

## Sistemas de Transporte de Datos (9186) Ingeniería en Informática (plan 2001)

### Bloque II. Redes de Área Local (LANs)



*Francisco Andrés Candelas Herías*

*Santiago Puente Méndez*

Grupo de Innovación Educativa en Automática (GITE-UA)



Universitat d'Alacant  
Universidad de Alicante

Departament de Física, Enginyeria de Sistemes i Teoria del Senyal  
Departamento de Física, Ingeniería de Sistemas y Teoría de la Señal

© 2009 GITE – IEA

### II. Redes de Área Local (LANs)

2

- 5. Características de las Redes Locales.
- 6. Normas clásicas.
- 7. Redes Ethernet Conmutadas.
- 8. Redes inalámbricas (WLANs).
- 9. Interconexión de LANs

- Introducción a las Redes de Área local (LAN).
- Tipos de cables y codificaciones.
- Métodos de control de acceso al medio.
- Las LAN en el modelo OSI.

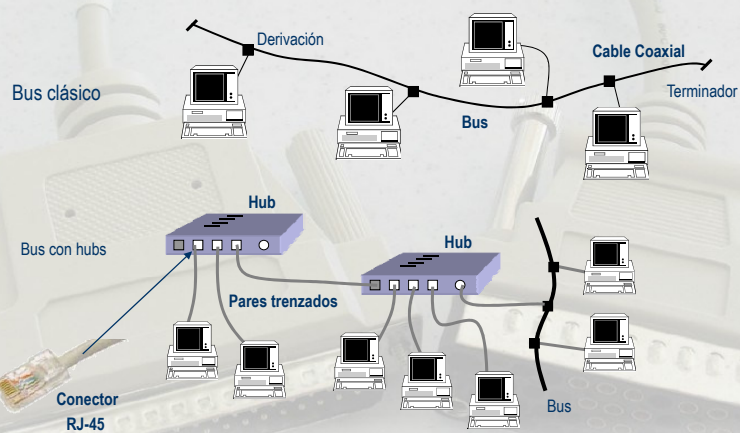
- Introducción a las Redes de Área local (LAN).
  - La mayor parte de la información transmitida por un equipo se queda en un entorno cercano.
  - Características de una LAN:
    - Abarcan cómo mucho distancias de algunos Km.
    - Emplean medios de transmisión privados y de calidad alta.
    - Trabajan con velocidades de transmisión medias a altas.
    - Conectan gran número de dispositivos entre sí.
    - Conectan dispositivos de diferentes características.
    - Permiten a los dispositivos conectados (DTEs) compartir recursos.
    - Suelen conectarse a otras redes LAN o WAN.

- Introducción a las Redes de Área local (LAN).

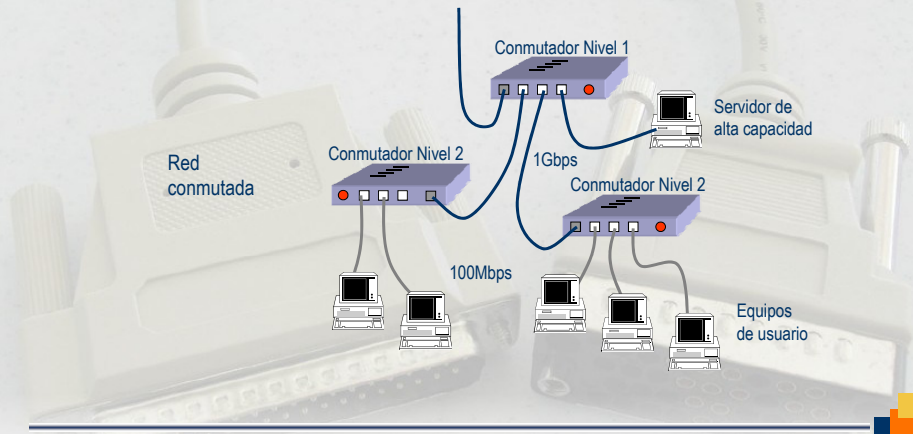
- Topologías de red usadas en LANs.
  - Definen la forma de cablear los equipos entre sí.
  - Cada topología es más adecuada a una determinada aplicación.
  - La tendencia es facilitar la instalación y el mantenimiento, y sus costes.
  - Las clásicas: Bus y anillo, y sus variantes.
  - Otras: Estrella y malla.

- Introducción a las Redes de Área local (LAN).

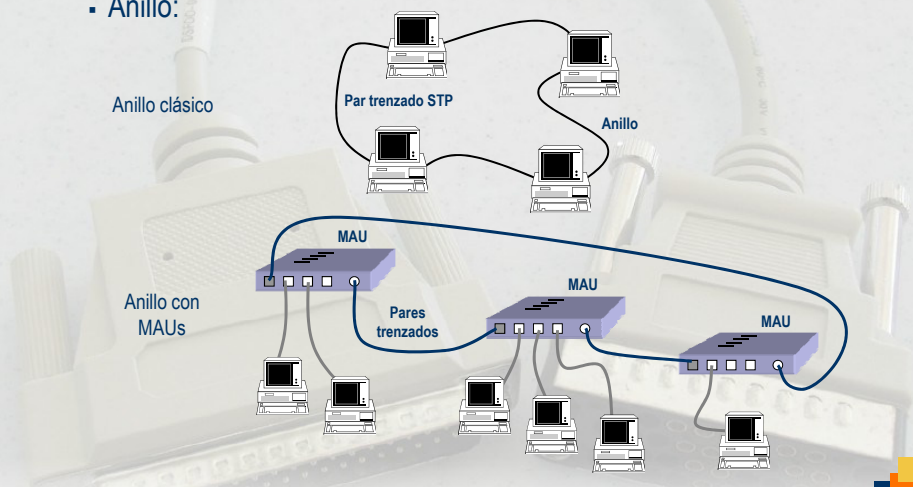
- Topología en bus:



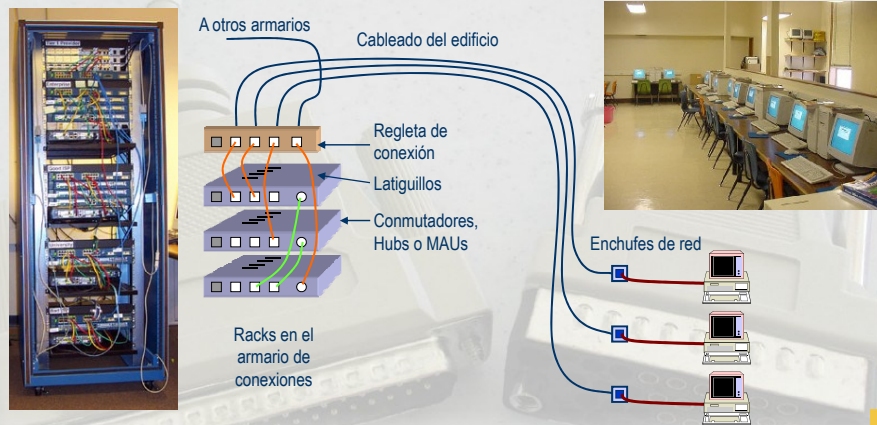
- Introducción a las Redes de Área local (LAN).
  - Red basada en conmutadores (switches):



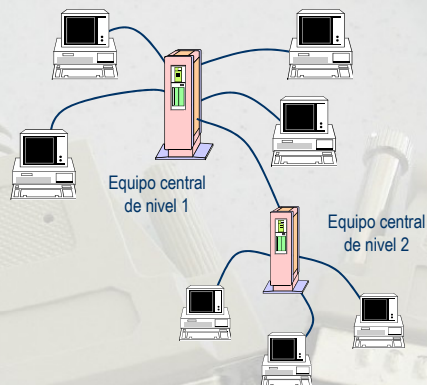
- Introducción a las Redes de Área local (LAN).
  - Anillo:



- Introducción a las Redes de Área local (LAN).
  - Cableado estructurado de hubs, MAUs o conmutadores:



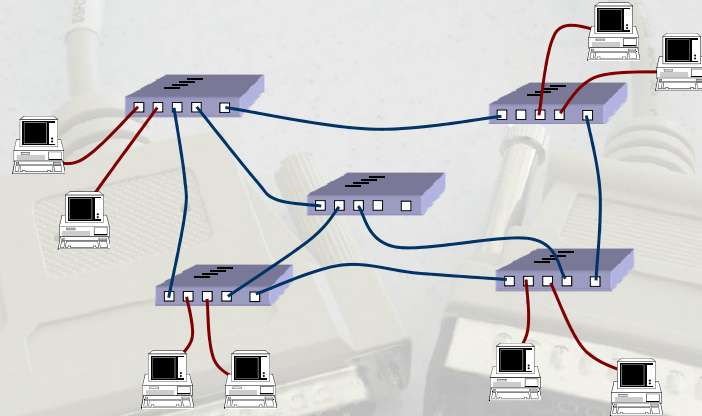
- Introducción a las Redes de Área local (LAN).
  - Estrella:





▪ Introducción a las Redes de Área local (LAN).

- Malla de conmutadores:



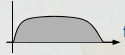
▪ Tipos de cables y codificaciones.

- Hay dos formas de transmitir señales digitales:

- Banda base: la usada habitualmente en LANs:

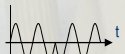


- No se requiere módems. Se transmite directamente con codificaciones digitales, más sencillas que la modulación.



- Requiere un medio de calidad para lograr buenas velocidades.
- Para cables eléctricos de distancias cortas y fibra óptica.

- Banda modulada o banda ancha:



- Las señales digitales se modulan.
- Permite alcanzar velocidades muy altas sobre medios de calidad media, incluido sobre ondas de radio.

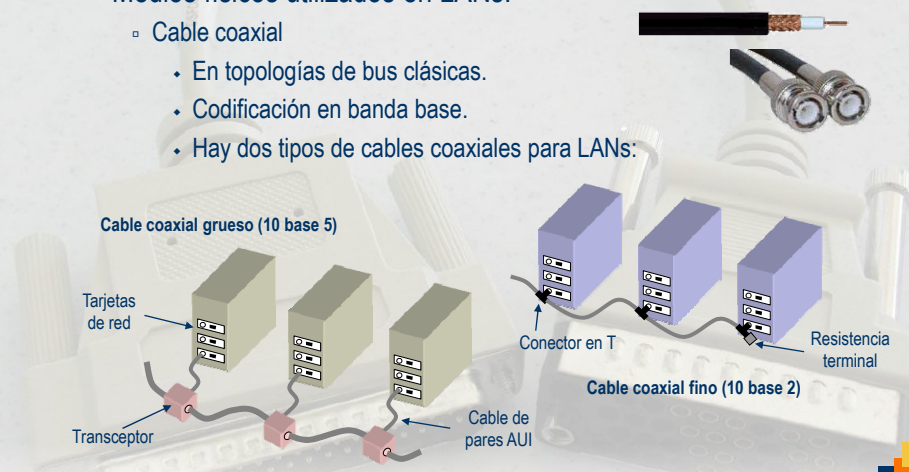


- Permite transmisiones a larga distancia.
- Requiere tecnología más cara que la banda base.

▪ Tipos de cables y codificaciones.

▪ Medios físicos utilizados en LANs.

- Cable coaxial
  - En topologías de bus clásicas.
  - Codificación en banda base.
  - Hay dos tipos de cables coaxiales para LANs:



▪ Tipos de cables y codificaciones.

▪ Medios físicos utilizados en LANs.

- Par trenzado
  - Cables con varias parejas de cables eléctricos trenzados.
  - Habitualmente full-duplex (líneas TD y RD separadas)
  - Señales diferenciales o balanceadas, en banda base.
  - Poco rígidos, fáciles de instalar y baratos.
  - Para topologías de hubs, conmutadores y anillo con MAUs.
  - Se definen diferentes tipos de cables (EIA-568):

	UTP (Unshield Twisted Pair)	Tipo 3: B=16MHz, 30Mbps a 100m
	UTP o FTP (Foil-shielded Twisted Pair)	Tipo 5: B=100MHz, 100Mbps a 100m
	STP (Shielded Twisted Pair)	Tipo 6: B=200MHz, 100Mbps a 100m
		Tipo 7: B=600MHz, 800Mbps a 100m

- Tipos de cables y codificaciones.

- Medios físicos utilizados en LANs.

- Fibra óptica

- Poca atenuación, B grande:  $V_f > 100\text{Mbps}$ .
      - Difícil corte y conexión, y flexibilidad limitada.
      - Para full-duplex se usan dos fibras (TD y RD).
      - Entre pares de equipos.
      - Para largas distancias o enlaces de gran capacidad (troncales).
      - Para interconectar conmutadores (latiguillos prefabricados).
      - Dos tipos: multimodo y monomodo.

- Tipos de cables y codificaciones.

- Medios físicos utilizados en LANs.

- Ondas de radio

- Medio físico de muy baja calidad.
      - Uso extendido gracias a las WLAN (IEEE 802.11).
      - Requiere modulación y técnicas complejas para lograr velocidades competitivas.
      - Se usan bandas de radio ISM, destinadas a comunicaciones de datos a corta distancia que no requieren licencia (2,4GHz y 5GHz).
      - Estas bandas de radio son usadas por muchas aplicaciones, y hay muchas interferencias.



▪ Métodos de control de acceso al medio.

- En topologías de bus o anillo, muchos equipos deben compartir el mismo medio físico.
- El nivel de enlace (con ayuda del físico) debe controlar que equipo puede enviar en cada instante.
- Las técnicas mas utilizadas en LANs son:

**Compartir el medio**

Tráfico a ráfagas  
Lo típico en LANs  
Tiempo de acceso aleatorio

- **Contienda.** Distribuida, acceso aleatorio, hay colisiones. Sencilla y barata. Bus y radio: CSMA/CD, CSMA/CA.
- **Reserva.** Distribuida o centralizada. Colisiones solo en la reserva. Anillo.
- **Selección por turnos.** No hay colisiones. Centralizada o distribuida.
- **Distribuida.** Anillo o bus: Token-Ring, Token-Bus, FDDI.
- **Centralizado.** Sondeo. Bus o estrella.

**Repartir el medio: TDM** (nivel físico). Para tráfico regular, tiempo de acceso acotado.

▪ Las LAN en el modelo OSI.

- La normas 802 del IEEE son las normas para LANs más extendidas.
- Estas normas definen aspectos de los 2 niveles inferiores de la arquitectura OSI del ISO:



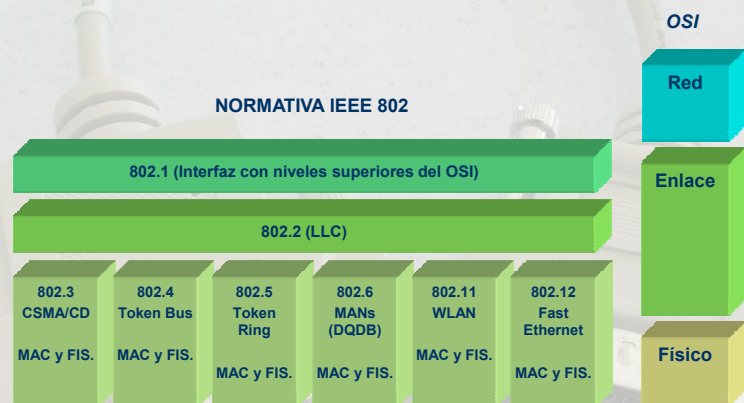
Las LAN en el modelo OSI.

- El nivel de enlace de las normas IEEE 802 se divide en dos subniveles:

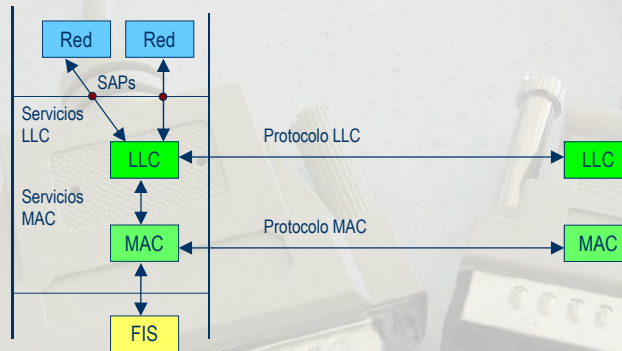


Las LAN en el modelo OSI.

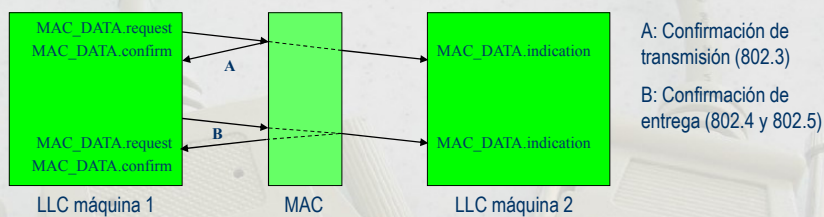
- Principales normas IEEE 802:



- Las LAN en el modelo OSI.
  - Definición del LLC según la norma IEEE 802.2.



- Las LAN en el modelo OSI.
  - Servicios que ofrece el MAC al LLC.

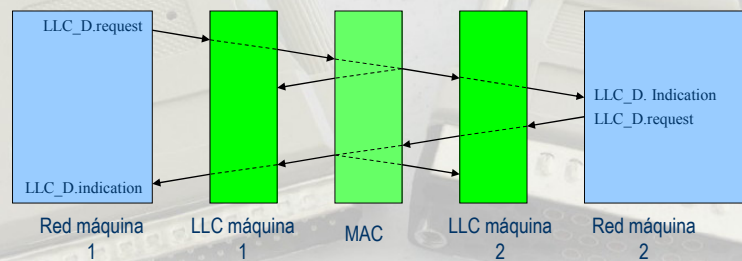


Parámetros de las primitivas:

- Request / Indication: Dir. Destino, Dir. Origen, PDU del LLC.
- Confirm: Éxito o Fracaso.

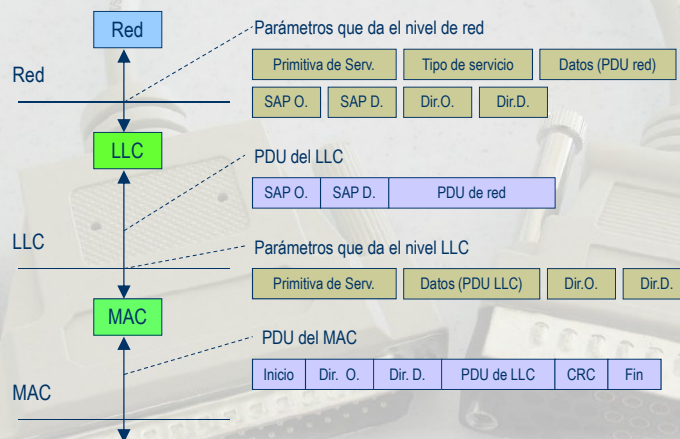
Las LAN en el modelo OSI.

- Servicios que ofrece el LLC al nivel de red.
  - Orientados a conexión. Con numeración de tramas y recuperación de tramas con errores.
  - Sin conexión. No hay recuperación de tramas con errores a nivel de enlace. Simple y rápido. Una LAN tiene buena calidad, y esta es una opción mejor.



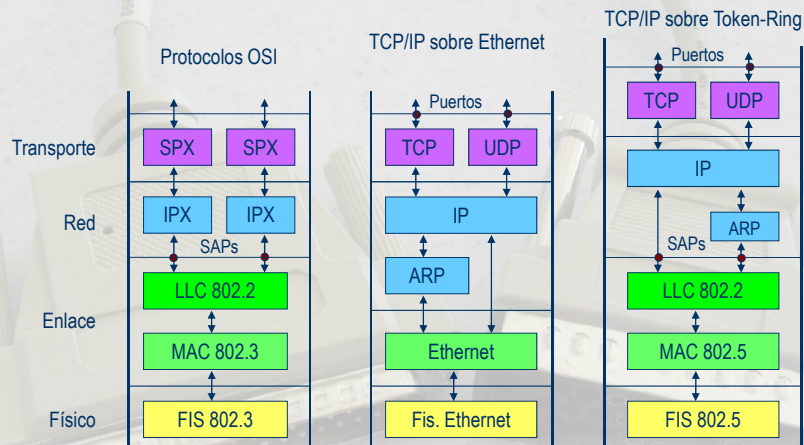
Las LAN en el modelo OSI.

- Comunicación entre niveles



Las LAN en el modelo OSI.

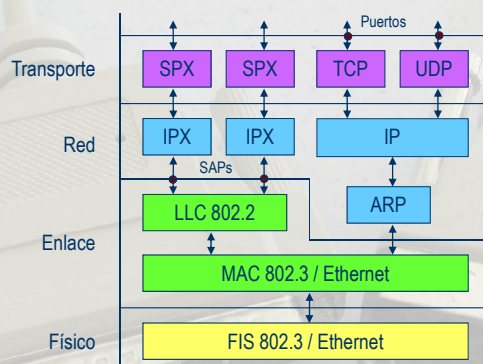
- Uso del LLC



Las LAN en el modelo OSI.

- Diferentes arquitecturas pueden coexistir:

Protocolos OSI y TCP/IP sobre el mismo MAC





5. Características de las Redes Locales.
- 6. Normas clásicas.
7. Redes Ethernet Conmutadas.
8. Redes inalámbricas (WLANs).
9. Interconexión de LANs

- Las normas que se utilizan actualmente son una evolución de las normas clásicas.
- Las más interesantes:
  - IEEE 802.3 (Ethernet).
  - IEEE 802.5 (Token Ring).
  - FDDI: Interfaz de Datos Distribuido por Fibra óptica.
  - IEEE 802.6: Redes MAN (DQDB).

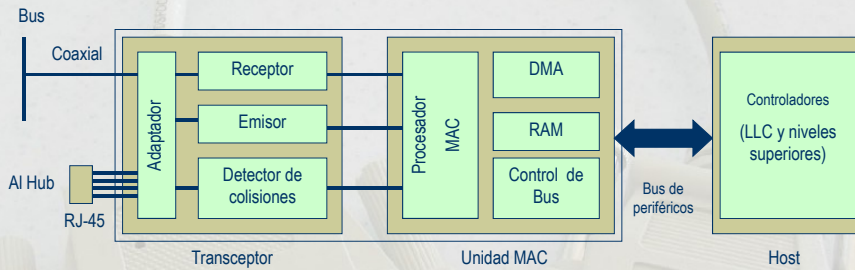
▪ IEEE 802.3. Introducción.

- Basada en la red Ethernet de Xerox.
- Sencilla y económica.
- Se aplica principalmente a oficinas, pero se esta extendiendo también a entornos industriales.
- Su éxito ha hecho que haya evolucionado:
  - Fast Ethernet (100Mbps).
  - Ethernet conmutada.
  - Gigabit Ethernet (1,10Gbps,...).

▪ IEEE 802.3. Nivel físico.

- Inicialmente se define una topología en bus, y una velocidad de transmisión de 10Mbps.
- Medios físicos 802.3 (Ethernet)
  - 10base2. Coaxial fino.
  - 10base5. Coaxial grueso.
  - 10baseT. Par trenzado para hubs.
  - 10baseF. Fibra óptica.
- Emplea la codificación Manchester.

▪ IEEE 802.3. Estructura del adaptador de red.



▪ IEEE 802.3. MAC: formato de la trama.

Según la norma IEEE 802.3

Preámbulo	SFD	D. Destino	D. Origen	Longitud	Datos (PDU del LLC)	Relleno	FCS
7 bytes	1 byte	2 ó 6 bytes	2 ó 6 bytes	2 bytes	46 a 1500 bytes		4 bytes

Ethernet - RFC 894 para IP

Preámbulo	SFD	D. Destino	D. Origen	Tipo: 800H	Datos (PDU de IP)	Relleno	FCS	EFD
-----------	-----	------------	-----------	------------	-------------------	---------	-----	-----

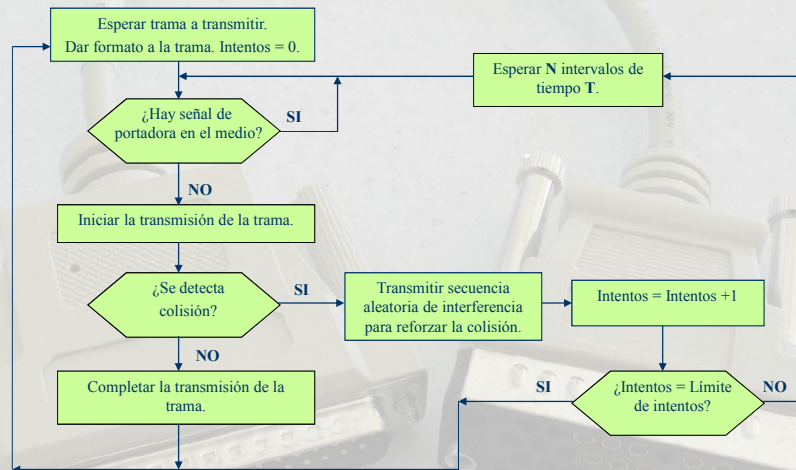
Preámbulo: 10101010 ... 10101010.

SFD: Start Frame Delimiter.

FCS: Frame Control Sequence (CRC de 32 bits).

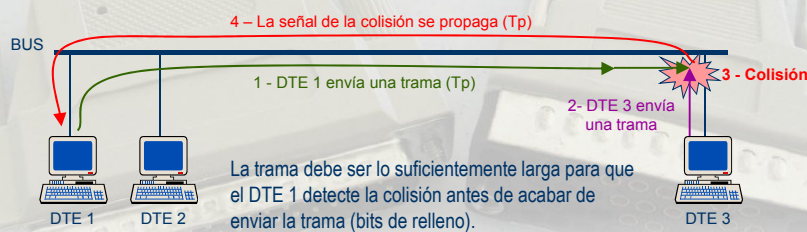
EFD: End Frame Delimiter.

▪ IEEE 802.3. MAC: CSMA/CD - transmisión.

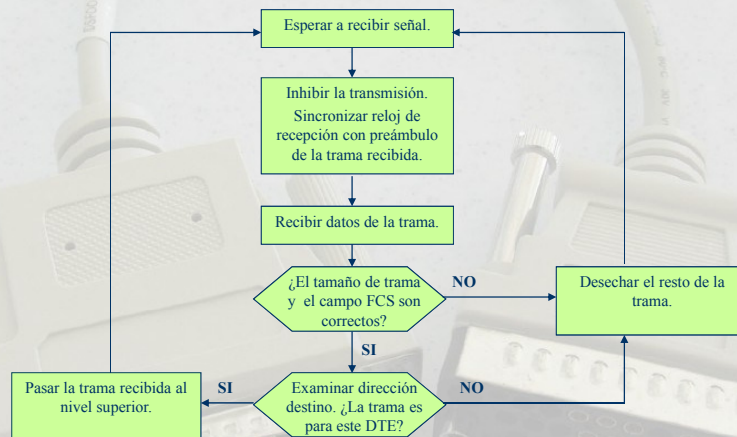


▪ IEEE 802.3. MAC: CSMA/CD - transmisión.

- Tras una colisión hay que esperar  $N \cdot T$  segundos antes de un nuevo intento:
  - $N$  = Número aleatorio en  $[1, 2, \dots, 2^{\text{intentos}} - 1]$
  - $T$  = Redondeo Superior  $(2 \cdot T_p + T_s)$
  - $T_p$  = Máximo tiempo de propagación
  - $T_s$  = Tiempo de seguridad



- IEEE 802.3. MAC: CSMA/CD - recepción.



- IEEE 802.3. Características del CSMA/CD.

- El MAC no garantiza la transmisión de los datos en un tiempo determinado.
- Se puede acabar el número de intentos, y la transmisión no se realiza.
- El MAC no confirma que unos datos transmitidos hayan llegado al destino.
- El MAC sólo indica si los datos han podido ser enviados o no (colisión).



- IEEE 802.5. Introducción.

- Basada en la LAN Token-Ring de IBM.
- Topología en anillo.
- Control de acceso por paso de testigo.
- Red con buen rendimiento para mucho tráfico y gran número de equipos.
- Ya no se usa en entornos pequeños.
- El paso de testigo en anillo se ha dejado para redes troncales.

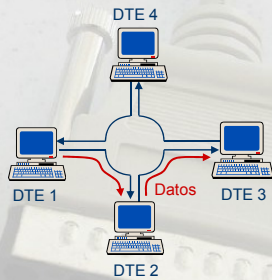
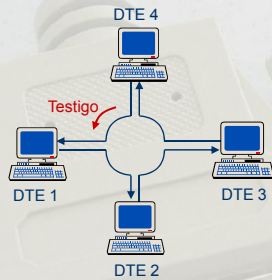
- IEEE 802.5. Paso de testigo.

- Testigo: trama especial que representa el turno de transmisión.
- Un equipo sólo puede enviar tramas de datos tras recibir la trama de testigo.
- Se definen dos métodos de paso de testigo:
  - Anillo lento (4-16Mbps).
    - Usado por la Token-Ring.
    - El testigo no se reenvía hasta recibir confirmación de las tramas de datos.
  - Anillo rápido (más de 16Mbps).
    - Usado por FDDI y algunas tarjetas Token-Ring de IBM.
    - El testigo se envía justo después de las tramas de datos.

▪ IEEE 802.5. Paso de testigo en anillo lento.

A. El DTE 1 quiere enviar datos al DTE 3. Debe esperar a que le llegue un testigo.

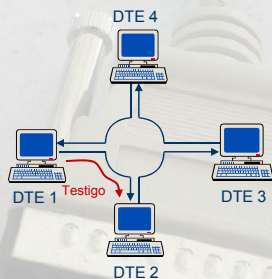
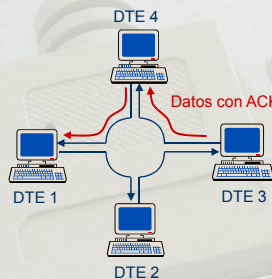
B. El DTE 1 recibe el testigo y transmite la trama de datos destinada al DTE 3.



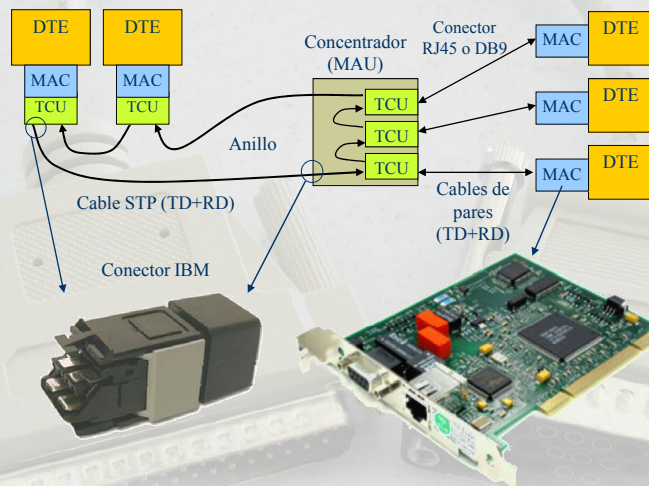
▪ IEEE 802.5. Paso de testigo en anillo lento.

B. El DTE 3 recibe los datos y los copia en su buffer. Además reenvía la trama de datos con ACK al DTE 1.

D. El DTE 1 recibe los datos con ACK. Luego genera un nuevo testigo que pasa al DTE 2.

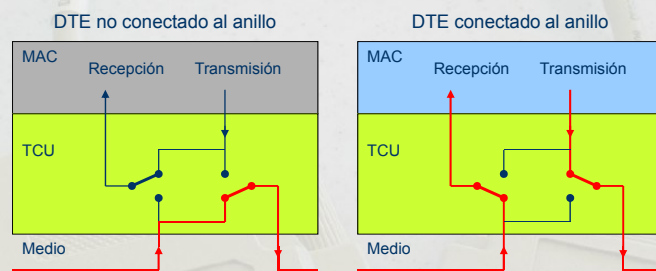


▪ IEEE 802.5. Nivel físico: cableado.



▪ IEEE 802.5. Nivel físico

- TCU: Unidad de acoplamiento al troncal.



- Se emplea codificación Manchester diferencial.



### IEEE 802.5. MAC: formato de las tramas.

Trama de datos

1	1	1	2 ó 6	2 ó 6	0 a 5000	4	1	1	Bytes
Delim. Inicio	Control de acceso	Control de trama	Dir. destino	Dir. origen	Datos (PDU de LLC) (tamaño variable)	FCS (CRC-32)	Delim. Final	Estado de trama	

Trama de testigo

1	1	1	Bytes
Delim. Inicio	Control de acceso	Delim. Final	

Delim. Inicio: JK0JK000

Delim. Final: JK1JK11E

Control de acceso: PPPTMRRR

Control de trama: FFZZZZ

Estado de trama: AC--AC--

J, K: Códigos de línea diferentes a los del 0 y al 1.

I: Vale 0 en la última trama de datos de una secuencia de tramas.

E: Se inicia a 0 en el origen y se pone a 1 en un DTE que detecta errores en la trama.

PPP: Prioridad actual del anillo.

RRR: Última prioridad reservada.

T: 1 en las tramas de testigo y 0 en las de datos.

M: Usado por la estación monitora de la red.

F: Tipo de trama (datos, control MAC).

Z: Función de una trama de control MAC.

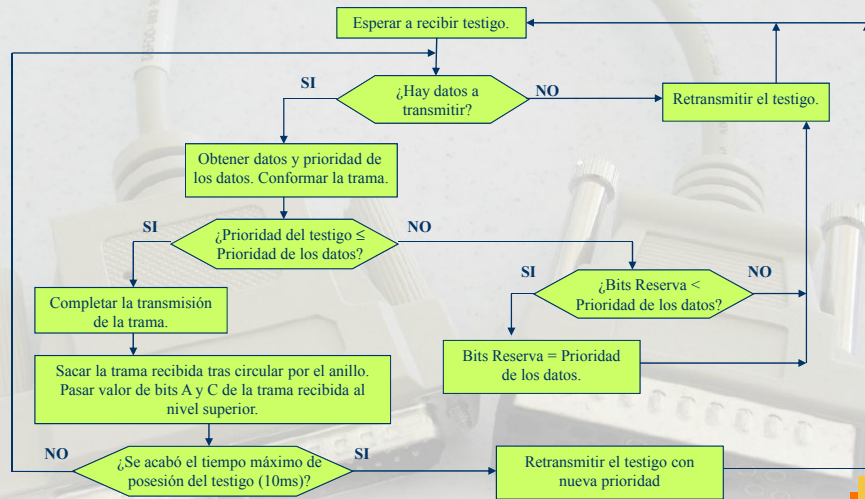
A: Confirmación. Se ponen a 0 en el origen, y a 1 en el destino si ha recibido la trama.

C: Copia. Se ponen a 0 en el origen, y a 1 en el destino si ha copiado los datos.

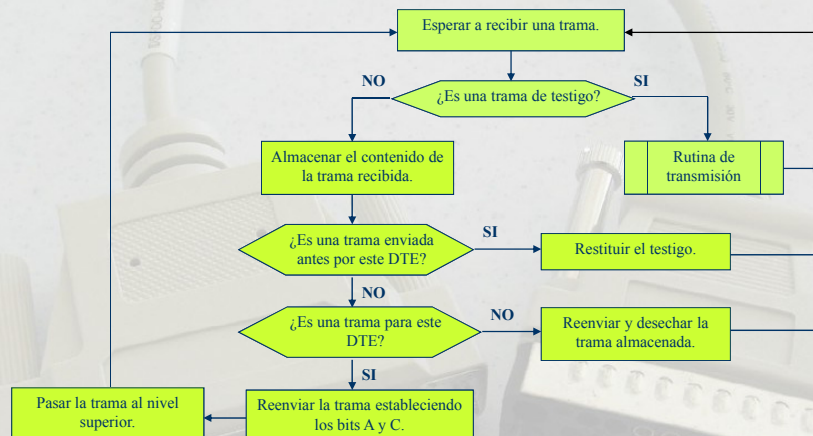
### IEEE 802.5. MAC: Estación monitora.

- Un DTE del anillo se designa como estación monitora.
- Funciones:
  - Eliminar las tramas de datos "perdidas" para que no circulen indefinidamente.
    - Se usa el bit M del Control de Acceso para eliminar las tramas que pasan por segunda vez por la estación monitora.
  - "Alargar el anillo" para poder mantener en circulación continua una trama de testigo.
    - Se utiliza la cola FIFO de bits del interfaz de red para generar un retardo artificial.
    - Por ejemplo, una red de 16Mbps requiere 450m de medio para que un testigo circule de forma continua (suponiendo  $V_p=300.000\text{Kmps}$ ).

▪ IEEE 802.5. MAC: Transmisión.



▪ IEEE 802.5. MAC: Recepción.





- IEEE 802.5. Gestión MAC.

- El MAC de los equipos de una LAN 802.5 debe realizar operaciones de mantenimiento de la red, además del enviar los datos del nivel superior.
- Para el mantenimiento de la red se definen tramas de control MAC, que viajan como tramas de datos pero sin información de niveles superiores.
- Las tramas MAC no están sujetas al paso de testigo.
- Algunas operaciones de mantenimiento:
  - Incorporar nuevos equipos al anillo.
  - Establecer la estación monitora.

- IEEE 802.5. Gestión MAC.

- Incorporar nuevos equipos al anillo.
  - Un DTE nuevo envía una trama DAT (Duplicate Address Test) con los bit A a 0.
  - Otras estaciones activas comparan dirección origen de la trama DAT con las suyas. Si hay coincidencia, se pone bit A a 1.
  - Si el nuevo DTE recibe la trama DAT con A a 1, envía un error al nivel superior: dirección MAC duplicada.
  - Si el nuevo DTE recibe la trama DAT con A a 0, envía trama SMP (Standby Monitor Present) con bits A y C a 0.
  - El sucesor del nuevo DTE recibe la trama SMP, apunta la dirección origen, y cambia bits A y C a 1.
  - Cuando el nuevo equipo recibe su SMP, empieza a esperar el testigo.

- IEEE 802.5. Gestión MAC.

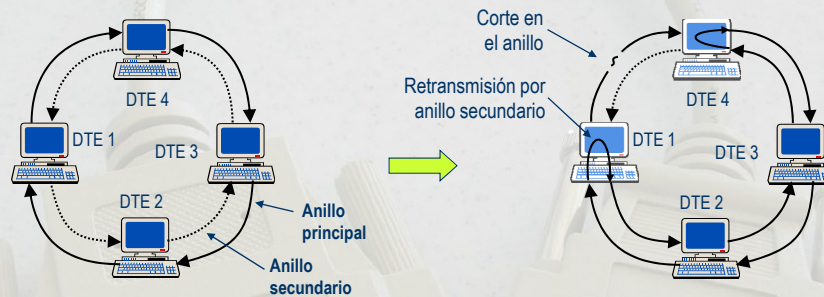
- Establecer la estación monitora.

- La estación monitora envía una trama AMP (Active Monitor Present) cada cierto tiempo para avisar de que está activa.
    - Si un DTE no recibe tramas AMP durante un tiempo, trata de ser monitor. Envía trama CT (Claim Token), y espera su vuelta.
    - Un DTE en espera de ser monitor que recibe una trama CT con dirección origen mayor a la suya desiste de ser monitor.
    - Un DTE en espera de ser monitor que recibe una trama CT con dirección origen menor a la suya, reenvía CT con su dirección.
    - Un DTE en espera de ser monitor que recibe una trama CT con su dirección origen se establece como monitor, y envía una trama PRG (Purga).
    - Cada DTE que recibe la trama PGR deja de enviar, y reenvía la trama PRG.
    - Cuando el nuevo monitor recibe la trama PRG, genera un testigo, y empieza a enviar tramas AMP.

5. Características de las Redes Locales.
- 6. Normas clásicas.
7. Redes Ethernet Conmutadas.
8. Redes inalámbricas (WLANs).
9. Interconexión de LANs

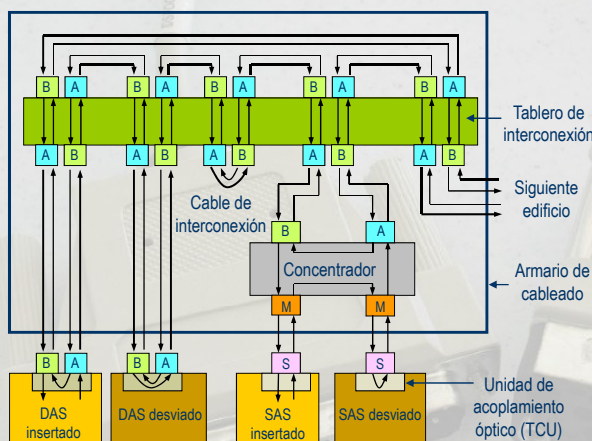
- Características generales.
  - Interfaz de Datos Distribuido por Fibra óptica.
  - Medio físico de fibra óptica multimodo o par trenzado UTP.
  - Topología en anillo (doble anillo).
  - Control de acceso por paso de testigo (anillo rápido).
  - Vt de 100Mbps, hasta 500 estaciones, 2Km entre cada par de estaciones consecutivas.
  - Soporta dos tipos de tráfico:
    - Datos asíncronos (datos normales).
    - Datos síncronos (señales digitalizadas).
  - Se usa como red troncal para interconexión de otras redes.

▪ Nivel físico: Topología de doble anillo.



- El principal fin del doble anillo es aumentar la fiabilidad ante posibles fallos del medio físico.

▪ Nivel físico: Cableado del anillo.



**DAS:** Estaciones de conexión dual.

**SAS:** Estaciones de conexión simple (conectadas solo al anillo primario).

**S:** Conector de la interfaz con el medio de una conexión simple.

**A, B:** Conectores de la interfaz con el medio de una conexión al anillo doble.

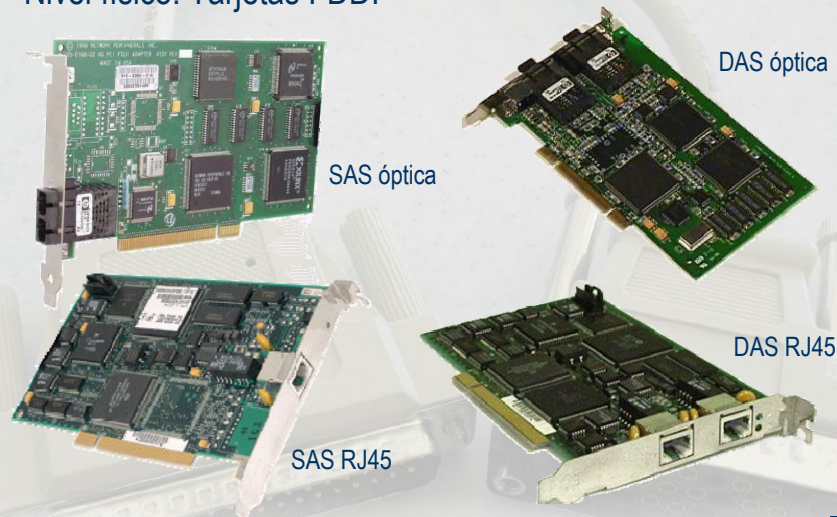
**M:** Conector de salida del concentrador.

→ Cableado del anillo principal.

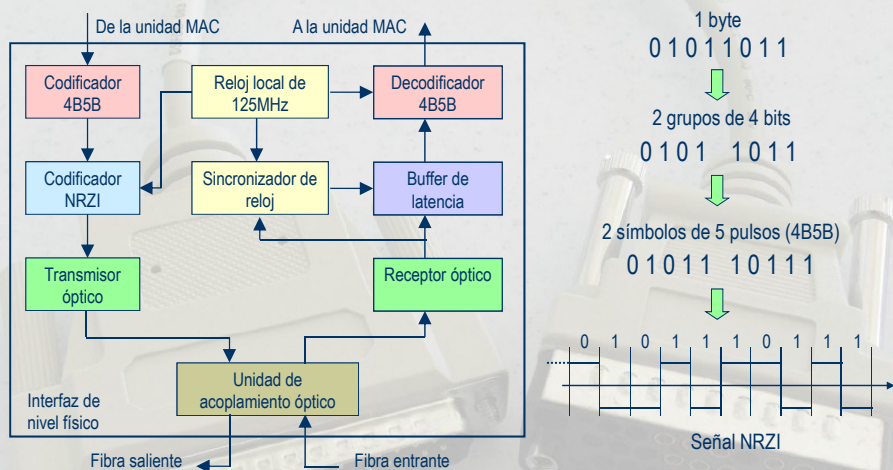
→ Cableado del anillo secundario.



▪ Nivel físico: Tarjetas FDDI



▪ Nivel físico: interfaz con el medio físico.





▪ Nivel físico: codificación 4B5B.

- Cada grupo de 4 bits se envía como un símbolo con 5 pulsos de dos niveles.
- La codificación se realiza según una tabla.
- Hay más símbolos que valores de 4 bits:
  - Para cada 4 bits: 16 posibles valores.
  - Para cada símbolo: 32 posibles combinaciones.
  - De los 16 símbolos adicionales 5 se emplean para delimitadores y códigos especiales.
- Con más combinaciones de símbolos es más fácil la detección de errores y la sincronización del receptor.
- Se requiere una modulación de 125Mbaudios para una velocidad de transmisión de 100Mbps.

▪ MAC: formato de las tramas.

- Similar al de Token-Ring, pero sin campo de "Control de Acceso" (no hay campos de prioridad ni de reserva).

**Trama de datos**

16 ó más	2	-	-	-	-	-	2	3	Símbolos
-	-	1	2 ó 6	2 ó 6	0 a 4500	4	-	-	Bytes
Preámbulo	Delim. Inicio	Control de trama	Dir. destino	Dir. origen	Datos (PDU de LLC) (tamaño variable)	FCS (CRC-32)	Delim. Final	Estado de trama	

**Trama de testigo**

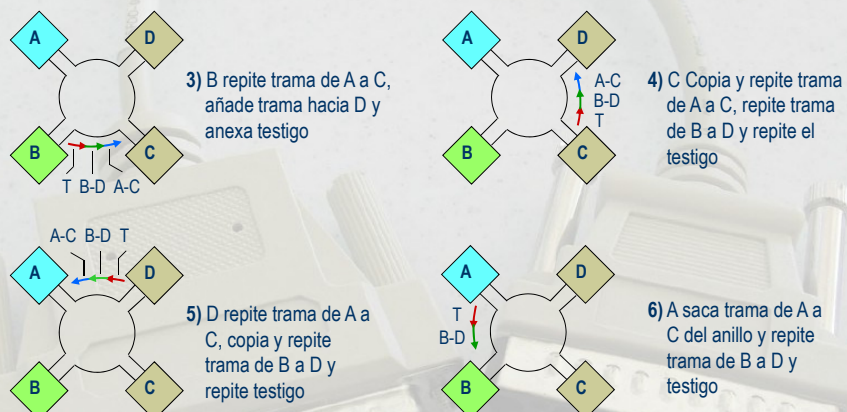
16 ó más	2	-	2	Símbolos
-	-	1	-	Bytes
Preámbulo	Delim. Inicio	Control de trama	Delim. Final	

MAC: paso de testigo en anillo rápido.

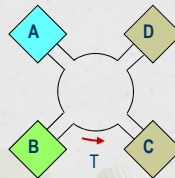
- Caben muchos más bits en el anillo que en una Token-Ring, porque el anillo es más grande y la velocidad de transmisión más alta.
- Se emplea una “liberación temprana del testigo” para aumentar la utilización del medio físico.
- Ejemplo: A quiere enviar una trama de datos a C, y B quiere enviar otra trama de datos a D:



MAC: paso de testigo en anillo rápido.



- MAC: paso de testigo en anillo rápido.



7) B saca trama de B a D del anillo y repite testigo

- En general, por el anillo circula un grupo de tramas de datos que acaba con una trama de testigo.
- Las tramas que recibe un equipo desde que envía una trama de datos hasta que la recibe de nuevo se desechan para limpieza del anillo.

- MAC: tiempo de posesión del testigo.

- Se emplea la técnica "Rotación cronometrada del testigo" que garantiza un reparto equitativo del medio, con igual prioridad para todos los equipos.
  - Se configura un valor fijo de "Tiempo de Rotación del Testigo Objetivo" (TTRT) para toda la red.
  - En funcionamiento, cada equipo  $n$  mide el "Tiempo de Rotación del Testigo" ( $TRT_n$ ) desde el último paso del testigo al actual.
  - Antes de transmitir, un equipo  $n$  calcula el "Tiempo de Retención del Testigo" ( $THT_n$ ).

$$THT_n = TTRT - TRT_n$$

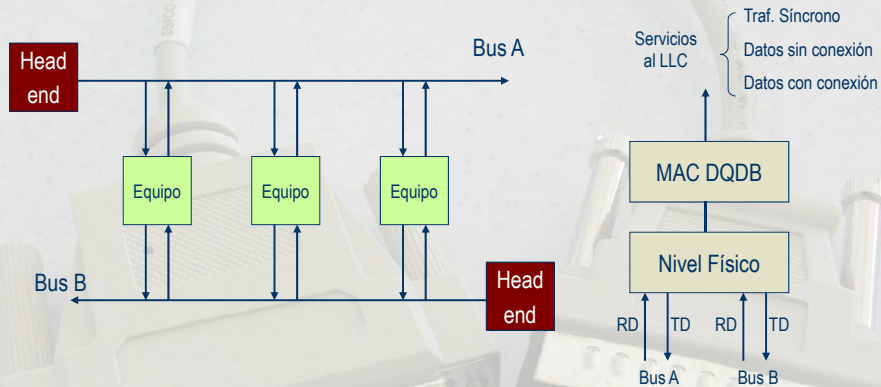
}	$THT_n > 0 \Rightarrow$	El equipo $n$ puede transmitir durante $THT_n$ .
	$THT_n \leq 0 \Rightarrow$	El equipo $n$ no puede transmitir esta vez.

- Datos síncronos.
  - Datos sensibles al retardo: señales digitalizadas.
  - No están sujetos al a la rotación cronometrada de testigo.
  - Un equipo que quiere transmitir datos síncronos puede solicitar una reserva de ancho de banda constante.
  - Si la reserva se concede, a la estación se asigna un tiempo adicional fijo para enviar datos síncronos.
- FDDI II.
  - Medio físico mejor: más velocidad de transmisión.
  - Otros tipos de medio: cable de par trenzado.

- Características generales.
  - DQDB: Distributed Queue Dual Bus – Bus Doble de Colas distribuidas.
  - Estándar para redes MAN:
    - Originalmente 44,736 Mbps (T3).
    - Admite SDH a 155,520 Mbps.
    - Distancias sobre 160Km para T3.
  - Permite dos tipos de tráfico:
    - Servicio de datos: Queued Arbitrated Access Method.
      - Para el intercambio de datos entre equipos.
    - Servicio síncrono para señales digitales.
      - Permite enviar bytes a una cadencia fija, en canales.



- Estructura.



- Los buses son de fibra óptica o cable coaxial.
- Los “Head end” son generadores de tramas vacías.

- MAC: Queued Arbitrated Access Method.

- Sistema sin colisión: parecido a la reserva pero sin colisiones al reservar.
- El “Head end” de cada bus genera tramas de 53 bytes continuamente y las envía por el bus unidireccional.
- Cuando una estación envía datos, debe saber donde está su destino para usar el bus A o el bus B.
- Antes de enviar los datos, una estación solicita la reserva de una trama de datos vacía.

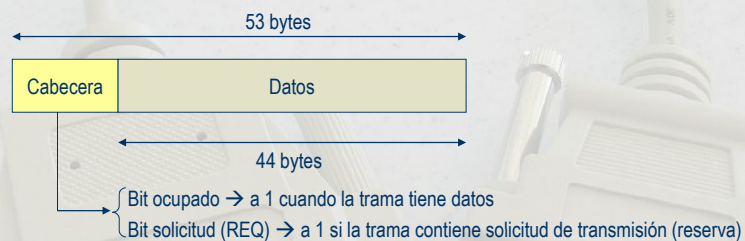


- **MAC: Queued Arbitrated Access Method.**

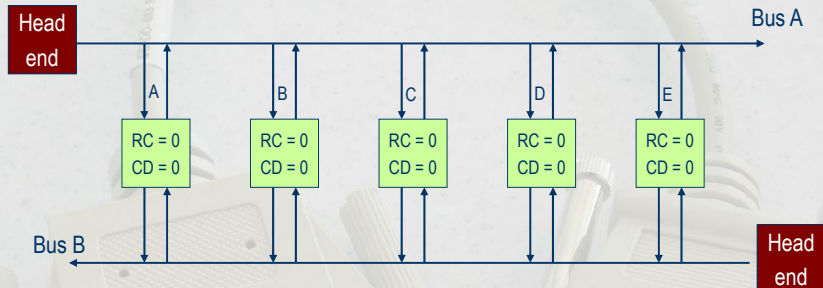
- La reserva se gestiona mediante una cola FIFO distribuida entre los equipos de la red.
- Si un equipo recibe tramas vacías las deja pasar a no ser que tenga el turno de transmisión, en cuyo caso introduce sus datos en la trama.

- **MAC: Formato de una trama de datos.**

- Tamaño fijo de 53 bytes.
- Muy similar a una trama ATM.



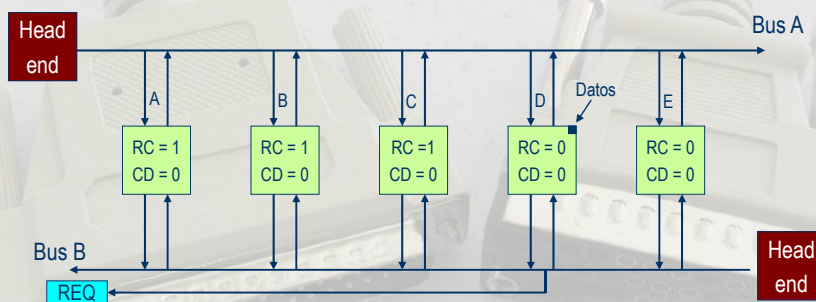
- MAC: ejemplo de funcionamiento (1).



- Estado inicial para una transmisión de datos por el bus A.
- Cada equipo tiene dos contadores para la transmisión por el bus A:
  - RC (Request Counter): Contador de solicitudes de envío de otros equipos.
  - CD (Count Down): Número de tramas que deben pasar antes de que llegue el turno al equipo (para controlar orden de transmisión).

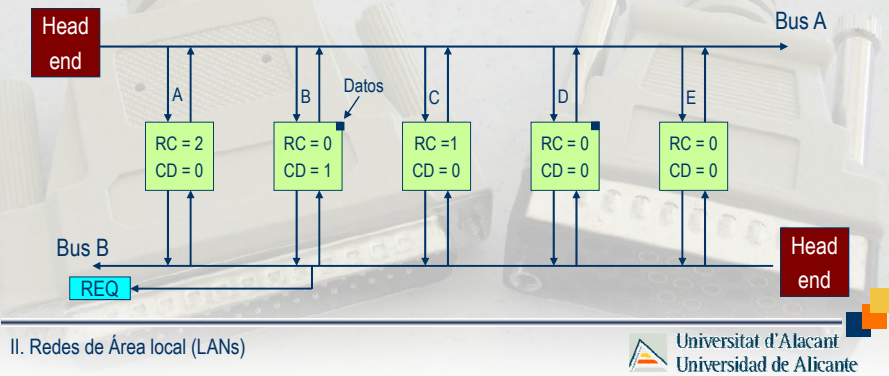
- MAC: ejemplo de funcionamiento (2).

- El equipo D tiene datos para enviar por el bus A:
  - Emite una solicitud de envío (REQ) usando una trama vacía del bus B.
  - Copia RC (que vale 0) en DC.
  - Los equipos que ven la trama REQ aumentan su contador RC (equipos A, B y C).



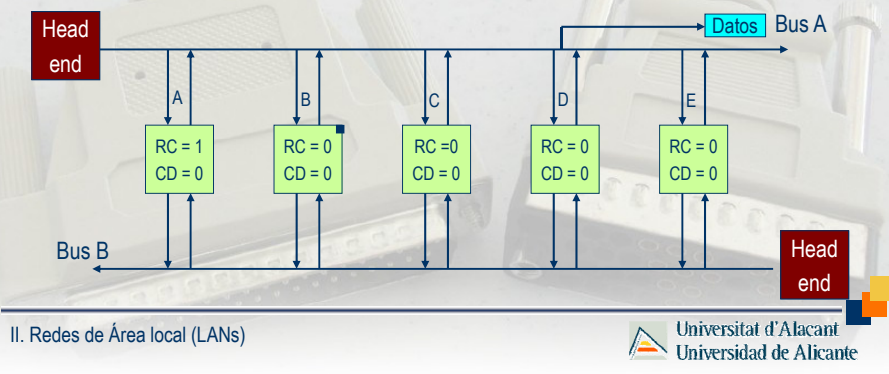
### MAC: ejemplo de funcionamiento (3).

- Ahora B también tiene datos para enviar por el bus A:
  - Emite una solicitud de envío (REQ) usando una trama vacía del bus B.
  - Copia RC (que vale 1) en el DC.
  - Los equipos que ven la trama REQ aumenta su contador RC (A).



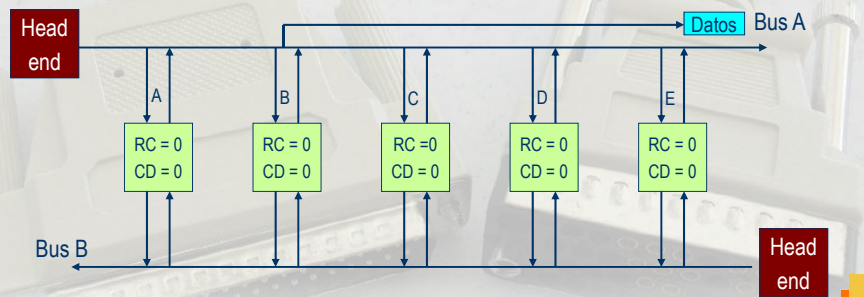
### MAC: ejemplo de funcionamiento (4).

- El "Head end" del bus A emite una trama:
  - A medida que la trama pasa por los equipos, estos decrementan su RC si es mayor a 0.
  - B tiene datos, pero CD=1: Debe esperar y decrementar CD.
  - D tiene datos y CD=0: procede a usar la trama vacía.



- MAC: ejemplo de funcionamiento (5).

- El “Head end” del bus A emite otra trama vacía:
  - A medida que la trama pasa por los equipos, estos decrementan su RC si es mayor a 0.
  - Ahora D es quien tiene datos y CD=0: usa la trama vacía.

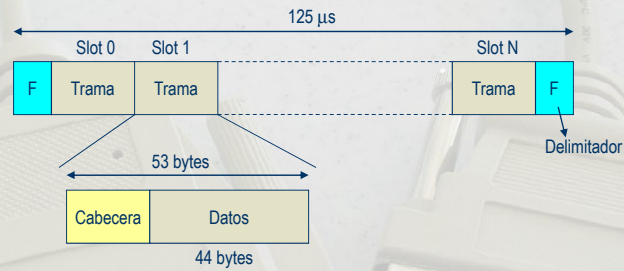


- MAC: ejemplo de funcionamiento (6).

- Tras estos pasos se vuelve al estado inicial.
- Para utilizar el bus B para datos hay otros contadores CD y RC, que funcionan igual, usando REQ en el bus A.
- Los “Head end” de ambos buses emiten continuamente tramas vacías.

- **Modo síncrono:**

- Cada  $125\mu\text{s}$  se envía un grupo de N tramas de 53 bytes.
- En este modo, a cada trama se la denomina también “slot”.



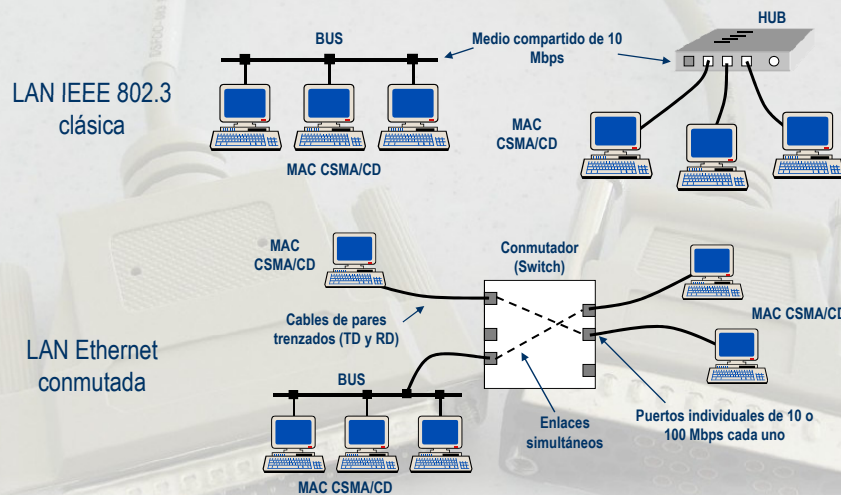
- Un equipo puede reservar el uso de un slot de forma continua.
- Por cada byte de un “slot” se tiene  $8\text{bits}/125\mu\text{s} = 64\text{Kbps}$ , es decir; un canal de voz para datos síncronos.



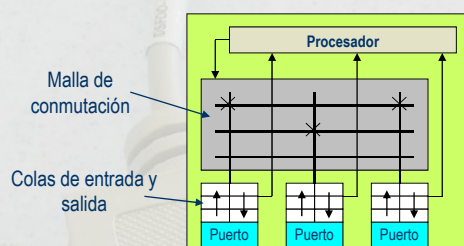
5. Características de las Redes Locales.
6. Normas clásicas.
- 7. Redes Ethernet Conmutadas.
8. Redes inalámbricas (WLANs).
9. Interconexión de LANs

- Para aumentar el rendimiento de una LAN IEEE 802.3 (Ethernet) clásica hay dos opciones:
  - Mejorar el nivel físico: Hubs de 100Mbps y mejor cableado (UTP 5, UTP 6).
  - Usar conmutadores: medios dedicados no compartidos.
    - Buena relación rendimiento/precio.
- Se han desarrollado varias mejoras:
  - Fast Ethernet (100Mbps). Hay dos alternativas:
    - 100VG-Any LAN. Nuevo MAC.
    - IEEE 802.3u o 100baseX (100baseF, 100baseT, 100baseT4). MAC 802.3.
  - Gigabit Ethernet (1Gbps o más). MAC 802.3.

Medio compartido – medio conmutado:



Esquema de un conmutador



- **Procesador:** establece enlaces en la malla según direcciones MAC destino de las tramas.
- **Buffer de entrada:** para guardar tramas dirigidas a puertos ocupados o cuando no hay enlaces disponibles.
- **Buffer de salida:** para guardar tramas que van a un equipo lento o a un medio compartido

- Dependiendo de la complejidad de la malla, se podrá establecer más conexiones simultáneas entre puertos.
- Cuando el conmutador no pueda establecer una conexión entre puertos (buffer lleno, malla saturada), generará una colisión al origen.

- Tipos de conmutadores / modos de reenvío:

- Pass Through o Cut through.

- No hay buffers para las tramas, y el retardo en el reenvío (latencia) es mínimo: 7µs para 100Mbps.
    - El conmutador solamente espera a tener las direcciones MAC e inmediatamente reenvía la trama al destino.
    - Si la malla no tiene enlaces disponibles o el destino está ocupado, directamente se indica que hay una colisión al equipo origen.
    - Si en la red de un puerto de entrada hay colisiones, el conmutador puede retransmitir un fragmento de una colisión que no es una trama válida.
    - Funciona bien cuando cada puerto conecta con un solo equipo, todos los equipos trabajan a igual velocidad, y hay poco tráfico.
    - Necesario con aplicaciones que requieran conexiones con muy baja latencia (redes multimedia). Por ejemplo, ATM bajo IP.

- Tipos de conmutadores / modos de reenvío:

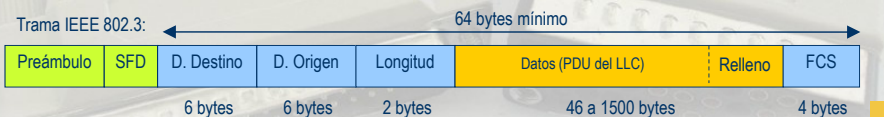
- Store & forward.

- Se usan buffers para guardar y procesar las tramas.
    - Las tramas pueden esperar hasta que la malla tiene enlaces disponibles y el destino está libre.
    - El conmutador puede comprobar si las tramas son válidas.
    - La latencia es alta y depende del tamaño de las tramas.
    - Necesario si el equipo o la red de un puerto de entrada trabaja a una velocidad diferente que el equipo o la red de un puerto de salida.
    - Los primeros conmutadores producían latencias altas para los protocolos de la LAN, que trabajan con *timeouts* pequeños.
    - Los conmutadores modernos tienen procesadores y memorias muy rápidas en relación a la  $V_t$  de las redes, y las latencias son aceptables.
    - El más usado actualmente con Ethernet.

- Tipos de conmutadores / modos de reenvío :

- Fragment free:

- Término intermedio entre el “store & forward” y el “cut through”.
    - El conmutador espera a tener los primeros 64 bytes útiles de la trama, y si tras recibir ese trozo no detecta problemas, comienza el reenvío.
    - Se evita la retransmisión de fragmentos de colisiones.
    - Ofrece una latencia media menor a 60µs.
    - Funciona bien aunque haya muchos equipos conectados a un mismo puerto y existan colisiones.
    - Pero a igual que “cut through” no permite conectar equipos de diferente velocidad.



- Tipos de conmutadores / modos de reenvío :

- Reenvío adaptativo

- El conmutador lleva la cuenta de errores de CRC y de colisiones detectadas en cada puerto.
    - Aunque el conmutador esté en los modos “Cut through” o “Fragment free”, realiza el cálculo de CRC sobre la marcha.
    - El conmutador puede cambiar de modo de reenvío de cada puerto en función de los contadores del mismo.
    - Al comunicar dos puertos con diferente modo de reenvío, se coge el modo más seguro.

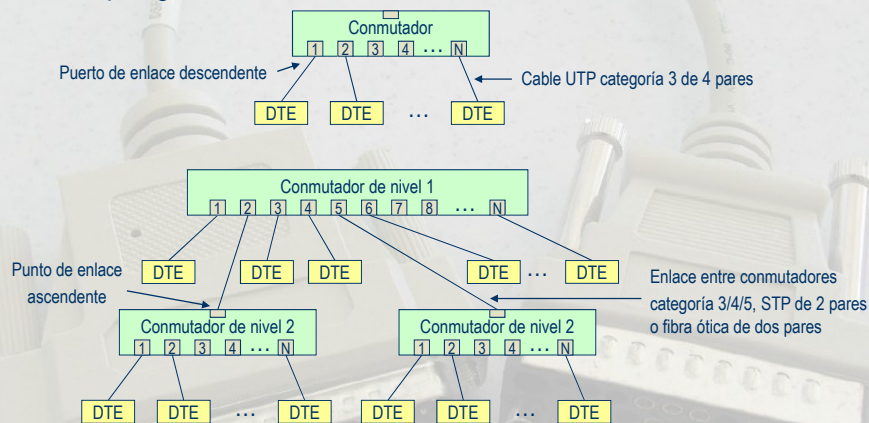


▪ 100VG – Any Lan (IEEE 802.12)

- Red conmutada original de HP.
- Medio físico:
  - Codificación 5B6B.
  - Mínimo requerido: UTP-3 (cable de grado voz) de 4 pares.
  - Muy versátil: funciona también con UTP-5, UTP-6, STP y F.O. de 2 pares.
- MAC:
  - Diferente al IEEE 802.3 y 802.5, pero reconoce y encamina tramas de ambos.
  - Control de acceso por selección: las estaciones conectadas a un conmutador se seleccionan secuencialmente (testigo en los conmutadores).
  - Se utiliza un método similar a la RCT de FDDI para determinar el tiempo que cada estación puede transmitir.
  - También gestiona prioridades de forma similar a IEEE 802.3.

▪ 100VG – Any Lan (IEEE 802.12)

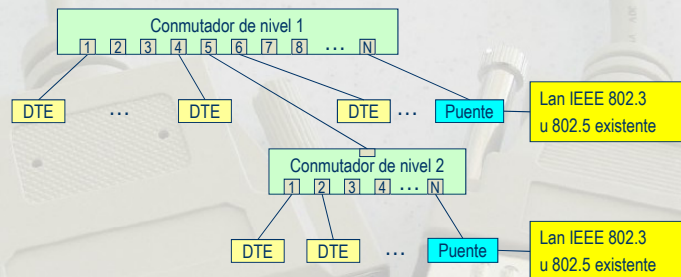
▪ Topología:





- 100VG – Any Lan (IEEE 802.12)

- Como soporta tramas IEEE 802.3 y 802.5 puede interconectar redes de estos dos tipos:



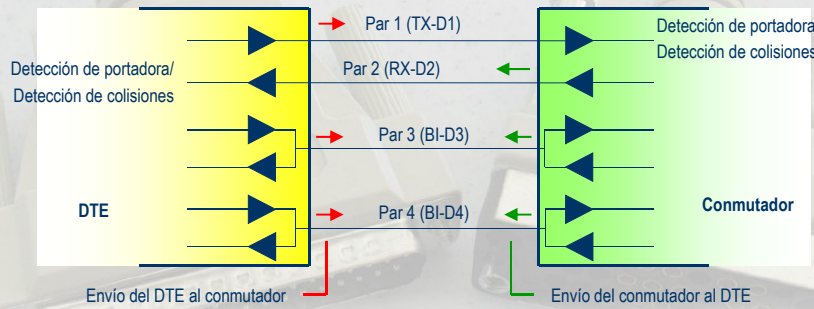
- IEEE 802.3u - 100baseX

- Los DTEs emplean el MAC IEEE 802.3 clásico (CSMA/CD).
- El nivel físico original (10baseT: 10Mbps para 100m) se sustituye con nuevas alternativas de 100Mbps:
  - Nivel físico FDDI.
  - Nivel físico 100baseT4: Compatible con UTP-3 (4 pares trenzados).
- Nivel físico FDDI:
  - Duplex (100Mbps+100Mbps), y dos señales: TD y RD.
  - Cable **100baseFX** (F.O., 100m monomodo) y 4B5B + NRZI.
  - Cable **100baseTX** (UTP-5, 100m) y 4B5B + MLT-3 (2 pares trenzados).
  - El MAC 802.3 es semi-duplex: si se quiere enviar mientras se está recibiendo (o al revés) se genera una colisión.
  - Se admite el modo duplex en conexiones DTE-conmutador.

▪ IEEE 802.3u - 100baseX

▪ Nivel físico 100baseT4:

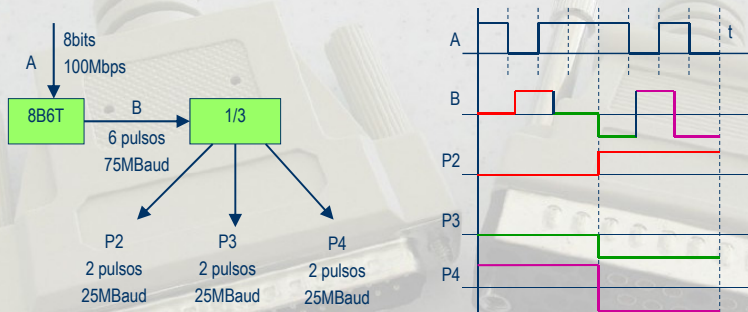
- 100Mbps sobre UTP-3 (100m).
- Se emplea cuatro pares de hilos trenzados.
- Semi-duplex para 100Mbps.



▪ IEEE 802.3u - 100baseX

▪ Nivel físico 100baseT4:

- Se emplea la codificación 8B6T.
- La señal original de 100Mbps se descompone en 3 señales de 25Mbaudios (33,3Mbps) que se envían a la vez:



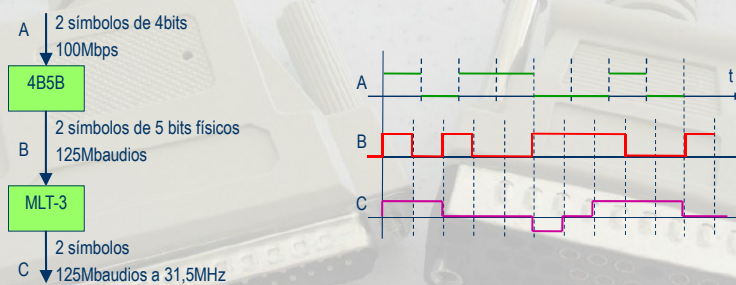
▪ IEEE 802.3u - 100baseX

- Nivel físico 100baseTX:
  - 100Mbps sobre UTP-5 (100m).
  - Se emplea dos pares de hilos trenzados.
  - Duplex para 100Mbps.



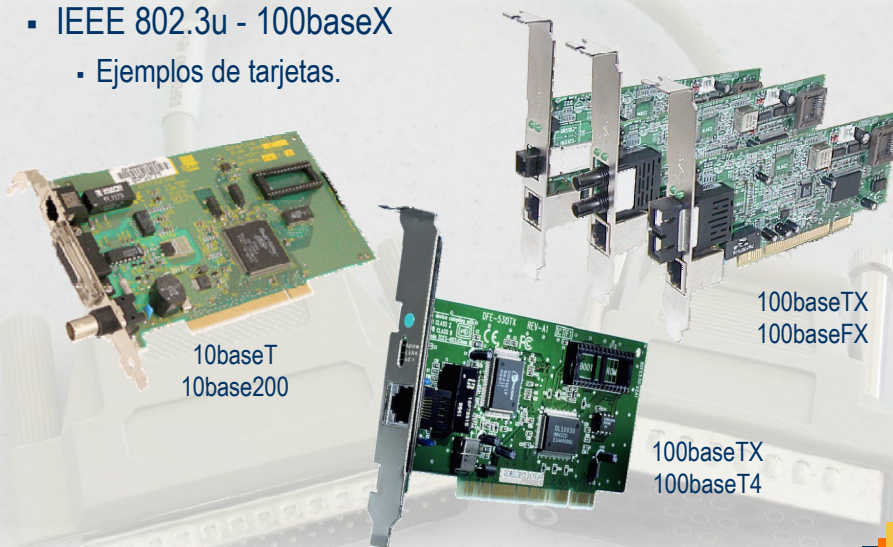
▪ IEEE 802.3u - 100baseX

- Nivel físico 100baseTX:
  - 4B5B + MLT-3 (Multi-Level Transmit, 3 niveles).
  - MLT-3 tiene una relación 1bit/1baudio efectiva, pero para completar un ciclo de la señal se requiere una media de 4 bits físicos: reduce la frecuencia por 4.



- IEEE 802.3u - 100baseX

- Ejemplos de tarjetas.



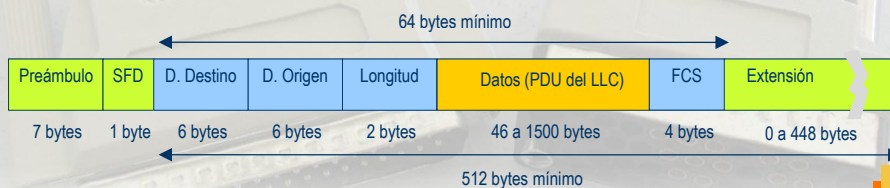
- Gigabit Ethernet (GigE)

- $V_t = 1\text{Gbps} = 1.000\text{Mbps}$ .
- Principalmente MAC 802.3 (CSMA/CD), con pequeñas adaptaciones.
- Surgió como tecnología para interconectar conmutadores, encaminadores y redes (backbone).
- Hoy en día se usa también para conectar equipos de usuario, con conmutadores.
- Hay estándares para 10Gbps y se está investigando en velocidades más altas.



### ▪ Gigabit Ethernet (GigE)

- Hay dos opciones para adaptar CSMA/CD semi-duplex a los tiempos de propagación del medio físico de 1Gbps:
  - *Carrier extension*: símbolos adicionales al final de las tramas MAC para hacerlas suficientemente largas (mínimo de 512 bytes).
  - *Frame bursting*: un equipo puede enviar varias tramas de datos consecutivas al acceder al medio, dentro del periodo correspondiente a un tamaño dado (8192 bytes máximo). Cada trama mantiene un mínimo de 512 bytes con *carrier extension*. Esta es la mejor opción.



### ▪ Gigabit Ethernet (GigE)

- También hay una definición de MAC en modo duplex:
  - Para conexiones punto-punto entre dos equipos (conmutadores, routers o servidores).
  - No hay colisiones y no usa CSMA/CD.
  - Se define un nuevo control de flujo en 802.3x, basado en tramas de pausa (pause frame).
  - Cuando un equipo está saturado le envía una trama de pausa al otro, indicando el tiempo que debe esperar. Se puede especificar un valor de tiempo 0 para reanudar la transmisión.





- Gigabit Ethernet

- Se definen nuevos medios físicos para lograr 1Gbps.
- Medios físicos IEEE 802.3z (1998), codificación 8B10B:
  - **1000base-SX**. Distancias de hasta 550m con F.O. multimodo, y con transmisiones dúplex.
  - **1000base-LX**. Distancias de hasta 5Km con F.O. monomodo, y con transmisiones dúplex. También incluye a la anterior.
  - **1000base-CX**. Distancias de hasta 25m sobre cable de pares trenzados y señales balanceadas (STP). Hoy casi no se usa.

- Gigabit Ethernet

- Medio físico IEEE 802.3ab (1999) para cable de cobre:
  - **1000base-T**. Distancias de hasta 100m sobre cable UTP de categoría 5 o 6.

- 10 Gigabit Ethernet (XGbE ó 10GbE)
  - Velocidad: 10Gbps = 10.000Mbps.
  - Nuevos medios físicos dentro de la norma IEEE 802.3ae (2005).
  - MAC 802.3 (CSMA/CD) para los equipos.
  - Aunque define medios físicos para cable de cobre, se basa principalmente en cableado de fibra óptica semi-duplex entre pares de estaciones.
  - Aplicación principal: interconexión de routers y conmutadores (enlaces backbone).

- 10 Gigabit Ethernet
  - Medios físicos (I):
    - **10Gbase-SR** (Short Range). Distancias cortas (26-82m) sobre FO multimodo. Admite distancias de 300m sobre F.O. multi-modo (850nm).
    - **10Gbase-LR** (Long Range). Hasta 10Km sobre F.O. monomodo (1310nm).
    - **10Gbase-ER** (Extended Range). Hasta 40Km sobre F.O. monomodo (1550nm). Hay variantes para 80Km.
    - **10Gbase-CX4**. Distancias muy cortas (15m) sobre cable de cobre y conectores InfiniBand. Codificación 8B10B. La opción más económica.

- 10 Gigabit Ethernet

- Medios físicos (II):

- **10Gbase-LX4**. Distancias medias (240-300m) sobre F.O. multimodo usando multiplexión por división de longitud de onda (WDM).
    - **10Gbase-SW, 10Gbase-LW, 10Gbase-EW**. Son variantes de las opciones SR, LR y ER compatibles con WAN: usan entramado STM-64 (4 x STM-16) de SDH/SONET.

- Últimas propuestas:

- **10Gbase-LRM** (IEEE P802.3aq). Soportará distancias de hasta 220m sobre cable F.O. multimodo de FDDI.
    - **10Gbase-T**. Uso de cable UTP/STP de categoría 6. Además considera una red conmutada con transmisiones duplex entre los equipos y los conmutadores.

5. Características de las Redes Locales.
6. Normas clásicas.
7. Redes Ethernet Conmutadas.
- 8. Redes inalámbricas (WLANs).
9. Interconexión de LANs.

▪ **Introducción**

- Inalámbrico: Como medio de transmisión se usan ondas de radio o de luz.
- Hasta hace poco era una tecnología cara, con muy poca seguridad y que ofrecía velocidades bajas.
- Los anteriores problemas se superaron a finales de los 90.
- Las normas más utilizadas son:
  - IEEE 802.11 + Wi-Fi. Definen una LAN inalámbrica (WLAN) al mismo nivel que otras LAN cableadas como IEEE 802.3 (Ethernet).
  - Bluetooth. Orientada a conexión de periféricos a un computador, o dispositivos móviles muy cercanos.
- Otras opciones recientes: WiMax (IEEE 802.16) para MAN inalámbricas, y UWB (IEEE 802.15.4a) para velocidades altas .



- **Ámbitos de aplicación:**

- Superficies sin cableado de datos donde urge una red.
- Edificios históricos, donde no se puede realizar obras.
- Ubicaciones temporales, como exposiciones o congresos.
- Áreas dónde los usuarios necesitan equipos móviles, como en tiendas o almacenes.
- Redes de datos al aire libre.

- **A tener en cuenta:**

- Las WLANs son un complemento a las LAN cableadas.
- Las LANs cableadas siguen siendo más rápidas, seguras y ofrecen mejor rendimiento. Y son más baratas si ya está instalado el cable.

- **Principales problemas a resolver:**

- Los medios físicos (radio o luz) son muy ruidosos y poco fiables, y tienen un ancho de banda muy limitado.
- Los espectros de frecuencia de libre licencia utilizados son compartidos con otros muchos aparatos y redes:
  - Microondas, WiFi ó Bluetooth, ZeeBee, teléfonos DECT, video-vigilancia por radio, mandos a distancia por radio...
- Los espectros de frecuencia libres de licencia dependen de los gobiernos y países.
- La potencia de transmisión suele ser baja, y la propagación de la señal depende de muchos parámetros.
- Para velocidades altas, las distancias alcanzadas son pequeñas si no se usan repetidores.



- Principales problemas a resolver:

- Las WLAN son usadas por muchos dispositivos móviles, que requieren de mecanismos de ahorro de energía, y que no permiten emitir a grandes distancias.
- Resulta fácil la captación de las señales por terceros, y para garantizar una privacidad se requieren protocolos de seguridad que autentiquen al usuario y cifren los datos.
- Los protocolos de seguridad que garantizan la privacidad disminuyen el rendimiento de la red que perciben las aplicaciones.

- Medios físicos utilizados:

- Bandas de radio ISM o ICM (uso Industrial, Científico y Médico)
  - Banda de **2,4GHz**. En España\*: 2.400-2.500MHz (B=100MHz).
  - Banda de **5GHz**. En España\*: 5.725 - 5.875MHz (B=150MHz).
  - Banda de 24GHz. En España\*: 24 a 24,25GHz (B=250MHz).
  - Banda de 61GHz. En España\*: 61 – 61,5GHz (B=500MHz).
- Luz infrarroja
  - $\lambda=850-900\text{nm}$ .
  - Se usa poco: para conexión de periféricos cercanos a un computador.
  - Hasta 4Mbps (distancia de menos de 1m).

(\*) Notas de Utilización Nacional del Cuadro Nacional de Atribución de Frecuencias (CNAF).  
BOE número 70 del 22-3-2002, página 11812.

## ▪ 802.11 - Normativa.

- IEEE 802.11-legacy (1997). Define los aspectos básicos:
  - Arquitectura y topología.
  - Nivel físico: Originalmente había tres opciones:
    - FHSS: 1 o 2Mbps sobre banda de 2.4GHz (100m).
    - DSSS: 1 o 2Mbps sobre banda de 2.4GHz (100m).
    - DFIR: 1 o 2Mbps sobre luz infrarroja.
  - Nivel de enlace - MAC:
    - Tramas y direccionamiento.
    - Control de acceso al medio (DCF-CSMA/CA y PCF).
  - Otros:
    - Seguridad (WEP – *Wireless Encryption Protocol*)
    - Asociación y desasociación entre estaciones y AP.
    - Autenticación de usuarios a nivel MAC.
    - Control y ahorro de energía, roaming entre BSS...

## ▪ 802.11 - Normativa.

- IEEE 802.11a (1999). Nivel físico mejorado: 6-55Mbps en la banda de 5GHz (50m).
- IEEE 802.11b (1999). Nivel físico mejorado: 1-11Mbps en la banda de 2,4GHz (100m).
- IEEE 802.11c. Funciones de puente para APs (puntos de acceso).
- IEEE 802.11d. Nivel físico para zonas que no disponen de la banda de libre uso de 2.4GHz.
- IEEE 802.11e. Control de calidad de servicio en la red inalámbrica. Mejor control de acceso al medio. Gestión de bloques de tramas.
- IEEE 802.11f. Gestión de *roaming* entre distintos BSS.

## ▪ 802.11 - Normativa.

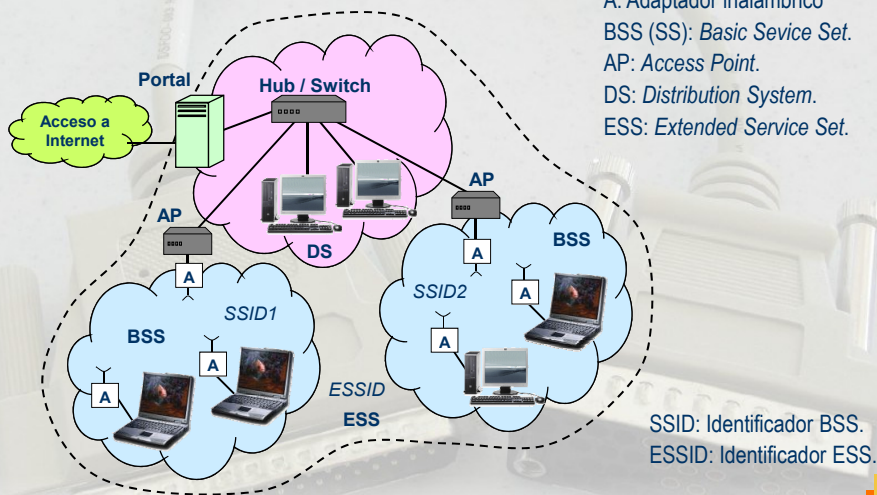
- IEEE 802.11g (2003). Nivel físico mejorado: 24-54Mbps (50m) sobre banda de 2,4GHz.
- IEEE 802.11h (2004). Define un mejor uso de la banda de 5GHz para la 802.11a.
- IEEE 802.11i (2004). WPA2 (*Wi-Fi Protected Access*). Mejor seguridad que la técnica WEP original.
- IEEE 802.11n. Hasta 300Mbps (50m) en bandas de 2,4 y 5GHz. Borrador en desarrollo desde 2004, con continuas mejoras.
- IEEE 802.11r. *Roadming* rápido entre diferentes BSS. Borrador en últimos pasos.

## ▪ 802.11 - Normativa.

- Wi-Fi Alliance: organización sin ánimo de lucro creada en 1999, formada por fabricantes y compañías del sector de las telecomunicaciones, que adopta, prueba y certifica que los equipos cumplen los estándares IEEE 802.11.
- WiFi (*Wireless Fidelity*) es una marca de la Wi-Fi Alliance (<http://www.wi-fi.org>)



- 802.11 - Arquitectura.



- 802.11 - Arquitectura.

- Adaptador inalámbrico: funciones de nivel físico y MAC que permiten acceder a la red inalámbrica.
- Basic Service Set*: conjunto de equipos que comparten un medio inalámbrico. Se puede tener un BSS independiente (red "ad hoc").
- Access Point*: conecta un BSS a otros BSS o redes cableadas a través de un DS (red de infraestructura).
- Distribution System*: red cableada (lo habitual) o inalámbrica para crear el ESS.
- Extended Service Set*: uno o más BSS conectados entre sí y a otras redes. Se tiene lo que se llama un red de infraestructura.
- Si los APs lo permiten (802.11f) es posible el *roaming* de equipos entre BSS.

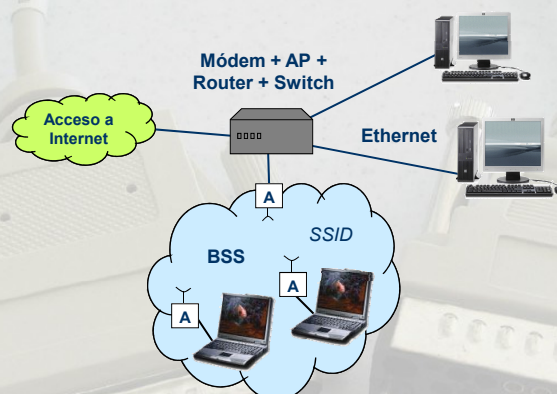


## ▪ 802.11 - Roodming.

- Si los APs lo permiten (802.11f) es posible el *roodming* de equipos entre BSS.
- Si se usa roodming, los diferentes BSS deben usar el mismo SSID.
- Ese SSID común también identifica entonces al ESS.
- En la práctica no tiene sentido un ESSID.
- Si el DS es una WLAN, también tendrá un SSID que no debería ser el mismo usado en los BSS.
- Lo mejor es que el SSID del DS sea oculto: no se difunda en el BSS y sólo lo conozcan los APs mediante configuración manual.

## ▪ 802.11 - Arquitectura.

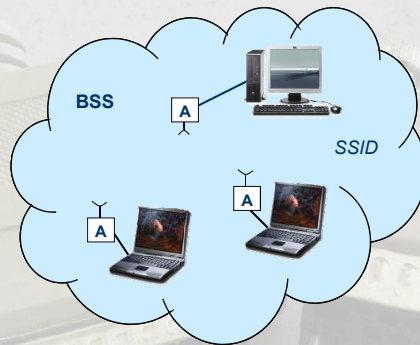
- Red de infraestructura simplificada con un AP+router:





▪ 802.11 - Arquitectura.

- Estructura sin AP: red “ad-doc”.
  - Comunicación temporal de varios equipos en un BSS independiente.



▪ 802.11 - MAC: formato de trama.

Control de trama	Duración o ID	Dir. 1	Dir. 2	Dir. 3	Control de secuencia	Dir. 4	PDU del LLC o inform. de control	CRC
2 bytes	2 bytes	6 by.	6 by.	6 by.	2 bytes	6 by.	0 - 2313 bytes	4 by.

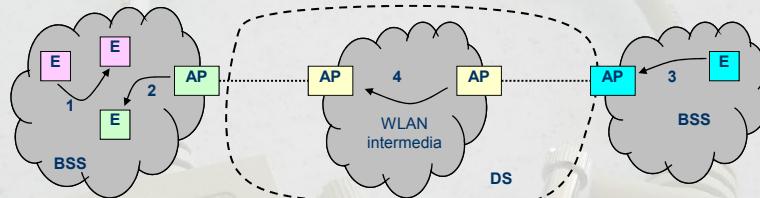
Versión protocolo	Tipo de trama	Subtipo de trama	Hacia DS	De DS	Más Frag.	Reintentar	•	•	•
2 bits	2 bits	4 bits	1 bit	1 bit	1 bit	1 bit			

•	•	•	Control de potencia	Más datos en AP	Se usa WEP	Reservado
			1 bit	1 bit	1 bit	1 bit

Tipo de trama {  
 Gestión: Autenticación, asociación y desasociación DTE-PA...  
 Control: Control de flujo, ACKs...  
 Datos: PDU del LLC o datos de gestión.

Control de secuencia: N° de fragmento (4 bits) + N° de Datos ó ACK (12 bits)

▪ 802.11 - MAC: direccionamiento.



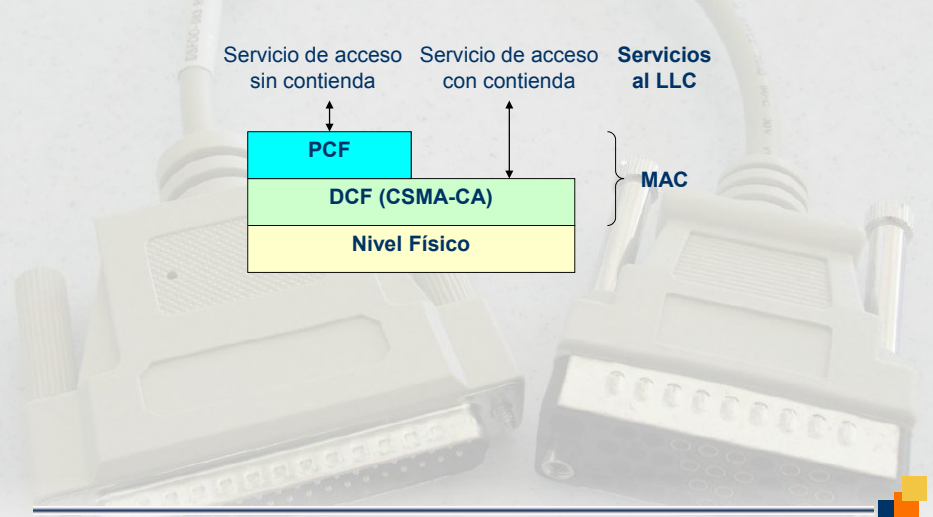
	Hacia DS	De DS	Dir. 1	Dir. 2	Dir. 3	Dir. 4	Significado
1	0	0	Destino	Origen	BSS-ID	*	Trama entre estaciones de un mismo BSS
2	0	1	Destino	AP origen	Origen	*	Trama que va del DS hacia un equipo de un BSS
3	1	0	AP destino	Origen	Destino	*	Trama que va desde un equipo de un BSS al DS
4	1	1	AP destino	AP Origen	Destino	Origen	Trama de un equipo de un BSS a otro equipo de otro BSS pasando por una WLAN intermedia

\* En estos casos no hace falta incluir el campo de dirección 4 en la trama

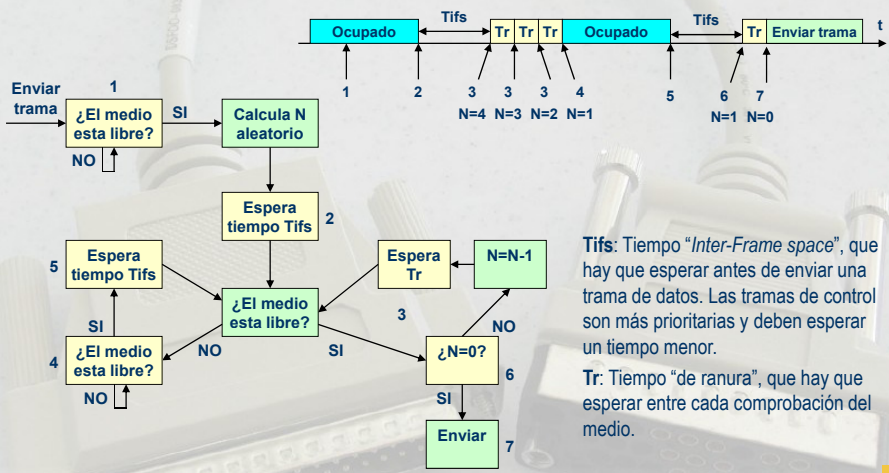
▪ 802.11 - MAC: modos de control de acceso al medio.

- DCF (*Distributed Coordination Function*).
  - Acceso por contienda basado en el algoritmo CSMA-CA (*Carrier Sense Multiple Access – Collision Avoidance*).
  - Funciona en redes de Infraestructura y en redes "Ad hoc".
- PCF (*Point Coordination Function*).
  - El AP del BSS controla los envíos de los equipos mediante sondeos a las estaciones.
  - No hay contienda, y se usa para tramas importantes o con requisitos temporales.
  - Requiere un AP, y sólo funciona en redes de infraestructura.

▪ 802.11 - MAC: modos de control de acceso al medio.



▪ 802.11 - MAC: funcionamiento CSMA – CA:



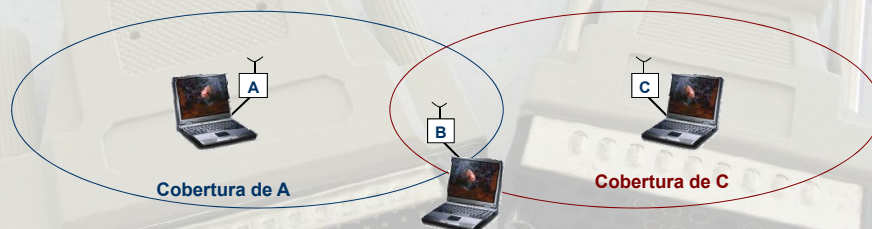
Tifs: Tiempo "Inter-Frame space", que hay que esperar antes de enviar una trama de datos. Las tramas de control son más prioritarias y deben esperar un tiempo menor.  
Tr: Tiempo "de ranura", que hay que esperar entre cada comprobación del medio.

**802.11 - MAC: funcionamiento CSMA – CA**

1. Se quiere enviar una trama, y hay que esperar a que el medio quede libre.
2. El medio queda libre. Se determina N (p.e. 4) y hay que esperar Tifs.
3. El medio esta libre, y se comprueba para N=4, 3, 2 y 1, esperando  $T_r$  entre cada comprobación.
4. Otro equipo accede al medio antes y lo ocupa. Hay que esperar a que quede libre.
5. El medio queda libre, y hay que esperar Tifs.
6. Continuando con la cuenta anterior (N=1), N es mayor que 0 y toca esperar  $T_r$ .
7. Se detecta que el medio esta libre con N=0. Se puede enviar.

**802.11 - MAC: estación oculta con DCF:**

- En la siguiente situación, los equipos A y C pueden encontrar el medio libre a la vez, al no verse entre sí.
- A y C pueden enviar a la vez, y se produce colisión.
- Se resuelve con las tramas de control RTS y CTS, que siguen el CSMA/CA, pero con un tiempo menor al Tifs.





- 802.11 - MAC: estación oculta con DCF:
  - Antes de enviar datos, A y C, envían tramas RTS (*Request To Send*).
  - Si B recibe una trama RTS, contesta con una CTS (*Clear To Send*).
  - El equipo que ve una CTS dirigida a él (A o C) envía datos. El otro debe esperar a que se acabe el ACK.
  - B contesta con una trama ACK a los datos.
  - Si los RTS se envían justo a la vez hay colisión, pero como son tramas cortas es un problema menor.
  - Todas las tramas MAC indican su duración en un campo, por lo que los equipos saben cuánto durará una transmisión en marcha.

- 802.11 - MAC: funcionamiento PCF:
  - Se define un tiempo entre el final de una transmisión y el inicio de los intervalos  $T_r$ , menor que  $T_{ifs}$ , pero mayor que el usado para tramas de control.
  - Si en ese tiempo un AP envía una trama de Baliza se inicia al modo PCF en la red.
  - El AP envía tramas de Sondeo con Datos o ACKs a los equipos, y los equipos responden con ACKs o Datos.
  - No hay colisiones ni se requieren tramas RTS ni CTS.
  - Se regresa a DCF cuando se acaba el tiempo para PCF o el AP decide finalizar.

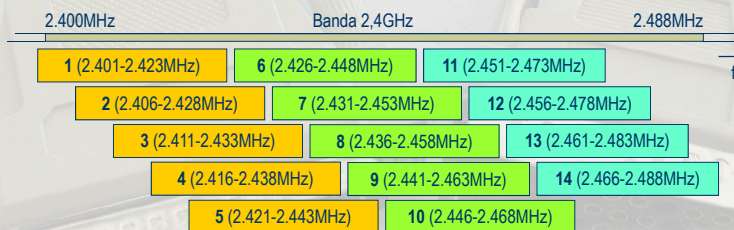


## ▪ 802.11 - Nivel Físico: canales:

- En el ancho de banda de los espectros de radio de 2,4GHz y de 5GHz se divide en canales de 20MHz de ancho de banda.
- En 2,4GHz hay 14 canales (1-14) para las versiones b y g.
- La disponibilidad de canales depende de la normativa local de cada país o región. Hoy en día lo habitual es que los 14 canales estén disponibles en 2,4GHz. En 5GHz depende del país.
- El AP de un BSS se configura para utilizar el canal deseado en ese BSS. También se debe configurar el canal en los equipos de una red "ad hoc".
- Los DTEs del BSS modularán en el canal establecido.

## ▪ 802.11 - Nivel Físico: canales:

- Los canales se solapan, por lo que se realmente utiliza el canal seleccionado y parte de los siguientes.
- Se dispone de hasta tres canales sin solape en 2,4GHz y de 24 en 5GHz.
- Para evitar interferencias entre diferentes BSS adyacentes se deben configurar canales sin solape.



- 802.11 - Nivel Físico: canales:

- Hay aplicaciones que permiten averiguar las redes que tienen cobertura en una zona, así como el canal que usan.

MAC	SSID	Ch.	Speed	Type	Encryption	SNR	Signal	Signal+	SNR+	Last Seen
0014A58A38A8	Motorola	1	54 Mbps	AP		21	-79	-79	21	13:00:29
000AE909BB	WlanComtrend	3	11 Mbps	AP		21	-79	-79	21	13:00:29
00036F7A0FE4	Tele2	11	54 Mbps	AP	WEP	17	-83	-83	17	13:00:29
001A924A956D	ALFONSO	5	54 Mbps	AP	WEP	19	-81	-64	36	13:00:29
000AE909E	WLAN	6	54 Mbps	AP		20	-80	-76	24	13:00:29
00805A425A98	WLAN	11	54 Mbps	AP	WEP	19	-81	-74	26	13:00:29
001A924A9	INALAMBRI	6	54 Mbps	AP	WEP	24	-76	-70	30	13:00:29
0013F70D0	JOSEJUAN	11	48 Mbps	AP	WEP		-68	-32		12:57:11
00805A28C8C5	JOSEJUAN	11	48 Mbps	AP	WEP		-68	-32		12:57:11
0011F514D1A	PcoPrivateNet	1*	54 Mbps	AP	WEP	59	-41	-33	67	13:00:29

- 802.11 - N. Físico: normativas.

- 802.11-FHSS:

- *Frequency-Hopping Spread-Spectrum*: Salto de Frecuencia con Espectro Extendido.
- Espectro extendido: enviar una señal ocupando más ancho de banda del original necesario.
  - Hace la transmisión más robusta a interferencias y a la atenuación de la señal.
- Salto de frecuencia: La señal se modula cambiando la frecuencia de la portadora (79 posibles canales de 1Mbaud en 2,4GHz) cada cierto tiempo (varias veces por segundo).
  - Se consigue que, si un rango de frecuencias ofrece mala calidad, solo afecte a una parte pequeña de los datos enviados.

- 802.11 - N. Físico: normativas.

- 802.11-FHSS:

- El emisor y el receptor deben conocer y emplear la misma secuencia de saltos.
    - La señal se modula con FSK de 2 niveles (1Mbps) o de 4 niveles (2Mbps).
    - A la trama se le añade un preámbulo al comienzo con información de nivel físico :

Sincronización	Delimitador	Longitud PDU MAC	Tipo de modulación	CRC cabecera	Trama MAC
----------------	-------------	------------------	--------------------	--------------	-----------

- 802.11 - N. Físico: normativas.

- 802.11-DSSS:

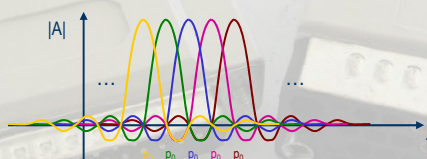
- *Direct-Sequence Spread-Spectrum*: Secuencia directa con Espectro Extendido.
    - Secuencia directa: Modulación digital que asocia una secuencia de 11 pulsos o "minibits" a cada bit (secuencia Barker).
      - Una señal de 1Mbps requiere 11Mbaudios.
      - De esta forma se facilita la detección de errores.
    - Con DS se dispone de varios canales simultáneos para enviar (11 en EE.UU., 9 en Europa), cada uno de 1 ó 2 Mbps.
    - La señal se modula con PSK-2 fases (1Mbps) o QPSK (2Mbps).
    - A la trama se le añade un preámbulo al comienzo:

Sincronización	Delimitador	Tipo de servicio	Tipo de PSK	Longitud PDU MAC	CRC cab.	Trama MAC
----------------	-------------	------------------	-------------	------------------	----------	-----------

## ▪ 802.11 - N. Físico: normativas.

## ▪ 802.11a:

- Emplea OFDM: *Orthogonal Frequency Division Multiplexing*.
- Emplea múltiples frecuencias portadoras para modular varios flujos de datos en paralelo con baja velocidad de modulación cada uno.
- Las funciones de las señales portadoras son ortogonales (vectores perpendiculares) entre sí.
- Los espectros de las portadoras se pueden solapar, aunque en los picos de máxima potencia solo contribuye una portadora.



## ▪ 802.11 - N. Físico: normativas.

## ▪ 802.11a:

- Con OFDM se consigue aprovechar al máximo el ancho de banda del medio físico.
- Además, con OFDM se facilita la modulación y el filtrado por software usado DSPs y algoritmos de FFT.
- En 802.11a se emplean 52 portadoras (48 datos y 4 de control), con modulaciones PSK, QPSK, QAM-16 o QAM-64, para modular flujos de datos de 1-3Mbps en cada portadora.
- OFDM también se usa en los accesos DSL, donde se conoce como DMT (*Discrete Multi-Tone modulation*), y en cable-módem.



## ▪ 802.11 - N. Físico: normativas.

## ▪ 802.11-DFIR

- Transmisión por luz en infrarrojos: 1 ó 2 Mbps.
- PPM (Modulación por Posición de Pulso).

## ▪ 802.11b:

- Transmisión en la banda de 2,4GHz, hasta 11Mbps.
- DSSS, pero con modulaciones más complejas que la QPSK.

## ▪ 802.11g:

- Transmisión en la banda de 2,4GHz, hasta 54Mbps.
- Compatible con 802.11b, aunque el uso de nodos 802.11b reduce el rendimiento de una red 802.11g.
- OFDM y modulación similar a la 802.11a.

## ▪ 802.11 - N. Físico: normativas.

## ▪ 802.11n:

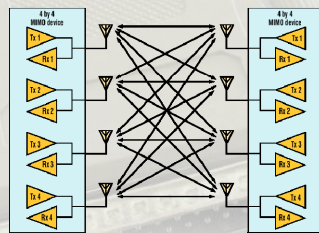
- Máximo de 300Mbps en la actualidad (en teoría más).
- Sigue siendo un borrador (Task Group N draft 7.0). Se esperaba que estuviese aprobado para 2008, pero ahora se habla de 2010.
  - <http://grouper.ieee.org/groups/802/11/>
- Para conseguir velocidades tan altas emplea varias técnicas:
  - Usa bandas de 2,4GHz y 5GHz simultáneamente.
  - Modulación OFDM con PSK, QPSK, QAM-16 o QAM-64, similar a la usada en 802.11a y 802.11g.
  - MIMO (*Multiple-Input Multiple-Output*), Multipath signals, SDM (*Spatial Division Multiplexing*).
  - *Channel Bonding* (Canales vinculados).
  - *Frame aggregation* (Agrupamiento de tramas).



▪ 802.11 - N. Físico: normativas.

▪ 802.11n:

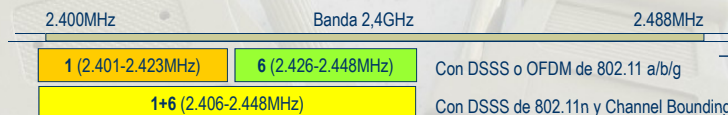
- MIMO: Se usan varios transmisores-receptores de radio en canales sin solape para enviar señales OFDM en paralelo ("Smart Antennas"). Además:
  - SDM: se puede enviar varios flujos de datos en un mismo canal (mismo ancho de banda), entre pares de emisor-receptor orientados directamente.
  - Un receptor aprovecha las señales reflejadas (multipath) para recibir información (en 802.11a/b/g se consideran interferencias).



▪ 802.11 - N. Físico: normativas.

▪ 802.11n:

- Channel Bonding. Canales de 40MHz de ancho de banda en vez de 20MHz.
  - Para se ello se agrupan pares de canales de 20MHz consecutivos y que no se solapan.
  - Tiene más sentido en la banda de 5GHz, donde se definen hasta 24 canales no solapados de 20MHz si se dispone de toda la banda.



- Para 300Mbps es necesario:

Banda 2,4GHz + Banda 5GHz + OFDM con QAM-64 + MIMO + 2 canales SDM + Channel Bonding

▪ 802.11 - N. Físico: normativas.

▪ 802.11n:

▫ *Frame aggregation:*

- Por si solas, las mejoras de nivel físico no incrementan el rendimiento todo lo esperado debido a otros aspectos como:
  - Grandes cabeceras de MAC y de nivel físico.
  - Tiempos de intertrama mínimos del CSMA-CA.
  - Tramas de ACK.
- Se considera una mejora que permite a un equipo enviar varias tramas o bloques de datos agrupadas tras conseguir acceso al medio:
  - *MPDU aggregation:* agrupación de PDUs (tramas enteras) del MAC.
  - *MSDU aggregation:* agrupación de SDUs (bloques de datos) del MAC.
- Además se definen ACKs para los bloques de tramas (*BlockACKs*), lo que es una mejora de la 802.11e.

▪ 802.11 - N. Físico: normativas.

▪ 802.11n: MCS (*Modulation Coding Schemes*) y velocidades típicas:

MCS Index	Number of Spatial Streams	Modulation	Coding Rate	N <sub>SD</sub>		N <sub>CBPS</sub>		GI = 800ns		GI = 400ns	
				20	40	20MHz	40MHz	Rate In	Rate In	Rate In	Rate In
0	1	BPSK	1/2	52	108	52	108	6.5	13.5	7.2/9	15
1	1	QPSK	1/2	52	108	104	216	13	27	14.4/9	30
2	1	QPSK	3/4	52	108	104	216	19.5	40.5	21.2/3	45
3	1	16-QAM	1/2	52	108	208	432	26	54	28.8/9	60
4	1	16-QAM	3/4	52	108	208	432	39	81	43.1/3	90
5	1	64-QAM	2/3	52	108	312	648	52	108	57.7/9	120
6	1	64-QAM	3/4	52	108	312	648	58.5	121.5	65	135
7	1	64-QAM	5/6	52	108	312	648	65	135	72.2/9	157.5
8	2	BPSK	1/2	52	108	104	216	13	27	14.4/9	30
9	2	QPSK	1/2	52	108	208	432	26	54	28.8/9	60
10	2	QPSK	3/4	52	108	208	432	39	81	43.1/3	90
11	2	16-QAM	1/2	52	108	416	864	52	108	57.7/9	120
12	2	16-QAM	3/4	52	108	416	864	78	162	86.2/3	180
13	2	64-QAM	2/3	52	108	624	1296	104	216	115.5/9	240
14	2	64-QAM	3/4	52	108	624	1296	117	243	130	270
15	2	64-QAM	5/6	52	108	624	1296	130	270	144.4/9	300

- **GI:** *Guard Interval* (Espacio entre símbolos de OFDM).
- **NSD:** *Number of Data Subcarrier for OFDM.*
- **NCBPS:** *Number of Code Bits Per OFDM Symbol*

Figura extraída del documento "Cisco 802.11n Design and Deployment Guidelines"

- 802.11 - N. Físico: alcance.

- Potencia de emisión

- Se trabaja con potencias en mW o en dBm (deciBelios metro):
      - $P(\text{dBm}) = 10 \cdot \text{Log}_{10} P(\text{mW})$
    - Potencia máxima de emisión en España:
      - 100mW o 20dBm para 2,4GHz.
      - 1W o 30dB para 5GHz (en esta banda, las ondas penetran menos).
    - La potencia máxima incluye la potencia de salida del emisor de la tarjeta, la ganancia de la antena y posibles pérdidas en cables y conectores.
    - Una tarjeta típica emite con potencias de 20 a 50mW.
    - Un cable típico de 50cm con conectores suele tener unas pérdidas menores a 0,3dBm.
    - Legalmente no se permiten antenas caseras de gran ganancia por que puede superarse los niveles máximos de potencia.

- 802.11 - N. Físico: alcance.

- Potencia de emisión:

- Se dispone de una tarjeta WiFi 802.11g que emite con 20mW y se empela un cable con una atenuación de 0,3dBm. ¿De que ganancia máxima puede ser la antena utilizada?
      - En mW:  $P_{\text{tarjeta}} \cdot P_{\text{antena}} / P_{\text{cable}} = 100\text{mW}$   
 $P_{\text{cable}} (\text{mW}) = 10^{(0,3\text{dBm}/10)} = 1,07\text{mW}$   
 $P_{\text{antena}} = 100\text{mW} \cdot 1,07\text{mW} / 20\text{mW} = 5,35\text{mW}$
      - En dBm:  $P_{\text{tarjeta}} + P_{\text{antena}} - P_{\text{cable}} = 20\text{dBm}$   
 $P_{\text{tarjeta}} (\text{dBm}) = 10 \cdot \text{log}_{10} 20\text{mW} = 13\text{dBm}$   
 $P_{\text{antena}} = 20\text{dBm} - 13\text{dBm} + 0,3\text{dBm} = 7,3\text{dBm}$

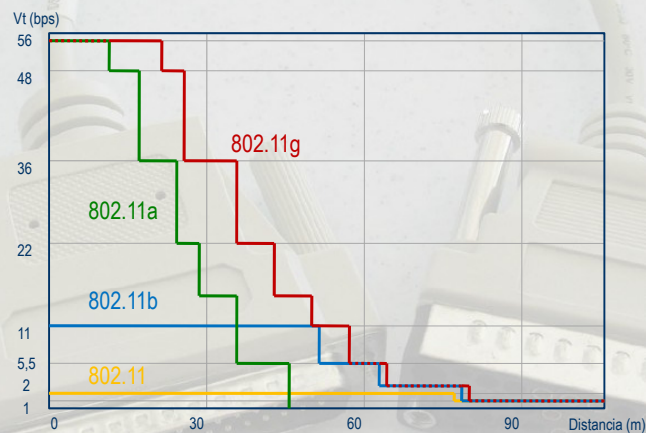
## ▪ 802.11 - N. Físico: alcance.

## ▪ Distancia cubierta:

- La distancia real depende de muchos parámetros: potencia de emisión, interferencias, paredes, mobiliario, técnica de modulación...
- A medida que se aumenta la distancia entre equipos, la  $V_t$  máxima disminuye.
- La distancia máxima depende de la norma:
  - 802.11 (2Mbps): 100m.
  - 802.11b (11Mbps): 100m (hasta 400m en espacios abiertos).
  - 802.11a (54Mbps): 50m.
  - 802.11g (54Mbps): 50m. Para cubrir la mismo área que la 802.11b requiere 4 veces más de APs.
  - 802.11n: De 50 a 125m (usa varias antenas y canales simultáneos)

## ▪ 802.11 - N. Físico: alcance.

## ▪ Distancia cubierta:





## ▪ 802.11 - Seguridad.

- Con una WLAN no es necesario entrar al recinto donde está la red para conectarse al medio físico.
- Es fácil acceder a la información de una WLAN no segura.
- Para garantizar la seguridad se requiere:
  - **Autenticación** de los usuarios mediante contraseña o certificado.
  - **Autorización** para que un usuario acceda a determinados recursos.
  - **Contabilidad**: mantenimiento de un historial de los accesos del usuario y de los recursos que utiliza.
  - **Cifrado** que encripte la información enviada por radio.
- Las normas 802.11 definen estándares de seguridad que consideran una o varias medidas de las anteriores.

## ▪ 802.11 - Seguridad.

- El problema es que los protocolos que aplican medidas de seguridad disminuyen el rendimiento de la red de cara a las aplicaciones, porque es necesaria información adicional.
- Estándares de seguridad 802.11 y WiFi:
  - WEP (*Wired Equivalent Privacy*), en 802.11legacy.
  - WPA (*Wi-Fi Protected Access*) de Wi-Fi Alliance.
  - WPA2 en IEEE 801.11i y Wi-Fi.
- La Wi-Fi Alliance definió WPA antes de que se publicase el estándar IEEE802.11i con WPA2, debido a que este se retrasaba mucho.



### ▪ 802.11 - Seguridad.

#### ▪ WEP (802.11legacy):

- Solo define cifrado. No permite autenticación de usuarios.
- Se define una clave numérica compartida por todos los equipos y el AP.
- La clave es utilizada por un algoritmo de cifrado RC4 para encriptar la información que cada equipo transmite a la red.
- La clave del WEP original es muy corta (de 64 bits) y parte de ella es transmitida con los datos.
- Se puede averiguar la clave compartida analizando durante un tiempo el tráfico de datos que circula por la red y viendo las semejanzas entre datos.
- Existen versiones propietarias de 128 y 256 bits, pero sólo logran que se tarde más de tiempo en determinar la clave por exploración.
- Ventajas: es sencillo y está soportado por cualquier dispositivo 802.11.

### ▪ 802.11 - Seguridad.

#### ▪ WPA (Wi-Fi Alliance):

- Define dos aspectos:
  - Cifrado mejorado mediante el protocolo TKIP (*Temporal Key Integrity Protocol*) con comprobación de integridad del mensaje mediante el protocolo MIC (*Message Integrity Check*).
  - Autenticación y control de usuarios basados en EAP (*Extensible Authentication Protocol*).
- Cifrado con TKIP:
  - Clave de mayor longitud que WEP.
  - Método de elección de clave automático por parte de los equipos. No se requiere especificar la clave compartida.
  - La clave se redefine cada nueva transmisión de datos.
  - Es muy difícil averiguar la clave mediante exploración de tramas.

## ▪ 802.11 - Seguridad.

## ▪ WPA (WiFi Alliance):

- EAP considera dos modos de funcionamiento no excluyentes:
  - Avanzado: autorización, control de acceso y contabilidad basados en un servidor RADIUS (*Remote Authentication Dial-In User Service*) al que accede el AP como cliente.
  - Sencillo: autorización inicial basada en una clave inicial compartida denominada PSK (*Pre-Shared Key*) de 256 bits que debe ser configurada manualmente en el punto de acceso y en cada uno de los equipos.
- Se puede usar TKIP sólo, EAP sólo, o ambos.
- El acceso al servidor RADIUS desde el AP es como el estudiado en la práctica 2 para los NAS de VPNs.

## ▪ 802.11 - Seguridad.

## ▪ WPA2 (IEEE 802.11i + WiFi):

- Básicamente define los aspectos de WPA, pero admitiendo cifrado AES (*Advanced Encryption Standard*) en vez de TKIP.
- AES es un algoritmo muy utilizado actualmente en seguridad de datos por ser muy robusto sin requerir excesivos recursos de cálculo.
- Desde marzo de 2006, todos los nuevos dispositivos certificados como Wi-Fi deben soportar WPA2.
- Sólo los equipos y S.O. más modernos soportan completamente WPA2.

## ▪ Otras opciones habituales en los AP:

- Filtrado por dirección MAC.
- Filtrado de direcciones IP y puertos TCP/UDP (en AP+router).
- Filtrado por URLs o dominios (en AP+router).

### ▪ 802.11 - Seguridad.

#### ▪ Sobre las claves especificadas manualmente...

- Son cadenas de caracteres hexadecimales.
- Algunos APs o facilitan la generación de claves, ofreciendo la opción de generarlas a partir de una cadena alfanumérica (*Pass Phrase*).
- La longitud de la cadena hexadecimal depende del protocolo:
  - WEP de 64 bits: cadena hexadecimal de 10 caracteres.
  - WEP de 128 bits: cadena hexadecimal de 26 caracteres.
  - WEP de 256 bits: cadena hexadecimal de 58 caracteres.
  - PSK de 256 bits: cadena hexadecimal 64 caracteres.
- Se recomienda usar claves de cadenas aleatorias de al menos 33 caracteres hexadecimales: hay que descartar WEP64, WEP128 y WEP256 si es posible usar otras técnicas.

### ▪ 802.11 - Otros aspectos.

#### ▪ Fragmentación:

- Con medios ruidosos es mejor transmitir tramas pequeñas: las tramas por defecto son muy grandes (2313 bytes).
- El MAC 802.11 realiza fragmentación y reensamblado de tramas para poder enviar bloques más grandes.

#### ▪ Ahorro de energía:

- Se consideran funciones de ahorro de energía para dispositivos móviles.
- Por ejemplo, un equipo puede estar en modo de bajo consumo o "dormido", y el AP guarda las tramas que van dirigidas a él. Cuando el equipo "despierta", el AP le informa de que tiene tramas guardadas para él.

- Alternativas a 802.11:

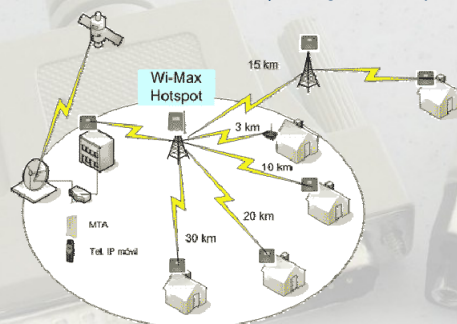
- WiMAX.

- WiMAX: *Worldwide Interoperability for Microwave Access*.
    - Serie de estándares para redes Wireless MAN incluidas en IEEE 802.16 y coordinados por el consorcio de empresas WiMAX Forum.
    - En la especificación inicial: 70Mbps, 100Km.
    - En la práctica: 10Mbps, 10Km.
    - Originalmente se definen bandas de radio con licencia. Todavía se están definiendo las bandas usables en distintos países o continentes.
    - Aunque supone una competencia directa a las redes de telefonía móvil, tiene apoyo de muchos fabricantes y de entidades como la UE.
    - En la práctica no se está extendiendo lo que se esperaba, y las nuevas versiones de 802.11 ganan más terreno.

- Alternativas a 802.11:

- WiMAX.

- WiMAX Fijo (802.16-2004 o 802.16d).
      - Aplicación original de WiMax. Los usuarios tienen antena fijas. Sirve para dar cobertura a zonas donde no llega la banda ancha por cable.
      - Nivel físico OFDM (*Orthogonal Frequency Division Multiplexing*).





## ▪ Alternativas a 802.11:

## ▪ WiMAX.

## ▫ WiMAX Móvil (802.16e-2005).

- Complemento para la norma 802.16-2004 que permite usuarios móviles.
- OFDMA (*Orthogonal Frequency-Division Multiple Access*), que es una versión de OFDM que admite la transmisión simultánea de varios usuarios en diferentes portadoras de OFDM.
- Soporte de tecnología MIMO y múltiples antenas.



## ▪ Alternativas a 802.11:

## ▪ WiMAX.

## ▫ MAC diferente al de 802.11 que emplea reserva:

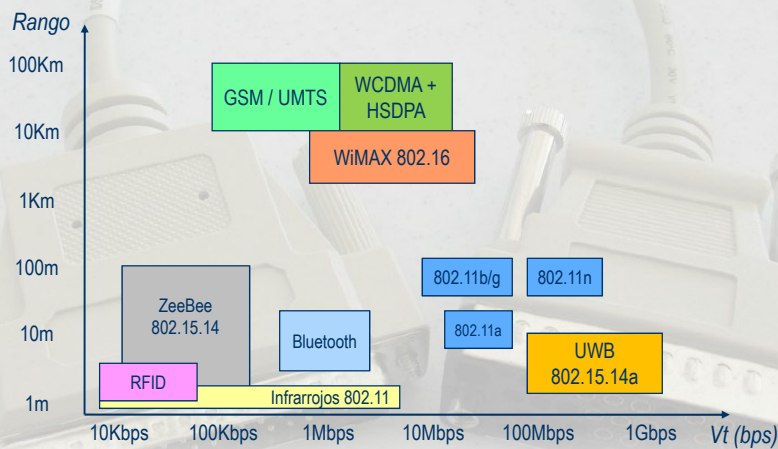
- La primera vez que un equipo quiere enviar, compete con el resto para reservar un slot de tiempo de transmisión.
- Una estación base se encarga de asignar los slots de tiempo, y de ajustar la duración de los slots para controlar la calidad de servicio (QoS).
- Una vez lograda una reserva, un equipo puede usar el slot asignado en posteriores transmisiones.
- Se garantiza un ancho de banda mínimo, lo que es adecuado para transmitir señales digitales de video o audio (VoIP).

▪ Alternativas a 802.11:

- UWB (Ultra-wideband).
  - Muy reciente. Se está trabajando en el primer borrador IEEE 802.15.4a.
  - Usa bandas de radio de mucho ancho de banda (más de 500MHz) y de altas frecuencias (3-10GHz).
  - Modulación por posición de pulso (PPM) con pulsos muy cortos y tasas de 1.3 giga-pulsos por segundo en modulación.
  - Puede superar los 600 Mbps, pero cubre distancias son muy pequeñas (10m).
  - Requiere de poca potencia de emisión, por lo que es adecuado para dispositivos pequeños.
  - Ejemplo de aplicación: transmisión de video de calidad entre equipos domésticos de forma inalámbrica.
  - Además permite una localización de los equipos mucho más precisa que el GPS y en interiores.

▪ Alternativas a 802.11:

- UWB (Ultra-wideband): comparación.



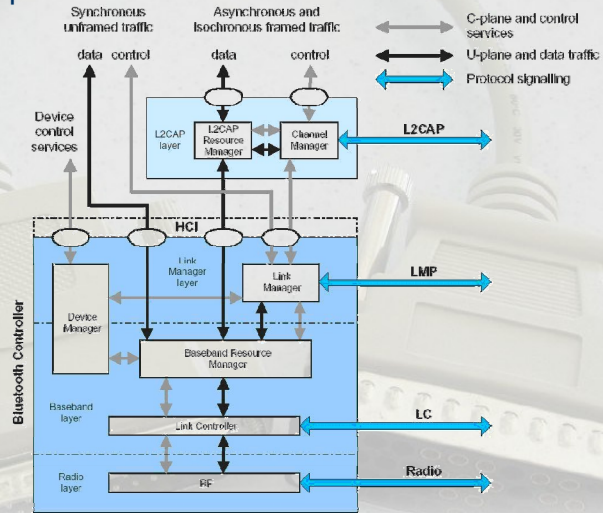
### Bluetooth: Características.

- Diseñada para...
  - Sustituir los cables en la interconexión de dispositivos cercanos: concepto PAN: Personal Area Network.
  - Permitir interconectar dispositivos móviles o fijos.
- Ofrece diferentes servicios que permiten la conexión y el intercambio de distintos tipos de datos.
  - Tráfico asíncrono: datos, datos con puerto serie emulado...
  - Tráfico síncrono: señales de audio, AD2P...
  - Asociación de dispositivos, autenticación, marcación...
- Las principales características son:
  - Bajo consumo.
  - Bajo coste.
  - Pequeño tamaño.

### Bluetooth: Características.

- Muchas de las especificaciones son opcionales, permitiendo una diferenciación de los productos.
- El núcleo de la tecnología Bluetooth contiene:
  - Transmisión RF.
  - Codificación en banda base.
  - Pila de protocolos de enlace para los distintos servicios
- La transmisión se realiza en la banda de los 2.4GHz, dividiendo este espectro en 79 bandas entre las que se va saltando según un patrón determinado.
- En una red Bluetooth un equipo actúa como maestro y el resto como esclavos que se conectan a él.

Bluetooth: Arquitectura



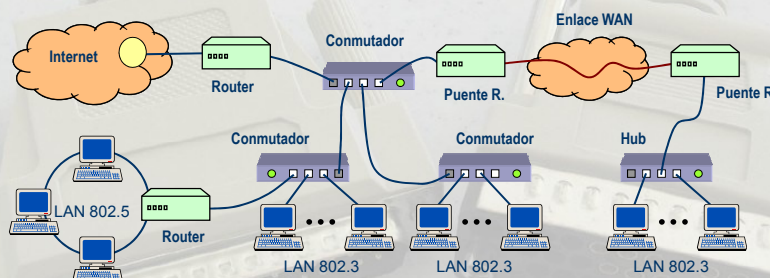


5. Características de las Redes Locales.
6. Normas clásicas.
7. Redes Ethernet Conmutadas.
8. Redes inalámbricas (WLANs).
- 9. Interconexión de LANs.

- ▪ Dispositivos de interconexión.
- Puentes transparentes.
- Virtual Local Area Networks (VLANs).

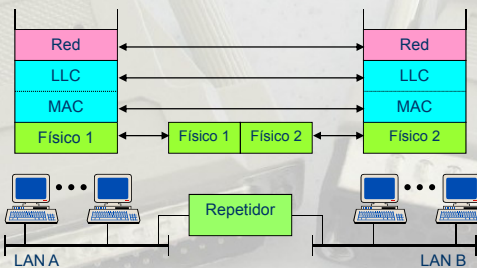
▪ Dispositivos de interconexión.

- Las distintas LANs son adecuadas a aplicaciones diferentes.
- Habitualmente se requiere interconectar las distintas LAN de una organización en un entorno global.



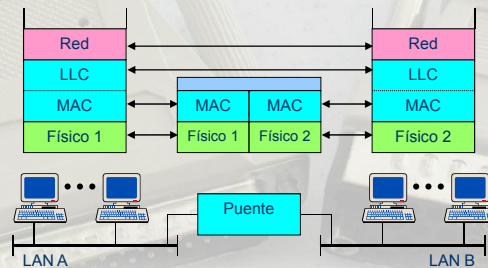
▪ Dispositivos de interconexión.

- Repetidores y Hubs.
  - Elemento de interconexión más básico.
  - Trabajan a nivel físico amplificando y retransmitiendo señales.
  - Conectan equipos o segmentos de LANs del mismo tipo.



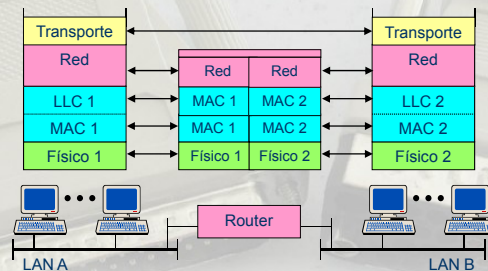
▪ Dispositivos de interconexión.

- Puentes (bridges), conmutadores (switches) y APs (Access Points).
  - Trabajan a nivel enlace-MAC encaminando tramas (bridging).
  - Interpretan las tramas de nivel de enlace. Los conmutadores también pueden interpretar el contenido de niveles superiores, pero sin alterarlo.
  - En general conectan equipos o LANs del mismo tipo (salvo APs de un ESS donde el DS no es 802.11 y puentes remotos).



▪ Dispositivos de interconexión.

- Encaminador (router).
  - Trabaja a nivel de red encaminando paquetes de red (routing).
  - Conecta redes con diferentes niveles de enlace, creando diferentes subredes de nivel de red.
  - Solución habitual para conectar LANs de diferente tipo, y para conectar LANs con WANs.



- Dispositivos de interconexión.

- Puente-encaminador (BRouter).

- Como los puentes, pero permiten conectar LANs de diferentes tipos.
    - Trabajan a nivel de enlace-LLC.
    - No se suelen emplear, y lo habitual es usar un router para conectar redes con diferentes niveles de enlace.

- Dispositivos combinados.

- Ejemplo típico en los accesos WAN de banda ancha: Router + Módem + AP + Switch.
    - Suelen disponer de secciones de configuración diferentes para cada funcionalidad.



- Puentes.

- Funciones principales:

- Procesar y verificar tramas para reenviarlas a otras redes.
    - Enviar una trama solo a la red donde está el destino, para evitar sobrecargar otras redes innecesariamente.
    - Activar caminos alternativos cuando fallan las conexiones actuales.

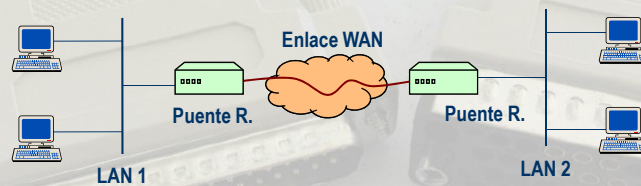
- Tipos:

- Puentes Transparentes (802.1): Redirigen las tramas al destino de forma transparente a los DTEs. Para redes IEEE 802.3.
    - Puentes Transparentes Remotos. Como los transparentes, pero para conectar LANs a través de enlaces WAN punto a punto.
    - Puentes con fuente de encaminamiento. Los DTEs encaminan las tramas con ayuda de los puentes. Para redes IEEE 802.5.

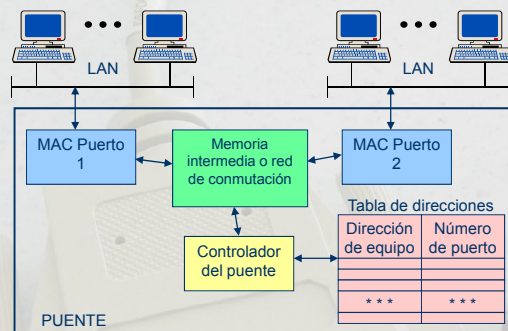


▪ Puentes transparentes remotos.

- Permiten interconectar directamente LANs remotas a través de enlace WAN punto a punto (RTC, RDSI, Frame Relay...)
- Diferencia con el uso de routers: las LANs conectadas comparten el mismo nivel de enlace, con sus tramas y direccionamiento.
- Pueden tener varios puertos WAN.



▪ Puentes transparentes: estructura.



Controlador del puente:

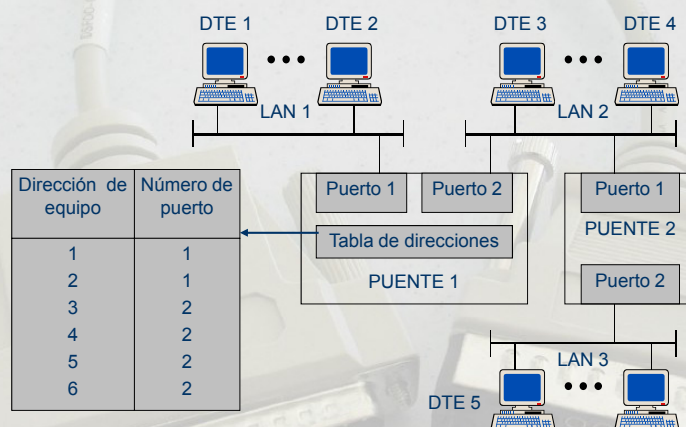
- Gestión de tabla de direcciones, y selección de tramas a reenviar.
- Protocolo de comunicación con otros puentes.
- Algoritmo "Spanning Tree" para evitar bucles.

Un puente tiene 2 o más puertos, cada uno con su protocolo y direcciones MAC. Las direcciones MAC no interesan a los DTEs y sirven para que los puentes (y conmutadores) intercambien información con su propio protocolo.

▪ Puentes transparentes: funcionamiento.

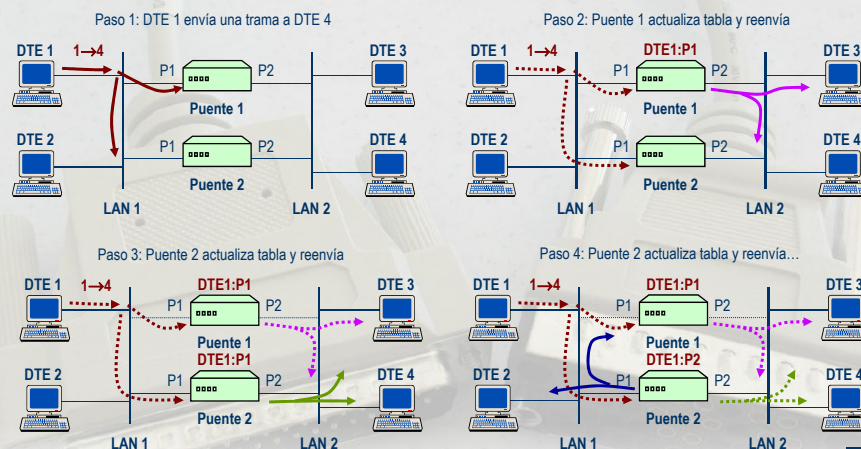
- El puente selecciona las tramas MAC que deben pasar de un puerto a otro, según sus direcciones destino y la tabla de direcciones.
- Sólo se reenvía una trama si su dirección destino corresponde con un puerto distinto del puerto por donde entró al puente.
- Las tramas de broadcast se reenvían a todos los puertos (excepto el de entrada).
- La tabla de direcciones se actualiza dinámicamente y de forma automática a partir de las tramas que pasan por el puente.

▪ Puentes transparentes: funcionamiento.



- Puentes transparentes: actualización.
  - La tabla de direcciones está inicialmente vacía.
  - Cuando el puente recibe una trama con origen X por el puerto Y, añade (o actualiza) la entrada correspondiente en la tabla: [dirección X : puerto Y]
  - Si se recibe una trama cuyo destino no está aun indicado en la tabla, se reenvía a todos los puertos (excepto del de entrada).
  - Si no se reciben tramas con un destino determinado durante mucho tiempo, se borra la entrada correspondiente.
  - Un conmutador funciona igual que un puente, pero en vez de reenviar tramas, establece conexiones en la malla de conmutación.

- Puentes transparentes: problemas.
  - Tramas repetidas y bucles indefinidos:



- Puentes transparentes: STA.

- Para evitar los problemas, los puentes implementan el algoritmo del árbol en expansión o Spanning Tree Algorithm (STA).
- Objetivos del STA:
  - **Detectar y prevenir bucles.** Se asegura que en todo momento la red tiene una estructura de árbol, que garantice un único camino entre cada par de DTEs. Algunos enlaces se dejarán como enlaces de respaldo.
  - **Reconfiguración automática.** Si algún enlace o puente falla, la estructura de árbol debe cambiar para garantizar nuevos caminos. Para ello el STA se ejecuta de forma periódica.

- Puentes transparentes: STA.

- STA se ejecuta como un algoritmo distribuido en todos los puentes de la red, aunque ofrece una funcionalidad global.
- Para ejecutar el algoritmo, los puentes requieren intercambiar información, para lo que se define:
  - Protocolo de comunicación entre puentes.
  - Formato específico de tramas MAC-LLC.
- Los conmutadores también utilizan el STA cuando conectan redes de igual modo que los puentes.



- Puentes transparentes: STA.

- Parámetros básicos a configurar en los puentes:

- Identificador de puente. Cada puente tienen asociado un número entero único que lo identifica del resto. A menor identificador, mayor prioridad.
    - Identificador de puerto. En cada puente, cada puerto tiene un número entero único. A menor identificador, mayor prioridad.
    - Coste de camino (CC). A cada red se le asocia un valor entero de coste. En la práctica el CC se configura en los puertos de los puentes.
    - Edad Máxima (Max. Age). Si un puente no recibe información del puente raíz durante este periodo, inicia la ejecución del STA.
    - Tiempo de saludo (Hello time). Se configura en cada puente. El puente raíz inicia la ejecución del STA periódicamente, según este valor.

- Puentes transparentes: STA.

- Pasos del algoritmo (I):

- Se establece el **Puente Raíz**. Se escoge el puente con menor identificador.
    - Cada puente calcula su RPC (Root Path Cost) y lo difunde a sus vecinos
      - El Puente Raíz tiene RPC=0.
      - En otros puentes:

$$RPC = \min_{i \in \text{puertos}} (\text{RPC recibido por puerto } i + \text{CC puerto } i)$$

- Puentes transparentes: STA.

- Pasos del algoritmo (II):

- Cada puente escoge su **Puerto Raíz** como el puerto por donde recibió el valor de RPC con el que ha calculado su RPC.
    - Para cada LAN se establece como **Puente Designado** el puente que tiene menor RPC. En caso de empate, se escoge el puente con menor identificador.
    - En cada puente se escogen como **Puertos Designados** los que hacen que el puente sea puente designado para alguna LAN.
    - Los puertos raíz y designados se dejan en funcionamiento, y los que no tienen función se desactivan temporalmente.

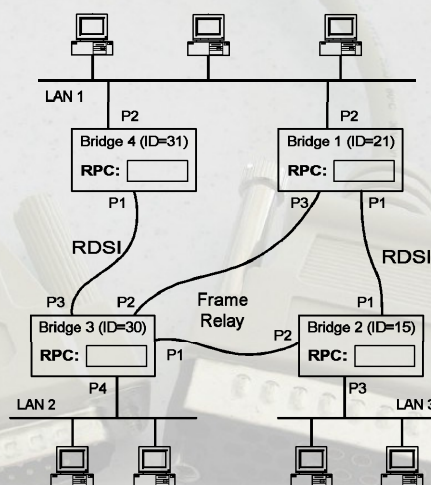
- Puentes transparentes: STA.

- Ejemplo 1.

Costes de camino para los puertos:

- LAN: 100

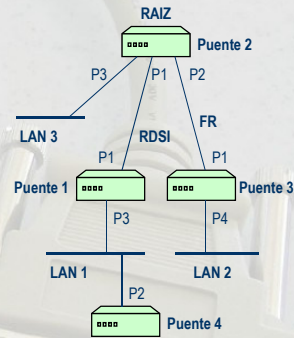
- RDSI, FR: 1000



▪ Puentes transparentes: STA.

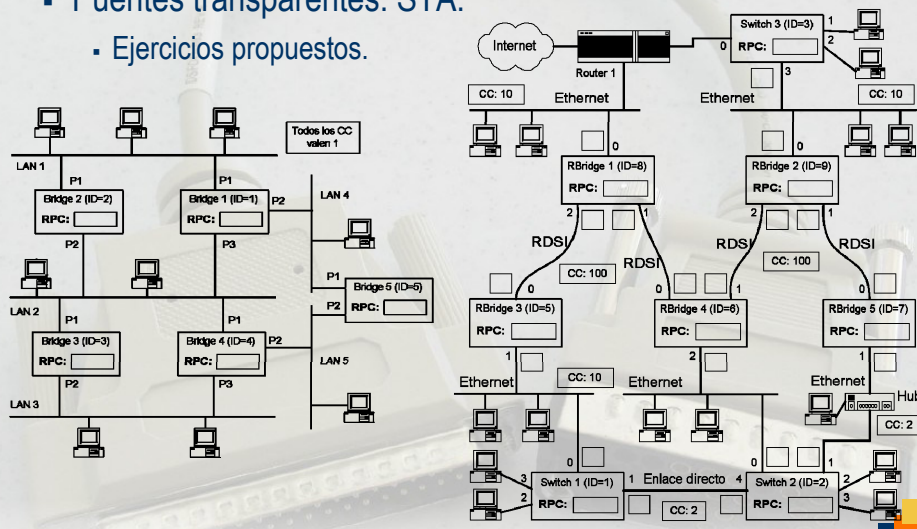
▪ Resultado:

- Se tiene una estructura de árbol.
- El puente raíz es designado para todas las LANs que conecta.
- Todos los puertos del puente raíz son designados.
- Un puerto no puede ser raíz y designado a la vez.
- Todos los puentes, menos el raíz, tienen un puerto raíz.



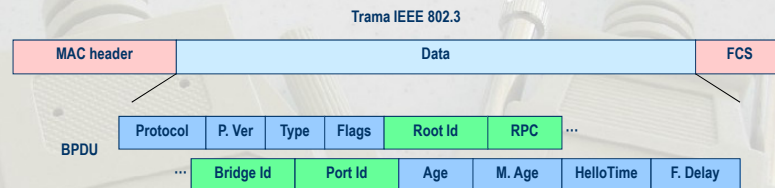
▪ Puentes transparentes: STA.

▪ Ejercicios propuestos.



- Puentes transparentes: comunicación.

- Protocolo entre puentes (IEEE 802.1d).
  - Permite el intercambio entre puentes de los datos necesarios para ejecutar el algoritmo "spanning tree".
  - Se utilizan unas tramas llamadas BPDUs, encapsuladas en tramas MAC.



- Como el protocolo original 802.1d para STA era bastante lento, se definió una versión más rápida del algoritmo en IEEE 802.1w, que posteriormente (2004) se incluyó como parte del estándar IEEE 802.1d.

- Dispositivos de interconexión.
- Puentes transparentes.
- ▪ Virtual Local Area Networks (VLANs).



- Virtual Local Area Networks (VLANs).

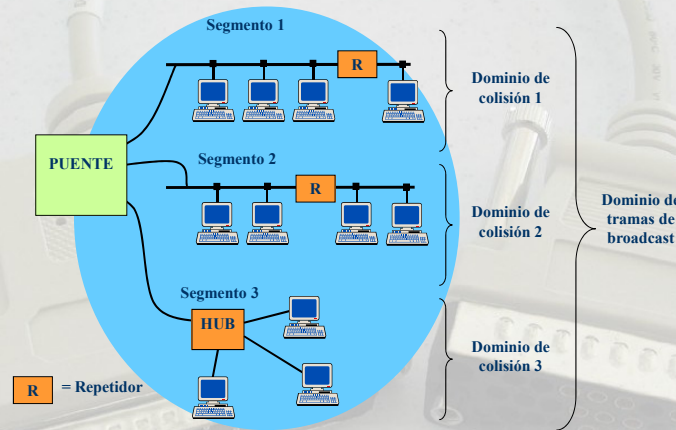
- Objetivo: definir varias LANs virtuales dentro de una misma LAN física. Se tienen subredes a nivel de enlace.
- Las VLANs es una funcionalidad opcional para los conmutadores.
- El concepto de VLANs y su funcionamiento se definen en la norma IEEE 802.1q.
- Las VLANs se usan principalmente con conmutadores IEEE 802.3 o ATM, aunque se puede aplicar a otras LANs como la IEEE 802.5 o la FDDI.

- Virtual Local Area Networks (VLANs).

- Ventajas de usar VLANs:
  - Separar diferentes dominios para las tramas de broadcast:
    - Se puede aumentar el rendimiento limitando las tramas de broadcast a determinados segmentos de una red.
    - Esto es efectivo con protocolos que hacen uso intensivo de estas tramas.
  - Administrar diferentes grupos de trabajo, incluso con equipos muy alejados. Además es fácil cambiar un equipo de grupo.
  - Aumentar la seguridad: un equipo solo puede recibir tramas de enlace de equipos de su VLAN.
  - Aunque un router también puede hacer lo anterior (a nivel de red), un conmutador VLAN suele ser más barato, y ofrece mejor rendimiento.

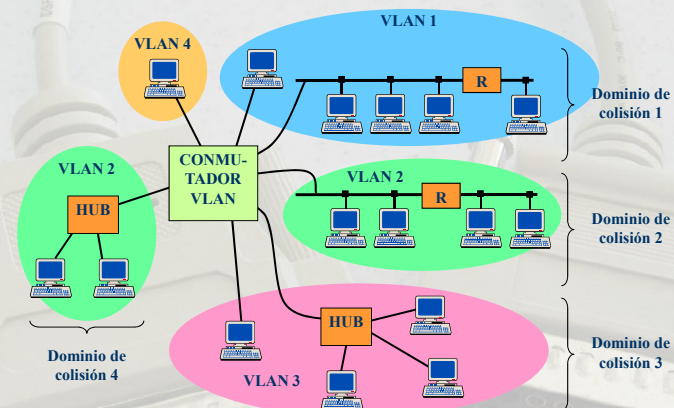
Virtual Local Area Networks (VLANs).

- LANs conectadas por un Punte:



Virtual Local Area Networks (VLANs).

- LANs conectadas por un Conmutador VLAN:



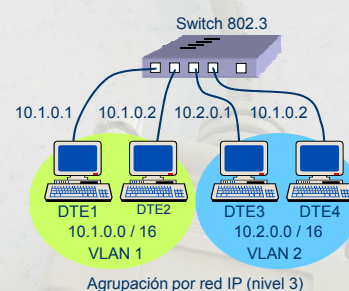
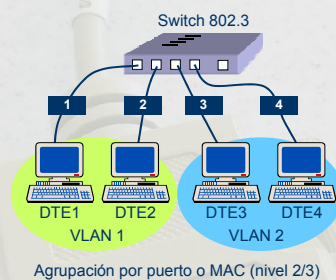
\* Cada VLAN representa un dominio de broadcast diferente.

- Virtual Local Area Networks (VLANs).

- Para definir qué equipos pertenecen a cada VLAN, los conmutadores pueden clasificar las tramas según:
  - Nivel físico:
    - Identificador del **puerto** del que proceden (puerto al que se conectan los equipos).
  - Nivel de enlace.
    - Dirección MAC** origen (direcciones MAC de los equipos).
    - Protocolo** de red que contiene la trama de enlace.
  - Nivel de red:
    - Dirección de red** origen de un paquete en la trama (subred a la que pertenecen los equipos).
  - Niveles superiores:
    - Protocolos de aplicación o servicios (puertos TCP/UDP).

- Virtual Local Area Networks (VLANs).

- Ejemplos de clasificaciones en VLANs:



- Se puede configurar una tabla del conmutador con las asociaciones entre VLANs y cada grupo de puertos, direcciones, protocolos... (asociación estática)

▪ Virtual Local Area Networks (VLANs).

- Un conmutador VLAN reenvía las tramas a los puertos destinos correspondientes como un puente, pero sólo si están en la misma VLAN.
- Las tramas de broadcast y multicast solo van a otros equipos que pertenecen a la misma VLAN.
- Además, después de asociar una VLAN a una trama, el conmutador puede colocar un campo adicional en la trama con un identificador de VLAN (etiquetado).
- Con el identificador de VLAN, otros conmutadores pueden conocer las VLANs de las tramas, sin tener que clasificarlas (asociación dinámica).

▪ Virtual Local Area Networks (VLANs).

- A las tramas IEEE 802 se les puede añadir un campo o etiqueta (tag) con información para encaminamiento de enlace. Hay distintos tipos de etiquetas.
- Ejemplo: trama IEEE 802.3 con una etiqueta para identificar la VLAN:

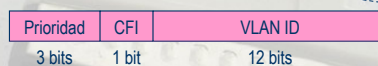


TPID: "Tag Protocol Identifier". Indica el tipo de Tag utilizado (0x8100 para 802.3).

TCI: "Tag Control Information". Información específica para encaminamiento de enlace.

Prioridad: Prioridad de los datos según la norma IEEE 802.1p (0 es la menor).  
Permite gestionar QoS en IEEE 802.3.

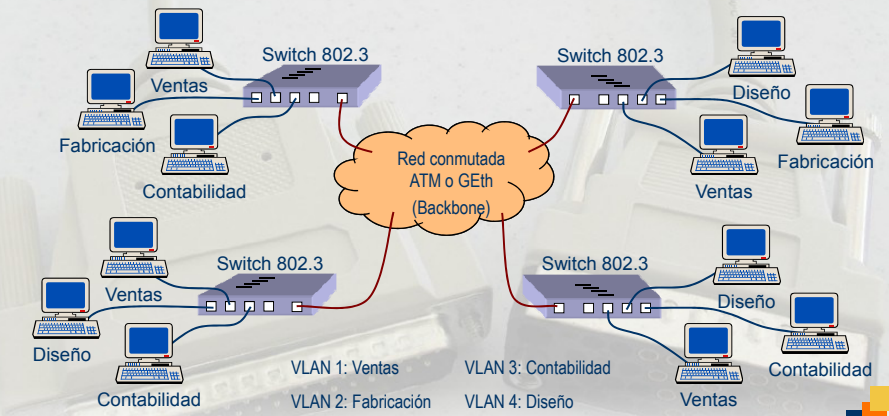
CFI: La trama utiliza direcciones MAC en formato canónico para enrutamiento de enlace.





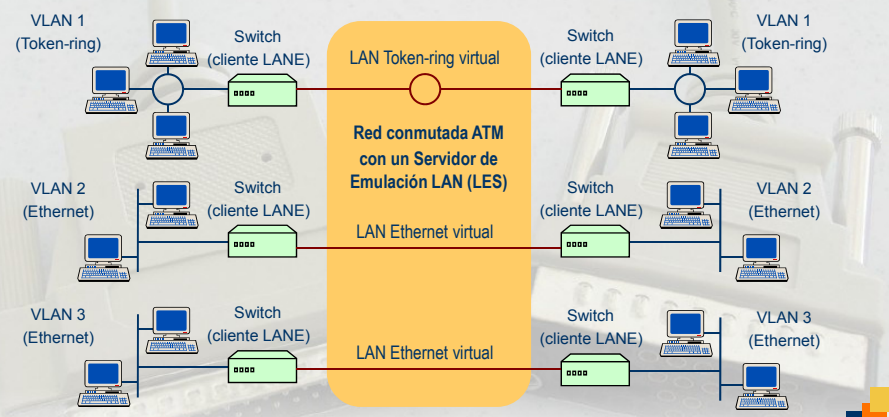
Virtual Local Area Networks (VLANs).

- Se pueden definir VLANs comunes en estructuras de interconexión con varios conmutadores:



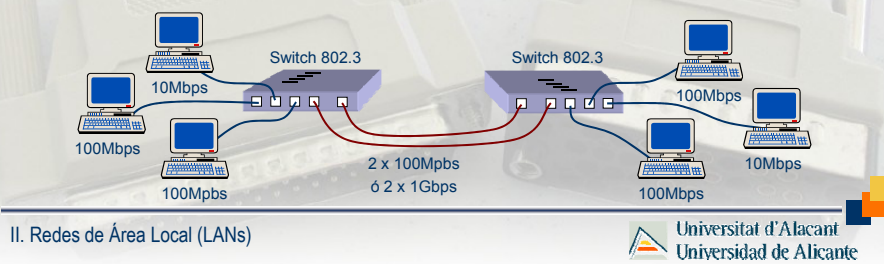
Virtual Local Area Networks (VLANs).

- Se pueden definir VLANs de distintas tecnologías sobre una red troncal que soporte emulación de LAN (LANE):



- Otras opciones de los conmutadores:

- Autonegociación: detección automática de la velocidad de transmisión según la codificación de nivel físico. Detección automática de cable directo o cable cruzado según impedancia.
- Trunking. Agrupación de puertos para una conexión directa, con mayor velocidad, entre conmutadores.
- VTP (VLAN Trunking Protocol): para el intercambio de información de encaminamiento de enlace entre conmutadores.



- Otras opciones de los conmutadores:

- IEEE 802.10. Autenticación y encriptación a nivel de enlace. Usada para intercambiar de forma segura la información de VLANs.
- Compatibilidad LANE (funcionamiento como cliente).
- Puerto de consola (RS-232) para configuración directa.
- Configuración remota por red: Telnet, SSH, HTTP... El conmutador puede requerir configuración IP.
- Sniffer o monitor de red sencillo. Se puede guardar la captura internamente para descargarla después, o hacer que se envíe por la red al equipo deseado.
- Cliente Syslog: se envía información de estado y diagnóstico a un servidor Syslog donde se almacena.