

TEMA 1

Introducción

1.1 Evolución histórica de las redes de comunicaciones

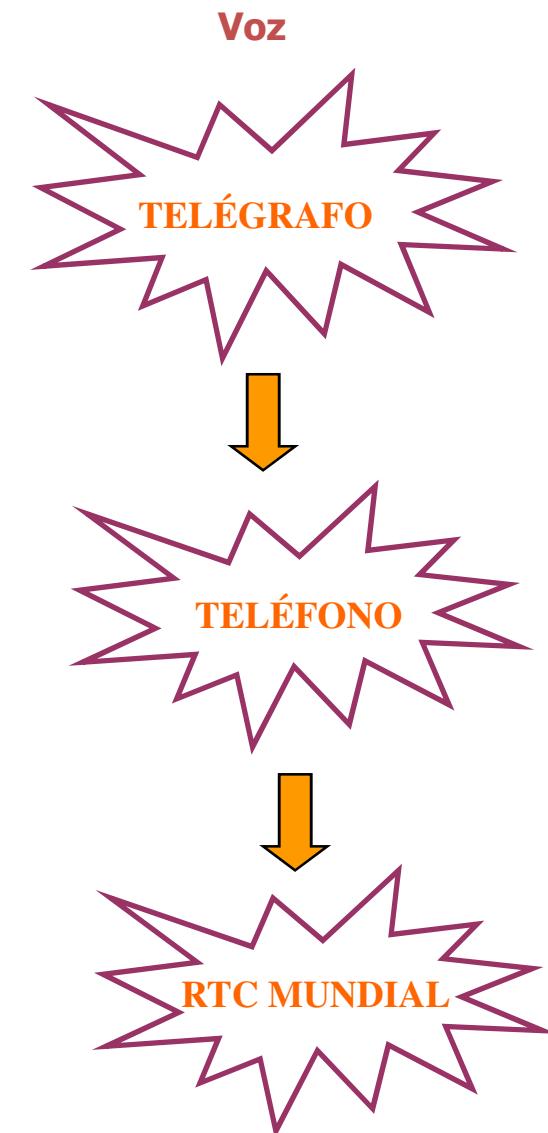
Mediados siglo XIX

Finales siglo XIX

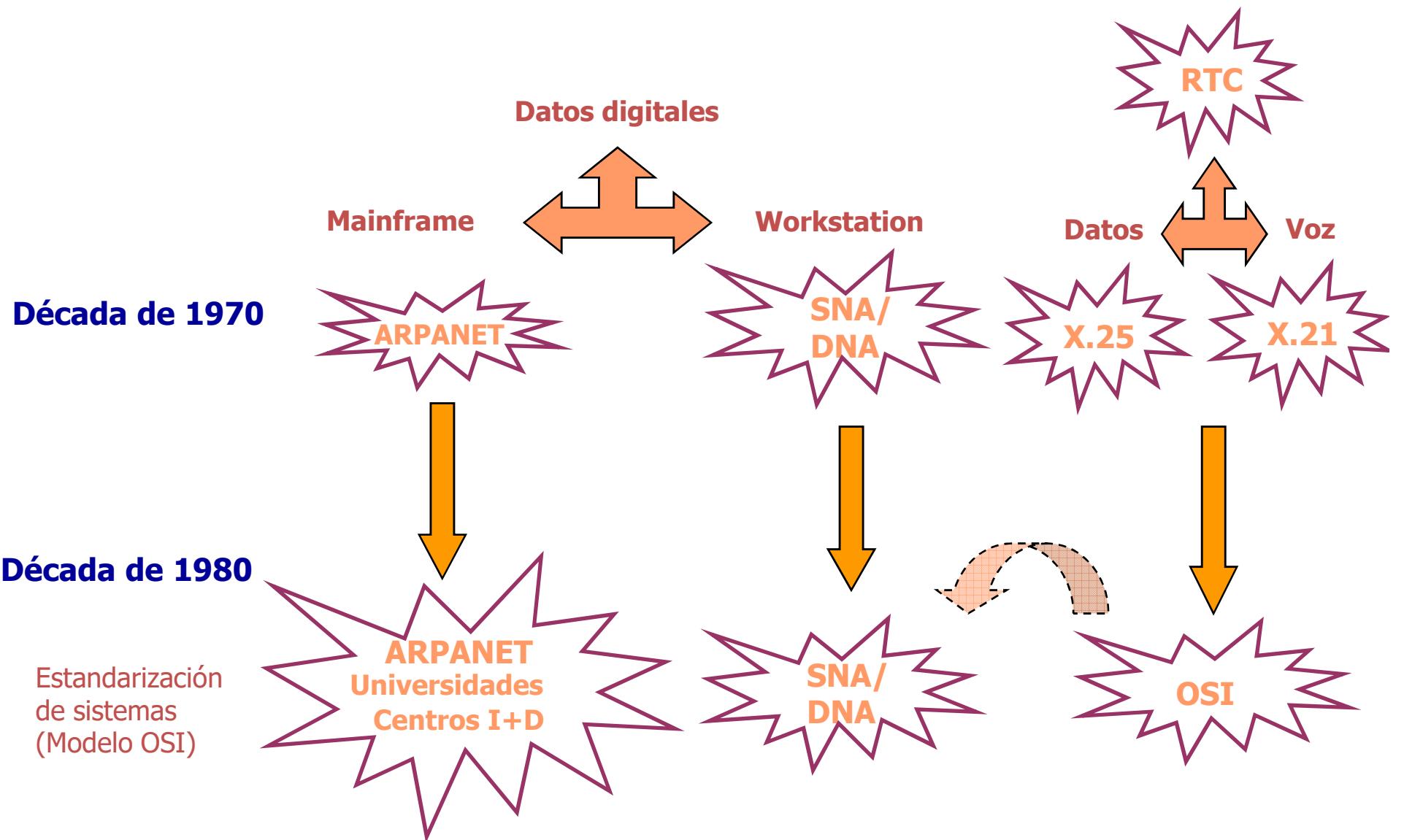
Década de 1950

Electrónica digital

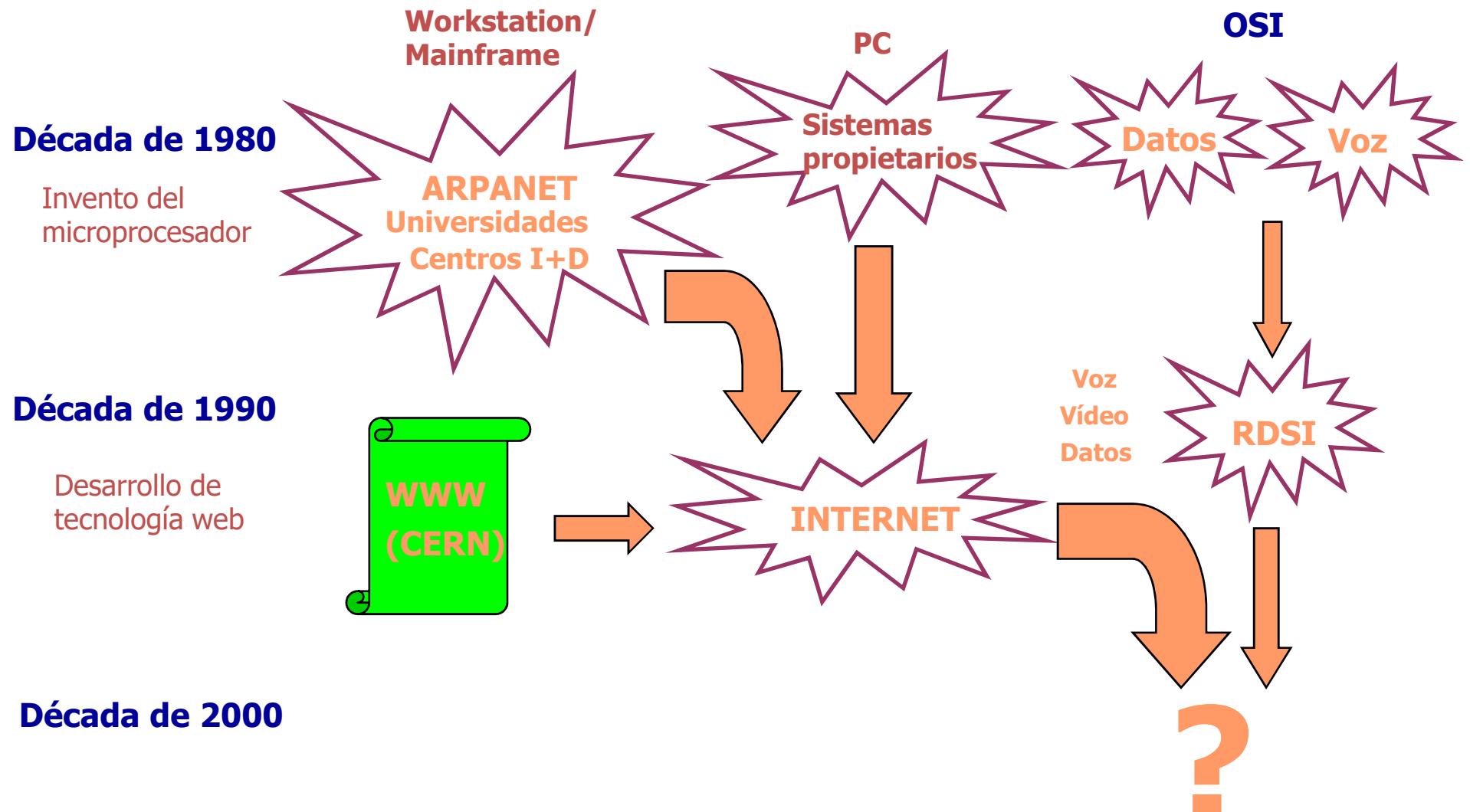
Datos digitales



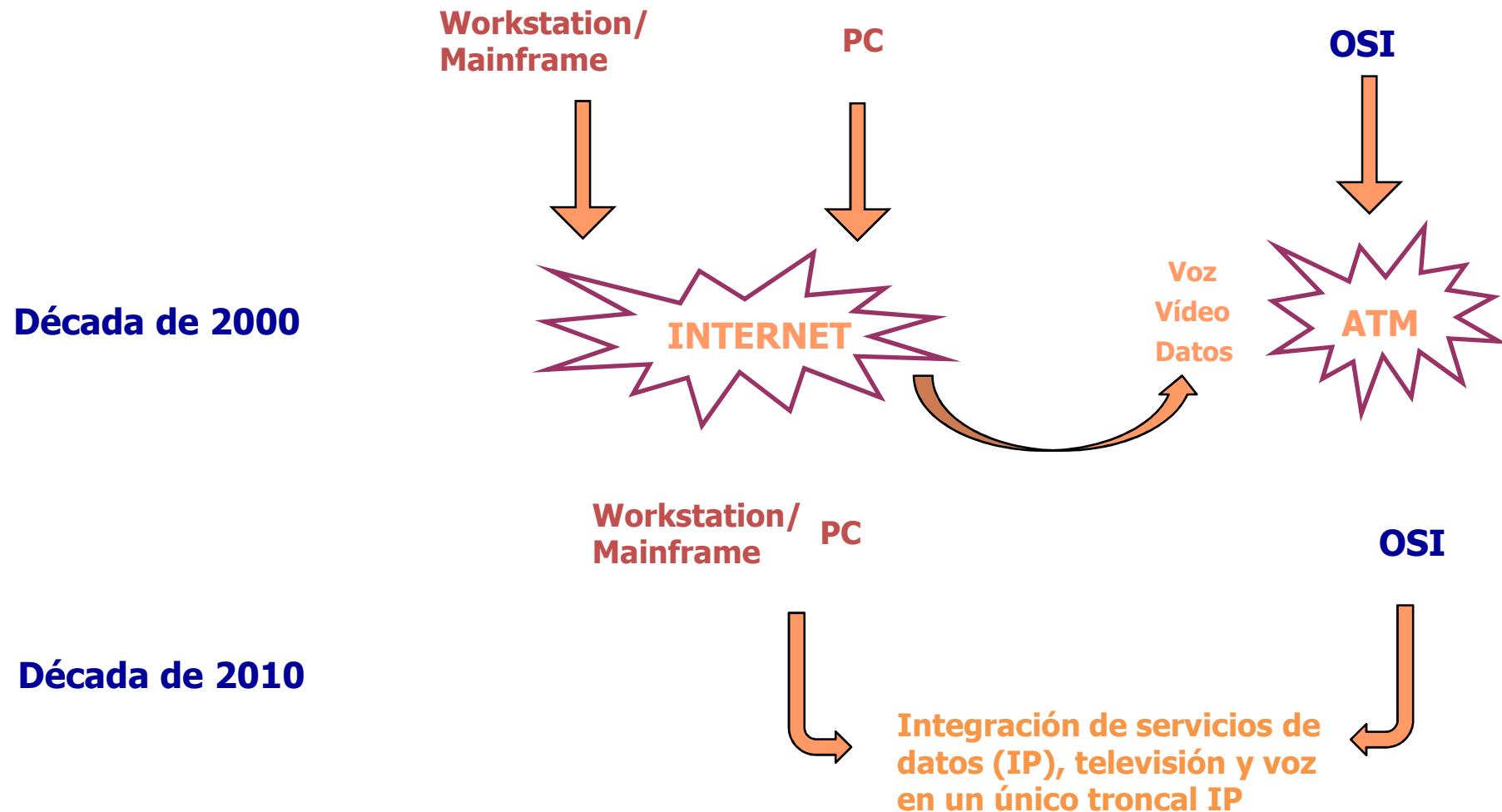
1.1 Evolución histórica de las redes de comunicaciones



1.1 Evolución histórica de las redes de comunicaciones



1.1 Evolución histórica de las redes de comunicaciones

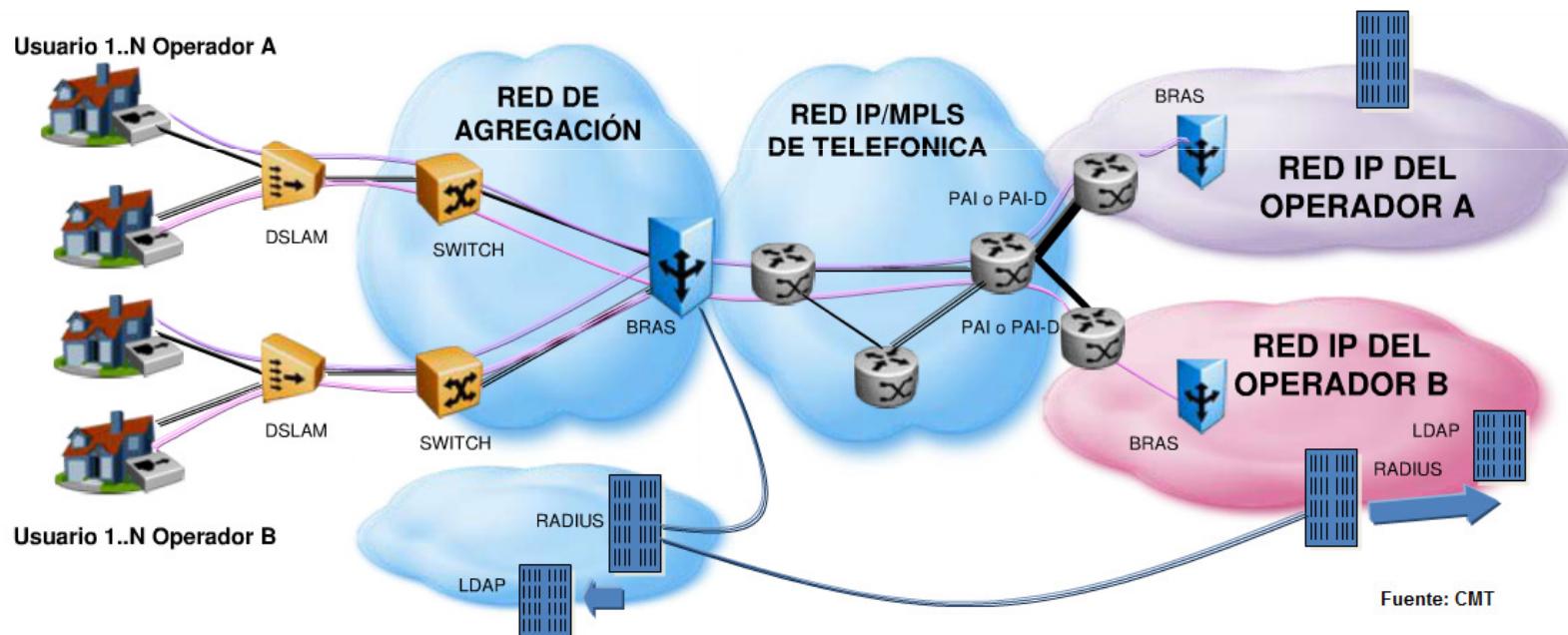


1.1 Evolución histórica de las redes de comunicaciones

Actualidad

Comunicaciones orientadas al servicio, basadas en una arquitectura con Redes de Acceso, Redes de Agregación y Redes Troncales.

Dispositivos de comunicaciones (teléfonos, televisión, computadores...) basados en la arquitectura TCP/IP.



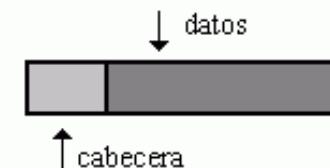
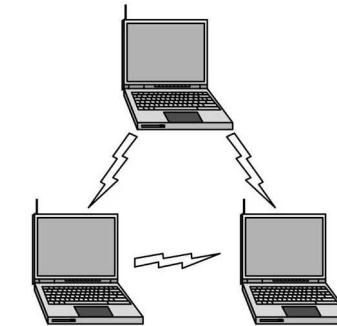
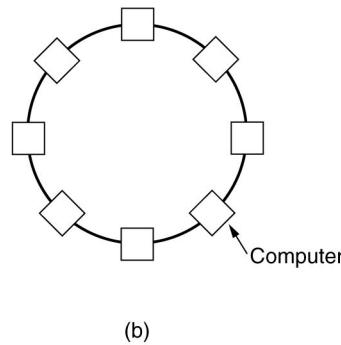
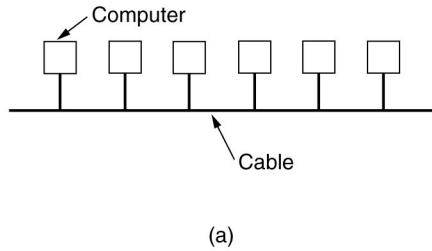
1.2 Fundamentos tecnológicos de las redes de comunicaciones

Clasificación por tipo de interconexión entre las estaciones

Redes de difusión

Redes punto a punto

Redes de difusión



Uso compartido del medio físico por un conjunto de estaciones

La fragmentación en paquetes permite un reparto del uso del medio y reenvíos pequeños en caso de errores.

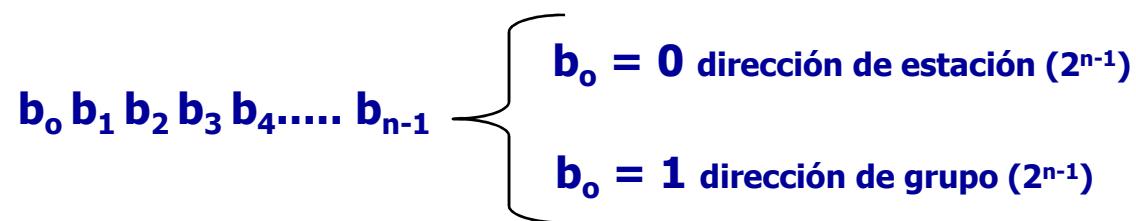
- Direccionalamiento físico: n bits para identificar 2^n estaciones en la red
- Dirección de difusión: difusión de información a todas las estaciones de la red.

Ejemplo: n bits con valor 1

1.2 Fundamentos tecnológicos de las redes de comunicaciones

- Dirección de multidifusión: difusión de información a un grupo de estaciones de la red.

El primer bit de la dirección especifica si es una dirección de multidifusión



Existen dos direcciones reservadas que no se emplean para identificar ni estaciones ni grupos de estaciones

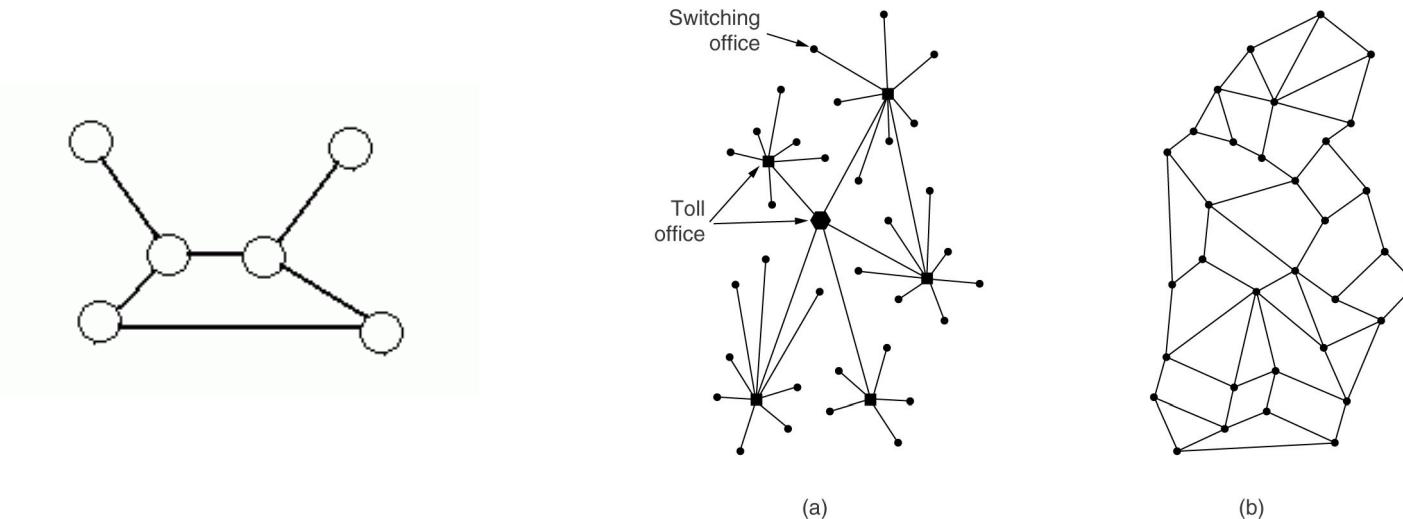
11111111.....11 → Dirección de difusión de la red

00000000.....00 → Dirección reservada (en algunas redes es la de difusión)

1.2 Fundamentos tecnológicos de las redes de comunicaciones

Redes punto a punto

Establecimiento de enlace físicos entre pares de nodos de la red.



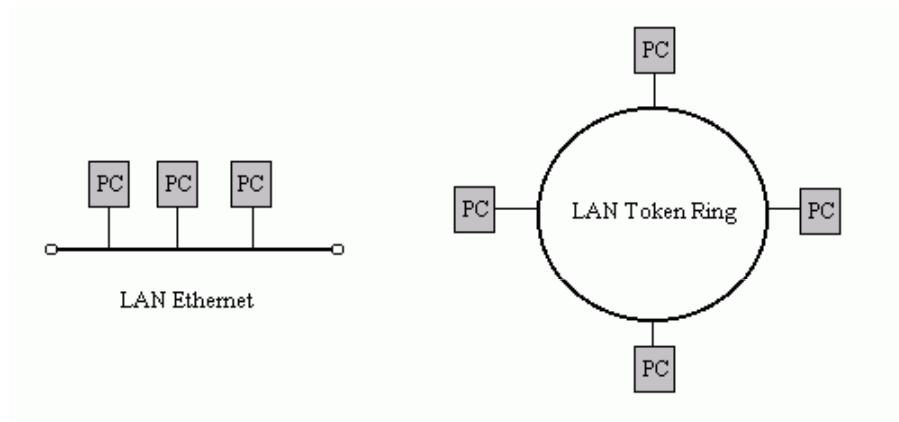
- El direccionamiento físico es insuficiente para el envío de información entre estaciones
- Necesidad de conocer la estructura de la red y de cómo enviar la información a través de nodos intermedios => Algoritmos de encaminamiento
- Tolerancia a fallos por redundancia de conexiones => alto coste económico de cableado

1.2 Fundamentos tecnológicos de las redes de comunicaciones

Clasificación por la escala geográfica de la red

- Redes LAN (Local Area Network)
- Redes MAN (Metropolitan Area Network)
- Redes WAN (Wide Area Network)

Redes LAN - Redes de área local



- Extensión geográfica de una sala, edificio o hasta campus (< 10 Km)

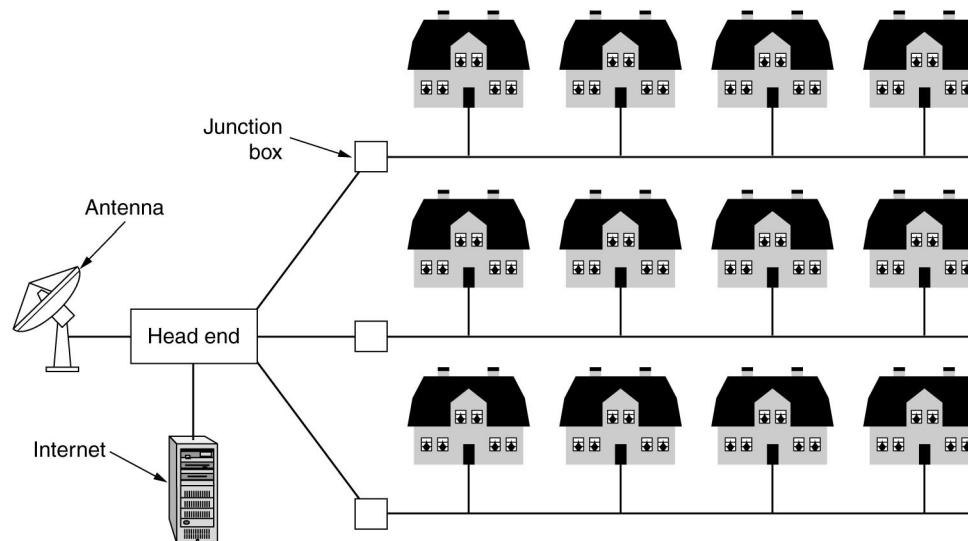
- LAN <=> tecnología de difusión

- Baja tasa de error en el medio físico
- Alta velocidad de transferencia (10 Mbps - 10 Gbps)
- Bajo coste de cableado
- Colisiones en el medio físico

1.2 Fundamentos tecnológicos de las redes de comunicaciones

Redes MAN - Redes de área metropolitana

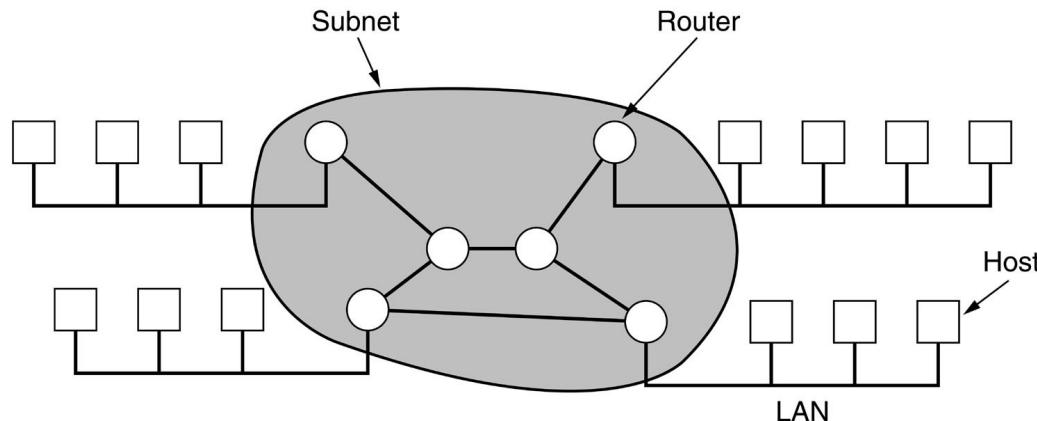
- Extensión geográfica de una ciudad
- MAN <=> tecnología de difusión y punto a punto (cable coaxial y fibra óptica)



**Alta velocidad de transmisión
(100 Mbps - 1 Gbps)**

1.2 Fundamentos tecnológicos de las redes de comunicaciones

Redes WAN - Redes de área extendida



- Extensión geográfica de un país o continente

- WAN <=> tecnología punto a punto

Encaminamiento de la información
Tasa de error en el medio físico mayor que en LAN
Velocidad de transferencia elevada (cientos de Gbps)
Coste de cableado elevado

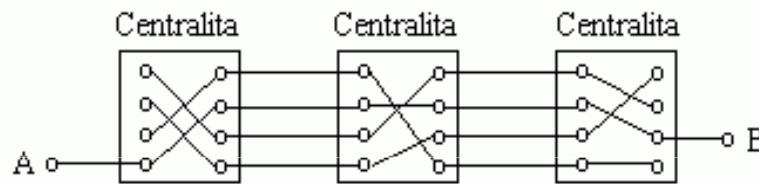
1.2 Fundamentos tecnológicos de las redes de comunicaciones

Tipos de redes WAN

- Redes de conmutación de circuitos (redes telefónicas)
- Redes de conmutación de paquetes (redes de datos)

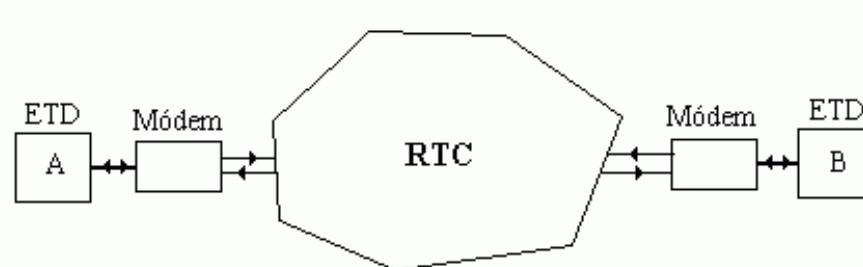
Redes de conmutación de circuitos

- Establecimiento de caminos físicos fijos en la red para cada comunicación



Saturación: falta de disponibilidad de circuitos en una centralita

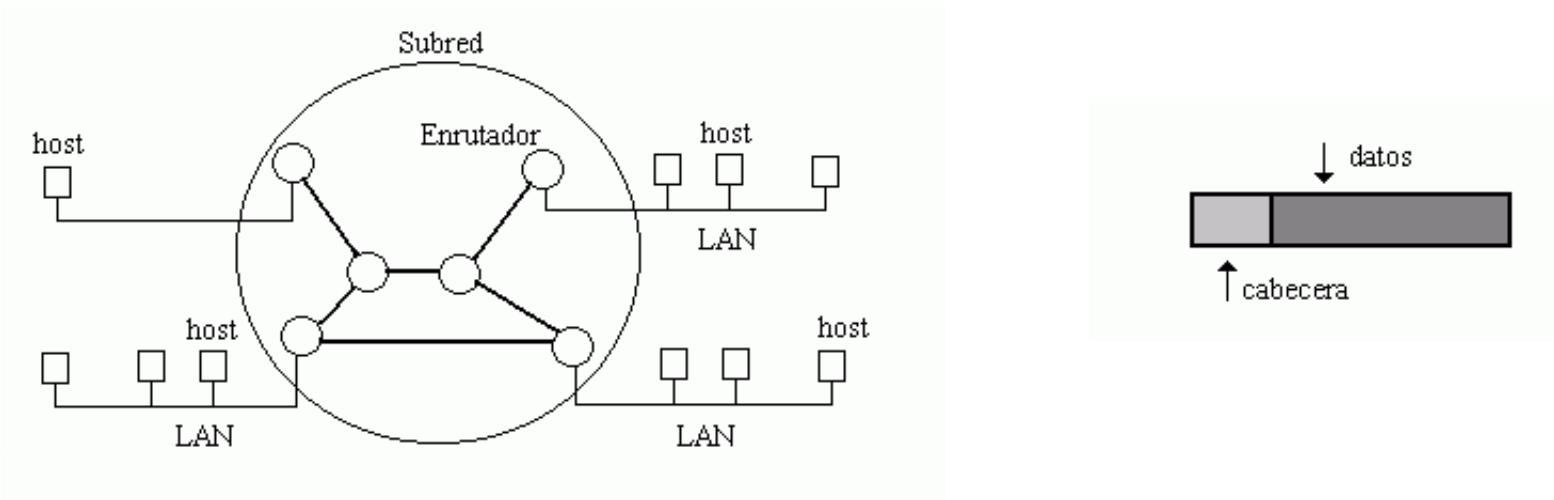
- Transmisión de datos en la red telefónica conmutada (RTC)



Velocidad de transferencia (V.90)
57600 bps

1.2 Fundamentos tecnológicos de las redes de comunicaciones

Redes de conmutación de paquetes



- **Router o encaminador:**

Dispositivo que determina el camino que los paquetes de información siguen en la red

- **Subred (Troncal):**

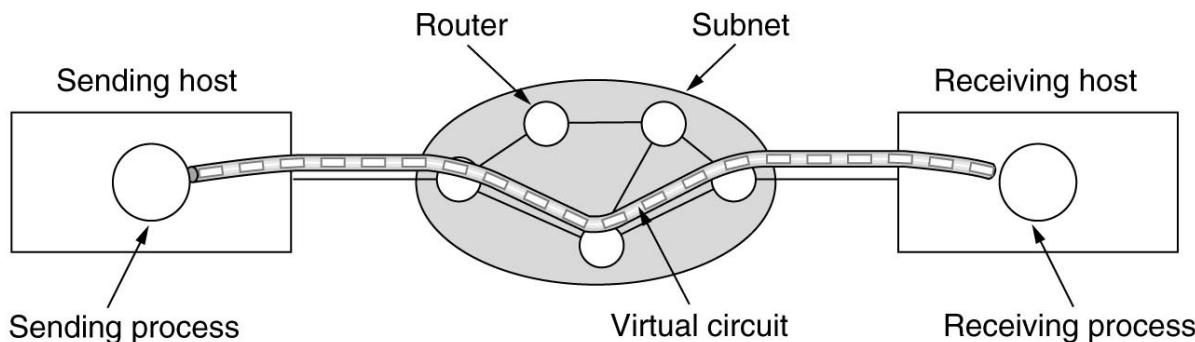
Conjunto de nodos encaminadores y líneas punto a punto que conforman la red WAN

- **Congestión: falta de recursos computacionales para el encaminamiento de los paquetes de información, produciéndose ralentización en el envío de información**

1.2 Fundamentos tecnológicos de las redes de comunicaciones

Determinación de caminos en una red de conmutación de paquetes

Comutación de paquetes con circuitos virtuales

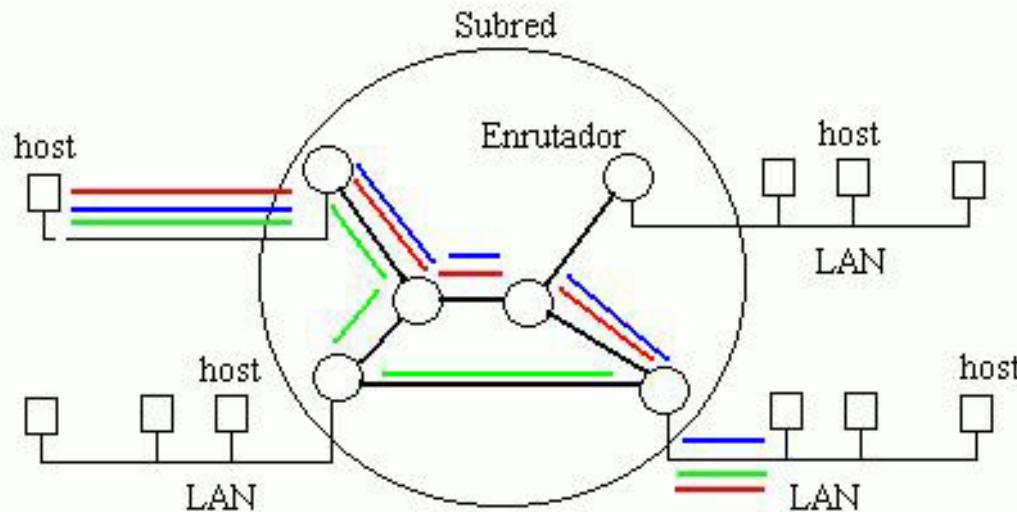


- Establecimiento del circuito virtual (id. de circuito virtual)
- Transferencia de paquetes de datos C.V. permanentes/no permanentes
- Liberación del circuito virtual
- Intercambio de datos fiable
- Control de los recursos disponibles para una comunicación (poca congestión)
- Las redes MPLS de los operadores de telecomunicaciones emplean este modo de funcionamiento

1.2 Fundamentos tecnológicos de las redes de comunicaciones

Determinación de caminos en una red de commutación de paquetes

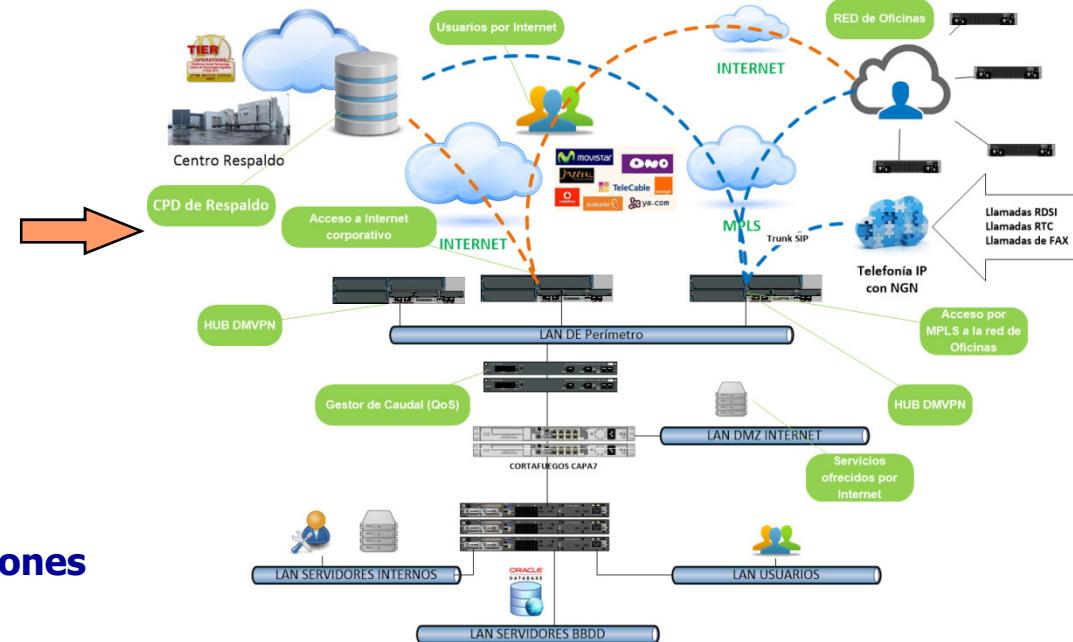
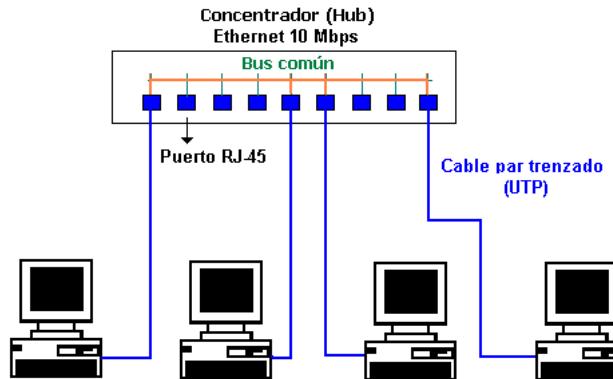
Commutación de paquetes con datagramas



- Decisión del siguiente salto para cada paquete en cada nodo (dirección origen y destino en la cabecera del paquete)
- No existen caminos preestablecidos, poco control de los recursos (mucha congestión)
- Tolerancia a fallos
- Comunicación no fiable (control de errores en los extremos)
- Internet emplea este modo de funcionamiento

1.3 Diseño y planificación de redes de computadores

Topología de un red de computadores corporativa (organismo privado)



- Elección de la tecnología

- Aplicaciones de comunicaciones
- Relación calidad/coste

- Planificación del direccionamiento

- Tamaño de la red
- Coste del encaminamiento

- Seguridad

- Autenticación
- Autorización
- Accountig (monitorización)

- Calidad de servicio (QoS)

- Reparto de la velocidad de transferencia
 - Servicio: web, ftp, e-mail
 - Equipo

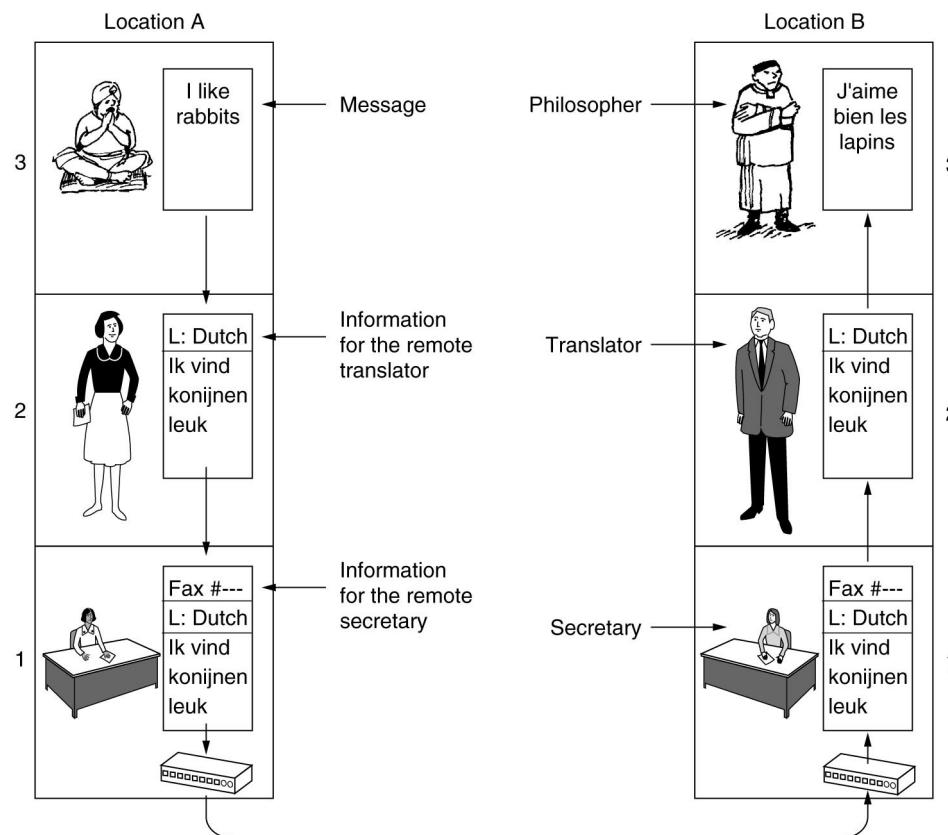
TEMA 2

ARQUITECTURA DE RED

2.1 Modelo de capas

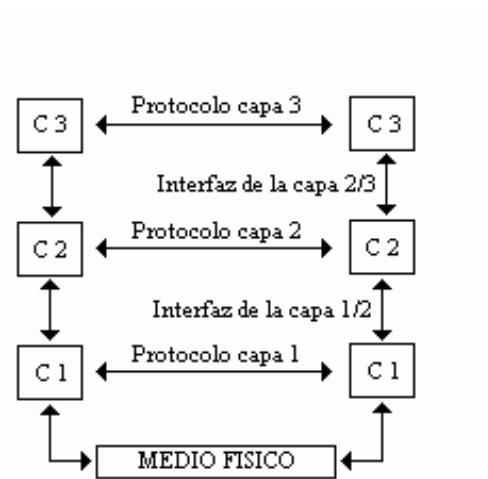
Arquitectura de red

Conjunto de protocolos perfectamente definidos e implementados que caracterizan cómo se realiza el intercambio de información en una red de comunicaciones



2.1 Modelo de capas

Modelo de capas



Capa o nivel de una arquitectura de red: Cada uno de los niveles de abstracción definidos en la comunicación.

Entidades pares: Las instancias de una capa en cada extremo de la comunicación.

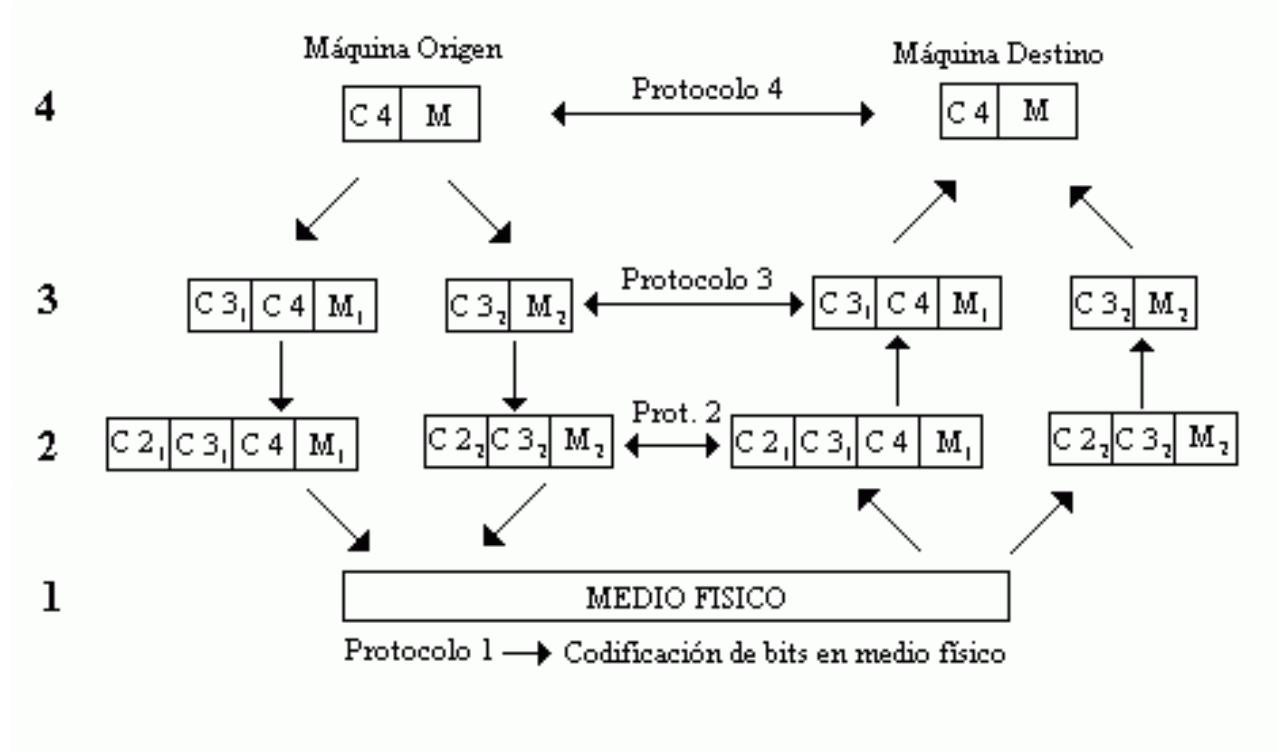
Protocolo: Conjunto de normas para la comunicación entre entidades pares

Servicios: Conjunto de funciones que una capa ofrece a su capa superior

Interfaz: Conjunto de normas para la comunicación entre capas adyacentes

2.1 Modelo de capas

Ejemplo de arquitectura de red



Protocolo 4: Definición del tipo de mensaje a intercambiar: e-mail, página web, fichero, etc.

Protocolo 3: Fragmentación del mensaje en trozos para evitar el retardo debido a errores.

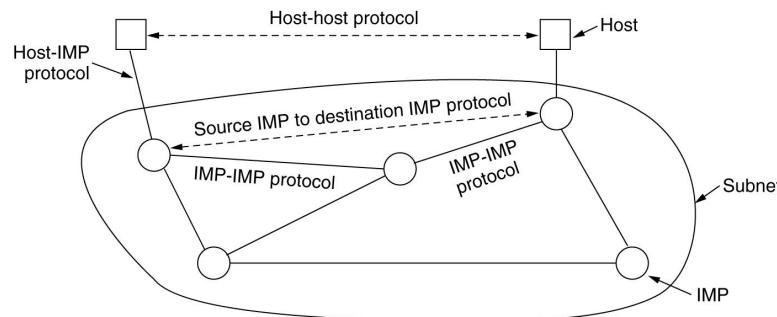
Protocolo 2: Identificación del destinatario del mensaje en la red.

Protocolo 1: Codificación de los bits en señales eléctricas.

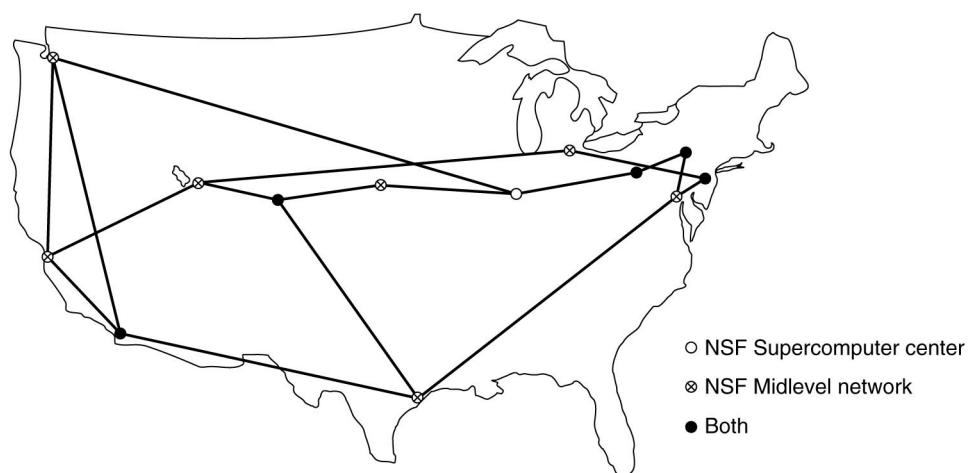
2.2 Modelo de Arquitectura TCP/IP (Internet)

El origen y desarrollo de Internet

Década de 1970: ARPANET. Red militar (DoD) en EEUU con objetivos de defensa.



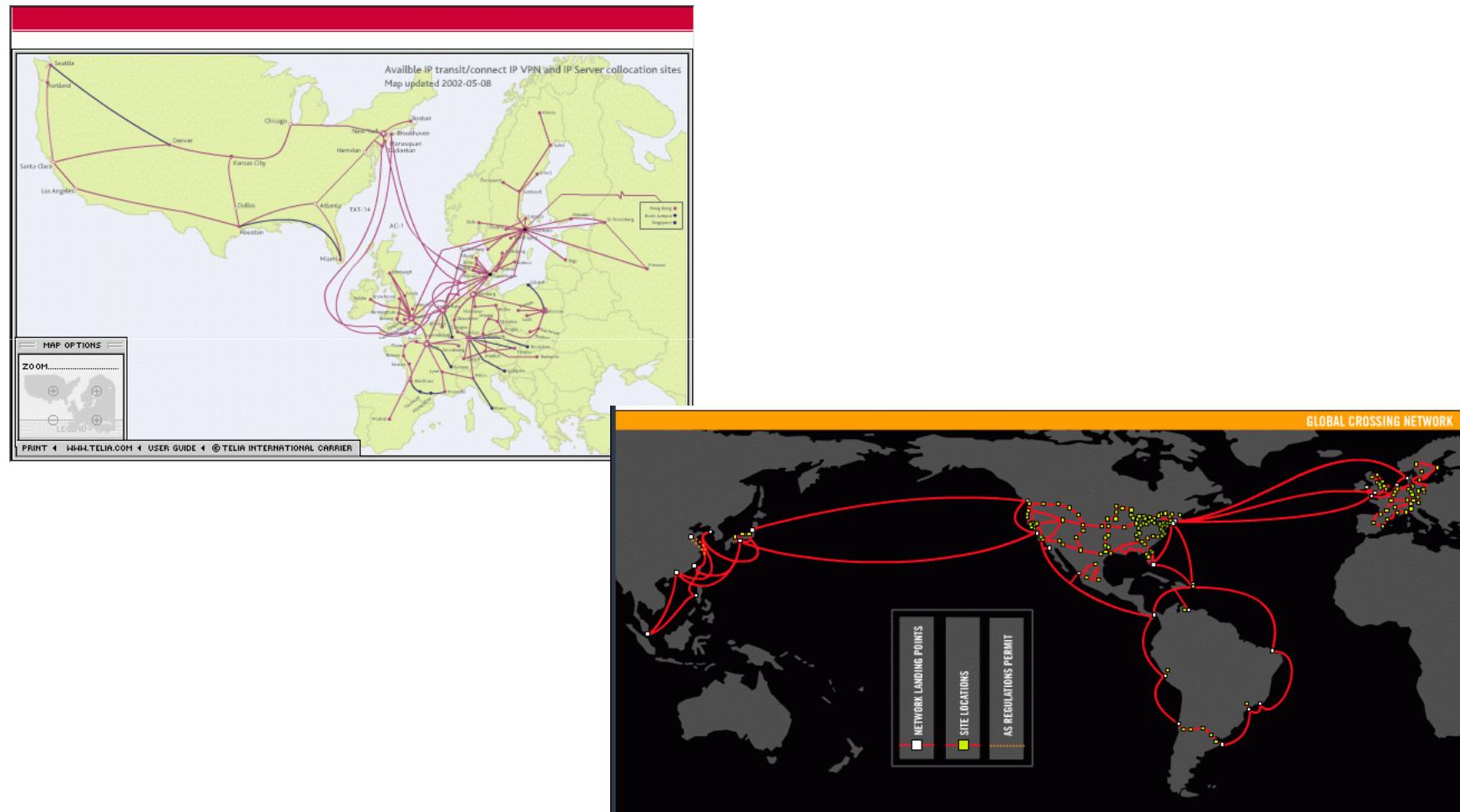
Década de 1980: ARPANET/MILNET. Separación en red de investigación y militar. Expansión de ARPANET en Universidades y centros de investigación EEUU y Europa. Unix de Berkeley.



2.2 Modelo de Arquitectura TCP/IP (Internet)

El origen y desarrollo de Internet

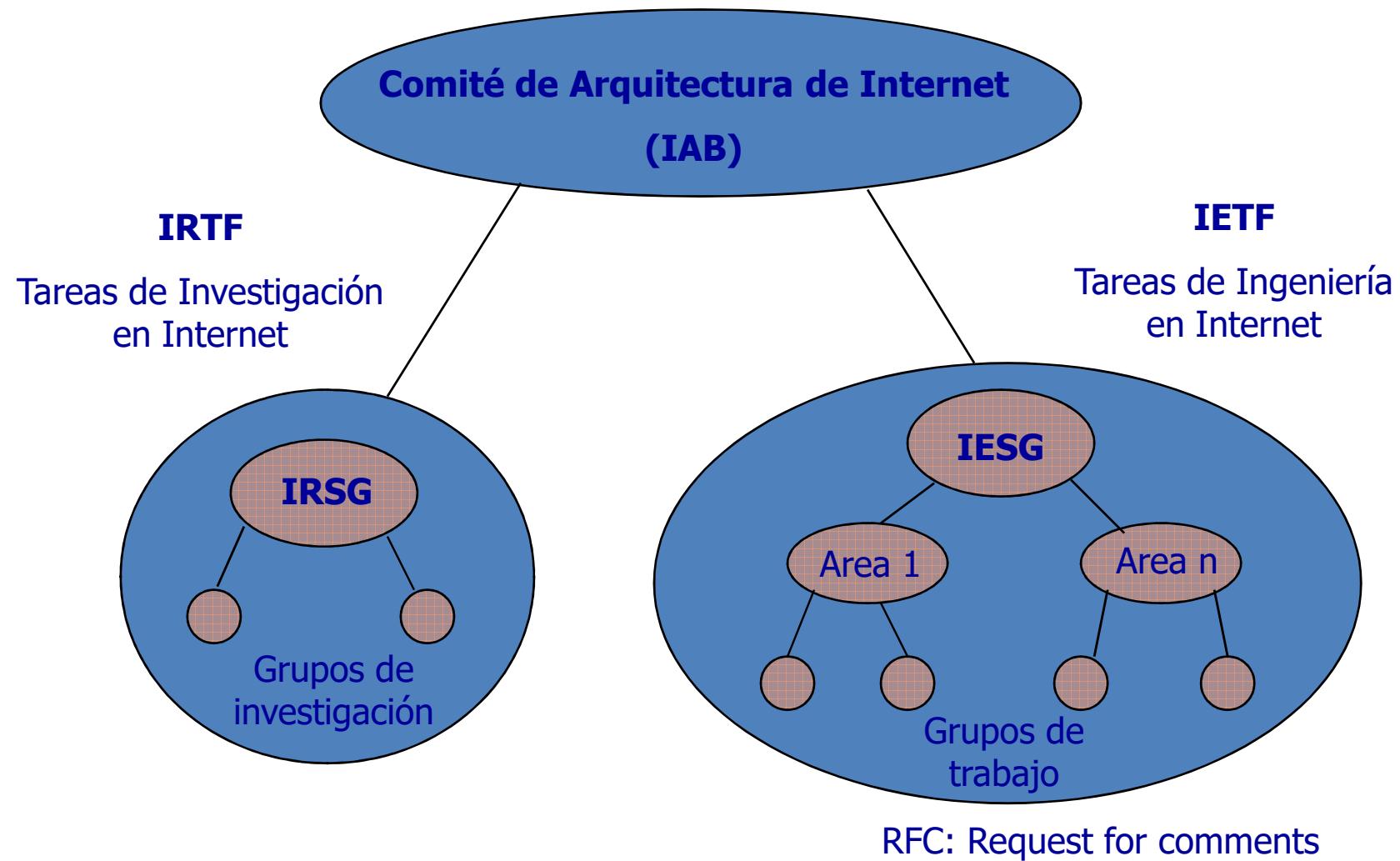
Década 1990: Expansión de ARPANET en empresas de todo el mundo: conexión a Internet o adopción de protocolos de Internet.



2.2 Modelo de Arquitectura TCP/IP (Internet)

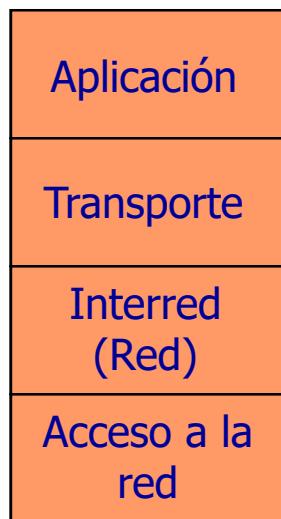
El origen y desarrollo de Internet

Estructura organizativa en Internet



2.2 Modelo de Arquitectura TCP/IP (Internet)

Modelo de capas de TCP/IP



Capa de aplicación: Define el conjunto de aplicaciones que ofrece Internet para la comunicación.

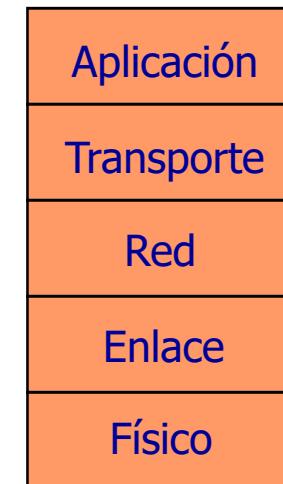
Capa de transporte: Permite el control de la comunicación extremo a extremo en Internet.

Capa de interred (red): Permite el encaminamiento de paquetes de información entre dos equipos de la red.

Capa de acceso al medio: Permite el envío de un paquete procedente de la capa de red (paquete IP) a través de un medio físico de comunicación



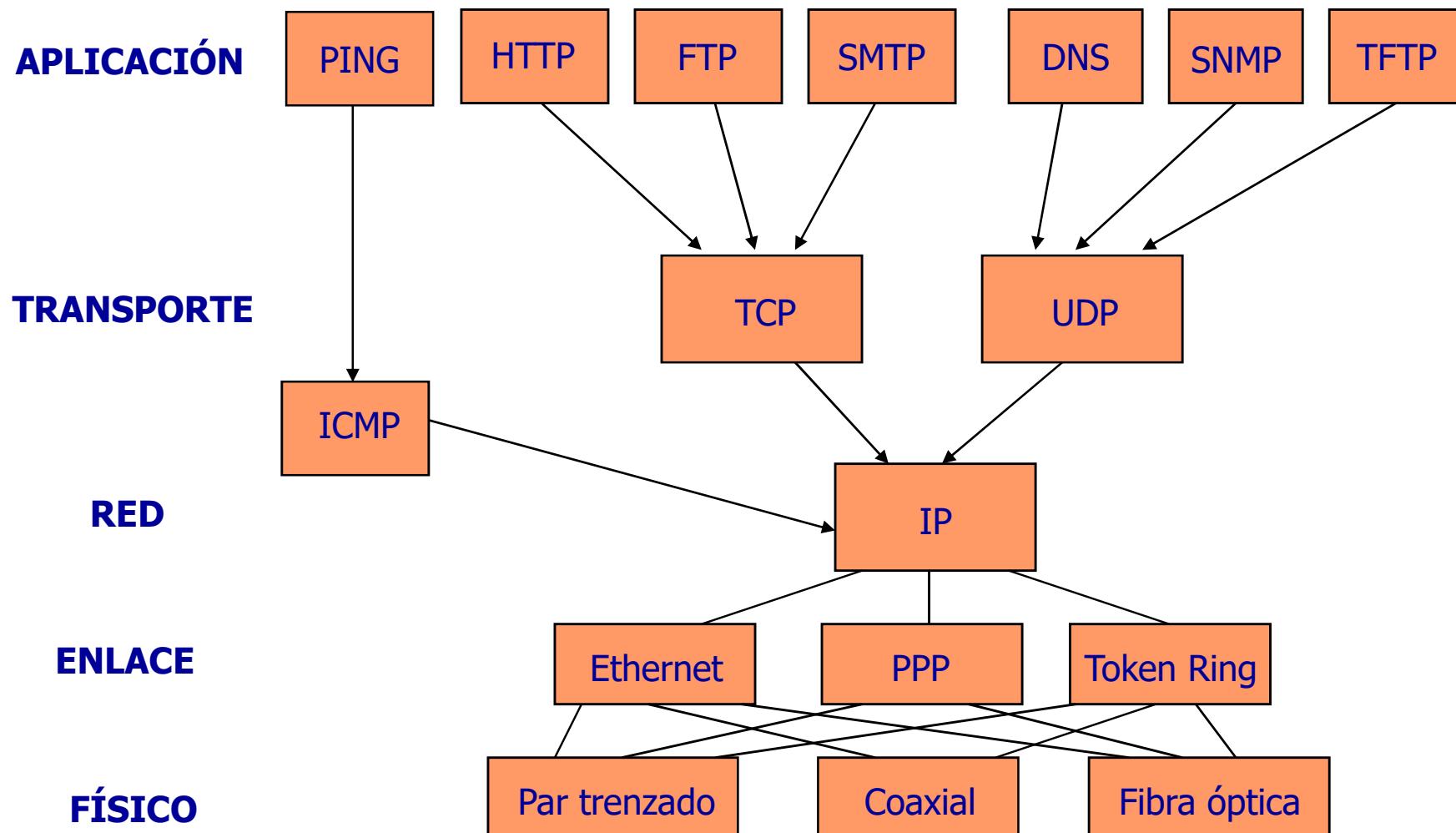
Modelo TCP/IP



2.2 Modelo de Arquitectura TCP/IP (Internet)

Modelo de capas de TCP/IP

Protocolos de la arquitectura TCP/IP



2.2 Modelo de Arquitectura TCP/IP (Internet)

Modelo de capas de TCP/IP

Ejemplo protocolo de aplicación: DNS (Domain Name System) RFC 1035

Cada equipo de Internet está identificado con un valor único de dirección IP (x.x.x.x).

Memorizar los valores de direcciones IP es complejo y una máquina puede modificar el valor de su dirección IP, por lo que se ha desarrollado un sistema para asociar un mnemotécnico a una máquina de Internet.

Estos mnemotécnicos se denominan nombres de dominio y tienen la estructura maquina.organizacion.dominio. Por ejemplo, www.ua.es significa: servidor web de la Universidad de Alicante localizado en España.

Existe una jerarquía, donde el término más a la derecha indica el dominio de más alto nivel (.es, .fr, .org) definidos por la entidad raíz de Internet (IANA) y dentro de ese dominio se establecen subdominios gestionados por las organizaciones que lo gestionan (el dominio .es lo gestiona el gobierno de España y asigna subdominios a otras organizaciones, el subdominio ua.es lo gestiona la Universidad de Alicante).

El nombre de dominio permite identificar una máquina en Internet de manera más sencilla, pero el intercambio de datos precisa de conocer la dirección IP de esa máquina.

Aquí interviene el protocolo DNS, un mecanismo de pregunta y respuesta con el que cualquier máquina de Internet pregunta cuál es la dirección IP de un nombre de dominio.

Esta información (asociación nombre de dominio – dirección IP, www.ua.es tiene asociada la dirección 193.145.235.30) está almacenada en cientos de miles de máquinas de Internet denominados servidores DNS. Para evitar la congestión en Internet esta información se almacena de forma distribuida y en cada máquina de Internet se indica las direcciones IP de los servidores DNS donde puede realizar las consultas (la Universidad de Alicante dispone como servidores DNS los equipos con direcciones IP 193.145.233.5 y 193.145.233.6).

2.2 Modelo de Arquitectura TCP/IP (Internet)

Modelo de capas de TCP/IP

Capa Física

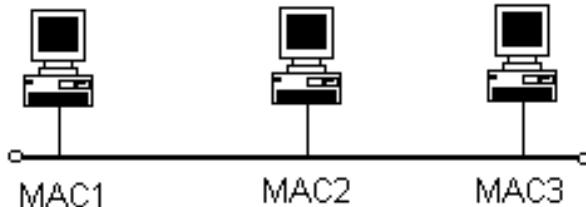
- Especificación de los medios físicos empleados en la comunicación
- Especificación de la señalización de la información en el medio físico

Ejemplo: cables pares trenzados, cable coaxial, fibra óptica

Capa de Enlace

- Especificación de los mecanismos para el intercambio de información en un medio físico

Ejemplo: Ethernet



Dir. Destino	Dir. Fuente	Tipo	datos	CRC
6	6	2	46 - 1500	4

2.2 Modelo de Arquitectura TCP/IP (Internet)

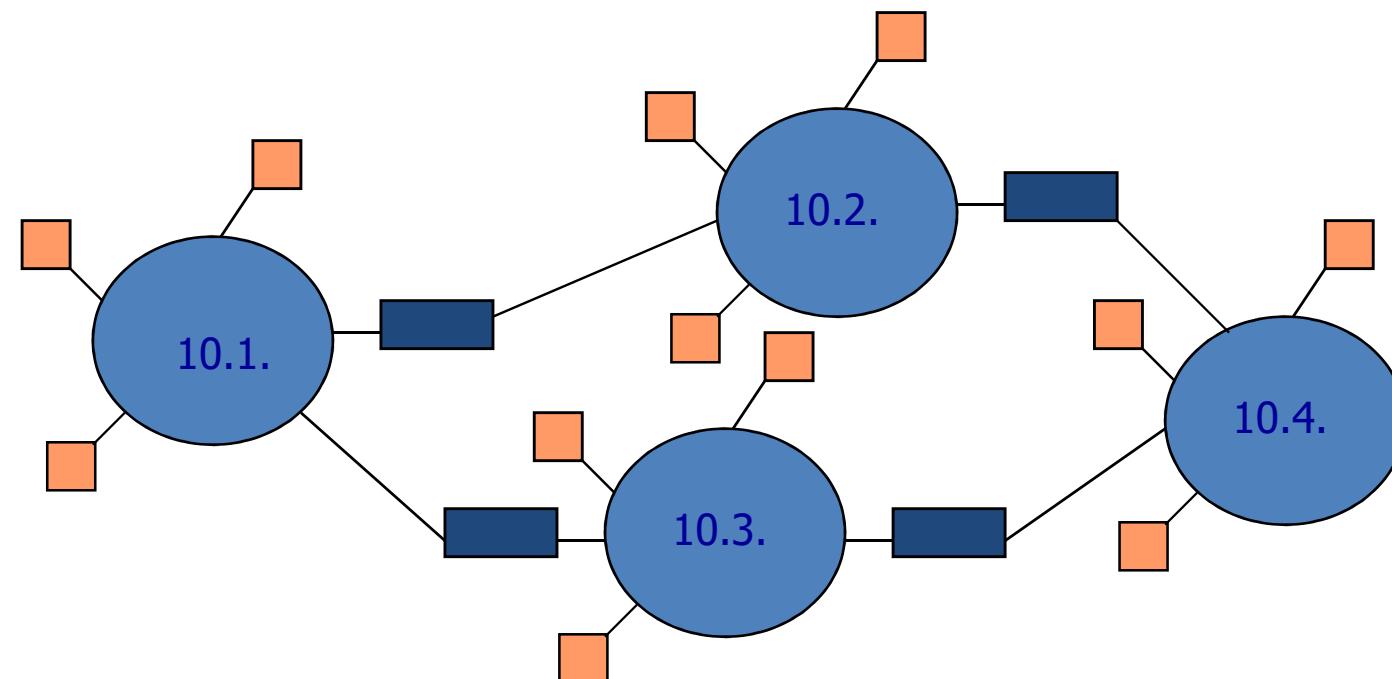
Modelo de capas de TCP/IP

Capa de red. Protocolo IP

- Identificación de equipos en una red formada por la interconexión de redes (Internet)
- Encaminamiento de paquetes en la red (Internet)

Direccionamiento IP

- Identificador de 32 bits $\rightarrow X \cdot X \cdot X \cdot X \rightarrow 0-255 \cdot 0-255 \cdot 0-255 \cdot 0-255$



2.2 Modelo de Arquitectura TCP/IP (Internet)

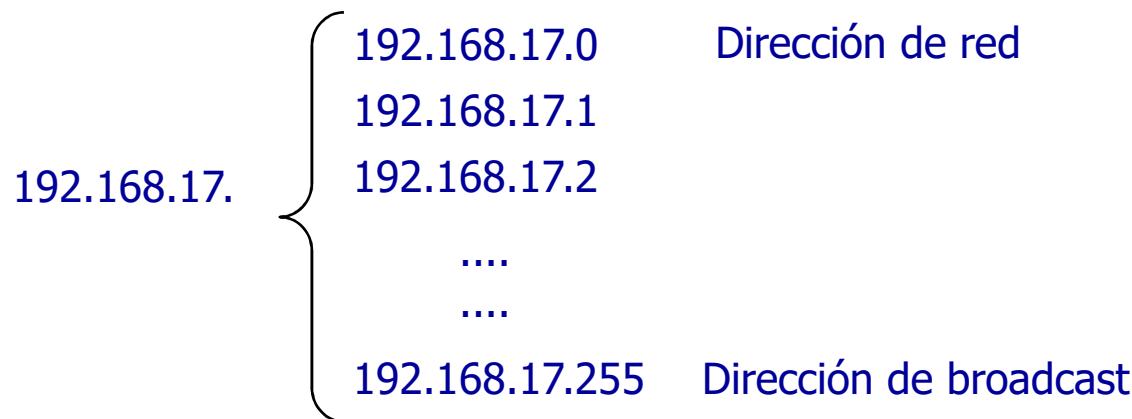
Modelo de capas de TCP/IP

- Dirección IP 192.168.17.23

¿ Identificador de red ?  Máscara de red de una red IP

Valor de 32 bits (X.X.X.X)  11111111..1000000000000000

Máscara de red = 255.255.255.0  192.168.17.23 pertenece a la red 192.168.17.

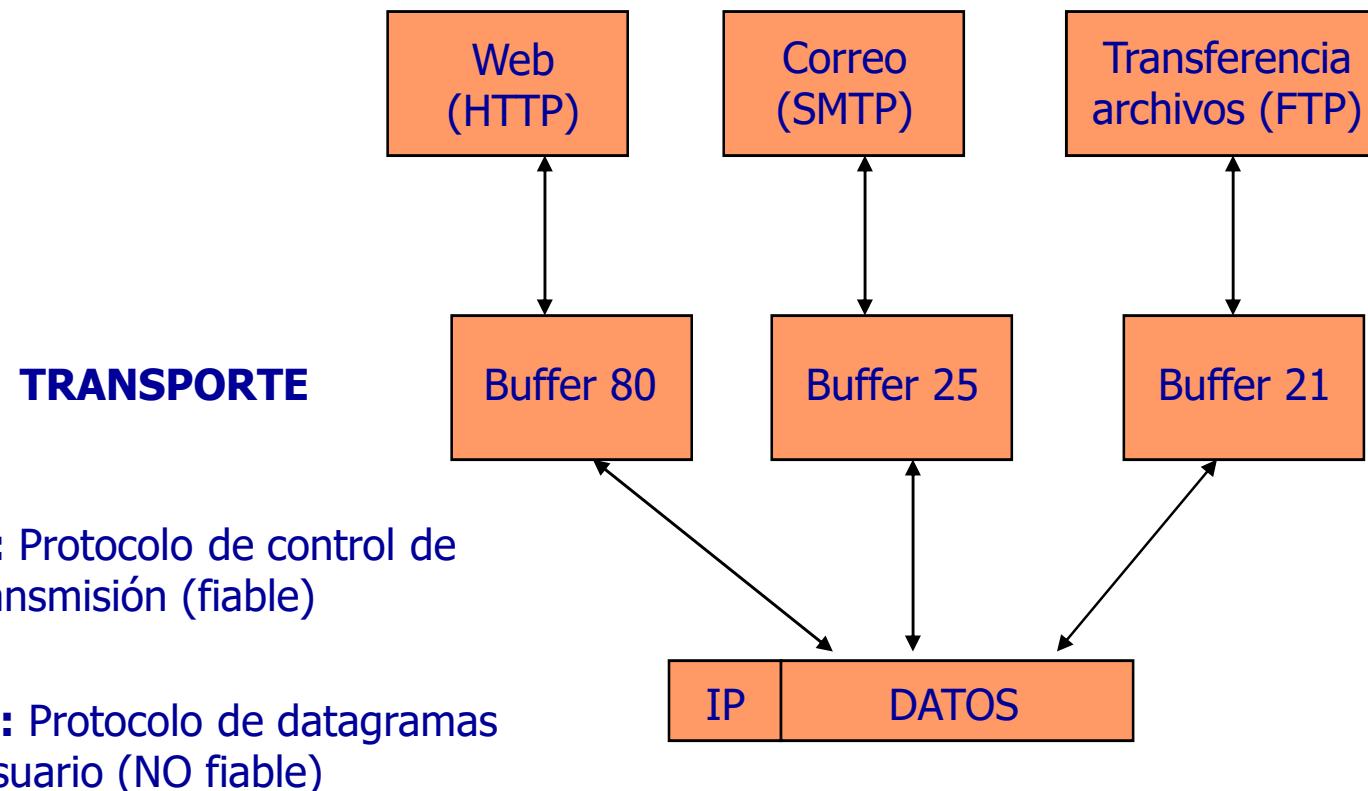


2.2 Modelo de Arquitectura TCP/IP (Internet)

Modelo de capas de TCP/IP

Capa de transporte. Protocolos TCP y UDP

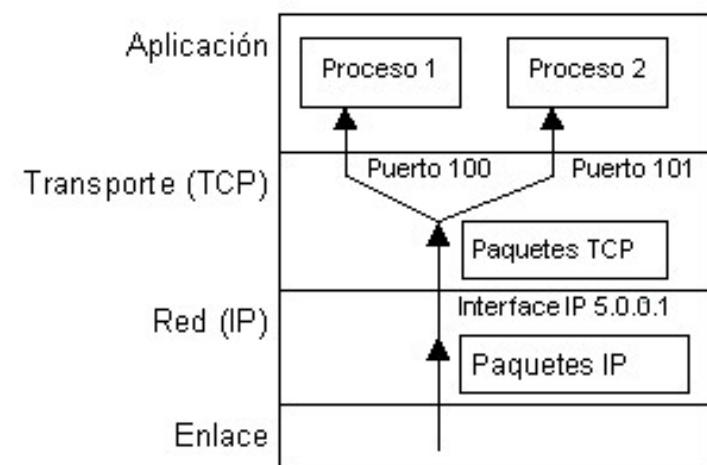
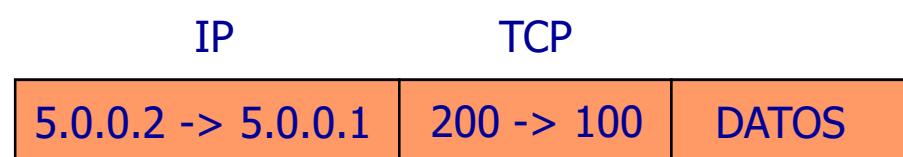
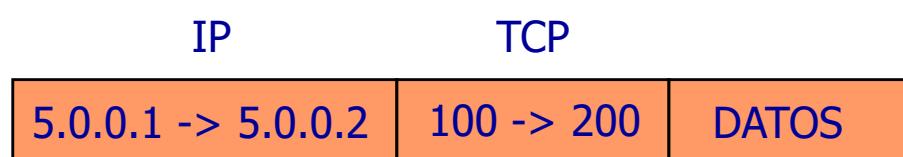
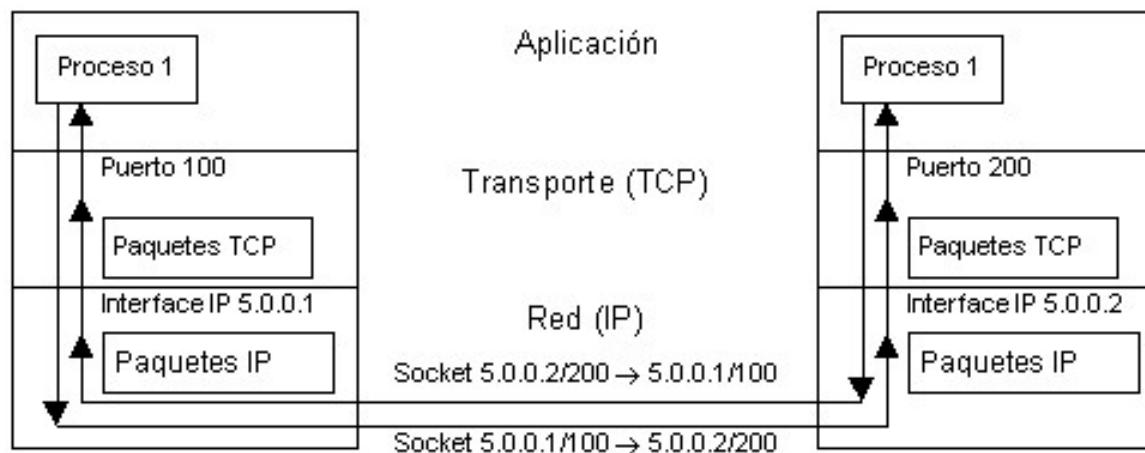
- Interfaz entre la capa de aplicación y red para la gestión de comunicaciones extremo a extremo (conexiones) entre equipos de Internet.



2.2 Modelo de Arquitectura TCP/IP (Internet)

Modelo de capas de TCP/IP

Gestión de conexiones. Sockets

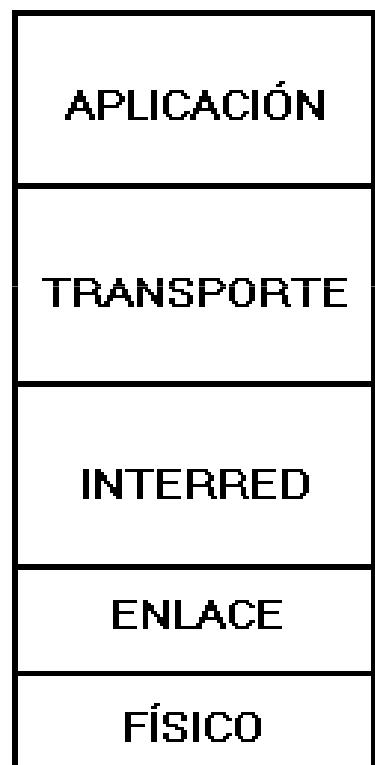


2.2 Modelo de Arquitectura TCP/IP (Internet)

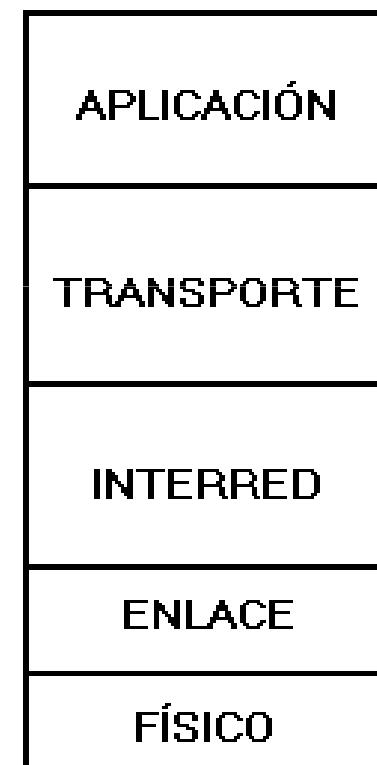
Modelo de capas de TCP/IP

Capa de aplicación. Protocolo HTTP

Cliente navegador

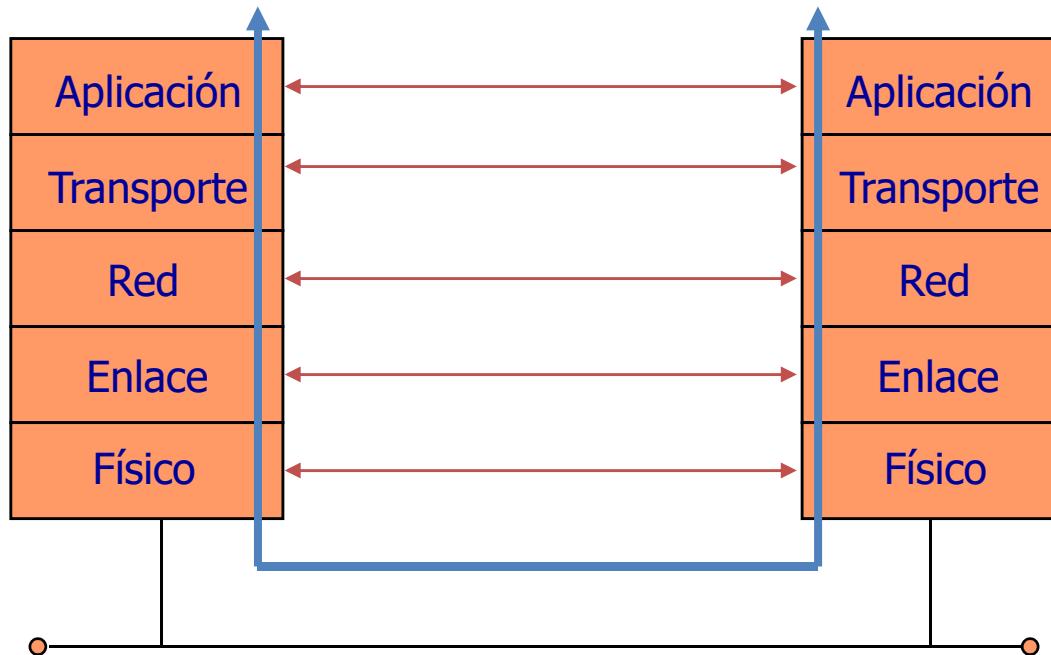


Servidor web



2.3 Interconexión de redes

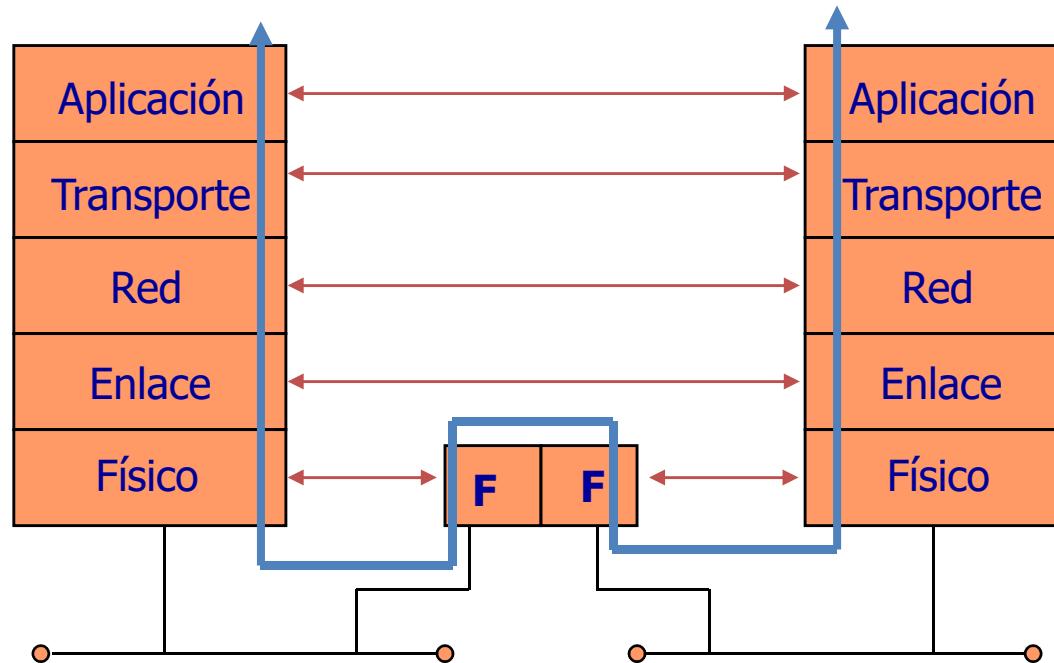
Modelo de comunicación entre capas en una red



En base a este modelo de comunicación, se puede estudiar la necesidad de diferentes tipos de dispositivos para interconectar diferentes segmentos físicos de red.

2.3 Interconexión de redes

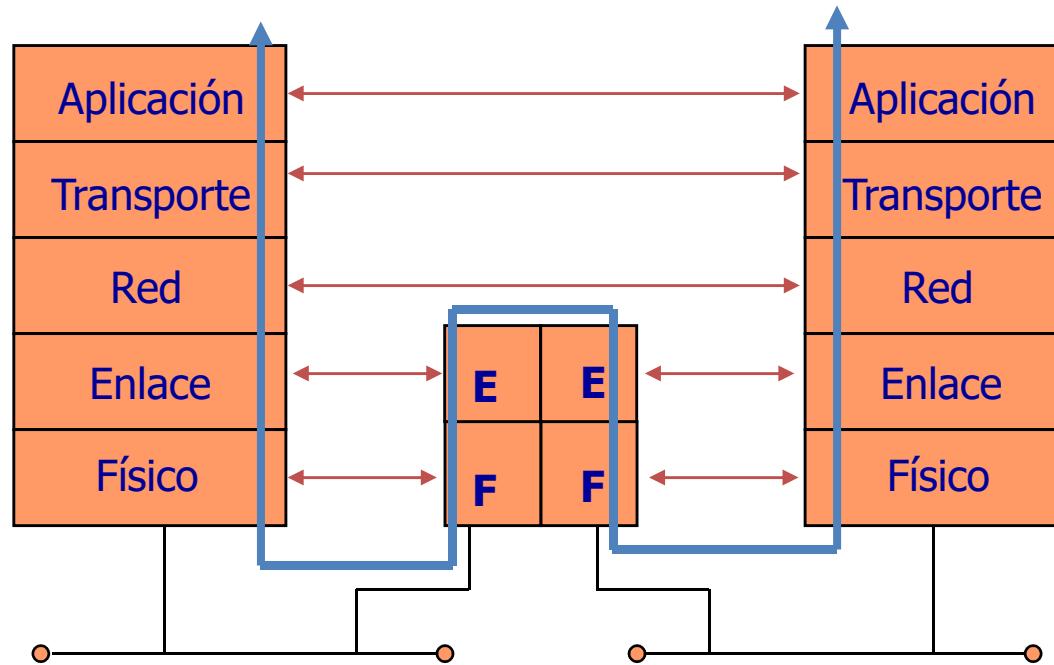
Interconexión de redes a nivel físico. Repetidor (Repeater)



Dispositivo sencillo y económico que proporciona muy poco rendimiento y situaciones de colisiones permanentes.

2.3 Interconexión de redes

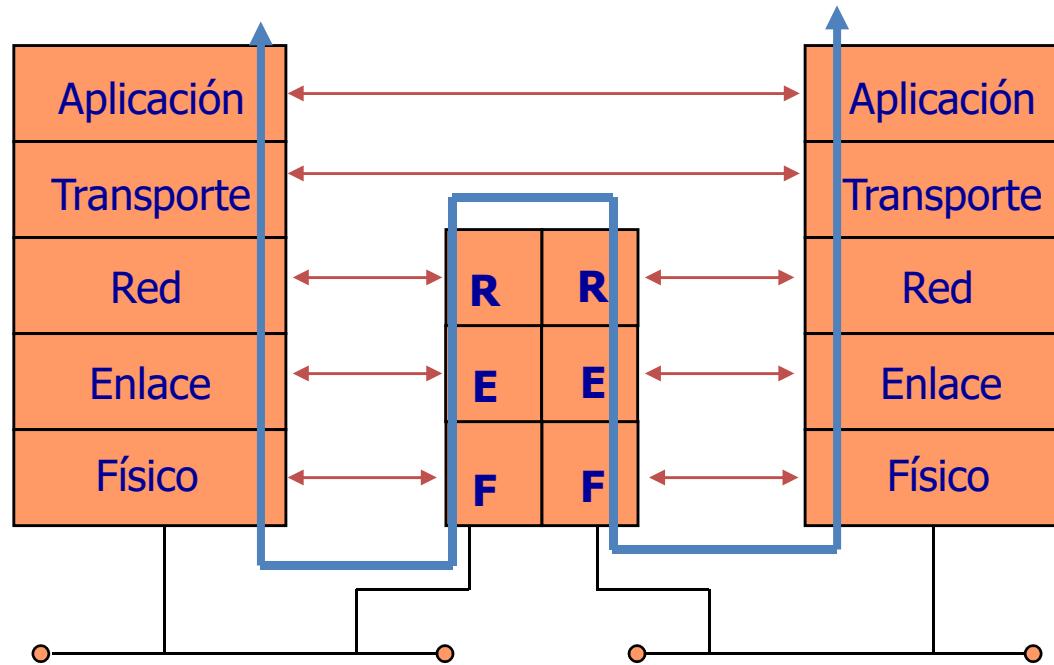
Interconexión de redes a nivel de enlace. Puente (Bridge)



Dispositivo que presenta un buen rendimiento al evitar transmisiones innecesarias.
Limitado en cuanto a los tipos de redes a interconectar.

2.3 Interconexión de redes

Interconexión de redes a nivel de red. Encaminador (Router)



Dispositivo con rendimiento de interconexión menor que los puentes, pero aplicable para la interconexión de cualesquiera segmentos de red que soporten un protocolo de red común (IP).

2.4 Modelado de protocolos. Máquinas de estado finito (MEF)

Especificación de un protocolo

Definición: Conjunto de reglas de utilización de las funciones suministradas por el nivel inferior (envío/recepción de bloques de datos) para llevar a cabo la comunicación a nivel horizontal.

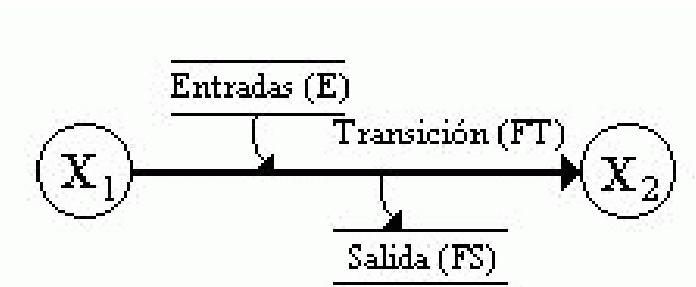
Elementos de una máquina de estado finito

Estados: Descripción de las situaciones de funcionamiento del protocolo

Entradas: Eventos que provocan cambios en el estado del protocolo

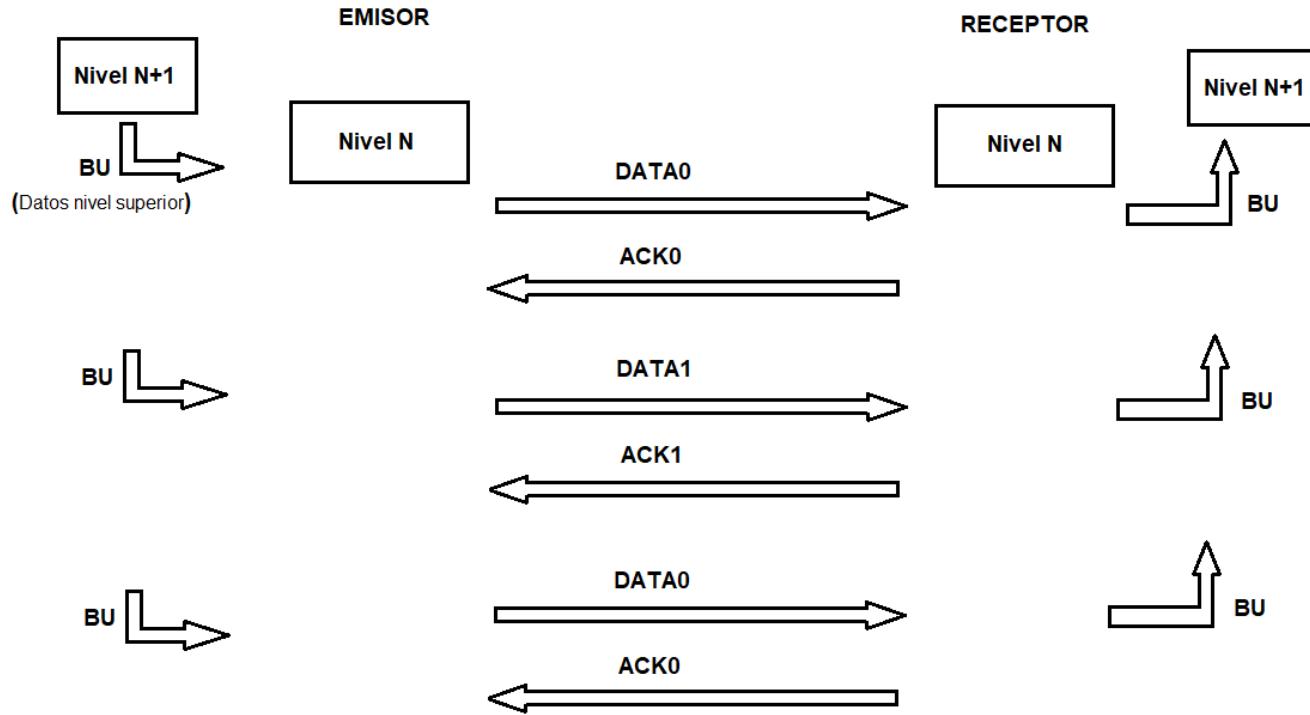
Salidas: Acciones como consecuencia de cambios en el estado del protocolo

Transición: Proceso por el cual un protocolo cambia de un estado de funcionamiento a otro.



2.4 Modelado de protocolos. Máquinas de estado finito (MEF)

Ejemplo de protocolo: Protocolo bilateral de parada y espera



ESTADOS EMISOR

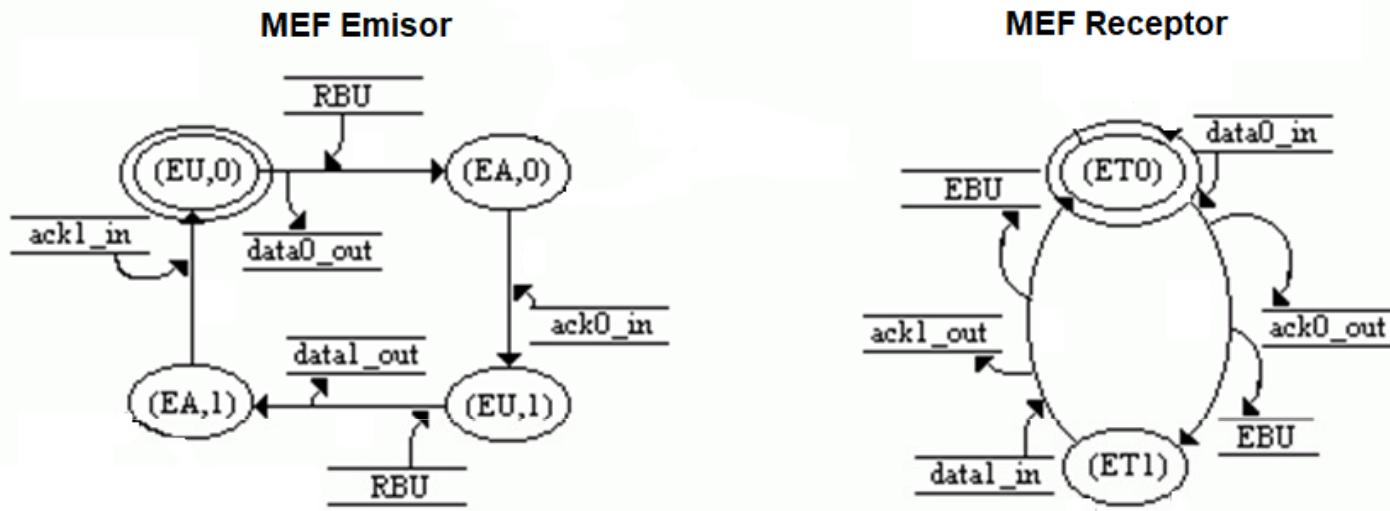
- EU0 → El emisor espera un bloque de datos del nivel superior para numerar con 0.
- EU1 → El emisor espera un bloque de datos del nivel superior para numerar con 1.
- EA0 → El emisor espera un ACK0.
- EA1 → El emisor espera un ACK1.

ESTADOS RECEPTOR

- ET0 → El receptor espera datos con numeración 0.
- ET1 → El receptor espera datos con numeración 1.

2.4 Modelado de protocolos. Máquinas de estado finito (MEF)

Ejemplo de protocolo: Protocolo bilateral de parada y espera



Eventos de entrada

RBU → Emisor recibe un bloque de datos del nivel superior.

ACK0_IN → Emisor recibe un ACK0.

ACK1_IN → Emisor recibe un ACK1.

DATA0_IN → Receptor recibe DATA0.

DATA1_IN → Receptor recibe DATA1.

Eventos de salida

DATA0_OUT → Emisor envía DATA0.

DATA1_OUT → Emisor envía DATA1.

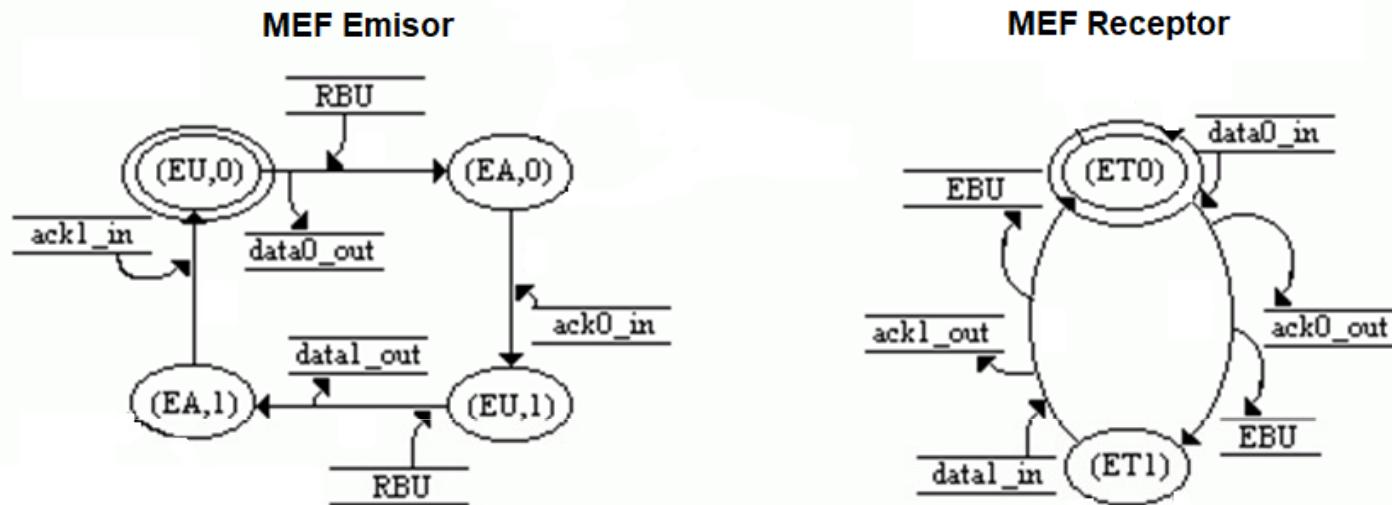
EBU → Receptor envía un bloque de datos al nivel superior.

ACK0_OUT → Receptor envía ACK0.

ACK1_OUT → Receptor envía ACK1.

2.4 Modelado de protocolos. Máquinas de estado finito (MEF)

Ejemplo de protocolo: Protocolo bilateral de parada y espera



Situaciones de error pérdidas de información en el canal (errores de transmisión)

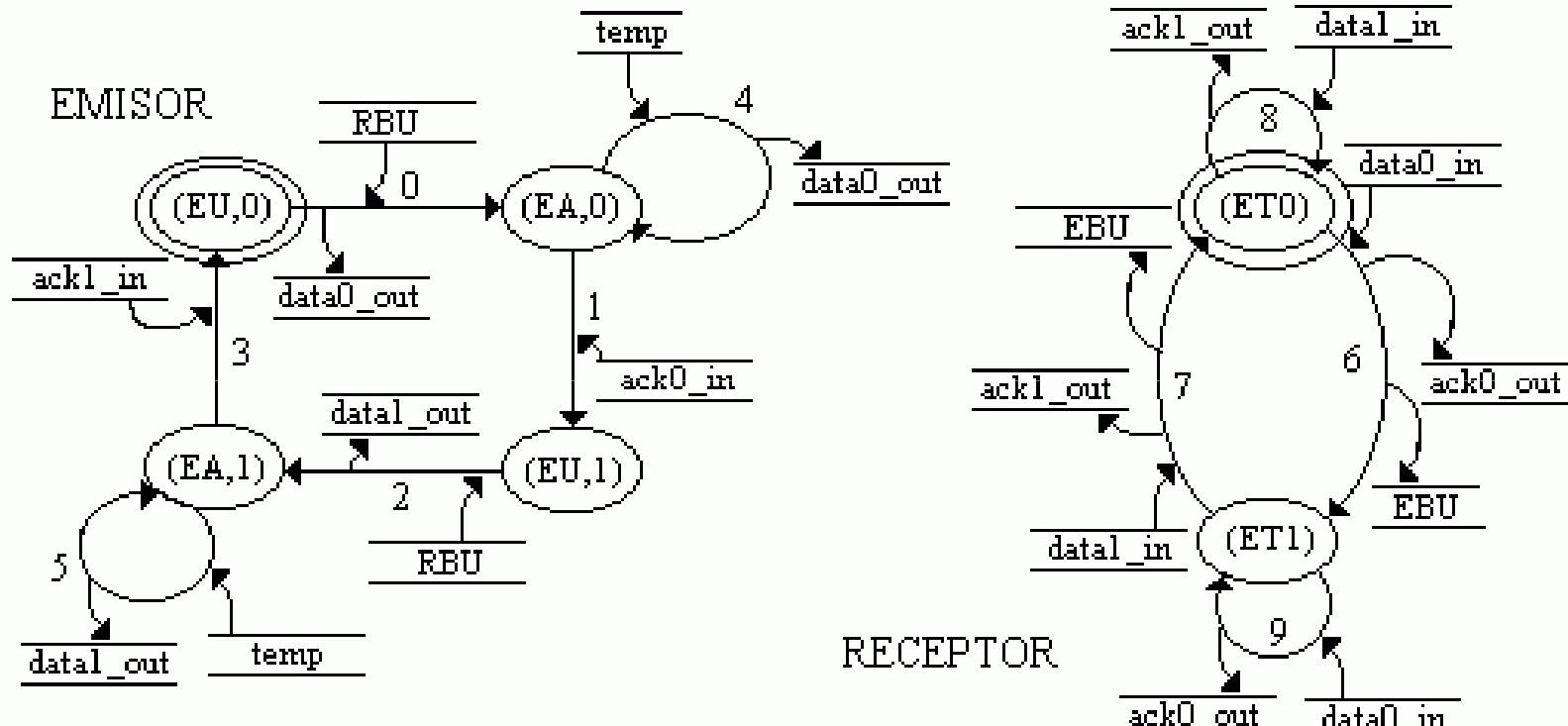
El emisor dispone de un temporizador de espera de ACK. Si en el estado de espera de ACK expira el temporizador, el emisor reenvía los últimos datos transmitidos (DATA0/DATA1).

Si un bloque de datos (DATA0/DATA1) no llega al receptor, el emisor no recibirá ACK y reenviará los datos correctamente.

Si el ACK0(1) no llega al emisor, el emisor reenviará DATA0(1), que ya han sido recibidos por el receptor. En ese caso (recepción de datos fuera de secuencia) el receptor reenvía el ACK0(1) y NO envía los datos al nivel superior.

2.4 Modelado de protocolos. Máquinas de estado finito (MEF)

Ejemplo de protocolo: Protocolo bilateral de parada y espera



Eventos de entrada

TEMP → Expira el temporizador de espera de ACK.

2.4 Modelado de protocolos. Máquinas de estado finito (MEF)

Protocolo para la actualización del software de un antivirus

Una empresa de desarrollo de software comercializa un programa antivirus. Este antivirus precisa de actualizaciones para los clientes que lo han adquirido. Para ello ha desarrollado un protocolo para la comunicación entre el programa antivirus y un centro de actualizaciones.

El programa antivirus dispone de un temporizador de 24 horas para comprobar la existencia de actualizaciones del programa. Cada 24 horas, el antivirus envía al centro de actualizaciones una petición de actualización con la versión del programa antivirus. Si el centro de actualizaciones contesta indicando que no existen actualizaciones, el programa antivirus activa el temporizador de 24 horas y espera a que expire de nuevo. Si el centro de actualizaciones contesta indicando que hay actualizaciones, el programa antivirus envía una clave de cifrado al centro de actualizaciones y pasa a esperar recibir el contenido de la actualización cifrada. Cuando el programa antivirus recibe la actualización, la instala y envía al centro de actualizaciones una confirmación de actualización. Además, inicia el temporizador de 24 horas y pasa a esperar su expiración.

Determina los estados, eventos de entrada y salida, y la MEF que describe el funcionamiento del programa antivirus en este protocolo.

ESTADOS

ETMP → El programa antivirus espera la expiración del temporizador de 24 horas.

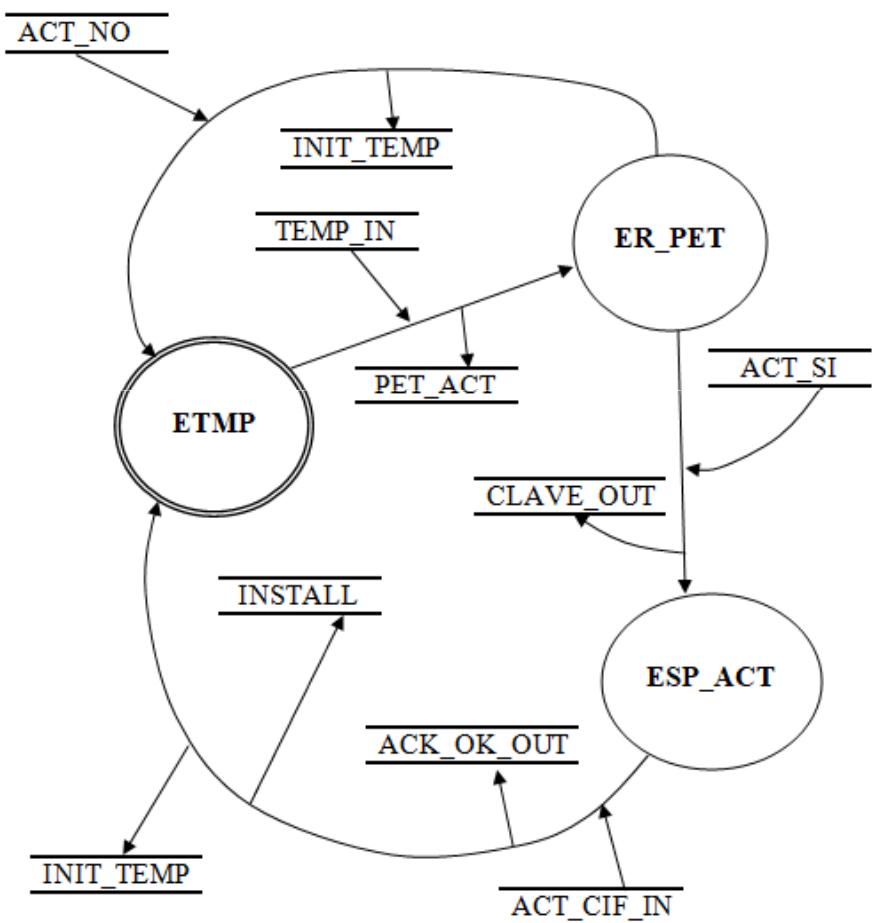
ER_PET → El programa antivirus espera la respuesta del centro de actualizaciones.

ESP_ACT → El programa antivirus espera la actualización del centro de actualizaciones.

2.4 Modelado de protocolos. Máquinas de estado finito (MEF)

Protocolo para la actualización del software de un antivirus

MEF SOFTWARE ANTIVIRUS



EVENTOS DE ENTRADA

TEMP_IN → Expira el temporizador de 24 horas.
ACT_SI → El programa antivirus recibe una respuesta con existencia de actualización
ACT_NO → El programa antivirus recibe una respuesta con NO existencia de actualización
ACT_CIF_IN → El programa antivirus recibe la actualización cifrada.

EVENTOS DE SALIDA

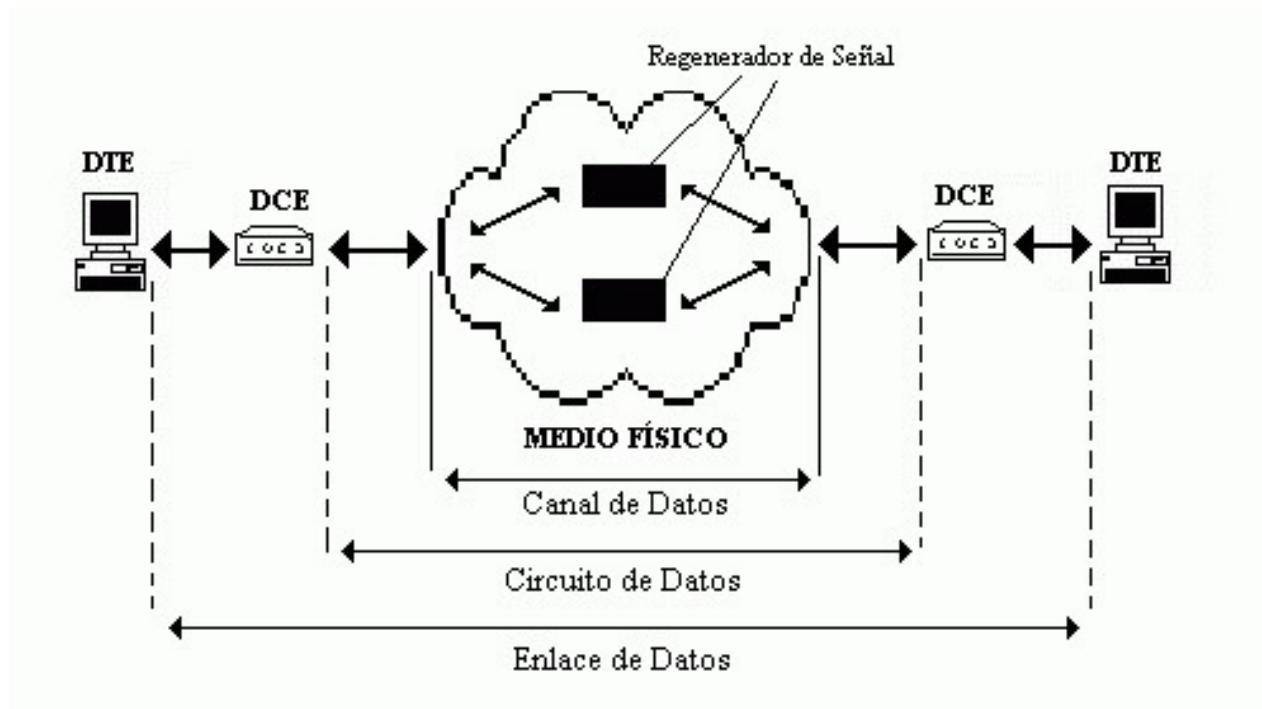
PET_ACT → El programa antivirus envía una petición de actualización.
INIT_TEMP → El programa antivirus inicia el temporizador de 24 horas.
CLAVE_OUT → El programa antivirus envía la clave de cifrado al centro de actualizaciones.
INSTALL → El programa antivirus instala la actualización.
ACT_OK_OUT → El programa antivirus envía la confirmación de actualización al centro de actualizaciones.

TEMA 3

NIVEL FÍSICO

3.1 Funciones de la capa física

Esquema de comunicación entre DTE's



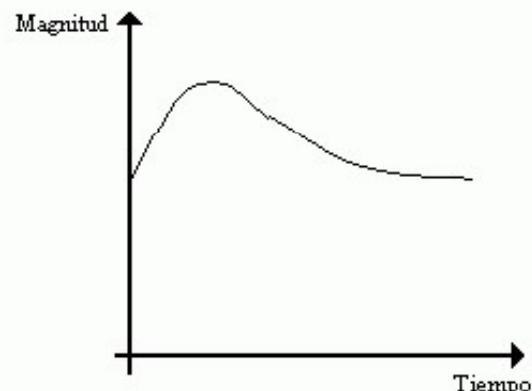
DTE (*Data Terminal Equipment*): Equipo Terminal de Datos (PC).

DCE (*Data Circuit-Terminating Equipment*): Equipo Terminador de Circuito de Datos (Interfaz de red).

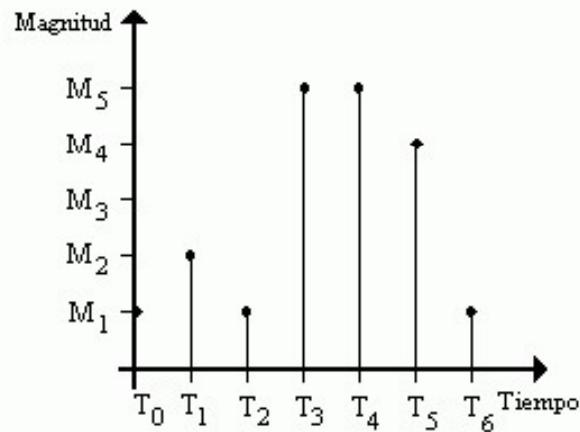
3.2 Transmisión de una señal de datos.

Tipos de señales

Señal analógica



Señal digital



3.2 Transmisión de una señal de datos.

Análisis de señales con series de Fourier

$$f(t) = a_0 + \sum_{n=1}^{\infty} a_n \cdot \cos(2\pi n f_o t) + \sum_{n=1}^{\infty} b_n \cdot \sin(2\pi n f_o t)$$

T = Periodo de la señal $f(t)$

$$f_o = \frac{1}{T} = \text{Frecuencia de la señal } f(t)$$

$$a_n = \frac{2}{T} \int_0^T f(t) \cos(2\pi n f_o t) dt \quad n = 0, \dots, \infty$$

$$b_n = \frac{2}{T} \int_0^T f(t) \sin(2\pi n f_o t) dt \quad n = 1, \dots, \infty$$

Armónico de orden n :

Par de funciones cos y sen
de frecuencias $n f_o$ y
amplitudes a_n y b_n .

Una señal está compuesta por
la suma de infinitos armónicos.

3.2 Transmisión de una señal de datos.

Análisis de señales con series de Fourier

$$f(t) = a_0 + \sum_{n=1}^{\infty} a_n \cdot \cos(2\pi n f_o t) + \sum_{n=1}^{\infty} b_n \cdot \sin(2\pi n f_o t)$$

T = Período de la señal $f(t)$

$$f_o = \frac{1}{T} = \text{Frecuencia de la señal } f(t)$$

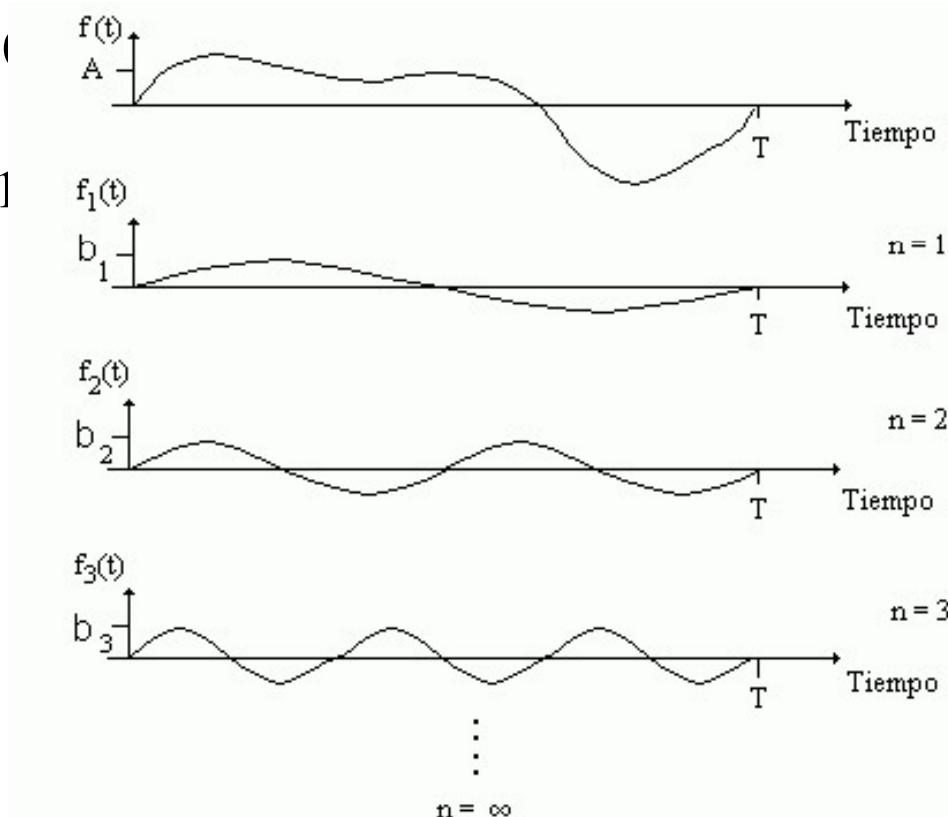
$$a_n = \frac{2}{T} \int_0^T f(t) \cos(2\pi n f_o t) dt \quad n = 1$$

$$b_n = \frac{2}{T} \int_0^T f(t) \sin(2\pi n f_o t) dt \quad n = 1$$

Armónico de orden n :

Par de funciones cos y sen
de frecuencias $n f_o$ y
amplitudes a_n y b_n .

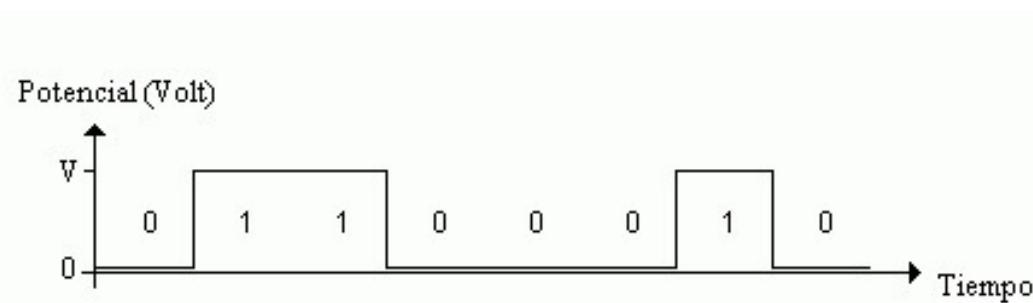
Una señal está compuesta por
la suma de infinitos armónicos.



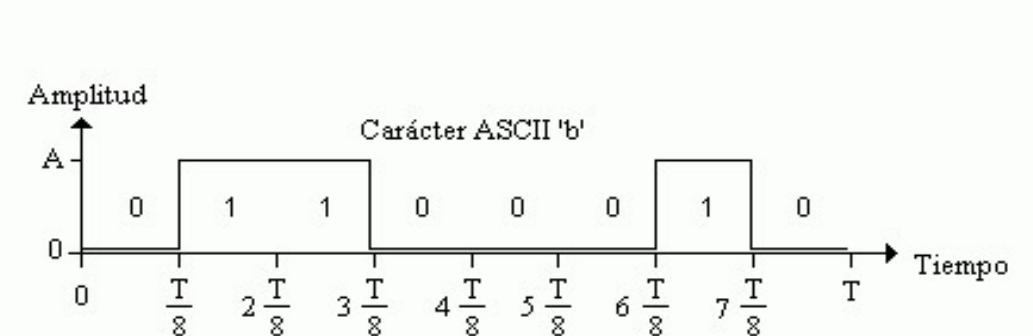
3.2 Transmisión de una señal de datos.

Análisis de señales con series de Fourier

Señal analógica de pulsos



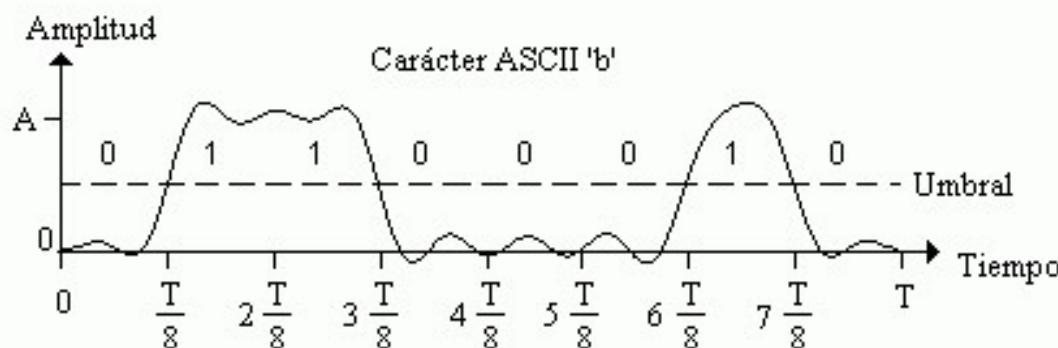
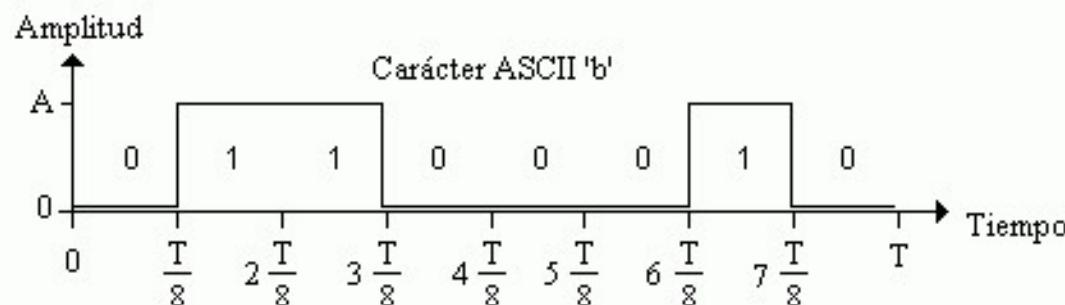
Señal periódica asociada a la transmisión secuencial de un carácter ASCII



3.2 Transmisión de una señal de datos.

Análisis de señales con series de Fourier

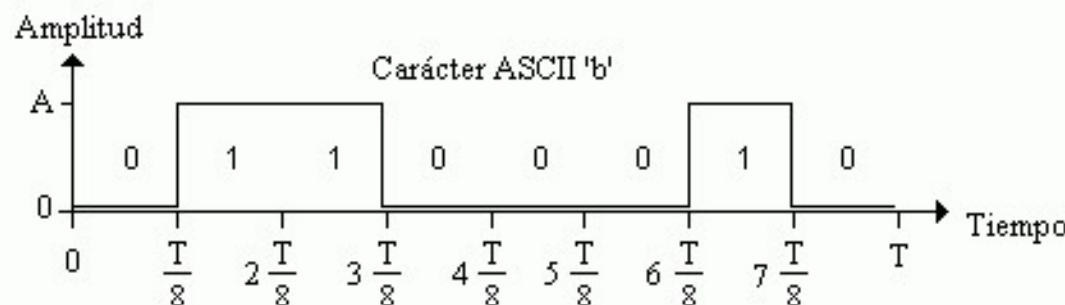
Reconstrucción de la señal empleando los 10 primeros armónicos



3.2 Transmisión de una señal de datos.

Análisis de señales con series de Fourier

Cálculo de valores de frecuencia de componente frecuenciales (armónicos)



Dado $T=1$ ms, la frecuencia fundamental (f_0) de la señal será $f_0 = 1/0.001$ seg = 1000 Hz

Las componentes frecuenciales de la señal de pulsos serán funciones seno/coseno de diferentes amplitudes y valores de frecuencia:

$$f_1 = 1*f_0 = 1000 \text{ Hz}$$

$$f_4 = 4*f_0 = 4000 \text{ Hz}$$

$$f_7 = 7*f_0 = 7000 \text{ Hz}$$

$$f_2 = 2*f_0 = 2000 \text{ Hz}$$

$$f_5 = 5*f_0 = 5000 \text{ Hz}$$

$$f_8 = 8*f_0 = 8000 \text{ Hz}$$

$$f_3 = 3*f_0 = 3000 \text{ Hz}$$

$$f_6 = 6*f_0 = 6000 \text{ Hz}$$

$$f_9 = 9*f_0 = 9000 \text{ Hz}$$

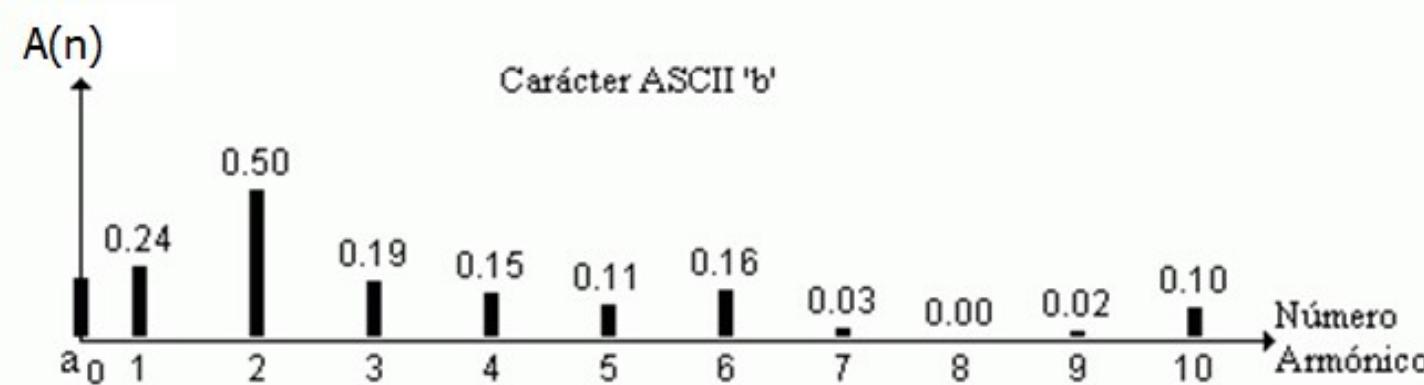
3.2 Transmisión de una señal de datos.

Análisis de señales con series de Fourier

Espectro de potencia de una señal

$$A(n) = \sqrt{a_n^2 + b_n^2}$$

Valor medio de la contribución en amplitud de un armónico a la reconstrucción de la señal

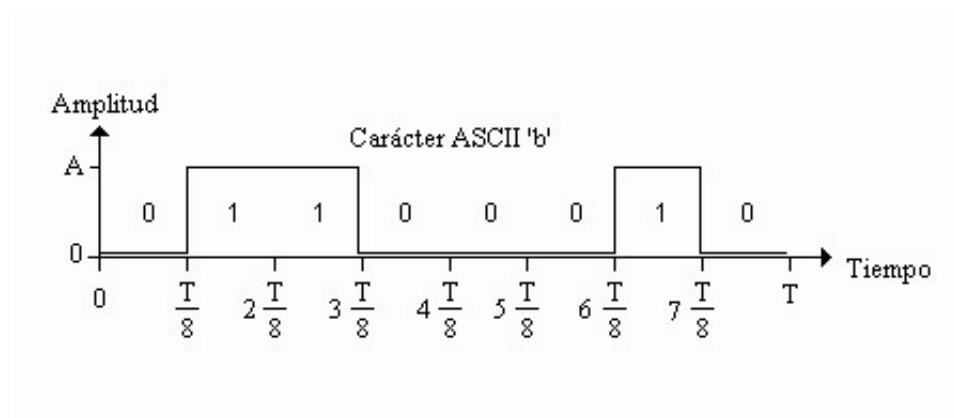


Todas las señales existentes tienen un espectro de frecuencia donde las componentes de menor frecuencia tienen en general valores de amplitud mayores que las componentes de mayor frecuencia.

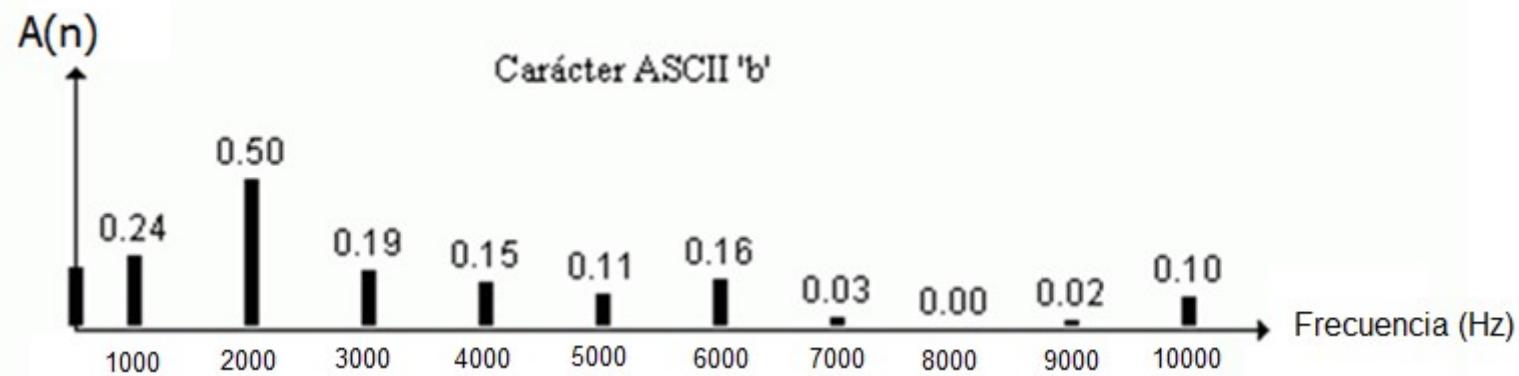
3.2 Transmisión de una señal de datos.

Análisis de señales con series de Fourier

Espectro de potencia de una señal



Dado $T=1$ ms, $f_0 = 1000$ Hz

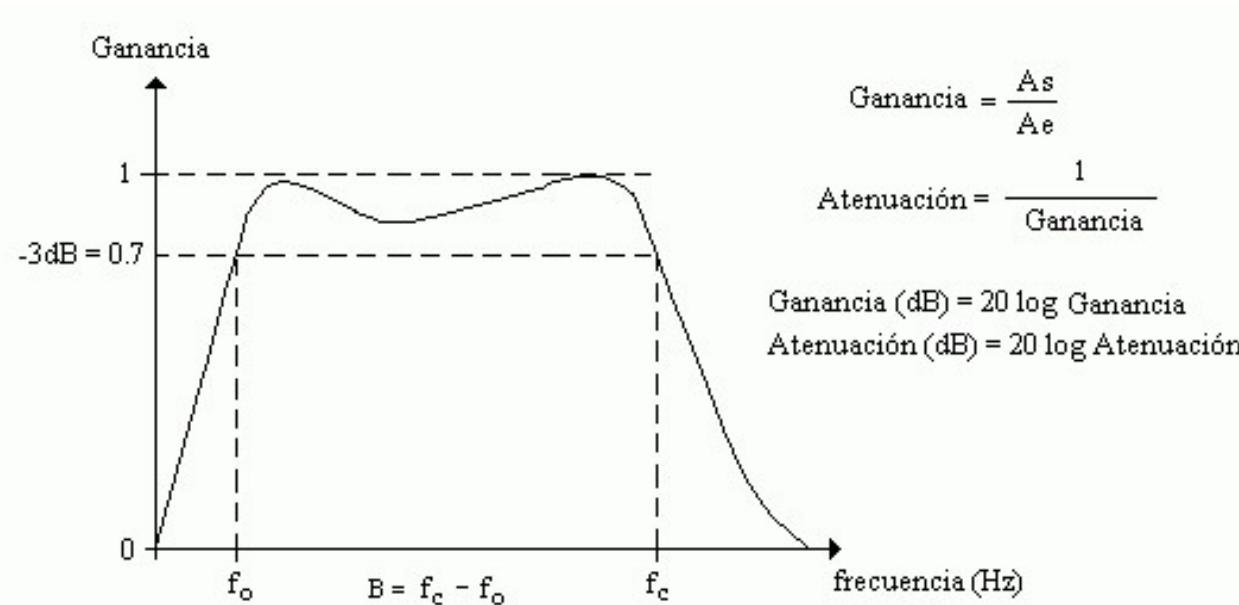


3.2 Transmisión de una señal de datos.

Ancho de banda de un medio físico (B)

Un medio físico es capaz de transmitir los armónicos o componentes frecuenciales de una señal que tengan una frecuencia dentro de un rango determinado.

$$B = f_c - f_0 \text{ Hz (Hertzios)}$$

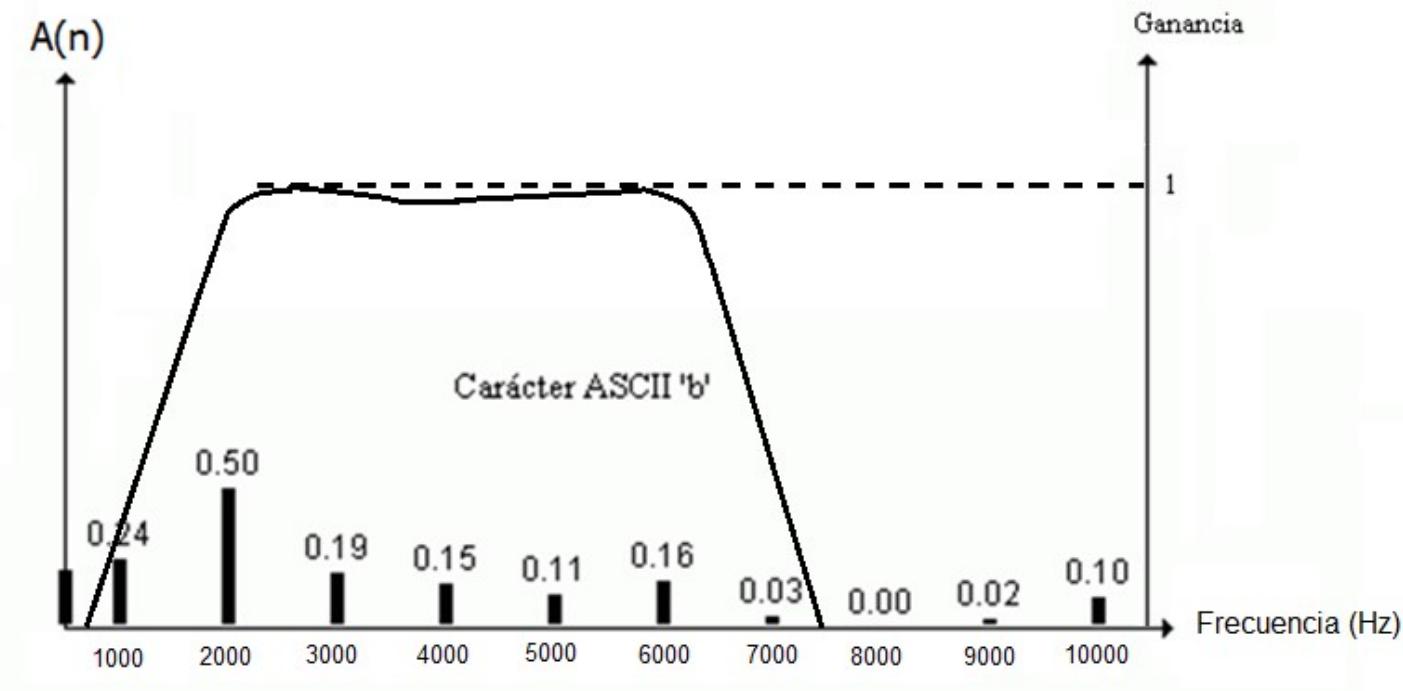


Si no se indica específicamente, el valor de f_0 es 0 Hz, por lo que B es la mayor frecuencia que puede ser transmitida por un medio físico.

3.2 Transmisión de una señal de datos.

Ancho de banda de un medio físico (B)

Efecto del ancho de banda de un medio en las señales transmitidas a través del mismo

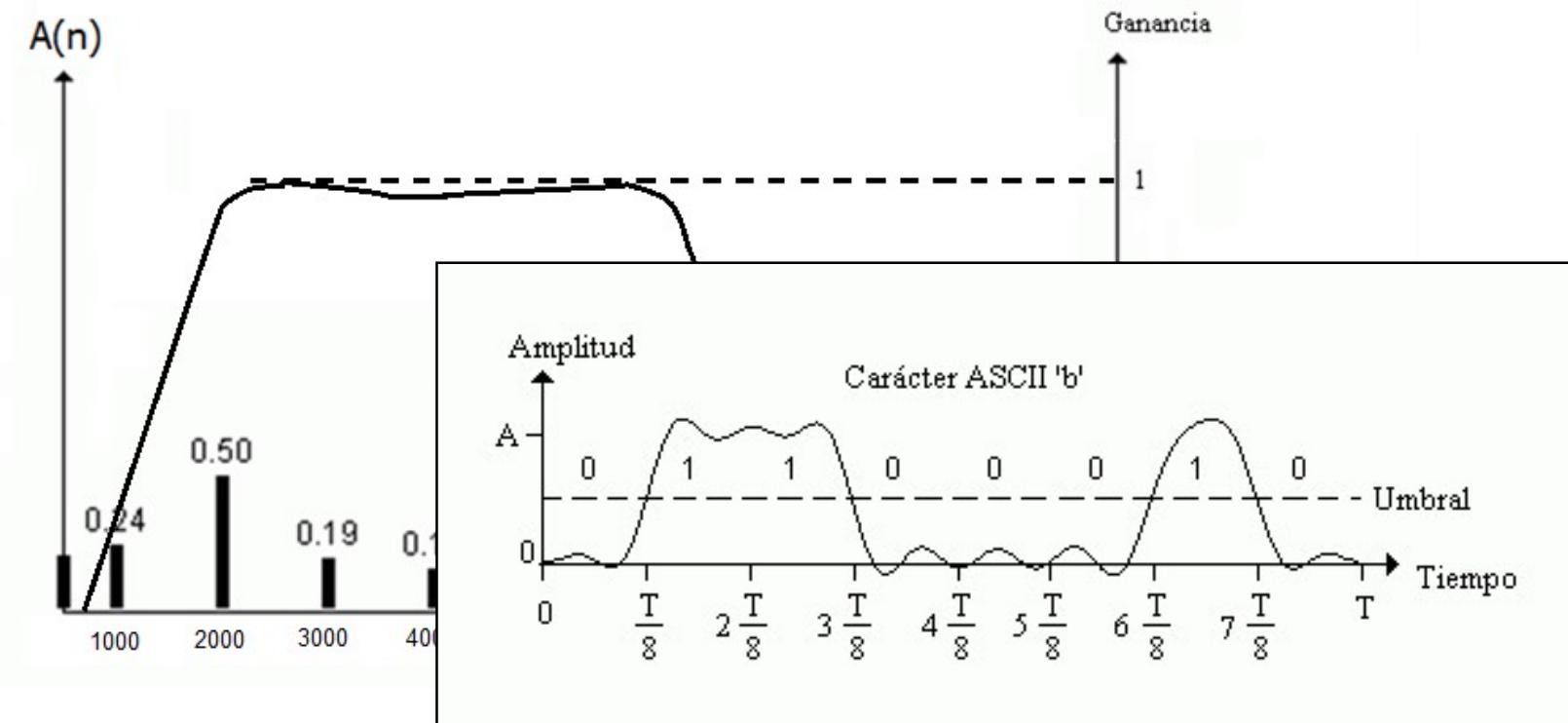


Una señal se transmite correctamente si la suma de las componentes frecuenciales que pasan a través del medio físico permite identificar la misma información que la señal original.

3.2 Transmisión de una señal de datos.

Ancho de banda de un medio físico (B)

Efecto del ancho de banda de un medio en las señales transmitidas a través del mismo

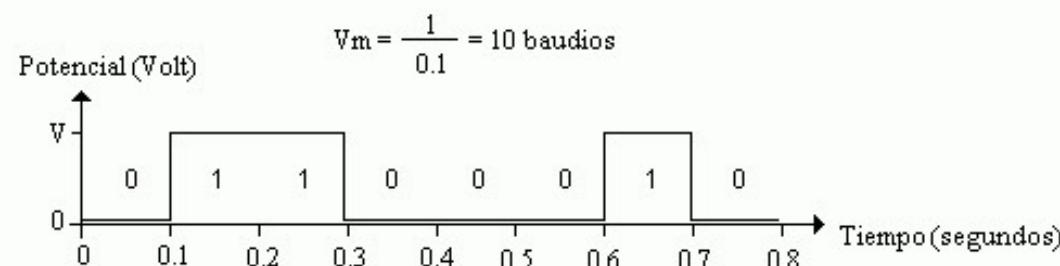


Una señal se transmite correctamente si la suma de las componentes frecuenciales que pasan a través del medio físico permite identificar la misma información que la señal original.

3.2 Transmisión de una señal de datos.

Velocidad de modulación (Vm)

Número de veces por unidad de tiempo que la magnitud física de una señal puede variar su valor. Unidad de velocidad de modulación: baudio (bd)



$$v_t = \frac{8 \text{ bits}}{0.8 \text{ seg}} = 10 \text{ bps}$$

Velocidad de transmisión en un medio físico (Vt)

Número de bits transmitidos por unidad de tiempo en un medio físico.

Unidad de Vt: bps (bits por segundo)

1000 bps \Leftrightarrow 1 Kbps

1000 Kbps \Leftrightarrow 1 Mbps

1000 Mbps \Leftrightarrow 1 Gbps

1000 Gbps \Leftrightarrow 1 Tbps

Unidad de Vt: Bps (bytes por segundo)

1024 Bps \Leftrightarrow 1 KBps

1024 KBps \Leftrightarrow 1 MBps

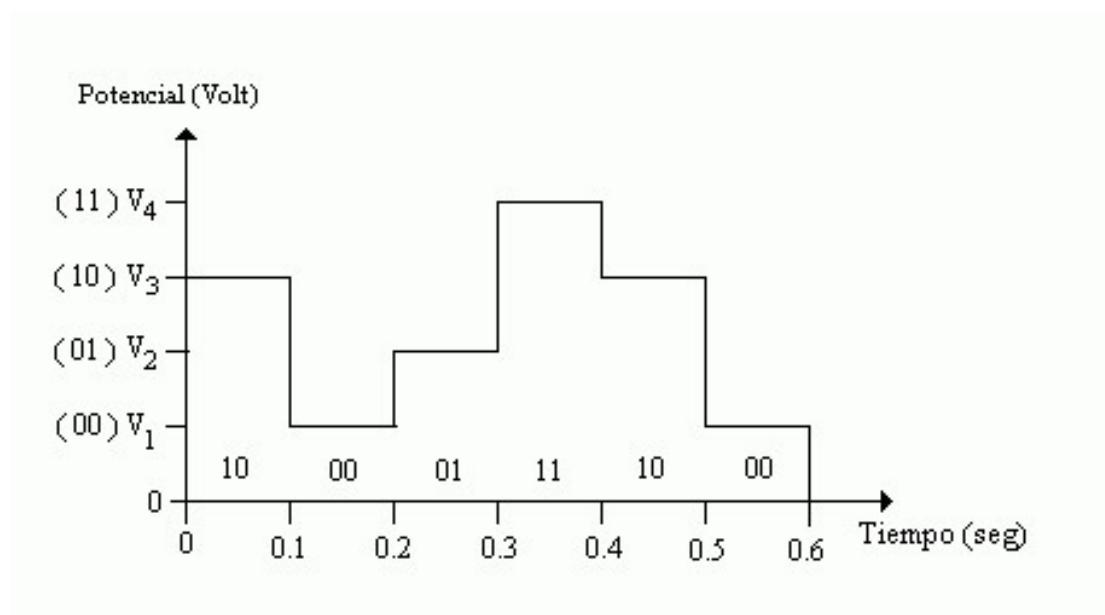
1024 MBps \Leftrightarrow 1 GBps

1024 GBps \Leftrightarrow 1 TBps

3.2 Transmisión de una señal de datos.

Relación entre V_t y V_m

$$V_t = V_m \cdot \log_2 n \quad n = \text{número de niveles de la señal de pulsos}$$



$$V_t = \frac{12 \text{ bits}}{0.6 \text{ seg}} = 20 \text{ bps} \quad V_t = \frac{1 \text{ cambio}}{0.1 \text{ seg}} \log_2 4 = 20 \text{ bps}$$

3.2 Transmisión de una señal de datos.

Relación entre B, V_t y número de armónicos transmitidos en un medio

Sea n el número de armónicos de una señal que son transmitidos por un medio, f_0 la frecuencia fundamental de la señal periódica transmitida y B el ancho de banda del medio. Entonces,

$$n \cdot f_0 \leq B \quad (1)$$

Si se transmite una señal periódica consistente en la repetición de 8 bits en un tiempo de T segundos, entonces

$$V_t = \frac{8}{T} = 8 \frac{1}{T} = 8f_0 \text{ bps} \quad \text{luego} \quad f_0 = \frac{V_t}{8} \text{ Hz} \quad (2)$$

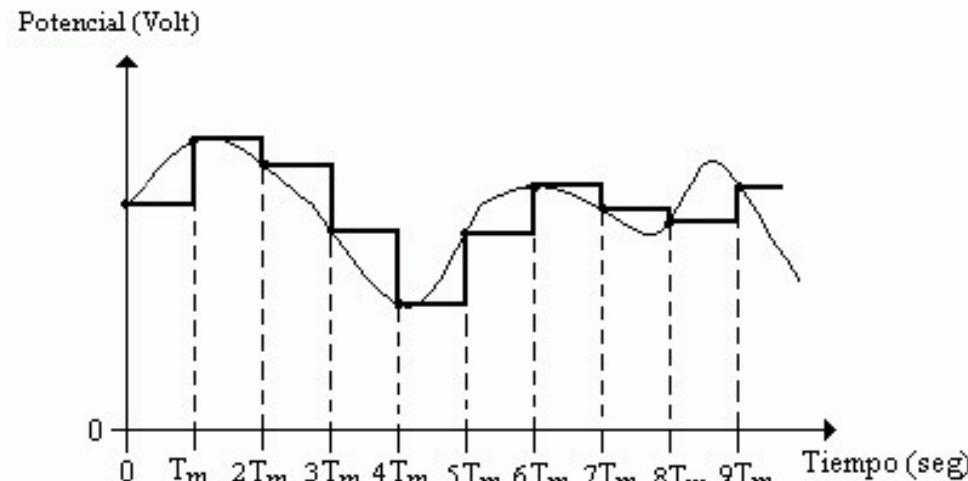
Sustituyendo (2) en (1) obtenemos:

$$n \cdot \frac{V_t}{8} \leq B$$

3.2 Transmisión de una señal de datos.

Teorema de Nyquist

Reconstrucción de señales empleando un muestreador



f_m = frecuencia de muestreo

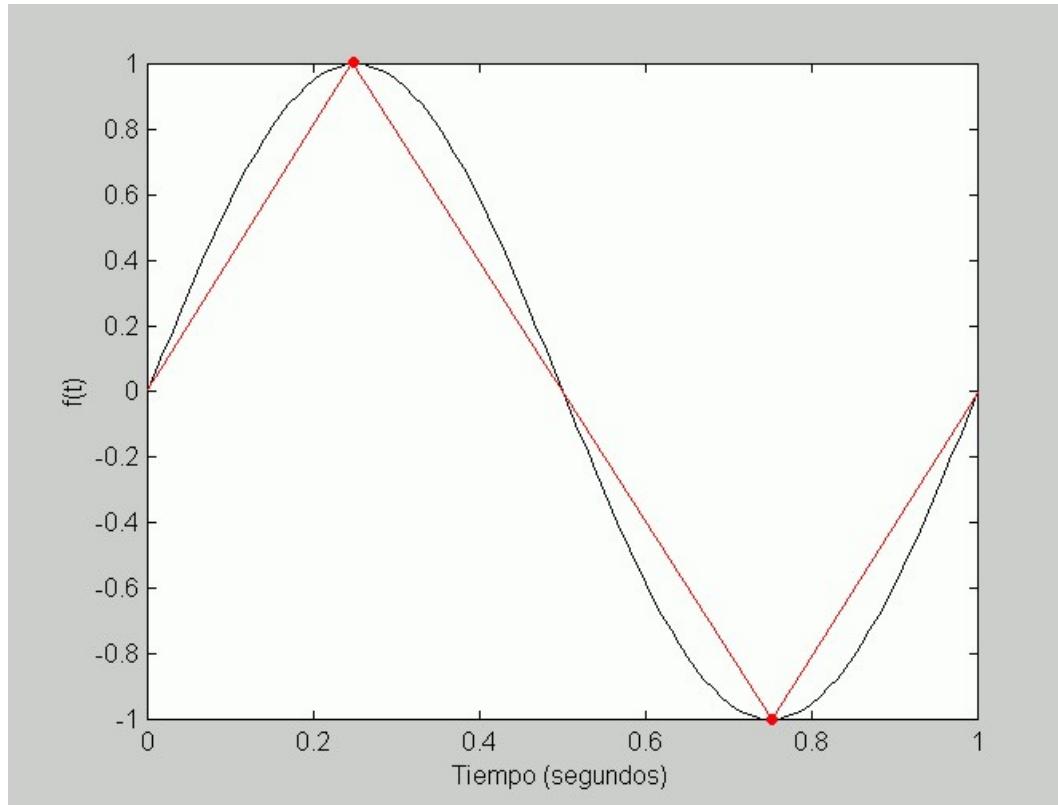
$$f_m = \frac{1}{T_m}$$

T_m = periodo de muestreo

3.2 Transmisión de una señal de datos.

Teorema de Nyquist

Representación de la función $f(t) = A \cdot \sin(2\pi t)$ donde $A=1$ y $T= 1$ seg ($f = 1$ Hz)



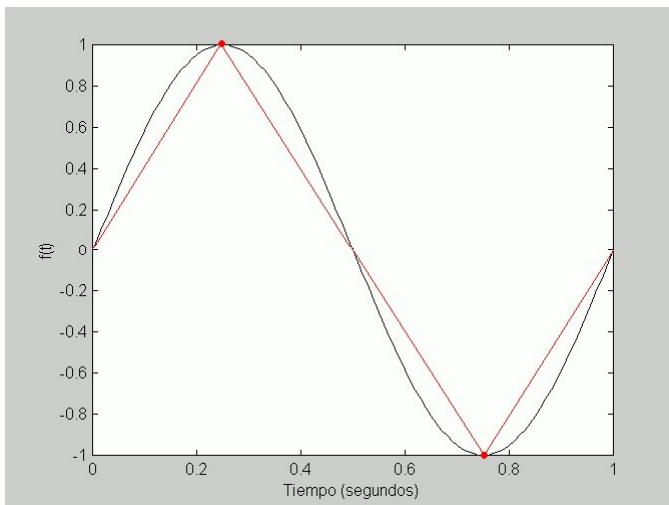
Para recuperar una función seno (o coseno) se necesitan como mínimo dos puntos en cada periodo de la señal. Luego $T_m = 0.5$ segundos y $f_m = 2$ Hz = $2 f$.

3.2 Transmisión de una señal de datos.

Teorema de Nyquist

Si un medio físico tienen un ancho de banda B , entonces es cierto que:

La frecuencia del armónico de mayor frecuencia de la señal transmitido por el medio físico tendrá una frecuencia de B Hz



$$f_m = 2B \text{ Hz}$$

La velocidad de modulación para una señal de pulsos es el número de veces por unidad de tiempo en que se detectan cambios.

$$V_{m(max)} = \frac{1}{T_m} = f_m = 2B \text{ baudios}$$

$$V_{t(max)} = V_{m(max)} \log_2 n = 2B \log_2 n \text{ bps}$$

n = Número de niveles de la señal

Ejemplo: Transmisión de pulsos en RTC

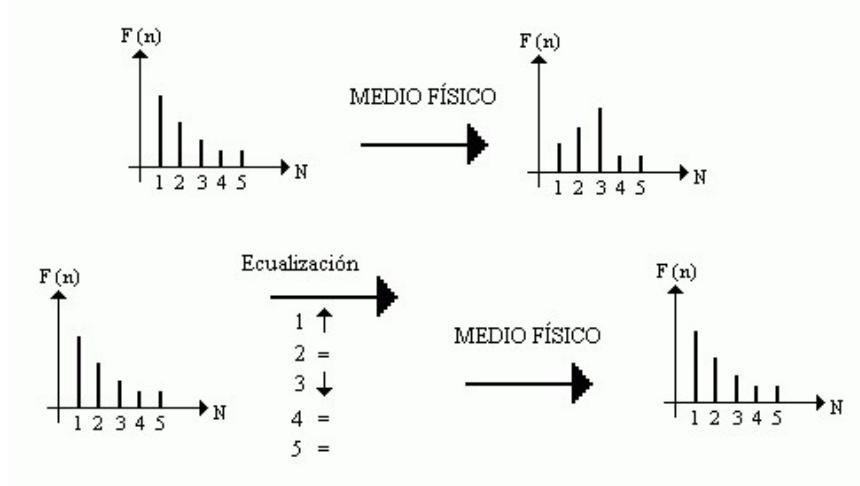
$$B = 4000 \text{ Hz} \Rightarrow$$

$$V_{t(max)} = 2 \cdot 4000 \cdot \log_2 2 = 8000 \text{ bps}$$

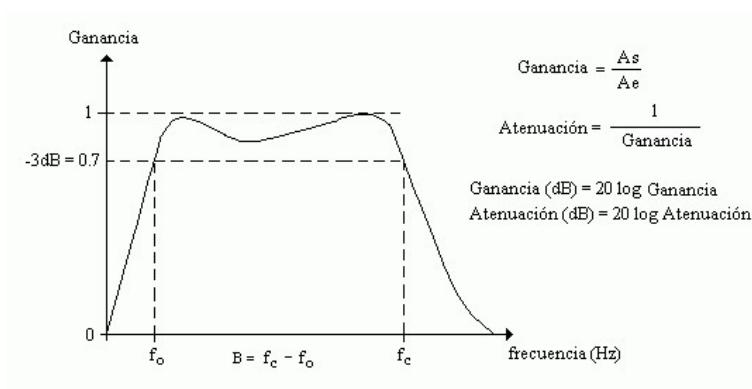
3.2 Transmisión de una señal de datos.

Distorsión en el medio de transmisión

1. Atenuación



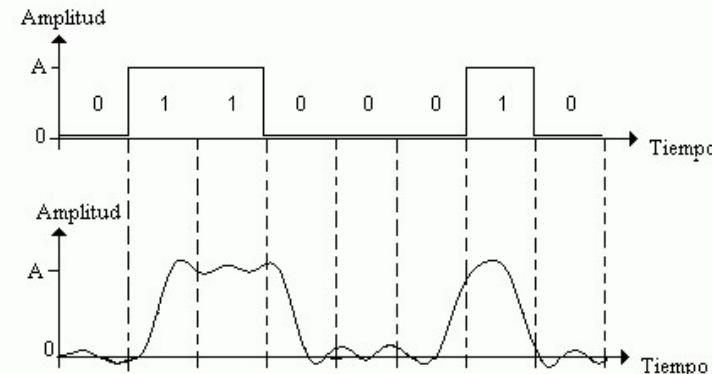
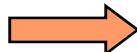
2. Ancho de banda



3.2 Transmisión de una señal de datos.

Distorsión en el medio de transmisión

3. Distorsión de retardo



4. Ruido



3.2 Transmisión de una señal de datos.

Ruido en el medio. Teorema de Shannon



Ruido de fondo en un medio físico

$$\text{Relación señal-ruido (signal to noise ratio)} = 10 \log_{10} \left(\frac{P_s}{P_n} \right) \text{ dB (decibelios)}$$

Teorema de Shannon

Velocidad máxima de transmisión en un medio físico (independientemente del número de niveles de la señal) con una relación señal ruido en el medio.

$$V_{t(max)} = B \log_2 \left(1 + \frac{P_s}{P_n} \right) \text{ bps}$$

3.2 Transmisión de una señal de datos.

Ruido en el medio. Teorema de Shannon

Ejemplo: Velocidad máxima de transmisión de señales de pulsos en la RTC con una relación señal ruido de 30 dB.

$$V_{t(max)} = 4000 \log_2 \left(1 + \frac{P_s}{P_n} \right) \text{ bps}$$

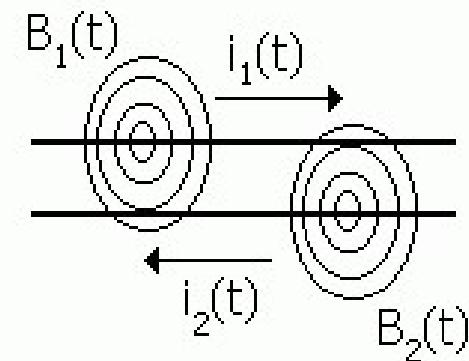
$$30 \text{ dB} = 10 \log_{10} \left(\frac{P_s}{P_n} \right) \Rightarrow \log_{10} \left(\frac{P_s}{P_n} \right) = \frac{30}{10} = 3 \quad \frac{P_s}{P_n} = 10^3 = 1000$$

$$V_{t(max)} = 4000 \log_2 (1 + 1000) = 4000 \frac{\log_{10}(1001)}{\log_{10} 2} = 39868.91 \text{ bps}$$

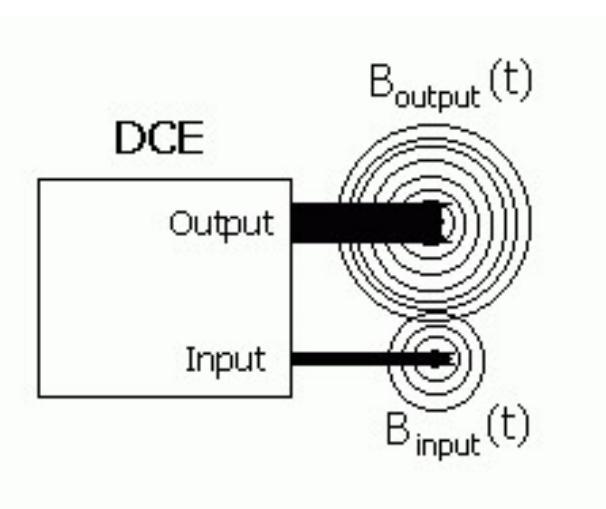
3.2 Transmisión de una señal de datos.

Tipos de ruido según la naturaleza de su origen

1. Ruido cruzado (crosstalk) o diafonía



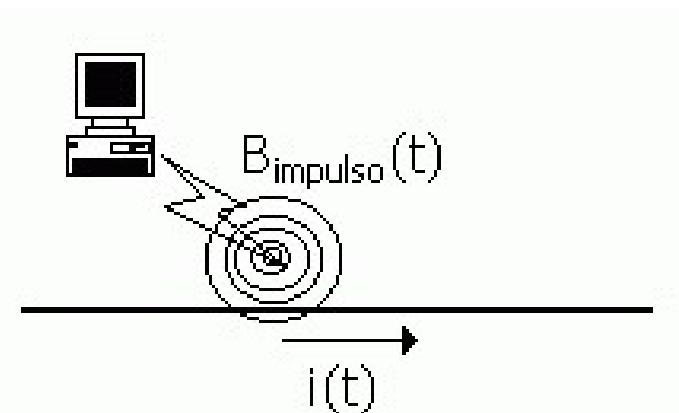
2. Autoacoplamiento



3.2 Transmisión de una señal de datos.

Tipos de ruido según la naturaleza de su origen

3. Ruido de impulso



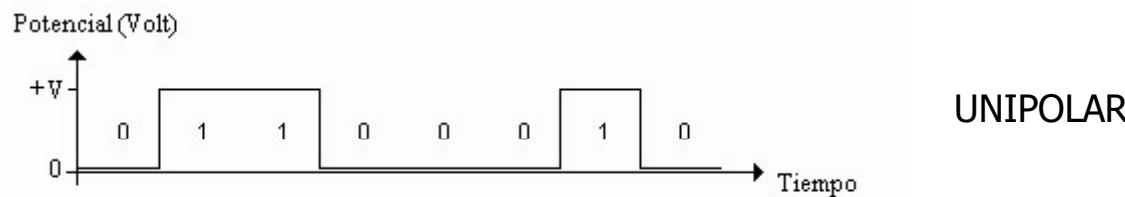
3.3 Señalización en banda base

Transmisión de la señal de información directamente al medio físico: transmisión de una señal de pulsos con información binaria.

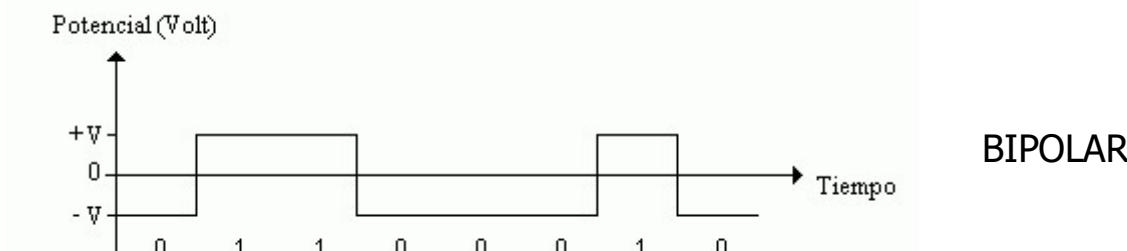
Codificación binaria

Cada valor lógico de la señal de información tiene asignado un nivel de tensión eléctrica (en general un valor de la magnitud física).

CODIFICACIÓN BINARIA SIN RETORNO A CERO



Señal con sensibilidad al ruido (confusión de 1s y 0s). Solución: bipolaridad en niveles de tensión.

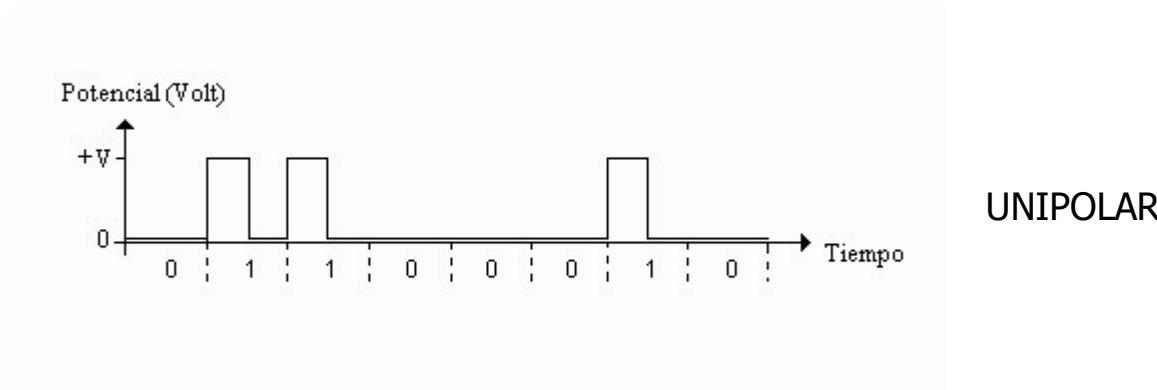


Ambas señales tienen problemas de sincronización al transmitir secuencias de 1s o 0s seguidas.

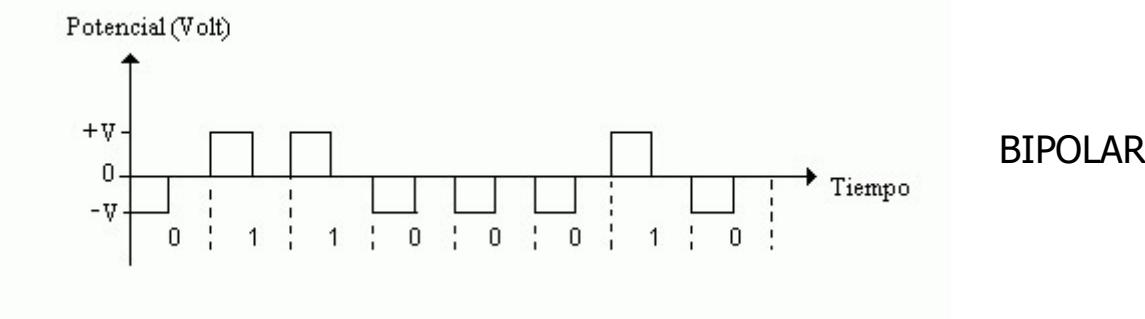
3.3 Señalización en banda base

Codificación binaria

CODIFICACIÓN BINARIA CON RETORNO A CERO



Señal con problemas de sincronización al transmitir secuencias de 0s seguidas.

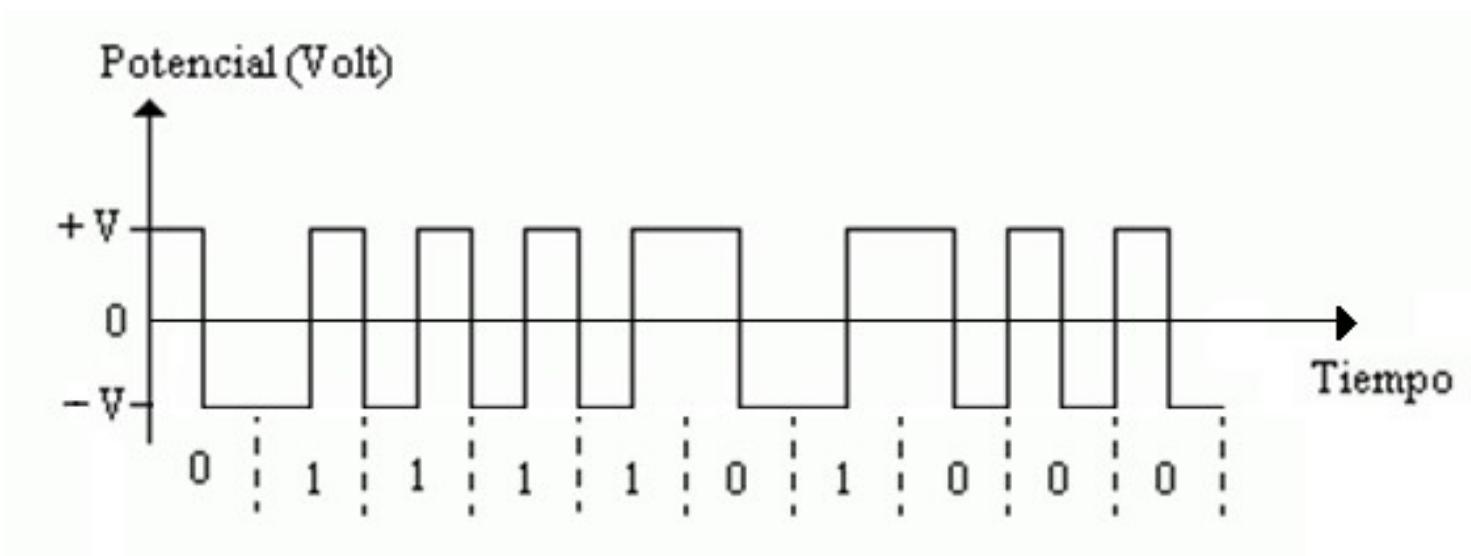


Señal compleja de interpretar por niveles de tensión. Alternativa: detección de cambios en los valores de tensión.

3.3 Señalización en banda base

Codificación Manchester

Cada valor lógico de la señal de información tiene asignado un tipo de transición en el cambio del valor de la tensión eléctrica (cambio en el valor de la magnitud física).



Señal con tolerancia al ruido y fácil de implementar electrónicamente para la lectura y transmisión de datos. Empleada en las primeras redes Ethernet.

3.4 Señalización en banda modulada

La señal de información a transmitir sufre un proceso de adaptación antes de su transmisión al medio físico.

Existen tres tipos de señales en la transmisión en banda modulada:

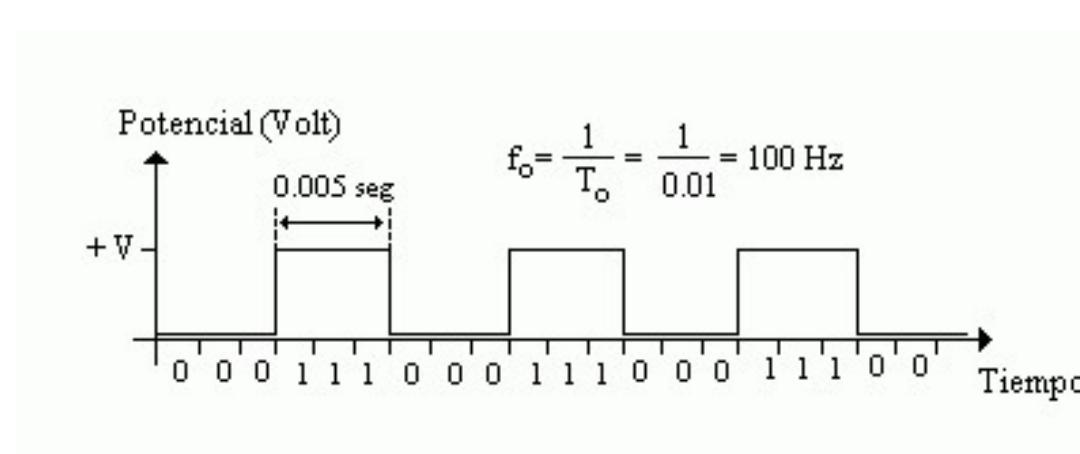
- Señal moduladora: señal de información a transmitir.
- Señal portadora: señal con unas características que permite su transmisión por el medio físico.
- Señal modulada: señal portadora transmitida en el medio modificada en función de las características de la señal moduladora.

3.4 Señalización en banda modulada

Modulación

Incorporación de la información de una señal **moduladora** en una señal **portadora** que puede ser transmitida de forma adecuada por un medio físico.

Ejemplo: Transmisión de una señal de pulsos por la red telefónica comutada (RTC).



Componentes frecuenciales de la señal (armónicos): 100 Hz, 200 Hz, 300 Hz, 400 Hz...

Ancho de banda de RTC: 400 Hz - 4400 Hz



iii LA SEÑAL NO PUEDE SER
TRANSMITIDA !!!

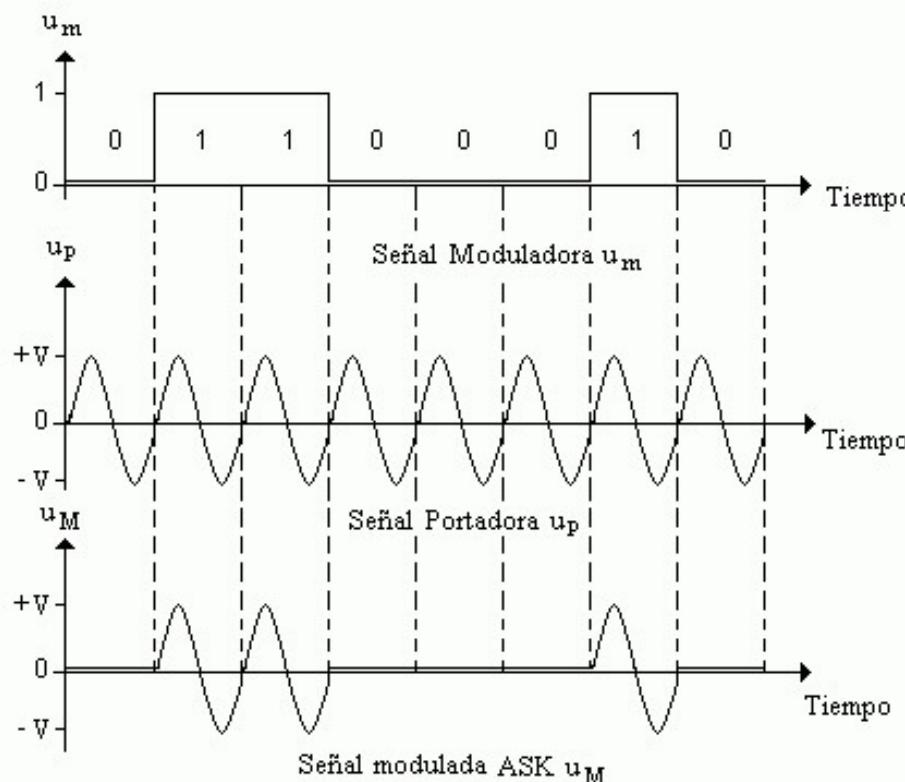
3.4 Señalización en banda modulada

Modulación analógica

Señal moduladora: DIGITAL (Señal de pulsos con información binaria)

Señal portadora: ANALÓGICA (Señales periódicas senoidales)

1. Modulación por cambio en amplitud (ASK - Amplitude shift keying)

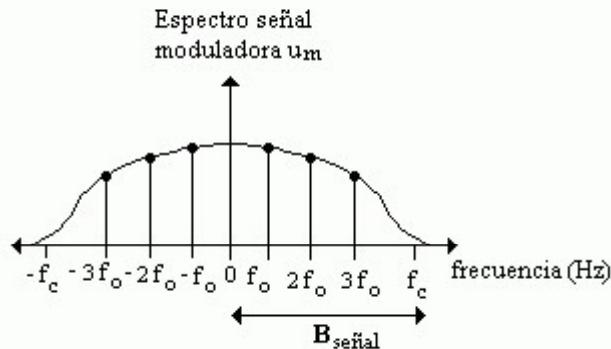


3.4 Señalización en banda modulada

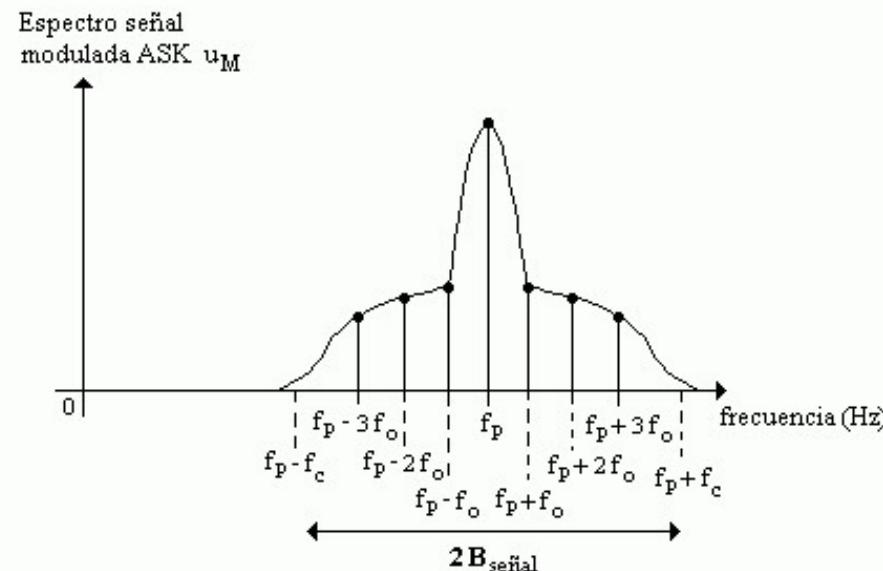
Modulación analógica

1. Modulación por cambio en amplitud (ASK - Amplitude shift keying)

Espectro de potencia de la señal moduladora y modulada



Las componentes $f_0, 2f_0, 3f_0$ ($B_{señal}$) son las más importantes y no están en el rango del ancho de banda del medio físico.



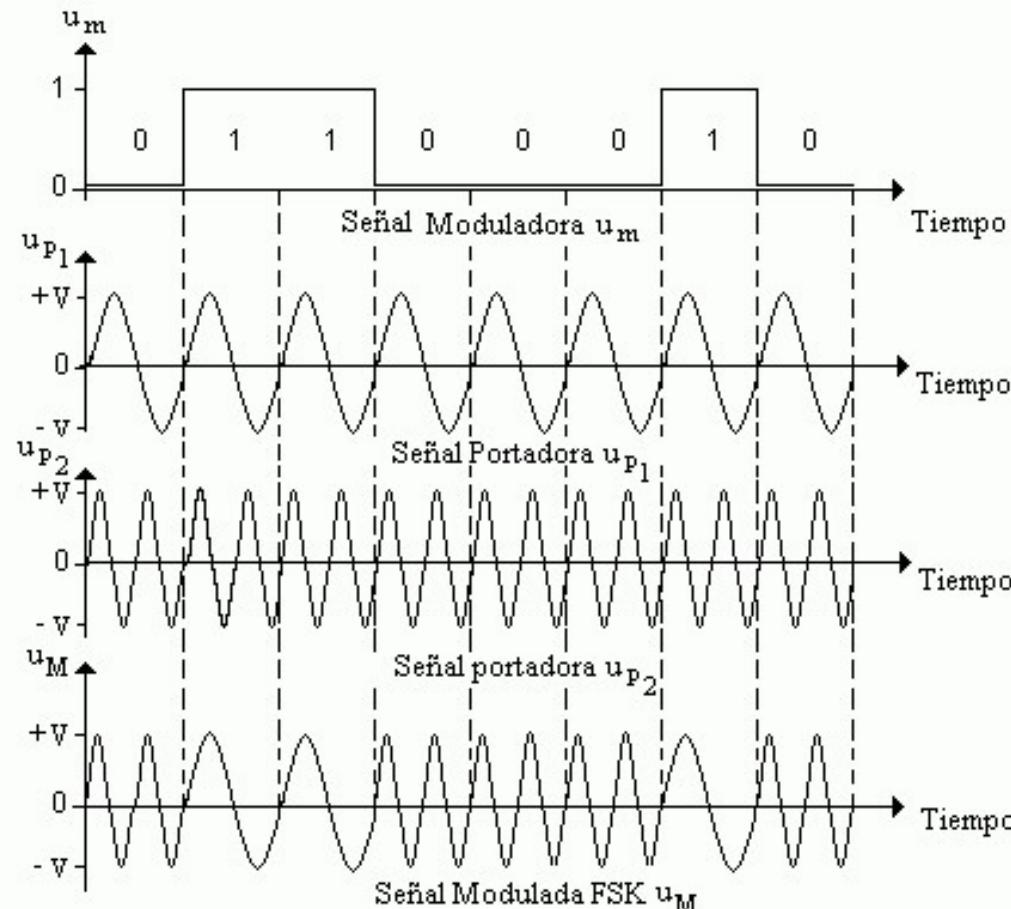
La modulación desplaza los valores de las componentes $f_0, 2f_0, 3f_0$ a unos valores diferentes: $f_p+f_0, f_p+2f_0, f_p+3f_0$.

f_p (frecuencia de la señal portadora) se elige para que esté en un valor de frecuencia dentro del ancho de banda del medio físico (las componentes de la señal se transmiten).

3.4 Señalización en banda modulada

Modulación analógica

2. Modulación por cambio en frecuencia (FSK - Frequency shift keying)

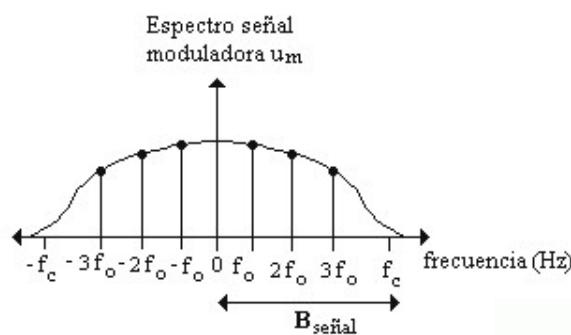


3.4 Señalización en banda modulada

Modulación analógica

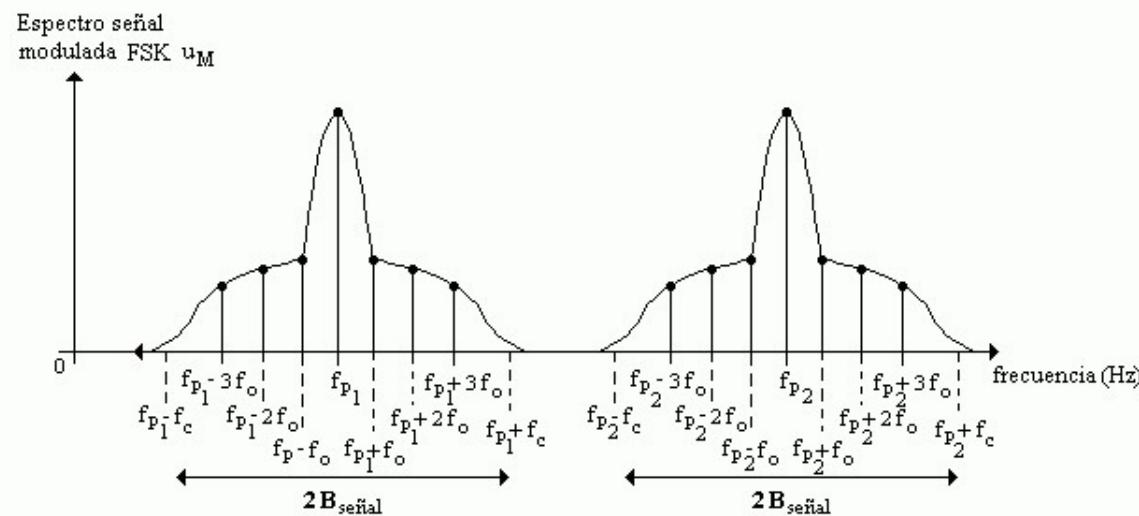
2. Modulación por cambio en frecuencia (FSK - Frequency shift keying)

Espectro de potencia de la señal moduladora y modulada



A mayor velocidad de transmisión, mayor valor de frecuencia de las componentes $f_0, 2f_0, 3f_0$

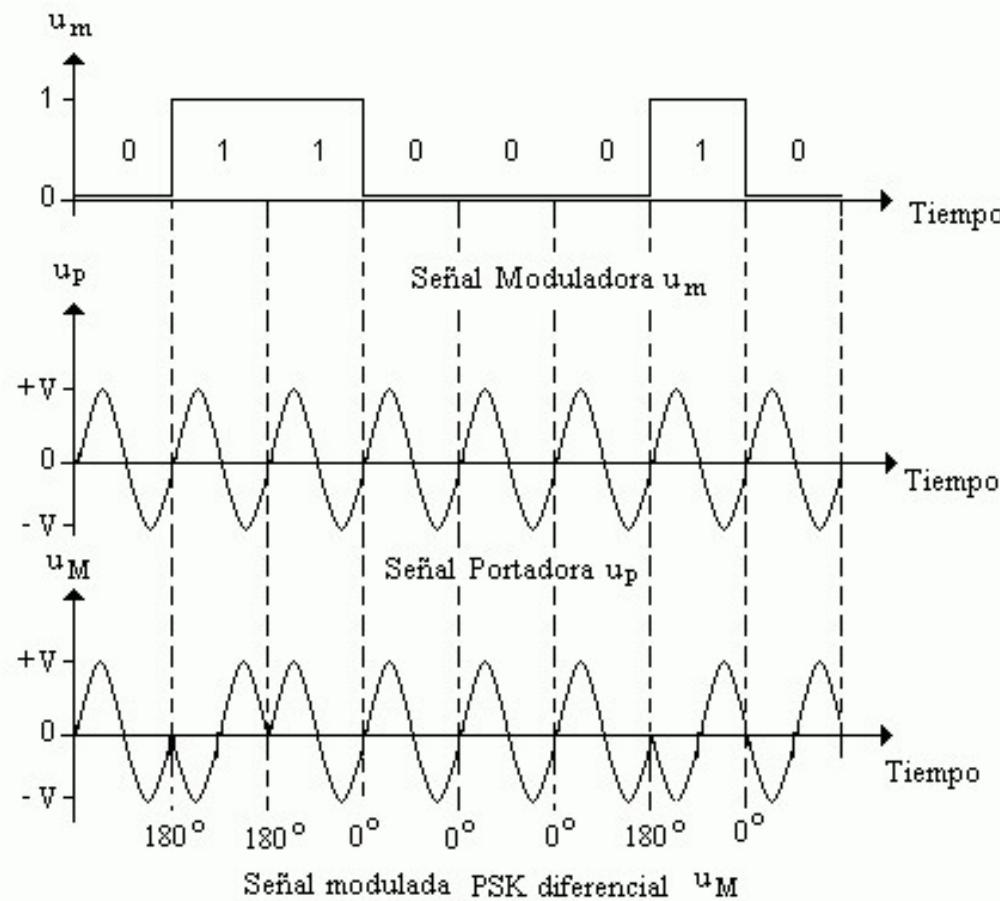
Con la modulación FSK es necesario un medio físico con mayor ancho de banda, por lo que la velocidad máxima de transmisión que se puede conseguir con FSK es menor que con ASK.



3.4 Señalización en banda modulada

Modulación analógica

3. Modulación por cambio en fase (PSK - Phase shift keying)

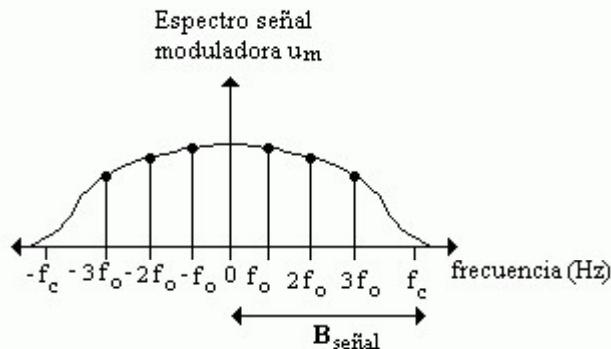


3.4 Señalización en banda modulada

Modulación analógica

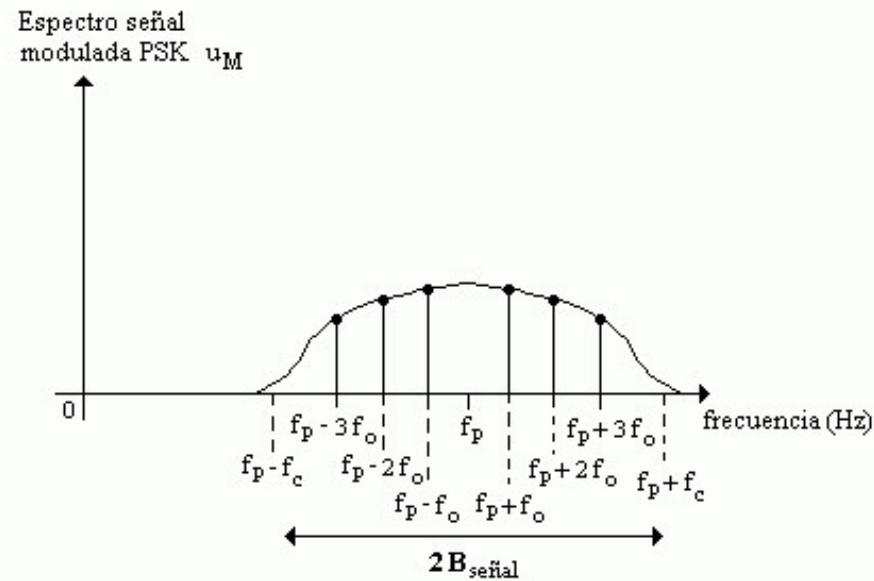
3. Modulación por cambio en fase (PSK - Phase shift keying)

Espectro de potencia de la señal moduladora y modulada



El ruido reduce la amplitud de las componentes frecuenciales de una señal.

La modulación PSK es menos sensible al ruido al no existir una componente f_p de gran amplitud.

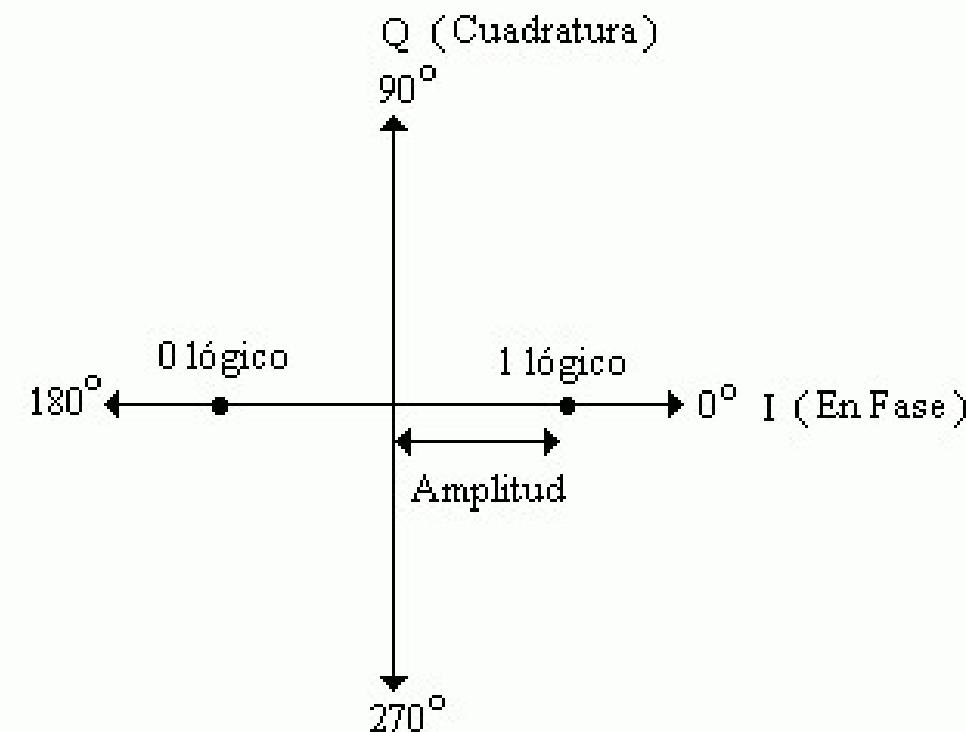


3.4 Señalización en banda modulada

Modulación analógica

4. Métodos de modulación de múltiples niveles

Diagrama de fase

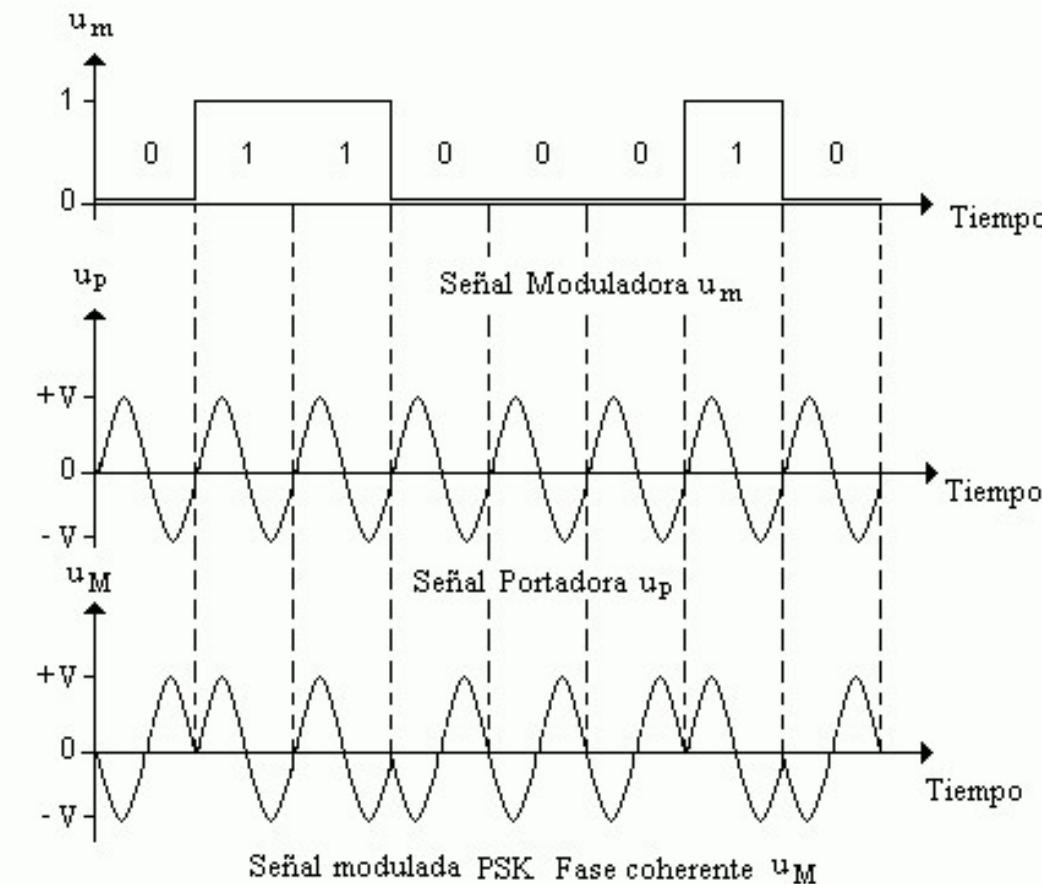


3.4 Señalización en banda modulada

Modulación analógica

4. Métodos de modulación de múltiples niveles

Modulación PSK de fase coherente

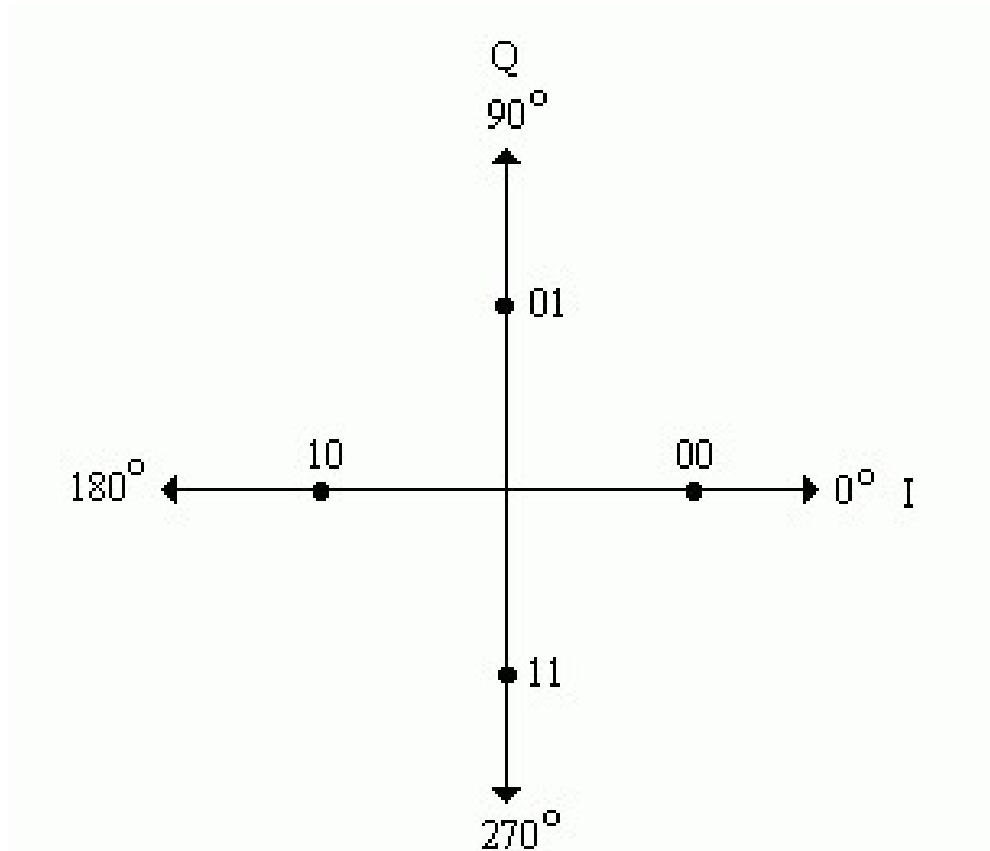


3.4 Señalización en banda modulada

Modulación analógica

4. Métodos de modulación de múltiples niveles

Diagrama de fase de la modulación QPSK

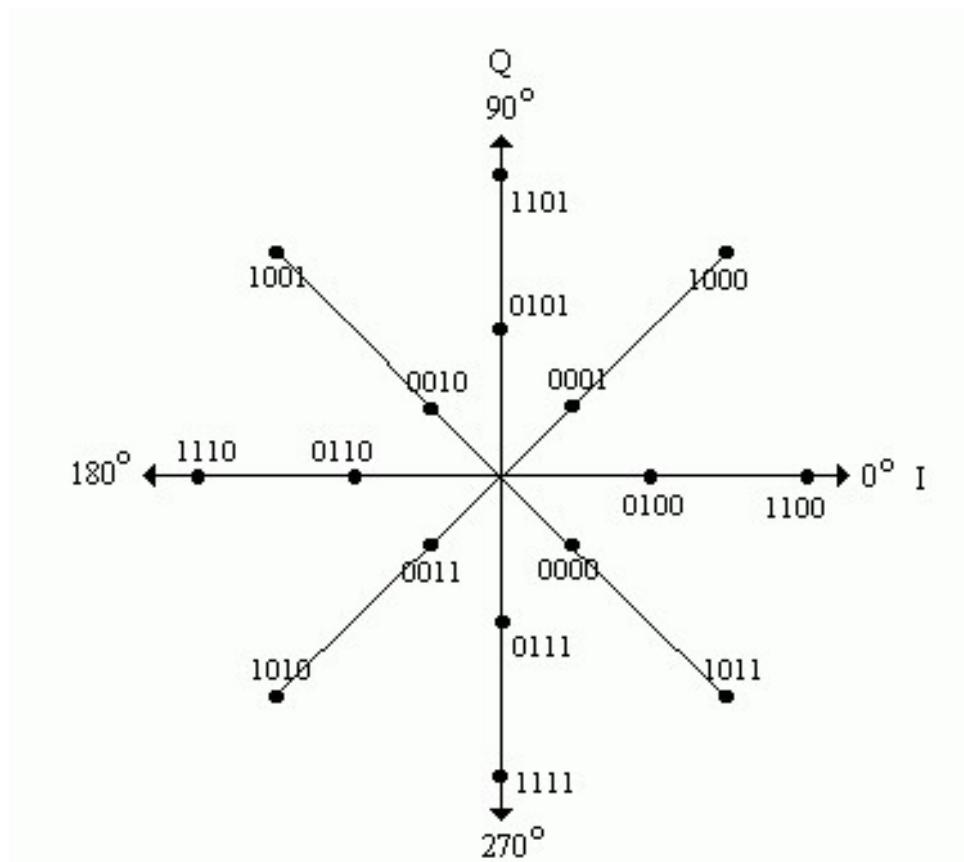


3.4 Señalización en banda modulada

Modulación analógica

4. Métodos de modulación de múltiples niveles

Diagrama de fase de la modulación QAM



3.4 Señalización en banda modulada

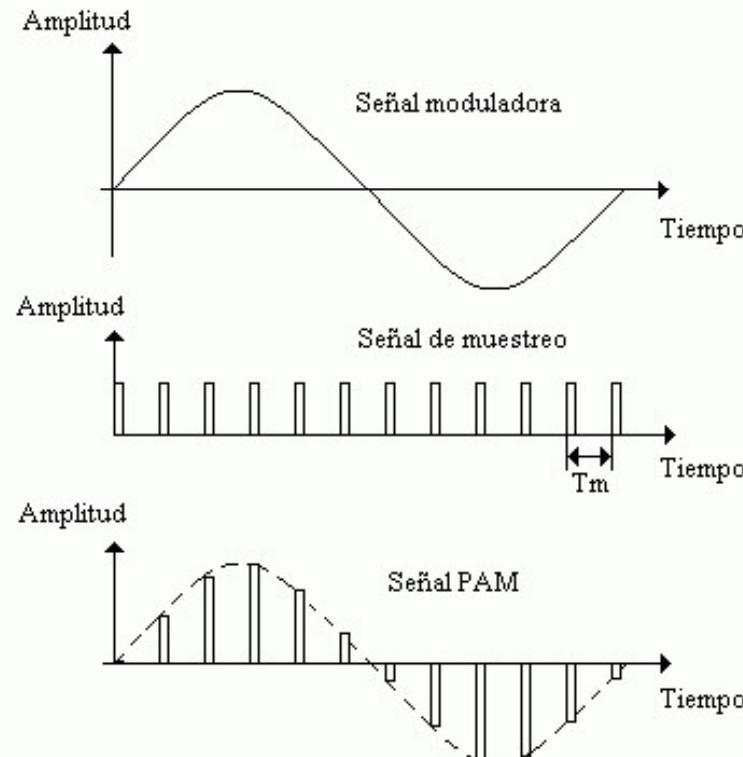
Modulación digital

Señal moduladora: ANALÓGICA (Señales periódicas senoidales)

Señal portadora: DIGITAL (Señal de pulsos)

Ejemplo: Transmisión de voz empleando señales de pulsos (RDSI)

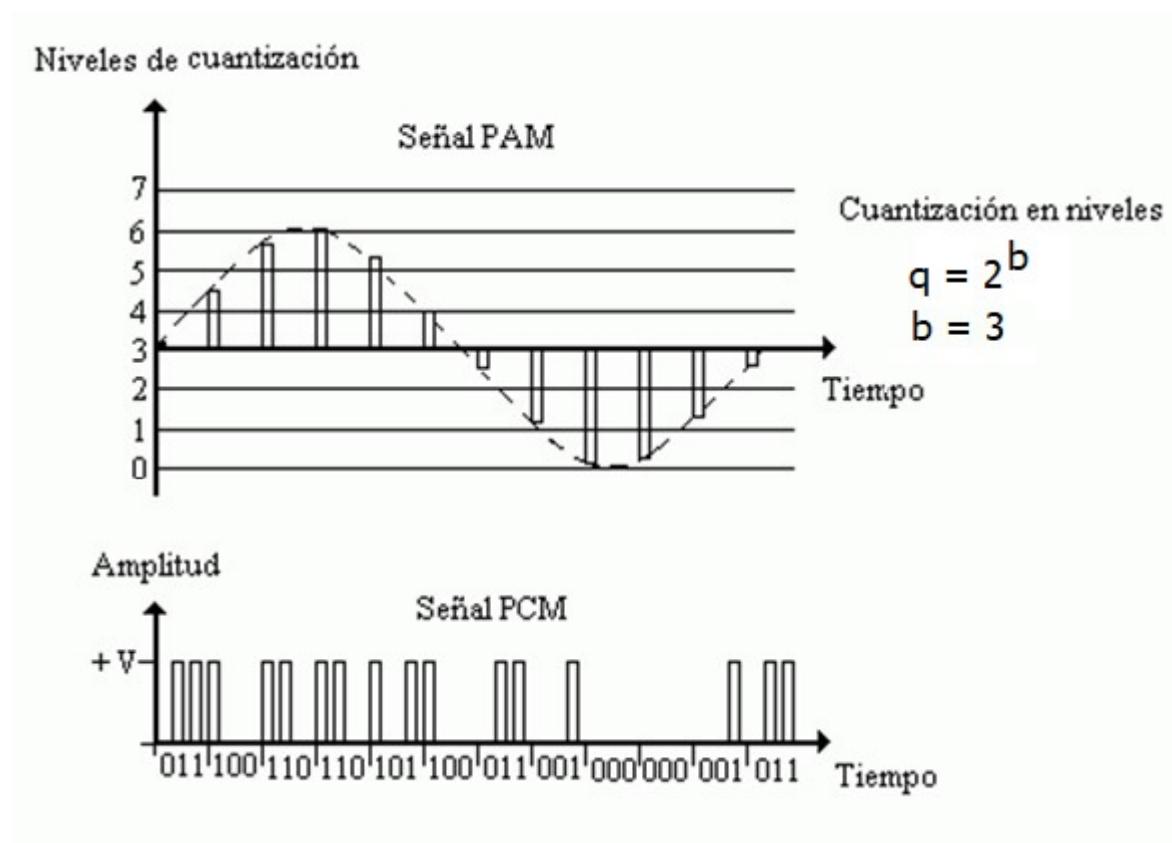
Modulación por código de pulsos (PCM - Pulse code modulation)



$$f_m = 2B_{señal}$$

3.4 Señalización en banda modulada

Modulación digital



q = número de niveles de cuantización

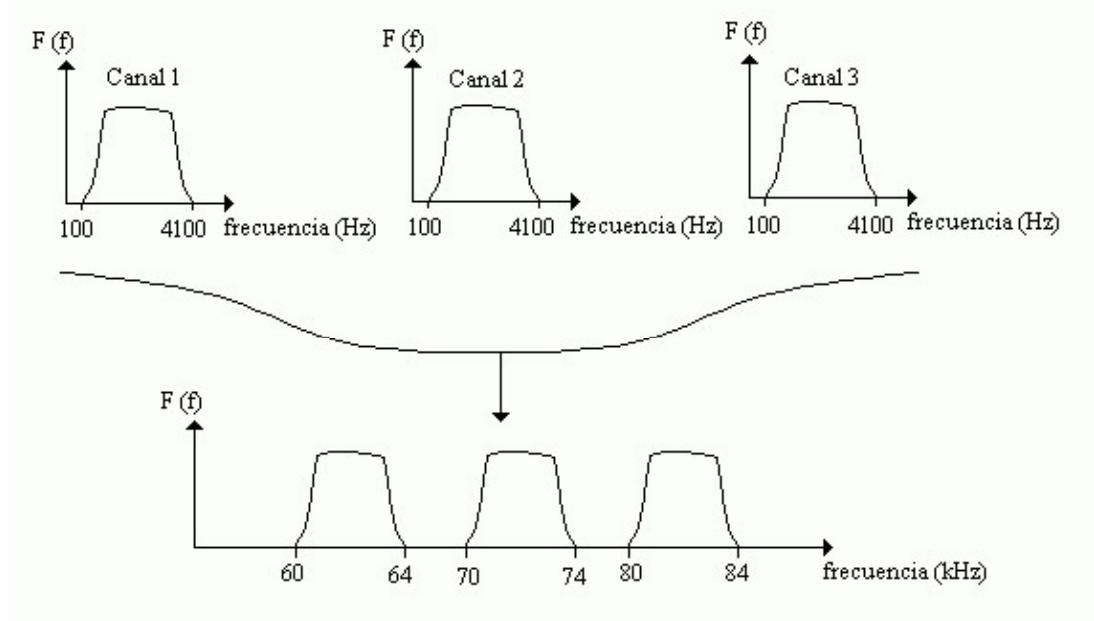
b = número de bits de codificación para los niveles q

$$V_{t-digital} = \frac{b}{T_{m-señal}} = b \cdot f_{m-señal} = b \cdot 2 \cdot B_{señal} \text{ bps}$$

3.5 Multiplexión

Multiplexión por división de frecuencias (FDM)

Reparto de un medio físico entre varias fuentes de información asignando una zona del ancho de banda a cada fuente.



$$B_{medio} = c \cdot (B_{canal} + \Delta B) \text{ Hz} \quad c = \text{número de canales a multiplexar}$$

La multiplexión FDM emplea la modulación para compartir el medio físico de transmisión.

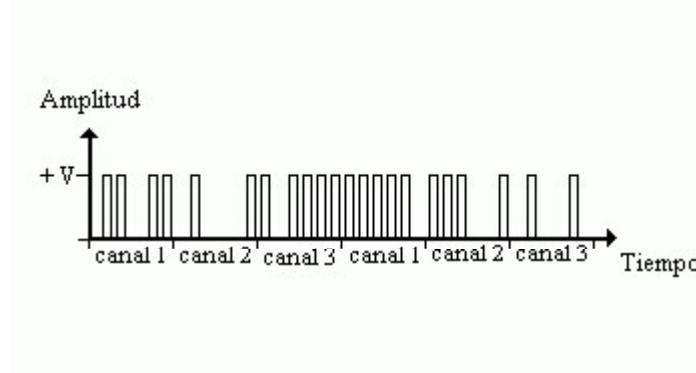
3.5 Multiplexión

Multiplexión por división en el tiempo (TDM)

Reparto de un medio físico entre varias fuentes de información asignando un tiempo de uso del medio a cada fuente. **Solo es posible con señales digitales (pulsos).**

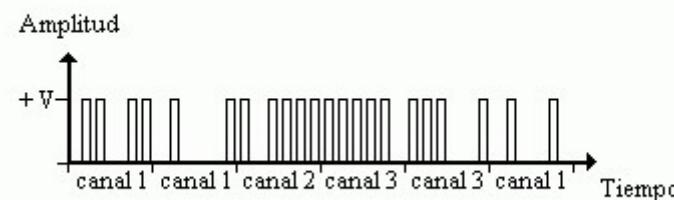
1. TDM síncrona

Cada fuente tiene asignada una misma posición temporal periódica en el uso del medio de transmisión.



2. TDM estadística

Cada fuente no tiene asignada una misma posición temporal periódica en el uso del medio de transmisión.



3.5 Multiplexión

Multiplexión por división en el tiempo (TDM)

Ejemplo de TDM síncrona: multiplexión de canales digitales de voz en RDSI

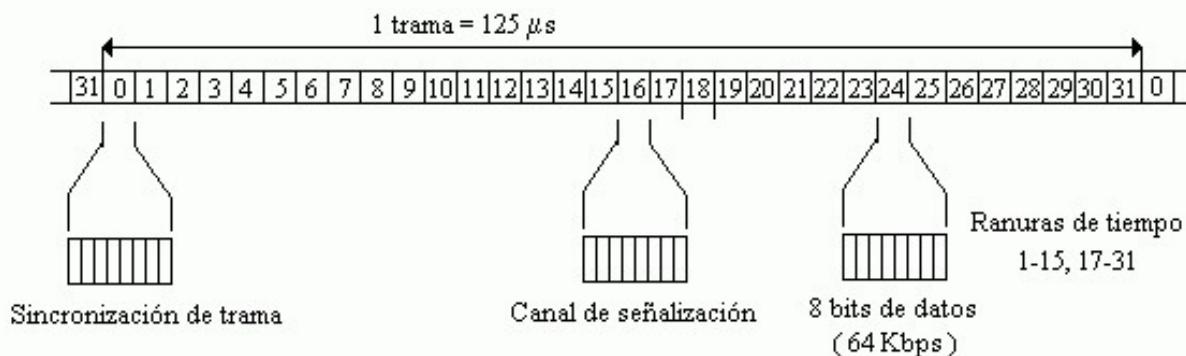
Digitalización PCM de un canal de voz (4000 Hz) empleando 256 niveles de amplitud para la señal de voz.

$$f_m = 2B_{voz} = 2 \cdot 4000 = 8000 \text{ Hz}$$

$$T_m = \frac{1}{f_m} = 125 \mu\text{seg}$$

$$\rightarrow V_{t \text{ canal de voz}} = \frac{8}{T_m} = \frac{8}{125 \mu\text{seg}} = 64000 \text{ bps}$$

Normativa Europa



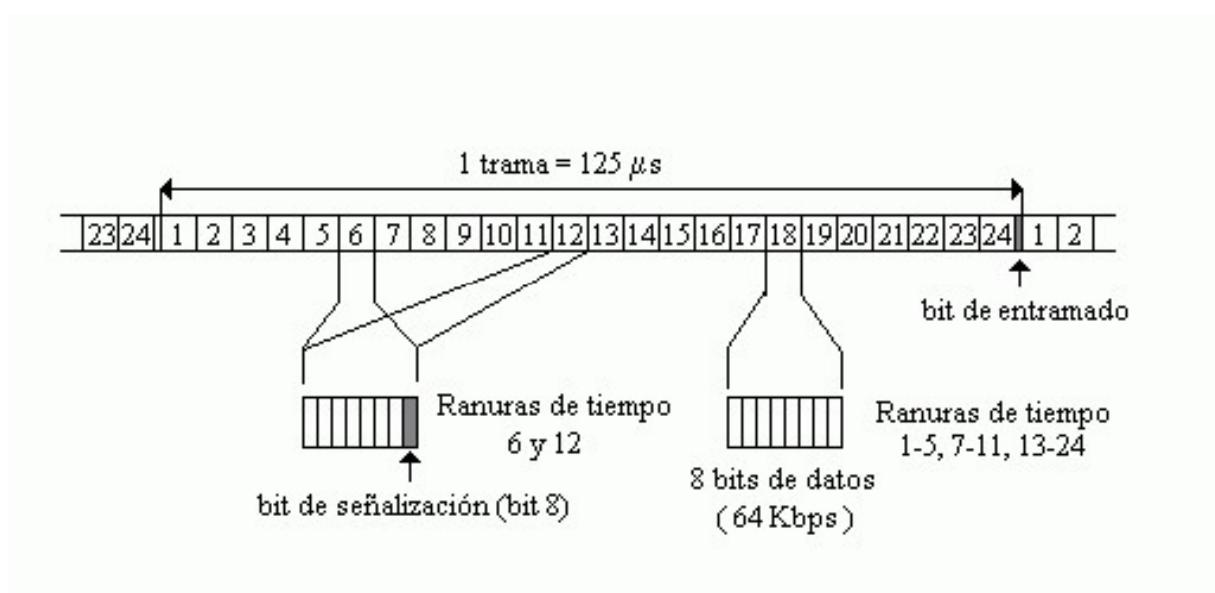
$$V_{t \text{ canal multiplexado}} = \frac{32 \cdot 8}{125 \mu\text{sec}} = 2.048 \text{ Mbps}$$

3.5 Multiplexión

Multiplexión por división en el tiempo (TDM)

Ejemplo de TDM síncrona: multiplexión de canales digitales de voz en RDSI

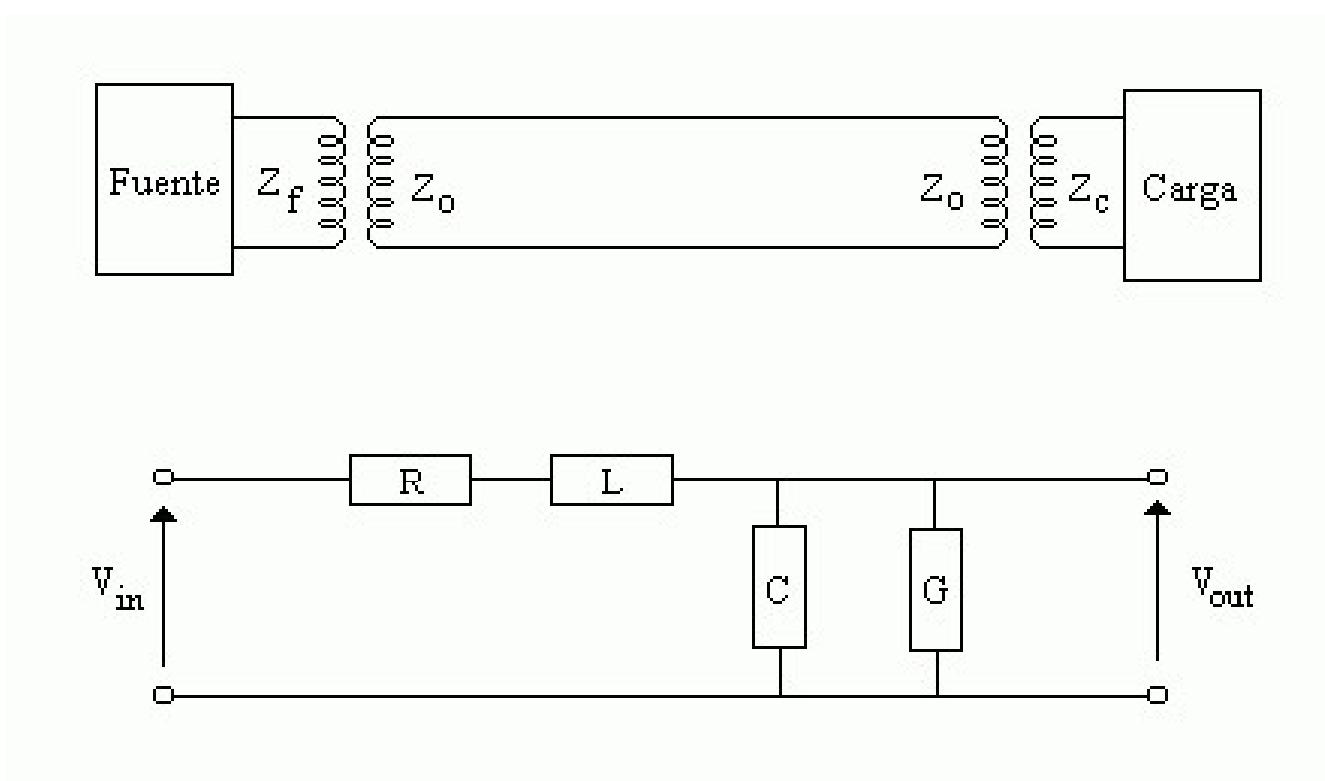
Normativa EEUU-Japón



$$V_{t \text{ canal multiplexado}} = \frac{24 \cdot 8 + 1}{125 \mu\text{sec}} = 1.544 Mbps$$

3.6 Medios de transmisión

Modelo de parámetros distribuidos de un cable eléctrico



1. Para evitar reflejos en la propagación de la señal

$$Z_c = Z_0 \quad \text{Ej. Ethernet: } Z_0 = 50 \Omega$$

2. Para conseguir una atenuación mínima en la propagación de la señal

$$RC = GL$$

3.6 Medios de transmisión

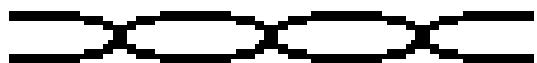
Cable par paralelo



$V_t \leq 20 \text{ Kbps}$, distancia máxima 50 m

Comunicaciones DTE - DCE

Cable par trenzado no blindado (UTP – *Unshielded Twisted Pair*)



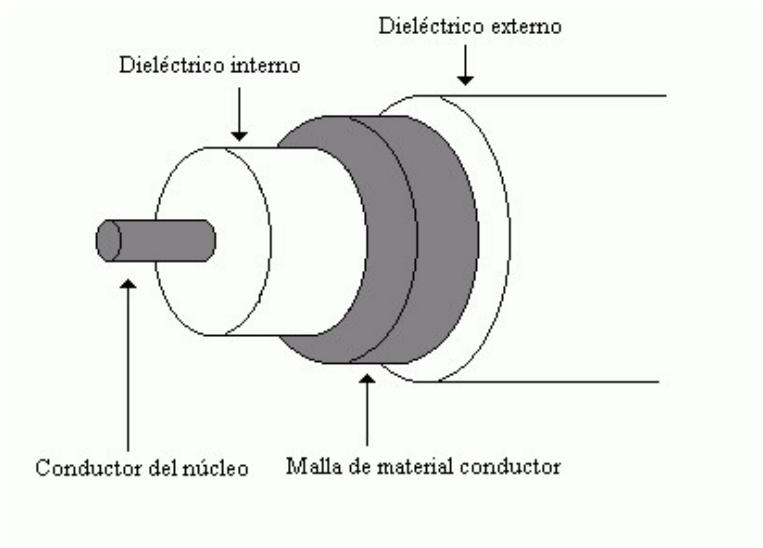
Reduce el ruido cruzado o diafonía



Tipos de cable UTP	Categoría 5	$V_t \leq 100 \text{ Mbps}$, distancia máxima 100 m
	Categoría 6	$V_t \leq 1000 \text{ Mbps}$, distancia máxima 100 m
	Categoría 7	$V_t \leq 10 \text{ Gbps}$, distancia máxima 100 m

3.6 Medios de transmisión

Cable coaxial



La malla conductora evita las interferencias de campos eléctricos externos al cable, elimina el ruido de impulso.

Esta propiedad se aplica en los cables pares trenzados para conseguir mejorar sus prestaciones, obteniendo el denominado **cable STP** (*Shielded Twisted Pair*).

Su uso está recomendado en entornos industriales con maquinaria eléctrica que puede provocar ruido de impulso.



$V_t \leq 1000 \text{ Mbps}$, distancia máxima 100 m

3.6 Medios de transmisión

Cable coaxial

Tipos de cable coaxial

Cable coaxial 50Ω

- Transmisión en banda base (Manchester).
- Redes LAN (sustituido por pares trenzados).
- Velocidad de 10 Mbps a distancia de 100 m. para cable coaxial fino.
- Velocidad de 10 Mbps a distancia de 500 m. Para cable coaxial grueso.

Cable coaxial 75Ω

- Transmisión en banda modulada.
- Multiplexión en frecuencia de múltiples canales (transmisión *broadband* - 300 MHz).
- Televisión analógica/digital por cable.

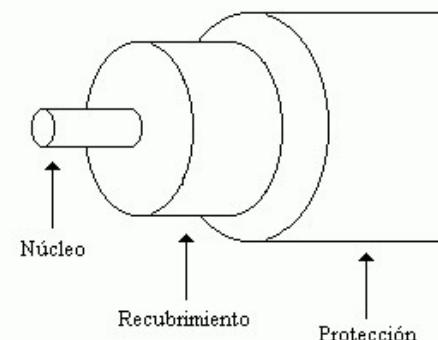
3.6 Medios de transmisión

Fibra óptica

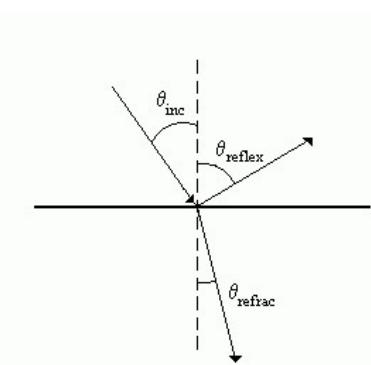
Medio que permite el confinamiento y propagación de un haz de luz.

Estructura

Núcleo de cristal de sílice rodeado de un recubrimiento de silicona. Dispone de una capa externa como protección hecha de poliuretano.



Modelo de propagación



La propagación de la luz entre dos medios distintos distorsiona la trayectoria del haz, produciéndose una refracción o reflexión.

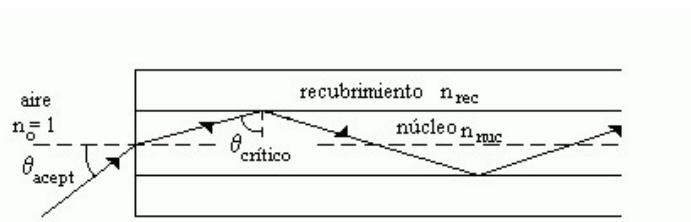
$$\text{Índice de refracción de un medio } n = \frac{v_c}{v_n}$$

$$\text{Ley de Snell} \quad n_1 \operatorname{sen} \vartheta_{inc} = n_2 \operatorname{sen} \vartheta_{refrac}$$

3.6 Medios de transmisión

Fibra óptica

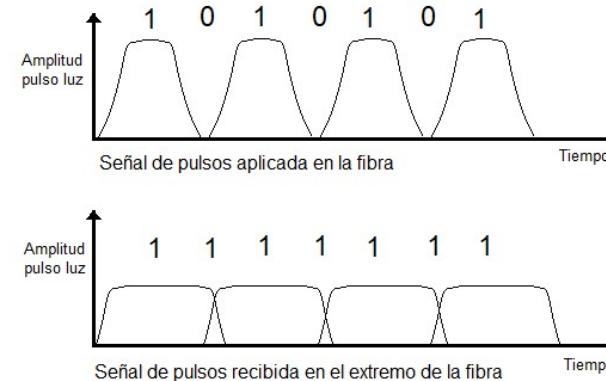
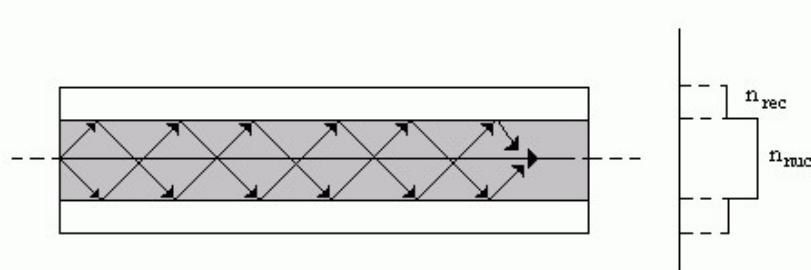
Modelo de propagación



$$\theta_{crítico} = \arcsen \frac{n_{rec}}{n_{nuc}}$$

Tipos de fibra óptica

A) Fibra multimodo de índice de salto. Existen múltiples haces que se propagan en la fibra, desfasándose temporalmente debido a los diferentes recorridos ópticos, y provocando distorsiones (dilatación) en los pulsos del haz (**dispersión intermodal**).



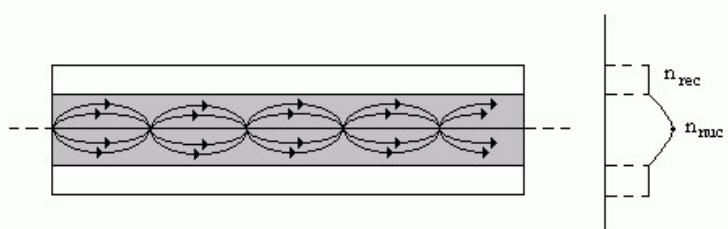
A mayor distancia mayor distorsión intermodal (pulsos más anchos y de menor amplitud en el extremo de la fibra), por lo que la velocidad a emplear tendrá que ser menor para evitar solapamiento de pulsos.

3.6 Medios de transmisión

Fibra óptica

Tipos de fibra óptica

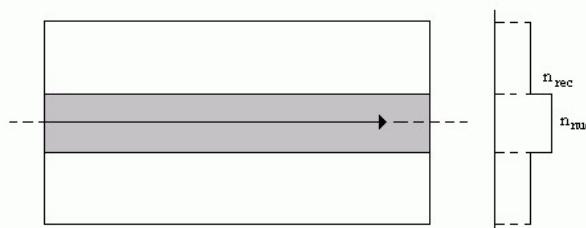
B) Fibra multimodo de índice gradual. El índice de refracción variable en el núcleo permite compensar el efecto de la dispersión intermodal. Son las fibras ópticas multimodo empleadas actualmente para comunicaciones.



Los pulsos tienen limitada su distorsión independientemente de la distancia de la fibra.

Permiten alcanzar velocidades muy superiores a la fibra de índice de salto.

C) Fibra monomodo. Un núcleo de diámetro muy reducido ($< 10 \mu\text{m}$) permite la propagación de un único haz en paralelo al eje de la fibra. No existe dispersión intermodal, pero las diferentes longitudes de onda del haz producen una distorsión en el pulso denominada **dispersión intramodal**.

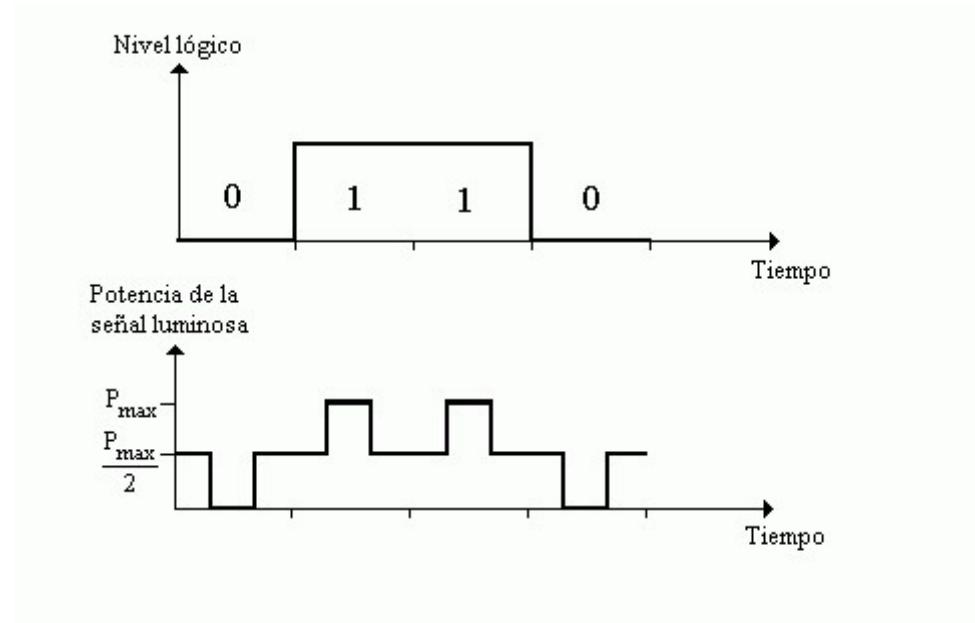


La distorsión de los pulsos es la menor de todas las fibras y permite las velocidades más elevadas y distancias más grandes.

3.6 Medios de transmisión

Fibra óptica

Velocidad de transmisión



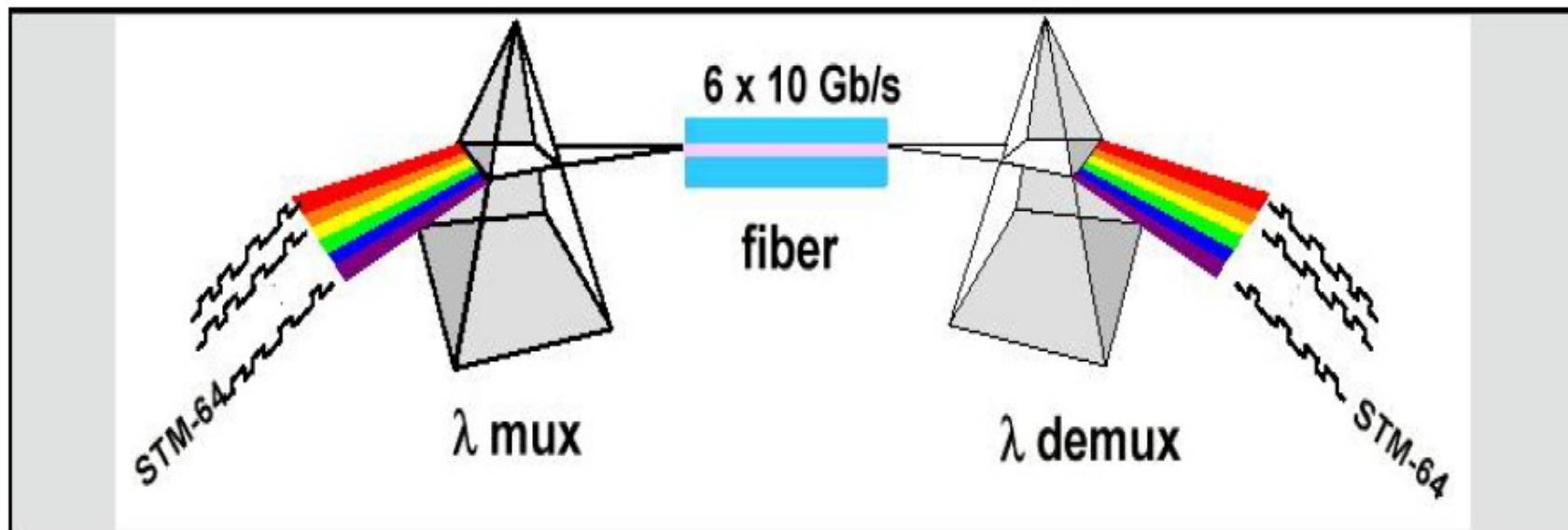
TIPO DE FIBRA	ANCHO DE BANDA (Hz/Km)
Multimodo IS	50 MHz/Km
Multimodo ÍG	500 - 2000 MHz/Km
Monomodo	1 - 100 THz/Km

Fuente: www.thefoa.org

3.6 Medios de transmisión

Fibra óptica

Tecnología de multiplexión de longitudes de onda (WDM)



Se realiza la transmisión de varios haces de luz de diferentes longitudes de onda (colores) simultáneamente. Cada haz contiene los pulsos de luz de un conjunto de datos. Los extremos de la fibra emplean receptores y emisores de luz que operan en diferentes longitudes de onda.

Esta técnica permite aumentar en decenas de veces la velocidad de transmisión en una fibra óptica sin cambiarla, sólo modificando los dispositivos emisores y receptores de luz para aplicar la técnica WDM.

3.6 Medios de transmisión

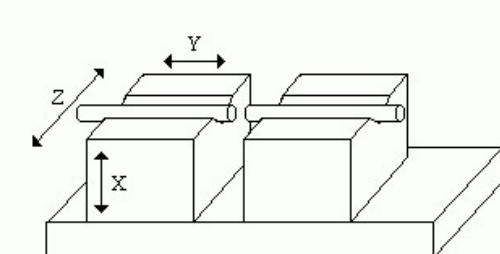
Fibra óptica

Dispositivos luminosos. Conexión de fibras óptica

Dispositivos emisores	Diodo LED	$T_{conn} \approx 20 \text{ nseg}$
	Diodo láser	$\Delta\lambda \approx 40 \text{ nm}$
Dispositivos receptores	$T_{conn} \approx 1 \text{ nseg}$	
	$\Delta\lambda \approx 2 \text{ nm}$	
Dispositivos receptores		Fotodiodo semiconductor en avalancha (APD)

Conexiones de fibra

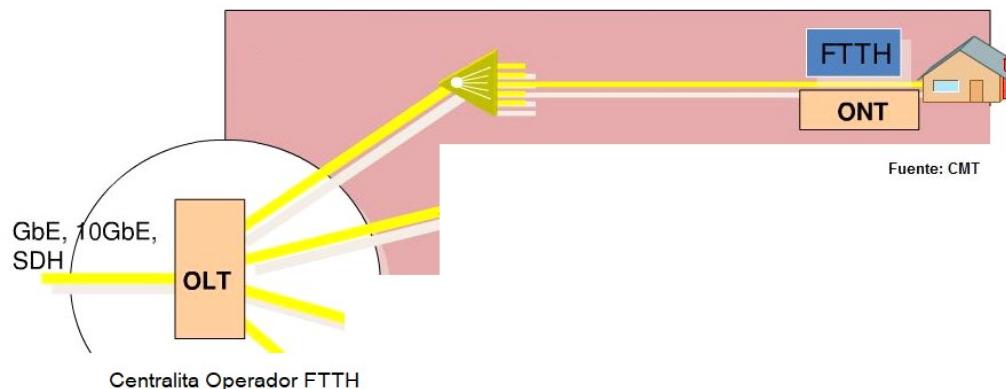
Las uniones de cables de fibra óptica (debido a cortes) precisa de un dispositivo de alineamiento y fusión de las fibras: fusionadora.



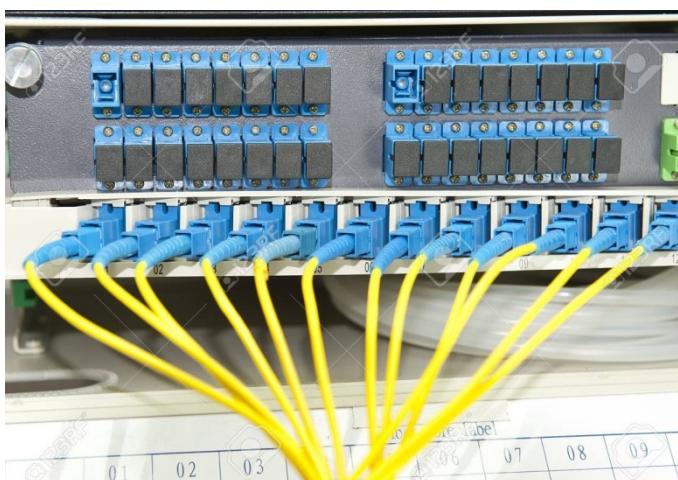
3.6 Medios de transmisión

Fibra óptica

Aplicaciones



Trazados de fibra óptica al hogar (FTTH) con fibras monomodo y velocidades de 2 Gbps y 20 km.

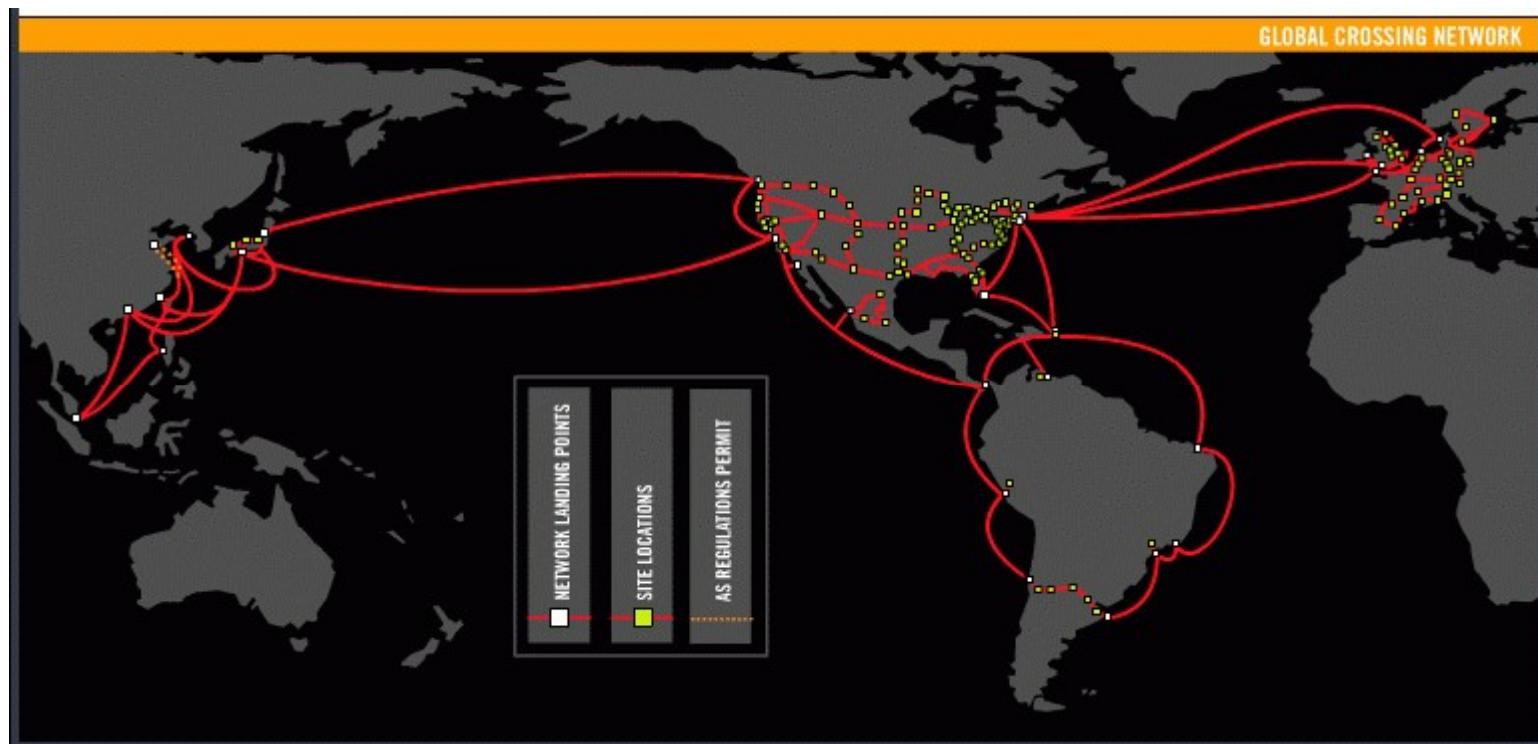


Redes LAN Ethernet Fibra óptica
(fibra multimodo y monomodo)

3.6 Medios de transmisión

Fibra óptica

Aplicaciones



Enlaces nacionales e internacionales

Cable MAREA (Bilbao (ES) – Virginia Beach (USA)) de 6600 Km alcanza velocidades de 160 Tbps con 8 cables de fibra óptica. Construido y operado por Telefónica desde 2018 y propiedad de Microsoft y Facebook.

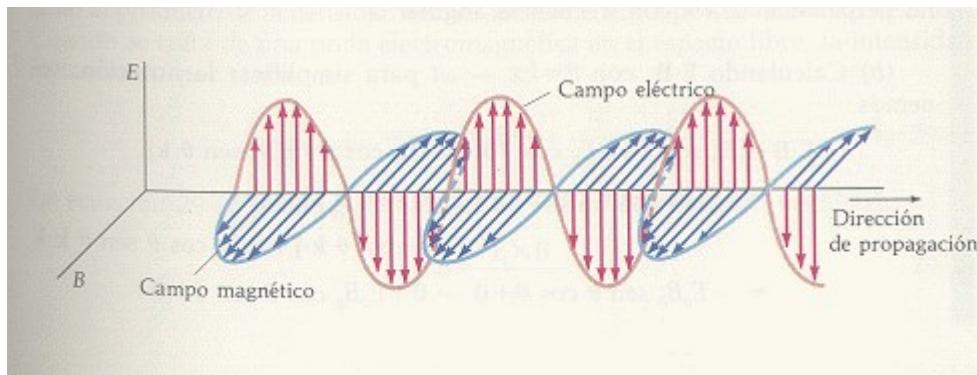
3.6 Medios de transmisión

Ondas electromagnéticas

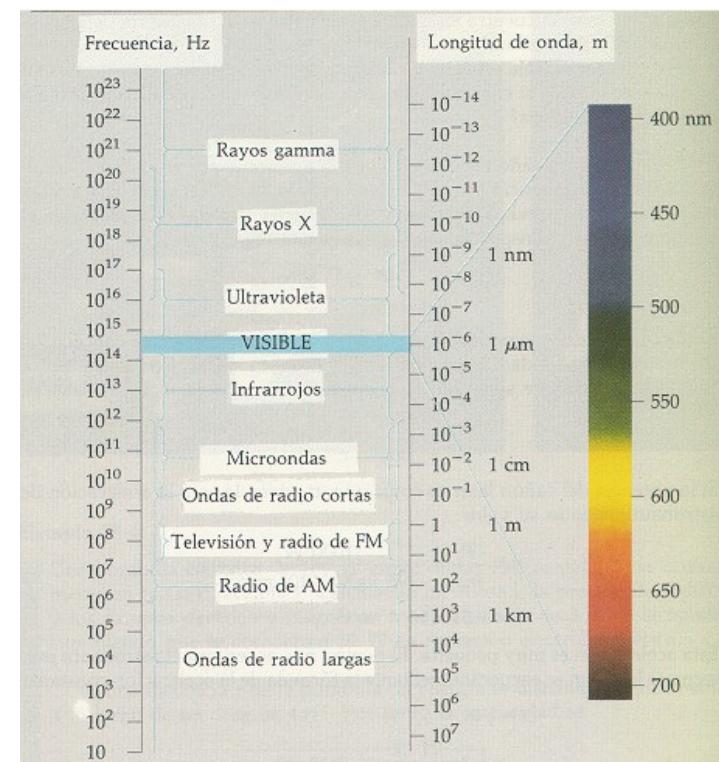
La radiación electromagnética es un mecanismo de transmisión de energía que presenta las propiedades de una onda.

Esta onda es susceptible de incorporar información empleando mecanismos de modulación (ASK, PSK, FSK).

Espectro electromagnético



$$f(s^{-1} = Hz) = \frac{c(m/s)}{\lambda(m)}$$



3.6 Medios de transmisión

Ondas electromagnéticas

Espectro de radiocomunicación

El espectro de radiocomunicación es el conjunto de frecuencias de radiación electromagnética que se han definido para incorporar información y se emplean en los sistemas de comunicaciones.

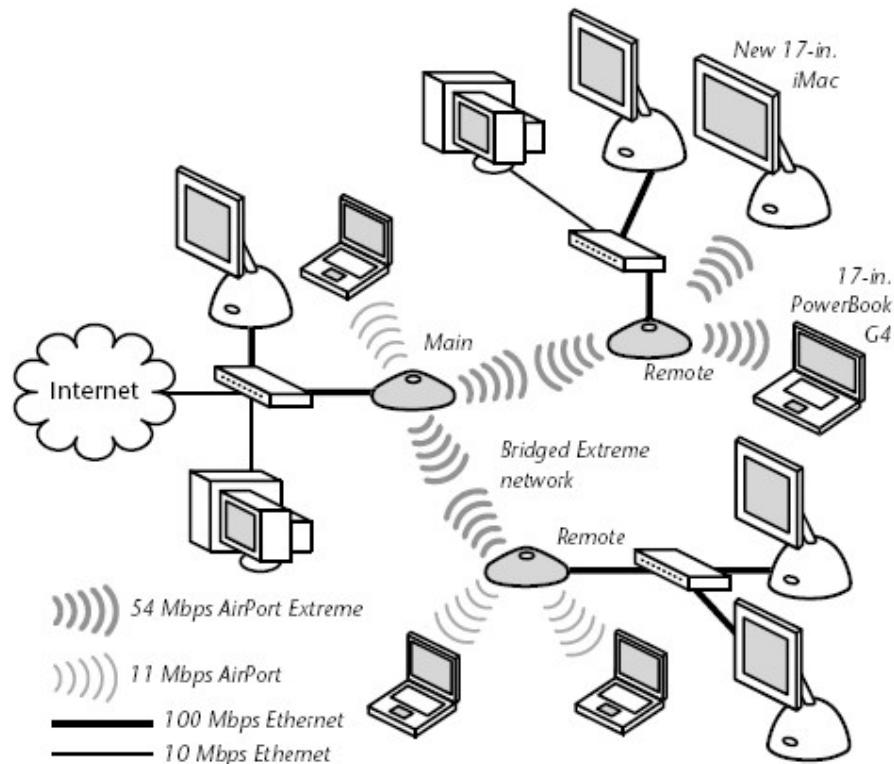
Esta elección es por motivos energéticos (coste de generación reducido), salud (radiación inmune a los seres vivos) y propiedades de propagación (atravesar obstáculos, largas distancias, etc.).

Banda	Frecuencia	Aplicaciones
VLF	< 30 KHz	Audio
LF	30 KHz - 300 KHz	Marítima
MF	300 KHz - 3 MHz	Radio AM
HF	3 MHz - 30 MHz	
VHF	30 MHz - 300 MHz	Radio FM, TV, Radar
UHF	300 MHz - 3 GHz	Radar, TV, Microondas
SHF	3 GHz - 30 GHz	Satélite, Microondas, Radar
EHF	30 GHz - 300 GHz	Radar, Infrarrojo
SEHF	300 GHz - 3000 GHz	Infrarrojo

3.6 Medios de transmisión

Ondas electromagnéticas

Aplicaciones: Redes inalámbricas



Red inalámbrica de infraestructura



Punto de acceso (AP): Dispositivo puente entre LAN de cable y LAN inalámbrica.

Normativa IEEE 802.11g (Wi-Fi 3)

Frecuencia portadora: 2.4 GHz. 54 Mbps.

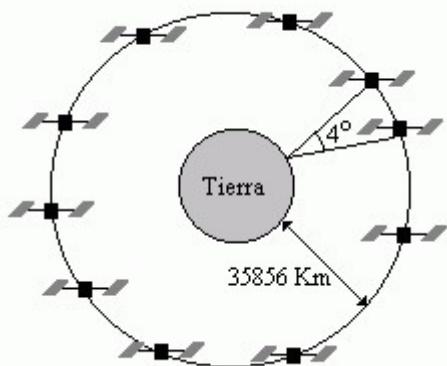
Normativa IEEE 802.11n (Wi-Fi 4)

Frecuencia portadora: 2.4 y 5 GHz. 600 Mbps.

3.6 Medios de transmisión

Ondas electromagnéticas

Aplicaciones: Comunicación satelital.



Satélites geoestacionarios (órbitas a 35856 km de la tierra) : cobertura permanente de una zona geográfica.

Satélites no-geoestacionarios (orbitas inferiores a 35856 km): cobertura NO permanente de amplias zonas geográficas.

Transmisión analógica con modulación

Frecuencias de portadoras:

Banda C (4 - 8 GHz) Banda Ku (12 – 18) GHz

Banda Ka (27 – 40 GHz)

Aplicaciones:

- Multidifusión: TV vía satélite.
- Telefonía: Iridium, Inmarsat, Thuraya.
- Transmisión de datos: Mecanismo alternativo (de respaldo) cuando no es posible la fibra óptica (más barato).
- Servicios de acceso a Internet por satélite: <http://www.hispasat.com>

Transponder: dispositivo emisor/receptor a bordo de un satélite

Ancho de banda en 1 transponder: 36 – 70 Mhz -> 50 - 100 Mbps.

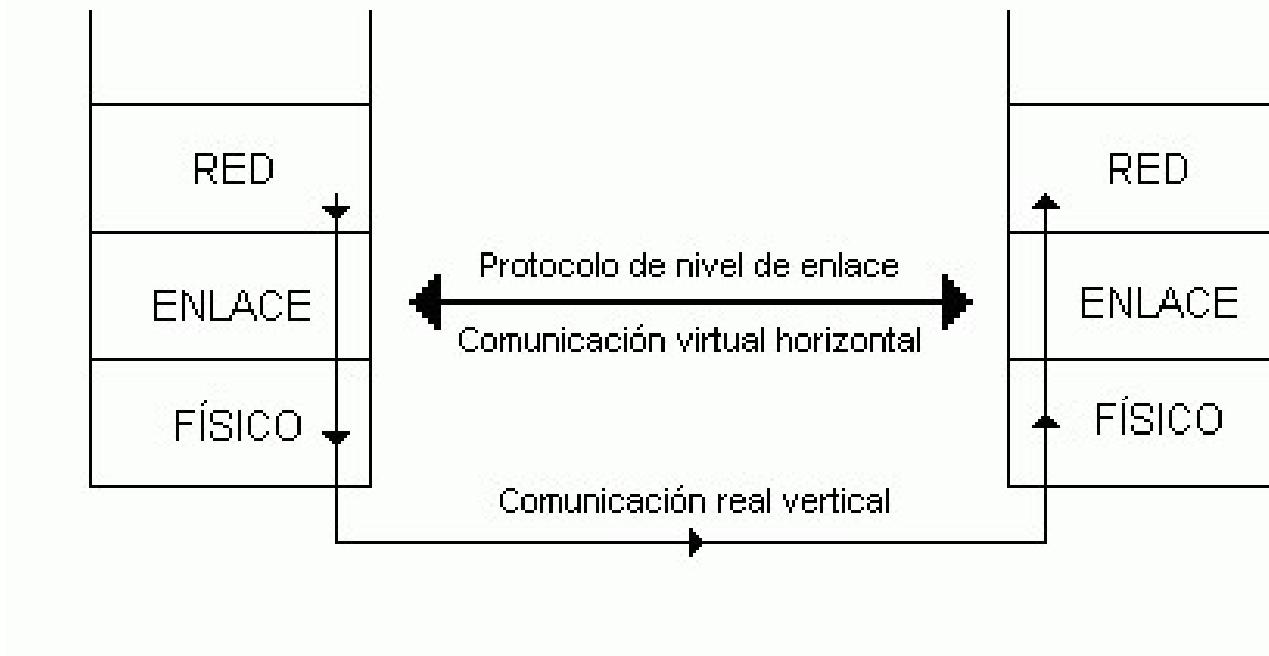
Varios transponders y varios haces de ondas -> Gbps de capacidad por satélite.

TEMA 4

NIVEL DE ENLACE

4.1 Servicios y funciones del nivel de enlace

Función genérica del nivel de enlace: comunicación libre de errores en un medio físico.



Fragmentación de paquetes

Numeración de paquetes

Reconocimiento de la información

Reenvío de paquetes erróneos

Control del flujo

4.1 Servicios y funciones del nivel de enlace

Modalidades de protocolos en el nivel de enlace

Protocolos sin conexión y sin reconocimiento

- Medios físicos con baja tasa de error
- Más importante el retardo que la fiabilidad
- Ejemplo: Ethernet

Protocolos sin conexión y con reconocimiento

- Medios físicos con tasa de error considerable
- Sólo confirmación del envío de información
- Ejemplo: Wi-Fi (IEEE 802.11)

Protocolos con conexión y con reconocimiento

- Medios físicos con tasa de error considerable
- Control del flujo: ordenación de paquetes y reenvío correcto
- Ejemplo: HDLC (no empleado en la actualidad)

4.1 Servicios y funciones del nivel de enlace

Funciones del nivel de enlace

- | | |
|------------------------------------|--|
| A) Delimitación de paquetes | Identificación del inicio y fin de un paquete |
| B) Direccionamiento | Identificación de los extremos de la comunicación en un medio físico |
| C) Control de errores | Asegura una transmisión sin errores debidos al medio físico |
| D) Control del flujo | Control del flujo de tramas entre emisor y receptor para evitar congestiones, reenvíos incorrectos, etc. |

4.1 Servicios y funciones del nivel de enlace

Formato de un paquete de nivel de enlace



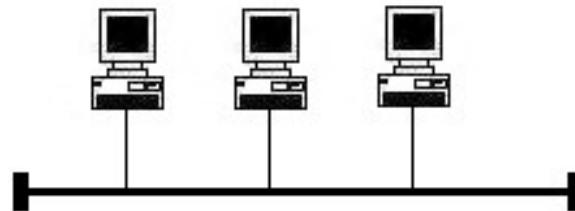
Formato del paquete Ethernet



4.1 Servicios y funciones del nivel de enlace

Direccionamiento

Objetivo: Identificar los elementos que intercambian paquetes de nivel de enlace en un medio físico.



El mecanismo de direccionamiento consiste en asignar secuencias de bits únicas a cada máquina. La cantidad de bits (b) asociados a una dirección nos indica el rango de direccionamiento.

Para $b=5$, tendríamos 2^5 máquinas, identificadas desde la secuencia 00000 a la 11111.

Tipos

Implícito

No es necesario especificar las máquinas origen y destino que intercambian paquetes. Ej: línea punto a punto.

Explícito

Es necesario especificar las máquinas origen y destino que intercambian paquetes. Ej: Ethernet.

4.1 Servicios y funciones del nivel de enlace

Control de errores

FCS (*Frame Check Sequence*): Secuencia de verificación de trama (paquete) (SVT)

Conjunto reducido de datos que suele añadirse en la cola de un paquete de enlace y que permite determinar si la información del paquete ha sufrido algún error.

Dependiendo del tipo de información en la FCS se distingue entre:

A) Códigos de detección de error

Procedimientos que determinan un valor de FCS que permite detectar si el paquete de nivel de enlace presenta algún bit erróneo, pero no puede identificarlo.

B) Códigos de corrección de error

Procedimientos que determinan un valor de FCS que permite detectar si el paquete de nivel de enlace presenta algún bit erróneo e identificarlo, por lo que la trama puede ser corregida en el receptor.

Estos procedimientos no se emplean en las redes de computadores actuales, pues el retardo en el reenvío de un paquete que ha sufrido un error es muy inferior al tiempo de cómputo para identificar los bits erróneos.

Como excepción, los sistemas de comunicación en sondas de exploración del sistema solar (donde los retardos son muy elevados, del orden de horas) y los sistemas de transmisión de TV digital (la imagen no puede sufrir retardos).

4.1 Servicios y funciones del nivel de enlace

Control de errores

Detección de errores por paridad de bits de datos

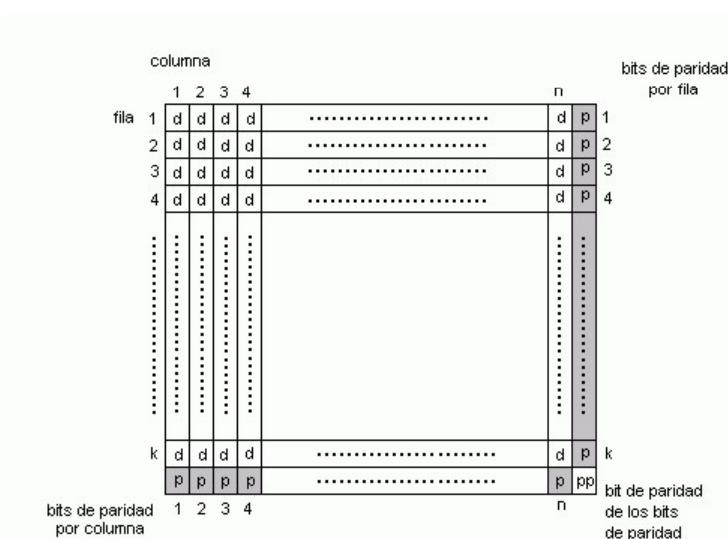
1. Paridad de los bits de datos

Bits de datos	Bit de paridad	Paridad par	00100101 1
00100101	P	Paridad impar	00100101 0

Permiten detectar si en el paquete hay errores en un número impar de bits (1,3,5,etc).

2. Paridad por filas y columnas

Permiten detectar si en el paquete hay errores en 2 bits y un número impar de bits (1,3,5, etc).



En general, los sistemas de detección de errores por paridad incorporan mucha información redundante, en comparación con otros sistemas.

4.1 Servicios y funciones del nivel de enlace

Control de errores

Detección de errores por Códigos de Redundancia Cíclica (CRC)

Asocia un bloque de datos a un polinomio en x , determinando la SVT mediante operaciones y propiedades de polinomios.

11101110 (8 bits) →

$$1 \cdot x^7 + 1 \cdot x^6 + 1 \cdot x^5 + 0 \cdot x^4 + 1 \cdot x^3 + 1 \cdot x^2 + 1 \cdot x^1 + 0 \cdot x^0$$

$$x^7 + x^6 + x^5 + x^3 + x^2 + x$$

Propiedad de la división

$D(x)$ = Polinomio asociado a los datos a transmitir

$G(x)$ = Polinomio generador

$T(x)$ = Polinomio asociado a los datos transmitidos por el emisor

$$\begin{array}{c} D(x) \\ \hline G(x) \\ R(x) \quad C(x) \end{array}$$

$$T(x) = D(x) - R(x)$$

El receptor realiza la operación división de la secuencia recibida entre el mismo polinomio generador, analizando el resto.

Si $T(x) \% G(x) = 0$ Transmisión correcta

Si $T(x) \% G(x) \neq 0$ Transmisión incorrecta

4.1 Servicios y funciones del nivel de enlace

Control de errores

Detección de errores por Códigos de Redundancia Cíclica (CRC)

La elección del polinomio generador se realiza para cumplir con las propiedades de detección de errores más adecuadas. Dado un polinomio generador de grado r , es posible detectar errores en 2 bits, un número impar de bits y errores en ráfaga (bits erróneos consecutivos) de longitud menor que r .

Polinomios generadores $G(x)$

$$\text{CRC-12} \quad G(x) = x^{12} + x^{11} + x^3 + x + 1$$

$$\text{CRC-16} \quad G(x) = x^{16} + x^{15} + x^2 + 1$$

$$\text{CRC-32} \quad G(x) = x^{32} + x^{26} + x^{23} + x^{22} + x^{16} + x^{12} + x^{11} + x^{10} + x^8 + x^7 + x^5 + x^4 + x^2 + x + 1$$

División de polinomios para el cálculo del CRC

$$\begin{array}{r} D(x) \cdot x^r \\ \hline R(x) & C(x) \end{array}$$

$$r = \text{grado de } G(x)$$

$$T(x) = D(x) \cdot x^r - R(x)$$

La operación resta es la operación XOR

4.1 Servicios y funciones del nivel de enlace

Control de errores

Detección de errores por Códigos de Redundancia Cílica (CRC)

Ejemplo

$$D(x) = 1101011011 \quad G(x) = x^4 + x + 1 \quad r = 4 \quad D(x) \cdot x^r = 11010110110000$$

$$\begin{array}{r} \overbrace{11010110110000}^{\oplus 10011} \\ \underline{-10011} \\ \hline 010011 \\ \oplus 10011 \\ \hline 000001 \\ \oplus 00000 \\ \hline 000010 \\ \oplus 00000 \\ \hline 000101 \\ \oplus 00000 \\ \hline 001011 \\ \oplus 00000 \\ \hline 010110 \\ \oplus 10011 \\ \hline 001010 \\ \oplus 00000 \\ \hline 010100 \\ \oplus 10011 \\ \hline 001110 \\ \oplus 00000 \\ \hline 01110 \\ \end{array}$$

$\oplus R(x)$

$$T(x) = D(x) \cdot x^r - R(x)$$

$$\begin{array}{r} 11010110110000 \\ \oplus 00000000001110 \\ \hline 11010110111110 \end{array}$$

$$T(x) = D(x) R(x)$$

$R(x)$ es la FCS incluida en la trama de enlace

4.2 Algoritmos de control del flujo

Objetivos

La funcionalidad del control del flujo en el nivel de enlace tiene como objetivos:

Controlar el envío y recepción correcto de los paquetes de nivel enlace

Controlar la sincronización del emisor y receptor de datos

Evitar congestiones en el envío de información del emisor al receptor

Para llevar a cabo estas funcionalidades se suelen emplear dos protocolos diferentes para el control del flujo

Protocolos de parada y espera

Protocolos de ventana deslizante

La funcionalidad de control del flujo se puede realizar a nivel de enlace (protocolos de control del medio físico) o nivel de transporte (protocolos de control de la comunicación extremo a extremo, como TCP).

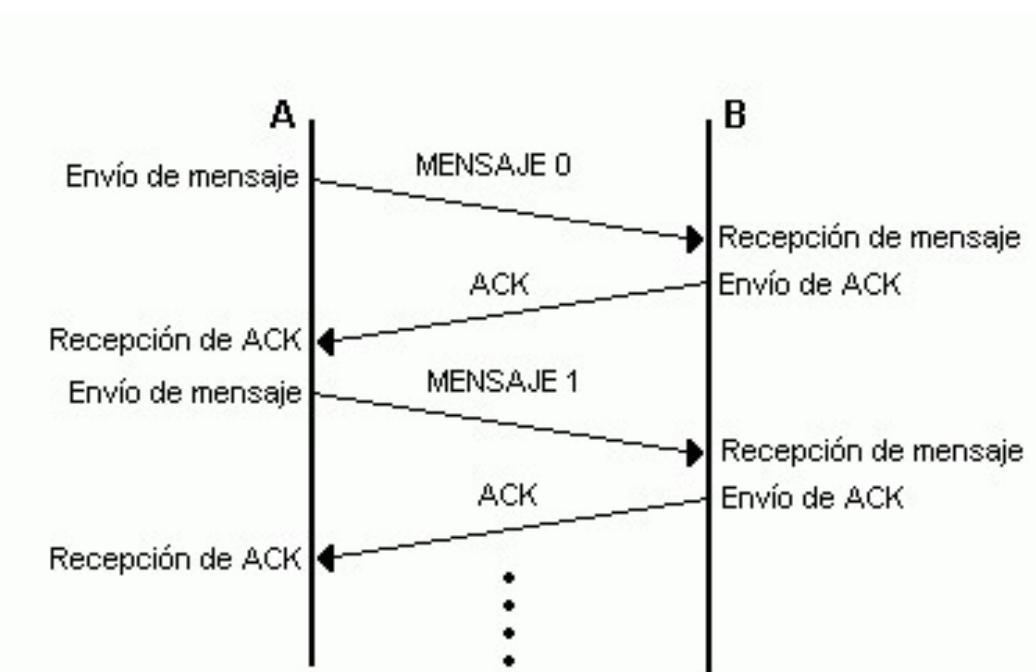
4.2 Algoritmos de control del flujo

Protocolos de parada y espera

El control del flujo se establece en que el emisor debe esperar a una confirmación por parte del receptor por cada bloque de datos enviado para poder continuar la transmisión.

Tiene un bajo aprovechamiento del medio físico, sobre todo cuando los retardos en el medio son elevados.

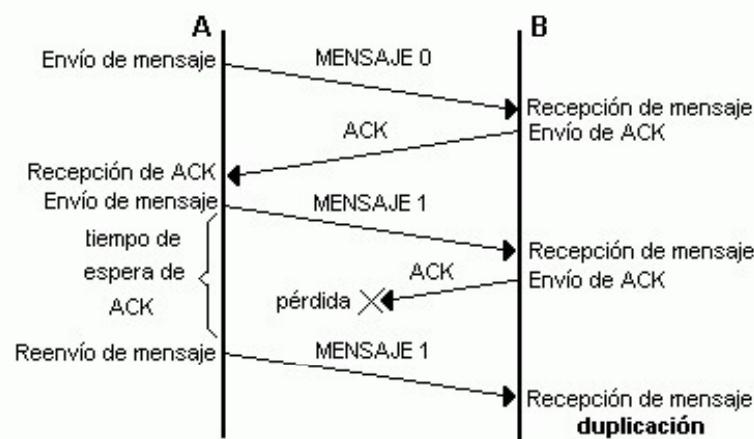
Protocolo unilateral de parada y espera. Canal sin errores



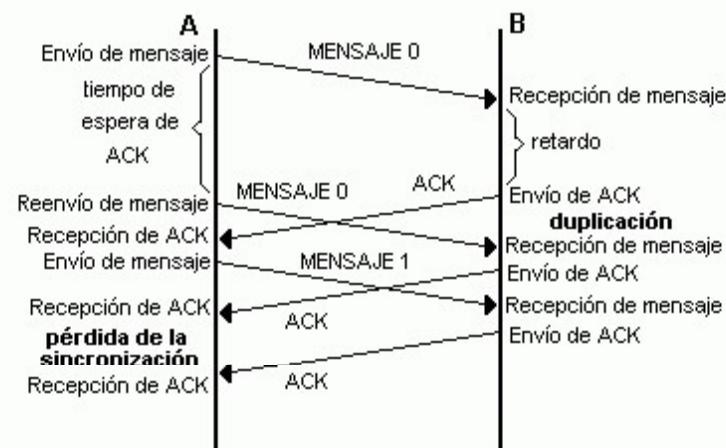
4.2 Algoritmos de control del flujo

Protocolos de parada y espera

Protocolo unilateral de parada y espera. Canal con errores



a) Pérdida de asentimientos en el canal.



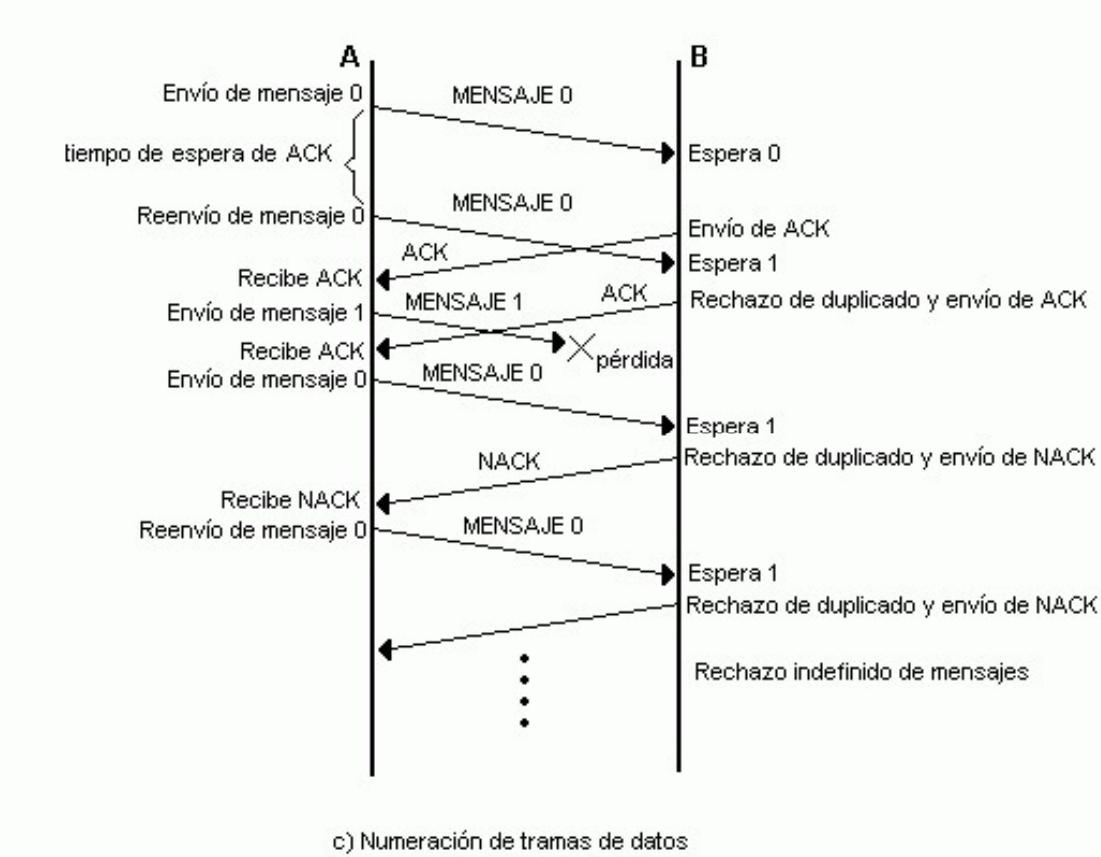
b) Retardos en el envío del asentimiento

El mecanismo de parada y espera no es suficiente cuando se producen errores en el medio, es necesario un mecanismo de identificación de la información transmitida (numeración de datos).

4.2 Algoritmos de control del flujo

Protocolos de parada y espera

Protocolo unilateral de parada y espera. Canal con errores



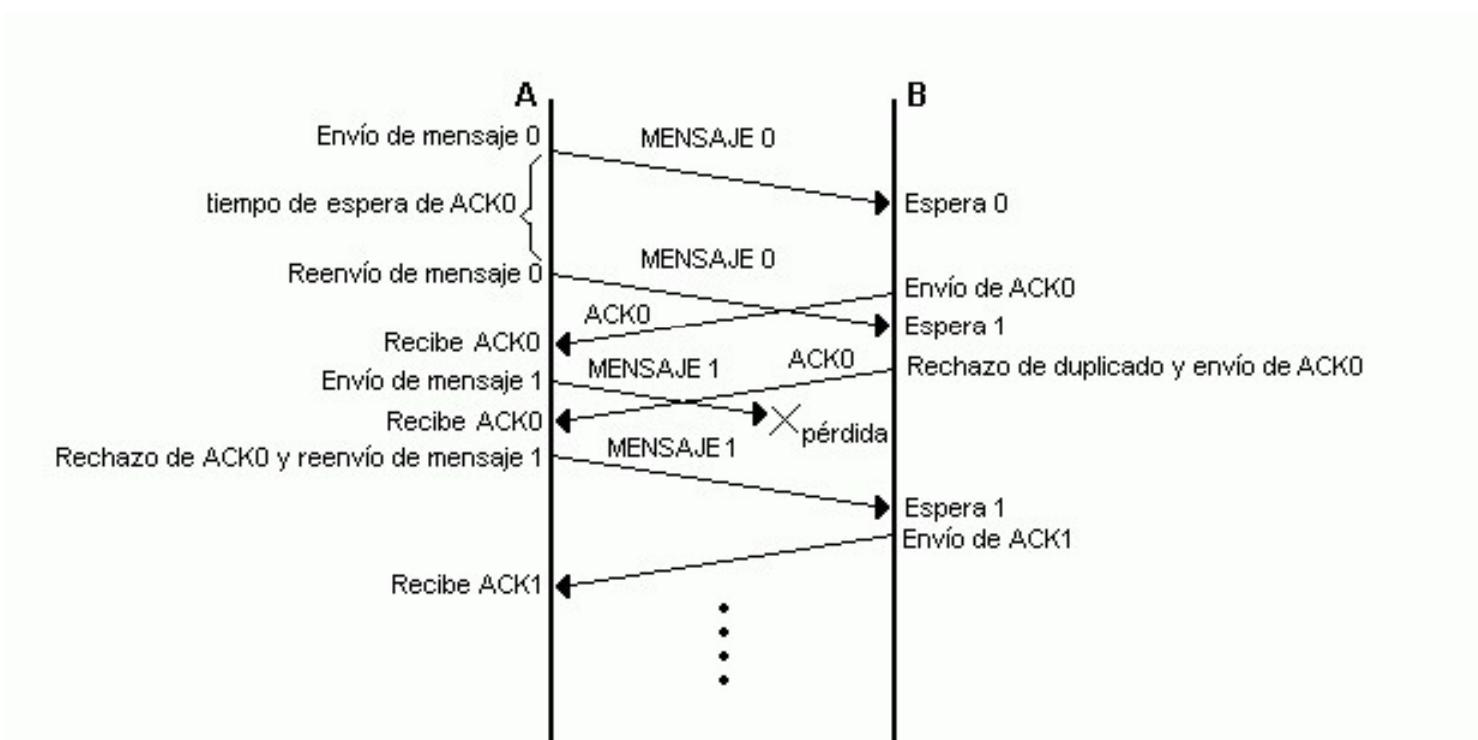
El control de la numeración de los paquetes de datos transmitidos no es suficiente para solventar todos los posibles errores.

4.2 Algoritmos de control del flujo

Protocolos de parada y espera

Protocolo unilateral de parada y espera. Canal con errores

El control de la numeración de los paquetes de datos y asentimientos es suficiente para solventar los posibles errores, aunque el rendimiento de la comunicación es bajo debido a los retardos.



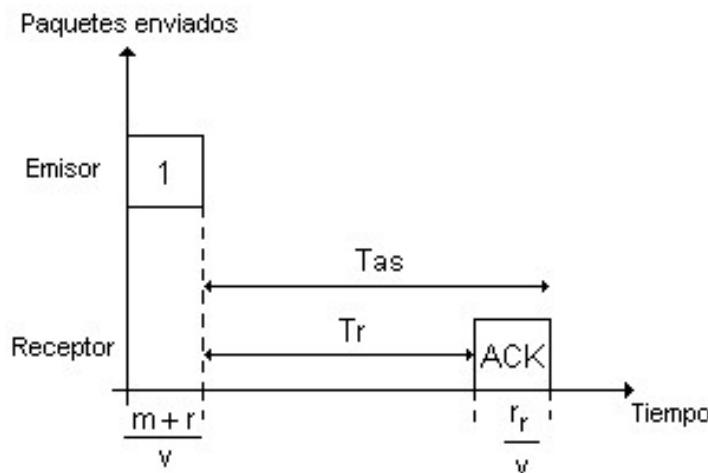
d) Numeración de tramas de datos y asentimientos.

4.2 Algoritmos de control del flujo

Protocolos de ventana deslizante

Objetivo

Mejorar el aprovechamiento del canal de comunicación enviando datos aunque no se haya recibido el ACK de los datos.



Definiciones

Lista del emisor: conjunto de secuencias de numeración de los paquetes de datos.

Ejemplo: Si la numeración es con 3 bits, el número de secuencias es 8 (0-1-2-3-4-5-6-7)

Lista del receptor: conjunto de secuencias de numeración de los asentimientos de paquetes de datos.

Ejemplo: Si la numeración es con 3 bits, el número de secuencias es 8 (0-1-2-3-4-5-6-7)

4.2 Algoritmos de control del flujo

Protocolos de ventana deslizante

Definiciones

Ventana del emisor: Conjunto de secuencias de numeración de los paquetes que el emisor ha transmitido y de los que no ha recibido su ACK correspondiente.

Ventana del receptor: Conjunto de secuencias de numeración de los paquetes que el receptor espera recibir y de los que enviará ACK.

Tamaño de ventana del emisor: Número de secuencias en la ventana del emisor.

Tamaño de ventana del receptor: Número de secuencias en la ventana del receptor.

Funcionamiento del protocolo de ventana deslizante

Cada vez que el emisor envía un paquete de datos se añade su secuencia a la ventana del emisor. Existirá por tanto, un número máximo de secuencias en la ventana del emisor que se denomina **Tamaño de la ventana del emisor (W_e)**. Cuando se recibe un ACK de la secuencia transmitida, se elimina la secuencia de la ventana del emisor.

El receptor espera paquetes de datos cuya secuencia esté en la ventana del receptor. El número de secuencias en la ventana del receptor se denomina **Tamaño de la ventana del receptor (W_r)**. Cuando se recibe un paquete con secuencia dentro de la ventana del receptor, se envía un ACK de la secuencia al emisor y se introduce una nueva secuencia en la ventana del receptor.

4.2 Algoritmos de control del flujo

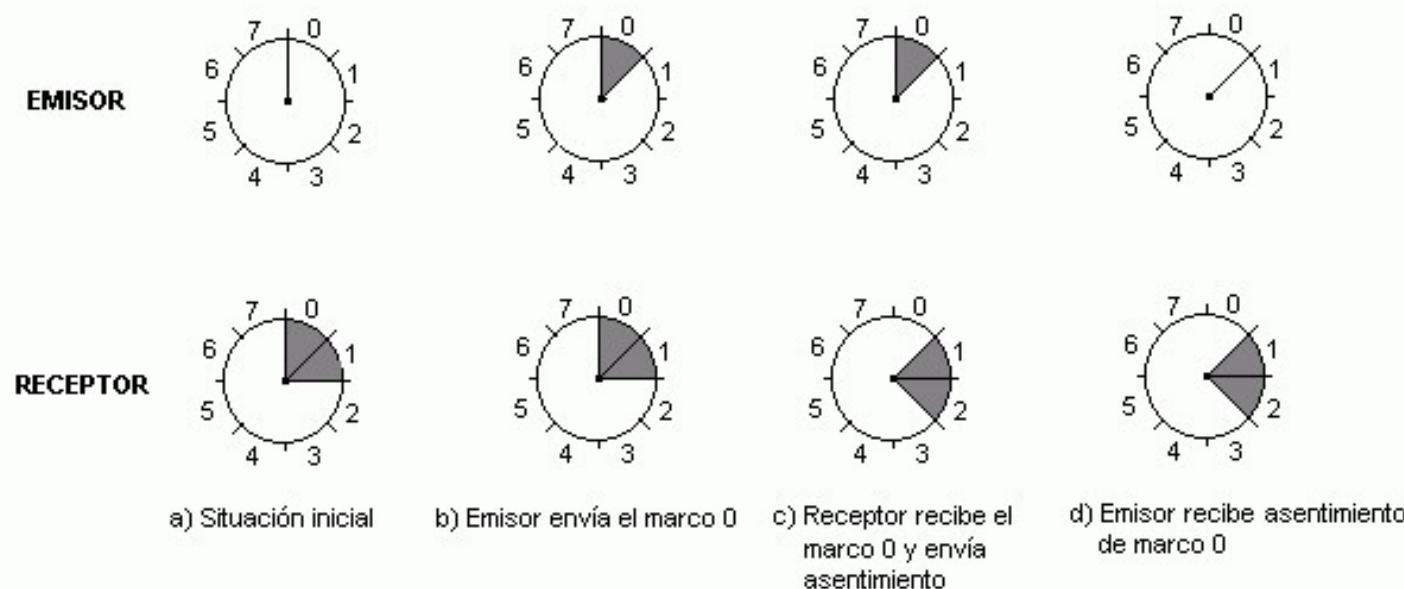
Protocolos de ventana deslizante

Ejemplo del funcionamiento del protocolo de ventana deslizante

Número de secuencias: 8 (0-7)

Tamaño de la ventana del emisor: 1

Tamaño de la ventana del receptor: 2

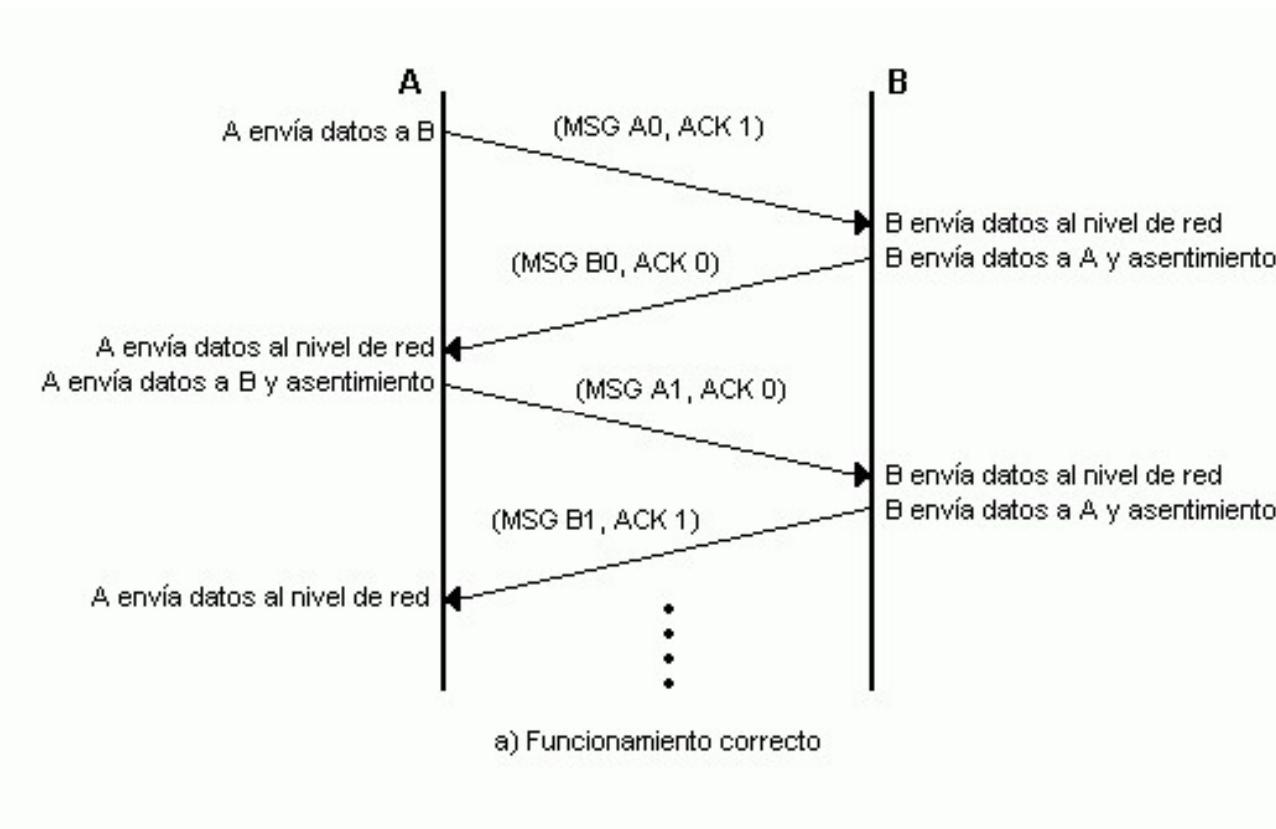


El tamaño de la ventana del emisor **VARIÁ** y la del receptor es **CONSTANTE**

4.2 Algoritmos de control del flujo

Protocolos de ventana deslizante

Protocolo de ventana deslizante con numeración de 1 bit. $W_e=1$ y $W_r=1$



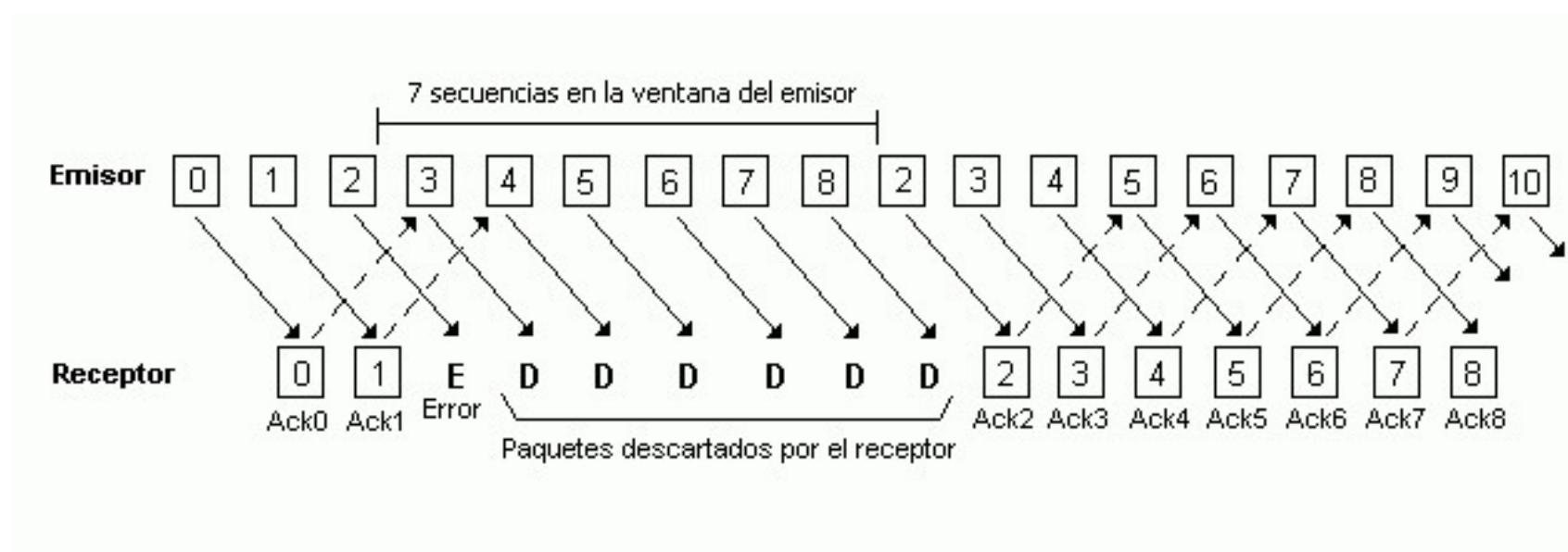
Los protocolos de ventana deslizante son bidireccionales pudiendo incorporar datos e información de confirmación en un mismo paquete.

4.2 Algoritmos de control del flujo

Protocolos de ventana deslizante

Protocolo de ventana deslizante con repetición no selectiva. $W_r=1$ SIEMPRE.

Ejemplo: $W_e=7$ y $W_r=1$. El medio físico es full-duplex.



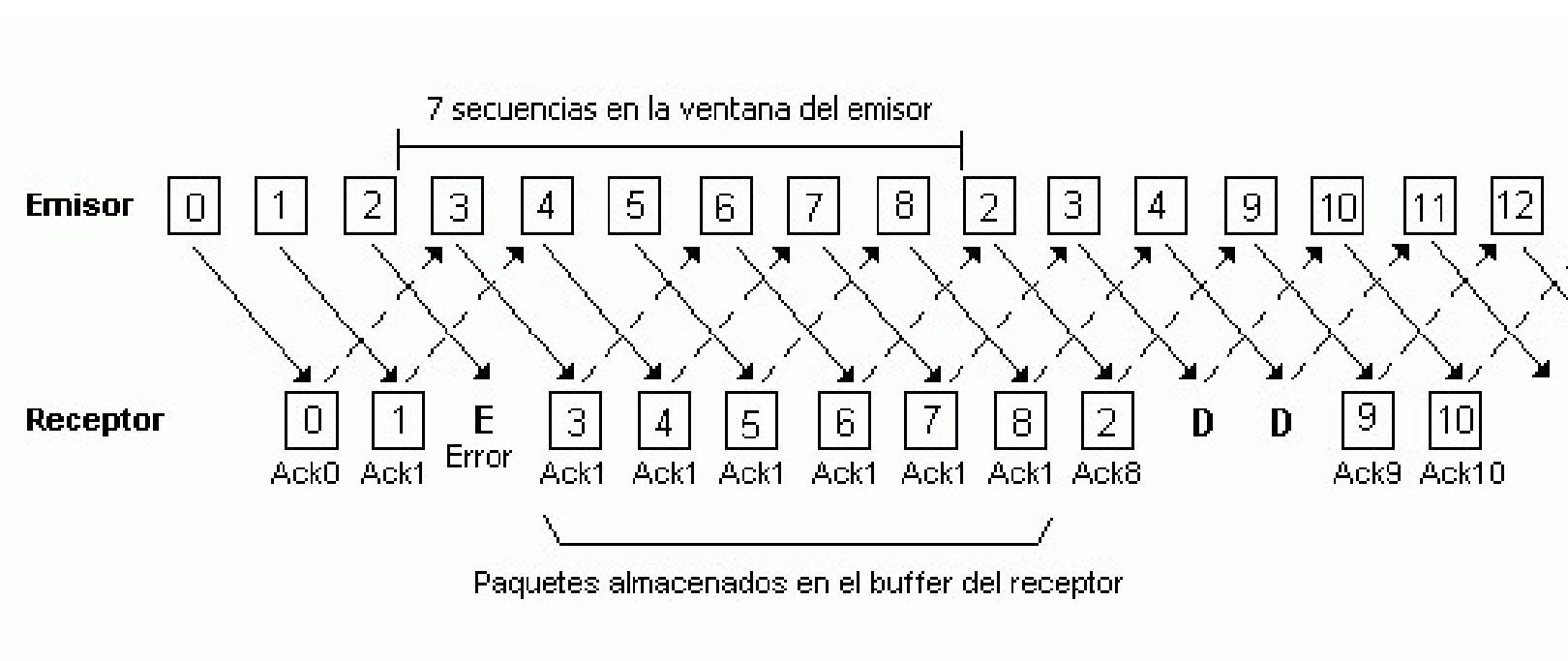
Cuanto mayor es la ventana del emisor mayor desaprovechamiento del medio físico se consigue al producirse un error.

4.2 Algoritmos de control del flujo

Protocolos de ventana deslizante

Protocolo de ventana deslizante con repetición selectiva. $W_r > 1$ SIEMPRE.

Ejemplo: $W_e = 7$ y $W_r = 7$. El medio físico es full-duplex.



En este ejemplo se aprecia un desaprovechamiento en el medio físico debido al retardo en el envío del ACK8.

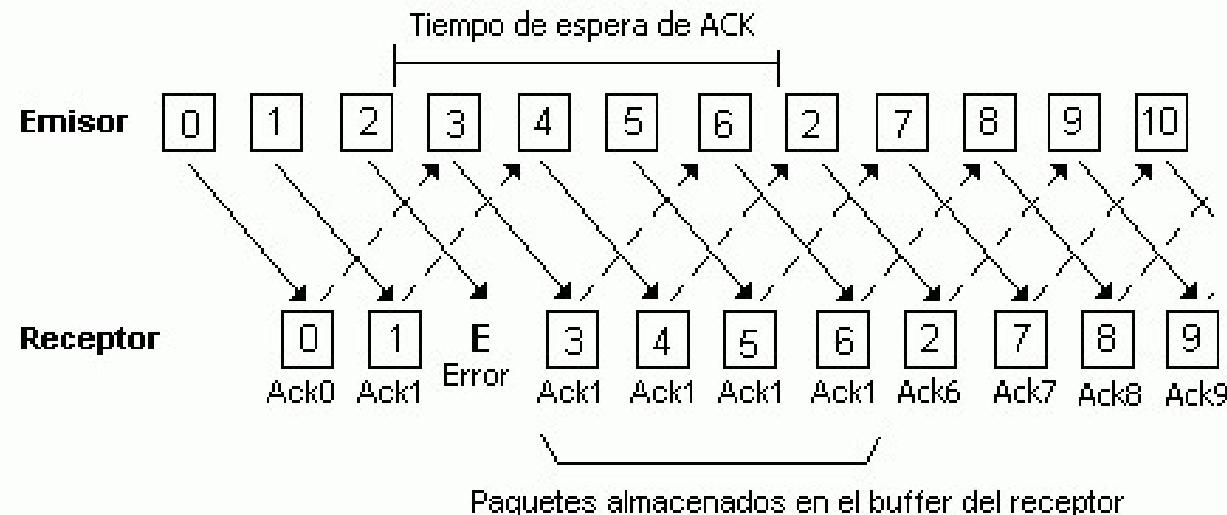
4.2 Algoritmos de control del flujo

Protocolos de ventana deslizante

Protocolo de ventana deslizante con repetición selectiva. $W_r > 1$ SIEMPRE.

Introducción de un tiempo de espera de ACK en el emisor inferior al tiempo de llenado de la ventana del emisor.

Ejemplo: $W_e = 7$ y $W_r = 7$. El medio físico es full-duplex.



Se evita el efecto del retardo en el envío de ACK's.

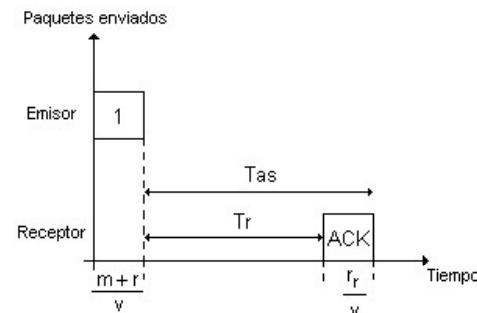
4.2 Algoritmos de control del flujo

Protocolos de ventana deslizante

Elección del tamaño de la ventana del emisor y del receptor

Ventana del emisor

La ventana del emisor debe permitir como MÍNIMO transmitir paquetes hasta que llega el primer ACK de datos.



$$W_{emisor} = \frac{T_{total}}{T_{trama}} = \frac{\frac{m+r}{v} + T_{as}}{\frac{m+r}{v}} = \frac{m+r+v \cdot T_{as}}{m+r}$$

Ventana del receptor

La ventana del receptor no debe permitir repeticiones de secuencia en una rotación completa.

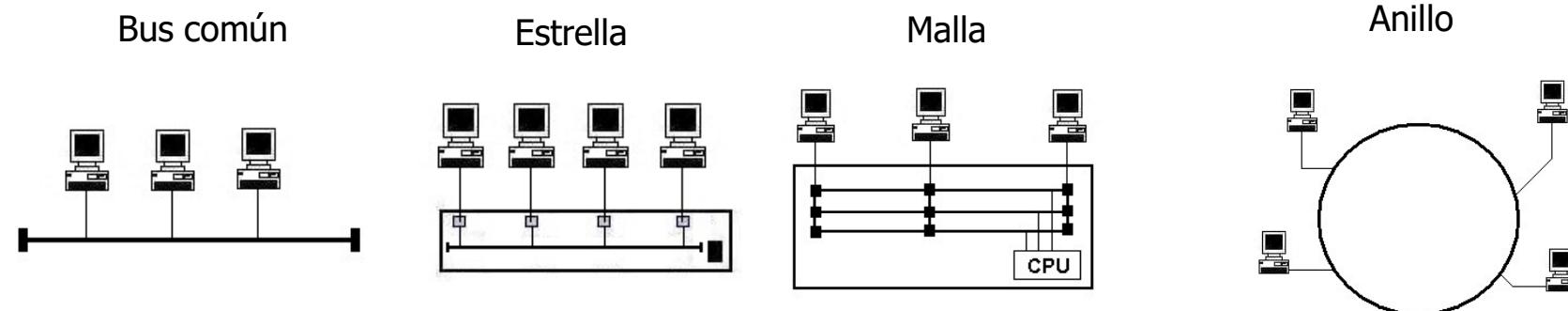
Ventana de Emisor	0 1 2 3 4 5 6 7	0 1 2 3 4 5 6 7	0 1 2 3 4 5 6 7	0 1 2 3 4 5 6 7	
a)	Emisor con ventana de tamaño 8 que ha enviado 8 paquetes.	b)	Receptor envía asentamientos y espera siguiente secuencia. El emisor no recibe ack's y reenvía los paquetes, siendo éstos aceptados.	c)	Emisor con ventana de tamaño 4 que ha enviado 4 paquetes.
	Receptor con ventana de tamaño 8 esperando paquetes.		Receptor con ventana de tamaño 4 esperando 4 paquetes.	d)	Receptor envía asentamientos y espera siguiente secuencia de 4 paquetes. El emisor no recibe ack's y reenvía los paquetes, siendo éstos descartados.

4.3 Redes LAN. Normas IEEE 802.x

Definición

Una Red de Área Local (LAN – Local Area Network) se caracteriza por la interconexión de un conjunto de equipos en una extensión física reducida (metros – varios Km) y empleando un medio físico compartido.

Topologías en LAN



Necesidad de un mecanismo de reparto del medio físico

Velocidades de transmisión en LAN

10 Mbps – 10 Gbps

Medios físicos en LAN

Cables eléctricos, fibra óptica y comunicación inalámbrica

4.3 Redes LAN. Normas IEEE 802.x

Arquitectura de red en LAN

Modelo TCP/IP



La arquitectura TCP/IP se desarrolla para funcionamiento en entorno WAN (nivel de red necesario para el encaminamiento)

El nivel de acceso a la red proporciona un mecanismo de intercambio de paquetes en un medio físico de transmisión (equivalente a niveles físico y de enlace en OSI)

Una red LAN puede intercambiar información empleando los niveles de enlace y físico

Modelo TCP/IP

El IEEE desarrolla una normativa para el intercambio de información en una LAN desarrollando una arquitectura de 3 niveles (LLC, MAC y físico).

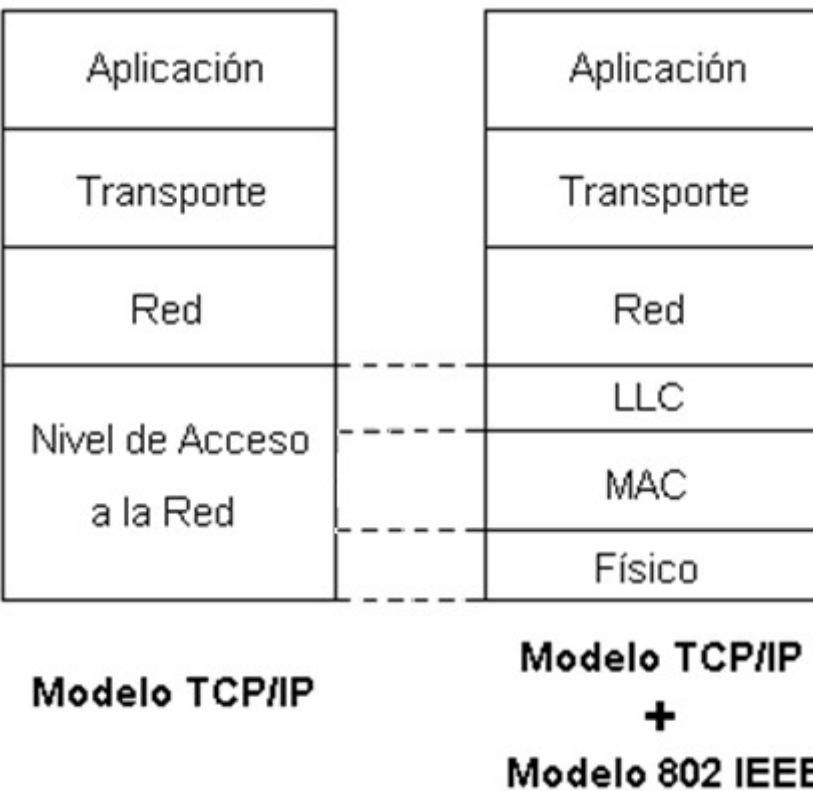
A esta normativa se le denomina **Modelo de Referencia IEEE 802**.

Realmente, el modelo de referencia IEEE 802 son un conjunto de normas denominadas **normas IEEE 802.x**

4.3 Redes LAN. Normas IEEE 802.x

Arquitectura de red en LAN

Incorporación del modelo del IEEE en el modelo TCP/IP



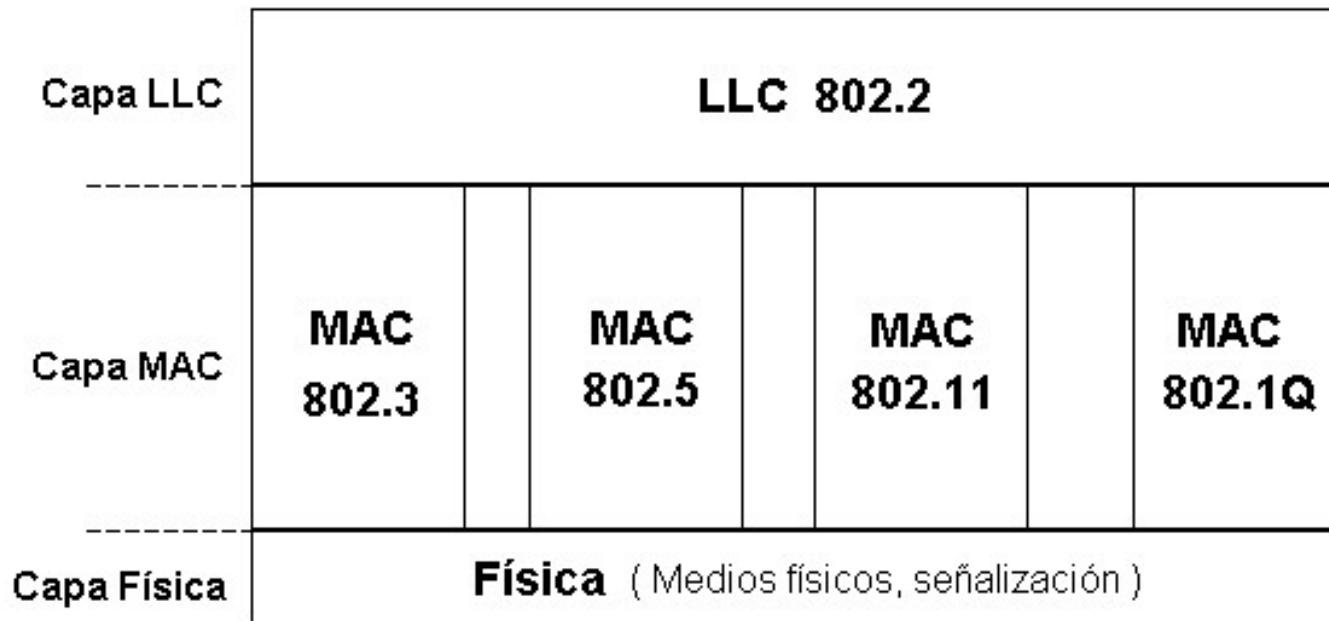
LLC: Control del Enlace Lógico. Funcionalidad de control del flujo y de errores.

MAC: Control de Acceso al Medio. Funcionalidades de reparto del medio físico, direccionamiento físico, etc.

4.3 Redes LAN. Normas IEEE 802.x

Arquitectura de red en LAN

Arquitectura IEEE 802



IEEE 802.2: Protocolo de Control del Enlace Lógico (LLC)

IEEE 802.3: Ethernet (CSMA/CD)

IEEE 802.11x: LAN Inalámbrica

IEEE 802.5: Token Ring (Anillo con testigo)

IEEE 802.1Q: LAN Virtual (VLAN)

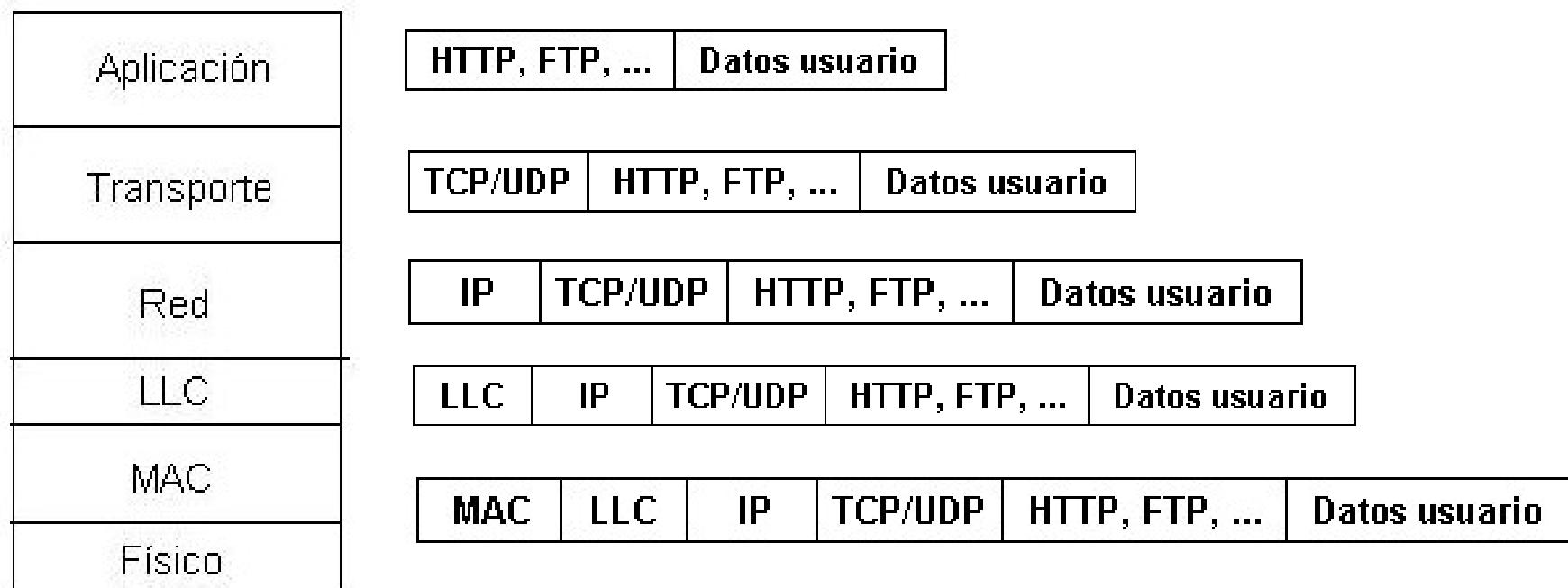
4.3 Redes LAN. Normas IEEE 802.x

Arquitectura de red en LAN

Integración TCP/IP con IEEE 802

En el documento RFC 1042 se describe cuál es el procedimiento para la transmisión de paquetes IP en redes LAN que soportan las normas del IEEE.

En **general** (excepto en el caso del IEEE 802.3 Ethernet que tiene dos formatos de paquete) la arquitectura TCP/IP emplea como capas inferiores la LLC, MAC y física del IEEE.



4.3 Redes LAN. Normas IEEE 802.x

Arquitectura de red en LAN

Protocolo IEEE 802.2 LLC

El protocolo LLC (Protocolo de Control del Enlace Lógico) se diseñó para proporcionar un conjunto de funcionalidades asociadas a la capa de Enlace del modelo OSI.

Para ello se basó en el protocolo HDLC (Protocolo de Control del Enlace de Alto Nivel) proporcionando 3 tipos de servicio al nivel superior, es decir 3 mecanismos para el envío de paquetes del nivel de red (IP):

Servicio no orientado a conexión y sin confirmación: Servicio sin control de errores ni de flujo, pero muy rápido en funcionamiento (servicio tipo 1). **Es el empleado por TCP/IP.**

Servicio orientado a conexión: Servicio con control de errores y de flujo. Funcionamiento más lento (servicio tipo 2).

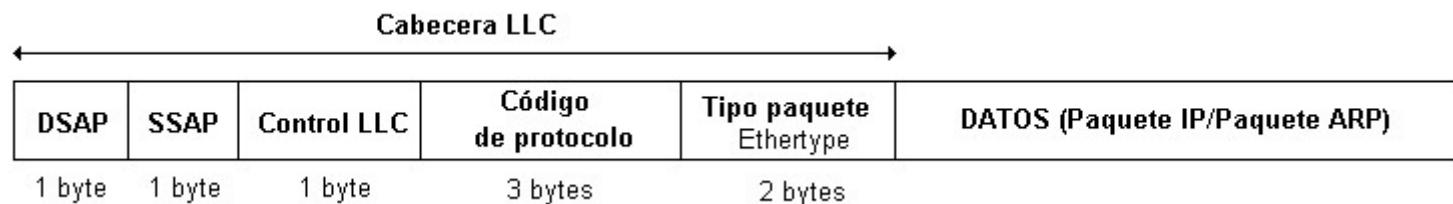
Servicio no orientado a conexión con confirmación: Servicio con confirmación de paquetes (servicio tipo 3).

4.3 Redes LAN. Normas IEEE 802.x

Arquitectura de red en LAN

Protocolo IEEE 802.2 LLC

Formato de paquete LLC para redes TCP/IP



DSAP: Punto de Acceso al Servicio de Destino. En el caso de arquitectura TCP/IP tiene asociado el valor 170.

SSAP: Punto de Acceso al Servicio de Origen. En el caso de arquitectura TCP/IP tiene asociado el valor 170.

Control LLC: En el caso de arquitectura TCP/IP tiene asociado el valor 3.

Código de protocolo: Indica qué tipo de información viene a continuación. En el caso de la arquitectura TCP/IP tiene asociado el valor 0.

Tipo paquete: Los paquetes de datos IP tienen asociados el valor 2048 (0x0800), y los paquetes ARP el valor 2054 (0x0806).

4.4 IEEE 802.3 Ethernet

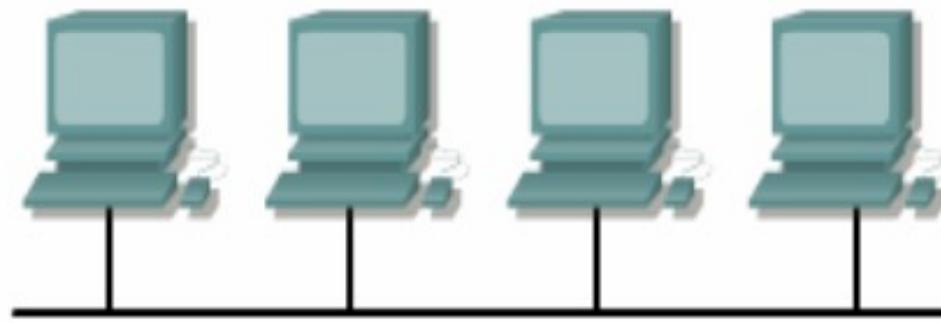
4.4.1 Ethernet CSMA/CD. Conmutación y puentes

Orígenes

El origen de las redes Ethernet está en el desarrollo de Xerox en 1975 de la primera red local de bus común a una velocidad de 2.94 Mbps.

Posteriormente Xerox, Intel y Digital desarrollan una red Ethernet a 10 Mbps que es el fundamento del estándar IEEE 802.3.

Una red Ethernet se caracteriza por emplear un medio físico compartido entre todas las estaciones con topología de bus.



El medio físico empleado puede ser cable coaxial, cable par trenzado o fibra óptica, definiendo distintos “modelos tecnológicos” de redes Ethernet.

Debido a la necesidad de compartir el medio físico, las redes Ethernet son **semiduplex** y emplean un mecanismo denominado **CSMA/CD** para el reparto del medio físico.

4.4 IEEE 802.3 Ethernet

4.4.1 Ethernet CSMA/CD. Conmutación y puentes

Ethernet

Las diferentes versiones tecnológicas de Ethernet se denominan empleando la nomenclatura:

Velocidad-Señalización-Medio físico

10BaseT significa: Red Ethernet a 10 Mbps, señalización en banda base (**Manchester**) y medio físico cable UTP.

Velocidad: 10 (Mbps), 100 (Mbps), 1000 (Mbps), 10G (Gbps)

Señalización: Base (banda base) o Broad (banda modulada)

Medio físico: T (cable UTP), C (cable STP), F (fibra óptica), X (soporte para varios medios físicos)

10Base2 es una de las primeras versiones de Ethernet empleando cable coaxial fino. Permite una velocidad de 10 Mbps a distancias de 185 metros.

10Base5 emplea cable coaxial grueso, permitiendo una velocidad de 10 Mbps a distancias de hasta 500 metros.

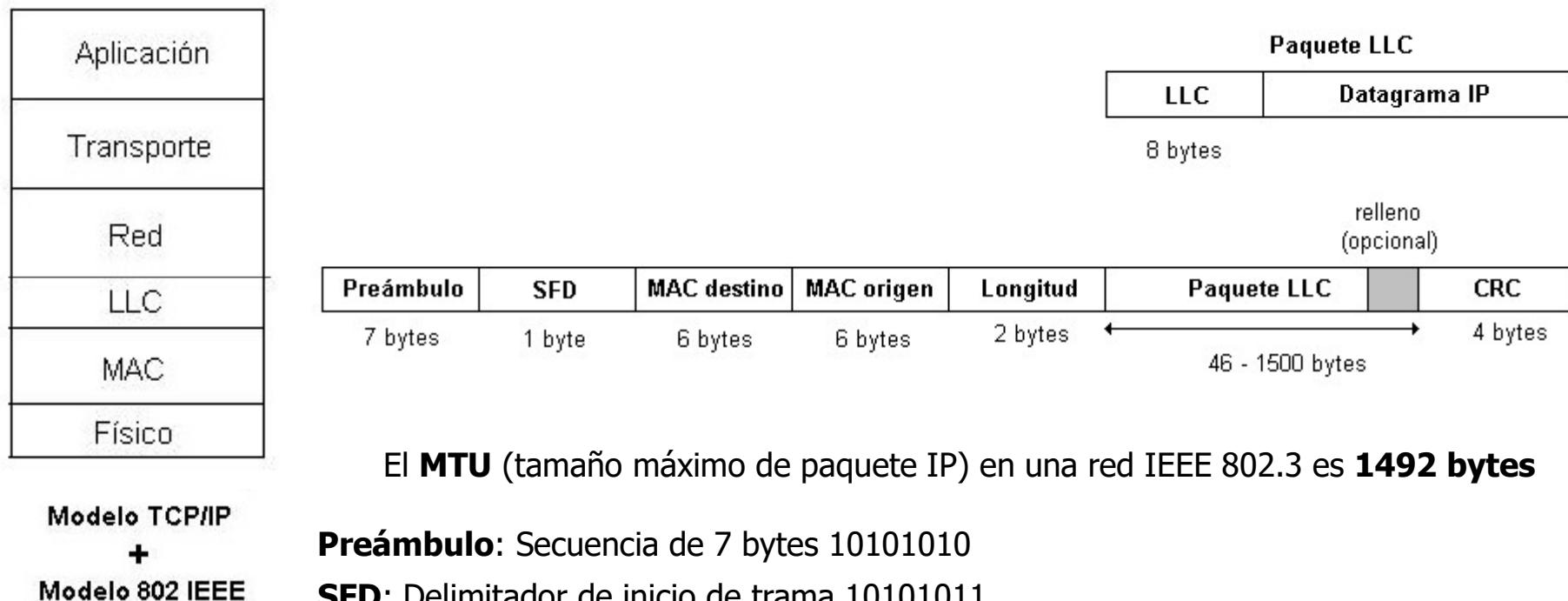
10Base2 y **10Base5** desaparecen del mercado con la introducción de los cables UTP (más tolerancia a fallos, facilidad de implantación y mejores prestaciones)

4.4 IEEE 802.3 Ethernet

4.4.1 Ethernet CSMA/CD. Conmutación y puentes

Formato de paquete IEEE 802.3

La normativa IEEE 802.3 establece un formato de paquete donde se especifica la cabecera MAC



El **MTU** (tamaño máximo de paquete IP) en una red IEEE 802.3 es **1492 bytes**

Preámbulo: Secuencia de 7 bytes 10101010

SFD: Delimitador de inicio de trama 10101011

MAC destino/origen: Identificador de 48 bits para cada equipo

Longitud: Tamaño del campo de datos del paquete (máximo 1500)

CRC: Código de Redundancia Cíclica de 32 bits para detección de errores

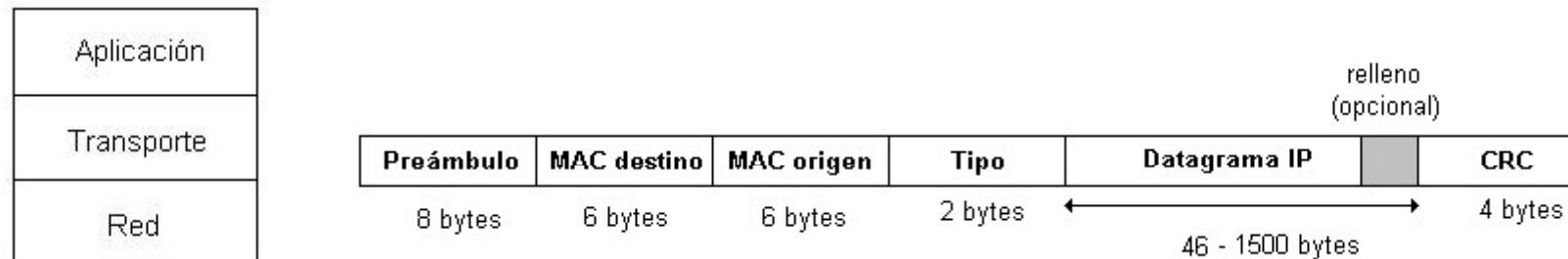
4.4 IEEE 802.3 Ethernet

4.4.1 Ethernet CSMA/CD. Conmutación y puentes

Formato de paquete Ethernet II

Las redes Ethernet de Digital/Intel/Xerox (Ethernet **DIX**) emplean un formato de paquete distinto

Este formato, denominado Ethernet II, no emplea la capa LLC y permite la introducción del datagrama IP en el paquete de nivel MAC



El **MTU** (tamaño máximo de paquete IP) en una red Ethernet DIX es **1500 bytes**

Este es el formato de paquete Ethernet empleado con redes TCP/IP

Modelo TCP/IP
+
Ethernet DIX

Preámbulo : Equivalente al campo Preámbulo + SFD del IEEE 802.3

Tipo: Código para identificar el protocolo del contenido del paquete MAC (ARP/IP)

Tipo = **0x0806** Protocolo ARP

Tipo = **0x0800** Protocolo IP

4.4 IEEE 802.3 Ethernet

4.4.1 Ethernet CSMA/CD. Conmutación y puentes

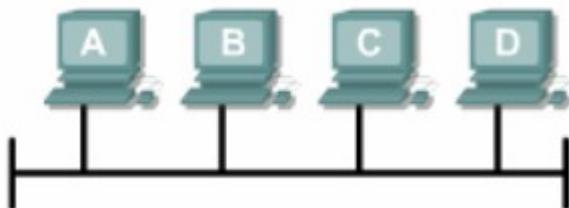
CSMA/CD – Acceso al medio con detección de portadora y de colisión

Tanto Ethernet DIX como IEEE 802.3 emplean el mismo mecanismo para compartir el bus común: CSMA/CD

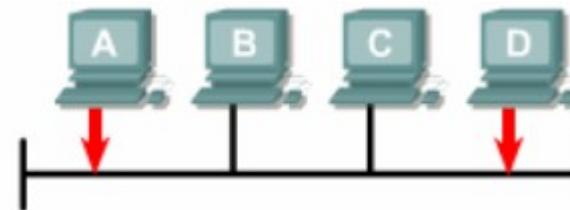
El esquema básico de funcionamiento del CSMA/CD consiste en comprobar el medio físico antes de transmitir un paquete de datos.

El esquema de funcionamiento de CSMA/CD **siempre es semiduplex**

Problema en CSMA: colisión por comprobación simultánea del bus por dos o más estaciones.



Medio físico libre

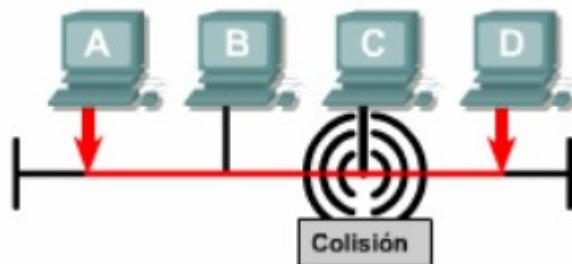


Transmisión simultánea

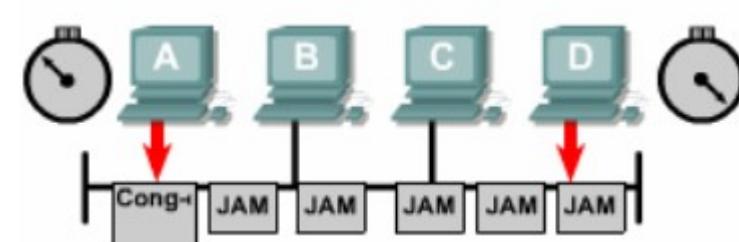
4.4 IEEE 802.3 Ethernet

4.4.1 Ethernet CSMA/CD. Conmutación y puentes

CSMA/CD – Acceso al medio con detección de portadora y de colisión



Detección de colisión simultánea a la transmisión



Resolución de colisiones

Para asegurar que dos estaciones que transmiten simultáneamente detectan la colisión, es necesario que la transmisión dure lo suficiente para llegar al otro extremo.

En Ethernet se define la extensión máxima de la red (con repetidores) en 2.5 Km (5 buses de 10Base5).

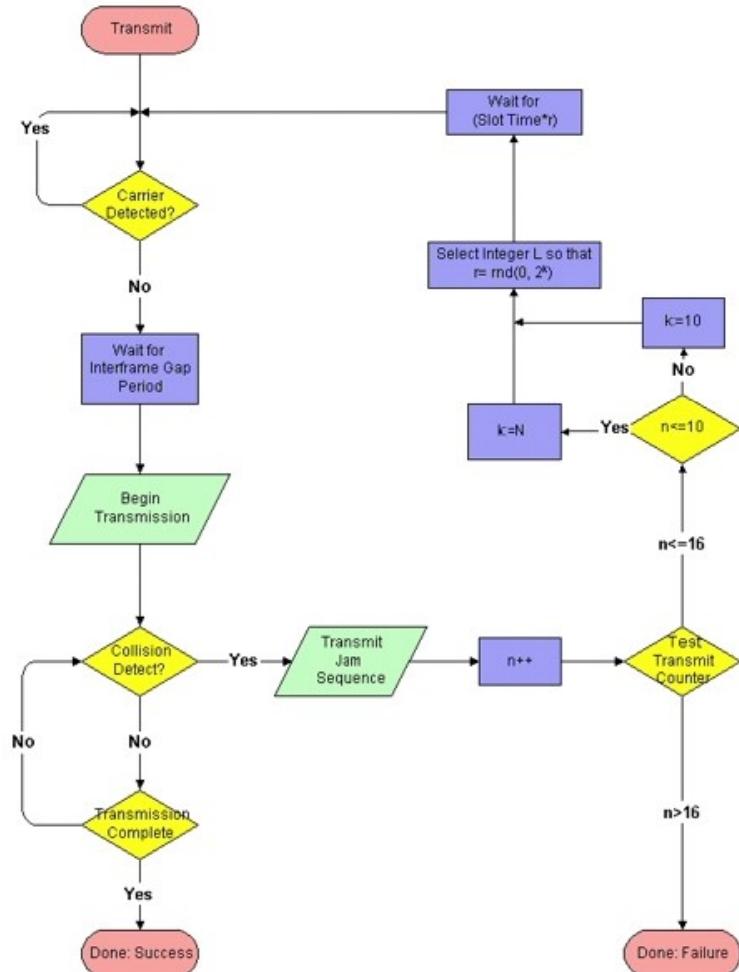
En una red a 10 Mbps y 2.5 Km de extensión, el tiempo mínimo de transmisión necesario son 512 tiempos de bit, es decir un paquete ethernet de 64 bytes: 14 bytes cabecera Ethernet (sin tener en cuenta el preámbulo) 46 bytes de datos y 4 bytes de CRC.

Para comprobar si un dispositivo emplea el tamaño mínimo de paquete ethernet, puede emplearse la herramienta ping con el parámetro -l 1, generando un paquete ethernet de: 14 B (eth) + 20 B (IP) + 8 B (ICMP) + 1 B (datos) + 4 B (CRC) = 47 bytes. Si la transmisión realizada es de un paquete más grande puede comprobarse la existencia de un relleno después del byte de datos.

4.4 IEEE 802.3 Ethernet

4.4.1 Ethernet CSMA/CD. Conmutación y puentes

Algoritmo CSMA/CD - Transmisión

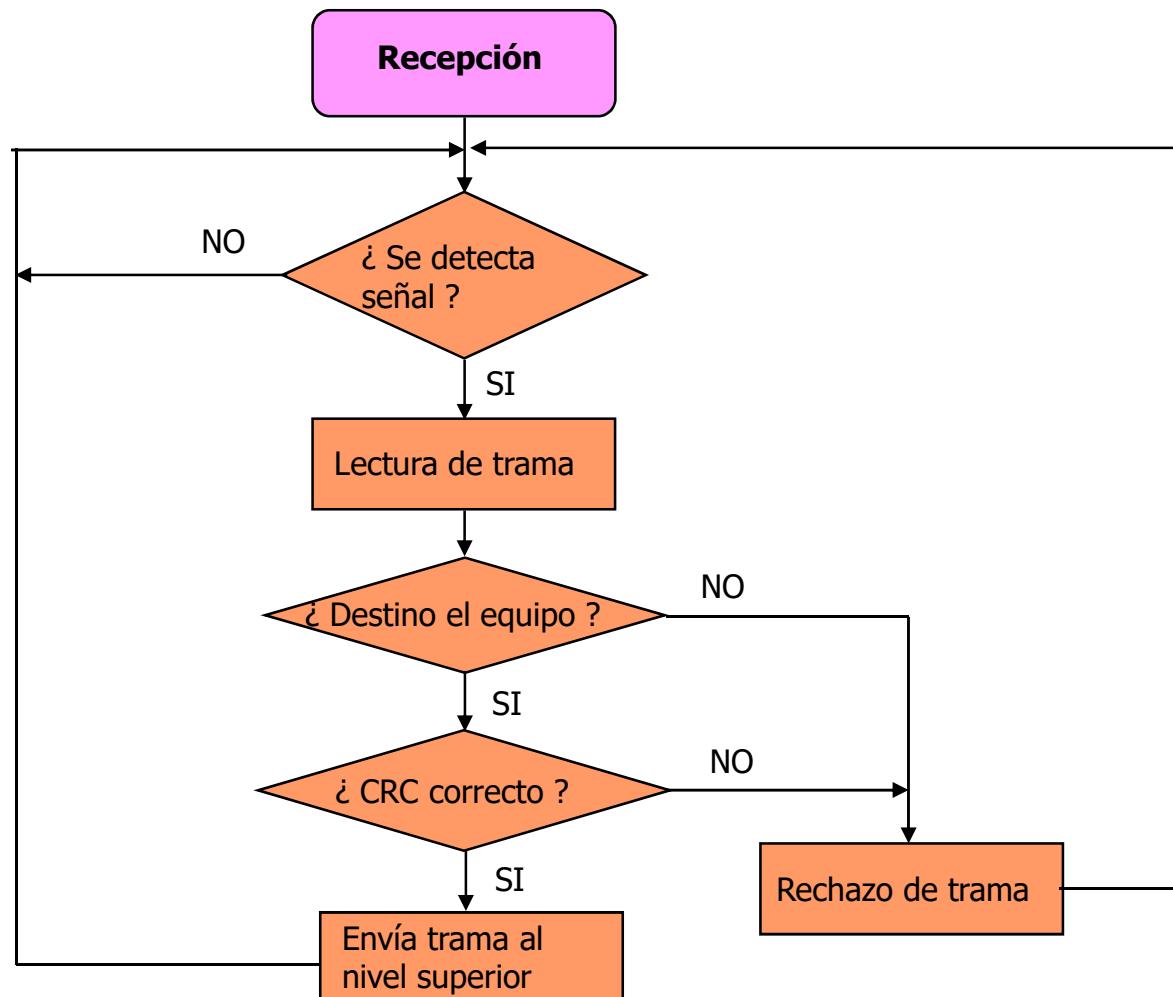


1. Escucha del medio antes de la transmisión
2. Tiempo de espera entre paquetes (96 tiempos de bit)
Tespera = $96/10000000 = 9.6 \mu$ segundos
3. Transmisión del paquete escuchando el medio
4. La **colisión** se detecta cuando la señal en el medio tiene una tensión anómala (superposición de señales)
5. Si una estación detecta una colisión la refuerza, transmitiendo una señal denominada **JAM** (señal de congestión)
6. El paquete que ha colisionado es reenviado hasta en 16 intentos
7. En cada intento se espera un número aleatorio de veces el denominado **tiempo de ranura** (51.2μ segundos).
8. El tiempo de espera aleatorio aumenta exponencialmente, al cabo de varios intentos los tiempos de espera son muy elevados.

4.4 IEEE 802.3 Ethernet

4.4.1 Ethernet CSMA/CD. Conmutación y puentes

Algoritmo CSMA/CD – Recepción



1. El preámbulo permite sincronizar el receptor con el paquete a leer.
2. La interpretación del campo dirección destino en el paquete es inmediato.

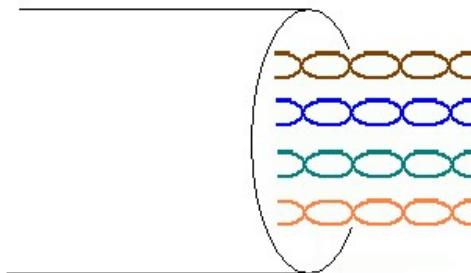
4.4 IEEE 802.3 Ethernet

4.4.1 Ethernet CSMA/CD. Conmutación y puentes

10BaseT – Concentrador Ethernet (Hub)

La red 10BaseT surge con la introducción de los cables pares trenzados no blindados (UTP)

Un cable UTP comercial está formado por 4 pares de hilos trenzados



La categoría del cable UTP (3,5,6) hace referencia al ancho de banda de los pares de hilos

Categoría 3: 30 MHz

Categoría 5: 100 MHz

Categoría 6: 250 MHz

Categoría 7: 600 MHz

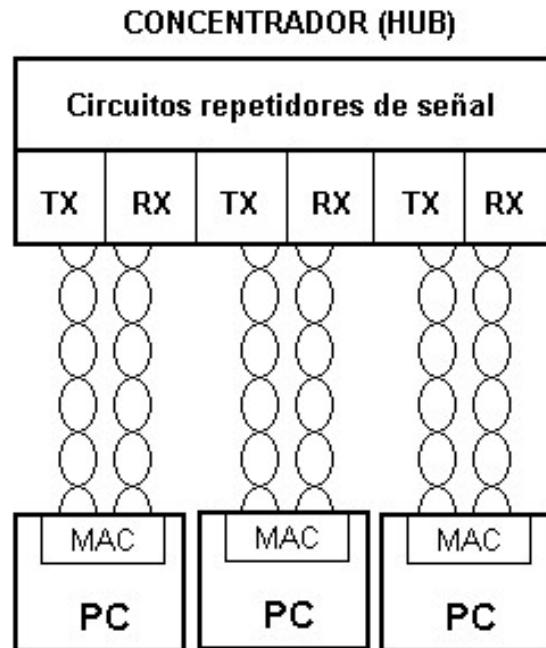
10BaseT emplea cable de categoría 3 con codificación Manchester, alcanzando sin problemas la velocidad de **10 Mbps** a distancias de **100 metros**.

4.4 IEEE 802.3 Ethernet

4.4.1 Ethernet CSMA/CD. Conmutación y puentes

10BaseT – Concentrador Ethernet (Hub)

La red 10BaseT emplea una topología en estrella, donde el elemento central se denomina **concentrador** o **hub**.



Las colisiones se detectan cuando se recibe una señal por el par de recepción al mismo tiempo que se transmite un paquete.

La detección de problemas en el cableado es más fácil que con cable coaxial.

La distancia máxima entre equipo y concentrador debe ser inferior a 100 m.

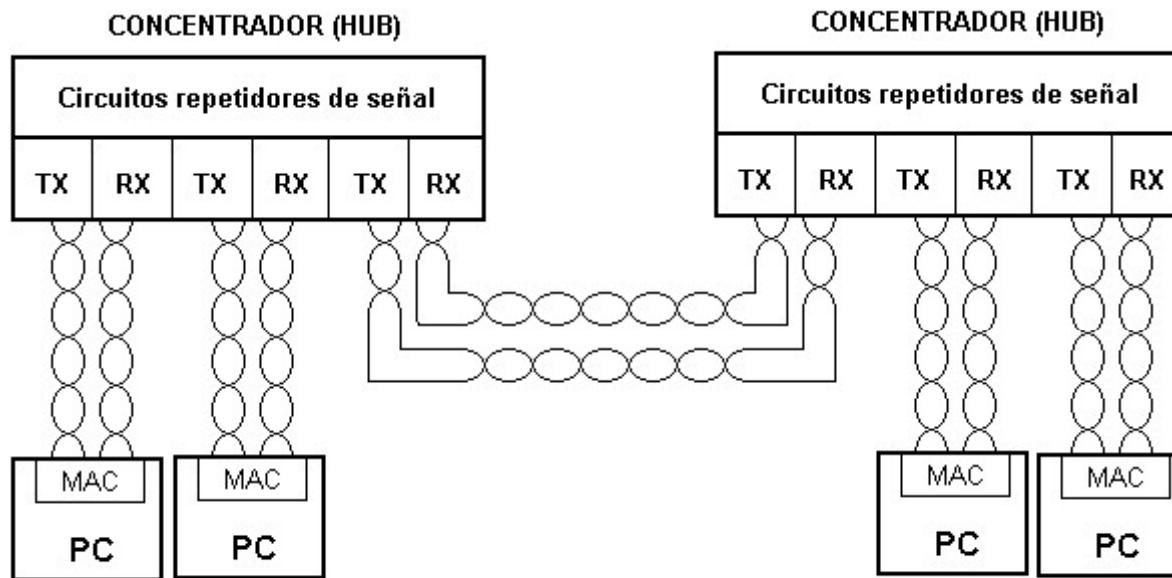
La red Ethernet puede crecer en tamaño interconectando concentradores con cables UTP cruzados (repetidores).

4.4 IEEE 802.3 Ethernet

4.4.1 Ethernet CSMA/CD. Conmutación y puentes

Repetidores

La conexión de concentradores en cascada permite el aumento en el tamaño físico de la red Ethernet.



El número máximo de hubs que pueden colocarse en cascada (el retardo afecta al funcionamiento del CSMA/CD), está limitado por la extensión máxima de una red Ethernet que son 2.5 kilómetros (en 10Base5: 5 segmentos – 4 repetidores).

Dominio de colisión: Conjunto de dispositivos en una red que pueden colisionar al transmitir simultáneamente

Inconveniente del hub: **aumenta la probabilidad de colisiones al ser mayor el dominio de colisión**

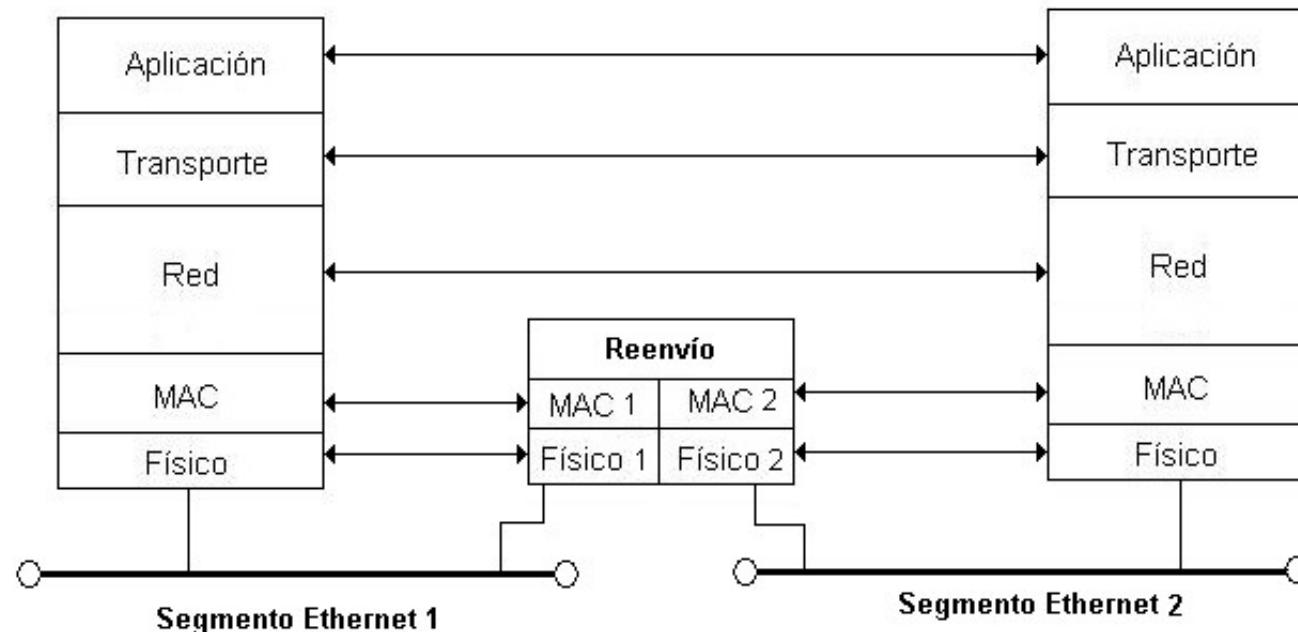
4.4 IEEE 802.3 Ethernet

4.4.1 Ethernet CSMA/CD. Conmutación y puentes

Puentes

La interconexión de segmentos Ethernet puede mejorarse (reducir el número de colisiones) empleando **puentes** o **bridges**.

Un puente es un dispositivo de interconexión entre dos o más segmentos Ethernet que analiza la cabecera MAC de los paquetes para determinar si hay que reenviarlos o no de un segmento a otro.



El puente divide la red en **segmentos de colisión independientes**, por lo que las LAN interconectadas con puentes no tienen limitación de extensión física al crecer.

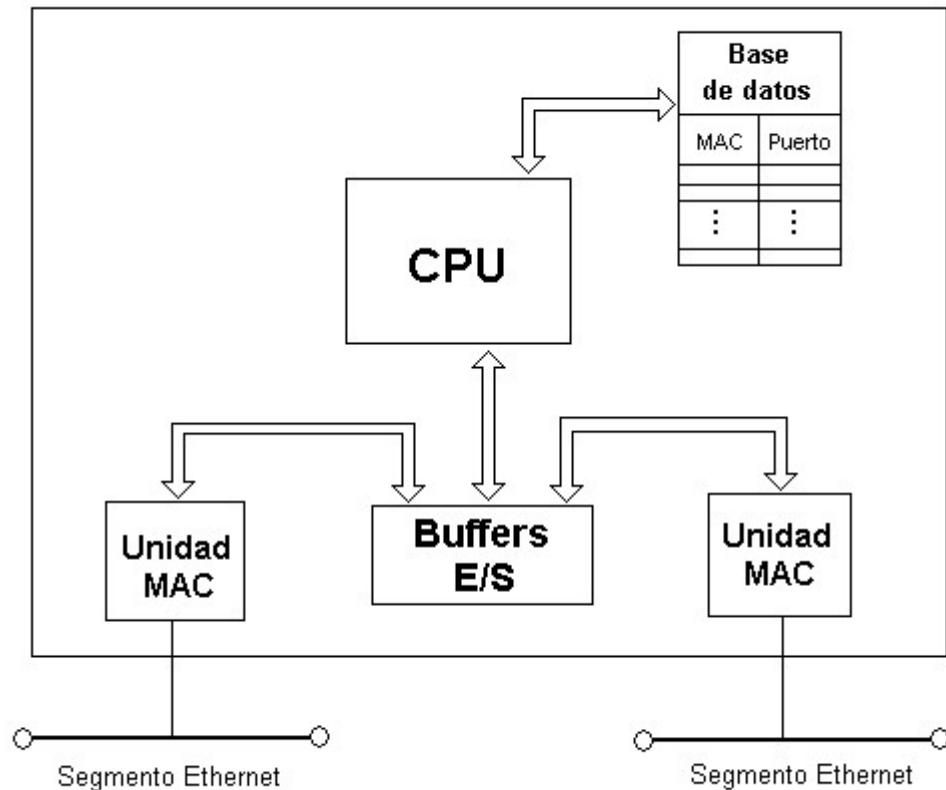
4.4 IEEE 802.3 Ethernet

4.4.1 Ethernet CSMA/CD. Conmutación y puentes

Puentes Transparentes

Los puentes denominados **puentes transparentes** son aquellos en los que la decisión de cómo los paquetes se intercambian entre segmentos la toman ellos (los equipos no conocen la estructura de la red)

Estructura interna de un puente transparente



CPU: Unidad de control de funcionamiento del puente (reenvío de paquetes y aprendizaje)

Buffers E/S: Unidad de almacenamiento de tramas en proceso (lectura/envío). FIFO.

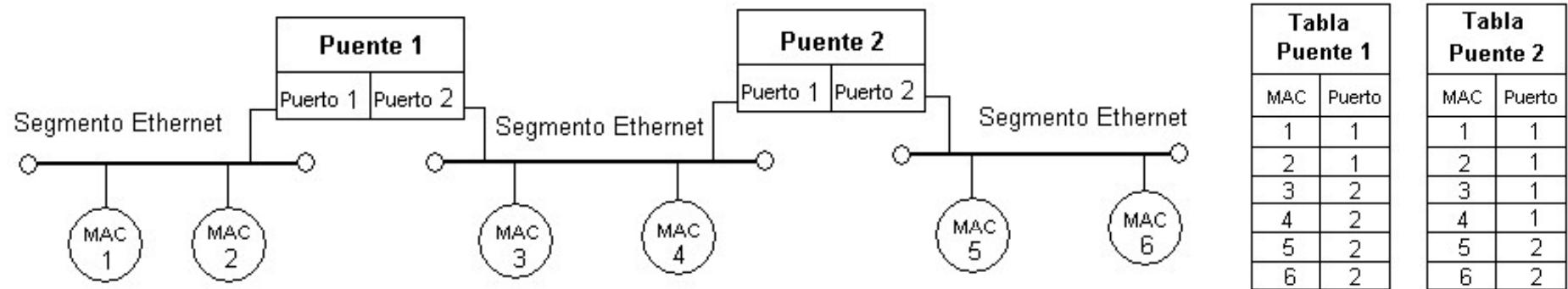
Base de datos: Tabla de asociación de direcciones MAC con números de puerto (**tabla de reenvío**).

4.4 IEEE 802.3 Ethernet

4.4.1 Ethernet CSMA/CD. Conmutación y puentes

Puentes Transparentes

Ejemplo de tablas en puentes



La inicialización de la tabla requiere de un proceso de aprendizaje automático

Un puente trabaja en dos modos simultáneamente: **modo de reenvío** y **modo de aprendizaje**

Un puente lee **todos** los paquetes recibidos por un puerto (modo promiscuo) y los almacena en un buffer para procesarlos.

El algoritmo de funcionamiento de un puente transparente se especifica en la normativa IEEE 802.1D MAC Bridge.

4.4 IEEE 802.3 Ethernet

4.4.1 Ethernet CSMA/CD. Conmutación y puentes

Puentes Transparentes

Modo de reenvío

En el modo de reenvío se comprueba la dirección **MAC de destino** de cada paquete Ethernet que llega a un puerto.

Si la dirección MAC de destino se encuentra en la tabla de reenvío, el puente reenvía el paquete al puerto asociado (siempre que el puerto asociado sea distinto del puerto por donde ha llegado el paquete)

Si la dirección MAC de destino no existe en la tabla de reenvío, el paquete se reenvía a todos los puertos excepto por el que se recibió.

Los paquetes con dirección de destino la dirección de broadcast se reenvían a todos los puertos, excepto al puerto por el que se recibió el paquete de difusión.

4.4 IEEE 802.3 Ethernet

4.4.1 Ethernet CSMA/CD. Conmutación y puentes

Puentes Transparentes

Modo de aprendizaje

En el modo de aprendizaje se comprueba la dirección **MAC de origen** en cada paquete Ethernet recibido en un puerto.

Si la dirección MAC de origen no se encuentra en la tabla de reenvío, el puente crea una entrada con la dirección MAC de origen y el puerto donde se ha recibido.

Durante el proceso de aprendizaje, dado que no se conocen las direcciones MAC de los equipos, la mayor parte de los paquetes son reenviados por todos los puertos, por lo que los demás puentes aprenderán información. A este fenómeno se le conoce con el nombre de inundación.

Cada entrada en la tabla de reenvío de un puente tiene asociado un temporizador (segundos) que mide el tiempo desde que se creó la entrada en la tabla.

Si se recibe un paquete con una dirección MAC de origen por el puerto que se indica en la tabla de reenvío, el temporizador se inicializa a cero.

Si el temporizador alcanza un determinado valor máximo, la entrada de la tabla de reenvío se **elimina**. De esta forma las tablas de los puentes se ajustan a cambios en la estructura de la red.

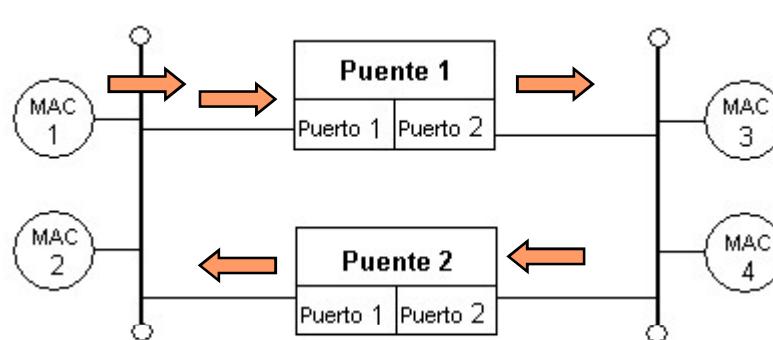
El modo de aprendizaje requiere que la LAN con puentes tenga una estructura de árbol simple (**árbol de expansión**).

4.4 IEEE 802.3 Ethernet

4.4.1 Ethernet CSMA/CD. Conmutación y puentes

Puentes Transparentes

Estructura de árbol de expansión



Paquete de broadcast enviado por el equipo MAC 1

Los bucles provocan circulación indefinida de paquetes de broadcast y cambios continuos en las tablas de reenvío en el proceso de aprendizaje.

Interconexión de LAN's con bucles

Algoritmo de árbol de expansión: Algoritmo Spanning Tree

El algoritmo Spanning Tree define un protocolo de comunicación entre puentes que consigue una estructura de LAN's interconectadas por puentes sin existencia de bucles.

La definición de este algoritmo se encuentra en la norma IEEE 802.1D MAC Bridge.

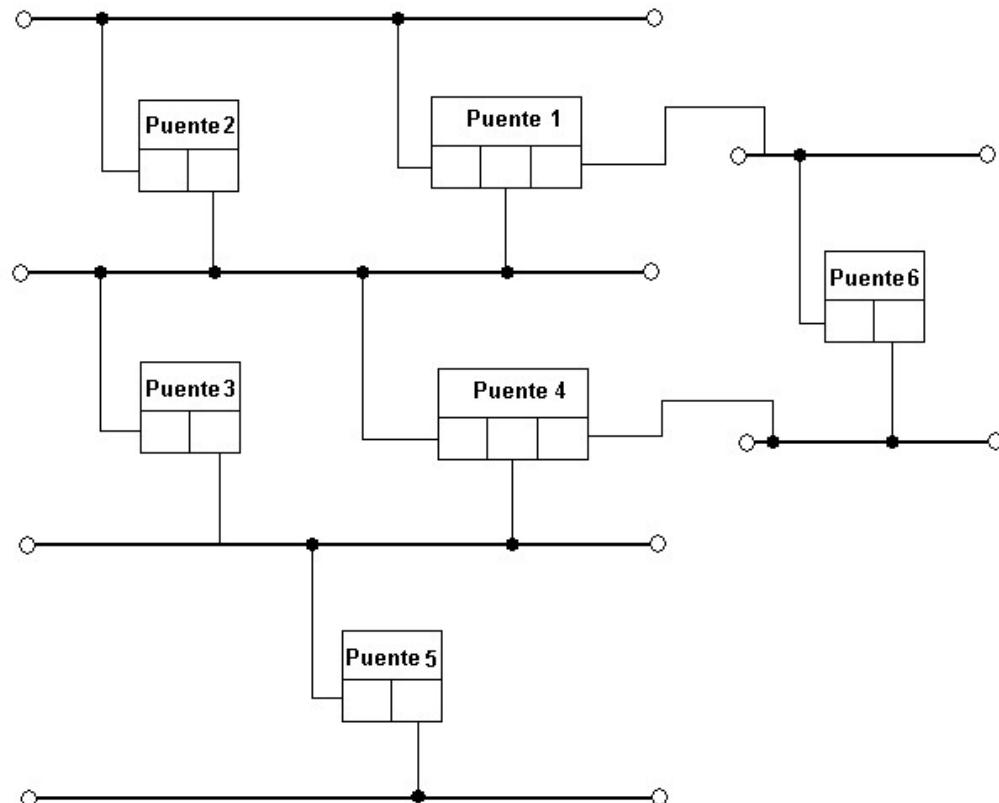
4.4 IEEE 802.3 Ethernet

4.4.1 Ethernet CSMA/CD. Conmutación y puentes

Puentes Transparentes

Algoritmo de árbol de expansión: Algoritmo Spanning Tree

En numerosas ocasiones, la interconexión de LAN's se realiza con puentes en una disposición tolerante a fallos (existencia de bucles).



El algoritmo elige un puente (identificador más bajo) que será la raíz de la estructura de árbol (**puente raíz**).

En cada puente se determina un coste RPC (número de redes intermedias, velocidad de transmisión) desde cada puerto al puente raíz. Al puerto con menor coste se le denomina **puerto raíz del puente**.

En cada segmento se elige un **puerto designado**. El puerto designado de un segmento es el puerto con menor valor de RPC que esté conectado al mismo.

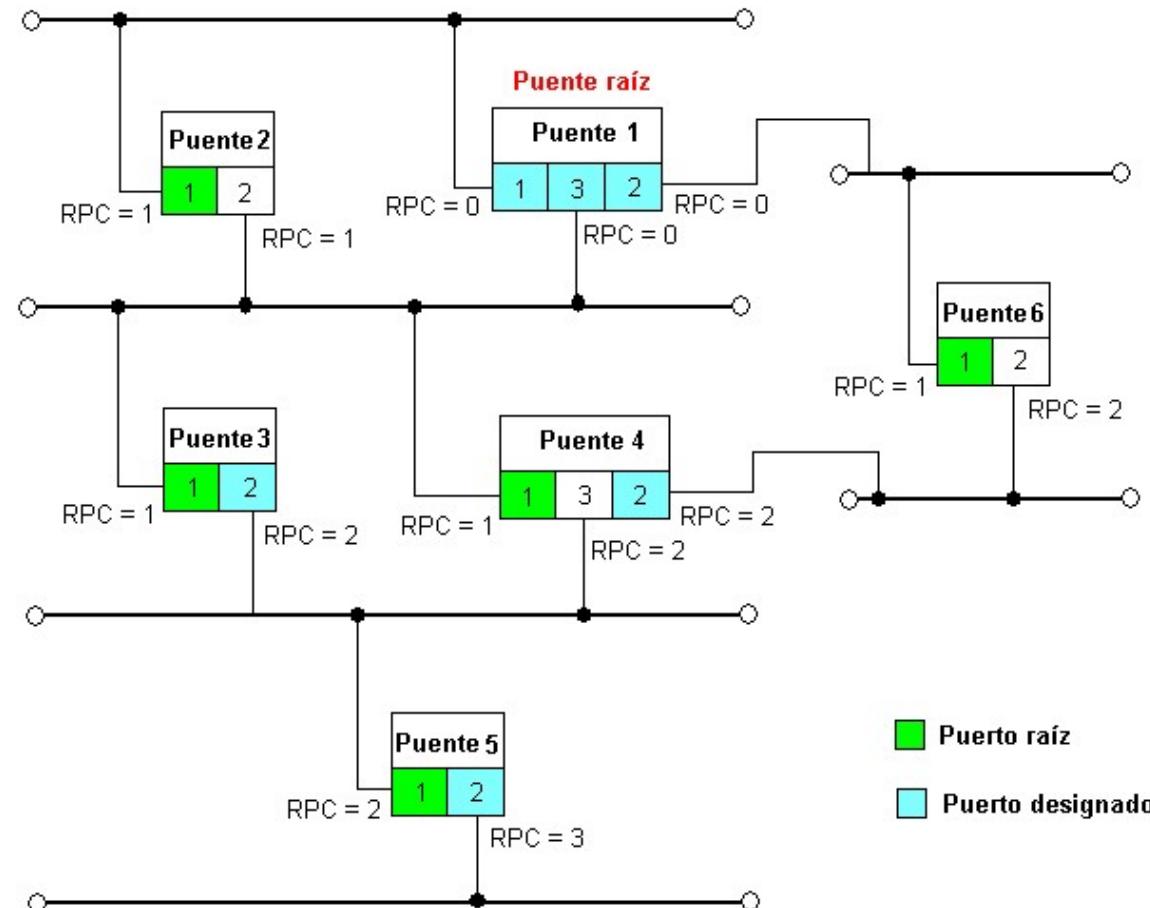
Finalmente, se activan todos los puertos raíz y designados de la red, determinando una estructura de árbol.

4.4 IEEE 802.3 Ethernet

4.4.1 Ethernet CSMA/CD. Conmutación y puentes

Puentes Transparentes

Algoritmo de árbol de expansión: Algoritmo Spanning Tree

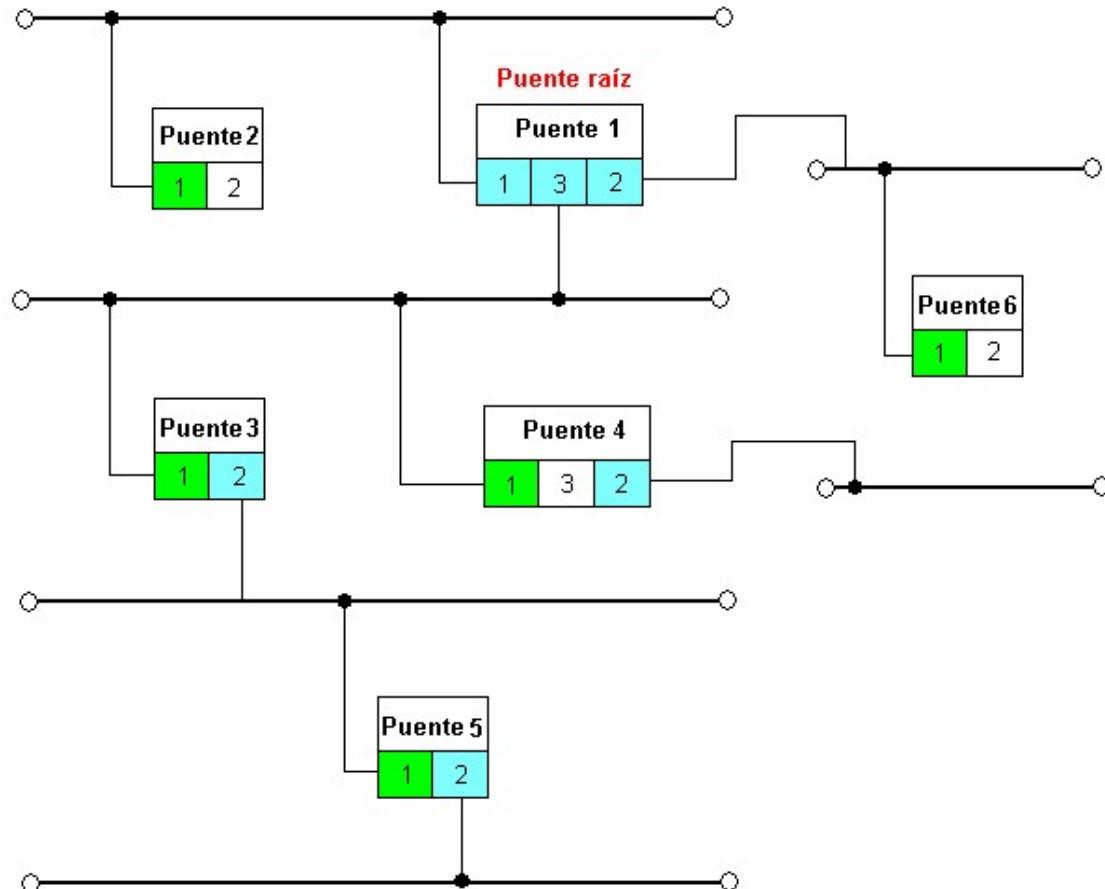


4.4 IEEE 802.3 Ethernet

4.4.1 Ethernet CSMA/CD. Conmutación y puentes

Puentes Transparentes

Algoritmo de árbol de expansión: Algoritmo Spanning Tree



Esta estructura se mantiene mientras que todos los puertos raíz y designados funcionen correctamente.

El puente raíz envía mensajes de control cada cierto tiempo.

Si un puente deja de recibir mensajes del puente raíz, se procederá de nuevo con el algoritmo Spanning Tree para determinar nuevos puertos raíz y designados.

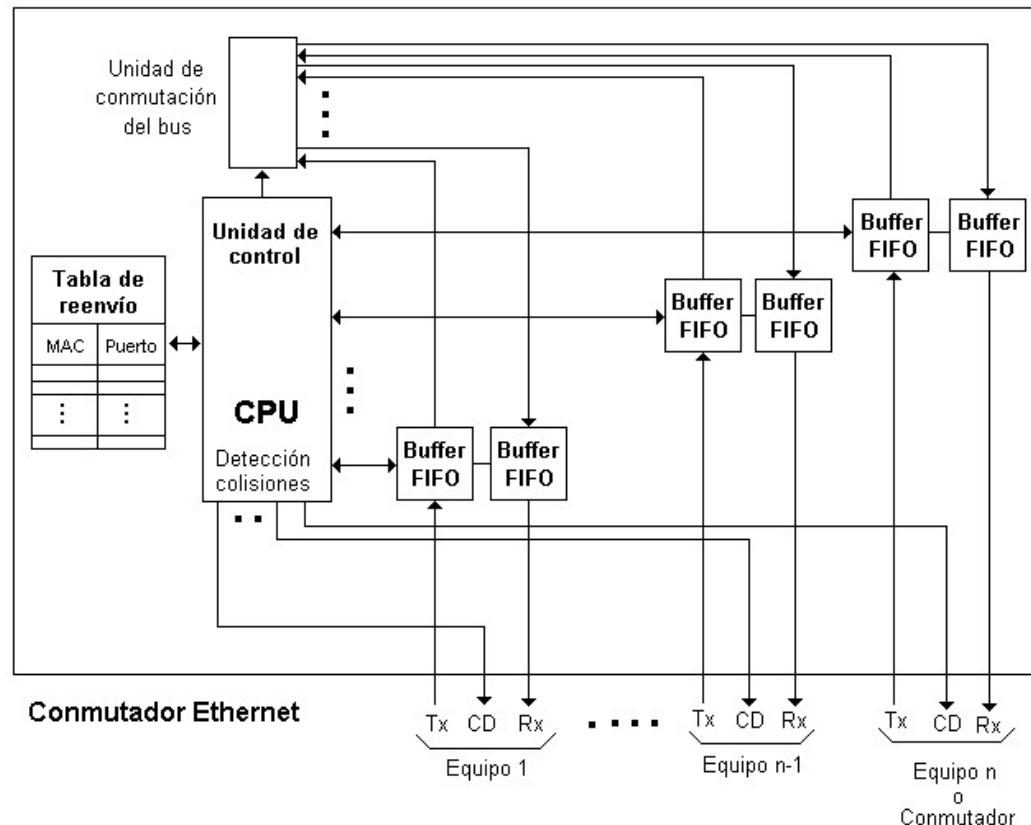
4.4 IEEE 802.3 Ethernet

4.4.1 Ethernet CSMA/CD. Conmutación y puentes

Ethernet Conmutada

El empleo de puentes llevó a la posibilidad de construir un puente multipuerto, donde en cada puerto se conecta un equipo en vez de un segmento de red.

Estos dispositivos se denominan **conmutadores** o **switches** definiendo las redes **Ethernet conmutadas**



Modo full-duplex: No existen colisiones (CSMA/CD no activo y no es necesario tamaño mínimo de paquete ethernet). Transmisión y recepción simultánea (no se emplea la línea CD).

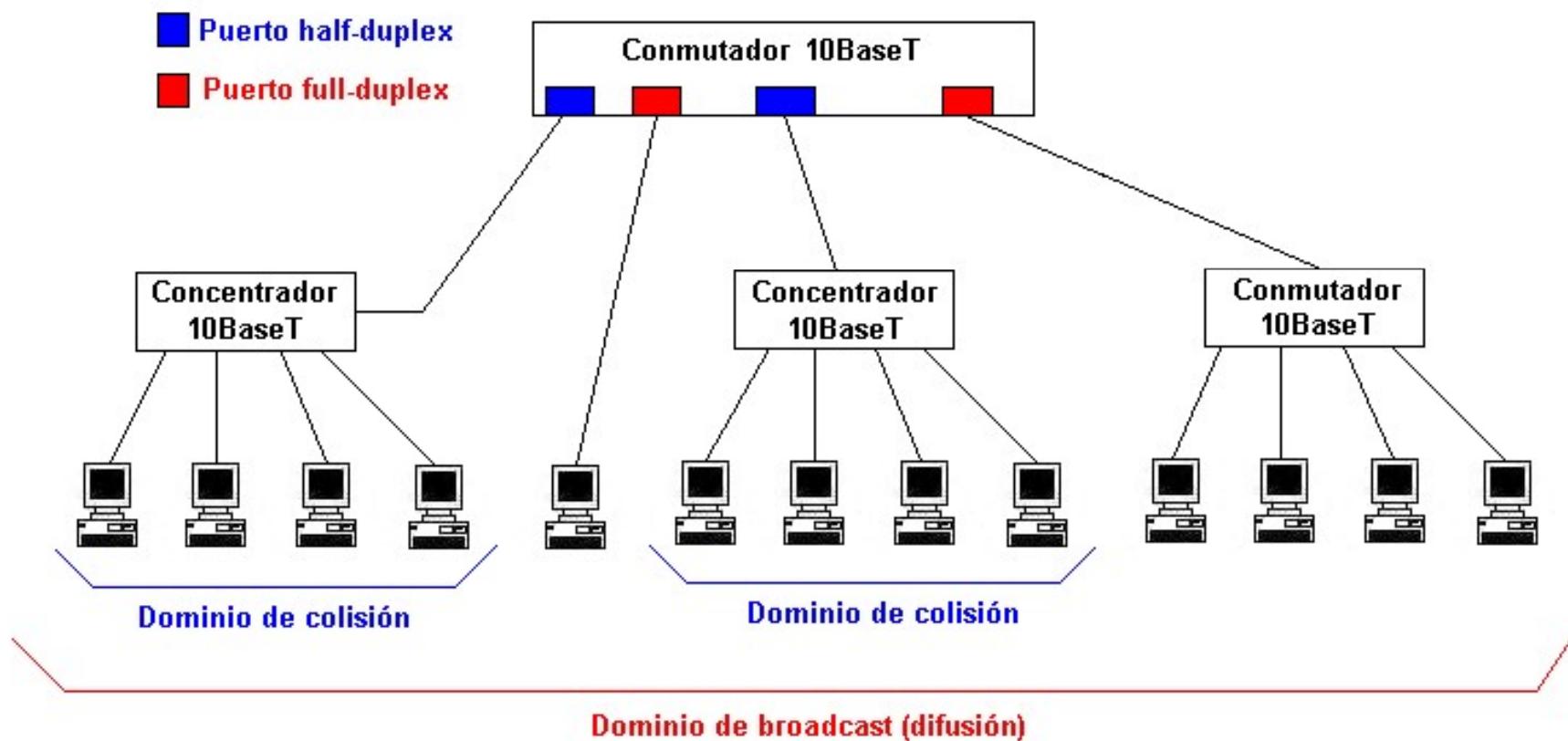
Modo half-duplex: Permite la conexión de equipos con CSMA/CD (concentrador 10BaseT). Se emplea la línea CD (informa de la existencia de una colisión).

4.4 IEEE 802.3 Ethernet

4.4.1 Ethernet CSMA/CD. Conmutación y puentes

Ethernet Conmutada

LAN Ethernet mixta de concentradores/conmutadores



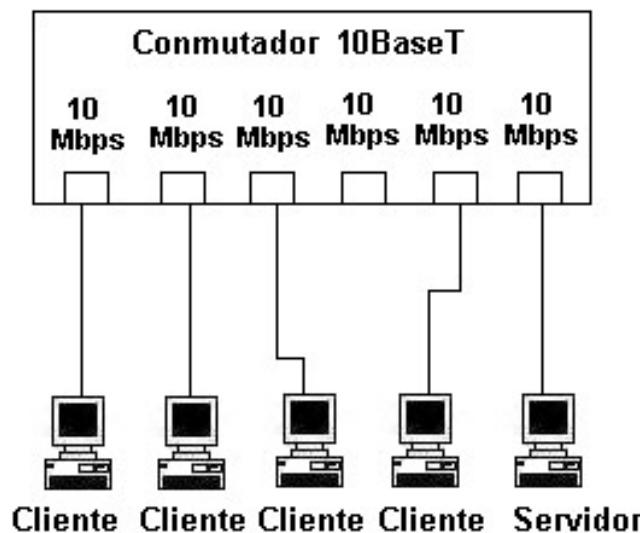
4.4 IEEE 802.3 Ethernet

4.4.2 Fast Ethernet (IEEE 802.3u)

Arquitectura cliente/servidor en Ethernet

Con el desarrollo de los commutadores Ethernet el rendimiento que se alcanza es muy elevado si el tráfico tiene una distribución homogénea entre los equipos de la red.

En la práctica, la mayor parte de aplicaciones de red en entorno LAN (acceso a bases de datos, transferencia de archivos, web, etc.) se fundamentan en la arquitectura cliente/servidor.



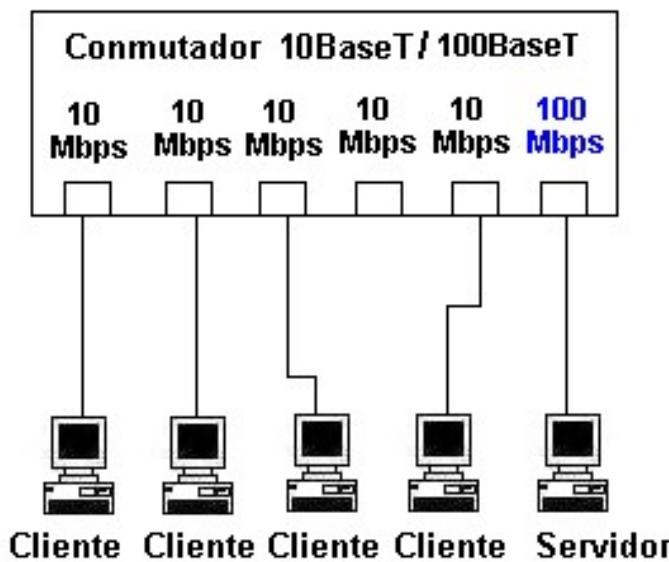
El commutador debe emplear los buffers del puerto del servidor para repartir el tráfico de los clientes, es decir repartir el ancho de banda de 10 Mbps entre los clientes.

4.4 IEEE 802.3 Ethernet

4.4.2 Fast Ethernet (IEEE 802.3u)

Arquitectura cliente/servidor en Ethernet

Para conseguir un acceso adecuados entre clientes y servidor es necesario un puerto de mayor velocidad en el conmutador donde conectar el servidor.



Con un puerto a 100 Mbps, el servidor puede atender las peticiones y respuestas con 10 clientes a 10 Mbps de manera simultánea.

La normativa que permite la transmisión de paquetes Ethernet a 100 Mbps se denomina de forma genérica **Fast Ethernet**, existiendo diversas modalidades para la transmisión.

4.4 IEEE 802.3 Ethernet

4.4.2 Fast Ethernet (IEEE 802.3u)

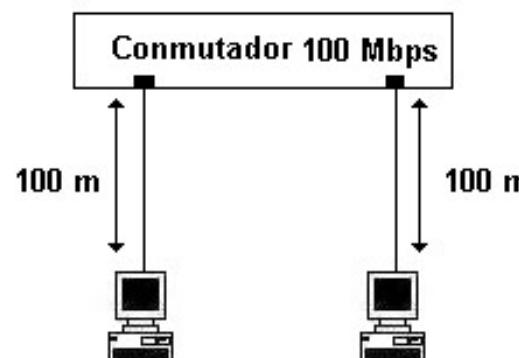
Fast Ethernet

Las redes Fast Ethernet funcionan con conmutadores, permitiendo el modo de trabajo half-duplex (CSMA/CD) y full-duplex.

Si se emplea 100 Mbps en CSMA/CD existe el problema del tamaño de paquete mínimo para la transmisión.

El tiempo mínimo de transmisión estándar en una red Ethernet con una extensión de 2.5 Km es de 51.2μ segundos (512 bits tamaño mínimo de paquete).

En un conmutador Ethernet en modo half-duplex el dominio de colisión son 200 metros, y el tiempo mínimo de transmisión debe ser 4.1μ segundos.



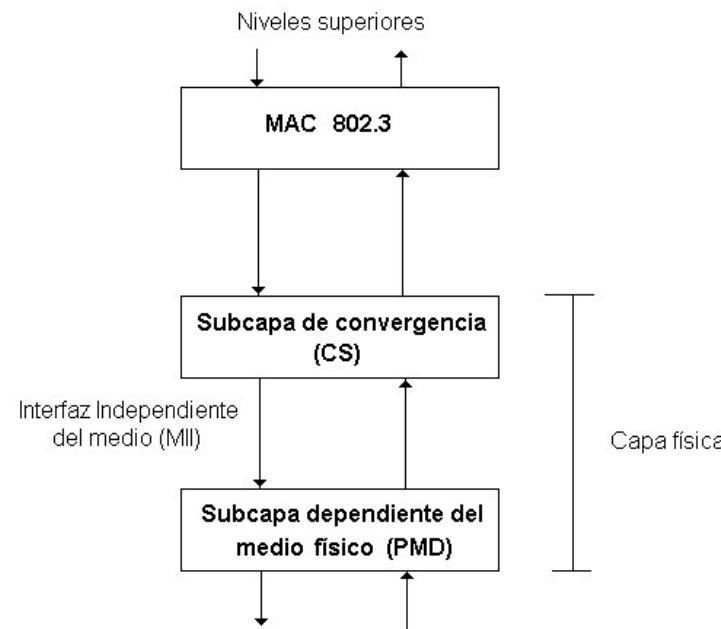
La transmisión de 512 bits a 100 Mbps supone un tiempo de 5.12μ segundos, por lo que el tamaño mínimo de paquete es el mismo que en Ethernet 10 Mbps.

4.4 IEEE 802.3 Ethernet

4.4.2 Fast Ethernet (IEEE 802.3u)

Fast Ethernet

Para permitir la coexistencia del mismo tipo de protocolo MAC (CSMA/CD) empleando diferentes tipos de medios físicos, se introdujo una estructura de subcapas para el nivel físico.



Subcapa de convergencia: Convierte el flujo de bits de la capa MAC en grupos de 4 bits para su envío a la subcapa PMD.

Subcapa dependiente del medio físico: Transmite cada grupo de 4 bits con el mecanismo de codificación adecuado a cada tipo de medio físico.

4.4 IEEE 802.3 Ethernet

4.4.2 Fast Ethernet (IEEE 802.3u)

100BaseX

La normativa 100BaseX se desarrolló para cables UTP categoría 5, STP y fibra óptica.

El principal problema de la transmisión a alta velocidad es la sincronización emisor-receptor al transmitir la secuencia de bits.

Para introducir siempre información de sincronización en el flujo de bits, 100BaseX introduce una codificación 4B/5B.

Grupo de 4 bits	Símbolo de 5 bits
0000	11110
0001	01001
0010	10100
0011	10101
0100	01010
0101	01011
0110	01110
0111	01111

Grupo de 4 bits	Símbolo de 5 bits
1000	10010
1001	10011
1010	10110
1011	10111
1100	11010
1101	11011
1110	11100
1111	11101

Para proporcionar una velocidad de 100 Mbps para cada grupo de 4 bits de datos, es necesario que los grupos de 5 bits se transmitan a una velocidad de $5/4 * 100 \text{ Mbps} = 125 \text{ Mbps}$.

La señal de reloj para los pulsos en la capa PMD será de 125 MHz, y la codificación en pulsos será distinta si el medio es fibra óptica o cable UTP.

4.4 IEEE 802.3 Ethernet

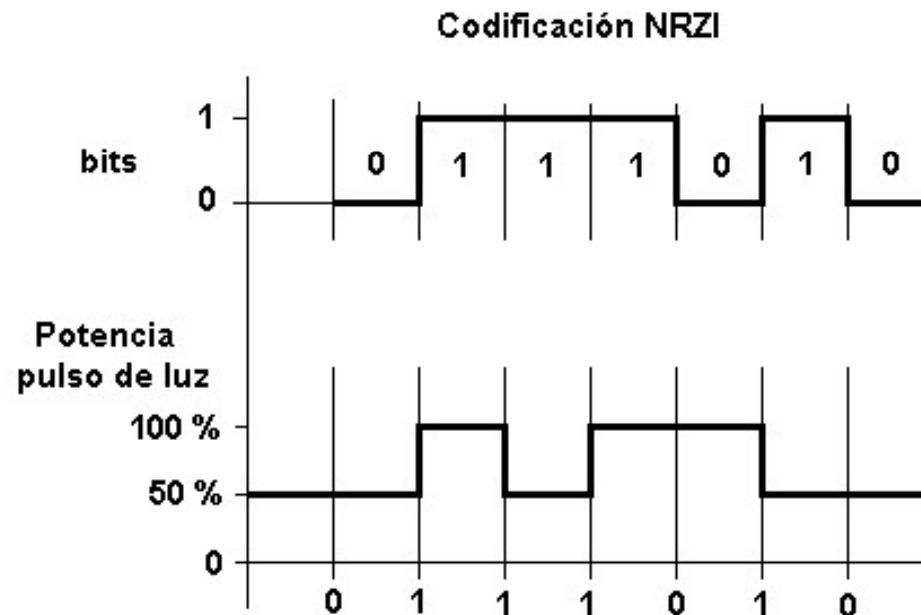
4.4.2 Fast Ethernet (IEEE 802.3u)

100BaseFX

100BaseFX emplea la normativa 100BaseX de codificación 4B/5B sobre fibra óptica.

Cada símbolo de 5 bits se convierte en pulsos luminosos empleando codificación NRZI

Se definen dos niveles de amplitud para el haz de luz que incide en la fibra (50% - 100% potencia), de forma que un cambio en la amplitud del haz indica un **1** y la inexistencia de cambio de amplitud indica un **0**.



100BaseFX emplea fibra óptica multimodo y permite alcanzar distancias de hasta 400 metros entre un equipo y el conmutador.

4.4 IEEE 802.3 Ethernet

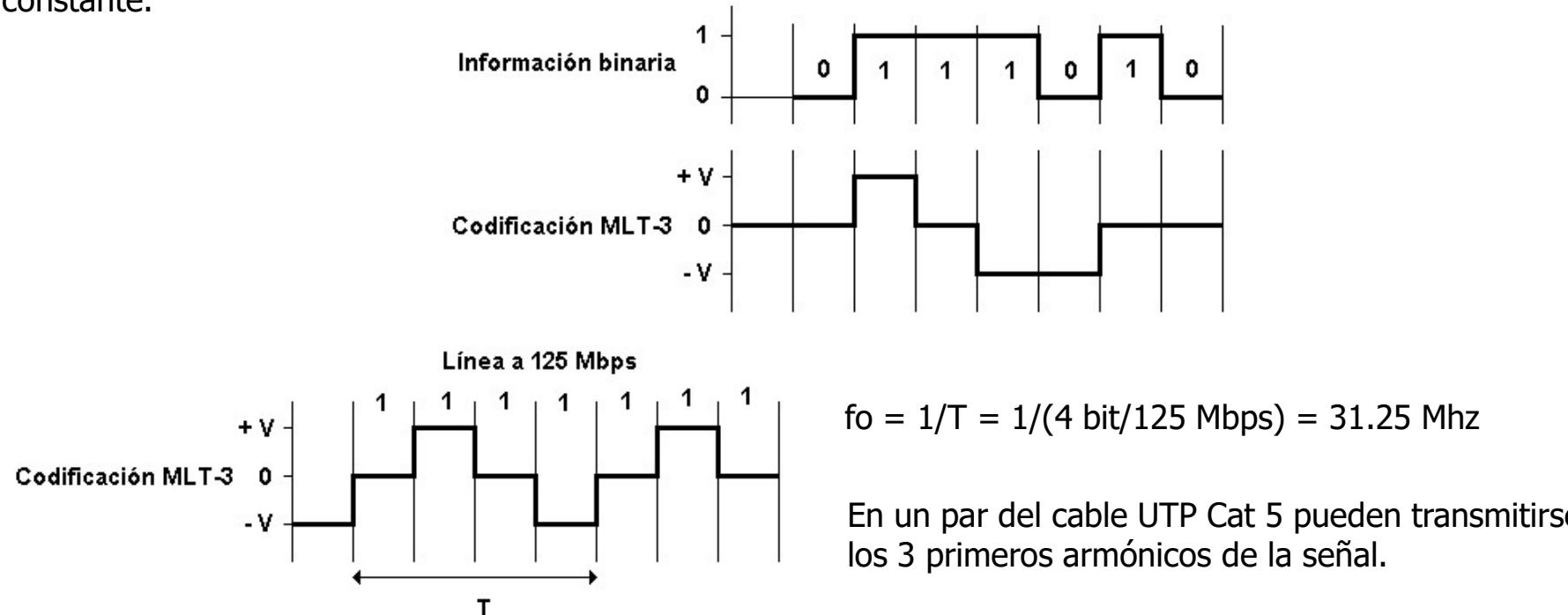
4.4.2 Fast Ethernet (IEEE 802.3u)

100BaseTX

100BaseTX emplea la normativa 100BaseX de codificación 4B/5B sobre cable UTP categoría 5 (máximo 100 metros).

Cada símbolo de 5 bits se convierte en pulsos eléctricos empleando la codificación MLT-3. (Si se empleara Manchester se necesitaría un cable de 125 Mhz de ancho de banda)

Se definen 3 niveles de amplitud de voltaje (-V, 0, +V). Si se transmite un bit a **1** la tensión varía aumentando o disminuyendo dependiendo de los valores anteriores. Si se transmite un bit a **0** la tensión se mantiene constante.



4.4 IEEE 802.3 Ethernet

4.4.3 Gigabit Ethernet

Gigabit Ethernet

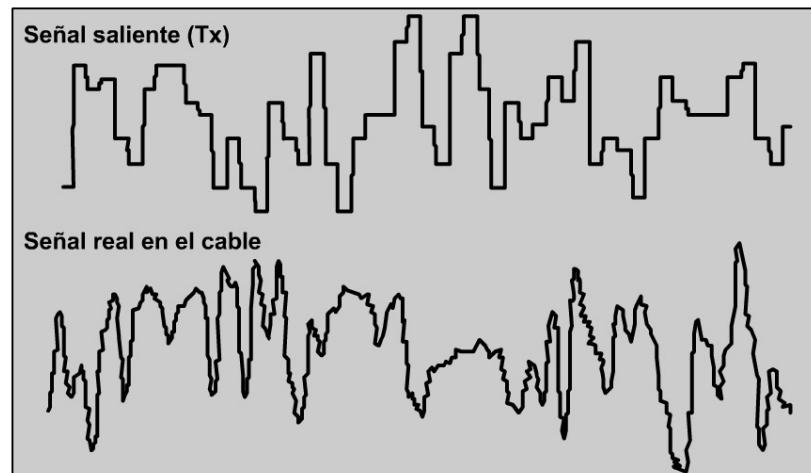
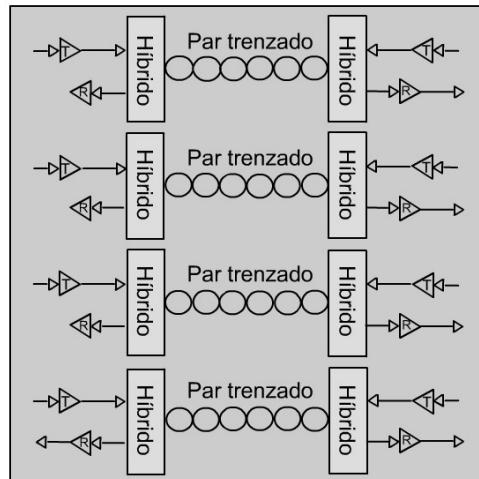
Las redes Gigabit Ethernet funcionan con conmutadores, permitiendo el modo de trabajo half-duplex (CSMA/CD) y full-duplex.

En el modo CSMA/CD, el tamaño de paquete mínimo es mayor que en Fast Ethernet, siendo de 512 bytes.

1000BaseT (IEEE 802.3z)

Alcanzar con cable UTP categoría 5 velocidades de 1 Gbps en modo full-duplex es complejo y costoso.

1000BaseT permite alcanzar 1 Gbps a distancias de 100 metros empleando los cuatro pares de hilos para transmitir y recibir simultáneamente (cancelación de eco).



Codificación
4D-PAM5

4.4 IEEE 802.3 Ethernet

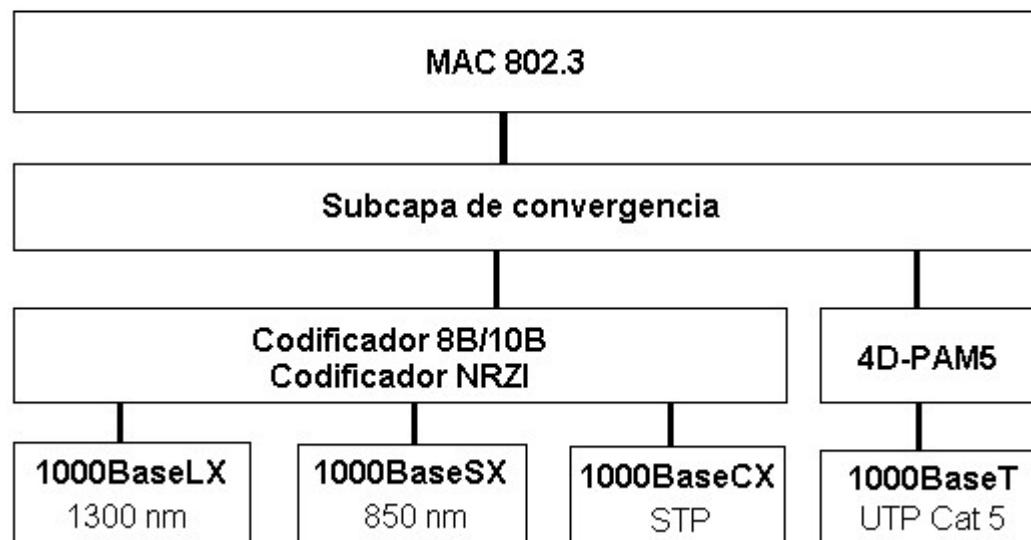
4.4.3 Gigabit Ethernet

1000BaseX (IEEE 802.3ab)

La transmisión de datos a 1 Gbps por fibra óptica es menos compleja debido al enorme ancho de banda de la fibra.

Los bits del paquete Ethernet son modificados con un codificador 8B/10B, introduciendo información de sincronización para el receptor.

La señal codificada puede transmitirse por fibra óptica o mediante cable STP (distancia máxima 25 metros)



1000BaseLX y 1000BaseSX con fibra multimodo alcanza distancias de 500 metros.

1000BaseLX permite además fibra monomodo con distancias de 5 Km.

4.4 IEEE 802.3 Ethernet

4.4.3 Gigabit Ethernet

10 Gigabit Ethernet (802.3ae)

Las redes 10 Gigabit Ethernet (**10GBase-XX**) funcionan con commutadores permitiendo **solamente** el modo de trabajo full-duplex (no existe el CSMA/CD).

Emplea en general la fibra óptica como medio de transmisión. Con fibra óptica multimodo se alcanzan distancias de hasta 300 metros, pero con monomodo se consiguen hasta 40 Km

Puede emplearse también el cable UTP (10GBase-T) de categoría 6 y 7, con distancias máximas de 100 metros.

Las aplicaciones de Ethernet hoy en día abarcan el campo LAN, MAN y WAN, pudiendo emplearlo para establecer enlaces punto a punto entre nodos de Internet.

40GBase-XX – 100GBase-XX (802.3ba)

En 2010, el IEEE publica una normativa para permitir tasas de velocidad de 40 Gbps y 100 Gbps en la transmisión de paquetes Ethernet.

Esta normativas emplean el formato de paquete Ethernet y modo full-duplex. Aunque permite su uso con cable eléctrico, su uso más extendido es con el empleo de fibra óptica.

Para conseguir tasas de 40 o 100 Gbps se emplean varias fibras ópticas (4 o 10) a 10 Gbps o una sola fibra con varios haces de luz (4 o 10) a 10 Gbps (técnica WDM empleada en fibra óptica).

4.4 IEEE 802.3 Ethernet

4.4.3 Gigabit Ethernet

40GBase-XX – 100GBase-XX (802.3ba)

El desarrollo de Ethernet 40Gbps/100Gbps se ha impulsado por la necesidad de un sistema “universal” de transmisión de datos a alta velocidad para los servidores de centros de datos masivos (Google, Facebook, etc.) y la conectividad mundial a muy alta velocidad (sustituyendo a los sistemas previos ATM y SDH/SONET).

2.5GBase-T – 5GBase-T (802.3bz)

En septiembre de 2016, el IEEE publica dos nuevas normativas Ethernet con tasas de velocidad de 2.5 Gbps y 5 Gbps.

Estas normativas están pensadas para ser empleadas con cable par trenzado (UTP) de categoría 5e (2.5 Gbps) y categoría 6 (5 Gbps) y distancias hasta 100 metros. Sólo se permite, al igual que en 10GBase-XX, el modo de funcionamiento full-duplex con conmutadores.

Su objetivo es permitir conexiones de puntos de acceso Wi-Fi de la norma 802.11ac (velocidades de hasta 1.3 Gbps) a troncales Ethernet.

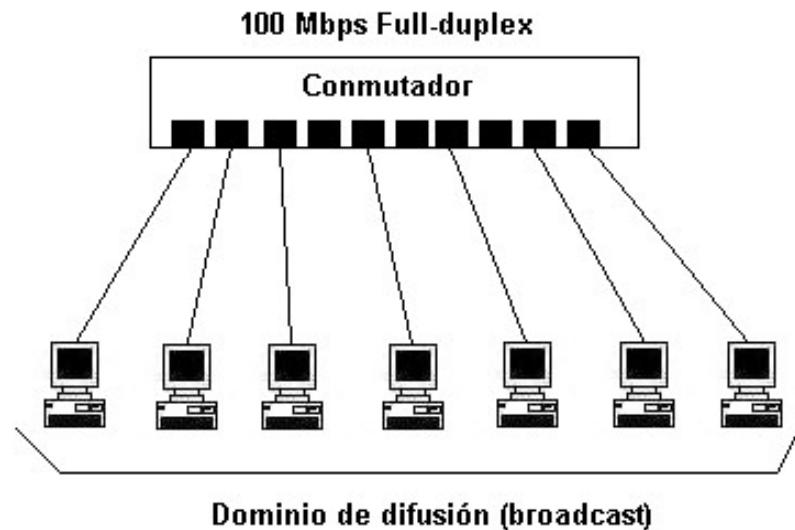
4.4 IEEE 802.3 Ethernet

4.4.4 IEEE 802.1Q. Redes de Área Local Virtuales (VLAN)

Introducción

El desarrollo de redes LAN cada vez mayores empleando conmutadores introduce problemas en cuanto a la confiabilidad de la información.

La interconexión de equipos con conmutadores elimina los dominios de colisiones, pero sigue existiendo un dominio de difusión.



Problemas de seguridad

Los paquetes de difusión son “observados” por todos los equipos del conmutador.

Cualquier equipo tiene accesibilidad física al resto.

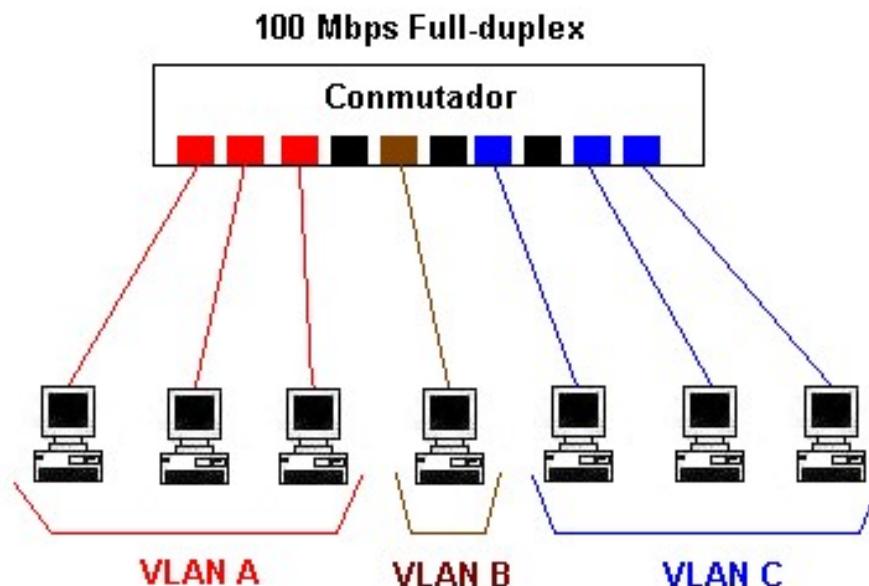
4.4 IEEE 802.3 Ethernet

4.4.4 IEEE 802.1Q. Redes de Área Local Virtuales (VLAN)

Introducción

El IEEE desarrolla una normativa (IEEE 802.1Q) para poder dividir un conmutador en varios dominios de difusión distintos.

Cada dominio de difusión independiente se denomina VLAN (Virtual Local Area Network).



4.4 IEEE 802.3 Ethernet

4.4.4 IEEE 802.1Q. Redes de Área Local Virtuales (VLAN)

IEEE 802.1Q. Funcionamiento

El funcionamiento de un conmutador VLAN es similar al de un puente, disponiendo de una tabla de reenvío.

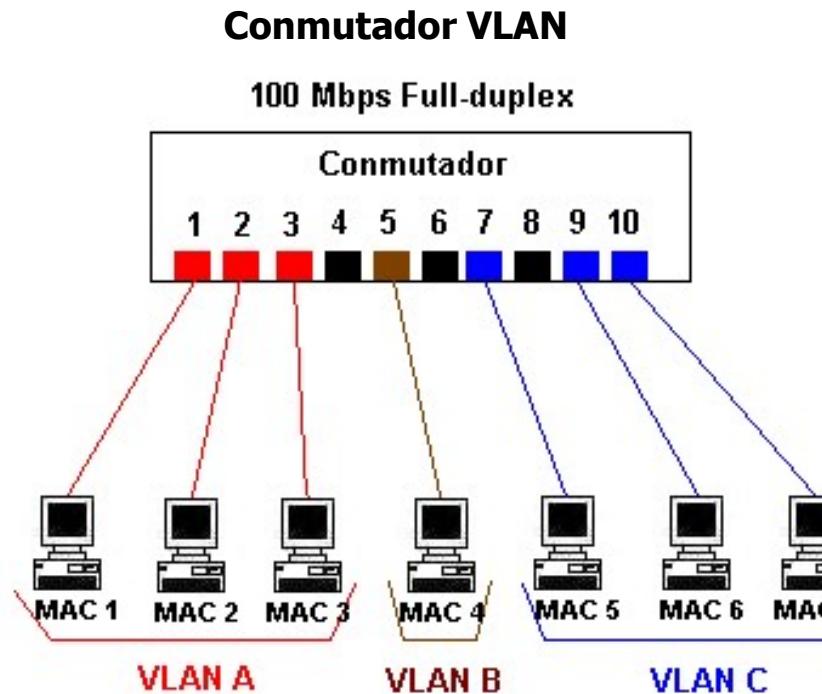


Tabla de reenvío

MAC	Id. VLAN	Puerto
1	A	1
2	A	2
3	A	3
4	B	5
5	C	7
6	C	9
7	C	10

Un conmutador VLAN reenvía las tramas de difusión de entrada en un puerto a todos los puertos etiquetados con la misma VLAN.

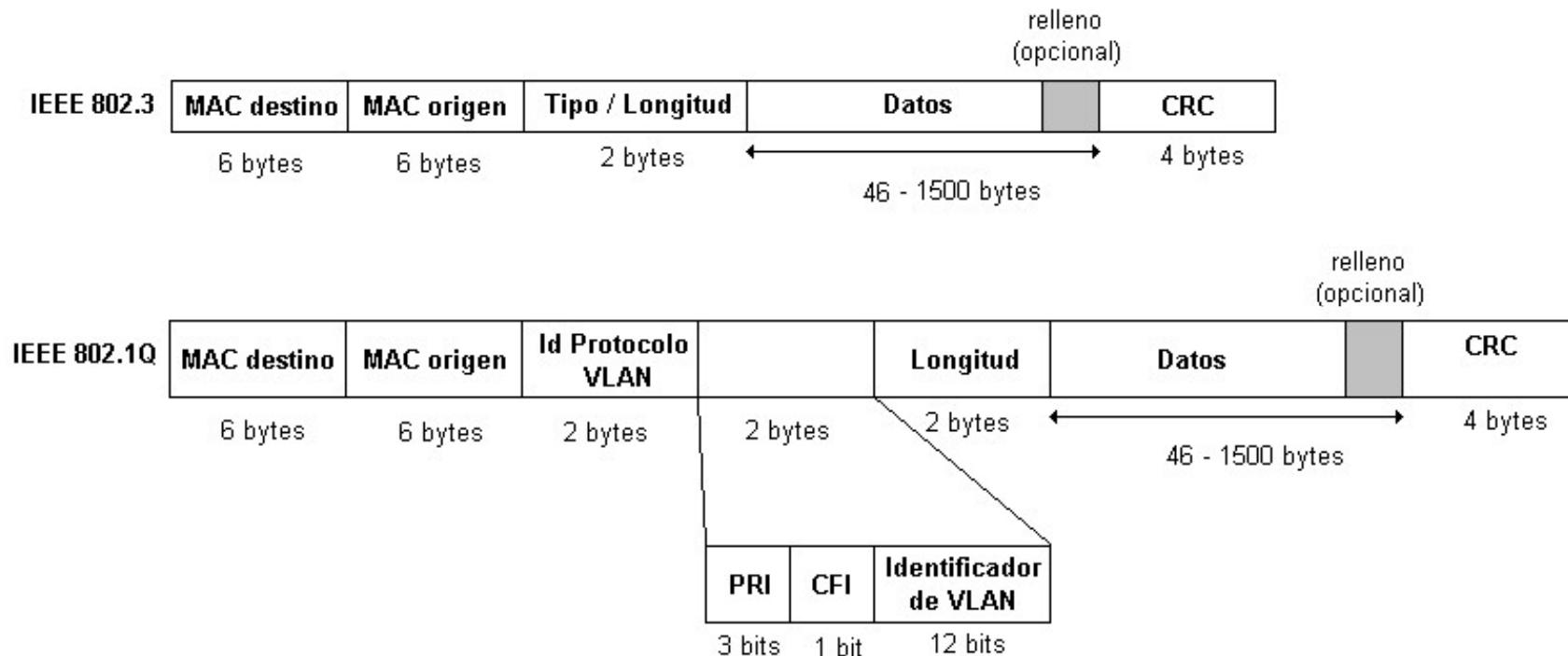
Si un equipo de una VLAN envía un paquete a una MAC que no pertenece a la misma VLAN el conmutador no lo reenvía (**Cada VLAN tiene asociada una dirección de red IP diferente para que ARP funcione**).

4.4 IEEE 802.3 Ethernet

4.4.4 IEEE 802.1Q. Redes de Área Local Virtuales (VLAN)

IEEE 802.1Q. Funcionamiento

La norma IEEE 802.1Q define un nuevo formato de paquete IEEE 802.3 cuando se emplean VLANs.



Id Protocolo VLAN: Toma el valor 0x8100 para indicar que es un paquete IEEE 802.1Q.

PRI: Bits de prioridad que pueden emplearse para commutar unos paquetes antes que otros (voz, vídeo).

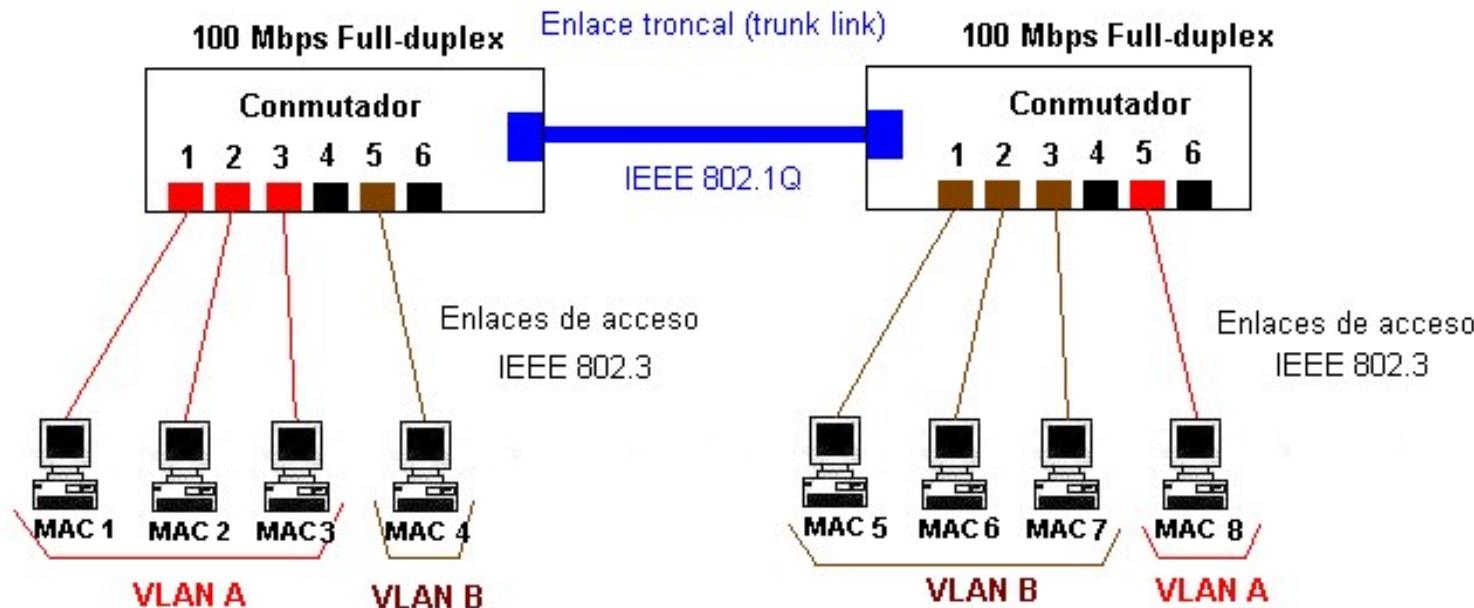
CFI: Flag para indicar que en el campo de datos hay una trama Token-Ring (sin uso actualmente).

4.4 IEEE 802.3 Ethernet

4.4.4 IEEE 802.1Q. Redes de Área Local Virtuales (VLAN)

IEEE 802.1Q. Funcionamiento

El formato de trama IEEE 802.1Q se emplea cuando se interconectan commutadores VLAN entre sí, o un router a un commutador VLAN.



Los puertos de enlaces troncales (**trunk port**) pertenecen a varias VLAN, y a través de ellos los paquetes de diferentes VLAN se intercambian entre commutadores distintos (debido a esto es necesario el empleo del formato IEEE 802.1Q).

4.4 IEEE 802.3 Ethernet

4.4.4 IEEE 802.1Q. Redes de Área Local Virtuales (VLAN)

IEEE 802.1Q. Funcionamiento

Un conmutador VLAN maneja de diferente forma los enlaces de acceso y los enlaces troncales.

Enlaces de acceso

En los enlaces de acceso los paquetes tienen el formato del IEEE 802.3. Cuando un paquete de un enlace de acceso se envía a un puerto troncal es necesario añadir el identificador VLAN asociado al enlace de acceso. Es decir, transformar al formato IEEE 802.1Q

Si el conmutador tiene que enviar un paquete de un puerto troncal a un puerto de acceso extrae del formato IEEE 802.1Q los datos para transformarlo en el formato IEEE 802.3.

Enlaces troncales

En los enlaces troncales los paquetes tienen el formato del IEEE 802.1Q.

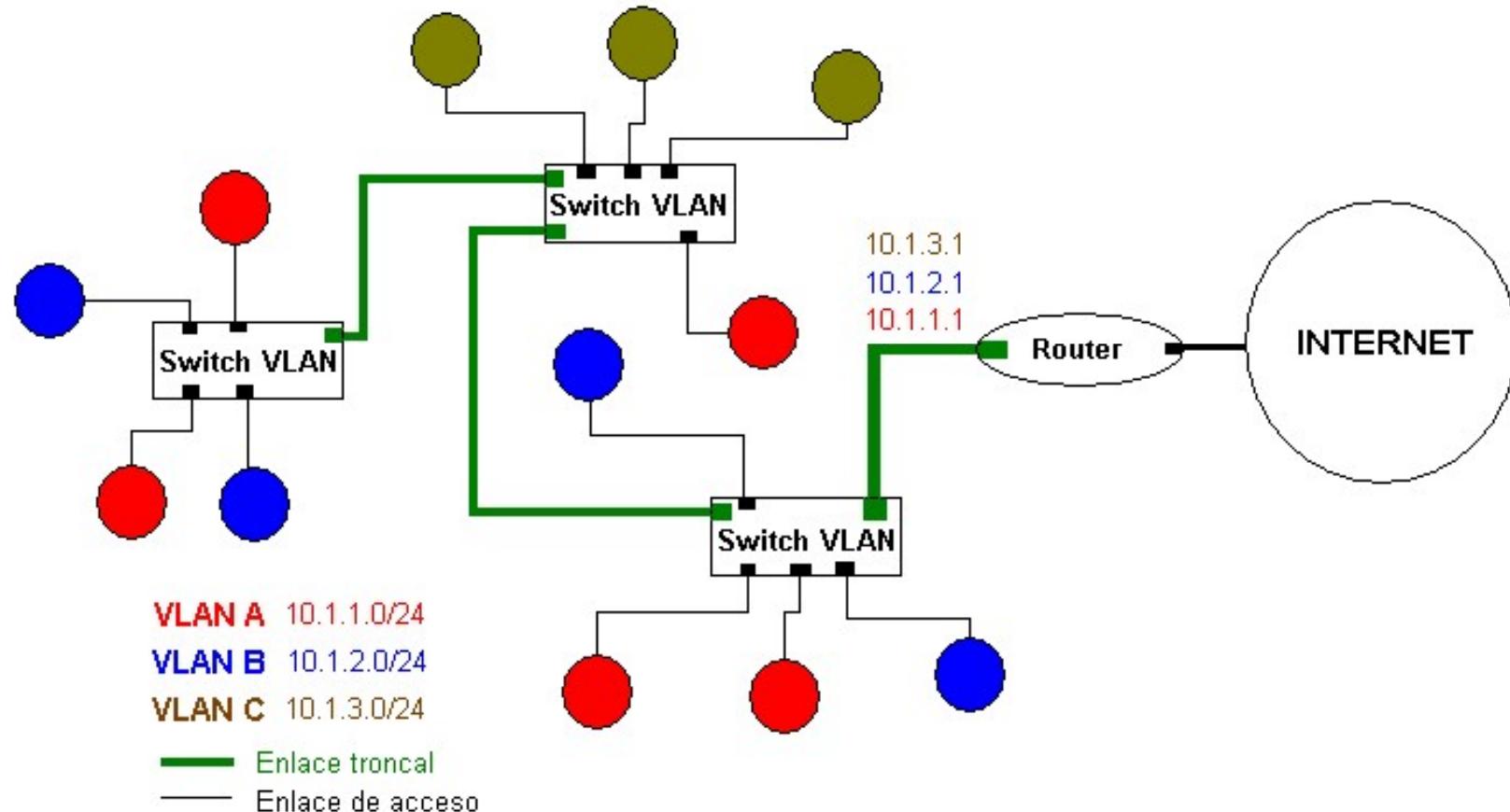
Los conmutadores VLAN emplean un protocolo denominado **GVRP (GARP VLAN Registration Protocol)** para propagar información entre los conmutadores y conocer qué VLANs hay asociadas a los puertos troncales.

Así, un conmutador, de forma automática, sabe si tiene que reenviar paquetes de una VLAN cuyo destino no está en el conmutador a otros conmutadores conectados a través de puertos troncales.

4.4 IEEE 802.3 Ethernet

4.4.4 IEEE 802.1Q. Redes de Área Local Virtuales (VLAN)

IEEE 802.1Q. Arquitectura



4.5 IEEE 802.11x. LAN Inalámbrica

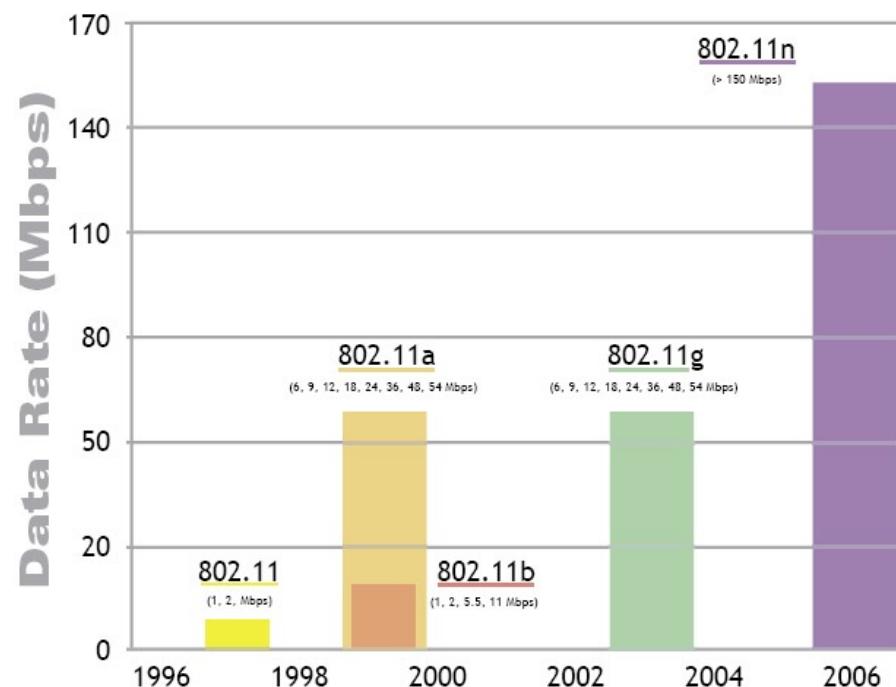
4.5.1 Introducción

Historia

Una red LAN inalámbrica es una red de área local que emplea ondas electromagnéticas como soporte físico para la comunicación de datos.

Las tecnologías de comunicación inalámbrica son más complejas y por tanto de mayor coste económico que las redes de cable.

Con el desarrollo en los años 90 de la telefonía móvil y los ordenadores portátiles se consigue una tecnología de comunicación inalámbrica con unas prestaciones competitivas a un coste razonable.



4.5 IEEE 802.11x. LAN Inalámbrica

4.5.1 Introducción

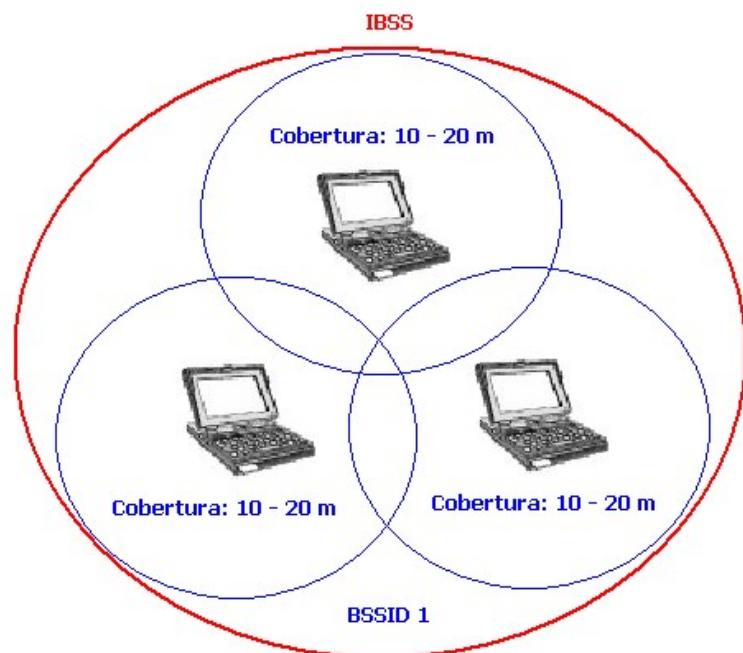
Nomenclatura

BSS (Basic Service Set): Conjunto de servicio básico. Grupo de estaciones que se comunican entre ellas.

Infraestructure BSS (**BSS**): Red inalámbrica con puntos de acceso (red de infraestructura).

Independent BSS (**IBSS**): Red inalámbrica ad-hoc.

Red Inalámbrica ad-hoc



SSID (Service Set Identifier): Identificador de un BSS. Cadena de 32 caracteres máximo.

Identifica a un BSS y se emplea en los mecanismos de gestión (por ejemplo asociación a AP).

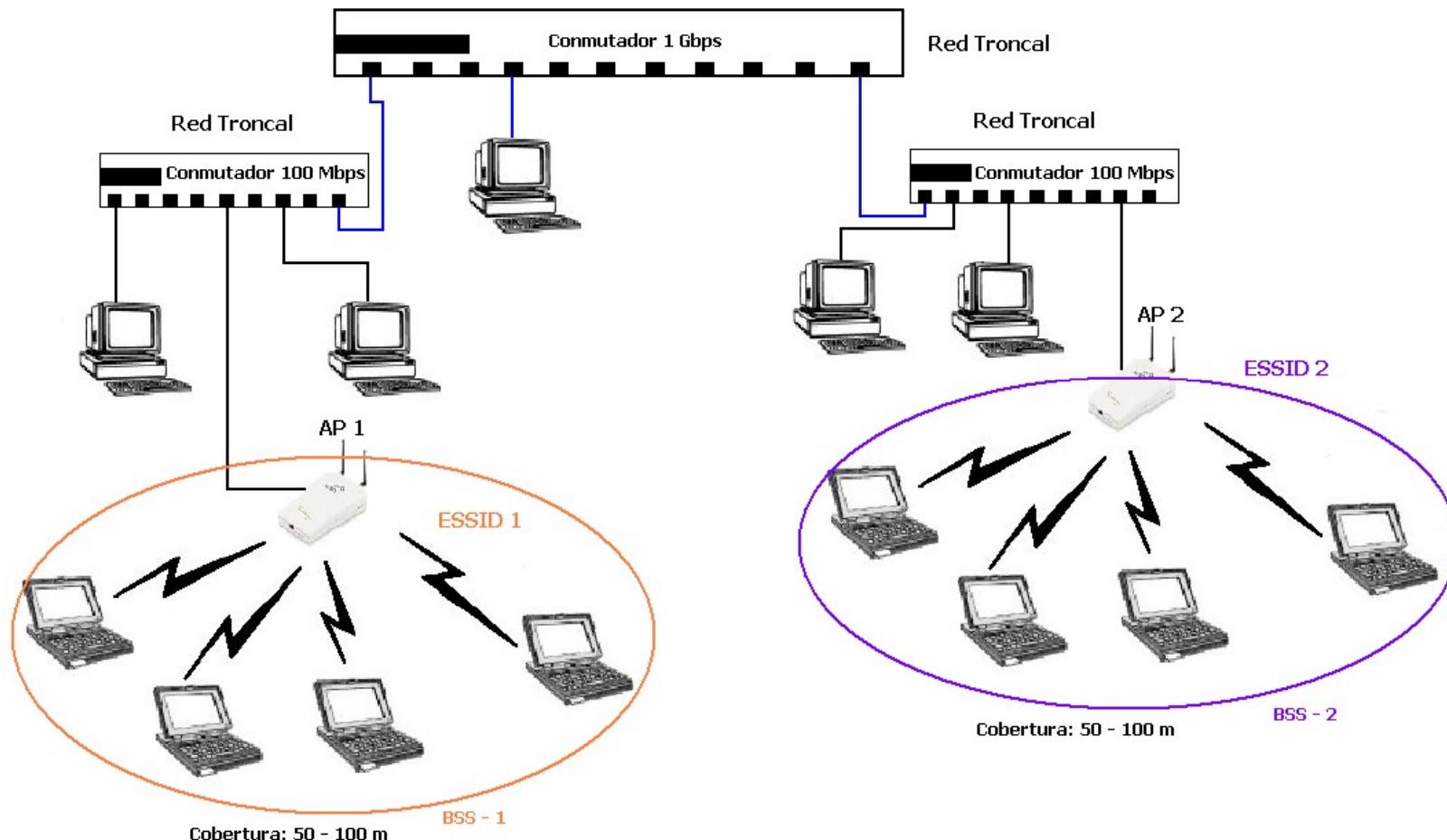
BSSID (Basic Service Set Identifier): SSID en redes ad-hoc.

ESSID (Extended Service Set Identifier): SSID en redes de infraestructura.

4.5 IEEE 802.11x. LAN Inalámbrica

4.5.1 Introducción

Red Inalámbrica de Infraestructura



AP (Access Point): Punto de Acceso. Actúa como puente entre la LAN de cable y un BSS.

4.5 IEEE 802.11x. LAN Inalámbrica

4.5.1 Introducción

Normativas de comunicación inalámbrica

El IEEE es el organismo que ha propuesto los estándares de redes LAN inalámbricas, existiendo diversas tecnologías donde destacan:

IEEE 802.11b: Comunicación inalámbrica empleando una señal portadora de 2.4 Ghz. Esta frecuencia está declarada para su uso libre, por lo que pueden existir interferencias con otros dispositivos del mercado.

Realmente no se emplea una única portadora, si no que existen 13 portadoras entre los 2.4 y 2.5 GHz. Cada una de estas portadoras define un canal, de forma que todos los equipos que pertenecen a un BSS deben emplear la misma portadora.

El AP debe configurarse para emplear una canal que no tenga interferencias en la zona. Así, es necesaria una política de gestión de canales cuando se utilizan varios AP.

La norma IEEE 802.11b emplea modulación de múltiples niveles (amplitud y fase) en cada canal, permitiendo alcanzar velocidades de 1, 2, 5.5 y 11 Mbps.

IEEE 802.11n (Wi-Fi 4): Permite emplear la portadora de 2.4 GHz y la de 5 GHz (19 canales) consiguiendo velocidades de hasta 600 Mbps.

IEEE 802.11ac (Wi-Fi 5): Emplea solamente la portadora de 5 GHz (19 canales) y varias antenas, consiguiendo velocidades de hasta 1.3 Gbps.

IEEE 802.11ax (Wi-Fi 6): Permite emplear la portadora de 2.4 GHz y 5 GHz, modulación con elevado número de niveles (QAM-1024) y varias antenas, consiguiendo velocidades de hasta 10 Gbps.

La velocidad de transmisión con wireless no es fija, le afecta el ruido del entorno de trabajo.

4.5 IEEE 802.11x. LAN Inalámbrica

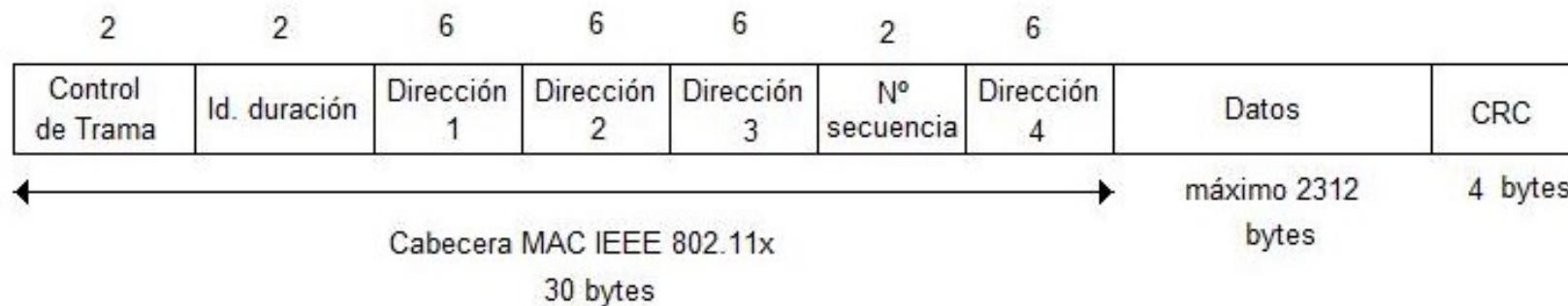
4.5.2 Acceso al medio

Características

Las redes LAN 802.11 se caracterizan por presentar una elevada tasa de error en el medio físico. Este problema condiciona cuál es el mecanismo de reparto del uso del medio físico.

Algunas características del protocolo MAC del IEEE 802.11 son:

1. Tamaño de paquete. Los paquetes del nivel superior (LLC) serán fragmentados por el protocolo MAC del 802.11. La norma 802.11 especifica un tamaño máximo de datos de 2312 bytes. En la actualidad, con la existencia de redes Ethernet con MTU de 1500 bytes, los Sistemas Operativos emplean un MTU de 1500 bytes en las interfaces Wi-Fi.



2. Protocolo MAC 802.11 confirmado. Debido a la elevada tasa de error, es necesario que el protocolo de control de acceso al medio sea capaz de confirmar los paquetes transmitidos en el medio inalámbrico. Así, los reenvíos necesarios se realizarán rápidamente.

4.5 IEEE 802.11x. LAN Inalámbrica

4.5.2 Acceso al medio

El protocolo MAC del 802.11 distingue entre dos modos de funcionamiento para el uso del medio físico:

1. DCF (Función de coordinación distribuida)

Empleadas en wireless de infraestructura y ad-hoc.

2. PCF (Función de coordinación centralizada)

Empleadas en wireless de infraestructura, donde el AP controla el acceso al medio compartido.

DCF – Función de coordinación distribuida

En el modo DCF cada estación (dispositivo inalámbrico) compite por el uso del medio físico. El mecanismo de reparto empleado es el **CSMA/CA** (Acceso al medio con detección de portadora y evitación de colisiones).

Las estaciones comprueban si el medio físico está libre detectando una señal denominada **CCA** (Estimación de desocupación del canal). Esta señal la transmiten los dispositivos en escucha en la red.

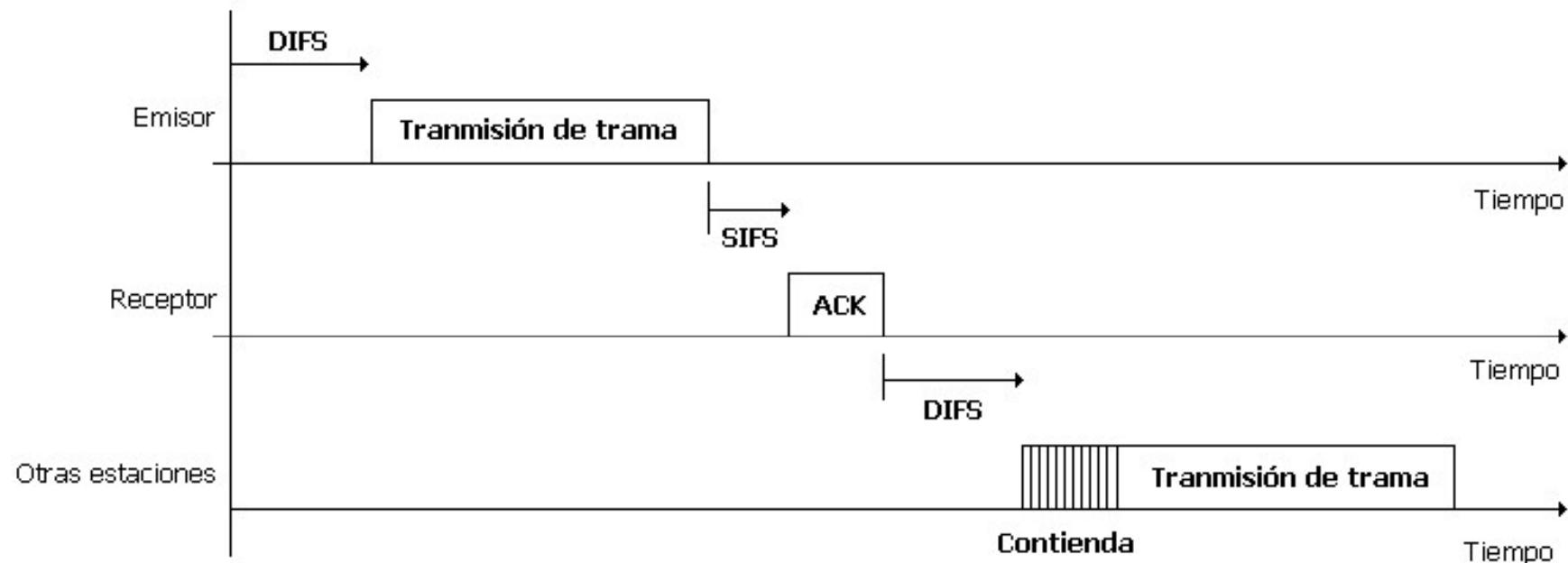
Si una estación encuentra el medio libre durante un tiempo denominado DIFS (espacio de tiempo entre la transmisión de tramas en DCF), entonces transmitirá el paquete de datos. Si recibe una confirmación del envío se considerará que la transmisión ha sido correcta.

Si la estación detecta que el medio físico está ocupado, espera a que se detecte de nuevo el medio físico libre durante un tiempo DIFS. Al expirar este tiempo, el equipo entra en una situación de contienda esperando un tiempo aleatorio. Al finalizar el tiempo aleatorio, si el medio físico está libre transmitirá, y si no esperará un nuevo periodo de contienda.

4.5 IEEE 802.11x. LAN Inalámbrica

4.5.2 Acceso al medio

DCF – Función de coordinación distribuida



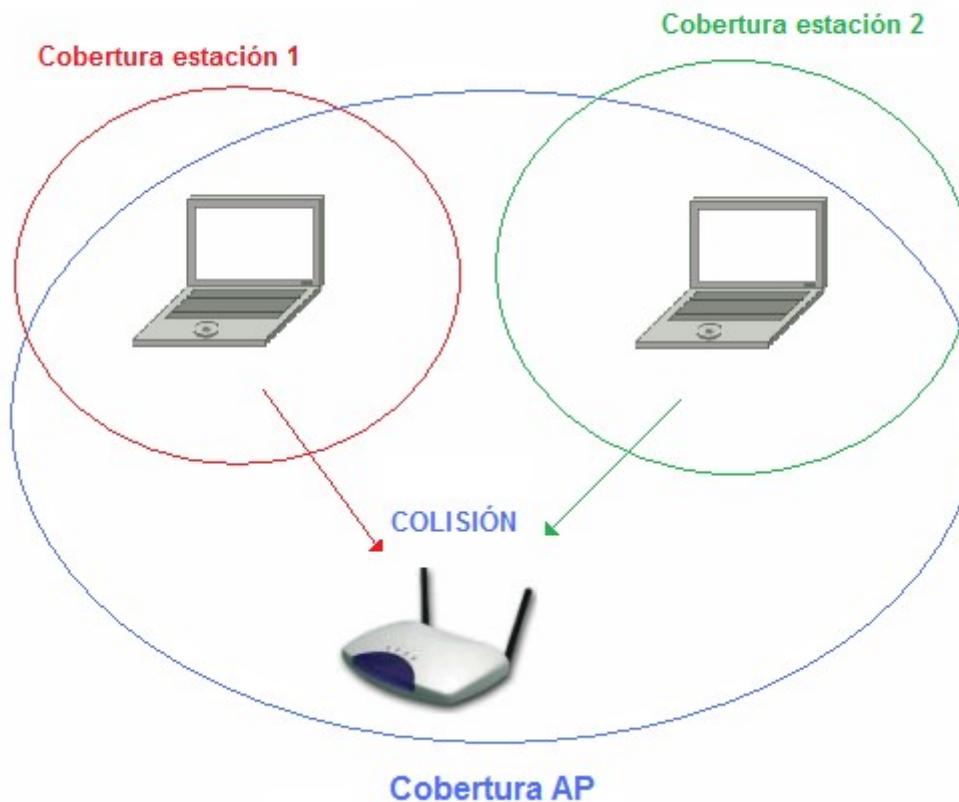
CSMA/CA

4.5 IEEE 802.11x. LAN Inalámbrica

4.5.2 Acceso al medio

DCF – Función de coordinación distribuida

El problema de la estación oculta



4.5 IEEE 802.11x. LAN Inalámbrica

4.5.2 Acceso al medio

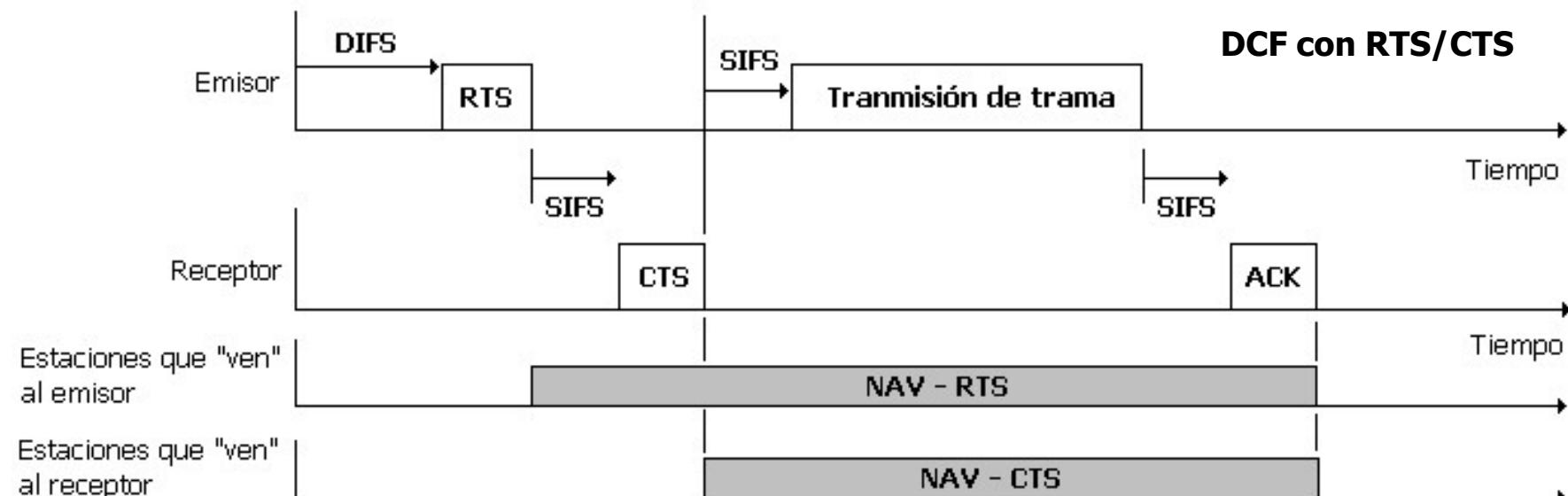
DCF – Función de coordinación distribuida

Variante DCF con RTS/CTS

Para evitar el problema de la estación oculta (un AP detecta dos estaciones, pero las estaciones no se detectan entre ellas) se introduce un mecanismo de reserva de la red.

La estación que transmite envía un paquete de tipo **RTS** que indica a las demás estaciones "visibles" el tiempo durante el que no pueden transmitir (**NAV – Vector de reserva de red**).

El receptor confirma el paquete RTS con un paquete de tipo **CTS** que indica a las demás estaciones "visibles" el tiempo durante el que no pueden transmitir.



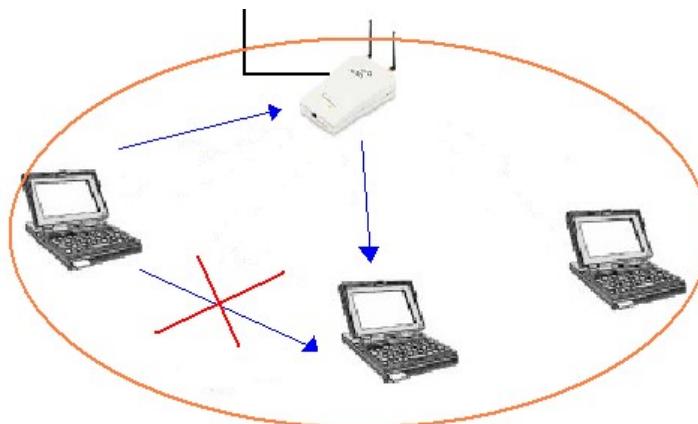
4.5 IEEE 802.11x. LAN Inalámbrica

4.5.2 Acceso al medio

PCF – Función de coordinación centralizada

Este modo de funcionamiento está definido sólo para las redes de infraestructura, pues precisa de la existencia de un punto de acceso **AP**.

Cuando existe un AP todas las comunicaciones se realizan a través de él. Es decir, si una estación quiere transmitir un paquete a otra estación, se enviará la información al AP y éste lo reenviará a la estación destino.



Se han definido dos mecanismos de funcionamiento en las redes de infraestructura:

Un mecanismo en el que no hay colisiones y el AP controla el uso del medio (*Polling method*): el AP selecciona que equipos pueden transmitir y en qué momento. Este funcionamiento no se suele emplear en las redes inalámbricas actuales.

Un mecanismo de contienda donde se emplea CSMA/CA o CSMA/CA con RTS/CTS. Este mecanismo es el empleado actualmente en las redes inalámbricas.

4.5 IEEE 802.11x. LAN Inalámbrica

4.5.2 Acceso al medio

PCF – Función de coordinación centralizada

Funciones de gestión

Durante el funcionamiento de una red inalámbrica se realizan también las funciones de gestión de la red, que básicamente son **añadir/eliminar un equipo de la red inalámbrica**.

Para que un equipo conozca la existencia de una red inalámbrica, el AP envía cada cierto tiempo un paquete denominado **trama de baliza o señalización** (*beacon frame*) indicando el valor del SSID de la red inalámbrica.

Si un equipo quiere conectarse a la red inalámbrica e intercambiar información en la misma, lleva a cabo un proceso de registro en el AP.

El AP puede aceptar o no el registro del equipo que lo solicita, llevando a cabo una serie de acciones adicionales para permitir un intercambio de datos seguro en la red inalámbrica.

4.5 IEEE 802.11x. LAN Inalámbrica

4.5.3 Seguridad en redes Wi-Fi™

Wi-Fi Alliance

Wi-Fi Alliance es una asociación de fabricantes de tecnología de red inalámbrica basada en la norma IEEE 802.11x (Cisco, Microsoft, Nokia, Intel, Dell, etc). <http://www.wi-fi.org/>

Esta asociación ha desarrollado la marca Wi-Fi™ para identificar sistemas de comunicación LAN inalámbricos que son compatibles, pues emplean las normas del IEEE 802.11x.

Uno de los campos de normalización de la Wi-Fi Alliance es la seguridad en redes Wi-Fi.

Principios de seguridad

La seguridad en una red Wi-Fi se fundamenta en dos principios:

Autenticación: Una estación (equipo) debe identificarse como un usuario autorizado de la red Wi-Fi.

Existen diferentes mecanismos de autenticación, cada uno de ellos con un nivel inherente de seguridad.

Integridad de la información: La información debe transmitirse cifrada para evitar espías (sniffers).

Existen diferentes mecanismos de cifrado en redes Wi-Fi, desarrollados en base a vulnerabilidades de seguridad que se han ido detectando.

4.5 IEEE 802.11x. LAN Inalámbrica

4.5.3 Seguridad en redes Wi-Fi™

Autenticación

Cuando una estación desea conectarse a una red Wi-Fi inicia un proceso de registro en el AP de la red.

Para realizar el registro, la estación debe conocer el SSID de la red. Aquí es posible introducir un mecanismo de seguridad.

Los AP transmiten cada cierto tiempo un paquete de señalización indicando cuál es su SSID e invitando a equipos a añadirse. Esta acción puede deshabilitarse en el AP, de forma que los equipos no "ven" la red y sólo pueden conectarse si conocen el SSID.

Si la estación conoce el SSID puede registrarse en el AP. Un nivel de seguridad adicional consiste en permitir solamente el registro de estaciones con una dirección MAC almacenada en una lista del AP.

Finalizado el proceso de registro, es posible llevar a cabo un proceso de autenticación (opcional).

En general, los AP no suelen realizar este control de acceso en el registro de la estación, pues la flexibilidad de los sistemas Wi-Fi radica en que cualquier estación pueda registrarse. El proceso de control de acceso suele llevarse a cabo en la autenticación.

Sólo en sistemas muy controlados (redes LAN personales o de hogar, redes LAN corporativas con pocos equipos) el sistema de control de acceso por dirección MAC puede ser empleado pero no se recomienda (es posible modificar la dirección MAC de un dispositivo Wi-Fi con facilidad empleando herramientas del S.O.).

4.5 IEEE 802.11x. LAN Inalámbrica

4.5.3 Seguridad en redes Wi-Fi™

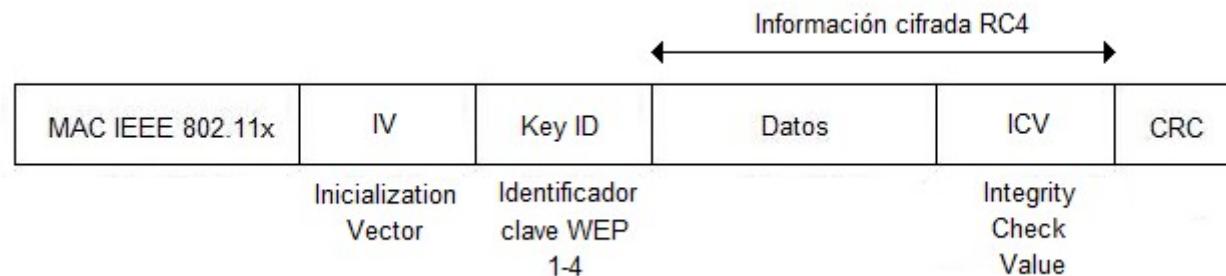
Autenticación y cifrado WEP

WEP (Wired Equivalente Privacy) fue el primer protocolo de encriptación empleado en el estándar IEEE 802.11x hacia 1999 y que se basa en el algoritmo de cifrado RC4.

El funcionamiento de WEP está basado en el conocimiento de una misma clave secreta por parte de la estación y el AP (PSK – Pre-Shared Key)

El mecanismo de autenticación consiste en que la estación proporcione una información cifrada al AP con la clave secreta. Si la información es cifrada correctamente el AP permite la conexión de la estación a la red Wi-Fi.

El objetivo de WEP no es tanto la autenticación como el cifrado de todos los paquetes intercambiados entre la estación y el AP.



La seguridad de WEP se fundamenta en una clave secreta de 64 o 128 bits, pero que no es suficiente. Actualmente, WEP está obsoleto pues es posible descubrir cualquier clave en unos pocos minutos con el software apropiado.

4.5 IEEE 802.11x. LAN Inalámbrica

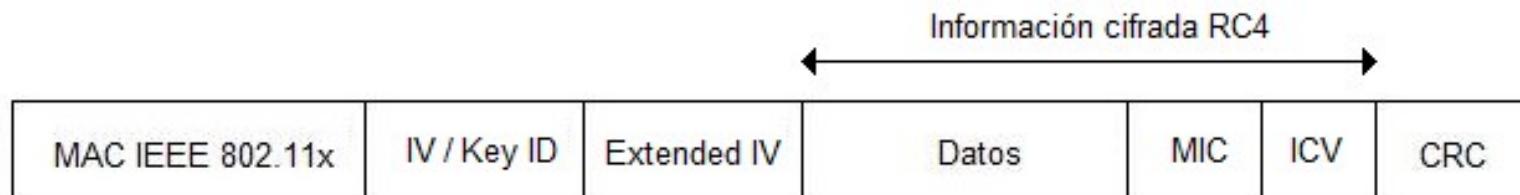
4.5.3 Seguridad en redes Wi-Fi™

Autenticación y cifrado WPA

WPA (Wi-Fi Protected Access) fue desarrollado por la Wi-Fi Alliance en 2003 para sustituir a WEP.

La principal vulnerabilidad de WEP es la capacidad de obtener la clave de cifrado. Así, WPA mantiene el mismo algoritmo de cifrado de WEP (RC4), pero introduce el mecanismo TKIP (*Temporal Key Integrity Protocol*).

TKIP modifica la clave de cifrado entre el cliente y el AP cada cierto tiempo, además de introducir un mecanismo de verificación de la integridad de los paquetes cifrados (MIC – *Message Integrity Code*).



Al aumentar el tamaño del campo IV, proporciona una mayor entropía (aleatoriedad) en el proceso de cifrado, y unido a la variación de la clave de cifrado, una mayor seguridad.

En la actualidad, el cifrado WPA basado en TKIP se ha roto. En septiembre 2009, investigadores de la Universidad de Hiroshima consiguieron romper un cifrado WPA en 1 minuto.

La solución a estos problemas de seguridad es emplear WPA2.

4.5 IEEE 802.11x. LAN Inalámbrica

4.5.3 Seguridad en redes Wi-Fi™

Autenticación y cifrado WPA

En el procedimiento de autenticación, WPA admite dos mecanismos:

WPA-Personal o WPA-PSK: En este mecanismo, cliente y AP disponen de una clave de acceso prefijada para permitir el acceso a la red inalámbrica (mismo mecanismo de WEP). La clave PSK inicial es modificada posteriormente en el cifrado al emplear TKIP.

Al emplear este mecanismo de autenticación, la vulnerabilidad principal es la fortaleza de la clave prefijada ante ataque por fuerza bruta (prueba de todas las posibles claves).

Para evitar los ataques de fuerza bruta, en la actualidad se recomienda una clave PSK de al menos 20 caracteres.

WPA-Enterprise: En este mecanismo, cada cliente autentica su acceso al AP empleando un servidor de autenticación (RADIUS). La gestión de la autenticación se realiza empleando el estándar IEEE 802.1x.

La base del funcionamiento del 802.1x es el protocolo de autenticación EAP (*Extensible Authentication Protocol*).

EAP se emplea en otros entornos, como las redes VPN, y permite realizar la autenticación de un cliente contra un servidor de autenticación (en general suele emplearse el sistema Radius).

El potencial de EAP es que permite múltiples mecanismos de autenticación (CHAP, Kerberos, certificados de seguridad, autenticación con clave pública, etc.)

4.5 IEEE 802.11x. LAN Inalámbrica

4.5.3 Seguridad en redes Wi-Fi™

Autenticación y cifrado WPA

WPA–Enterprise

Los mecanismos de autenticación empleados más frecuentemente en WPA son tres:

EAP/TLS: Autenticación basada en un certificado de servidor y cliente (requiere una infraestructura de clave públicas por parte de la entidad gestora del AP).

EAP/TTLS o PEAP: Autenticación basada en un certificado de servidor. El cliente se valida con un nombre de usuario y contraseña en un servidor RADIUS. (Ejemplo: acceso Wi-Fi en la Universidad de Alicante).

LEAP (*Lightweight EAP*): Autenticación propietaria de Cisco Systems y que no emplea certificados de seguridad. La autenticación de un cliente se realiza empleando alguno de los mecanismos de autenticación que soporta un servidor RADIUS donde se almacenan los usuarios autorizados. Uno de los mecanismos que soporta RADIUS es CHAP, que permite el intercambio de la contraseña del usuario cifrada (CHAP emplea el algoritmo MD5 para ocultar la contraseña, algoritmo que NO debe emplearse pues en la actualidad puede obtenerse la información ocultada con MD5).

El objetivo de estos tres mecanismos es proporcionar a un usuario autorizado la denominada MK – *Master Key*, clave primaria con la que se inicia el mecanismo de cifrado TKIP.

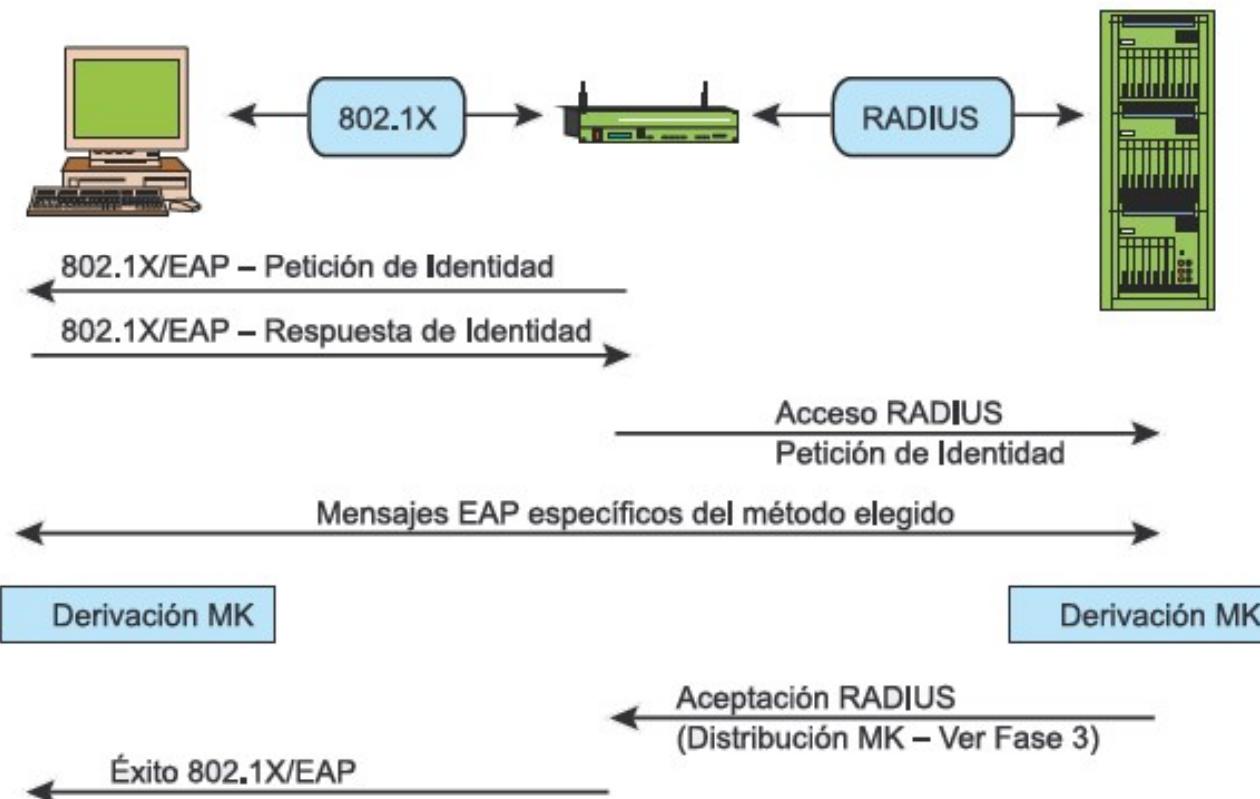
4.5 IEEE 802.11x. LAN Inalámbrica

4.5.3 Seguridad en redes Wi-Fi™

Autenticación y cifrado WPA

WPA-Enterprise

Esquema del mecanismo de autenticación 802.1x



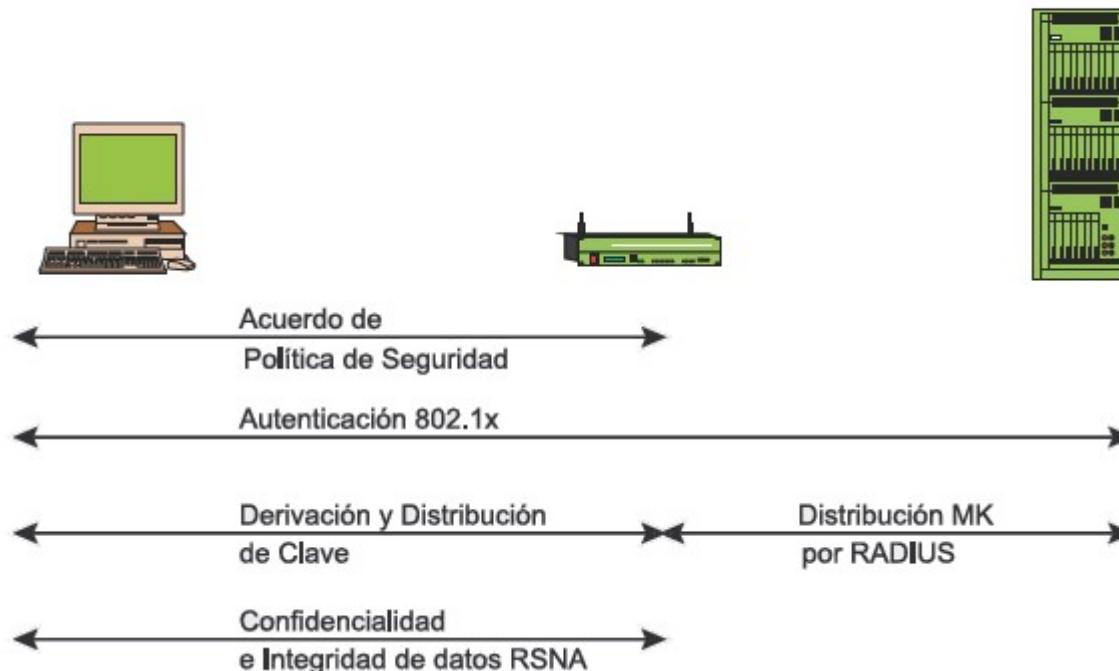
4.5 IEEE 802.11x. LAN Inalámbrica

4.5.3 Seguridad en redes Wi-Fi™

IEEE 802.11i – WPA2™

Durante la implantación de WPA para superar los críticos problemas de seguridad de WEP, la Wi-Fi Alliance estaba desarrollando un sistema de seguridad Wi-Fi que completa en 2004 en la normativa IEEE 802.11i o WPA2 como marca comercial.

WPA2 introduce un paradigma de seguridad Wi-Fi, basado en toda la tecnología desarrollada para WPA.



RSNA – Robust Security Network Association. Proporciona un sistema con integridad y confidencialidad.

4.5 IEEE 802.11x. LAN Inalámbrica

4.5.3 Seguridad en redes Wi-Fi™

IEEE 802.11i – WPA2™

WPA2 no introduce variaciones en los mecanismos de autenticación empleados en WPA (se denominan WPA2-Personal y WPA2-Enterprise), pero sí permite mejorar la seguridad del cifrado.

WPA2 permite emplear, además de TKIP, otro mecanismo de cifrado denominado **AES** (Advanced Encryption Standard).

AES es un estándar de cifrado del NIST (Instituto Nacional de Estándares de EEUU) adoptado como mecanismo estándar de cifrado por el gobierno de EEUU.

AES emplea claves de cifrado de 128 bits cuando se emplea en WPA2. En la actualidad, este esquema de cifrado no se ha roto y por tanto es el más recomendable para accesos Wi-Fi. Sin embargo, existen vulnerabilidades (ataque de fuerza bruta en WPA2-PSK, denegación de servicio empleando desautenticación) que han llevado a introducir WPA3 en junio de 2018.

Wi-Fi CERTIFIED WPA3™

WPA3 establece mejoras en varias líneas:

- a) Aumento de la seguridad del cifrado WPA2-PSK. WPA3-PSK desarrolla un nuevo protocolo para establecer claves de cifrado seguras a partir de las claves PSK débiles que suelen emplear los usuarios.
- b) Aumento de la seguridad del cifrado en WPA3-Enterprise empleando AES con una clave de 192 bits.
- c) Mecanismos de cifrado individuales en las redes Wi-Fi abiertas con el procedimiento Wi-Fi CERTIFIED Enhanced Open™.