



REDES DE
COMPUTADORES

Tema 3

Tecnologías de Redes de Área Local

Redes de Computadores

Curso 2015/2016
Primer Semestre

Acceso y RAL

Objetivos

- Conocer los estándares clave de las Redes de Área Local (LANs).
- Estudiar las técnicas de acceso al medio utilizadas en las LAN.
- Conocer los dispositivos necesarios para poder implementar una LAN.
- Conocer los aspectos fundamentales y comprender la necesidad de las VLAN (Redes de Área Local Virtuales)

Bibliografía

- “**Computer Networks**”, Fifth Edition, Andrew S. Tanenbaum and David J. Wetherall. Pearson Education, Inc. 2011.
- “**Computer Networks. A Top-Down Approach**”, First Edition. Behrouz A. Forouzan & Firouz Mosharraf. Mc Graw Hill, 2011.
- “**Data and Computer Networks**”, 9th Edition, W. Stallings. Prentice Hall, 2010.
- “**802.11 Wireless Networks: The Definitive Guide**”. Second Edition, M.S. Gast, O’Reilly, 2002.

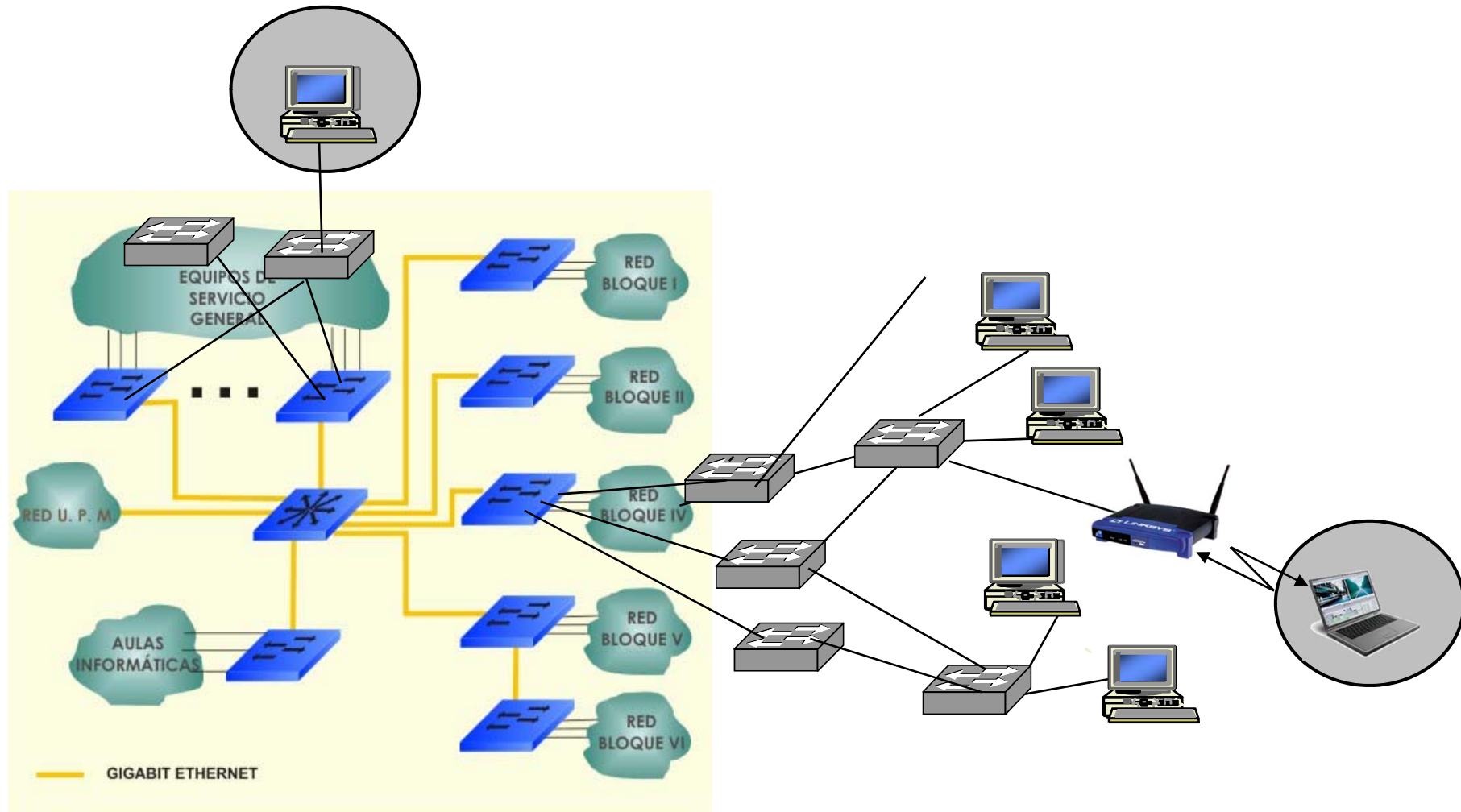
Índice del bloque

- 3.1 Redes de Área Local con cable: **Ethernet**
- 3.2 Redes de Área Local Virtuales: **VLANs**
- 3.3 Redes de Área Local **Inalámbricas**

3.1 Ethernet

- Arquitectura
- Encapsulación
- Direccionamiento físico
- Switches

Red F.I. Conexión de terminales en red



Acceso y RAL

Redes de cable (Ethernet)

Ethernet

- Ethernet:
 - Es la tecnología LAN más ampliamente utilizada
 - Opera a nivel de enlace y a nivel físico
 - Se corresponde con una familia de tecnologías definidas en los estándares Ethernet e IEEE 802.2 y 802.3
 - Soporta transferencias de datos a 10 Mbps, 100 Mbps, 1 Gbps, 10 Gbps, 40 Gbps y hasta 100 Gbps.

- Estándares Ethernet:
 - Definen protocolos de nivel 2 y tecnologías de nivel 1
 - El estándar IEEE contempla dos subniveles de nivel de enlace: LLC y MAC

Ethernet II vs. IEEE 802.3

Ethernet

- Estándares de redes cableadas
 - **Ethernet II**
 - Estándar industrial de 1982
 - Encapsula IP directamente en tramas Ethernet
 - Versión actualmente en uso
 - **IEEE 802.3**
 - Estándar de IEEE desde 1985
 - Utiliza LLC como subnivel superior de nivel de enlace
 - Requiere de SNAP para encapsular IP en tramas Ethernet
 - Encapsulación sí utilizada en WiFi
 - El **Subnetwork Access Protocol** (SNAP) es un protocolo recogido por la norma IEEE 802 que permite direccionar diferentes protocolos utilizando un SAP (Service Access Point) público.
 - Raramente utilizada

IEEE 802.3 y Ethernet II

Formato de trama

/ Octetos	1 Oct.	6 Oct.	6 Oct.	2 Oct.	0 a 1.500 Oct.	4 Oct.
Preámbulo	SFD	Dirección destino	Dirección origen	Long. ó Tipo	LLC y/o Datos	Relleno 0 - 46 SVT

- **Preámbulo:** Para sincronización; 7 octetos con el siguiente patrón: 10101010.
- **SFD** (*Start Frame Delimiter*) : delimitador de comienzo trama: 10101011
- **Dirección MAC destino**
- **Dirección MAC origen**
- **Longitud o Tipo.** Longitud para IEEE 802.3; Tipo para Ethernet II
 - > 0x0600 (1.536): **Tipo** (ej: 0x800: IP; 0x0806: ARP)
 - < 0x600: **Longitud** del campo de datos (transporta una PDU 802.2)
- **LLC y/o Datos:** datos de nivel superior
 - LLC si es 802.3
 - Datos (IP) si es Ethernet II
- **Relleno** para alcanzar la longitud mínima de trama: 64 bytes (sin incluir el preámbulo, ni SFD)
- **SVT:** Secuencia de Verificación de Trama

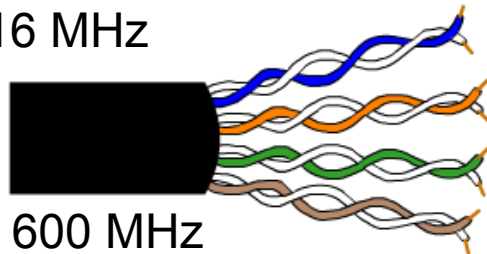
Ethertypes comunes	
IPv4	0x0800
IPv6	0x86DD
ARP	0x0806
802.1Q	0x8100
Tramas Jumbo	0x8870
MPLS	0x8847

Tipos de cable: cobre

Ethernet

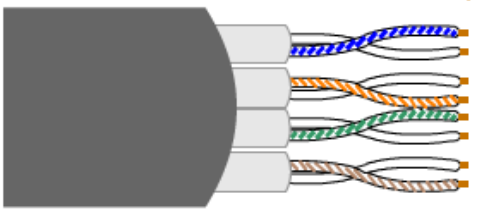
UTP: Unshielded Twisted Pair (Par trenzado no apantallado)

16 MHz



Categoría 3
(UTP)

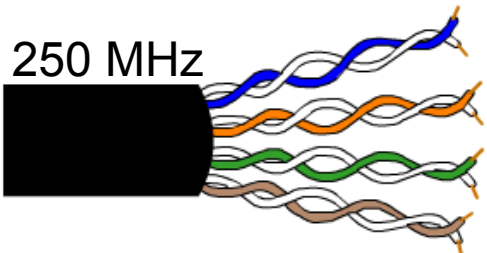
600 MHz



Categoría 7
(ScTP)

"Screened UTP". Es un cable UTP de pares trenzados sin apantallar individualmente, pero con una pantalla exterior general debajo de la cubierta de protección en forma de hoja de papel aluminio

250 MHz

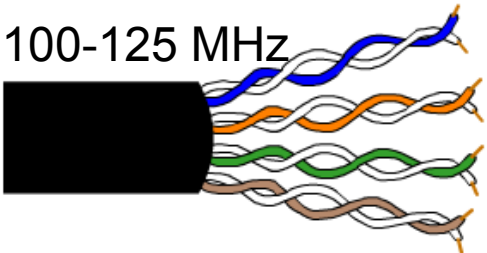


Categoría 6
(UTP)

✓ Los cables de **Cat. 5 y 5e** (UTP) son los más típicos

✓ Se utilizan para la transmisión de datos

100-125 MHz



Categoría 5 y 5e
(UTP)

✓ Cat. 5 soportan **100 Mbps** y pueden soportar 1000 Mbps, aunque no está recomendado

✓ Cat. 5e soporta **1 Gbs**

Tipos de cable: fibra Ethernet

$$\lambda = \frac{c}{f}$$

λ : longitud de onda
c: velocidad de la luz
f : frecuencia

1 micra = 10^{-6} m

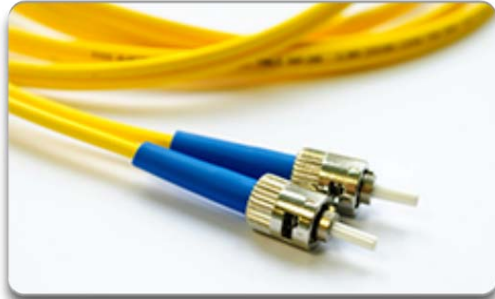
1 nm = 10^{-9} m

1 THz = 10^{12} Hz

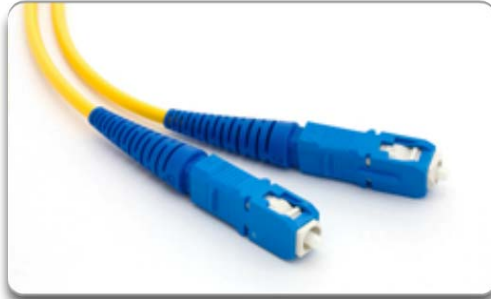


Conectores Ethernet

En fibra



ST Connectors

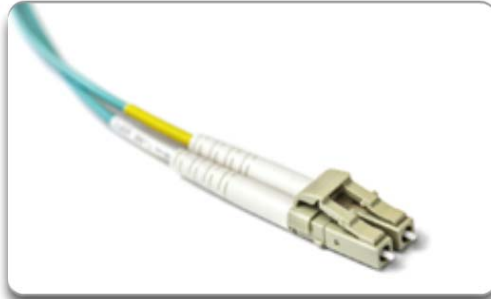


SC Connectors

Conectores ST (Set and Twist)



LC Connector

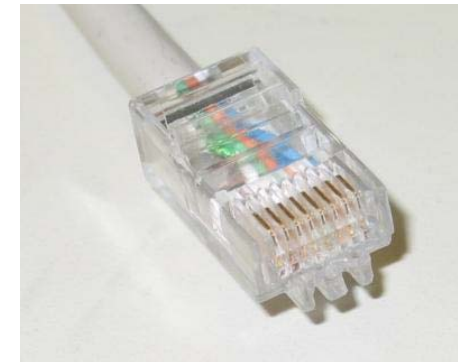


Duplex Multimode LC Connectors

Conectores SC (Set and Connect)

Conectores LC (Lucent technologies Connector)

En cobre

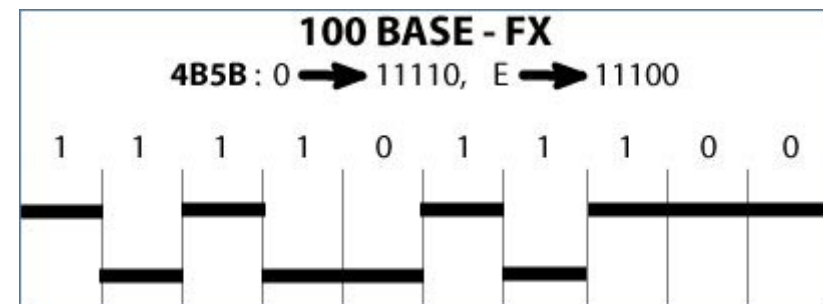


RJ 45

Tipos de Ethernet

Ethernet

- **Ethernet (IEEE 802.3)**
 - Obsoleto. **10 Mbps**
 - Codificación Manchester
- **Fast Ethernet (IEEE 802.3u)**
 - **100 Mbps**
 - 100Base-TX
 - 2 pares de cobre de categoría 5 o superior
 - Codificación 4B/5B + MLT-3
 - 100m por segmento (200m entre estaciones)
 - 100Base-FX
 - 2 filamentos de fibra óptica multimodo
 - Codificación 4B/5B + NRZI
 - 2km por segmento
 - Señal en línea : pulso de luz/no luz
 - 1bit/baudio



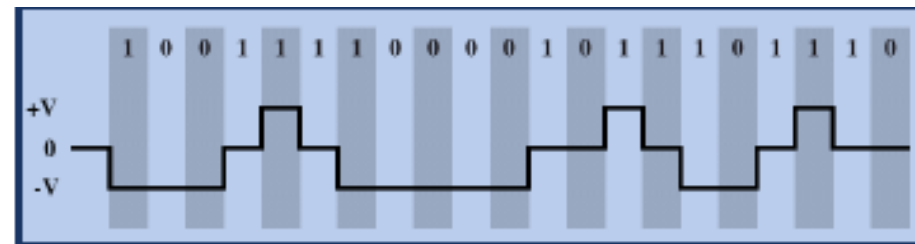
Fast Ethernet. Nivel físico

4B/5B

- Codificación de línea que mapea grupos de 4 bits en grupos de 5 bits para asegurar más transiciones con el fin de proporcionar información de reloj y mantener el sincronismo entre transmisor y receptor.
- Aumenta el régimen binario un 25 %
- De los 32 posibles valores de 5 bits se eligen sólo la mitad (16), que no tienen más de 3 ceros seguidos.
- Se transmite 1 bit/baudio; $W = V_s/2 = V_t/2$;
 $W = 125 \text{ Mbaudios}/2 = 62,5 \text{ MHz}$
- Permite usar frecuencias menores que con codificación Manchester (62,5 MHz frente a 100 MHz).

MLT-3 (Multi-Level Transmit)

- Transición en cada 1 binario
- 3 valores de tensión
- Si es un bit 0 mismo valor
- Si es un bit 1
 - Si el anterior fue $-V$ ó $+V$, entonces se codifica con 0
 - Si el anterior fue 0 se codifica con $+V$ ó $-V$ dependiendo si el anterior fue $-V$ o $+V$



Tipos de Ethernet

Ethernet

- **Gigabit Ethernet (IEEE 802.3ab)**
 - **1.000 Mbps** (1Gbps)
 - 1000Base-T
 - 4 pares de cables de par trenzado UTP de categoría 5e, 6 o 7. , transmitiendo simultáneamente en ambos sentidos por cada uno de ellos y utilizando cancelación de eco
 - Velocidad de señalización 125 Mbaudios. Codificación multinivel PAM-5 (+2, +1, 0, -1, -2);
 - En cada par, cuatro símbolos representan 2 bits de datos; el quinto contiene la información FEC (Forward Error Control) y permite recuperar pérdidas de información causadas por ruido.
 - Velocidad de transmisión de 250 Mbit/s por par. ($125 \times \log_2 4$)
 - 100m por segmento
 - 1000Base-LX
 - Fibra multimodo: hasta 550 metros
 - Fibra monomodo: hasta 5 kilómetros
 - Codificación 8B/10B con 1,25 Gbps en línea y codificación NRZ
- **10 Gigabit Ethernet (10GE o 10GbE o 10GigE) (IEEE 802.3ae)**
 - **10.000 Mbps** que se alcanzan normalmente sobre fibra, aunque también con UTP cat. 6 o superior

Fibra vs. cobre

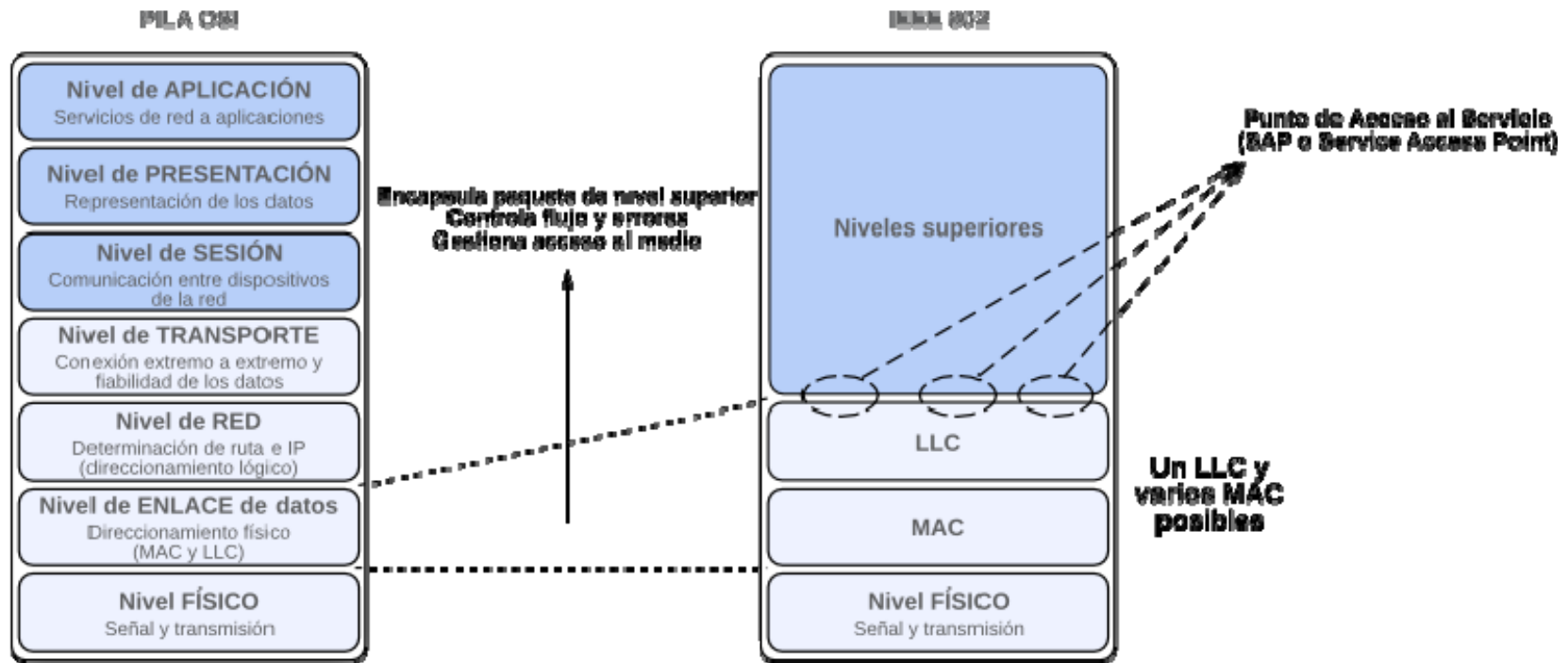
Ethernet

Aspectos clave	Medios de cobre	Fibra óptica
Capacidad soportada	10 Mbps – 10 Gbps	10 Mbps – 100 Gbps
Distancia	Relativamente poca (1 – 100 metros)	Relativamente grande (1 – 100.000 metros)
Inmunidad a EMI y RFI	Baja	Completamente inmune
Inmunidad a los peligros eléctricos	Baja	Completamente inmune
Coste del cable y los conectores	El más bajo	El más alto
Dificultad de instalación	Muy baja	Muy alta

EMI: ElectroMagnetic Interference: perturbación que ocurre en cualquier circuito, componente o sistema electrónico causada por una fuente de radiación electromagnética externa al mismo.

RFI: Radio Frequency Interference: interferencias producidas por cualquier objeto, ya sea artificial o natural, que posea corrientes eléctricas que varíen rápidamente

Subniveles LLC y MAC Ethernet



Acceso y RAL

Subniveles LLC y MAC

Ethernet

- **LLC (Logical Link Control)**
 - Controla la comunicación con los niveles superiores de la arquitectura
 - Coge los datos del protocolo de red (nivel 3) y les añade información de control necesaria para entregar el paquete a su destino

- **MAC (Media Access Control)**
 - Subnivel inferior del nivel de enlace de datos
 - Implementado en hardware, típicamente en la tarjeta de red del ordenador (NIC- Network Interface Card)
 - Dos funciones principales:
 - Encapsulación de datos
 - Control de acceso al medio

Subnivel IEEE 802.2 LLC Ethernet

- Un protocolo LLC común para muchos protocolos MAC
 - Se han definido 3 tipos de servicio y 4 protocolos (clase 1, clase 2, clase 3 y clase 4)
 - LLC clase 1: ofrece un servicio no orientado a conexión, sin confirmación, independiente del medio físico
- Identifica el protocolo de nivel superior mediante SAPs (*service access point*)



Subnivel IEEE 802.2 LLC

Ethernet



- DSAP y SSAP identifican los protocolos de nivel superior
 - DSAP: SAP al que va dirigido el campo de datos
 - SSAP: SAP que generó el campo de datos
 - Se definió identificador para IP (=0x6) pero no para ARP
 - No puede utilizarse directamente para encapsular IP
 - Se utiliza **SNAP** (*Sub-network Access Protocol*) para encapsular IP
- El campo de información contiene los datos de nivel superior
 - O la cabecera SNAP seguida de los datos

Códigos de “tipo” Ethernet y “SAP”

Tipos Ethernet (Xerox)

Netware 8137

XNS 0600, 0807

IP 0800

ARP 0806

RARP 8035

SAP (IEEE)

NetWare 10,E0

XNS 80

NetBIOS F0

IP 06

SNA 04,05,08,0C

X.25 7E

SNAP: AA

Subnivel IEEE 802.2 LLC (Clase 1)

Ethernet



Tramas de Información

Tramas de Supervisión

Tramas no numeradas



0x03

1	1	0	0	0	0	0	0	0	Unnumbered Information
1	1	1	1	P/F	1	0	1		Exchange Identification
1	1	0	0	P/F	1	1	1		Test

Petición / Respuesta

Acceso y RAL

Cabecera SNAP

Ethernet

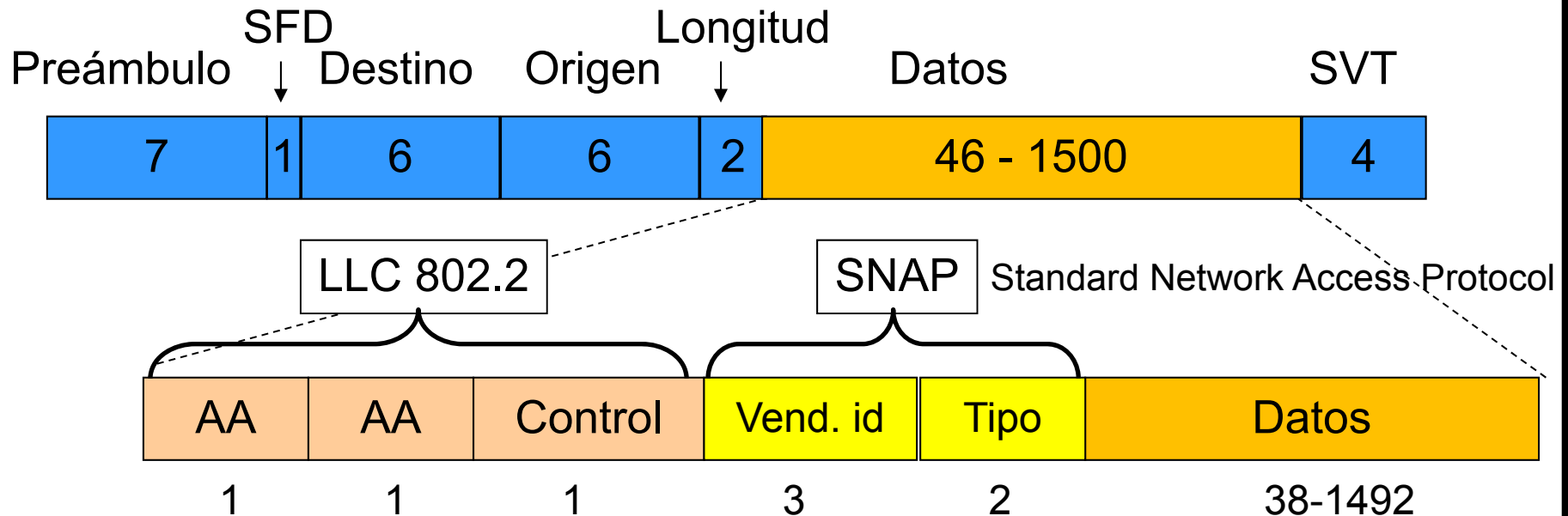
- Soporte a protocolos propietarios
 - Se utiliza un identificador de protocolos de 5 bytes.
 - **Código de Organización** (3 bytes)
 - Código único de organización (OUI) para protocolos propietarios
 - 0x0 para indicar encapsulación IP en Ethernet
 - **Tipo** (2 bytes)
 - *Ethertype* en encapsulación Ethernet



- Utilizado en encapsulación IP sobre 802.2

Cabeceras LLC1 y SNAP

¡Para quienes no tienen asignación DSAP y SSAP de la IEEE!



- **DSAP:** 1 byte, AA indica que hay una cabecera SNAP
- **SSAP:** 1 byte, AA indica que hay una cabecera SNAP
- **Control:** 1 byte, 03 indica trama LLC no numerada
- **SNAP:** 5 bytes, los 3 primeros identifican el vendedor, los dos últimos identifican el protocolo (SNAP es subconjunto de LLC 802.2).

Subnivel MAC

Ethernet

- **Encapsulación de datos**
 - Crea la trama antes de enviarla y la desmonta al recibirla
 - Añade una cabecera y un tráiler a la PDU de nivel de red
- **Proporciona tres funciones principales:**
 - **Delimitación de tramas.** Identifica el grupo de bits que conforman la trama más sincronización entre nodos emisores y receptores
 - **Direccionamiento.** La cabecera Ethernet añadida a la trama contiene la dirección física (MAC) que permite que la trama sea enviada a su destino
 - **Detección de errores.** Cada trama Ethernet contiene un tráiler con código CRC para comprobar el contenido de la trama.

Subnivel MAC

Ethernet

▸ Control de Acceso al Medio

- Responsable de poner las tramas en el medio y de quitarlas al llegar a destino
- Comunica directamente con el nivel físico
- Si múltiples dispositivos intentan acceder al medio para enviar datos a la vez, los datos colisionarán y se corromperán, por lo que se volverán inutilizables.
- Ethernet proporciona un mecanismo para controlar cómo los nodos comparten el acceso al medio:
 - Tecnología CSMA (*Carrier Sense Multiple Access*)

Control de Acceso al Medio

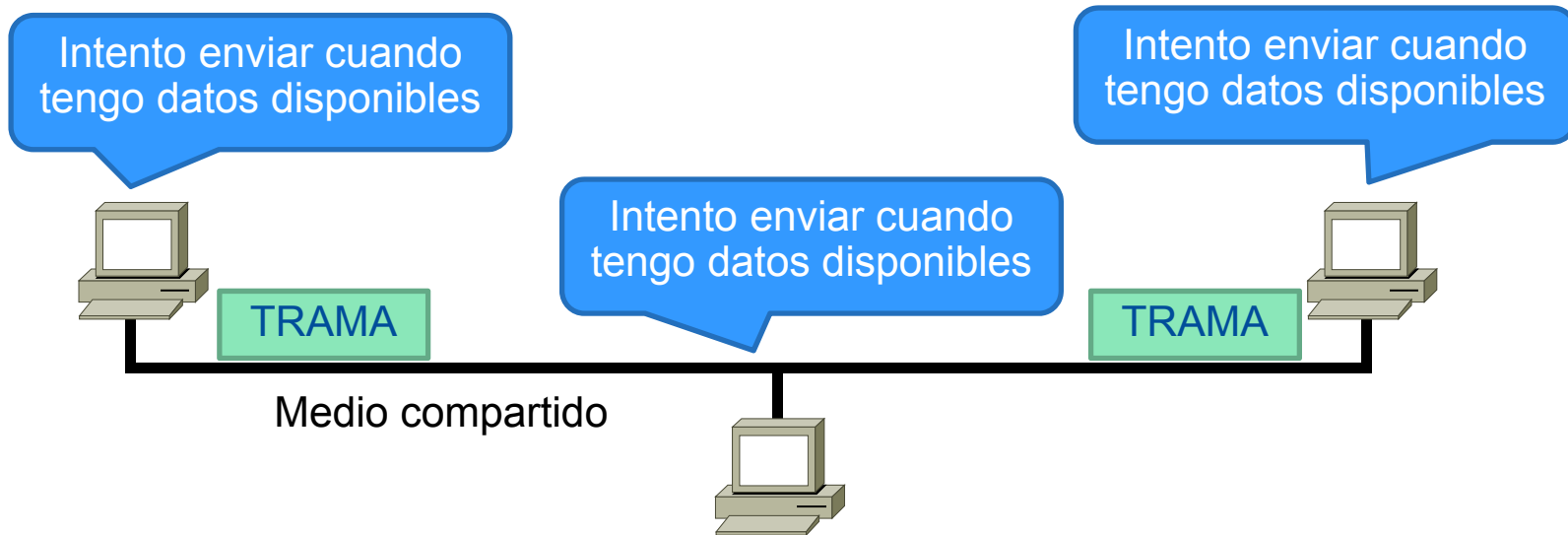
Ethernet

▸ El proceso CSMA:

- Se utiliza para detectar primero si el medio transporta o no una señal
- Las estaciones pueden transmitir en cualquier momento
- Si no se detecta una señal, el dispositivo transmite sus datos
- Si dos dispositivos transmiten a la vez, se produce una colisión de datos.

Control de Acceso al Medio Ethernet

Acceso basado en contienda



Características

- Las estaciones pueden transmitir en cualquier momento
- Se pueden producir colisiones
- Existen mecanismos para resolver la lucha por acceder al medio

Técnicas de contienda

- CSMA/CD para redes Ethernet 802.3
- CSMA/CA para redes inalámbricas 802.11

Acceso y RAL

Control de Acceso al Medio

Ethernet

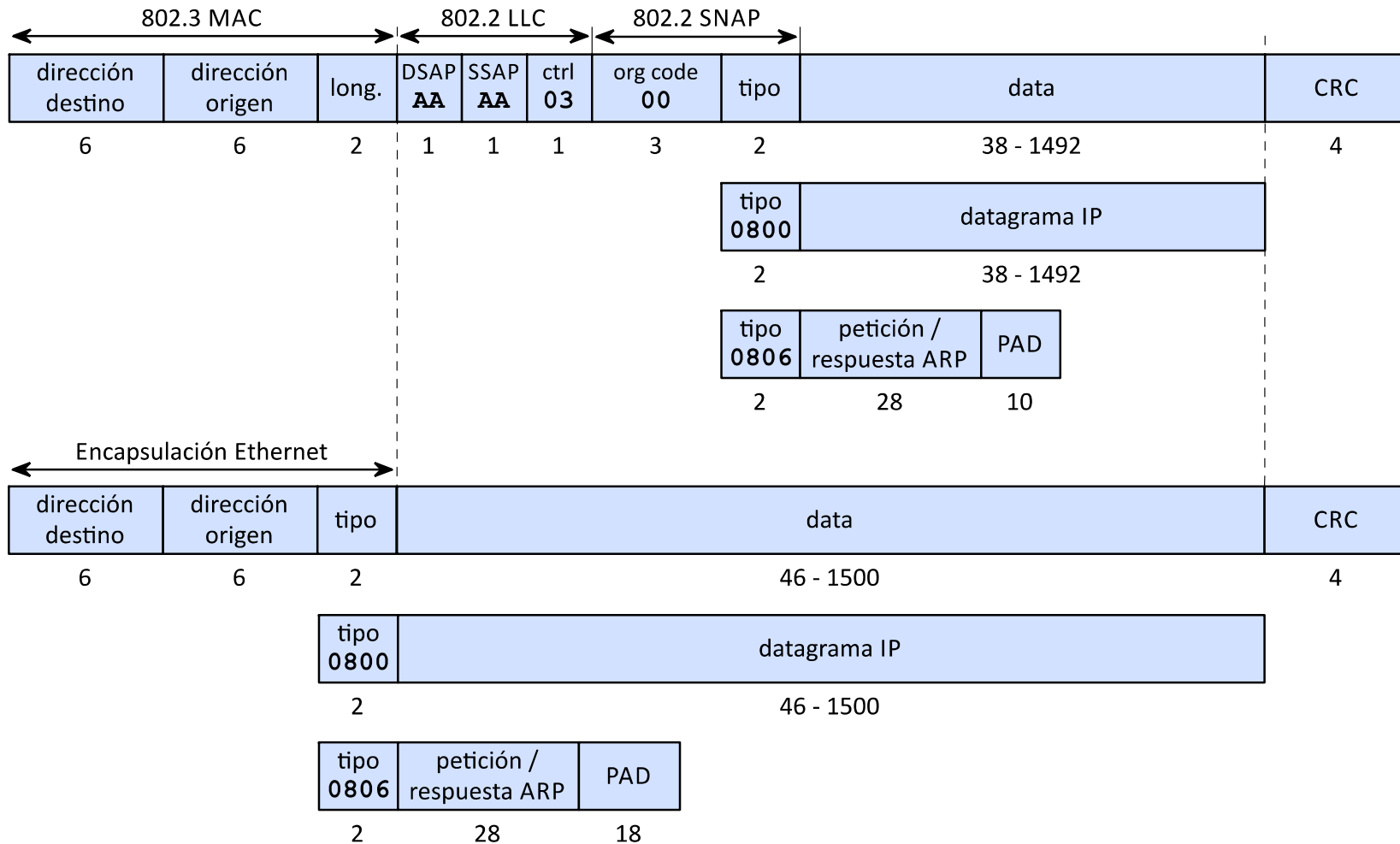
- **CSMA/CD (*CSMA Collision Detection*):**
 - El dispositivo monitoriza el medio para detectar la presencia de señal de datos
 - Si no hay señal, lo que significa que el medio está libre, el dispositivo transmite los datos. Mientras transmite escucha durante un intervalo de tiempo para detectar colisiones
 - Si por el contrario se detecta una señal, significa que otro dispositivo está transmitiendo, por lo que cancela el envío para intentarlo de nuevo más tarde
 - Las redes Ethernet están diseñadas con tecnología CSMA/CD, pero con los dispositivos de interconexión actuales (switches) no se producen colisiones y **CSMA/CD ya no es necesaria**
 - Las conexiones inalámbricas dentro de un entorno LAN sí que deben seguir teniendo en cuenta las colisiones

Control de Acceso al Medio Ethernet

- **CSMA/CA (*CSMA Collision Avoidance*):**
 - Utilizado en redes inalámbricas 802.11
 - El dispositivo examina el medio para comprobar la presencia o no de señales de datos.
 - Si el medio está libre,
 - el dispositivo realiza un periodo aleatorio de espera y transmite. Puede haber colisiones.
 - Opcionalmente el dispositivo reserva el medio mediante una trama de control. Después, transmite la trama de datos. Puede haber colisiones en la trama de control.
 - Si el medio está ocupado no transmite
 - Se ve con más detalle en el apartado de **Redes de Área Local Inalámbricas**.

Encapsulación Ethernet

IEEE 802.2/802.3 vs. Ethernet – RFC 1024



Encapsulación Ethernet

Tamaño de la trama Ethernet

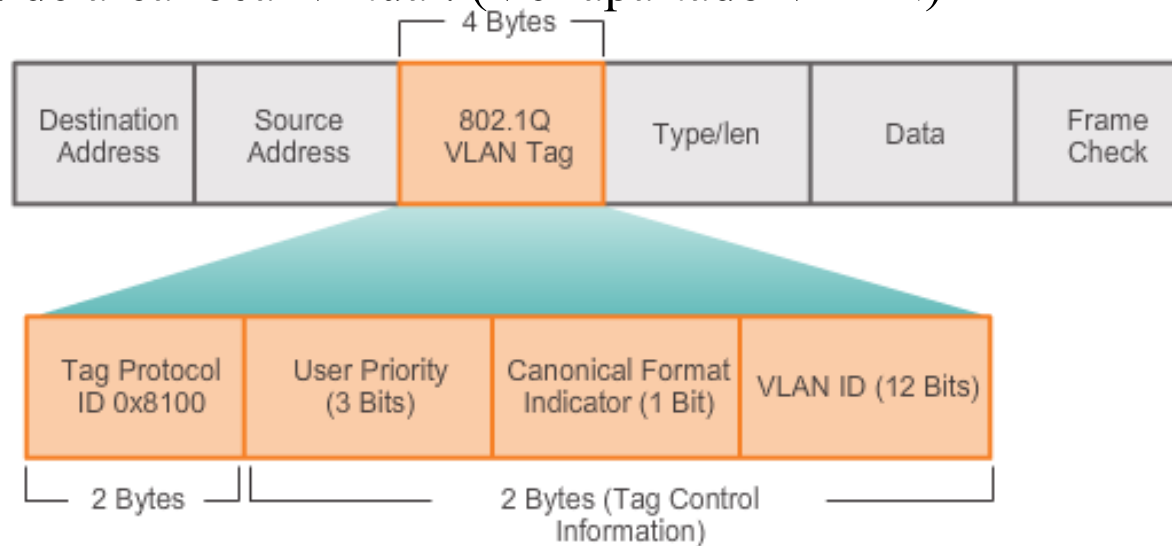
/ Octetos	1 Oct.	6 Oct.	6 Oct.	2 Oct.	0 a 1.500 Oct.	4 Oct.	
Preámbulo	SFD	Dirección destino	Dirección origen	Long. ó Tipo	LLC y/o Datos	Relleno 0 - 46	SVT

- Los estándares Ethernet II e IEEE 802.3 definen un tamaño mínimo de trama de 64 bytes y un máximo de 1.518 bytes
- Si se transmite una trama de tamaño menor que el mínimo o mayor que el máximo, el dispositivo que la recibe la descarta
- A nivel físico, las versiones de Ethernet se diferencian en el método que utilizan para detectar y poner las tramas en el medio

Encapsulación Ethernet

Tamaño de la trama Ethernet

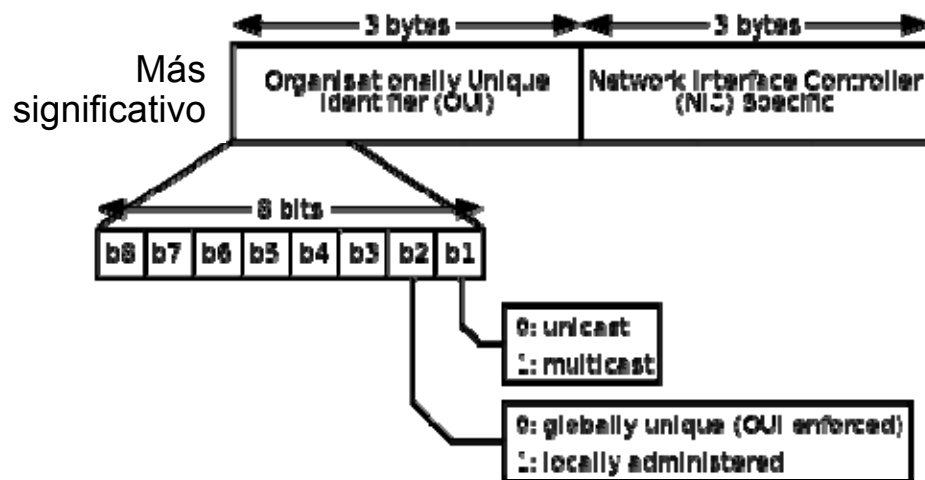
- Existen tramas Ethernet con tamaño mayor que el estándar:
 - Tramas **Jumbo**, capaces de transportar hasta 9.000 bytes de datos. Pensadas para aumentar la eficiencia en Gigabit Ethernet
 - Tramas **Baby Jumbo** o tramas 802.1Q, utilizadas en VLANs. Contienen 4 bytes extra donde almacenar la etiqueta 802.1Q VLAN con información de la red de área local virtual. (Ver apartado VLAN)



Direcciones MAC

Ethernet

- Una dirección MAC Ethernet de nivel 2 es un valor binario de 48 bits representado como 12 dígitos hexadecimales.
 - **00:25:4B:A6:AF:5E** o **00-25-4B-A6-AF-5E** o **0025.4BA6.AF5E**
- Identificadores únicos
 - OUIS asignados por la Autoridad de Registro de IEEE. Identifica fabricantes



Menos significativo

- Bit b1
 - b1=0: Dirección *unicast*
 - b1=1: Dirección *multicast*
- Bit b2
 - b2=0: Dirección única. OUI único del fabricante
 - b2=1: Dirección local, administrada localmente

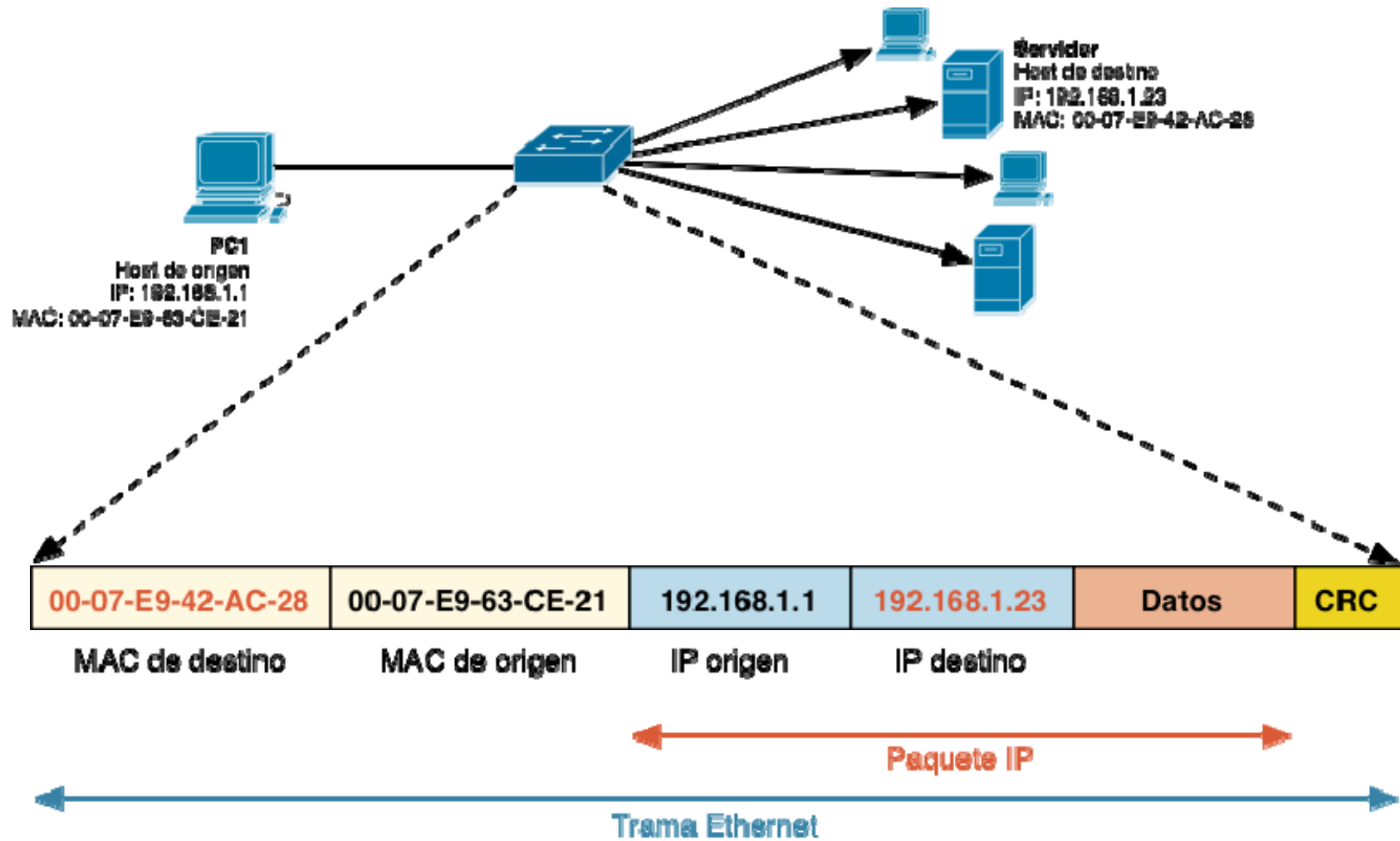
Procesado de tramas

Ethernet

- Estaciones de trabajo, servidores, impresoras en red, switches y routers tienen direcciones MAC asignadas
- Una trama enviada a través de una red Ethernet contiene, en la cabecera, la dirección MAC de origen y destino
- Cada NIC comprueba si la dirección MAC de destino se corresponde con la dirección física del dispositivo (almacenada en RAM)
 - Si no coincide, se descarta la trama
 - Si coincide, la NIC pasa la trama a los niveles superiores de la arquitectura, donde se lleva a cabo el proceso de **desencapsulación**

Direcciones MAC Unicast

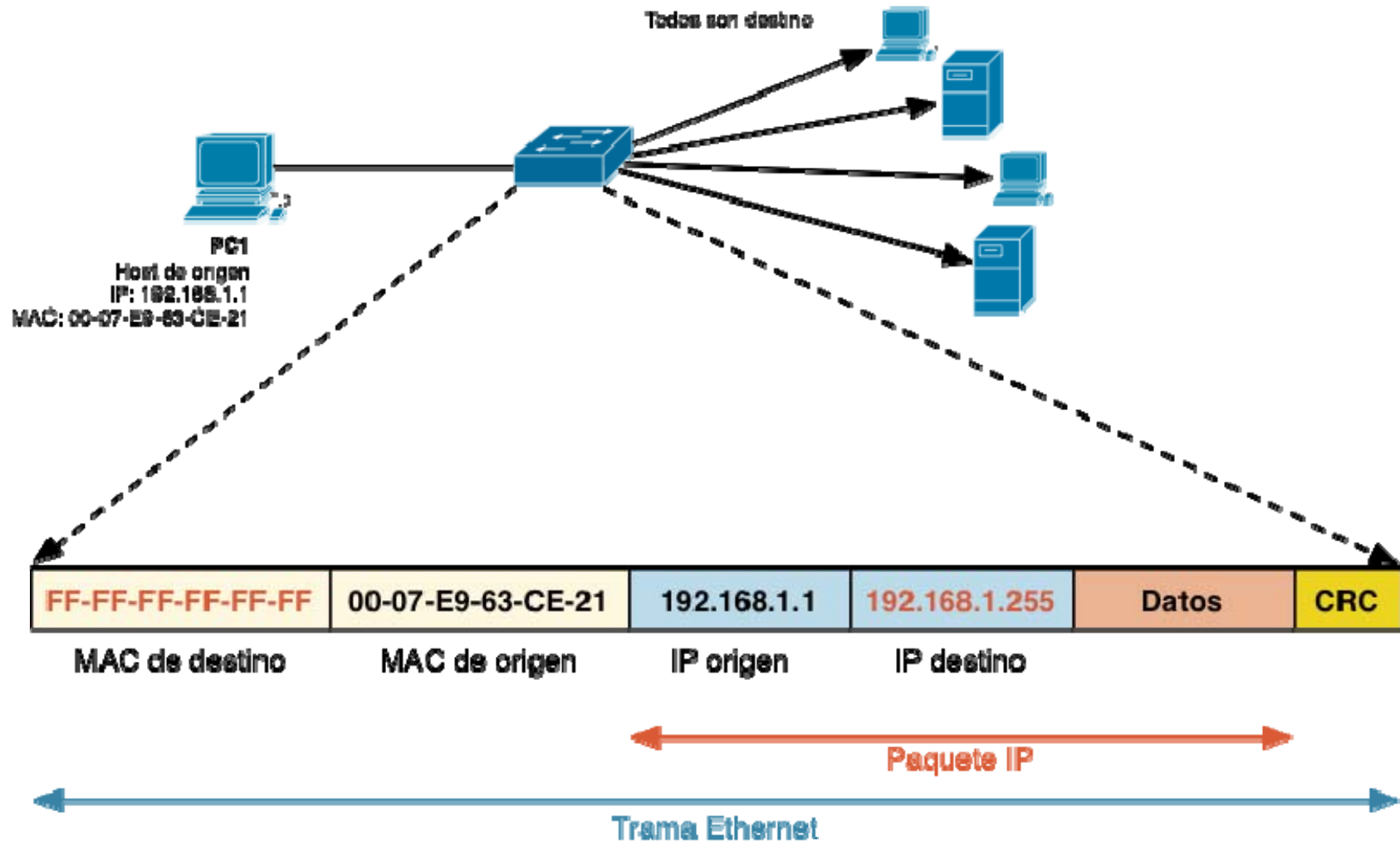
MAC Ethernet



Acceso y RAL

Direcciones MAC Broadcast

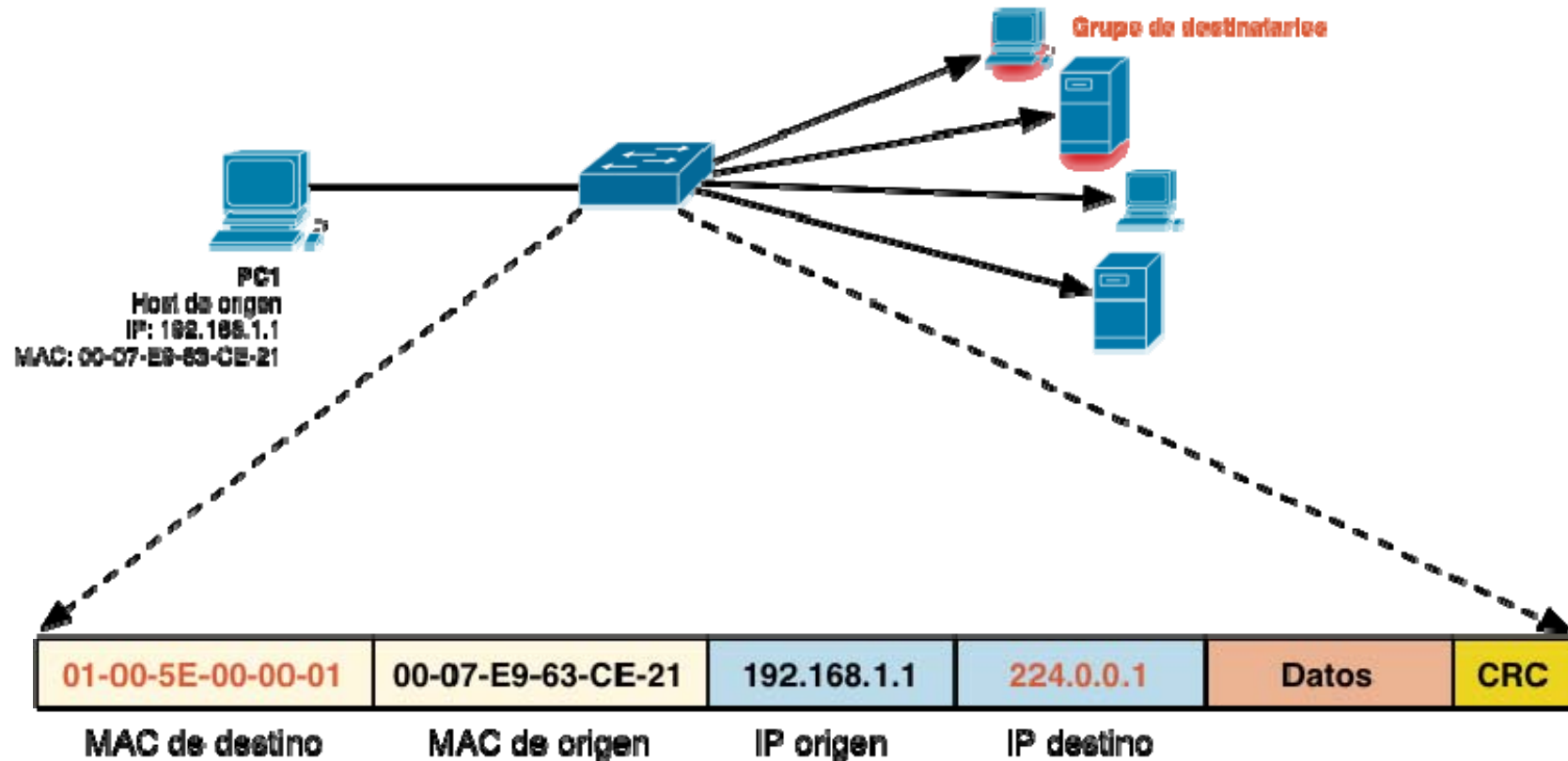
MAC Ethernet



Acceso y RAL

Direcciones MAC Multicast

MAC Ethernet



Una dirección Multicast MAC comienza siempre con 01-00-5E en hexadecimal

Paquete IP

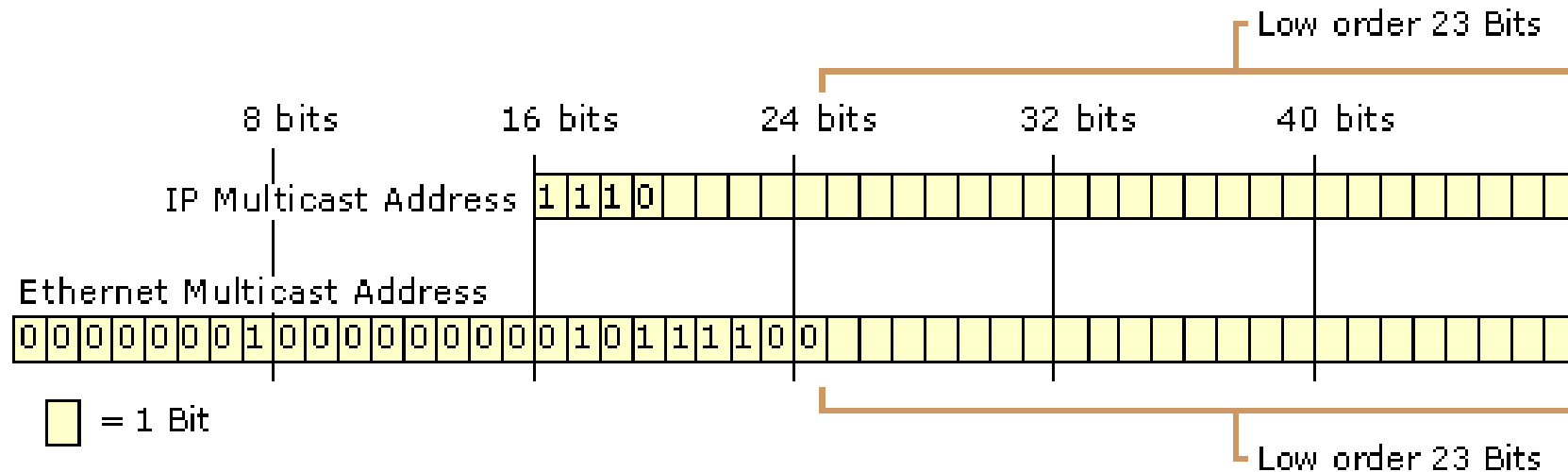
Trama Ethernet

El rango de direcciones IPV4 multicast va de 224.0.0.0 a 239.255.255.255

Acceso y RAL

Mapeo de direcciones IP multicast a Direcciones Ethernet multicast

Para soportar IP multicast se han reservado el rango de direcciones Ethernet de 01-00-5E-00-00-00 a 01-00-5E-7F-FF-FF



- Los últimos 23 bits de la dirección IP se mapean en los últimos 23 bits de la dirección Ethernet.
- Hay 5 bits de la dirección IP multicast que no se mapean en la dirección Ethernet, por lo que varias direcciones IP multicast (32) se mapean a la misma dirección Ethernet multicast.
- Se pueden entregar una trama con un paquete IP multicast a un terminal al que no va destinado. Lo descarta el nivel IP

MAC e IP

MAC Ethernet

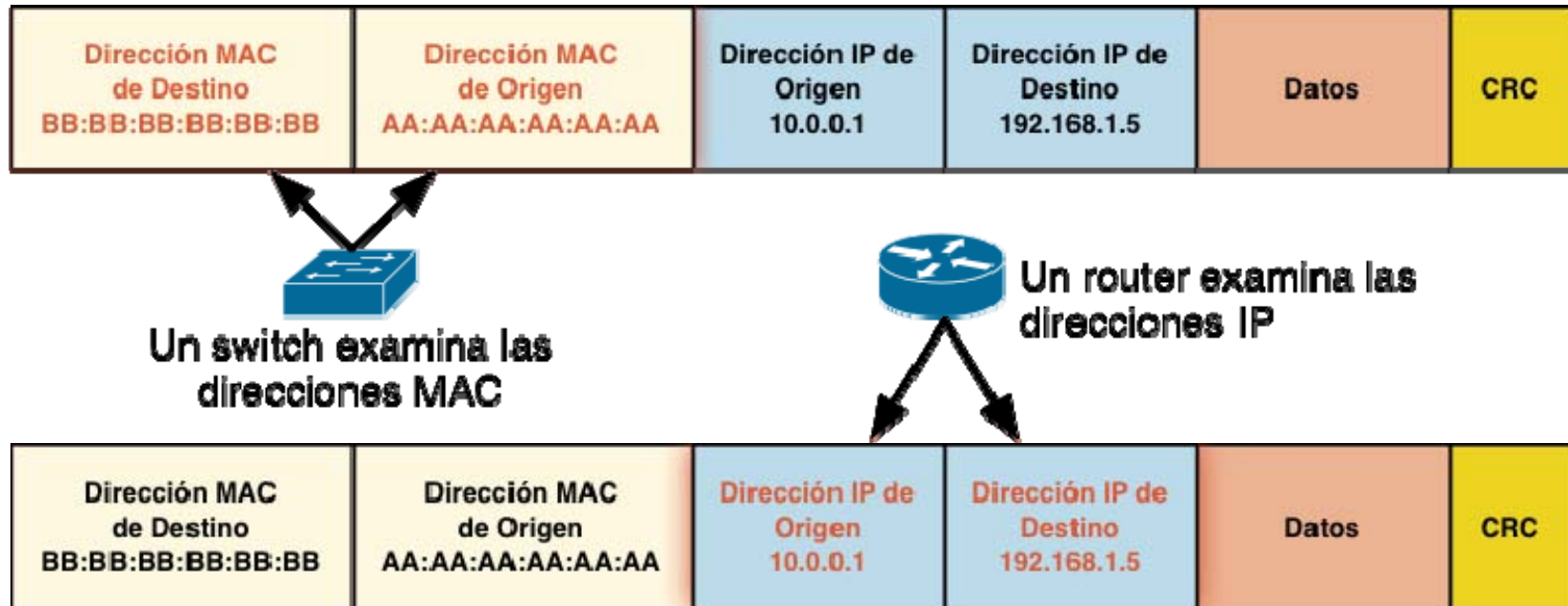
- **Dirección MAC**
 - Nunca cambia
 - Conocida también como dirección física al estar asignada físicamente a la tarjeta de red (NIC)
 - Se asemeja al nombre de una persona

- **Dirección IP**
 - Se asemeja al domicilio de una persona
 - Depende de dónde se encuentra realmente un host
 - Conocida también como dirección lógica
 - Asignada a cada máquina por el administrador de red

- Ambas direcciones son necesarias para llevar a cabo una comunicación entre máquinas

Conectividad extremo-a-extremo

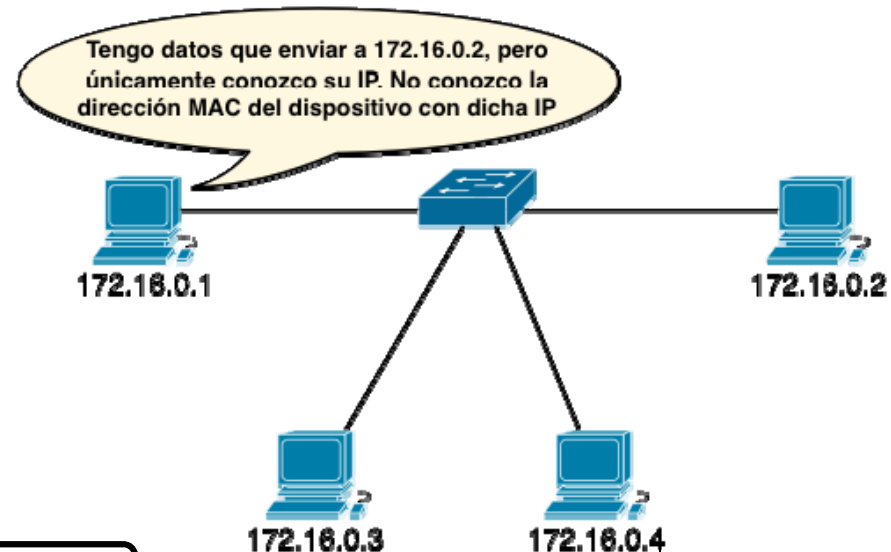
MAC Ethernet



Introducción a ARP

ARP

- Una máquina que tiene datos que enviar necesita un mecanismo con el que averiguar la dirección MAC del destino dentro de la red local
- El protocolo ARP ofrece dos funciones básicas:
 - Devuelve la dirección MAC asociada a una dirección IPv4
 - Mantiene una tabla con las asociaciones



Funcionamiento ARP

ARP

▫ La tabla ARP

- Se utiliza para obtener la dirección MAC asociada a la dirección IPv4 de destino
- Una máquina, según va recibiendo tramas por el medio, captura la dirección IP de origen y su MAC asociada y las guarda temporalmente en su tabla ARP.

▫ Petición ARP

- Se realiza una petición *broadcast* de nivel 2 a todos los dispositivos de la red local (Ethernet)
- El host que reconoce su dirección IP en el *broadcast*, contesta a la petición indicando su dirección MAC.
- Si no contesta ningún dispositivo, el paquete se descarta al no poder crearse la trama.

- Es posible crear **entradas estáticas** en la tabla ARP

El papel de ARP

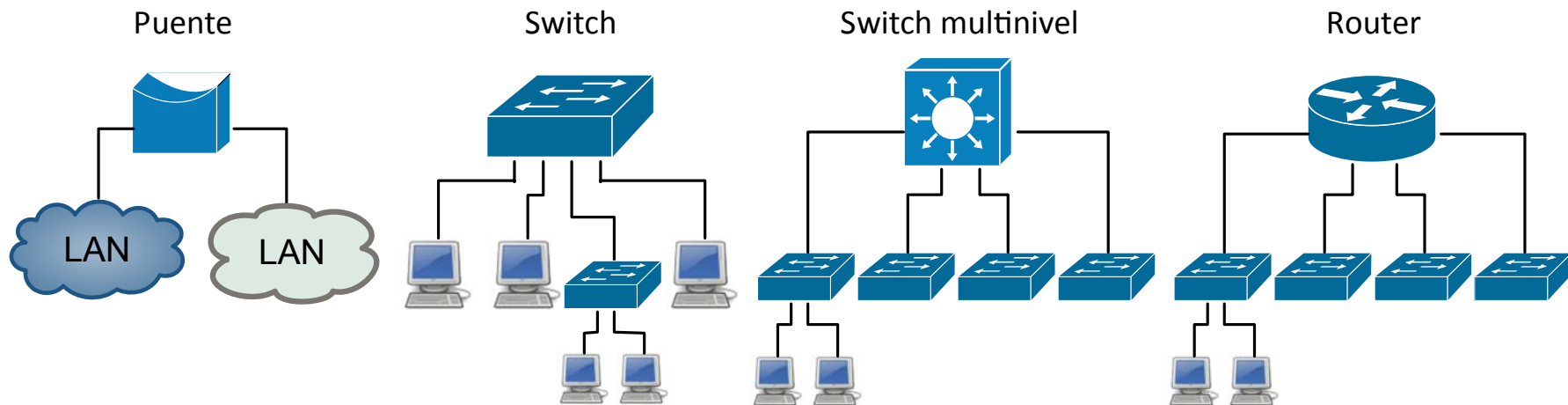
ARP

- Si el host de destino IPv4 está en la red de área local, la trama Ethernet utilizará la dirección MAC de dicho dispositivo como dirección MAC de destino
- Si el host de destino IPv4 no se encuentra en la red de área local, el origen utiliza ARP para determinar la dirección MAC de la interfaz del router que actúa de gateway y usarla como dirección MAC de destino
 - Si la dirección MAC del gateway no está en la tabla ARP, se realiza una petición ARP para obtenerla

Dispositivos de interconexión

¿Cómo conectar entre sí las estaciones?

- Permiten conectar entre sí los diferentes elementos de red, y por tanto, crear las redes de área local.



- Separan diferentes **dominios de colisión** y de **difusión**.

Dispositivos de interconexión

Puentes

- Dispositivo que permite segmentar una LAN, creando varios dominios de colisión.
 - Extienden el rango de una LAN de forma transparente
 - Las LAN no tienen porque ser del mismo tipo
 - Punto de acceso WiFi: Puente WiFi <-> Ethernet
 - Almacenan temporalmente las tramas
 - Retransmiten en base a la dirección MAC de destino
 - No disponen de funcionalidad de control de flujo

Dispositivos de interconexión

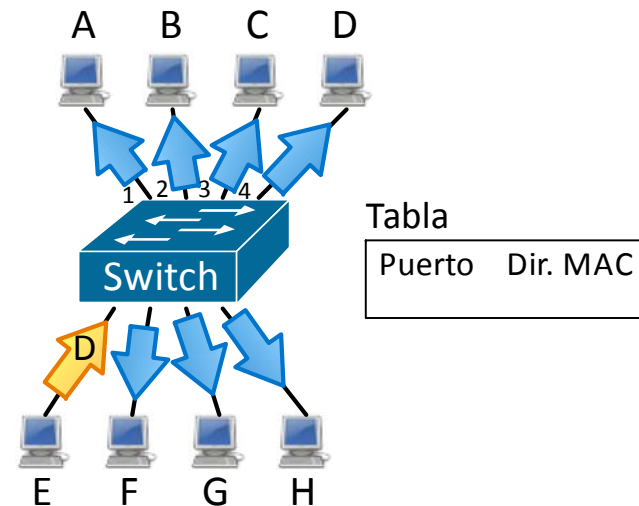
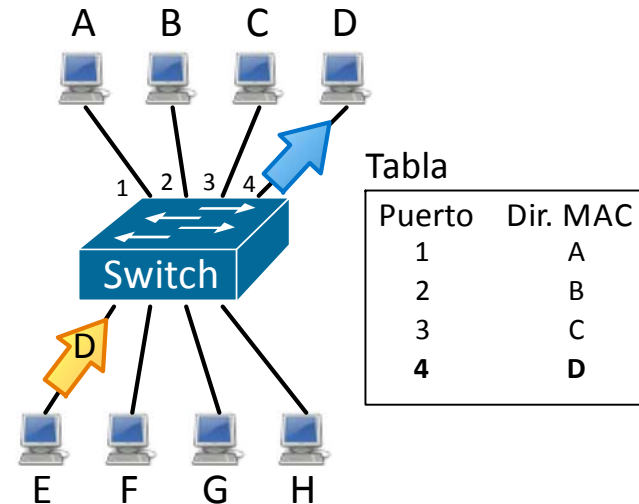
Switch. Conmutación de tramas Ethernet

- El *switch* es un dispositivo evolución del puente.
 - Es un puente multipuerto que permite comunicaciones simultáneas, separando dominios de colisión.
 - No necesita configuración:
 - Aprende las direcciones MAC de cada estación conectada a cada puerto
 - Construye tablas de conmutación en base a dichas MAC.
 - Si no conoce una dirección MAC (no está en sus tablas), difunde la trama por todos los puertos excepto por el que le ha llegado.
 - Depende de un router para enviar datos entre subredes IP
 - Técnicas de conmutación:
 - Almacenamiento y retransmisión (*Store and Forward*)
 - *Cut-through*
 - *Fast Forwarding*
 - *Fragment Free*

Dispositivos de interconexión

Switch. Funcionamiento básico

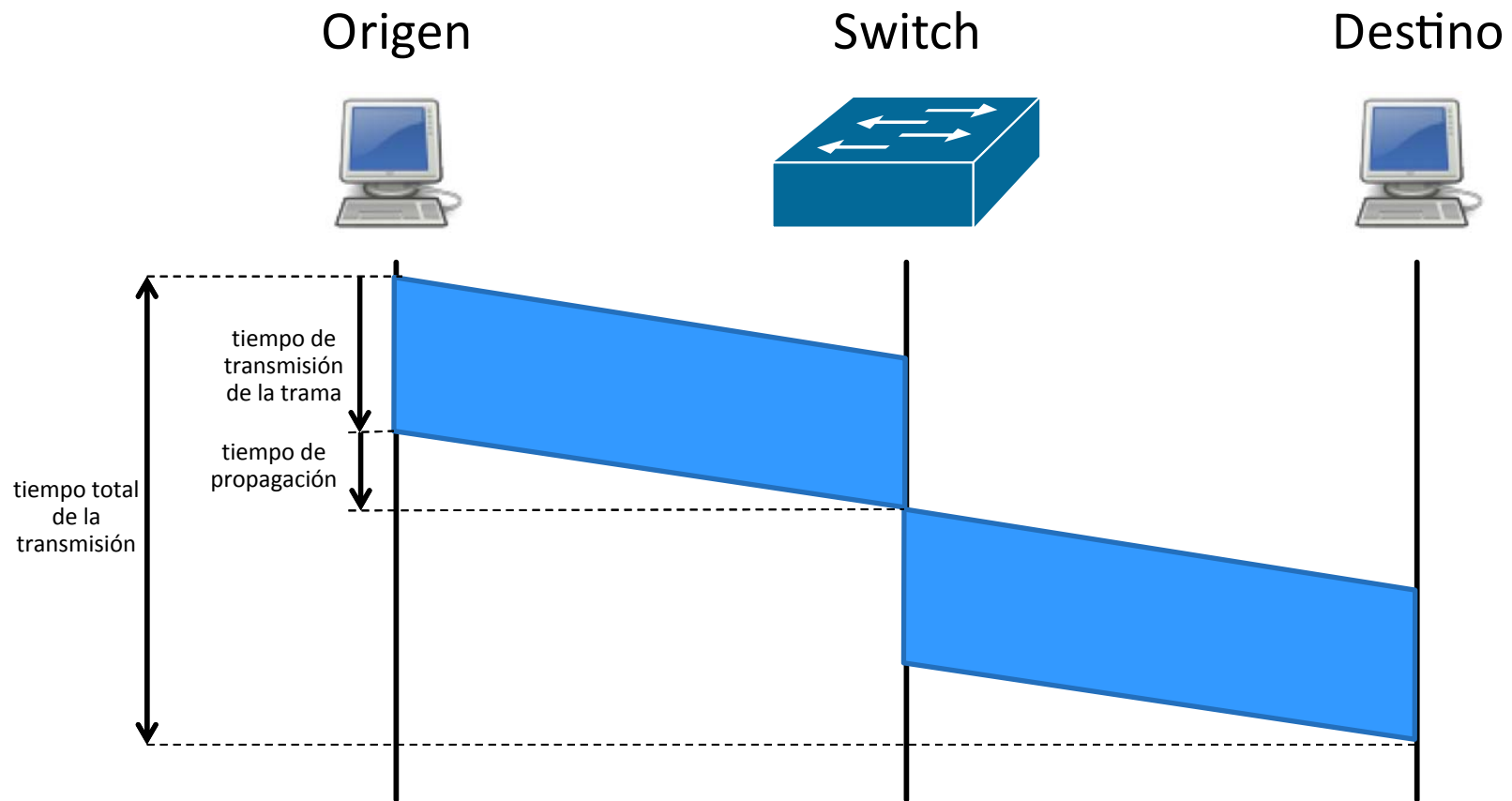
- Las tramas se retransmiten en función de la dirección MAC de destino
- Permiten el funcionamiento dúplex:
 - No hay colisiones
 - No hay limitación de distancia a nivel MAC
- Si la dirección Ethernet destino no está incluida en su tabla de encaminamiento, la trama se retransmite por todos los puertos del *switch* excepto por el que se recibió.
- Aprenden monitorizando las direcciones MAC origen de las tramas que conmutan



Dispositivos de interconexión

Switch. Técnicas de conmutación

Almacenamiento y retransmisión

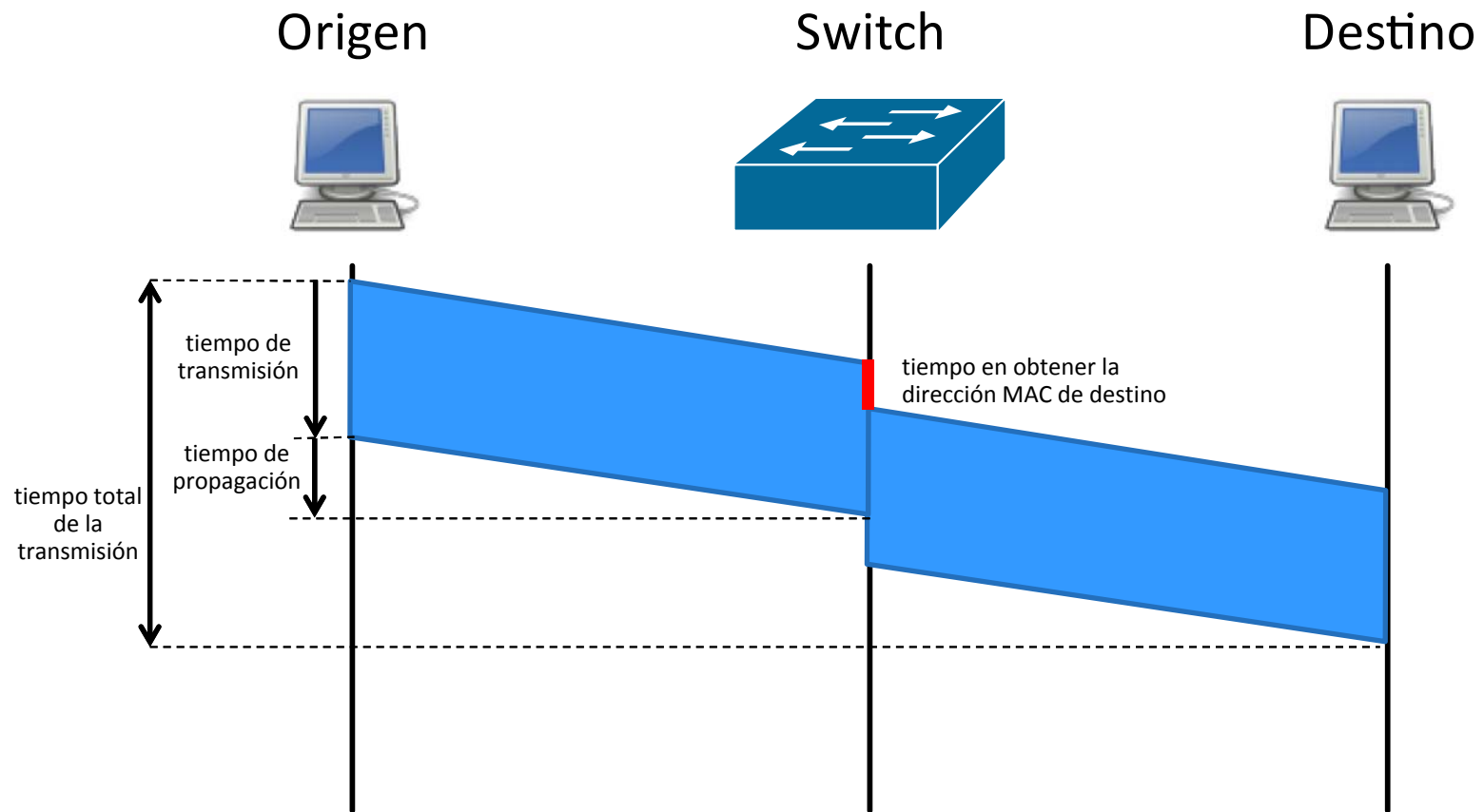


Acceso y RAL

Dispositivos de interconexión

Switch. Técnicas de conmutación

▸ *Cut-through*

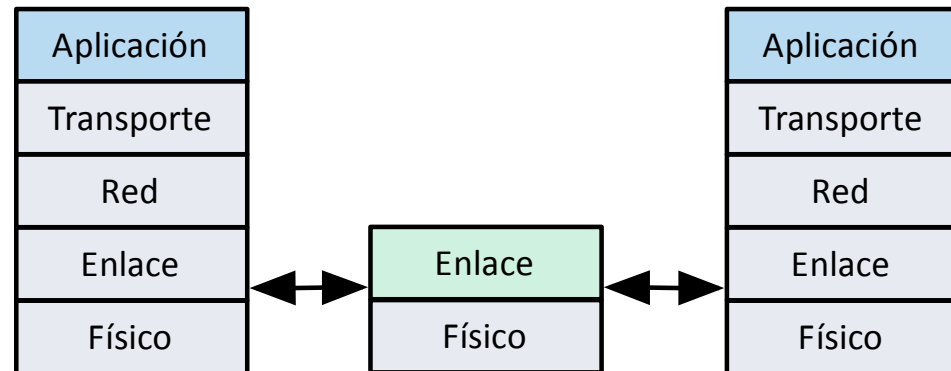
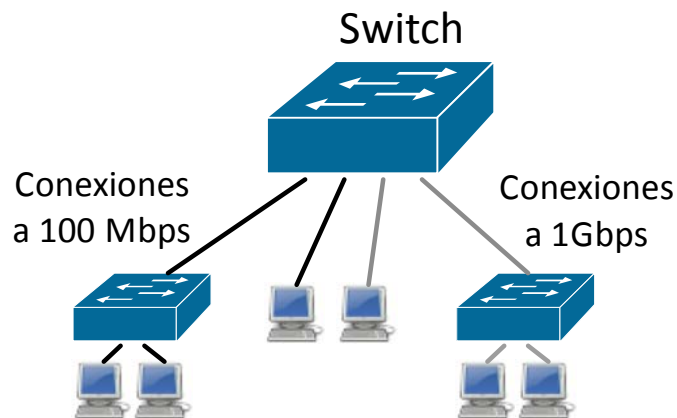


Acceso y RAL

Dispositivos de interconexión

Switch. Velocidad y Arquitectura

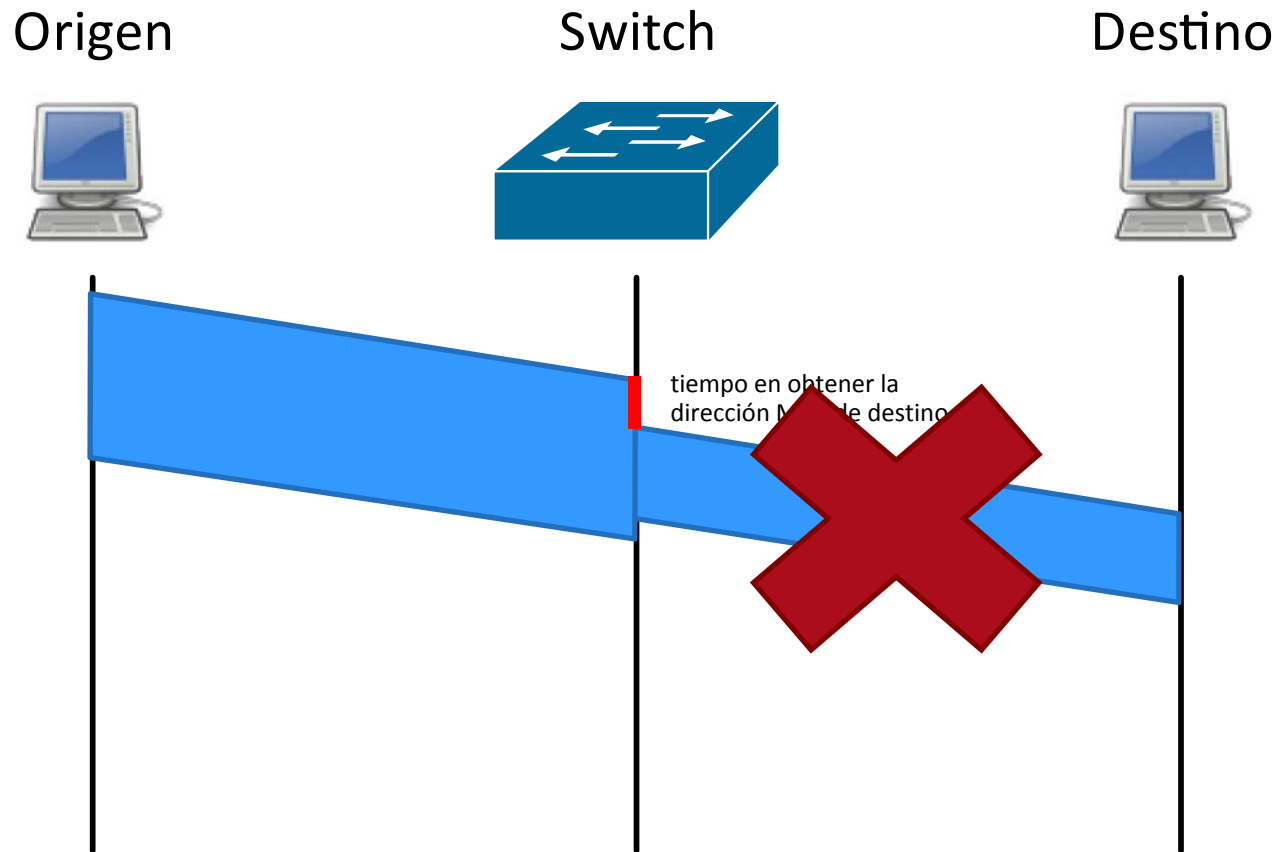
- Los *switch* permiten conectar dispositivos a diferente velocidad
 - No se puede utilizar *cut-through* hacia puertos más rápidos que el de recepción



Dispositivos de interconexión

Switch. Técnicas de conmutación

- *Cut-through* con mayor velocidad en salida



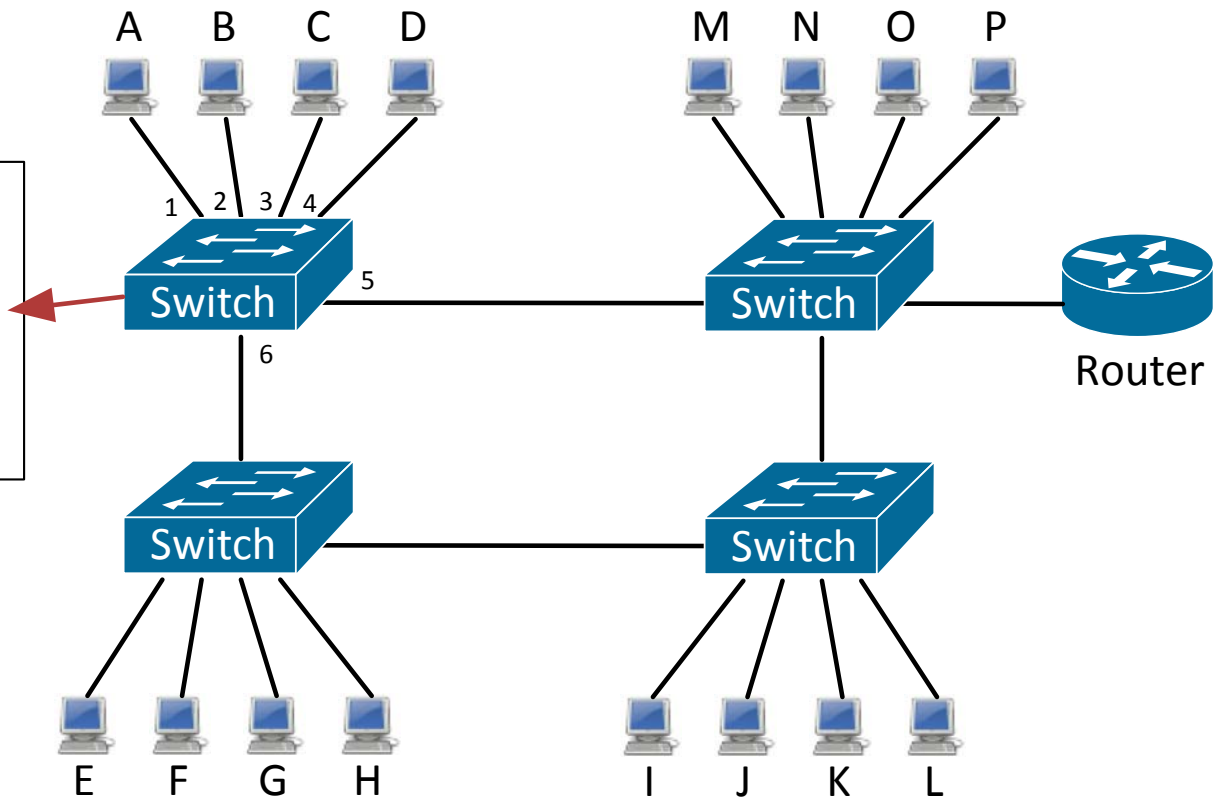
Acceso y RAL

Dispositivos de interconexión

Switch. Bucles

Tabla de encaminamiento

Puerto	Dir. MAC
1	A
2	B
3	C
4	D
5 (6) ?	M, N, O, P
6 (5) ?	E, F, G, H, I, J, K, L



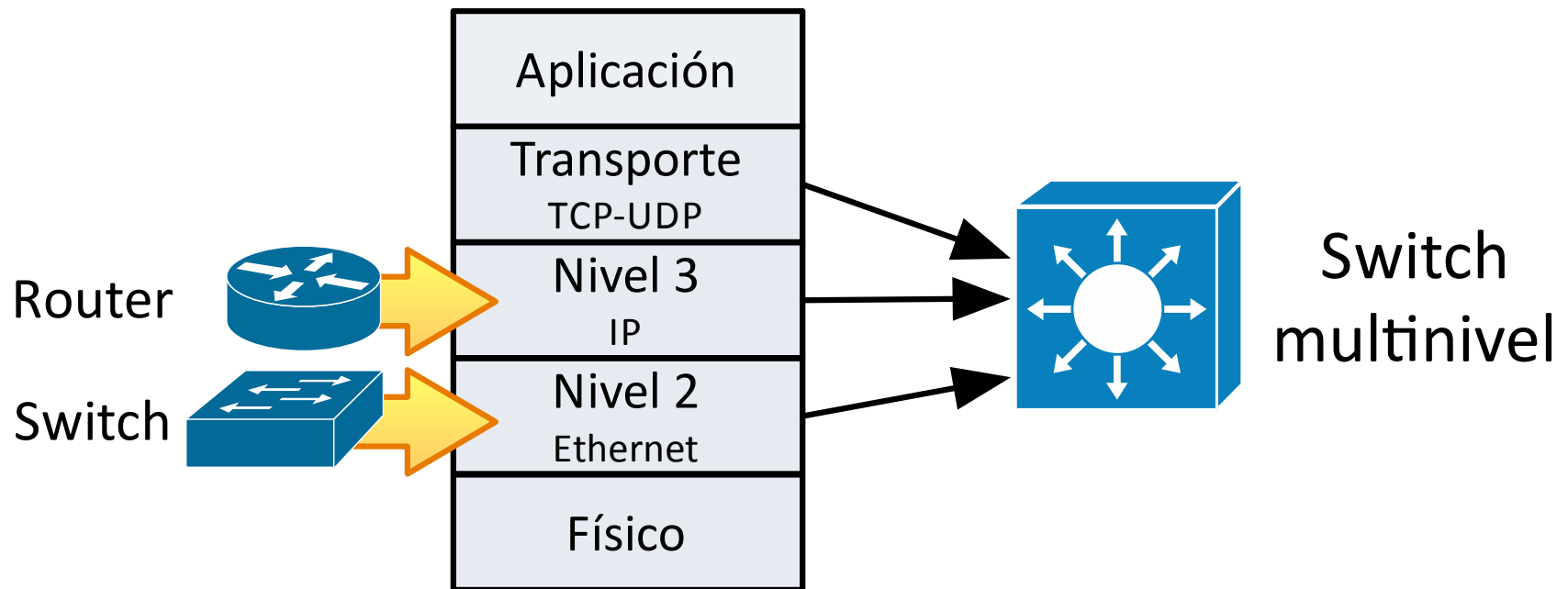
Dispositivos de interconexión

Switch. Limitaciones

- No limitan el dominio de difusión
- No limitan el tráfico multicast
- Son susceptibles a los bucles (*loops*)
 - Necesidad de utilizar mecanismos de poda de bucles
 - STP (*Spanning Tree Protocol*)
 - Aumenta la complejidad
 - Puede tener convergencia lenta

Dispositivos de interconexión

Switches y Routers. Switch Multinivel



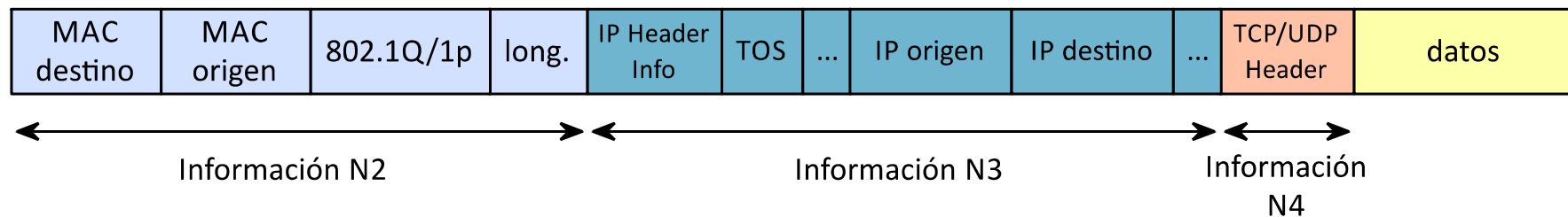
Dispositivos de interconexión

Switches y Routers. Switch Multinivel

- **Switch Nivel 2**
 - Conmuta a partir de la dirección MAC

- **Switch Nivel 3**
 - Conmuta a partir de la dirección MAC dentro de una misma VLAN
 - Incluye funcionalidad de nivel 3 (encaminamiento, filtrado, *multicast*, etc.)
 - Encamina utilizando las direcciones IP entre diferentes VLAN

- **Switch Nivel 4**
 - Filtra tráfico analizando los puertos TCP/UDP



Acceso y RAL

Dispositivos de interconexión

Control de flujo. Trama PAUSE

- Se ha definido un tipo de trama de control MAC, denominada PAUSE, que solamente se puede utilizar en estaciones dúplex.
- Cuando el dispositivo (terminal, conmutador, etc.) estima que se ha superado un determinado umbral de ocupación de buffers, transmite una trama PAUSE al dispositivo par implicado en la comunicación.
- Formato de la trama PAUSE:
 - MAC Destino: Se ha especificado la dirección multicast especial “01:80:C2:00:00:01”. Los switches no reenvían esta trama.
 - MAC Origen.
 - Tipo: Se ha especificado el valor “0x8808”
 - OpCode: Se ha especificado el valor: “0x0001”
 - Parámetros: Incluye un valor que especifica el tiempo durante el cual el terminal emisor debe cancelar la transmisión de más tramas de datos

Preámbulo	SFD	MAC destino 01:80:C2:00:00:01	MAC origen	tipo 0x8808	Opcode 0x0001	Params	Reserved	SVT
Bytes 7	1	6	6	2	2	2	42	4

Acceso y RAL

Dispositivos de Interconexión

Autonegociación

- Puede ocurrir que los dos dispositivos implicados en una comunicación no soporten las mismas opciones (transmisión dúplex, control de flujo)
- La norma IEEE 802.3u define un mecanismo de autonegociación para que los dos extremos de una conexión física se pongan de acuerdo en los siguientes parámetros:
 - Velocidad de transferencia: 10, 100 o 1000 Mbps
 - Modo de trabajo: dúplex o semidúplex
 - Control de flujo: soportado o no
- La autonegociación también optimiza la labor de instalación de las RALs, anulando los posibles errores humanos que pudieran producirse en el desarrollo de esta actividad.
- El proceso de autonegociación lo realiza el nivel físico, y tiene lugar al arrancar los dispositivos o en una reinicialización efectuada por razones de mantenimiento.

Test

1. ¿Qué es cierto en relación con las direcciones físicas o MAC?
 - a) Se deben configurar al conectar el ordenador a la red
 - b) Un ordenador con una tarjeta Ethernet y otra WiFi comparten la dirección en ambas tarjetas
 - c) Son direcciones de 32 bits representadas en decimal
 - d) Permiten identificar al fabricante de las tarjetas de red

2. ¿En qué se diferencian las redes de área local Ethernet II del estándar IEEE 802.3?
 - a) No tienen ninguna diferencia
 - b) En el significado del campo longitud/tipo de la trama.
 - c) En los medios físicos empleados
 - d) En el formato de las direcciones MAC

Test

3. En el protocolo Ethernet la recuperación de tramas perdidas por errores de transmisión:
- a) Se realiza mediante retransmisión de la trama errónea al vencimiento del correspondiente temporizador.
 - b) Se realiza mediante la retransmisión de la trama errónea al recibir la trama de rechazo simple.
 - c) Se realiza mediante la comprobación de la Secuencia de Verificación de Trama
 - d) No es posible
- 4 El protocolo STP (Spanning Tree Protocol) se utiliza para ...
- a) eliminar bucles en una red Ethernet
 - b) configurar las tablas de conmutación de los switches
 - c) negociar los parámetros de una estación Ethernet en el arranque
 - d) solucionar el problema de tener dos equipos con la misma dirección MAC

5.Cuál de las siguientes afirmaciones es correcta con respecto a las redes Ethernet?

- a) Todas las estaciones Ethernet II soportan control de flujo por estar definido en el estándar
- b) Un switch que soporte cut-through siempre opera en este modo
- c) El soporte de tramas Pause se negocia en el arranque de las estaciones
- d) Un switch tiene que interconectar estaciones que funcionen a la misma velocidad

6. Un switch que recibe una trama Ethernet cuya dirección ...

- a) DESTINO no se encuentra en su tabla de conmutación, anota esa dirección asociada al puerto por el que la recibe
- b) ORIGEN no se encuentra en su tabla de conmutación, conmuta esa trama por todos los puertos menos por el que la recibe
- c) DESTINO se encuentra en su tabla de conmutación, conmuta la trama hacia todos los puertos
- d) ORIGEN se encuentra en su tabla de conmutación asociada a otro puerto, actualiza dicha entrada

Ejercicios Ethernet

1 ¿Cuál es eficiencia del nivel de enlace en Ethernet II?

- ¿Y en redes IEEE 802.x?

2 Calcule el tiempo de transmisión de la trama de longitud mínima en una red FastEthernet y en una red Gigabit Ethernet.

3 Calcule el tiempo que se tarda en transmitir un datagrama IP de 1.500 octetos entre dos equipos conectados a una red FastEthernet con dos switches

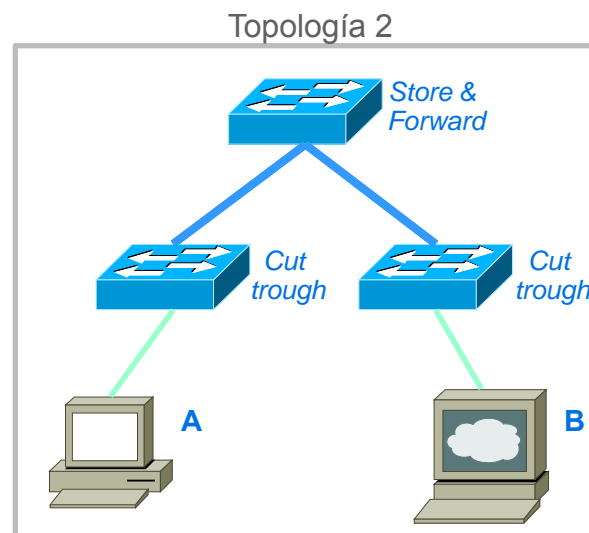
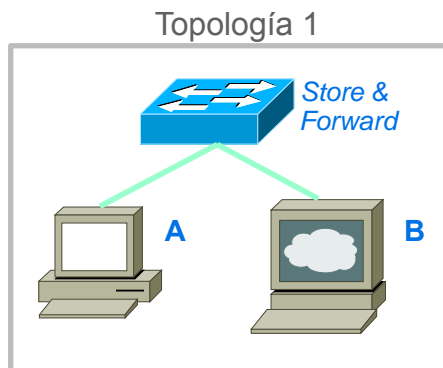
- Desprecie el tiempo de propagación

Ejercicios Ethernet

4 ¿Por qué puertos retransmite un *switch* recién arrancado la primera trama que recibe?

- ¿Qué campo(s) de la cabecera Ethernet utiliza para aprender la topología?

5 Calcule el tiempo necesario para transmitir una trama de tamaño máximo de A a B en las siguiente topologías:



— Fast Ethernet
— Gigabit Ethernet

Acceso y RAL

3.2 Redes de Área Local Virtuales (VLANs)

- Introducción a las VLAN
- Tipos de VLAN
- Identificación de VLAN
- Encaminamiento entre VLAN

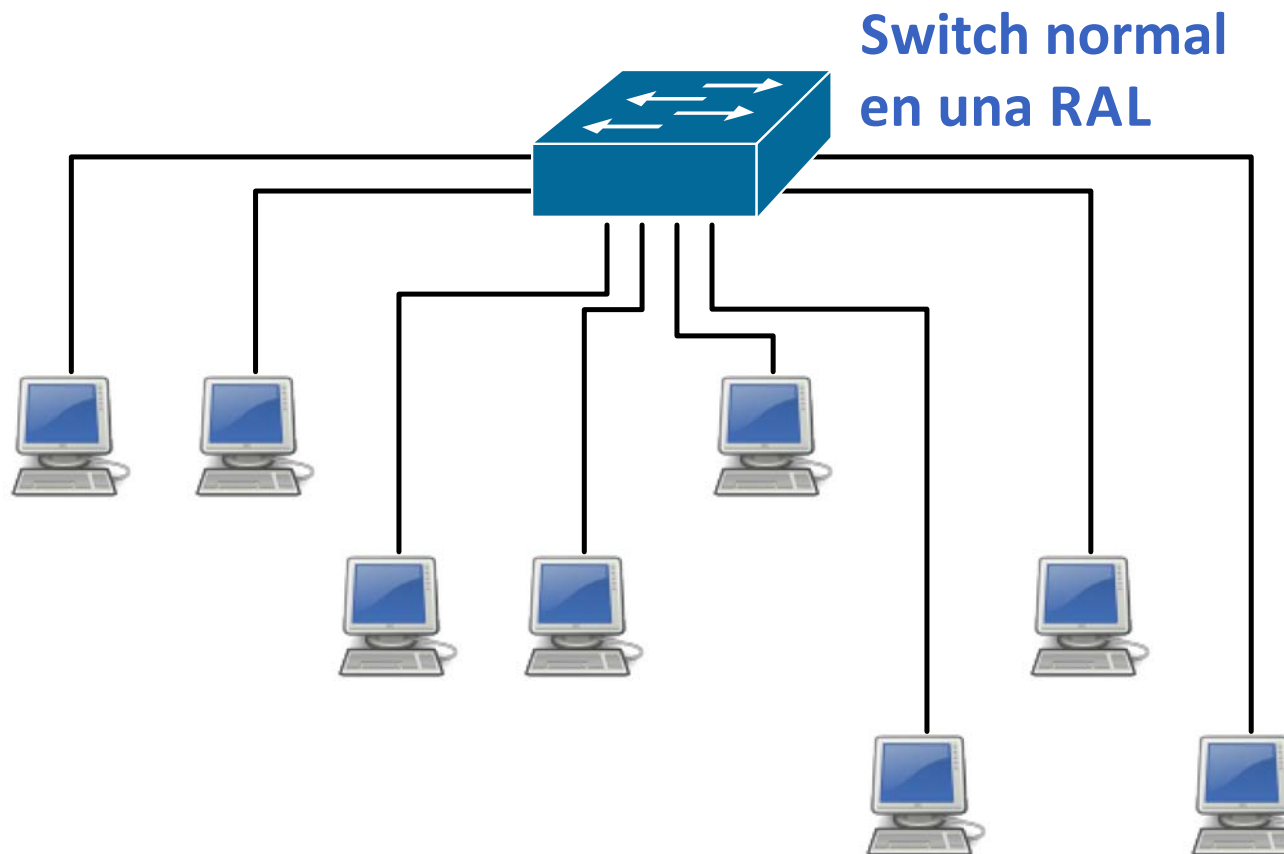
Redes de área local virtuales

Introducción a la tecnología VLAN

- Una red de área local virtual, o VLAN, es una partición lógica de una red física de nivel 2
 - La partición lógica tiene lugar en los “switches”
- Cada VLAN se corresponde con un dominio de broadcast
- Las VLAN están aisladas unas de otras a nivel 2, por lo que los paquetes destinados a una VLAN diferente deben llegar a través de un dispositivo con funcionalidad de nivel 3
- Los equipos agrupados dentro de una VLAN no son conscientes de la existencia de dicha VLAN

Redes de área local virtuales

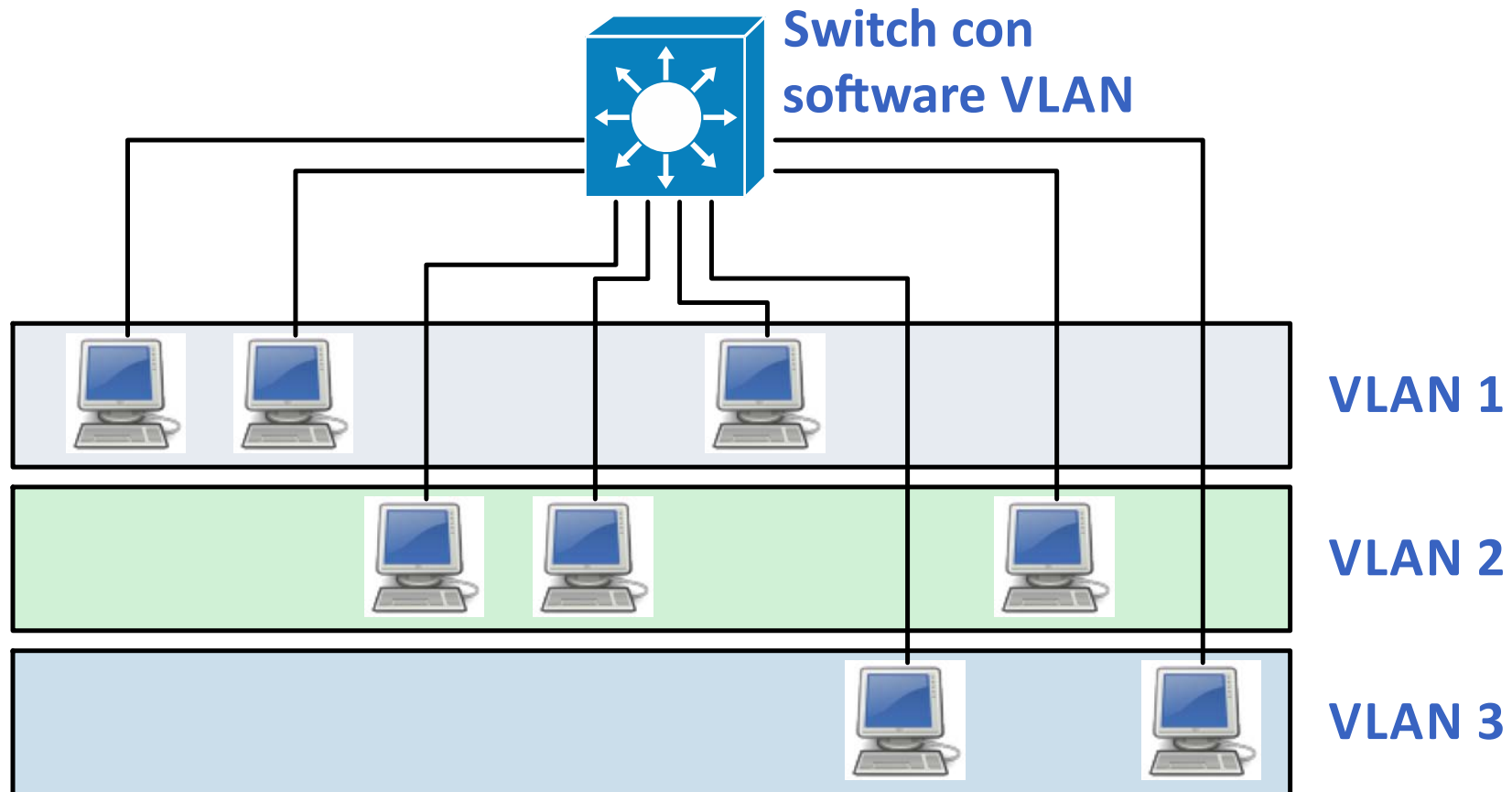
Introducción a la tecnología VLAN



Acceso y RAL

Redes de área local virtuales

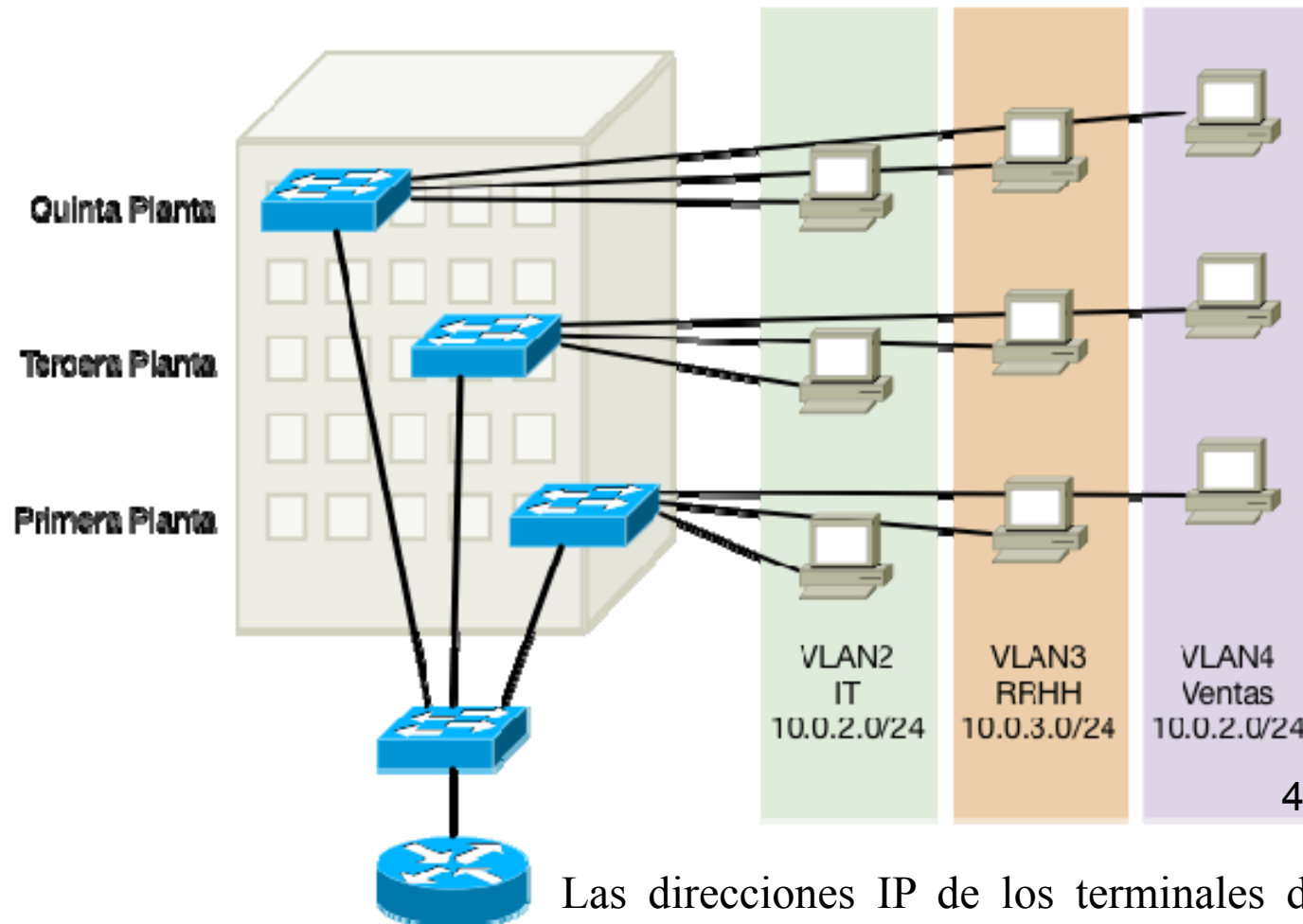
Introducción a la tecnología VLAN



Acceso y RAL

Redes de área local virtuales

Introducción a la tecnología VLAN



Las direcciones IP de los terminales de cada VLAN deben ser de subredes diferentes

Beneficios de las VLAN

Introducción a la tecnología VLAN

- Seguridad
- Reducción de costes
- Mejor rendimiento
- Dominios de broadcast reducidos
- ...

Tipos de VLAN

Introducción a la tecnología VLAN

- **VLAN por defecto**
 - VLAN a la que pertenecen todos los puertos de un switch cuando no están asignados a ninguna otra VLAN
- **VLAN de gestión y administración**
 - Necesita IP por la que acceder a gestionar y administrar las redes de área local virtuales
- **VLAN de datos**
 - VLAN de estudiantes, VLAN de profesores, etc...
- **VLAN de voz**
 - Para tráfico VoIP, con QoS

Pertenencia a una VLAN

Identificación de VLANs

- **Por puerto:**
 - Impide el movimiento del puesto de trabajo
 - El 20 % de los puestos se mueven cada año
- **Por tabla de direcciones MAC:**
 - Cada dirección MAC insertada en la tabla tiene asociada una VLAN
- **Por dirección IP:**
 - Utilizando *switches* N3 o multinivel
- **Por etiqueta 802.1Q:**
 - Tramas *baby jumbo*, insertando un campo adicional.
 - Se utiliza en los enlaces troncales (*trunk*)

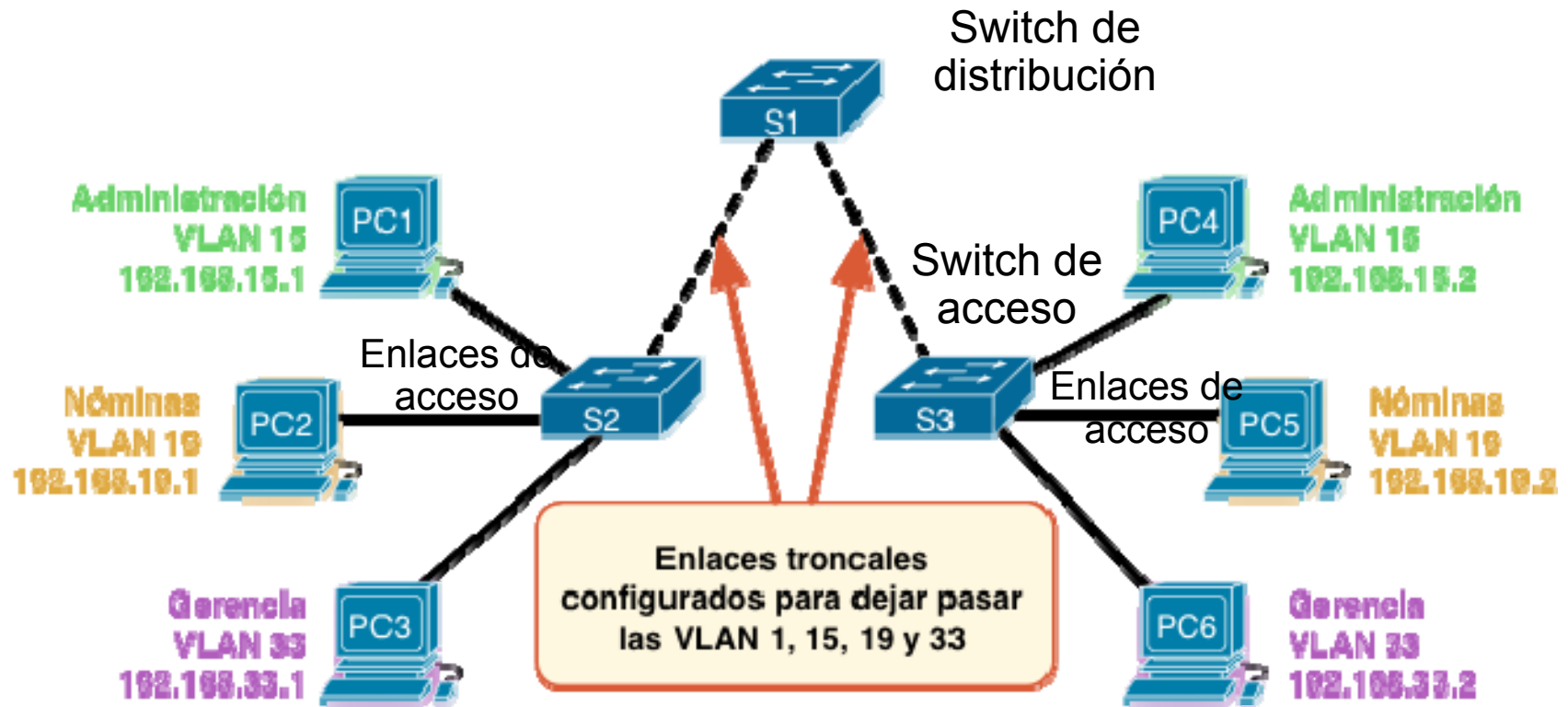
Enlaces troncales

VLAN en entornos con varios switches

- Un enlace troncal (*trunk*) es aquel que puede llevar datos de más de una VLAN
- Se establece típicamente entre switches, por lo que dispositivos pertenecientes a la misma VLAN pueden comunicarse a nivel 2 incluso cuando están conectados físicamente a diferentes switches
- Un enlace troncal no está asociado a ninguna VLAN concreta
- El protocolo de enlaces troncales más popular es **IEEE 802.1Q**

Enlaces troncales

VLAN en entornos con varios switches

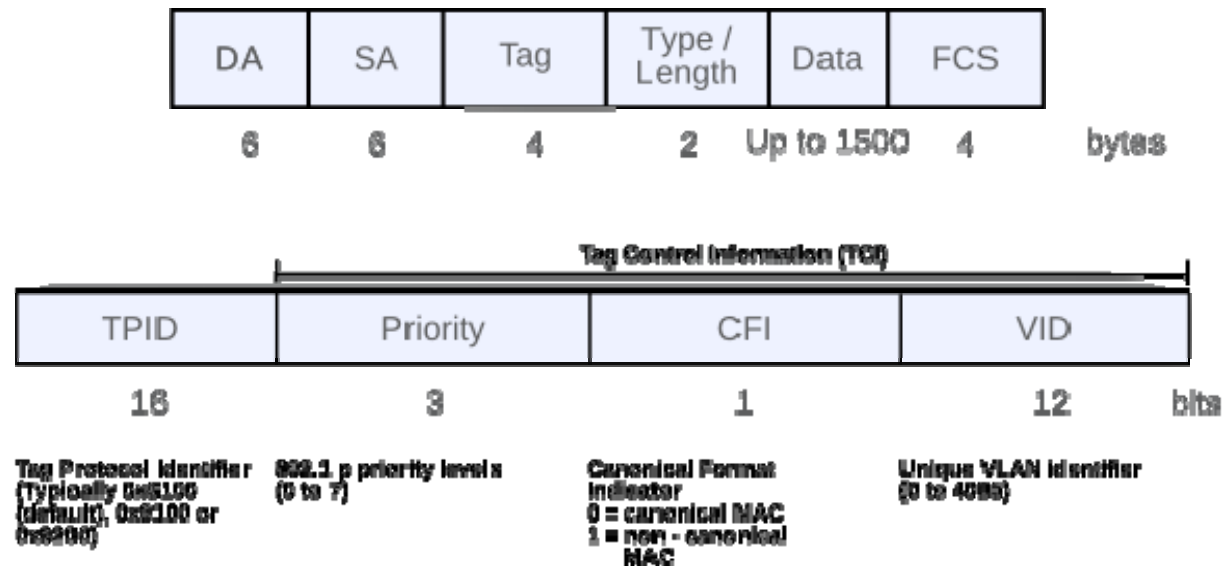


Acceso y RAL

Dispositivos de interconexión

Formato de trama 802.1Q

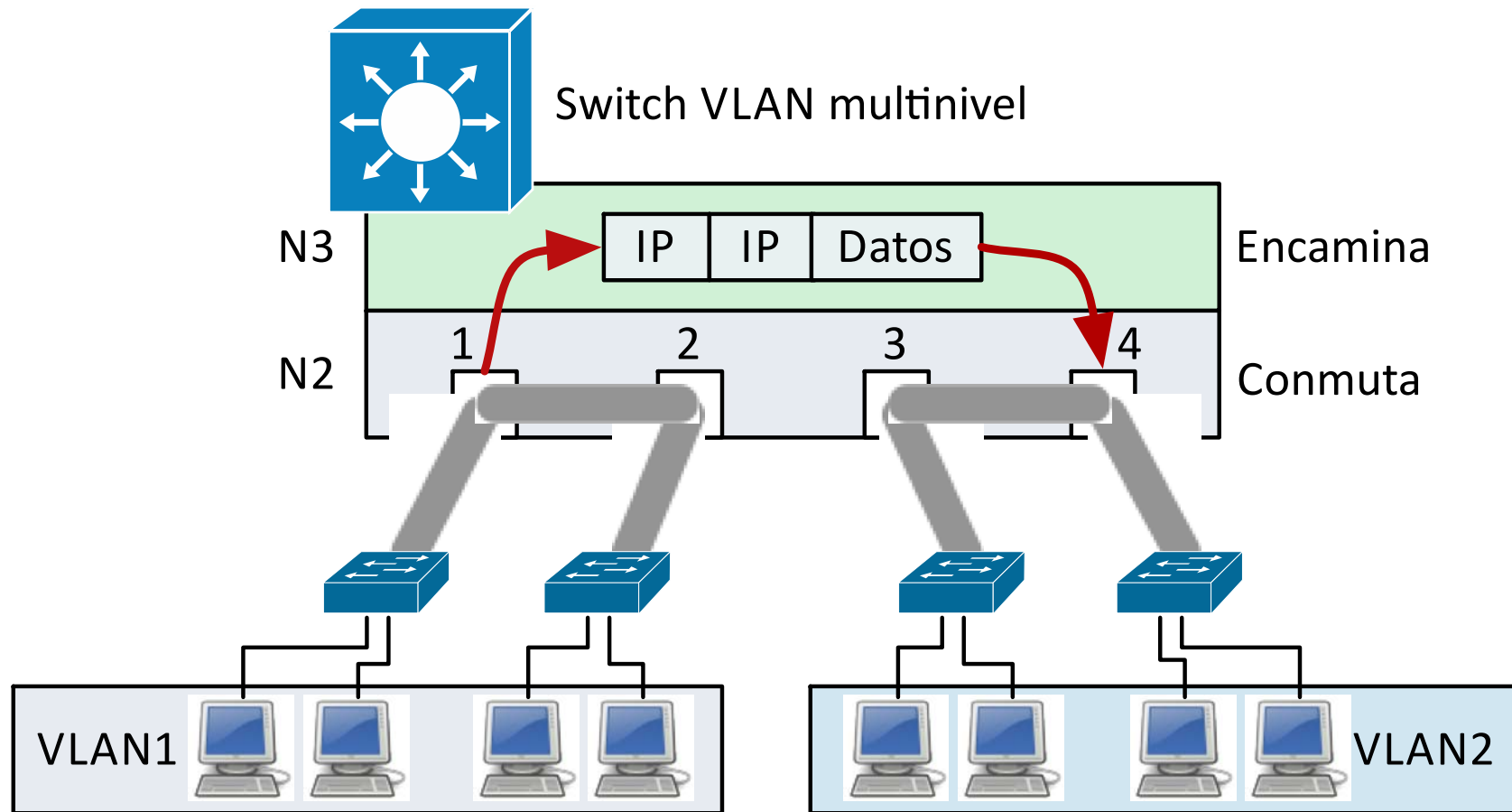
- Las estaciones envían y reciben tramas Ethernet normales.
- Los switches insertan la etiqueta, añadiendo un campo adicional a la trama Ethernet, y la retiran antes de entregar la trama a la estación de destino.
 - Usan tramas *baby jumbo*



Acceso y RAL

Encaminamiento entre VLANs

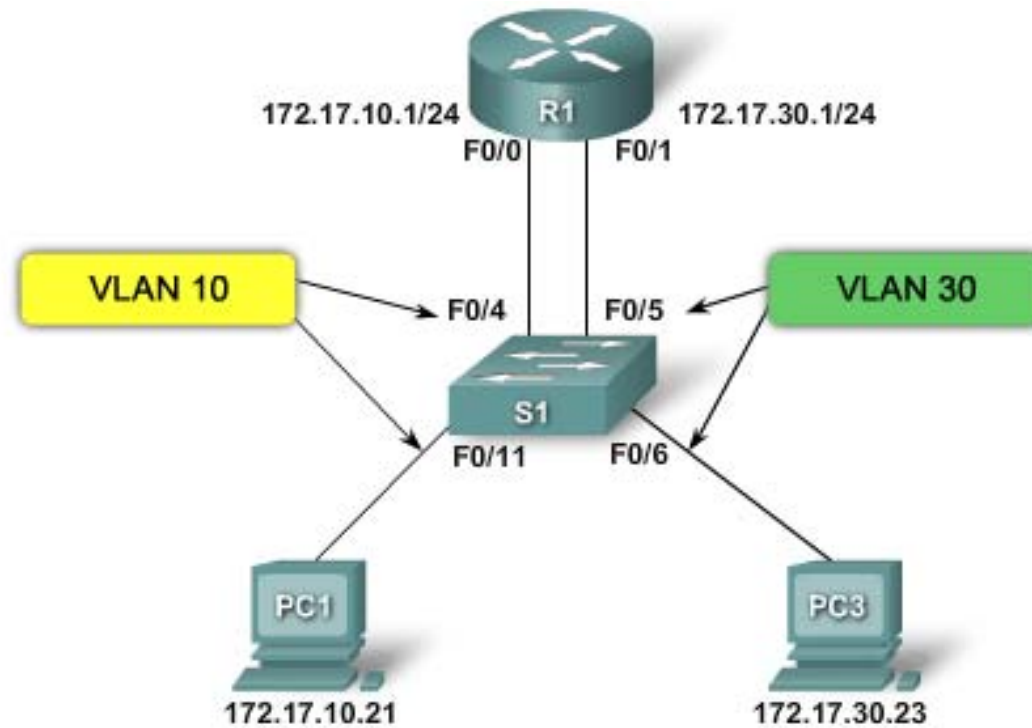
Uso de switch VLAN (multinivel)



Acceso y RAL

Encaminamiento entre VLANs

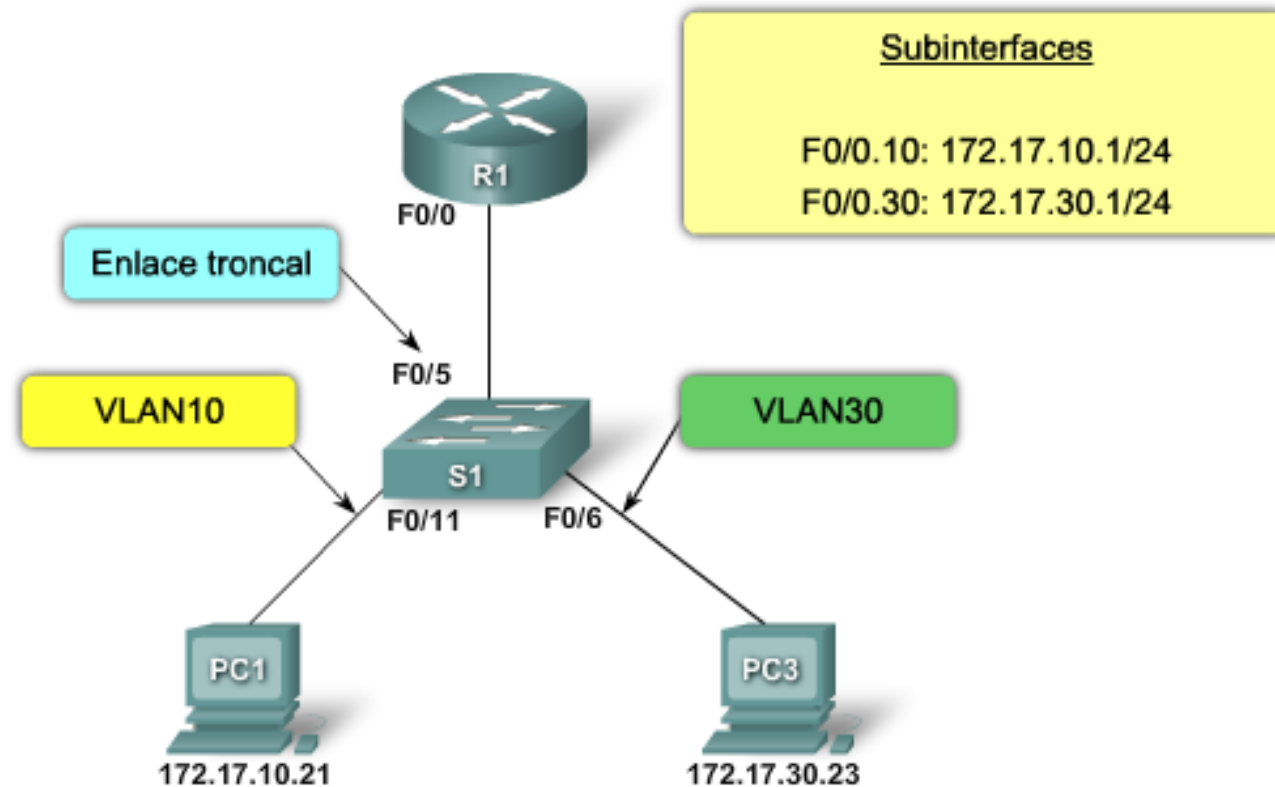
Uso de un router



Acceso y RAL

Encaminamiento entre VLANs

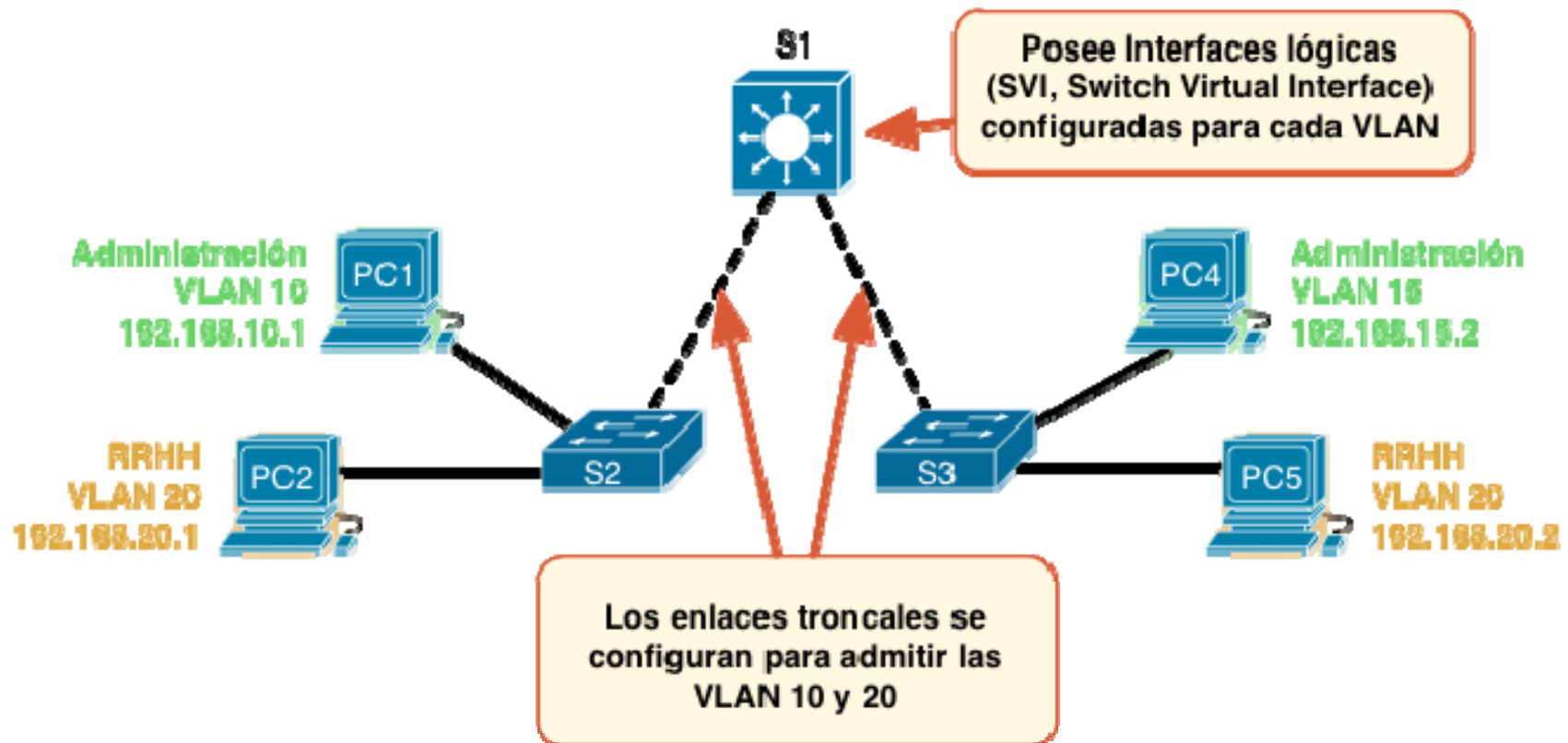
Uso de un router con enlace troncal



Acceso y RAL

Encaminamiento entre VLANs

Uso de switch VLAN (multinivel)

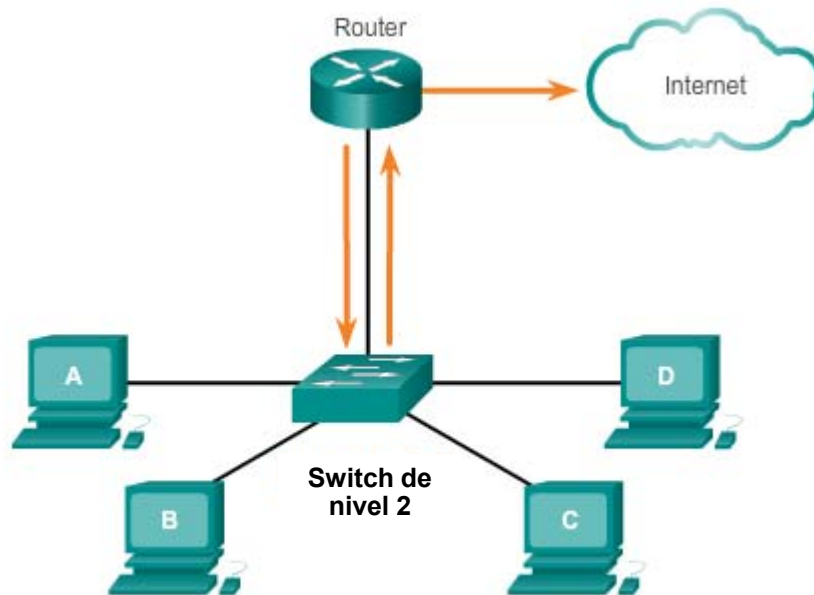


Acceso y RAL

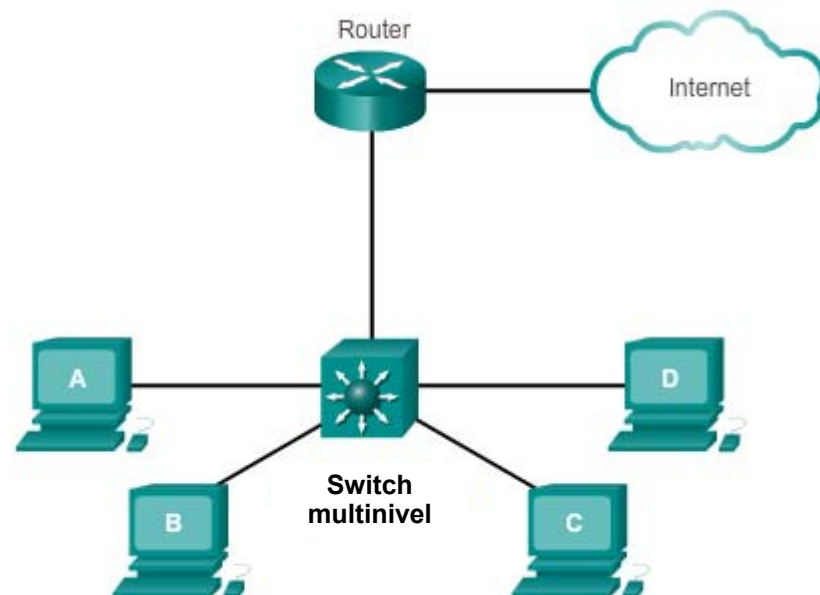
Dispositivos de interconexión

Switches de nivel 2 vs. Switches Multinivel

Encaminamiento a nivel 3 en el router

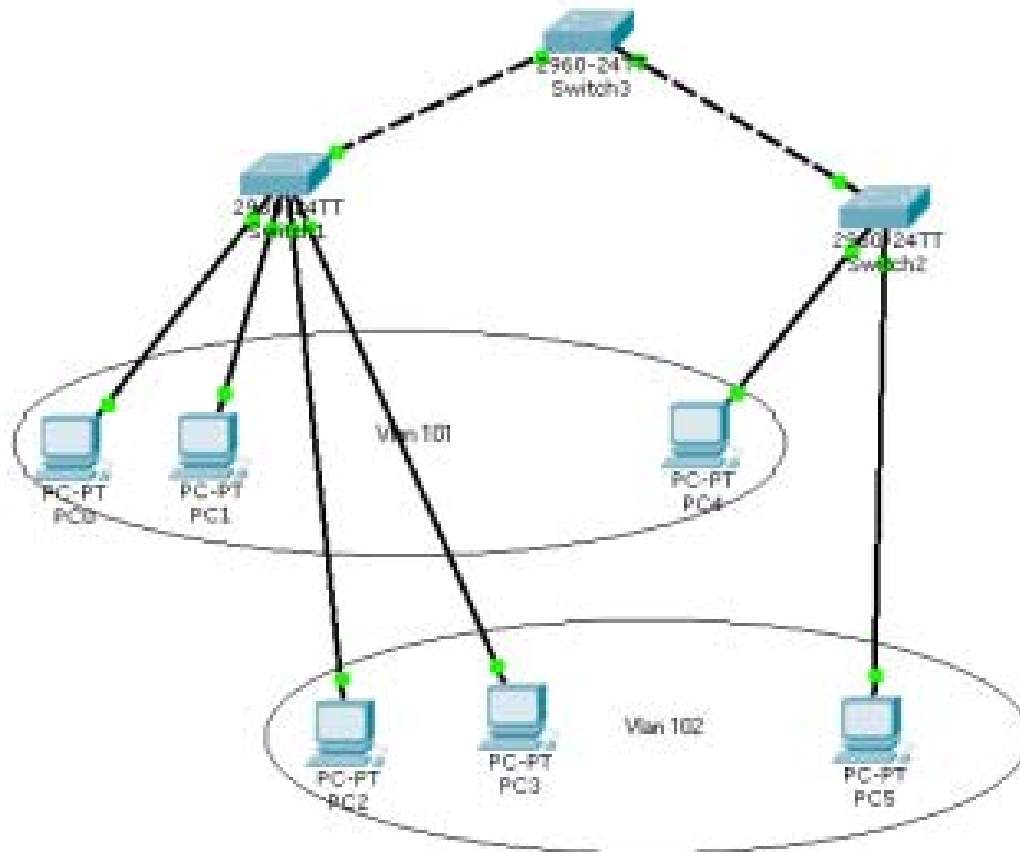


Encaminamiento a nivel 3 en el switch



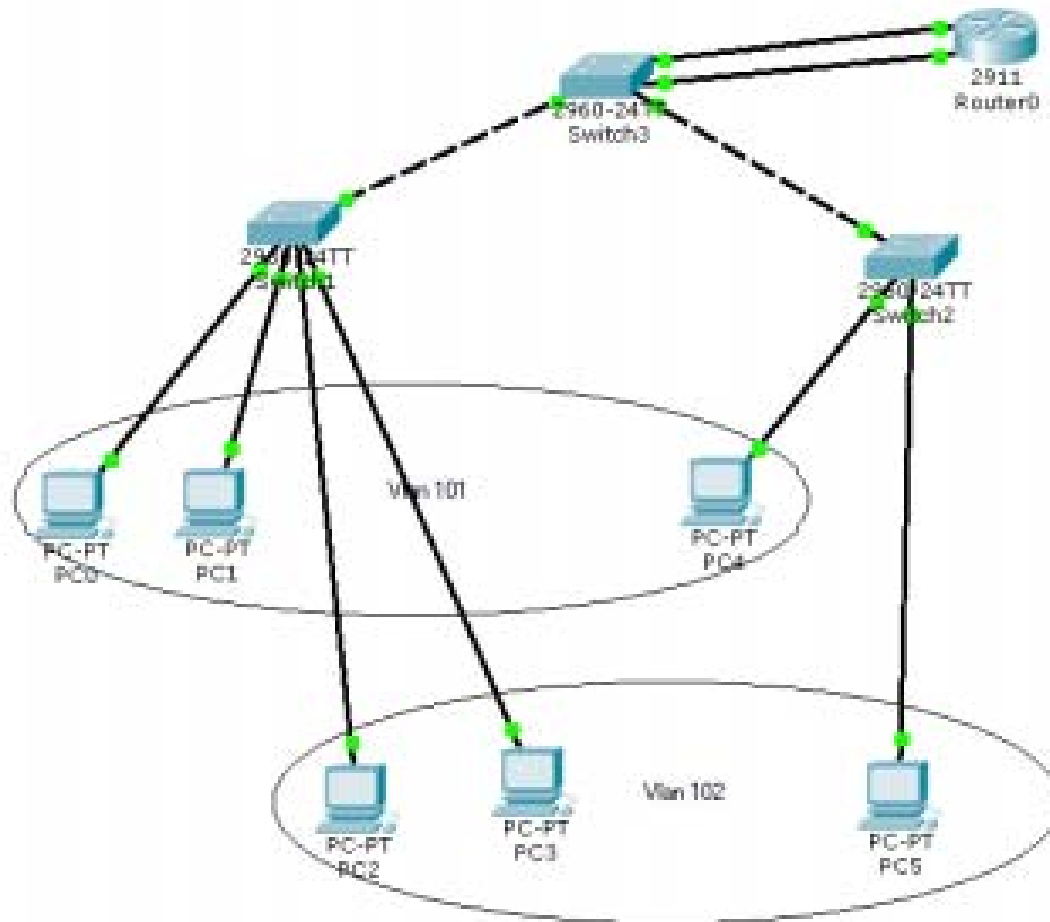
Acceso y RAL

Ejemplo 1: Ping PC0 a PC4

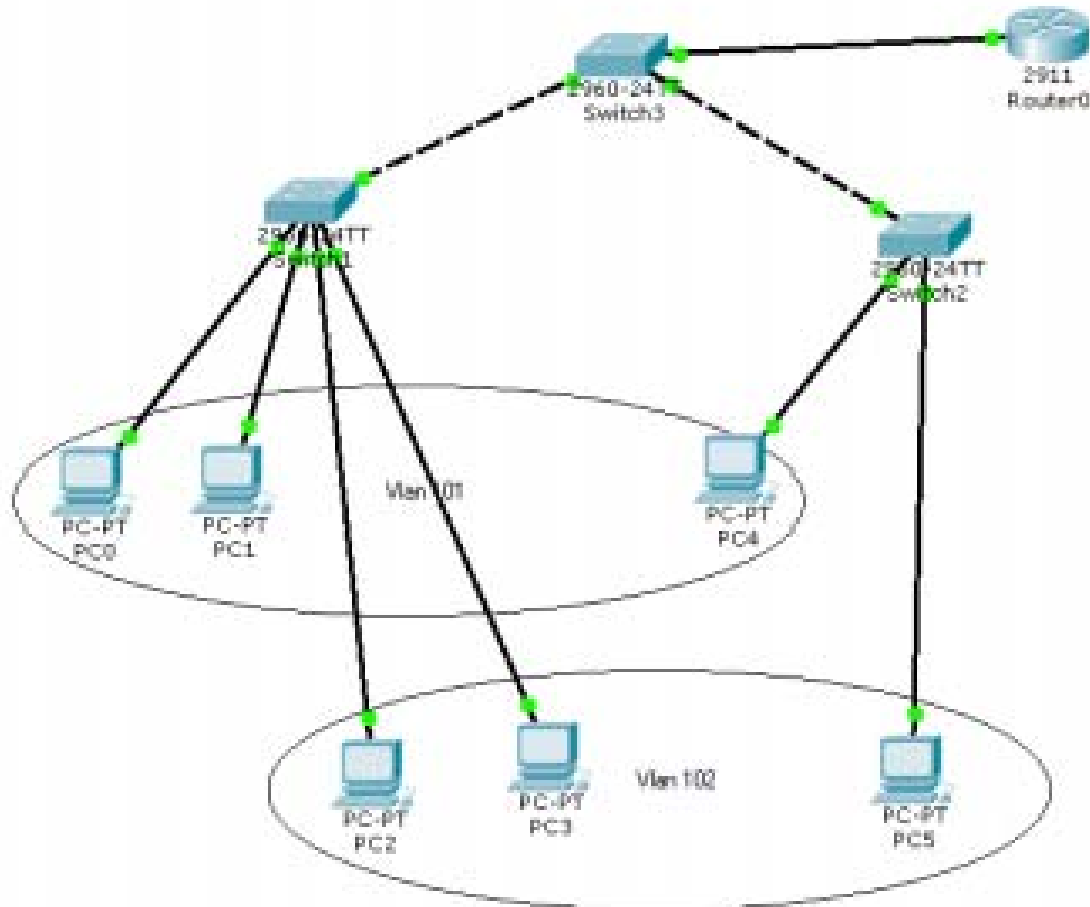


Acceso y RAL

Ejemplo 2: Ping PC0 a PC5

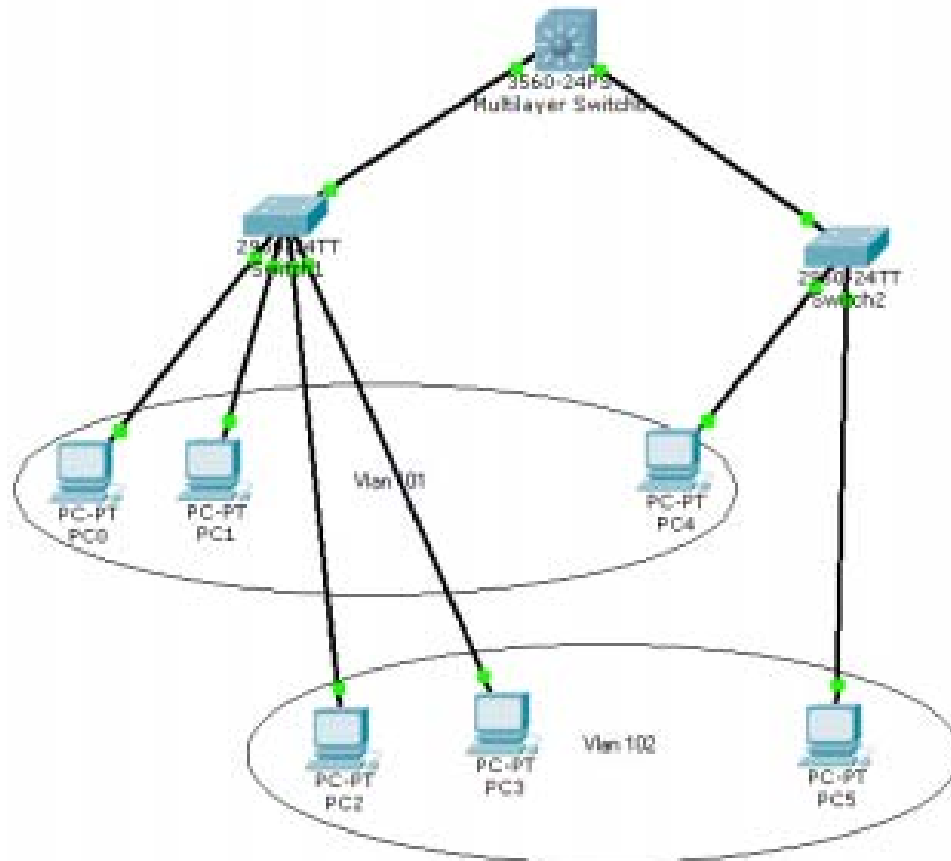


Ejemplo 3: Ping PC0 a PC5



Acceso y RAL

Ejemplo 4: Comparación Ping PC0 a PC4 y Ping PC0 a PC5



Acceso y RAL

7. En una topología donde los switches definen varias VLANs...

- a) se pueden comunicar estaciones pertenecientes a VLANs diferentes únicamente a través de un switch multinivel
- b) un equipo puede comunicarse con todos los equipos de la red a través de un broadcast de nivel 2
- c) las VLAN sirven para crear subredes físicas
- d) las VLAN aumentan el número de dominios de difusión

8. ¿Cuál de las siguientes afirmaciones es cierta en relación con un enlace troncal de VLAN?

- a) Es un enlace que soporta el etiquetado de tramas para identificar las VLANs
- b) Es el enlace con el que se conectan las estaciones finales y el switch
- c) Tiene que estar asignado a la VLAN de gestión en ambos switches
- d) Es un enlace en el que las tramas nunca van etiquetadas

Test

9. En una Red de Área Local en la que se han implementado diferentes VLANs ...
- a) los equipos de diferente VLAN no pueden mantener ningún tipo de comunicación
 - b) las tramas de broadcast llegan a todos los equipos de la red
 - c) los equipos sólo se comunican a nivel de enlace con equipos de la misma VLAN
 - d) existe un único dominio de difusión
10. Dado un switch con funcionalidad VLAN que no ha sido configurado, y una serie de equipos finales conectados a sus diferentes puertos. ¿Habría conectividad de nivel 2 entre dichos equipos?
- a) No, faltaría especificar la VLAN por omisión para todos los puertos
 - b) No, porque cada puerto define un dominio de colisión diferente
 - c) No, ya que se debe configurar la VLAN a la que se accede en cada puerto
 - d) Si, ya que todos los puertos están configurados como puertos de acceso a la VLAN por omisión

Ejercicios VLAN

6. La Facultad de Informática posee una red de área local con la dirección IP **172.17.0.0 /16** con acceso desde los bloques 1 y 3. El centro de cálculo desea separar varios de los tráficos posibles mediante la creación de las siguientes VLAN:

- **Alumnos**, **Profesores**, **Pantallas de publicidad** e **Invitados**

Diseñe una posible solución de cómo quedaría la red (dibuje la topología), indicando al menos los números de VLAN y direcciones de subred asociadas (con máscara /24).

a) ¿Es posible comunicar una máquina de la VLAN de alumnos con otra de la VLAN de profesores? ¿Cómo se puede lograr dicha comunicación?

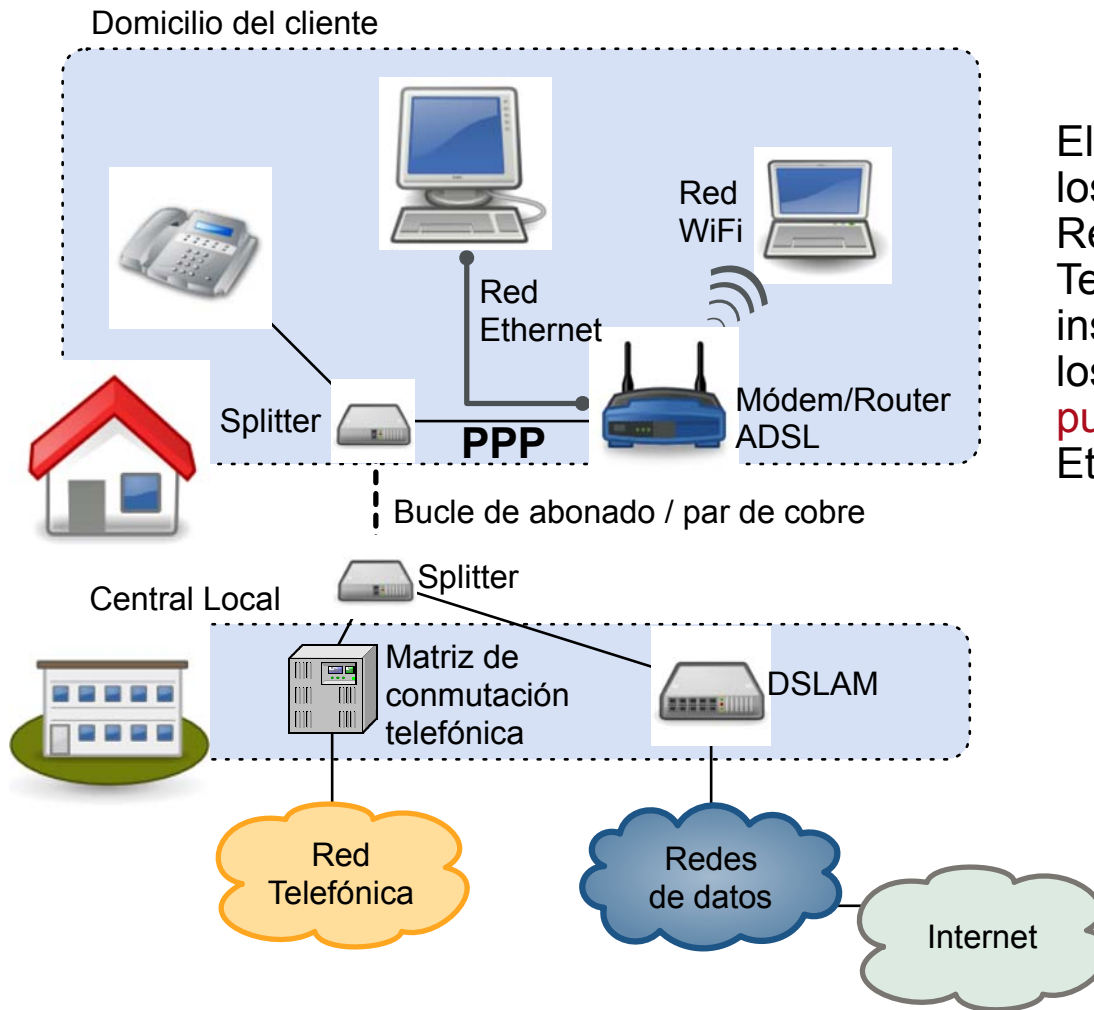
b) ¿Cuántos dominios de difusión existen?

3.3 Redes Inalámbricas

- Índice del apartado:
 - Tipos de redes inalámbricas
 - Encapsulación
 - CSMA/CA

Redes inalámbricas (WiFi)

IEEE 802.11



El router inalámbrico que los Operadores de Redes de Telecomunicaciones instalan en las casas de los clientes tiene el rol de **punto de acceso**, **switch** Ethernet y **router**

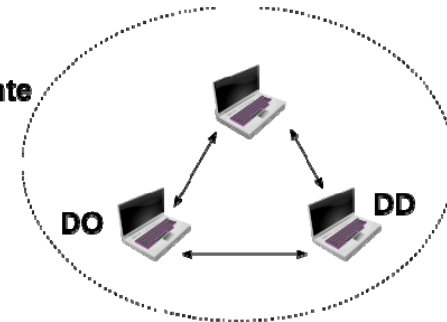
IEEE 802.11

Tipos de redes

- Redes Independientes
 - Comunicación directa entre terminales
- Redes de Infraestructura
 - La comunicación entre dos terminales se hace a través del PA
- Redes Extendidas
 - Un PA se comunica con otro PA

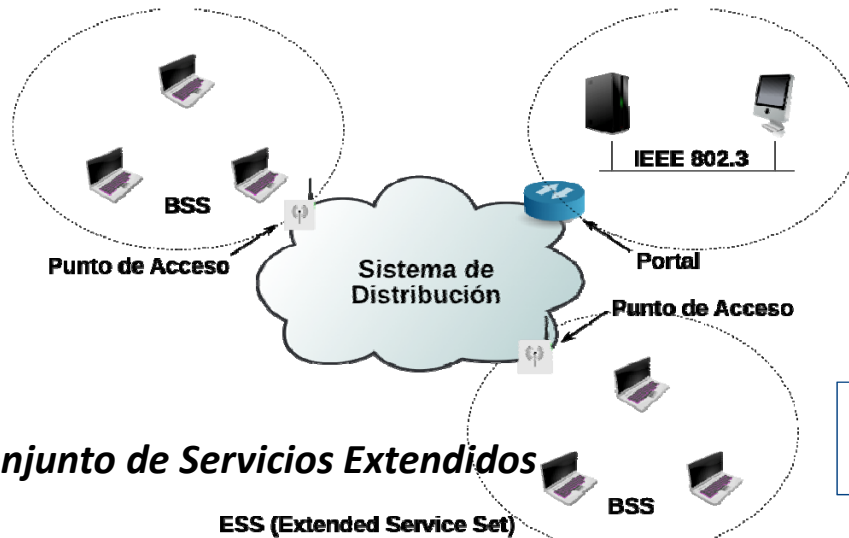
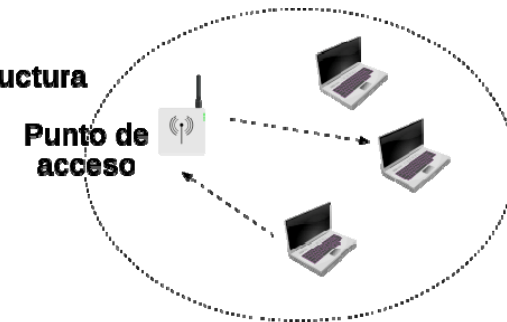
BSS-Basic Service Set, Conjunto de Servicios Básicos
Conjunto de estaciones inalámbricas que coordinan el acceso al medio compartido mediante un procedimiento dado

BSS Independiente



BSA: Basic Service Area

BSS Infraestructura



Conjunto de Servicios Extendidos

ESS (Extended Service Set)

Portal: Permite la comunicación con redes no Wifi

Permite la comunicación entre varios PA

Acceso y RAL

Protocolo wifi (IEEE 802.11)

Conexión de terminales inalámbricos a la red de acceso

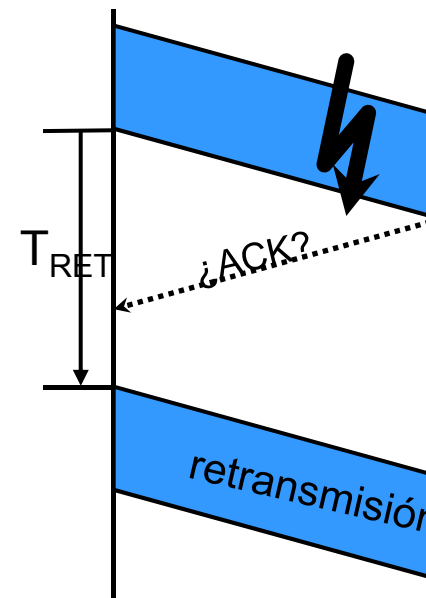
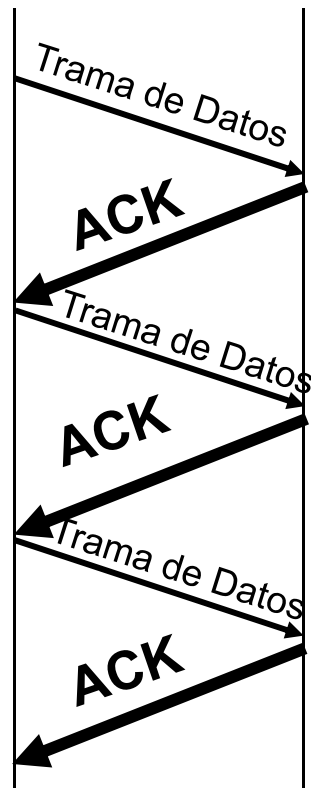
➤ Servicio fiable

- Numeración
- El receptor confirma cada trama recibida mediante una trama de control
- Detección de errores por CRC
- Recuperación de errores por retransmisión al vencimiento de temporizador
- Control de flujo mediante el mecanismo de parada y espera
- Mecanismo CSMA con esperas antes de transmitir (CA)

Control de flujo por parada y espera y recuperación de errores por vencimiento de temporizador

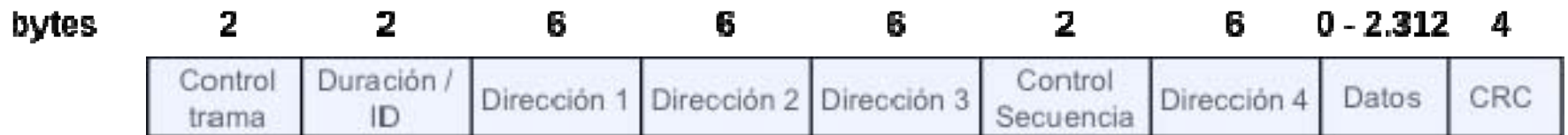
- La entidad emisora, una vez transmitida una trama, **SE PARA Y ESPERA** a recibir su confirmación antes de enviar una nueva trama.
- Al vencimiento del temporizador, si no se recibe validación se retransmite la trama

Emisor Receptor



Redes inalámbricas

Estructura de trama de datos 802.11



Vector de reserva de Red.
Estación que transmite.

4 bits: N° fragmento.
12 bits: numeración de secuencias.
Detección de tramas duplicadas.



Gestón Control Datos

Indica por ejemplo si es una trama RTS o CTS

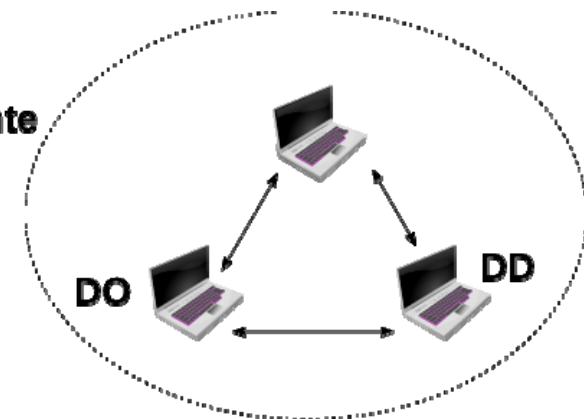
Para 'dormir' o 'despertar' a una estación

Redes inalámbricas

BSS (*Basic Service Set*)

- No existe Punto de Acceso (PA)
 - Red sin infraestructura
 - Generalmente temporales
 - Denominadas *ad-hoc*
- Comunicación directa entre las estaciones
 - **Función de Coordinación Distribuida (DCF)**
- Identificación
 - SSID: Cadena de texto que identifica la red
 - BSSID: MAC generada de forma aleatoria

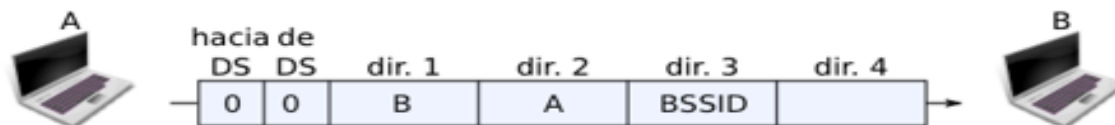
BSS Independiente



BSA: Basic Service Area

SSID (Service Set Identifier)

BSSID (Basic Service Set Identifier)

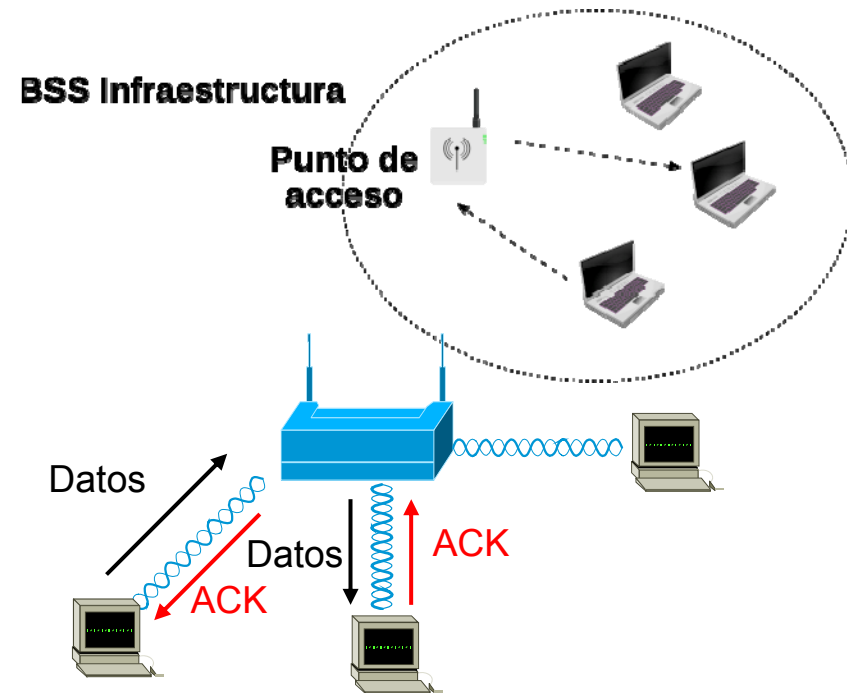


Acceso y RAL

Redes inalámbricas

BSS-I (*Basic Service Set*) de Infraestructura

- Existe un Punto de Acceso
 - Acceso a red fija
- Las estaciones se comunican a través del punto de acceso
 - No se comunican entre ellas directamente
 - Deben estar asociadas al PA
 - Trama de gestión
- Identificación
 - SSID: Cadena de texto que identifica la red
 - BSSID: MAC de la interfaz WiFi del PA



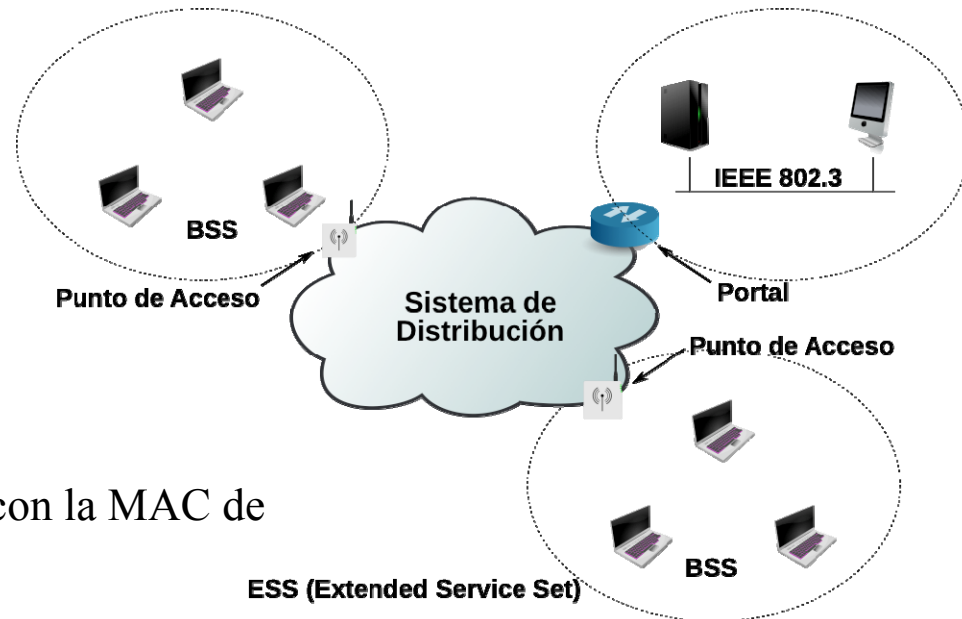
Redes inalámbricas

ESS (*Extended Service Set*)

- ▮ Comunicar diferentes BSS
 - Varios Puntos de Acceso
 - conectados por un Sistema de Distribución (DS)
 - Generalmente Ethernet
 - Los PA actúan como puentes
 - Portal

- ▮ *Roaming*
 - Des-asociación
 - Re-asociación

- ▮ Identificación
 - SSID: identifica toda la red
 - BSSID: Cada BSS se identifica con la MAC de la interfaz WiFi de su PA



Redes inalámbricas

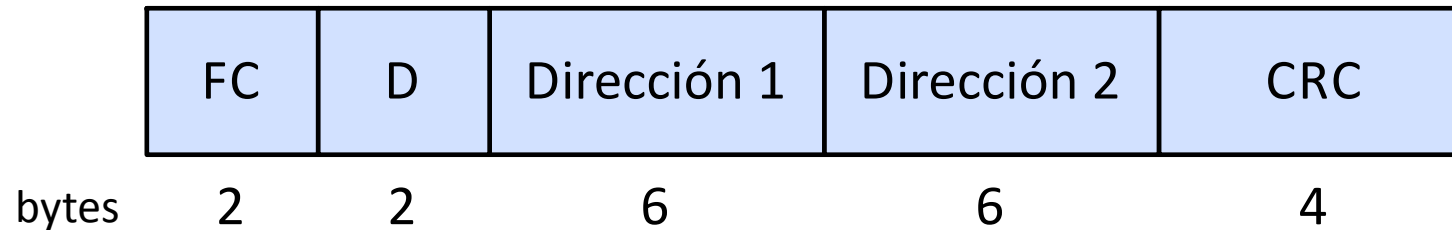
Tipos de tramas

- Datos
- Control
 - **Para el control de acceso al medio**
 - ACK, RTS, CTS
- Gestión
 - **ACK: Validación de trama de datos**
 - **RTS. Request To Send: Reserva del canal**
 - **CTS: Clear To Send: Validación de la reserva por parte del receptor**
 - **Beacon (Baliza)**
 - El PA advierte su presencia transmitiendo 10 tramas *Beacon* por seg. Contiene información útil tal como el nombre de la red y las capacidades del PA.
 - **Probe (petición y respuesta)**
 - Permite a una estación preguntar si hay alguna red en un determinado canal
 - **Authenticate (petición y respuesta)**
 - Para autenticación de la estación frente al PA.
 - **Cada terminal comparte una clave con el PA**
 - **Associate (petición y respuesta)**
 - Para llevar a cabo el proceso de conexión de una estación con el PA.
 - **Disassociate (notificación)**
 - Para desconexión de un PA
 - **Reassociate (petición y respuesta)**
 - Para conectarse a un nuevo PA.
 - **Deauthentication (notificación)**

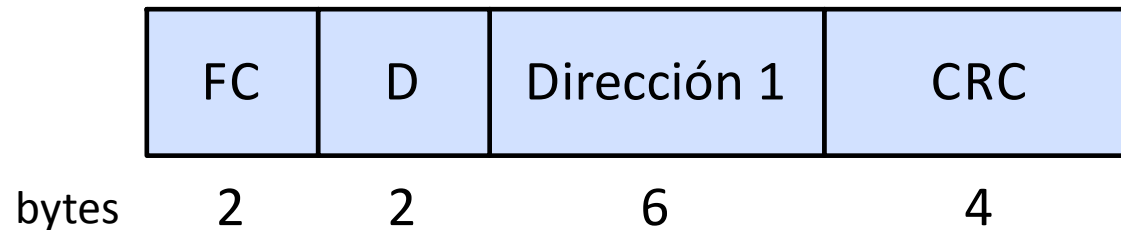
Redes inalámbricas

Estructura de tramas de control 802.11 (RTS/CTS)

Trama RTS



Trama CTS o ACK

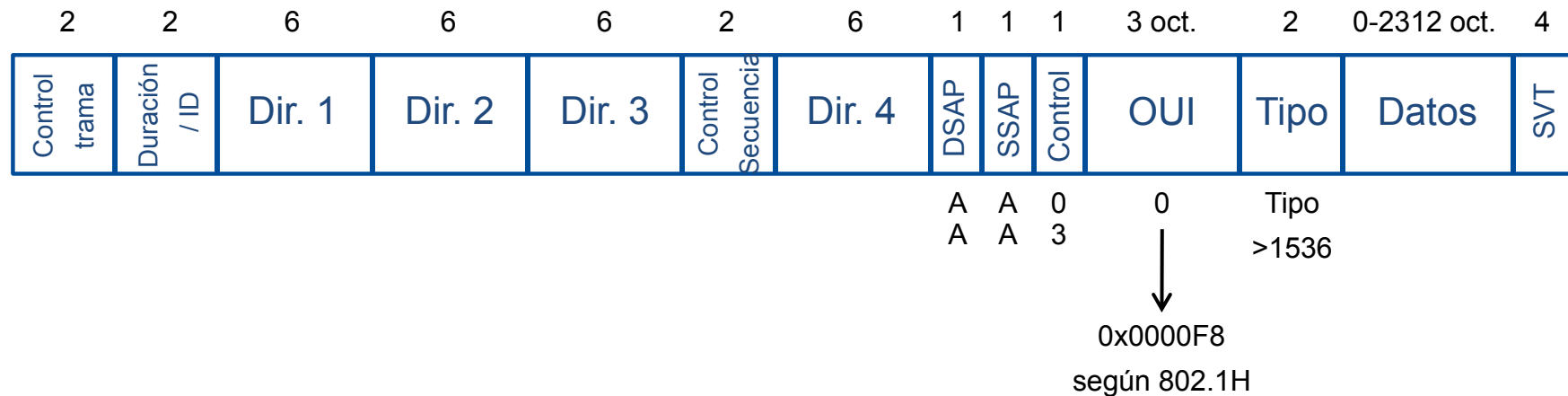


FC: Control trama
 D: Duración

Encapsulación de IP

IEEE 802.11 – RFC 1024 y IEEE 802.1H

42 octetos de control



- Similar a encapsulación 802.3
 - Identificador OUI diferente (0x0000F8)
- MTU generalmente restringida a 1500 por compatibilidad

Redes inalámbricas

Direcciones MAC

- El subnivel MAC utiliza 4 direcciones

- Receptor

- Dispositivo receptor (terminal ó PA)

Interfaz aire

- Transmisor

- Dispositivo transmisor origen (terminal ó PA)

- Destino

- Estación MAC destino

Sistema de
Distribución

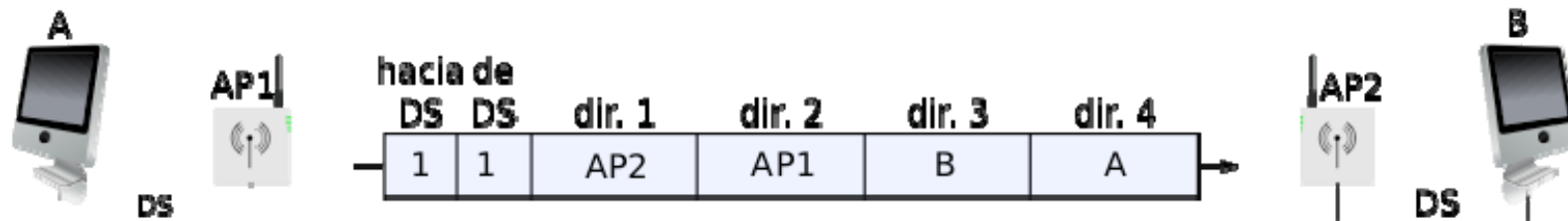
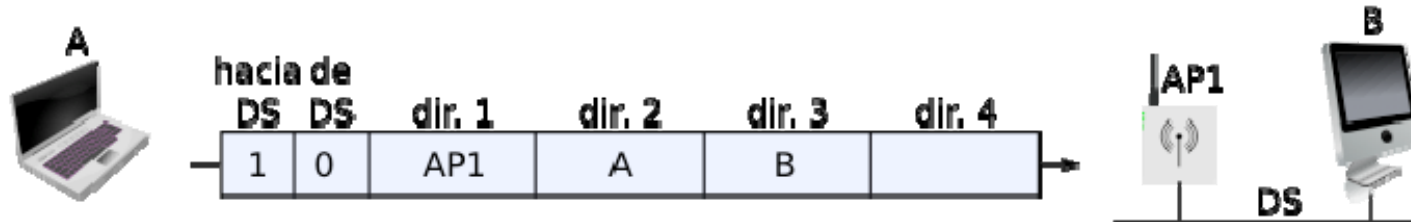
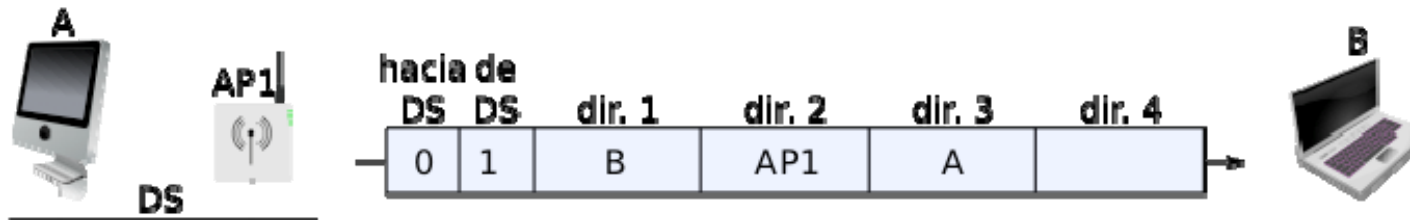
- Origen

- Estación MAC origen

En 802.11 es preciso indicar quien transmite la trama pues es a quien hay que enviar el ACK. Las direcciones del transmisor y receptor pueden ser diferentes de las de origen y destino de la trama

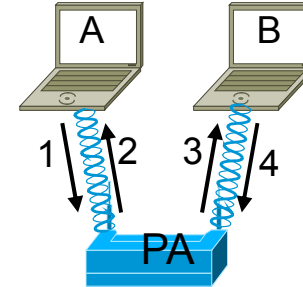
Redes inalámbricas Direcciones MAC

dir 1: Terminal ó PA receptor; dir 2: Terminal ó PA transmisor; dir 3: otro terminal

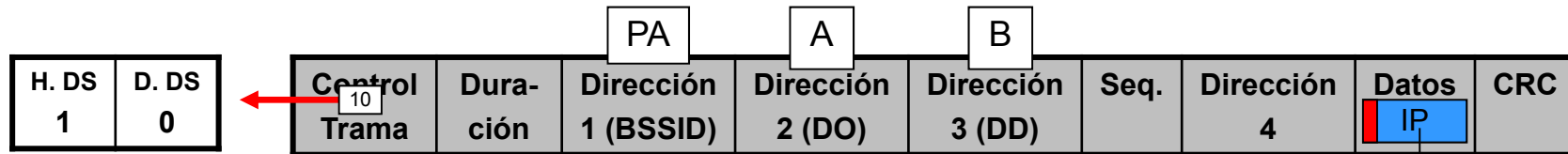


Acceso y RAL

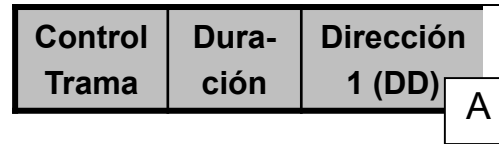
Ejemplo: trama de A a B



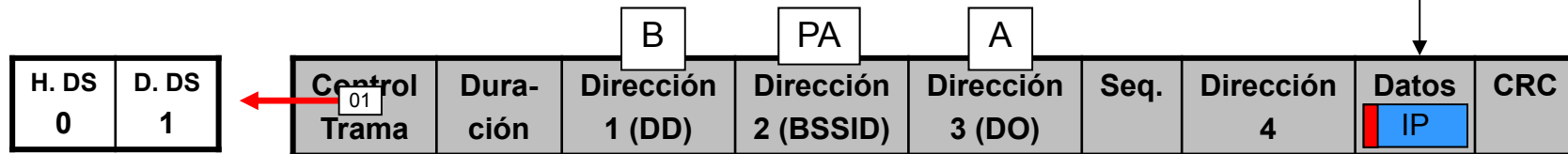
1: A envía la trama a PA:



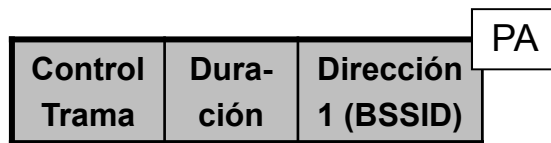
2: PA envía la trama ACK a A



3: PA envía la trama a B:

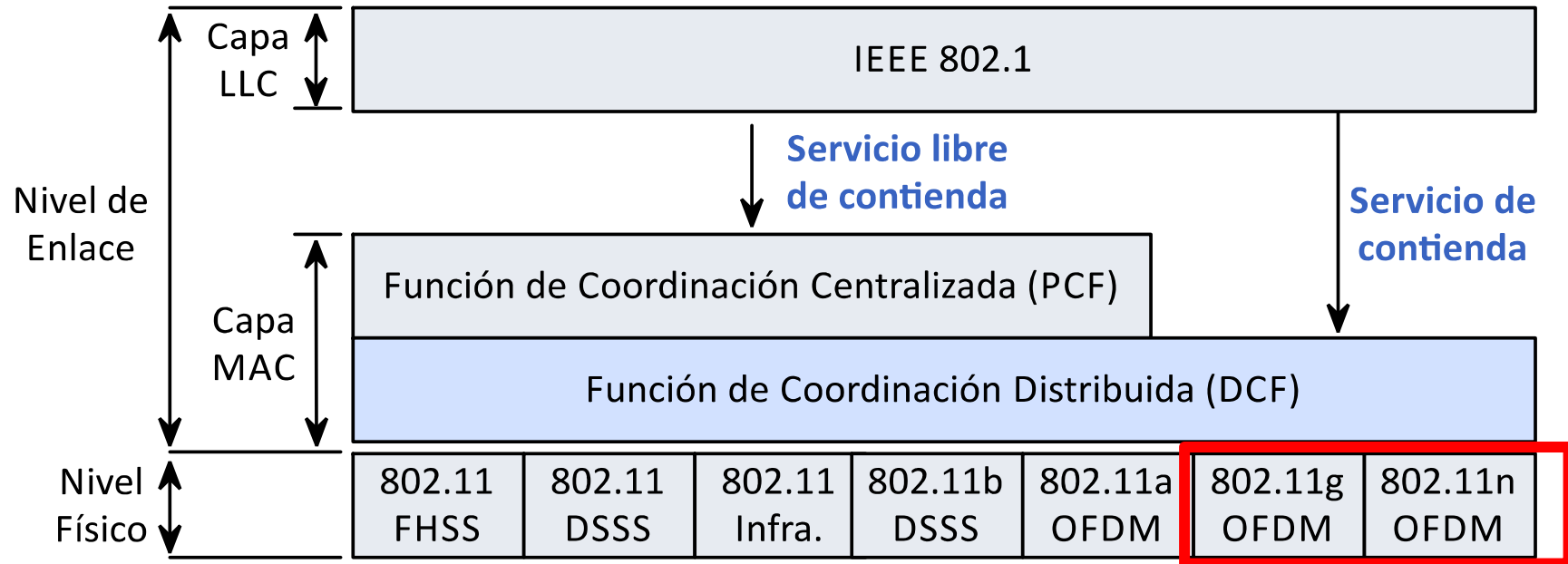


4: B envía la trama ACK a PA



Redes inalámbricas

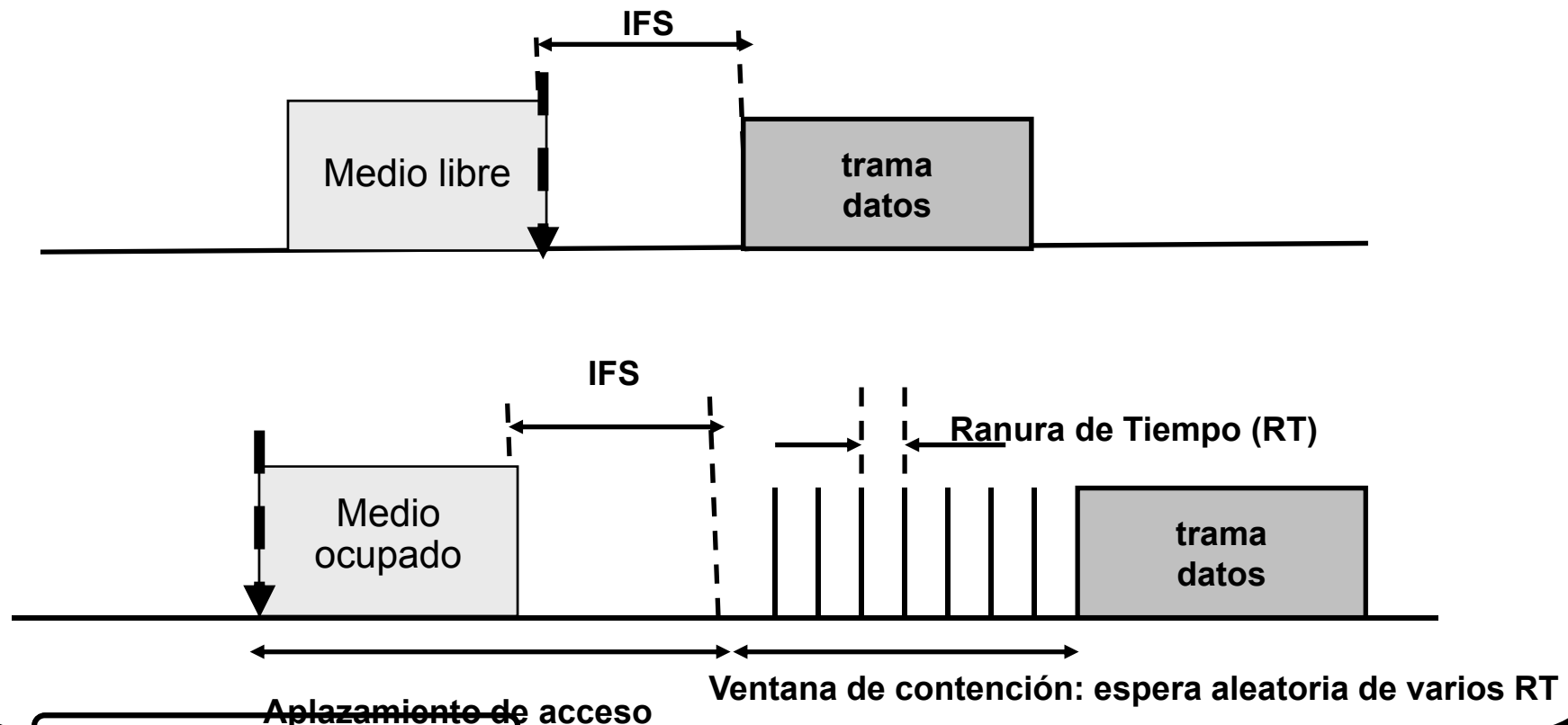
Subnivel MAC 802.11



Función de coordinación distribuida

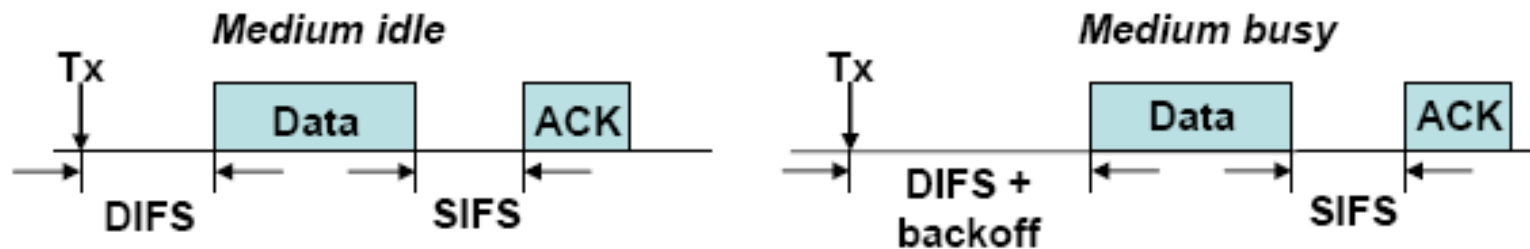
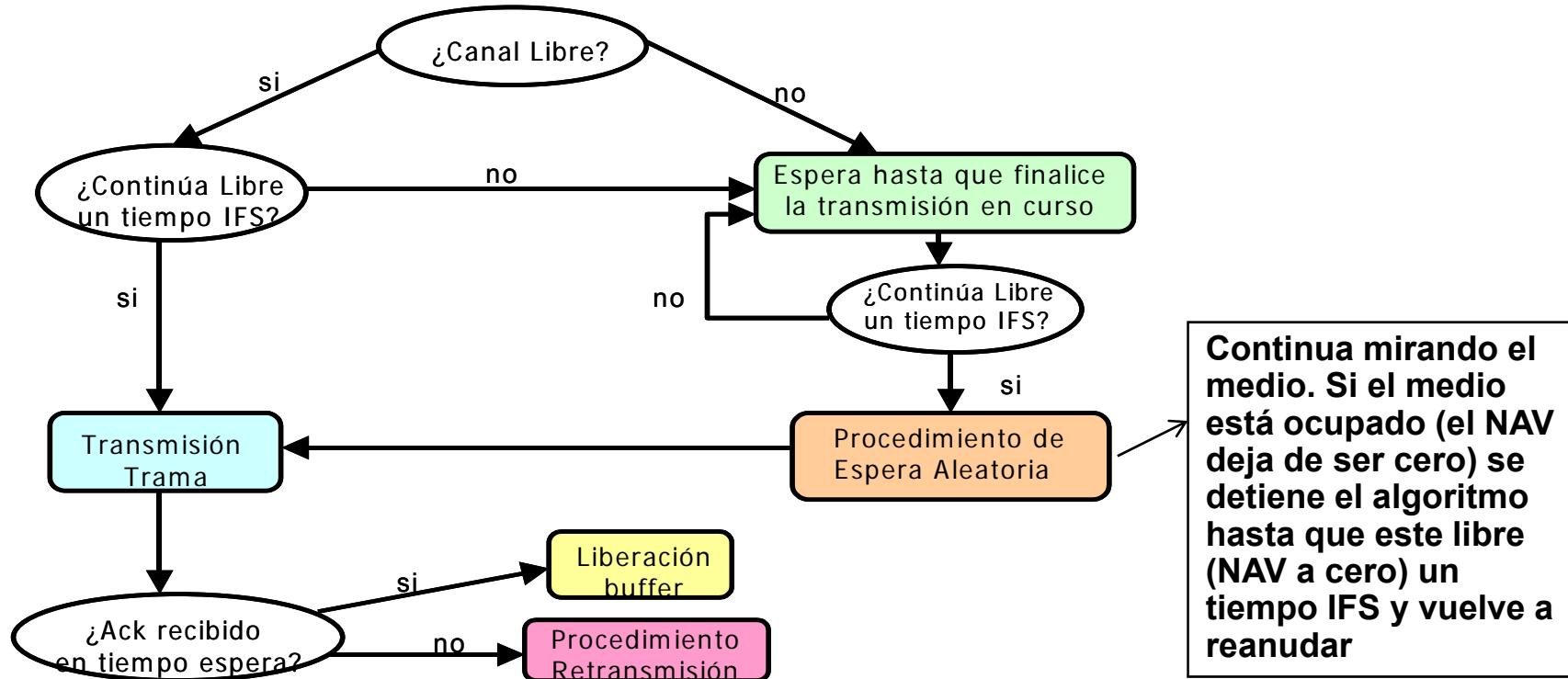
Todas las estaciones deben estar inactivas durante un periodo mínimo denominado “espacio entre tramas”: IFS Inter Frame Space

- Medio libre y sigue libre durante IFS: transmite
- Medio ocupado: espera a que finalice la transmisión en curso, después espera un IFS y si continua libre, espera un periodo aleatorio y después transmite



Acceso y RAL

Función de coordinación distribuida (II)

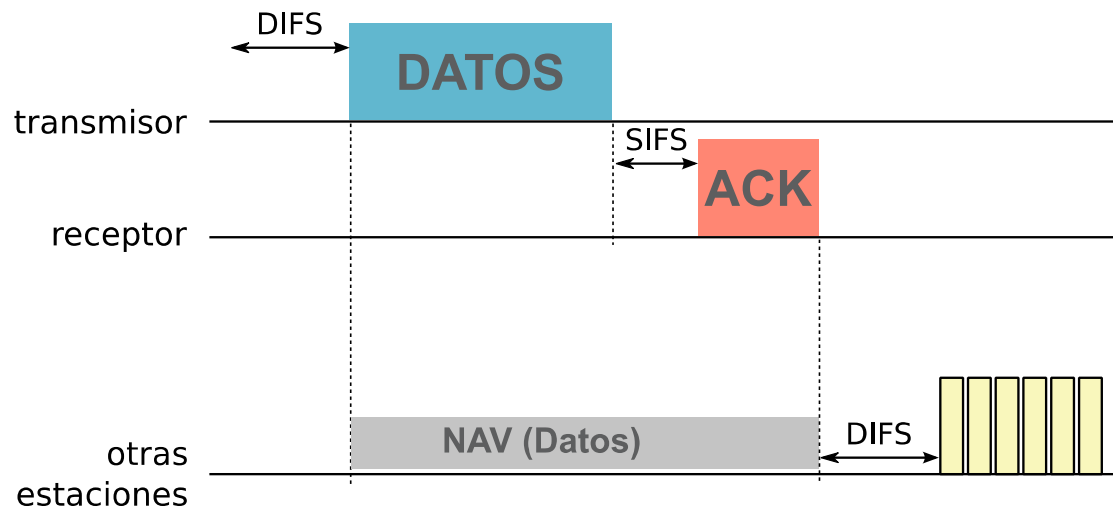


Acceso y RAL

CSMA/CA

Mecanismo básico de acceso

- Se utilizan dos IFS diferentes
 - DIFS:** Espera obligada para cada estación con intención de transmitir datos
 - SIFS:** Espera menor para enviar confirmaciones
 - Tienen mayor prioridad y no esperan ventana de contienda

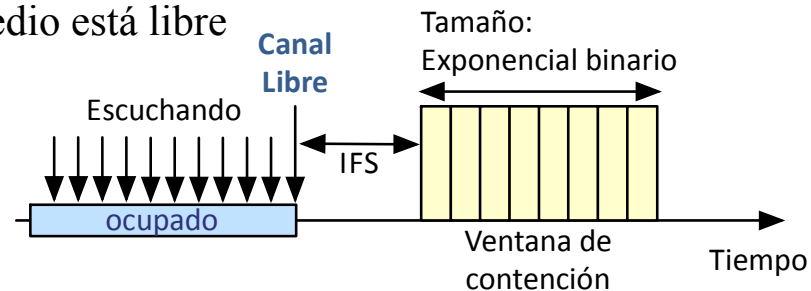


Acceso y RAL

CSMA/CA

Mecanismo básico de acceso

- Si el medio está libre:
 - La estación espera que el medio permanezca vacío un tiempo igual a IFS (*InterFrame Space*)
 - Si permanece libre al finalizar IFS la estación puede transmitir inmediatamente
 - Ventana de contención de tamaño 0
- Si el medio está ocupado:
 - La estación aplaza la transmisión y continúa monitorizando el medio hasta que la transmisión en curso acaba.
 - La estación aplaza el acceso un tiempo IFS.
 - Si el medio está desocupado durante este periodo, la estación implementa un procedimiento de espera aleatoria conocido como Ventana de Contención (*exponential back-off*)
 - La estación analiza el medio tras cada slot
 - Durante esta espera, si el medio se detecta ocupado no se reinicia la cuenta, sólo se detiene el algoritmo hasta que el medio está libre



Acceso y RAL

Colisiones

- Dos estaciones detectan el medio libre y deciden transmitir a la vez, o casi a la vez.
 - Riesgo mínimo.
 - Para una distancia entre estaciones de 100m el tiempo que tarda en llegar la señal es de $0,33 \mu\text{s}$
- Dos estaciones a la espera (que habían detectado el medio ocupado) eligen el mismo número de intervalos (mismo tiempo aleatorio) para transmitir después de la emisión en curso.
 - En ese caso reintentan ampliando exponencialmente el rango de intervalos y vuelven a elegir.
 - Es similar a Ethernet salvo que las estaciones no detectan la colisión, deducen que se ha producido cuando no reciben el ACK esperado
- Estación oculta
 - Una estación escucha el canal libre pero otra estación está transmitiendo (a cierta distancia) y sus señales coinciden en el receptor

Subnivel MAC 802.11

Función de Coordinación Distribuida (DCF)

- Uso de CSMA/CA como mecanismo de acceso al medio
 - Espacio entre tramas (*InterFrame Space* ó IFS)
 - Esperas para evitar colisiones con transmisiones ya iniciadas
 - IFS variable para establecer prioridades
 - Ventana de Contención
 - Número aleatorio de slots de espera tras IFS
 - *Binary exponential back-off* (comienza con intervalo [0,1])
 - Muestreo del medio tras cada slot
 - No reinicio de cuenta si ocupado, sólo detención
 - Confirmaciones
 - Resolver colisiones o transmisiones erróneas

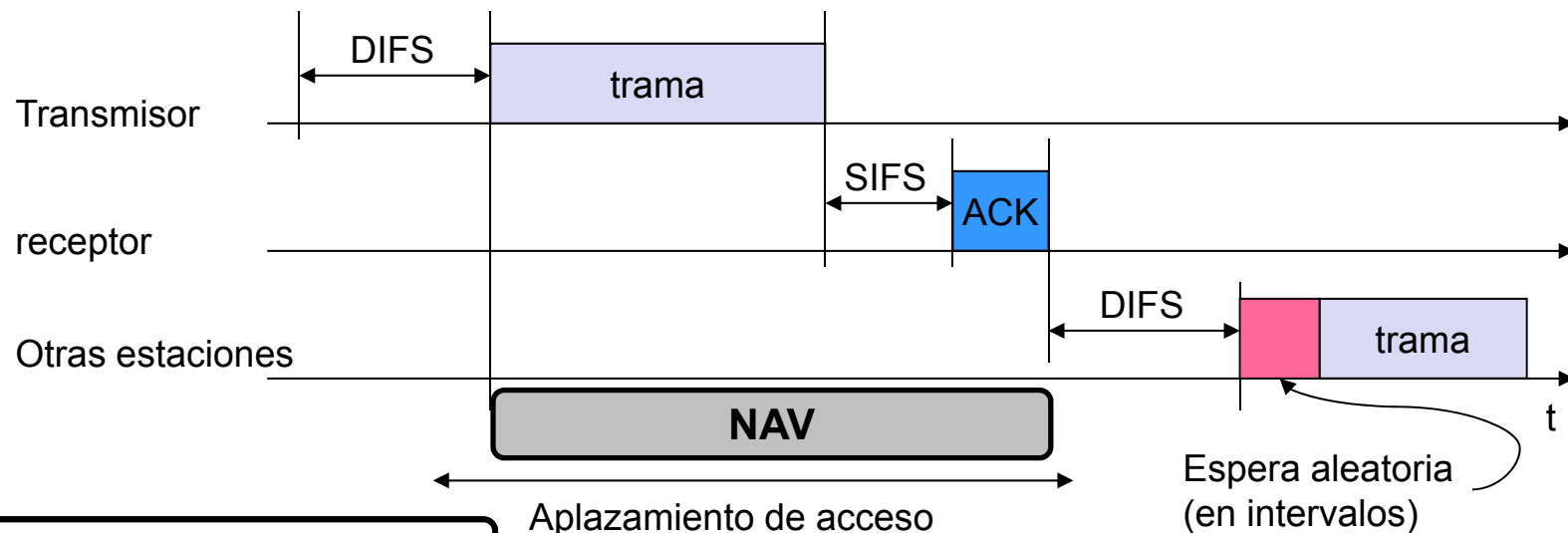
CSMA/CA

Detección de portadora virtual

- Cuando una estación transmite una trama de datos:
 - Incluye en la cabecera de la misma (campo “Duración”) información que permite a todas las estaciones del medio conocer el tiempo que estará ocupado el medio
 - Vector de Reserva (NAV, *Network Allocation Vector*)
- NAV es un contador de tiempo que debe pasar para que el canal quede libre
 - Se actualiza con el valor que aparece en cada trama salvo que sea más pequeño
 - Contador regresivo, hasta que llegue(n) a cero
- Una estación comprueba primero la portadora virtual (NAV) y después detecta la portadora a nivel físico
 - No intenta transmitir mientras $NAV > 0$

Portadora lógica. Detección de canal virtual

- Este mecanismo del MAC de cada estación móvil consiste en el mantenimiento de un *Vector de Reserva de Red (NAV, Network Allocation Vector)* que indica las reservas realizadas por otras estaciones móviles
- Realmente el NAV es un contador de tiempo que indica el tiempo que debe pasar para que el canal quede libre. Se actualiza con el valor que aparece en cada trama, excepto si el nuevo NAV es más pequeño que el que ya había, en cuyo caso se ignora.
- El mecanismo de detección del estado ocupado/libre del medio, se realiza primero mediante la portadora virtual (NAV) y después por la detección de portadora a nivel físico. Una estación no intentará transmitir mientras $NAV > 0$



Acceso y RAL

CSMA/CA

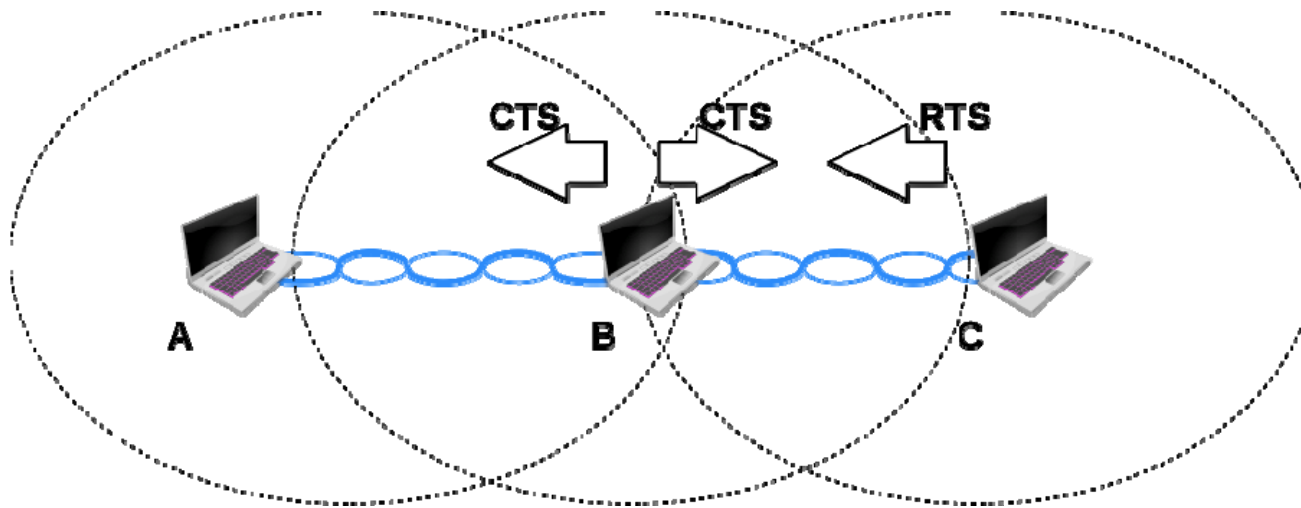
Mecanismo de reserva RTS-CTS

- Mecanismo de reserva de recursos
 - Útil en situaciones de mucha congestión
 - Evita el problema del Terminal Oculto
- Utilización de dos tramas de control
 - **RTS** (*Request to Send*): Solicitud para transmitir
 - **CTS** (*Clear to Send*): Permiso para transmitir y reserva de recursos (NAV) para todas las estaciones que lo reciban
- Se establece un umbral RTS-CTS
 - Tamaño de trama a partir del cual se requiere utilizar RTS-CTS
 - Evitar retransmitir tramas de gran tamaño

CSMA/CA

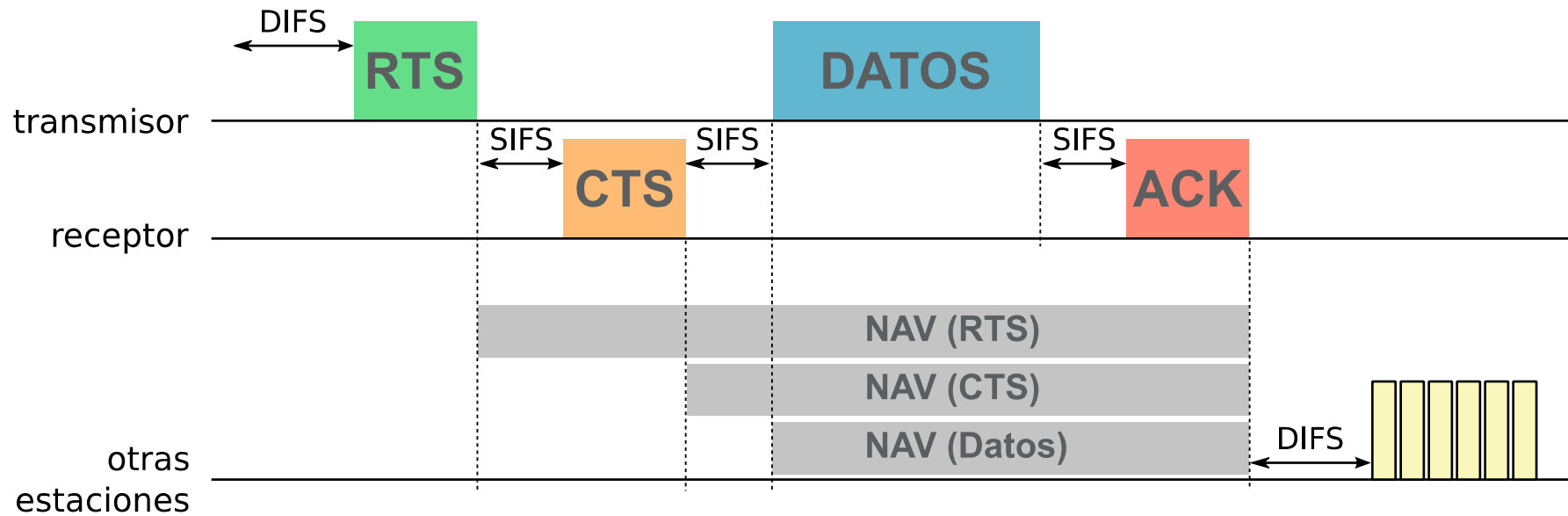
Terminal Oculto

- Dos estaciones no se conocen entre sí
 - Excesiva distancia entre ellas
- Provocan colisiones
 - No reciben los respectivos NAV



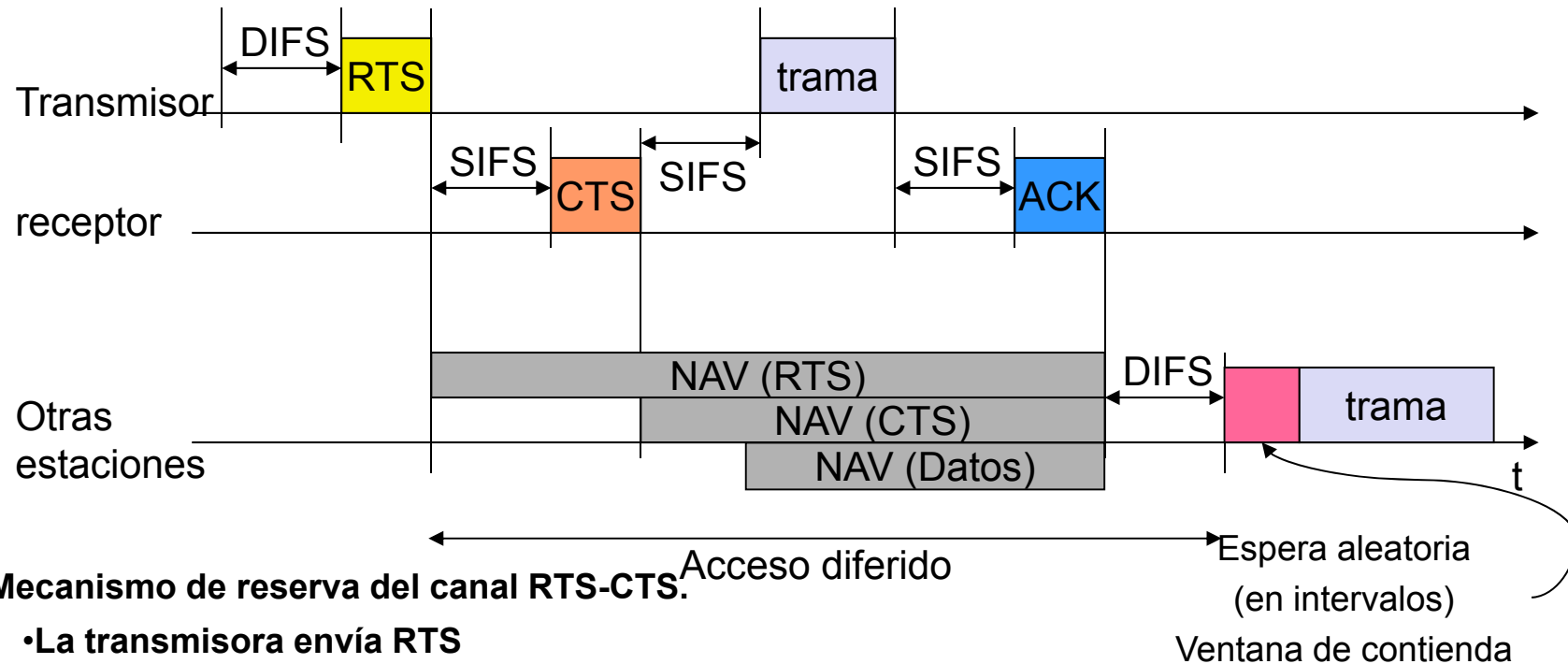
CSMA/CA

Mecanismo de reserva RTS-CTS



Acceso y RAL

CSMA/CA. Mecanismo de reserva. RTS-CTS



Mecanismo de reserva del canal RTS-CTS.

- La transmisora envía RTS
- La receptora contesta con CTS
- Unas estaciones escuchan RTS y otras CTS
- RTS lleva información de duración de la trama
- No pueden enviar hasta que escuchen la trama ACK
- Se activa opcionalmente
 - Una trama que supera un umbral
 - Todas las tramas

- Portadora virtual
 - Network Acces Vector (Vector de Reserva de Red)
 - Se actualiza con RTS y CTS
- Riesgo de colisión
 - En las señales RTS-CTS

Acceso y RAL

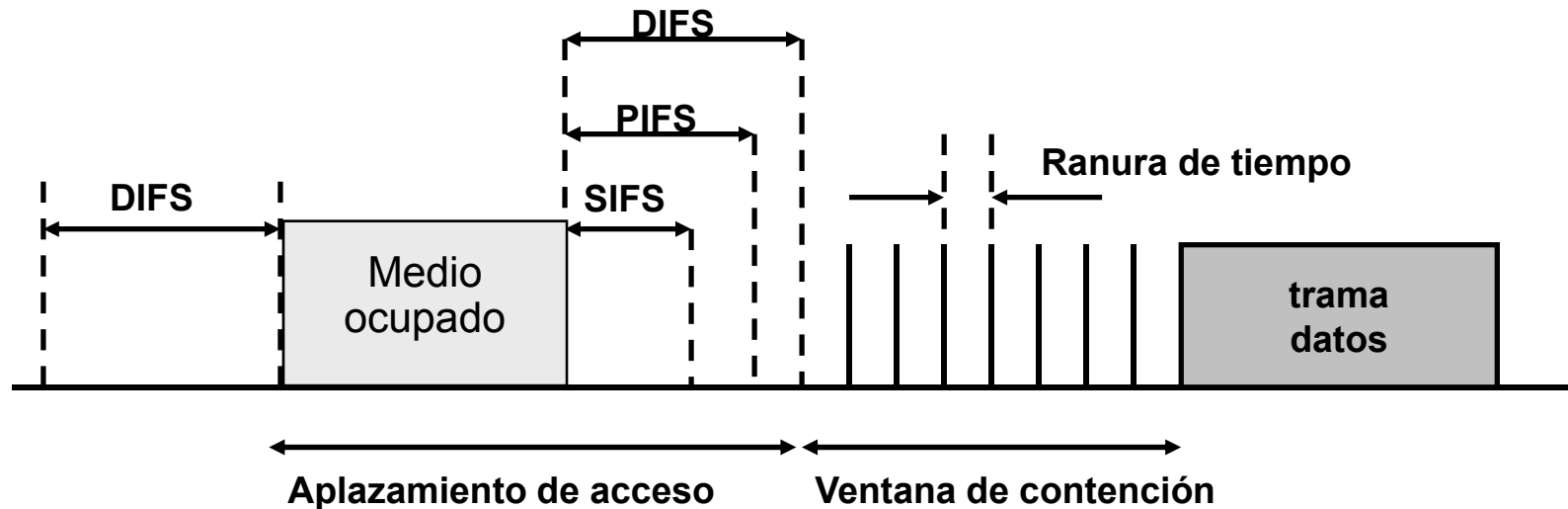
Subnivel MAC 802.11

Función de Coordinación Centralizada (PCF)

- Mecanismo opcional de acceso al medio
 - Protocolo montado sobre DCF
- Redes de infraestructura
- Acceso por *sondeo*, sin contienda
 - Estación central consulta al resto si tienen que transmitir
 - Las que tienen algo que transmitir, lo hacen
- Compatible con DCF
 - Tras una ronda de sondeos vuelve a comenzar el periodo de contienda
- Utiliza **PIFS** (PCF IFS)
 - DIFS > PIFS > SIFS
 - Mayor prioridad que una estación normal
 - Menor prioridad que las confirmaciones

Acceso y RAL

IEEE 802.11. Mecanismo básico de acceso CSMA/CA



- DIFS: DCF – IFS: Tramas de datos y gestión normales en modo contienda
- PIFS: PCF IFS: Conseguir acceso para Función de Coordinación Centralizada
- SIFS: Short IFS: ACK, CTS, Tramas de datos segmentadas, tramas respuesta al sondeo, y las tramas del PA en Función de Coordinación Centralizada

Periodo entre tramas y tipos de tramas

- Tramas que esperan un periodo corto
 - ACK
 - CTS
 - Datos segmentados
 - Datos de una trama que responde al sondeo
 - Cualquier trama del PA en función de coordinación centralizada
- Tramas que esperan un periodo intermedio
 - Tramas del PA para lograr entrar en funcionamiento de función de coordinación centralizada
- Tramas que esperan un periodo largo (normal)
 - Datos y gestión en función de coordinación distribuida

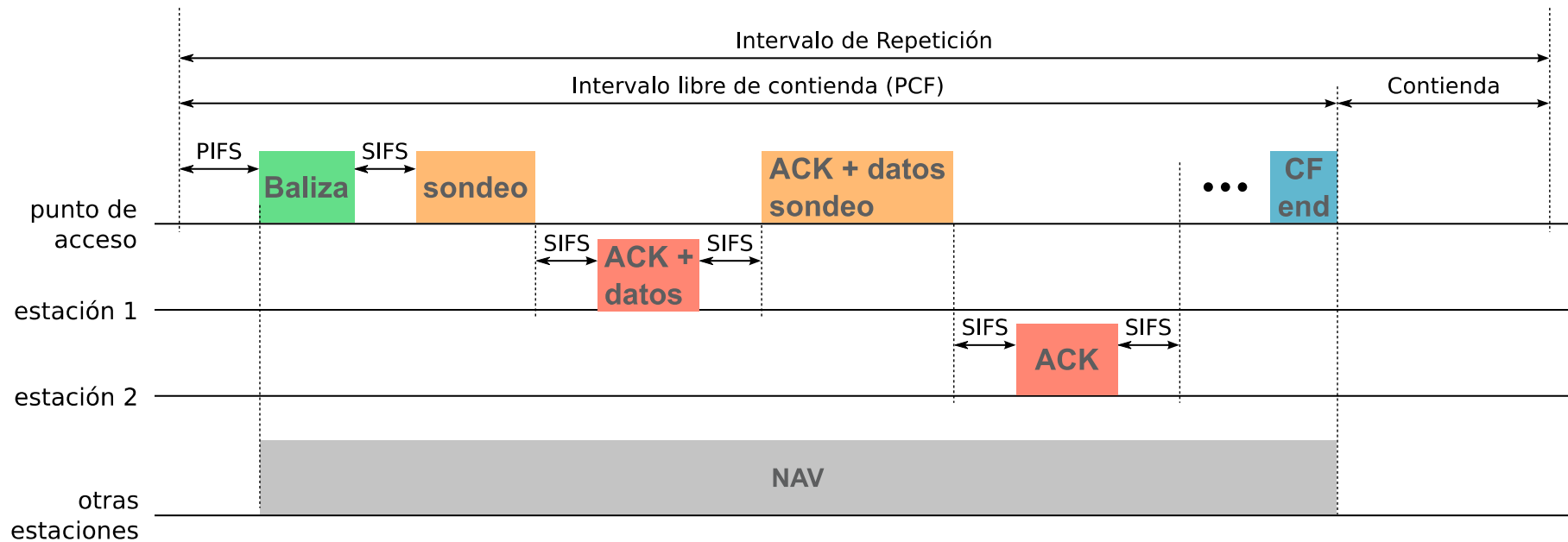
Función de Coordinación Centralizada

Intervalo de repetición

- Secuencia siguiente separada por SIFS
- Baliza
 - Inicia el intervalo de repetición, NAV con la duración del periodo libre de contienda
- Cualquier combinación de:
 - Enviar sondeo (sólo lo hace el PA)
 - Enviar o recibir datos
 - Enviar o recibir ACKs
- CF_end (*Contention-free end*):
 - Fin del intervalo libre de contienda

Función de Coordinación Centralizada

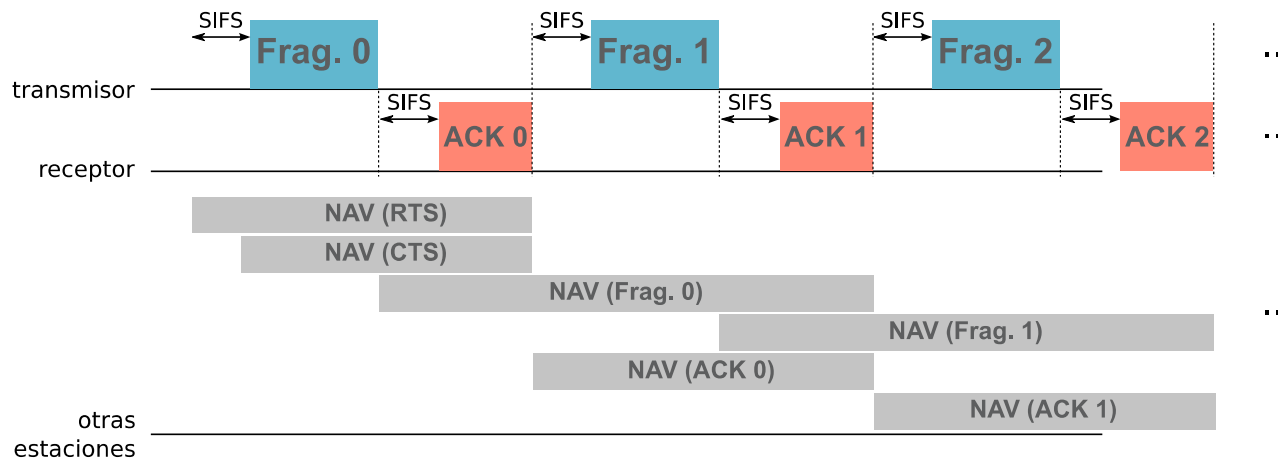
Intervalo de Repetición



Subnivel MAC 802.11

Fragmentación

- Objetivo:
 - Aumentar la fiabilidad al evitar retransmisiones en canales con altas tasas de error.
- Operativa:
 - Las tramas MAC se comparan con el parámetro *Umbral_Fragmentación*, de modo que si el tamaño de la trama MAC supera ese parámetro, la trama se dividirá en varios fragmentos.
 - Todos los fragmentos son enviados secuencialmente. La estación mantiene control del canal esperando solo un periodo SIFS después de recibir el ACK de la estación destino. Cada fragmento enviado reserva el medio físico para el envío del siguiente fragmento utilizando el campo de “Duración” de la cabecera de la trama MAC.



Redes inalámbricas

Estándares



- Estándares **IEEE 802.11**
- Conocidos comúnmente como Wi-Fi.
- Utilizan CSMA/CA
- Distintas modalidades:
 - 802.11a: 54 Mbps, 5 GHz
 - 802.11b: 11 Mbps, 2.4 GHz
 - **802.11g: 54 Mbps, 2.4 GHz**
 - **802.11n: 600 Mbps, 2.4 v 5 GHz (300)**
 - 802.11ac: 1 Gbps, 5 GHz
 - 802.11ad: 7 Gbps, 2.4 GHz, 5 GHz, y 60 GHz



- Estándar IEEE 802.15
- Soporta velocidades de hasta 3 Mbps
- Asocia dispositivos a una distancia de hasta 100 metros.



- Estándar IEEE 802.16
- Proporciona velocidades de hasta 1 Gbps
- Utiliza una topología punto-a-multipunto para proporcionar acceso de banda ancha inalámbrico

Redes inalámbricas

Medios y técnicas de transmisión

- ▮ **Infrarrojos**
 - Distancias cortas, omnidireccional, misma habitación. 1 ó 2 Mbits
- ▮ **FHSS** (*Frequency Hopping Spread Spectrum*)
 - Se transmite durante un cierto tiempo en una frecuencia y después se salta a otra frecuencia siguiendo una secuencia pseudo-aleatoria (1-2 Mbits)
- ▮ **DSSS** (*Direct Sequence Spread Spectrum*)
 - Utiliza una secuencia pseudo-aleatoria de 11 chips para expandir el flujo de datos a transmitir.
- ▮ **HR-DSSS** (*High Rate Direct Sequence Spread Spectrum*)
 - Uso de nuevo esquema de modulación CCK (*Complementary Code Keying*) agrupando 8 bits por símbolo para alcanzar transmisiones de hasta 11 Mbps
- ▮ **OFDM** (*Orthogonal Frequency Division Multiplexing*)
 - Se divide la banda en un gran número de portadoras con un ancho de banda reducido en cada una de ellas

Redes inalámbricas

Estándares 802.11

Estándar	Max. Velocidad	Frecuencia	Modulación	Compatibilidad
802.11a	54 Mbps	5 GHz	OFDM	No
802.11b	11 Mbps	2.4 GHz	DSSS, HR-DSSS	No
802.11g	54 Mbps	2.4 GHz	HR-DSSS, OFDM	802.11b
802.11n *	600 Mbps	2.4 ó 5 GHz	OFDM	802.11b/g
802.11ac *	1.3 Gbps	2.4 y 5 GHz	OFDM	802.11b/g/n

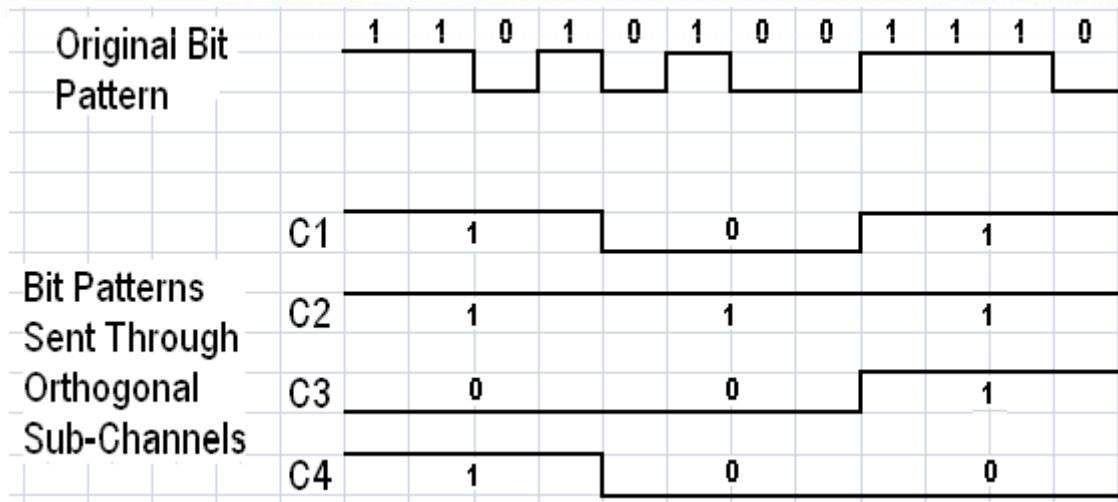
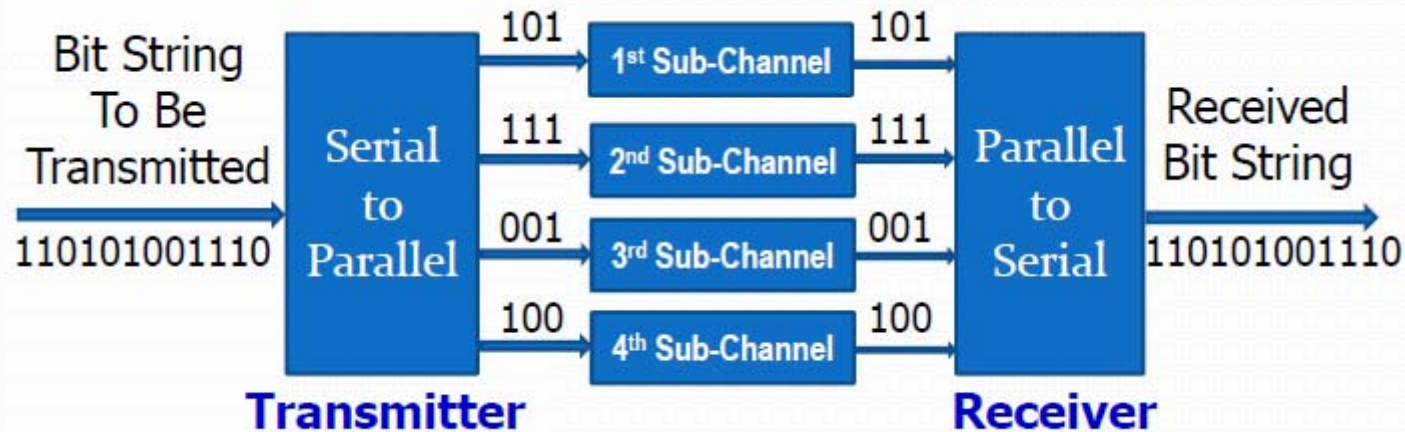
* Utilizan tecnología **MIMO**

Multiple Input – Multiple Output

Varios flujos simultáneos usando varias antenas

Nivel físico. Tecnología OFDM

- Se divide la banda de frecuencias en varias sub-bandas. Los datos se transmiten en paralelo modulando una subportadora en cada sub-banda



Nivel físico. Tecnología OFDM

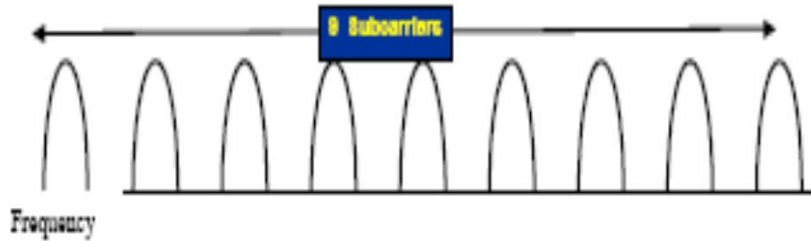


Figure 1: FDM with Nine Sub-carriers Using Filters

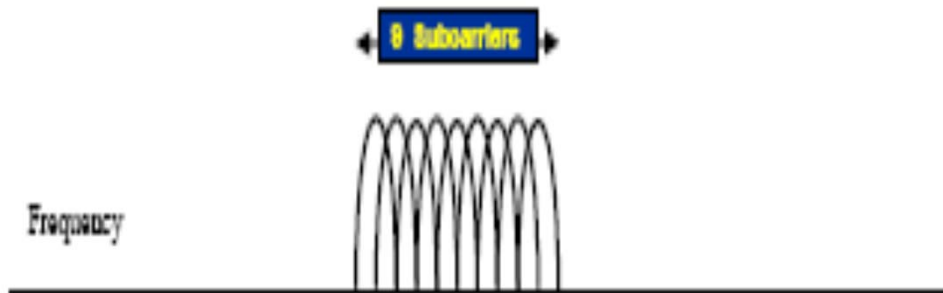
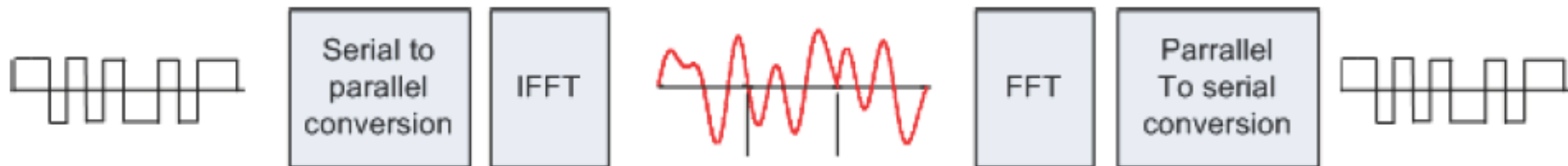


Figure 2: OFDM with Nine Sub-carriers

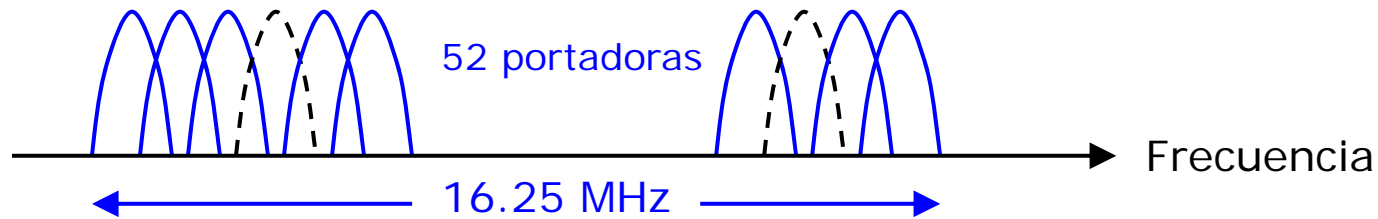
Cada subportadora es ortogonal a las demás (hay una relación matemática precisa entre subportadoras). No se necesita bandas de guardia entre subportadoras



Inverse Fast Fourier Transform

Acceso y RAL

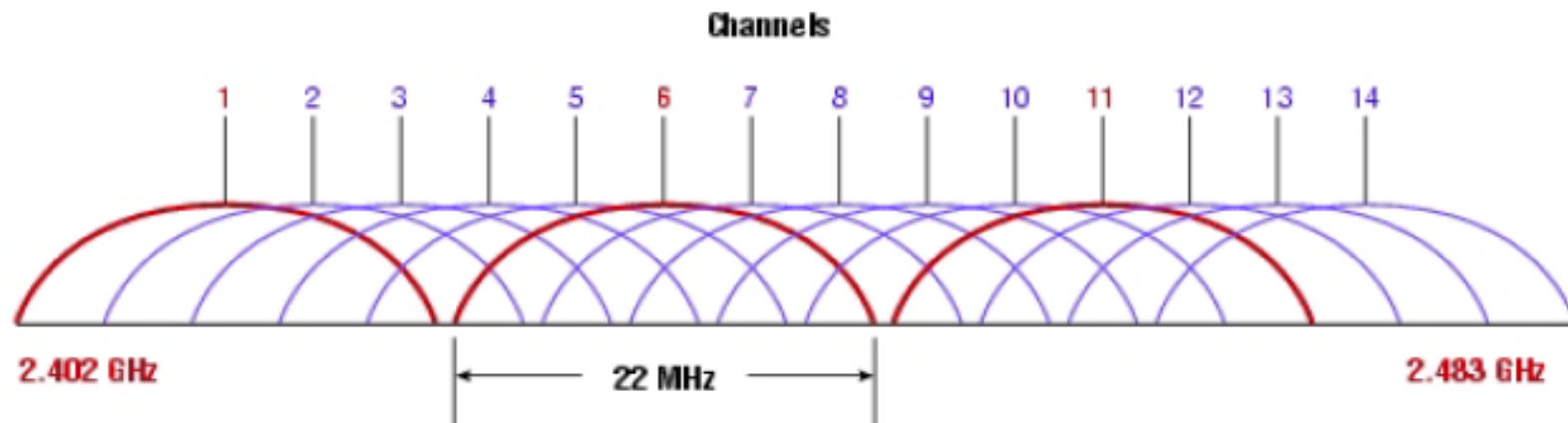
Nivel físico. OFDM. Transmisión a 54 Mbit/s



- Utiliza 4 portadoras piloto (control) como referencia
- 48 portadoras llevan datos
- Duración de un símbolo: 4 ms (Velocidad de señalización)
- Codificación convolucional 3/4
- Modulación: 64 QAM
- Velocidad de señalización: 250 Kbaudios x 48 = 12 Mbaudios
- Velocidad de transmisión: 12 Mbaudios x 6 bit/baudio = 72 Mbps
- Velocidad de transmisión de información: $72 \times \frac{3}{4} = 54$ Mbps

Canales DSS (banda de 2,4 GHz)

- IEEE 802.11 divide el espectro en 14 canales disponibles de 22 MHz. Si bien están superpuestos, por lo que interfieren entre sí, excepto el 1, 6 y 11.
- Aunque no todos los canales están disponibles en todos los países. En Europa se pueden usar 13 canales (en España 10-11, en Francia 10-13, etc.); en América 11 y en Japón 14.



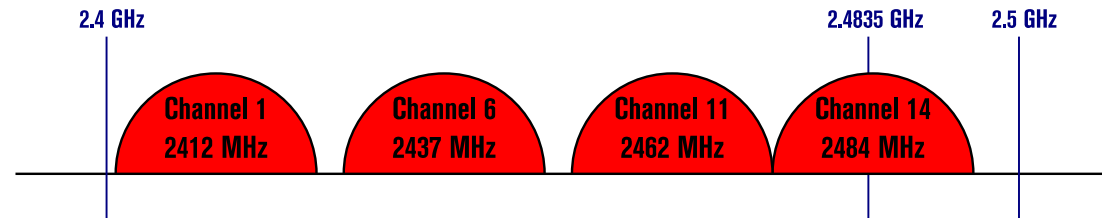
- Se configura en el PA y se selecciona automáticamente en los terminales

Redes inalámbricas

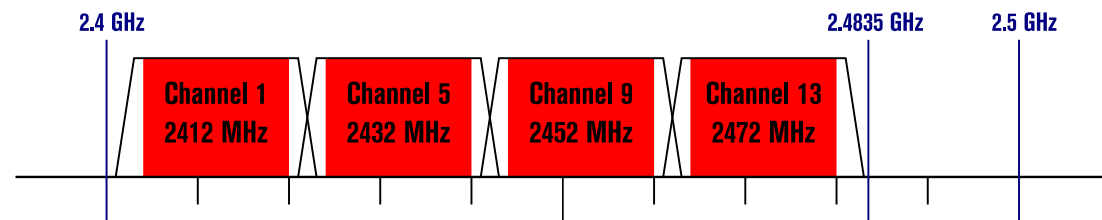
Solape de canales en banda de 2,4 GHz

- 13 Canales separados 5 MHz
 - 2,412 GHz – 2,472 GHz
- 1 canal separado 12 MHz
 - 2,484 GHz
- **DSSS** usa 22 MHz por canal
- **OFDM** usa 16,25 ó 33,75 MHz por canal
- Uso de canales configurado en el PA

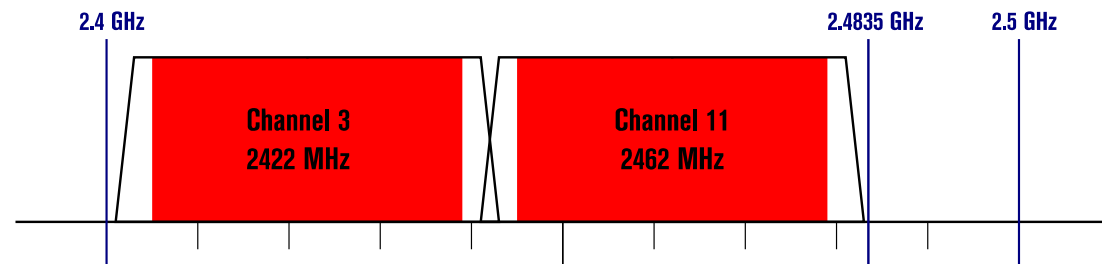
802.11b (DSSS) Canales de 22 MHz



802.11g/n (OFDM) Canales del 20 MHz - 16,25 MHz usados por portadora



802.11n (OFDM) Canales del 40 MHz - 33,75 MHz usados por portadora



Test

11. En una conexión inalámbrica 802.11 ...
- a) se desaconseja la utilización el mecanismo de acceso RTS/CTS para transmitir tramas de gran longitud
 - b) el tiempo de transmisión ha de ser como mínimo el doble del tiempo de propagación
 - c) el tiempo de propagación ha de ser mayor al doble del tiempo de transmisión
 - d) la función de coordinación centralizada (PCF) se puede utilizar junto con la función de coordinación distribuida (DCF)
12. En una red de área local IEEE 802.11 ...
- a) de infraestructura las tramas de datos siempre tienen su origen o su destino en un punto de acceso
 - b) las tramas requieren de una longitud mínima para detectar las colisiones
 - c) si se usa RTS/CTS nunca se podrá producir una colisión
 - d) si se usa RTS/CTS la eficiencia del protocolo siempre aumenta

13. Una estación inalámbrica con datos para transmitir ...

- a) lo primero que hace es observar el medio físico para ver si está libre
- b) transmite de forma instantánea, pero sólo si no se han producido colisiones previamente
- c) siempre esperará un tiempo IFS
- d) espera un tiempo fijo independientemente de las colisiones que se hayan podido producir

14. En una red inalámbrica de infraestructura ...

- a) las tramas de datos incluyen en la cabecera el identificador SSID de la red
- b) las tramas de datos se denominan "beacon"
- c) ninguna de las tramas de datos que se transmiten contienen la dirección MAC de la interfaz inalámbrica del Punto de Acceso
- d) todas las tramas de datos que se transmiten contienen la dirección MAC de la interfaz inalámbrica del Punto de Acceso

Ejercicios

Mecanismo básico vs RTS/CTS

7 En una red inalámbrica que utiliza CSMA/CA ¿se puede saber cuánto va a tardar el receptor en contestar con el ACK, si hay más estaciones intentando transmitir?

8 Calcule el tiempo que se tarda, en una red *ad-hoc* 802.11 g (54 Mbps) en enviar una trama de tamaño máximo (MTU = 1500), suponiendo que: DIFS dura $28 \mu\text{s}$; SIFS dura $10 \mu\text{s}$; desprecie el tiempo de propagación; las estaciones tienen suerte y no hay nadie transmitiendo ni se producen colisiones

- ¿cuál es la eficiencia del nivel de enlace WiFi en este caso?
- ¿Y en una red de infraestructura con las mismas características?
- ¿Cuánto tiempo extra añade utilizar el mecanismo de reserva RTS/CTS? ¿En qué casos merece la pena utilizarlo?