el intercambio de datos entre el computador y la red a la que está conectado.
- Capa de transporte: Su función básica es el intercambio de datos de forma segura entre la aplicación fuente y el destino.
- Capa de aplicación: Contiene las aplicaciones del usuario.



**Arquitectura OSI**



**Arquitectura TCP/IP**

Cada capa realiza un conjunto de funciones, se sustenta en la capa inmediatamente inferior, que realiza otras más primitivas, y proporciona servicios a la capa superior. Los cambios en una capa no implican cambios en las otras.

En cada nivel, se añade a los datos una cabecera con información de control como el destino, tipo de paquete o forma de detectar errores. El paquete formado por los datos y todas estas cabeceras formará la Unidad de Datos del Protocolo (PDU, *Protocol Data Unit*).

### 5.5.1. Arquitectura OSI

El número de capas establecido fue de 7, siguiendo el principio de que haya bastantes capas para que cada una realice una **única** función bien definida, y que no haya demasiadas para que la arquitectura no sea demasiado difícil de manejar. Además, los límites de las capas deberán seleccionarse tomando en cuenta la minimización del flujo de información a través de los interfaces.

Las capas de la arquitectura OSI son las siguientes:

- Capa física: Se encarga de la interfaz física entre los dispositivos (mecánica, electrónica...).
- Capa del enlace de datos: Proporciona los medios para activar, mantener y desactivar el enlace. Detecta y controla los errores.
- Capa de red: Realiza la transferencia de información hasta el destino. Las capas superiores no necesitan conocer la transmisión de datos subyacente ni las tecnologías de conmutación usadas para conectar los sistemas.
- Capa de transporte: Intercambia los datos entre los sistemas finales de forma fiable.
- Capa de sesión: Controla el diálogo entre aplicaciones, el agrupamiento y la recuperación.
- Capa de presentación: Establece la codificación y formato de los datos, y se encarga de su compresión y cifrado.
- Capa de aplicación: Permite que las aplicaciones accedan al entorno OSI.

Los servicios OSI son los siguientes:

- Servicio orientado a conexión: Se basa en el modelo telefónico.
- Servicio sin conexión: Se basa en el sistema postal.

Un servicio está formalmente especificado por primitivas (operaciones), que indican al servicio que debe realizar una acción o notifican la acción realizada por una entidad par. Son la de solicitud, indicación, respuesta y confirmación.

### 5.5.2. Arquitectura TCP/IP

Es la arquitectura dominante en el mundo comercial, y sobre la que está construida Internet. Su desarrollo fue financiado por el Departamento de Defensa de Estados Unidos. Consta de las siguientes capas, cada una de las cuales incluye una cabecera a los datos:

- Capa de aplicación: Comunicación los procesos o aplicaciones.
- Capa de transporte extremo-a-extremo (TCP/UDP): Realiza la transferencia de datos extremo-a-extremo. En el caso de TCP puede incluir mecanismos de seguridad.

- Capa Internet (IP): Realiza el encaminamiento de los datos hasta su destino.
- Capa de acceso a la red: Sirve de interfaz lógica entre un sistema final y una subred.
- Capa física: Medio de transmisión. Establece la tasa de señalización y codificación.

# Capítulo 6

## El nivel físico

### 6.1. Introducción

A nivel físico, se realiza una transmisión bit a bit entre un emisor y un receptor. Este nivel es el que se encarga de la modulación, amplificación, codificación y regeneración. En cuanto a la detección de errores, los problemas de temporización requieren un mecanismo para sincronizar al transmisor y al receptor, existiendo dos posibles soluciones:

- Transmisión asíncrona: Es un sistema sencillo y barato en el que los datos se transmiten enviándolos carácter a carácter (con entre 5 y 8 bits). La temporización se debe mantener durante la duración del carácter, y se realiza una resincronización al principio de cada carácter nuevo. En una cadena estacionaria de caracteres, la separación entre cada dos caracteres (duración del elemento de parada) será uniforme. En estado de reposo, el receptor buscará una transición de 1 a 0 y muestreará ocho veces la señal de entrada. A continuación buscará la siguiente transición de 1 a 0.

Este tipo de transmisión es buena para datos con vacíos grandes, como en el teclado.

- Transmisión síncrona:
  - A nivel de bits: Se transmite un bloque de bits sin códigos de comienzo o parada. La señal para la sincronización de los relojes se puede enviar:
    - A través de una línea independiente: Funciona bien a distancias cortas, más allá puede sufrir dificultades.
    - En la señal de datos: Codificación Manchester, con portadora analógica.

**Nota 3** *Una onda portadora es una forma de onda, generalmente senoidal, que es modulada por una señal que se quiere transmitir. Esta onda portadora es de una frecuencia mucho más alta que la de la señal moduladora (la que contiene la información).*

- A nivel de bloque: Utiliza un preámbulo y un final para indicar dónde está el comienzo y el final de cada bloque de datos (una serie de caracteres en hexadecimal, un bloque de patrones, etc). Para bloques de datos de suficiente tamaño, es mucho más eficiente que la asíncrona.

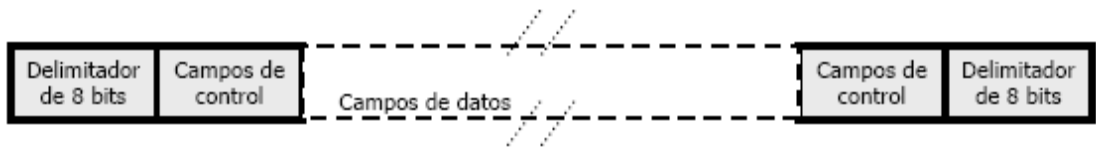


Figura 6.1: Transmisión síncrona por bloques.

## 6.2. Transmisión analógica

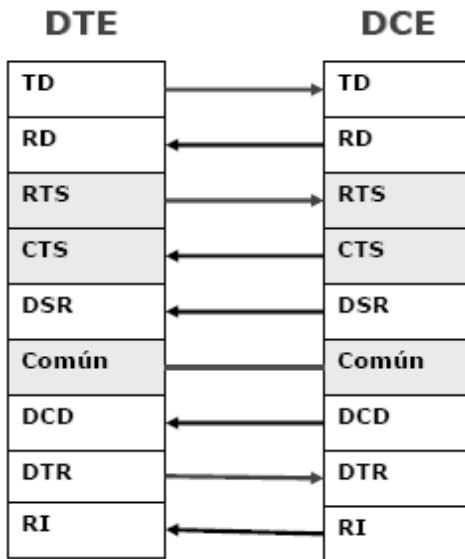
Conectar dos ordenadores cuando hay mucha distancia resulta prohibitivo. Por eso se utilizan transmisiones asíncronas, como el sistema telefónico, y los modems, que modulan y demodulan la señal.

### 6.2.1. La recomendación ITU-T V.24

Es un ejemplo de protocolo de capa física situada entre un ordenador (DTE, equipo terminal de datos) y un módem (DCE, equipo terminal de circuito de datos). Puede operar en una longitud máxima 15 metros y a velocidades de hasta 20 kbps.

A nivel mecánico, consiste en un conector con 25 patillas.

A nivel eléctrico, representa el 1 binario como -3 voltios, y el 0 como +4 voltios.



A continuación se explicará un proceso de transmisión según la recomendación ITU-T V.24. Hay que tener en cuenta que las entradas RTS (DTE desea cambiar a modo transmisión), CTS (DCE listo para transmitir) y Común siempre están a ON porque el módem es full-duplex.

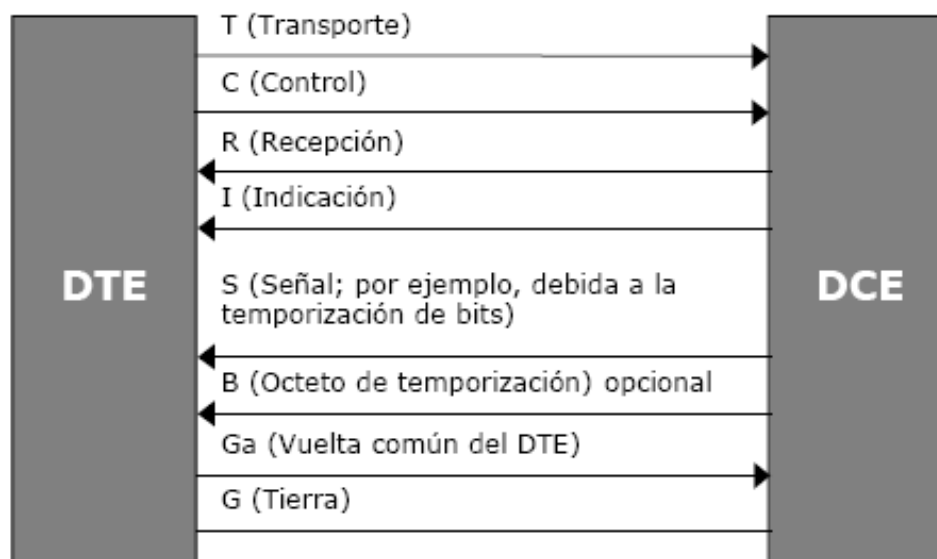
1. El módem recibe una solicitud de conexión por la línea telefónica y pone la señal de RI (*Ring*) a ON.
2. El ordenador detecta los timbrazos por su entrada RI.
3. Indica al módem que se ponga a trabajar, poniendo la DTR (*Data Terminal Ready*) a ON.

4. El módem comienza a transmitir la portadora (DSR = 0 listo para comunicar). Ha finalizado las tareas preliminares.
5. Cuando el módem recibe la portadora del módem remoto activa DCD. A partir de este momento puede iniciarse la comunicación.
6. Se realiza el intercambio de información full-duplex por TD y RD.
7. El ordenador inhibe DTR. El módem elimina la portadora e inhibe DCD y DSR.

### 6.3. Transmisión digital

Aparecen las líneas interurbanas digitales que transmiten ceros y unos en vez de una señal continua. Desaparecen los amplificadores analógicos, que no regeneraban la señal de forma exacta. Se realiza una multiplexación de diferentes tipos de información usar de forma más eficiente los equipos.

#### 6.3.1. Interfase digital X.21



### 6.4. Conmutación

En las redes conmutadas, la transmisión de datos a larga distancia se realiza a través de una red de nodos de conmutación intermedios. Los dispositivos finales (computadores, terminales, teléfonos...) se denominan estaciones. Algunos nodos sólo se conectan con otros nodos, o con estaciones. El conjunto de nodos y conexiones (normalmente multiplexadas) conforma una red de comunicaciones.

Generalmente, la red no está completamente conectada, pero es deseable tener más de un camino posible para mejorar la fiabilidad de la red.

Existen dos tecnologías de conmutación diferentes:

- Conmutación de circuitos: Los datos se transmiten sobre la red telefónica. Se establece una ruta física que no se interrumpe hasta que alguno de los implicados en la transmisión la finaliza. Si ésta se repitiera más tarde, la ruta podría ser distinta.

- Comutación de mensajes y paquetes: No se establece inicialmente una ruta, sino que el mensaje se transmite de un IMP a otro. En la comutación de paquetes, se fracciona los mensajes, y se pone límite al tamaño de los datos.

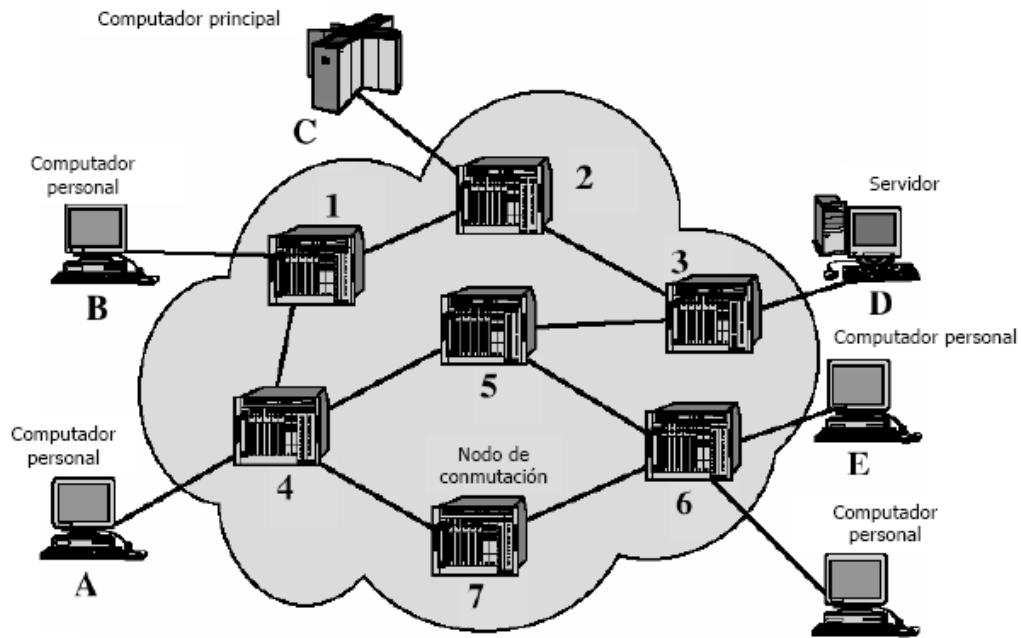


Figura 6.2: Red de conmutación.

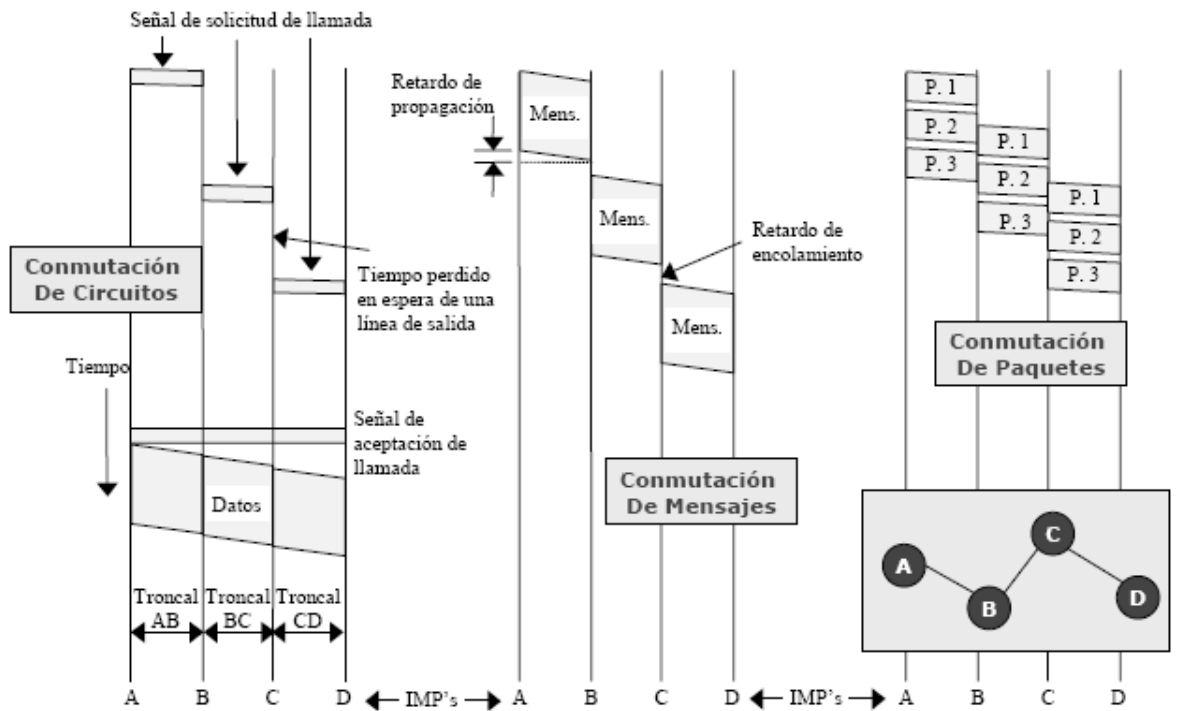


Figura 6.3: Comparativa entre las distintas técnicas de conmutación.

## 6.5. Gestión de terminal

Para reducir el costo de una línea de comunicación, se conectan varios a la misma línea. Entonces, aparece el problema que varios terminales quieran enviar información a la vez. Para gestionarlo aparece un elemento denominamos “controlador de terminales” que, mediante una técnica llamada “de sondeo”, da la señal de paso para que un equipo comience a transmitir. El controlador pregunta ordenadamente a los equipos si tienen datos, si es así los transmiten, y si no envían un mensaje indicándolo. Existen varios tipos de sondeo:

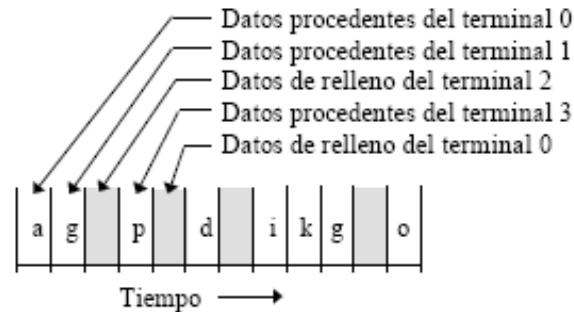
- Sondeo de pasada de lista: El controlador pregunta a cada uno de los terminales por turnos.
- Sondeo circular: El controlador pregunta al terminal más alejado. Si tiene datos los envía, y si no los tiene (o acaba de enviar la información) envía un mensaje de sondeo al terminal más próximo.

Cuando la información va del controlador a los terminales la técnica utilizada se denomina “selección”, en la que se direcciona a qué terminal se quiere enviar la información.

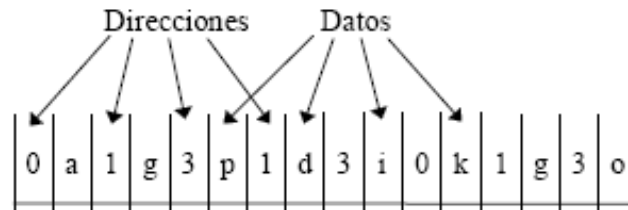
Puesto que ésta se transmite en los dos sentidos, habrá que intercalar ciclos de selección con ciclos de sondeo.

Para la transmisión del controlador al ordenador, se utilizan:

### -Multiplexor por división de tiempo (TDM)



### -Multiplexor asíncrono por división en el tiempo (ATDM) o multiplexor estadístico



## Capítulo 7

# Redes de área local

### 7.1. Introducción

Una LAN es una red cuyos ordenadores suelen estar un mismo edificio. Su campo de acción no es mayor de unos cuantos kilómetros y como usan un canal de acceso múltiple requieren un sistema de control de colisiones, pero poseen una velocidad total de transmisión de varios Mbps y una tasa de errores 1000 veces inferior a una WAN. Suelen pertenecer a una única organización.

### 7.2. Protocolos Aloha

En la década de los 70, en la Universidad de Hawaii se propuso un método para la asignación de un solo canal de transmisión para varias estaciones, porque el coste de asignar un canal a cada una era muy alto.

La información era transmitida a ráfagas. Se compartía el mismo canal sin preocuparse de si estaba libre o no, por lo que, si dos estaciones transmitían a la vez, había colisiones y la información se perdía y había que retransmitirla. Se obtuvo una eficiencia del 18 %. Este tipo de sistemas se conocieron como “sistemas de contienda”, sistemas con usuarios no coordinados compitiendo por un solo canal.

En 1972 se realizó una mejora, el Aloha ranurado, en el que se dividió el tiempo en intervalos denominados “ranuras”. La sincronización se realizaba mediante una estación especial que emitía un sonido al inicio de cada intervalo. Se consiguió aumentar la eficiencia hasta el 37 %.

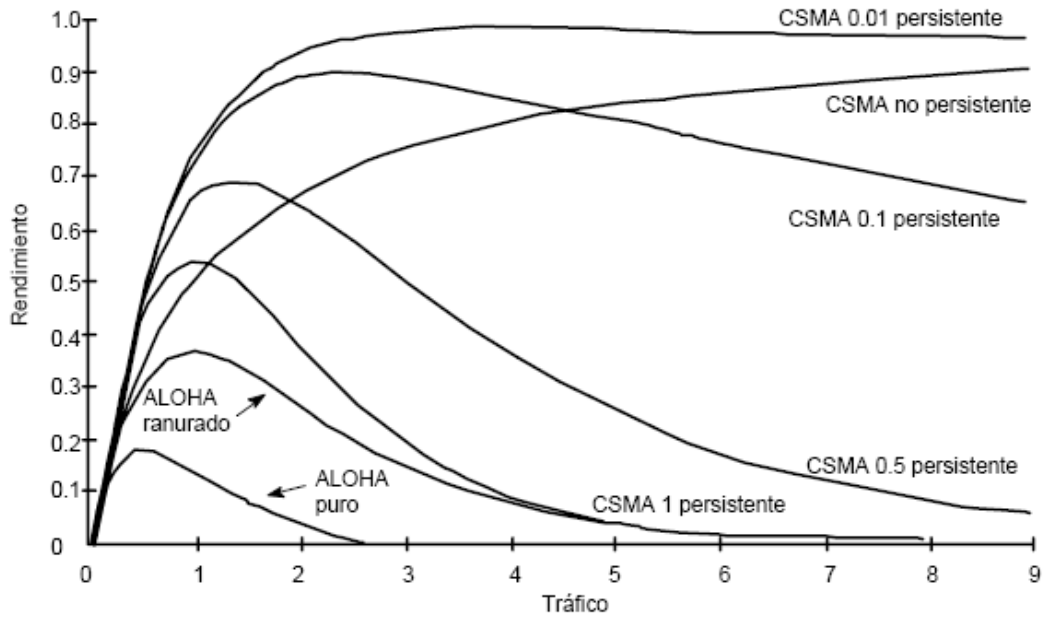
### 7.3. Protocolos de red de área local

Se pueden destacar las variantes de CSMA (Acceso Múltiple por Detección de Portadora), en las que las estaciones escuchan una portadora y actúan en consecuencia. Todas las estaciones están enteradas del comienzo de la transmisión de forma inmediata. Si dos estaciones transmiten al mismo tiempo, se producirá colisión. Hay dos tipos, persistente y no persistente:

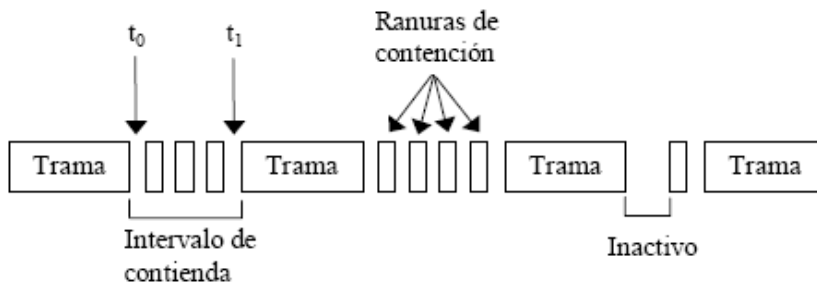
- CSMA no persistente: Si tiene información y el canal está libre empieza a transmitir, y si está en uso repite el algoritmo tras un intervalo aleatorio de tiempo.
- CSMA 1-persistente: Si el canal está ocupado, espera escuchando hasta que quede libre. Si está libre empieza a transmitir con probabilidad 1. Puede haber colisiones debido al retardo de transmisión o propagación, o cuando dos estaciones esperan a

que termine una tercera y transmiten a la vez. Cuando se produce una colisión espera un tiempo aleatorio y comienza nuevamente el proceso. Da mejores resultados que el Aloha

- CSMA P-persistente: Se aplica a canales ranurados. Cuando la estación tiene información escucha el canal y si está desocupado transmite con probabilidad  $p$ , o espera a la siguiente ranura con una probabilidad  $1 - p$ . Si no se transmite en esta ranura se transmite en la siguiente con una probabilidad también  $p$ . Este proceso se repite hasta que se consiga transmitir. Si otra estación comienza a transmitir actúa como si se hubiera producido una colisión: espera un tiempo aleatorio y comienza de nuevo el proceso.



- CSMA con detección de colisión (CSMA/CD): Permite un acceso múltiple. Una de las mejoras que se pueden incorporar sobre el protocolo Aloha es abortar inmediatamente la transmisión entre las estaciones implicadas cuando se detecta una colisión, y así se ahorra ancho de banda y tiempo. Además, son capaces de transmitir una señal de aviso (señal de presencia de colisión) al resto de estaciones.



En un bus en banda base, la colisión se detecta si la señal del cable es mayor que una única transmisión. Hay que tener en cuenta que señal se atenúa con la

distancia, por lo que la longitud máxima es de 500m en el 10BASE5, y de 200m en el 10BASE2. En la topología en estrella (con pares trenzados), la actividad en más de una entrada indica que existe una colisión.

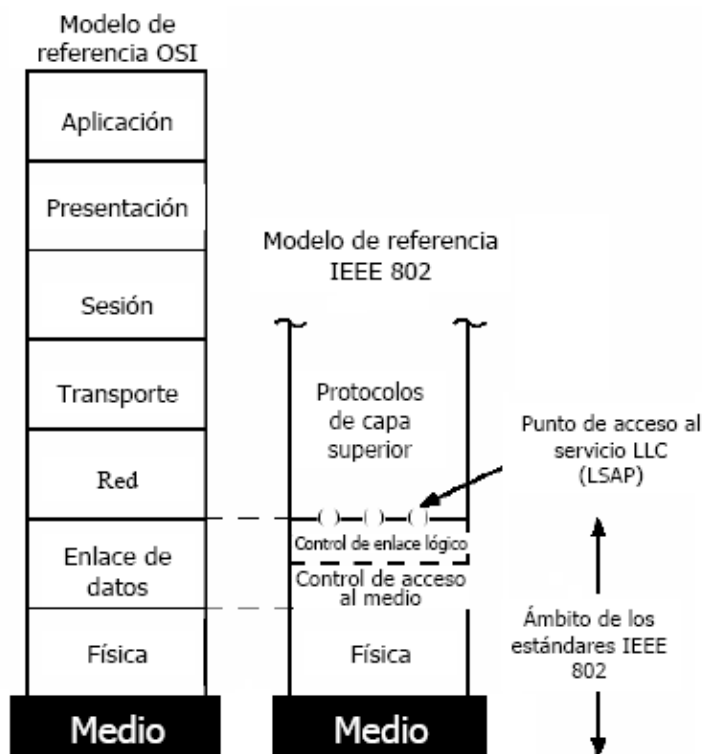
En los protocolos sin colisión, las estaciones conectadas pueden reservar una ranura de tiempo. El tiempo en que las estaciones luchan por obtener el canal se llama tiempo de contienda (apréciese la semejanza con la denominación de los protocolos Aloha). En ese período, cada estación reserva tiempo para poder transmitir una trama sin que otra la moleste. Cuando todas las estaciones han finalizado su transmisión, comienza otro período de contienda.

## 7.4. Norma IEEE 802 para redes de área local

La IEEE ha producido normas para redes locales bajo el nombre de IEEE 802.

- 802.1: Introducción al conjunto de normas.
- 802.2: Describe la parte superior de la capa de enlace, que utiliza el protocolo LLC (Control lógico de enlace).
- 802.3 a 802.5: Describen 3 normas para redes LAN.

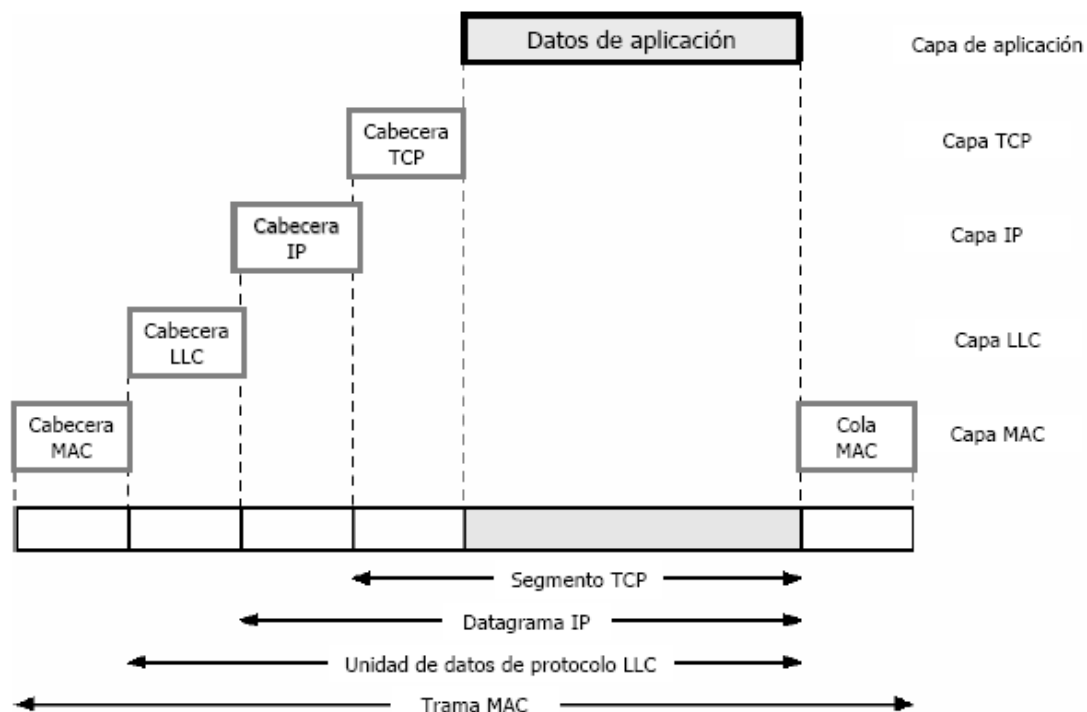
Siguen las tecnologías CSMA/CD, paso de testigo en bus y en anillo. Describen protocolos de nivel físico y lo que se conoce como subcapa MAC.



En la capa física se realiza la codificación y decodificación de señales, la generación y eliminación del preámbulo para la sincronización y la transmisión y recepción de bits. Es, además, el medio de transmisión y de la topología. La capa de enlace de datos se subdivide en dos:

- Subcapa LLC (Control de enlace lógico): Se comunica con las capas superiores, y realiza el control de errores y de flujo.
- Subcapa MAC (Control de acceso al medio): Realiza el ensamblaje (y desensamblaje) de datos en tramas con campos de dirección y de detección de errores. Controla el acceso al medio de transmisión.

Para un mismo LLC, están disponibles varios MAC.



Asimismo, existen varias topologías: en árbol, en bus (un tipo especial de topología en árbol sin ninguna ramificación), en anillo y en estrella.

#### 7.4.1. Norma IEEE 802.3: Ethernet

Se utiliza en redes de tipo LAN con protocolo 1-persistente CSMA/CD. Está basada en Aloha. Su primera versión fue construida por Xerox para conectar hasta 100 estaciones de trabajo en un cable de 1 km de longitud. Esta red se denominó Ethernet. Actualmente posee las siguientes características:

- Entre 1 y 10 Mbps de velocidad.
- La posibilidad de utilizar 2 tipos de cable coaxial: Ethernet fino y Ethernet grueso.
- Transceptor (transmisor-receptor) BNC en T.

**Nota 4** BNC es un tipo de conector usado con cables coaxiales en las primeras redes Ethernet durante los 80. Básicamente, consiste en un conector tipo macho instalado en cada extremo del cable. Un anillo que rota en la parte exterior del conector asegura el cable y permite la conexión a cualquier BNC hembra. Los conectores BNC-T, los más populares, son conectores hembra para conectar dos cables a una tarjeta de red.

- Entre el transceptor y el ordenador puede haber una longitud máxima de 50 metros y dos transceptores no pueden estar a más de 2.5 km.
- La longitud máxima de un cable son 500 m. A partir de esa distancia es necesario introducir repetidores, teniendo en cuenta que las señales no deben atravesar más de 4.
- La red local difícilmente puede alcanzar más de 2-3 km.

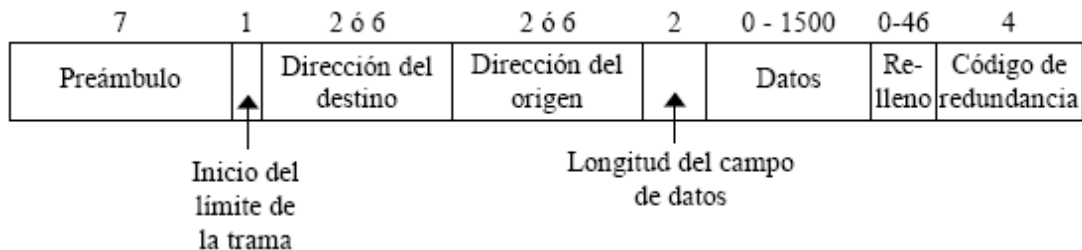
Para detectar problemas con los cables rotos se utilizan varias técnicas, como la reflectometría del dominio temporal, que consisten en inyectar un pulso de forma conocida y analizar el eco producido por el extremo del cable o del obstáculo. Tomando tiempos, se puede calcular el origen del eco.

Otra forma de organizar una red es mediante puentes (repetidores selectivos), que examinan la trama y si es necesario retransmiten hacia otro segmento de la red.

### Subcapa MAC para 802.3

Cada trama está formada por los siguientes campos:

- Preámbulo: 7 bytes, cada uno con el patrón de bits 10101010. Permite que el reloj del receptor se sincronice con el del transmisor.
- Inicio del límite de trama: 1 byte, con el patrón 10101011.
- Dirección del destino: 2 ó 6 bytes. Si tiene todos los bits a 1 se usa para difusión (multidifusión). El bit 46 (adyacente al primero) se utiliza para distinguir entre direcciones locales y globales.
- Dirección de origen: 2 ó 6 bytes.
- Longitud del campo de datos: 2 bytes, indica cuántos bytes están presentes en el campo de datos (entre 0 y 1500).
- Relleno: de 0 a 46 bytes, completa las tramas (para que sean válidas) hasta llegar a 64 bytes de longitud.
- Código de redundancia: 4 bytes. Se utiliza para que el destino compruebe si la trama recibida es correcta. Se calcula teniendo en cuenta las direcciones, el campo de longitud, los datos y el relleno.



## Resolución de colisiones

Después de una colisión, el tiempo se divide en ranuras discretas cuya longitud es igual al peor tiempo de propagación de la señal en el cable (tiempo en que tarda en dar una vuelta completa al cable). Después de la primera colisión, cada una de las estaciones selecciona aleatoriamente esperar 0 ó 1 ranuras. Si dos eligen el mismo número habrá otra colisión. Después de esta segunda colisión elegirán entre las ranuras 0, 1, 2, 3. Si hubiera más colisiones el número de ranuras sería  $2n-1$  hasta llegar a 10 colisiones, donde el número de ranuras se congelaría en 1023. Después de 16 colisiones se transmitiría un error a las capas superiores de la arquitectura de protocolos.

Este algoritmo recibe el nombre de “disminución exponencial binaria”, y trata de adaptarse dinámicamente al número de estaciones que intentan transmitir, generando ranuras suficientes para que no haya siempre colisiones, pero tampoco demasiadas para evitar el retardo.

### 7.4.2. Norma IEEE 802.4: Paso de testigo en bus

Se organiza físicamente como una red lineal, y lógicamente como un anillo. Las estaciones conocen a la que le sucede y a la que le precede, sin importar el orden físico. Cuando arranca el anillo la estación con el número más alto envía una trama. Cuando acaba, pasa la autorización a su vecino mediante una trama de control especial denominada “testigo”. Sólo el poseedor del testigo puede transmitir.

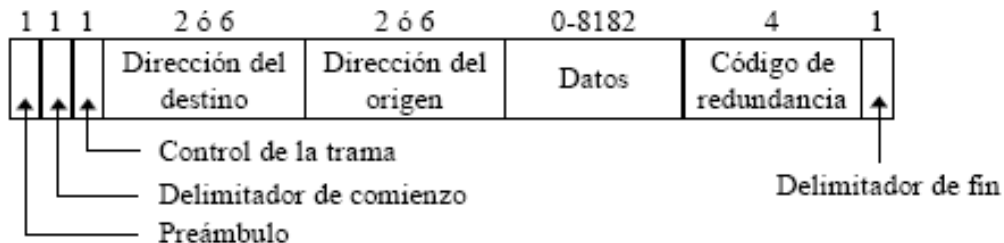
Esta tecnología está pensada para el control, para sistemas que necesiten un proceso de transmisión determinístico.

Sus características física son una velocidad de entre 1.5 y 10 Mbps y el uso de un cable coaxial de banda ancha de 75 ohmios.

#### Subcapa MAC para el paso de testigo en bus

Las tramas se componen de:

- Preámbulo: Para sincronizar el emisor y el receptor.
- Delimitadores de comienzo y fin: Para marcar los límites de la trama.
- Control de trama: En tramas de datos transporta la prioridad y la solicitud de asentimiento. En tramas de control se emplea para identificar el tipo de trama.
- Direcciones de Destino y de Origen: Iguales que en 802.3, tanto para el direccionamiento individual como de grupo.
- Datos: Cuando se utilizan direcciones de 2 y 6 octetos el campo de datos puede llegar hasta 8182 y 8184 octetos, respectivamente.
- Código de redundancia: El mismo que en 802.3.



### 7.4.3. Norma IEEE 802.5: Paso de testigo en anillo

Utiliza topología en anillo, problemática porque, si se rompe el medio físico, no se pueden realizar transmisiones.

Si la velocidad de transmisión es de N Mbps, cada bit ocupa  $200/N$  metros.

Cuando no hay tráfico en el anillo, circula por él un testigo de 3 octetos. Cuando una estación lo captura, pone a 1 el bit cero del segundo octeto y el testigo se convierte en el inicio de la trama de datos.

Al nodo que genera el testigo se le denomina nodo monitor o supervisor. Sólo puede haber uno en el anillo, pero todos tienen la capacidad de generarlos. Cuando a una estación le llega el testigo, si tiene datos para transmitir lo captura (habitualmente durante un tiempo máximo de 10 ms), y si no lo deja libre. Cuando los bits transmitidos regresan, la estación emisora los retira del anillo, y puede almacenarlos para realizar comprobaciones. Cuando la estación termina de transmitir los datos, regenera el testigo y lo coloca en el anillo, cambiando a modo escucha.

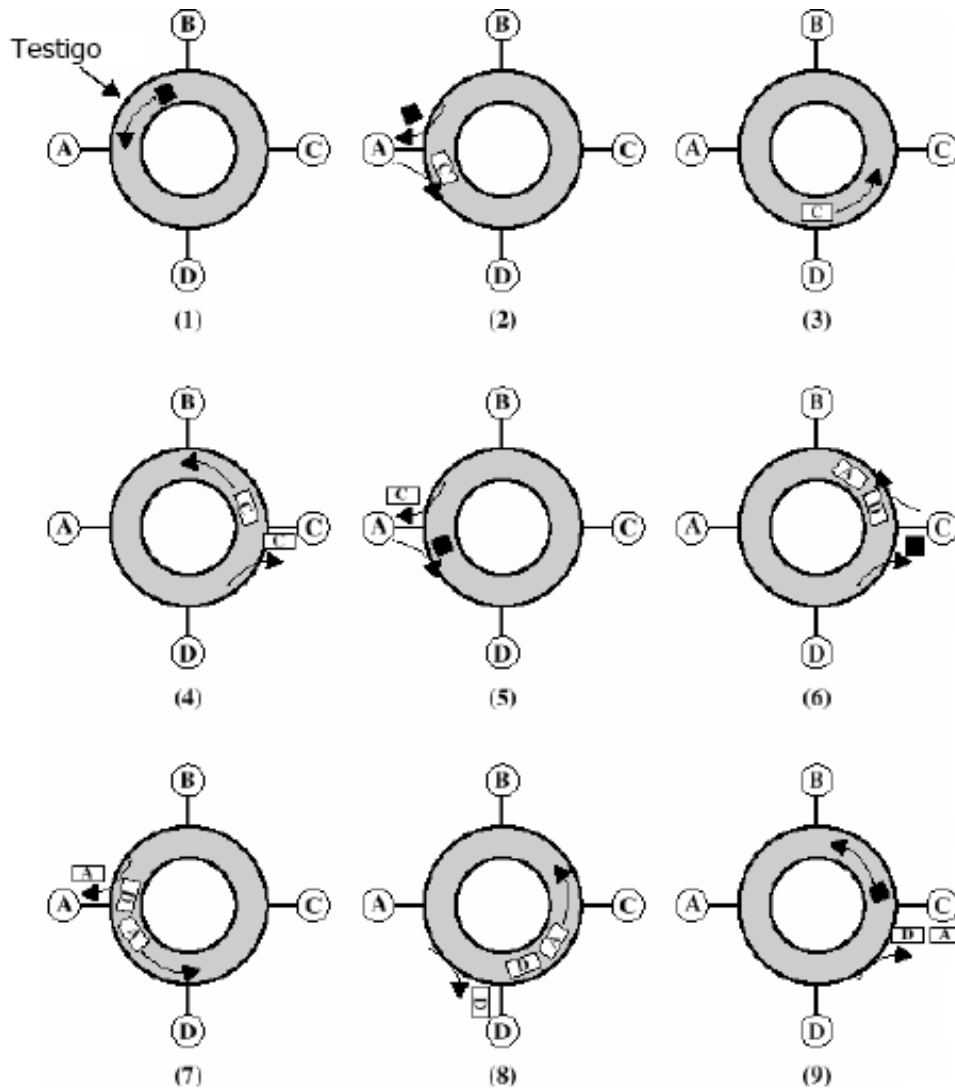
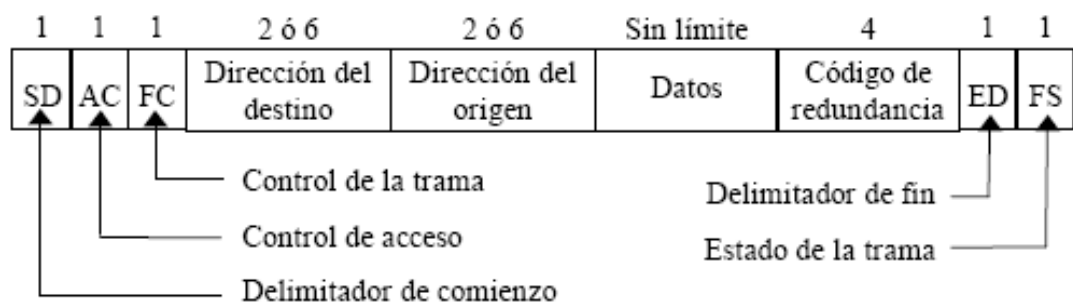


Figura 7.1: Muestra del funcionamiento del paso de testigo en anillo.

En la primera imagen de la figura superior se puede observar un anillo compuesto por 4 nodos. El nodo A captura el testigo porque tiene datos que transmitir al nodo C. En la cuarta imagen los datos ya han llegado al nodo C, que emite una respuesta. El nodo A, al recibirla, ya no tiene más datos que transmitir y libera el testigo. En la sexta imagen, se ve cómo el nodo C lo captura y sitúa sobre el anillo datos para los nodos A y D, que al recibirlos emiten sendas respuestas. Cuando llegan al nodo C, éste no tiene más datos que transmitir y libera el testigo.

### Subcapa MAC para el paso de testigo en anillo

A continuación se presenta la estructura de la trama utilizada en el paso de testigo en anillo:



Los 3 octetos que componen el testigo que circula cuando no hay tráfico en el anillo son los siguientes:

- SD: Delimitador de comienzo. Tanto éste como el de fin de trama contienen caracteres especiales no válidos.
- AC: contiene el bit del testigo, el bit del monitor, los bits de prioridad y los bits de reserva.
- FC: distingue las tramas de datos de las de control.

En cuanto a otras secuencias destacables, son las siguientes:

- Estado de trama (FS): No está presente en los otros dos protocolos. Aparecen los bits A y C. Cuando una trama llega al destino, éste pone a 1 el bit A. Si la estación destino copia la trama entonces pone a uno del bit C. Pueden darse las siguientes combinaciones, con las que se consigue el asentimiento automático de la trama:
  - A=1 C=1 El destinatario está presente y la trama está copiada.
  - A=1 C=0 El destinatario si está presente, pero la trama no es aceptada.
  - A=0 C=0 El destinatario no esta presente o no está encendido.
- Bit de Testigo (TK): Indica el estado del testigo (0 libre, 1 ocupado).
- Bit de Monitor (MC): Permite evitar alguna situación anómala, como que una trama circule infinitamente por el anillo.

- Control de trama (FC): Si el monitor queda fuera de servicio, los demás nodos tienen que asumir sus funciones. Para ello se utiliza un temporizador que se carga cuando el nodo recibe un trama. Si se agota el temporizador y el nodo no recibe ningún mensaje, se interpreta que el anillo dejó de funcionar. Se emite una trama de Reclamo de Testigo con su dirección, que se va sustituyendo por la de la estación con dirección más alta, la cual será el nuevo monitor.

El monitor genera el testigo con los bits TK y MC a cero.

## 7.5. Redes de fibra óptica

Las FDDI (interfaz de datos distribuidos para fibras) utilizan el paso de testigo en anillo, operan a 100 Mbps en distancias con hasta 1000 estaciones. La diferencia con el 802.5 es que, aunque el formato de trama es el mismo, debido al gran tamaño del cable (200 km) se puede generar más de un testigo. Se suelen utilizar como redes primarias para luego conectarles otras LAN de cobre. Utilizan fibras multimodo y diodos LED (más baratos y que permiten conectar estaciones de usuarios directamente).

El cableado se compone de dos anillos de fibra, uno girando en el sentido de las agujas del reloj y el otro en el contrario. Si uno se desactivara el otro podría utilizarse como respaldo.

Hay dos clases de estaciones: las A se conectan a los dos anillos, y las B, más baratas, sólo a uno.

## 7.6. Redes de satélites

Son redes de difusión tipo WAN. Los satélites de comunicaciones tienen varios transmisores-receptores, cada uno de los cuales cubre una zona de la Tierra. El satélite y las estaciones transmiten a diferentes frecuencias.

El problema está en la asignación de canales emisores-receptores. El método de detección de la portadora es imposible debido al retardo de propagación de 270 ms. No son válidos protocolos como: CSMA/CD, 802.4 y 802.5, sino que se utiliza multiplexación por división de frecuencia (FDM) o de tiempo (TDM).

Estos métodos son viables cuando el número de estaciones es pequeño y la transmisión de la información es continua. Con un número grande y cambiante de estaciones se usan variantes de Aloha, o combinaciones de Aloha con TDM.

# Capítulo 8

## Nivel de enlace de datos

### 8.1. Introducción

Las funciones de esta capa son proporcionar un interfaz bien definido con la capa de red, agrupando los bits de la capa física en tramas y regulando el flujo de éstas, ocuparse de los errores de transmisión (insertando información redundante) y administrar el enlace por medio de protocolos de nivel 2 y protocolos avanzados (como BSC).

Ofrece varios tipos de servicio:

- Sin conexión ni asentimiento (no confirmado): El origen transmite las tramas sin el destino emita un asentimiento.
- Sin conexión y con asentimiento (confirmado): El receptor responde al emisor indicándole si las tramas llegaron correctamente.
- Orientado a conexión: Las máquinas origen y destino establecen una conexión antes de transmitir datos.

### 8.2. Protocolos elementales de nivel 2

Suponemos que los niveles físico, de enlace y de red son independientes y se comunican mediante el paso de mensajes. Además, suponemos un servicio de conexión fiable y una relación entre emisor y receptor establecida de continuo. Cuando la capa de enlace del emisor recibe un paquete de la capa de red, lo encapsula en una trama y se lo pasa a la capa física. El hardware comprobará el CRC y avisará a la capa de enlace del receptor que, cuando reciba la información, si es correcta, la pasará a la capa de red.

#### 8.2.1. Unilateral no restringido

Se deben dar la siguientes condiciones:

- Los datos se transmiten en una sola dirección.
- Las capas de red para transmisión y recepción están siempre listas para operar.

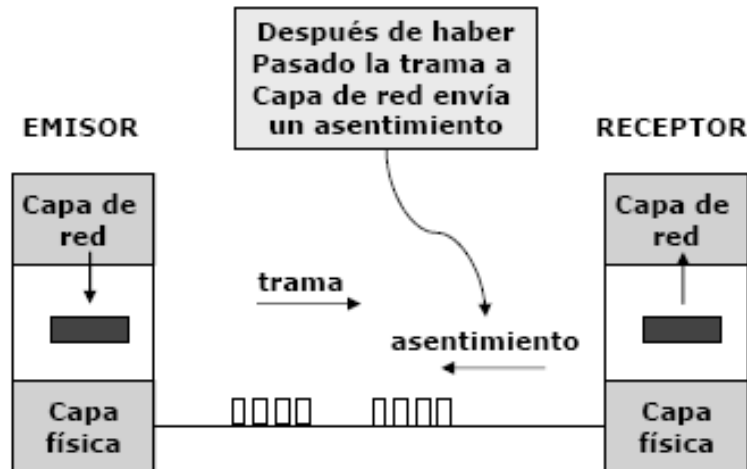
- El tiempo de procesamiento se ignora.
- El buffer es infinito.
- El canal es ideal (sin ruidos).

### 8.2.2. Unilateral de parada y espera

Se deben dar la siguientes condiciones:

- Los datos se transmiten en una sola dirección.
- Las capas de red para transmisión y recepción están siempre listas para operar.
- El tiempo de procesamiento se ignora.
- El buffer es finito.
- El canal es ideal (sin ruidos).

Se utilizan temporizadores y asentimiento.



### 8.2.3. Unilateral para un canal ruidoso

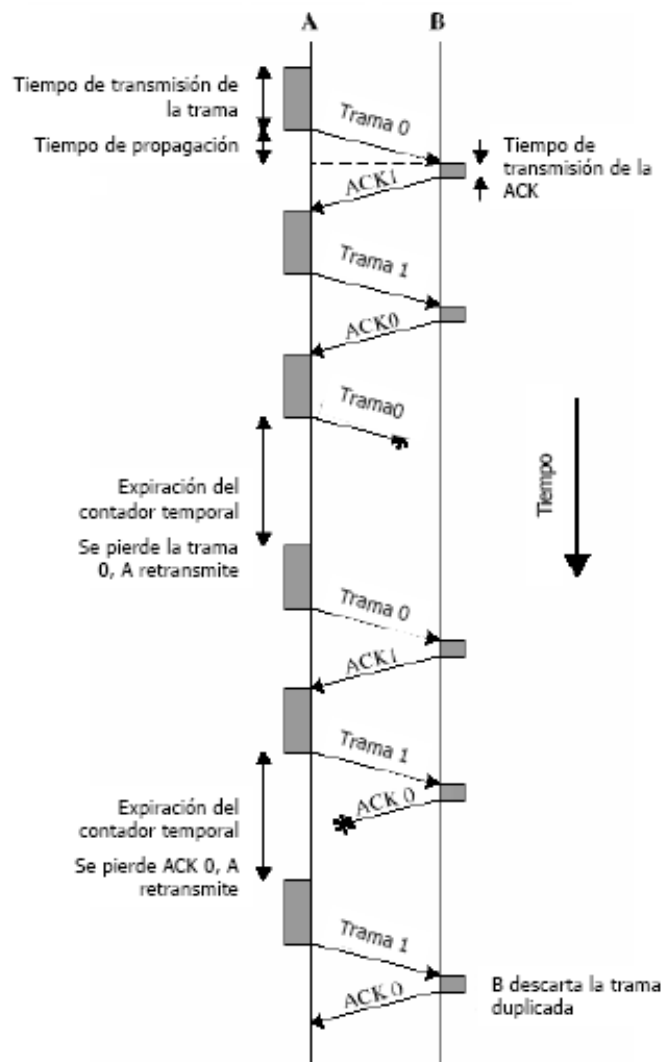
Se dan la siguientes condiciones:

- Los datos se transmiten en una sola dirección.
- Las capas de red para transmisión y recepción están siempre listas para operar.
- El tiempo de procesamiento se ignora.
- El buffer es finito.
- El canal no es ideal: Las tramas pueden dañarse o perderse por completo.

Debido a las posibles pérdidas, se envía una trama de asentimiento si la trama es correcta. Si no hay trama de asentimiento, salta un temporizador en el emisor y reenvía la trama. El asentimiento también puede perderse, así que el emisor envía la trama duplicada, poniéndolo un número de secuencia de un bit.

Después de transmitir una trama, si la de asentimiento llega intacta se cambia el número de secuencia y se envía la siguiente trama; si llega dañada o vence el temporizador del emisor, no se cambia el número de secuencia y se envía otra vez la trama.

La espera por el asentimiento debe ser lo suficientemente grande para evitar vencimientos prematuros del temporizador que podrían llevar a fallos del protocolo. Para solucionar estos posibles problemas, se utilizan dos tipos de confirmación: ACK0 y ACK1. Este método se denomina “ARQ con parada y espera”.

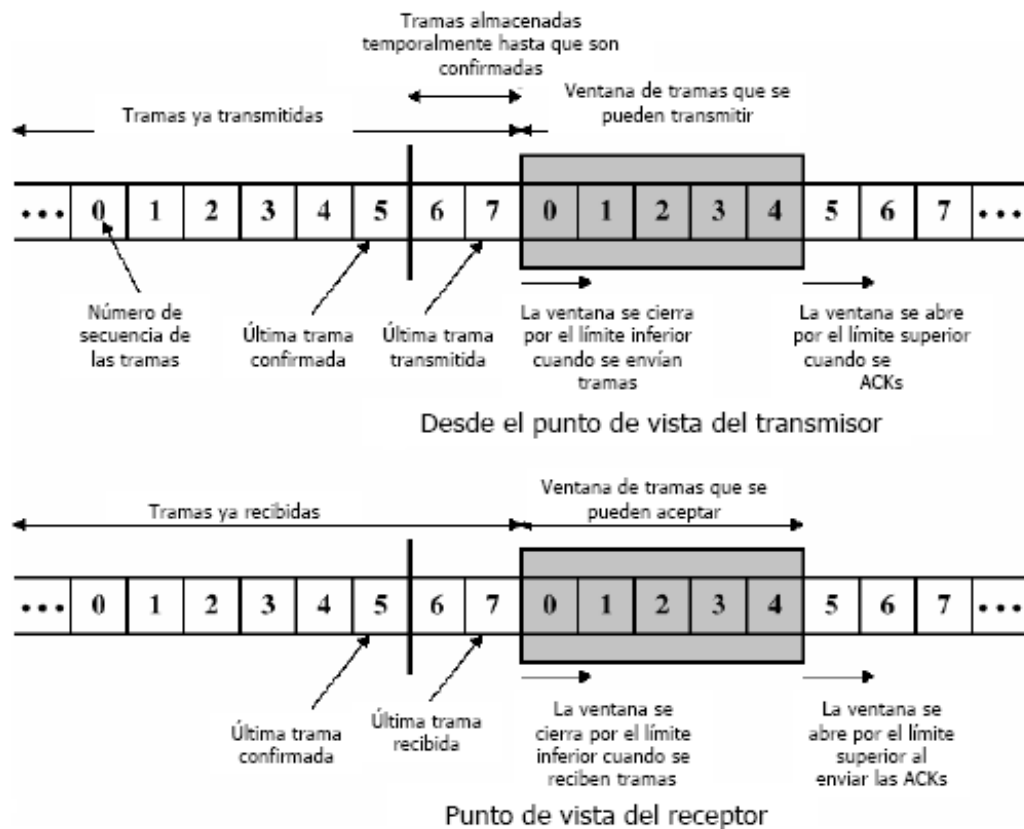


### 8.2.4. De ventana deslizante

Las tramas normalmente se transmiten en las dos direcciones. Con dos canales, se desaprovecha el de los asentimientos, por lo que se usa un canal y la técnica de envío continuo o *pipelining*, que no obliga al emisor a esperar por un asentimiento antes de enviar la siguiente trama.

Las tramas tienen un número de secuencia (campo de n bits). El emisor mantiene una lista con los números de secuencia de las tramas que puede transmitir y de las que no ha recibido asentimiento: la ventana emisora. El receptor mantiene una lista con las tramas que está autorizado a recibir: la ventana receptora.

Cuando llega un paquete del nivel de red al emisor se aumenta la ventana y se envía la nueva trama. Como las tramas pueden perderse, éste guarda todas las que están en la ventana de transmisión por si hay que reenviarlas.



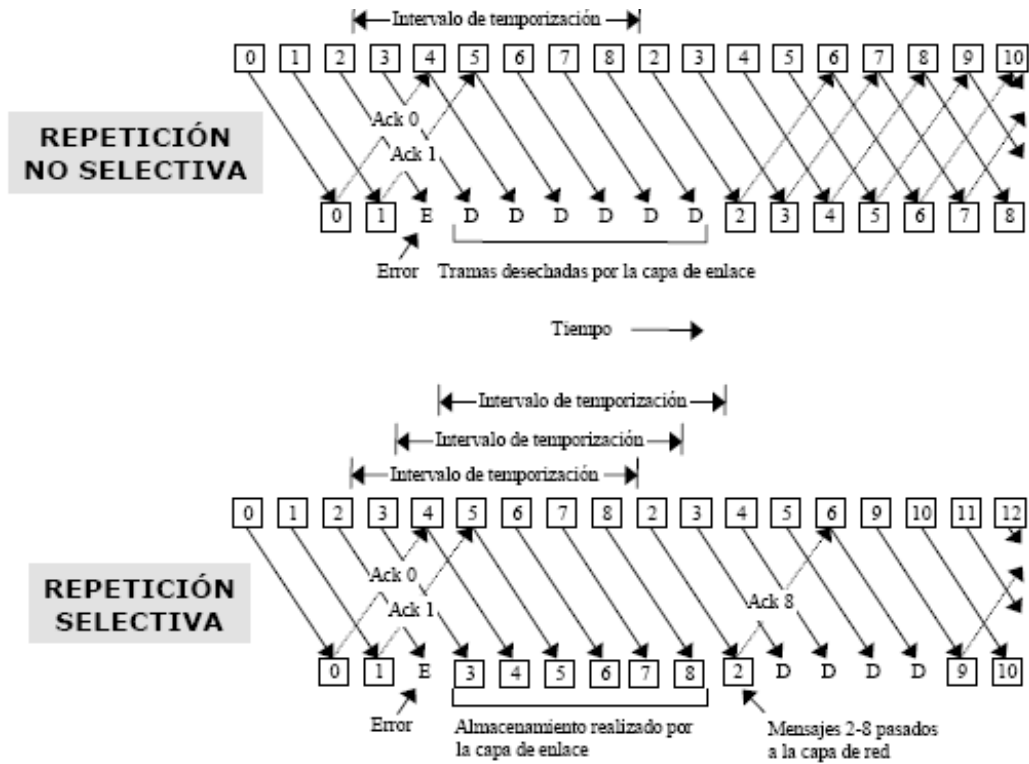
La técnica de envío continuo o pipelining admite dos variantes: técnica de repetición no selectiva y técnica de repetición selectiva.

#### De ventana deslizante con repetición no selectiva

Si el receptor ha solicitado la retransmisión de una trama, rechaza o ignora todas las que reciba hasta obtener la deseada.

### De ventana deslizante con repetición selectiva

El emisor acepta las tramas correctas que siguen a la incorrecta. Si el reenvío tiene éxito se habrán ahorrado muchos envíos de tramas. El problema que aparece en este sistema es el consumo de memoria.



### 8.3. Protocolos orientados a carácter

Se utilizan tanto en aplicaciones punto a punto como en aplicaciones multipunto. Usan caracteres de control para delimitar el inicio y el fin, y realizar gestión de errores y otras labores de control. Estos protocolos son dependientes de la codificación (juego de caracteres). El ejemplo más destacable es el protocolo semi-duplex BSC.

### 8.4. Protocolos orientados a bit

Son más modernos que los orientados a carácter, y usan patrones de bits en lugar de caracteres de control, por lo que son transparentes respecto a la codificación utilizada.

### 8.4.1. Protocolo HDLC

HDLC (*High-level Data Link Control*) es un estándar definido por ISO y el más usado en configuraciones punto a punto y multipunto. Es la base de otros protocolos de enlace importantes y utiliza transmisión full-duplex.

Posee varios tipos de estaciones:

- Estación primaria: Controla el funcionamiento del enlace. Las tramas que genera se denominan órdenes.
- Estación secundaria: Funciona bajo el control de la estación primaria. Las tramas que genera se denominan respuestas.
- Estación combinada: Puede generar tanto órdenes como respuestas.

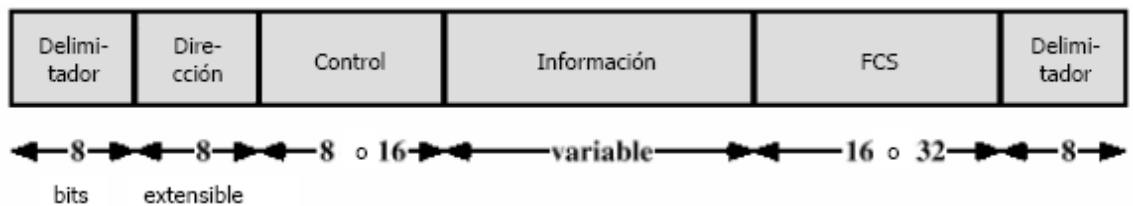
Asimismo, existen varios tipos de configuraciones de HDLC:

- No balanceada: Está formada por una estación primaria y el resto secundarias. Permite transmisión full-duplex y semi-duplex.
- Balanceada: Consiste en dos estaciones combinadas. Permite transmisiones full-duplex y semi-duplex.

Los modos de transferencia que utiliza son los siguientes:

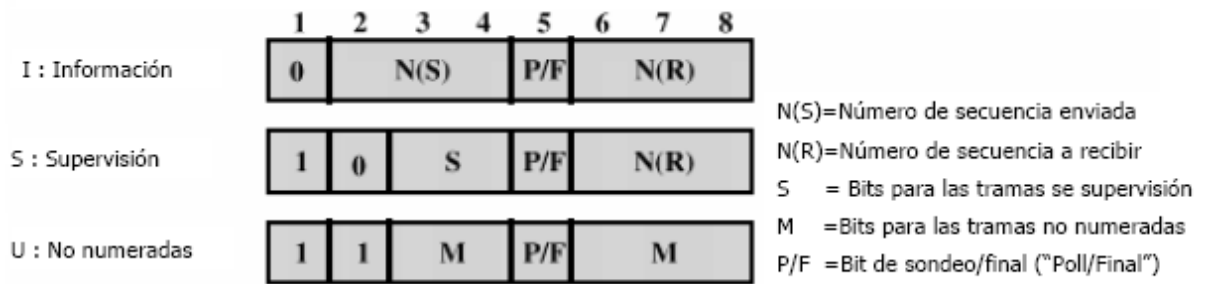
- Modo de respuesta normal (NRM): Se utiliza en la configuración no balanceada. La estación primaria transfiere datos a la secundaria y la secundaria sólo puede transmitir datos usando respuestas a las órdenes de la primaria.
- Modo balanceado asíncrono (ABM): Se utiliza en la configuración balanceada. Cualquier estación puede iniciar la transmisión sin necesidad de recibir permiso. Es el más utilizado.
- Modo de respuesta asíncrono (ARM): Se utiliza en la configuración no balanceada, aunque no mucho. La estación secundaria puede iniciar la transmisión sin tener permiso explícito por parte de la primaria, que es responsable del funcionamiento de la línea.

HDLC utiliza transmisión síncrona. Todos los intercambios se realizan a través de tramas con un formato único de tramas para datos y control.

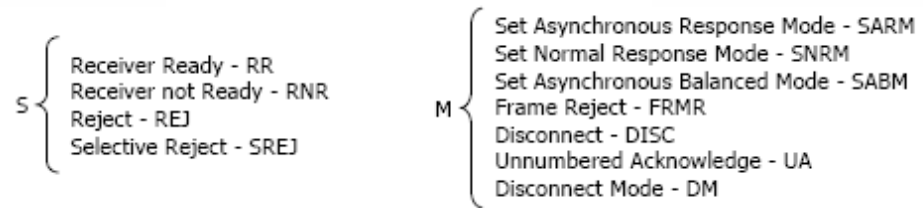


- Los campos de delimitación siguen el patrón 01111110, que puede cerrar una trama y abrir otra. Se evita la aparición del delimitador en el resto de la trama mediante la inserción de un 0 tras cinco 1 consecutivos. Si el receptor detecta cinco 1 consecutivos, examinará el sexto bit. Si es 0, se eliminará sin más, y si es un 1 y el séptimo es un 0, se aceptará como delimitador.

- El campo de dirección identifica a la estación secundaria que ha transmitido (respuesta) o que va a recibir la orden. Son direcciones de multicast y broadcast.
- El campo de información está presente en las tramas de información y en algunas no numeradas. Su longitud debe ser múltiplo entero de 8.
- El campo de control de errores se calcula teniendo en cuenta dirección, control e información. Es diferente para cada tipo de trama, identificado mediante el primer o los dos primeros bits del campo de control:
  - Tramas de información: Transportan los datos y acuses de recibo.
  - Tramas de supervisión: Control de errores y de flujo. Proporcionan asentimiento cuando no es factible incorporarlo en las tramas de datos.



Formato del campo de control



En la parte inferior de la imagen se muestran los diferentes comandos y respuestas. Para las tramas de supervisión son los siguientes:

- RR (*Receive Ready*): Estación lista para recibir trama. Acuse de recibo usando el campo N(R).
- RNR (*Receive Not Ready*): Estación ocupada. Acuse de recibo con N(R).
- SREJ (*Selective Reject*): Solicita retransmisión trama identificada en N(R). Acuse de recibo para trama con número hasta N(R)-1.
- REJ (*Reject*): Solicita retransmisión de un conjunto de tramas, empezando por N(R). Acuse de recibo para tramas con número hasta N(R)-1.

Y para las tramas no numeradas son los que se enumeran a continuación:

- SABM (*Set Asynchronous Balanced Mode*): Inicia enlace en modo ABM. (Existen tramas SNRM y SARM).

- DISC (*Disconnect*): Abandona el modo de operación en curso.
- UA (*Unnumbered Acknowledgement*): Acuse de recibo.
- DM (*Disconnect Mode*): Solicita una orden de elección de modo o responde que no puede entrar en el modo solicitado por una orden de selección de modo.

Como último punto, se resumirá el funcionamiento del protocolo. Intercambia tramas de información, supervisión y no numeradas en tres fases (iniciación, transferencia y desconexión). HDLC utiliza un temporizador que se arranca cada vez que se envía una trama (se retransmire si expira) y un contador con el número máximo de retransmisiones por expiración del temporizador.

# Capítulo 9

## Nivel de red

### 9.1. Introducción

La capa de red obtiene paquetes de la fuente y los encamina por la red hasta el destino, seleccionando la trayectoria más adecuada, evitando la sobrecarga de las líneas y resolviendo problemas derivados de que la fuente y el destino estén en redes distintas. Es la capa más baja que se ocupa de la transmisión de extremo a extremo, por lo que necesita conocer la topología de la subred.

A la hora de diseñarla, se deben tener en cuenta varios factores que se detallarán a continuación.

- Servicios proporcionados a la capa de transporte.
- Organización interna de la capa de red.
- Encaminamiento o *routing*.
- Congestión.
- Interconexión de redes.

### 9.2. Servicios proporcionados a la capa de transporte

En un principio, la ISO sólo admitió los servicios orientados a conexión en la capa de red, principalmente porque las compañías necesitaban un sistema para facturar por tiempo de conexión. Posteriormente se permitieron los servicios sin conexión.

### 9.3. Organización interna de la capa de red

En la subred, se puede trabajar con o sin conexiones. A una conexión entre origen y destino se le denomina “circuito virtual”, en analogía con el circuito telefónico. A los paquetes independientes de las organizaciones sin conexión se les denomina “datagramas”, en analogía con los telegramas.

- Los circuitos virtuales tratan de evitar que haya que tomar decisiones de encaminamiento, determinando la ruta y sus paquetes al establecer la conexión. Los IMPs deberán recordar hacia dónde tienen que enviar los paquetes, por lo que mantienen una tabla con una entrada para cada circuito virtual abierto. Cada paquete que circule por la red deberá llevar un campo que indique cuál es su circuito virtual. Cuando se libera la conexión, se desecha el circuito virtual.
- Con los datagramas, no se determina una ruta anticipadamente y cada paquete se encamina de forma independiente. Por ello, son más robustos y se adaptan mejor a los fallos y a la congestión que los circuitos virtuales. Los nodos tienen una tabla que indica hacia dónde tienen que enviarse los paquetes que lleven un determinado destino. El datagrama deberá contener la dirección completa del destinatario.

Tanto los circuitos virtuales como los datagramas tienen sus ventajas e inconvenientes. Por ejemplo, los circuitos virtuales utilizan números de circuitos en vez de direcciones completas del destinatario, que pueden suponer una sobrecarga si los paquetes son pequeños. Sin embargo, los circuitos virtuales son más vulnerables. Si un IMP falla, todos los circuitos que pasan por él lo harán y tendrán que ser abortados. Sin embargo, los datagramas permiten balancear el tráfico, y si un IMP falla sólo se perderían los paquetes que esperaban en su cola.

## 9.4. Encaminamiento o *routing*

La función principal de la capa de red consiste en encaminar paquetes que, en la mayoría de casos, necesitarán varios saltos para llegar al destino. El algoritmo de encaminamiento es el encargado de decidir qué línea de salida debe tomar el paquete en un IMP. Si se utilizan datagramas, esta decisión se tomará cada vez que llegue un paquete, y en el caso de circuitos virtuales, cuando se establezca uno.

Los algoritmos de encaminamiento se pueden agrupar en dos clases principales:

- No adaptativos: Es un encaminamiento estático, es decir, las rutas se determinan anticipadamente y se cargan en los IMPs cuando la red arranca.
- Algoritmos adaptativos: Intentan adaptar sus decisiones a las condiciones de topología y tráfico. Hay tres tipos de algoritmos adaptativos: globales, locales y distribuidos.

A continuación se expondrán diferentes algoritmos de encaminamiento.

### 9.4.1. Encaminamiento por el camino más corto

A través de la construcción de un grafo de la red y aplicando sobre él el algoritmo de Dijkstra, se busca, según la situación el camino con menos saltos, kilómetros, retardo promedio, mayor ancho de banda...

### 9.4.2. Encaminamiento Centralizado

Se sitúa un CCE (Centro de Control del Encaminamiento) en algún punto de la red, y los IMPs le transmiten periódicamente información de su estado. En función

de eso, el CCE calcula las rutas y las redistribuye entre los IMPs, por lo que éstos se libran de tener que realizar esa función. Esto es también un inconveniente, porque el cálculo tendrá que realizarse a menudo, más cuando aumente el tráfico, y si el CCE falla, la red estará en una situación muy problemática. Otra desventaja es que unos IMPs recibirán las tablas antes que otros, lo que puede dar lugar a inconsistencias.

### 9.4.3. Encaminamiento Aislado

Las decisiones son tomadas por los IMPs basándose únicamente en la información que ellos mismos hayan reunido sin intercambiar información. Sin embargo, tratan de adaptarse a los cambios que se presenten. Se utilizan dos tipos de algoritmos:

- Algoritmo de la patata caliente: Cuando llega un paquete lo envía por la cola de salida más corta en ese momento. Puede combinarse con el encaminamiento estático.
- Algoritmo de aprendizaje hacia atrás: Cada paquete tiene un contador que se incrementa cada vez que da un salto. Si un nodo recibe un paquete por una línea H y tiene un 4 en el contador, sabe que enviando por esa línea H estará como mucho a 4 saltos.

### 9.4.4. Inundación

Es el caso extremo de encaminamiento aislado, en el que cada nodo envía el paquete por todas las líneas excepto por la que llegó. Si no se controla se pueden generar infinitos paquetes duplicados. Para evitarlo se pone un contador en los paquetes que se decrementa cada vez que salta. Cuando llegue a cero el paquete se desecha. No es muy práctico, pero se utiliza en aplicaciones que necesitan gran robustez. Sus propiedades, junto a su justificación, son las siguientes:

- Muy resistente: Se prueban todos los posibles caminos.
- Puede emplearse para establecer la ruta para un circuito virtual: Al menos una copia del paquete a recibir en el destino habrá usado una ruta de menor número de saltos.
- Útil para propagar información: Se visitan todos los nodos.

#### Inundación selectiva

La inundación es una técnica poco efectiva. La inundación selectiva mejora el rendimiento transmitiendo los paquetes por las líneas que van en la dirección correcta.

### 9.4.5. Encaminamiento Distribuido

Los IMPs intercambian constantemente información de encaminamiento con sus vecinos. Es bastante efectivo, pero produce un aumento artificial del tráfico debido a dicho intercambio, y plantea el problema de decidir cuándo realizarlo.

## 9.5. Control de la congestión

Cuando hay muchos paquetes transitando por la subred, el rendimiento se degrada. A esta situación se le denomina “congestión” y puede estar producida por IMPs lentos o porque las líneas de entrada son superiores a las de salida en los IMP.

La congestión suele tener un efecto de realimentación. Los paquetes que no pueden ser admitidos en las colas se descartan, y al vencer los temporizadores los paquetes se vuelven a enviar.

Se debe diferenciar el control de la congestión (extremo a extremo) y el control del flujo (entre dos puntos, controlado por la capa de red).

### 9.5.1. Algoritmos de control de la congestión

Existen muchas estrategias, como las tres siguientes:

- **Preasignación de buffers:** Al crear un circuito virtual se reservan uno o varios buffers. Si no hay, se busca una ruta alternativa o se devuelve una señal de ocupado. Con un protocolo de ventana deslizante el número de buffers a almacenar será igual a la ventana, en cuyo caso la conmutación de paquetes llega a parecerse bastante a la de circuitos.
- **Descarte de paquetes:** No reserva nada por adelantado; si llega un paquete y no hay buffer para almacenarlo se descarta. Si el paquete que llegase fuera un asentimiento, se podría liberar un buffer. Sin embargo, si no hay buffers disponibles no se va a poder examinar el paquete para comprobarlo, por lo que se reserva un buffer por línea de entrada, de manera que siempre se puedan examinar los paquetes.  
Para el descarte, se establece un algoritmo para que una línea no consuma todos los buffers.
- **Control isarrítmico de la congestión:** Trata de controlar la congestión limitando el número de paquetes que circulan por la red (intenta mantenerlo constante). En la red existen una especie de permisos que un IMP debe capturar cuando quiera transmitir un paquete, y después destruirlo. Cuando el destinatario saca el paquete de la red regenera el permiso.  
Los problemas que presenta el control isarrítmico son que no garantiza la saturación de un IMP, que la distribución de los permisos implica retardos, y que su destrucción por fallos haría perder capacidad a la red de forma permanente.

## 9.6. Interconexión de redes

Cuando las máquinas origen y destino están en subredes diferentes los problemas de encaminamiento se acentúan, sobre todo cuando las redes no están interconectadas directamente. Además, pueden utilizar diferentes protocolos o tecnologías, lo que implica que habrá diferentes paquetes, formas de controlar el flujo y reglas de asentimiento.

La interconexión de redes se realiza en la capa de red de los routers, y se deben ofrecer mecanismos para soportar los diferentes protocolos de las capas de red, armonizar las subredes que ofrecen diferentes servicios y hacer posible el encaminamiento de extremo a extremo.

# Capítulo 10

## Arquitectura de la red Internet

### 10.1. Introducción

Internet es una estructura virtual implementada mediante software sobre un conjunto de redes físicas, interconectándolas y ocultando la arquitectura que está por debajo.

### 10.2. Organización en capas

La arquitectura de Internet presenta una arquitectura conceptual de 4 niveles.

- Capa de aplicación: Nivel superior, en el que se encuentran los programas que acceden a los servicios disponibles.
- Capa de transporte: Establece una comunicación segura extremo a extremo en la que realiza un control del flujo de la información.
- Capa de Internet: Posibilita el encaminamiento de los datos.
- Capa de interfaz de red: Se relaciona directamente con el hardware.

### 10.3. La capa Internet y el protocolo IP

Posee las características habituales en una capa de red: proporciona servicios a la capa de nivel superior, rutinas de encaminamiento, control de la congestión... Además, posibilita la interconexión de redes heterogéneas y define una unidad básica de información para ser transmitida.

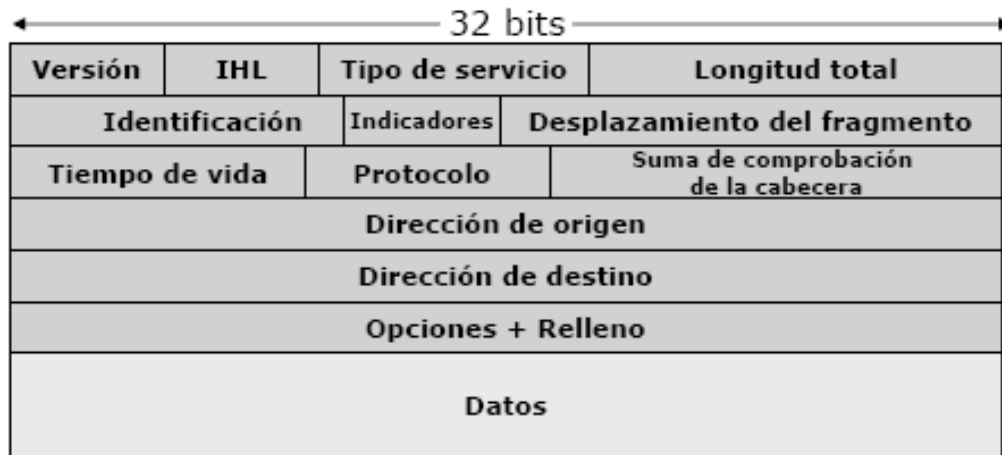
En este nivel se emplea principalmente el protocolo IP, con las siguientes características:

- No incluye técnicas para la gestión de errores.
- La unidad básica de información se denomina “datagrama IP”. Los datagramas son conceptualmente idénticos a los paquetes tradicionales: se controla su tiempo de vida, a veces se descartan, y es necesario implementar mecanismos para su segmentación y reensamblado (en el caso de que recorran redes de distinta capacidad, por ejemplo). Cada datagrama se trata de forma independiente (es un protocolo no orientado a conexión).

- Es inseguro y poco fiable porque cuando se produce un error los datagramas se pierden, además de que pueden retrasarse o llegar duplicados o desordenados.

Respecto a los datagramas, su formato incluye varios campos:

- Versión del protocolo IP.
- IHL: Longitud de la cabecera medida en palabras de 32 bits.
- Tipo de servicio: Incluye información sobre el camino a seguir. Actualmente es ignorado por gran parte de routers, puesto que permite elegir el camino más rápido, más corto, de más ancho de banda, etc.
- Longitud total del datagrama medido en bytes.
- Identificación del datagrama mediante un número de secuencia.
- Indicadores de si el datagrama debe ser fragmentado o no.
- Desplazamiento de los datos con respecto a los enviados en el datagrama inicial.
- Tiempo de vida que le queda al datagrama (en segundos).
- Protocolo de nivel superior que transporta el datagrama (TCP, UDP).
- Suma de comprobación: Campo de detección de errores que asegura la integridad de la cabecera.
- Direcciones origen y destino (32 bits cada una).
- Opciones: Lista con información del datagrama.
- Datos (de tamaño variable).



Para hacer llegar los datagramas a su destino, IP usa información de direccionamiento. Un host se identifica mediante un nombre, una dirección IP (dónde está) y una ruta (cómo llegar). La dirección IP, de 32 bits, está formada por dos partes, que identifican la máquina y la red en la que se encuentra. Hay 3 clases de direcciones:

- Clase A: Empieza por 0, y reserva 7 bits para la red y 24 para el host.

- Clase B: Empieza por 10, y reserva 14 bits para la red y 16 para el host.
- Clase C: Empieza por 110, y reserva 21 bits para la red y 8 para el host.

Para separar la dirección de red de la dirección de host se utiliza una máscara de red. El uso de diferentes máscaras permite agrupar direcciones IP en lo que se conoce como “subredes”, permitiendo realizar una división lógica de una red.

## 10.4. La Capa de transporte y los protocolos TCP y UDP

Se emplean principalmente dos protocolos: TCP *Transmission Control Protocol* y UDP *User Datagram Protocol*. A este nivel, se permite el intercambio de datos en ambos sentidos de forma simultánea (full-duplex).

Se emplean los puertos, un segundo nivel de direccionamiento que permite identificar al programa o aplicación del que proceden o al que van dirigidos los mensajes (FTP en el 21, SSH en el 22, Telnet en el 23, etc). Puede pensarse en ellos como una cola donde los protocolos sitúan los mensajes. TCP y UDP los utilizan para averiguar el destino último dentro de la máquina que recibe los mensajes, y multiplexan los datos entrantes de diferentes programas.

Este sistema permite que varios programas dentro de una misma máquina se comuniquen concurrentemente

### 10.4.1. El protocolo TCP

Es un protocolo orientado a conexión fiable, porque utiliza asentimientos y solicita reenvíos. Utiliza un sistema de ventana deslizante para la gestión del flujo, y buffers para hacer más eficiente la transferencia.

Suele acumular datos hasta que tiene suficientes para llenar un datagrama, pero también se puede forzar el envío.

### 10.4.2. El protocolo UDP

No orientado a conexión y no fiable, porque sus mensajes pueden llegar fuera de secuencia o perderse. Se utiliza en aplicaciones para diseminar datos de salida, de tiempo real o de transmisión de vídeo.