

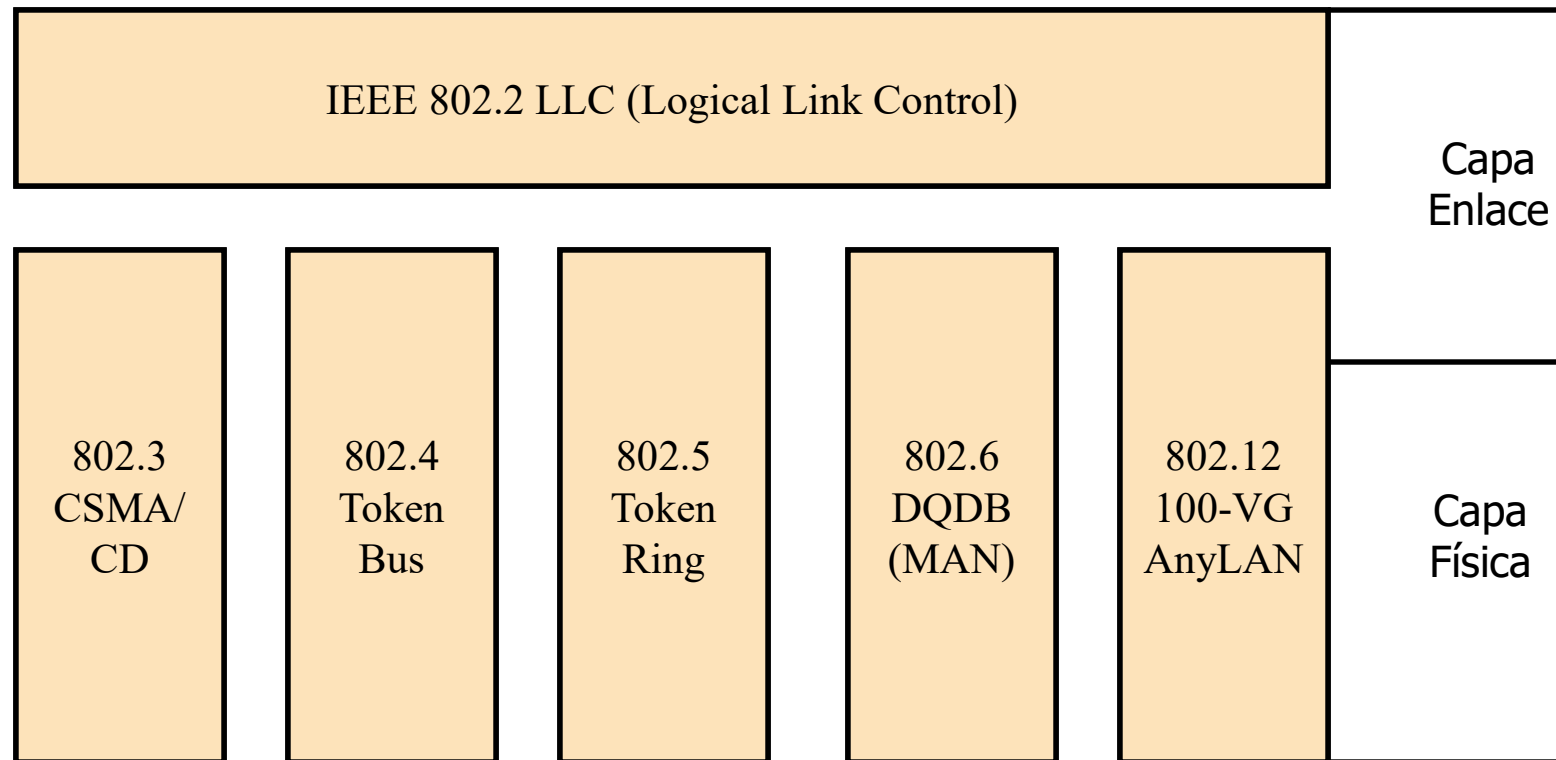
# Redes locales

CSMA/CD  
IEEE 802.3

# Modelo IEEE 802



# Estándares IEEE 802



# Redes locales

- Clasificación de las redes en función de su comunicación:
  - Conexión punto a punto
  - Canales de difusión
- El reto en las redes de difusión, es definir un mecanismo que determine quién gana acceso al medio.
- El protocolo utilizado pertenece a la subcapa de enlace llamada MAC (Medium Access Control).
- Existen dos formas de asignación del canal:
  - Estática
  - Dinámica

# Asignación estática

- Las formas tradicionales de asignación estática son:
  - FDM (Frequency Division Multiplexing)
  - TDM (Time Division Multiplexing)
- Para  $N$  usuarios, el espectro de frecuencias o de tiempo, se divide en  $N$  canales.
- Desventajas:
  - Para un número grande de usuarios, los recursos son limitados.
  - Para el tráfico en forma de ráfaga, el canal se desperdicia (es ineficiente).

# Asignación dinámica

Suposiciones del modelo:

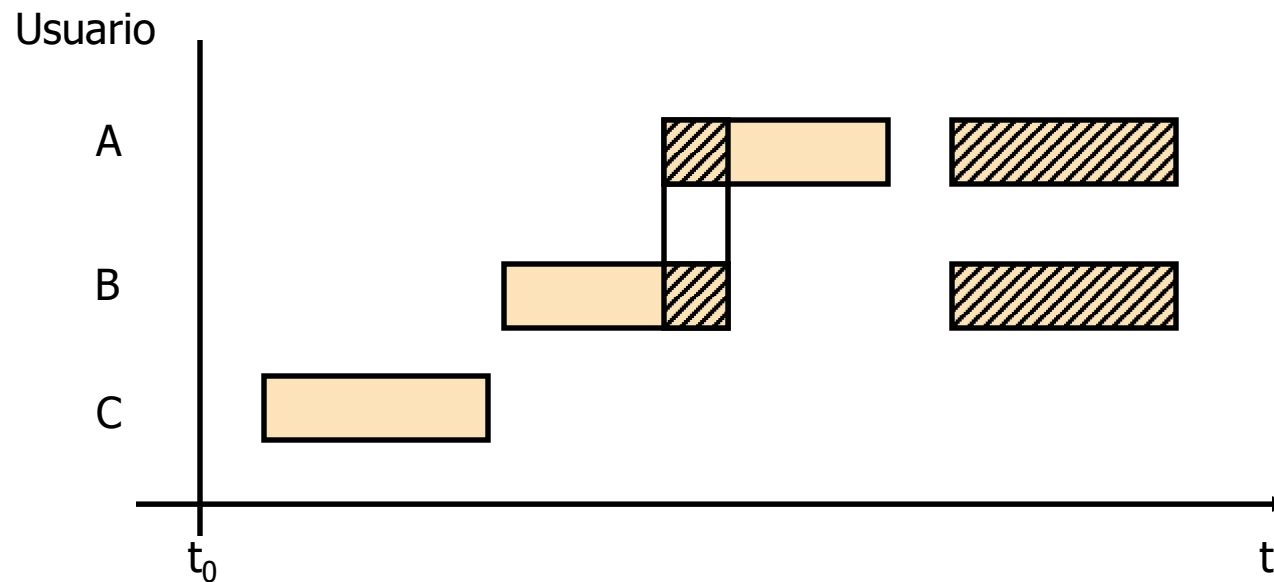
- 1) Existen  $N$  estaciones con una determinada probabilidad de generar tramas en un intervalo de tiempo dado.
- 2) Existe un canal único donde se tx o rx con la misma prioridad.
- 3) Las estaciones tienen capacidad de detectar colisiones.
- 4) La transmisión puede ser asíncrona o síncrona (canales ranurados).
- 5) Posibilidad de sensor o no la portadora.

# Protocolos de acceso múltiple

- Por competencia:
  - 1) ALOHA (puro y ranurado)
  - 2) Sensado de portadora (ej. Ethernet)
    - 1 persistente
    - no persistente
    - p persistente
- Determinísticos:
  - Control de token (ej. FDDI, Token Ring)
  - Round Robin (ej. 100VG-AnyLAN)
  - Bus doble (ej. DQDB)
  - Etc.

# Acceso múltiple (ALOHA puro)

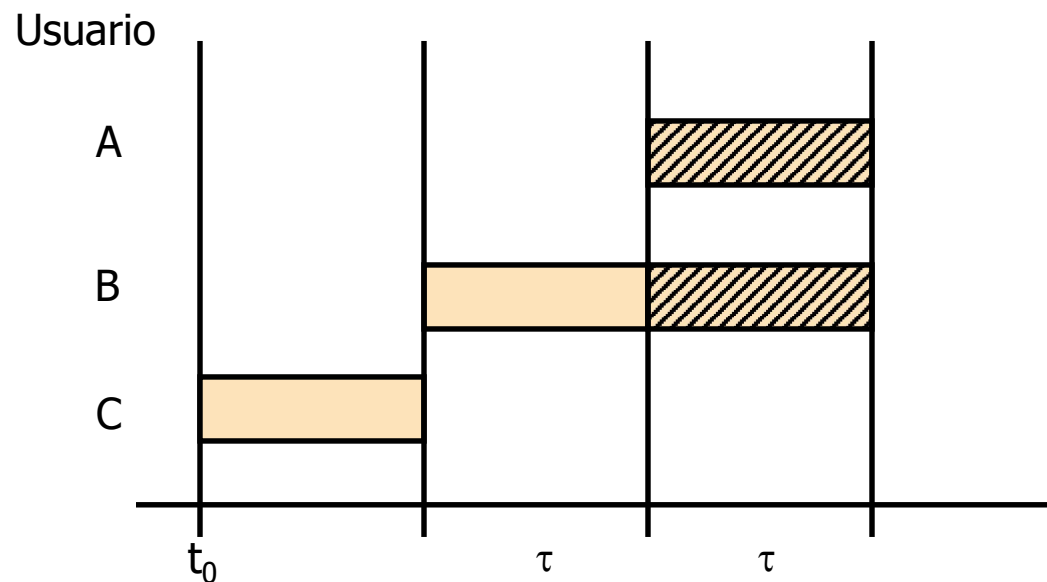
- Mecanismo desarrollado en la Universidad de Hawaii en 1970.
- Se utilizó en una red de estaciones terrenas de radio.





# Acceso múltiple (ALOHA ranurado)

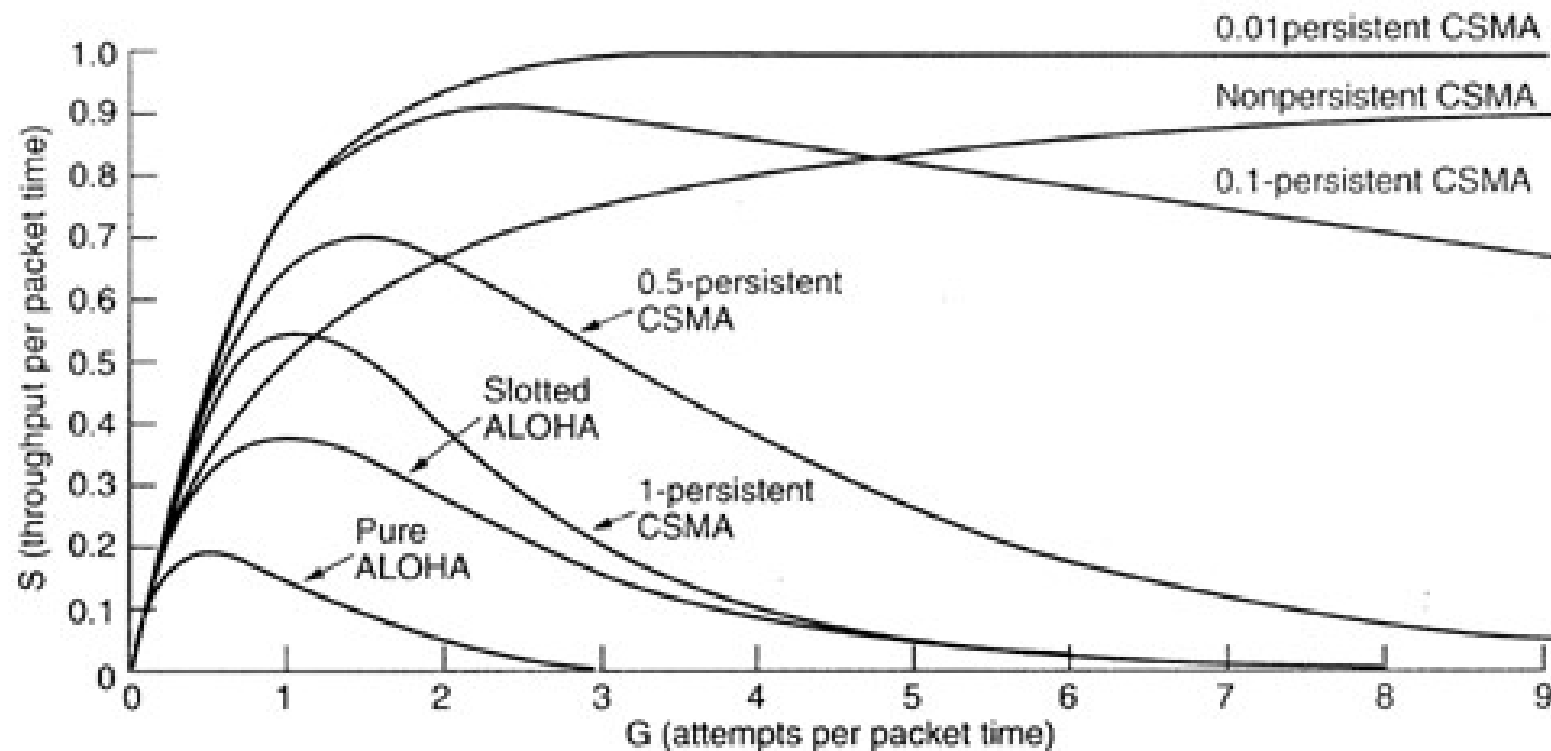
- El tiempo se divide en intervalos iguales de valor  $\tau$ , llamado *tiempo de trama* = Longitud de la trama dividido entre la velocidad de transmisión.



# Sensado de portadora

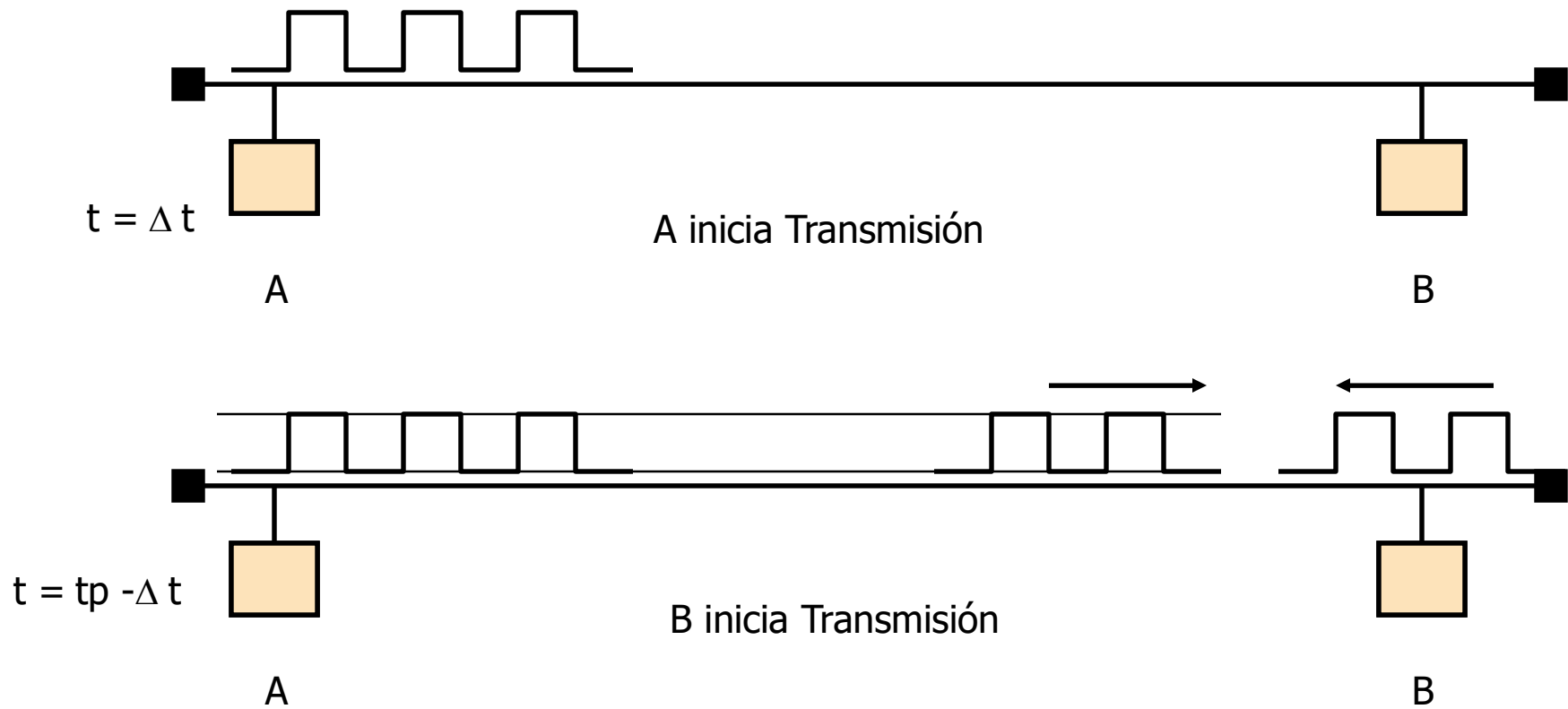
- CSMA (Carrier Sense Multiple Access).
- Tipos:
  - 1) 1 persistente
    - Si está libre, transmite;
    - si está ocupado espera hasta que esté libre y transmite
  - 2) No-persistente
    - Si está libre, transmite;
    - si está ocupado espera un tiempo aleatorio y vuelve a escuchar
  - 3) p-persistente
    - Utiliza canales ranurados de tiempo.
    - Si está libre, tx con probabilidad  $p$  o espera con probabilidad  $q=1-p$  hasta la siguiente ranura de tiempo.

# Comparación entre protocolos

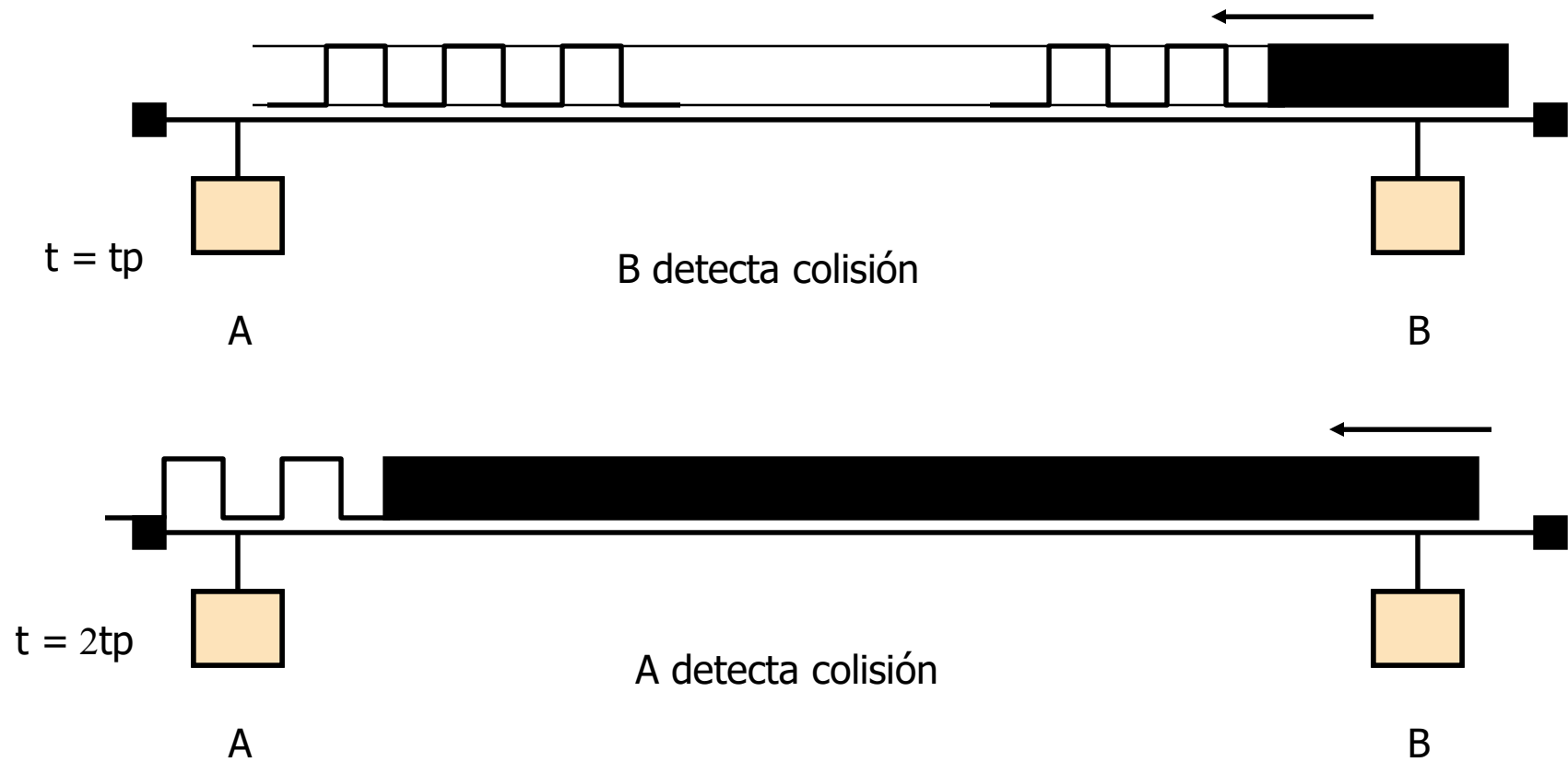


(Number of Channel Contenders)

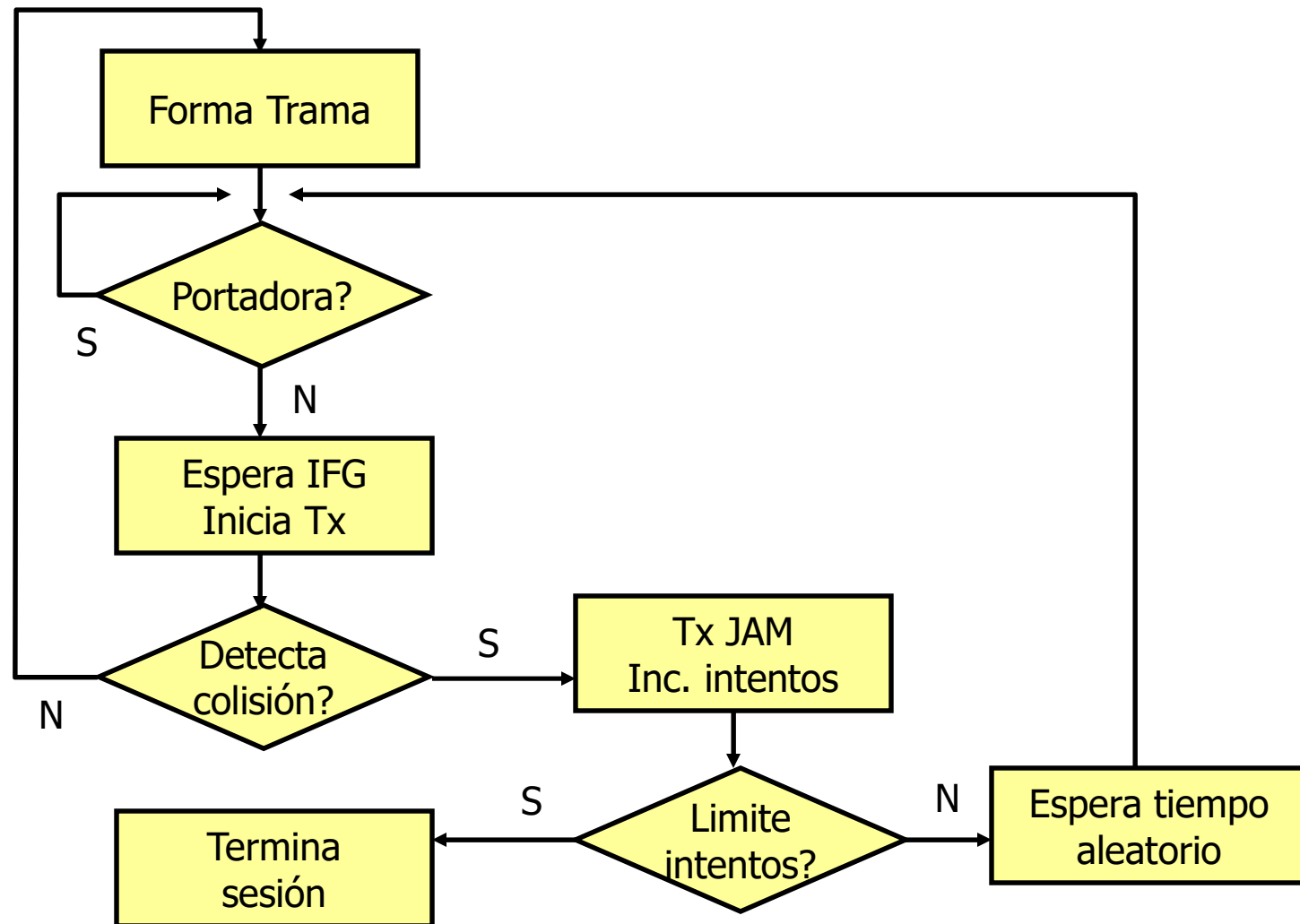
# CSMA/CD



# CSMA/CD (cont...)



# IEEE 802.3 (Tx de trama)



# CSMA/CD

- repeat
  - while (el bus esté ocupado) espera;
  - inicia transmisión;
  - while (no se detecte colisión)
    - transmite;
  - if (no se detectó colisión)
    - then
      - MA.DATA.confirm(TransmitOK)
    - else
      - aborta la transmisión;
      - transmite una señal de jamming;
      - espera un tiempo aleatorio
- until (TransmitOK or ExcessiveCollisionError)

# Algoritmo exponencial binario truncado

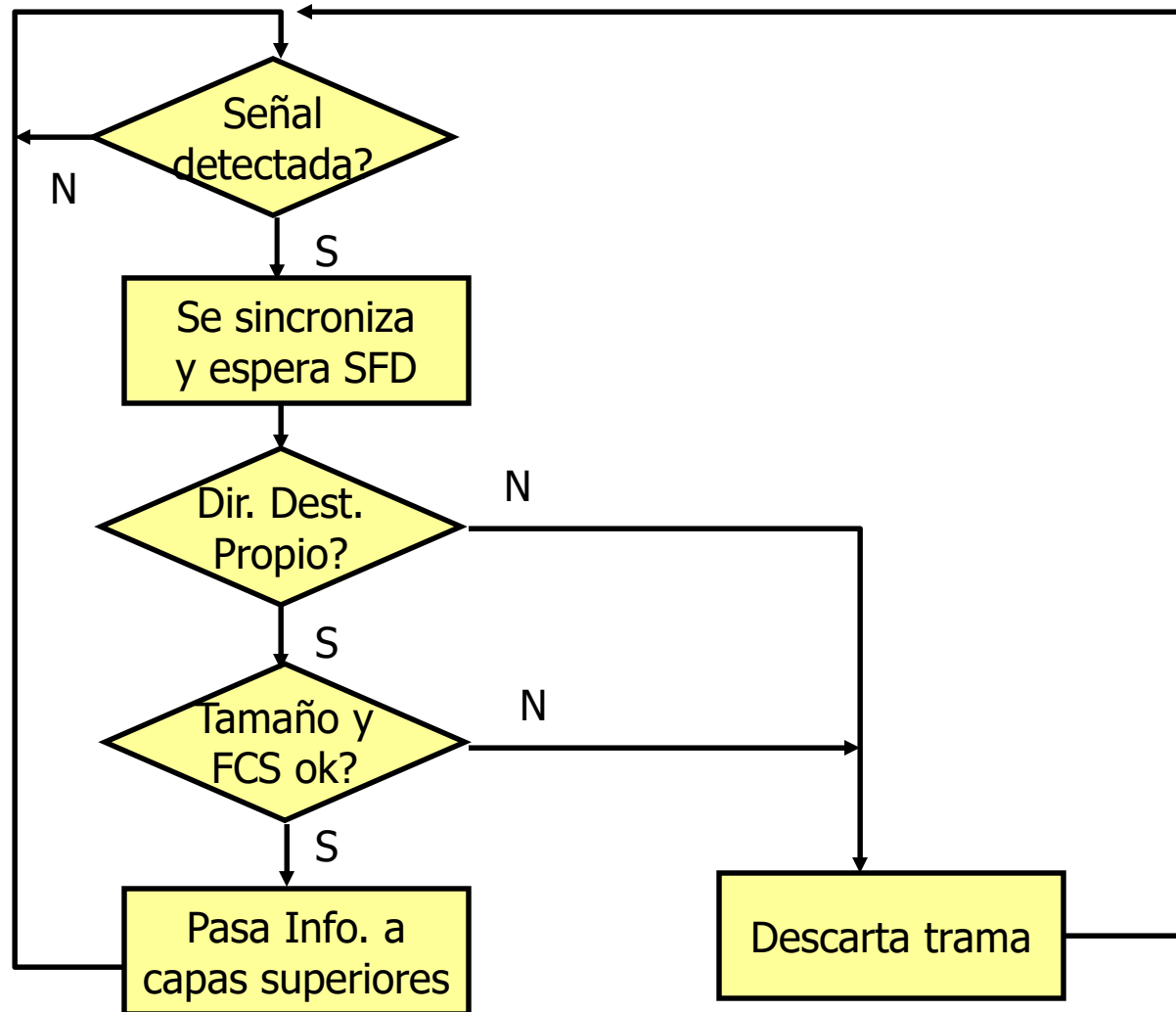
- if (intentos transmisión < 16)  
  then  
     $k := \min(\text{intentos}, 10);$   
     $r := \text{random } [0, 2^k);$   
    espera( $r * 2\tau$ );  
    incrementa intentos transmisión  
  else  
    MA.DATA.confirm(ExcessiveCollisionError)



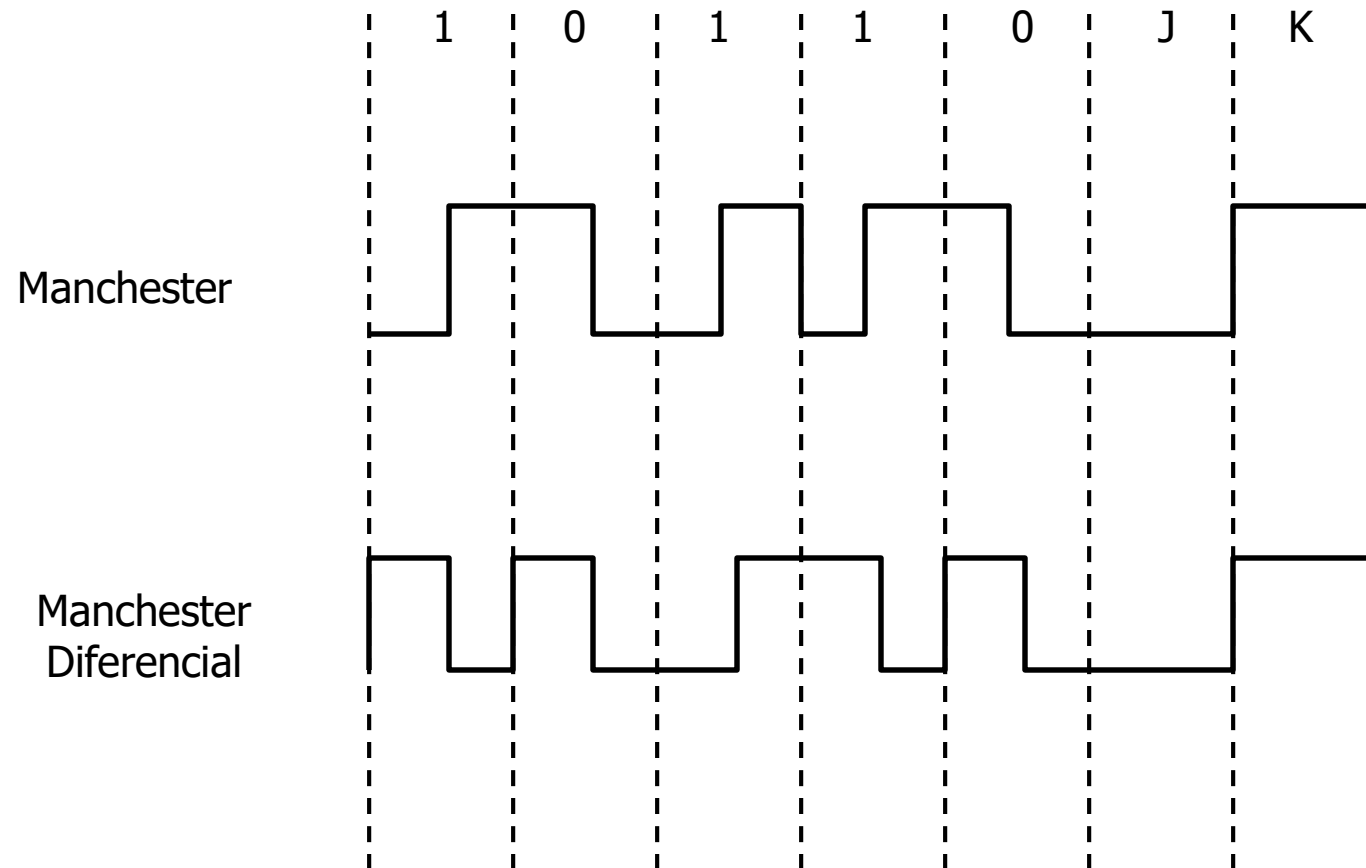
# Parámetros CSMA/CD

- InterFrameGap      12 bytes
- $2\tau$       64 bytes
- Señal de jamming      4 bytes
- Tamaño mínimo de la trama  
46 + 18 = 64 bytes
- Tamaño máximo de la trama  
1500 + 18 = 1518 bytes
- Número máximo de estaciones 1024

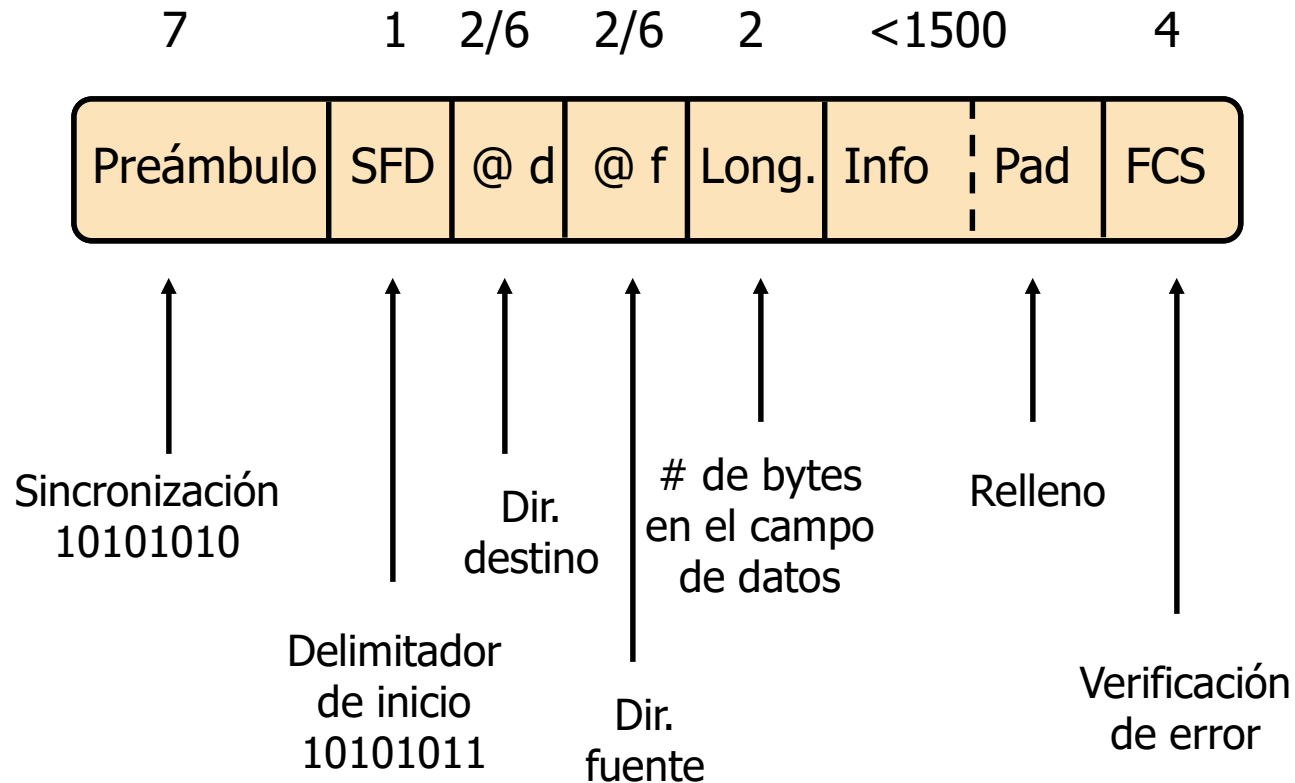
# IEEE 802.3 (Rx de trama)



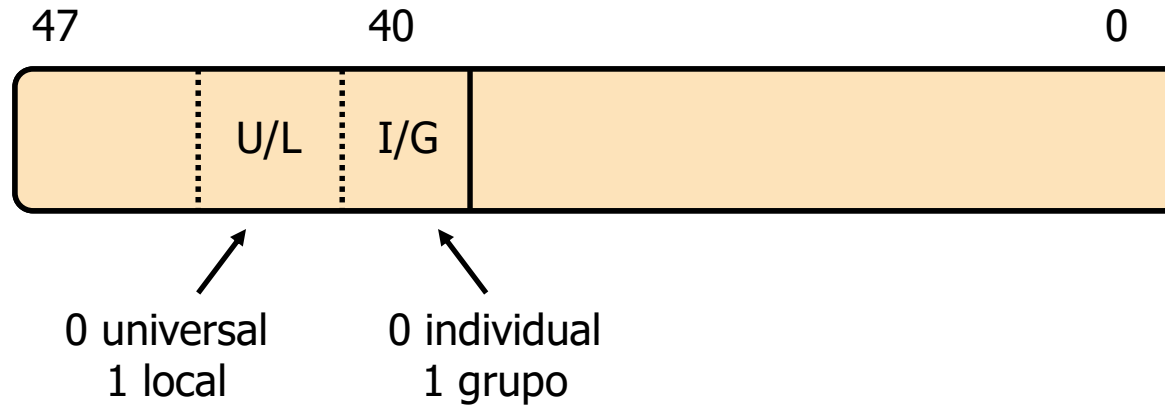
# Codificación de línea



# Formato de Trama

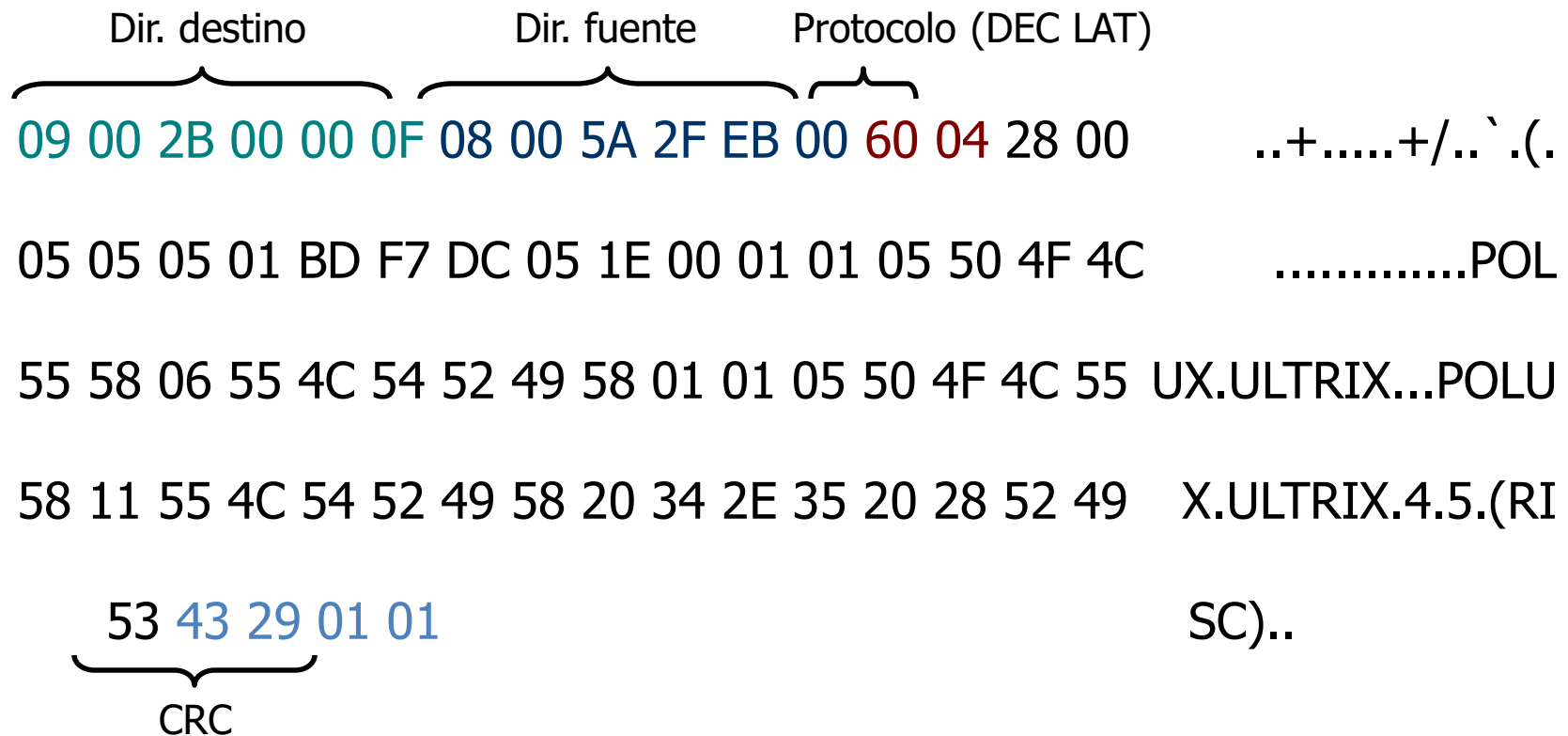


# Direcciones MAC



Dir. MAC (Hexadecimal)	Fabricante
00 : 00 : 0C : xx : xx : xx	Cisco
00 : 00 : 1D : xx : xx : xx	Cabletron
08 : 00 : 20 : xx : xx : xx	Sun
00 : 60 : 8C : xx : xx : xx	3COM
08 : 00 : 5A : xx : xx : xx	IBM

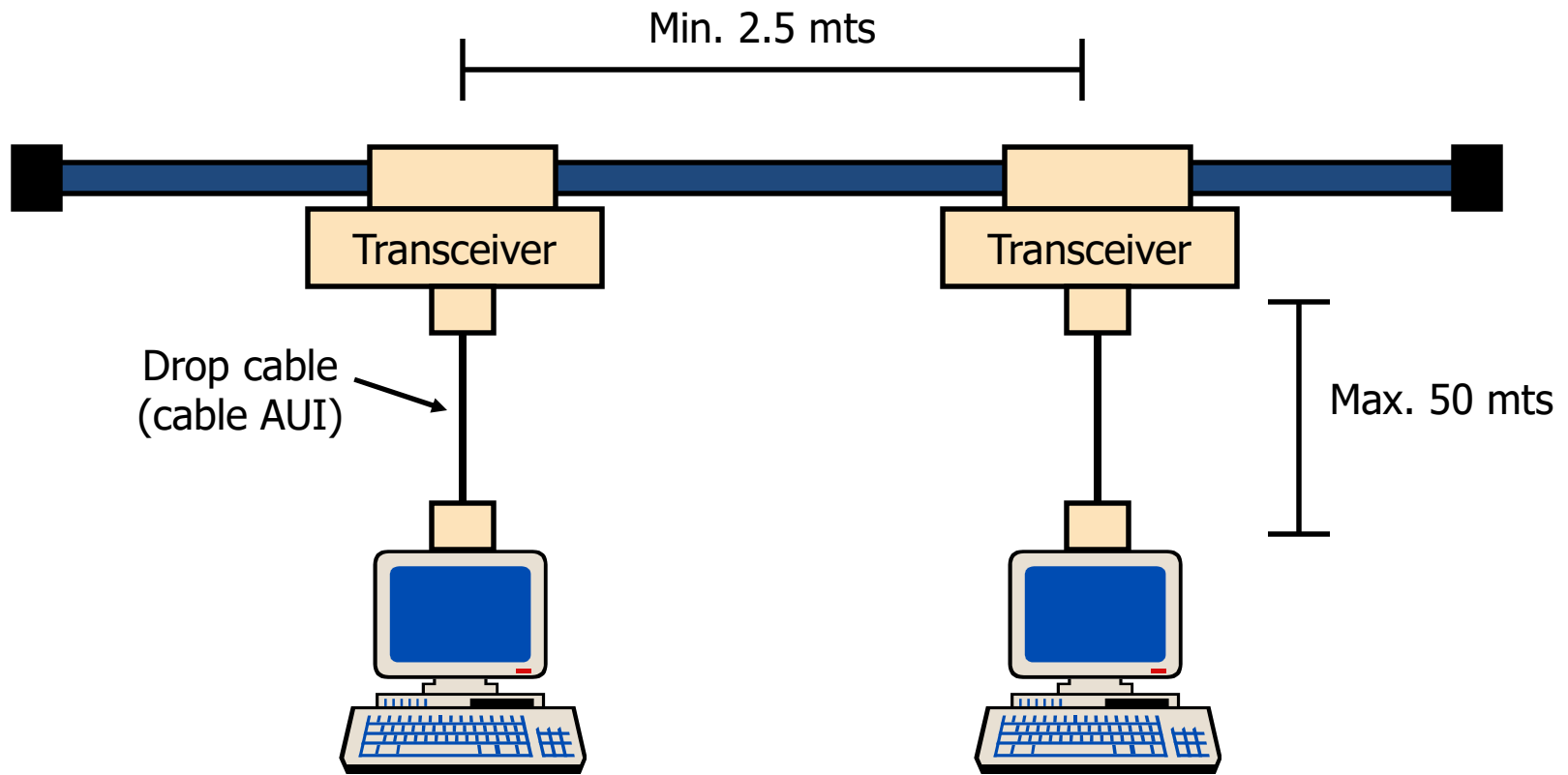
# Ejemplo de trama ethernet



# IEEE 802.3

	10Base5	10Base2	10Broad36	10BaseT
Cable	Coax. Grueso (50 ohm)	Coax. Delgado (50 ohm)	Coaxial (75 ohm)	Par trenzado
Señalización	Banda base (manchester)	Banda base (manchester)	Banda ancha (DPSK)	Banda base (manchester)
Long. Segmento	500 mts	185 mts	1800 mts	100 mts
Long. Red	2500 mts	925 mts	3600 mts	400 mts
Nodos/segmento	100	30	*	*

# 10Base5

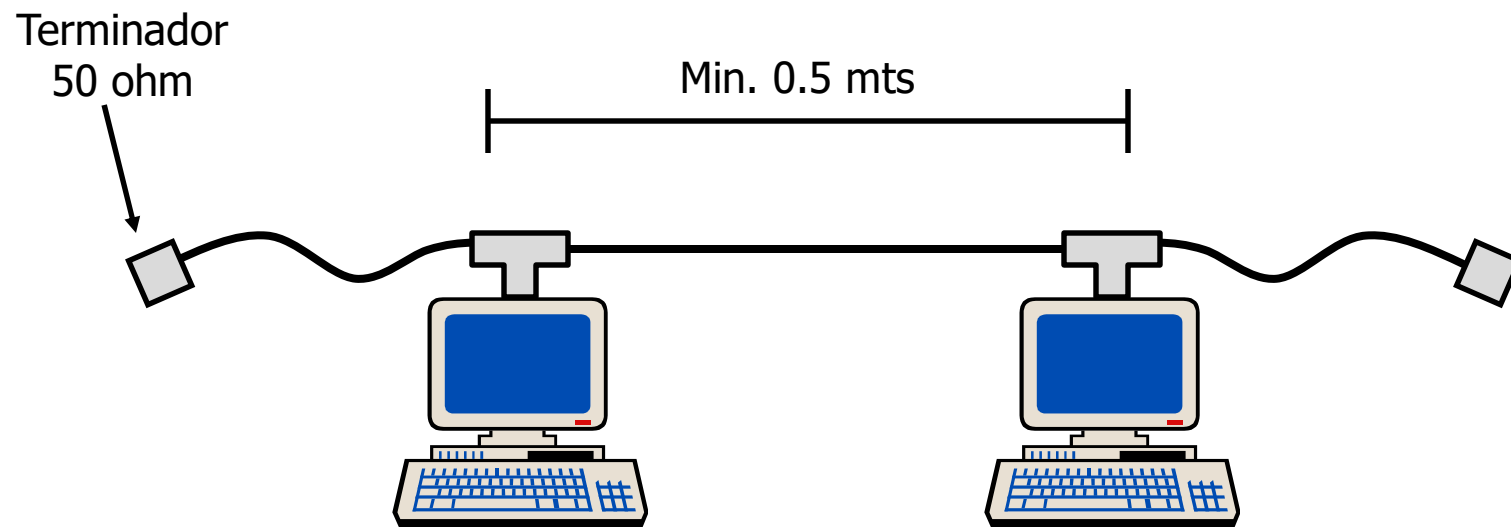




# 10Base5

- Cable coaxial
  - 50 ohms
  - 10 mm de diámetro
- Hasta 100 estaciones por segmento
- Se permiten hasta 4 repetidores entre dos estaciones, por lo que se puede alcanzar una extensión máxima de 2.5 Km.

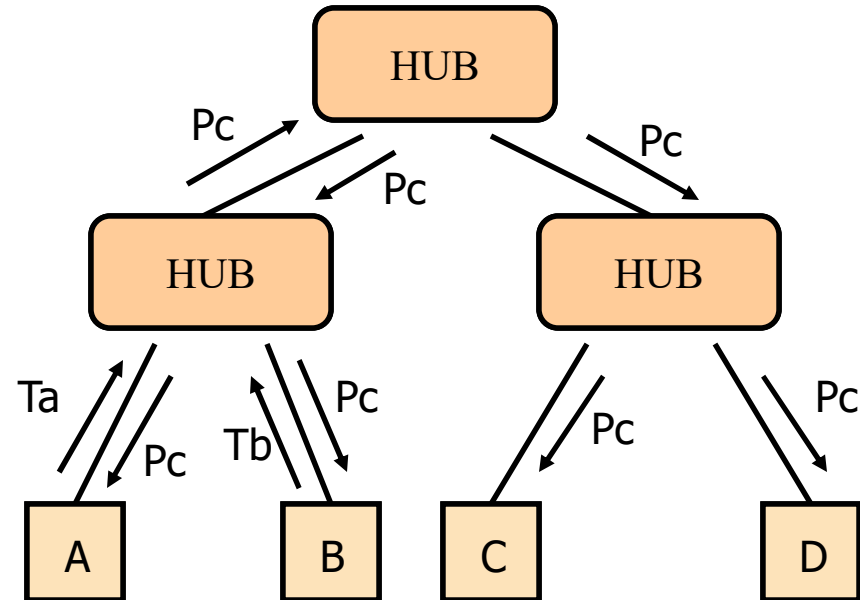
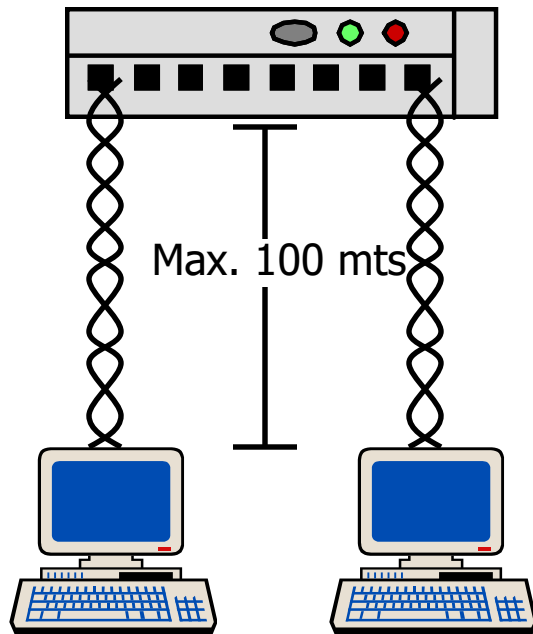
# 10Base2



# 10Base2

- Cable coaxial
  - 50 ohms
  - 5 mm de diámetro
- Hasta 30 estaciones por segmento
- Las estaciones se conectan al bus mediante un conector “T”
- Es más barato el cable y la electrónica

# 10BaseT



A y B transmiten

Ta: Transmisión de A  
Tb: Transmisión de B  
Pc: Propagación de la colisión

# 10BaseT

- El enlace entre una estación y el repetidor consiste de 2 pares UTP
- La longitud máxima del enlace es de 100 m
- Si se usa un enlace de fibra óptica la longitud máxima es de 2 Km (10BaseFB, 10BaseFL)
- A un puerto del repetidor se puede conectar un segmento 10Base5 o 10Base2

# Métricas de desempeño

# Rendimiento

- Cantidad de información transmitida *sin error* por unidad de tiempo
- Por conexión o rendimiento total
- En dispositivos de red, a veces medida en paquetes por segundo (PPS). Esta medida depende del tamaño del paquete
- A nivel aplicación, el parámetro de interés es llamado *goodput*.
- Factores que afectan
  - Tasa de error extremo a extremo
  - Dinámica de protocolos
  - Desempeño de equipos intermedios y terminales

# Eficiencia

- Medida de la sobrecarga necesaria para transmitir información
  - colisiones, paso de testigo, acuses de recibo, encabezados, etc
- Trama de tamaño máximo (MSS)
  - + menor sobrecarga de encabezados
  - + menor número de paquetes a conmutar
  - mayor probabilidad de error
  - menor equidad



# Eficiencia - Transporte de voz

- ¿Cuántas muestras por paquete?
  - Muy pocas resulta ineficiente por la sobrecarga de los encabezados
  - Muchas aumenta el retardo de paquetización en la fuente
    - El “presupuesto de retardo” es de 150 ms para una conversación telefónica de calidad
- Valores típicos 10ms, 20ms, 40ms

# Eficiencia – Transporte de voz

		IPv4		IPv6	
Codec	Tam. Trama (ms)	A. Banda (kbps)	Eficiencia	A. Banda (kbps)	Eficiencia
<b>G.711</b> <b>64 kbps</b>	5	128	50	160	40
	10	96	66	112	57
	20	80	80	88	72
	40	72	89	76	84
<b>G.726</b> <b>32 kbps</b>	5	96	33	128	25
	10	64	50	80	40
	20	48	66	56	57
	40	40	80	44	72
<b>G.729A</b> <b>8 kbps</b>	5	72	11	104	8
	10	40	20	56	14
	20	24	33	32	25
	40	16	50	20	40
<b>G.723.3</b> <b>6.4 kbps</b>	30	17	37.5	22.38	29

# IEEE 802.3u 100 Mb/s Fast Ethernet

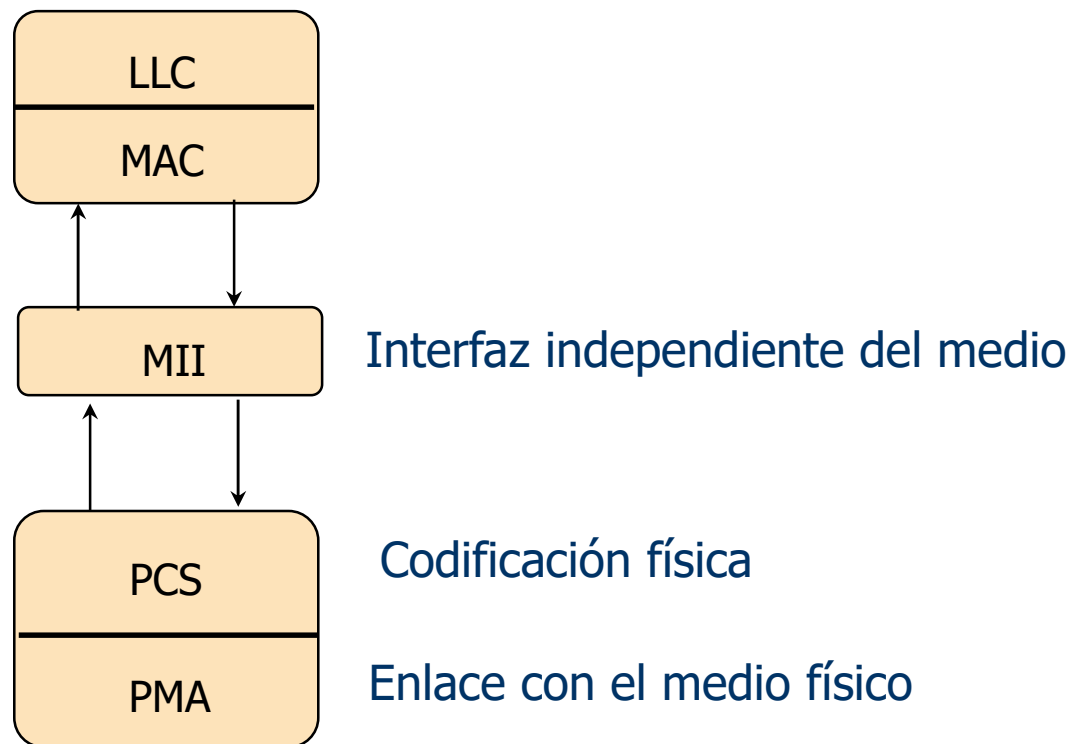
# Requerimientos

- Alto desempeño
  - Tasa 10 veces superior
- Bajo costo
  - Tecnología simple, con soporte amplio de vendedores
  - Similar a 10BaseT, diseño de C.I. se simplifica
- Fácil migración
  - Mismo protocolo MAC
  - Aprovecha cableado existente, de ser posible
- Restricciones radiación electromagnética
  - Modifica esquema de codificación

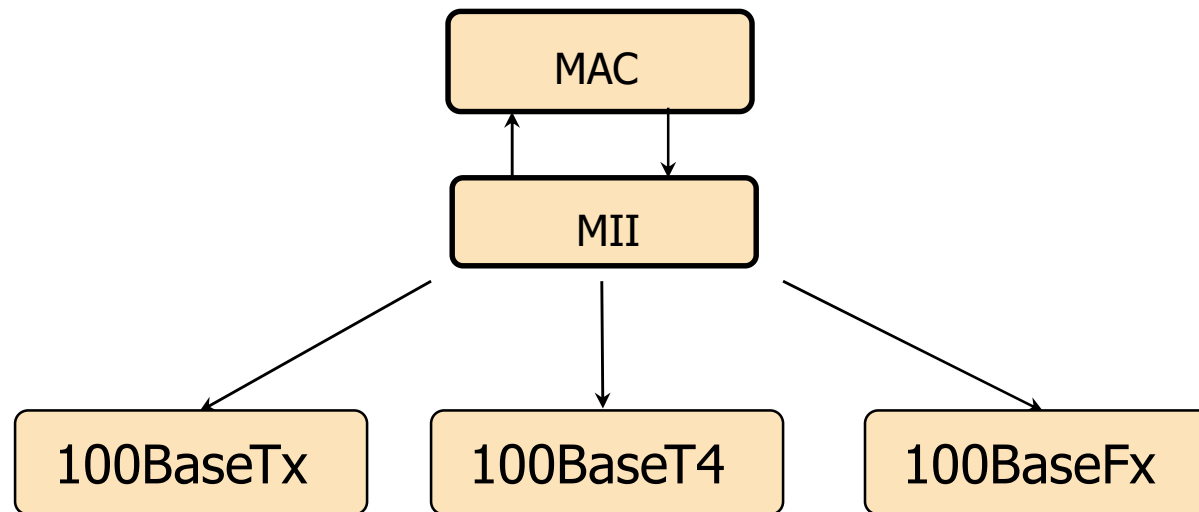
# Consideraciones del protocolo MAC

- El tiempo para detectar una colisión se había fijado en 51.2  $\mu$ s
- Corresponde aproximadamente al retardo de ida y vuelta de una red de 2.5 km con 4 repetidores
- A 10 Mbps, se *deben* enviar 512 bits = 64 octetos
  - Si se mantiene el tamaño de la red, el tamaño mínimo de trama es de 640 octetos
    - MUY INEFICIENTE, INCOMPATIBLE con 10BaseT
  - Si se mantiene el tamaño mínimo de trama, se reduce el tamaño de la red
    - SOLUCIÓN RETENIDA

# Arquitectura 100BaseT



# Medios de transmisión



No. de pares	2 pares	4 pares	2 hilos F.O.
Medio	UTP Cat. 5 STP	UTP Cat. 3/4/5 STP	Multimodo 62.5/125
Comunicación	Half/Full Duplex	Half Duplex	Half /Full duplex
Longitud Red	200 m	200 m	400 m
Señalización	4B5B, MLT-3	8B6T, NRZ	4B5B, NRZI

# 100BaseTx

- Dos pares: uno para transmitir y otro para detectar colisiones
  - Norma 802.3x el otro puede ser para recibir en operación full duplex
- Cables categoría 5, pueden enviar señales a 125 MHz en 100 mts
- Es la más popular de las versiones

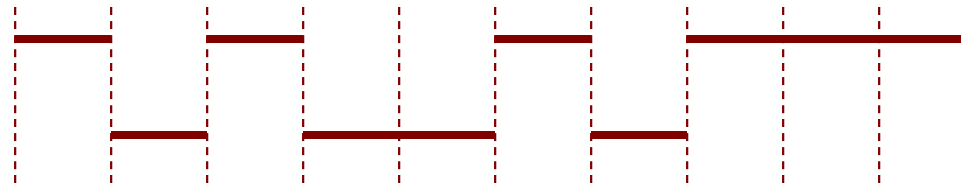


# 100BaseTx - Codificación

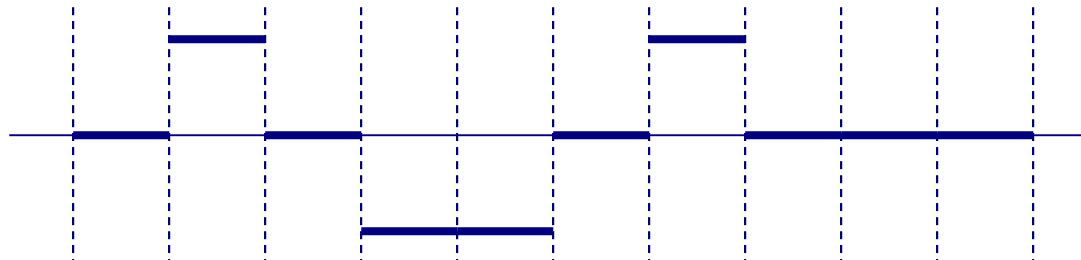
- Codificación 4B/5B, MLT-3
  - Misma codificación que FDDI
  - Baudaje a 125 MHz (en vez de los 200 MHz requeridos por codificación Manchester)
  - Asegura sincronía y confiabilidad
    - Avances en electrónica y distancias cortas simplifican el problema de sincronización.

# NRZI y MLT-3

Codificación 4B/5B para el hexadecimal 0 es 11110 y para E es 11100



NRZI

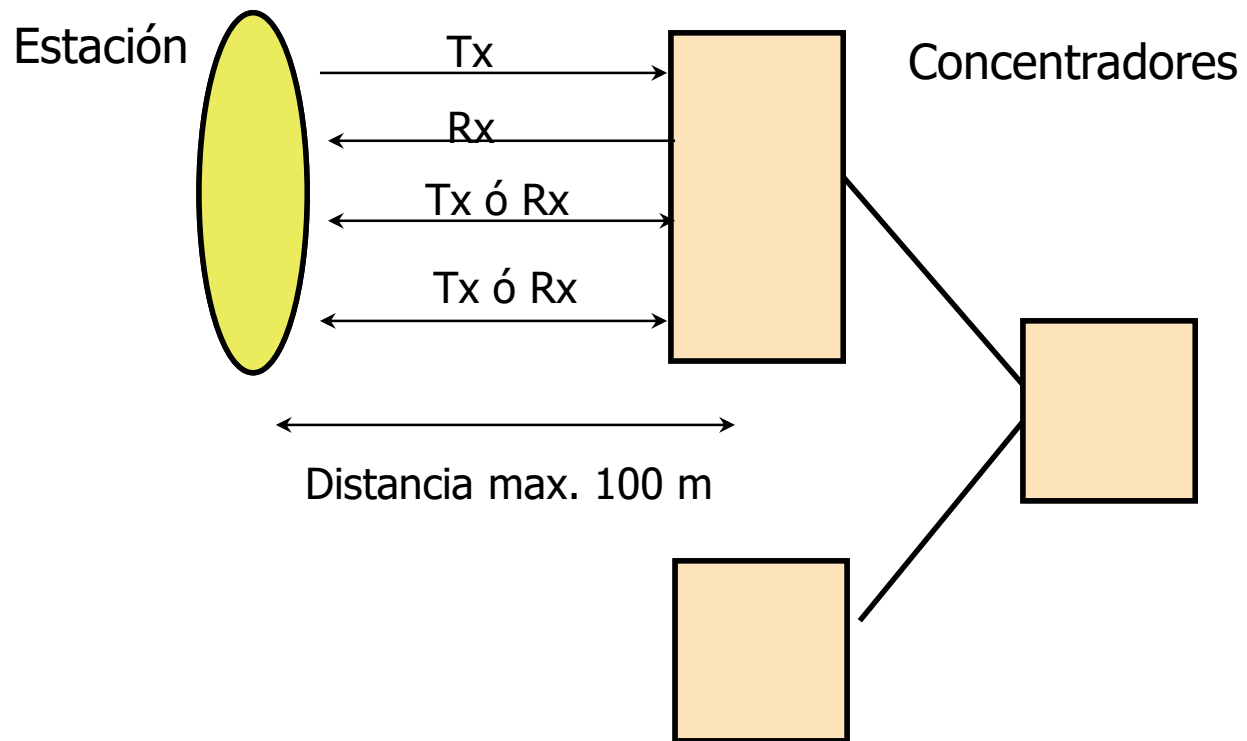


MLT-3

# 100BaseFx

- Dos hilos fibra óptica multimodal
  - Soporte operación full duplex
- Codificación 4B/5B NRZ-I
- Distancias hasta de 400 mts (2 km entre conmutadores full duplex)

# 100BaseT4



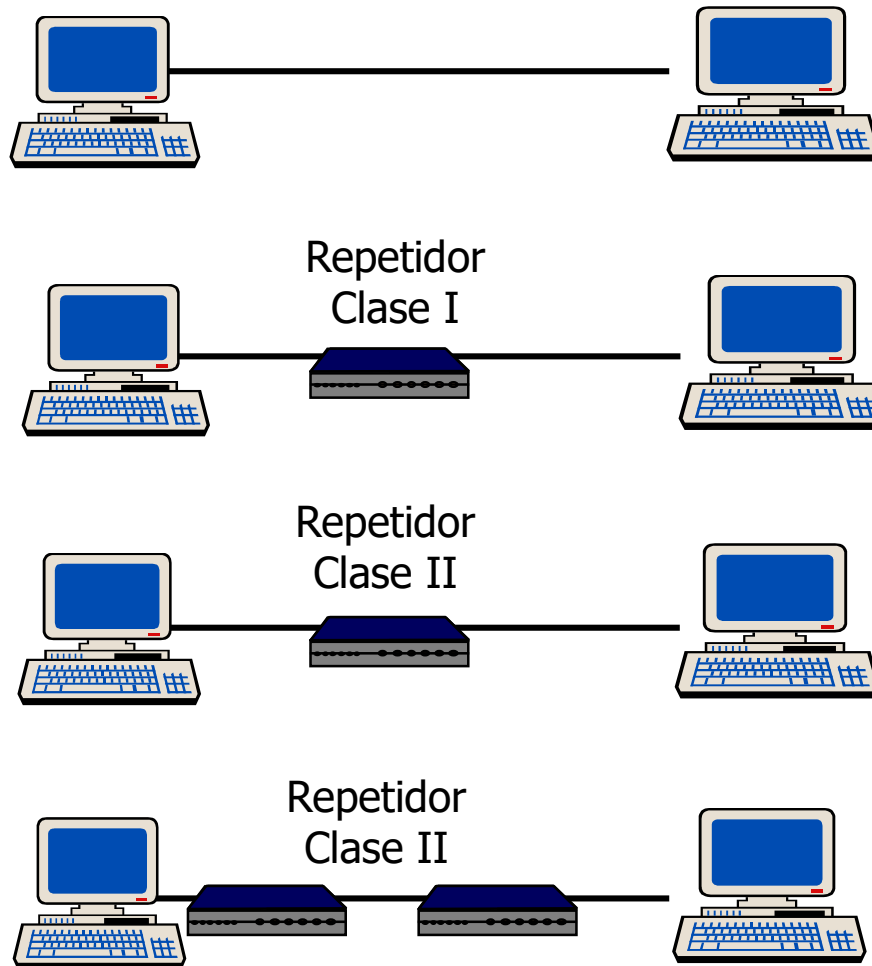
# 100BaseT4 - Codificación

- 8B6T – Un octeto se codifica en una palabra de 6 símbolos ternarios
  - La frecuencia en cada par de 33 Mhz viola el límite de 30Mhz establecido para UTP.
  - Se emplea código ternario (3 niveles: +, 0, -) conocido como 8B6T (8 binario - 6 ternario), el cual mapea 8 bits a 6 símbolos ternarios, reduciendo de esta forma la frecuencia a 25Mhz.
  - El número de patrones 6T es de 729 ( $3^6$ ), sin embargo, se eligen los mejores 256 códigos:
    - Un buen balance de DC
    - Al menos un par de transiciones

# Concentradores para 100BaseT

- Clase I:
  - Grandes retardos de procesamiento (latencia)
  - Puede convertir entre segmentos 100BaseX (Fx, Tx) y 100BaseT4
  - Como la conversión consume tiempo, sólo se permite un concentrador clase I por dominio de colisión cuando se tienen longitudes máximas de los cables.
- Clase II
  - Pequeños retardos
  - Conecta el mismo tipo de segmentos (100BaseT4 o 100BaseX)
  - Máximo 2 concentradores clase II por dominio de colisión.

# Reglas de topologías



Cobre	Fibra	Ambos
100m	400m	n/d
200m	240m	230m
200m	318m	285m
200m	226m	212m

# Auto negociación 10/100 Mbps

- El estándar incluye sensado automático de velocidad como parte de la función de negociación.
- Al inicio, la estación 100BaseT anuncia su capacidad enviando pulsos para prueba de integridad del enlace llamado *fast link pulse* (FLP), si la estación receptora es un hub que soporta 100BaseT, entonces detectará los FLPs y mediante el protocolo de auto negociación también enviará FLPs para que ambos sitios operen en modo 100BaseT, si no es capaz de reconocer los FLPs ambos operarán en 10BaseT.
- El cambio ocurre automáticamente, sin embargo el administrador de red puede forzar la operación a 10BaseT a pesar de que las estaciones soporten 100BaseT



---

# **Gigabit Ethernet**

**IEEE 802.3z**

**IEEE 802.3ab**

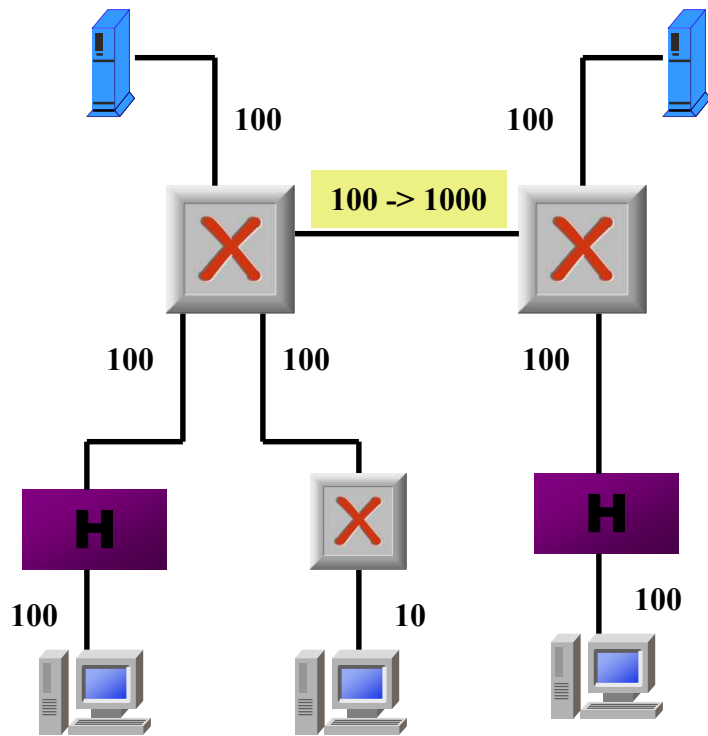
**IEEE 802.3ae**

**IEEE 802.3ba**

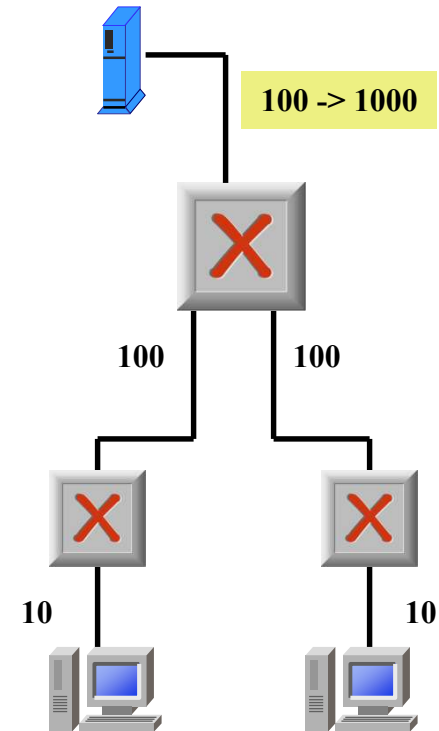
# Ethernet a 1 Gigabit/s

- Busca hacerlo tan compatible *como sea posible* con 10 y 100 Mbps
  - Preserva formato de trama y longitudes máxima y mínima
  - Preserva mecanismo CSMA/CD (half duplex)
- Operación full duplex con control de flujo
- Diseño original para fibra óptica, con extensiones posteriores para UTP Cat. 5
- Costo atractivo (comparado con otras alternativas)

# Primeras aplicaciones



1) Entre conmutadores



2) Conmutador - superservidor

# Jumbo tramas

- Propuesta para que el tamaño máximo de trama crezca hasta 9018 bytes.
  - Aumenta rendimiento: menos tramas de datos y de acuses de recibo a procesar
  - Aumenta eficiencia
- No estandarizada, pero soportada por una gran cantidad de fabricantes

Tam. Trama	Tramas/s	Eficiencia
64	1,488,095	55%
1518	81,274	97.5%
9018	13,830	99.6%

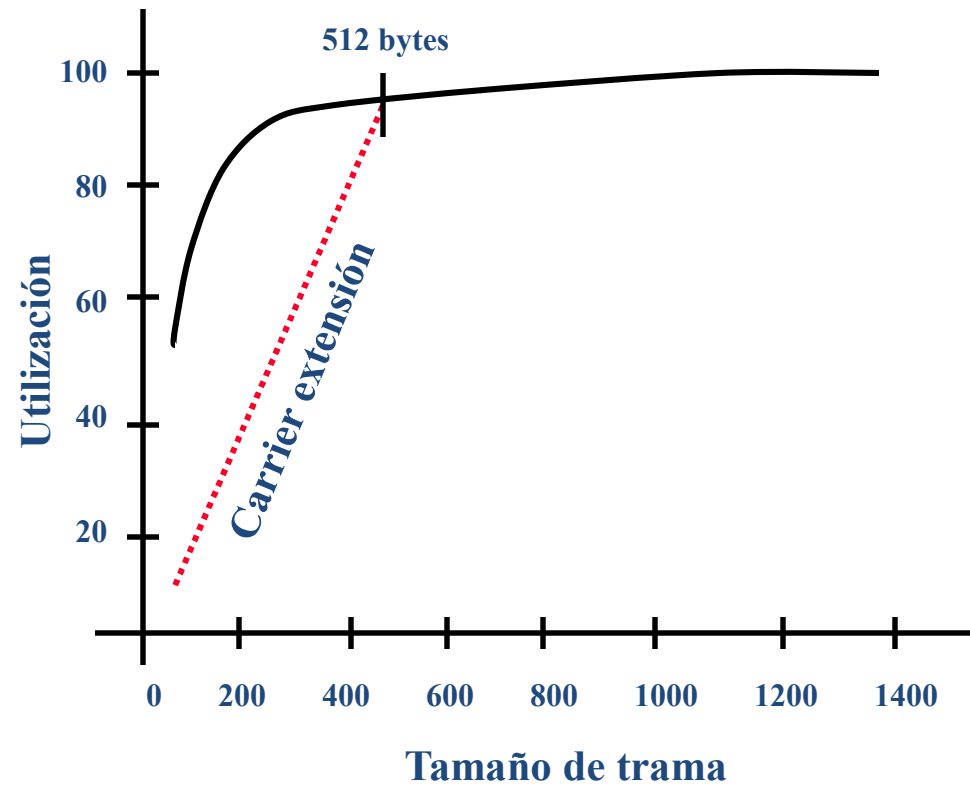
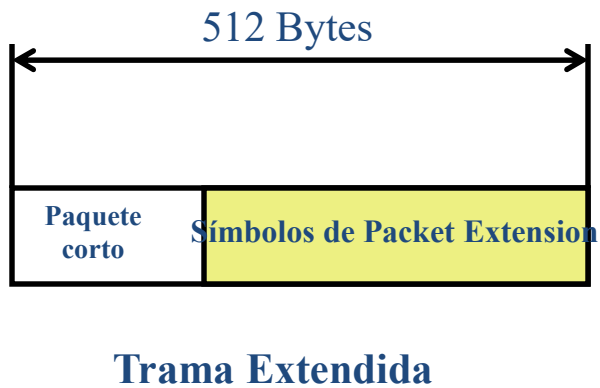
# Control de flujo (802.3x)

- Para comunicaciones full-duplex
- Subcapa de control MAC permite el envío y recepción de mensajes PAUSE
- Mensajes tienen un campo con la duración de la pausa en unidades de *512 bit-times*. Un valor de 0 permite reanudar la transmisión
- Mecanismo se establece durante la fase de auto-negociación

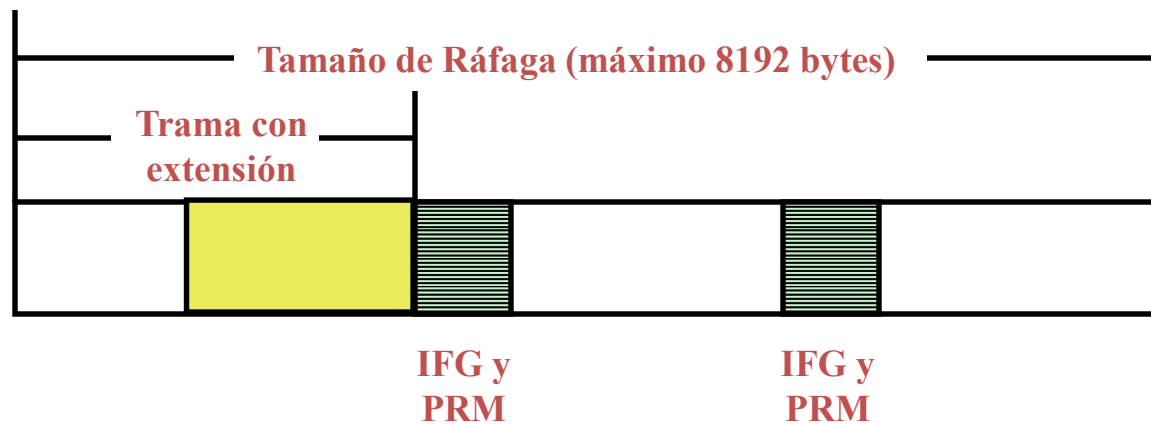
# Gigabit Ethernet Compartido

- Para medios compartidos (conexión de repetidores), se conserva el mismo protocolo de acceso (CSMA/CD)
- Cualquier estación dentro de un dominio debe ser capaz de detectar una colisión en el mínimo tiempo que toma transmitir la trama más corta (64 bytes @ 1000 Mbps = 0.512  $\mu$ seg). Esto limitaría el diámetro a **25 metros**
- Dos características fueron añadidas a CSMA/CD para extender la longitud del dominio de colisión : *carrier extension* y *packet bursting*.
- Se permite solamente un concentrador por dominio de colisión

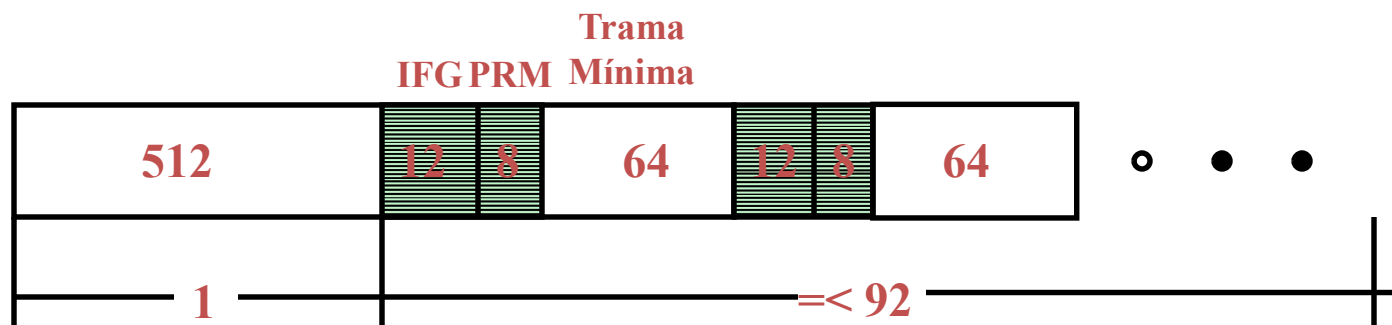
# Carrier extension



# Packet bursting



**Máximo número de tramas (cortas) que una ráfaga puede contener:**



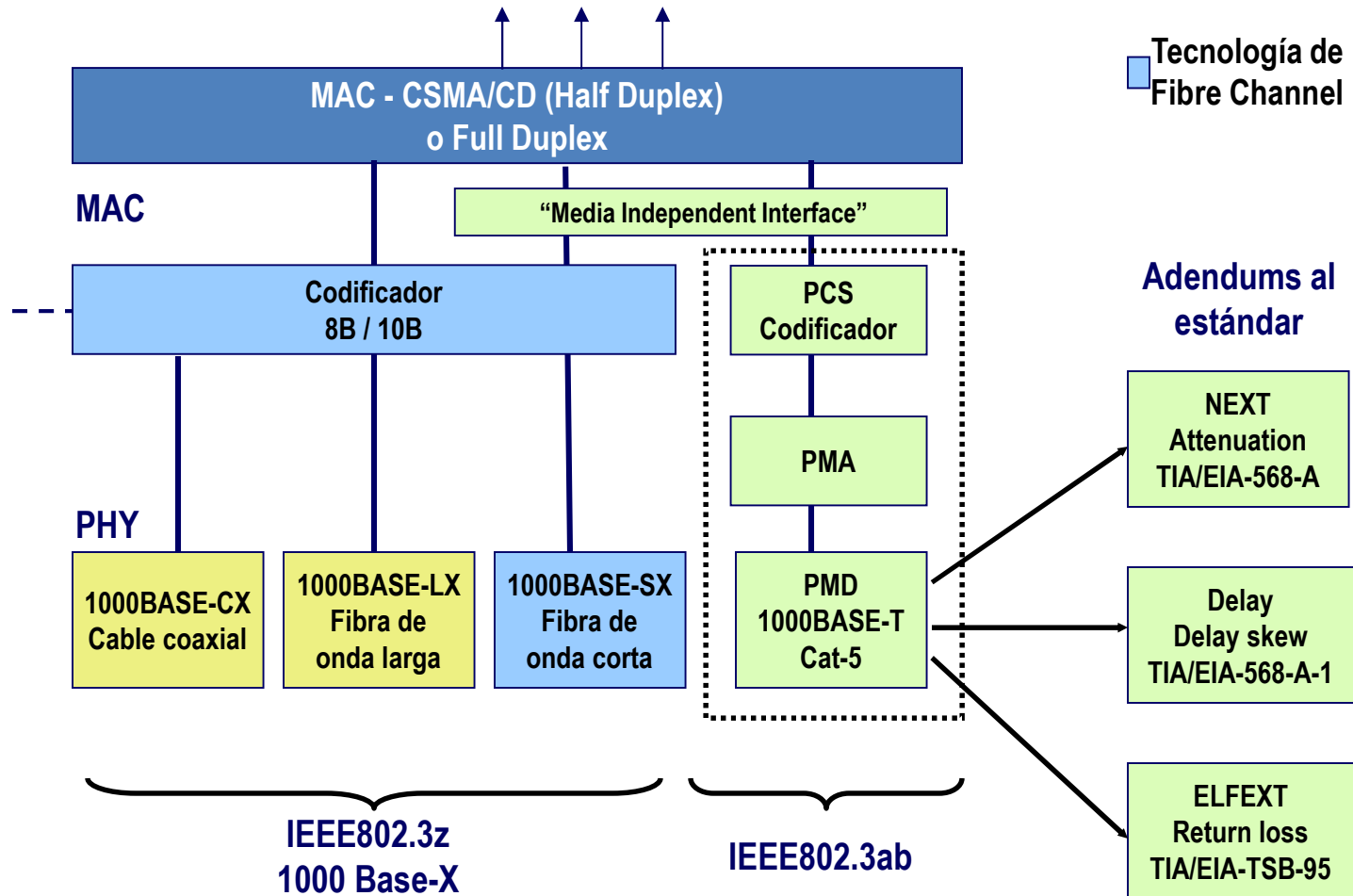


# Eficiencia y utilización

<b>Tecnología</b>	<b>Utilización</b>	<b>Eficiencia</b>
<b>FastEthernet</b>	<b>76.2 %</b>	<b>55 %</b>
<b>Giga + Ext</b>	<b>12.5 %</b>	<b>9 %</b>
<b>Giga + Ext + Packet B.</b>	<b>72.7 %</b>	<b>52.3 %</b>

Tramas de 64 bytes

# Arquitectura



# Capa física

	Características		Distancia	Codificación
1000Base-Sx	Fibra óptica 850 nm	SM 10 $\mu\text{m}$	3 km	8B/10B NRZI
		MM 50 $\mu\text{m}$	500 m	
		MM 62.5 $\mu\text{m}$	220 m	
1000Base -Lx	1310 nm	SM 10 $\mu\text{m}$	5 km	
		SM 62.5 $\mu\text{m}$	550 m	
1000Base-Cx	2 pares Coaxial blindado		25 m	
1000Base-T	4 pares UTP Cat 5e		100 m	4D PAM5

# Capa física

- Transmite de forma continua (datos, o símbolos *idle*)
- Todas las implementaciones soportan operación full dúplex
- 1000Base-X Codificación 8B/10B permite mantener sincronización e incorpora detección de errores
- 1000Base-T requiere de técnicas muy sofisticadas de procesamiento

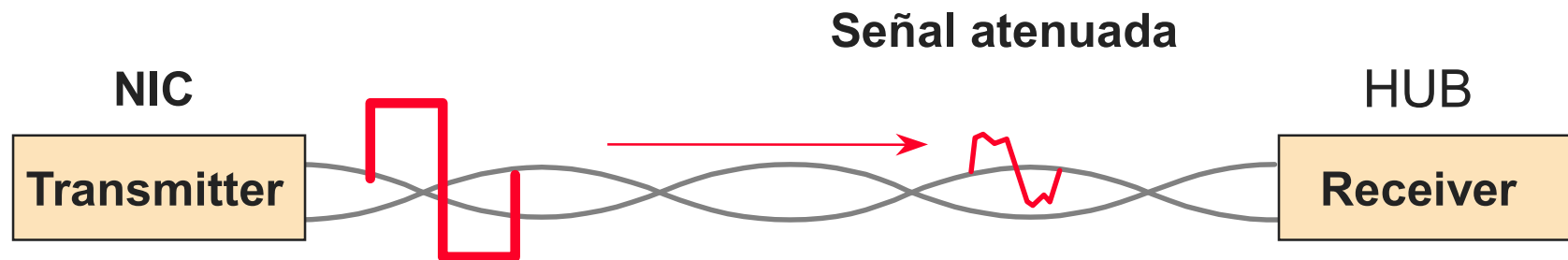
# 1000Base-T

- Utiliza en paralelo los cuatro pares de hilos
- Codificación 4D –PAM5
  1. Se mezclan los bits y se mapean a una tupla de 4 símbolos; 2 bits por símbolo (8B1Q4)
  2. Se separan en 4 símbolos; cada uno será transmitido por un par en paralelo (4D)
  3. A cada símbolo se le asigna uno de 5 voltajes: -1V, -0.5V, 0V, 0.5V, 1V (PAM5)

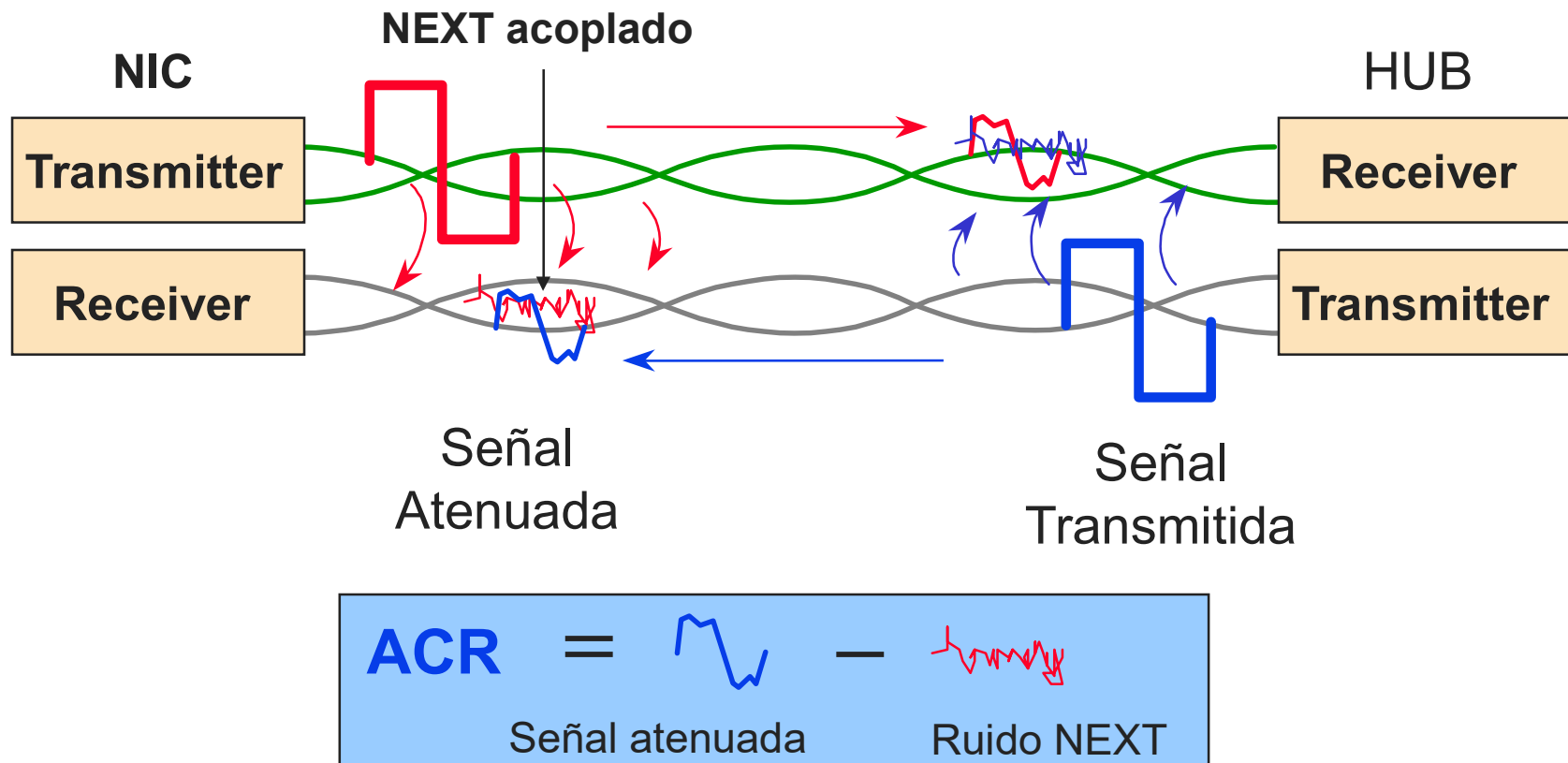
---

# Parámetros de desempeño de cableado (1000Base-T)

# Atenuación



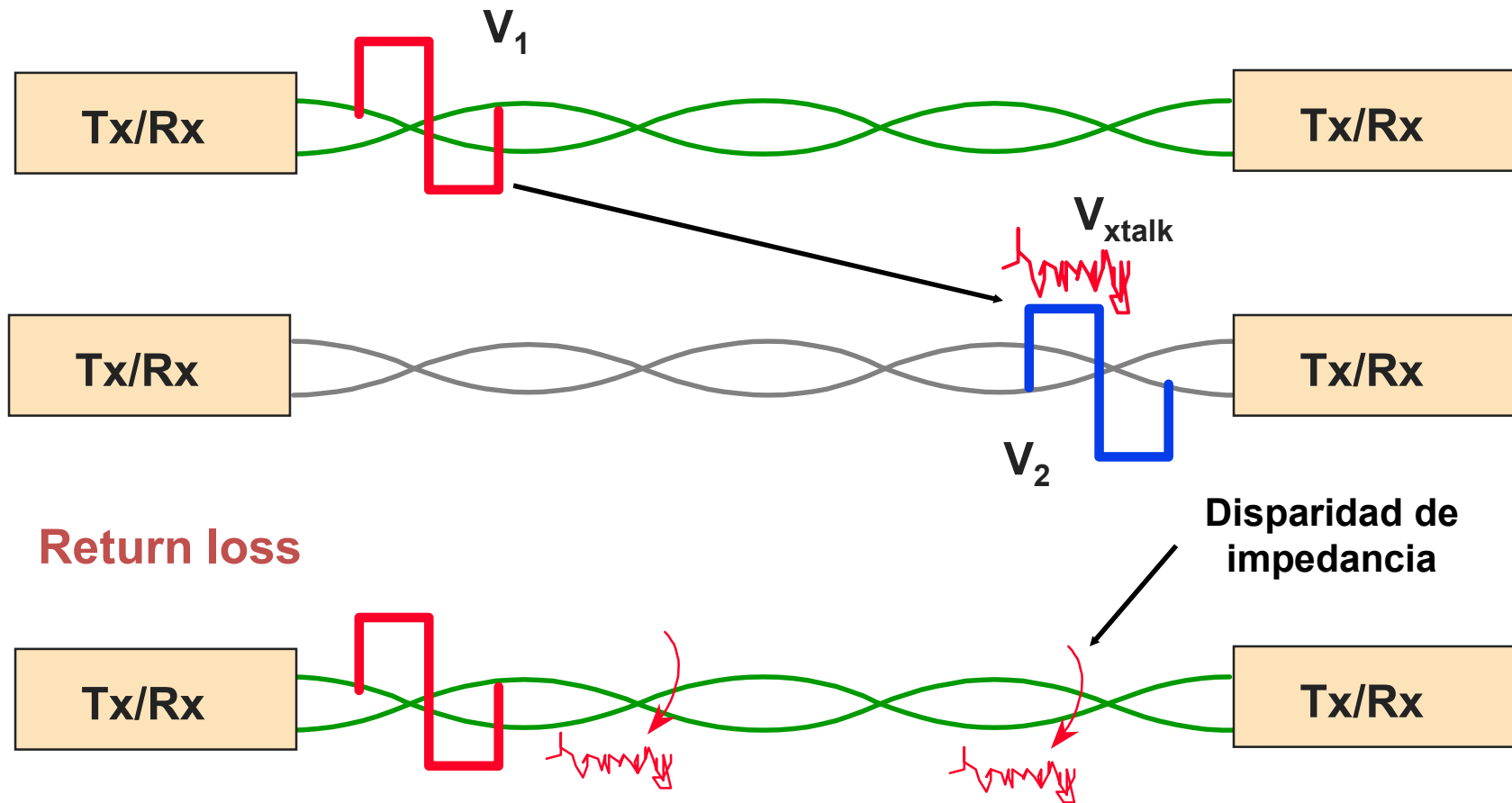
## NEXT y ACR



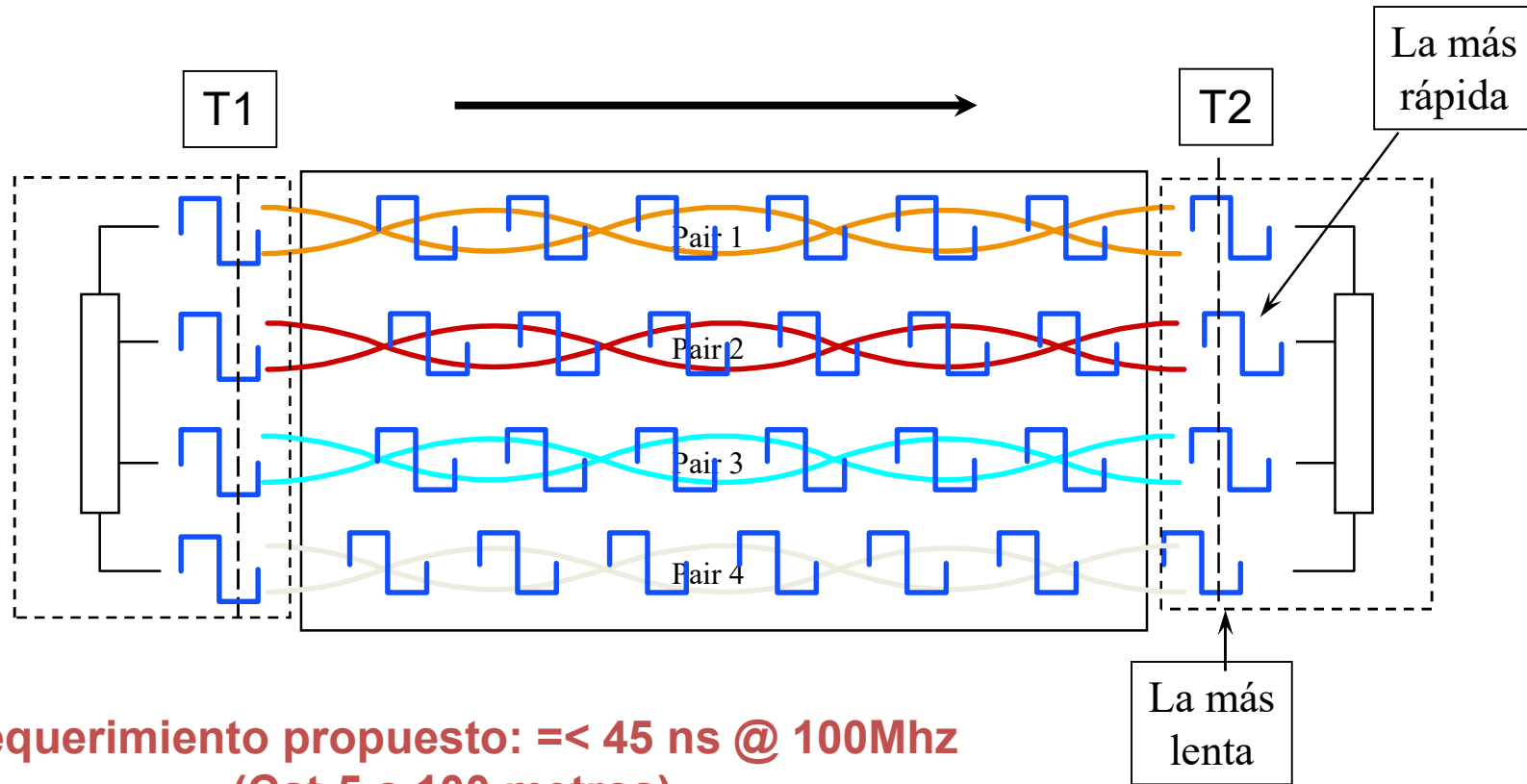


# FEXT y ELFEXT

$$\text{ELFEXT} = V_{\text{xtalk}} / V_1 \quad \text{FEXT} = \text{ELFEXT} + \text{atenuación}$$



# Retraso y variación (skew)

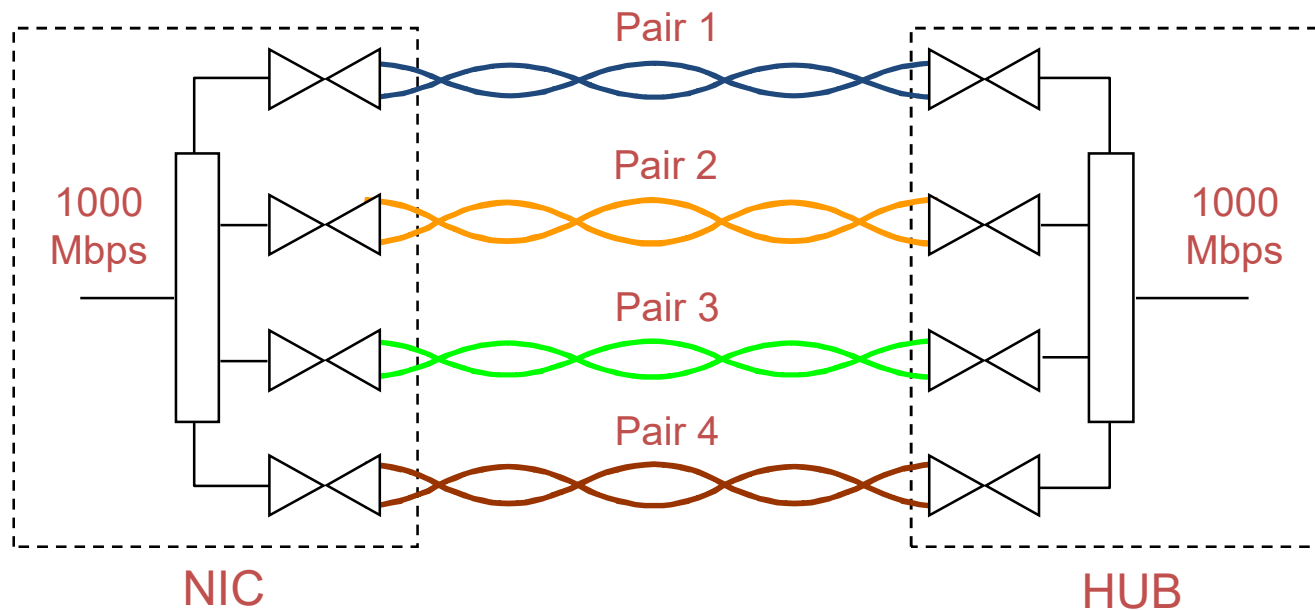


**Requerimiento propuesto:  $\leq 45$  ns @ 100Mhz  
(Cat-5 a 100 metros)**

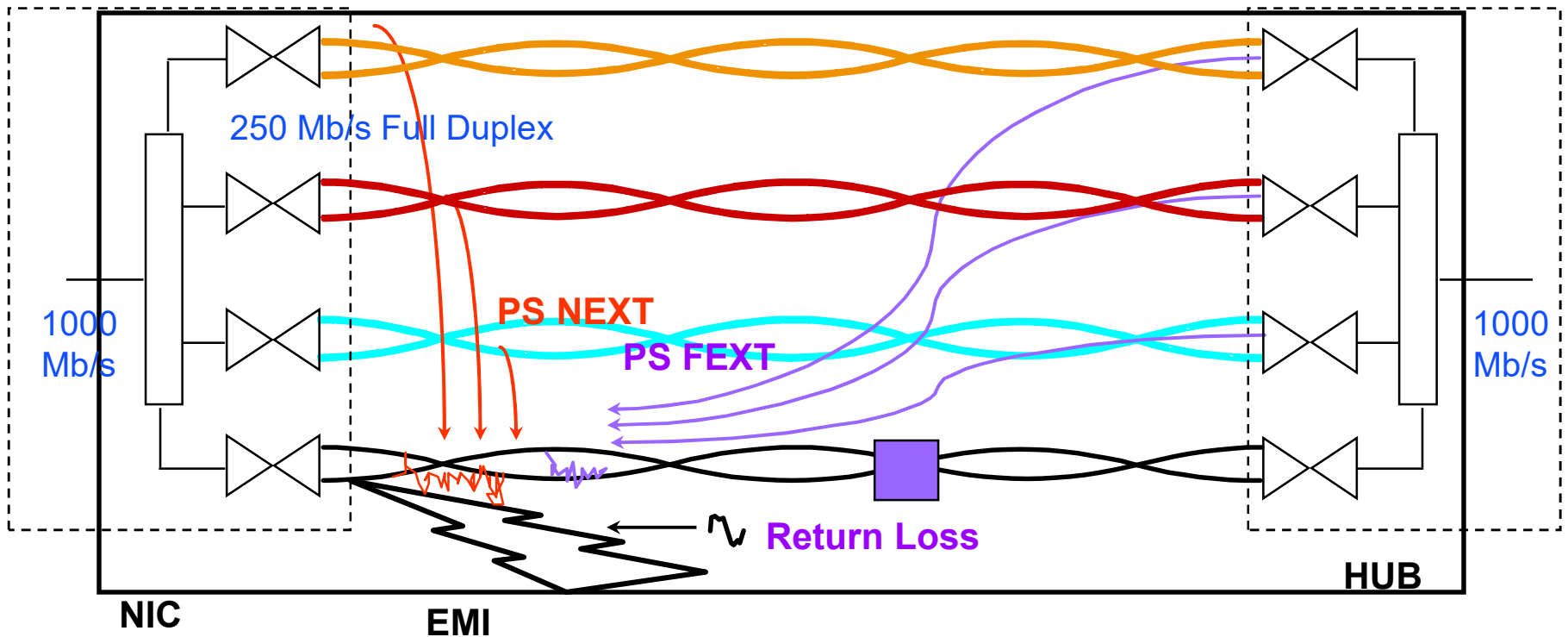
# Nuevos requerimientos (Efecto Power Sum)

Parámetros de desempeño adicionales y más estrictos para sistemas de 4 pares:

- Power Sum NEXT, Power Sum ELFEXT
- Return Loss
- Skew



# Fuentes de ruido en 1000BaseT



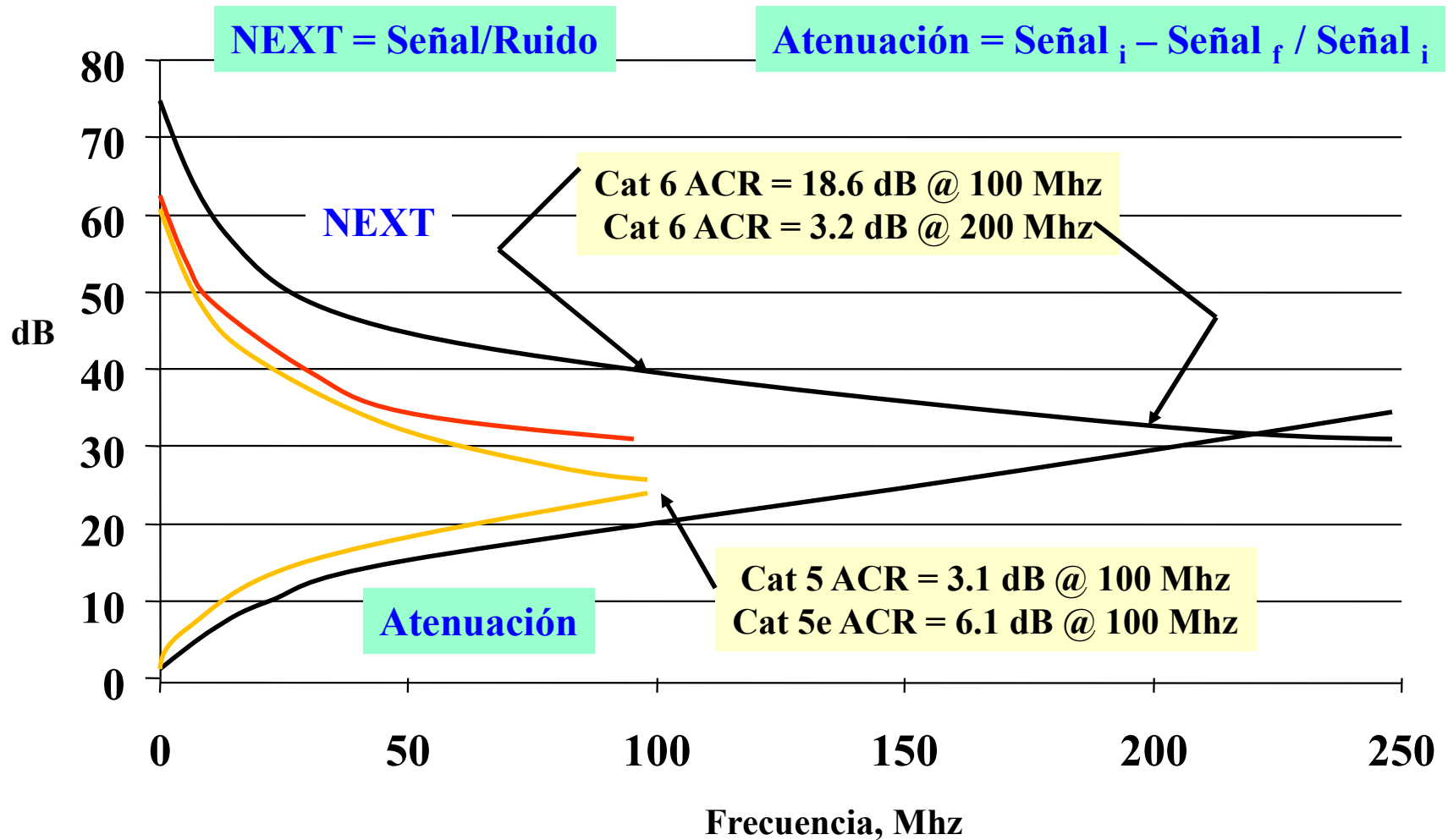
**NEXT** - Cancelable por DSP (Digital signal Processing)

**Return Loss** - Cancelable por DSP

**FEXT** - No cancelable por DSP

**EMI** - No cancelable por DSP

# Cat 5 vs Cat 5e vs Cat 6



# Especificaciones de desempeño Cat-6 (db)

Freq. MHz	Attenuation	Return Loss	NEXT	PSNEXT	ELFEXT	PS ELFEXT	ACR	PSACR
1	2.1	19.0	65.0	62.0	63.3	60.3	62.9	59.9
4	4.0	26.0	63.0	60.5	51.2	48.2	59.0	56.5
8	5.7	19.0	58.2	55.6	45.2	42.2	52.5	49.9
10	6.3	28.0	56.6	54.0	43.3	40.3	50.3	47.7
16	8.0	19.0	53.2	50.6	39.2	36.2	45.2	42.6
20	9.0	27.8	51.6	49.0	37.2	34.2	42.6	40.0
25	10.1	19.0	50.0	47.3	35.3	32.3	39.9	37.2
31.25	11.4	28.2	48.4	45.7	33.4	30.4	37.0	34.3
62.5	16.5	18.0	43.4	40.6	27.3	24.3	26.9	24.1
100	21.3	28.6	39.9	37.1	23.3	20.3	18.6	15.8
200	31.5	17.5	34.8	31.9	17.2	14.2	3.3	0.4
250	36.0	25.7	33.1	30.2	15.3	12.3	-2.9	-5.8

---

# **10 Gigabit Ethernet**

## **IEEE 802.3ae**

## **IEEE 802.3an**

# Objetivos de 10GbE

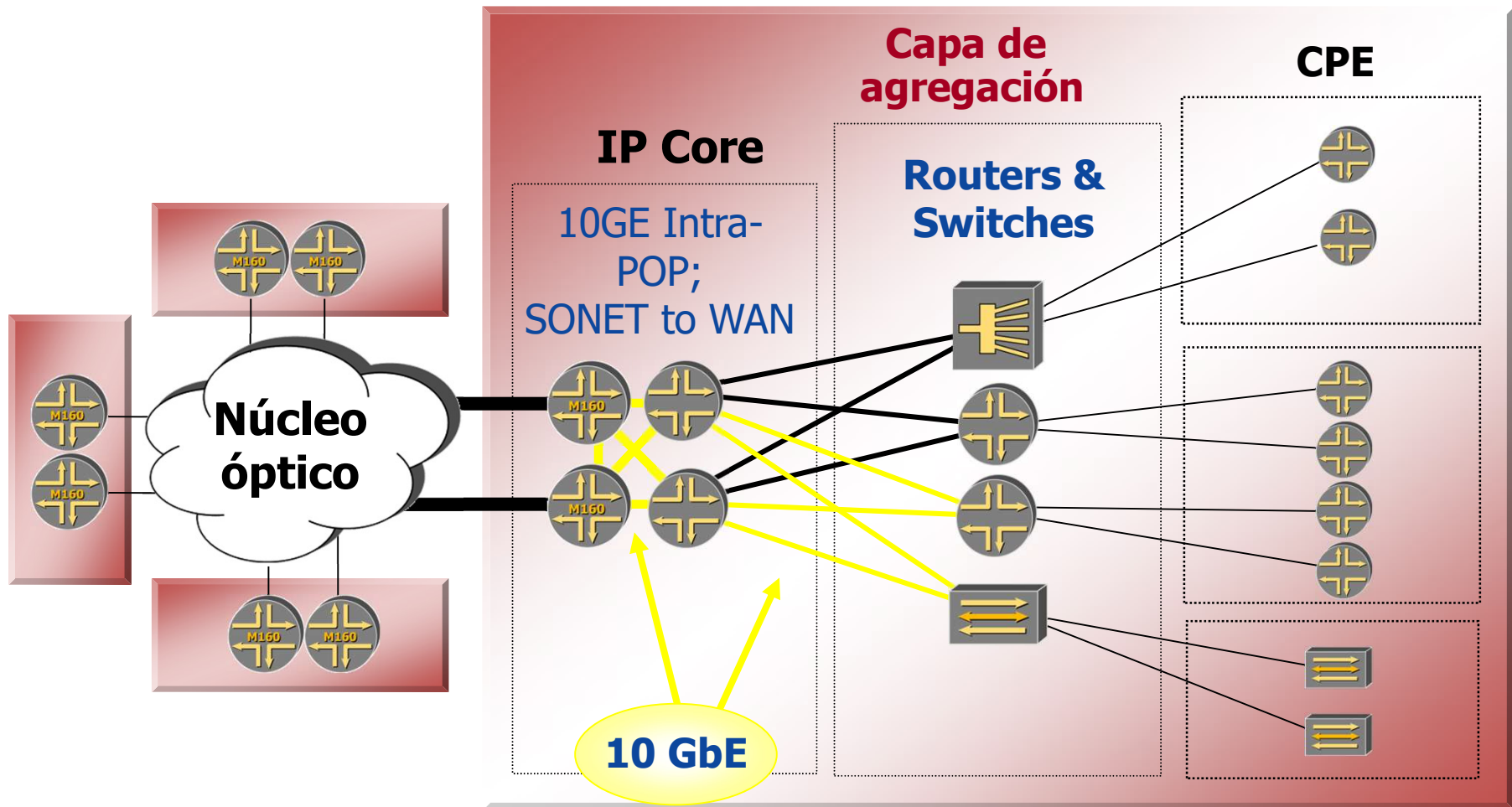
- Preservar el formato de trama 802.3
- Conservar el tamaño máximo y mínimo de trama.
- Operación solamente punto a punto full-dúplex
  - No hay colisiones
- Definición de dos capas PHY:
  - LAN PHY, operando a 10Gbps
  - WAN PHY, compatible con OC-192c/SDH VC-4-64c



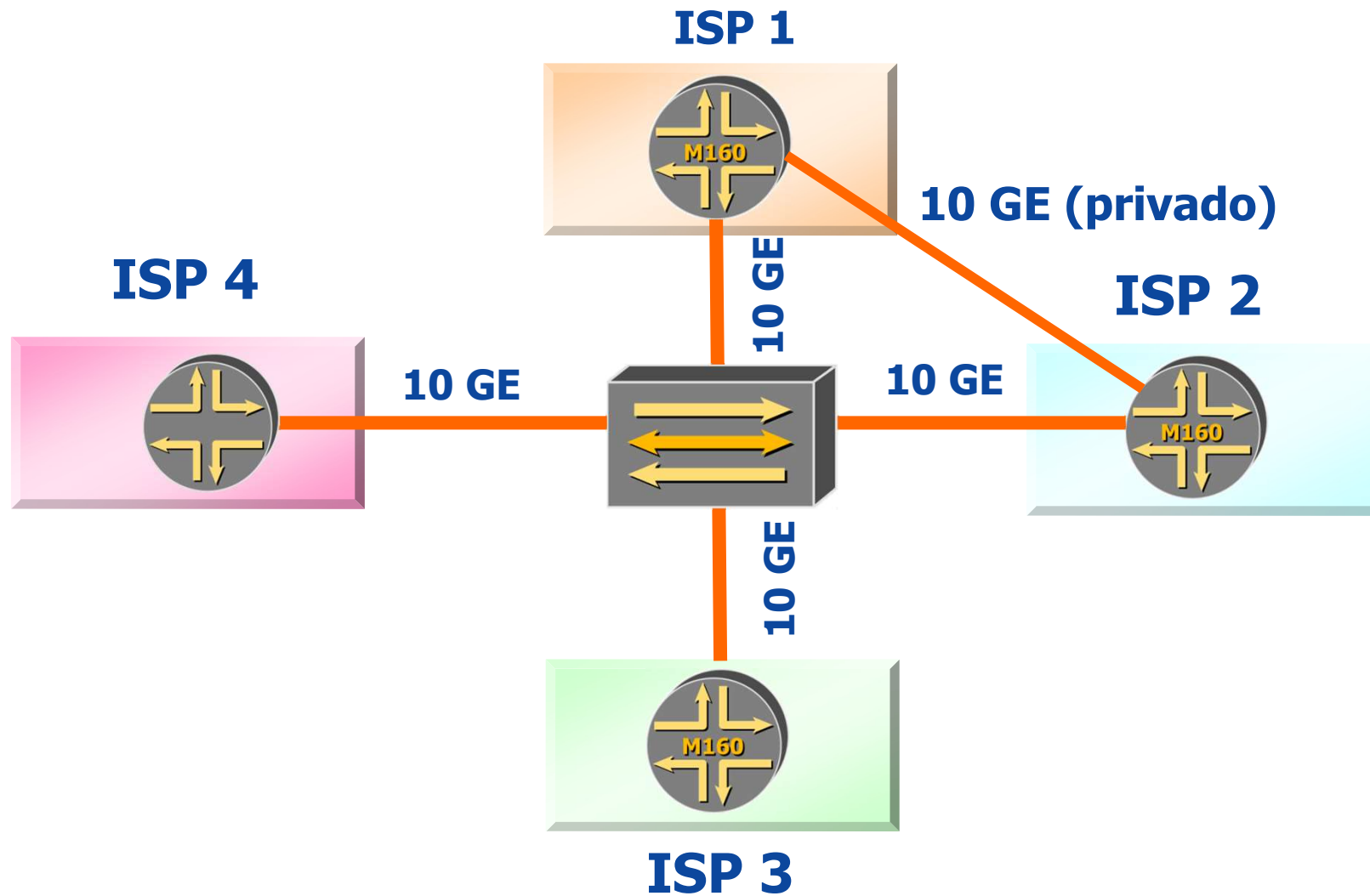
# Aplicaciones

- Redes LAN
  - Backbone de alta velocidad (switch a switch, switch a servidor).
  - Gigabit al escritorio.
- Redes SAN
  - Comparable con tecnologías de alto desempeño para almacenamiento.
- Redes MAN
  - Tecnología de Backbone para redes metropolitanas de fibra oscura (hasta 40Km).
- Redes WAN
  - Puntos de acceso de alta velocidad a redes ópticas (SONET/SDH) o redes DWDM.

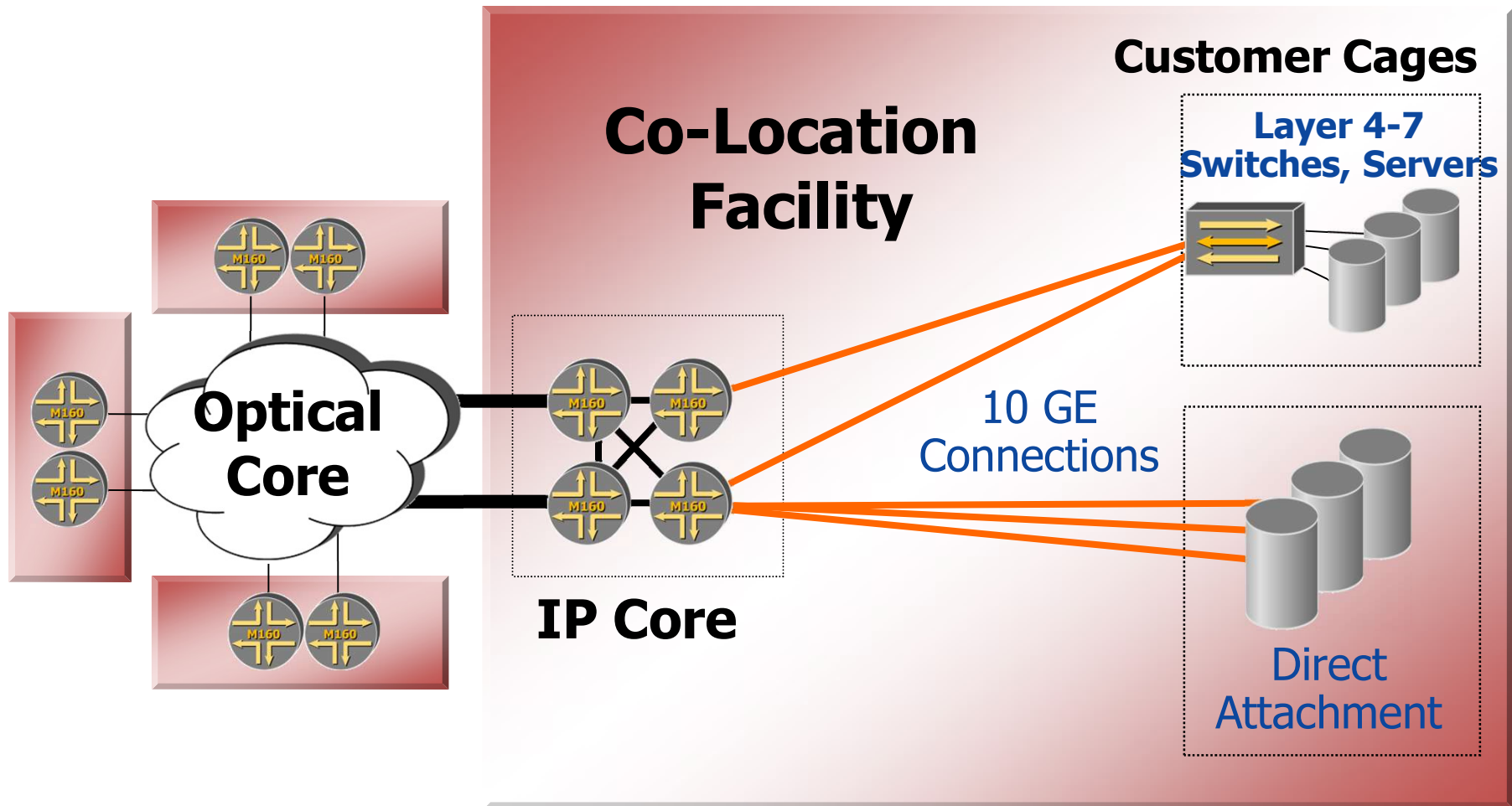
# Aplicaciones: Conectividad Intra-PoP



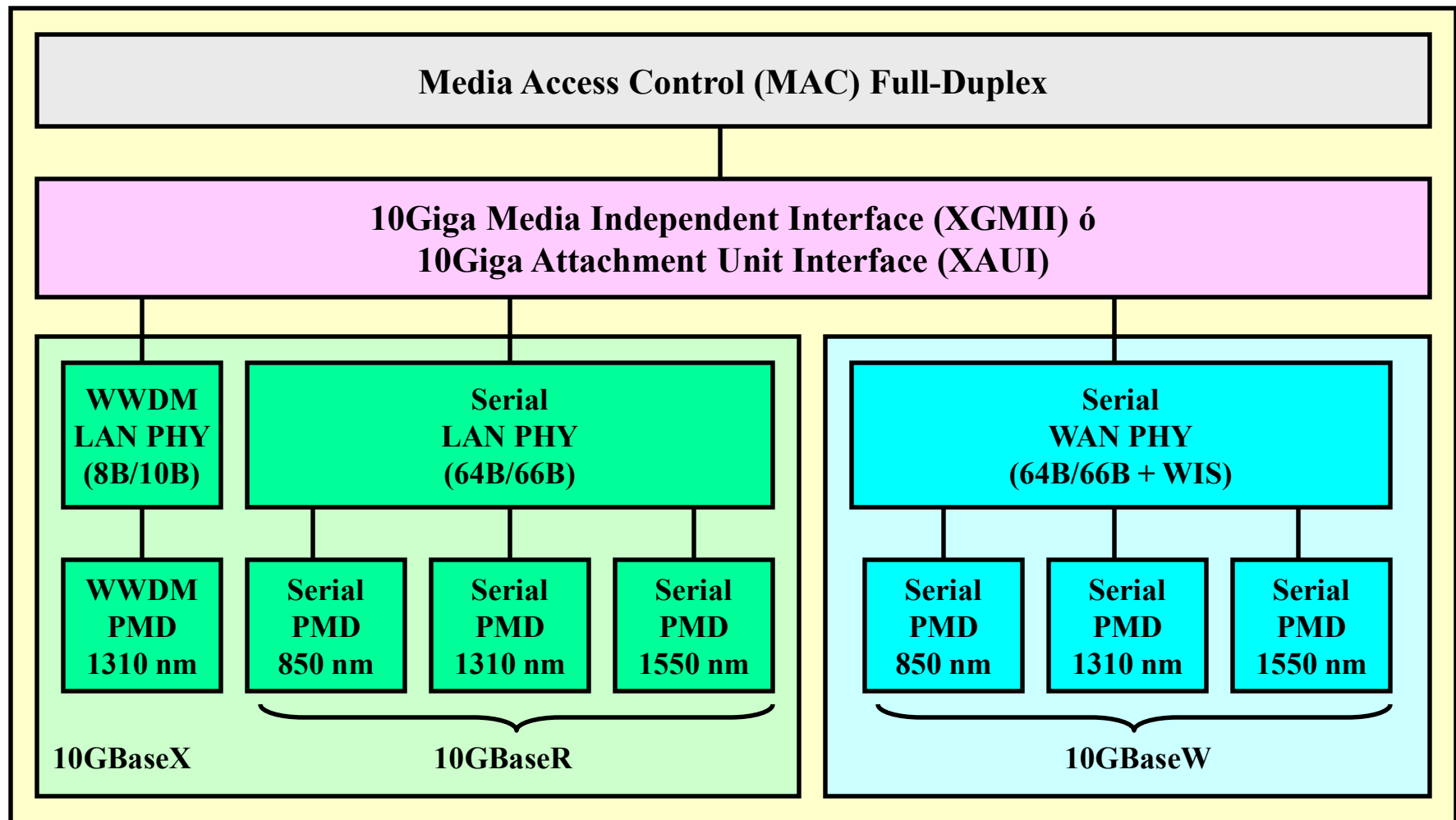
# Aplicaciones: Internet Peering



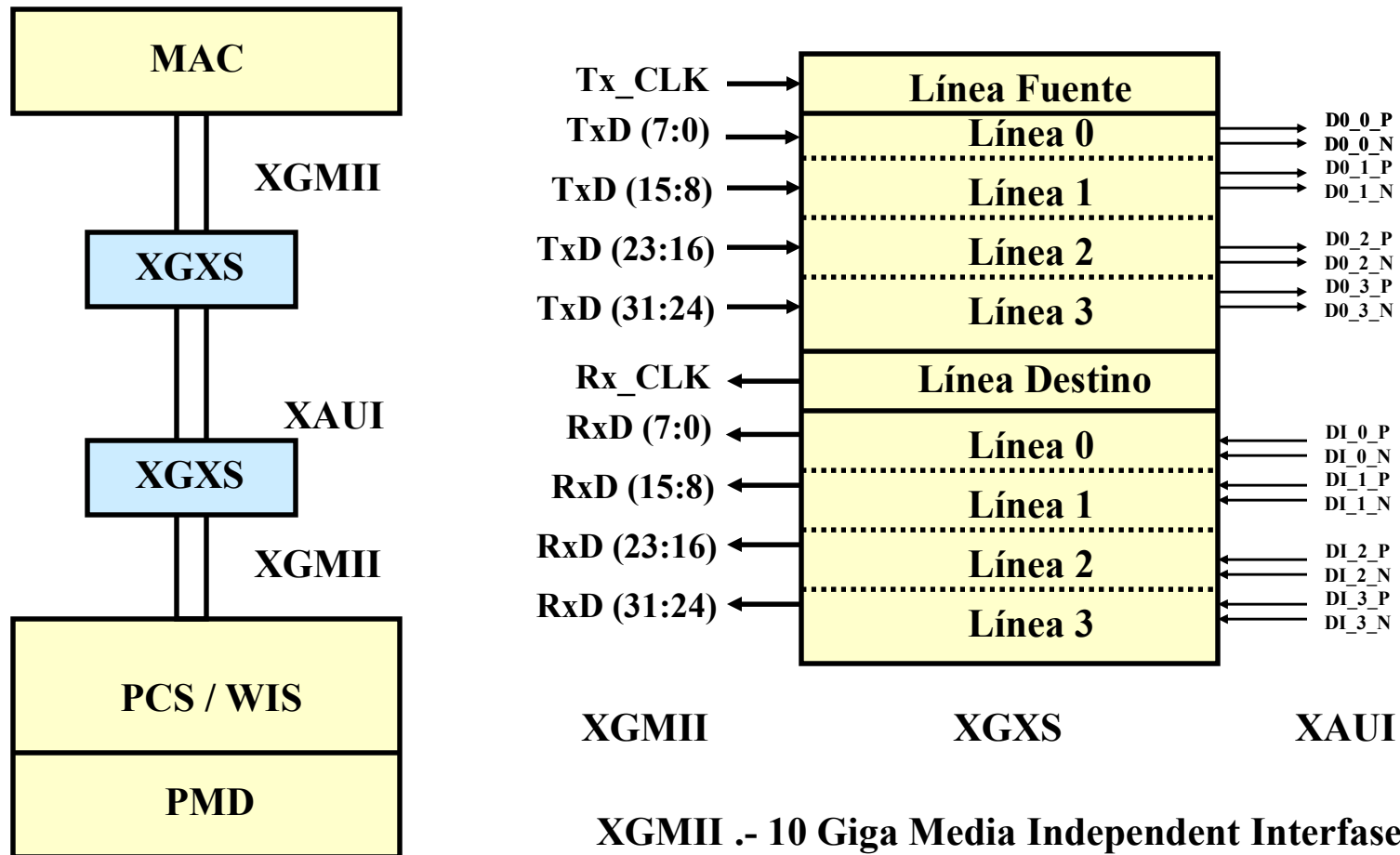
# Aplicaciones: Acceso superservidores



# Arquitectura de 802.3ae



# Interfase MAC - PHY




















XGMII .- 10 Giga Media Independent Interfase

XGXS .- 10 Giga Extender Sublayer

XAUI .- 10 Giga AUI

# PMDs

	8B/10B PCS	64B/66B PCS	WIS	850nm Serial	1310nm WWDM	1310nm Serial	1550nm Serial	F.O. / Distancia
10GBASE-SR								MMF / 26 a 82 m
10GBASE-SW								MMF / 26 a 82 m
10GBASE-LX4								MMF / 300 m, SMF / 10 km
10GBASE-LR								SMF / 10 a 25 km
10GBASE-LW								SMF / 10 a 25 km
10GBASE-ER								SMF / 40 km
10GBASE-EW								SMF / 40 km

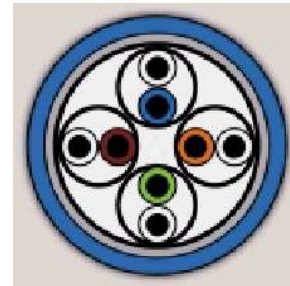
# Capa física en cobre

- 10GBase-CX4 (IEEE 802.3ak)
  - Cuatro hilos de cobre blindados InfiniBand
  - Distancia hasta 15m
  - Muy atractivo para conexión en rack y *Blade Servers*
- 10GBase-T (IEEE 802.3an)
  - 100m con cables categoría 7
  - 55 a 100m con cuatro pares categoría 6



# Algunas ventajas del cobre

- PoE no es posible en fibra óptica
- Mayor inmunidad al polvo ambiental
- Menor costo hasta 10 Gb/s en distancias relativamente cortas
- Menor costo de mantenimiento



---

# **40/100 Gigabit Ethernet**

## **IEEE 802.3ba**

# IEEE 802.3ba

- Trabajo en desarrollo. Estándar previsto para 2010.
- Derivado de un grupo de evaluación (High Speed Study Group) creado en 2006 para explorar las tendencias de ancho de banda para los próximos 4 a 7 años
- Dos áreas de evaluación:
  - Centro de datos
  - Proveedor de servicios

# Demandas Bw – Centro de datos

- Gran crecimiento en demandas de ancho de banda de servidores:
  - Virtualización
  - Multi-core
  - NAS, SAN basadas en Ethernet
  - “god boxes”
  - Crecimiento demandas de aplicaciones
  - Agregación interfaces a 1 y 10 Gb/s

**Evolución sigue la Ley de Moore**

# **Demandas Bw – Proveedor de servicios**

- Cloud computing, Web 2.0, etc.
- Crecimiento excesivo de aplicaciones de video
- Redes convergentes – Móvil, fijo, etc.
- Agregación de tráfico en puntos de intercambio

**Evolución excede la Ley de Moore**

# Recomendaciones HSSG

- Estándar con dos velocidades:
  - 40 Gb/s para centro de datos
  - 100 Gb/s para núcleo y redes de transporte
- Diferentes tipos de interfaces:

	40 GbE	100 GbE
1m backplane	Sí	
10m cobre	Sí	Sí
100m F.O. MM	Sí	Sí
10km F.O. SM		Sí
40km F.O. SM		Sí