

Capítulo 4

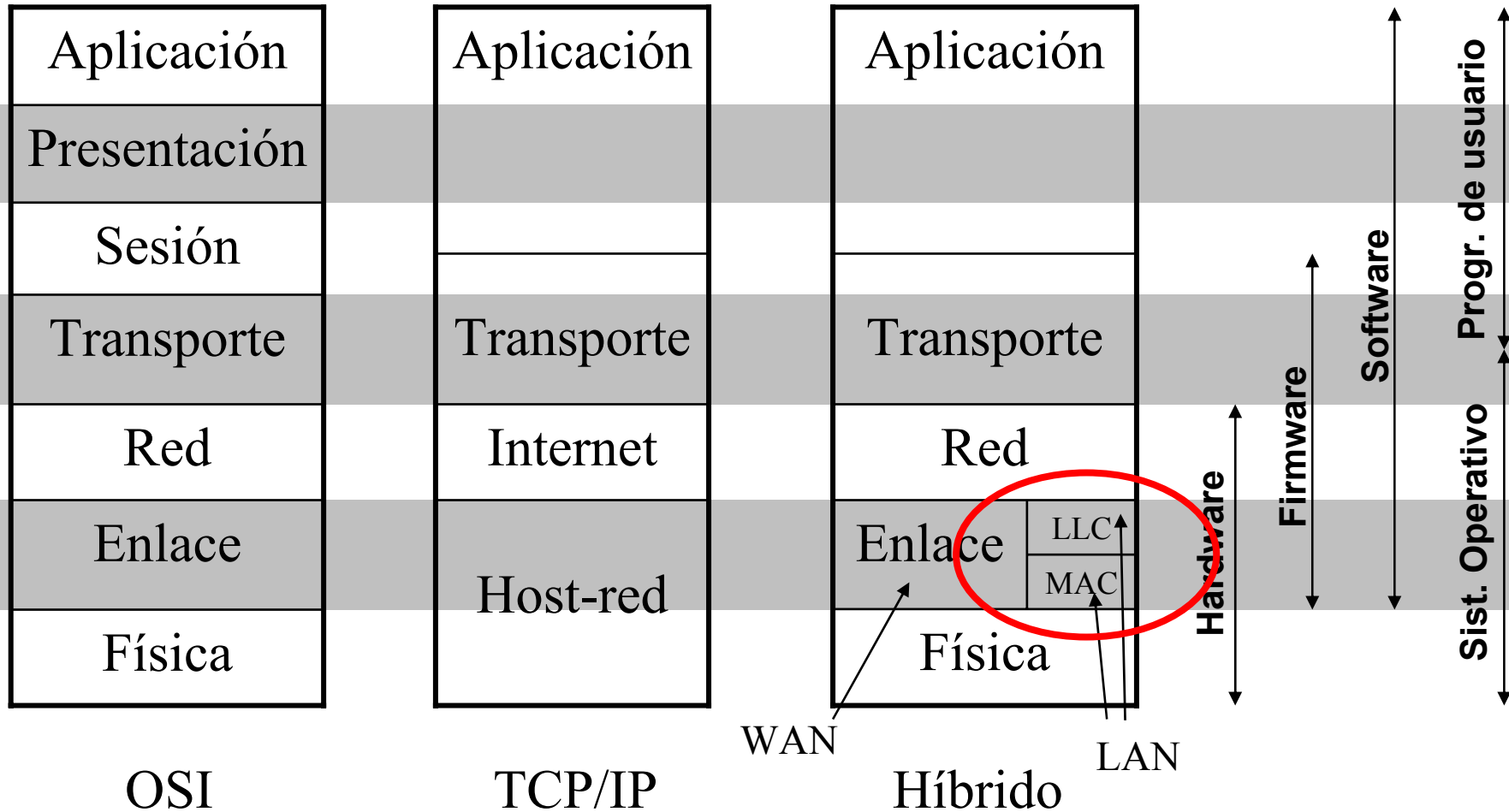
Redes Locales y protocolos MAC
(Tecnologías LAN)

Fundamentos de Telemática
(Ingeniería Telemática)

Sumario

- **Antecedentes, perspectiva y estándares**
- Ethernet
- Token Ring y FDDI
- Codificación de la información
- LLC (Logical Link Control)
- LANs inalámbricas

Comparación de modelos OSI, TCP/IP e híbrido



Host-Red o también conocida como de “Acceso a la Red”

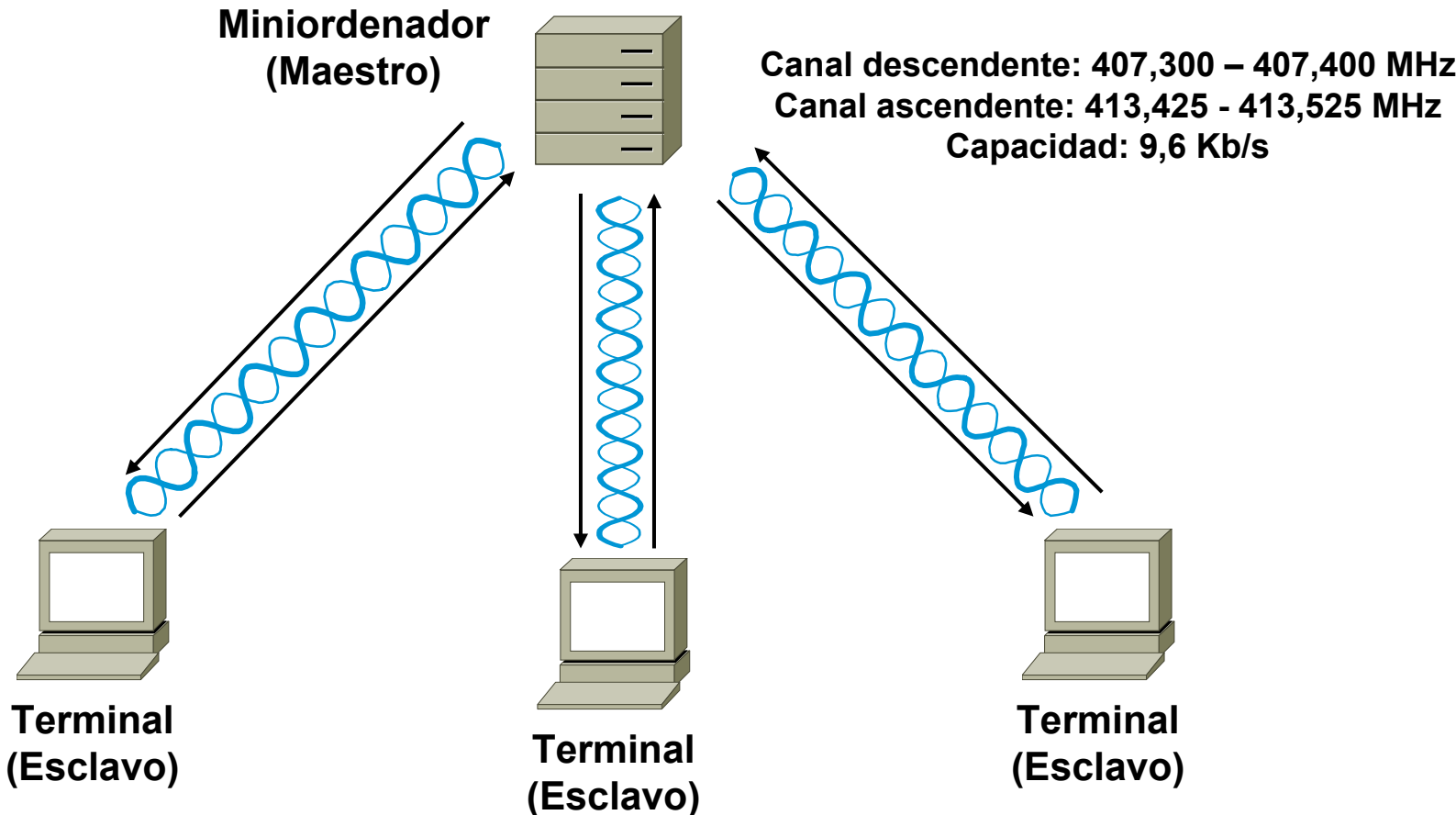
Antecedentes

- 1969: Nace ARPANET, red del Departamento de Defensa (DoD) americano con ordenadores conectados punto a punto.
- 1970: Abramson crea red Alohanet en Univ. de Hawaii utilizando emisoras de radio taxis viejos para interconectar el ordenador de la isla de Hawaii, Maui y Kauai con Honolulu.
- Arquitectura maestro-esclavo (como los radio taxis)
- Dos canales:
 - Descendente (Maestro→Esclavo): un solo emisor
 - Ascendente (Esclavo→Maestro): compartido por 3 ‘esclavos’ ubicado en cada isla

Topología de Alohanet



Funcionamiento de Alohanet

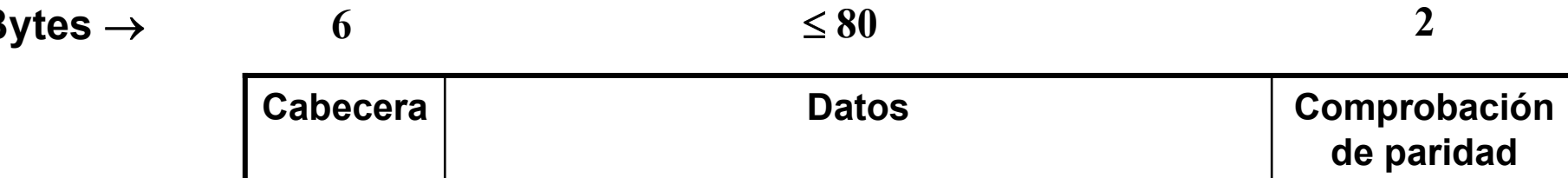


La comunicación ascendente (Esclavo→Maestro) puede sufrir colisiones si transmiten dos terminales a la vez. Basta que dos envíos se solapen en un bit para estropear ambos por completo.

Protocolo MAC (Media Access Control) de Aloha

La estación (esclavo) transmite la trama y espera una confirmación (acuse de recibo); si ésta no se produce dentro del tiempo máximo previsto (timeout) la trama se retransmite.

- Cada trama lleva un campo que permite al receptor comprobar que el contenido es correcto:



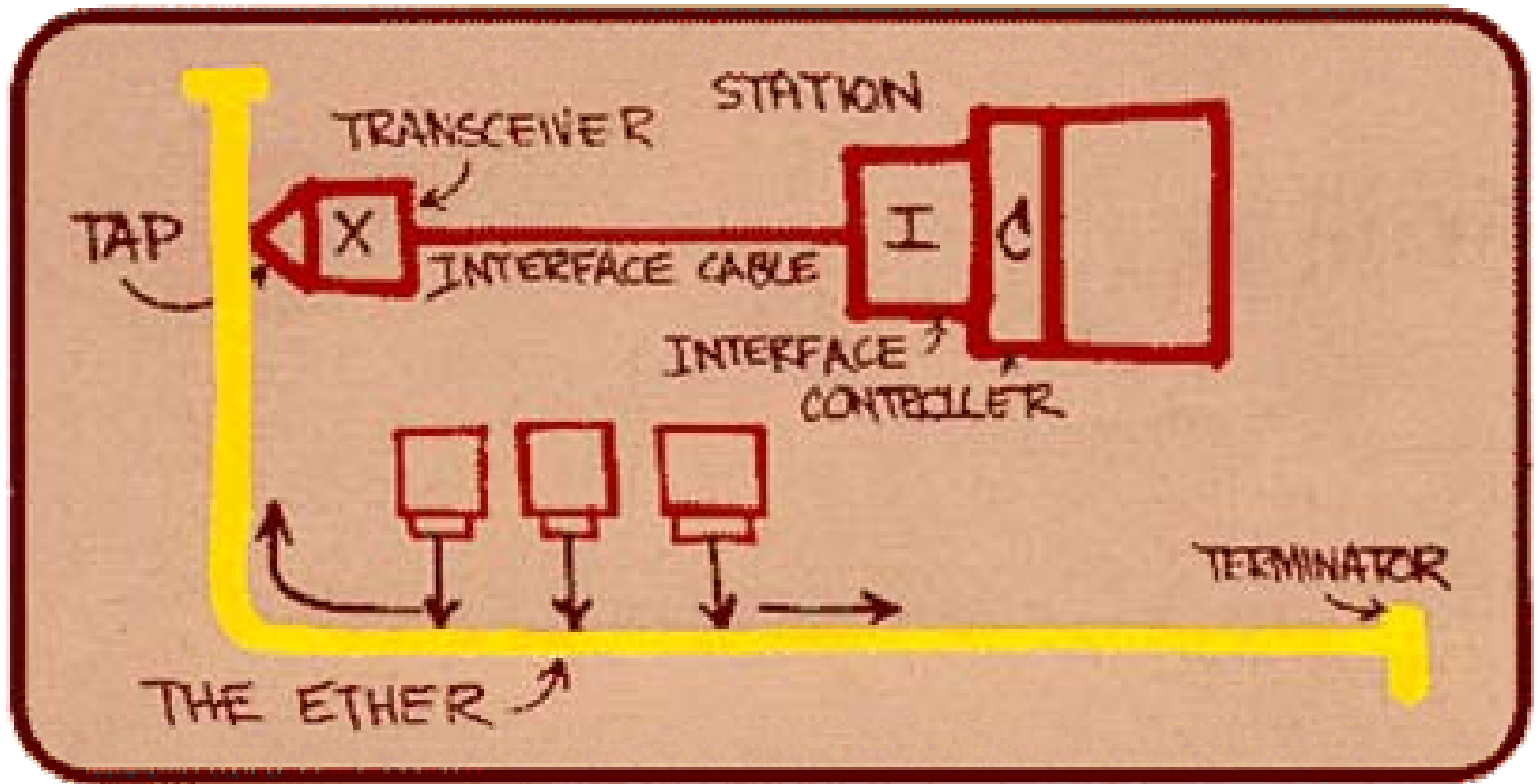
Mejoras del protocolo Aloha

- 1ª mejora: si concentramos las colisiones en un instante de tiempo, la probabilidad de colisionar con una trama enviada es menor. Esto dio lugar al *Aloha ranurado*, de forma que sólo se podía transmitir en intervalos de tiempos definidos.
- 2ª mejora: si escuchamos al mismo tiempo que transmitimos, podremos detectar colisión. Esto dio pie al CSMA/CD.

EtherNet (EN)

- 1970: Robert Metcalfe, estudiante del MIT, empieza una tesis doctoral en Harvard sobre optimización del protocolo Aloha de Abramson
- 1972 Metcalfe con 27 años, se traslada al Xerox PARC (Palo Alto Research Center, Silicon Valley) donde se le encarga diseñar la red del laboratorio. Le ayuda un estudiante de Stanford, David Boggs
- 22 de mayo de 1973: Metcalfe y David Boggs anuncian la comunicación de dos ordenadores con una red llamada Ethernet (2,94 Mb/s con 1600 metros de coaxial de 50 ohms) con protocolo CSMA/CD
- 1975 Boggs crea el primer router y una aplicación para servicio de nombres

Dibujo de Ethernet hecho por Metcalfe



Ether (eter), es un medio propagador universal, que viene de la palabra griega "ether"

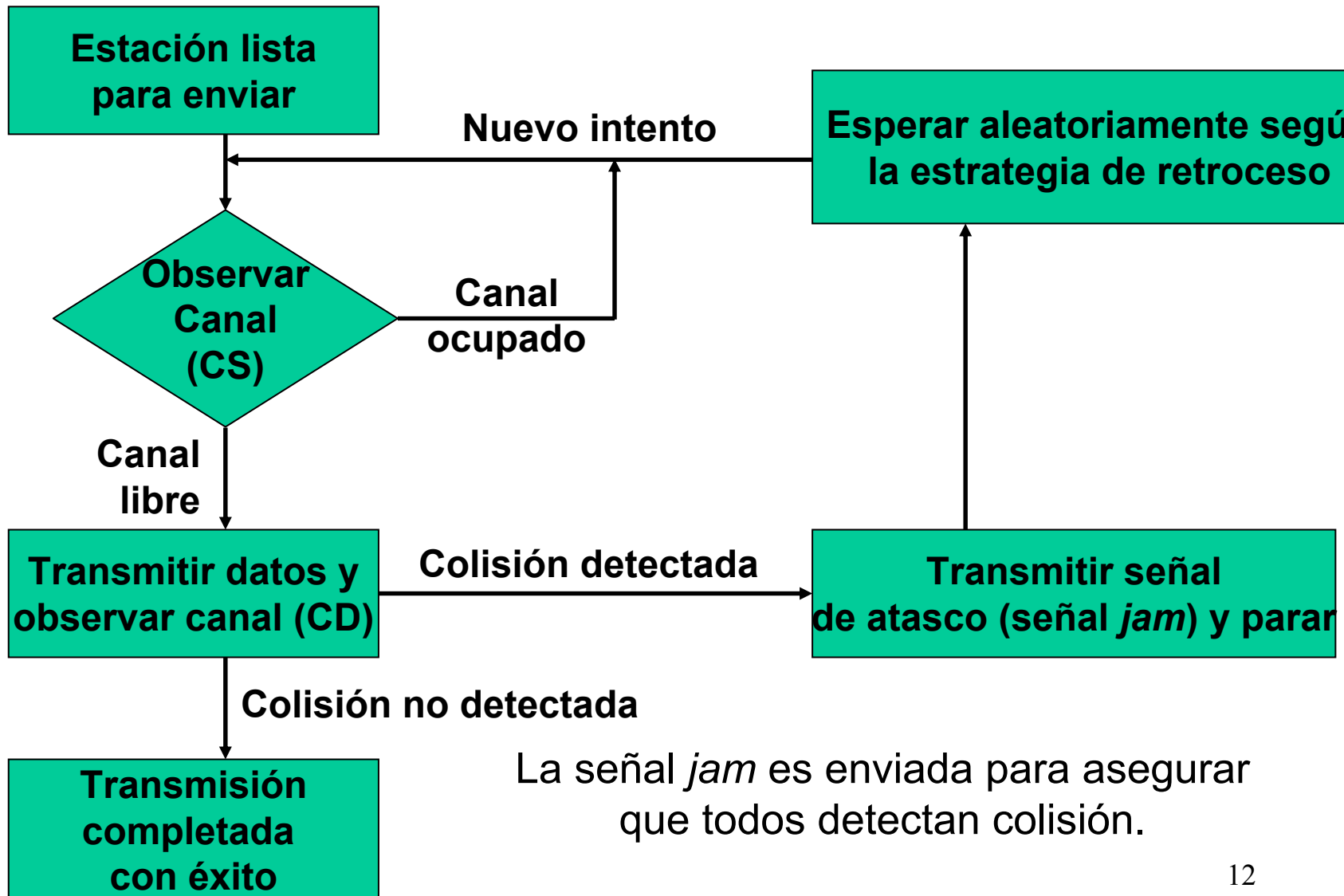
CSMA/CD (Carrier Sense Multiple Access / Collision Detect)

El protocolo CSMA/CD consiste en:

1. Oír antes de empezar a hablar (CS, Carrier Sense)
2. Hablar solo cuando los demás callan
3. Si mientras hablamos oímos que otro habla nos callamos (CD, Collision Detect)

Dicho en pocas palabras el protocolo CSMA/CD consiste en ser **educado y prudente**

Funcionamiento del CSMA/CD



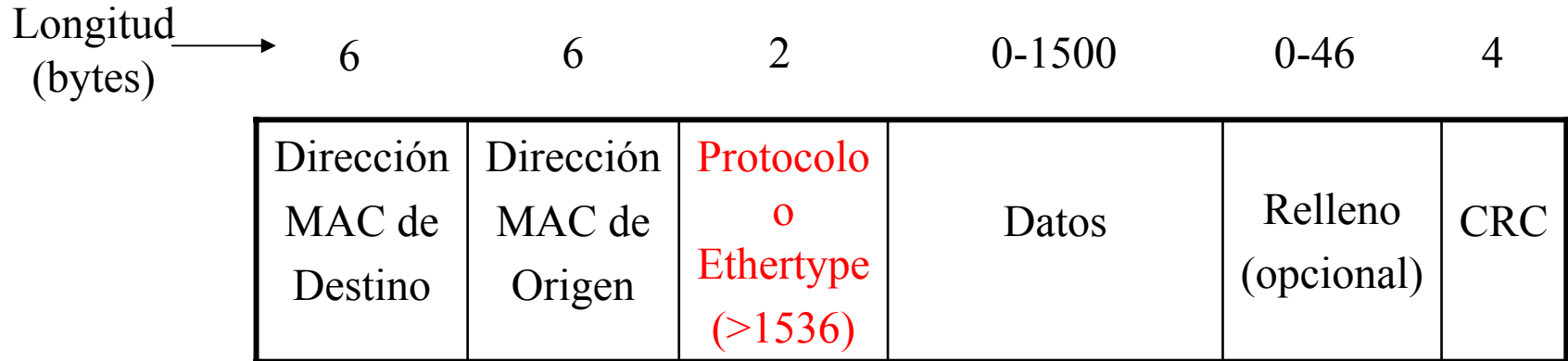
Lanzamiento comercial de Ethernet: Consortio DIX

- 1976: Xerox crea una nueva división para el lanzamiento comercial de los PCs y de Ethernet, pero el intento fracasa
- 1979: Metcalfe abandona Xerox y promueve la creación del consorcio DIX (Digital-Intel-Xerox) para potenciar el uso de Ethernet (ya entonces a 10 Mb/s). Además, como Xerox no puede producir tarjetas de red, crea la empresa “Computers, Communications and Compatibility” 3COM
- 1980: DIX publica Ethernet v 1.0, *pero IEEE busca una estandarización...*
- 1984: Boggs deja Xerox y pasa a Compaq.

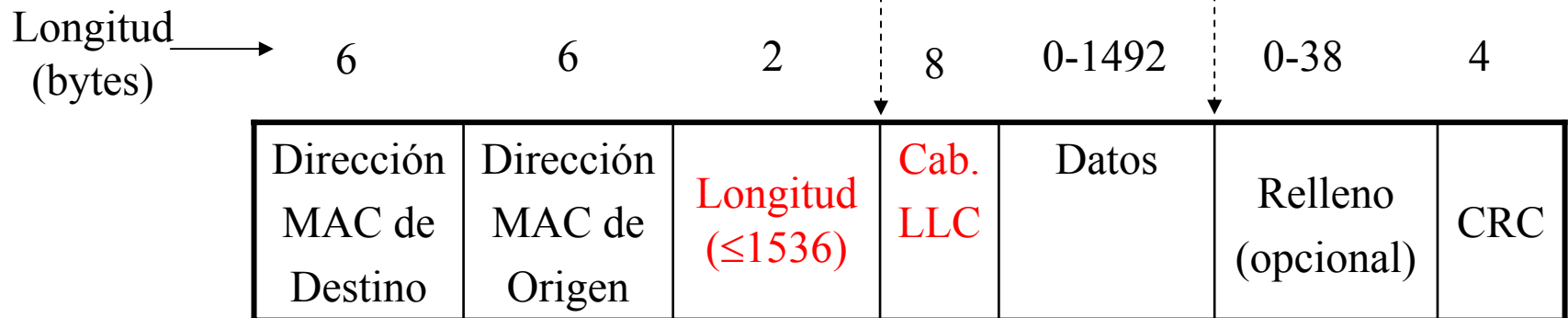
Estandarización

- Febrero de 1980: el IEEE crea el proyecto 802 para aprobar el estándar de LAN.
- IEEE 802 recibe tres propuestas:
 - CSMA/CD (DIX): DIX intenta ‘imponer’ EN a 802
 - Token Bus (General Motors)
 - Token Ring (IBM)
- Se crean cinco subcomités: uno para cada propuesta (802.3, 802.4 y 802.5) y dos de tipo general: 802.1 y 802.2 (LLC)
- **1983: 802.3 aprueba CSMA/CD con una ‘pequeña’ modificación respecto a EN DIX: Campo *tipo* (Ethertype) reemplazado por *longitud*!!!!!!!!!!!!!!**
- Xerox desplaza campo Ethertype a valores >1536 para que pueda coexistir DIX con 802.3

Trama Ethernet DIX:



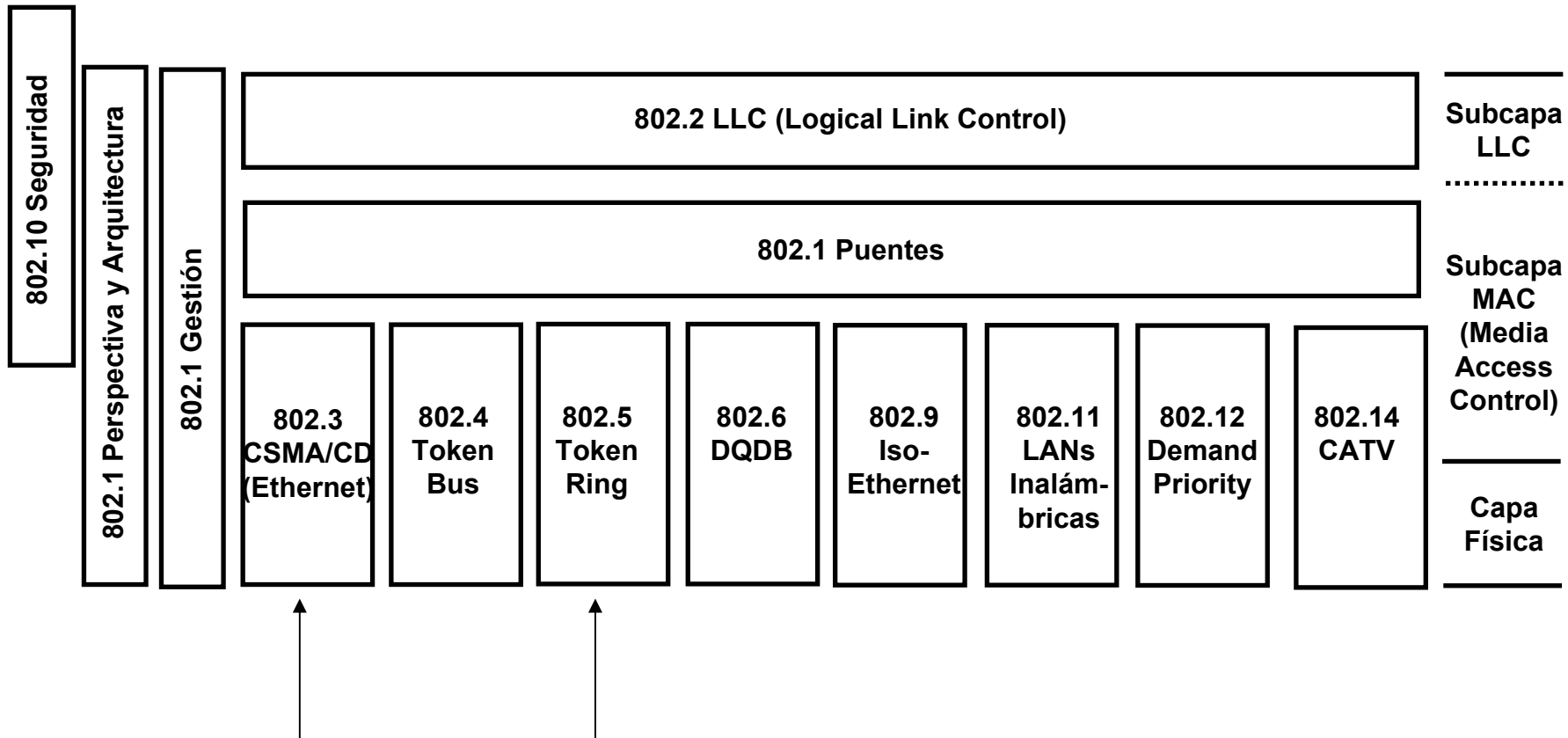
Trama Ethernet IEEE 802.3:



Formatos DIX (Dec Intel Xerox) y IEEE 802.3

- DIX:
 - En el campo Tipo especificaba el tipo de protocolo de red y de forma rápida permitía procesar los paquetes, sin necesidad de pasar al nivel superior LLC. Por ejemplo el control de flujo utiliza tipos especiales que requieren prioridad y rapidez en procesarse, que se complica si se añade una capa más. NO UTILIZA LLC, y es el formato más utilizado
- 802.3/LLC:
 - El campo longitud es redundante ya que cuando se recibe una trama se sabe su longitud (contando) y fuerza a decodificar las tramas en LLC
- En 1997 IEEE aprueba doble significado (tipo/longitud) para estandarizar control de flujo (802.3x)
- Al final, la asignación de Ethertype pasó de Xerox a IEEE. Los Ethernets pueden consultarse por ejemplo en www.iana.org/numbers.html
- Usuarios de tramas tipo DIX: TCP/IP, DECNET Fase IV, LAT (Local Area Transport), IPX.
- Usuarios de tramas tipo 802.3/LLC: Appletalk Fase 2, NetBIOS, IPX

Arquitectura de los estándares IEEE 802



Grupos de trabajo 802

Grupo de Trabajo	Descripción	Estado
802.1	Arquitectura, aspectos generales, VLANs...	Activo
802.2	Logical Link Control	Hibernación e Inactivo
802.3	CSMA/CD (Ethernet)	Activo
802.4	Token Bus	Hibernación e Inactivo
802.5	Token Ring	Activo
802.6	Distributed Queued Dual Bus (DQDB)	Hibernación e Inactivo
802.7	Grupo asesor en banda ancha	Activo
802.8	Grupo asesor en fibras ópticas	Activo
802.9	Servicios Integrados (Iso-Ethernet)	Hibernación e Inactivo
802.10	Seguridad en estándares IEEE	Hibernación e Inactivo
802.11	Wireless LANs	Activo
802.12	Demand Priority (100VG-AnyLAN)	Hibernación e Inactivo
802.14	Redes CATV	Disuelto
802.15	Wireless Personal Area Networks (WPAN)	Activo
802.16	Broadband Wireless Access (BWA)	Activo
802.17	Resilient Packet Ring (RPR)	Activo

Algunos proyectos IEEE 802

- 802.1D: puentes transparentes
- 802.1Q: Redes locales virtuales (VLANs)
- 802.3u: Fast Ethernet
- 802.3x. Ethernet Full dúplex y control de flujo
- 802.3z: Gigabit Ethernet
- 802.3ab: Gigabit Ethernet en cable UTP-5
- 802.3ad: Agregación de enlaces
- 802.3ae: 10 Gigabit Ethernet

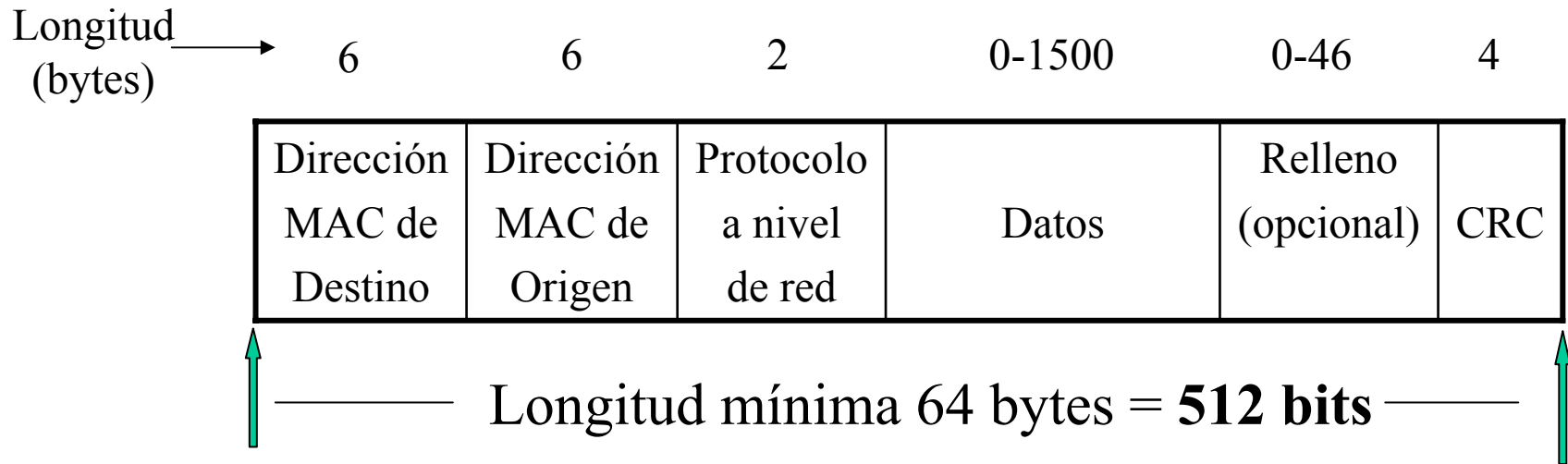
Estándares LAN de ANSI

- Algunas LANs no han sido estandarizadas por el IEEE. De ellas las más importantes son las que ha estandarizado ANSI:
 - X3T9.3: HIPPI (High Performance Parallel Interface), formada por un núcleo de conmutación de altas prestaciones a la cual conectan los nodos
 - X3T11: Fibre Channel, conocida como una HIPPI elaborada
 - X3T9.5: FDDI (Fiber Distributed Data Interface) considerada evolución de Token Ring
- Aunque no son del IEEE estos estándares siguen la arquitectura 802
- Todas las LANs del IEEE y de ANSI han sido adoptadas por ISO (International Organization for Standardization)

Sumario

- Antecedentes, perspectiva y estándares
- **Ethernet**
- Token Ring y FDDI
- Codificación de la información
- LLC (Logical Link Control)
- LANs inalámbricas

Estructura de trama Ethernet DIX



MAC Destino-Origen: Direcciones de 6 bytes

Protocolo (Ethertype): Especifica protocolo a nivel de red, Ej. para IP X'0800'

Relleno: Garantiza que la trama nunca tenga menos de 64 bytes

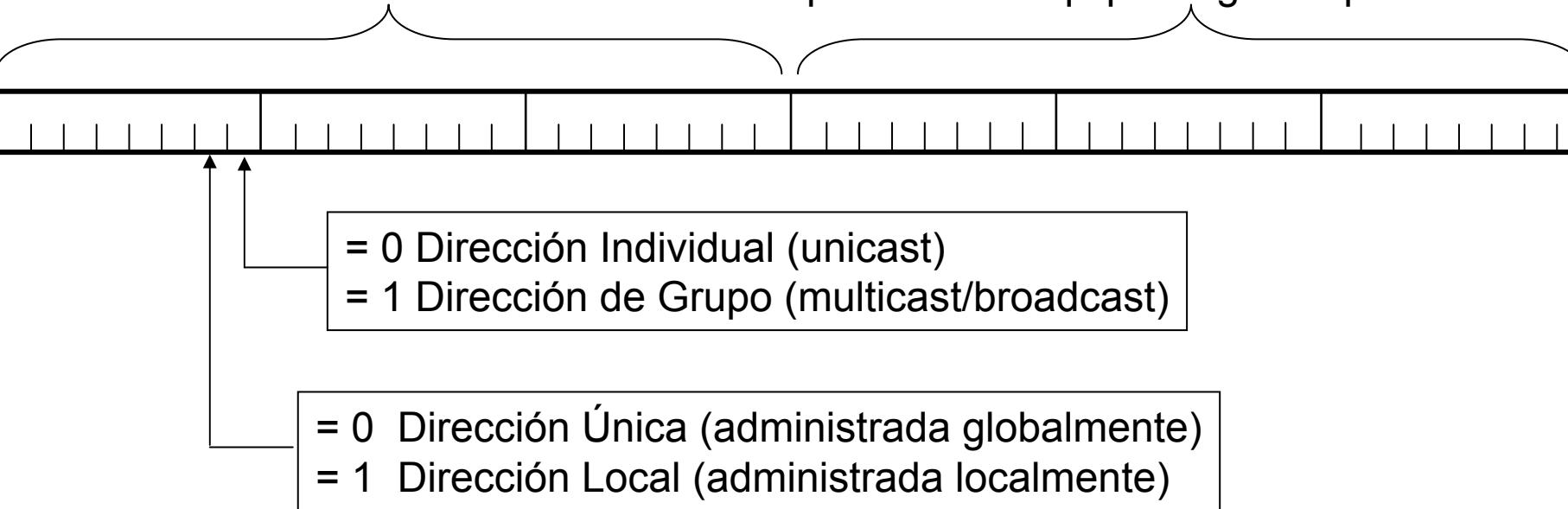
CRC: detecta errores de transmisión, aunque no muy utilizado dado que el BER es muy bajo

Longitud máxima= $6+6+2+1500$ (datos)+4= 1518 bytes

Direcciones MAC observada en el host

Parte asignada al fabricante (**OUI**)

Parte específica del equipo asignada por fabricante



El OUI (Organization Unique Identifier) lo asignaba inicialmente Xerox a las empresas que lo solicitaban. Al adoptarse este formato de dirección para todas las redes 802 la tarea pasó a realizarla el IEEE.

Destacar que la transmisión de bits en Ethernet es Little Endian, por cada byte primero los bits menos significativos. Depende de dónde se observa esta dirección MAC: si en el host o en la red, los bits I/G pueden ir al principio o al final

Ejercicio de cálculo de tiempos de propagación

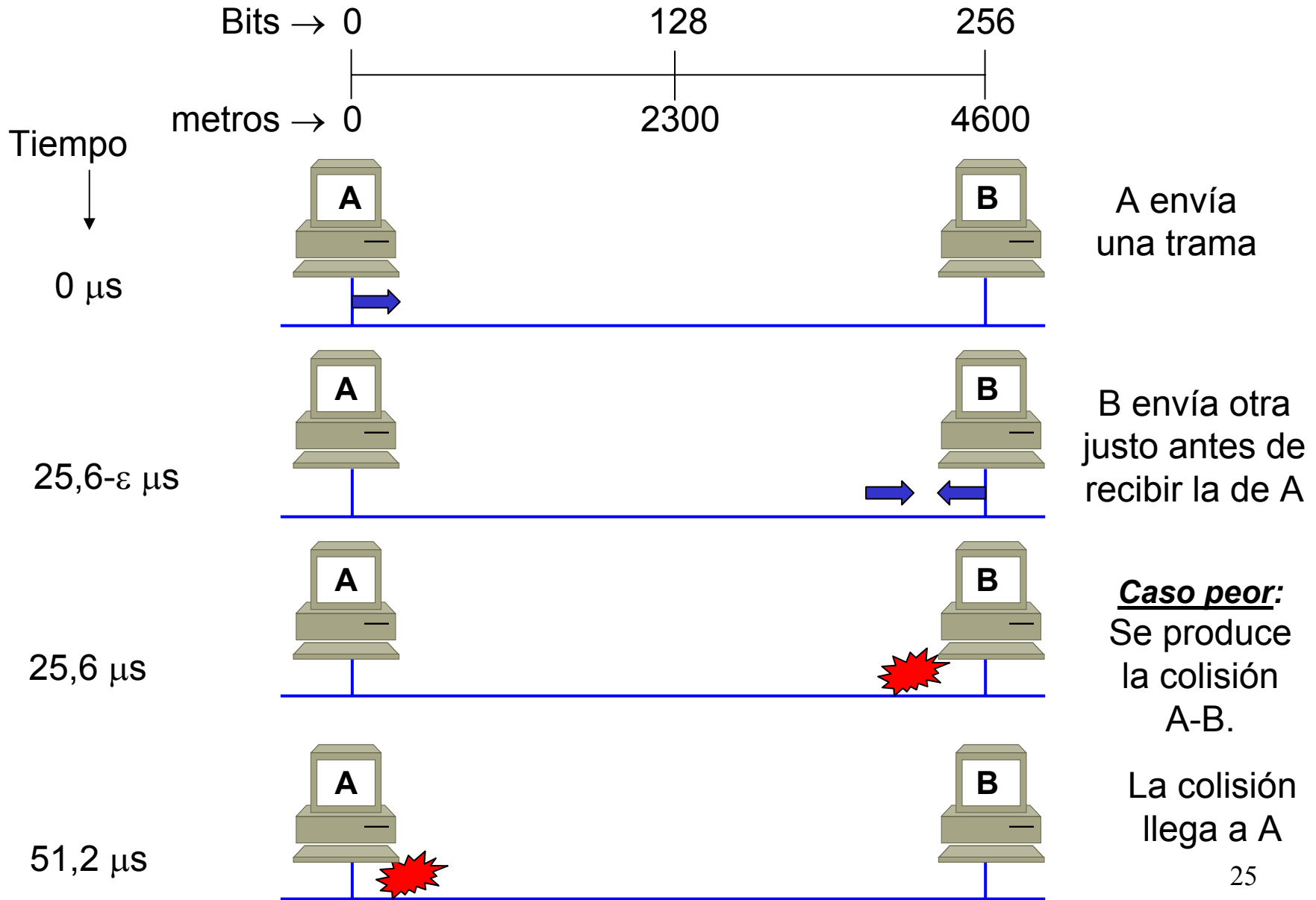
¿Cuántos microsegundos se necesitan para recorrer un Km si la señal se propaga a 180.000 Km/s?

Solución: $1/(180\ 000\ \text{km /s})=5.5555\ \text{us/Km}$

Dada la longitud mínima de una trama (64 bytes, 512 bits) transmitida a 10Mbps (que tarda 51,2 us), estimar la distancia recorrida por la señal a la velocidad del cobre 180.000 Km/s cuando ha terminado de salir el último bit. Pues si 51.2 us a 180 000 km/s

Solución: 9216 metros. Si contemplamos la situación de Ida y Vuelta, son 4608 m.

Crónica de una colisión anunciada (a 10 Mb/s)



Topología de Ethernet

- El tiempo que la señal tarda en ir y volver debe ser siempre menor que el tiempo de emisión de la trama mínima:

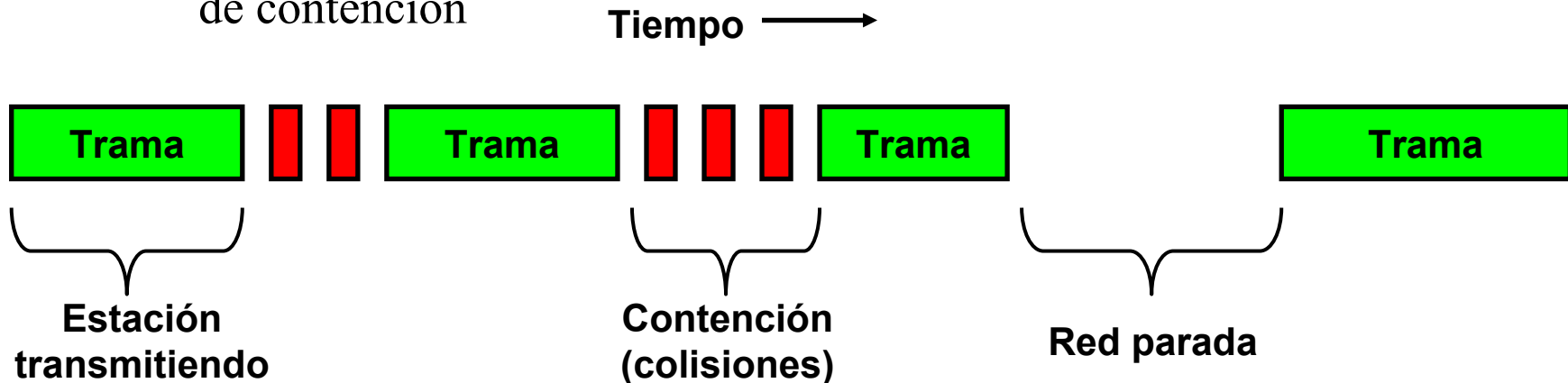
Trama mínima: 64 bytes (512 bits)

=> Tiempo de ida y vuelta máximo: 51,2 μ s (10 Mb/s) 5,12 μ s (100 Mb/s)
[tiempo para detectar la colisión quien envía en el caso peor]

- A 180.000 Km/s (velocidad de la luz en fibra y cobre) la distancia máxima es de unos 4,6 Km para 10 Mb/s y 460 m para 100 Mb/s, lo que supone un retraso de 5.5555 us/Km. Actualmente con UTP-Cat5 los medios tiende a una velocidad mayor, 200.000 Km/s, lo que supone un retraso de 5 us/Km.
- El estandar fija el tamaño mínimo de trama para que pueda detectar la colisión, y que si finalizara de transmitir, dejaría de escuchar y por tanto no vería si hay o no colisión.
- Si estas reglas no se cumplen se producen ‘colisiones tardías’ y colisiones no detectadas. Esto es nefasto para el rendimiento.
- La forma normal de implementar estos dominios de colisión es bien en topología bus (10BASE-2 o 10BASE5) bien con hubs (10, 10 o 10/100)

Funcionamiento de Ethernet

- Una red Ethernet puede estar en una de tres situaciones:
 - Red **parada**: no hay transmisión
 - Red **en contención**: una (o varias) estación transmiten con riesgo de colisión. Esto puede ocurrir solo durante los primeros 51,2 μ s de transmisión como máximo (5,12 μ s a 100 Mb/s). En el caso de contención, la estación que lo detecta envía **trama jam** (32 bits) para asegurar que todos detectan la colisión.
 - Estación **transmitiendo**: una estación está transmitiendo sin riesgo de colisión. Esto ocurre cuando la estación ha superado el período de contención



Colisiones

- Conviene minimizarlas ya que reducen rendimiento, pero son un evento normal en Ethernet.
- El riesgo de colisión solo se da en los primeros 64 bytes, a partir de aquí la estación transmisora ya ‘posee’ el cable.
- Las tramas grandes colisionan menos, dado que una vez superan los 64 bytes, ya nadie las puede colisionar.
- En caso de colisión los reintentos se producen a intervalos aleatorios cada vez mayores, *utilizando conocido como retroceso exponencial binario*.
- El ámbito donde se produce la colisión, se llama **dominio de colisión**.

Retroceso exponencial binario para 10Mbps

Al detectar la colisión ambos dejan de transmitir y desde ese momento dividen el tiempo en intervalos de $51,2\mu\text{s}$:

- 1. Entonces esperan 0 ó 1 intervalos para reintentar (la elección entre 0 y 1 la hace cada uno independientemente de forma aleatoria, por lo que la probabilidad de colisión es ahora de 0,5)*
- 2. Si se produce la segunda colisión cada ordenador espera aleatoriamente 0, 1, 2 ó 3 intervalos para reintentar, con lo que la probabilidad de colisión baja a 0,25.*
- 3. Si siguen colisionando el número de intervalos se duplica en cada intento sucesivo hasta 16 iteraciones, con lo que la probabilidad de colisión decrece exponencialmente, hasta que eventualmente ambos eligen intervalos distintos. El segundo quedará a la espera de que el primero termine para transmitir inmediatamente después.*

Como mejorar el Rendimiento (de Boggs, Mogul y Kent)

- **Aumentar tamaño de tramas:** con 64 bytes riesgo de colisión el 100% del tiempo, con 1518 solo el 4% (primeros 64).
- **Minimizar distancias, especialmente entre servidores;** si la distancia es menor el riesgo de colisión será menor.
- **Reducir número de estaciones;** a menos estaciones, menos caos y menos colisiones.

Otras soluciones más radicales, pasan por eliminar las colisiones:

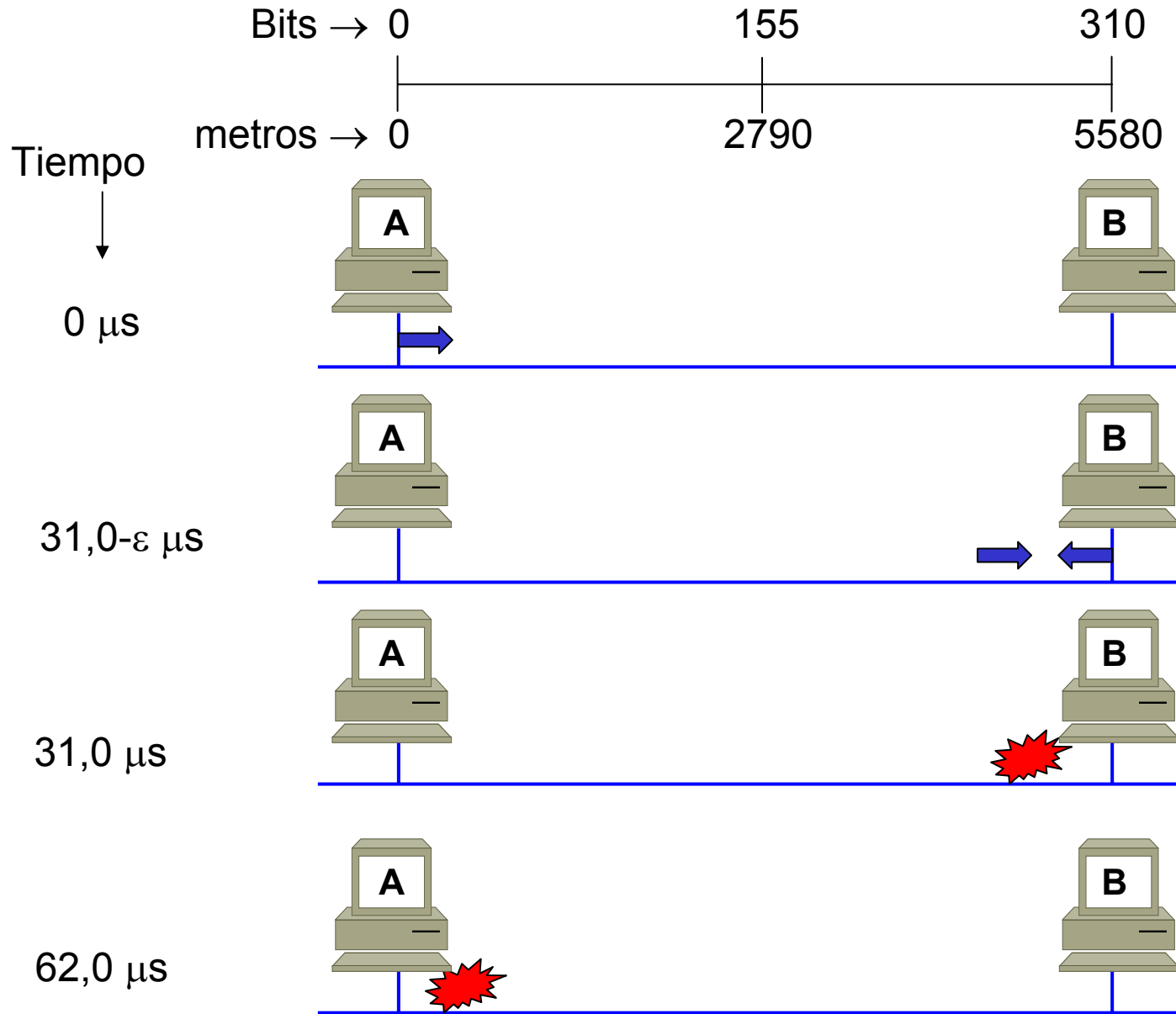
- *utilizando tecnologías sin colisión (802.5, FDDI)*
- *utilizar conexiones punto a punto dedicadas (conmutadores o switches), lo cual dará pie a conexiones Full Duplex*

Colisiones anormales

Colisiones anormales son:

- Las *excesivas colisiones*: ocurren cuando la estación agota el máximo de iteraciones (16) previsto por el retroceso exponencial binario. Son un síntoma de excesiva saturación. En ese momento la trama se descarta y se avisa a la capa de red
- Las *colisiones tardías*: se producen cuando la topología no es correcta, es decir supera las distancias máximas entre algún par de estaciones. También pueden ocurrir por defectos de cableado.

Colisión tardía (a 10 Mb/s)



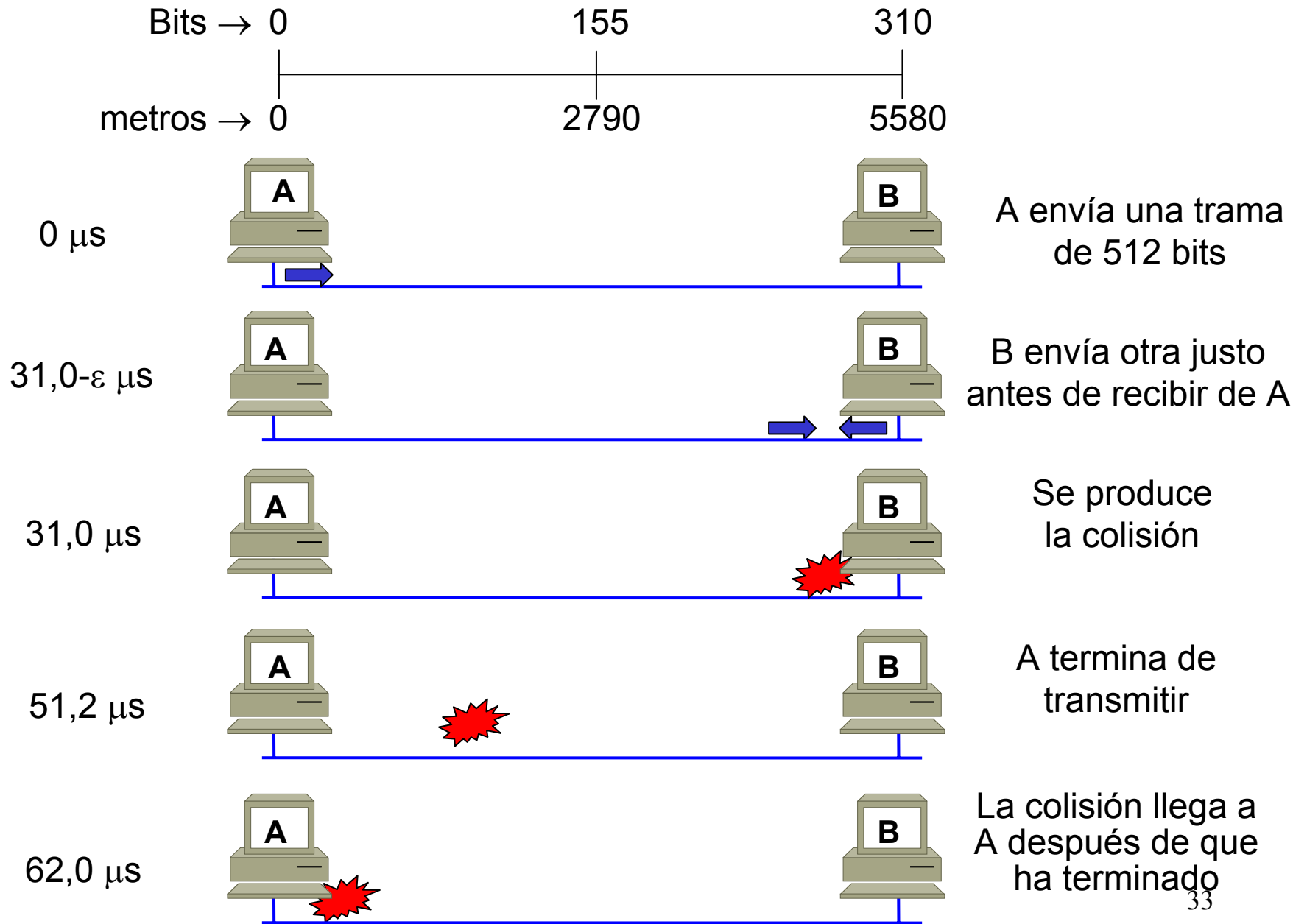
A envía una trama de 620 bits. Se supone que si llegara a transmitir 512 bit ya quedaría libre de colisión.

B envía otra justo antes de recibir la de A

Se produce la colisión A-B

La colisión llega a A justo antes de que termine y no en los 51.2 us

Colisión no detectada (a 10 Mb/s)



Colisiones anormales y rendimiento

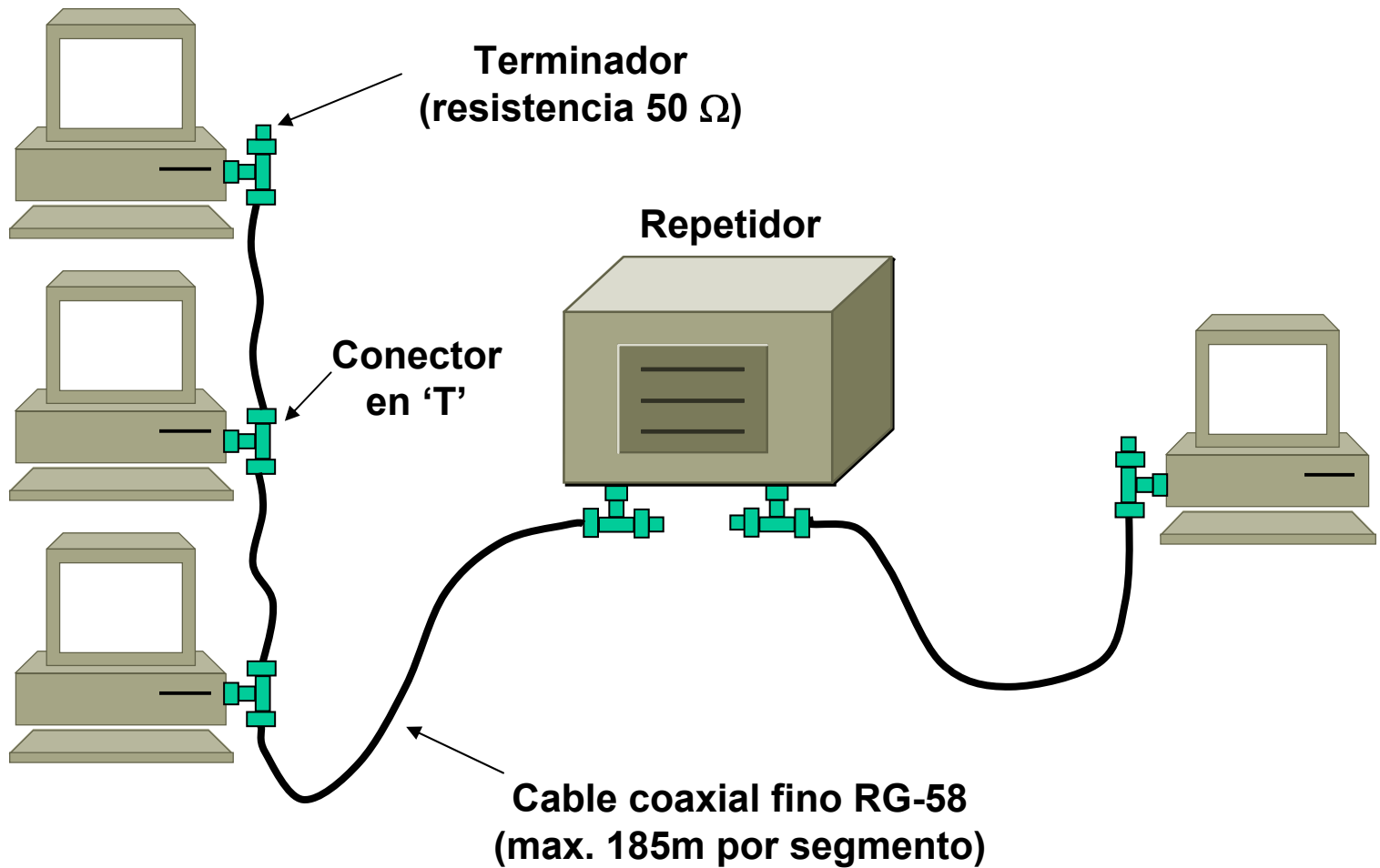
- Cuando se produce una colisión excesiva o tardía el nivel MAC abandona y la trama se pierde. Normalmente esto requiere retransmisión a nivel de transporte (TCP) lo cual provoca una pérdida considerable de rendimiento.
- Muchos equipos poseen contadores que permiten monitorizar la ocurrencia de colisiones anormales. Los routers y conmutadores LAN siempre los incorporan, de esta forma es fácil monitorizar un dominio de colisión.

Medios físicos más habituales de Ethernet

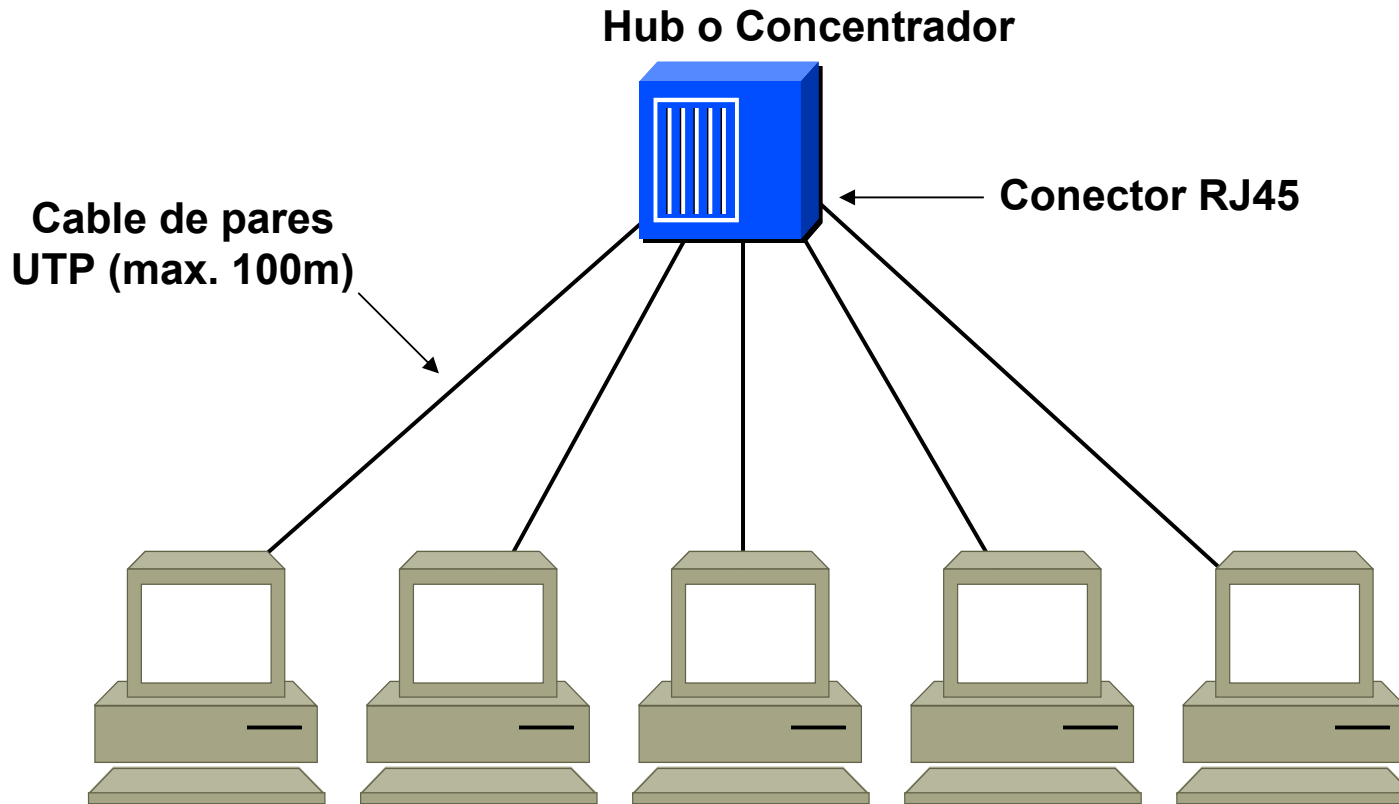
Medio	Cable	Distancia	Pares	F.D.	Costo
<i>(1BASE5)</i>	UTP-2	500m	2	Sí	Bajo
<i>(10BASE5)</i>	Coaxial grueso 50 Ω	500 m	1	No	Bajo
<i>(10BASE2)</i>	Coaxial fino 50 Ω	200 m	1	No	Bajo
10BASE-T	UTP-3/5	100/150 m	2	Sí	Bajo
10BASE-F	F.O. 1ª ventana	2 Km	1	Sí	Medio
100BASE-TX	UTP-5	100 m	2	Sí	Bajo
100BASE-FX	F.O. 2ª ventana	2 Km	1	Sí	Alto
1000BASE-T	UTP-5e	100 m	4	Sí	Medio
1000BASE-SX	F.O. 1ª ventana	500 m	1	Sí	Medio
1000BASE-LX	F.O. 2ª ventana	5 Km	1	Sí	Alto

Notación: Velocidad (10, 100, 1000)|modulación banda base| medio
 -T: Twisted, -S: short wavelength, -L: long wavelength

Ethernet 10BASE2



Ethernet 10/100BASE-T



10BASE-T: UTP- 3
100BASE-TX: UTP- 5

De Ethernet a Fast Ethernet

- 1988: El investigador Van Jacobson en SUN, obtiene 8 Mbps en una conexión TCP
- 1992: La empresa Grand Junction (absorbida por Cisco Systems) inventa Fast Ethernet
- 1992: IEEE crea grupo estudio alta velocidad Dos propuestas:
 - Ethernet x 10 (CSMA/CD) → **Fast Ethernet**
 - Nuevo protocolo → **100 VG-AnyLAN (802.12)**
- 1995: Estándar Fast Ethernet (802.3u). Nivel físico basado en FDDI.

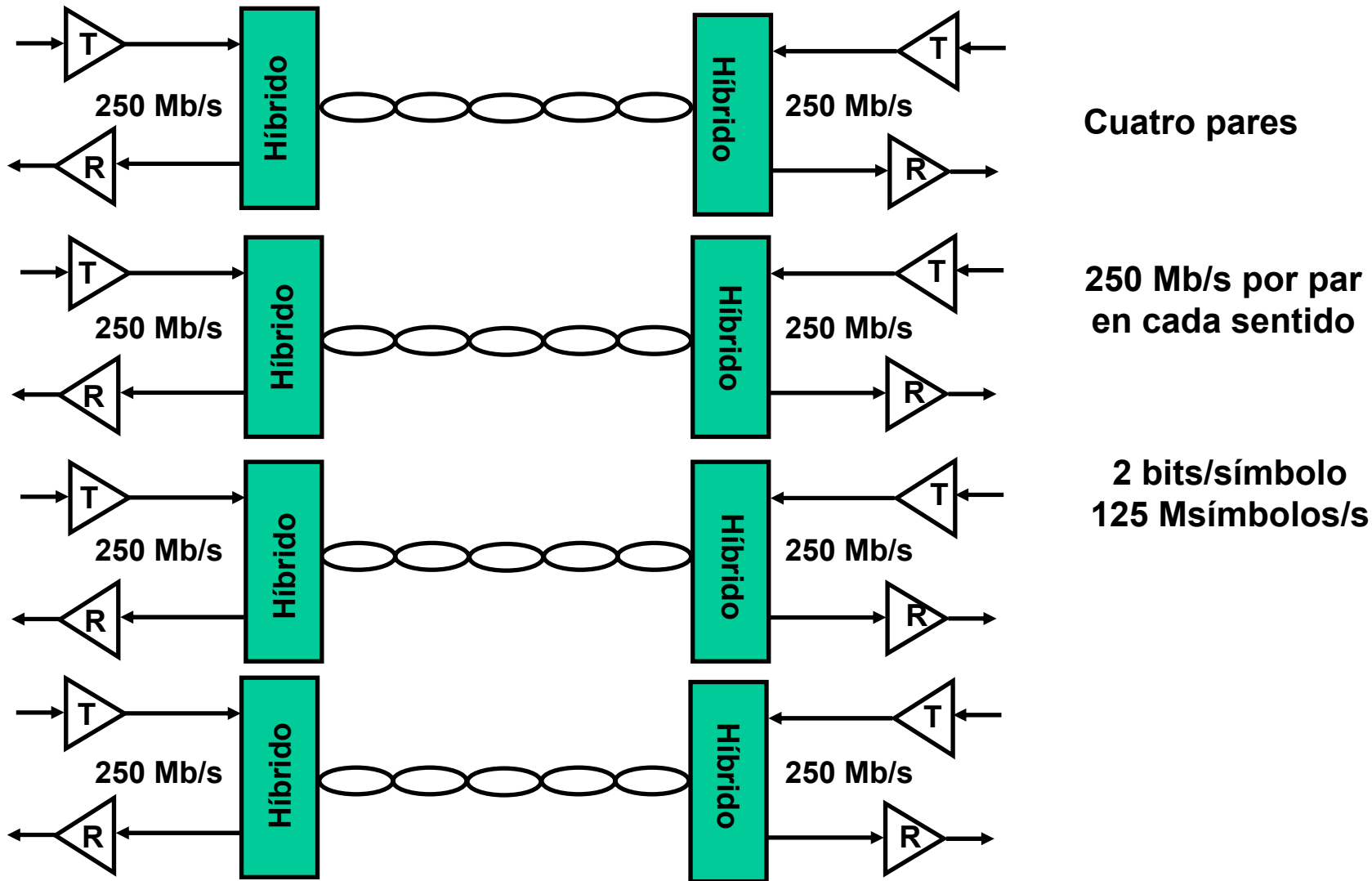
Gigabit Ethernet

- Se repite experiencia de Fast Ethernet.
- Oct. 1995: Se crea grupo estudio GE
- 1997: se separa 1000BASE-T de resto de GE
- 1998: Estándar 802.3z (GE) Nivel físico basado en Fiber Channel (800 Mb/s)
- 1999: Se aprueba 802.3ab (1000BASE-T)
- 1/2000: Se crea GT para 10 GB Ethernet

Topología GE y colisiones

- EN y FE: Fundamental no superar 512 bits (64 bytes) de retardo máximo de ida y vuelta (51,2 μ s en EN y 5,12 μ s en FE). Diámetro max.: 4 Km aprox. (EN) y 412 m (FE).
- En GE con 64 bytes el diámetro máximo sería de unos 30 metros. La trama se amplía a 512 bytes (4096 bits, 4,096 μ s) con la ‘extensión de portadora’. Diámetro max. 330 m.
- La extensión de portadora se añade a las tramas que proceden de EN o FE y se elimina cuando salen de un entorno GE
- Si estas reglas no se cumplen se pueden producir colisiones no detectadas y ‘colisiones tardías’.

Transmisión dual-duplex en 1000BASE-T



Cableado para 1000BASE-T

- La categoría 5 en algunos casos no satisface los requerimientos de 1000BASE-T, especialmente por problemas de los conectores
- En el conector todos los pares deben tener casi la misma longitud.
- Para ello se ha creado la categoría 5 mejorada o 5e (de Enhanced) que añade algunos parámetros de funcionamiento específicos para 1000 BASE-T.
- En teoría una instalación Cat. 5 se debería recertificar para 5e antes de usarla para 1000BASE-T

Ethernet en Fibra Óptica (FO)

Medio	Vent	Fibra	Distancia	Tipo emisor	Costo
10BASE-F	1 ^a	MM	2 Km	LED	Bajo
100BASE-FX	2 ^a	MM	2 Km	LED	Alto
100BASE-SX	1 ^a	MM	300 m	Láser VCSEL	Medio
1000BASE-SX	1 ^a	MM50 *	550 m	Láser VCSEL	Medio
1000BASE-SX	1 ^a	MM62,5 *	275 m	Láser VCSEL	Medio
1000BASE-LX	2 ^a	MM	550 m	Láser FP	Alto
1000BASE-LX	2 ^a	SM	5 Km	Láser FP	Alto
10GBASE-SX	1 ^a	MM mej.	300 m	Láser VCSEL	Medio
10GBASE-LX	2 ^a	MM-SM	15 Km	Láser FP	Alto
10GBASE-EX	3 ^a	SM	100 Km	Láser DFB	Muy Alto

MM: Fibra Multimodo

SM: Fibra Monomodo

LED: Light Emitting Diode

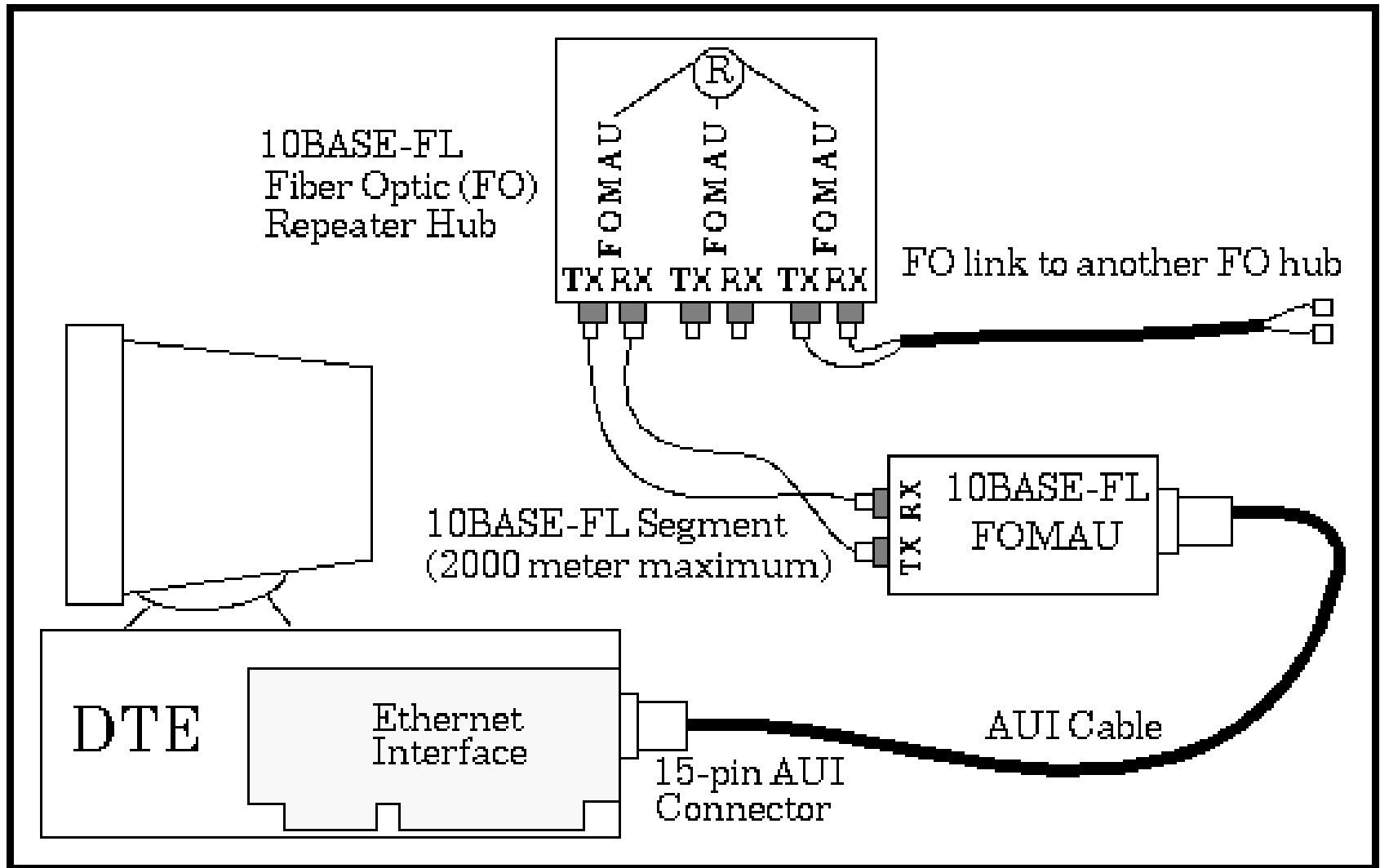
VCSEL: Vertical Cavity Surface Emitting Laser =lector CD!!

FP: Fabry Perot

DFB: Distributed Feedback

**Estas FO con GigabitEthernet (GE) en 1^a ventana, sufren “retardo del modo diferencial”*

Conexión Ethernet 10BASE-FL (fibra óptica)



AUI: attachment unit interface; MAU: Medium Attachment Unit

Ethernet sobre Fibra Óptica

- Ethernet (EN) : LED 1^a ventana (850 nm), 2 Km
- FastEthernet (FE) : LED 2^a vent.(1310 nm), 2 Km (como FDDI)
 - Haz invisible (infrarrojo lejano)
 - No autonegociación 10/100 en fibra (imposible cambiar de ventana dinámicamente)
- GigabitEthernet (GE): Láser 1^a y 2^a ventana
 - 1^a vent. (MM) bajo costo (VCSEL) corto alcance
 - 2^a: vent, (MM y SM) mayor costo y mayor alcance (5km)
- VCSEL más barato que LEDs 2^a ventana
- Propuesta FE VCSEL 1^a vent. (100BASE-SX)
 - Permite autonegociación 10/100
 - Más barato que 100BASE-FX, pero alcance 300 m

Gigabit Ethernet en F. O. Multimodo: *retardo de modo diferencial*

En Gigabit Ethernet sobre fibra multimodo el alcance está limitado fundamentalmente por el efecto del retardo en modo diferencial.

Este fenómeno consiste en que cuando el haz láser llega a la fibra multimodo, al ser ésta más ancha que el haz, éste genera haces de luz secundarios que van ‘rebotando’ por las paredes al avanzar por la fibra, haciendo unos haces un trayecto un poco mas largo que otros, con lo que el pulso de luz se ensancha ligeramente. El ensanchamiento es mayor cuanto mayor es la distancia recorrida y a mayor velocidad de transmisión menos ensanchamiento puede tolerarse, ya que un pulso se solapa con el siguiente, por tanto se mide MHz*Km.

Este fenómeno es el mismo que la dispersión en fibra, pero en este caso aparece por propagar luz láser por fibra multimodo.

Solo es importante en conexiones de alta velocidad (ATM a 622 Mb/s o Gigabit Ethernet) no en Ethernet o FastEthernet.

Evolución de Ethernet

- 1981: 10 Mb/s compartido 1x
- 1992: 10 Mb/s conmutado 10x
- 1995: 100 Mb/s conmutado 100X
- 1998: 1 Gb/s conmutado 1000X
- 2002: 10 Gb/s conmutado 10000X
- 2004: 40 Gb/s conmutado 40000X
- 2007: 160 Gb/s conmutado 160000X
- 2010: 640 Gb/s conmutado 640000X

Aplicaciones de 10 Gb Ethernet

- Backbone de grandes redes locales
- Conexión de servidores de altas prestaciones
- Posible alternativa a ATM y SDH en WAN (contempla grandes distancias)
- Redes metropolitanas sobre fibra oscura o WDM (Wavelength Division Multiplexing)
- Soporte de todo tipo de servicios, incluido voz y vídeo.

Sumario

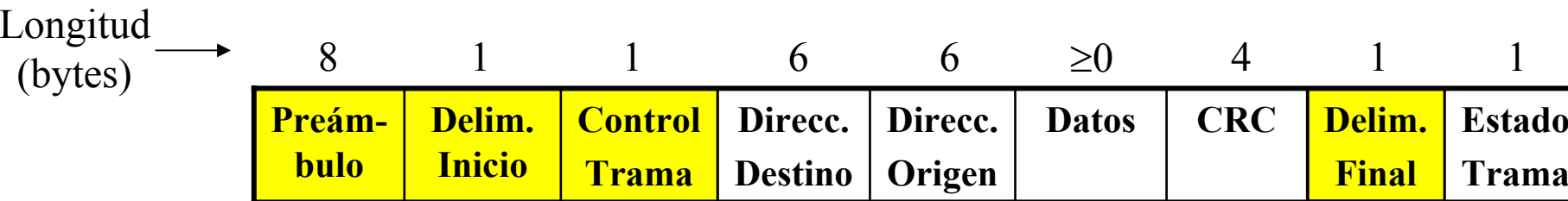
- Antecedentes, perspectiva y estándares
- Ethernet
- **Token Ring y FDDI**
- Codificación de la información
- LLC (Logical Link Control)
- LANs inalámbricas

Token Ring (IEEE 802.5)

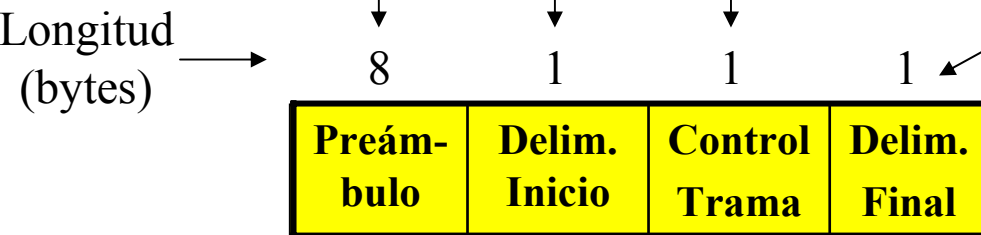
- Desarrollada por IBM; contemporánea de Ethernet.
- Protocolo sin contención (sin colisiones): no utiliza colisiones sino tokens o testigos, de forma que sólo puedes transmitir si estás en posesión del testigo.
- Velocidades: 4, 16, 100 Mbps
- Codificación: Manchester Diferencial
- Cable STP, UTP-3, UTP-5 y F. O.
- Topología lógica de anillo, normalmente topología física de estrella.

Estructura de trama y token de FDDI/TR

Trama de datos:



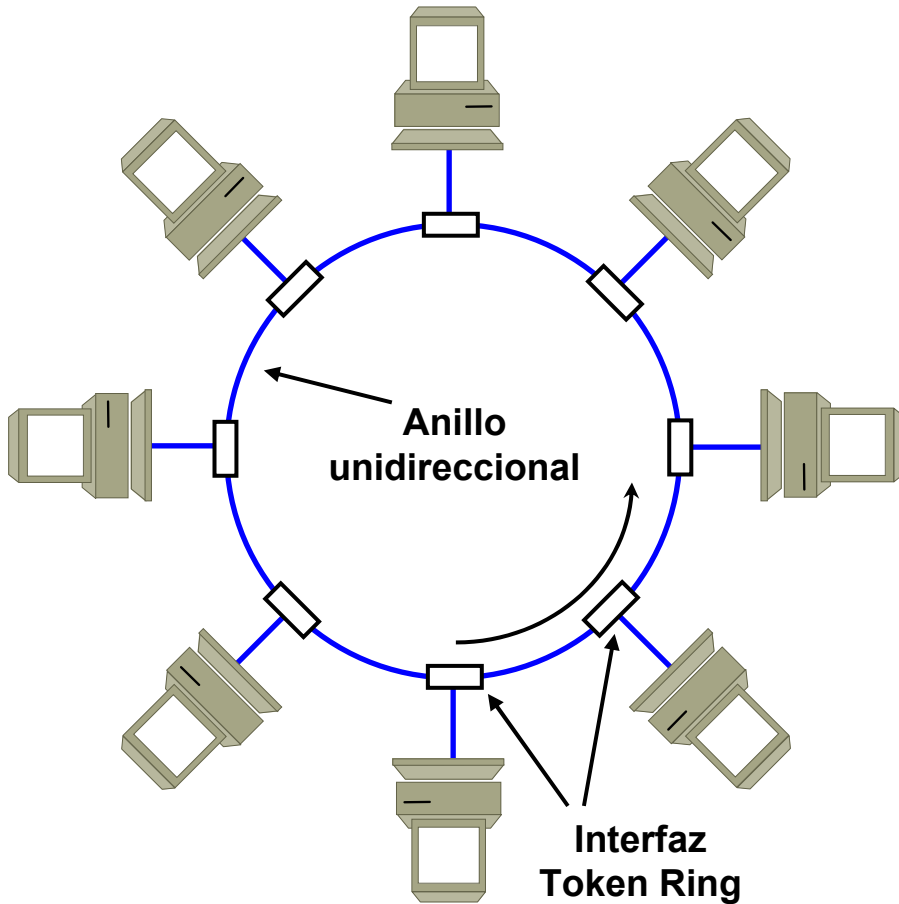
Token:



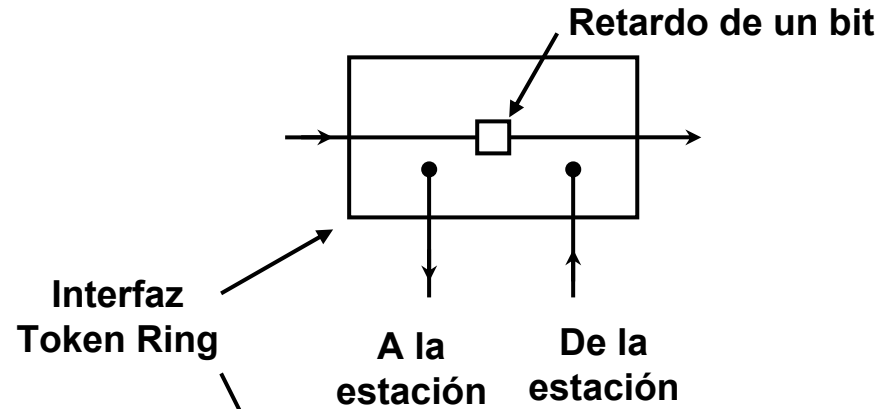
Token Ring: Protocolo MAC

- Anillo: conjunto de líneas punto a punto simplex, formando un anillo unidireccional
- Dos modos de funcionamiento:
 - **A la escucha (*sin posesión del token*)**: la estación actúa como repetidor bit a bit; en algunos casos puede cambiarlos.
 - **En transmisión (*en posesión del token*)**: la estación actúa como fuente de bits que envía a la siguiente. Solo una estación como máximo puede estar en modo transmisión.

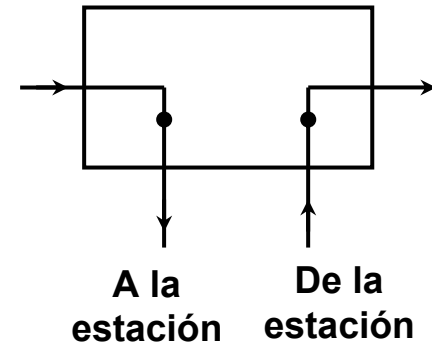
Funcionamiento de Token Ring



Modo a la escucha



Modo transmisión



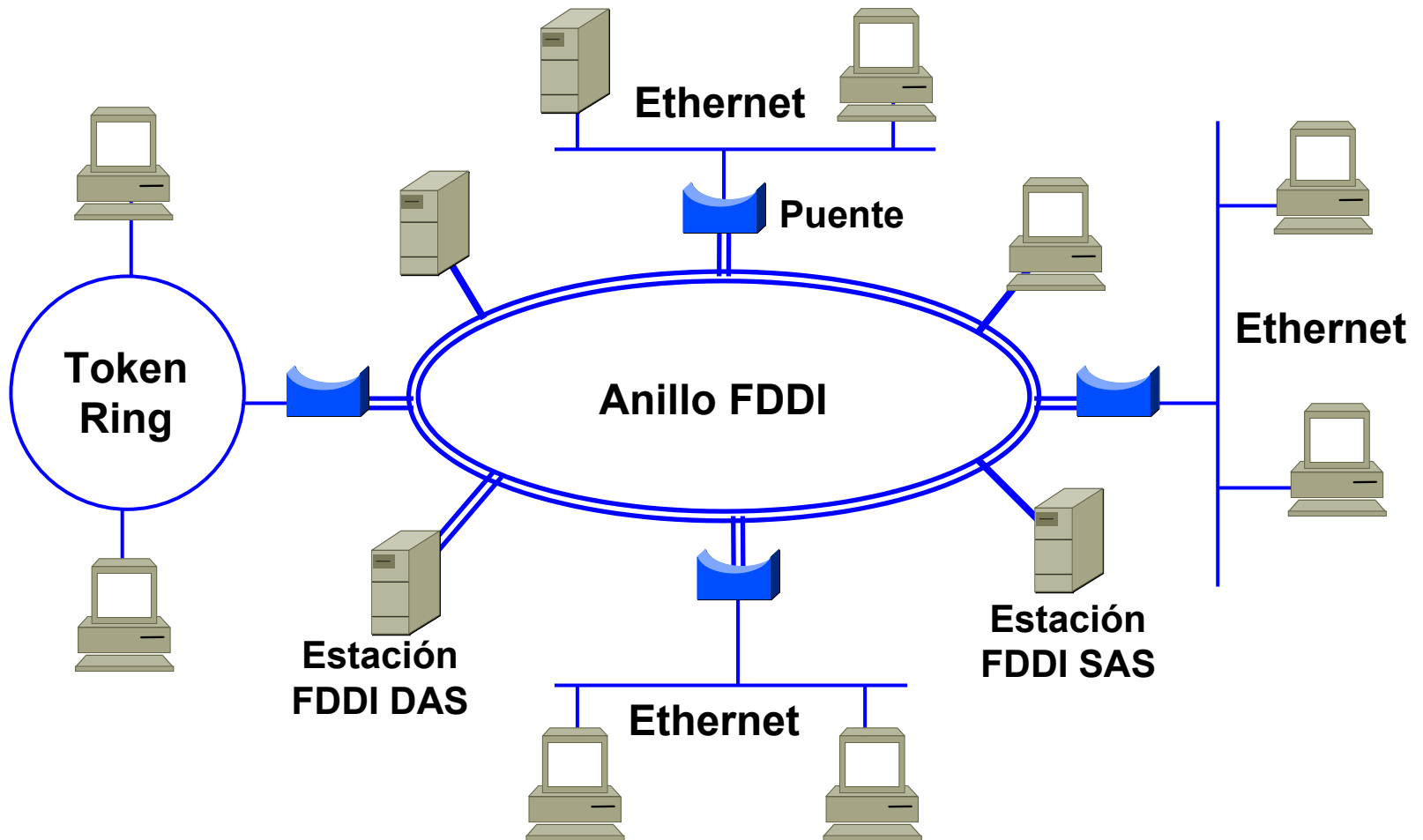
Token Ring: Protocolo MAC

- Si ninguna estación quiere transmitir se va pasando el token de una a otra (todas en modo a la escucha)
- Cuando alguna quiere transmitir se espera a recibir el token y le modifica un bit para convertirlo en el principio de trama (modo transmisión).
- Mientras transmite todos los demás están a la escucha; el destinatario además se queda una copia de la trama.
- Cuando el emisor recibe su propia trama por el otro lado (ya ha dado toda la vuelta) puede verificarla y la elimina del anillo
- Al terminar restaura el Token en el anillo y se pone a la escucha.

FDDI: Fiber Distrib. Data Interface

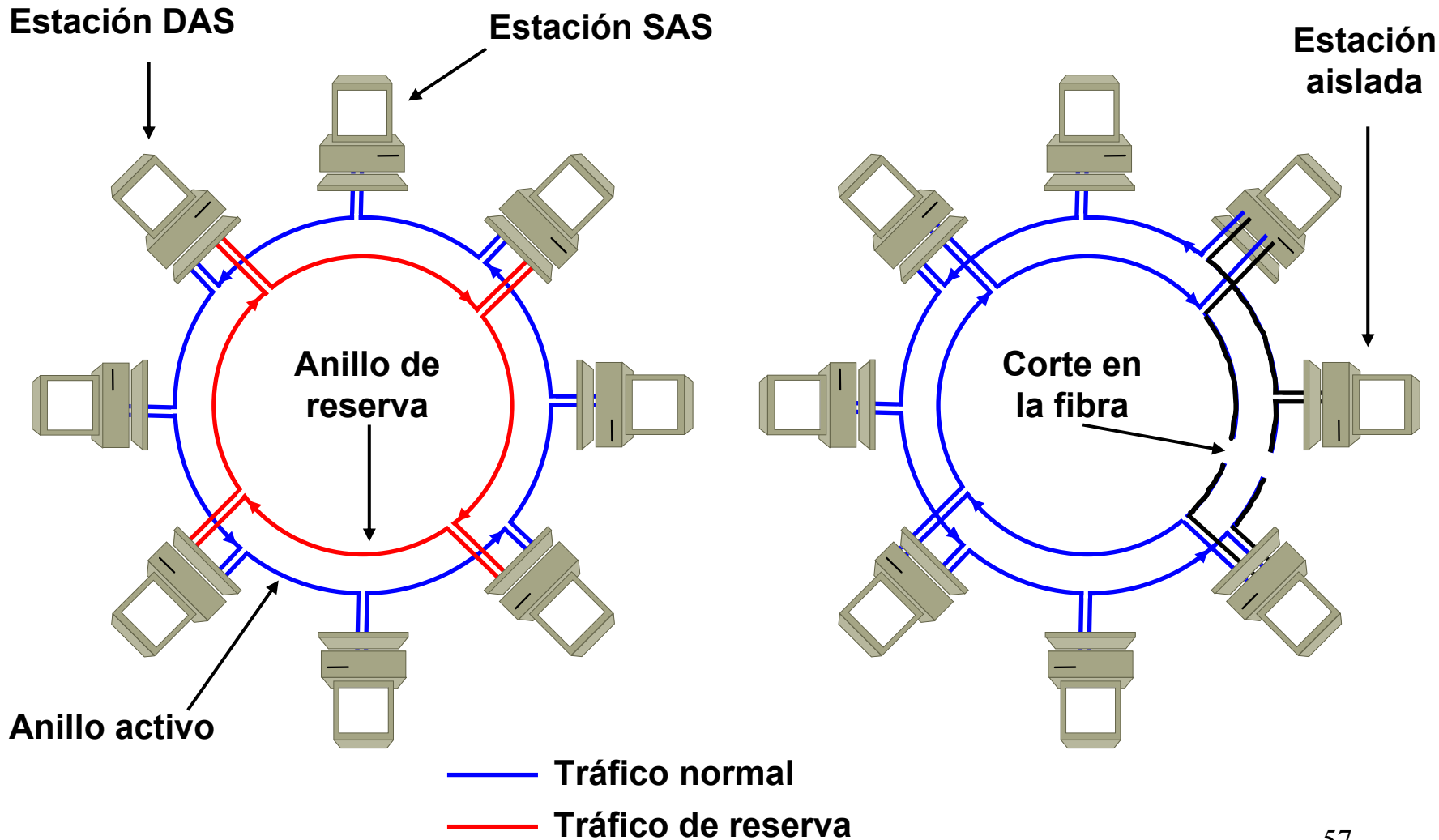
- Diseñada a mediados de los 80 para F.O.
- Estándar ANSI, no IEEE. Sigue la arquitectura 802. Usa direcciones MAC IEEE
- Funciona a 100 Mb/s sobre F.O. y UTP-5 (CDDI, Copper Distrib. Data Interface)
- Topología de doble anillo (fiabilidad), normalmente topología física de estrella.
- Codificación 4B/5B (mas eficiente que Manchester)
- Nivel MAC muy similar a T.R.

Uso de FDDI como 'backbone' entre LANs



SAS: single access station; DAS: dual access station

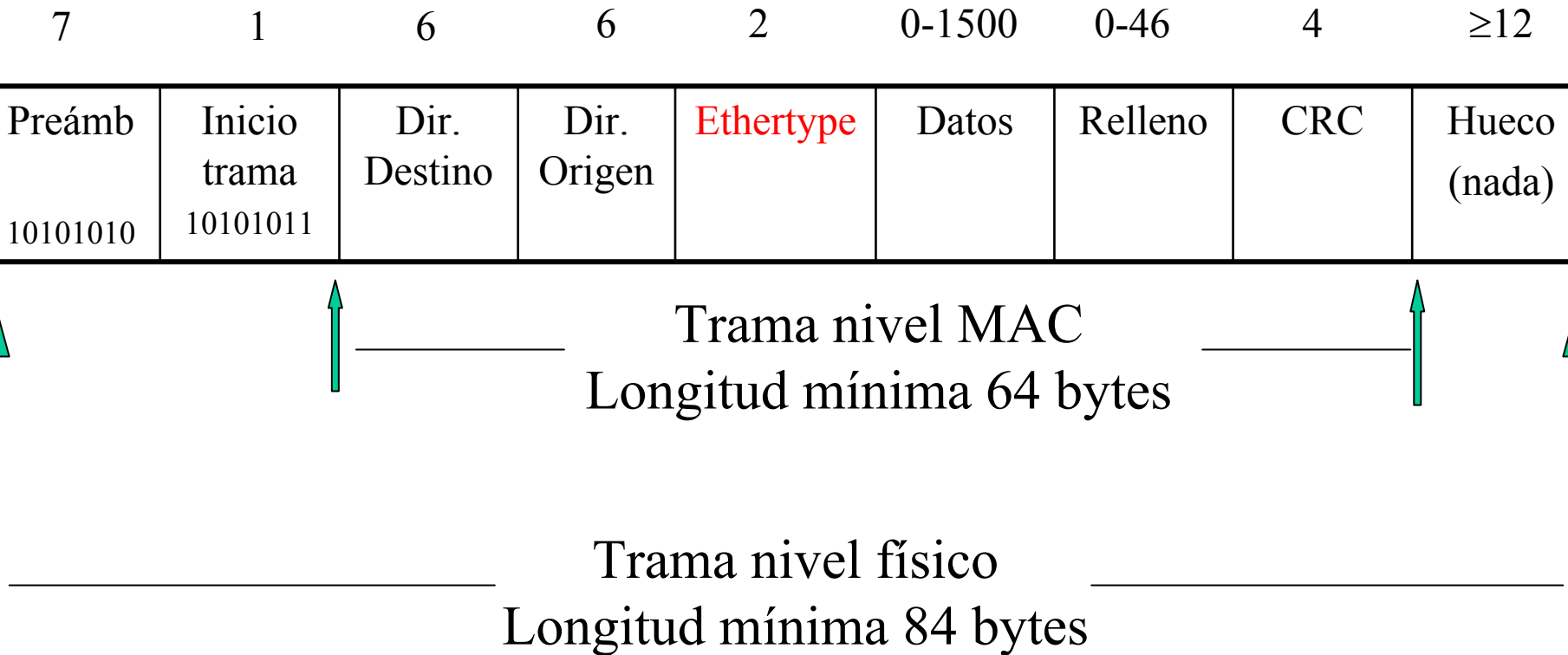
Funcionamiento tolerante a fallos de FDDI



Sumario

- Antecedentes, perspectiva y estándares
- Ethernet
- Token Ring y FDDI
- **Codificación de la información**
- LLC (Logical Link Control)
- LANs inalámbricas

Trama Ethernet formato DIX a nivel físico



Codificación

El objetivo de la codificación es mantener el sincronismo en la línea y dado que no se dispone de señal específica, los propios datos deben de transportar el sincronismo.

Ejemplos:

- En Ethernet se eligió Manchester inicialmente por sencillez y bajo costo.
- Token Ring utiliza Manchester Diferencial que da mayor inmunidad frente al ruido

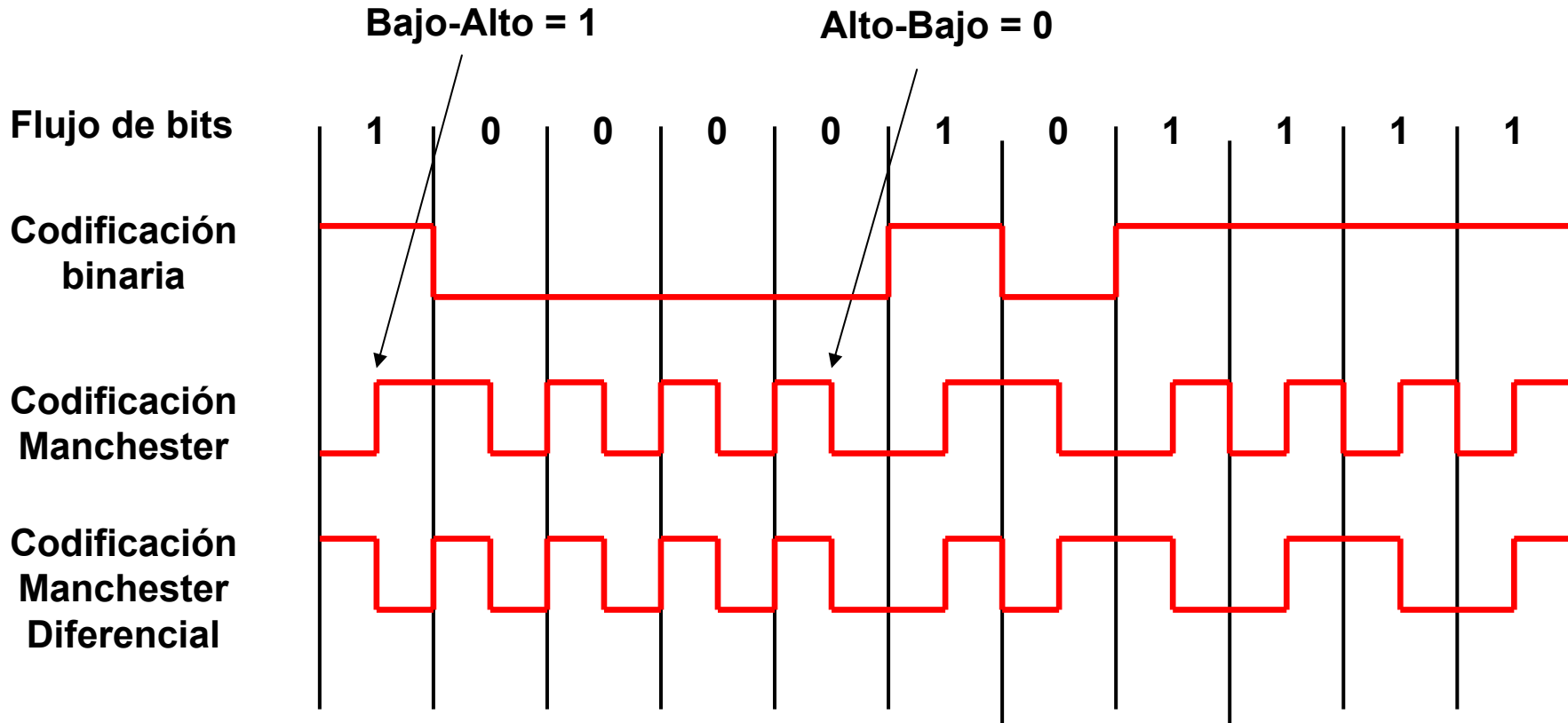
Codificaciones utilizadas en Ethernet

Medio	Veloc. (Mb/s)	Codificación	Pares	Mbaudios	MHz	Categoría Mínima
10BASE-T	10	Manchester	1	20	10	3
100BASE-X	100	4B/5B	1	125	62.5	5
1000BASE-TX	1000	PAM 5x5	4	125	62.5	5E
1000BASE-SX	1000	8B/10B	1	1250	625	F.O.
10GBASE-EX4	10000	8B/10B	4	3125	1562.5	F.O.
10GBASE-ER	10000	64B/66B	1	10300	5150	F.O.

La frecuencia fundamental que aparece en el cable es justo la mitad de Mbaudios por el Teorema de Nyquist=> $BW \text{ (Hz)} = f_s \text{ (baudios)} / 2$

Comentario: un seno o coseno tiene 2 cortes por 0 ó 2 lóbulos (positivo y negativo), con lo cual se puede asociar a cada lóbulo un símbolo.

Codificación Manchester y Manchester Diferencial



Problema: se duplica las transiciones con la codificación Manchester

Codificación a 100 Mb/s

- Se descarta Manchester que necesitaría 200 Mbaudios y por tanto utilizar Manchester es ineficiente. Se utiliza codificación 4B/5B: codifico 4 bits en 5 bits. Por tanto
 - De los 32 ($=2^5$) posibles símbolos codificados en 5 bits y de ahí se eligen solo la mitad, 16 ($=2^4$).
 - Deriva de 4B/5B diseñada para FDDI
 - Eficiencia: 4 bits en 5 bits/símbolo $\Rightarrow 4/5 = 0,8$
- (p.ej. con Manchester es: 1 bit en 2 bits/símbolo, $1/2 = 0,5$)*
- La mayor eficiencia permite usar frecuencias menores (62.5 Mhz o 125 Mbaudios, que al 80% (0.8) dan 100 Mbps ($125 * 0.8 = 100$ Mbaudios), frente a 200 Mbaudios del Manchester).

Baudios = símbolos (niveles en línea) por segundo

Código 4B/5B

Bits	Símbolo
0000	11110
0001	01001
0010	10100
0011	10101
0100	01010
0101	01011
0110	01110
0111	01111
1000	10010
1001	10011
1010	10110
1011	10111
1100	11010
1101	11011
1110	11100
1111	11101

Bits	Símbolo
IDLE	11111
J	11000
K	10001
T	01101
R	00111
S	11001
QUIET	00000
HALT	00100
No usado	00110
No usado	01000
No usado	01100
No usado	10000
No usado	00001
No usado	00010
No usado	00011
No usado	00101

Codificación en 1000BASE-**X**

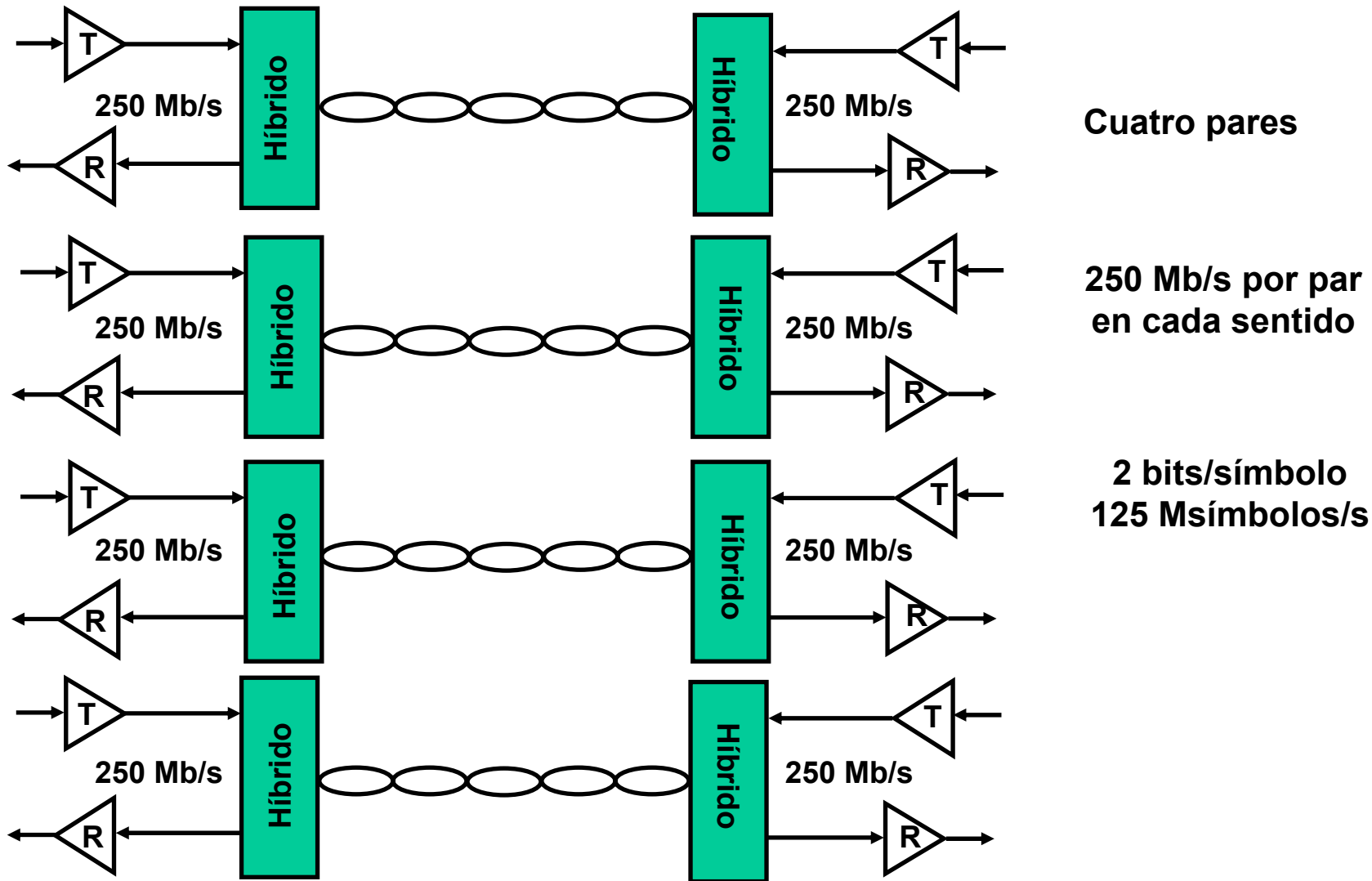
- En fibra (1000BASE-**SX**, 1000BASE-**LX**) y coaxial (1000BASE-**CX**) se usa codificación **8B/10B**. Deriva de Fibre Channel.
- La codificación **8B/10B** tiene misma eficiencia que 4B/5B (0,8).
- Inconveniente: si hay un error se pierden 8 bits (frente a 4 en el caso de 4B/5B).

Codificación en 1000BASE-T (G.E.)

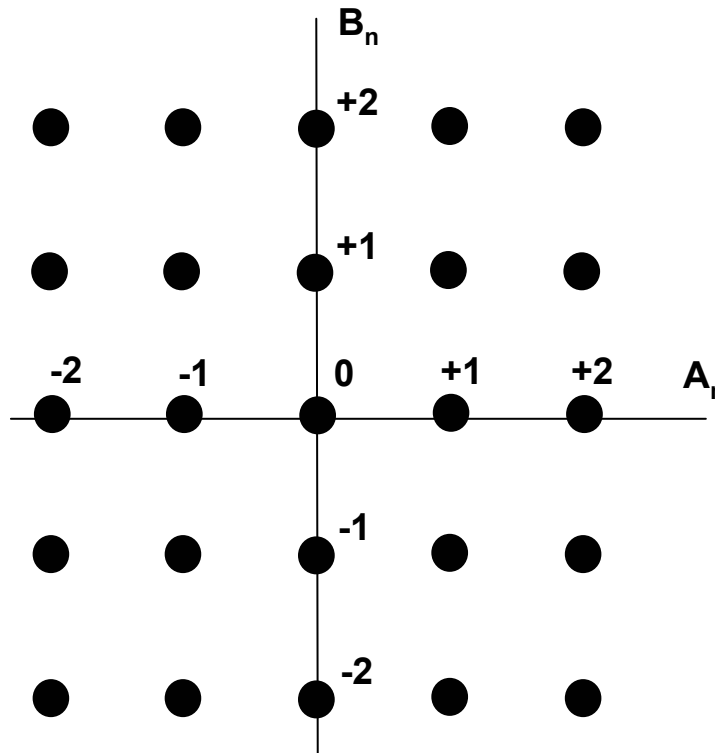
Para trabajar a G.E. Con cable UTP Cat 5e se ha necesitado realizar ciertos apaños, dado que el par trenzado a 100 m funciona bien sólo hasta 62.5 MHz (o 125 Mbauds):

- Se reparte el tráfico entre los **cuatro** pares (250 Mb/s cada uno)
- Se emplean circuitos híbridos para conseguir transmisión simultánea por cada par en cada sentido.
- Se usa una codificación multinivel **PAM5x5**. Cada símbolo tiene 5 niveles y se agrupan de 2 en 2, por tanto la constelación formada tiene 25 posiciones (5x5 o 25 combinaciones), de las cuales sólo elegimos 16. Las 16 combinaciones se codifican con 4 bit.
- Si cada 2 símbolos codificamos 4 bits (tenemos una eficiencia de 2), con 125 Mbaudios podemos generar 250 Mbps, que por 4 pares ,....

Transmisión dual-duplex en 1000BASE-T



Constelación de la codificación PAM 5x5



Cada símbolo tiene 5 estados posibles

Agrupando **dos** símbolos (A_n , B_n) se obtienen $5 \times 5 = 25$ combinaciones

De las 25 se descartan 9 y se usan 16, lo cual codifica **cuatro** bits.

Dos símbolos representan cuatro bits, eficiencia 2

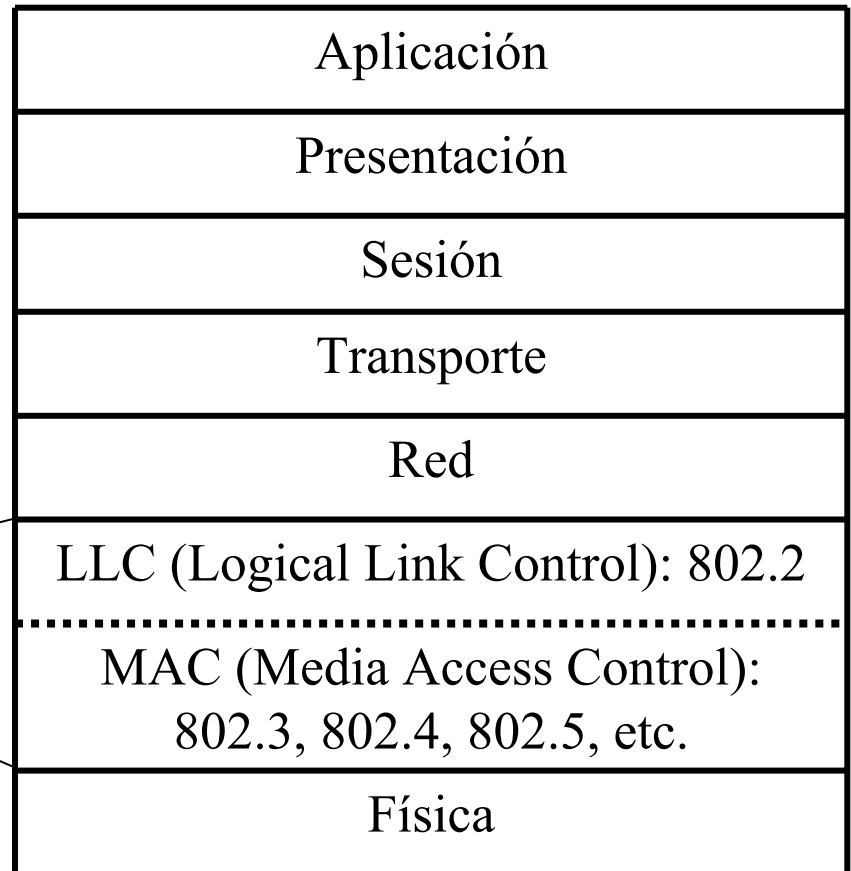
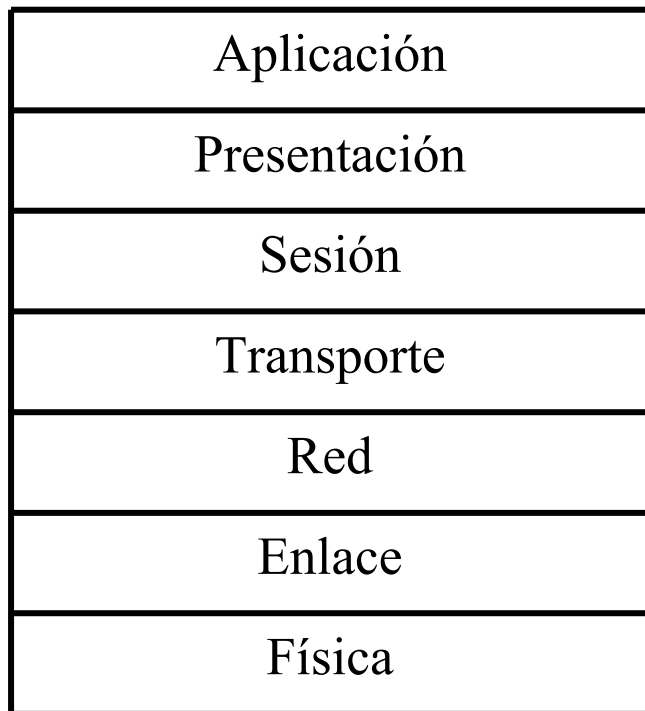
125 Mbaudios = 125 Msímbolos/s = 250 Mbps

Sumario

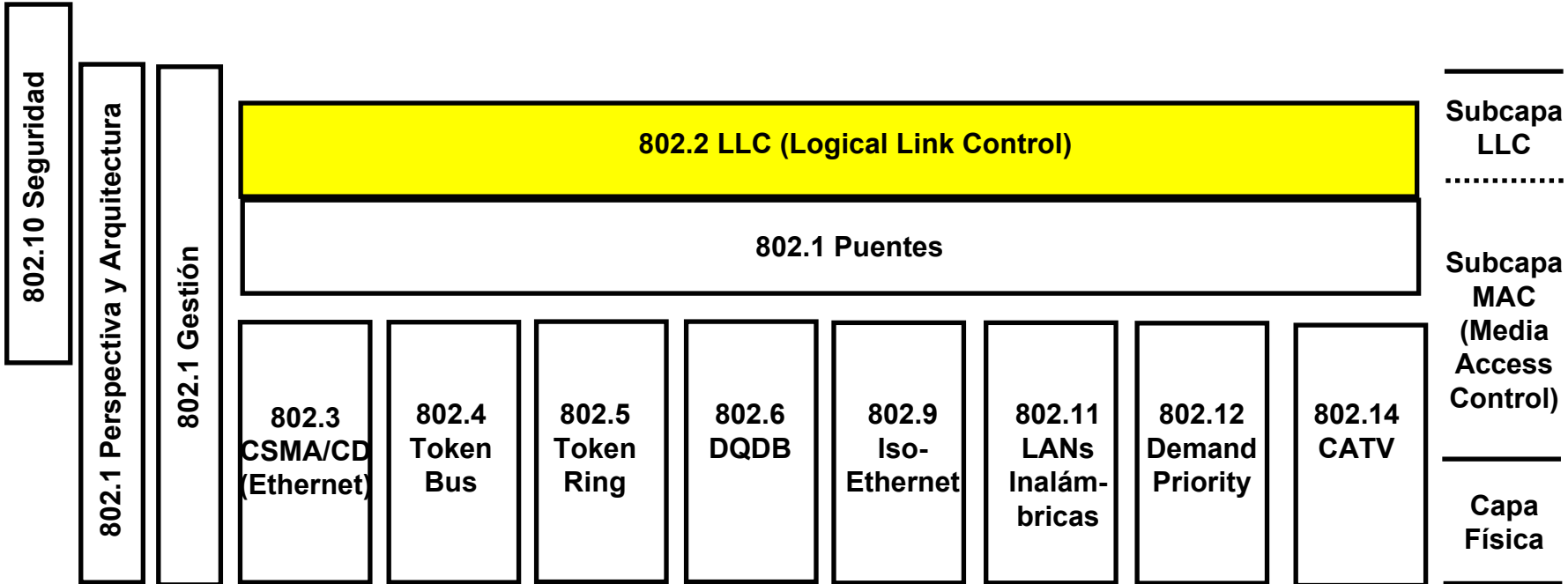
- Antecedentes, perspectiva y estándares
- Ethernet
- Token Ring y FDDI
- Codificación de la información
- **LLC (Logical Link Control)**
- LANs inalámbricas

Desdoblamiento de la capa de enlace del modelo OSI en los estándares IEEE 802

Objetivo: relacionar las tecnologías LAN sin llegar a capa 3, bien por incompatibilidades en las propias especificaciones como en IEEE802.3, bien entre diferentes tecnologías



La subcapa LLC en la arquitectura IEEE 802



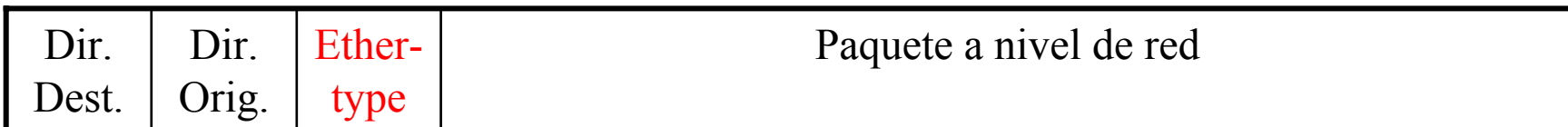
Diferencia entre Ethernet DIX e IEEE 802.3

- Cuando IEEE aprobó 802.3 en 1983 introdujo una ‘pequeña’ modificación respecto a DIX: el campo *protocolo* (Ethertype) fue reemplazado por *longitud* (indica longitud de la trama)
- Para mantener compatibilidad Xerox desplazó el campo Ethertype a valores por encima de 1536 para que DIX pudiera coexistir con IEEE 802.3
- En 802.3 el protocolo de red se especifica en una nueva cabecera LLC (802.2) en la parte de datos.

Comparación de Ethernet DIX y 802.2/LLC

DIX:

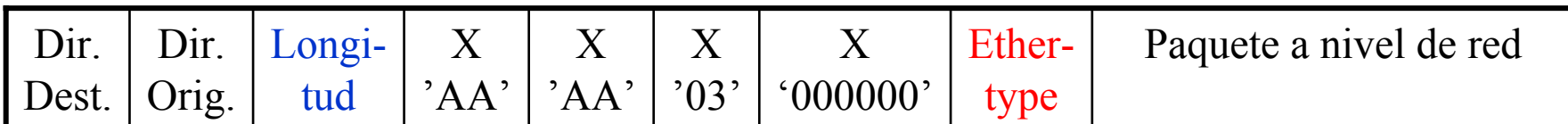
6 6 2 46-1500



Cabecera MAC

802.2/LLC:

6 6 2 1 1 1 3 2 38-1492



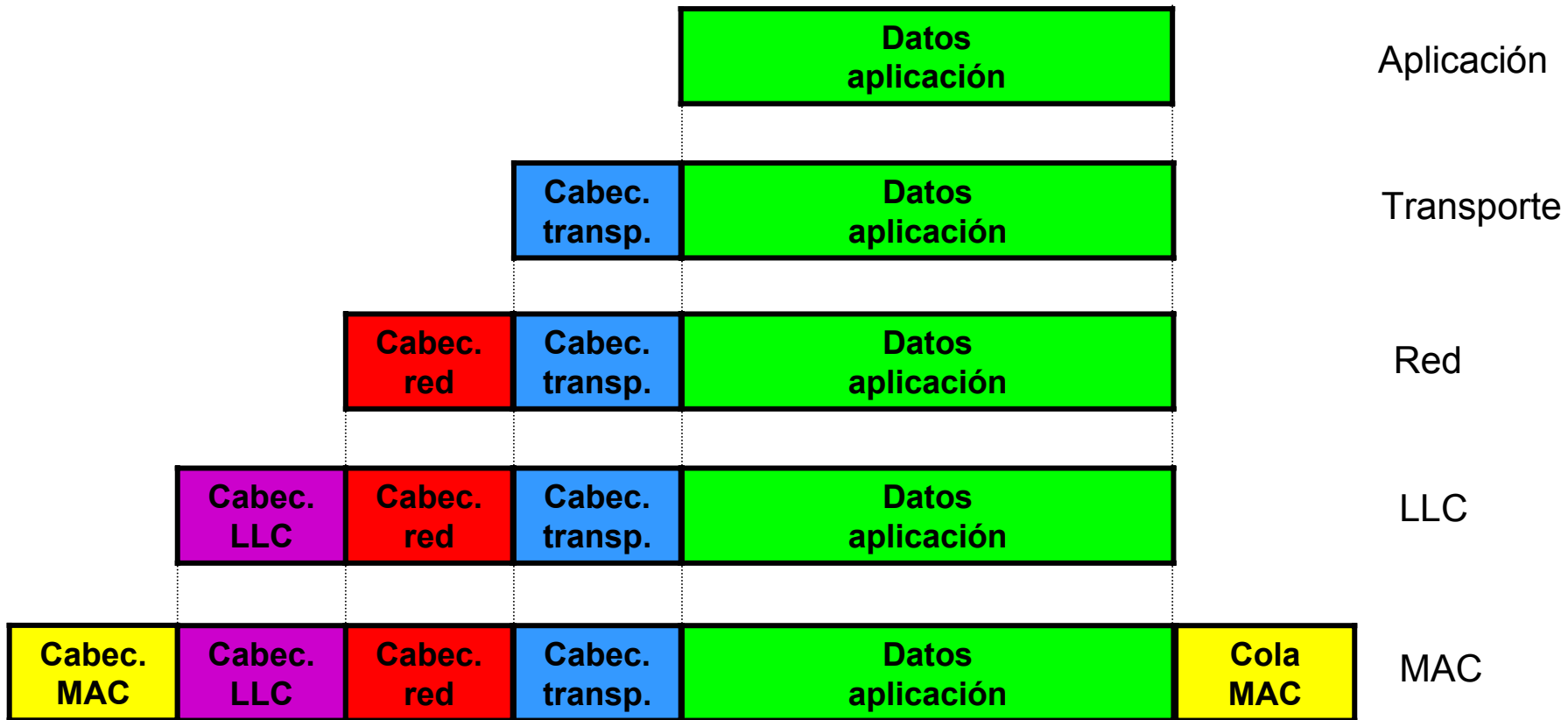
Cabecera MAC

Cabecera LLC

Para protocolo IP Ethertype = X'0800'

Especificación	Formato DIX	Formato IEEE 802.3
Protocolo de red	Campo Ethertype en cabecera MAC	En cabecera 802.2 (LLC)
Longitud	Explícita en campo longitud de cabecera de paquete a nivel de red	Explícita en el campo longitud de cabecera MAC

Elementos de datos de cada capa en el modelo híbrido con LLC



Resumen LLC

- La única función de la subcapa LLC es especificar el protocolo de red en tramas Ethernet con formato 802.2/LLC y en las demás LANs (Token Ring, FDDI, etc.)
- Las cosas habrían sido más sencillas si las demás LANs hubieran incorporado algo equivalente al Ethertype y no existiera subcapa LLC, como ocurre con las tramas Ethernet en formato DIX

Sumario

- Antecedentes, perspectiva y estándares
- Ethernet
- Token Ring y FDDI
- Codificación de la información
- LLC (Logical Link Control)
- **LANs inalámbricas**

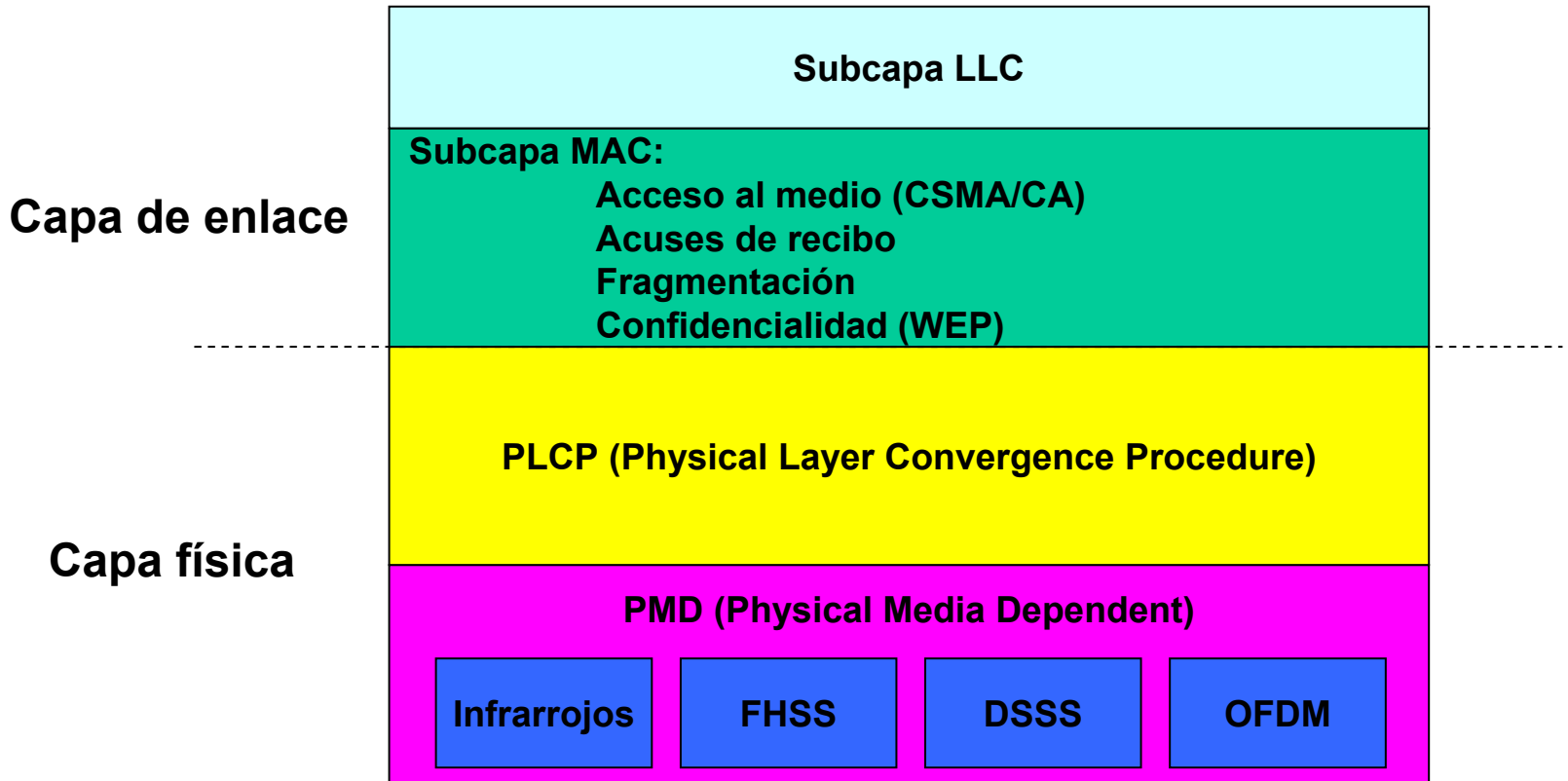
LANs Inalámbricas

- **Comparación tecnologías, historia y Modelo de Referencia**
- Nivel físico
- Nivel MAC

Comparación tecnologías inalámbricas móviles

Tipo de red	WWAN (Wireless WAN)	WLAN 99 (Wireless LAN)	WLAN 97 (Wireless LAN)	WPAN (Wireless Personal Area Network)
Estándar	GSM/GPRS/UMTS	IEEE 802.11 (a, b y g)	IEEE 802.11	IEEE 802.15 (Bluetooth)
Velocidad	9,6/170/2000 Kb/s	11-54 Mb/s	1-2 Mb/s	721 Kb/s
Frecuencia	0,9/1,8/2,1 GHz	2,4 y 5 GHz	2,4 GHz e Infrarrojos	2,4 GHz
Rango	35 Km	70 m	150 m	10 m
Técnica radio	Varias	DSSS, OFDM	FHSS y DSSS	FHSS
Itinerancia (roaming)	Sí	Sí	No	No
Equivalente a:	Conexión telef. (módem)	LAN de media- alta velocidad	LAN de baja velocidad	Cables de conexión

Modelo de Referencia de 802.11



LANs Inalámbricas

- Comparación tecnologías, historia y Modelo de Referencia
- **Nivel físico**
- Nivel MAC

Nivel físico en 802.11

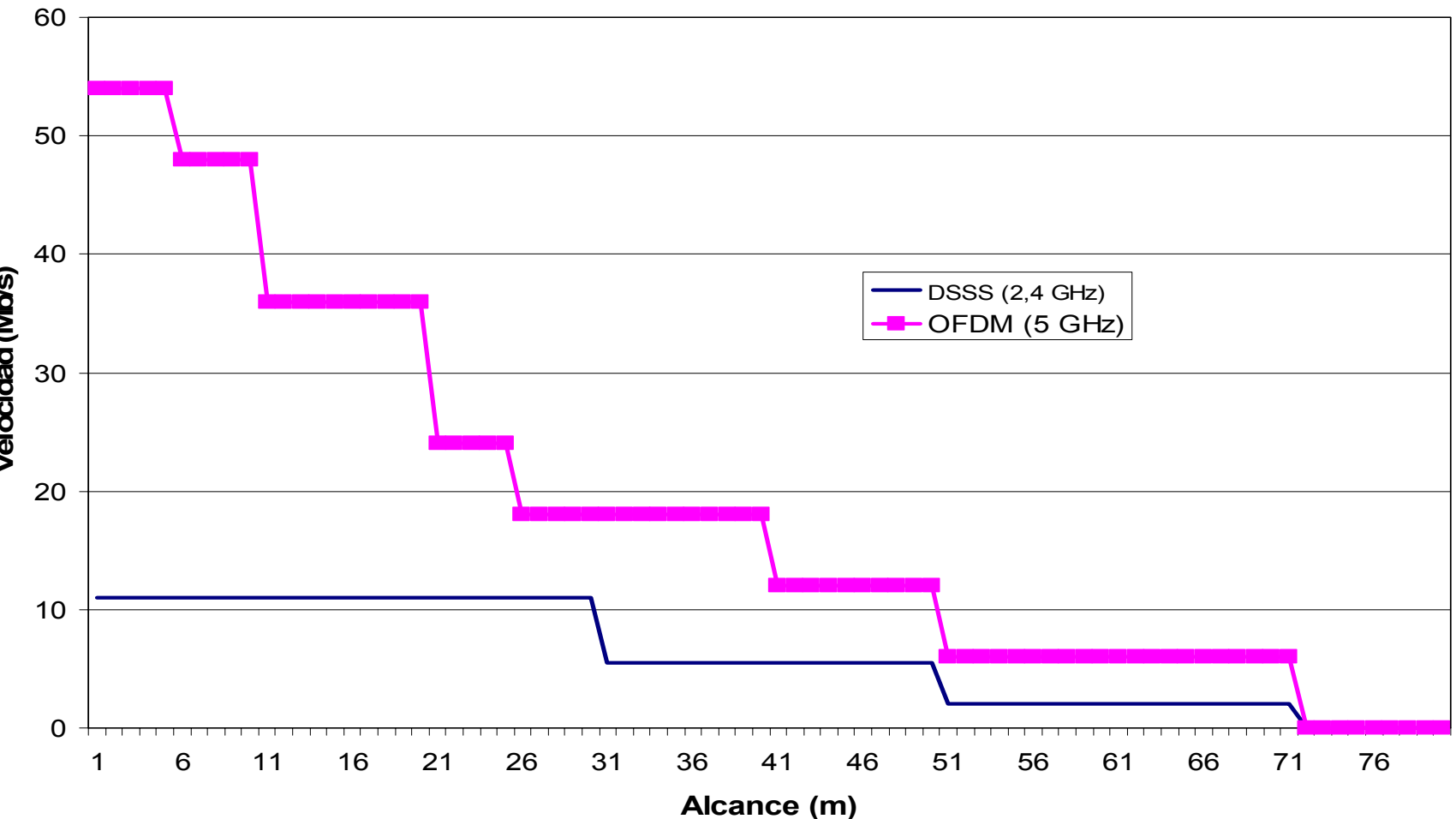
- **Infrarrojos:** solo válido en distancias muy cortas y en la misma habitación
- **Radio: modulaciones más utilizadas**
 - **FHSS** (Frequency Hopping Spread Spectrum): Sistema de bajo rendimiento, poco utilizado actualmente.
 - **DSSS** (Direct Sequence Spread Spectrum): Buen rendimiento y alcance. El más utilizado hoy en día. 802.11b
 - **OFDM** (Orthogonal Frequency Division Multiplexing): Máximo rendimiento.(802.11g).
- Los equipos que utilizan diferentes sistemas no pueden interoperar entre sí

Medios del nivel físico en 802.11

Nivel físico	Infrarrojos	FHSS	DSSS	OFDM
Banda	850 – 950 nm	2,4 GHz	2,4 GHz	2,4 y 5 GHz
Velocidades*	1 y 2 Mb/s (802.11)	1 y 2 Mb/s (802.11)	1 y 2 Mb/s (802.11) 5,5 y 11 Mb/s (802.11b)	6, 9, 12, 18, 24, 36, 48 y 54 Mb/s (802.11a) Hasta 54 Mb/s (802.11g)
Alcance (a vel. Max.)	20 m	150 m	30 m	5 m
Utilización	Muy rara	Poca. A extinguir	Mucha	Poca. Creciente
Características	No atraviesa paredes	Interferencias Bluetooth y hornos microondas	Buen rendimiento y alcance	Máximo rendimiento

* Las velocidades en negrita son obligatorias, las demás son opcionales

Velocidad en función del alcance para 802.11



Comentarios:

Valores medios para interior en ambientes de oficina. En exteriores los alcances pueden ser hasta cinco veces mayores. El alcance real depende del entorno. Los equipos se adaptan automáticamente a la máxima velocidad posible en cada caso

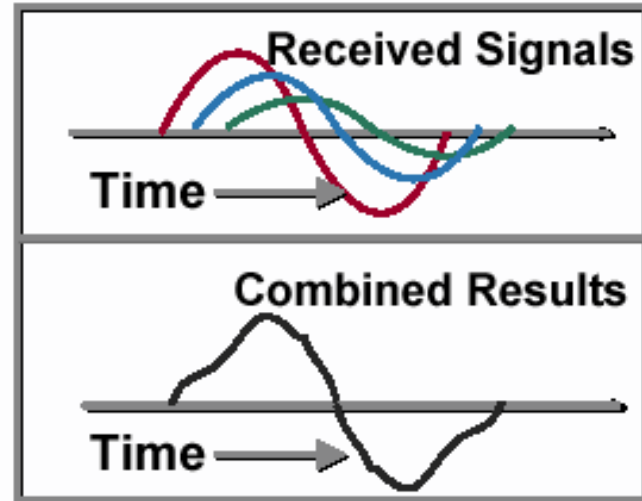
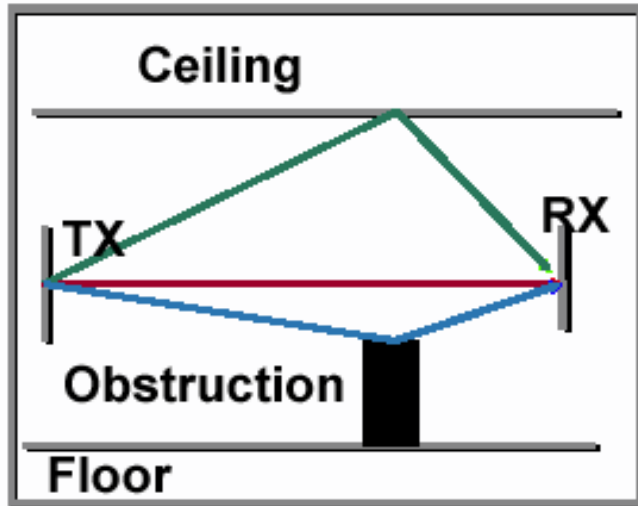
Espectro electromagnético

- La mayor parte del espectro radioeléctrico está regulada por la ITU-R y se requiere licencia para emitir
- La ITU-R divide el mundo en tres regiones. Cada una tiene una regulación diferente de las frecuencias (<http://www.itu.int/brfreqalloc/>). Algunos países tienen normativas propias más restrictivas.
- Como no sería práctico pedir licencia para cada WLAN el IEEE buscó una banda no regulada disponible en todo el mundo y **consideró que la banda de 2,4 GHz ISM (Industrial-Científica-Médica) era la más adecuada**. En Europa la máxima potencia de transmisión es de 100 mW.
- Las frecuencias exactas difieren en cada región, e incluso para algunos países. En algunos países también se utiliza una banda de 5 Ghz

Interferencias

- Externas:
 - Bluetooth interfiere con FHSS (usan la misma banda) pero no interfiere con DSSS.
 - Los hornos de microondas (funcionan a 2,4 GHz) interfieren con FHSS, mientras a DSSS no le afectan.
 - Otros dispositivos que funciona en 2,4 GHz (teléfonos inalámbricos, mandos a distancia de puertas de garaje, etc.) tienen una potencia demasiado baja para interferir con las WLANs
 - En los sistemas por infrarrojos la luz solar puede afectar la transmisión
- Internas (de la propia señal):
 - Debidas a **multi-trayectoria** (rebotes), la señal llega por diferentes caminos. Además, *pequeños movimientos en las antenas pueden producir resultados totalmente diferentes. Esto es debido a la longitud de onda con la que trabaja, $\lambda=c/f$, siendo c la velocidad de la luz y f la frecuencia de 2.4 GHz, es decir 12.5 cm.*

Interferencia debida a la multitrayectoria



- Se produce interferencia debido a la diferencia de tiempo entre la señal que llega directamente y la que llega reflejada por diversos obstáculos.
- La señal puede llegar a anularse por completo si el retraso de la onda reflejada coincide con media longitud de onda. En estos casos un leve movimiento de la antena resuelve el problema.
- En estos casos FHSS va mejor que DSSS, pero hoy en día esto se resuelve con dobles antenas (antenas diversidad)

Antenas diversidad: eliminación de la multitrayectoria



- El equipo (normalmente un punto de acceso) tiene dos antenas. El proceso es el siguiente:
 - El equipo recibe la señal por las dos antenas y compara, eligiendo la que le da mejor calidad de señal. El proceso se realiza de forma independiente para cada trama recibida, utilizando el preámbulo para hacer la medida
 - Para emitir a esa estación se usa la antena que dio mejor señal en recepción la última vez
 - Si la emisión falla (no se recibe el ACK) cambia a la otra antena y reintenta
- Las dos antenas cubren la misma zona

LANs Inalámbricas

- Comparación tecnologías, historia y Modelo de referencia
- Nivel físico
- **Nivel MAC**

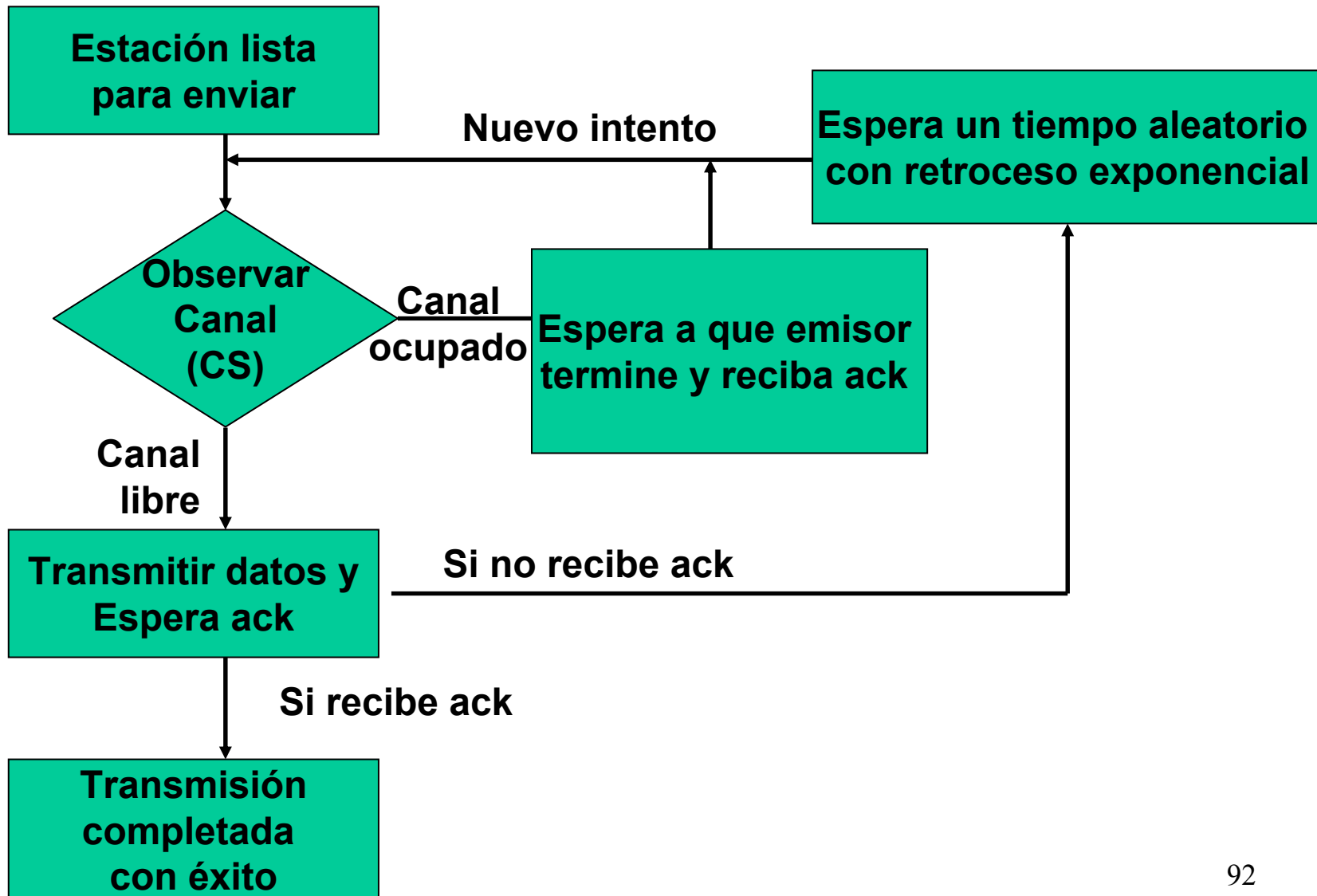
Protocolo MAC en 802.11

- El protocolo MAC implementado es CSMA/CA Carrier Sense Multiple Access / Collision Avoidance
- *No puede usarse CSMA/CD porque el emisor de radio una vez empieza a transmitir no puede detectar si hay otras emisiones en marcha (no puede distinguir otras emisiones de la suya propia)*
- La forma de trabajar las estaciones 802.11 son dos:
 - Modo “ad-hoc”, sin punto de acceso
 - Modo “basic service set” con punto de acceso

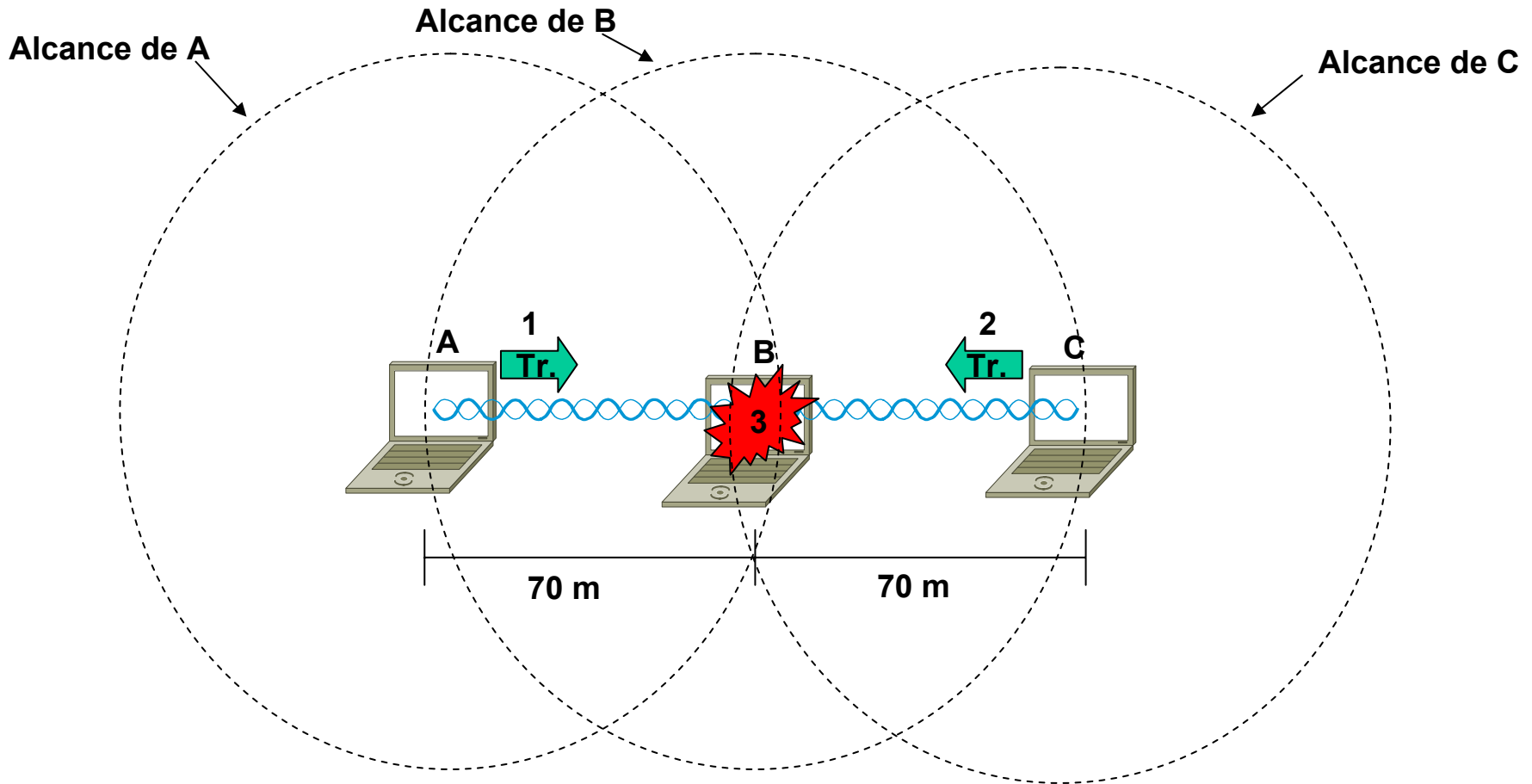
Protocolo CSMA/CA

- Cuando una estación quiere enviar una trama, escucha primero para ver si alguien está transmitiendo.
- Si el canal está libre la estación transmite
- Si está ocupado se espera a que el emisor termine y reciba su ACK, después se espera un tiempo aleatorio y transmite. El tiempo en espera se mide por intervalos de duración constante
- Al terminar espera a que el receptor le envíe una confirmación (ACK) (de forma similar en ALOHA). Si esta no se produce dentro de un tiempo prefijado considera que se ha producido una colisión, en cuyo caso repite el proceso desde el principio

Funcionamiento del CSMA/CA



El problema de la estación oculta

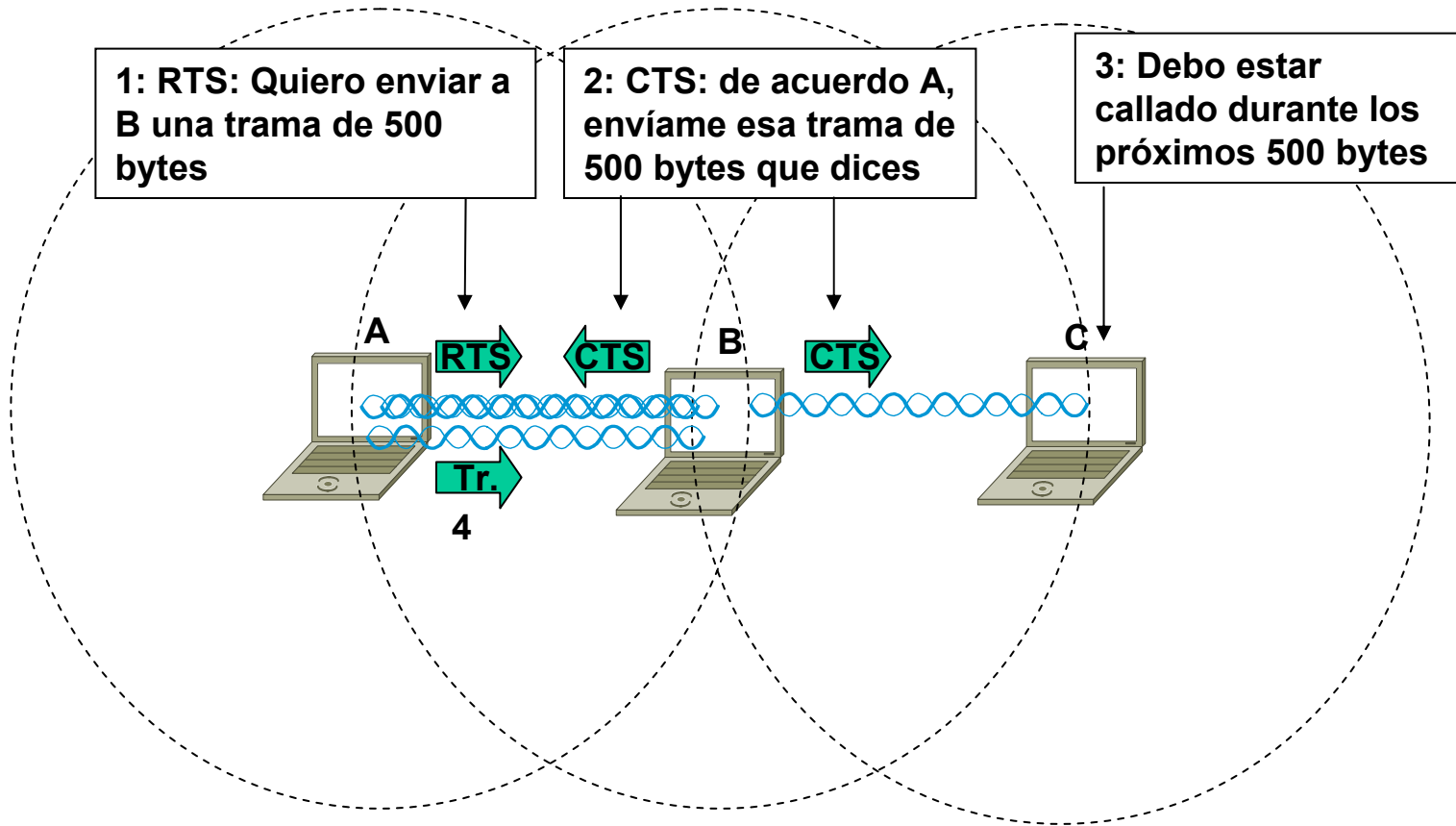


1: A quiere transmitir una trama a B. Detecta el medio libre y transmite

3. Se produce una colisión en la intersección por lo que B no recibe ninguna de las dos tramas

2: Mientras A está transmitiendo C quiere enviar una trama a B. Detecta el medio libre (pues no capta la emisión de A) y transmite

Solución al problema de la estación oculta



1: Antes de transmitir la trama A envía un mensaje RTS (Request To Send)

2: B responde al RTS con un CTS (Clear To Send)

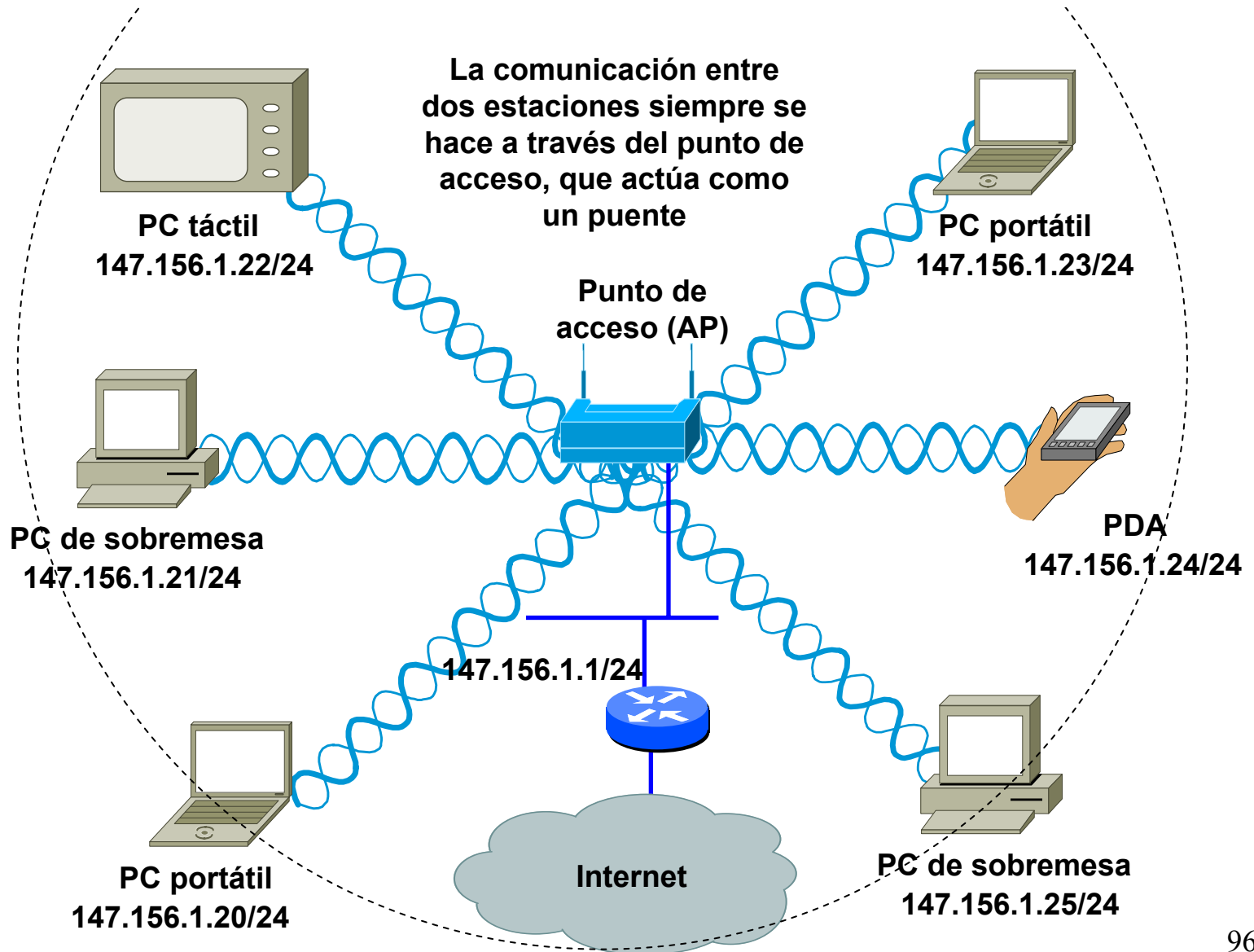
3. C no capta el RTS, pero sí el CTS. Sabe que no debe transmitir durante el tiempo equivalente a 500 bytes

4. A envía su trama seguro de no colisionar con otras estaciones

RTS/CTS

- En el momento que se detecten muchas colisiones por estación oculta, podemos ejecutar RTS/CTS para evitarlas.
- El uso de mensajes RTS/CTS se denomina a veces *Virtual Carrier Sense*
- Permite a una estación reservar el medio durante una trama para su uso exclusivo
- Si todas las estaciones se ‘escuchan’ directamente entre sí el uso de RTS/CTS no aporta nada y supone un overhead importante, sobre todo en tramas pequeñas
- No todos los equipos soportan el uso de RTS/CTS.

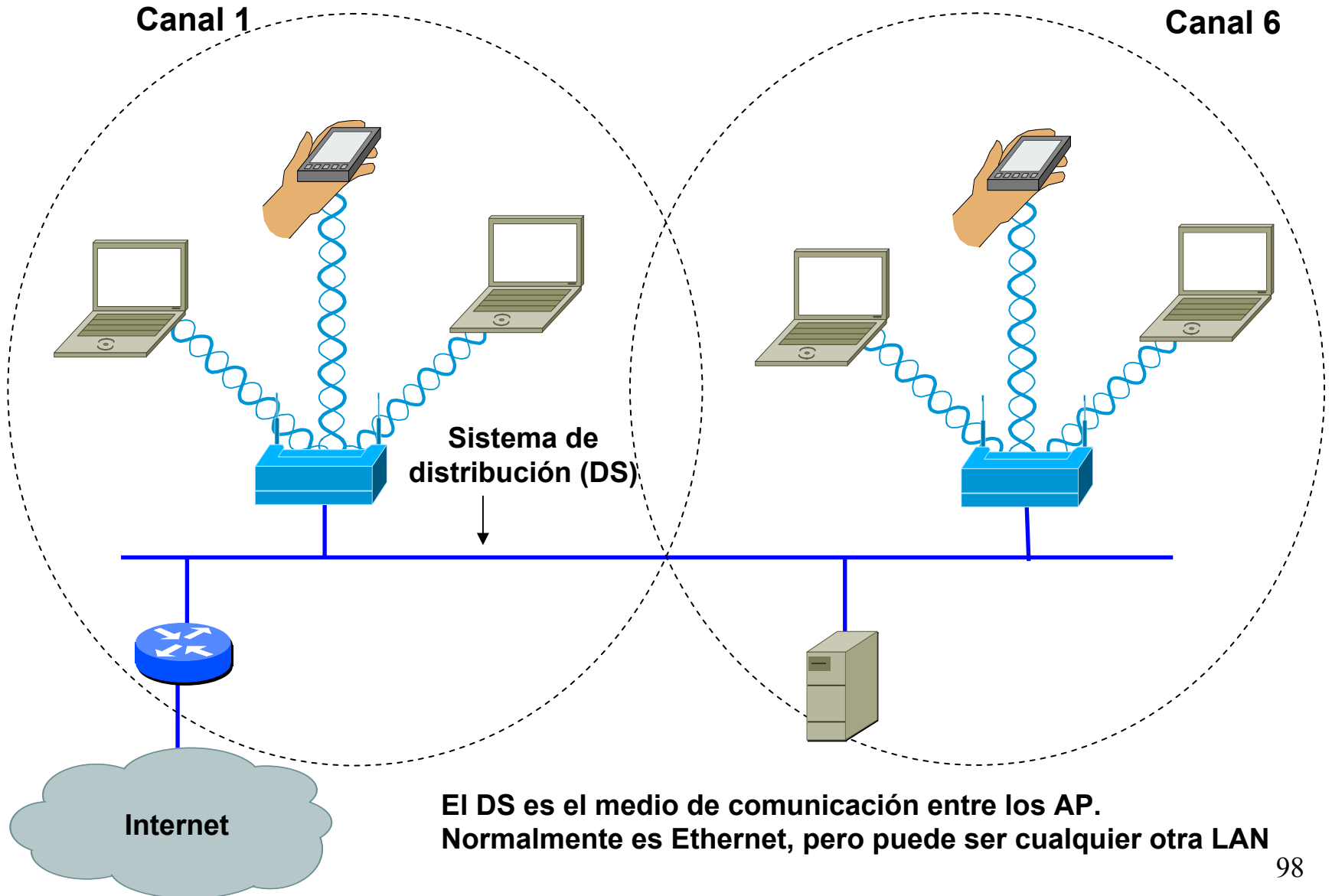
Red con un punto de acceso



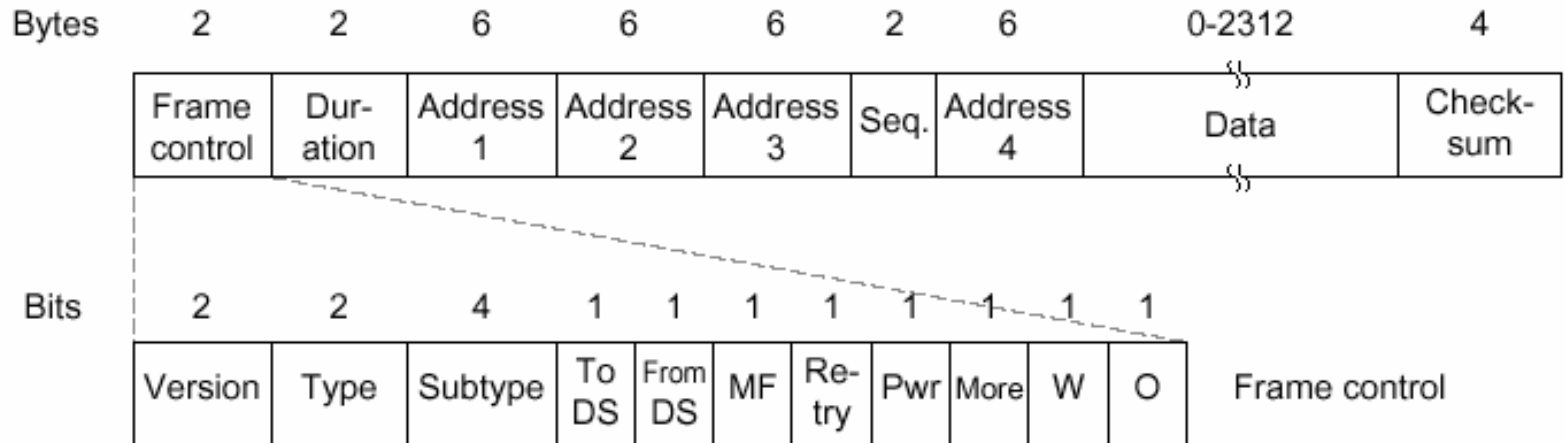
Puntos de acceso (*AP, Access Point*)

- Cuando aparece en escena un AP las reglas del juego cambian de manera drástica y las estaciones se registran en él para que les tome en cuenta. La comunicación entre estaciones registradas en un AP siempre tiene lugar a través del AP, que actúa como intermediario en cualquier comunicación.
- Con los AP cada trama requiere dos emisiones de radio (salvo que el destino esté en la LAN y no en la WLAN).
- Aunque haya estaciones ocultas la comunicación siempre es posible, pues se hace a través del AP que siempre está accesible para todos
- Los AP son dispositivos fijos de la red y ubicados en sitios estratégicos, con antenas de alta ganancia y/o diversidad

Topología de un ESS (Extended Service Set)



Formato de trama 802.11



- MF:** Indica que siguen más fragmentos
- Retry:** Indica que esta trama es un reenvío
- Pwr:** Para 'dormir' o 'despertar' a una estación
- More:** Advierte que el emisor tiene más tramas para enviar
- W:** La trama está encriptada con WEP (Wireless Equivalent Privacy)
- Duration:** Dice cuanto tiempo va a estar ocupado el canal por esta trama
- Address:** Dirección de origen (1) y destino(2). Dirección de est. base origen (3) y destino (4).

Los varios campos dirección se utilizan en el caso que tenga que atrevar la trama varios AP hasta el DS.

Asociación de APs con estaciones

- Cuando una estación se enciende busca un AP en su celda. Si recibe respuesta de varios atiende al que le envía una señal más potente.
- La estación se registra con el AP elegido. Como consecuencia de esto el AP le incluye en su tabla MAC
- El AP se comporta para las estaciones de su celda como un hub inalámbrico. En la conexión entre su celda y el sistema de distribución el AP actúa como un puente

Itinerancia (‘Roaming’)

- Los AP envían regularmente (10 veces por segundo) mensajes de guía (beacon) para anunciar su presencia a las estaciones que se encuentran en su zona
- Si una estación se mueve y cambia de celda detectará otro AP más potente y cambiará su registro. Esto permite la itinerancia (‘handover’) sin que las conexiones se corten.
- Los estándares 802.11 no detallan como debe realizarse la itinerancia, por lo que la interoperabilidad en este aspecto no siempre es posible
- Para corregirlo varios fabricantes han desarrollado el IAPP (Inter-Access Point Protocol)

Seguridad

- Los clientes y el punto de acceso se asocian mediante un SSID (System Set Identifier) común.
- El SSID sirve para la identificación de los clientes ante el punto de acceso, y permite crear grupos ‘lógicos’ independientes en la misma zona (parecido a las VLANs)
- Esto no es en sí mismo una medida de seguridad, sino un mecanismo para organizar y gestionar una WLAN en zonas donde tengan que coexistir varias en el mismo canal

Seguridad

- Se dispone de mecanismos de autenticación y de encriptación.
- La encriptación permite mantener la confidencialidad aun en caso de que la emisión sea capturada por un extraño. El mecanismo es opcional y se denomina WEP (Wireless Equivalent Privacy). Se basa en encriptación de 40 o de 128 bits. También se usa en Bluetooth
- Recientemente se han detectado fallos en WEP que lo hacen vulnerable (ver <http://www.cs.umd.edu/~waa/wireless.html>). En casos donde la seguridad sea importante se recomienda usar túneles IPSec.
- Ver también:
http://www.cisco.com/warp/public/779/smbiz/wireless/wlan_security.shtml/

Salud

- La radiación electromagnética de 2,4 GHz es absorbida por el agua y la grasa (hornos de microondas). Por tanto un emisor WLAN podría calentar el tejido humano
- Sin embargo la potencia radiada es tan baja (100 mW máximo) que el efecto es despreciable. Es mayor la influencia de un horno de microondas en funcionamiento.
- Un terminal GSM transmite con hasta 600 mW y se tiene mucho más cerca del cuerpo normalmente (aunque GSM no emite en la banda de 2,4 GHz).
- Los equipos WLAN solo emiten cuando transmiten datos. Un teléfono GSM emite mientras está encendido.
- Ver también:
http://www.cisco.com/warp/public/cc/pd/witc/ao340ap/prodlit/rf/hr_wi.htm