

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

Bloque III. Redes de Área Extensa (WANs)



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

III. Redes de Área Extensa (WANs)

2

- 10. Introducción.
- 11. Red Digital de Servicios Integrados (RDSI).
- 12. Redes Frame Relay.
- 13. Tecnología ATM.
- 14. Accesos de datos en redes de telefonía.
- 15. Redes de cable para transmisión de datos.
- 16. Comparación de las distintas tecnologías.

- Redes públicas de datos.
- Aplicación de las WAN.
- Técnicas de conmutación de datos.

- Redes públicas de datos.
 - Una WAN (Wide Area Network) es una red de datos que comunica DTEs situados en lugares muy distantes.
 - Habitualmente se comunica un par de equipos entre sí.
 - Se pueden considerar dos tipos de WAN:
 - Redes públicas. Lo habitual. Hay una red gestionada por una empresa a nivel regional o nacional, que alquila enlaces (parte del ancho de banda) a usuarios o a otras empresas de comunicaciones. Estudiaremos estas.
 - Redes privadas. Son casos muy particulares de empresas muy grandes.

- Redes públicas de datos.

- Hay dos formas de abordar el estudio de una WAN:

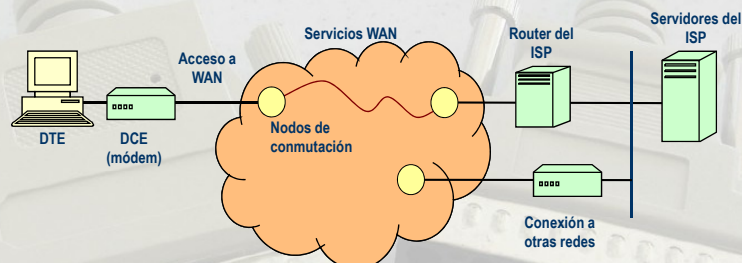
- Funcionamiento Interno...
 - Arquitectura sin topología concreta.
 - Niveles de trabajo: físico, enlace y red.
 - Normativa: principalmente normas de la ITU.
 - Utilización de una WAN.
 - Conexión a ISPs para acceso a Internet.
 - Conexión de equipos o redes remotas.

- En STD estudiamos las WANs desde la segunda perspectiva principalmente, aunque veamos las cosas más importantes de su funcionamiento.

- Aplicación de las WAN.

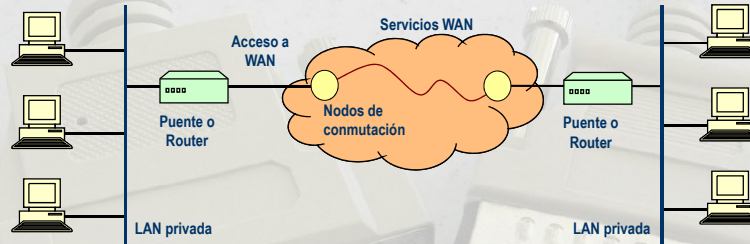
- Conexión a ISPs para acceso a Internet.

- Estudiamos las tecnologías de acceso que más se usan en la actualidad (módems telefónicos, RDSI, DSL, cable-módem...).



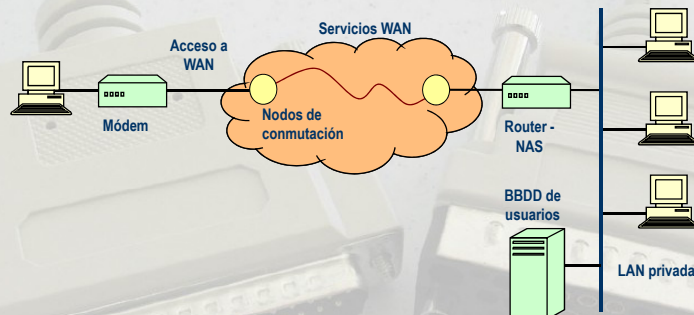
▪ Aplicación de las WAN.

- Conexión de equipos o redes remotas.
 - Se emplea principalmente tecnologías como RDSI, Frame Relay o ATM, además de las comentadas en el caso anterior.



▪ Aplicación de las WAN.

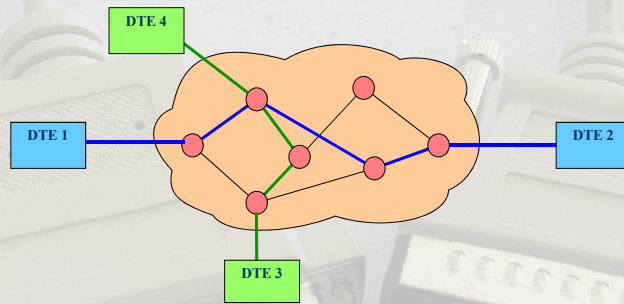
- Servicios VPN.
 - Los puede suministrar un ISP o la organización privada.
 - Se estudia con detalle en la práctica 2.



- Técnicas de conmutación de datos.
 - La forma de encaminar datos a través de una WAN y los servicios que las WAN prestan han evolucionado con el paso del tiempo.
 - El origen de las WAN son las redes de telefonía conmutada, que han evolucionado a redes de datos que manejan tanto señales PCM como datos asíncronos, ofreciendo distintos tipos de servicios.
 - Los servicios están muy relacionados con la forma de encaminar los datos.
 - Veremos tecnologías que ofrecen diferentes servicios.

- Técnicas de conmutación de datos.
 - Formas de encaminar los datos en una WAN:
 - Conmutación de circuitos analógicos.
 - Lo que había al inicio de las WAN. Adecuado para transmitir señales analógicas.
 - Tras una llamada se establece una conexión física entre dos equipos (teléfonos o módems analógicos).
 - La WAN solo proporciona un medio físico dedicado de calidad baja o media.
 - La WAN requiere reservar enlaces físicos entre los nodos de conmutación para poder establecer la conexión.

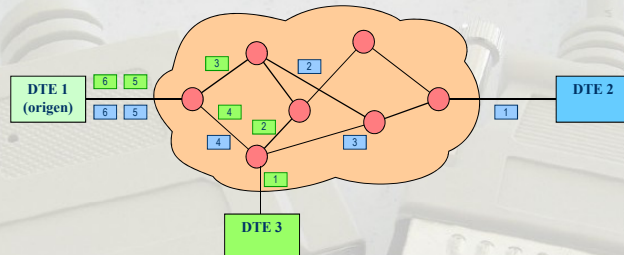
- Técnicas de conmutación de datos.
 - Formas de encaminar los datos en una WAN:
 - Conmutación de circuitos analógicos.



- Técnicas de conmutación de datos.
 - Formas de encaminar los datos en una WAN:
 - Conmutación de paquetes por datagramas.
 - WAN adaptada para enviar bloques de datos. Adecuado para transmitir datos asíncronos.
 - Los bloques de datos de una conexión no tienen que seguir el mismo camino en la red.
 - Cada bloque de datos lleva una dirección de origen y otra de destino. El mejor ejemplo son los datagramas IP.
 - La WAN proporciona un medio de comunicación con los niveles físico, de enlace y de red.

- Técnicas de conmutación de datos.

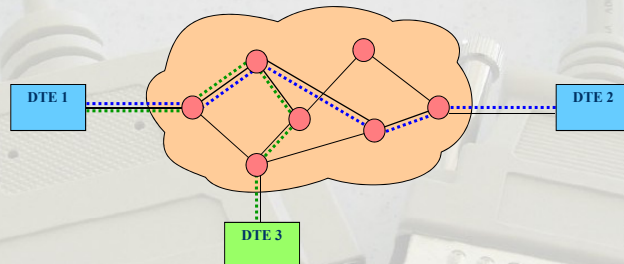
- Formas de encaminar los datos en una WAN:
 - Conmutación de paquetes con datagramas.



- Técnicas de conmutación de datos.

- Formas de encaminar los datos en una WAN:
 - Conmutación de paquetes con circuitos virtuales.
 - WAN de datos que soporta señales digitales. Adecuado para señales digitales y para datos asíncronos.
 - Los bloques de datos de una conexión siguen el mismo camino en la red (circuitos virtuales) de forma ordenada.
 - Cada bloque de datos lleva un identificador de circuito virtual.
 - La WAN proporciona un medio de comunicación habitualmente con los niveles físico y de enlace. También puede ser sólo a nivel físico (tipo TDM), o incluir además el de nivel red (aplicaciones RDSI).
 - El nivel físico se basa en TDM, SONET, SDH...
 - Lo más extendido actualmente. Las tecnologías modernas suelen trabajar con circuitos virtuales.

- Técnicas de conmutación de datos.
 - Formas de encaminar los datos en una WAN:
 - Conmutación de paquetes con circuitos virtuales.

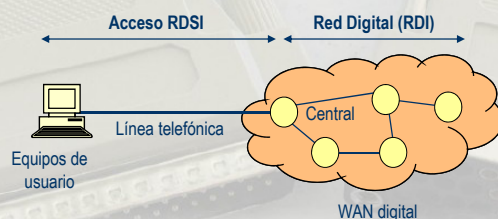


10. Introducción.
- 11. Red Digital de Servicios Integrados (RDSI).
12. Redes Frame Relay.
13. Tecnología ATM.
14. Accesos de datos en redes de telefonía.
15. Redes de cable para transmisión de datos.
16. Comparación de las distintas tecnologías.

- Aspectos generales.
- Interfaces y equipos RDSI.
- Nivel físico de la RDSI europea.
- Nivel de enlace.
- Nivel de red.
- Protocolos de usuario.

- Aspectos generales

- RDSI (ISDN): Red Digital de Servicios Integrados.
- Es la evolución del sistema telefónico analógico a uno digital, que además de voz permite transmitir datos.
- La red de telefonía (WAN) es digital, y RDSI es el último paso: acceso digital entre el equipo del usuario y la central.



- Aspectos generales

- RDSI está normalizada internacionalmente por el ITU, en varios documentos (series I, G y Q).
 - I.120. Guías iniciales.
 - I.439. Interfaces físicas.
 - I.430. Nivel físico.
 - I.440. Nivel de enlace.
 - I.450. Nivel de red.
- Hay dos versiones de RDSI que difieren a nivel físico:
 - RDSI de EE.UU. y Japón.
 - RDSI Europea (lo que veremos).
- RDSI está muy relacionada con los estándares de TDM.

- Aspectos generales

- RDSI es una tecnología madura: se extendió al principio de los 90.
- En muchos países, como España, ha sido desplazada por ADSL.
- En otros países ha evolucionado a RDSI de banda ancha.
- Interés actual de RDSI:
 - Accesos ya instalados.
 - Accesos nuevos para centralitas telefónicas digitales.
 - Tecnologías derivadas, como Frame Relay.
 - Accesos de banda ancha PRI.
 - Normas extendidas a otros ámbitos, como por ejemplo la V.110 para conexiones de datos sobre GSM.

- Aspectos generales

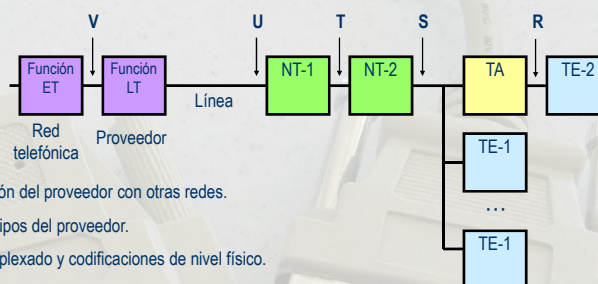
- Servicios de RDSI:
 - Servicio de voz con canales digitales de 64Kbps.
 - Servicio de transmisión de datos por circuitos virtuales o por paquetes.
 - Otros servicios: Fax y video conferencia.
 - Posibilidad de conectar varios dispositivos independientes a la misma línea.
- Tipos de canales de RDSI:
 - B: canal básico de datos de **usuario** de 64Kbps.
 - D: canal de información de **control** de 16Kbps o 64Kbps.
 - H: agrupación de canales B. Por ejemplo:
 - H11 = 24 B (1536Kbps). Usado en EE.UU.
 - H12 = 30 B (1920Kbps). Usado en Europa.
 - RDSI Banda ancha: H21 (32Mbps), H22 (45Mbps), H4 (132-240Mbps)...

▪ Aspectos generales

- Modos de acceso (según el contrato):
 - BRI (Basic Rate Interface) o Acceso Básico.
 - 2 canales B más 1 canal D de 16Kbps.
 - Se pueden usar los dos canales B a la vez: 128Kbps.
 - Se usa el cable telefónico de dos hilos.
 - Para uso personal o pequeñas y medianas empresas.
 - Se pueden contratar varios BRI.
 - PRI (Primary Rate Interface) o Acceso Primario.
 - 30 canales B más 1 canal D de 64Kbps.
 - Se requiere instalar un cableado mejor.
 - Para grandes empresas.
 - Equivale a un acceso E1 de TDM europea.

▪ Interfaces y equipos RDSI

- Definición de los equipos y las interconexiones conforme al siguiente esquema:



ET: Exchange Termination. Conexión del proveedor con otras redes.

LT: Line Termination. Central y equipos del proveedor.

NT-1: Network Termination 1. Multiplexado y codificaciones de nivel físico.

NT-2: Network Termination 2. Control de enlace y gestión del bus S.

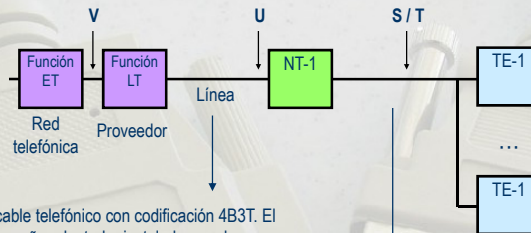
TE-1: Terminal Equipment 1. Equipo de usuario compatible RDSI.

TA: Terminal Adaptor: Proporciona otro interfaz para equipos no RDSI.

TE-2: Terminal Equipment 2. Equipo no RDSI.

▪ Interfaces y equipos RDSI

- Implementación práctica: los equipos TE-1 y NT-1 incluyen internamente las funciones del NT-2, y se unifican los interfaces S y T como uno solo.



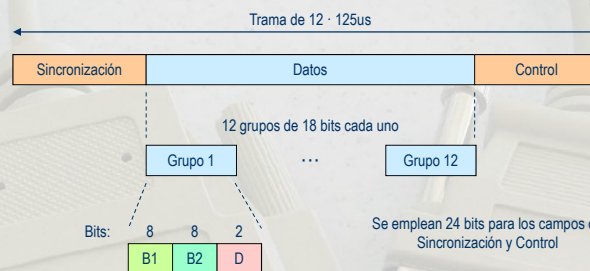
BRI: Usa un cable telefónico con codificación 4B3T. El NT-1 es un pequeño adaptador instalado por el proveedor.

PRI: Usa un cable de calidad (fibra óptica, coaxial o trenzado) con codificación TDM. El NT-1 es una PBX (Private Branch Exchange)

Cable con señales de transmisión, recepción y alimentación separadas, y conector RJ-45

▪ Nivel físico

- Acceso BRI sobre el cable telefónico de dos hilos.
- 1) Se agrupan los bits de los canales en tramas como esta:



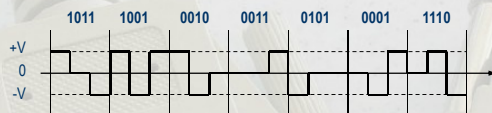
$$V_t = \frac{12(8 + 8 + 2) + 24}{12 \cdot 125 \mu s} = 160 Kbps$$

▪ Nivel físico

- Acceso BRI sobre el cable telefónico de dos hilos.

2) Se codifican los bits de la trama con 4B3T usando una tabla, para enviarlos en banda base por la línea telefónica:

f (grupo de 4 bits, estado) → (código de 3 pulsos, nuevo estado)



Ventajas de 4B3T:

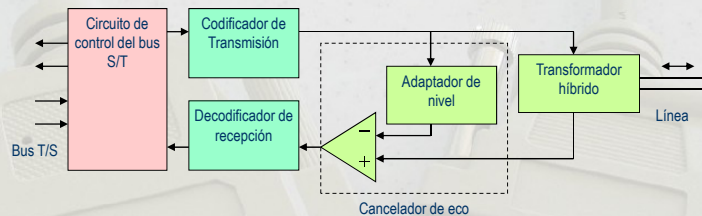
- Nivel de continua nulo.
- Reduce diafonía.
- Se separa mejor la señal emitida de la recibida.

$$Vm = \frac{3}{4} Vt = \frac{3}{4} 160Kbps = 120Kbaudios$$

▪ Nivel físico

- Acceso BRI sobre el cable telefónico de dos hilos.

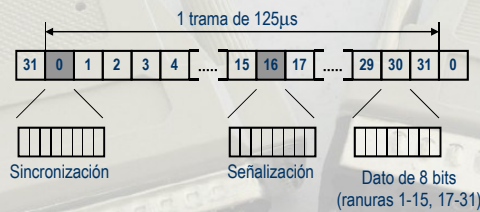
3) Se usa un circuito cancelador de eco en el NT-1 para poder enviar y recibir datos por la misma línea en modo duplex:



- Nivel físico

- Acceso PRI con TDM.

- Los 30 canales B se multiplexan en una trama E1 de TDM Europea (32 bytes con $V_t=2,048$ Mbps).
 - De los 2 bytes de control de la trama E1, parte se usa para el canal D de control de 64Kbps del BRI, y otra parte para control a nivel físico de la trama.



- Nivel de enlace

- Funciones principales (según modelo OSI):

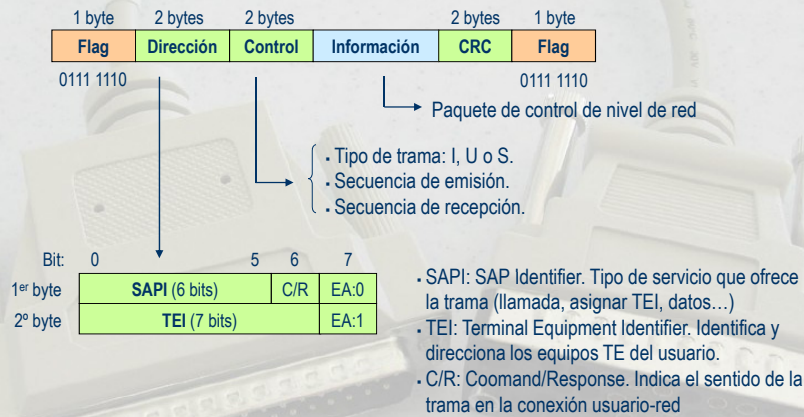
- Transmisión sin errores. Detección de errores y recuperación de tramas.
 - Control de flujo con ventana deslizante.
 - Control de las conexiones y desconexiones que solicita el nivel de red.
 - Establecimiento y liberación de circuitos virtuales entre usuario y central.
 - Direccionamiento de los equipos de usuario.

- Se utiliza LAP-D (Link Access Protocol for D channel).

- Aplicación de HDLC en modo asíncrono balanceado extendido (ABME).
 - Las tramas de LAP-D se envían por el canal D, y los datos de usuario por los canales B. LAP-D transporta no transporta datos de usuario.

- Nivel de enlace

- Trama de LAP-D:



- Nivel de red

- Funciones principales (según modelo OSI):

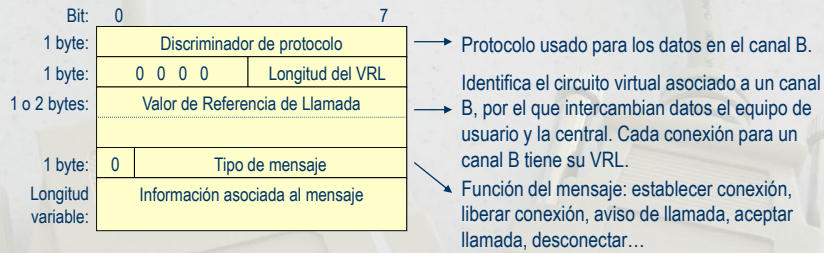
- Establecer una conexión (circuito virtual) con un equipo destino identificado por un N° de teléfono y asociarla a un canal B.
 - Identificar los circuitos virtuales de los bloques de datos en los canales B.
 - Liberar las conexiones.
 - Avisar al destino de que recibe una llamada.
 - Aceptar o rechazar una llamada.
 - Suministrar información del otro equipo de la conexión.

- Usa un formato de paquete sin datos:

- Se envía en el campo de Información de LAP-D.
 - Los datos de usuario van por un canal B.

▪ Nivel de red

▪ Paquetes de nivel de red:

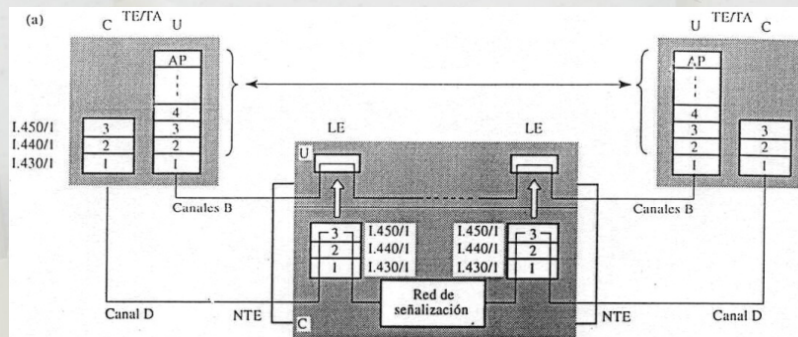


▪ Protocolos de usuario

a) Conmutación de circuitos para enviar señales digitales.

Protocolos de usuario desde el nivel de enlace.

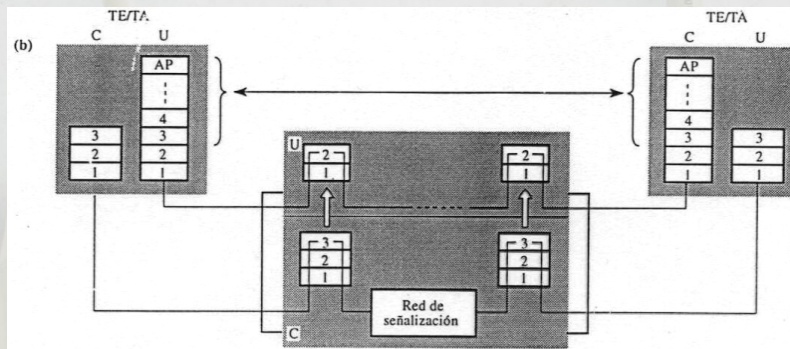
RDSI pone el nivel físico.



▪ **Protocolos de usuario**

b) Retransmisión de tramas con circuitos virtuales de enlace.

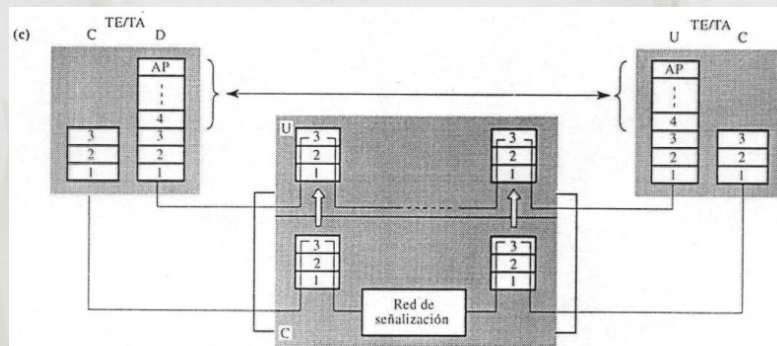
Protocolos de usuario desde el nivel de red.
RDSI pone los niveles físico y de enlace.



▪ **Protocolos de usuario**

c) Conmutación de paquetes con datos en paquetes de red (como IP).

Protocolos de usuario desde el nivel de transporte.
RDSI pone los niveles físico, de enlace y de red.



10. Introducción.
11. Red Digital de Servicios Integrados (RDSI).
- 12. Redes Frame Relay.
13. Tecnología ATM.
14. Otros métodos de acceso a redes públicas.
15. Redes de cable para transmisión de datos.
16. Comparación de las distintas tecnologías.

- Aspectos generales.
- Formato de las tramas.
- Gestión de circuitos virtuales.
- Control de admisión.
- Control de congestión.
- IP sobre Frame Relay.

- Aspectos generales

- Frame Relay: Retransmisión de tramas.
- Define solo un nivel de enlace muy simple, cuyas funciones se alejan un poco del modelo OSI.
- Basado en conmutación de circuitos virtuales
- Transmisión a media/alta velocidad.
- Supone que los medios físicos son de calidad:
 - Muy pocos errores en los datos.
 - Protocolos sencillos.
 - Equipos sencillos y más baratos.
 - Los protocolos ofrecen mejor rendimiento.
 - Las aplicaciones pueden enviar a mayor velocidad.

- Aspectos generales

- Características:
 - Nivel de enlace derivado del LAP-D de RDSI.
 - No define nivel físico. Se usa uno como TDM-E1.
 - El nivel de enlace es muy simple:
 - Básicamente empaqueta tramas y detecta errores.
 - No tiene numeración, ni reconocimientos.
 - No recupera tramas erróneas.
 - Las funciones anteriores deben realizarla los protocolos de usuario si son deseables.
 - Se basa en circuitos virtuales a nivel de enlace.
 - Normalmente se contratan C.V. permanentes (PVC).

- Aspectos generales

- Normativa:

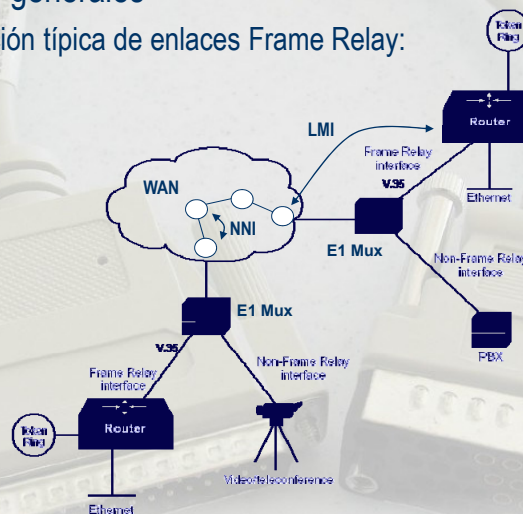
- Derivada de las normas RDSI de la ITU.
 - Forum Frame Relay: constituido por varias empresas de comunicaciones.
 - Se definen dos tipos de interfaz:
 - LMI (Local Management Interfaz): Como se comunica el usuario con un nodo de la red.
 - NNI (Network Network Interfaz): Como se comunican los nodos de la red entre si.

- Aplicaciones:

- Permite enviar datos a varios Mbps, y tráfico de señales digitales.
 - Uso principal: interconectar LANs remotas a través de una WAN.
 - A nivel de enlace, con puentes transparentes remotos.
 - A nivel de red, con routers.

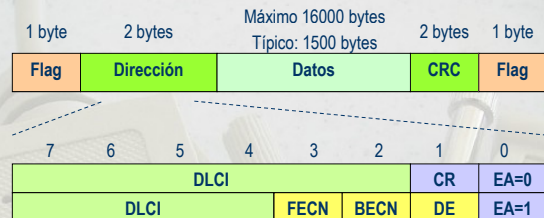
- Aspectos generales

- Utilización típica de enlaces Frame Relay:



- Formato de la trama:

- Tramas de tamaño variable basadas en LAP-D.

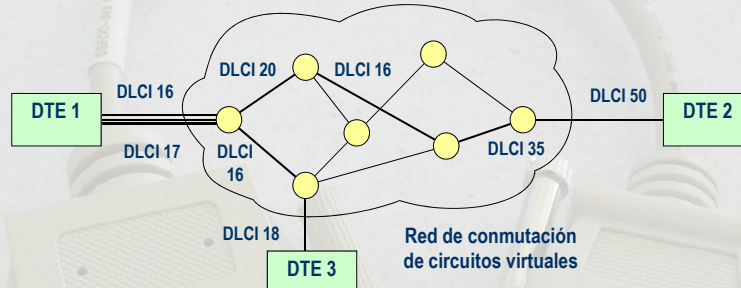


- DLCI (Data Link Connection Identifier)
 - EA: Extended Address.
 - CR: Comando/Respuesta (como RDSI).
 - BECN, FECN: Para control de flujo y congestión.
 - DE: Discard Eligibility. Para control de admisión
- } Gestionan el control de flujo, en lugar de usar ventana deslizante u otros algoritmos.

- Gestión de circuitos virtuales.

- Un DLCI (Data Link Connection Identifier) indica el número de circuito virtual en un enlace entre dos nodos de la red o entre un nodo de la red y el usuario.
- En un mismo enlace físico hay varios circuitos virtuales, cada uno con su DLCI.
- Los nodos de la red enrutan las tramas según sus tablas y los DLCIs (encaminamiento de nivel de enlace).
- Un DLCI tiene 10 bits $\rightarrow 2^{10} = 1024$ circuitos virtuales por nodo.
- Con PVC, los DLCIs se establecen en el contrato.

▪ Gestión de circuitos virtuales.



DLCI	USO
0	Establecimiento de C.V. y control (señalización)
1 a 15	Reservados
16 a 1007	Circuitos de usuario
1008 a 1023	Reservados

▪ Control de admisión.

- Técnica implementada en el LMI.
- Regula el tráfico que el usuario puede enviar a la red.
- Utiliza varios parámetros:

CIR (Comitted Information Rate), $CIR = Bc/Tc$:

Velocidad de transmisión media a la que el usuario envía datos a la red.

La red puede eliminar tramas para evitar congestión si la velocidad de transmisión es mayor que el CIR.

Bc (Comitted Burst Size):

Número de bits de datos que la red asegura aceptar en un periodo Tc .

Tc (Comitted time):

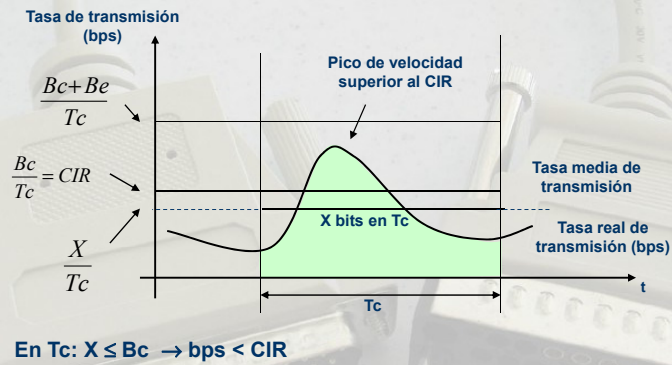
Tiempo en el que se evalúa la información de usuario. Normalmente 1s.

Be (Exceeded Burst size):

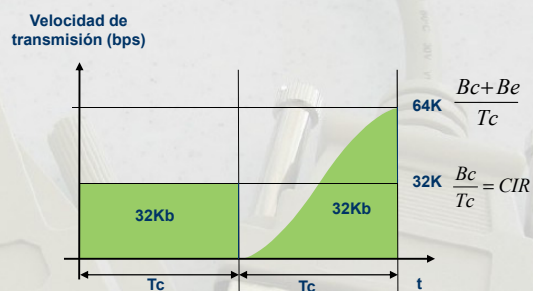
Número de bits de datos que el usuario puede sobrepasar Bc en un tiempo Tc .

No se asegura su envío por la red si esta congestionada.

- Control de admisión.
 - Transmisión a una velocidad que no supera el CIR

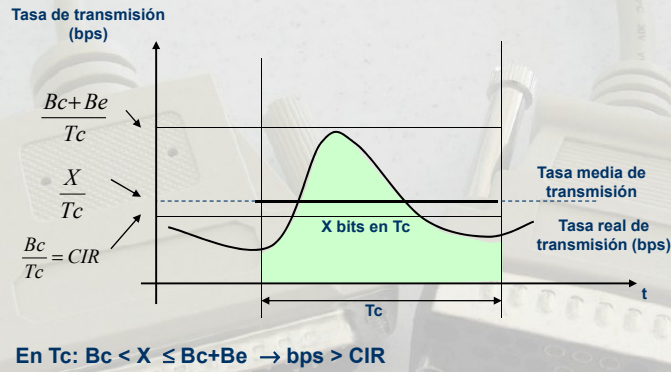


- Control de admisión.
 - Ejemplo de un acceso con:
 - $Bc = 32\text{Kb}$.
 - $Tc = 1\text{s}$.
 - $Be = 32\text{Kb}$.
 - $\text{CIR} = 32\text{Kbps}$.

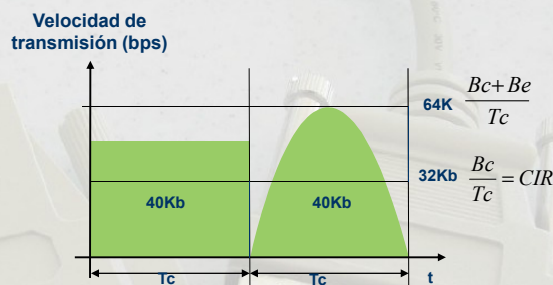


La red encaminará las tramas que envía el usuario.

- Control de admisión.
 - Transmisión a una velocidad que sí supera el CIR



- Control de admisión.
 - Ejemplo de un acceso con:
 - $Bc = 32Kb$.
 - $Tc = 1s$.
 - $Be = 32Kb$.
 - $CIR = 32Kbps$.

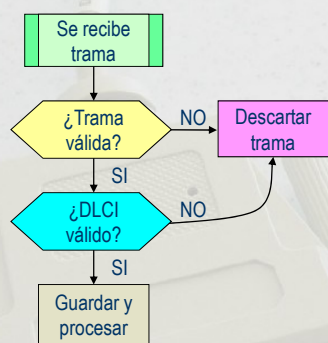


La red no asegura que pueda transmitir todas las tramas que envía el usuario.

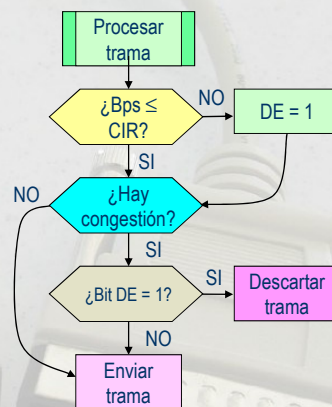
▪ Control de admisión.

- Aquellas tramas que lleven el bit DE a 1 pueden ser eliminadas por la red si hace falta.
- El usuario asigna inicialmente el valor 0 al bit DE.
- El bit DE toma el valor 1 si un nodo de la red detecta que el tráfico generado por el usuario supera el CIR.
- Si un nodo tiene un enlace de salida congestionado, puede eliminar las tramas dirigidas a ese enlace que tienen el bit DE a 1.

▪ Control de admisión.



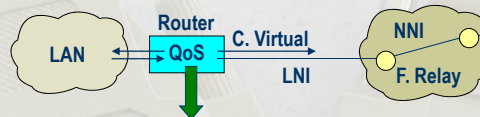
Usuario → Primer nodo de la red



Nodo de la red → Nodo de la red

▪ **Control de admisión.**

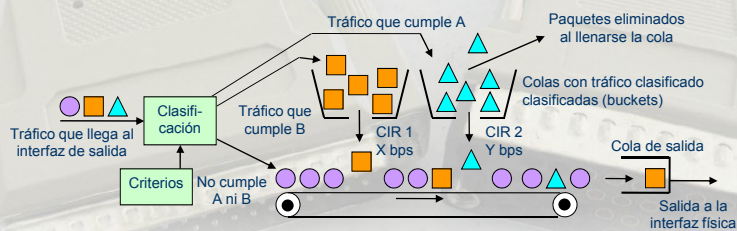
- Cuando se utiliza Frame-Relay hay que procurar que el tráfico importante no supere el CIR. Este control se llama “Control de Calidad de Servicio” (QoS).
 - Los routers tienen funciones para controlar el QoS y gestionar los anchos de banda.



- El router clasifica el tráfico y controla que se supere o no el CIR según interesse.
- La importancia de los datos se puede determinar según diferentes características: direcciones, protocolos, aplicaciones, campos específicos para QoS en los protocolos (QoS signaling)...

▪ **Control de admisión.**

- Para no superar el CIR hay dos técnicas:
 - Encolar los paquetes de baja importancia: “Traffic Shaping”.
 - Eliminar paquetes de baja importancia: “Policing Shaping”.
- También se puede aplicar a interfaces que no son Frame Relay para limitar el ancho de banda de un determinado tráfico.
- Permite evitar la congestión en los interfaces.
- Se suele usar un algoritmo basado en el “leaky bucket”:

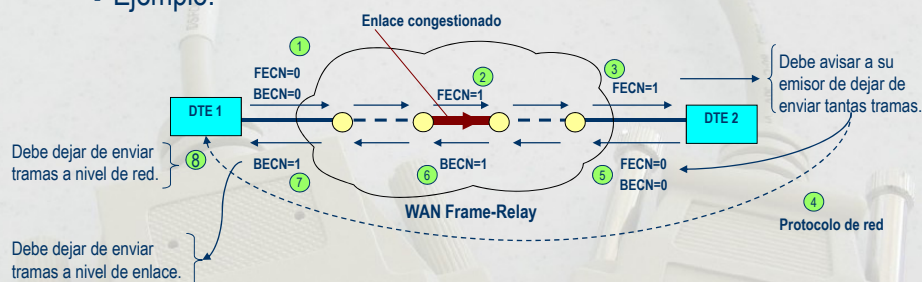


- Control de congestión.

- No hay control de flujo usuario-red, pero la red requiere de un método para protegerse en caso de congestión.
 - Se utilizan los bits BECN (Back Explicit Congestion Notification) y FECN (Forward Explicit Congestion Notification).
- Hay dos tipos de control:
 - Control implícito: Un usuario que nota que la red va mal debe reducir el número de tramas que envía.
 - Control explícito:
 - Hacia delante: Un receptor que recibe tramas con el bit FECN activado debe decirle a su emisor que no envíe tramas con los protocolos superiores.
 - Hacia atrás: Un emisor que recibe tramas con el bit BECN activado debe dejar de enviar tramas.

- Control de congestión.

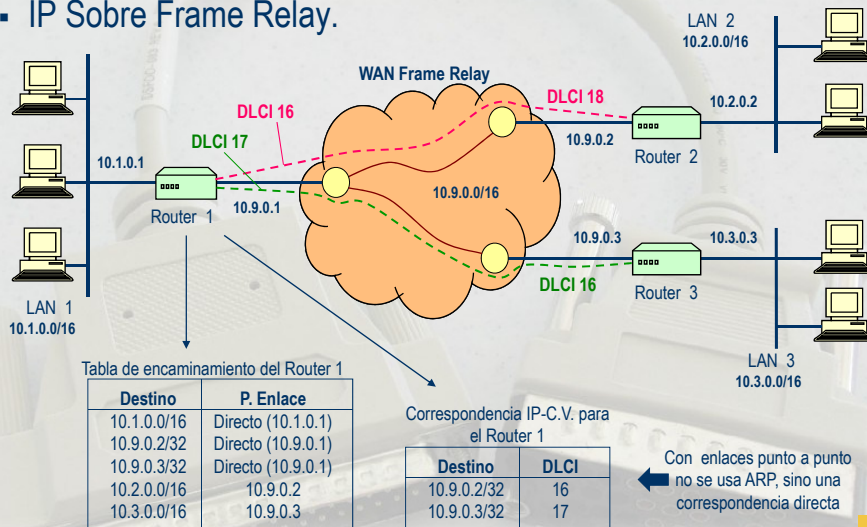
- Ejemplo:



▪ IP Sobre Frame Relay.

- FR ofrece una conexión WAN entre dos extremos, y no es un medio de difusión tipo LAN.
- Por eso, no se puede usar ARP, y en principio IP no podría funcionar sobre FR.
- Solución: realizar una correspondencia entre direcciones IP destino, y los DLCI de los circuitos virtuales que encaminan a esos destinos.
- La correspondencia se configura manualmente en los routers interconectados por FR mediante sus comandos, y se mantiene en una tabla paralela a la de ARP.

▪ IP Sobre Frame Relay.



10. Introducción.
11. Red Digital de Servicios Integrados (RDSI).
12. Redes Frame Relay.
- 13. Tecnología ATM.
14. Otros métodos de acceso a redes públicas.
15. Redes de cable para transmisión de datos.
16. Comparación de las distintas tecnologías.

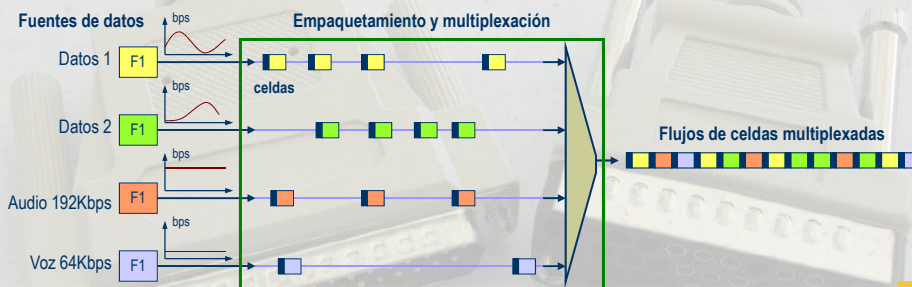
- Redes multimedia.
- Características de ATM.
- Estructura de la red.
- Niveles y servicios de ATM.
- Gestión de los circuitos virtuales.
- Formato de las celdas.
- IP sobre redes ATM.

- Redes multimedia.

- Deben soportar dos tipos de datos:
 - Datos asíncronos (tasa de bits variable).
 - Señales digitales o datos síncronos (flujo de datos continuo).
- Hay dos formas de que una red soporte los dos tipos:
 - Separar las fuentes y los flujos de información de cada tipo, y emplear los protocolos adecuados a cada caso:
 - Datos. Tramas de longitud variable. Datagramas o circuitos virtuales a nivel de enlace o red.
 - Señales. Tramas de tamaño fijo, multiplexadas por división de tiempo. Canales de nivel físico o circuitos virtuales a nivel de enlace.
 - Sistema de transmisión independiente del tipo de información:
 - Multiplexación y conmutación de celdas.

- Redes multimedia.

- Multiplexación y conmutación de celdas:
 - Los datos de cada fuente, sea del tipo que sea, se empaquetan en pequeñas tramas de tamaño fijo llamadas celdas.
 - Las flujos de las celdas de distintas fuentes se combinan mediante multiplexación por división de tiempo estadística.



- **Redes multimedia.**

- **Multiplexación y conmutación de celdas:**

- Con la multiplexación estadística no se fijan unas ranuras de tiempo concretas para los canales, como en TDM, SONET o SDH.
 - Usando celdas pequeñas de tamaño fijo se simplifica la gestión de la red y se mejora su rendimiento.
 - Los flujos de celdas se envían por circuitos virtuales en una red de conmutadores.

- A la multiplexación estadística de celdas se la denomina Asynchronous Transfer Mode (ATM).

- **Características de ATM.**

- ATM surgió en el ámbito de las telecomunicaciones, como base para las redes RDSI-RDI de banda ancha.
 - Esta tecnología está regulada principalmente por el ITU y el ATM Forum.
 - Las primeras normas surgen a principios de los 90.
 - Actualmente Gigabit Ethernet, junto con las tecnologías MPEG y VoIP, está ganando terreno a ATM en las LANs y los accesos WAN.
 - Los protocolos de ATM son simples: están diseñados para obtener un buen rendimiento sobre medios físicos de calidad.

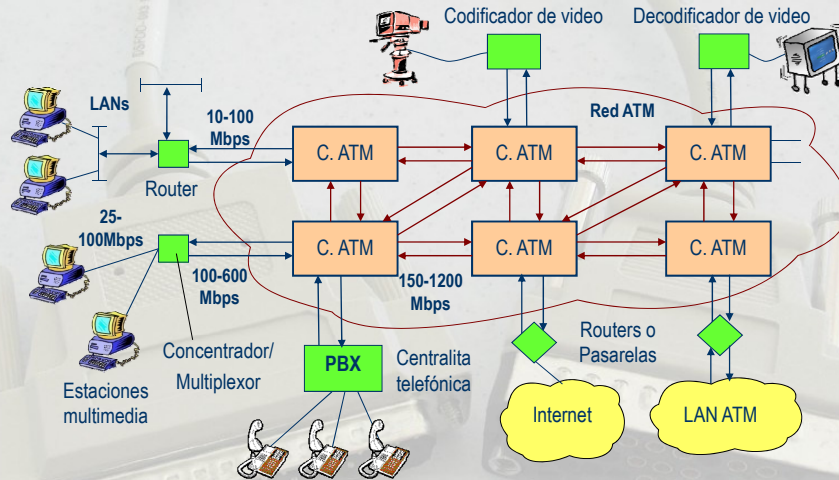
- **Características de ATM.**

- Los niveles de la arquitectura ATM no se corresponden con los niveles del modelo de arquitectura OSI.
- Los protocolos de tecnologías convencionales (IP, RDSI, LAN...) pueden usar ATM como tecnología de transmisión de datos multimedia de nivel inferior.
- No se especifica un nivel físico, y utilizan los de otras tecnologías:
 - TDM, SDH o SONET (lo original).
 - Nivel físico de FDDI.
 - Tecnologías DSL como ADSL.

- **Estructura de la red.**

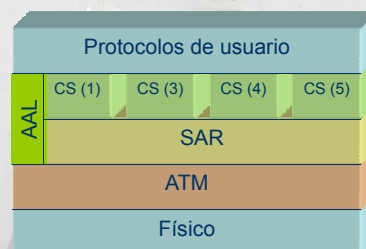
- Topología en malla formada por enlaces entre pares de conmutadores.
- Un conmutador se conecta a:
 - Otros conmutadores.
 - Los equipos de usuarios.
 - Multiplexores y demultiplexores de canales.
- La red conecta pares de aplicaciones de usuario mediante circuitos virtuales.
- No hay un medio compartido: los circuitos virtuales proporcionan enlaces de comunicación dedicados.

▪ Estructura de la red.



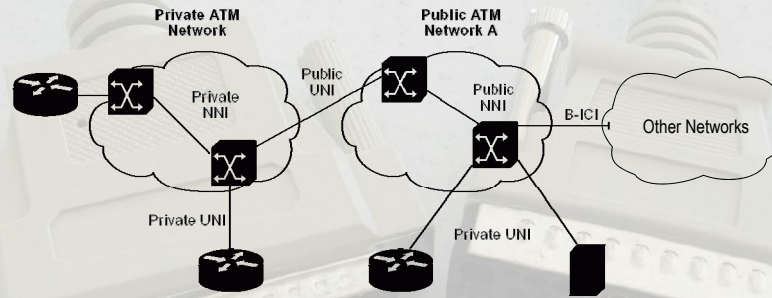
▪ Niveles y servicios de ATM.

- ATM define dos niveles:
 - ATM: Creación y conmutación de celdas por circuitos virtuales.
 - AAL (ATM Adaptation Layer): Ofrece distintos servicios a los protocolos de usuario. Se divide en:
 - CS (Convergence Sublayer): Diferentes servicios.
 - SAR: Segmentation, Assembly and Reassembly. Separa o junta los bytes datos en las celdas.



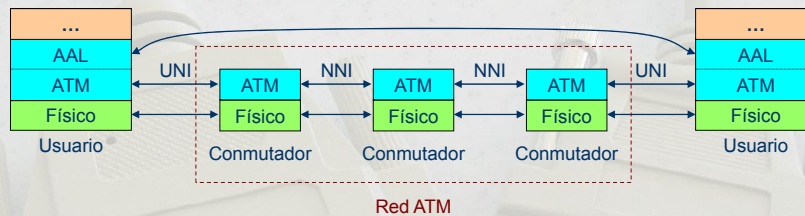
▪ Niveles y servicios de ATM.

- Se definen dos tipos de interfaz entre equipos:
 - UNI: User–Network Interface. Conexión usuario – conmutador.
 - NNI: Network–Network Interface. Conexión entre conmutadores.



▪ Niveles y servicios de ATM.

- Los conmutadores solo trabajan con el nivel ATM.
- El nivel AAL comunica el par de equipos de usuario.



- Niveles y servicios de ATM.

- Servicios que ofrece el nivel AAL:

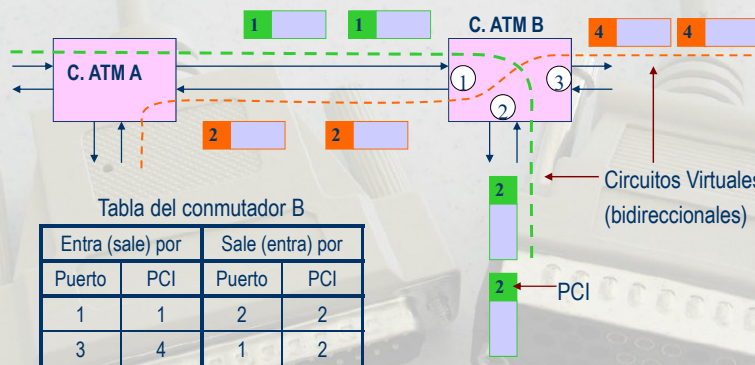
- AAL 1. Tasa de bits constante entre AAL y el usuario. Temporización origen-destino. Detecta errores y pérdidas en las celdas. Ordena las celdas con número de secuencia. (señales digitales de voz y vídeo)
 - AAL 2. Transmisión de señales con tasa de bits variable. Es una especificación incompleta que no define protocolos para CS.
 - AAL 3/4. Servicio de datos de tasa de bits variable, sin temporización origen-destino:
 - AAL 3: modo flujo. Con conexión. (RDSI)
 - AAL 4: modo mensaje. Siempre conectado. Con recuperación de celdas. (LANs).
 - AAL 5. Servicio de datos básico. Más ligero que AAL 3/4. Adecuado para protocolos que no requieren un nivel inferior fiable. (IP, Frame-Relay).

- Gestión de los circuitos virtuales.

- Cada circuito virtual representa un flujo de celdas bidireccional entre dos equipos de usuario.
 - Hay dos clases de circuitos virtuales:
 - Con conexión y desconexión, según lo requieran los equipos de usuario. La red dispone de un equipo llamado SCP (Signalling Control Point) que atiende las peticiones de conexión por unos circuitos virtuales preestablecidos.
 - Permanentes (PVC). Garantizan la conexión continua entre un par de equipos de usuario.
 - Todas las celdas de un mismo circuito virtual llevan el mismo identificador (PCI: Protocol Connection Identifier) al pasar por el mismo enlace.

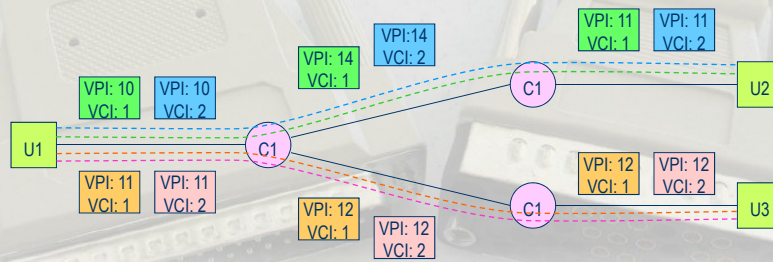
▪ Gestión de los circuitos virtuales.

- Cada conmutador dispone de una tabla que asocia puertos con identificadores de circuitos virtuales.

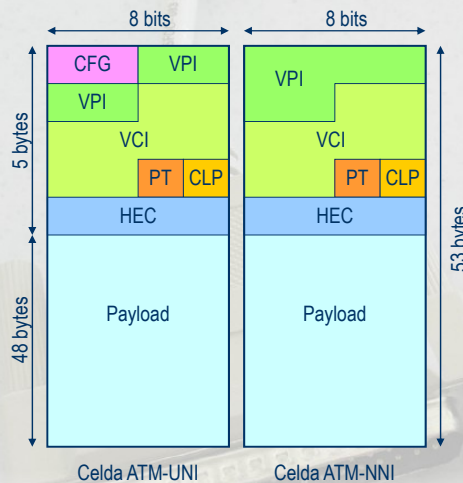


▪ Gestión de los circuitos virtuales.

- El PCI se desglosa en dos campos:
 - VPI: Virtual Path Identifier.
 - VCI: Virtual Channel Identifier.
- Para un conjunto de circuitos virtuales del mismo origen y destino se mantiene el mismo VPI en un enlace, y se modifica el VCI.



Formato de las celdas.



GFC: Generic Flow Control. Para control de flujo usuario-red y establecimiento de conexiones.

VPI: Virtual Path Identifier.

VCI: Virtual Channel Identifier.

PT: Payload Type. Indica el tipo de la información en el campo Payload. Usado para control de QoS.

CLP: Congestion Loss Priority. Similar al bit DE de Frame Relay: indica las tramas que se pueden eliminar si hay congestión en la red.

HEC: Header Error Control. Detección y corrección de errores en la cabecera mediante un código Hamming-BCH de distancia 4.

Payload: Datos de los protocolos de usuario.

Formato de las celdas.

¿Por qué 53 bytes?

- Ventajas de un tamaño de celda pequeño y fijo:
 - Compatible con redes de voz digital (SDH, TDM, DQDB...)
 - En caso de querer retransmitir una trama errónea, se requiere reenviar menos datos.
 - Las celdas se procesan muy rápido.
 - Resulta fácil estimar el tamaño de los buffers de memoria.
- Europa solicitaba 32 bytes de datos, y EE.UU. optaba por utilizar 64 bytes. Al final se decidió usar la media: 48 bytes de datos, más la cabecera de 5 bytes.

- Las celdas son usadas por el nivel ATM; los niveles SAR y CS definen formatos propios de PDUs más completos.

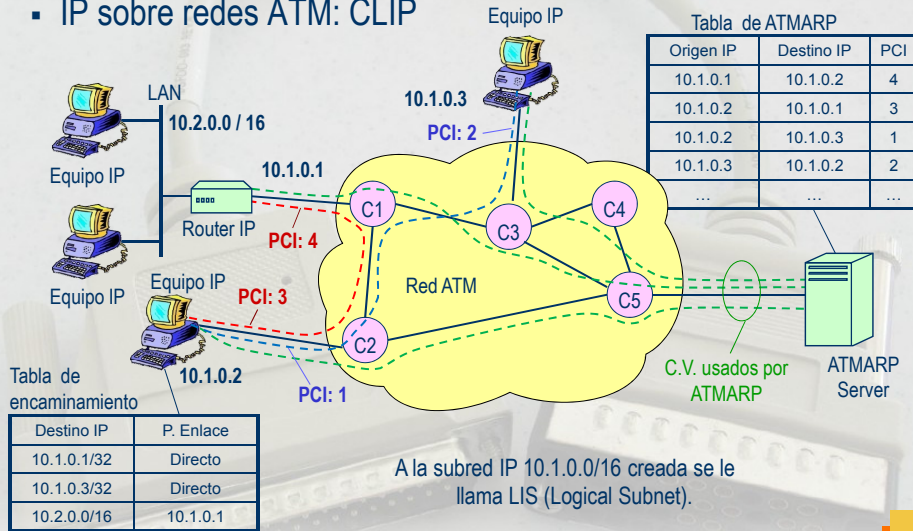
- Formato de las celdas.

- Para el control de errores se definen dos estados de funcionamiento:
 - Presincronización. Estado temporal.
 - Un equipo espera a recibir Δ celdas con el campo HEC válido (sin errores), y pasa a "Sincronizado".
 - Sincronizado. Estado normal de funcionamiento.
 - Un equipo permanece en este modo si recibe cabeceras con el campo HEC válido, o con errores que se pueden corregir.
 - Si se recibe una ráfaga de más de α celdas con errores no corregibles se pasa a "Presincronización".
- Δ y α se ajustan según la calidad del medio físico.

- IP sobre redes ATM.

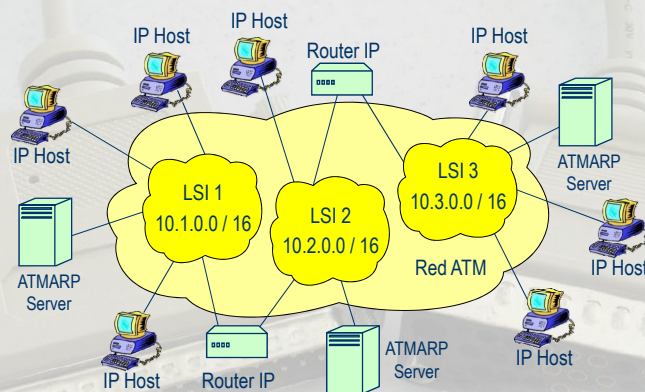
- Problema: ATM usa circuitos virtuales (no es de difusión) y no funciona el protocolo ARP original.
- Existen diversos métodos para conectar equipos o LANs con el protocolo IP a través de una red ATM:
 - CLIP (Classical IP over ATM), LANE (LAN Emulation), MPOA (Multiprotocol Over ATM), IP Multicast, PPP over ATM...
- Solución CLIP:
 - Definida en la RFC 2225: Classical IP and ARP over ATM.
 - Se establece un PVC entre cada par de equipos que usan IP.
 - Un equipo especial en la red ATM actúa como "servidor ATMARP", y tiene la correspondencia entre direcciones IP y circuitos virtuales.
 - En los equipos con IP, se usa ATMARP en vez de ARP.
 - ATMARP pregunta al servidor el C.V. que debe usar para cada IP destino.

▪ IP sobre redes ATM: CLIP



▪ IP sobre redes ATM: CLIP

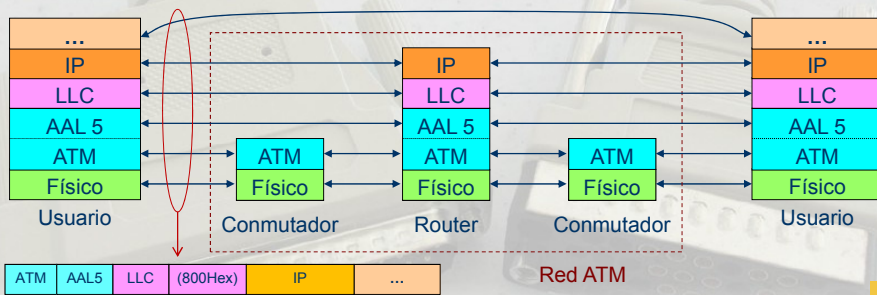
- Configurando otros servidores ATMARP se pueden tener otras LIS.
- Las LIS se pueden interconectar con routers.



▪ IP sobre redes ATM.

▪ RFC 2684: Multiprotocol Encapsulation over AAL 5

- Se usa LLC 802.2 para transportar IP sobre ATM, de forma que IP vea un nivel de enlace de LAN por debajo (encapsulación LLC/SNAP).
- LLC proporciona a IP el campo de "tipo" de Ethernet que sirve para diferenciar protocolos como ARP (tipo 806Hex) e IP (tipo 800Hex).

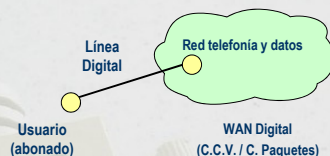


10. Introducción.
11. Red Digital de Servicios Integrados (RDSI).
12. Redes Frame Relay.
13. Tecnología ATM.
- ➔ 14. Accesos de datos en redes de telefonía.
15. Redes de cable para transmisión de datos.
16. Comparación de las distintas tecnologías.

- ADSL
- ADSL2 y VDSL
- FTTH
- Redes GPRS, UMTS y 3,5G.

- DSL.

- Digital Subscriber Line (línea de abonado digital).



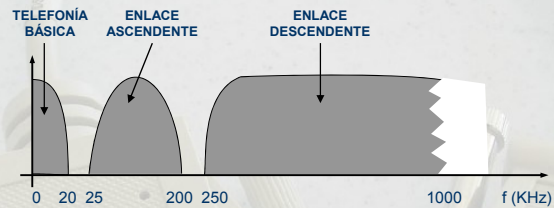
- Puede funcionar sobre los cables ya instalados.
- Un cable telefónico puede llegar a transmitir un espectro de más de 1MHz, y para las conexiones analógicas solo se usa en el espectro de la voz (4KHz).
- La primera implantación con éxito fue ADSL (Asymmetric DSL), aunque ya existen más variantes.

- ADSL.

- Asimétrico: mayor capacidad en el sentido de la red al usuario que del usuario a la red.
- Tecnología base: los datos se modulan como una señal analógica mediante:
 - FDM (Multiplexación por División en Frecuencia).
 - DMT (MultiTono Discreto).
- Proporciona solamente un nivel físico.
- Permite enviar simultáneamente por el cable telefónico convencional dos señales:
 - Datos digitales modulados.
 - Señal de voz analógica (RDSI lo envía todo como datos).
- Normativa: ANSI/ETSI T1.413 (1998) e ITU-T G.992.1/2.

- FDM.

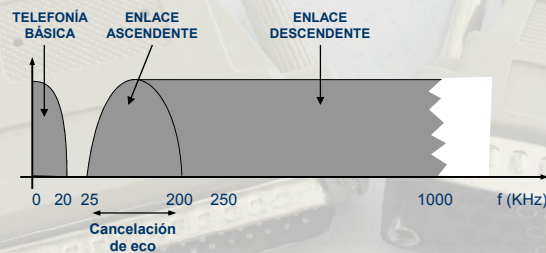
- El ancho de banda del cable se divide con FDM:



- Las frecuencias inferiores se utilizan para el canal de la señal de voz analógica ya existente.
 - En medio está el espectro dedicado al enlace ascendente (upstream) o del usuario a la red.
 - En las frecuencias superiores está el enlace descendente (downstream) o desde la red al usuario.
 - Es incompatible con RDSI debido al solapamiento de frecuencias.

- FDM.

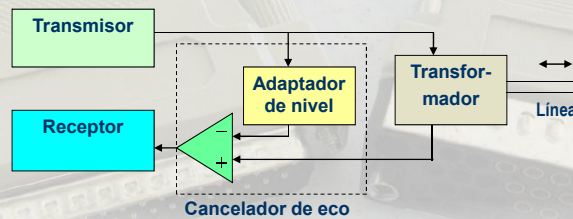
- Con la "cancelación de eco" se logran mejoras:
 - Permite solapar el enlace ascendente y el descendente.
 - El descendente está en frecuencias más bajas.
 - A frecuencias menores, la atenuación es menor.
 - Aumenta la capacidad del enlace descendente.



- FDM.

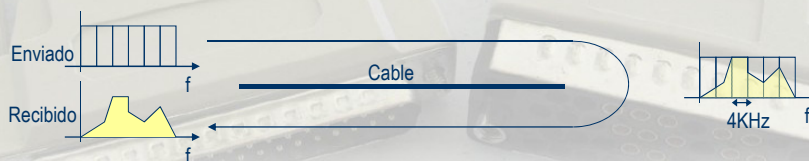
- Cancelación de eco:

- Técnica que permite enviar y recibir a la vez por la misma línea, usando el mismo espectro de frecuencias.
 - Problema añadido: la gran potencia de la señal emitida dificulta interpretar la señal recibida de potencia débil.
 - Se resta la señal emitida a lo que se recibe antes de que llegue al receptor.
 - Se realiza mediante software en procesadores digitales de señales (DSPs).



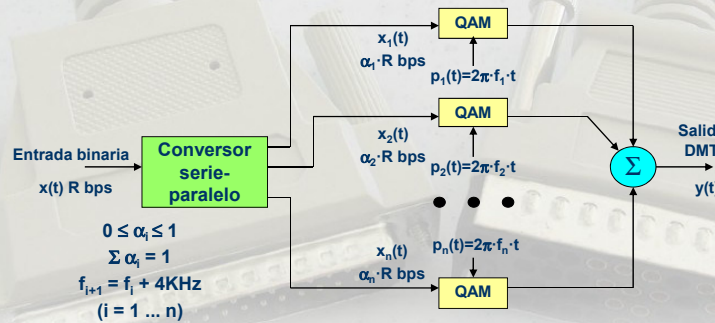
- DMT.

- El ancho de banda disponible se divide en canales más pequeños de 4KHz cada uno.
 - En cada canal se modula una señal de datos.
 - Un módem DMT realiza un test del cable para determinar que canales son mejores y cuales peores para enviar datos, en función de la atenuación.
 - A la hora de enviar datos se envían más bits por los canales mejores y menos bits por los peores.



- DMT.

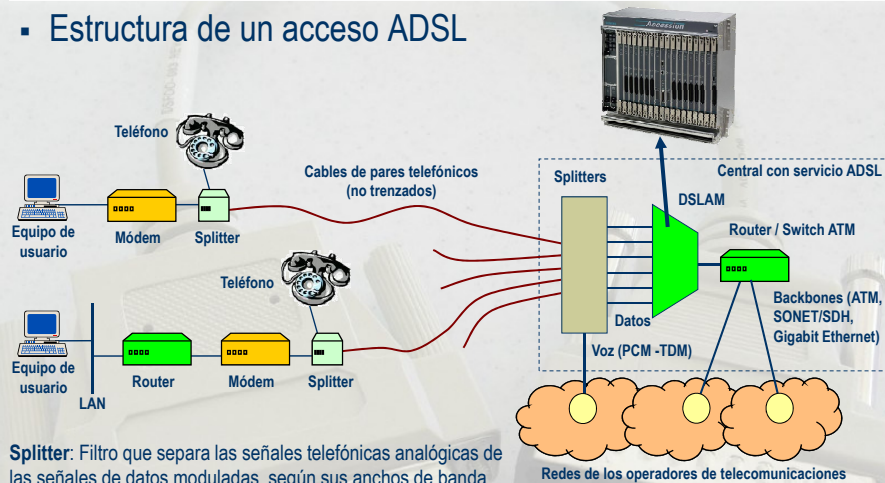
- Los datos se dividen en secuencias de bits que se envían en paralelo por los distintos canales.
- Las secuencias de bits de cada canal se convierten a señales analógicas con modulación multinivel QAM.



- DMT.

- Cada canal envía de 0 a 60Kbps según su calidad.
- Los diseños ADSL usan 256 canales de 4KHz cada uno (descendente) lo que implica unos 15Mbps.
- Normalmente las líneas no tienen mucha calidad y se trabaja en el rango de 1,5 a 9 Mbps.
- La velocidad final depende de la calidad del cable y de su distancia.
- ADSL puede soportar enlaces E1/T1.
- DMT y OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing) son esencialmente lo mismo: modulación multiportadora.
- Tradicionalmente en ADSL se habla de DMT, mientras que en tecnologías inalámbricas o en PLC se habla de OFDM.

▪ Estructura de un acceso ADSL



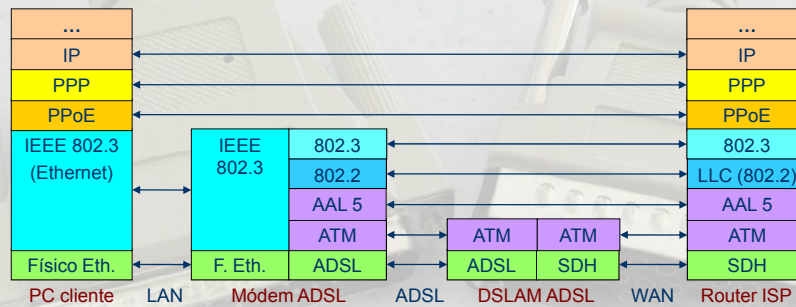
▪ Encapsulación de protocolos sobre ADSL

- Diferentes proveedores ofrecen diferentes opciones de protocolos sobre una conexión ADSL.
- PPPoE: Point-to-Point Protocol over Ethernet (RFC 2516)
 - Protocolo de túnel para enviar tramas PPP sobre Ethernet .
 - Algunos proveedores de ADSL usan como nivel de enlace Ethernet por su simplicidad, capacidades de direccionamiento y conmutación.
 - Pero Ethernet no es orientado a conexión, y también se desea tener las ventajas de un nivel de enlace punto-punto con conexión como PPP:
 - Control individual de cada cliente.
 - Autenticación del cliente.
 - Configuración de IP
 - Posibilidad de túneles seguros.

▪ Encapsulación de protocolos sobre ADSL

▪ PPPoE: Point-to-Point Protocol over Ethernet

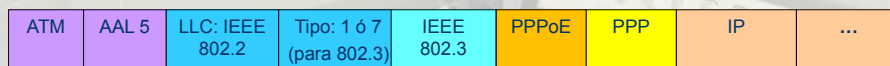
- Es más fácil usar Ethernet y PPP juntos que definir nuevos protocolos, ya que estos protocolos son soportados por mucho hardware y software.
- Entre el módem y el proveedor se encapsulan las tramas IEEE 802.3 sobre ATM con AAL5, según RFC 2684.



▪ Encapsulación de protocolos sobre ADSL

▪ RFC 2684 (RFC 1483): Multiprotocol Encapsulation over AAL 5

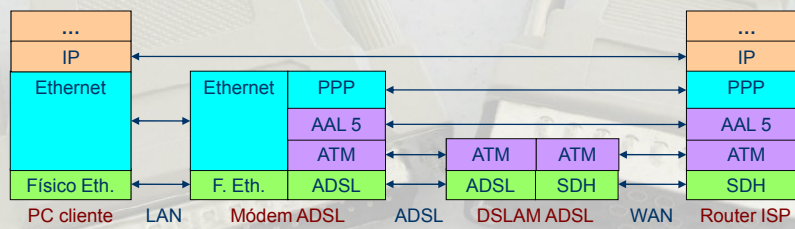
- Define como enviar paquetes de protocolos de enlace sin conexión (LANs IEEE 802.x, IEEE 802.1 BPDUs, IP, ARP) sobre ATM.
- Se plantean dos métodos para poder enviar diferentes protocolos (o diferentes flujos de datos del mismo protocolo) sobre un mismo acceso con ATM:
 - “LLC Encapsulation”: permite multiplexar diferentes protocolos sobre un único circuito virtual de ATM. Las tramas de cada protocolo se distinguen gracias a una cabecera LLC (IEEE 802.2) entre AAL-5 y esos protocolos. La cabecera LLC incorpora un campo de identificador o tipo de protocolo.
 - “VC Multiplexing” (VC-MUX). Las tramas de cada protocolo se envían por un circuito virtual ATM diferente.



RFC 2684 con LLC Encapsulation aplicada a IEEE 802.3 sobre AAL5

▪ Encapsulación de protocolos sobre ADSL

- PPPoA: Point-to-Point Protocol over ATM (RFC 2364)
 - Define como enviar tramas PPP sobre ATM-AAL5, sin Ethernet.
 - Soluciona el problema de que PPPoE tiene un MTU menor que Ethernet.
 - No se requiere el software cliente de PPOE en el equipo cliente.
 - También soporta las encapsulaciones VC-MUX y LLC de PPPoE.
 - Usado para niveles físicos de ADSL y de cable-módem.



▪ Encapsulación de protocolos sobre ADSL

- Ejemplos de configuraciones de proveedores:

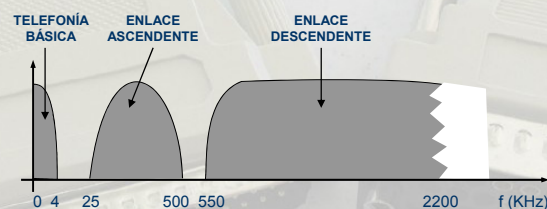
Proveedor	Tipo de IP	Protocolo	VPI/VCI	Encapsulación	Proveedor	Tipo de IP	Protocolo	VPI/VCI	Encapsulación
Arrakis	Dinámica	PPPoA	0/35	VC-MUX	Telefónica (España)	Fija	RFC 1483	8/32	LLC/SNAP
Auna	Dinámica	PPPoA	8/35	VC-MUX	Terra	Dinámica	PPPoE	8/32	LLC/SNAP
Comunitel	Dinámica	PPPoA	0/33	VC-MUX	Terra	Fija	RFC 1483	8/32	LLC/SNAP
Eresmas	Dinámica	PPPoA	8/35	VC-MUX	Uni2	Dinámica	PPPoA	1/33	VC-MUX
Jazztel	Dinámica	PPPoA	8/35	VC-MUX	Orange	Dinámica	PPPoA	8/35	VC-MUX
Jazztel ADSL2+ / Desagregado	Dinámica	PPPoE	8/35	LLC-BRIDGING	Orange 20 Megas	Dinámica	PPPoE	8/35	LLC-BRIDGING
OpenforYou	Dinámica	PPPoA	8/32	VC-MUX	Orange	Fija	RFC 1483	8/32	LLC/SNAP
Tele2	Dinámica	PPPoA	8/35	VC-MUX	Ya.com	Dinámica	PPPoE	8/32	LLC/SNAP
Telefónica (España)	Dinámica	PPPoE	8/32	LLC/SNAP	Ya.com	Fija	RFC 1483	8/32	LLC/SNA

- ADSL2 (ITU-T ITU G.992.3/4).

- Mejora la codificación y la modulación de la señal con QAM de más niveles.
- Utiliza detección y corrección de errores.
- Permite supervisar el estado de la conexión.
- Incluye gestión de energía para reducir el gasto si no se está utilizando la conexión.
- Permite definir estrategias QoS.
- Mejora el rendimiento con congestión.
- Permite utilizar el ancho de banda reservado para telefonía.
- Reduce el tiempo de conexión inicial de 10s a 3s.

- ADSL2+ (ITU-T ITU G.992.5):

- Utiliza un mayor espectro del cable de cobre.
- Requiere un cableado con una cierta calidad mínima.
- Puede alcanzar hasta los 24Mbps.
- A más de 3Km la diferencia con ADSL es marginal.
- Rango de frecuencias usadas por canal:

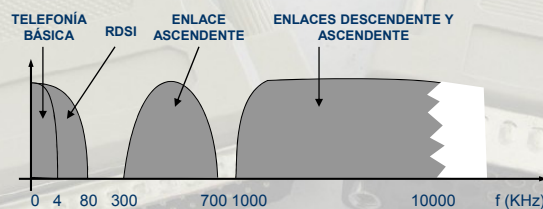


▪ Comparativa ADSL, ADSL2 y ADSL2+:

	ADSL	ADSL2	ADSL2+
Ancho de banda usado	0,5 - 1 MHz	1,1 MHz	2,2 MHz
Velocidad Máx. Ascendente	1 Mbps	1 Mbps	1,2 Mbps
Velocidad Máx. Descendente	8 Mbps	12 Mbps	24 Mbps
Distancia	5,5 Km	2,5 Km	2,5 Km
Tiempo Sincronización	10-30s	3s	3s
Corrección de Errores	No	Sí	Sí

▪ VDSL.

- VDSL (ITU-T G.993.1): Very High Speed DSL.
 - Mismo servicio que ADSL pero a una velocidad mucho mayor.
 - Requiere nuevos cables, mejores y más cortos (300m) que proporcionen más ancho de banda.
 - Puede ofrecer RDSI en vez de telefonía básica analógica.
 - Soporta Ethernet Full-duplex para distancias de 1Km.



▪ VDSL.

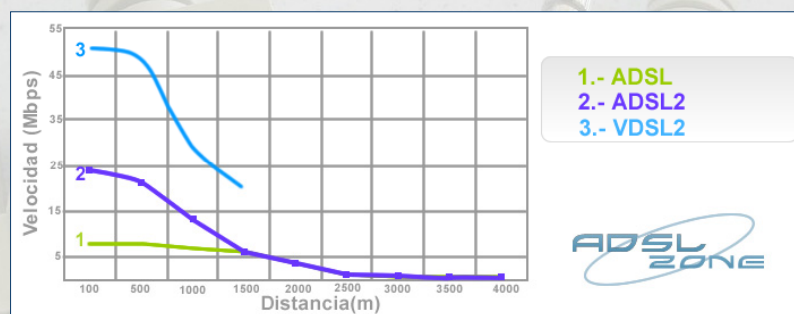
▪ VDSL2 (ITU-T G.993.2):

- Velocidad máxima teórica de 200Mbps, pero a más de 1,5Kms ofrece un rendimiento similar a ADSL2+.
- Puede funcionar con distancias mucho más largas (4-5Kms) que ADSL2 y VDSL, pero con un comportamiento similar a ADSL.
- Puede utilizar múltiples pares de hilos para aumentar el ancho de banda (tecnología MIMO cableada).
- En mayor ancho de banda se distribuye entre los enlaces ascendente y descendente sin necesidad de solapar señales en las mismas frecuencias.
- Telefónica oferta en España VDSL2-50Mbps desde mediados de 2007, y está ampliando el número de nodos que soportan esta tecnología. En Alicante hay varios nodos VDSL2 (cobertura en www.adslzone.net).
- Jaszstel comenzó a hacer en pruebas de 50Mbps desde verano de 2007.

▪ VDSL.

▪ VDSL2 (ITU-T G.993.2):

- Los 50Mbps se alcanzan para 200-300m (10% usuarios).
- Para 800-900m se tienen 25Mbps (40% usuarios).
- Ofertas típicas en España: 25Mb/5Mb, 30Mb/1Mb y 30Mb/3Mb.



- VDSL.
 - Comparativa ADSL versus VDSL:

	ADSL2+	VDSL	VDSL2
Ancho de banda máximo considerado	2,2 MHz	10MHz	30MHz
Velocidad máxima	Desc: 24 Mbps Asc: 1,2 Mbps	Desc: 52 Mbps / 26Mbps Asc: 12 Mbps / 26 Mbps	200Mbps
Modo	Asimétrico	Asimétrico o Simétrico	Asimétrico o Simétrico
Pares de cobre	1	1	1 o más
Distancia máxima sobre UTP	2,5 Km	300m: 52Mbps 1,2Km: 10Mps	0,5Km: 100Mbps 1Km: 50 Mbps
Modulación	DMT	QAM DMT (más común)	DMT-MIMO

- Estudio velocidad www.adslnet.es y www.adslzone.es (I).
 - Marzo 2007
 - En la práctica no se alcanza la velocidad contratada.
 - A medida que aumenta la velocidad contratada, el decremento porcentual de velocidad es mayor.

Velocidad contratada	Velocidad Real
1Mbps	80-85%
3-4Mbps	70-80%
6Mbps	50-60%
10Mbps (solo Telefónica)	77%
General (sin 20Mbps)	75-85%
20Mbps (ADSL2+)	30-45%

Accesos ADSL 20Mbps más rápidos en España:

- Jazztel Navarra: 12.336Kbps
- Euskatel País Vasco: 12.081Kbps

Acceso ADSL 20Mbps más rápido en general:

- Jazztel: 9.078Kbps de media

Acceso ADSL 20Mbps más lento en general:

- Tele2: 5.076Kbps de media

- Estudio velocidad www.adslnet.es y www.adslzone.es (II).
 - El ADSL2+ de 20 megas no termina de despegar en España.
 - En 1 y 3 Mbps, Telefónica consigue 843/234Kbps y 2.315/226Kbps.
 - En 6Mbps, Orange consigue 4.463/395Kbps.
 - En 10Mbps, Telefónica consigue 7.654 /221Kbps.
 - En 20Mbps, Jazztel consigue 9.350/697 Kbps. El resto ofrecen menos del 40% con velocidades de subida de 400-600Kbps.
 - Cable de Ono. 6Mbps: 4.567/187Kbps. 12Mbps: 7.802/370 Kbps. 25Mbps: 11.345/514Kbps. Va bien en distancias grandes.
 - ADSL rural de 512Kbps: más caro que el convencional, pero se queda en una tercera parte de lo ofertado. Mejor LMDS o WiMax.

- FTTH (Fiber To The Home).
 - Tecnología que despliega la fibra óptica hasta el usuario.
 - Se solucionan los problemas de distancia con un nuevo cableado.
 - Desarrollo promovido por el FTTH Council: www.ftthcouncil.eu/.
 - Ha tenido bastante éxito en Japón y EE.UU.
 - En España está empezando a comercializarse.
 - Ejemplo actual: FTTH en Asturias (Asturcón)
 - Con financiación pública y acuerdo entre diferentes operadores.
 - 100M descarga + 20M subida, 29 €/mes (con tarifa plana de teléfono: 35 €).
 - Cobertura para 30.000 hogares y 4.640 abonados. Previsto llegar a 20.000 hogares más.

- Redes GPRS, UMTS y 3,5G.

- GSM (2G). Global System for Mobile Communications.

- Orientado a señales digitales de telefonía. Se tarifica por conexiones establecidas.
 - Basado tramas de canales TDM o CDMA, moduladas con PSK y QPSK de diferentes niveles.
 - Permite datos a 9600bps. Este es el canal básico de los SMS.
 - Es la tecnología de comunicación móvil más extendida y con más cobertura.
 - Normalizada por el ETSI (European Telecommunications Standards Institute) y el grupo de asociaciones de telecomunicaciones 3GPP (3rd Generation Partnership Project).

- Redes GPRS, UMTS y 3,5G.

- CDMA: Code Division Multiple Access.

- Técnica de Secuencia Directa y Espectro Extendido (DSSS) que transmite una secuencia de pulsos (minibits o chips) por cada grupo de bits a enviar.

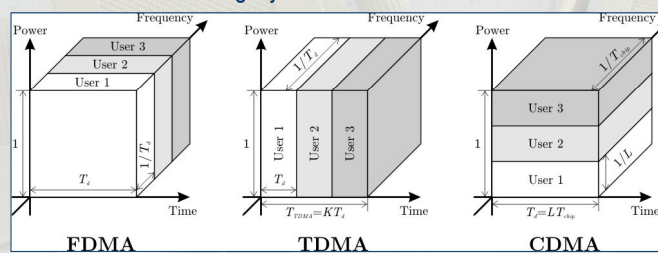


- A cada equipo transmisor se le asignan secuencias diferentes.
 - Las secuencias de equipos diferentes son ortogonales: se pueden mezclar en el medio y luego separar en los destinos.
 - Un equipo destino solo interpreta las secuencias del origen correspondiente.
 - Se consigue realizar múltiples transmisiones por un mismo canal de radio.
 - Hay diferentes versiones de CDMA (IS95 en GSM, CDMA-2000 y W-CDMA en 3G...).

- Redes GPRS, UMTS y 3,5G.

- CDMA: Code Division Multiple Access.

- TDM (o TDMA): Varios interlocutores hablan el mismo lenguaje en el mismo tono, pero del forma alternada, no simultánea.
 - FDM (o FDMA): Varios interlocutores hablan el mismo lenguaje a la vez, pero en diferentes tonos
 - CDMA: Varios interlocutores hablan a la vez en el mismo tono, pero con diferentes lenguajes.



T_d = Tiempo asignado a una transmisión
 T_{TDMA} = Tiempo de trama
 T_{chip} = Tiempo de minibit

- Redes GPRS, UMTS y 3,5G.

- GPRS (2.5G). General Packet Radio Service.

- Complementa a GSM ofreciendo servicio mejorado de datos en países donde se ha retrasado la expansión de 3G. Normalizado por ETSI y 3GPP.
 - Orientado a enviar paquetes de datos en contraste con las conexiones de circuitos virtuales de voz digital. Se tarifica por bytes enviados.
 - Aunque soporta varios protocolos se suele usar es dos modos:
 - Transparente: IPv4 sobre GPRS y asignación por DHCP. Lo típico si se accede desde el móvil (WAP, SMS y MMS).
 - No transparente. Se usa IPv4 – PPP – GPRS, ya que con PPP se puede configurar el equipo del usuario. Si el móvil se usa como módem.
 - Máximo sobre 170Kbps descarga, 10Kbps subida.

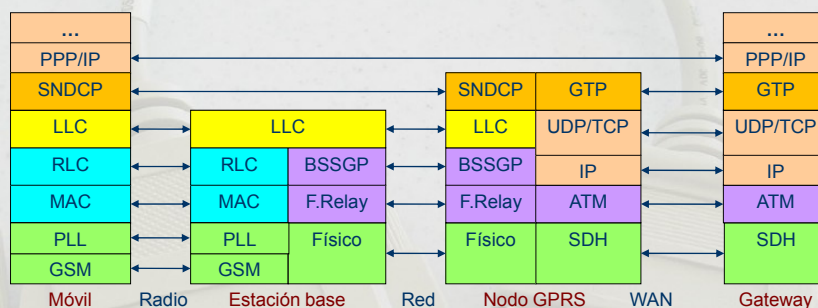
Redes GPRS, UMTS y 3,5G.

GPRS (2.5G). General Packet Radio Service.

- Hay tres tipos de dispositivos GSM+GPRS:
 - Clase A. Puede realizar transmisiones GSM y GPRS simultáneamente.
 - Clase B. Admite conexiones GSM y GPRS, pero no simultáneas: una conexión GSM suspende temporalmente una conexión GPRS activa.
 - Clase C. Manualmente hay que especificar si se emplea GSM o GPRS.
- Nivel físico: modulaciones PSK adaptativas según calidad de canales.
- Control de acceso al medio: canales de subida y bajada separados por FDM y compartidos por varios usuarios con TDM estadístico y reservas:
 - Un mismo canal de TDM puede ser usado por paquetes de diferentes terminales de usuario.
 - Un terminal puede utilizar hasta 4 canales para enviar y 2 para recibir sus paquetes.

Redes GPRS, UMTS y 3,5G.

GPRS (2.5G). General Packet Radio Service



PLL: Physical Link Layer
 MAC: Media Access Control
 RLC: Radio Link Control
 LLC: Link Layer Control
 SNDCP: Subnetwork Dependent Convergence Protocol
 BSSGP: Base Station System GPRS Protocol.
 GTP: GPRS Tunneling Protocol

- **Redes GPRS, UMTS y 3,5G.**

- **EDGE (2,5G) . Enhanced Data rates for GSM of Evolution.**

- Evolución de GPRS también conocida como EGPRS.
 - Máximo sobre 380Kbps de descarga.
 - Modulación como GPRS pero con más niveles, y codificación más robusta que permite corregir errores en recepción.
 - Para los operadores es una forma más fácil de aumentar el ancho de banda que aplicar UMTS, porque se apoya sobre tecnología GSM y GPRS.
 - Las últimas versiones se consideran en el estándar IMT-2000 (International Mobile Telecommunications-2000) del ITU y 3GPP, que define las características que deben tener las redes 3G.

- **Redes GPRS, UMTS y 3,5G.**

- **UMTS (3G). Universal Mobile Telecommunications System.**

- Basado en WCDMA (Wideband CDMA).
 - Considerado en el estándar IMT-2000 de redes 3G.
 - Máximo sobre 2Mbps de descarga con dispositivo estacionario.
 - Velocidades de 144 Kbps en movimiento rápido (vehículos) y al menos 380Kbps en movimientos lentos (andando).

- **HSDPA**

- Mejora de UMTS – WCDMA:
 - Nuevas modulaciones QPSK o QAM multinivel, en función de la calidad del medio.
 - Procesamiento y encaminamiento más rápido de los paquetes en la red.
 - Velocidades de 1.8 a 14.4Mbps de descarga, según la modulación. Subida de hasta 384 Kbps.

- Redes GPRS, UMTS y 3,5G.

- Cobertura en España:

- Actualmente se promocionan mucho los módems USB 3G o 3,5G, que están preparados para velocidades de 7,2Mbps / 2 Mbps.
 - Telefónica y Vodafone solo soportan actualmente 3,6Mbps / 1,4Mbps y Orange 3,6Mbps / 384 Kbps.
 - Cobertura:
 - Orange: 83% población en 3G, 78% en 3,5G.
 - Vodafone: 85% en 3G y 3,5G
 - Telefónica: poblaciones de más de 15.000 habitantes para 3G y más de 20.000 para 3,5G.
 - GPRS: más amplia, pero no tanto como GSM.
 - Las ofertas 3G y 3,5G limitan el número de bytes a descargar al mes. Si te pasas es más caro o se baja la velocidad.

10. Introducción.
11. Red Digital de Servicios Integrados (RDSI).
12. Redes Frame Relay.
13. Tecnología ATM.
14. Accesos de datos en redes de telefonía.
- 15. Redes de cable para transmisión de datos.
16. Comparación de las distintas tecnologías.

- Estándares.
- Características generales.
- Estructura de la red.
- Modulación y codificación.
- Arquitectura de niveles.
- Resumen de especificaciones.

▪ Estándares

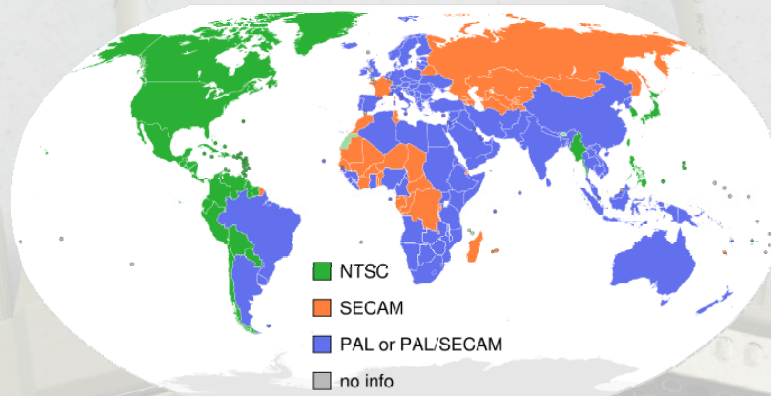
- Los de más éxito eran originalmente propietarios:
 - DOCSIS 1.0, 1.1, 2.0, 3.0 (1997, 1999, 2002, 2006): Data Over Cable Service Interface Specification.
 - Normativa para Norteamérica principalmente.
 - Información y normativas en <http://www.cablemodem.com/>
 - DVB/DAVIC 1.2-1.5 (1996-1999): Digital Video Broadcasting / Digital Audio Visual Council.
 - Normativa para televisión por cable en Europa principalmente.
 - Euro-DOCSIS: European DOCSIS.
 - Convergencia entre DOCSIS y DAVIC.
 - DOCSIS adaptada a los canales de televisión de Europa.

▪ Estándares

- El ITU ha adoptado las normas DOCSIS y DAVIC.
- Se inició el desarrollo de una norma IEEE 802.14 (1998), pero el comité fue disuelto por el éxito de DOCSIS y DAVIC.
- Las diferencias entre las normas de Norteamérica y las de Europa vienen de los sistemas tradicionales de televisión analógica:
 - NTSC (National Television System Committee).
 - Canales de televisión de 6MHz de ancho de banda.
 - Norteamérica y Japón.
 - PAL (Phase Alternating Line) y SECAM (Séquentiel Couleur à Mémoire)
 - Canales de televisión de 8MHz de ancho de banda.
 - Europa, África, Asia, Oceanía, Suramérica.

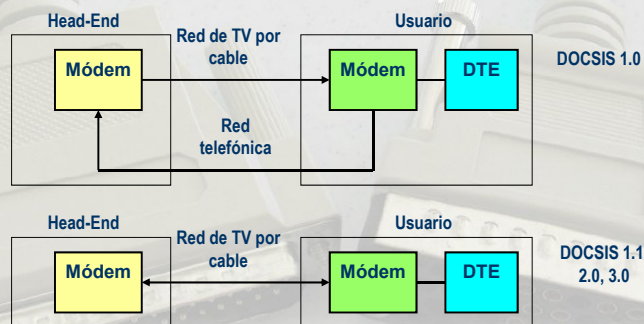
▪ Estándares

- Uso de los sistemas de televisión analógicos tradicionales.

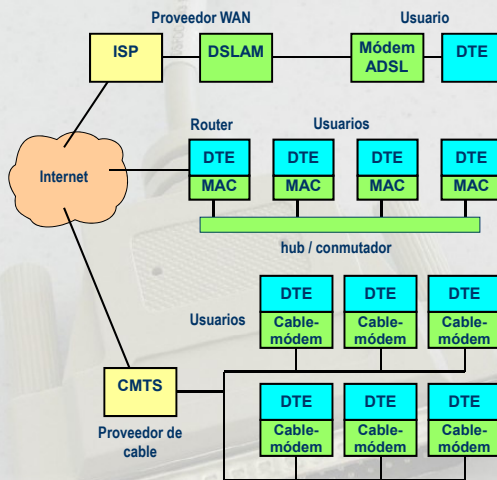


▪ Características generales

- El acceso de datos es asimétrico por la naturaleza del medio físico.
 - El flujo **downstream** (proveedor a usuario) siempre va por el cable.
 - El flujo **upstream** (usuario a proveedor) puede ir por cable coaxial o por un par telefónico.



Características generales



Acceso ADSL2:

- 12Mbps / 1Mbps Asimétrico
- 2 Km
- Enlace dedicado para un solo usuario
- Comunicación DTE-ISP
- Transmisión con modulación

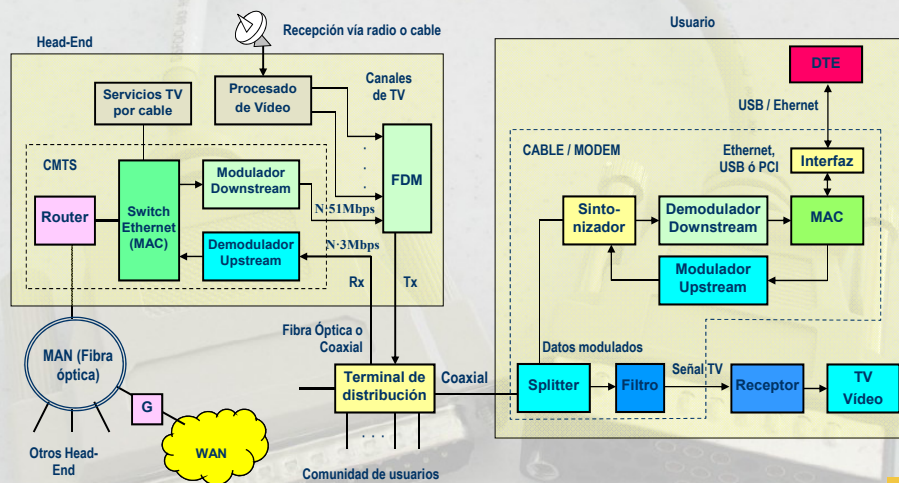
LAN Ethernet:

- 100Mbps / 1Gbps Simétrico
- 1Km
- Medio de difusión o conmutado compartido por varios DTEs
- Comunicación entre dos DTEs
- Transmisión digital en banda base

Red de cable:

- 50Mbps / 3Mbps Asimétrico
- 100 Km
- Medio de difusión repartido en downstream
- Medio de difusión compartido en upstream
- Comunicación DTE-CMTS
- Transmisión con modulación y TDM

Estructura de la red



- Estructura de la red

- Head-end. Central del proveedor de cable que recibe los canales de TV del satélite o de otra red y los reenvía a los usuarios.
- CMTS (Cable Modem Termination System). Sistema que posibilita el envío y recepción de datos por la red.
- FDM. Multiplexor por división de frecuencia que combina los canales de televisión en una señal analógica en el cable.
 - Los datos se envían modulados en uno o más canales de TV.
 - Los canales de TV tienen bastante ancho de banda (6 u 8MHz).

- Estructura de la red

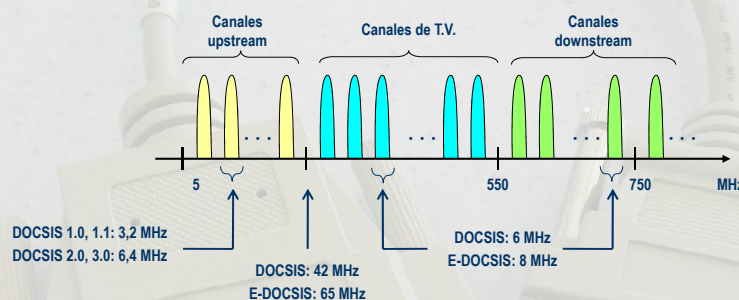
- El Splitter separa los canales de datos upstream y downstream de los canales de TV.
- El filtro evita que los canales de datos provoquen interferencias en los receptores de TV.
- El sintonizador del módem escoge el canal de TV que tiene los datos downstream para el usuario, y lo desplaza a frecuencias bajas para ser demodulado.
- Este tipo de red se conoce también como FHC (Hybrid Fibre-Coaxial), porque la red de cable emplea dos medios:
 - Red troncal de F.O. hasta los terminales de distribución.
 - Enlaces de cable coaxial desde los terminales de distribución a los usuarios.

▪ Estructura de la red

- El cable-módem requiere un MAC con varias funciones:
 - Compensar las atenuaciones y los retardos de la señal de cable entre varios usuarios.
 - Sincronizar los usuarios distantes, y facilitar el control de acceso al medio para los canales upstream.
 - Control de acceso al medio de todos los usuarios para el canal upstream. Se usa TDM (o TDMA: TDM Access), pero con la posibilidad de que varios usuarios compitan por un mismo canal (hay mas usuarios que canales).
 - Configuración en el módem de usuario de las frecuencias portadoras, técnicas de modulación, y sintonización del canal downstream, según las velocidades contratadas.

▪ Modulación y codificación

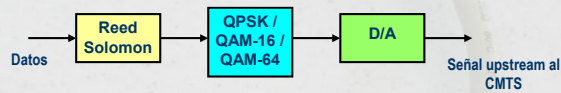
- División del espectro de frecuencias:



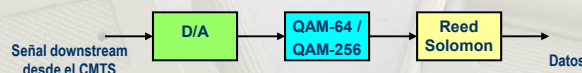
Se pueden combinar digitalmente varios canales de TV en un solo flujo MPEG para proporcionar más canales de TV.

▪ Modulación y codificación

▪ Modulación:



▪ De-modulación:



Reed Solomon:

- Códigos de detección-corrección más complejos que los CRC.
- Pueden corregir hasta 6 errores en una trama de 204 bytes (DOCSIS 2.0).
- Se usan en Cable-módem, DSL, Telefonía móvil, DVD...

▪ Modulación y codificación

▪ Alternativas de modulación

Downstream

B	QAM-64	QAM-256
6 MHz	30,34 (27)	42,88 (38)
8 MHz	40,44 (36)	57,20 (51)

Upstream

B	QPSK	QAM-16	QAM-64 *
0,2 MHz	0,32 (0,3)	0,64 (0,6)	1,28 (1,2)
0,4 MHz	0,64 (0,6)	1,28 (1,2)	1,92 (1,7)
0,8 MHz	1,28 (1,2)	2,56 (2,3)	3,84 (3,4)
1,6 MHz	2,56 (2,3)	5,12 (4,6)	7,68 (6,8)
3,2 MHz	5,12 (4,6)	10,24 (9,0)	15,36 (13,5)
6,4 MHz *	10,24 (9,0)	20,48 (18,0)	30,72 (27)

X (Y):

- X Mbps de nivel físico
- Y Mbps datos de la trama de nivel de enlace

(* Los canales de 6,4MHz y la modulación QAM-64 son soportadas solo por DOCSIS 2.0 y 3.0

▪ **Modulación y codificación**

▪ **Alternativas de modulación**

- DOCSIS 3.0: Permite agregación de canales o “channel bonding”, tanto en upstream como downstream, con lo que se puede sobrepasar 100Bbps en cada sentido.
- La velocidad downstream de un usuario final se limita en función de su contrato y no alcanza la máxima de la modulación usada.
 - Para ello, un cable-modem solicita la configuración adecuada al CMTS usando el protocolo TFTP cuando el equipo se inicia.
- Aprovechando lo anterior, los proveedores habitualmente asocian varios usuarios a un mismo canal de downstream.
- Los enlace de más capacidad en España los oferta Ono:
 - 50 Mbps / 3 Mbps (+ teléfono): 60€
 - 100 Mbps / 5 Mbps (+ teléfono): 80€.

▪ **Arquitectura de niveles**

OSI	DOCSIS	
...	Aplicación	Mensajes de control DOCSIS
Transporte	TCP / UDP	
Red	IPv4 / IPv6	
Enlace	MAC	
Físico	<i>Upstream</i> TDM QPSK / QAM-16 / QAM 54	<i>Downstream</i> TDM/MPEG/ATM QAM 16 / QAM 256

- Los niveles de enlace y de red soportan control de QoS.
- Los técnica de modulación y codificación de nivel físico dependen de la normativa utilizada (DOCSIS ó Euro-DOCSIS) y su versión.
- DOCSIS 3.0 permite usar IPv6 en el nivel de red.

▪ Resumen de especificaciones

Características	Upstream	Downstream
Dirección	Usuario → CMTS	CMTS → Usuario
Espectro	DOCSIS: 5-42 MHz E-DOCSIS: 5-65 MHz	DOCSIS: 42-850 MHz E-DOCSIS: 65-850 MHz
Ancho de banda de un canal	Máximo 6,4 MHz	DOCSIS: 6MHz E-DOCSIS: 8MHz
Modulación	QPSK (4 niveles) / QAM 16 / QAM 64	QAM 64 niveles ó QAM 256
Vt total máxima	0,3 - 27 Mbps	27-51 Mbps
Vt típica para un usuario	0,3 - 0,6 Mbps	3-12 Mbps
Control de acceso al medio	TDM por contienda en acceso a los canales	Difusión constante de tramas a todos los usuarios y uso de sintonizadores
Trama MAC	DOCSIS: Ráfaga de tamaño fijo E-DOCSIS: Celdas ATM	DOCSIS: MPEG E-DOCSIS: Celdas ATM

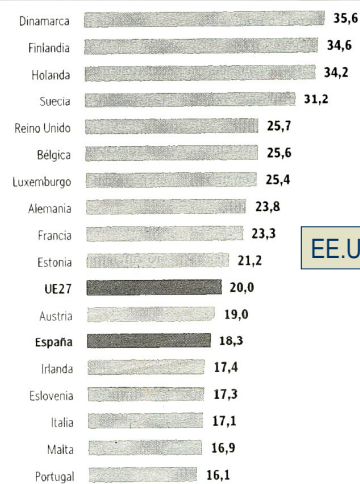
10. Introducción.
11. Red Digital de Servicios Integrados (RDSI).
12. Redes Frame Relay.
13. Tecnología ATM.
14. Otros métodos de acceso a redes públicas.
15. Redes de cable para transmisión de datos.
- 16. Comparación de las distintas tecnologías.

- A tener en cuenta...
 - Accesos como ADSL y cable-módem son asimétricos.
 - Los anchos de banda que un proveedor de cable-módem puede ofrecer al usuario dependen del número de usuarios a los que atiende con un mismo CMTS.
 - Los anchos de banda reales de tecnologías ADSL dependen mucho de la calidad del cableado y de la distancia del usuario a la central. En cable módem la distancia no afecta tanto.
 - En rendimiento de los accesos de ADSL2+ en España es bastante limitado. Ya se oferta VDSL2 y se comienza a ofertar FTTH.
 - Las tecnologías de cable-módem obedecen a diversos estándares, y dependen del país y proveedor.

- A tener en cuenta...
 - Aunque RDSI ofrece muy buenos servicios, los accesos BRI, que son los asequibles, han quedado desplazados por otras tecnologías en aplicaciones de datos.
 - Si se desea un enlace de banda ancha para ofrecer servicios, hay que recurrir a accesos específicos tipo Frame-Relay, ATM, RDSI-PRI, que requieren nuevo cableado y tienen costes altos.
 - Frame Relay es adecuado para conectar LAN remotas.
 - ATM también se usa junto con otras tecnologías, como por ejemplo ADSL.
 - Gigabit Ethernet se está extendiendo como tecnología para redes troncales, compitiendo con ATM.

Penetración de la banda ancha en la UE

Penetración en países de la Unión Europea en % (enero 2008)



Fuente: ABC 20-3-2008, en base a informe anual de la Comisión Europea.

Penetración de la banda ancha en la UE

- Cobertura ADSL: 90% urbana, 86 % rural.
- Cobertura cable-módem: 48% urbana, 11% rural.
- En España, 4 de cada 5 accesos son ADSL.
- Sigue el cable-módem con 20% del total.

- Informe CMT sobre la Banda Ancha para 2008:
 - Velocidad media 2-10Mbps (72,4% líneas):
 - Oferta más barata en España (Ya.com 3Mbps): 33,3€.
 - Media de la UE: 29,8 €.
 - Velocidades superiores a 10Mbps:
 - Oferta más barata en España: 36,6€.
 - Media de la UE: 37,4 €
 - Número de usuarios:
 - ADSL Telefónica: 4.601.875.
 - Otras ADSL (Jazztel, Orange, Ya.com...): 1.892.281.
 - Operadores de cable (ONO, Euskaltel...): 1.656.119.

- Características
 - Power Line Communication. Comunicaciones de datos por la red eléctrica de media y baja tensión.
 - Otras denominaciones:
 - PLT: Powerline Telecommunications (ETSI).
 - BPL: Broadband over PowerLine (nombre habitual en EE.UU.).
 - Aplicaciones:
 - Interconexión de los equipos privados a modo de LAN (Indoor). También usado para domótica.
 - Acceso a ISPs y redes públicas de datos (Outdoor). En España está parada su comercialización.
 - En PLC se abordan principalmente las características del nivel físico, pero también funciones de MAC.

▪ Características

▪ Ventajas:

- Todo el cableado desde los proveedores hasta el usuario ya está instalado: la red eléctrica.
- La cobertura de la red eléctrica es mucho mejor que el de otras redes: casi el 100% de las zonas habitadas en países desarrollados.
- Cualquier toma eléctrica de la casa u oficina se convierte en un punto de red.
- Gran ancho de banda para el usuario (Mbps), y posibilidad de acceso simétrico. Ofrece un servicio de calidad a buen precio.
- La conversión de una red eléctrica a PLC es rápida, y se puede ajustar bien a la demanda.
- Tecnología fácilmente escalable y actualizable.

▪ Características

▪ Inconvenientes:

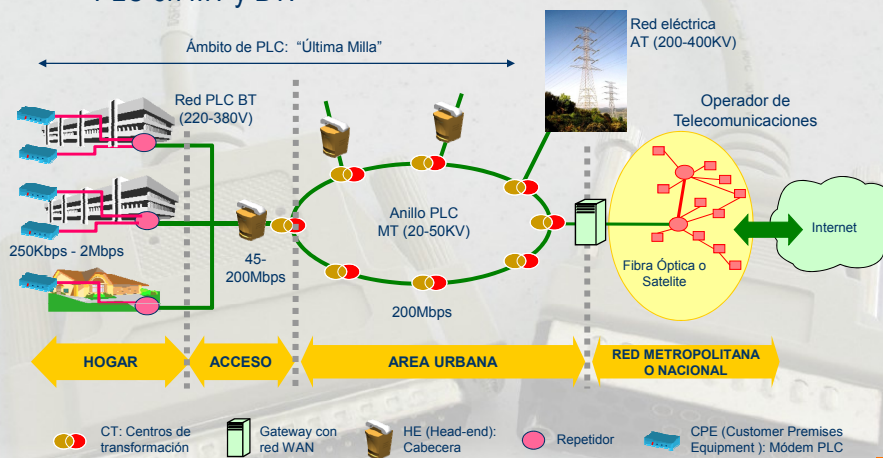
- Todavía no hay estándares aceptados por todos los proveedores. Diferentes proveedores pueden emplear diferentes tecnologías.
- Hay poca competencia.
- A veces el cableado eléctrico es de baja calidad, con derivaciones o empalmes malos, lo que perjudica la señal.
- El cableado eléctrico es impredecible. Es difícil conocer la carga exacta conectada a una red, y la potencia que hay que utilizar.
- Las señales de alta frecuencia que transportan los datos pueden generar bastantes interferencias electromagnéticas, y los cables eléctricos actúan como buenas antenas que las difunden.

▪ Características

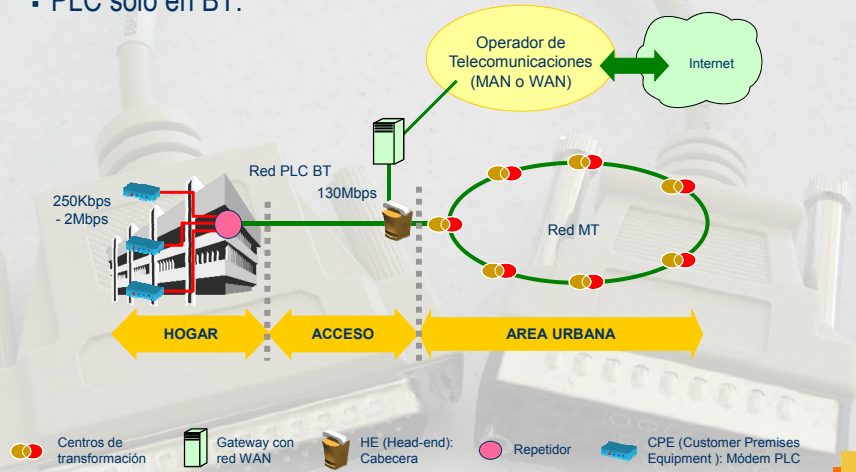
- Problemas de las interferencias:
 - Afectan a las comunicaciones por radio (radioaficionados).
 - En algunos países puede haber problemas con regulaciones de emisiones electromagnéticas.
 - En España no hay una legislación clara sobre este tema.
 - Las señales de alta frecuencia se pueden captar por radio, lo que implica problemas de seguridad.
 - Se pueden atenuar con
 - Modulaciones adecuadas (de espectro expandido)
 - Filtros en los equipos problemáticos.
 - Las modulaciones de espectro expandido y los filtros disminuyen el ancho de banda para datos.

▪ Topología de la red y equipos.

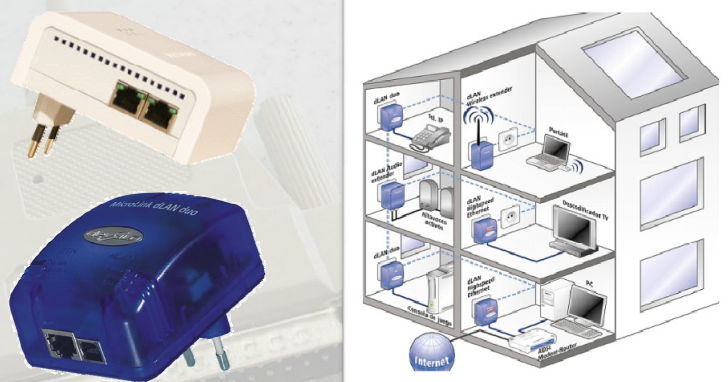
- PLC en MT y BT.



- Topología de la red y equipos.
 - PLC sólo en BT.



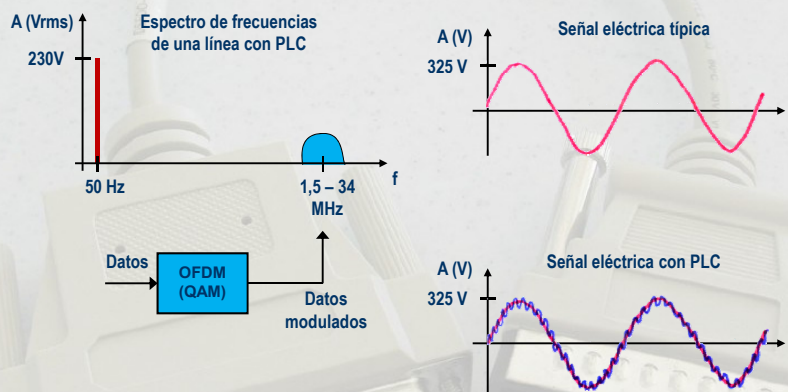
- Topología de la red y equipos.
 - PLC indoor. Típicamente se establece una LAN Ethernet usando como medio físico es el cable eléctrico y la modulación PLC.



- Codificación y modulación.

- El medio físico empleado es muy impredecible.
 - Presenta conexiones, derivaciones, diferentes secciones, fusibles, contadores, interruptores, diferencias de carga...
- Nivel físico basado en modulación:
 - Los datos se modulan sobre una portadora analógica de alta frecuencia (1,5 a 34MHz) para enviarlos por el cable, junto con la señal de potencia de baja frecuencia (50 o 60Hz).
 - Los canales de subida y de bajada de los usuarios usan bandas de frecuencia diferentes que no se solapan (FDM).
 - PLC puede ser simétrico: igual ancho de banda para los canales de subida y de bajada.
- Se emplean diferentes tecnologías de modulación y codificación, pero destaca OFDM y variantes.

- Codificación y modulación.



- Estándares y organizaciones.

- Homeplug Powerline Alliance.

- Desde marzo de 2000. Es la más avanzada. Incluye a más de 65 compañías.
 - Muy extendida en dispositivos indoor para implementación de LANs.
 - Define especificaciones de hasta 200 Mbps.
 - También tiene especificaciones para transmisión de video HDTV y VoIP (Homeplug AV) y para instalaciones de domótica.

- Opera: Open PLC European Research Alliance.

- Fundada por la Unión Europea, universidades y compañías del sector.
 - Modos indoor y outdoor, de forma que sean compatibles.
 - Actualmente se trabaja en Opera 2: acceso outdoor hasta 200MBps.
 - Varias compañías españolas trabajan en este proyecto (Iberdrola lidera Opera) y esperan ofrecer accesos en los próximos años.

- Estándares y organizaciones.

- UPA: Universal PowerLine Association.

- Asociación internacional de compañías del sector que también busca estándares para PLC en el ámbito europeo.
 - Promueve la cooperación entre compañías eléctricas.

- IEEE P1901.

- En desarrollo desde mediados de 2005.
 - Abarca toda la red outdoor y el modelo indoor.
 - Incluye HomePlug Powerline Alliance, OPERA, UPA y otras normas.

- ETSI PLT.

- Estándares para modelos indoor y outdoor, niveles de trabajo y QoS, cuyo uso todavía no se ha extendido.
 - Las pruebas realizadas en Europa han dado buen resultado, y han generado mínimas interferencias.

- Pruebas en España.

- Iberdrola:

- Servicio en Madrid (2003), Murcia, y Comunidad Valenciana. Accesos simétricos de 200Kbps (24€) o 2Mbps (39€) en 2006.
 - En 2007 anunció el cese del servicio PLC, por la competencia. Pero Iberdrola no ha abandonado y apoya el proyecto Opera de PLC-II.

- Endesa.

- Realizó las primeras pruebas en España en 2001, y ha ofrecido servicios en zonas de Zaragoza, Barcelona, Sevilla y Cádiz.
 - A comienzos de 2006 abandonó esta tecnología por problemas en las relaciones con Auna, que ofrecía la red de distribución.

- Otras empresas.

- Por ejemplo Epresa (Cádiz): 3Mbps/3Mbps por 33€.

- Pruebas en España.

- El despliegue comercial de PLC se ha parado por la poca demanda ante la competencia de ADSL y cable-modem.
 - En general las interferencias no afectan a comunicaciones por radio modernas y solo a la onda corta. Iberdrola asegura que las denuncias de interferencias se resolvieron satisfactoriamente.
 - En la práctica se ha llegado a ofrecer enlaces simétricos que muchas veces rinden más que otros asimétricos ADSL de mayor velocidad. La relación calidad precio ha sido buena.
 - En contraste, la Unión Europea apoya PLC: está definiendo normativas, y apoyando proyectos. que.
 - Se han realizado pruebas de Opera 2 en zonas Soria y Madrid, donde no hay cobertura ADSL, con servicios de datos y TV.

- Pruebas en España.
 - Problema añadido: no se ha contemplado legalmente la desagregación del bucle de datos de PLC del proveedor eléctrico, como se hizo con ADSL respecto a las líneas de Telefónica.
 - Algunos analistas opinan que PLC ha perdido su oportunidad por:
 - Las ofertas comerciales han ido por detrás de otras tecnologías.
 - Ha faltado interés de la compañías eléctricas y de los sectores sociales.
 - Otros apuestan por el resurgir de PLC apoyándose en:
 - El apoyo de la Unión Europea en esta tecnología para aumentar la competencia en las telecomunicaciones.
 - Las mejores características de una segunda generación de PLC (más velocidad, menos interferencias).
 - Buena satisfacción de los usuarios que ya han utilizado PLC.

- Alternativa *indoor*.
 - Hay varias empresas españolas especializadas en PLC que ofrecen servicios de diseño, implementación y mantenimiento de soluciones *indoor* de banda ancha sobre PLC para pequeñas y medianas empresas.
 - Se comercializan muchos dispositivos *indoor* para instalar una LAN sobre el cableado eléctrico, que pueden ofrecer mejor rendimiento que WiFi en determinados casos. Velocidades de hasta 200Mbps.
 - Habitualmente se sigue el estándar Homeplug :
 - HomePlug (June 2001). La base. Hasta 14 Mbit/s.
 - HomePlug 1.0 Turbo, No oficial. Hasta 85 Mbit/s.
 - HomePlug AV (2005). Soporta HDTV y VoIP. Hasta 189 Mbit/s.

▪ Alternativa *indoor*.

- Características habituales:
 - Conexión IEEE 802.3 / 802.3u (10/100) con otros dispositivos.
 - Control de acceso CSMA/CA y/o TDM.
 - Encriptaciones DES o AES-128.
 - Control de calidad de servicio
 - Modulaciones OFDM, QAM, QPSK, BPSK...
 - Modulaciones con adaptación al ancho de banda del cable.
 - Modulaciones en 2MHz a 28MHz.

▪ Alternativa *indoor*.

- Se suele emular Ethernet sobre el enlace de PLC, y el conjunto de dispositivos PLC de la vivienda actúan como un puente con el que se forma una LAN.

