

1. **Ethernet:** Redes de Área Local con cable.
 - a. Introducción.
 - b. Encapsulación.
 - c. Direccionamiento físico.
 - d. Switches.
2. **VLANs:** Redes de Área Local Virtuales.
 - a. Introducción.
 - b. Tipos.
 - c. Identificación.
 - d. Encaminamiento.
3. **Wi-Fi:** Redes de Área Local Inalámbricas.
 - a. Tipos de redes inalámbricas.
 - b. Encapsulación.
 - c. CSMA/CA (Carrier Sense Multiple Access / Collision Avoidance).

1. **Ethernet:** Redes de Área Local con cable.
 - a. Tecnología LAN más ampliamente utilizada.
 - b. Incluye nivel de enlace y nivel físico.
 - c. **Estándares Ethernet:** para que todos los equipos puedan comunicarse mediante un protocolo común.
 - i. **Ethernet II:** normalmente usado para redes cableadas.
 1. Estándar industrial de 1982.
 2. Encapsula IP directamente en tramas Ethernet.
 3. Versión actualmente en uso.
 - ii. **IEEE 802.3:** normalmente usado para WiFi.
 1. Estándar de IEEE desde 1985.
 2. Utiliza **LLC** (control de enlace lógico o *logical link control*) como subnivel superior de nivel de enlace.
 - a. Requiere de **SNAP** para encapsular IP en tramas Ethernet.
 - b. Encapsulación utilizada en **Wi-Fi**.
 - c. El **Subnetwork Access Protocol (SNAP)** es un protocolo estandarizado (IEEE 802) que permite encapsular diferentes protocolos usando un **SAP (Service Access Point) público**.
 3. Tiene dos cabeceras más (LLC y SNAP) con respecto a Ethernet II.
 4. Utilizado todavía por algunos protocolos de control (STP).

d. **Formato de trama:**

7 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

- i. **Preámbulo:** indica el inicio de una trama (**sincronización**) → patrón **1010...** ("marca el ritmo" → sincroniza la frecuencia de transmisión de bits).
- ii. **SFD (Start Frame Delimiter):** delimita el comienzo de trama: **10101011**
- iii. **Dirección destino y origen:** MAC (*Media Access Control*).
- iv. **Longitud (IEEE 802.3) o Tipo (Ethernet II):** límite de 0x0600 (1.536)

1. > 0x0600: Tipo (**Ethertypes**: 0x0800 es IP, 0x0806 es ARP, ...).

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

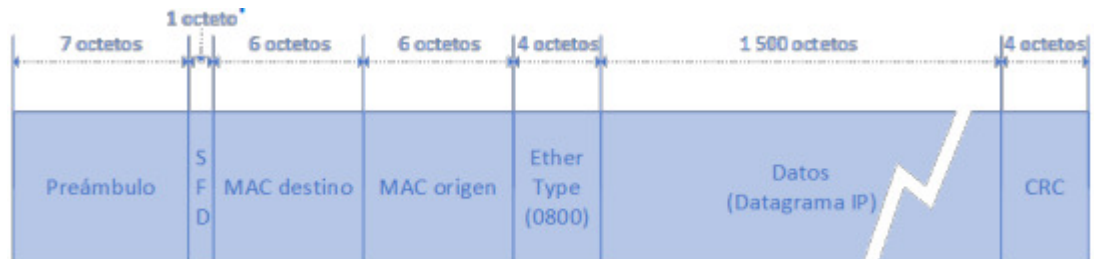
2. < 0x0600: Longitud de campo de datos (transporta una PDU 802.2).

- v. **LLC (IEEE 802.3) y/o datos (Ethernet II)**: datos de nivel superior.
 - vi. **Relleno (con ceros)**: para alcanzar la longitud mínima de trama: **64 bytes** (sin incluir preámbulo y SFD).
 - vii. **SVT**: Secuencia de Verificación de Trama (revisar que no hay bits de error).
- e. **Tipos de Ethernet:**

- ▀ **Ethernet (IEEE 802.3) – 10Mbps**
 - Obsoleto.
 - Codificación Manchester
- ▀ **Fast Ethernet (IEEE 802.3u) – 100Mbps**
- ▀ **Gigabit Ethernet (IEEE 802.3ab) – 1.000Mbps (1Gbps)**
- ▀ **10 Gigabit Ethernet (IEEE 802.3ae) – 10 Gbps**
- ▀ **100 Gigabit Ethernet (IEEE 802.3ba) – 100 Gbps**
- ▀ **Terabit Ethernet (IEEE 802.3bs) – velocidades superiores a 100Gbps**

f. **Encapsulación:**

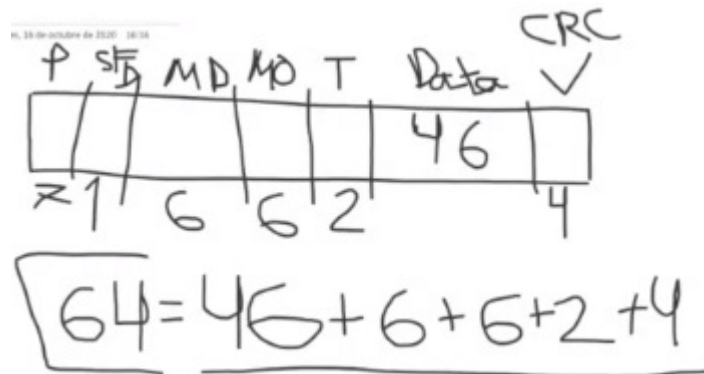
i. **Encapsulación IP sobre tramas Ethernet II:**



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

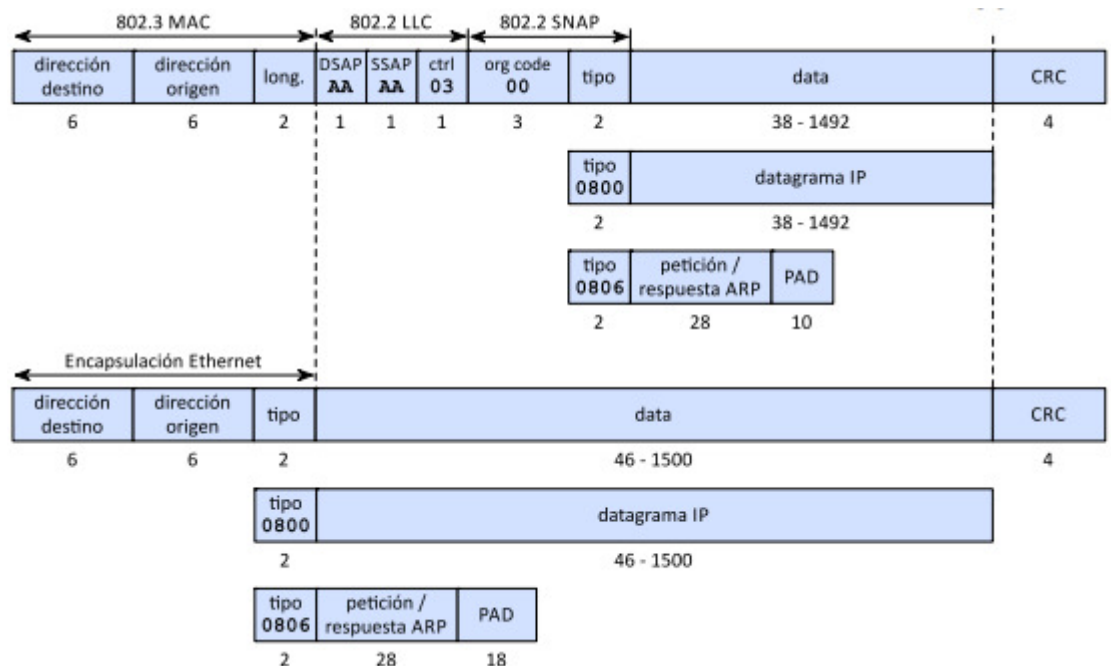
1. **Ether Type**: ERROR → 2 bytes u octetos (no 4 octetos).
2. **Datos**: de 46 a 1.500 bytes. La longitud mínima de una trama Ethernet es de 64 bytes (sin contar preámbulo y SFD).

46 + 12 (MAC destino y origen) + 2 (Ether Type) + 4 (CRC) = **64 bytes**.



3. CRC: *checksum* (Verificación de Redundancia Cíclica).

ii. IEEE 802.2/802.3 vs Ethernet - RFC 1024



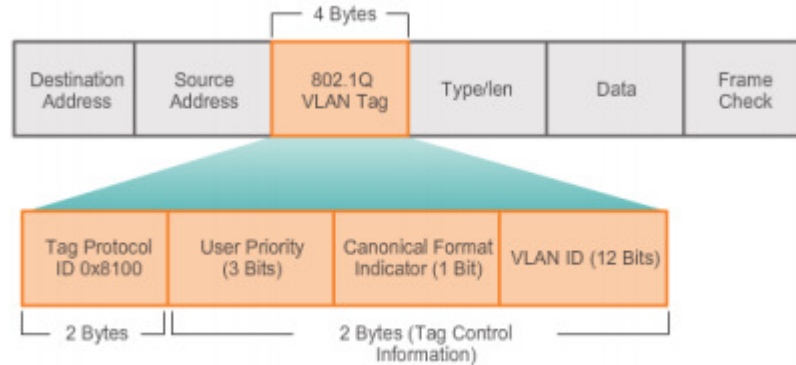
1. **SAP (destino DSAP y origen SSAP):** para subnivel 802.2 LLC.
2. **SNAP:** equivalente al **Ethertype**, pero dentro del campo datos.
3. **PAD:** relleno de trama ARP para alcanzar la longitud mínima.

iii. Tamaño de trama Ethernet:

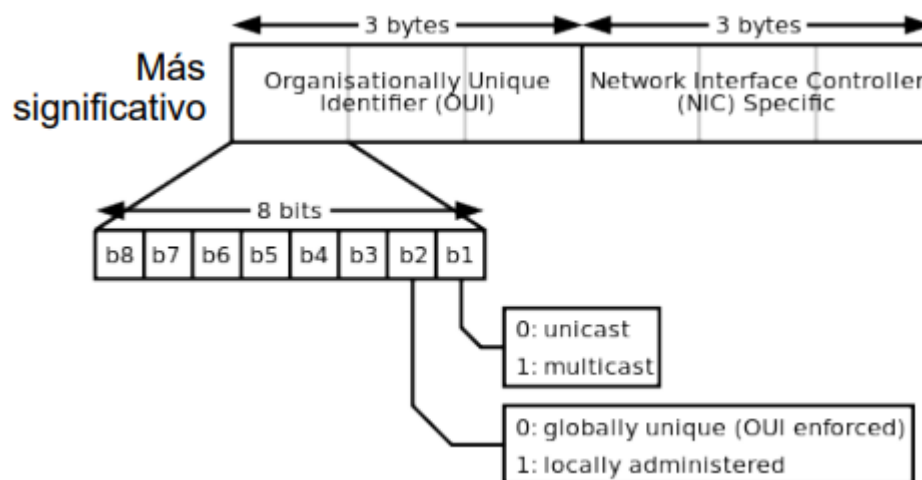
7 Octetos	1 Oct.	6 Oct.	6 Oct.	2 Oct.	0 a 1.500 Oct.	4 Oct.
Preámbulo	SFD	Dirección destino	Dirección origen	Long. ó Tipo	LLC y/o Datos	Relleno 0 - 46
						SVT

1. Los estándares Ethernet II e IEEE 802.3 definen un tamaño mínimo de trama de 64 bytes y un máximo de 1.518 bytes (sin preámbulo y SFD).
2. Si se transmite una trama de tamaño menor que el mínimo o mayor que el máximo, el dispositivo que la recibe la descarta.
3. **Tramas Jumbo y Baby Jumbo:** superan el tamaño máximo, por lo que hay que configurar los dispositivos para que acepten este tipo de tramas y no las descarten.
 - a. **Trama Jumbo:** transportan hasta 9.000 bytes de datos.

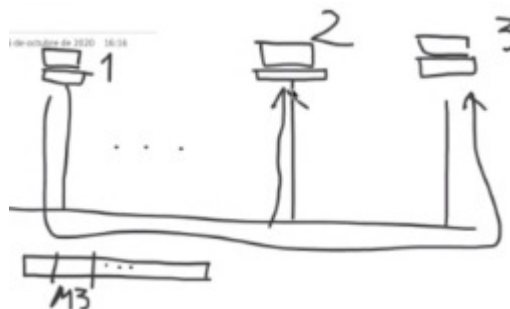
- b. **Tramas Baby Jumbo (802.1Q):** contienen 4 bytes extra donde almacenar la etiqueta de VLAN (red de área local virtual).



- g. **Direccionamiento físico:** direcciones MAC (12 dígitos hexadecimales = 6 bytes).



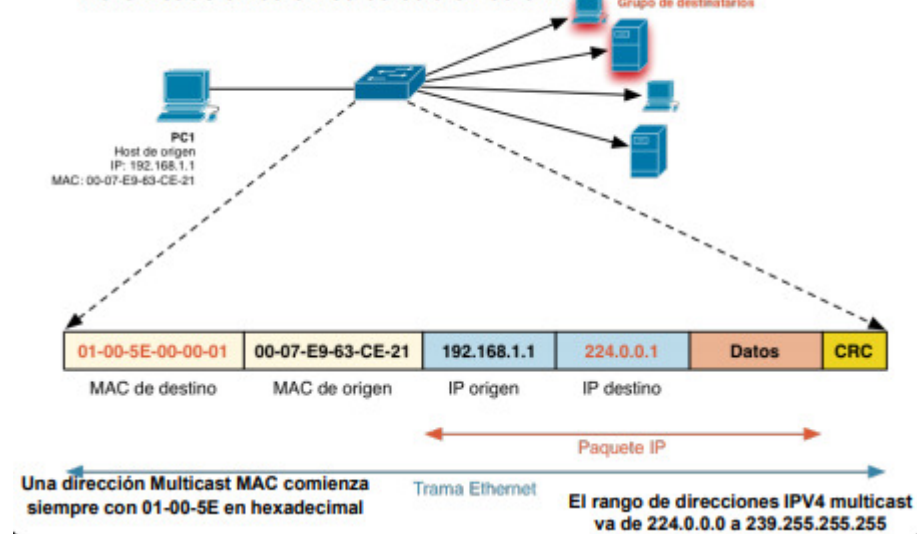
- i. **OUI (organizationally unique identifier):** identificador único de organización asignado por la Autoridad de Registro de IEEE. Identifica fabricantes.
- ii. Estaciones de trabajo, servidores, impresoras en red, switches y routers tienen direcciones MAC asignadas.
- iii. Una trama enviada a través de una red Ethernet contiene, en la cabecera, la dirección MAC de origen y destino.
- iv. Cada tarjeta de red (**NIC** o *Network Interface Card*) comprueba si la dirección MAC de destino se corresponde con la dirección física del dispositivo (almacenada en **RAM**). En el caso de ser una dirección **unicast**:
 1. Si no coincide, se descarta la trama.
 - a. **Ejemplo:** cuando se envía un paquete en un mismo segmento de red (sin switch/filtro) y llega a un equipo final distinto al deseado.



2. Si coincide, la NIC pasa la trama al niveles superior.

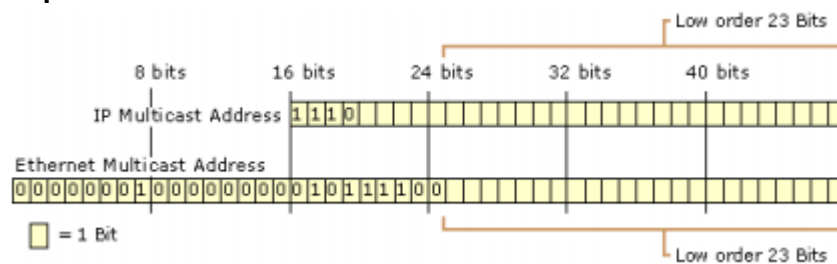
v. **Direcciones MAC Multicast (IPv4):** prefijo → 01-00-5E

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

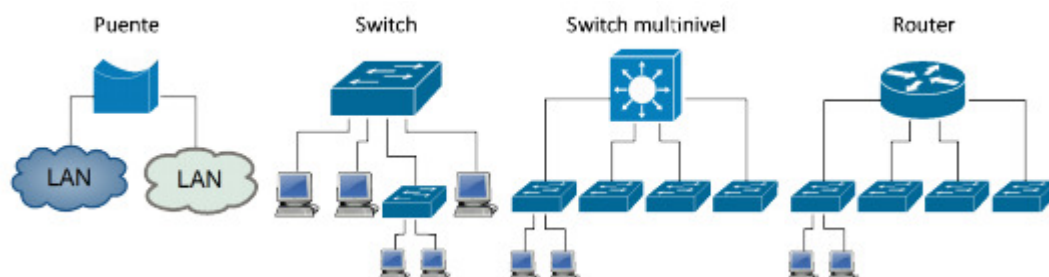


1. **Rango:** desde 01-00-5E-00-00-00 hasta 01-00-5E-7F-FF-FF

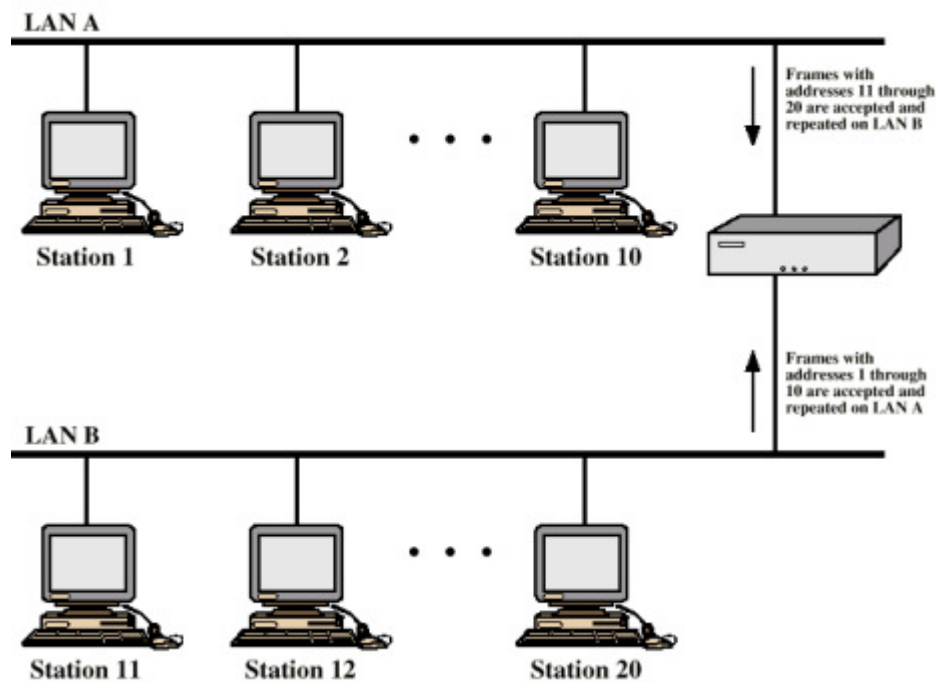
2. **Mapeo de dir IP multicast a dir Ethernet multicast:**



- IP tiene 4 bytes y MAC tiene 6 bytes.
 - Prefijo dir IP multicast:** 1110 (clase D).
 - Prefijo dir Ethernet multicast:** 01-00-5E + 1 bit a 0.
 - Los últimos 23 bits de la dirección IP se mapean en los últimos 23 bits de la dirección Ethernet. Por esto, se reserva hasta **7F-FF-FF**.
 - Hay **5 bits** de la dirección IP multicast que no se mapean en la dirección Ethernet, por lo que varias direcciones IP multicast se mapean a la misma dirección Ethernet multicast ($2^5 = 32$).
 - A nivel de enlace, un equipo aceptará la trama Ethernet multicast que contenga la dirección multicast de su grupo. Después, a nivel de red, comprobará los 5 bits libres de IP para finalmente aceptar o desechar el paquete multicast.
- h. **Dispositivos de interconexión:** conectan entre sí los elementos de red, creando las redes de área local. Separan diferentes **dominios de colisión** y de **difusión**.



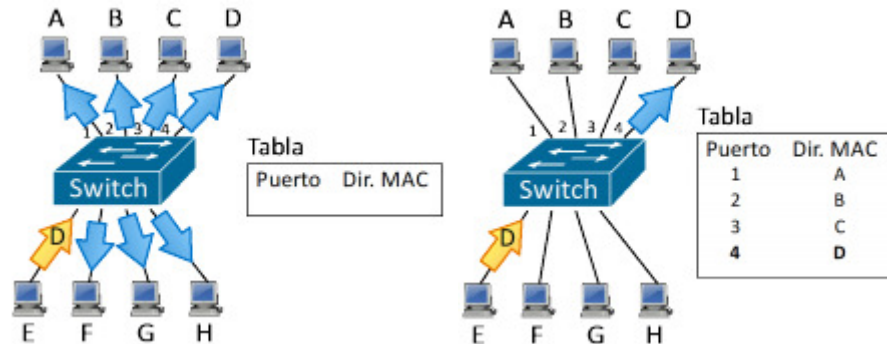
- i. **Dominio de colisión:** si un equipo envía una trama a Internet, todos los equipos conectados al mismo cable que el equipo reciben la trama, aunque no fuera dirigida hacia ellos. Para transmitir una trama por este dominio, el cable debe estar vacío; en caso contrario, dos tramas colisionarían y habría que desechar ambas.
- ii. **Dominio de difusión:** cualquier equipo en la red puede transmitir a cualquier otro equipo en el dominio sin precisar ningún dispositivo de encaminamiento.
- iii. **Hub:** toda trama que le llega lo envía a todo equipo conectado a él ("inunda" la red).
- iv. **Puente:** permite segmentar una LAN, creando varios **dominios de colisión** (dos dominios de colisión: S1-S10 y S11-S20).



1. Es más "inteligente" que un **hub** porque aprende a qué rama reenviar tramas gracias a las direcciones MAC origen en estas.
2. Almacenan temporalmente las tramas.
3. Retransmiten en base a la dirección MAC de destino.
4. No disponen de funcionalidad de control de flujo.
5. **Ejemplo:** S11 envía trama a S10 mediante un puente recién conectado (tabla ARP vacía). La trama llega al puente y a S12-S20 (rechazan). El puente guarda la MAC origen de la trama (MAC de S11) y enviará la trama al resto de ramas conectadas, que llegará a S10 y a S1-S9 (rechazan). S10 responderá con otra trama y el puente guardará su MAC para próximas comunicaciones.
- v. **Switch (conmutador):** puente multipuerto que permite comunicaciones simultáneas, separando dominios de colisión.
 1. **Eficiencia:** cuando hay colisión de tramas, hay que desecharlas. Separando los dominios de colisión evitas su retransmisión.
 2. **No necesita configuración:**
 - a. Aprende las direcciones MAC de cada estación conectada a cada puerto, con las que construye tablas de conmutación.

- b. 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.
- c. [MAC Address Tables on Connected Switches](#)
- d. [Sending the Frame to the Default Gateway](#)

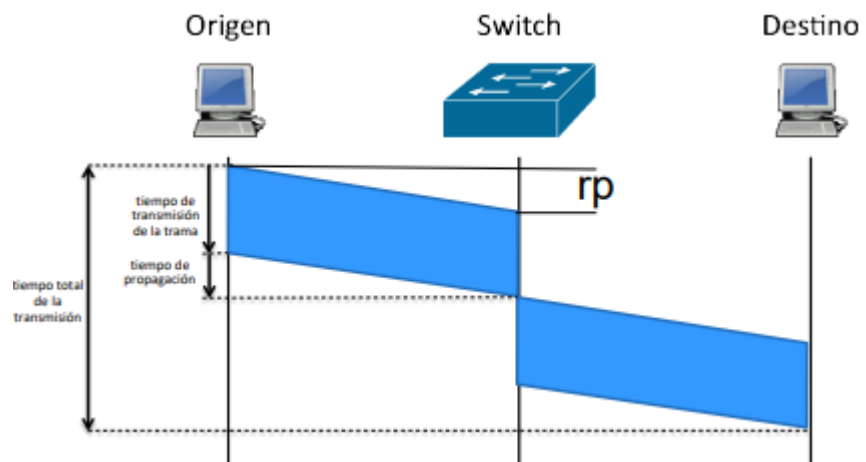
3. Funcionamiento básico:



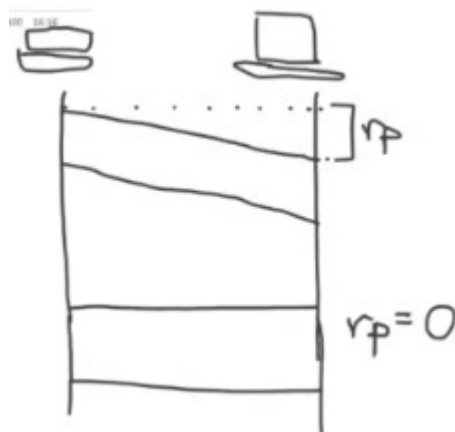
4. Velocidad y arquitectura: los switch permiten conectar dispositivos a diferente velocidad.

5. Técnicas de conmutación:

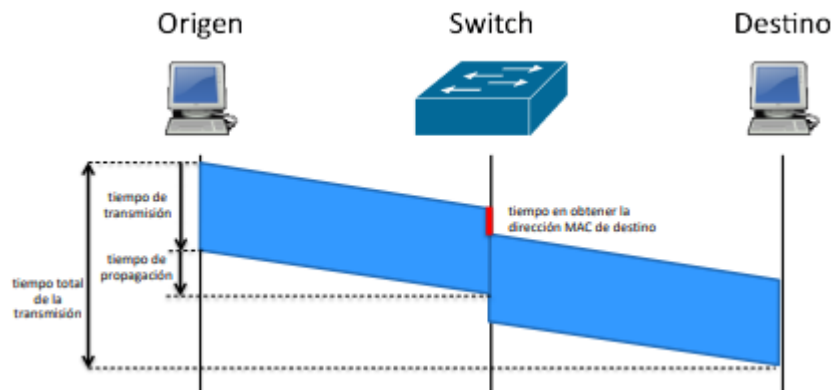
- a. **Almacenamiento y retransmisión (*Store and Forward*):** hasta que el switch no reciba la trama completa, no transmite nada.



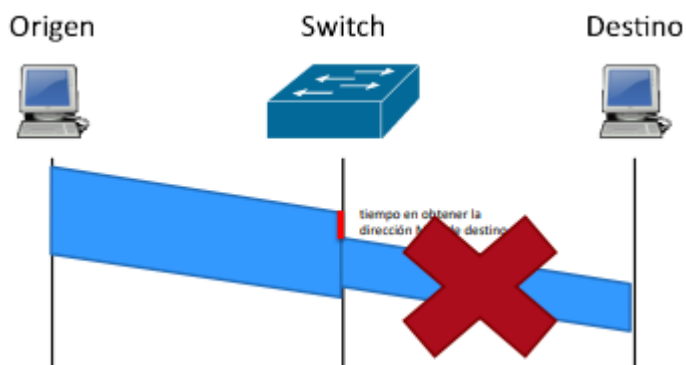
- i. **Barra azul:** se refiere al tiempo que se tarda en transmitir o recibir los bits de la trama.
- ii. **rp:** tiempo o retardo de propagación (entre equipos).



- b. **Cut-through:** en cuanto reciba la dirección MAC destino (a qué equipo conmutar), comienza a transmitir.



- i. Para leer **dir MAC destino**, hay que leer **preámbulo y SFD**.
- ii. **Cut-through** no puede tener **mayor velocidad de salida**.



No pueden retransmitirse bits de una trama que no han sido recibidos aún.

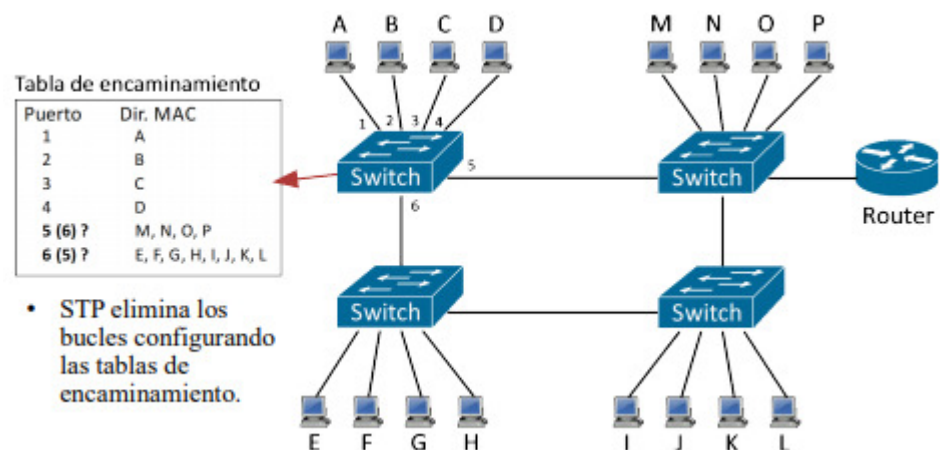
6. **Permiten el funcionamiento dúplex:** no hay colisiones ni limitación de distancia a nivel MAC.

7. **Limitaciones:**

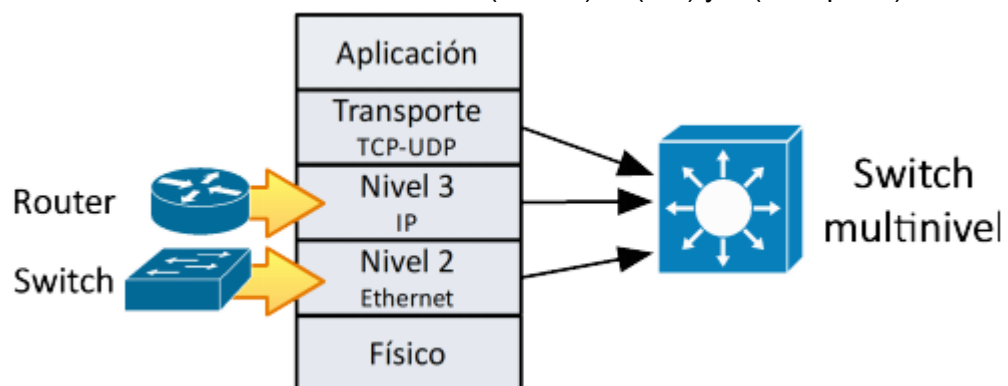
- a. No limitan el **dominio de difusión**.
- b. Son susceptibles a los **bucles (loops)**: necesidad de utilizar **mecanismos de poda de bucles**.
 - i. STP (Spanning Tree Protocol).
 - ii. Aumenta la complejidad.
 - iii. Puede tener convergencia lenta.

8. **Bucles (loops):** se soluciona con STP (*Spanning Tree Protocol*), que elimina las ambigüedades en las tablas de encaminamiento (varias

formas de llegar al mismo equipo destino).



vi. **Switch multinivel:** switch de nivel 2 (enlace), 3 (red) y 4 (transporte).



▪ Switch Nivel 2

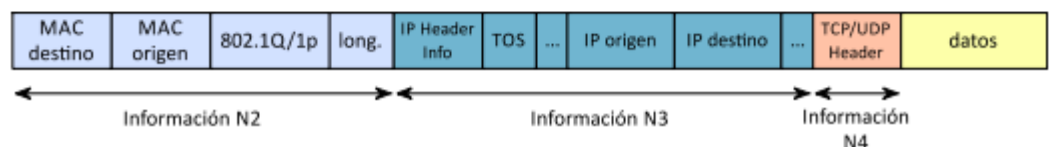
- Conmuta a partir de la dirección MAC

▪ 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



1. **Trama PAUSE:** trama de control de congestión enviado cuando el dispositivo (terminal, conmutador, etc) estima que se ha superado un **umbral de ocupación de buffers**, e indica al dispositivo par en la comunicación **dúplex** que cese sus transmisiones durante un **tiempo**.

	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

- **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

2. **Autonegociación:** mecanismo para que dos extremos de una conexión física que no soportan las mismas opciones se pongan de acuerdo en la **velocidad de transferencia** (10, 100 o 1000 Mbps), el **modo de trabajo** (dúplex o semidúplex) y el **control de flujo** (soportado o no).
 - a. Optimiza la labor de instalación de las redes de área local porque es **automático** (anula posibles errores humanos).
 - b. Se hace a nivel físico cuando un dispositivo arranca o se reinicia.

i. **Ejercicios:**

- i. **Calcule el tiempo de transmisión de la trama de longitud mínima en una red FastEthernet (100 Mbps).**

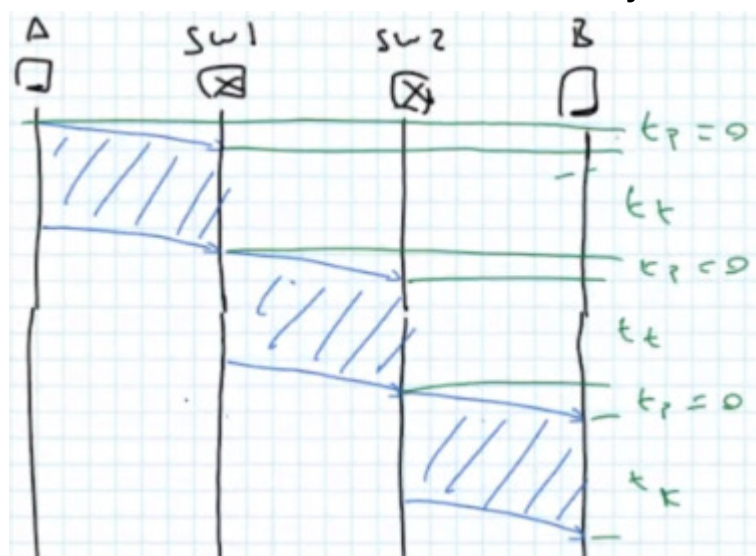
Longitud mínima = 8 (preámbulo + SFD) + 64 bytes = **72 B** → **576 bits**
 $576 \text{ b} / 100 \text{ Mbps} = \mathbf{5,76 \mu s}$

- ii. **Calcule el tiempo de transmisión de la trama de longitud mínima en una red Gigabit Ethernet (1.000 Mbps).**

Longitud mínima = 8 (preámbulo + SFD) + 64 bytes = **72 B** → **576 bits**
 $576 \text{ b} / 1000 \text{ Mbps} = \mathbf{0,576 \mu s}$

- iii. **Calcule el tiempo que se tarda en transmitir un datagrama IP de 1.500 octetos entre dos equipos conectados a una red FastEthernet (100 Mbps) con dos switches (desprecie el tiempo de propagación).**

1. Los switches funcionan en almacenamiento y reenvío

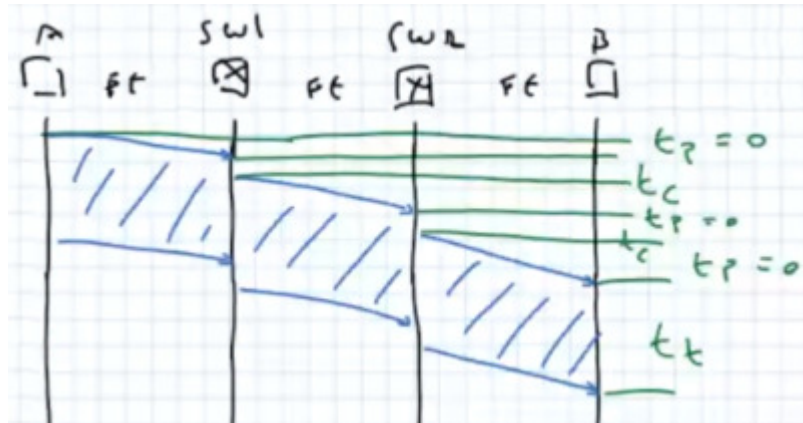


$$3 \cdot (t_{\text{propagación}} + t_{\text{transmisión}})$$

Longitud = 1.500 B (datos = IP) + 7 + 1 + 6 + 6 + 2 + 4 = **1.526 B**

$$t_{\text{total}} = 3 \cdot t_{\text{transmisión}} = 3 \cdot 8 \text{ b/B} \cdot 1.526 \text{ B} / 100 \text{ Mbps} = \mathbf{366,24 \mu s}$$

2. Los switches funcionan en modo *cut-through*



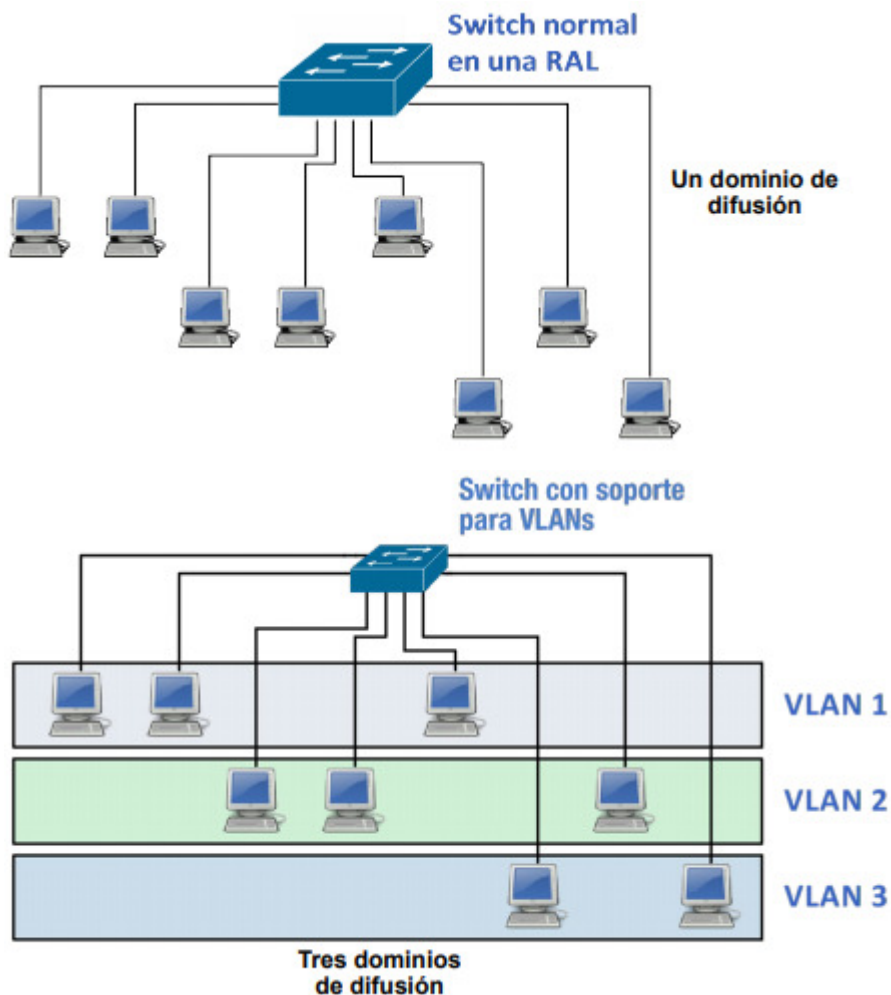
$$2 \cdot (t_{\text{propagación}} + t_{\text{conmutación}}) + t_p + t_{\text{transmisión}}$$

$$t_c = 8 \text{ b/B} \cdot (7 + 1 + 6) [\text{preámbulo} + \text{SFD} + \text{MAC destino}] / 100 \text{ Mbps} = 1,12 \mu\text{s}$$

$$t_{\text{total}} = 2 \cdot t_c + t_t = 2 \cdot 1,12 \mu\text{s} + 122,08 \mu\text{s} = 124,32 \mu\text{s}$$

2. VLANs: Redes de Área Local Virtuales.

- Redes normalmente organizadas jerárquicamente. En lugar de utilizar muchos switch (un dominio de difusión por switch), se utiliza un solo switch para varios VLAN (un dominio de difusión por VLAN). Las redes locales no se establecen solo físicamente, ahora también lógicamente (virtualmente, por software).

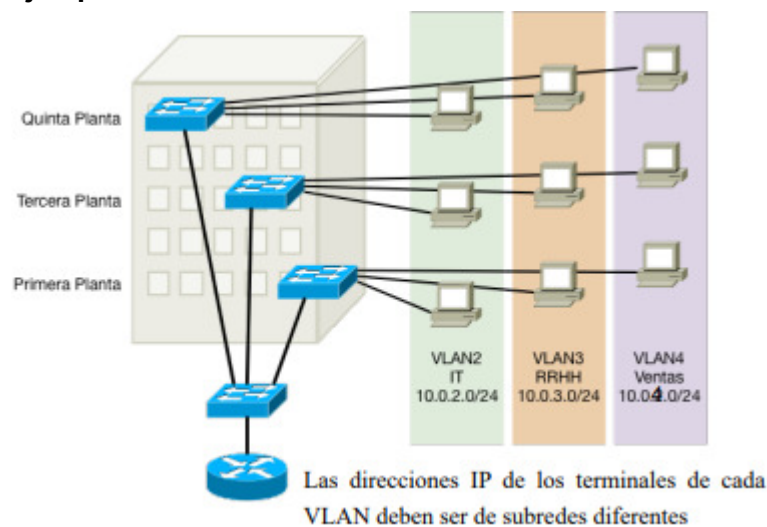


- Una red de área local virtual, o VLAN, es una partición lógica de una red física de nivel 2
 - La partición lógica tiene lugar en los “switches”
- Cada VLAN se corresponde con un dominio de broadcast
- Las VLAN están aisladas unas de otras a nivel 2, por lo que los paquetes destinados a una VLAN diferente 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

Como dos equipos en distintos dominios de difusión están aislados a nivel de enlace, la comunicación entre sí deberá ser a nivel de red (router, por ejemplo).

Las VLANs son subredes distintas.

i. **Ejemplo:**



1. A nivel de enlace, un equipo de Ventas solo podrá comunicarse con otros equipos de la VLAN de ventas. Para comunicarse con equipos de otras VLANs (IPs distintas), deberá pasar por el router (nivel de red).

b. **Beneficios:**

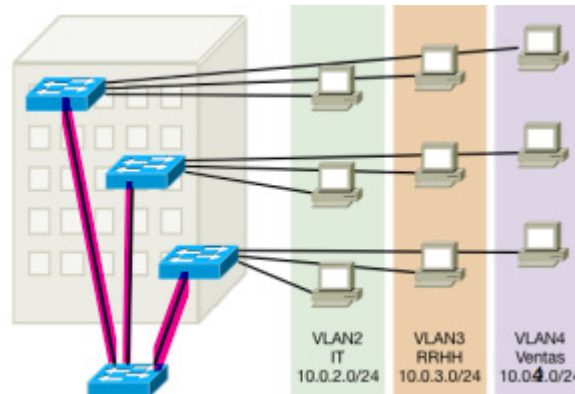
- Seguridad:** el tráfico no se mezcla.
- Reducción de costes:** configuración más compleja con cableado más sencillo.
- Mejor rendimiento:** la difusión no alcanza a tantos equipos no deseados.
- Dominios de broadcast reducidos.**

c. **Tipos de VLAN:**

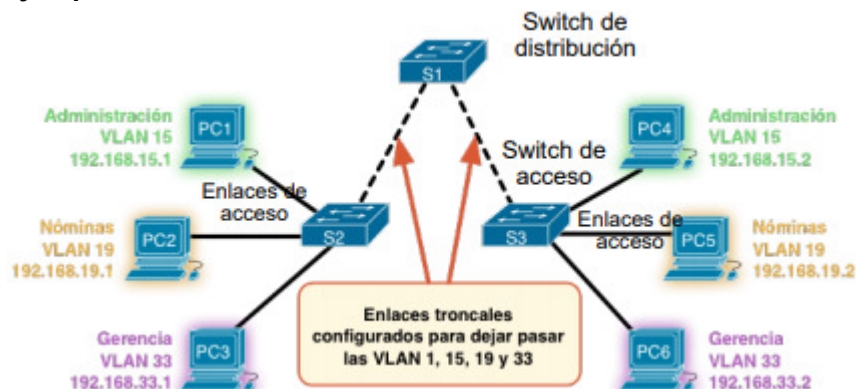
- VLAN por defecto:** destinada a los puertos de un switch sin VLAN asignada o configurada.
- VLAN de gestión y administración:** destinada a separar el tráfico de red del tráfico de la gestión y configuración de los switches.
- VLAN de datos:** destinada a transmitir el tráfico generado por los usuarios (VLAN de estudiantes, VLAN de profesores, ...).
- VLAN de voz:** destinada a separar el tráfico entre datos y voz (tráfico VoIP).

d. **Identificación de VLAN:**

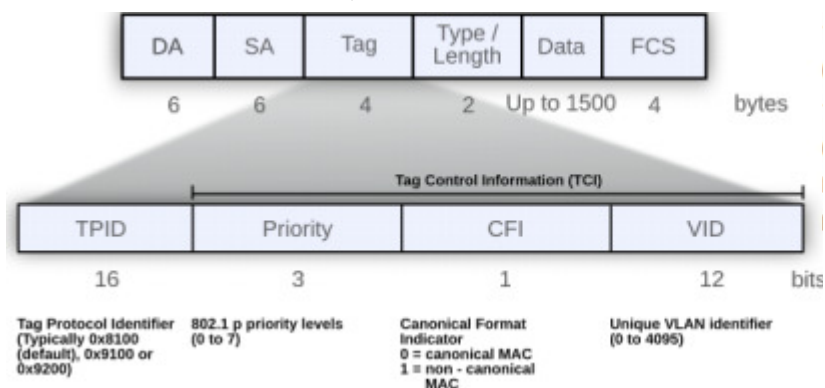
- i. Por **puerto de switch**.
- ii. Por **dirección IP**: las direcciones de los terminales de cada VLAN deben pertenecer a subredes distintas.
- iii. Por **etiqueta 802.1Q (protocolo)**:
 1. **Trama Baby Jumbo**: cabecera extra.
 2. **Enlace troncal (trunk)**: puede llevar datos de más de una VLAN.
 - a. Se establece típicamente entre switches.
 - b. Dispositivos de una misma VLAN pero conectados a distinto switch pueden comunicarse a nivel de enlace gracias a los *trunk*.
 - c. No está asociado a ninguna VLAN concreta.
 - d. **Ejemplo**: los enlaces coloreados son **troncales**.



e. **Ejemplo:**



3. La etiqueta **802.1Q** se añade a la trama Ethernet antes de enviarla por un enlace troncal y se elimina antes de entregarla al equipo destino.
4. **Formato de trama 802.1Q:**



e. **Encaminamiento entre VLANs:**

-
- The diagram illustrates a network setup for VLANs. A router R1 is connected to a switch S1. R1 has two subinterfaces: F0/0.10 for VLAN 10 and F0/0.30 for VLAN 30. S1 has three ports: F0/5 connected to R1, F0/11 connected to PC1 (172.17.10.21), and F0/6 connected to PC3 (172.17.30.23). Labels include 'Enlace troncal', 'VLAN10', 'VLAN30', and 'Subinterfaces'.

-
- Diagrama de un switch VLAN multinivel. El switch está dividido en dos niveles: N3 (Encamina) y N2 (Conmuta). El nivel N3 contiene una tabla de encaminamiento con campos IP, IP y Datos. El nivel N2 contiene cuatro interfaces físicas numeradas 1, 2, 3 y 4. Las interfaces 1 y 2 están conectadas a un grupo de computadoras etiquetado como VLAN1. Las interfaces 3 y 4 están conectadas a un grupo de computadoras etiquetado como VLAN2. Las computadoras en VLAN1 tienen direcciones IP 192.168.10.1, 192.168.10.2, 192.168.20.1 y 192.168.20.2. Las computadoras en VLAN2 tienen direcciones IP 192.168.10.3, 192.168.10.4, 192.168.20.3 y 192.168.20.4.

f. Ejercicio 6:

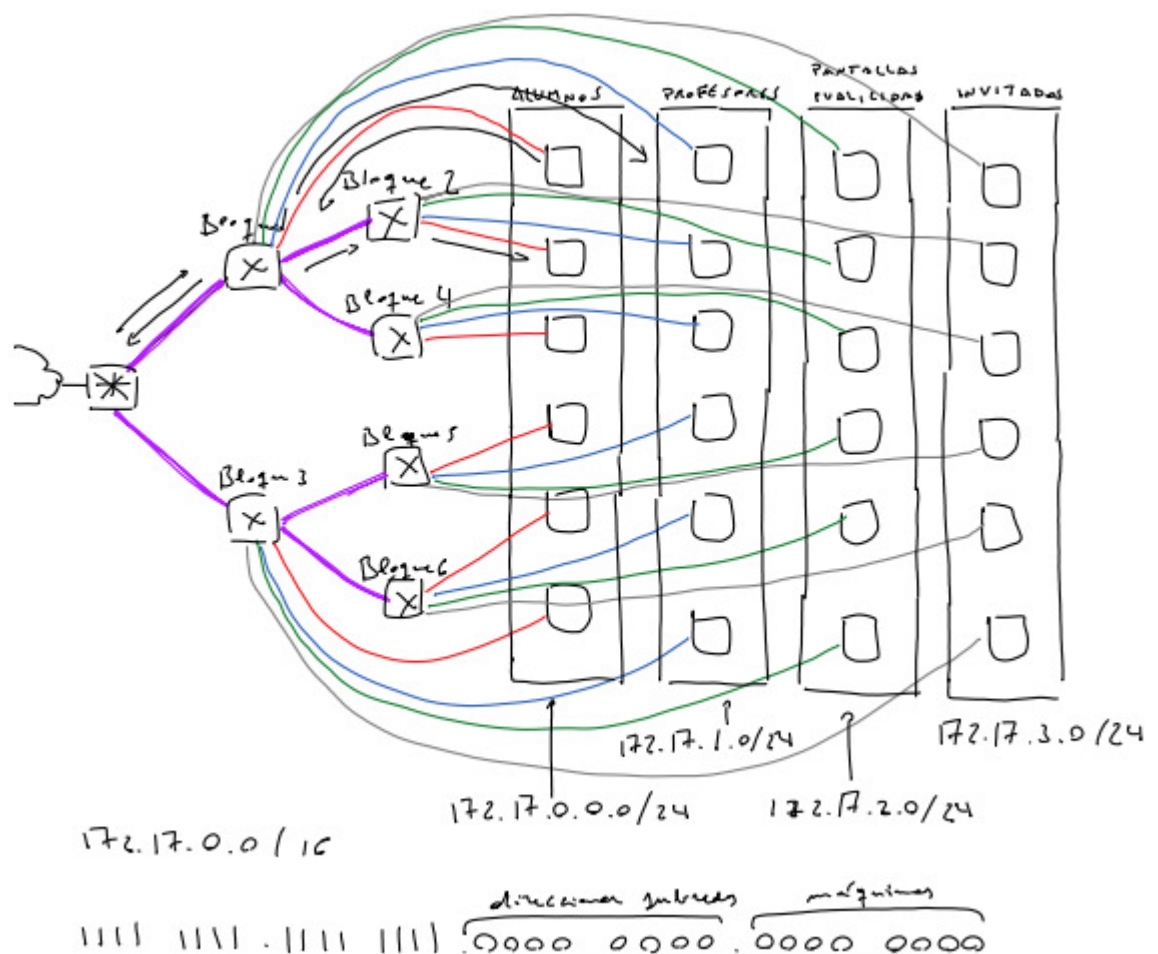
6. La Facultad de Informática posee una red de área local con la dirección IP **172.17.0.0 /16** con acceso desde los bloques 1 y 3. El centro de cálculo desea separar varios de los tráficos posibles mediante la creación de las siguientes VLAN:

- **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?



Rojo, azul, verde, gris: enlaces a VLAN distintas.

Morado: enlaces troncales (transportan tramas de VLAN distintas).

172.17.0.0/16 → subredes 0, 1, 2 y 3 para identificar cada VLAN.

172.17.x.0/24 → equipos de cada subred (VLAN).

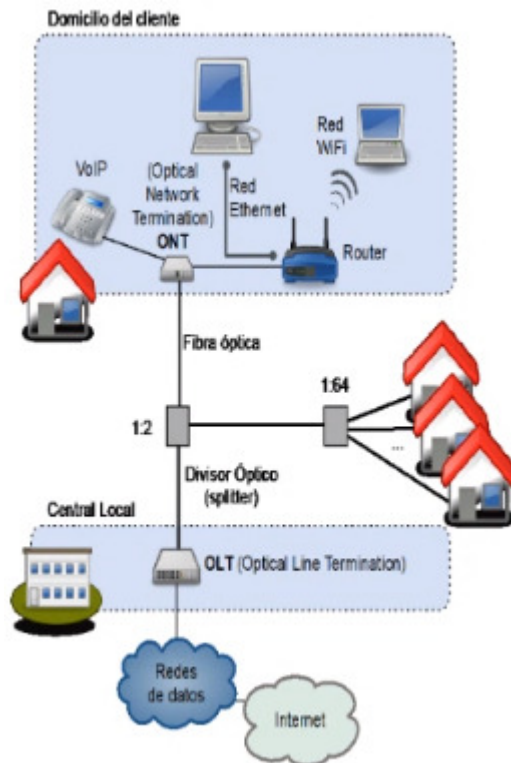
a) Sí, a través del switch multinivel (con funcionalidad de nivel de red).

b) Hay 4 dominios de difusión, uno por cada VLAN.

3. Wi-Fi: Redes de Área Local Inalámbricas.

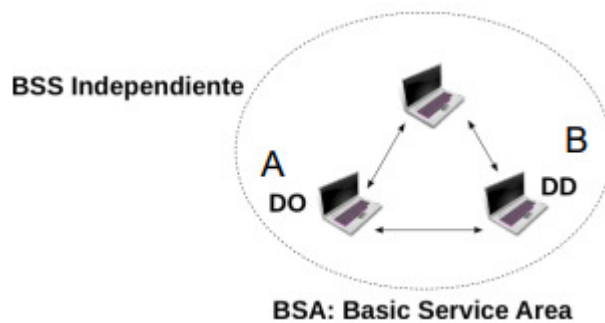
a. **Router inalámbrico:** tiene los roles de punto de acceso a Internet, switch Ethernet y router.

- b. **Estándar:** IEEE 802.11
- c. Wi-Fi es una marca de la **Alianza Wi-Fi**, la organización comercial que adopta, prueba y certifica que los equipos cumplen con los estándares **802.11**.
- d. **Router conectado a fibra óptica:** paquetes multiplexados con los de VoIP (fijo).

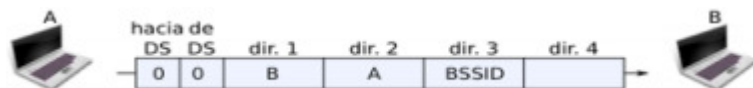


e. **Tipos de redes inalámbricas:**

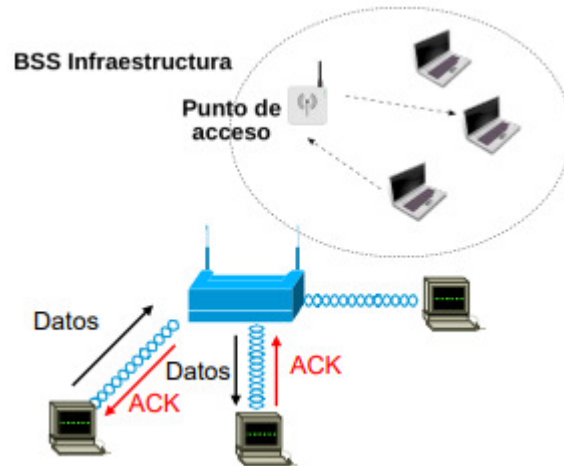
- i. **Basic Service Set (BSS):** conjunto de estaciones inalámbricas que coordinan el acceso al medio compartido para acceder entre ellas. Suelen venir con un punto de acceso que permita el acceso a Internet.
- ii. **Redes independientes (ad-hoc):** comunicación directa entre terminales (cada una tiene su tarjeta WiFi y se conectan entre sí).



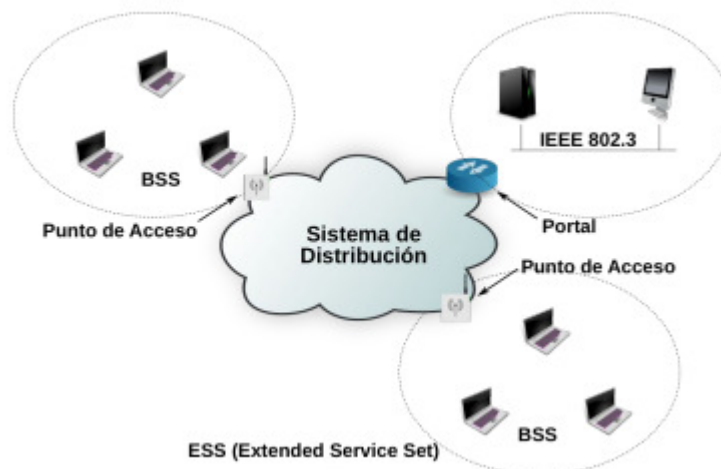
- 1. No tienen **punto de acceso (PA)** ni infraestructura.
- 2. Generalmente temporales.
- 3. **Función de Coordinación Distribuida (DCF):** mecanismo de comunicación directa entre las estaciones.
- 4. **Identificación:**



- a. **SSID (Service Set Identifier)**: cadena de texto que identifica la red
 - b. **BSSID (Basic Service Set Identifier)**: MAC aleatoria.
- iii. **Redes de infraestructura**: la comunicación entre dos terminales se hace a través del **punto de acceso (PA)** (conexión indirecta).
BSS-I: BSS de Infraestructura.



1. **Identificación:**
 - a. **SSID (Service Set Identifier)**: cadena de texto que identifica la red
 - b. **BSSID (Basic Service Set Identifier)**: MAC de interfaz WiFi de PA.
 2. Al encender un router, este escanea todos los canales y asigna a cada equipo automáticamente canales por los que hay menos tráfico para que transmitan por ellos.
 3. Los PA envían periódicamente tramas Beacon con su SSID y su dirección MAC. Cuando un equipo recibe esta trama, detecta que hay una red WiFi a la que poder conectarse.
 4. Ocultar una red significa que el PA no envíe tramas Beacon. Pero se puede conectar a la red mediante el SSID.
- iv. **Redes extendidas**: comunica diferentes BSS mediante una red de PAs que conforman un **Sistema de Distribución (DS)** (Ethernet). El **portal** conecta permanentemente la red de puntos de acceso con Internet.



1. **Roaming**: si un equipo se desplaza por distintos BSS del mismo ESS, deberá vincularse a los puertos de acceso de cada BSS en cada

momento, mediante **des-asociación** y **re-asociación**. Este proceso debe ser **transparente** al usuario (automático, no afecta a la conexión).

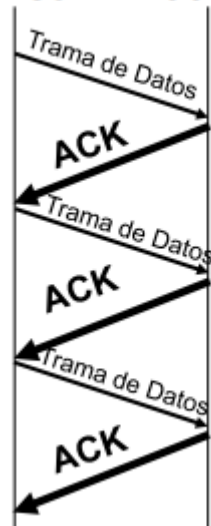
2. Identificación:

- a. **SSID:** identifica toda la red.
- b. **BSSID:** cada BSS se identifica con la MAC de la interfaz WiFi de su PA.

f. Protocolo Wi-Fi (IEEE 802.11): conexión de terminales inalámbricos a la red de acceso.

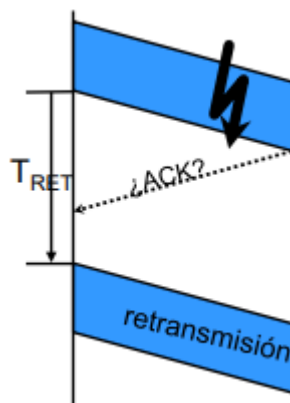
- i. **Servicio fiable:** puede sufrir interferencias, bloqueos, reflexiones, ... por eso se implementan tantos elementos de seguridad.
- ii. Numeración de tramas.
- iii. Confirmación de la recepción correcta de cada trama mediante una trama de control.
- iv. Control de flujo mediante el mecanismo de **parada y espera**.

Emisor Receptor



Hasta que no reciba **ACK**, no envía más tramas.

- v. Detección (CRC) y recuperación (retransmisión por *timeout*) de errores.



Pasado un tiempo (T_{RET}), si no se recibe ACK (ya sea por recepción errónea o porque se perdió la trama ACK), se **retransmite** la trama.

- vi. **CSMA/CA:** espera antes de transmitir / prevención de colisiones.

g. Tipos de tramas de redes inalámbricas:

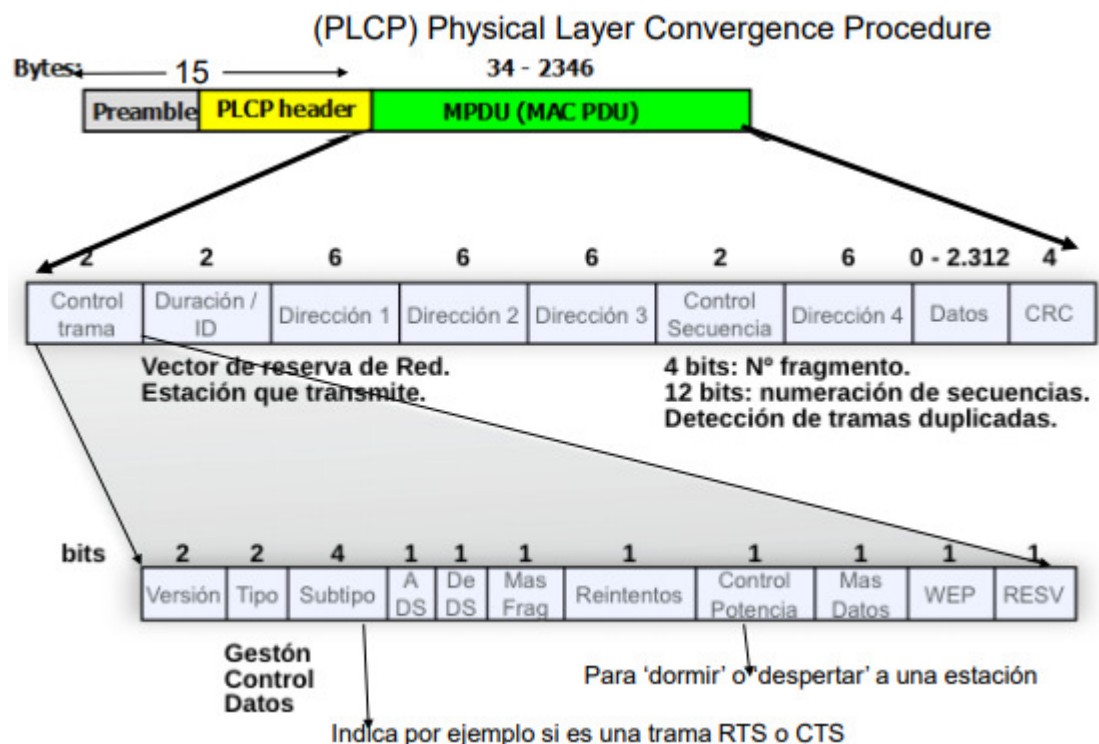
- i. **Tramas de datos:** transportan los datos del protocolo.
- ii. **Tramas de control:** de acceso al medio.

1. **ACK**: validación de trama de datos.
2. **RTS (Request To Send)**: reserva del canal.
3. **CTS (Clear To Send)**: validación de reserva por el receptor.
4. **Power Save**: control de energía.

iii. **Tramas de gestión:**

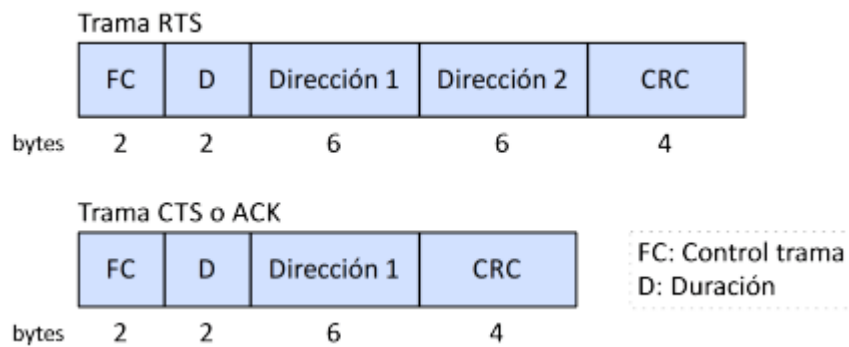
- **Beacon (Baliza)**
 - El PA advierte su presencia transmitiendo 10 tramas *Beacon* por seg. Contiene información útil tal como el nombre de la red y las capacidades del PA.
- **Probe (petición y respuesta)**
 - Permite a una estación preguntar si hay alguna red en un determinado canal
- **Authenticate (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)**

h. **Formato trama de datos 802.11:**

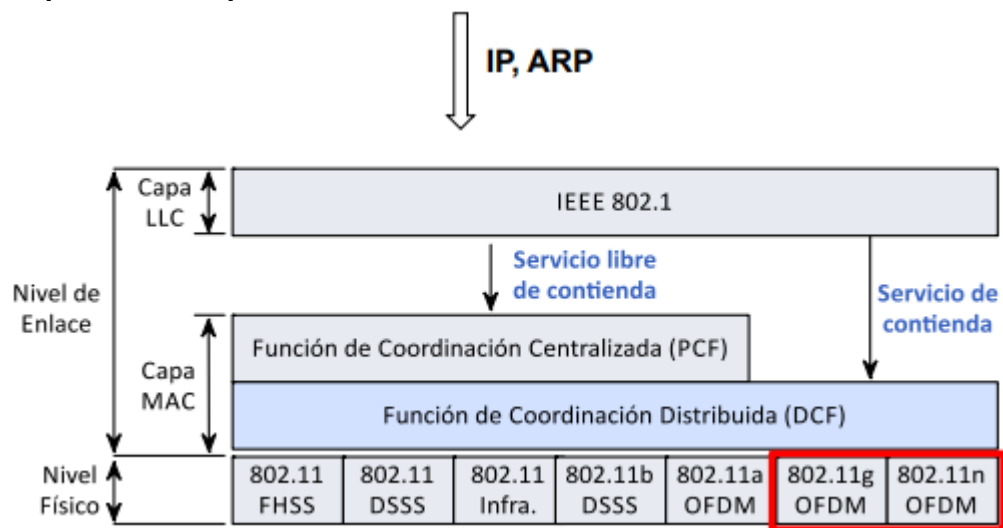


- i. **Datos:** en la teoría, se tienen 2.312 bytes máximos. Pero en la práctica, como la red WiFi se conecta a Ethernet, se capta a sus **1.500 bytes** máximos.
- ii. **4 direcciones:** origen, destino, emisor y receptor (pueden ser distintos).
- iii. **Duración:** reservar un canal para estar transmitiendo un tiempo determinado.
- iv. **Control Potencia:** para dormir o despertar a una estación.
- v. **WEP:** seguridad.

i. **Formato trama de control 802.11 (RTS/CTS):**

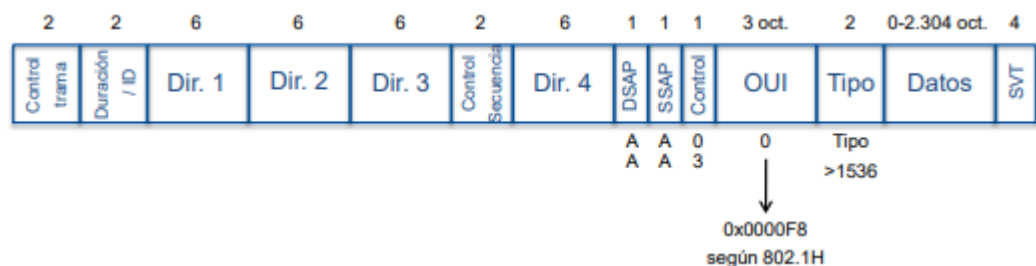


j. **Arquitectura de protocolos:**



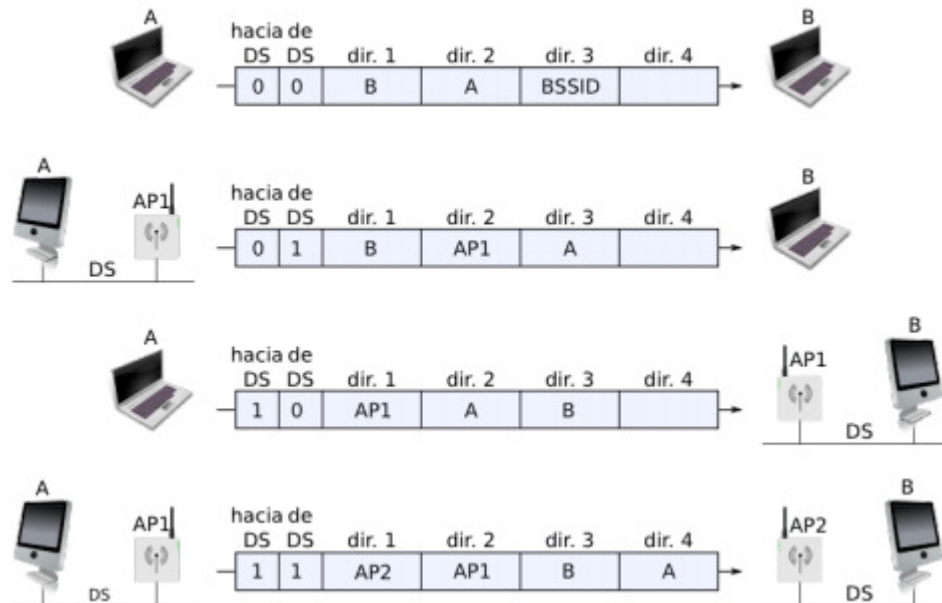
OFDM (orthogonal frequency division multiplexing): multiplexación por división de frecuencias ortogonales.

i. **Capa LLC-SNAP: 42 bytes de control.**

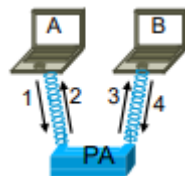


1. **Control trama:** hacia DS + desde DS → determina los sistemas de distribución en la comunicación.
- ii. **Capa MAC:** se ocupa de la transmisión de datos fiables, de control de acceso y de seguridad.
 1. **Dos formas de acceso al medio:** para resolver problemas de colisión.
 - a. **Protocolo de acceso distribuido:** cada nodo decide cuándo transmitir, que será cuando el medio esté libre.
 - b. **Protocolo de acceso centralizado:** un sistema centralizado decide qué nodos pueden transmitir.
 2. **Subnivel MAC:** 4 direcciones → pueden ser diferentes entre sí.
 - a. **Interfaz aire (terminal o PA):** receptor y transmisor.
 - b. **Sistema de distribución (estaciones):** destino y origen.

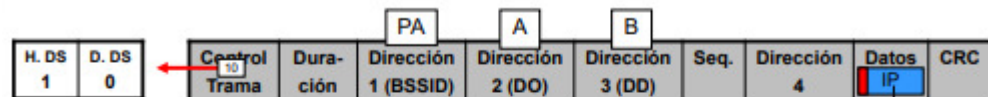
- iii. **Servicio de contienda:** varios equipos intentando utilizar el mismo medio.
- iv. **Ejemplo:** la dirección 3 tendrá un significado u otro según la trama de control.
- dir 1: Terminal ó PA receptor; dir 2: Terminal ó PA transmisor; dir 3: otro terminal**



- v. **Ejemplo:** trama de A a B.



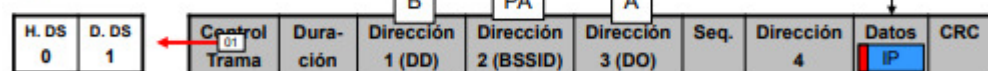
1: A envía la trama a PA:



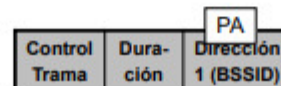
2: PA envía la trama ACK a A



3: PA envía la trama a B:



4: B envía la trama ACK a PA



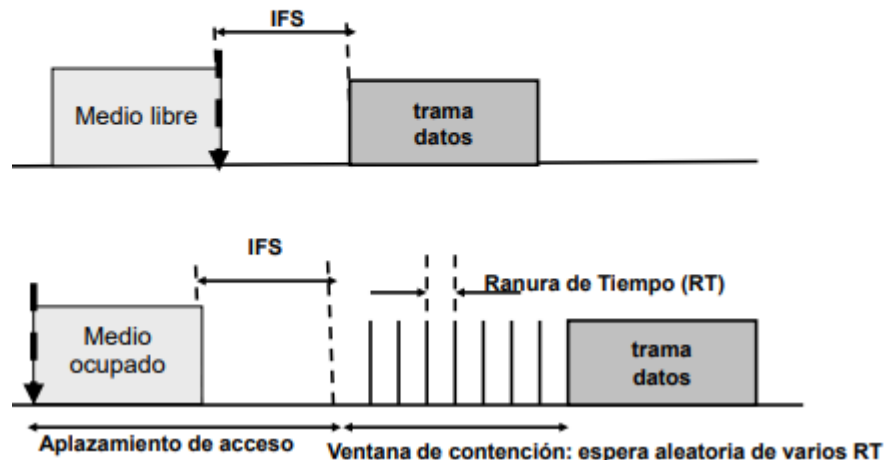
k. **CSMA/CA (Carrier Sense Multiple Access / Collision Avoidance):**

i. **CSMA: Carrier Sense Multiple Access**

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

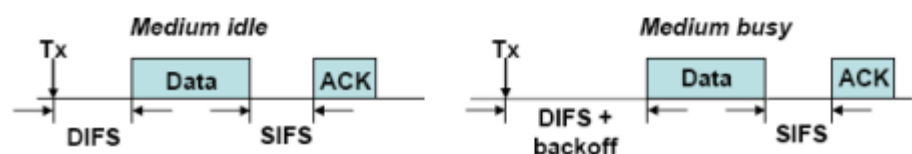
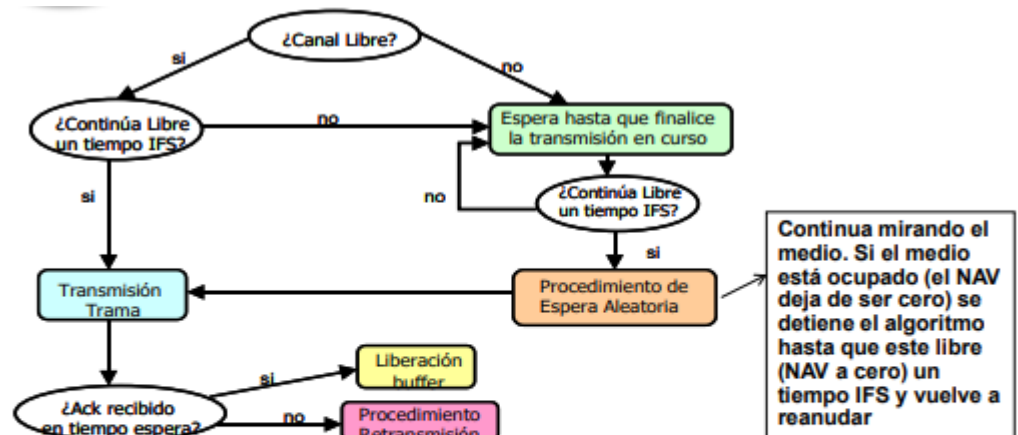
ii. **Función de coordinación distribuida:** sesión 4 (35:45) // 58:00

- Tras el envío de una trama, todas las estaciones deben esperar un IFS (*Inter Frame Space* o espacio entre tramas) para volver a transmitir.



- Si cuando vamos a transmitir, el medio está **libre** y sigue libre durante el IFS, **transmite**.
- Si cuando vamos a transmitir, el medio está **ocupado**, espera a que la transmisión en curso finalice (se sabe cuánto esperar por el campo Duración de la trama de datos). Después, espera un IFS y, si sigue libre, **espera un periodo aleatorio** y luego **transmite**. Los equipos en contienda por el medio esperarán un número aleatorio de ranuras de tiempo (RT) para acceder al medio. El que menos tarde, puede transmitir. El resto deberán volver a esperar un IFS, pero los que ya tuvieran asignado un RT, lo reanudan.
- Ventana de contención:** mayor según las estaciones esperando.

2. **Algoritmo de función de coordinación distribuida:**



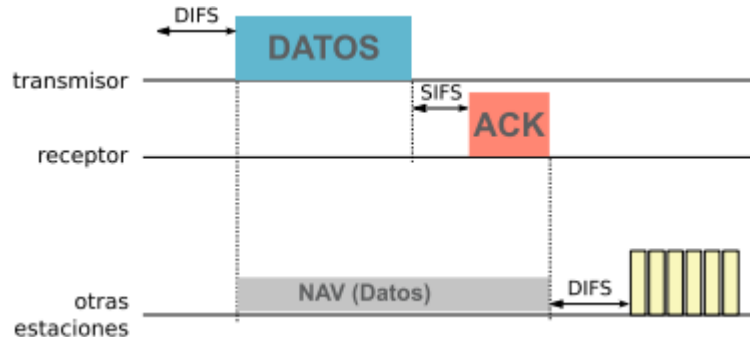
NAV: Network Allocation Vector.

backoff = ranuras de tiempo (RT)

Las estaciones tienen un cierto temporizador que se inicializa al RT asignado que debe esperar tras su primer IFS en un **medio ocupado**.

Si en la siguiente vez otra estación transmite, deberá esperar un IFS. Sin embargo, el temporizador no se reinicia sino que permanece en el intervalo de tiempo asignado previo a la transmisión, dando cierta ventaja a las estaciones que llevan más tiempo esperando.

3. Mecanismo básico de acceso:



- DIFS (DCF IFS o IFS largo):** espera obligada para cada estación que quiera transmitir datos.
- SIFS (Short IFS o IFS corto):** espera menor para enviar confirmaciones. Tienen mayor prioridad y no esperan **ventana de contienda/contención** (no esperan ranuras de tiempo).

iii. CA (*Collision Avoidance*): casos de colisión.

- Medio libre:** dos estaciones deciden transmitir a la vez. Riesgo mínimo.
- Medio ocupado:** dos estaciones eligen el mismo tiempo aleatorio (RT) para transmitir tras el IFS y la emisión en curso.
 - Por la colisión, no se recibirá ACK y, al reintentar la transmisión, se ampliará exponencialmente el rango de intervalos para que haya menos posibilidades de que haya colisión.
- Estación oculta:** una estación cree que el medio está libre pero hay una estación lejana (oculta) transmitiendo, produciendo una colisión.

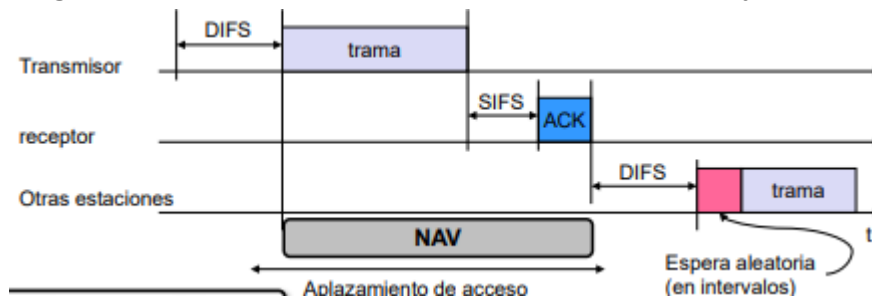
iv. Resumen: uso de CSMA/CA como mecanismo de acceso al medio.

- Espacio entre tramas (InterFrame Space ó IFS):** esperas para evitar colisiones con transmisiones ya iniciadas.
 - IFS variable para establecer prioridades.
- Ventana de contención/contienda:** número aleatorio de slots de espera tras IFS.
 - Binary exponential back-off:** comienza con intervalo $[0,1]$ y aumenta hasta $[0,2^{n-1}]$, donde n = colisiones ocurridas.
 - Muestreo del medio tras cada slot: no se reinicia el temporizador si el medio está ocupado, se detiene y se reanuda una vez libre.
- Confirmaciones (ACK):** resolver colisiones o transmisiones erróneas.

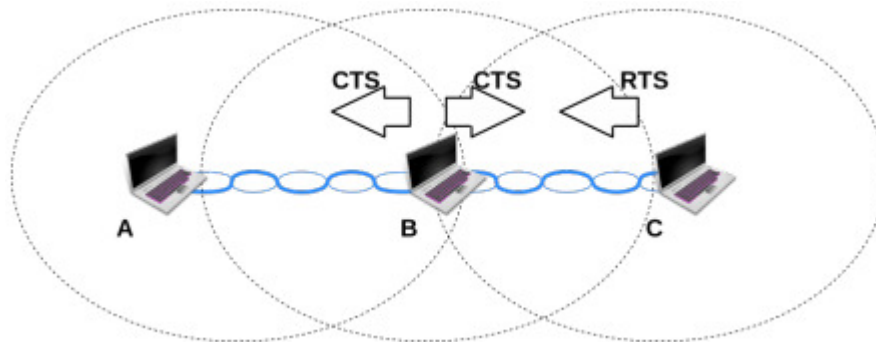
v. Detección de portadora virtual:

- Una trama de datos transmitida incluye en su cabecera el campo "Duración", que permite a todas las estaciones del medio conocer el tiempo que estará ocupado el medio.
- NAV (Network Allocation Vector o Vector de Reserva):** temporizador que indica cuánto debe pasar para que el canal quede libre. Se actualiza con el valor que aparece en cada trama, salvo si el nuevo NAV es menor que el actual.

3. Para ahorrar energía, cuando una estación quiere transmitir comprueba primero la portadora virtual (NAV) y después la portadora a nivel físico (canal). No intentará transmitir si $NAV > 0$.
4. **Diagrama:** la estación solo “escucha” el medio en la franja rosa.

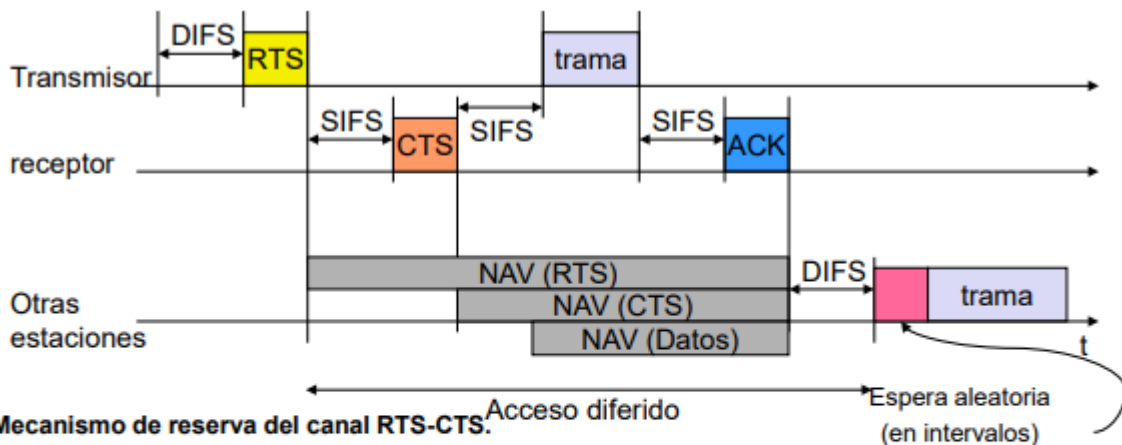


- vi. **Estación oculta:** si dos estaciones no se ven (lejanas entre sí), provocan colisiones porque no reciben los respectivos NAV.



Se soluciona mediante el **mecanismo de reserva RTS-CTS:**

1. **RTS (Request to Send):** solicitud para transmitir.
2. **CTS (Clear to Send):** permiso para transmitir y reserva de recursos (NAV) para todas las estaciones que lo reciban.
3. **Umbral RTS-CTS:** tamaño de trama a partir del cual usar RTS-CTS.
4. **Diagrama:**

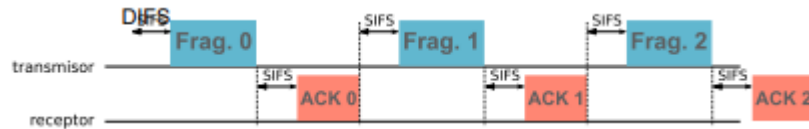


Mecanismo de reserva del canal RTS-CTS.

- 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 Access Vector (Vector de Reserva de Red)
 - Se actualiza con RTS y CTS
- Riesgo de colisión
 - En las señales RTS-CTS

- vii. **Fragmentación:** las tramas se comparan con *Umbral_Fragmentación*, y si el tamaño supera ese parámetro la trama se dividirá en varios fragmentos que se enviarán secuencialmente. Como la estación mantendrá el control del canal durante la transmisión de todos los fragmentos, entre un ACK y un fragmento posterior solo se esperará un SIFS.



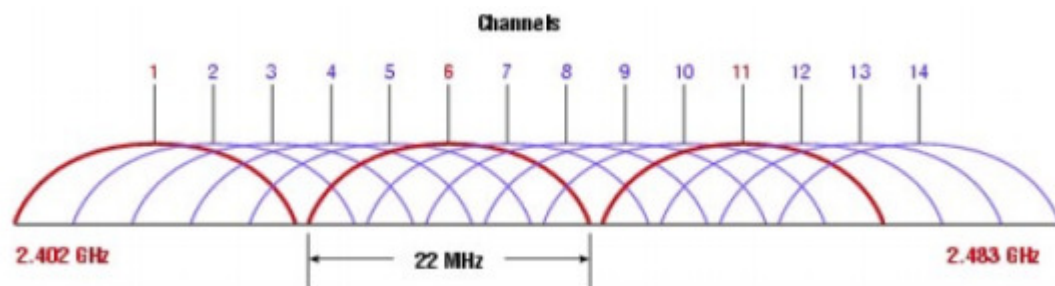
I. Estándares 802.11:

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

* Tecnología **MIMO (Multiple Input - Multiple Output)**: varios flujos simultáneos usando varias antenas.

- i. **Los más usados:** 802.11g y 802.11n.

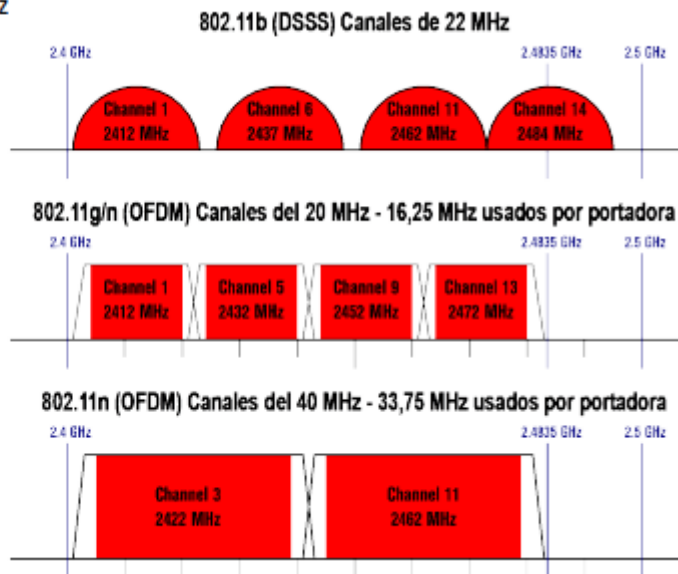
- m. **Canales DSS (banda de 2,4 GHz):** IEEE 802.11 divide el espectro en 14 canales disponibles de 22 MHz superpuestos entre sí, excepto el 1, 6 y 11.



- i. Aunque no todos los canales están disponibles en todos los países. En Europa se pueden usar 13 canales, en América 11 y en Japón 14.
- ii. Se configura en el PA y se selecciona automáticamente en los terminales.

n. Solape de canales en banda de 2,4 GHz:

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



o. Ejercicios:

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?

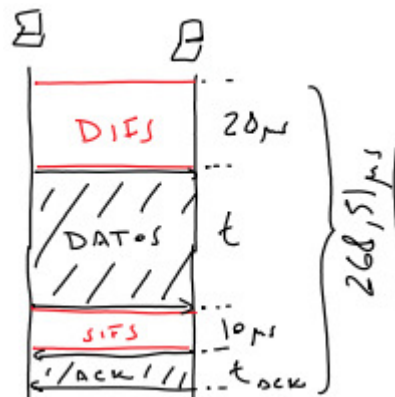
i.

El tiempo de un **SIFS** (*Short IFS*).

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 = 1.500), suponiendo que: DIFS dura 28 μ s; SIFS dura 10 μ s; desprecie el tiempo de propagación; las estaciones tienen suerte y no hay nadie transmitiendo ni se producen colisiones

ii.

- ¿cuál es la eficiencia del nivel de enlace WiFi en este caso?



Red *ad-hoc* o **independiente**.

$$V_{\text{transm.}} = 54 \text{ Mbps}$$

Longitud máxima de trama (1.500 + 42 bytes de control 802.11).

DIFS = 28 μ s; SIFS = 10 μ s; $r_p = 0$ s; $L_{\text{ACK}} = 14$ bytes

$$t_{\text{DATOS}} = 1.542 \text{ B} \cdot 8 \text{ b/B} / 54 \text{ Mbps} = 228,44 \text{ } \mu\text{s}$$

$$t_{\text{ACK}} = 14 \text{ B} \cdot 8 \text{ b/B} / 54 \text{ Mbps} = 2,07 \text{ } \mu\text{s}$$

$$t_{\text{TOTAL}} = 28 + 228,44 + 10 + 2,07 = 268,51 \text{ } \mu\text{s}$$

Eficiencia:

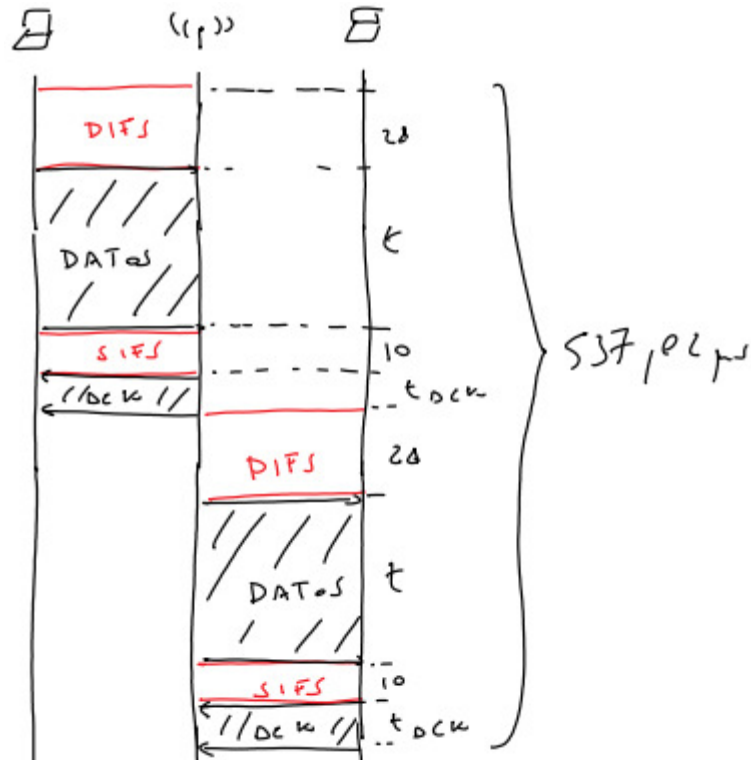
$$e = \text{bits transmitidos} / \text{bits posibles} =$$

$$= \text{bits transmitidos} / (V_{\text{transm.}} \cdot t_{\text{TOTAL}}) =$$

$$= 1.500 \text{ B} \cdot 8 \text{ b/B} / (54 \text{ Mbps} \cdot 268.51 \text{ } \mu\text{s}) = 0.8276 = \mathbf{82,76\%}$$

2. ■ ¿Y en una red de infraestructura con las mismas características?

Lo mismo que en una red independiente, pero a través de un PA.

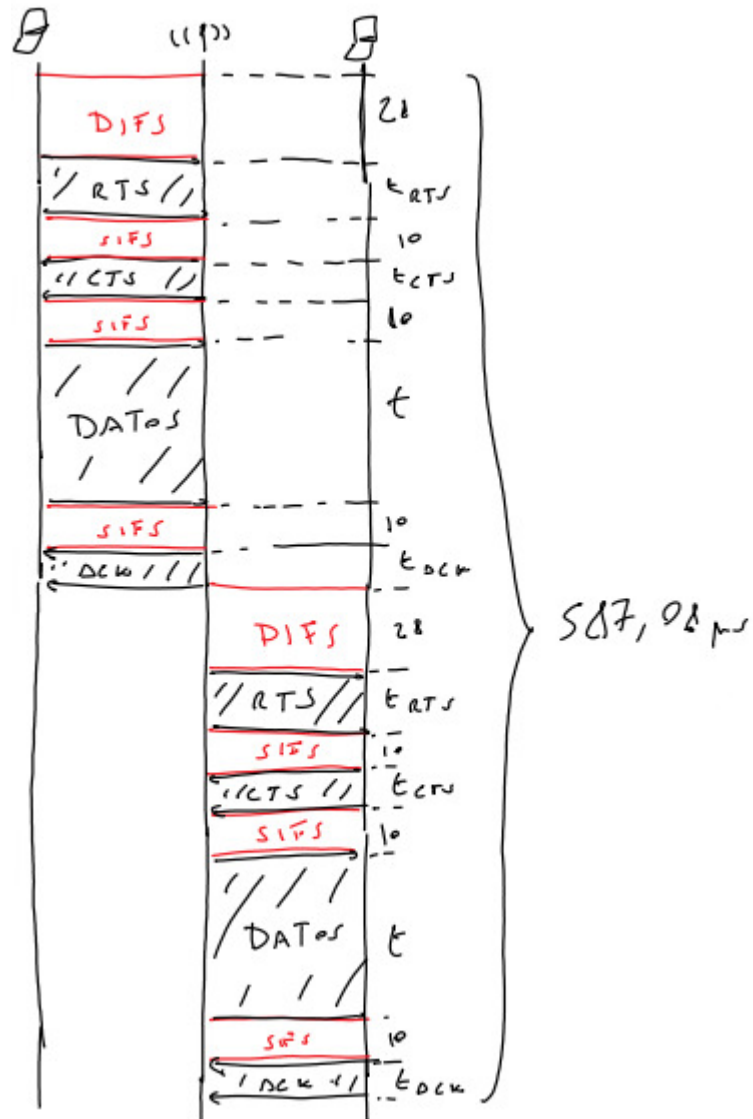


$$t_{\text{TOTAL}} = 2 \cdot t_{\text{TOTAL}}(1) = 2 \cdot 268,51 \text{ } \mu\text{s} = \mathbf{537,02 \text{ } \mu\text{s}}$$

- ¿Cuánto tiempo extra añade utilizar el mecanismo de reserva RTS/CTS?

3. ■ ¿En qué casos merece la pena utilizarlo?

Antes de enviar la trama de datos, deberá enviarse una trama de RTS y esperar a la recepción de la trama CTS.



$$t_{CTS} = t_{ACK}$$

$$t_{RTS} = \frac{20 \times 8}{54 \times 10^6} = 2,96 \mu s$$

Misceláneo:

https://www.coresecurity.com/sites/default/files/private-files/publications/2016/05/EKO-PS_DoS.pdf

Un repetidor WiFi tiene dos puntos de acceso (recepción + emisión). Tiene 2-4 antenas.