
La subcapa de control de acceso al medio



Redes



- ⌘ Redes Punto a Punto
- ⌘ Redes que utilizan canales de difusión



Contenido

- ⌘ Las subcapas de la capa de enlace de datos
- ⌘ El problema de la asignación de canales
- ⌘ Protocolos de acceso múltiple
- ⌘ Protocolos de acceso múltiple con detección de portadora
- ⌘ Protocolos con detección de colisiones
- ⌘ Protocolos libres de colisiones



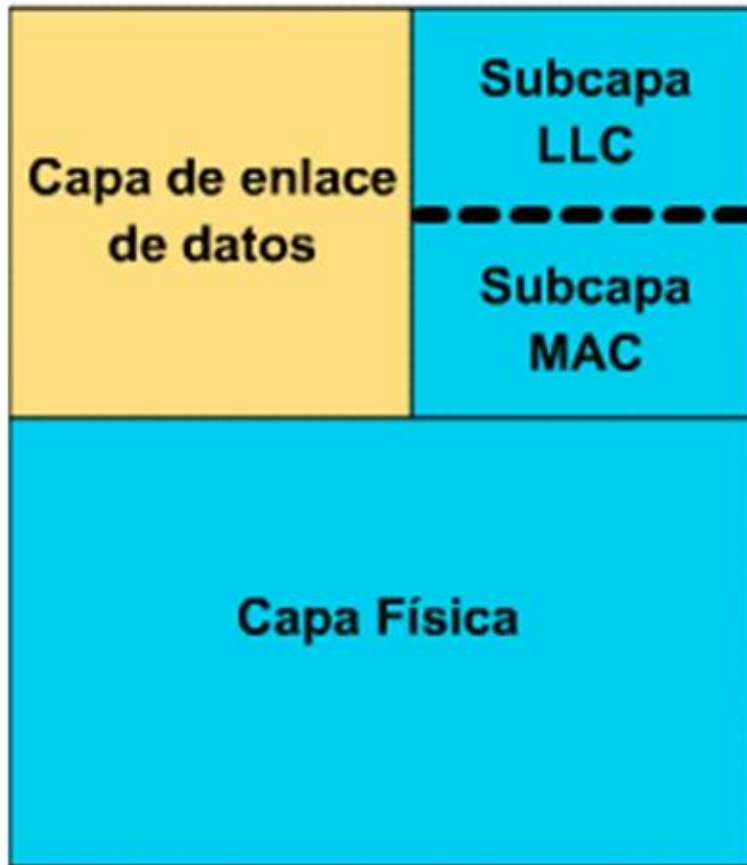
La capa de enlace de datos

- ⌘ La IEEE subdividió la capa de enlace de datos en dos subcapas:
 - ⌘ La subcapa LLC (Logical Link Control) o subcapa de control de enlace lógico
 - ⌘ La subcapa MAC (Media Access Control) o subcapa de control de acceso al medio

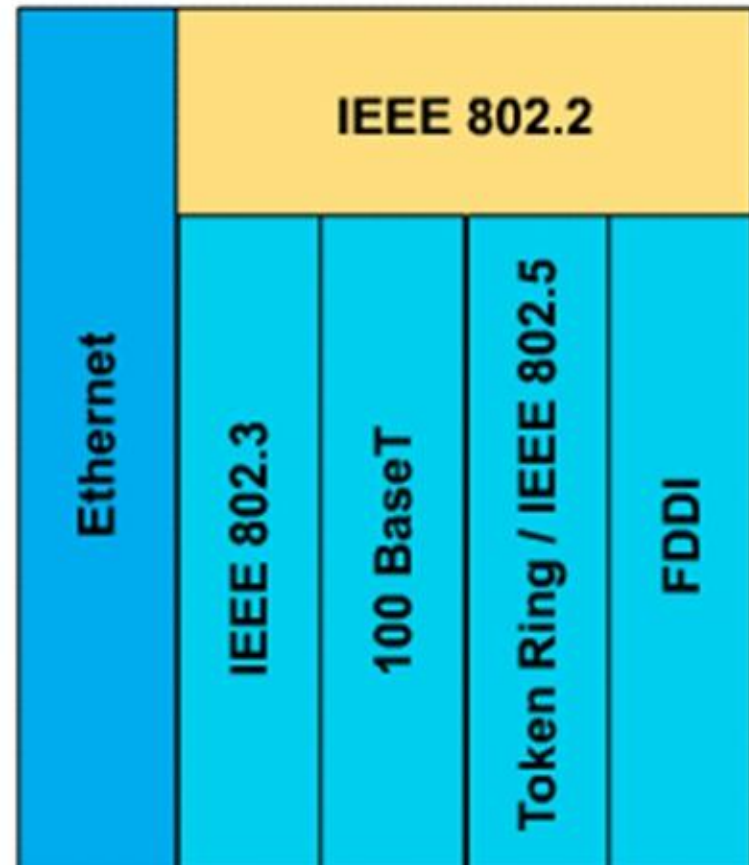
Comparando OSI e IEEE 802.3



Capas del modelo OSI



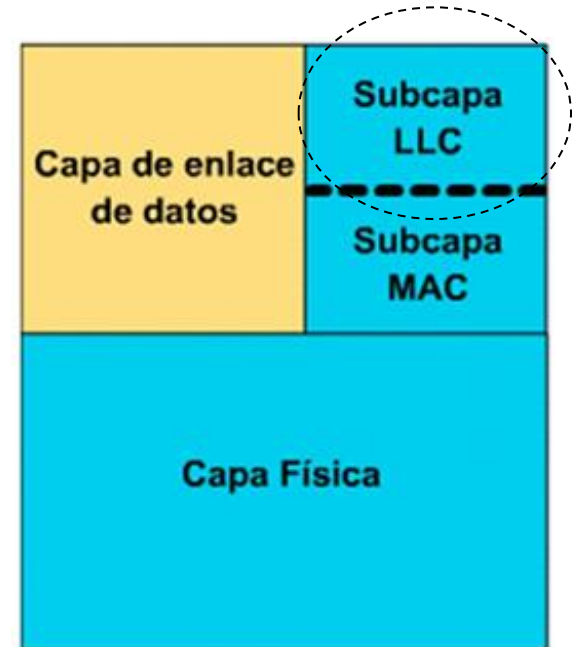
Especificación de LAN



La subcapa LLC



⌘ Fue creada con el propósito de proporcionar a las capas superiores (capa de red) una interfaz independiente de la tecnología empleada en la capa de enlace de datos y en la capa física



La subcapa MAC

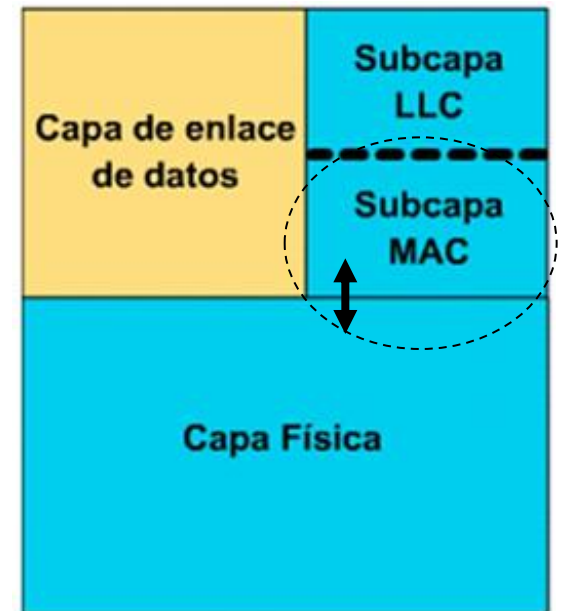


⌘ Los protocolos usados para determinar quien sigue en un canal multiacceso pertenecen a una SubCapa de la Capa de enlace llamada **MAC (Control de Acceso al Medio)**

⌘ Se encarga de la topología lógica de la red y del método de acceso a ésta.

⌘ Cada tecnología de red tiene una subcapa MAC diferente.

⌘ En la subcapa MAC residen las direcciones MAC



El problema de asignación de canales



⌘ Asignación estática de canales en LAN y MAN ejemplo: FDM / TDM
(Multiplexación por División de Frecuencia / Tiempo)

⌘ Tiene sentido, cuando existe un número pequeño y constante, N , de usuarios y cada uno tiene suficientes datos para mantener ocupado el canal

⌘ Existe desperdicio potencial del ancho de banda cuando algunos usuarios no transmiten o transmiten por ráfagas

⌘ Asignación dinámica de canales en LAN y MAN

⌘ Puede hacer mejor uso del ancho de banda

Asignación estática de canales



⌘ **Eficiencia**, como el tiempo promedio de retardo T con λ tramas/segundo y $1/\mu$ bits/trama

a) Un solo canal con velocidad de datos C bps

$$T = \frac{1}{\mu C - \lambda}$$

b) El canal con velocidad de datos C bps se divide en N subcanales

$$T_{\text{FDM}} = \frac{1}{\mu(C/N) - (\lambda/N)} = \frac{N}{\mu C - \lambda} = NT$$

Asignación estática de canales



⌘ Ejemplo: $\lambda=5000$ tramas/segundo, $1/\mu=12.144$ bits/trama, $C=100$ Mbps

a) Con Contención

$$T = \frac{1}{\mu C - \lambda} = 0,00030916 = 309 \mu\text{s/trama}$$

b) Sin Contención

$$T = \frac{1}{\mu C} = 0,00012144 = 121 \mu\text{s/trama}$$

Asignación dinámica de canales

- 5 supuestos-



1. **Modelo de estación:** N estaciones independientes, después de generar una trama cada estación se bloquea hasta que su trama es transmitida. **Probabilidad** de Tx de trama $\lambda \Delta t$. (λ = tasa de llegada de tramas nuevas)
2. **La suposición de canal único:** Solamente hay un canal para todas las estaciones y todas son equivalentes.
3. **La suposición de colisión:** Si dos estaciones transmiten simultáneamente hay colisión y las estaciones reconocen las colisiones. La trama colisionada debe retransmitirse después. Son los únicos errores.
4. {
 - (a) Tiempo continuo: La transmisión puede iniciar en cualquier instante del tiempo, no hay reloj maestro
 - (b) Tiempo Ranurado: El tiempo **se divide en ranuras** de tiempo o slots, la transmisión se inicia siempre al inicio del slot
5. {
 - (a) Detección de portadora: Las estaciones **no transmiten si el canal está ocupado** y pueden detectar esta situación
 - (b) Sin detección de portadora: Las estaciones no pueden detectar el canal antes de intentar usarlo. **Simplemente transmiten**. Solo después pueden determinar si la transmisión tuvo éxito

Protocolos de acceso múltiple



- ⌘ ALOHA
- ⌘ Protocolos de Acceso Múltiple con Detección de Portadora (Carrier Sense Multiple Access Protocols)
- ⌘ Protocolos sin Colisiones (Collision-Free Protocols)
- ⌘ Protocolos de Contienda Limitada (Limited- Contention Protocols)
- ⌘ Protocolos de Acceso Múltiple por División de Longitud de Onda
- ⌘ Protocolos de LAN's Inalambricas

Definiciones



Colisión:

Cuando dos o más tramas son enviadas simultáneamente por el canal único

Contienda = Contención = Competencia:

Cuando múltiples sistemas deben tratar de ganar el canal común para su uso irrestricto

Persistencia:

La característica de un protocolo de iniciar la transmisión al encontrar el canal libre después de esperar por él

Protocolos de acceso múltiple



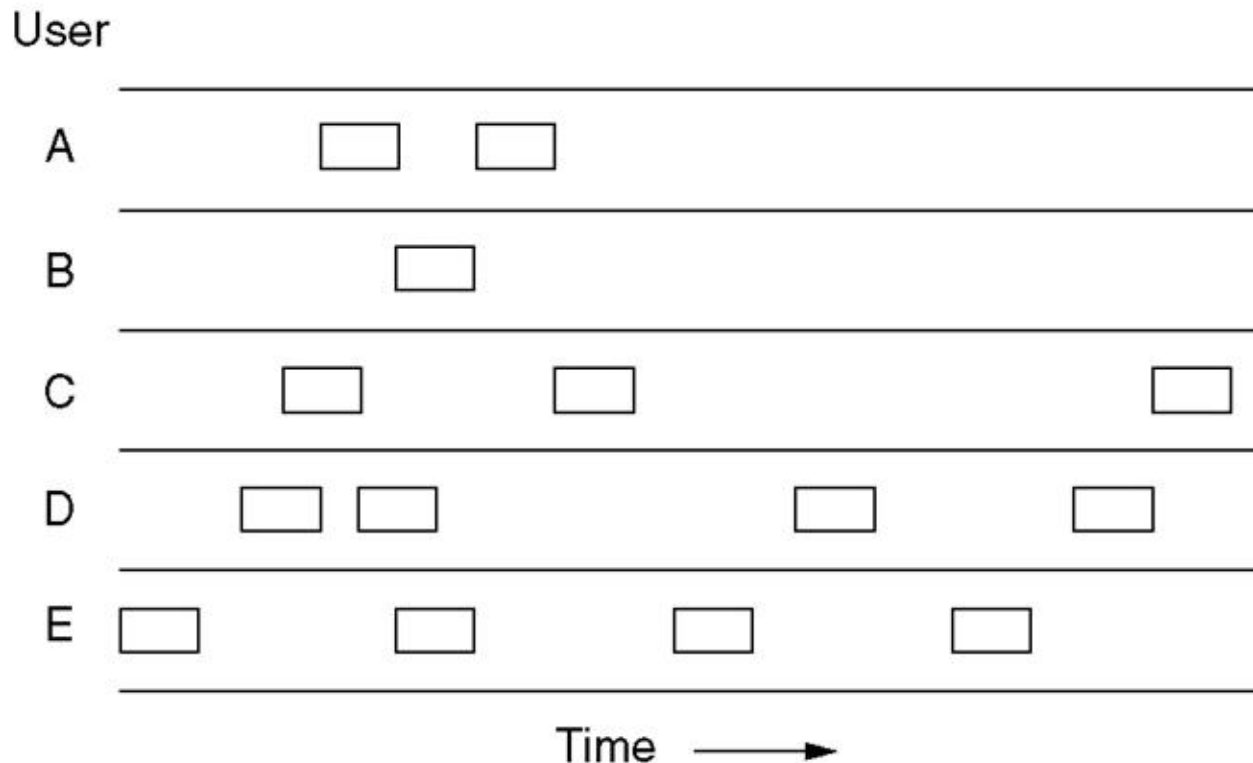
⌘ ALOHA

- ⌘ Protocolos de Acceso Múltiple con Detección de Portadora (Carrier Sense Multiple Access Protocols)
- ⌘ Protocolos sin Colisiones (Collision-Free Protocols)
- ⌘ Protocolos de Contienda Limitada (Limited- Contention Protocols)
- ⌘ Protocolos de Acceso Múltiple por División de Longitud de Onda
- ⌘ Protocolos de LAN's Inalambricas

ALOHA puro



- En ALOHA puro, las tramas son transmitidas en tiempos completamente arbitrarios, **no se verifica si el canal está ocupado antes de transmitir**.
- No requiere sincronización global del tiempo.



Eficiencia de ALOHA puro



⌘ Consideraciones:

- ⌘ Las tramas son de longitud fija
- ⌘ La estación tiene dos estados: escribiendo y esperando.
Se bloquea esperando la transmisión exitosa de una trama
- ⌘ Número infinito de usuarios generando nuevas tramas, según una distribución de Poisson con una media de N tramas por tiempo de trama.

$0 < N < 1$ tramas por tiempo de trama. $N > 1$ colisión.

También existe la retransmisión de tramas que sufrieron colisiones por lo que $G \geq N$ (Si $N \cong 0 \Rightarrow G \cong N$, poca colisión).

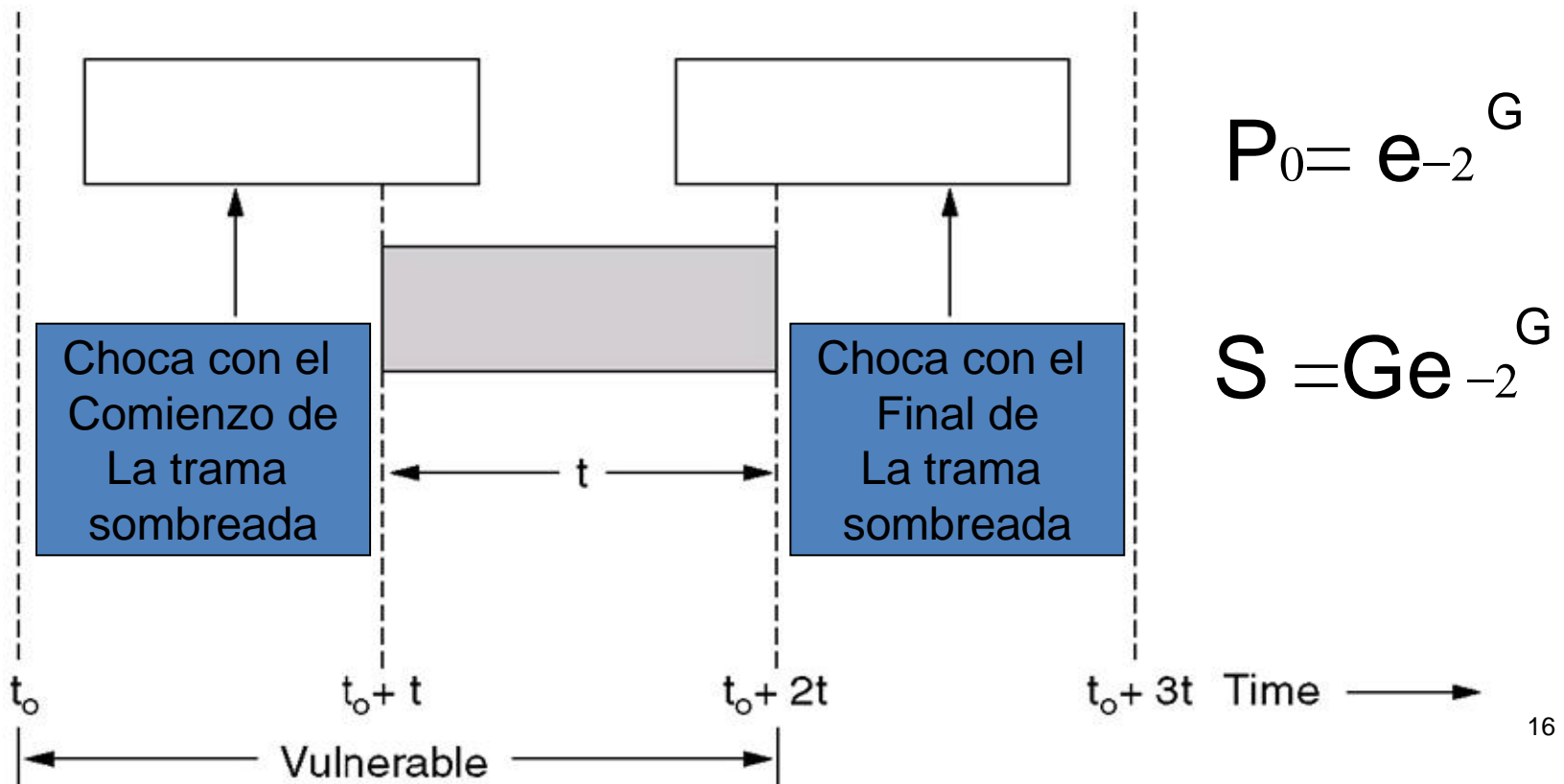
G es intentos por tiempo de trama.

- ⌘ El rendimiento por tiempo de trama $S = GP_0$, con P_0 , la probabilidad de que la transmisión de la trama tenga éxito



Eficiencia de ALOHA puro (2)

- ⌘ Período vulnerable para la trama sombreada = $2t$
- ⌘ Tramas generadas en 2 periodos = $2G$



Eficiencia de ALOHA ranurado

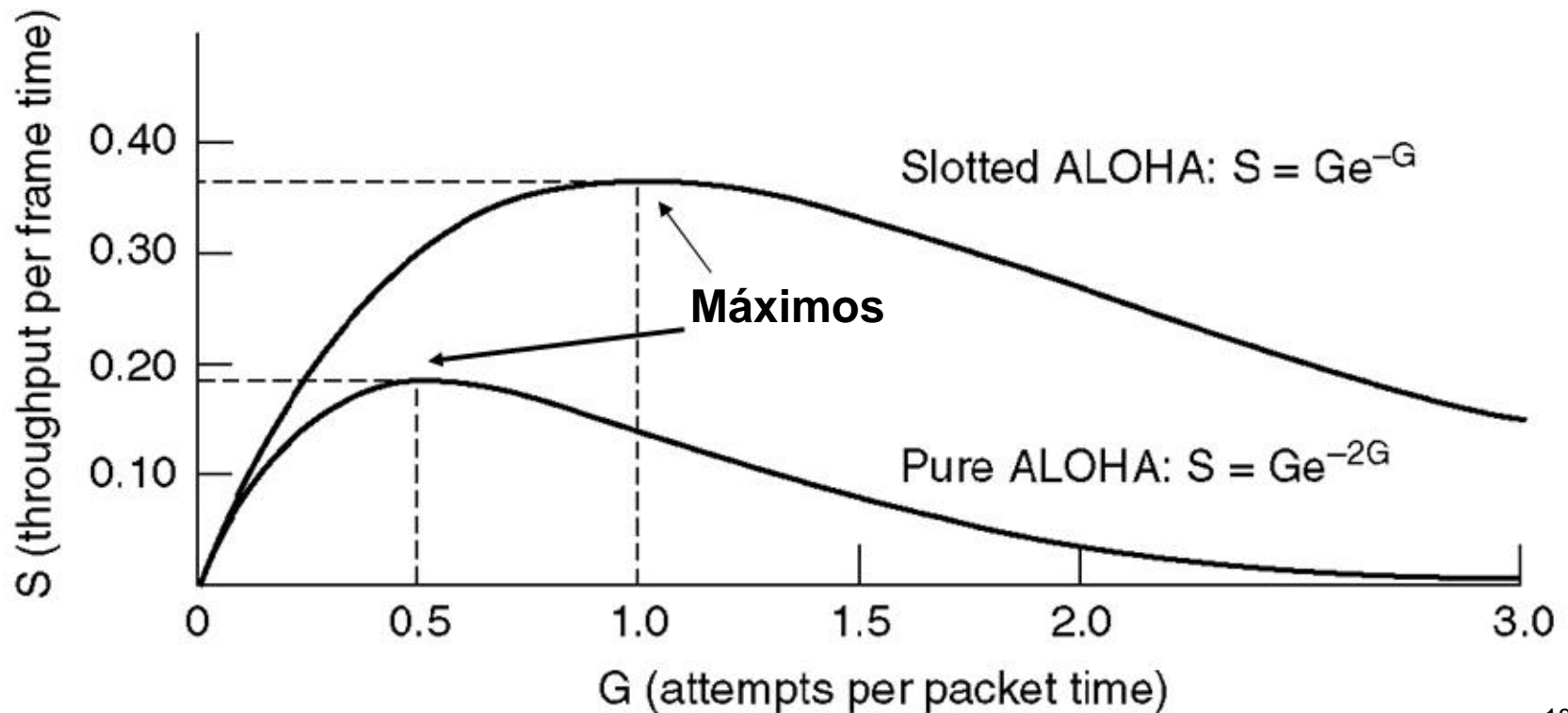


- ⌘ En ALOHA ranurado (slotted), el tiempo es discreto, cada ventana de tiempo corresponde al tiempo de una trama.
- ⌘ Las estaciones únicamente inician la transmisión al principio de la ventana de tiempo
- ⌘ El tiempo vulnerable se reduce a la mitad
- ⌘ La eficiencia es $S = G e^{-G}$

Eficiencia de ALOHA



⌘ El rendimiento versus el tráfico ofrecido en los sistemas ALOHA



Protocolos de acceso múltiple



⌘ ALOHA

⌘ **Protocolos de Acceso Múltiple con Detección de Portadora
(Carrier Sense Multiple Access Protocols)**

⌘ Protocolos sin Colisiones (Collision-Free Protocols)

⌘ Protocolos de Contienda Limitada (Limited- Contention Protocols)

⌘ Protocolos de Acceso Múltiple por División de Longitud de Onda

⌘ Protocolos de LAN's Inalambricas

Protocolos de acceso múltiple



Los protocolos en los que las estaciones ESCUCHAN LA PORTADORA (es decir, una transmisión) y actúan de acuerdo con ello se llaman PROTOSCOLOS DE DETECCION DE PORTADORA

CSMA = (Acceso Multiple con Deteccion de Portadora)

CSMA 1-persistente

CSMA no persistente

CSMA p-persistente

CSMA/CD

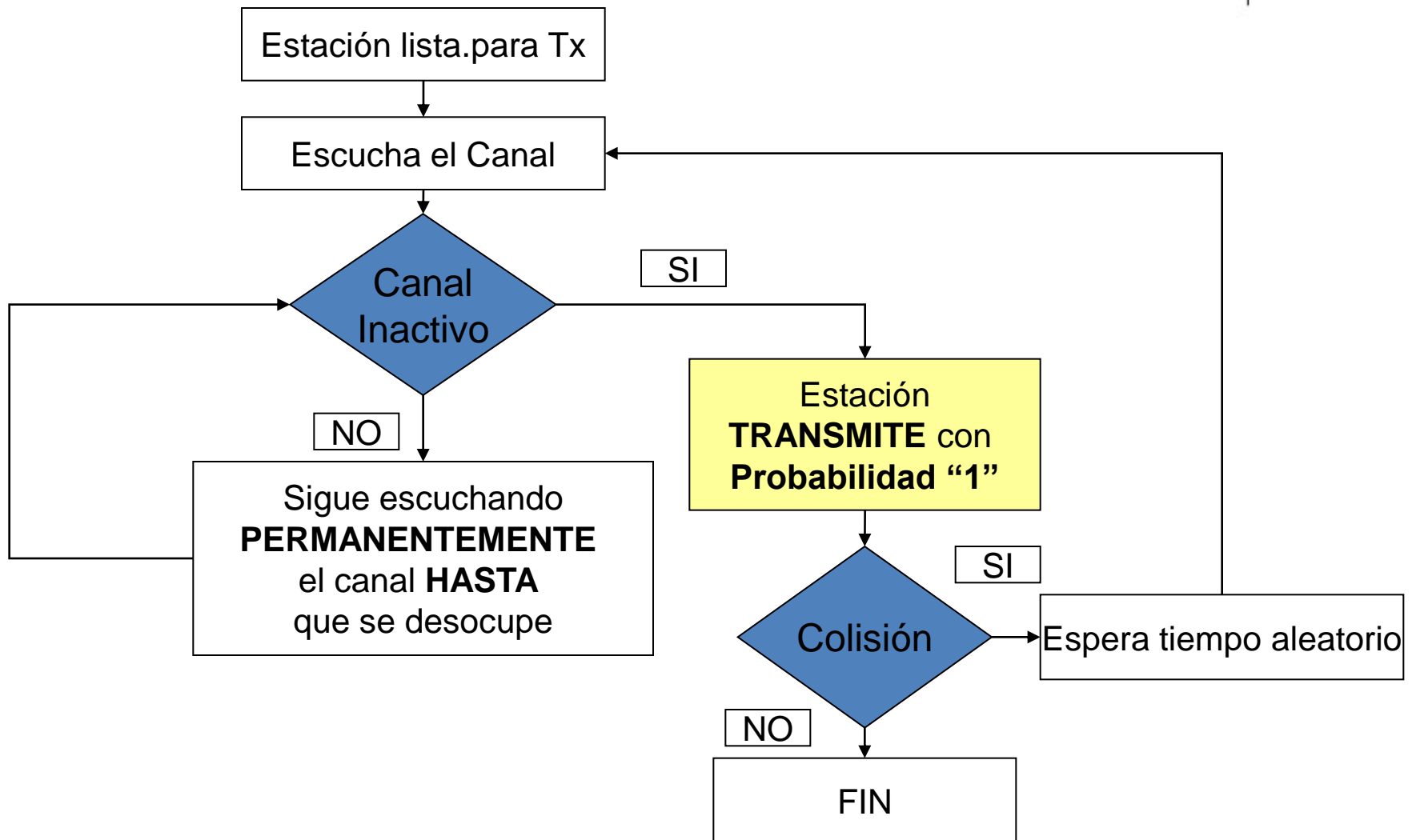
Protocolos de acceso múltiple con detección de portadora **CSMA**



CSMA 1-persistente:

El protocolo inicia la transmisión con una probabilidad 1 cuando encuentra el canal libre después de esperar

CSMA 1-persistente



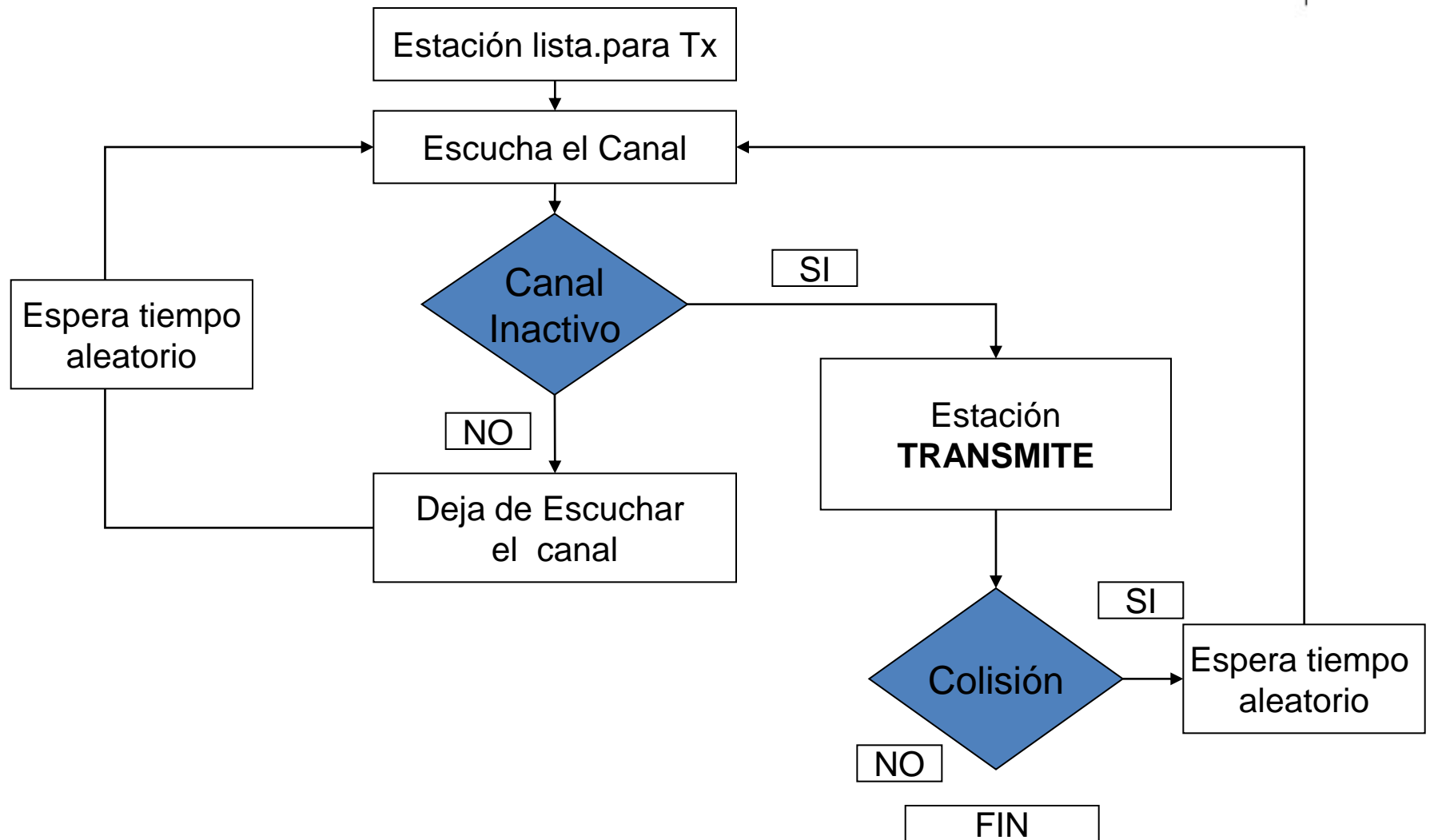
Protocolos de acceso múltiple con detección de portadora **CSMA**



CSMA no persistente:

Antes de enviar, una estación escucha el canal. Si nadie más está transmitiendo, la estación comienza a hacerlo. Sin embargo, si el canal ya está en uso, la estación no lo escucha de manera continua a fin de tomarlo de inmediato al detectar el final de la transmisión previa. En cambio, espera un periodo aleatorio y repite el algoritmo.

CSMA no persistente



Protocolos de acceso múltiple con detección de portadora **CSMA**

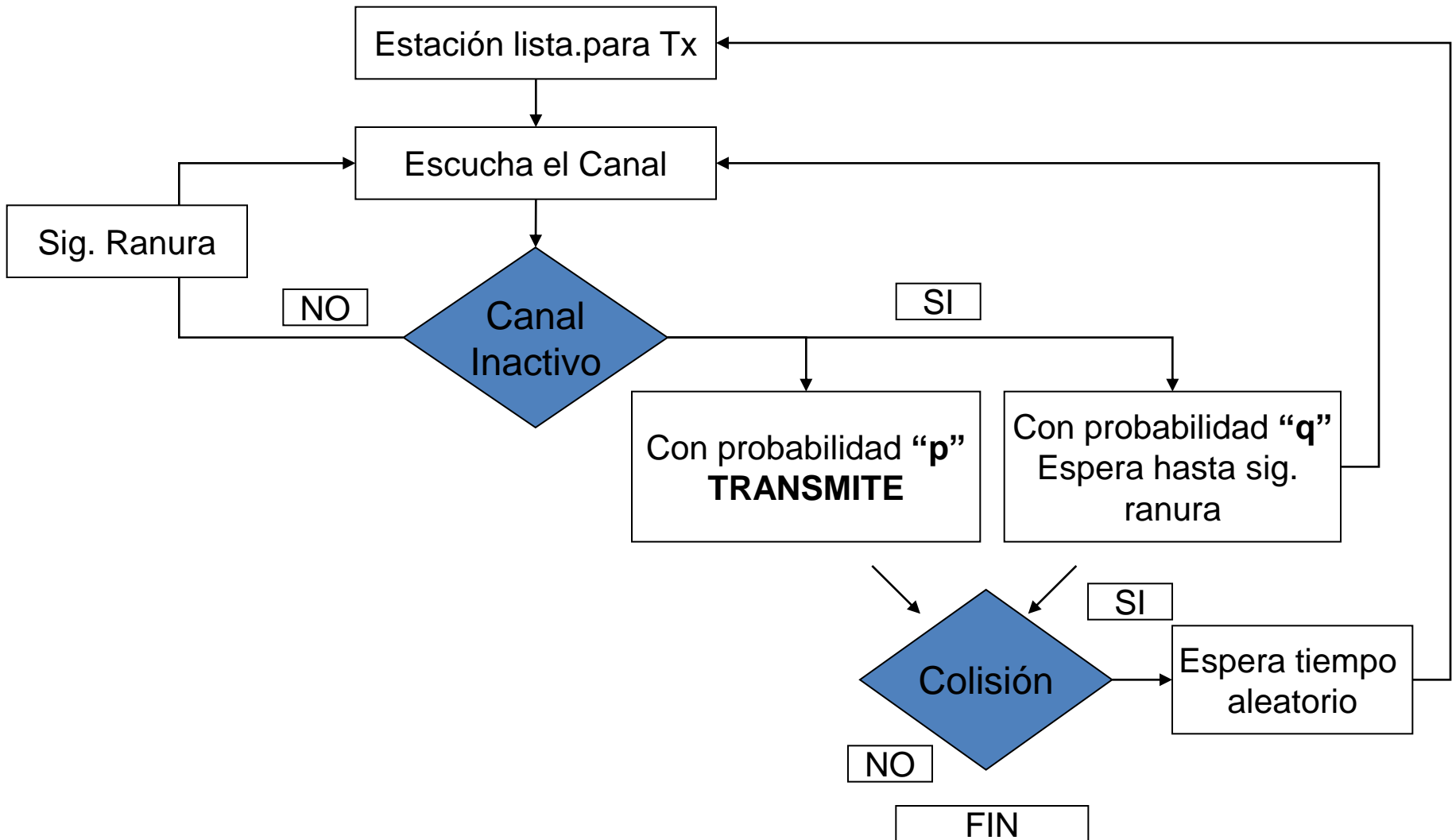


CSMA p-persistente:

En canales de tiempo discreto, el protocolo inicia la transmisión con una probabilidad “p” cuando encuentra el canal libre/inactivo después de esperar o la difiere con probabilidad $q = (1-p)$

CSMA p-persistente

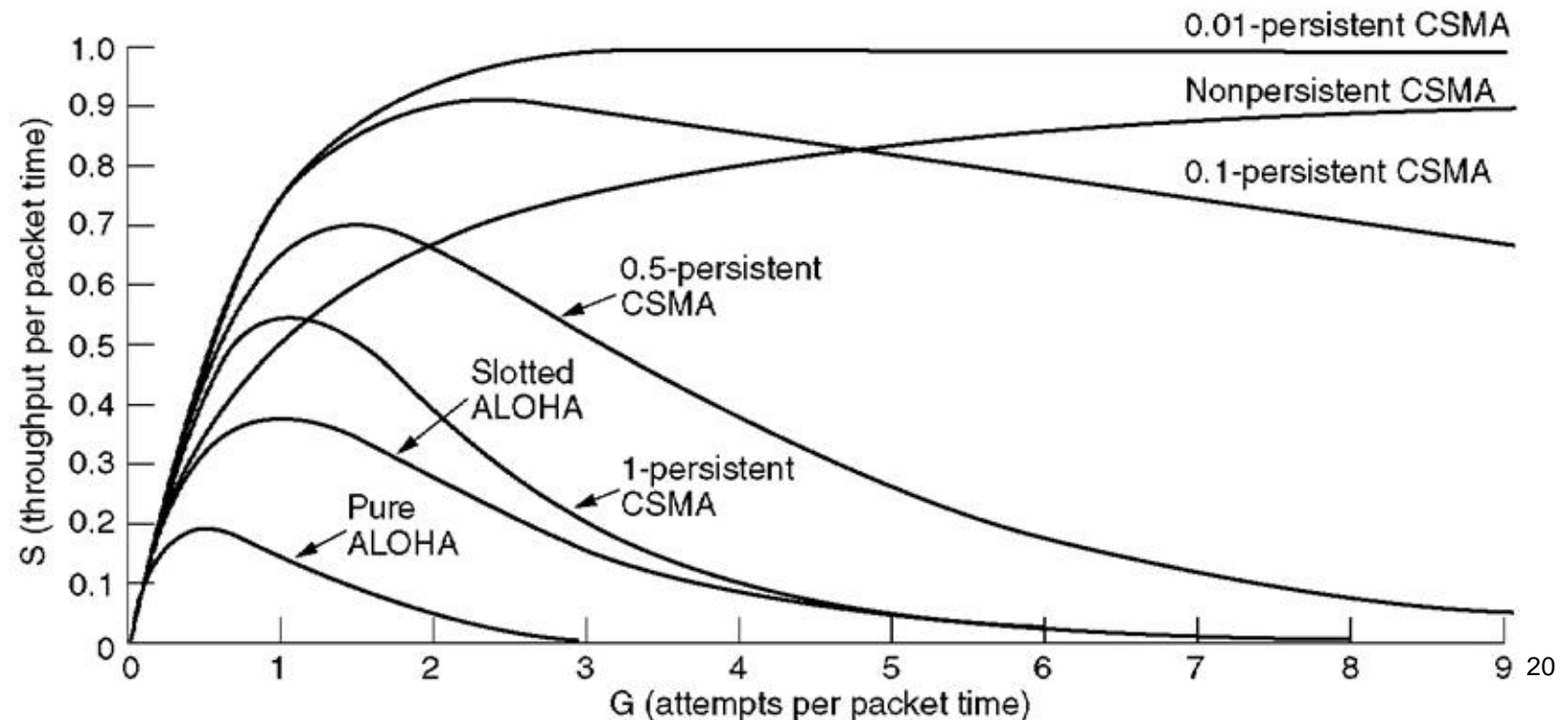
Canales RANURADOS



CSMA persistente y no persistente



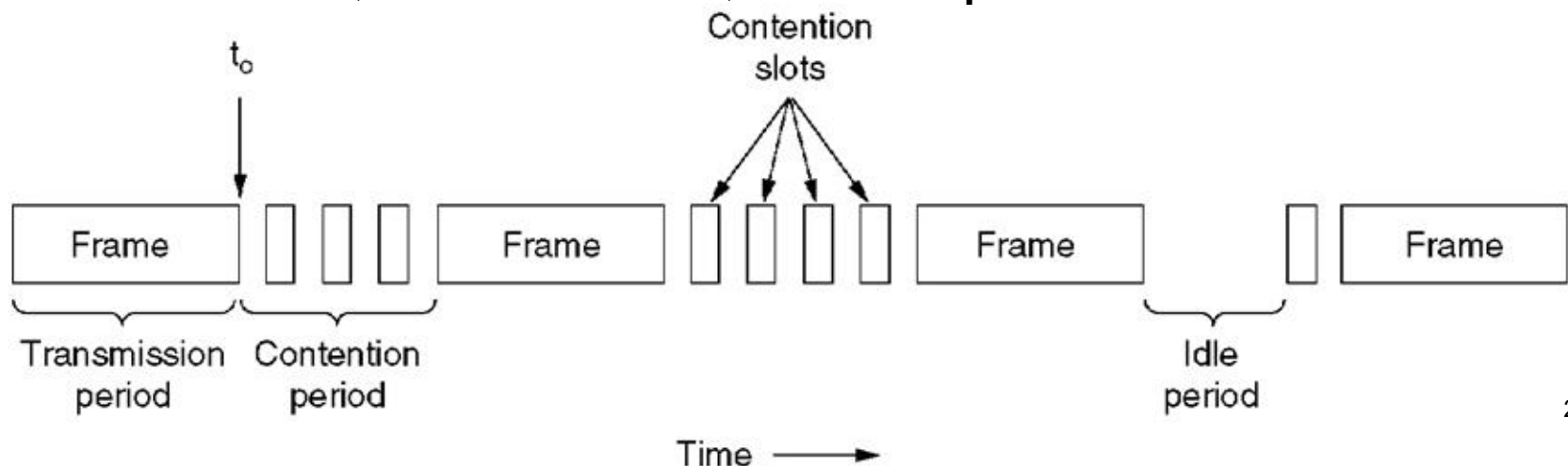
⌘ Comparación de la utilización del canal en función de la carga para varios protocolos de acceso aleatorio



CSMA/CD: CSMA con detección de colisiones



- ⌘ Al detectar la colisión, todas las estaciones que están transmitiendo se callan, esperan un tiempo aleatorio y luego lo intentan de nuevo
- ⌘ Usado en Ethernet
- ⌘ CSMA/CD puede estar en uno de tres estados: contienda, transmisión, o en reposo



CSMA/CD: CSMA con detección de colisiones (2)



- ⌘ El tiempo que se tarda en detectar la colisión es como máximo el doble del tiempo de propagación de un extremo a otro del cable
- ⌘ Se modela el intervalo de contienda como un ALOHA ranurado (slotted) con un ancho 2τ
- ⌘ La colisión debe poder detectarse; por ello la codificación de la señal debe permitir la detección (no puede haber bits de 0 voltios)
- ⌘ El sistema es inherentemente half-duplex

CSMA/CD puede estar en tres estados:
contención, transmisión, u ociosa.

Protocolos de acceso múltiple



⌘ ALOHA

⌘ Protocolos de Acceso Múltiple con Detección de Portadora
(Carrier Sense Multiple Access Protocols)

⌘ Protocolos sin Colisiones (Collision-Free Protocols)

⌘ Protocolos de Contienda Limitada (Limited- Contention Protocols)

⌘ Protocolos de Acceso Múltiple por División de Longitud de Onda

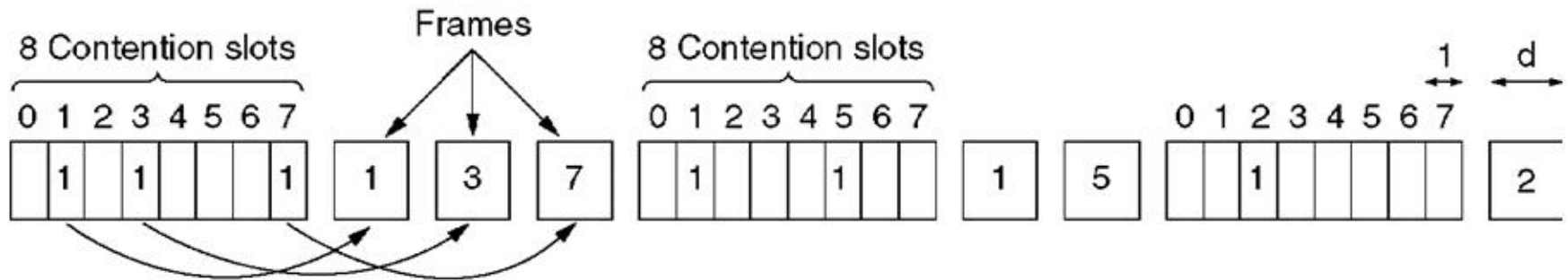
⌘ Protocolos de LAN's Inalambricas

Protocolos libres de colisiones



Mapa de bits

⌘ El protocolo básico de **mapa de bits** (bit-map) es un protocolo de reservación



d = bits (cantidad de datos) N = Estaciones

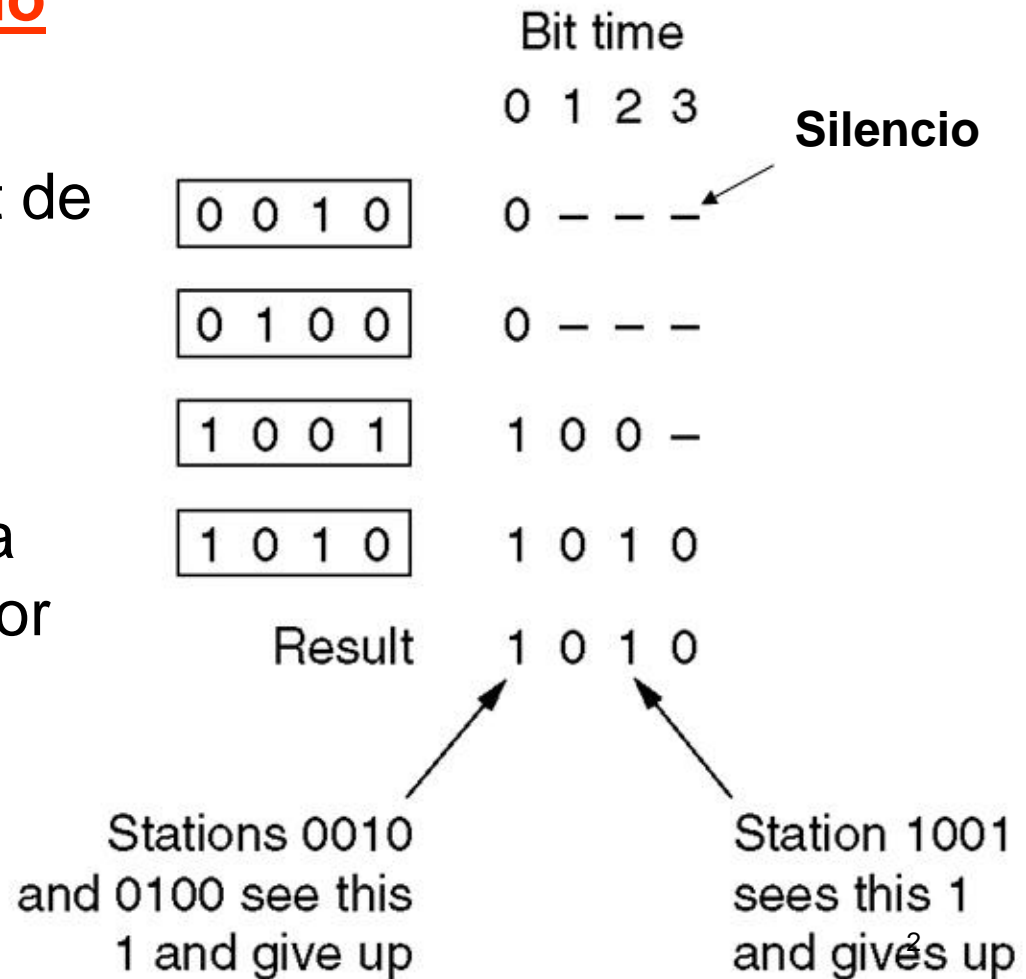
- ⌘ Eficiencia a baja carga = $d/(N+d)$
- ⌘ Eficiencia a carga alta por canal = $d/(d+1)$
- ⌘ No escala bien para miles de estaciones

Protocolos libres de colisiones (2)



Conteo descendente binario

- ⌘ Cada estación envía su dirección binaria con el bit de mayor peso primero
- ⌘ Las direcciones son combinadas en OR
- ⌘ La estación que encuentra que su 0 fue sobrescrito por un 1 se rinde
- ⌘ Eficiencia = $d/(d+\log_2 N)$



Modificación Mok y Ward (1979)



⌘ Se baja la prioridad de cliente cuando logra uso del canal. Se agregan bits para manejar la prioridad. pppppnnnn (p=prioridad, n=número dispositivo).

⌘ Eficiencia de uso de canal $d/(d+2\log_2 N)$



Resumen (1)

Método	Descripción
FDM	Una banda de frecuencias dedicada a cada estación
TDM	Una ventana de tiempo dedicada a cada estación
ALOHA puro	Transmisión sin sincronía en cualquier instante
ALOHA ranurado	Transmisión aleatoria en ventanas de tiempo bien definidas. Duplica el rendimiento de ALOHA puro
CSMA 1-persistente	Acceso múltiple con detección de portadora estándar con probabilidad igual a 1. El rendimiento decae exponencialmente con el aumento de carga



Resumen (2)

Método	Descripción
CSMA no persistente	Retardo aleatorio después de detectar el canal ocupado. El rendimiento mejora con la carga; pero el retardo aumenta mucho
CSMA p-persistente	CSMA pero con probabilidad p de persistir. Con $p < 1$ cambia rendimiento por retardo
CSMA/CD	CSMA; pero aborta al detectar la colisión
Mapa de bits	Usa un mapa de bits para turnarse en forma de margarita
Cuenta binaria regresiva	La estación con el número binario mayor es la que tiene el turno siguiente
Ethernet	CSMA/CD con espera exponencial binaria

Protocolos de acceso múltiple



⌘ ALOHA

⌘ Protocolos de Acceso Múltiple con Detección de Portadora
(Carrier Sense Multiple Access Protocols)

⌘ Protocolos sin Colisiones (Collision-Free Protocols)

⌘ Protocolos de Contienda Limitada (Limited- Contention Protocols)

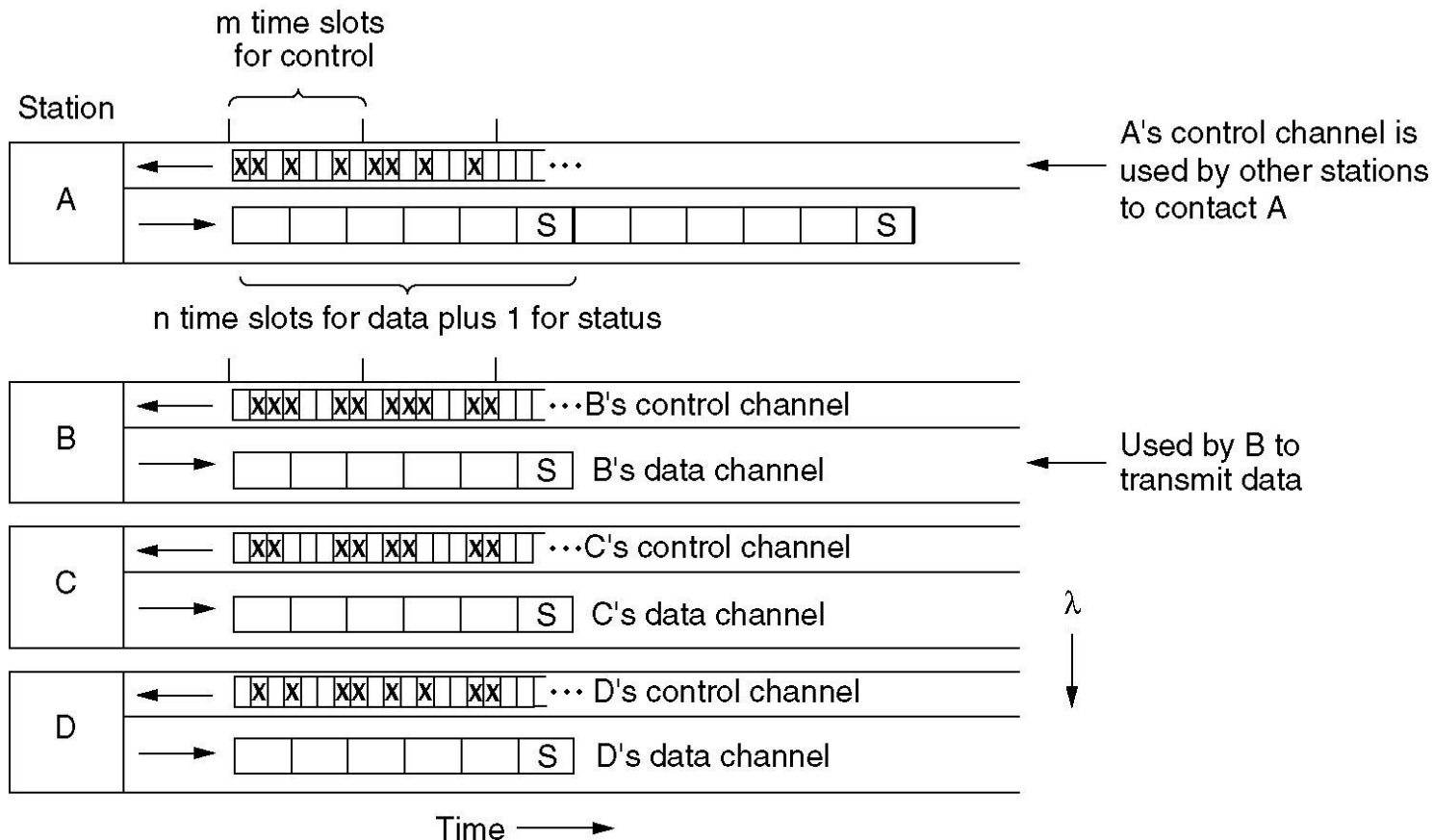
⌘ **Protocolos de Acceso Múltiple por División de Longitud de Onda**

⌘ Protocolos de LAN's Inalambricas

Protocolos de acceso múltiple por división de longitud de onda



Acceso múltiple por división de longitud de onda.



Protocolos de acceso múltiple



⌘ ALOHA

⌘ Protocolos de Acceso Múltiple con Detección de Portadora
(Carrier Sense Multiple Access Protocols)

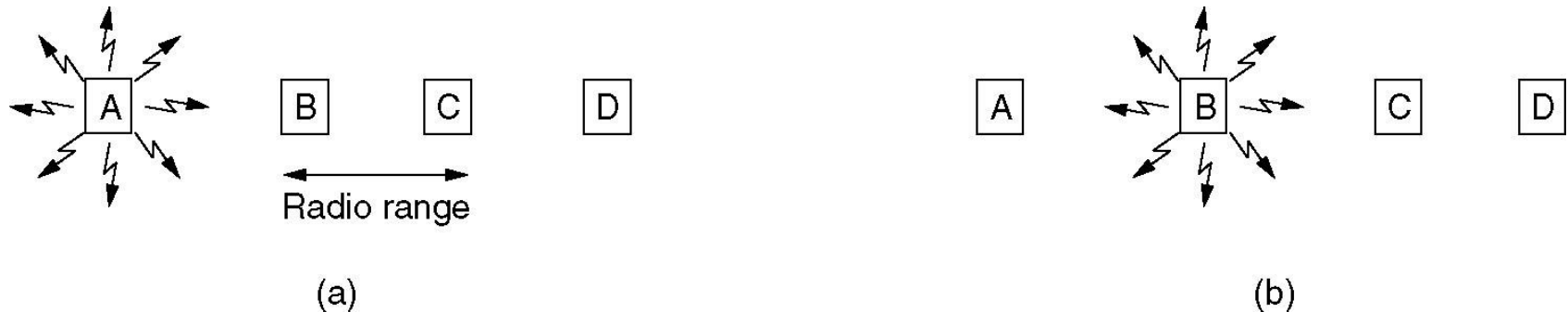
⌘ Protocolos sin Colisiones (Collision-Free Protocols)

⌘ Protocolos de Contienda Limitada (Limited- Contention Protocols)

⌘ Protocolos de Acceso Múltiple por División de Longitud de Onda

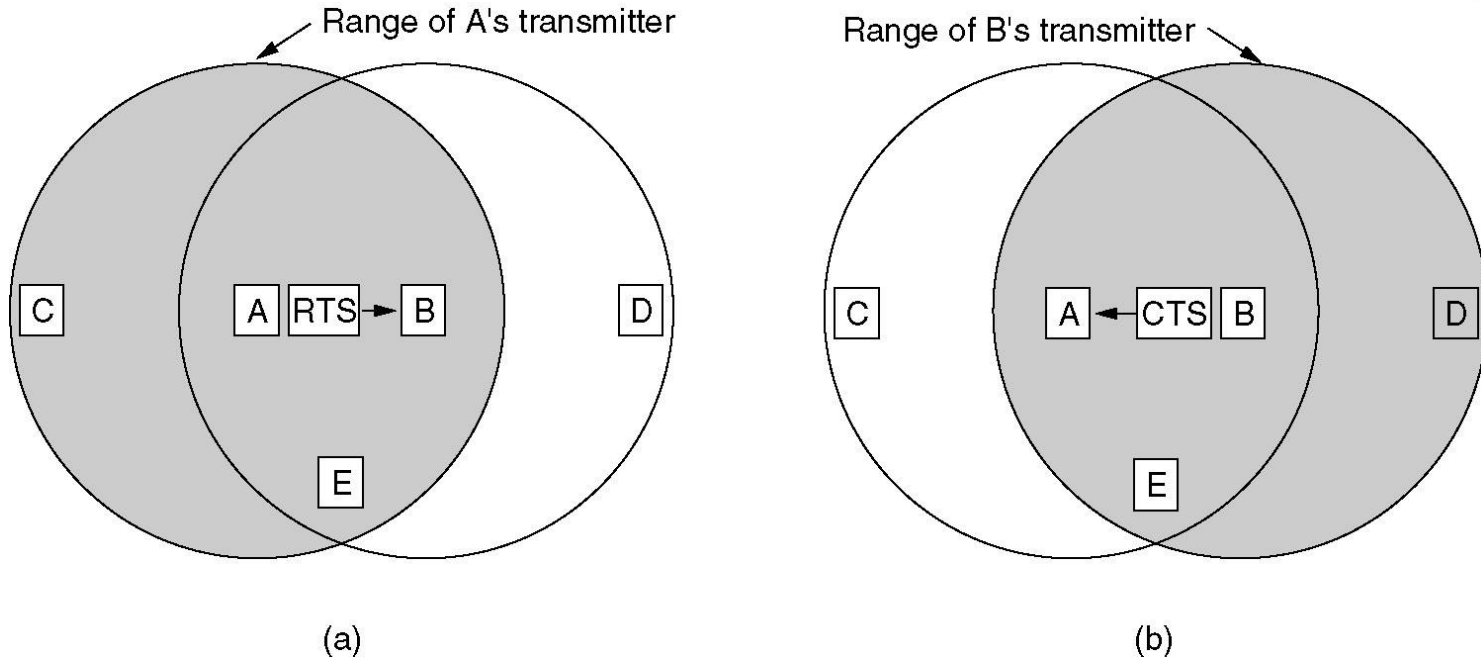
⌘ Protocolos de LAN's Inalambricas

Protocolos para LANs inalámbricas



LAN inalámbrica. (a) A transmitiendo. (b) B transmitiendo.

Protocolos de LANs inalámbricas (2)



Protocolo MACA. (a) Envío RTS a B.
(b) B responde con un CTS a A.

Ethernet



- Cableado Ethernet
- Codificación Manchester
- Protocolo de la subcapa MAC Ethernet
- Algoritmo de retroceso exponencial binario
- Rendimiento de ethernet
- Conmutación ethernet
- Fast Ethernet
- Gigabit Ethernet
- IEEE 802.2: Control Lógico de enlace
- Retrospectiva de Ethernet

Cableado ethernet



Los tipos más comunes de cableados

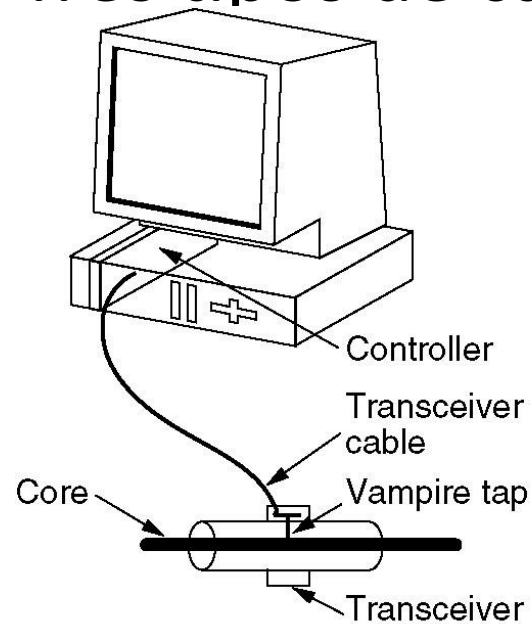
Name	Cable	Max. seg.	Nodes/seg.	Advantages
10Base5	Thick coax	500 m	100	Original cable; now obsolete
10Base2	Thin coax	185 m	30	No hub needed
10Base-T	Twisted pair	100 m	1024	Cheapest system
10Base-F	Fiber optics	2000 m	1024	Best between buildings

Cableado Ethernet (2)

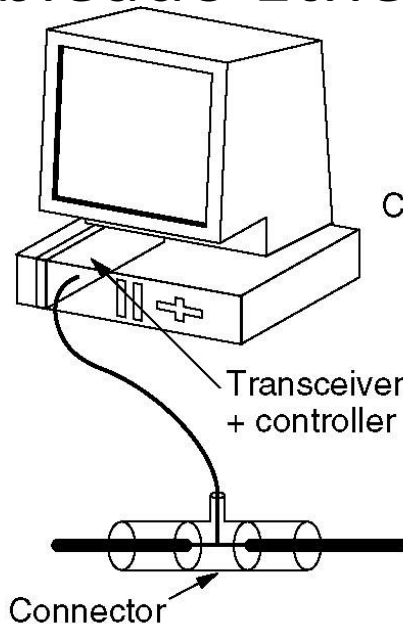


Tres tipos de cableado Ethernet.

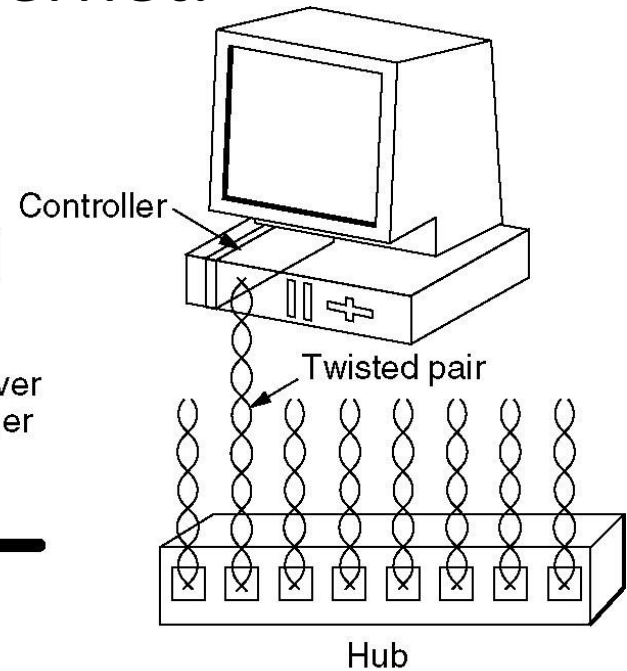
(a)



(a)



(b)

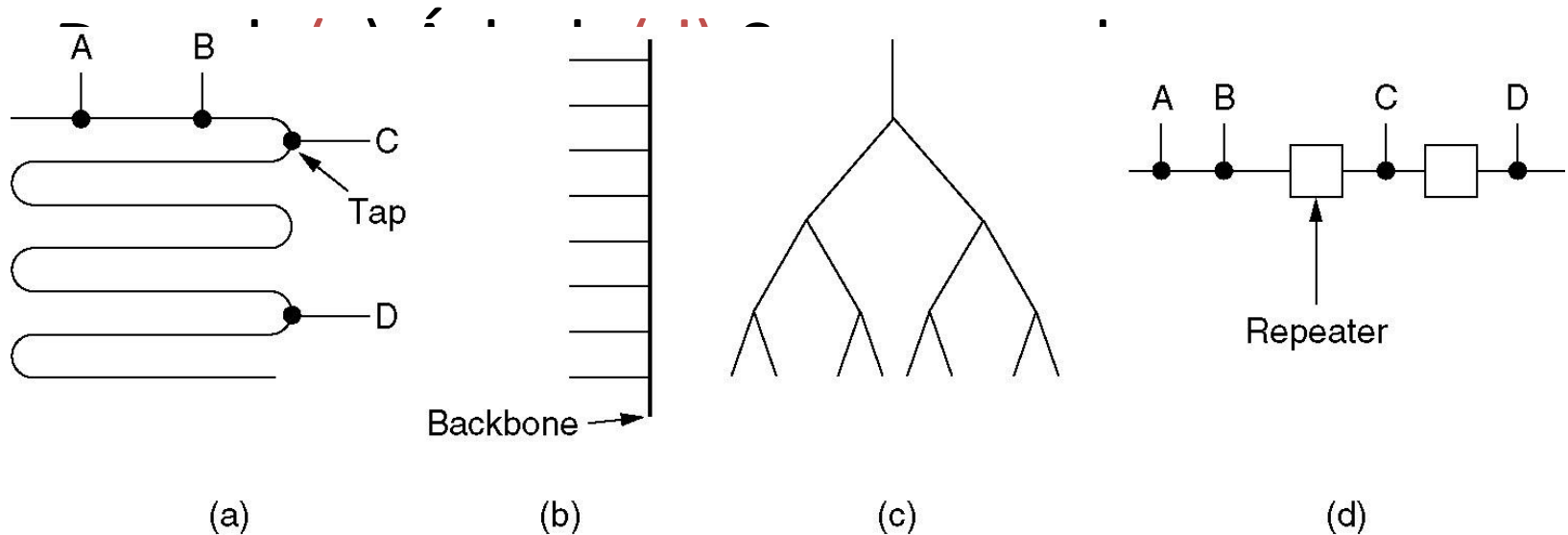


(c)

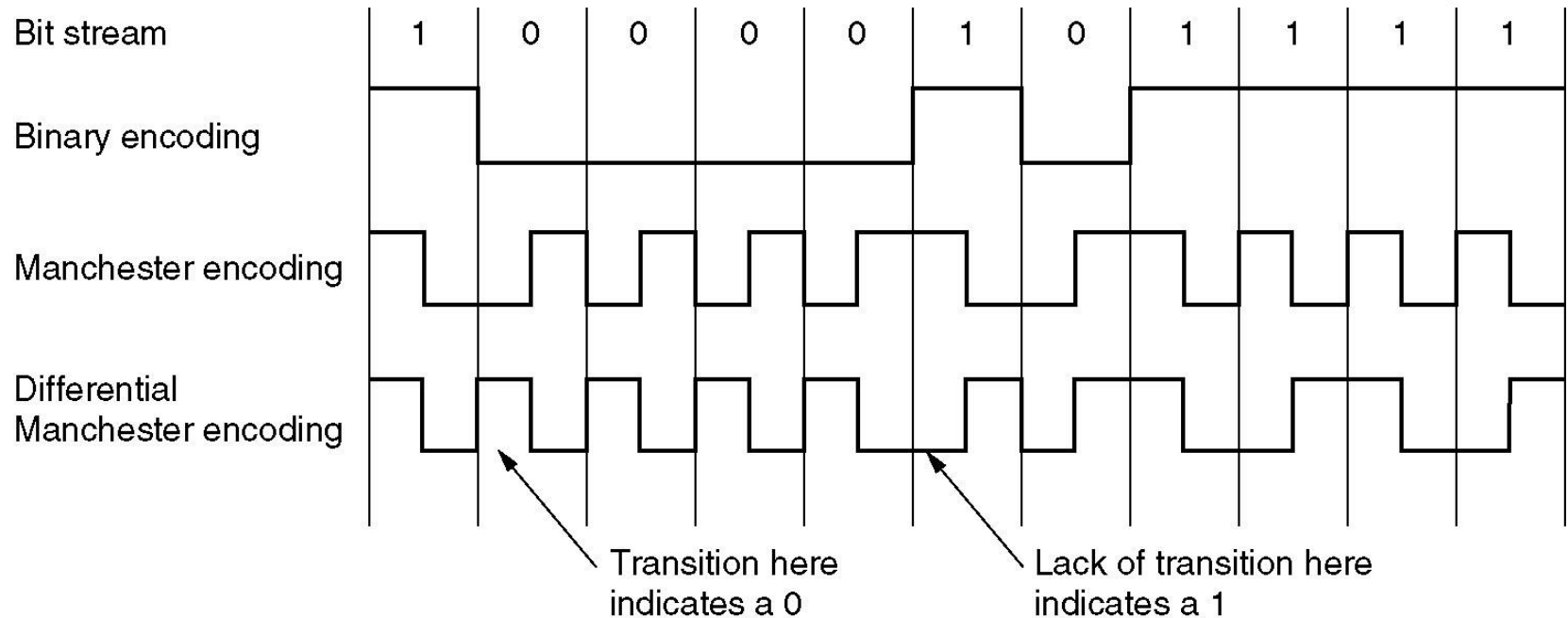
Cableado Ethernet (3)



Topologías de cables. (a) Lineal, (b)

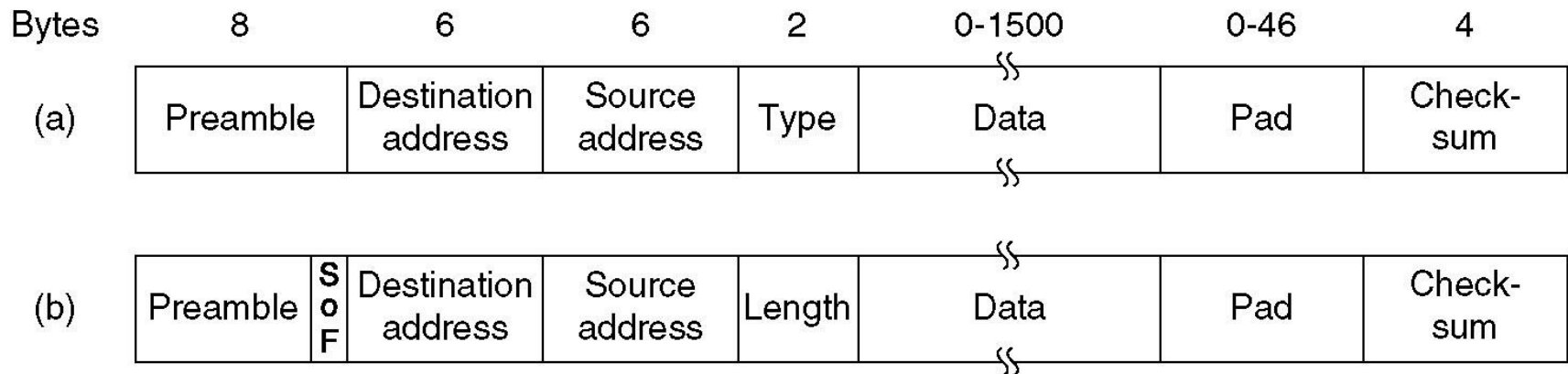


Cableado Ethernet (4)

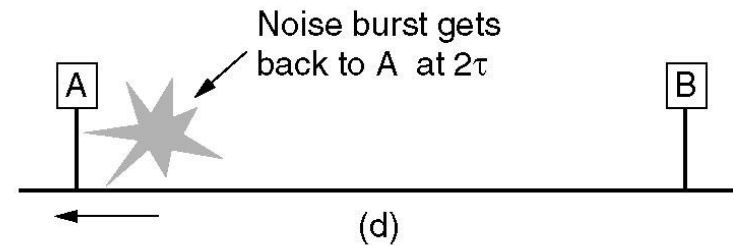
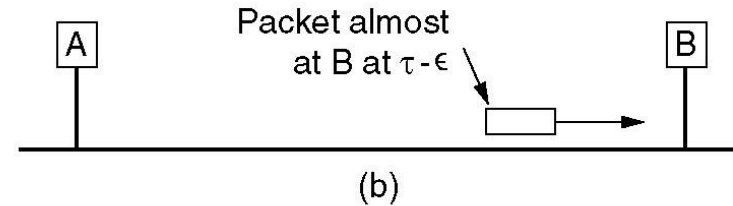
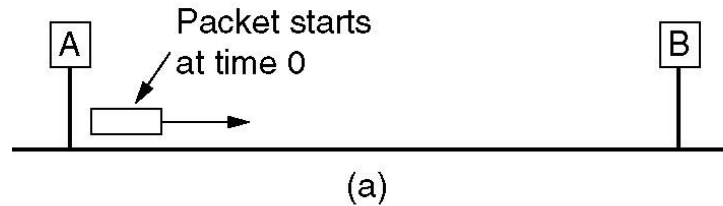


(a) Codificación binaria, (b) Codificación Manchester, (c) Codificación Manchester Diferencial.

Protocolo de subcapa MAC de Ethernet



Protocolo de subcapa MAC de Ethernet (2)

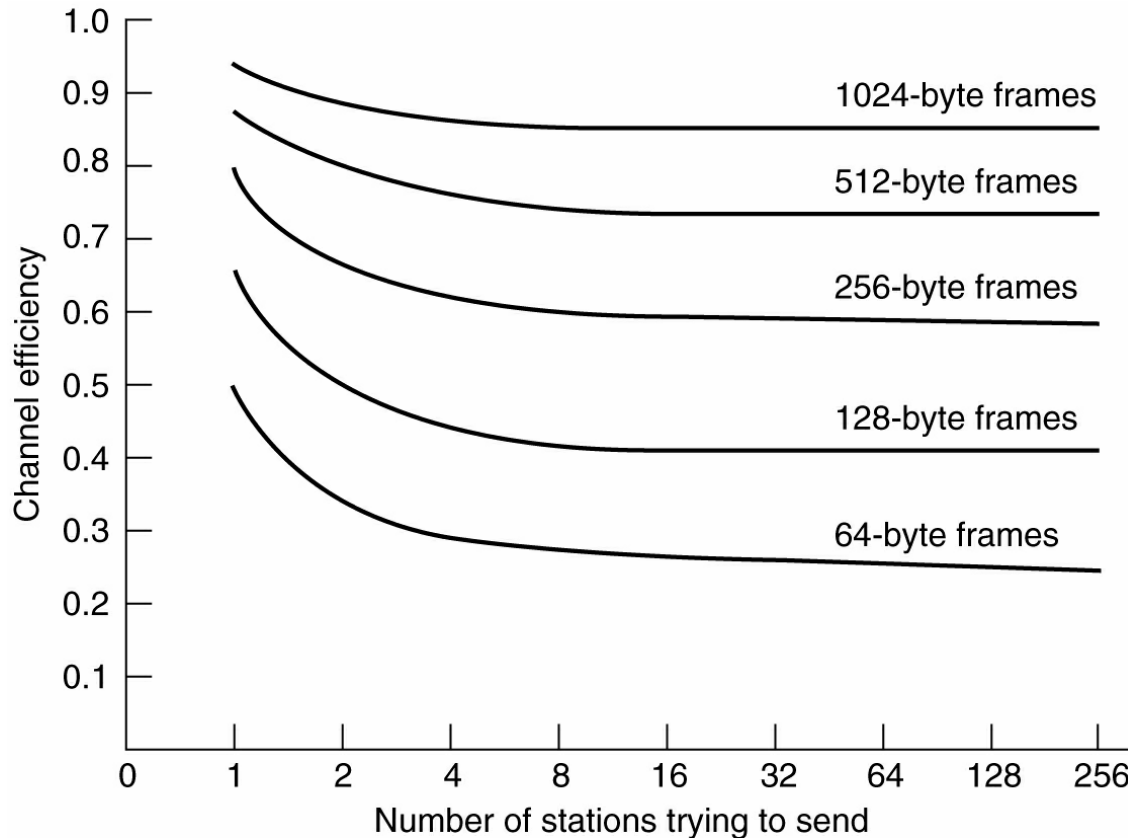


Detección de colisión puede tardar tanto como 2τ

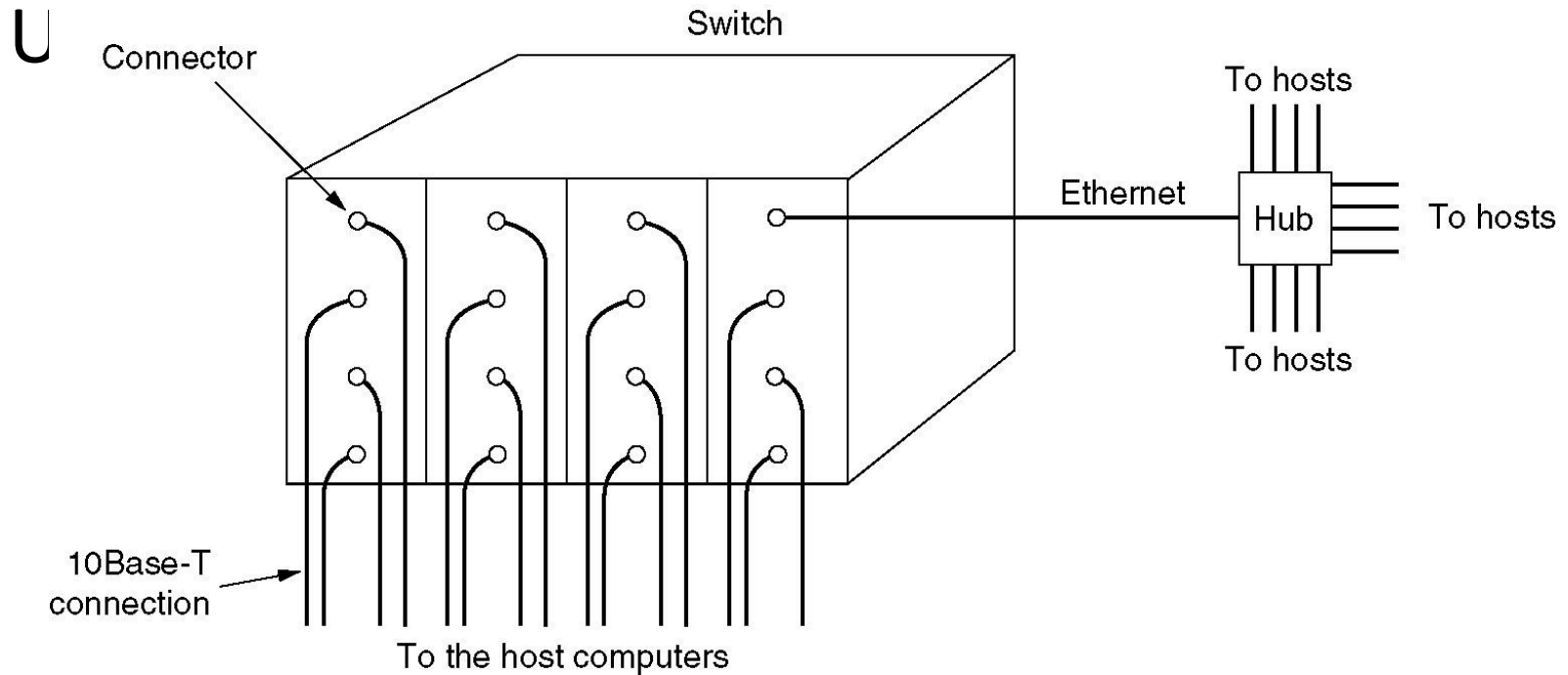


Rendimiento de Ethernet

Eficiencia de Ethernet a 10 Mbps con ranuras de tiempo de 512-bit.



Conmutación Ethernet



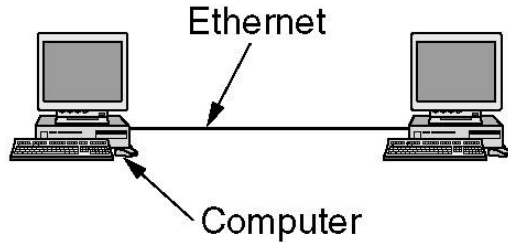
Fast Ethernet



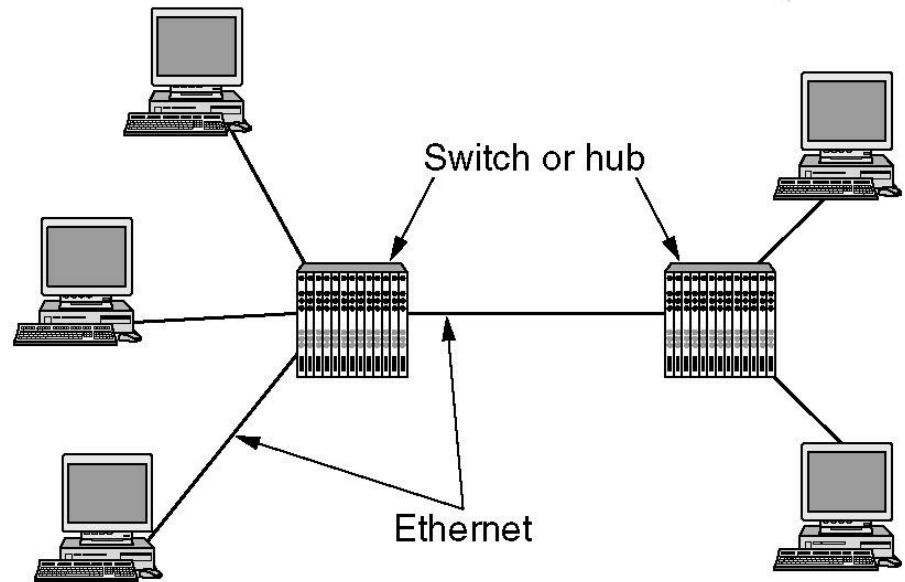
El cableado original de Fast Ethernet.

Name	Cable	Max. segment	Advantages
100Base-T4	Twisted pair	100 m	Uses category 3 UTP
100Base-TX	Twisted pair	100 m	Full duplex at 100 Mbps
100Base-FX	Fiber optics	2000 m	Full duplex at 100 Mbps; long runs

Gigabit Ethernet



(a)



(b)

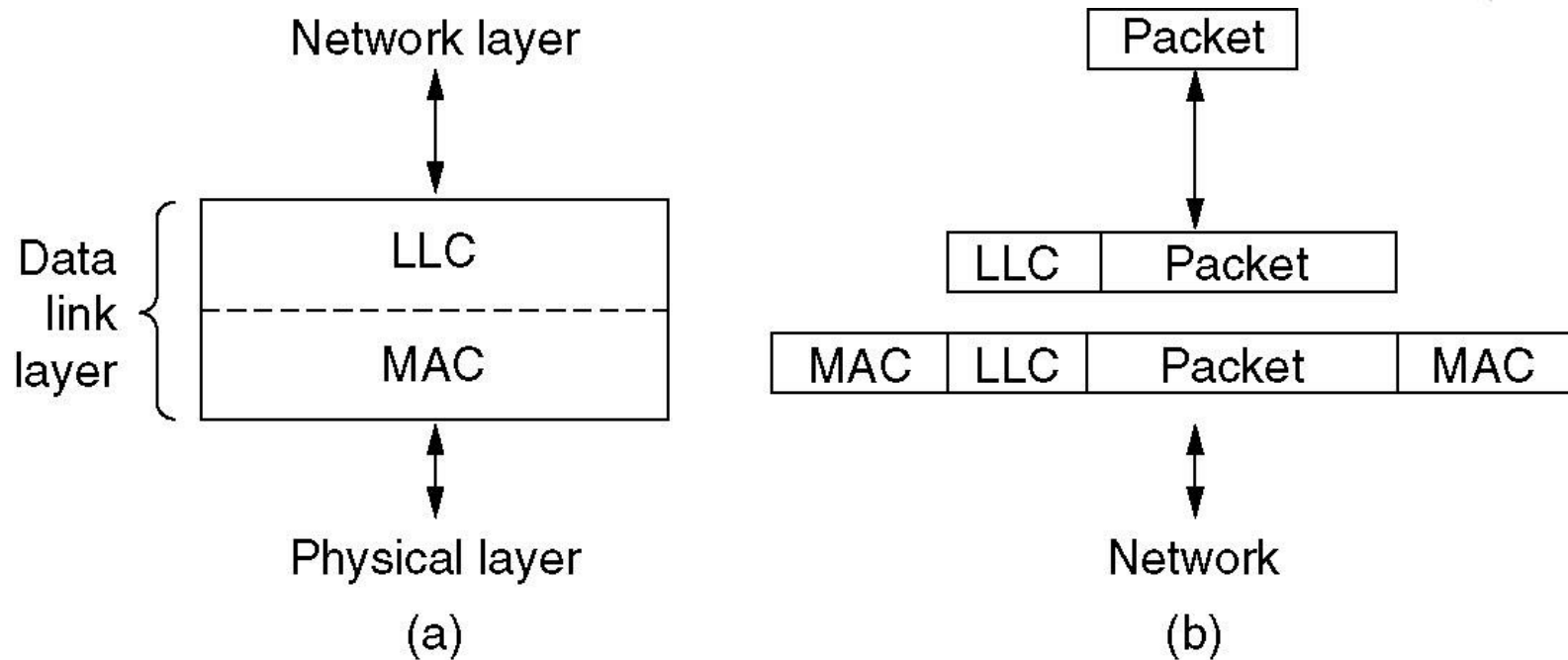
Gigabit Ethernet (2)



Cableado Gigabit Ethernet.

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

IEEE 802.2: Logical Link Control



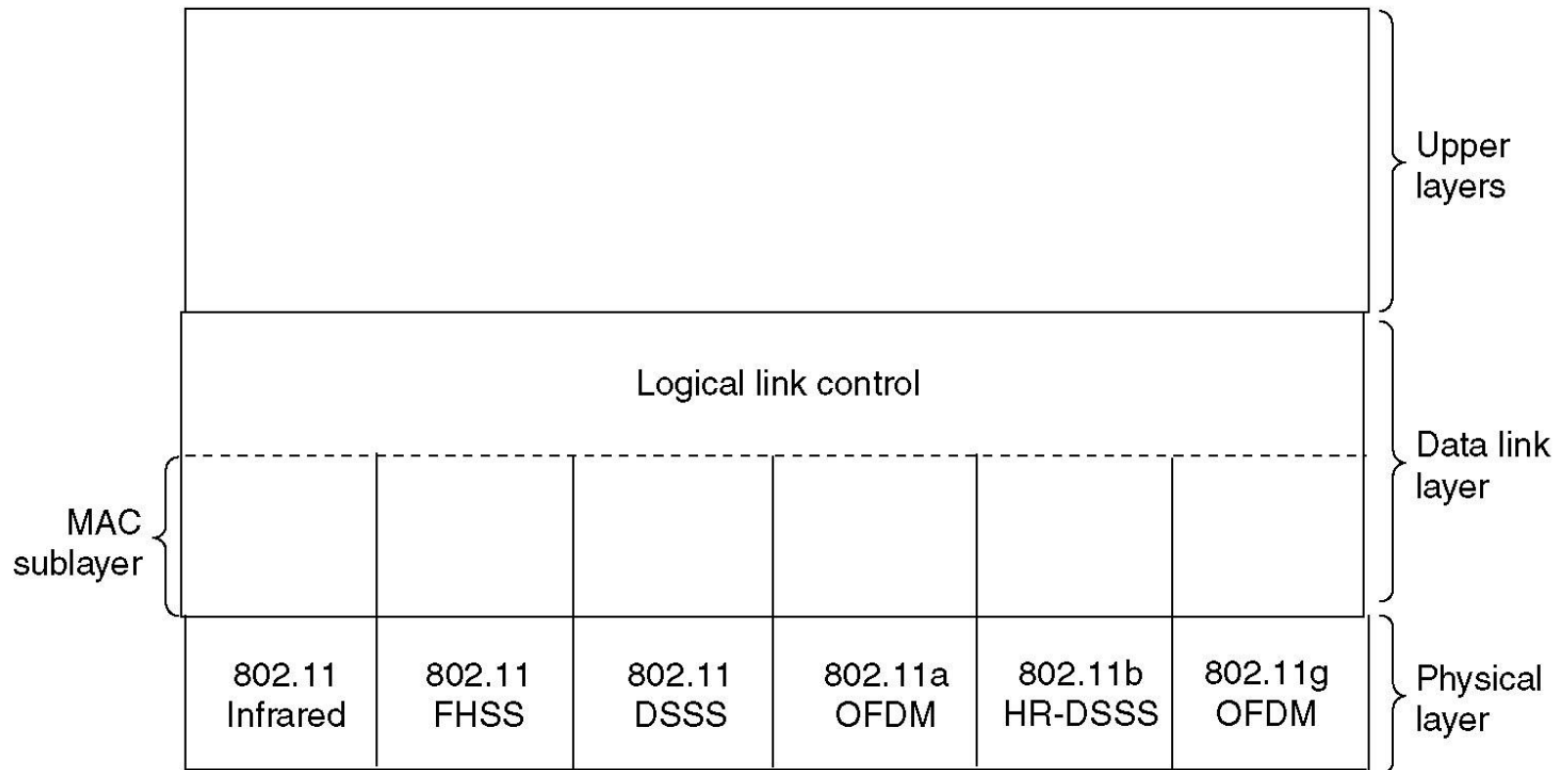
(a) Posición de LLC. (b) Formatos del protocolo.

LANs inalámbricas



- La pila de protocolos 802.11
- La capa física del 802.11
- El protocolo de subcapa MAC 802.11
- La estructura de la trama 802.11
- Servicios

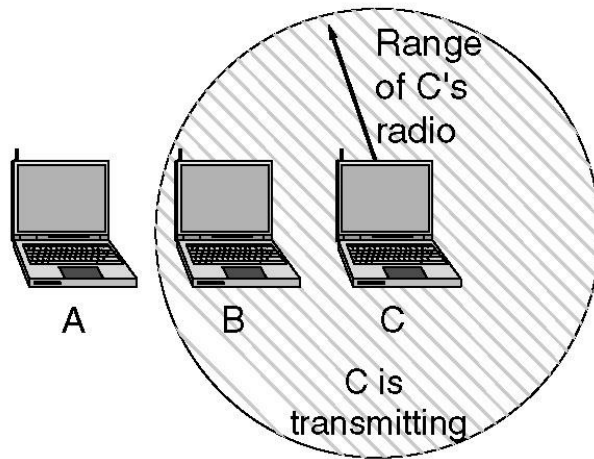
La pila de protocolos 802.11



El protocolo de la subcapa MAC 802.11

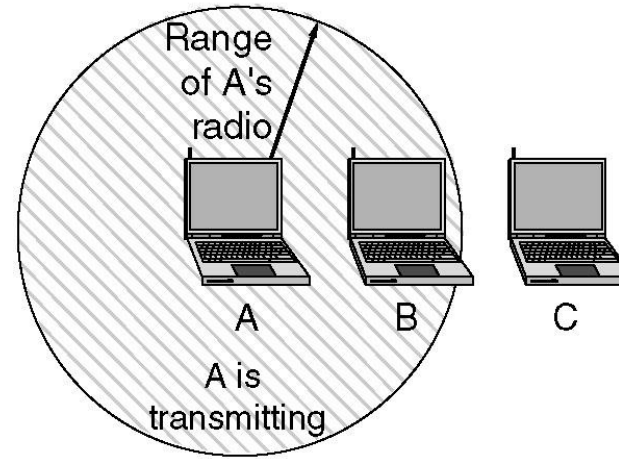


A wants to send to B
but cannot hear that
B is busy



(a)

B wants to send to C
but mistakenly thinks
the transmission will fail



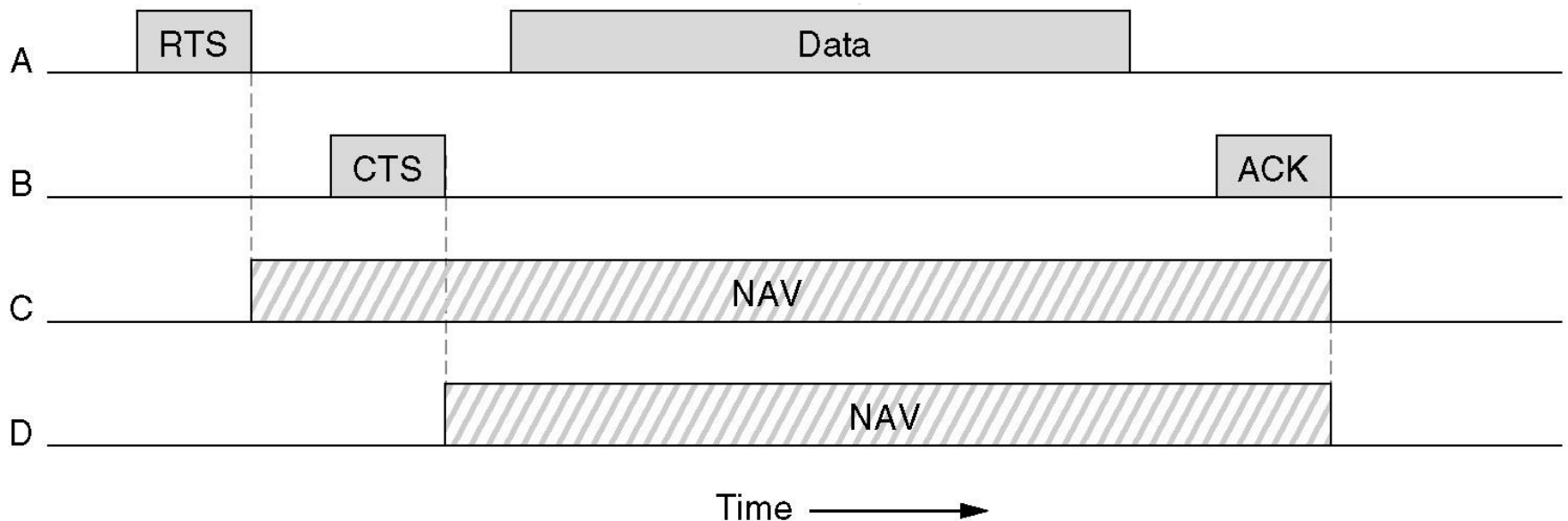
(b)

- (a) El problema de la estación oculta.
- (b) El problema de la estación expuesta.

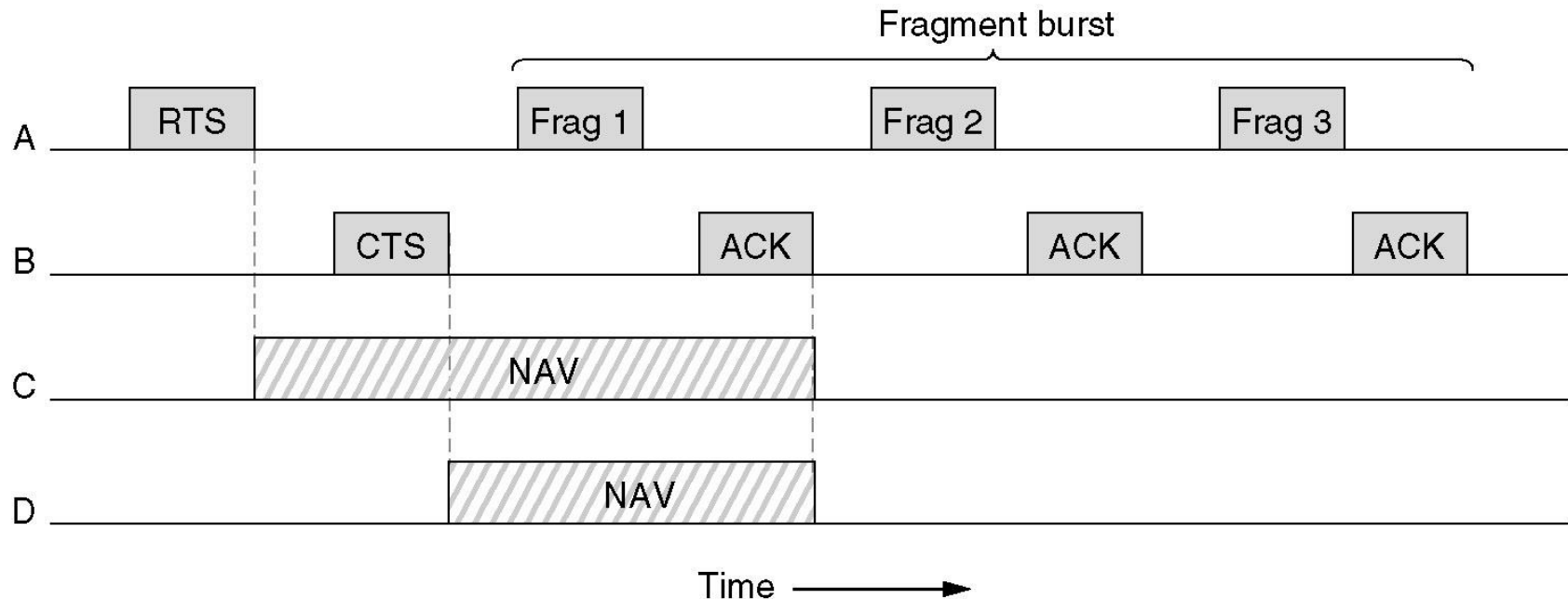
Protocolo de la subcapa MAC 802.11 (2)



El uso de la detección del canal virtual

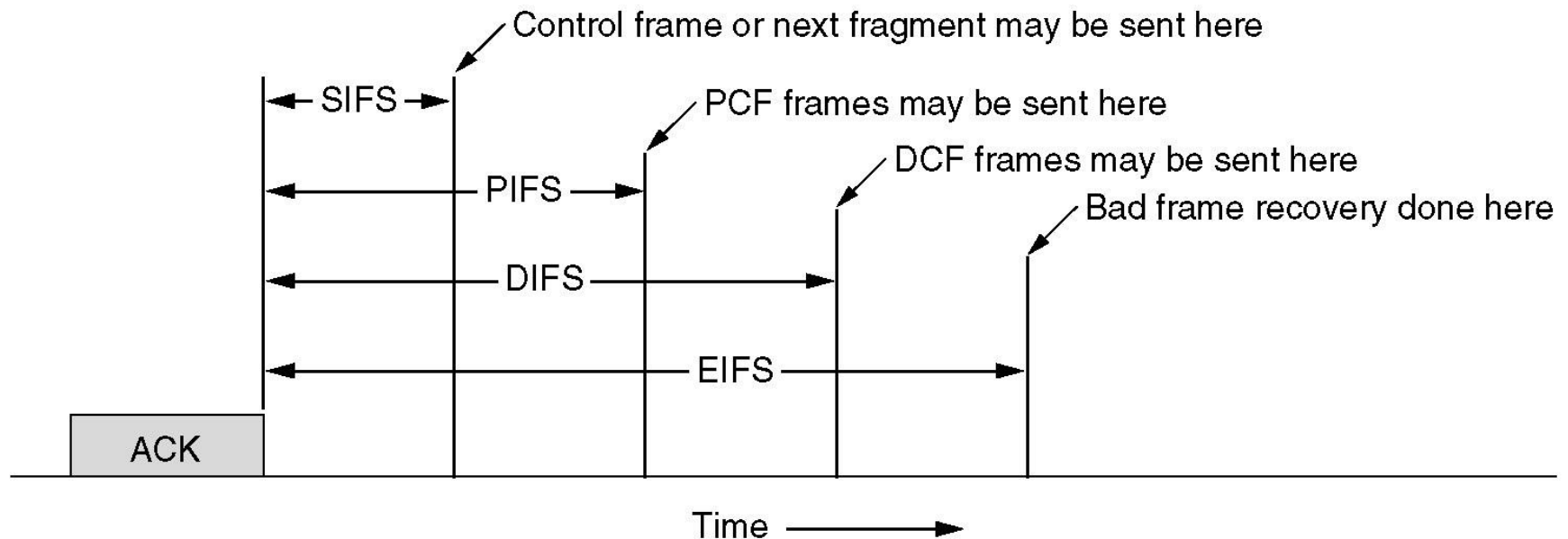


Protocolo de la subcapa MAC 802.11 (3)

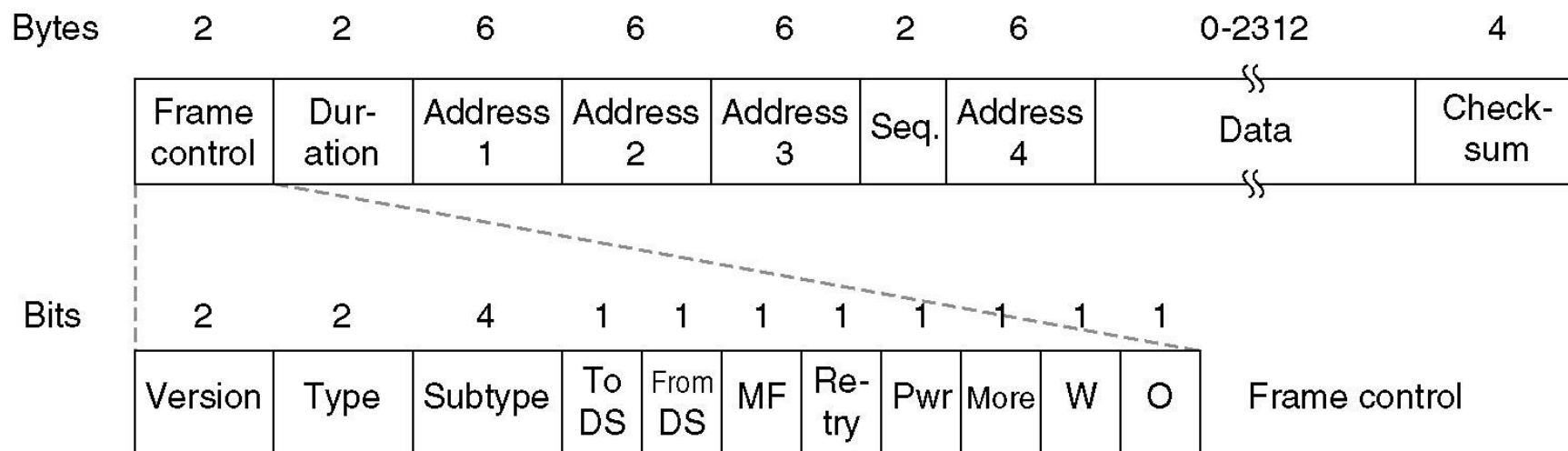


Protocolo de la subcapa MAC

802.11 (4)



Estructura de la trama 802.11



Servicios 802.11



Distribución de servicios

- Asociación
- Desasociación
- Reasociación
- Distribución
- Integración

Servicios 802.11



Servicios intracélulas

- Autenticación
- Desautenticación
- Privacidad
- Entrega de datos

Referencias



⌘ Tanenbaum, Andrew S.. **Redes de Computadoras** 4ª Edición