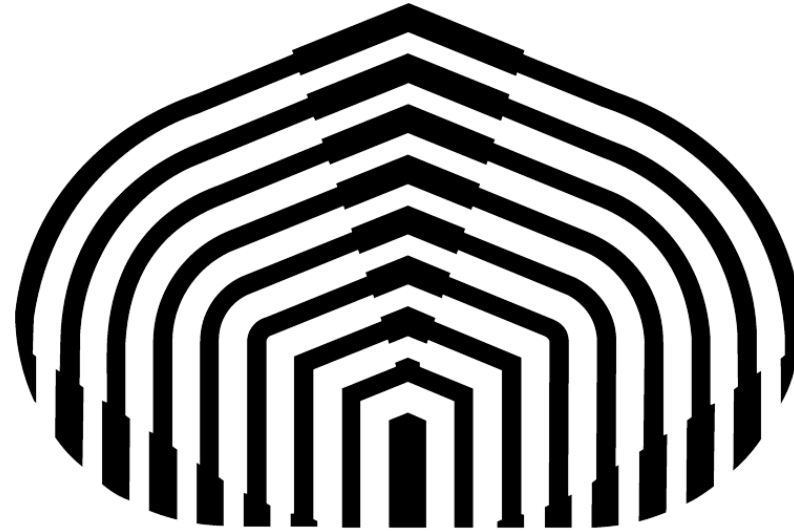


REDES DE COMPUTADORAS

EC5751



USB

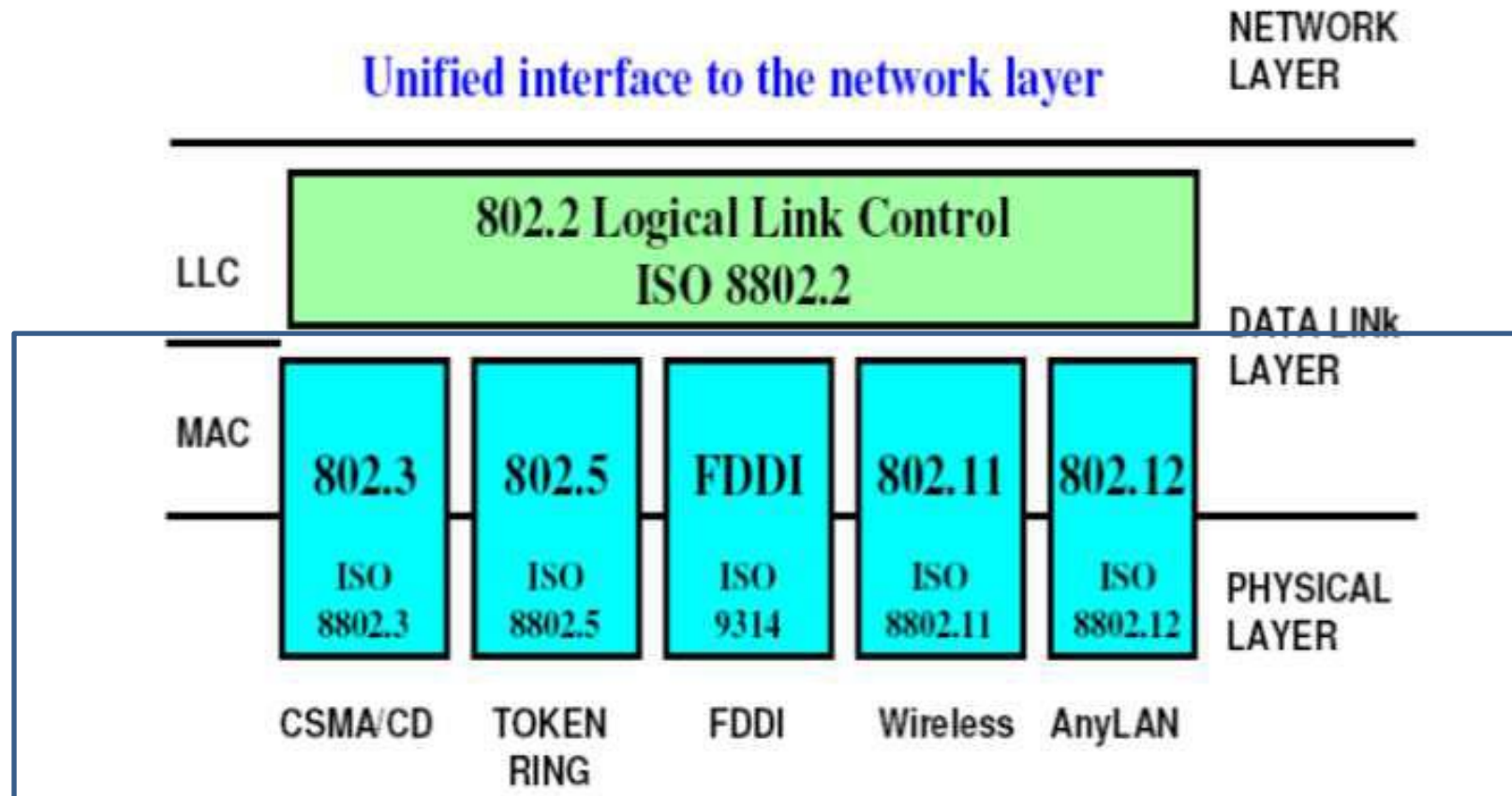
Capa de Enlace II

Prof. Mariano Arias

LA CAPA DE ENLACE

MAC

Esta sub capa es especifica para cada red LAN y define el método que será empleado para compartir el medio

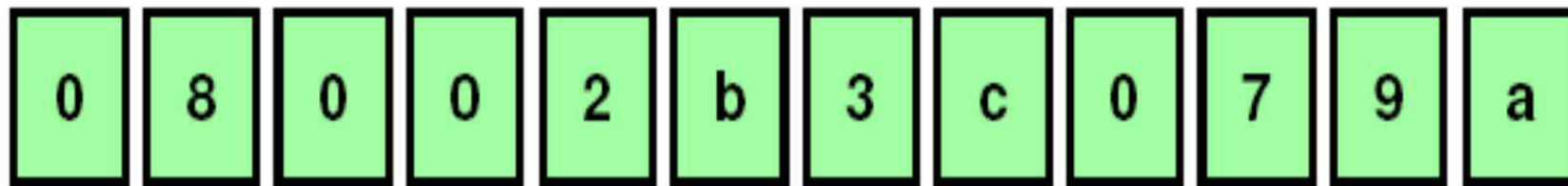


LA CAPA DE ENLACE

MAC: Direcciones MAC (MAC Address)

- Dirección de control de acceso al Medio (Media Access Control **Address**) es un identificador único asignado a las interfaces de red.
- Han sido estandarizadas por la IEEE (MAC-48 y EUI-48).
- Compuestas de 6 bytes (48 bit) representados en 6 pares de números hexadecimales (Existe la EUI-64 que son 8 bytes).
- Administration Universal/Local: Segundo bit menos significativo del primer octeto en 0/1

000010000000000000101011001111000000011110011010



08-00-2b-3c-07-9a

LA CAPA DE ENLACE

MAC: Direcciones MAC (MAC Address)

- Está compuesta de dos partes de 3 bytes cada una:
- 3 bytes más significativos identifican al fabricante, son la OUI (Organization Unique Identifier).
- Los 3 bytes restantes son asignados por el fabricante

Tipos:

- Unicast: Bit menos significativo del primer octeto en 0.
- Multicast: Bit menos significativo del primer octeto en 1
- Broadcast : ff-ff-ff-ff-ff-ff

Estandarizadas por la IEEE



OUI assigned by IEEE

Assigned by manufacturer

<u>Organization</u>	<u>Address Block</u>
Cisco	00000C
DEC	08002B
IBM	08005A
Sun	080020
Proteon	000093
Bay-Networks	0000A2

<http://standards.ieee.org/develop/regauth/oui/public.html>

LA CAPA DE ENLACE

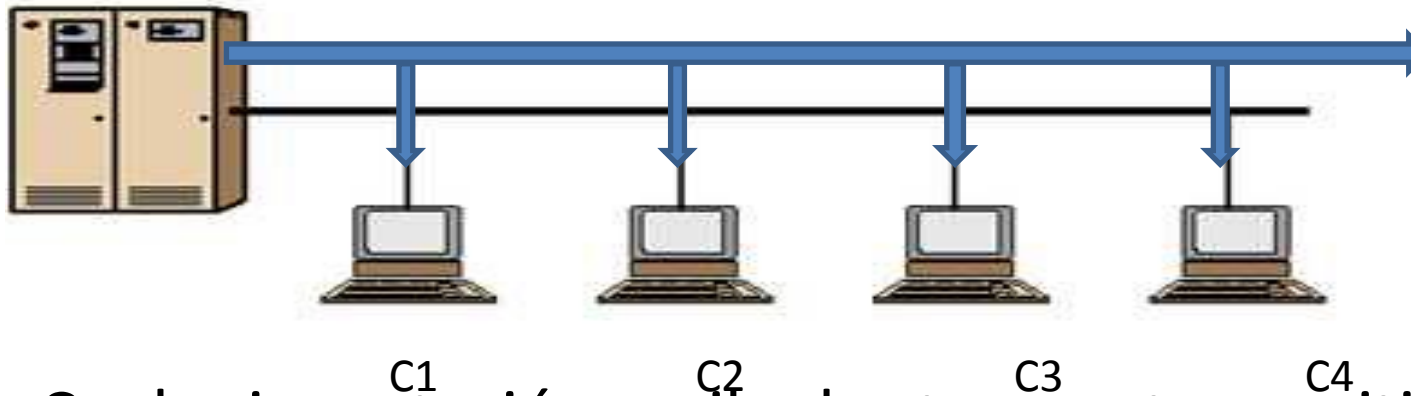
MAC: Métodos de acceso al canal para múltiples usuarios

- Se busca una alta utilización del canal.
- Igualdad de condiciones en la asignación del canal, esta puede ser centralizada o distribuida.
- Proceso simple y de bajo costo.
- Tolerante a falla y minimice errores.
- Esquemas utilizados:
 - **Asignaciones Fijas:** Partición del canal (Pe: Polling, Broadcast) o Circuit switching (TDMA, FDMA, CDMA usados en ambientes wireless/celulares).
 - **Basados en Contención:** Asignación aleatoria con colisiones (Aloha, Ethernet), Paso de Token (Token Passing) o por Reservación del canal.

LA CAPA DE ENLACE

MAC: Técnicas fijas de asignación

Polling donde hay un arbitro (o fiscal) que se encarga de indicarle a quien le toca usar la línea en cada momento.



Broadcast: Cualquier estación recibe las tramas transmitidas desde otra estación.

- Como el medio es confiable (low bit error rate) es posible que la capa 2 no corrija errores sólo detecte.
- Las LANs implementan una comunicación no orientada a conexión

LA CAPA DE ENLACE

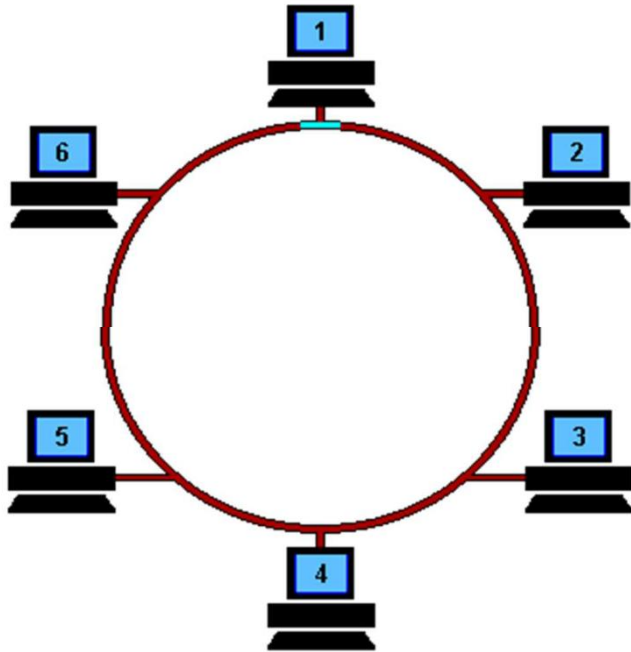
MAC: Basadas en Contención

- Usan Control de acceso o protocolos que determinan cuál de los computadores puede transmitir los datos.
- Requieren métodos para moderar o arbitrar el acceso al medio (protocolos MAC)
- Las Transmisiones son enviadas por un nodo y recibidas por todos los demás.
- Existen dos políticas de acceso al medio:
 - Determinística (token passing): aplican el concepto: **“esperar hasta que llegue su turno”**
 - No determinística (CSMA/CD): aplican el concepto : **“el primero que llega se sirve primero”**

LA CAPA DE ENLACE

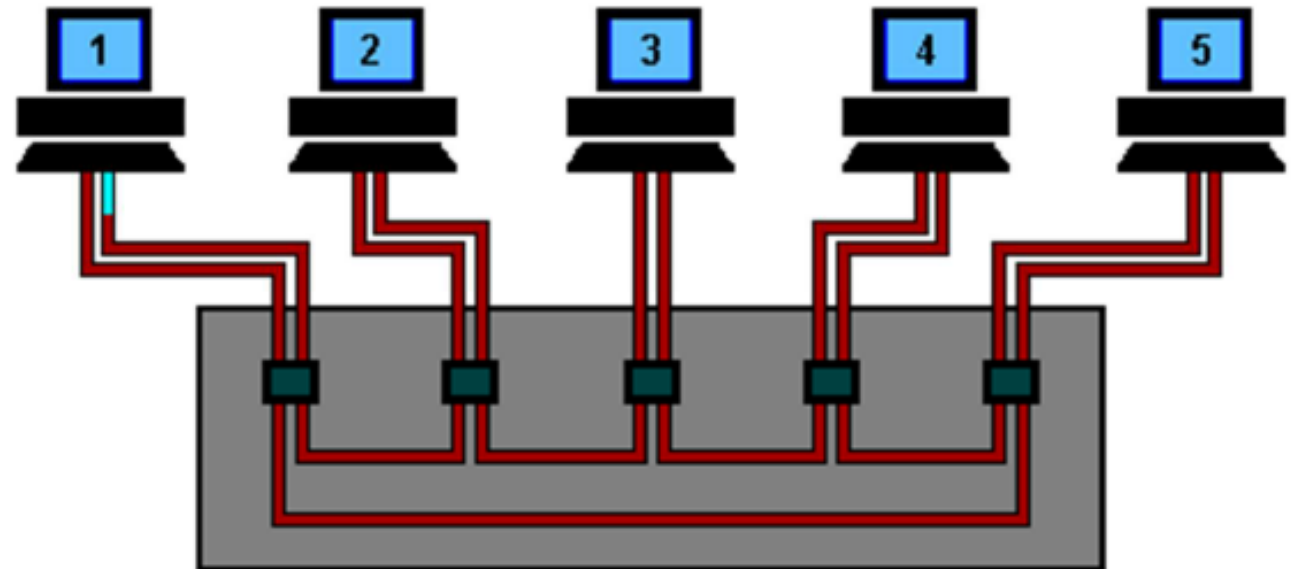
MAC: Token Passing (Token Ring)

Esquema Físico y original



- Desarrollado por IBM en los 1970's
- Se recomienda si el retardo en el envío de datos es predecible
- Puede soportar tasas de datos de 16 Mbps
- Se uso con cables de par trenzado
- Mayor throughput en alto trafico

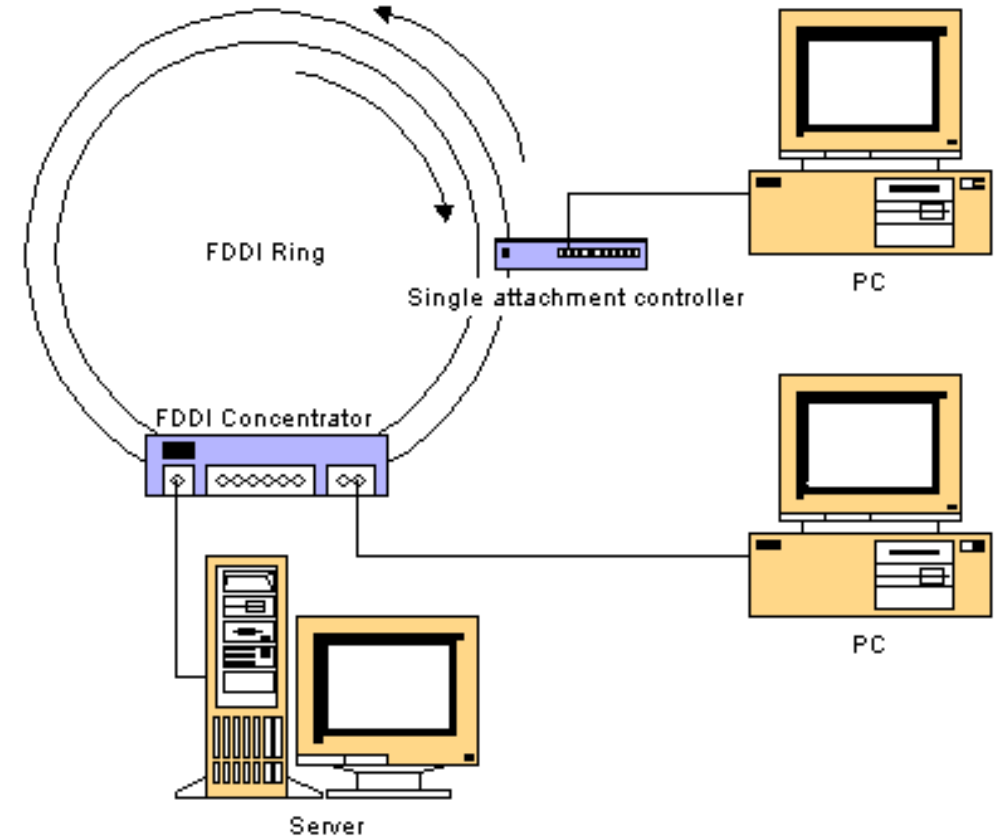
Esquema Practico



LA CAPA DE ENLACE

MAC: FDDI

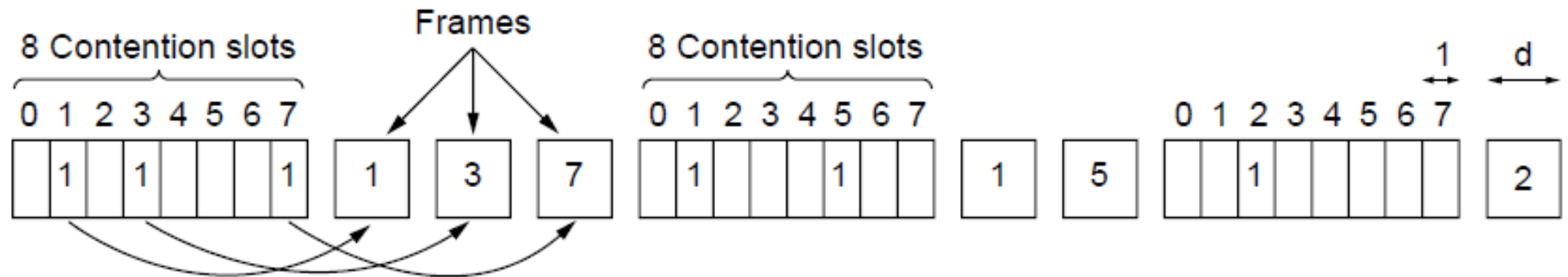
- FDDI es un estándar desarrollado por la ANSI para la transmisión de datos sobre fibras ópticas.
- Usa anillo duales.
- El primer anillo es la vía principal hasta 100 Mbps
- El segundo anillo es respaldo por si el primer anillo falla.
- Si no se requiere respaldo, se puede utilizar el segundo anillo disponiendo hasta 200 Mbps.
- Soporta hasta 1000 nodos.
- Rango efectivo de hasta 200 km.



LA CAPA DE ENLACE

MAC: BitMap (Collision Free)

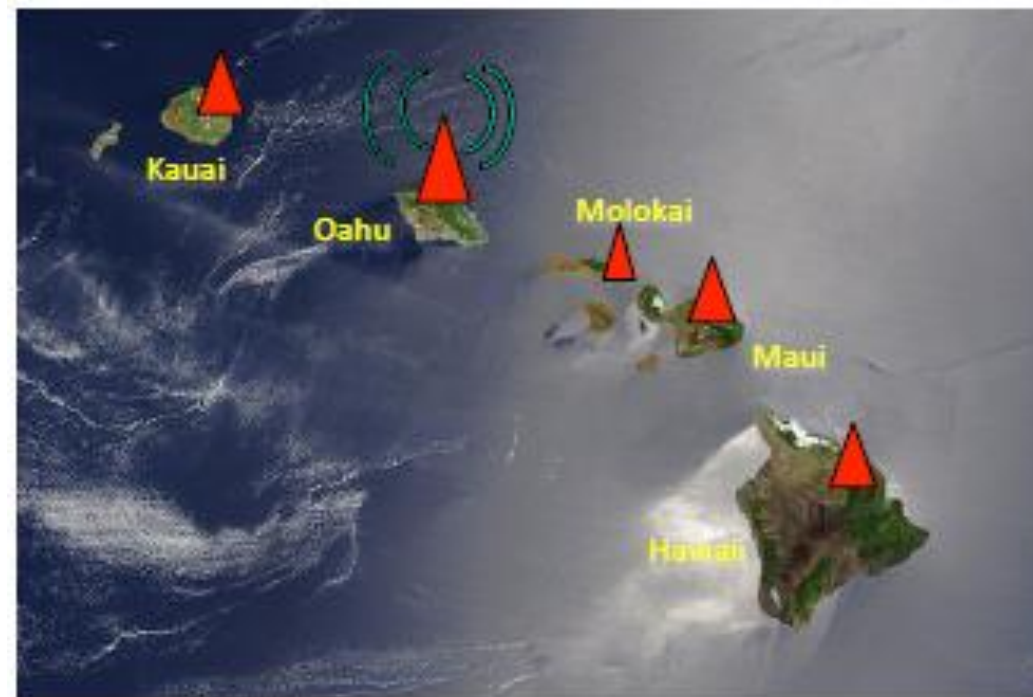
- El protocolo libre de colisión las evita por completo
 - Los emisores deben saber cuando es su turno para transmitir
- El protocolo básico de bit-map:
 - Emisor configura un bit en la ranura de contención si tienen datos para transmitir
 - Los emisores envían en turnos; todos conocen quienes tienen datos



LA CAPA DE ENLACE

MAC: Red ALOHA

- Fue desarrollado en la Universidad de Hawai en 1970
- No se usa pero fue la base para la implementación de Ethernet
- En el ALOHA puro, los usuarios transmiten cada vez que tienen datos; si ocurre una colisión los emisores vuelven a tratar de enviar en un tiempo aleatorio.
- Es eficiente y con bajo retardo en situaciones de baja carga

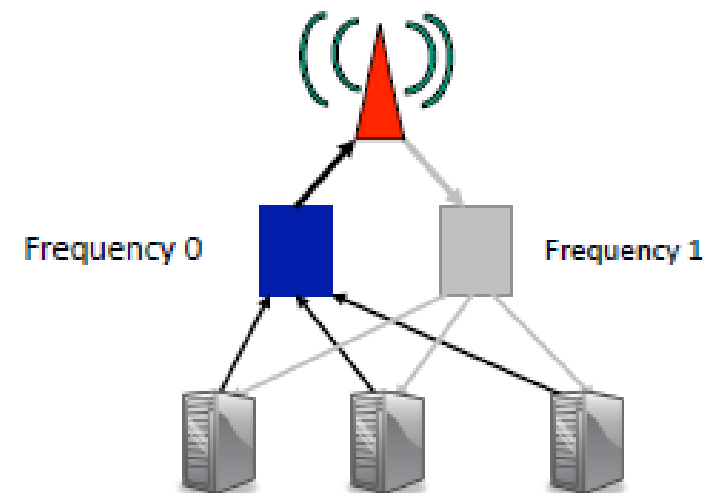


LA CAPA DE ENLACE

MAC: CSMA (Carrier Sense Multiple Access)

- CSMA mejora ALOHA ¡escuchando el canal!
 - El usuario no emite si determina que alguien lo está haciendo
- Variaciones (que hacer dependiendo de la ocupación del canal):
 - “1-persistente” envía una señal apenas tenga oportunidad
 - “No persistente” espera un tiempo aleatorio y trata de Tx
 - “p-persistente” envía con una probabilidad p cuando está sin uso el canal

Aloha



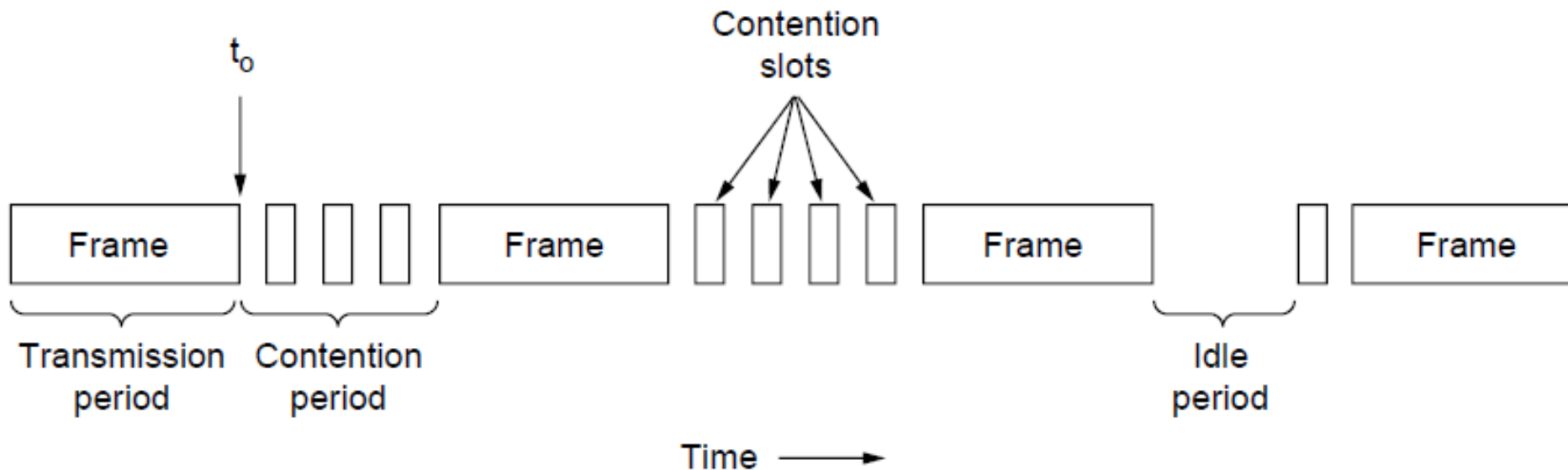
- Se utilizaban dos frecuencias (subida al Host) y retorno a todos (broadcast).

LA CAPA DE ENLACE

MAC: CSMA/CD (Collision Detect)

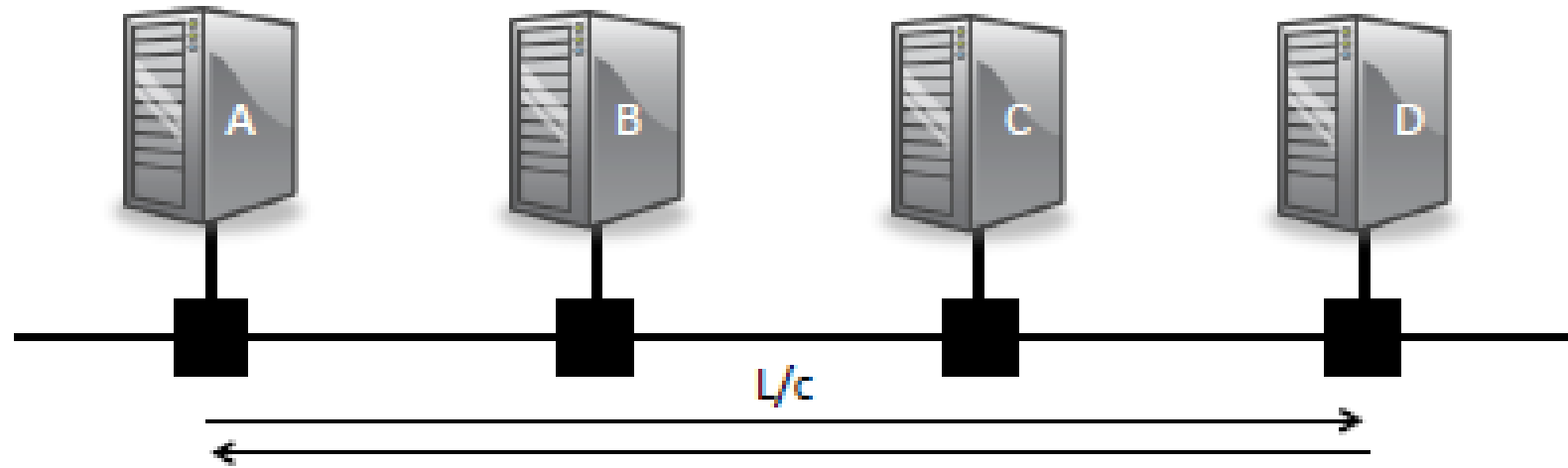
CSMA/CD mejora la detección/aborto de colisiones:

- Cuando algún host quiere transmitir “escucha” el canal (CS)
- Todos pueden hacerlo a la vez (MA)
- Si hay una colisión, interrumpe la Tx y espera un tiempo aleatorio (1ra vez duración de 96 bits) (CD).
- Reduce los tiempos de retención por lo que mejora el rendimiento



LA CAPA DE ENLACE

MAC: CSMA/CD (Collision Detect)



Se requiere un tamaño mínimo de trama "P" que garantice se detectan las colisiones.

$$\frac{P}{R} \geq \frac{2L}{c}$$

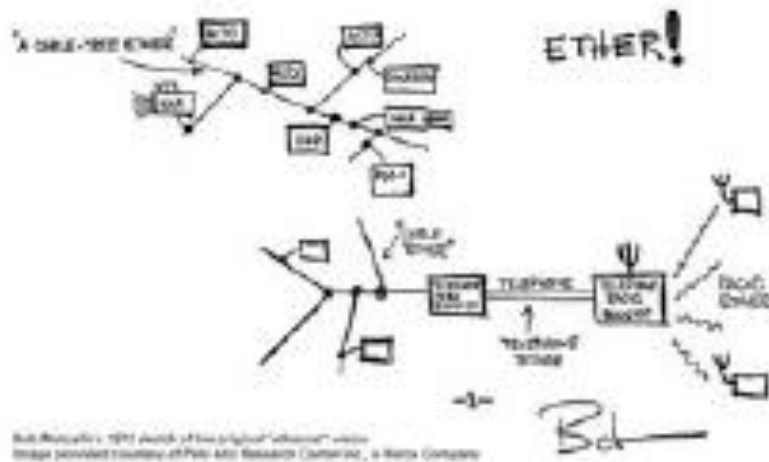
Ejemplo: Red ethernet de 10 Km, a 10 Mbps, Cual seria el tamaño mínimo de paquete
($c = 2 \times 10^8$ m/seg)

Resp: 1000 Bits (128 Bytes)

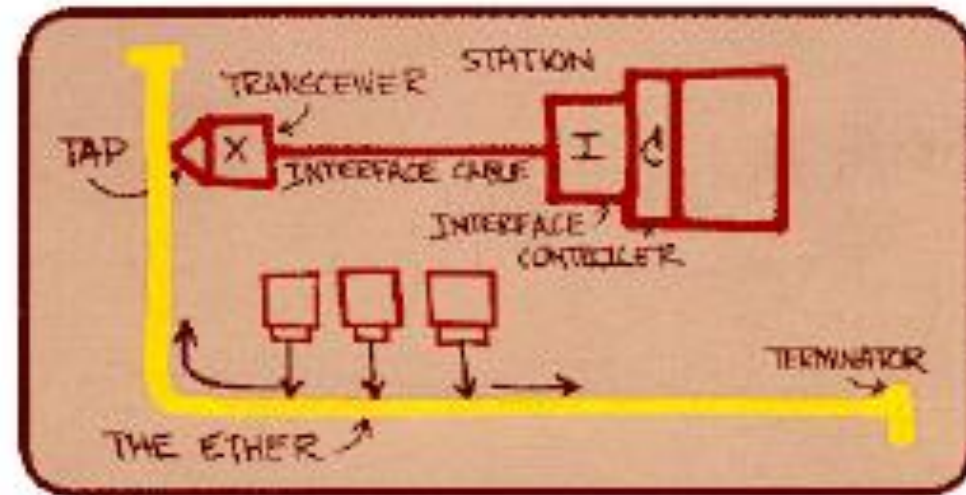
LA CAPA DE ENLACE

MAC: Ethernet Clásico (CSMA/CD - IEEE 802.3)

The Original Ethernet



Bob Metcalfe's 1973 sketch of the original "ethernet" system.
Image provided courtesy of Palo Alto Research Corporation, a Xerox Company.

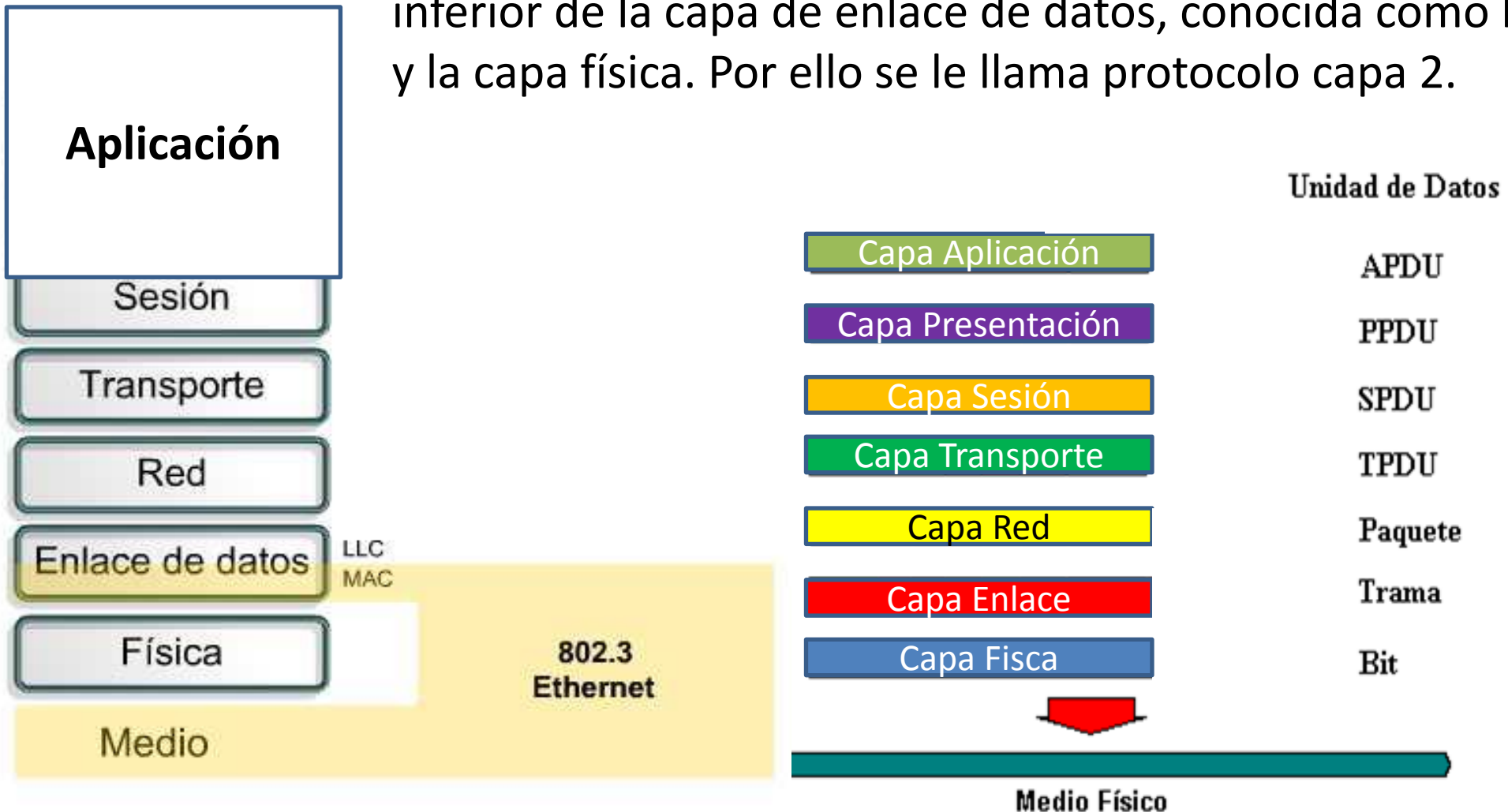


Original pictures drawn by Bob Metcalfe,
co-inventor of Ethernet (1972 – Xerox PARC)

LA CAPA DE ENLACE

MAC: Ethernet Clásico (CSMA/CD - IEEE 802.3)

Ethernet opera en dos capas del modelo OSI, la mitad inferior de la capa de enlace de datos, conocida como MAC, y la capa física. Por ello se le llama protocolo capa 2.

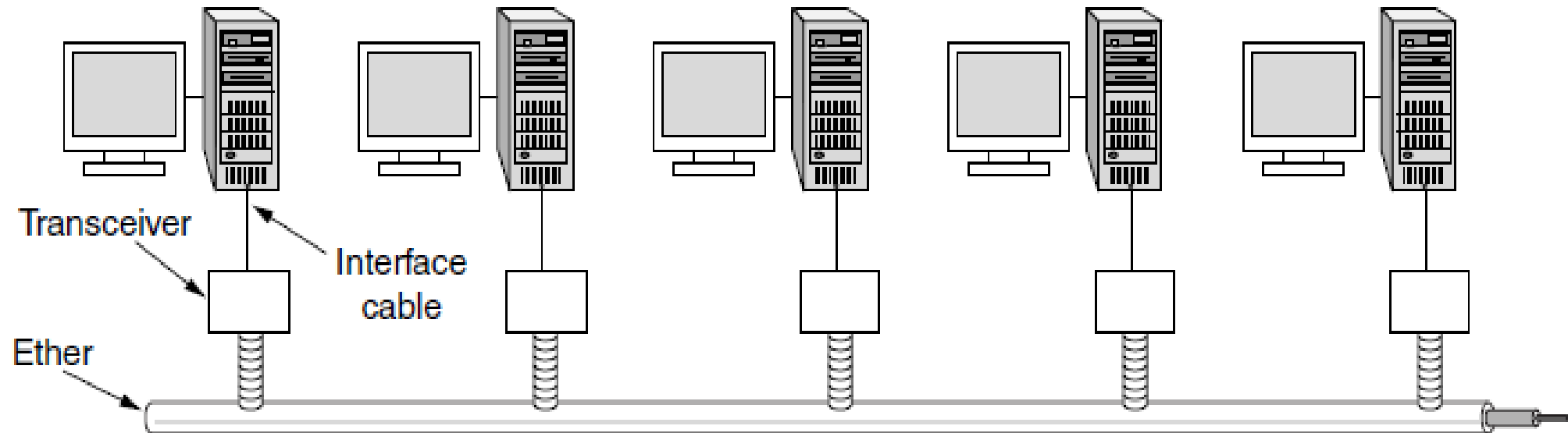


LA CAPA DE ENLACE

MAC: Ethernet Clásico (CSMA/CD - IEEE 802.3)

Un cable compartido con todas las estaciones conectadas

- Hasta 10 Mbps, con codificación tipo Manchester.
- El “**ETHER**” era un cable amarillo “muy grueso” tipo coaxial.
- Se utilizaban “Transceiver” (acopladores), “atornillados” al cable.



LA CAPA DE ENLACE

MAC: Ethernet Clásico (CSMA/CD)

Trama DIX Ethernet	Preámbulo		Destino	Origen	Tipo	Datos	Relleno	FCS
	8 bytes		6 bytes	6 bytes	2 bytes	0 a 1500 bytes	0 a 46 bytes	2 ó 4 bytes
Trama IEEE 802.3	Preámbulo	SOF	Destino	Origen	Longitud	Datos	Relleno	FCS
	7 bytes	1 byte	6 bytes	6 bytes	2 bytes	0 a 1500 bytes	0 a 46 bytes	4 bytes

Trama o Datagrama

Preámbulo: 7 Bytes (56 bits) sincronizar y estabilizar el medio físico

10101010 10101010 10101010 10101010 10101010 10101010 10101010

Inicio de Trama o SOF (Start Of Frame): 1 Byte con patrón 10101011.

Destino: 6 Bytes (48 bits) MAC hacia la que se envía la trama.

Origen: 6 Bytes MAC desde la que se envía la trama.

Tipo: 2 Bytes identifica protocolo asociado a la trama (IP, ARP, etc)

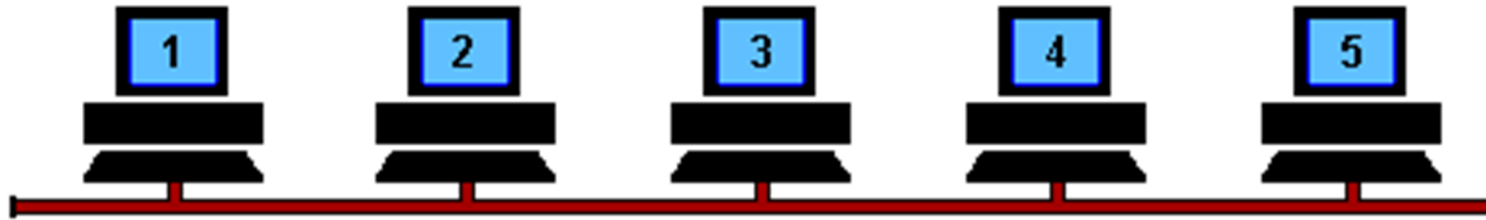
Datos: 0 a 1500 Bytes de longitud, información a enviar.

Relleno: 0 a 46 Bytes, garantiza los 64 Bytes mínimos necesarios para la detección de colisiones (trama muy corta).

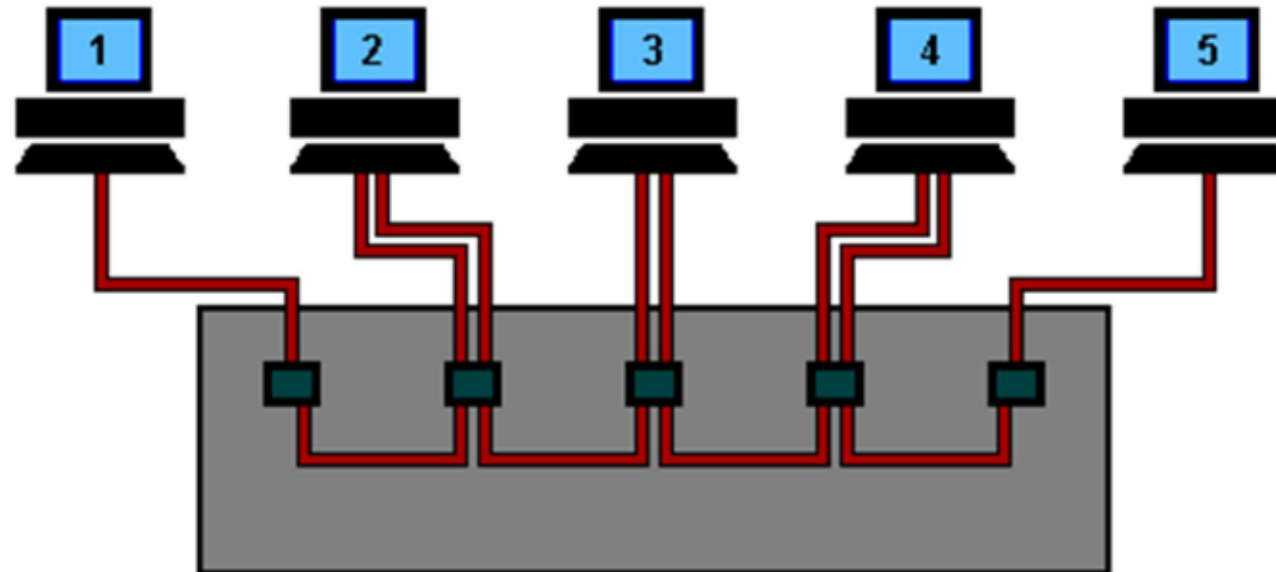
FCS : 4 Bytes que contienen el CRC para detectar errores.

LA CAPA DE ENLACE

MAC: Ethernet Clásico (CSMA/CD - IEEE 802.3)



Modelo Clásico



Modelo Actual

LA CAPA DE ENLACE

MAC: Ethernet Clásico (CSMA/CD - IEEE 802.3)

Ethernet MAC Protocol

10Base-5

10Base-2

10Base-T

10Base-F



10 Base 5: Ethernet Original hasta 2 Mbps/ 500 mts.

10 Base 2: Cable delgado, hasta 5 Mbps/185 mts.

10 Base T: Cable telefónico nivel 3 (masifico el mercado), hasta 10 Mbps/150 mts.

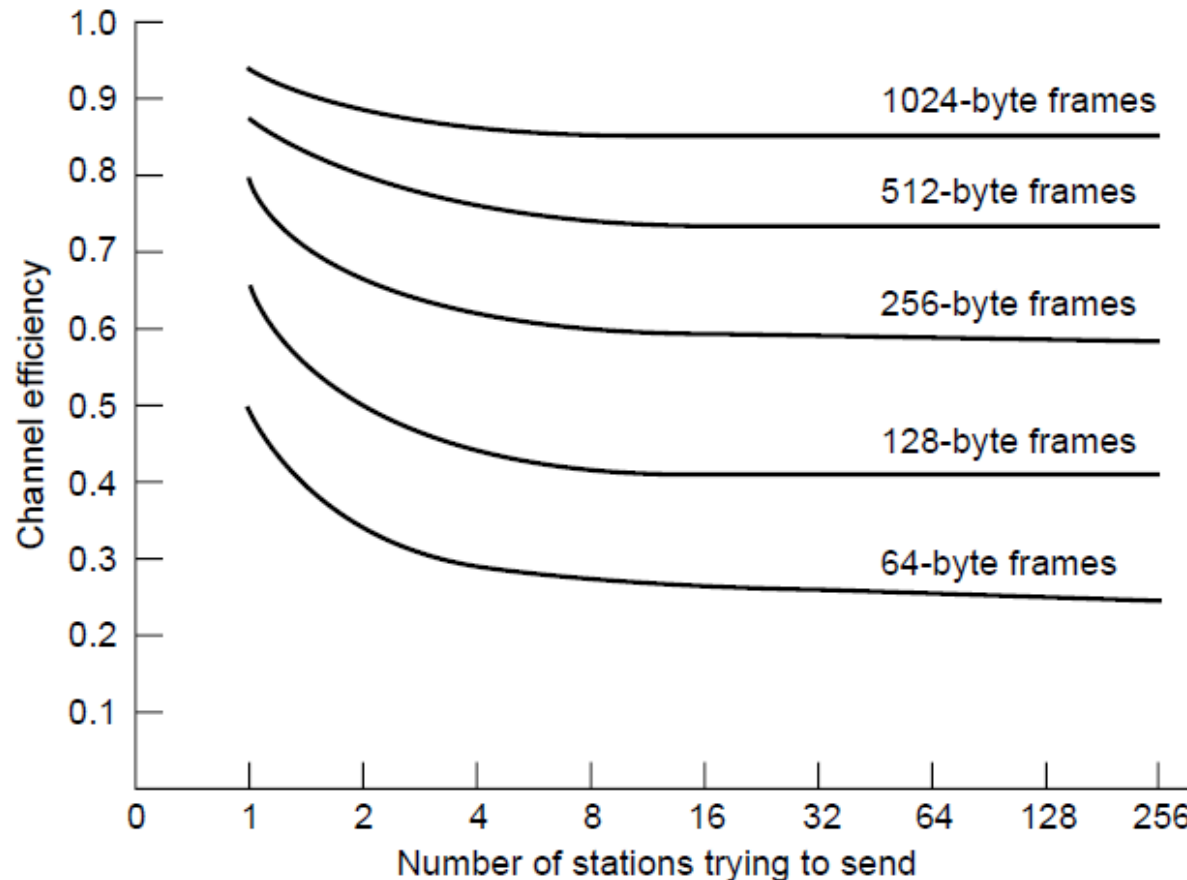
10 Base F: sobre fibra (2 hilos, bidireccional), hasta 10 Mbps./1000 mts

LA CAPA DE ENLACE

MAC: Ethernet Clásico (CSMA/CD)

Rendimiento

- Eficiente para tramas largas, inclusive con muchos clientes tratando de enviar
- Se degrada para tramas pequeñas (y LAN's grandes)



LA CAPA DE ENLACE

MAC: Fuentes de error de Ethernet

- **Colisión o runt:** Transmisión simultánea producida antes de la ranura temporal.
- **Colisión tardía:** Transmisión simultánea producida después de la ranura temporal.
- **Errores de intervalo, trama larga, jabber:** Transmisión larga.
- **Trama corta, fragmento de colisión o runt:** Transmisión corta.
- **Error de alineamiento:** Número insuficiente o excesivo de bits.

Causados por controladores de software dañados, fallas de cableado, si es colisión causa fallas de checksum (FCS).

- **Error de intervalo:** no concuerda el número de bytes real y el informado en una trama
- **Fantasma o jabber:** Preámbulo inusualmente largo o congestión.

LA CAPA DE ENLACE

MAC: Parámetros de Ethernet

Espacio entre tramas tiempo mínimo entre dos tramas sin colisión

- Se requiere para que las estaciones tengan tiempo para atrapar una trama y prepararse para la siguiente.

Velocidad	Espacio entre las tramas	Tiempo requerido
10 Mbps	96 tiempos de bit	9.6 μ s
100 Mbps	96 tiempos de bit	0.96 μ s
1 Gbps	96 tiempos de bit	0.096 μ s
10 Gbps	96 tiempos de bit	0.0096 μ s

La **postergación** tiempo aleatorio que espera una estación involucrada en una colisión antes de volver a intentar transmitir

- Si tras 16 intentos no se envía la trama, se descarta

Velocidad:	Ranura temporal	Intervalo de tiempo
10 Mbps	512 bit-times	51.2 μ s
100 Mbps	512 bit-times	5.12 μ s
1 Gbps	4096 bit-times	4.096 μ s
10 Gbps	no es aplicable	no es aplicable

LA CAPA DE ENLACE

MAC: Parámetros de Ethernet

Auto Negociación

Es un método para configurar de forma automática las interfaces en parámetros como la velocidad y la capacidad

- Permite que las tecnologías a 10, 100, 1000 Mbps (y otras) puedan operar directamente (negociación de velocidad)
- También se puede negociar el **modo de envío** (half-duplex o full-duplex), según el siguiente orden de prioridad:

- 1000BASE-T full duplex
- 1000BASE-T half duplex
- 100BASE-TX full duplex
- 100BASE-TX half duplex
- 10BASE-T full duplex
- 10BASE-T half duplex

LA CAPA DE ENLACE

MAC: Ethernet Clásico (CSMA/CD – IEEE 802.3)

Algunos hechos importantes

- Fue la primera red en proveer CSMA/CD
- Desarrollada en 1972 por Xerox PARC (Palo Alto Research Center) en cooperación con DEC e Intel
- Es una rápida y confiable solución de Red
- Es el estándares de redes locales más ampliamente utilizado
- Actualmente permite tasas de transmisión de datos que van de los 10Mbps hasta los 10 Gbps (ya hay desarrollos a 40 y 100 Gbps).
- Actualmente es empleada con topología física estrella y Switches (no hay colisión).

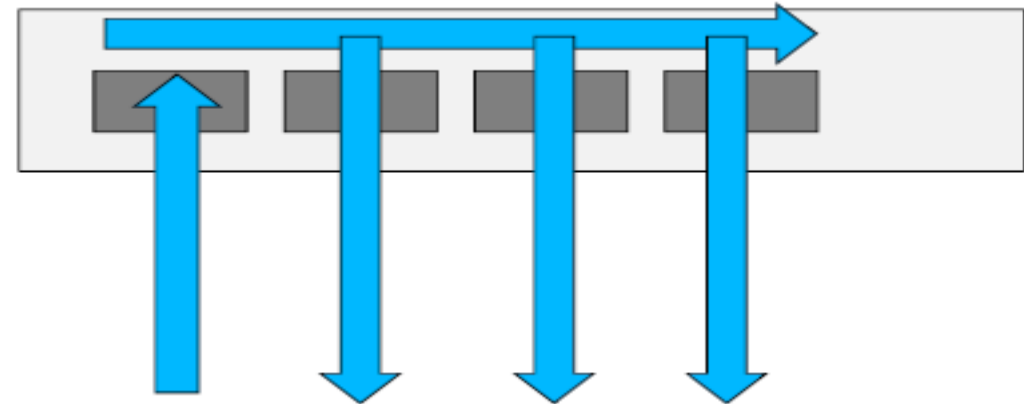
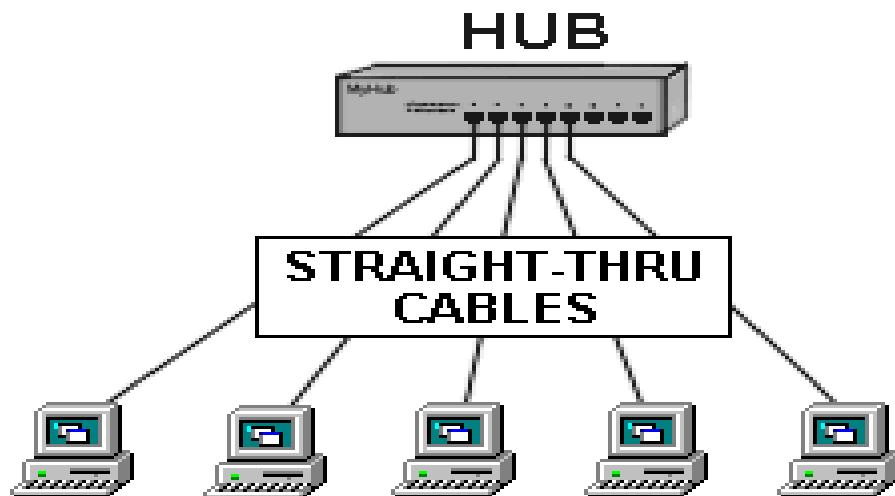
LA CAPA DE ENLACE

HUB o Concentrador



Hub LAN

- “Concentra” las conexiones a las interfaces de las computadoras de la red, desde el parten los cables de par trenzado siguiendo una topología de estrella.
- Normalmente funciona como un repetidor, y no modifica de ningún modo la señal, excepto amplificándola para reforzarla al repetirla por cada uno de sus puertos.
- Opera en el nivel físico, por lo que los equipos conectados están en la misma red.



LA CAPA DE ENLACE

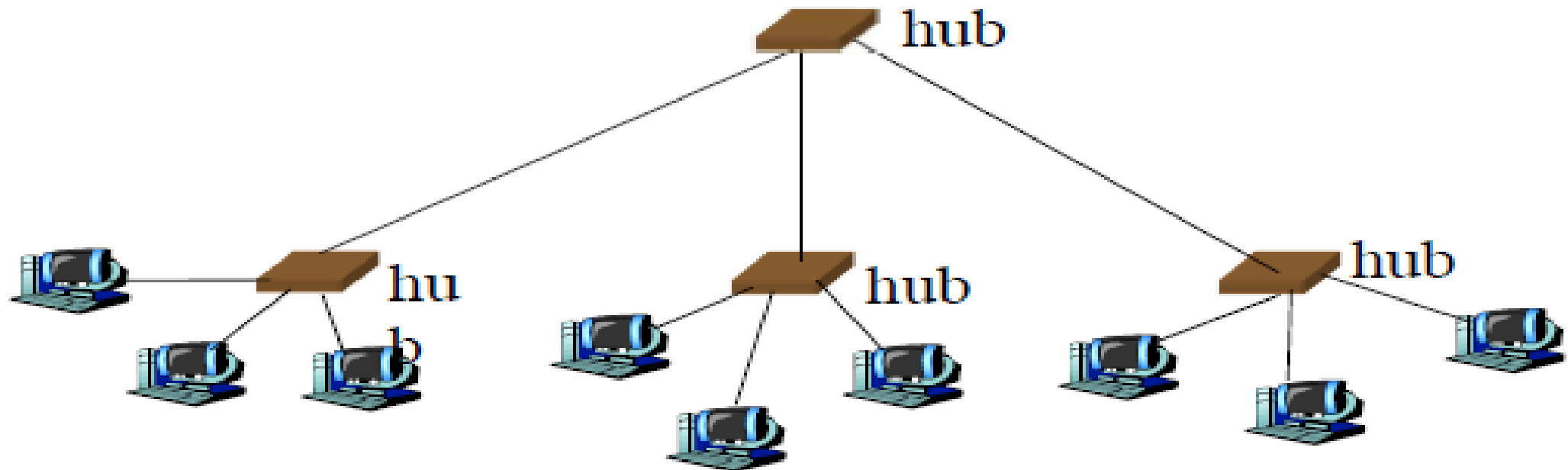
HUB o Concentrador



Hub LAN

Backbone de HUB's permite interconectar varios segmentos de un red LAN

- Extiende distancia máxima entre nodos
- Pero segmentos de colisión individuales se transforman en un gran "dominio de colisión"
- No se puede conectar velocidades y tipos distintos de red (10BaseT y 5BaseT)



LA CAPA DE ENLACE

Dominio de Colisión

- **Un dominio de colisión es un segmento del cableado de la red donde ocurren colisiones**, es decir que cada vez que se produzca una colisión, afectará a todos los ordenadores conectados a ese segmento, pero no a los ordenadores pertenecientes a otros dominios de colisión.
- Todas las ramas de un hub forman un mismo dominio de colisión (las colisiones se retransmiten por todos los puertos del hub).
- Se acepta un número aproximado de 25-30 equipos como medida máxima que se pueden conectar dentro de un mismo dominio de colisión. Pero este número depende en gran medida del tráfico de la red . Este es un detalle importante a tomar en cuenta durante el diseño y la implementación.

LA CAPA DE ENLACE



Bridge - Puento

La primera solución a este problema la dio **el Puento (“Bridge”)**

Es un dispositivo que interconecta las redes y proporciona un camino de comunicación entre dos o más segmentos de red o subredes. El Bridge permite extender el dominio de “broadcast”, pero limita el “**dominio de colisión**”. Separan redes a nivel MAC.

Las razones para utilizar un puente son las siguientes:

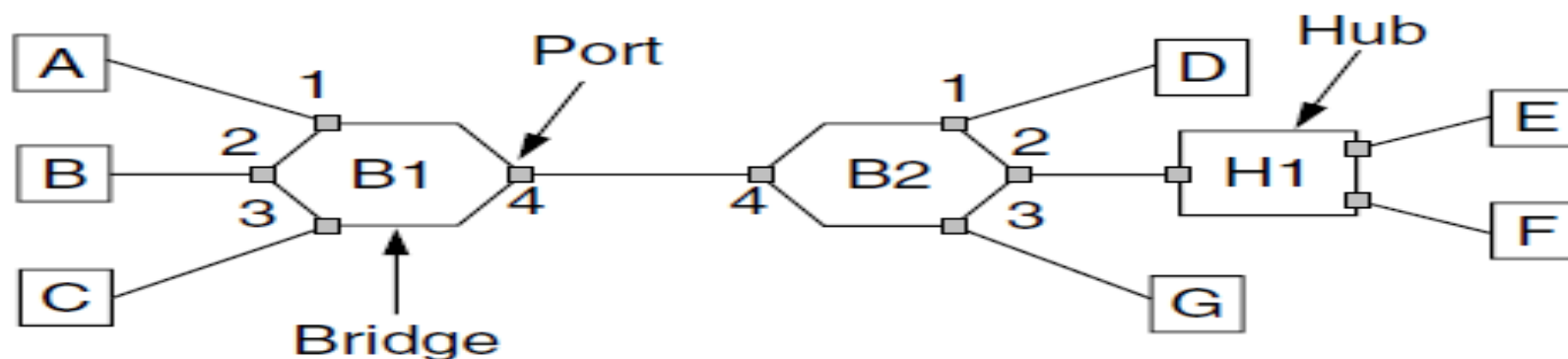
- Ampliar la extensión de la red o el número de nodos que la constituyen.
- Reducir el cuello de botella del tráfico causado por un número excesivo de nodos unidos.
- Unir redes distintas y enviar paquetes entre ellas, se asume que ejecutan el mismo protocolo de red.

LA CAPA DE ENLACE



Bridge - Punte

- Objetivos:
 - Mejorar rendimiento (separan tráfico local)
 - Aumentar seguridad (los sniffers ya no capturan todo el tráfico)
 - Aumentar la fiabilidad (actúan como puertas cortafuegos, un problema que ya no afecta a toda la red)
 - Permitir la interoperabilidad entre redes diferentes (Ethernet-WiFi)
 - Mejorar alcance
 - Permitir un mayor número de estaciones

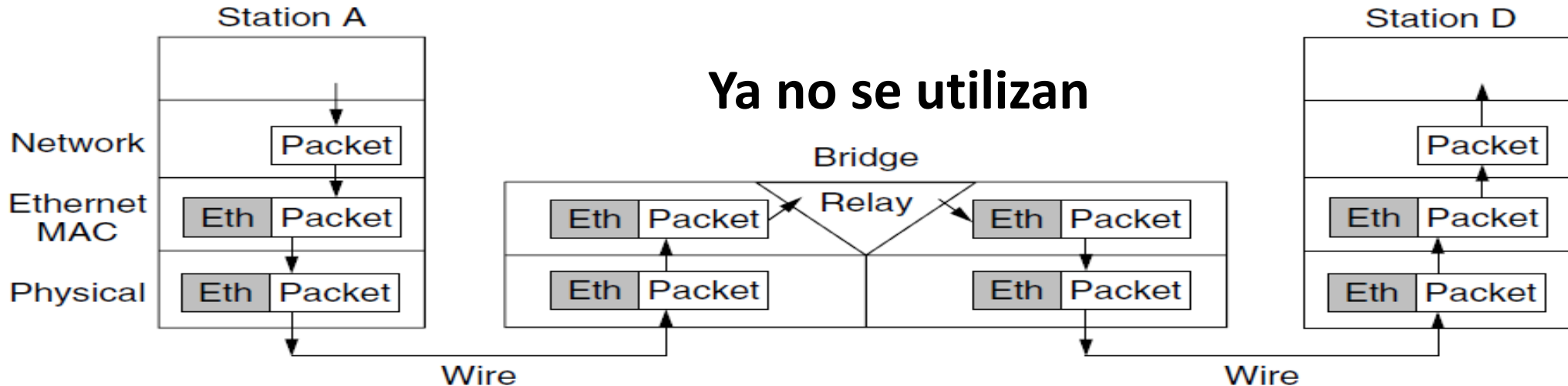


LA CAPA DE ENLACE

Puentes - Bridge

Los Puentes contienen:

- Algoritmos de aprendizaje retrospectivo elije el puerto de salida:
 - Asocia la dirección origen en la trama con el puerto de entrada
 - La trama con la dirección destino es enviada al puerto aprendido
 - Destinos no conocidos son enviados a todos los puertos
- No necesita configuración (trabajan en capa 2)
 - Olvida las direcciones no usadas para permitir cambios
 - Ancho de banda eficiente para tráfico en ambos sentidos



LA CAPA DE ENLACE

Conmutadores/Switches

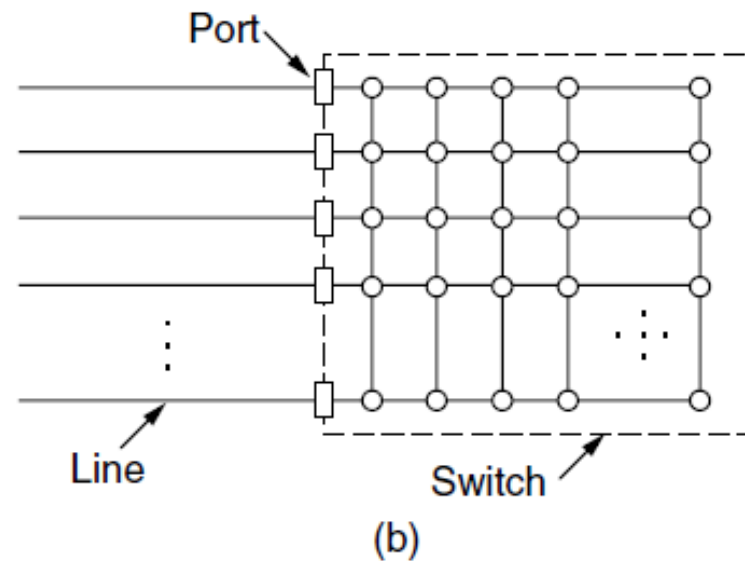
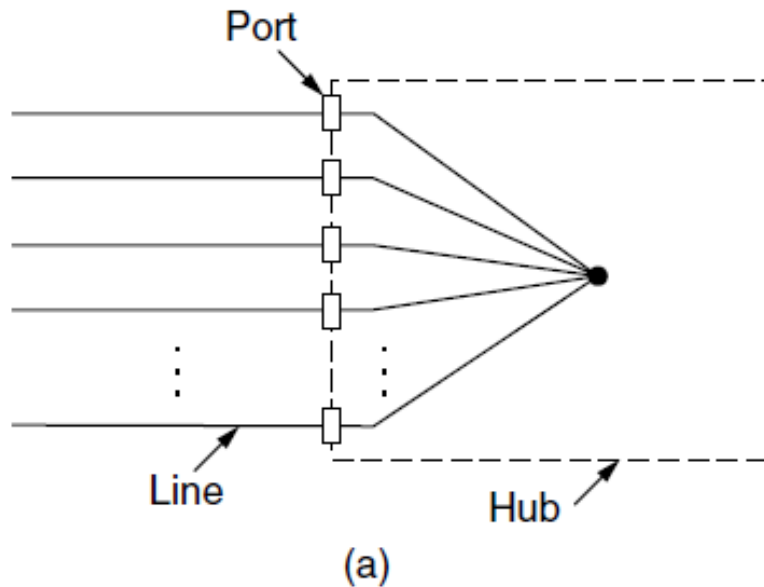


- Conmutar: Cambiar una cosa por otra, en nuestro caso cambiar un circuito por otro.
- Estos servicios se desarrollan en las capas mas bajas, típicamente en la 2 y 3
- Sin embargo hay nuevos modelos que apuntan a hacer esto en los niveles mas altos.
- Inicialmente eran 100% Hardware, ahora se tiende a ir hacia aplicaciones de Software.
- Se les conoce como puentes transparentes o Switch capa 2.

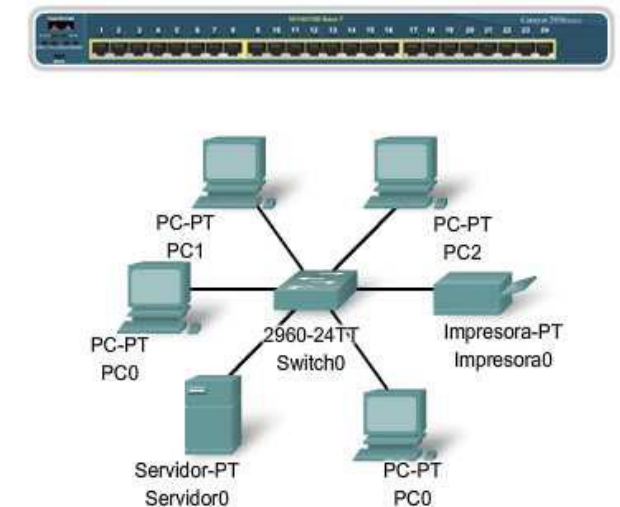
LA CAPA DE ENLACE

Switches

- Los Concentradores o hubs conectan todas las líneas en un dominio de colisión, la transmisión era Half Duplex.
- Los Conmutadores o switches aíslan cada puerto en un dominio separado
 - Mas ancho de banda para múltiples puertos
 - No se necesita CSMA/CD y todas las líneas son full-duplex



Migración a switches Ethernet



LA CAPA DE ENLACE

Switches

- Suelen contener 3 diodos luminosos para cada puerto: uno enciende si hay señal (link), otro indica la velocidad de la rama (100 Mbps encendido, 10 Mbps apagado) y el último se enciende si se producen colisiones en esa rama
- Cada puerto tiene un buffer o memoria intermedia para almacenar tramas Ethernet.
- Puede trabajar con velocidades distintas en sus ramas (autosensing): unas ramas pueden ir a 10 Mbps y otras a 100 Mbps o mas.
- Normalmente los switches tienen muchas más interfaces (40-500) que los puentes (2-6).



LA CAPA DE ENLACE

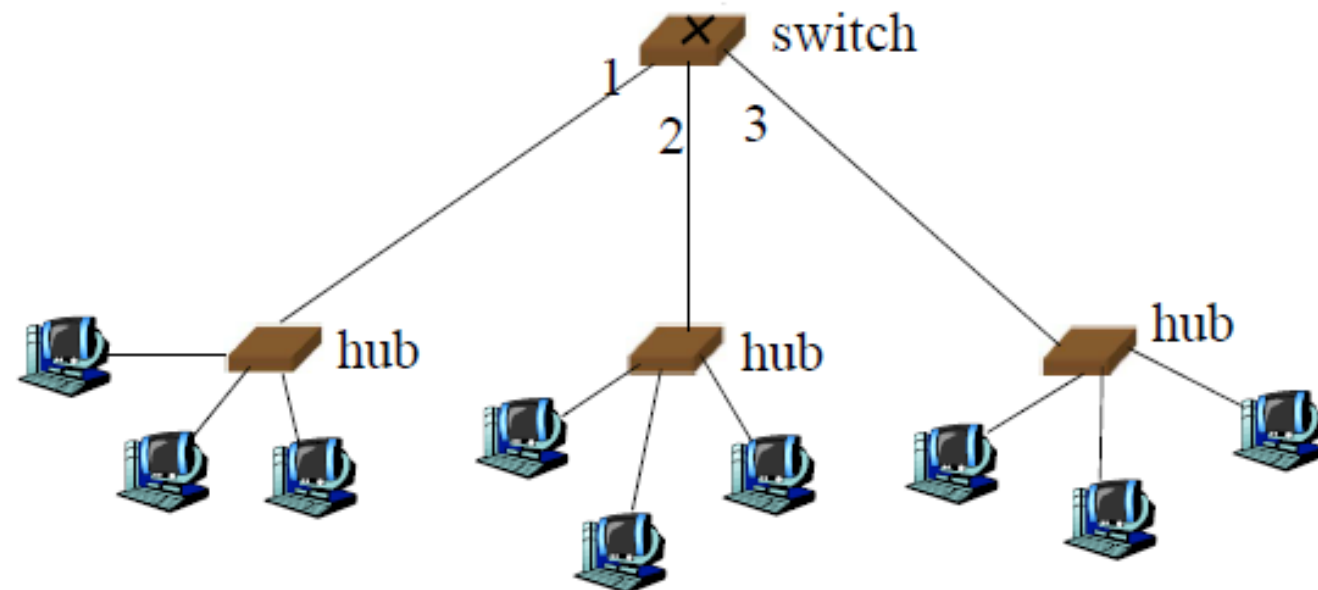
Switches: Operacion

- Los Switch contienen una tabla **dinámica** de direcciones MAC y números de puerto, la misma esta vacía al encenderlo. Esta tabla (típico con 1K-16K direcciones), se conoce como tabla CAM (Content Addressable Memory).
- El Switch analiza las tramas entrantes y busca la dirección de destino en su tabla. Si la encuentra, reenviará la trama por el puerto indicado. Si no la encuentra, actuara como un hub y la difundirá por todas sus ramas (Broadcast).
- Progresivamente la CAM incluirá las direcciones de la mayoría de las maquinas activas conectadas al Switch.
- Las entradas de las CAM tienen un tiempo de vida limitado (TTL) para permitir la movilidad (5 min. default en Cisco).

LA CAPA DE ENLACE

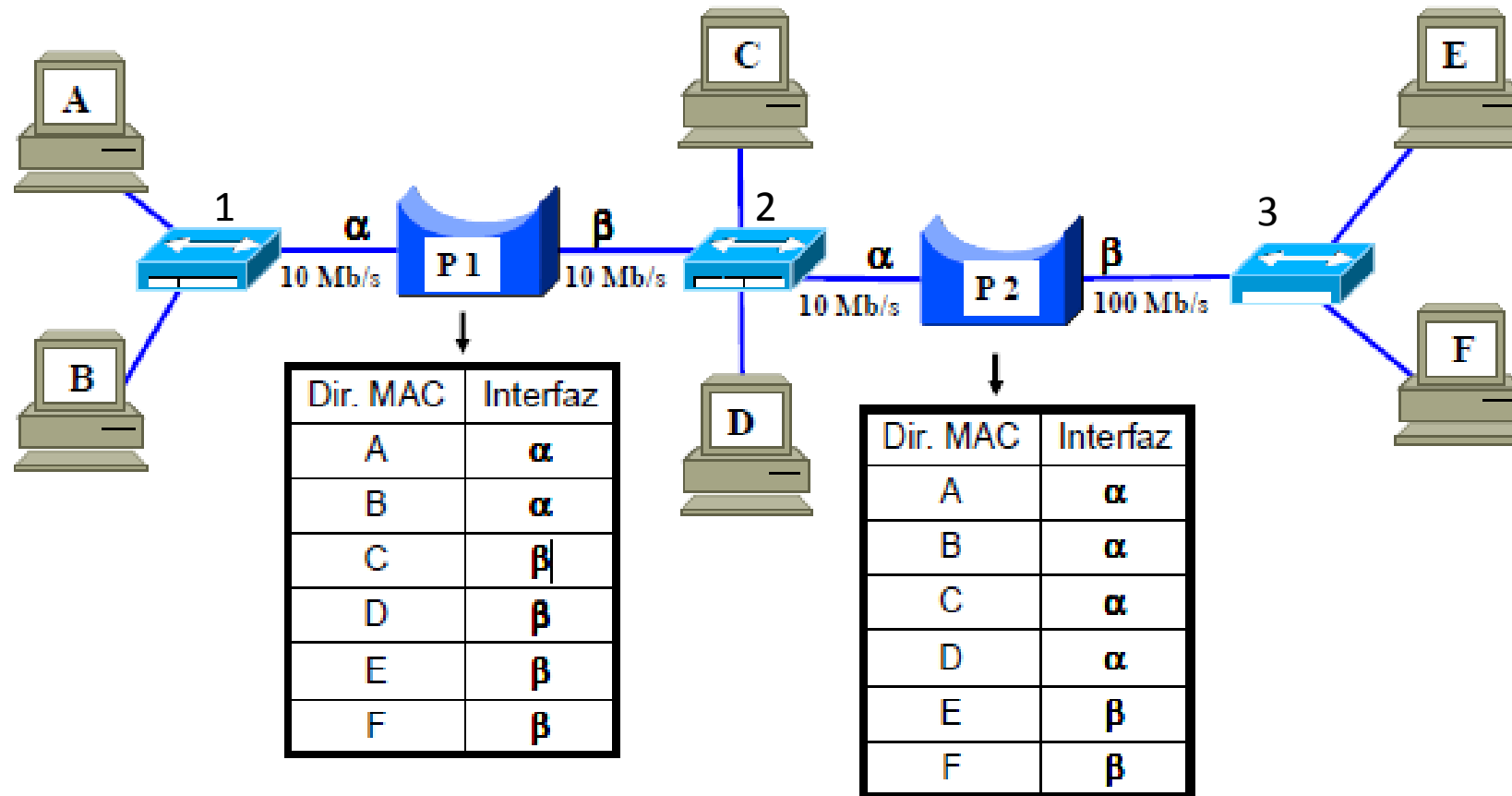
Switches

- La idea es comprar los “puentes”, colocarlos y que todo este listo para usarse (Plug and Play).
- Esto es posible usando dos algoritmos
 - Aprendizaje hacia atrás: Para detener el tráfico que se envía hacia donde no es necesario.
 - Árbol expandido (Spaning Tree): Para romper ciclos en la conexión y reducir el tráfico.



LA CAPA DE ENLACE

Switches: Ejemplo



Desde el punto de vista de P1 las estaciones C, D, E y F están en la misma LAN, ya que cuando P2 reenvía por a las tramas de E y F no cambia la dirección MAC de origen

LA CAPA DE ENLACE

Fast Ethernet (Switch Ethernet)

Aumenta velocidad: 10 Mbps → 100 Mbps → 1 Gbps → 10 Gbps.

Problema? , recuerden $\frac{P}{R} \geq \frac{2L}{c}$ por ello para controlar colisiones que debemos

hacer, aumentar P o reducir L?

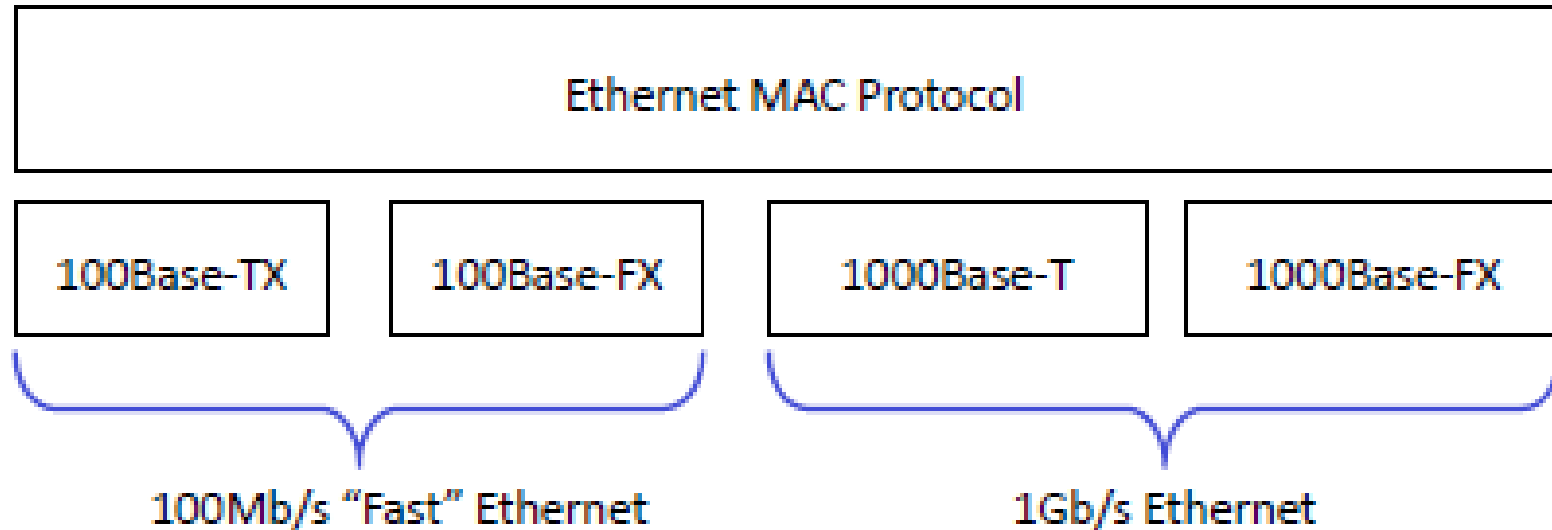
Solución:

Limitamos L a 100 m.

Se creo **Switch Ethernet**

LA CAPA DE ENLACE

Fast y Giga Ethernet (Switch Ethernet)



100 Base TX:

- Cable minimo "Categoría 5", Conector RJ45
- Full duplex: un par en cada dirección.
- Codificación: 4B5B.
- Distancia máxima: 100m

1000 Base T:

- Cable minimo "Categoría 5", Conector RJ45
- Full duplex: dos pares en cada dirección.
- Codificación: 5-level
- Distancia máxima: 100m

LA CAPA DE ENLACE

Principales diferencias:

10BASE-T utiliza codificación Manchester para dos cables de par trenzado, 1 para Tx t 2 para Rx.

- **100BASE-TX/FX** utiliza codificación 4B/5B, para dos hilos de fibra óptica o dos pares de cable

- **1000BASE-T** utiliza codificación de línea 4D-PAM5 que es un código de 4 símbolos multinivel, la Tx y Rx operan sobre 4 pares de cables simultáneamente.

- **1000BASE-SX y 1000BASE-LX** utiliza codificación 8B/10B, sobre un par de fibras (full duplex).

LA CAPA DE ENLACE

Gigabit Ethernet

Gigabit Ethernet ahora puede ser usado en cables de par trenzado

Name	Cable	Max. segment	Advantages
1000Base-SX	Fiber optics	550 m	Multimode fiber (50, 62.5 microns)
1000Base-LX	Fiber optics	5000 m	Single (10 μ) or multimode (50, 62.5 μ)
1000Base-CX	2 Pairs of STP	25 m	Shielded twisted pair
1000Base-T	4 Pairs of UTP	100 m	Standard category 5 UTP

Name	Cable	Max. segment	Advantages
10GBase-SR	Fiber optics	Up to 300 m	Multimode fiber (0.85 μ)
10GBase-LR	Fiber optics	10 km	Single-mode fiber (1.3 μ)
10GBase-ER	Fiber optics	40 km	Single-mode fiber (1.5 μ)
10GBase-CX4	4 Pairs of twinax	15 m	Twinaxial copper
10GBase-T	4 Pairs of UTP	100 m	Category 6a UTP

40/100 Gigabit Ethernet ya están disponibles, alto costo

LA CAPA DE ENLACE

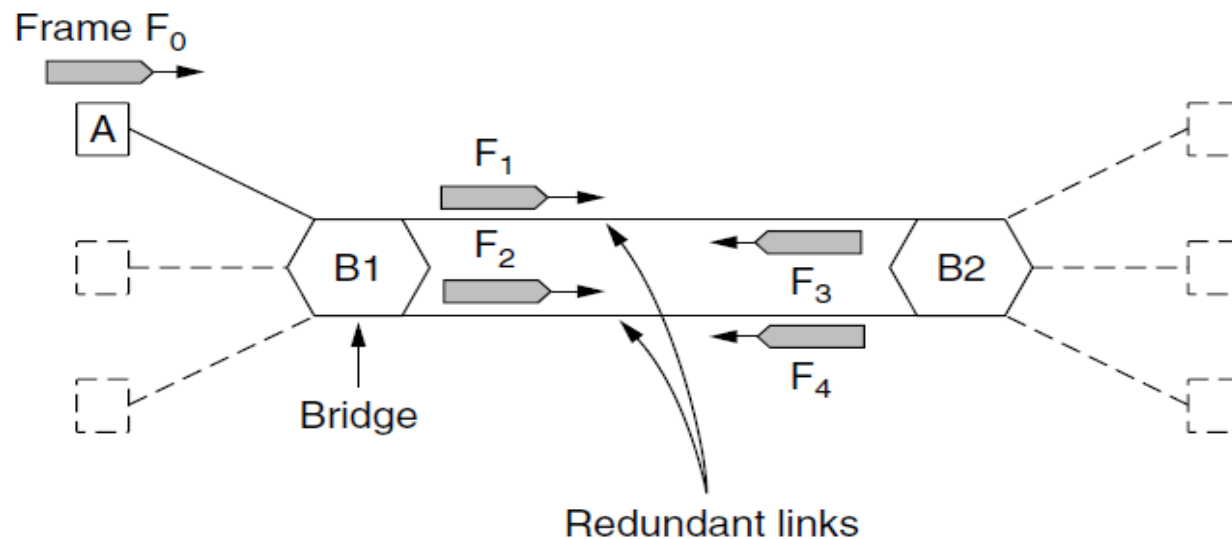
Ethernet

	Implementación	Estandar IEEE	Año	Velocidad	Tipo de cable	Full duplex
Ethernet	10base-T	802.3i	1990	10 Mbps	UTP CAT 3	Si
	10base-5	802.3	1983	10 Mbps	RG8 o RG11	No
	10base-3	802.3a	1985	10 Mbps	RG-58	No
Fast Ethernet	100base-TX	802.3u	1995	100 Mbps	UTP CAT5	Si
	100base-FX	802.3	1995	100 Mbps	Fibra óptica	Si
	100base-T4	802.3u	1995	100 Mbps	UTP CAT 5	No
Gigabit Ethernet	1000base-T	802.3ab	1999	1000 Mbps	UTP cat 5e	Si
	1000base-X	802.3z y ab	1998	1000 Mbps	Fibra óptica	Si
	1000base-SX	802.3z	1998	1000 Mbps	Fibra óptica	Si
	1000base-LX	802.3ab y z	1998	1000 Mbps	Fibra óptica	Si
10 Gigabit Ethernet	10Gbase-SR	802.3ae	2002	10 Gbps	Fibra óptica	No
	10Gbase-LR	802.3ae	2002	10.3 Gbps	Fibra óptica	No
	10Gbase-LX4	802.3ae	2002	10.3 Gbps	Fibra óptica	No
	10Gbase-ER	802.3	2002	10.312 Gbps	Fibra óptica	No
	10Gbase-LRM	802.3aq	2002	10.312 Gbps	Fibra óptica	No
	10Gbase-CX4	802.3ak	2002	10.312 Gbps	Cable de cobre	Si
	10Gbase-T	802.3ae	2002	10.00 Gbps	Fibra óptica	Si

LA CAPA DE ENLACE

Bucles o Lazos

- A veces al interconectar conmutadores se producen bucles, es decir hay más de un camino posible entre dos redes.
- Estos bucles pueden hacerse por error o porque se quiere disponer de varios caminos para tener mayor fiabilidad y tolerancia a fallos.
- Debido a la forma como funcionan los Switch cuando se produce un bucle, la red se bloquea.



LA CAPA DE ENLACE

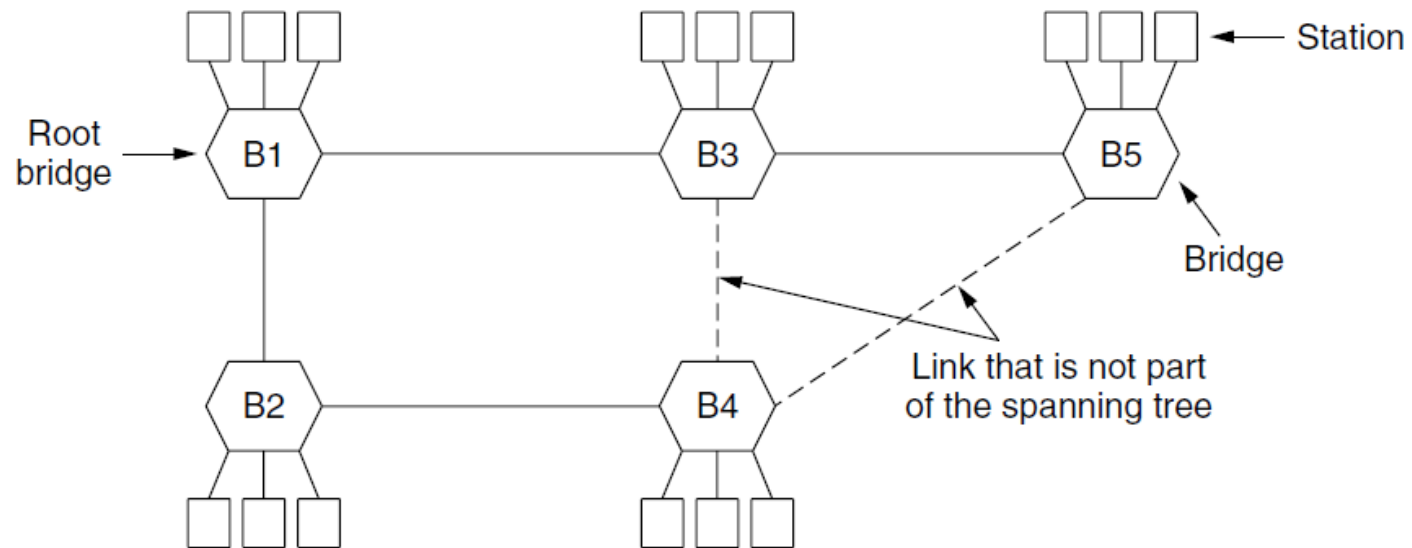
Bucles

- Esto se debe a dos características de los puentes transparentes
 - Proceden por inundación cuando la dirección de destino no está en su tabla de direcciones.
 - Cuando reenvían una trama la copia es indistinguible del original. No existe ningún campo (p. ej. un contador de saltos) que permita diferenciar las sucesivas copias.
- Existen dos posibles estrategias para solucionarlo
 - Se prohíbe explícitamente la creación de redes con bucles.
 - Se habilita algún mecanismo, por software, que permita a los conmutadores detectar la presencia de bucles en la topología, para que se desactiven las interfaces necesarias para que se cancelen los bucles.

LA CAPA DE ENLACE

Bucles: Árbol de Expansión (Spanning Tree)

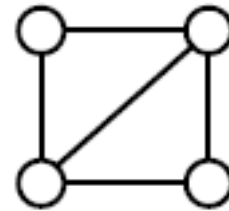
Árbol de expansión conectando cinco puentes (Sw) . Las líneas punteadas son enlaces que no forman parte del árbol de expansión.



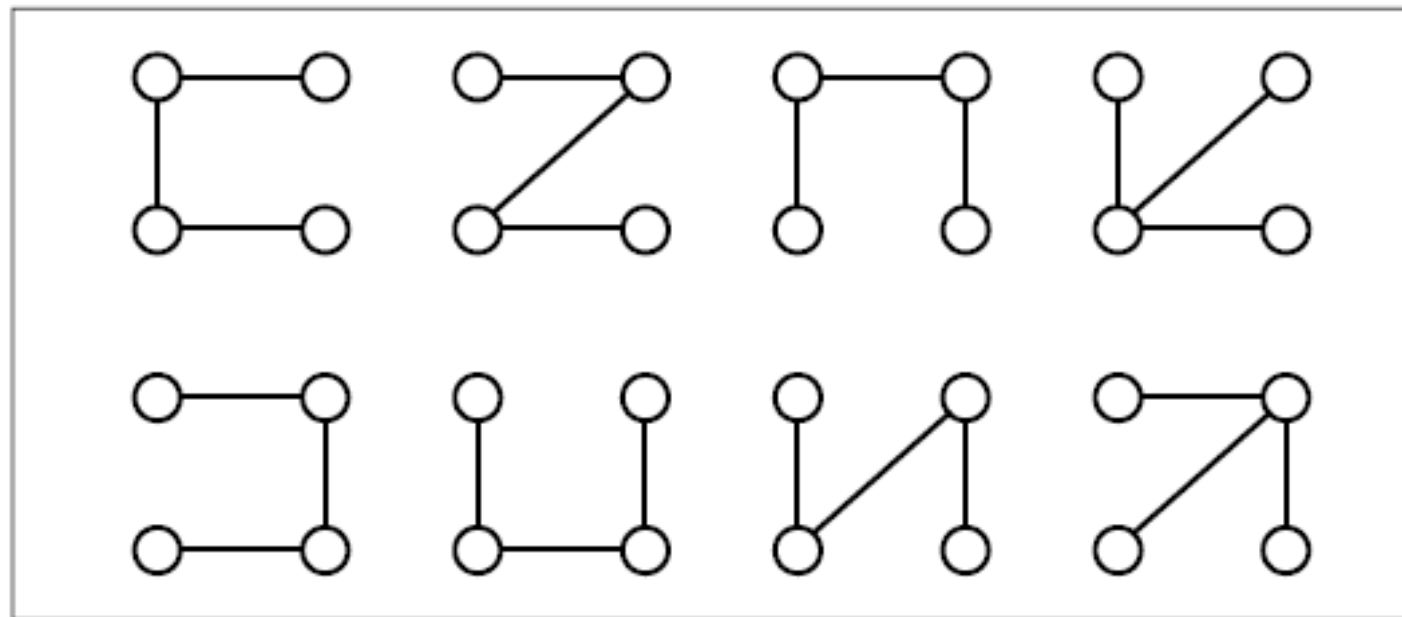
El creador de STP (Spanning-Tree Protocol) fue el Ing Radia Perlman de DEC en 1985
Especificación IEEE 802.1d

LA CAPA DE ENLACE

Bucles: Árbol de Expansión (Spanning Tree)



Grafo de la red



Posibles árboles de expansión

(un grafo con n nodos tiene un árbol de expansión con $n-1$ arcos)

LA CAPA DE ENLACE

Bucles: Árbol de Expansión (Spanning Tree)

- Los Sw intercambian regularmente información sobre la topología de la red. Los mensajes que utilizan son los **BPDUs** (Bridge Protocol Data Units).
- Las BPDUs emplean un “Ethertype” propio y se envían a una dirección MAC multicast reservada (01-80-C2-00-00-00).
- Cada conmutador dispone de un identificador único (ID) a partir de una dirección MAC única, que le asigna el fabricante.
- Además cada puerto del conmutador recibe un identificador y tiene asociado un **costo**.
- Cada conmutador calcula **el grafo** de la red y observa si existe algún bucle; de haberlo se van desactivando interfaces siguiendo unas reglas hasta eliminarlos construyendo un ‘spanning tree’.

LA CAPA DE ENLACE

Bucles: Árbol de Expansión (Spanning Tree)

- Los conmutadores eligen como raíz del árbol a aquel que tiene el ID más bajo. Todos eligen al mismo.
- Cada conmutador envía BPDUs por sus interfaces indicando su ID, el ID del conmutador raíz y el costo de llegar a él; estos se propagan por toda la red; cada conmutador al reenviar los mensajes de otros suma el costo de la interfaz propia.
- Con las BPDUs recibidas, cada conmutador calcula por que puerto puede llegar él al raíz al mínimo costo. Ese es su **puerto raíz**. En caso de empate elige de ID más bajo.
- Los Switch que no están en la ruta del raíz, se comunican con sus vecinos por **puertos designados** que es aquel por el que accede al vecino con el mínimo costo.
- Los puertos que no son ni raíz ni designados son **puertos bloqueados**.

LA CAPA DE ENLACE

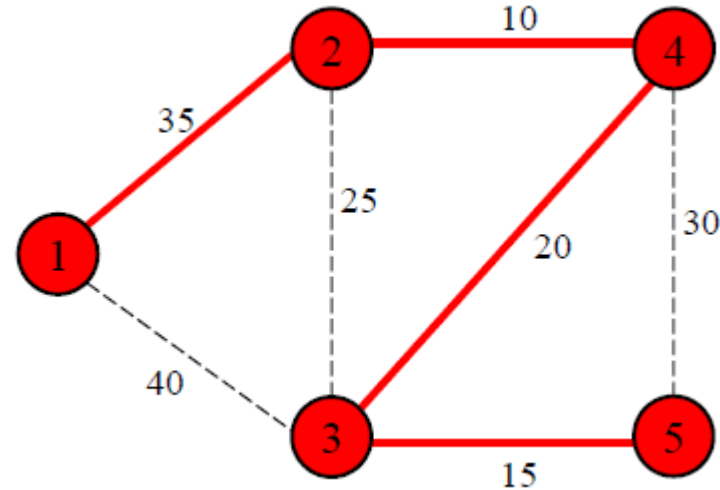
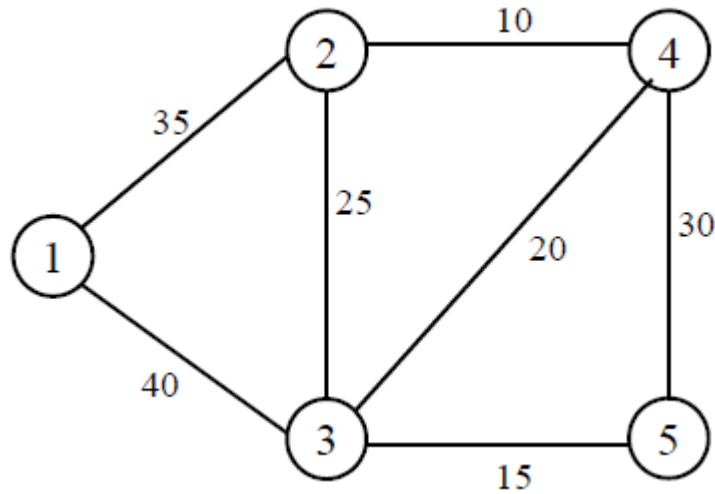
Bucles: Árbol de Expansión (Spanning Tree)

Estado de los puertos de un Sw (se siguen en secuencia):

- **Bloqueo:** Así inician todos los puertos, pueden recibir BPDU's pero no las enviará. Las tramas de datos se descartan y no actualiza tablas.
- **Escucha:** Los Sw determinan si existe alguna otra ruta hacia el Sw raíz, si esta tiene un coste mayor, se vuelve a Bloqueo. Las tramas de datos se descartan y no se actualiza las tablas. Se envían BPDU's.
- **Aprendizaje:** Las tramas de datos se descartan pero se actualizan las tablas (el Sw aprende). Se procesan las BPDU's.
- **Envío:** los puerto pueden enviar y recibir datos. Las tramas de datos se envían y se actualizan las tabla. Se procesan las BPDU.
- **Desactivado:** Se produce cuando un administrador deshabilita el puerto o falla. No se procesan las BPDU.

LA CAPA DE ENLACE

Bucles: Árbol de Expansión (Spanning Tree)



Ejemplo

Las rutas en rojo serán el árbol de esa red

LA CAPA DE ENLACE

Bucles: Árbol de Expansión (Spanning Tree)

- Desarrollado por Perlman en 1985 y aceptado por el IEEE en 1990 como el estándar 802.1d.
- En 2004 la versión original fue reemplazada por el protocolo RSTP, que permite una convergencia mas rápida, pero es ineficiente en el uso de la red.
- En el 2012 se definió un nuevo estándar para Ethernet Switch llamado Shortes Path Bridgin (SPB) IEEE 802.1aq.

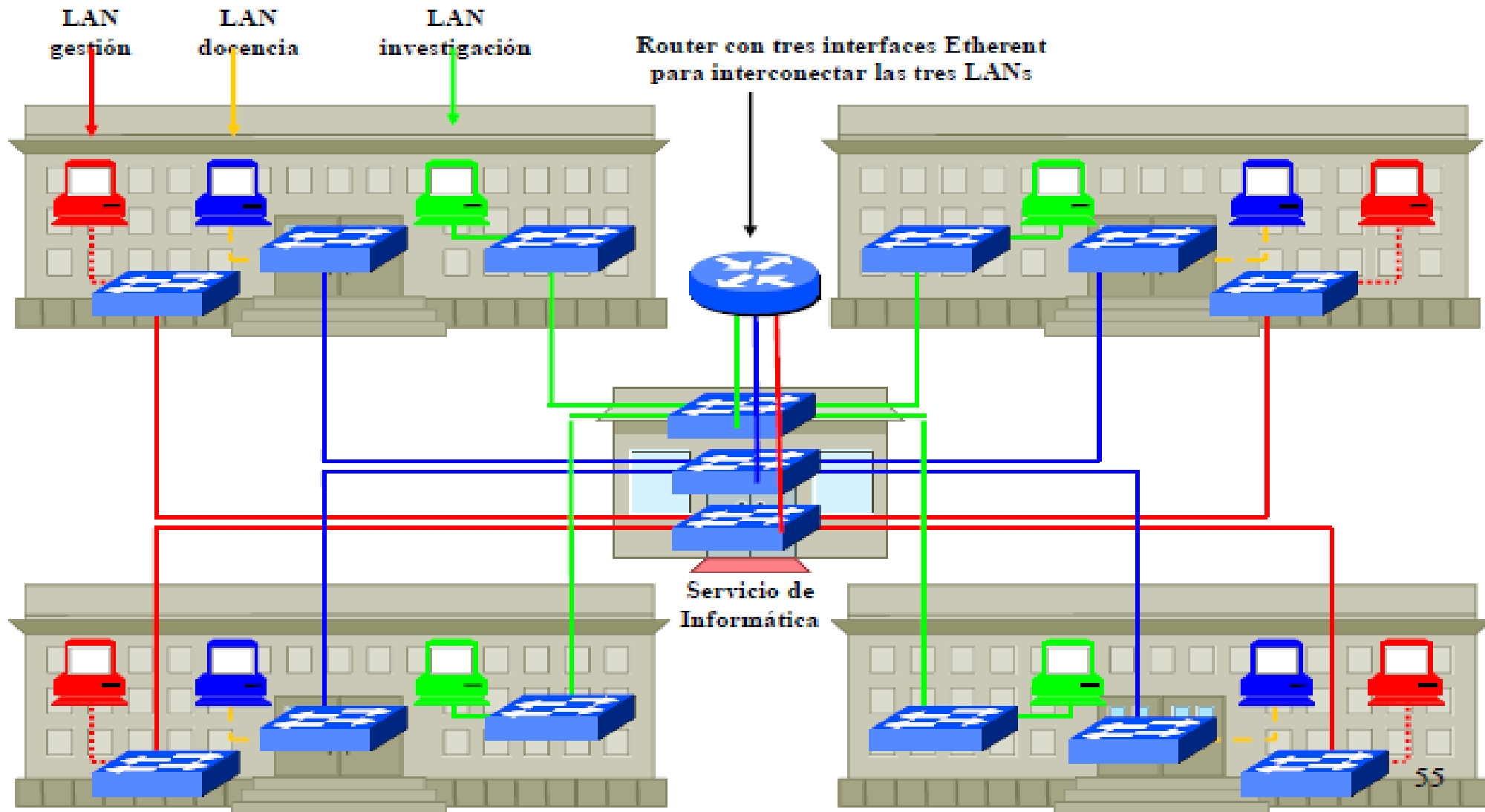
LA CAPA DE ENLACE

VLAN (Virtual Local Area Network)

- Agrupamiento lógico de los puertos de un switch que se comportan como si fuesen un switch independiente.
- Las VLANs pueden ser:
 - **Estáticas:** creadas por el administrador de la red, quien asigna los puertos de la VLAN. Son las mas comunes.
 - **Dinámicas:** con un servidor al que se llama VMPS (VLAN Management Policy Server), este de acuerdo con la dirección MAC u otras reglas, asocia un puerto, de uno o varios switch, a una VLAN especifica
- Las VLANs también pueden agruparse por MAC origen o por el valor del campo tipo del frame Ethernet. (RFC2643, IEEE 802.1q y 802.10)

LA CAPA DE ENLACE

VLAN (Virtual Local Area Network)



LA CAPA DE ENLACE

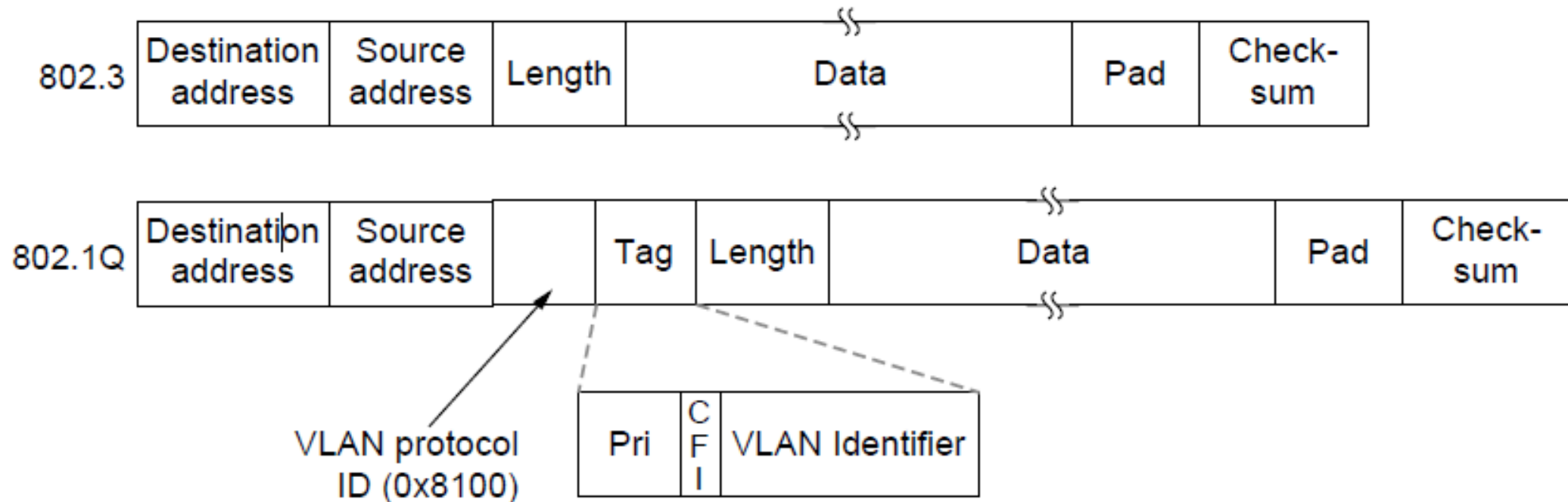
VLAN

- Al crear VLANs se están creando dominios de broadcast. Es decir, el broadcast creado en una VLAN no se propagará a las otras. Esto evita las tormentas de broadcast causadas por equipos defectuosos y por aplicaciones que generan broadcast para toda la red.
- En una red de backbone colapsado hay restricciones físicas, con los switches y VLANs NO hay restricciones físicas.
- Las VLANs se pueden organizar por comunidades de usuarios con intereses comunes.
- Para que las VLANs se puedan comunicar entre ellas se necesitan equipos de capa 3 (es decir, routers).
- Hay Routers que manejan directamente VLANs.

LA CAPA DE ENLACE

VLAN

Para saber a que VLAN pertenece una trama se utiliza una “etiqueta” (frame tagging). Esta identifica la VLAN (se conoce como VLAN ID), se toma parte del campo “length” de la trama.



Formatos de trama Ethernet 802.3 (heredada) y 802.1Q.

LA CAPA DE ENLACE

VLAN

- Hay dos tipos de enlaces en una red con switches:
 - **Enlaces de acceso** (Access links): Enlaces que pertenecen a una sola VLAN.
 - **Enlaces troncales** (Trunk links): Enlaces transportan información de varias VLANs (se soportan sólo sobre enlaces Fast Ethernet o Gigabit Ethernet).

LA CAPA DE ENLACE



MAC: Redes Inalámbricas WiFi - 802.11



Características:

- Se inicio en 1991 en laboratorios de NCR y AT&T, pero fue hasta 1997 que estuvo formalmente al publico. Estándar 802.11 (2 Mbps)
- Utiliza tramas tipo Ethernet (esquema CSMA/CA).
- Opera en distancias cortas, inicialmente se diseño para 20 mts, pero se pueden alcanzar de 100 a 200 mts con equipos básicos.
- Alcanza velocidades de hasta 600 Mbps. (802.11n). Aunque ya hay anunciada una versión de 20 Gbps (802.11ay).
- La seguridad es baja, por ello se implementan esquemas adicionales como el WEP o el WPA (WPA3 es la mas actual).
- Se ha regado en todo el mundo (Hot Spot).

LA CAPA DE ENLACE

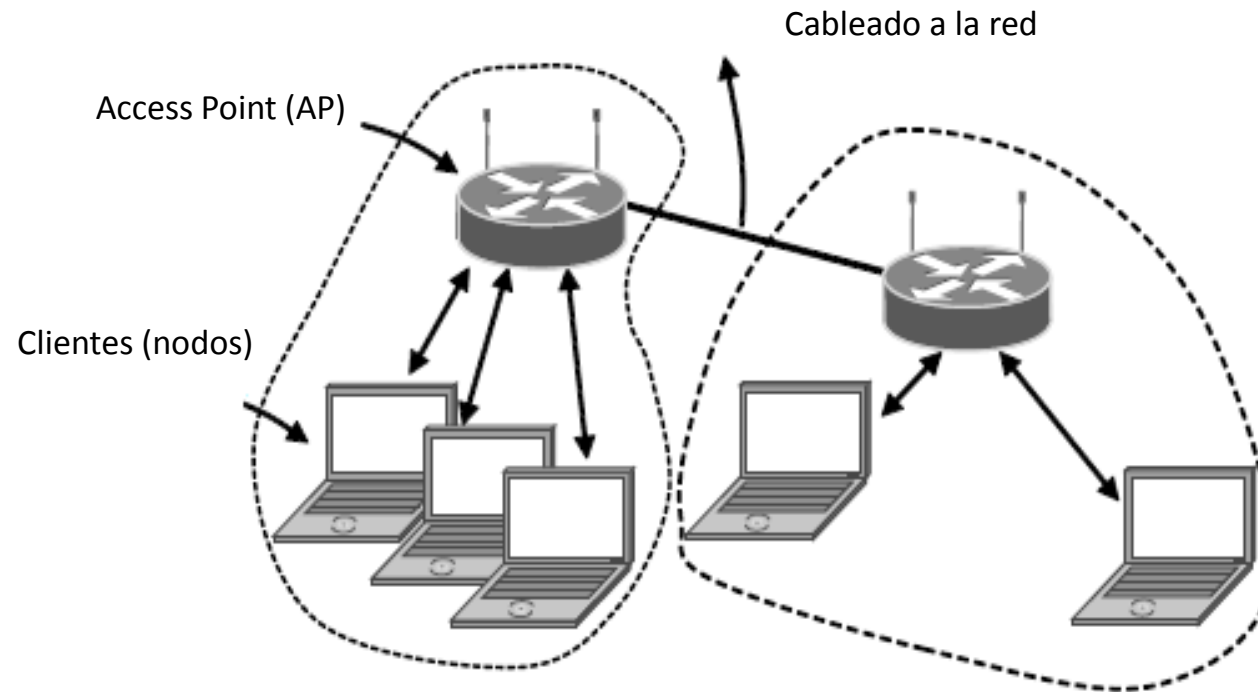


MAC: Redes Inalámbricas WiFi - 802.11



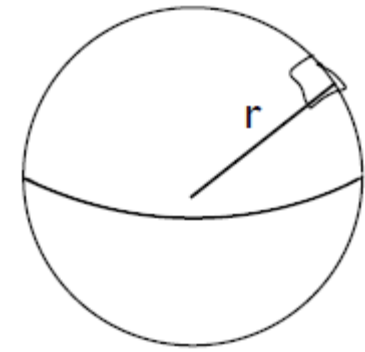
Los cliente inalámbricos se asocian con un AP (Access Point) cableado, esto se conoce como “Infrastructure Mode”.

Existe un “Adhoc Mode”, donde no hay AP, pero no es común.

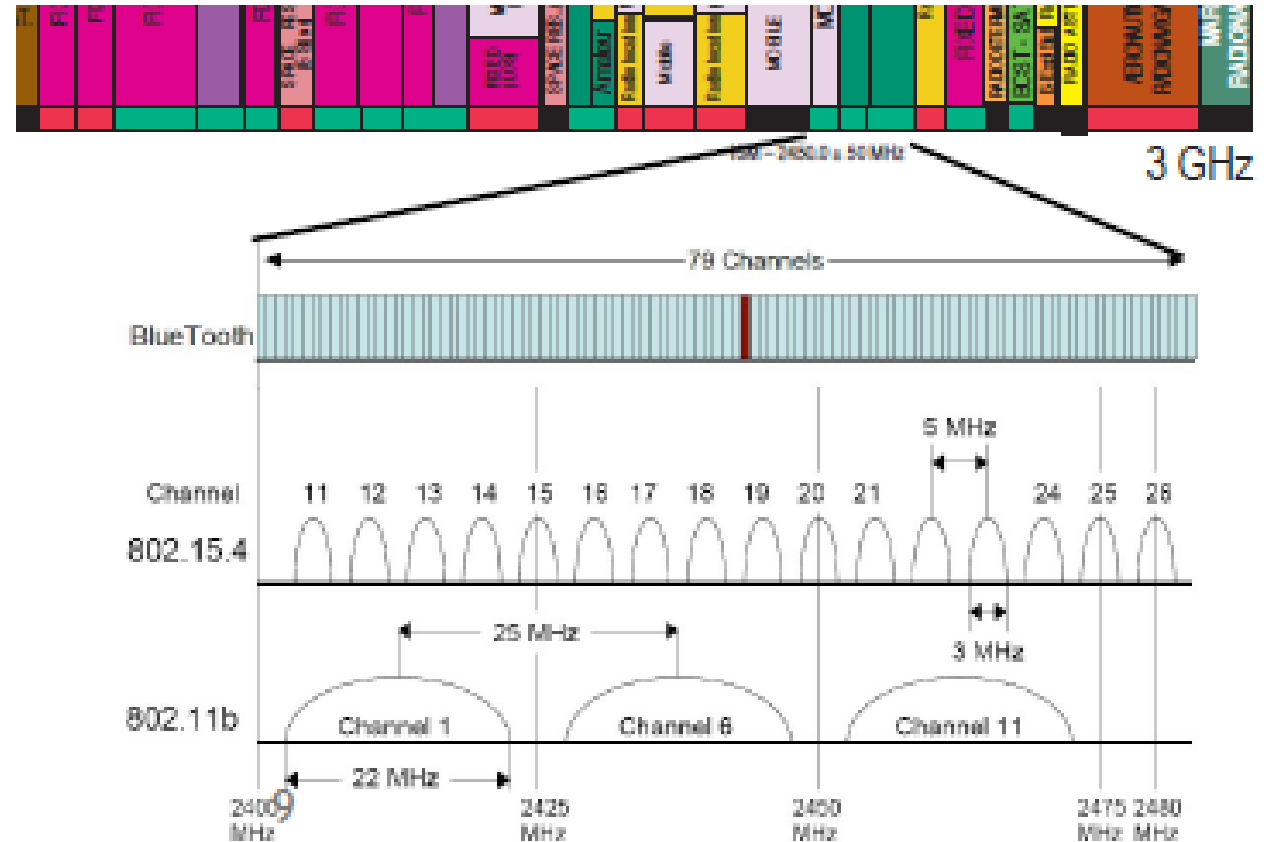


LA CAPA DE ENLACE

MAC: Redes Inalámbricas WiFi - 802.11



- Wireless es muy diferente del cable
- La radiación forma una esfera desde la antena, se reduce con r^2
- Las antenas no son perfectas
- Hay ondas reflejadas por paredes, personas y objetos.
- La humedad afecta
- En la banda de WiFi hay otras señales (Bluetooth, Wimax, etc)



LA CAPA DE ENLACE

MAC: Redes Inalámbricas WiFi - 802.11



- Utiliza CSMA/CA.
- El Tx selección un valor aleatorio de t (venta de tiempo)
- El Tx decrementa t , cuando $t=0$, intenta transmitir
- “Oye” el canal, si esta libre transmite (CS)
- Si esta ocupado, toma otro valor de t , pero $t = 2t$ anterior (CA)
- Espera el nuevo t y vuelve a intentar
- Si logra enviar espera un “Ack” del receptor, si llega termino, y va al siguiente paquete. Si no llega el “Ack” lo volverá a intentar
- Si $t > T_{max}$ prefijado, se descarta el paquete.

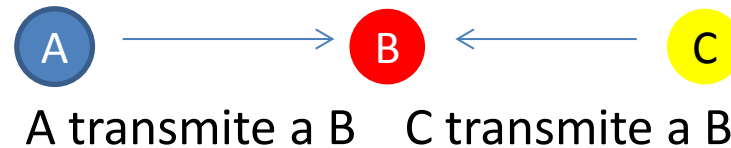
Demo 1

LA CAPA DE ENLACE

MAC: Redes Inalámbricas WiFi - 802.11

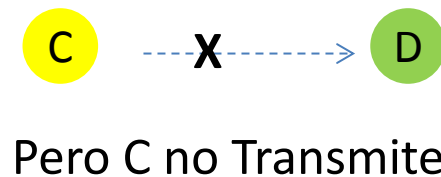
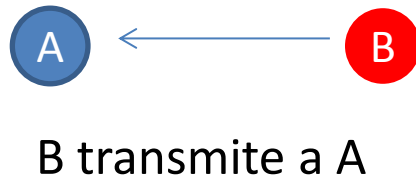
Problemas con CSMA/CA

- Terminal Escondido (Hidden Terminal)



A no puede oír a C
C no puede oír a A
No hay Ack

- Terminales Expuestos (Exposed Terminal)



A no puede oír a C
D no puede oír a A
C oye a B

- Colisión o Bajo S/N (Low SNR)



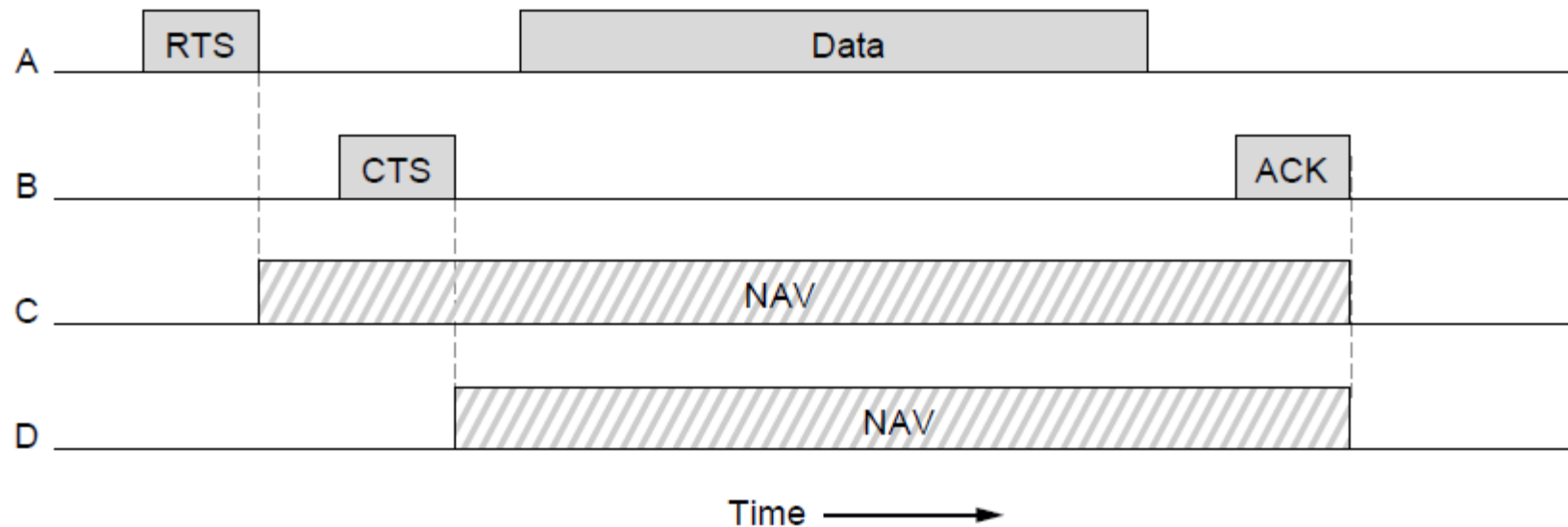
A no oye el Ack de B
Hay un C? es muy baja a potencia de B?

LA CAPA DE ENLACE

MAC: Redes Inalámbricas WiFi - 802.11

Problema con CSMA/CD RTS/CTS

- Tx envía RTS cuando el canal esta libre y espera CTS del Rx.
- RTS/CTS (no es usado a menudo) coloca el control de colisiones y retransmisiones en el intercambio de data.
- Evita el problema de terminales escondidos, reduce pero no elimina los expuestos.



LA CAPA DE ENLACE

MAC: Redes Inalámbricas WiFi - 802.11

CSMA/CD RTS/CTS

- El uso de RTS/CTS incrementa la ocupación del canal con tramas de control
- A mayor velocidad mayor ocupación.
- Solo se usa cuando hay muchos usuarios, alta congestión o posibilidad de muchos terminales ocultos.

Bitrate	CSMA	RTS/CTS	Overhead
1 Mbps	0.79	0.76	4.0%
2 Mbps	1.44	1.35	6.6%
5.5 Mbps	3.36	2.89	14.1%
11 Mbps	5.89	4.42	25.1%

Demo 2

LA CAPA DE ENLACE

MAC: Redes Inalámbricas WiFi - 802.11

Trama WiFi (Físico):

Sincronismo: 128 bits (01010...)

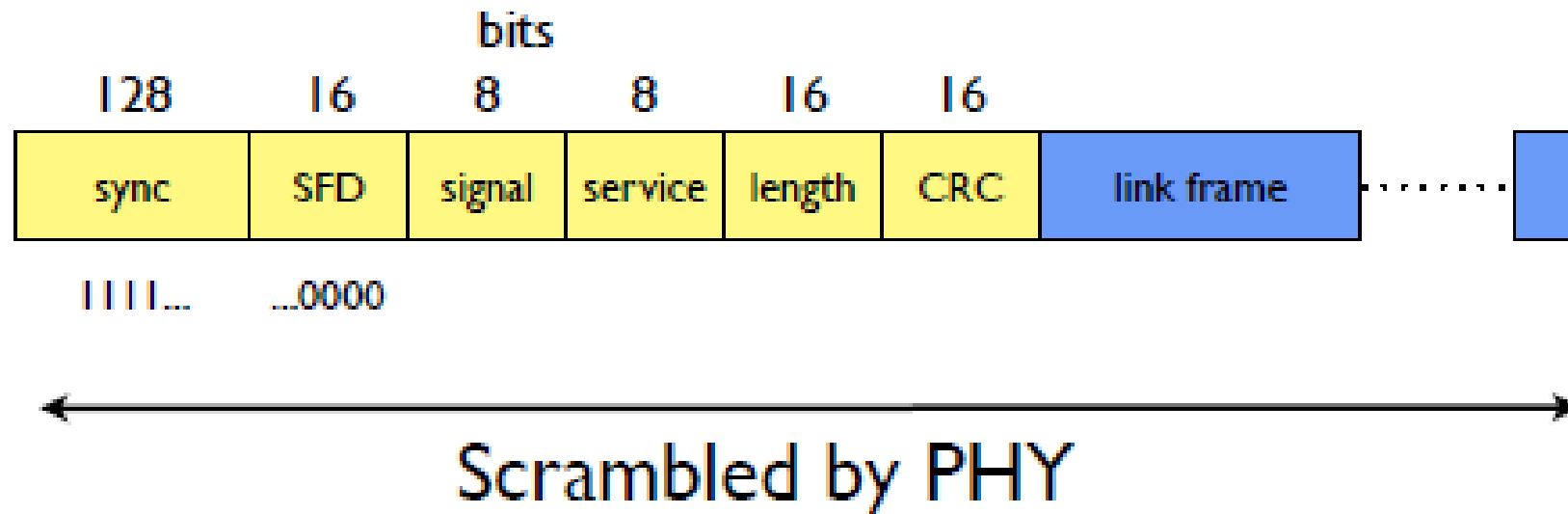
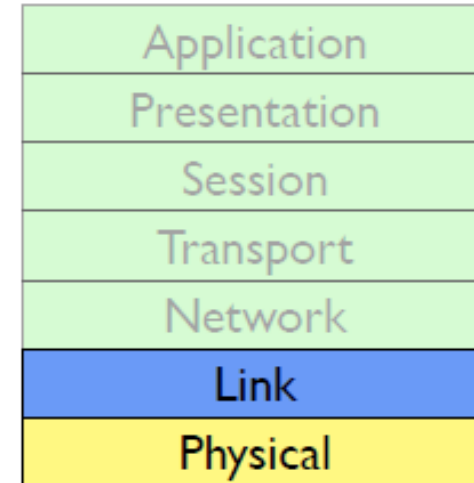
Comienzo de trama: 16 bits (0000...)

Señal: Señalización entre equipos, 8 bits

Servicio: Sincronización del receptor, 8 bits

Longitud: tamaño de la trama, 16 bits

CRC: Detección errores nivel físico, 16 bits



LA CAPA DE ENLACE

MAC: Redes Inalámbricas WiFi - 802.11

Trama WiFi (Enlace):

Control de trama: Información de control 2 bytes

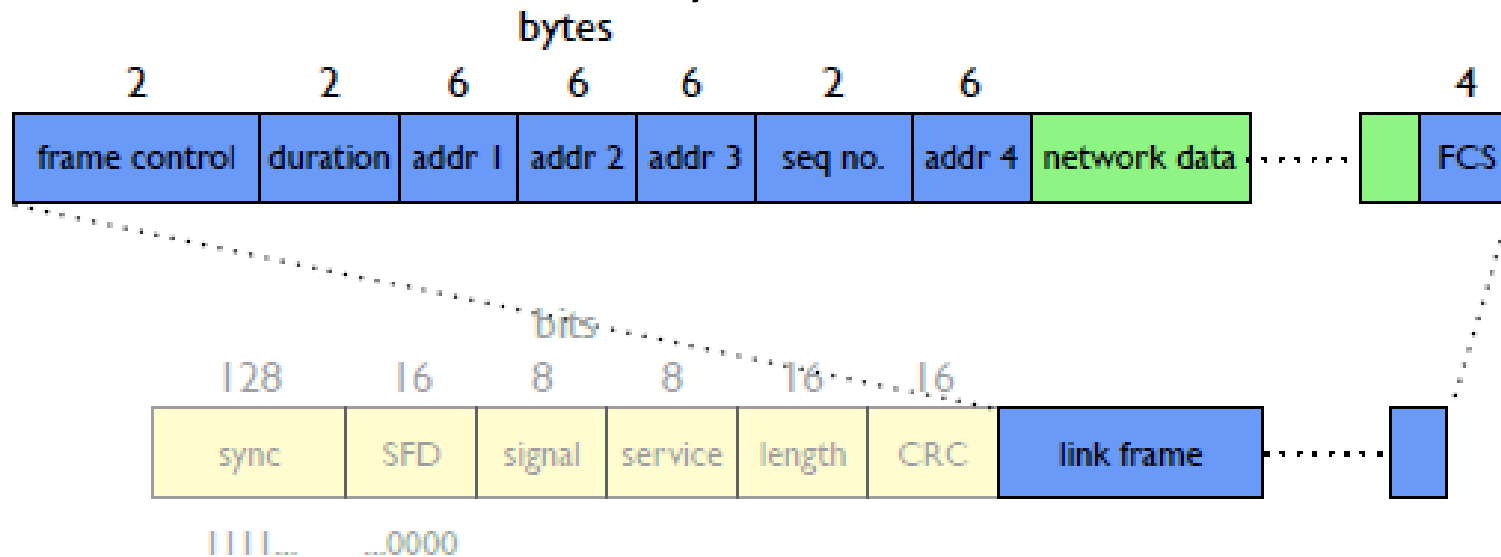
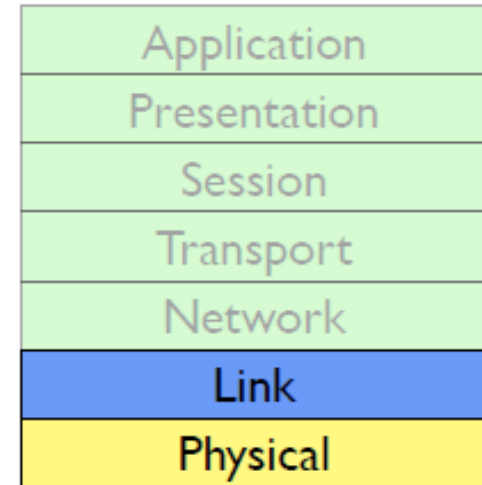
Duración: largo de la trama de enlace, 2 bytes

Direcciones: Origen, destino, saltos si hay, 24 bytes

Secuencia: Control del paquete que se envía, 2 bytes

Data: tamaño de la trama

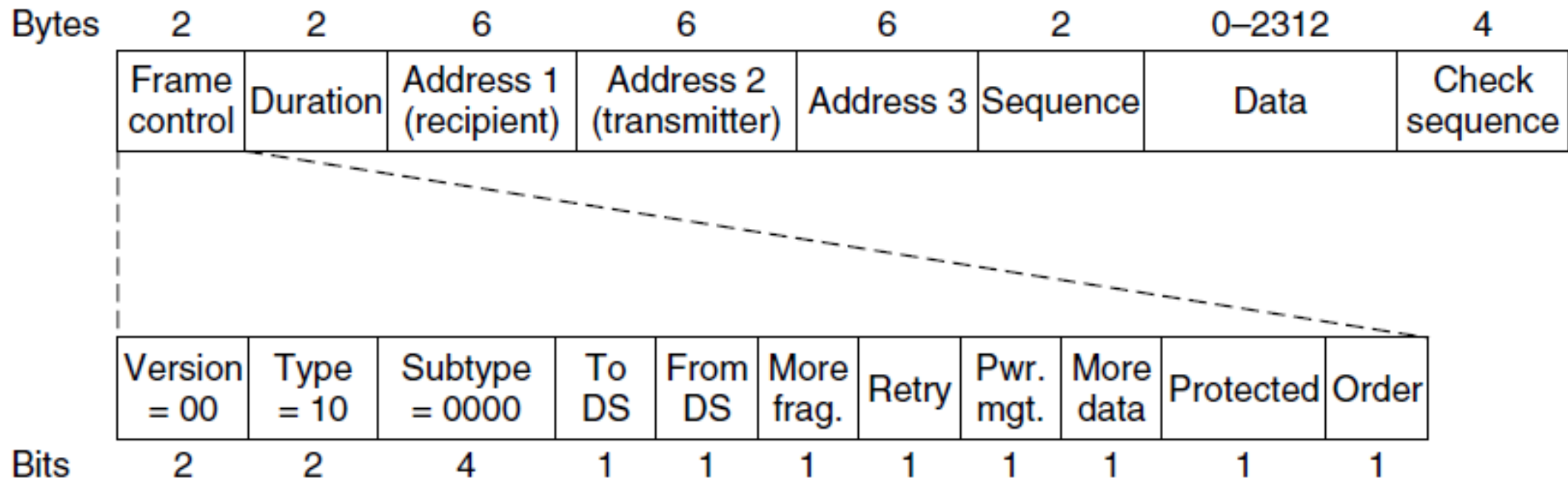
FCS: Detección errores nivel enlace, 4 bytes



LA CAPA DE ENLACE

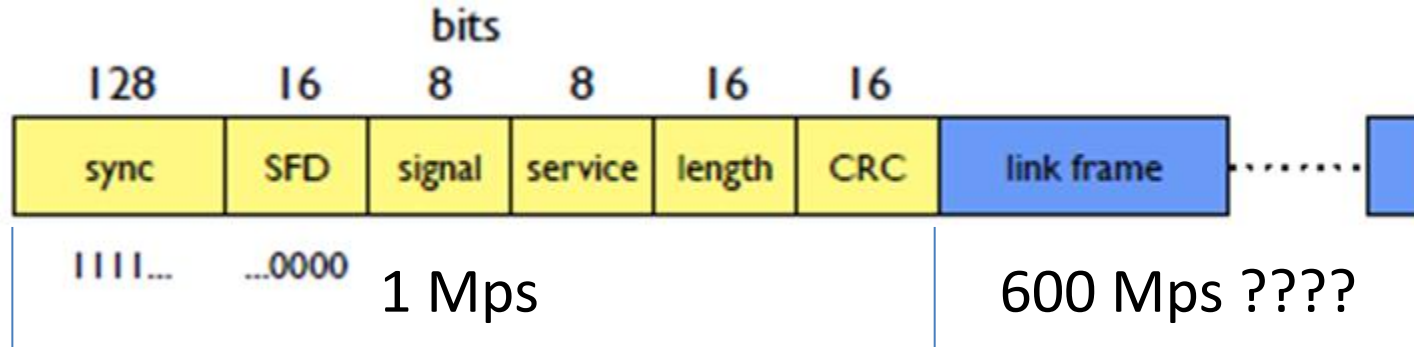
MAC: Redes Inalámbricas WiFi - 802.11

Las tramas varían de acuerdo a su tipo (Frame control)



LA CAPA DE ENLACE

MAC: Redes Inalámbricas WiFi - 802.11



Hasta 90% del tiempo aire lo ocupa el Header

MCS Index	Spatial Streams	Modulation	Coding	Data Rate (Mbps)			
				20MHz Channel		40 MHz Channel	
				800ns GI	400ns GI	800ns GI	400ns GI
0	1	BPSK	1/2	6.5	7.2	13.5	15.0
1	1	QPSK	1/2	13.0	14.4	27.0	30.0
2	1	QPSK	3/4	19.5	21.7	40.5	45.0
3	1	16-QAM	1/2	26	28.9	54.0	60.0
4	1	16-QAM	3/4	39	43.3	81.0	90.0
5	1	64-QAM	2/3	52	57.8	108.0	120.0
6	1	64-QAM	3/4	58.5	65.0	121.5	135.0
7	1	64-QAM	5/6	65	72.2	135.0	150.0

LA CAPA DE ENLACE

MAC: Redes Inalámbricas WiMax - 802.16



- WiMax es una tecnología inalámbrica para redes inalámbricas MAN, en distancias hasta 50 Km. Se le conoce como el estándar 802.16
- Utiliza frecuencias en el rango de 2 a 66 Mhz.
- Fue desarrollada por el WiMax forum en Junio 2001, como competencia al estándar LTE de las redes 4G.
- Su velocidad máxima actual es de 1 Gbps para estaciones móviles, en fijas permite hasta 40 Mbps.

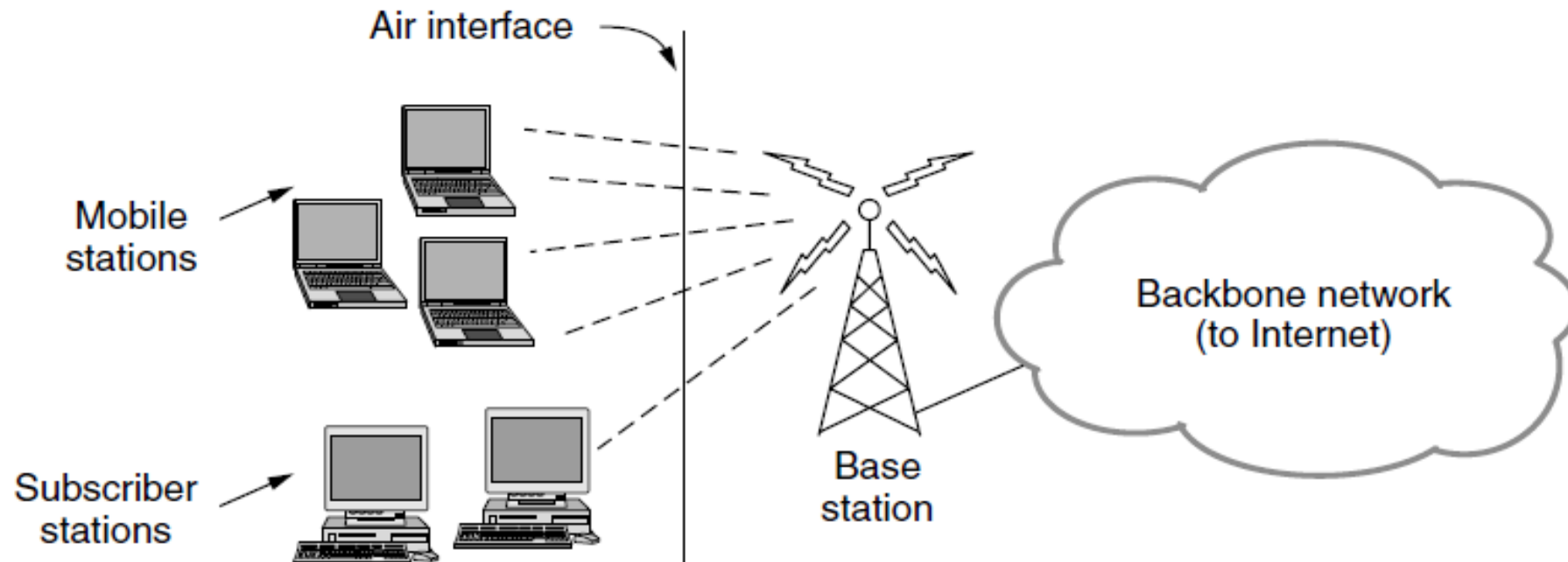


LA CAPA DE ENLACE

MAC: Redes Inalámbricas WiMax - 802.16



- Los clientes inalámbricos se conectan a una estación base conectada alámbrica (como con 3G).
- Utiliza protocolo OFDM, con links up y down independientes.



LA CAPA DE ENLACE

MAC: Redes Inalámbricas WiMax - 802.16

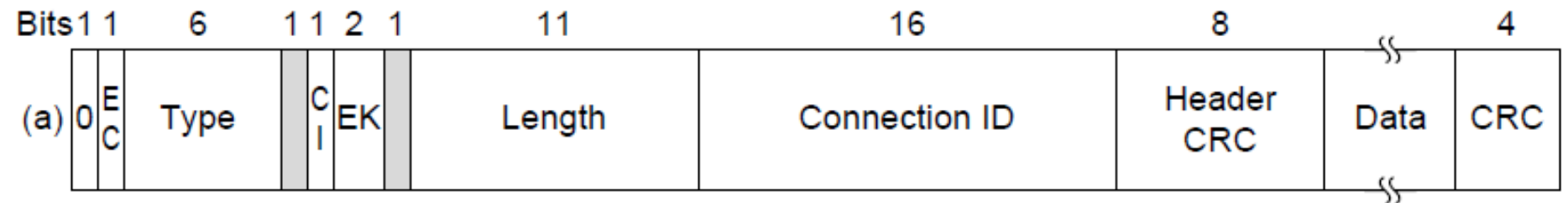


- Esquema orientado a conexión con el control en la estación base
- El cliente solicita el ancho de banda que necesita

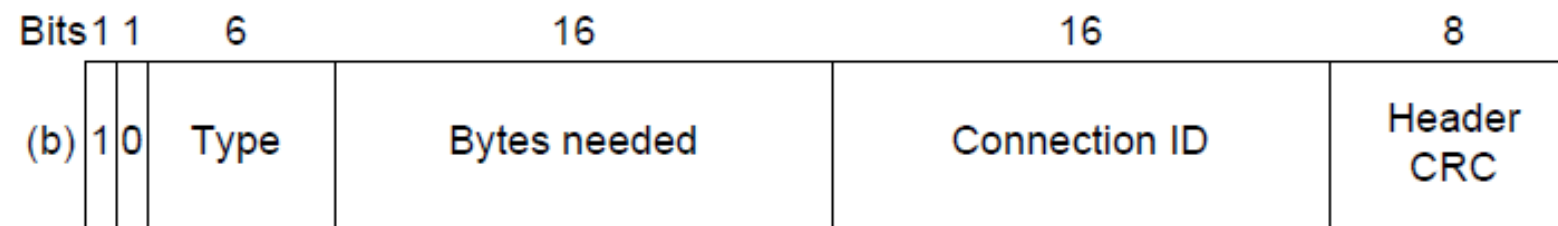
Diferentes tipos de servicios pueden ser solicitados:

- Ancho de banda constante, para voz sin compresión
- Ancho de banda variable en tiempo real, para video, web.
- Ancho de banda variable sin tiempo real, descarga de archivos.
- Entrega con mejor esfuerzo para el resto.

Trama Genérica



Trama Control

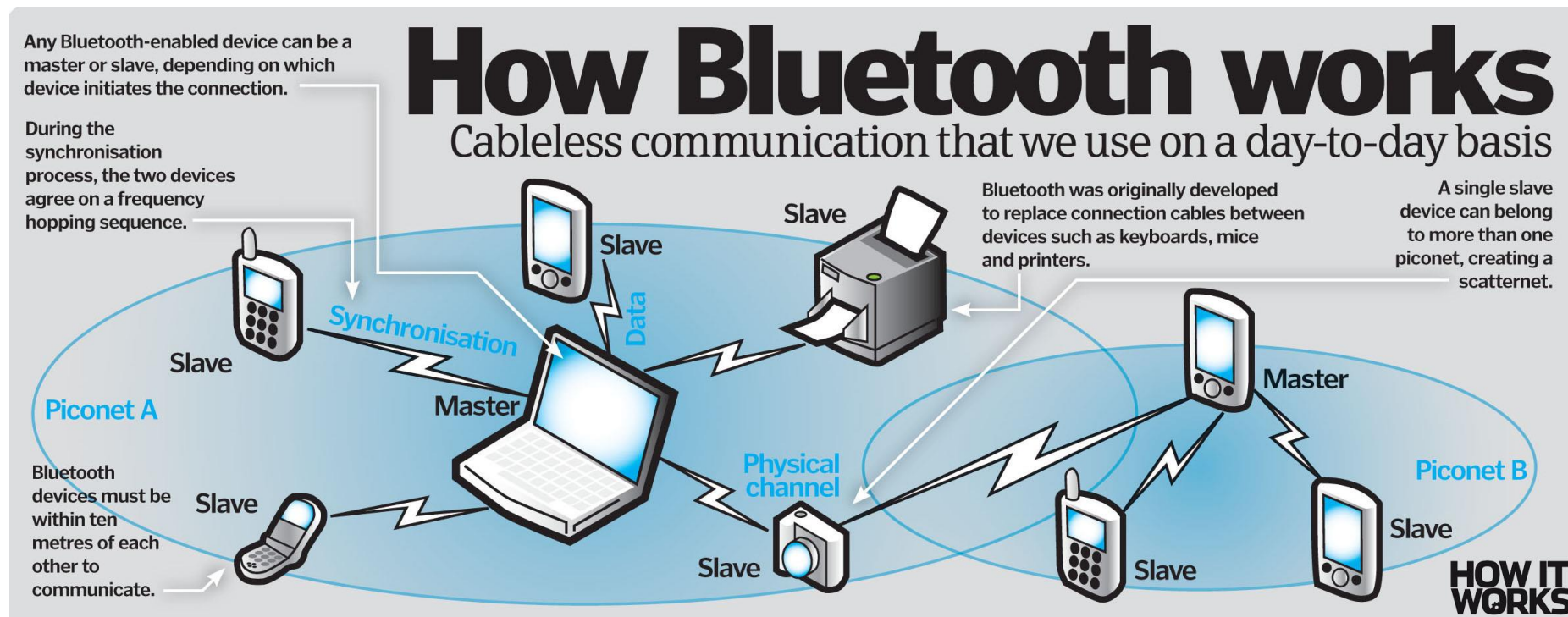


LA CAPA DE ENLACE

MAC: Redes Inalámbricas Bluetooth



- **Bluetooth** es una tecnología para redes inalámbricas que permite el intercambio de datos a muy corta distancia (máximo 10 mts). Utiliza las mismas frecuencias y bandas de Wifi, pero su objetivo son las redes PAN.
- Fue inventada por Ericsson en 1994, como una alternativa al uso de cables RS232 o similares. Estándar 802.15.
- Velocidad máxima actual 50 Mbps (versión 3)



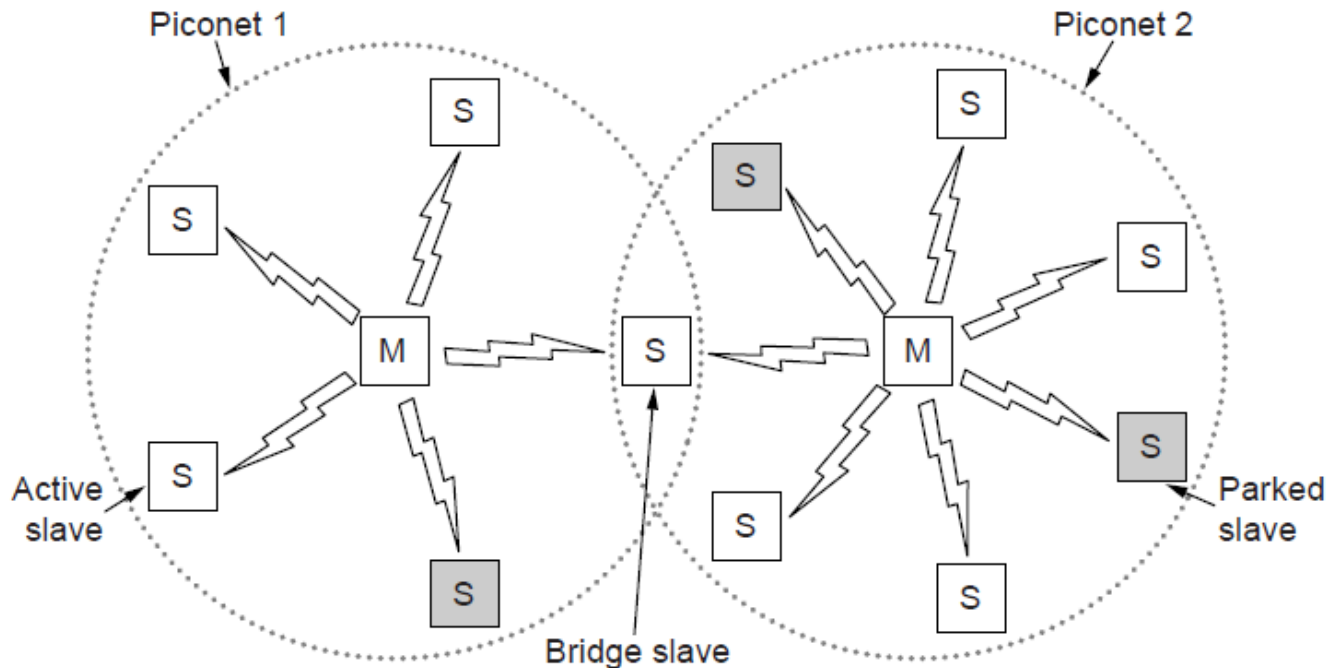
LA CAPA DE ENLACE

MAC: Redes Inalámbricas Bluetooth



Esquema Maestro-Eslavo

- El maestro Piconet se conecta a dispositivos esclavos
- Dispositivos esclavos pueden estar “durmiendo” (parked) para conservar energía
- 2 piconets pueden ser interconectados como “bridge” en una red dispersa

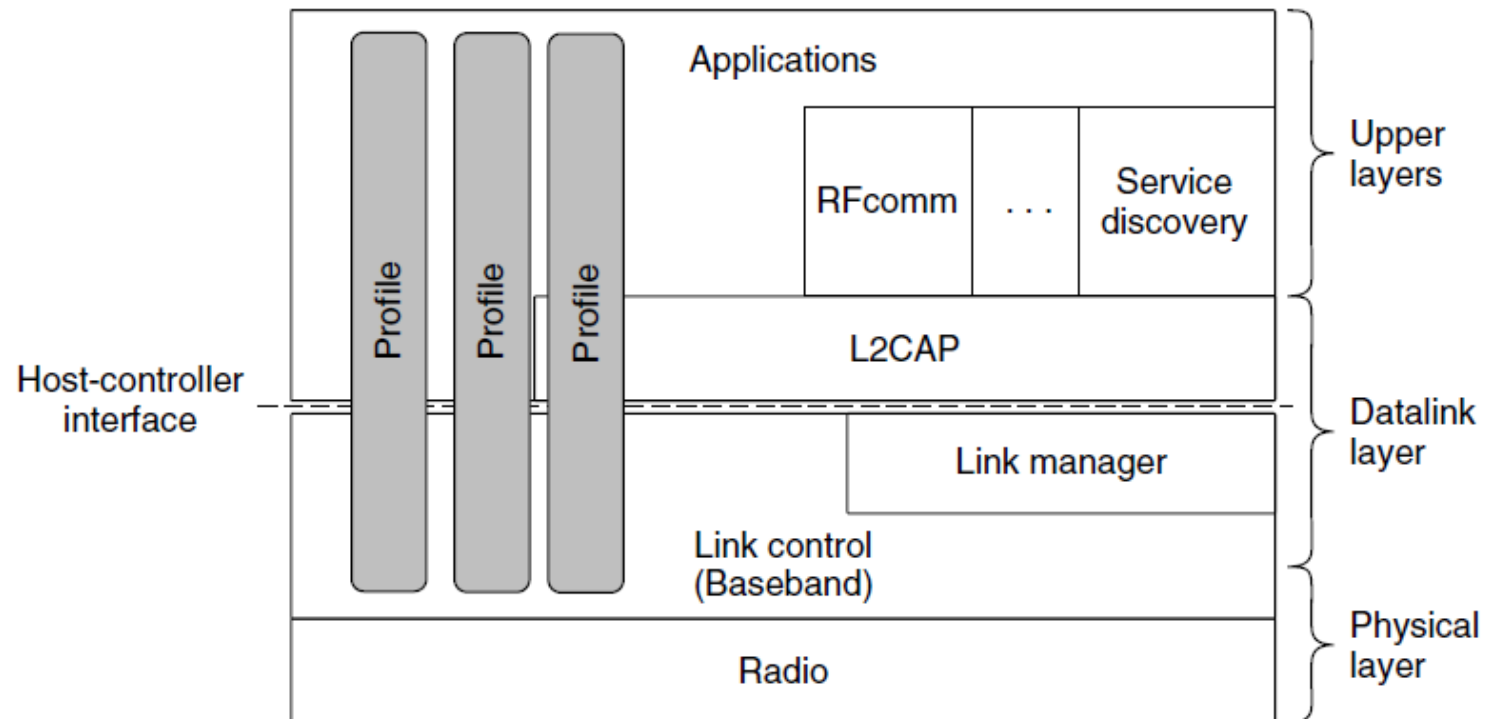


LA CAPA DE ENLACE

MAC: Redes Inalámbricas Bluetooth



- Se crean “Perfiles”: cada uno provee el protocolo para la aplicación en cuestión
- Existen al menos 25 perfiles, incluye headset, intercomunicador, audio de streaming, control remoto, PAN, etc



LA CAPA DE ENLACE

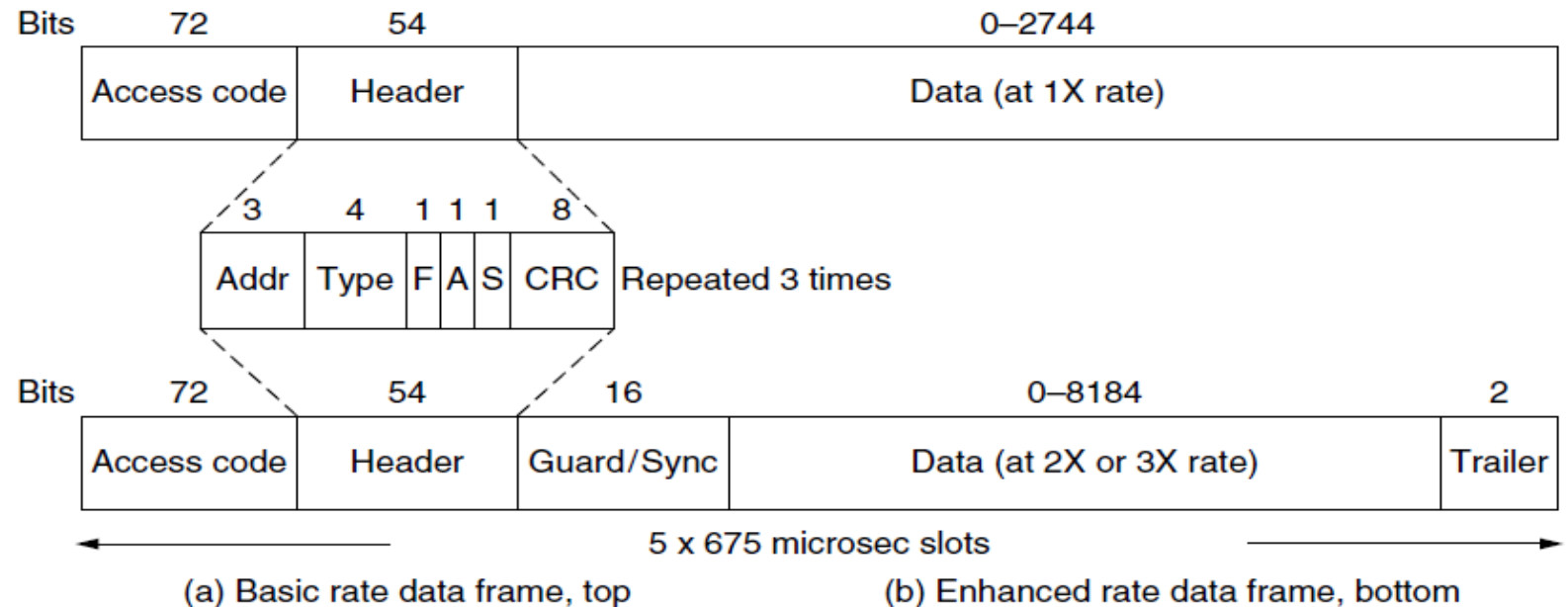
MAC: Redes Inalámbricas Bluetooth



Utiliza TDM con ranuras de tiempo para maestro y esclavos

- CO sincrónica para ranuras periódicas en cada dirección
- CL asincrónica para data en paquetes de conmutación
- Los enlaces con el maestro se establecen a través del emparejamiento (usuario confirma contraseña/PIN) debe ser autorizado antes de usar un recurso.

Las direcciones son de 3 bits, máximo 8 dispositivos





USB