

Interconexión de la red local

En los últimos años las solicitudes de interconexión entre empresas (lugares distantes) o a Internet han aumentado vertiginosamente. Tampoco los particulares se han quedado atrás.

Paralelamente, las tecnologías que facilitan estas conexiones han experimentado un progreso considerable. Muchas soluciones utilizan soportes públicos, como la línea de la red telefónica conmutada (RTC) o el cable de fibra óptica, que también puede desplegarse en el marco de interconexiones privadas. Igual que las redes pequeñas, también las redes de radio evolucionan.

1. Utilización de la red telefónica

La red telefónica conmutada con cables de cobre sigue siendo el soporte principal de las comunicaciones más allá de la red local. Es, de hecho, poco común diseñar un edificio residencial o de oficinas sin esta interconexión de red.

Por lo general se ha destinado a las transmisiones de voz, pero es plenamente operativo desde un punto de vista técnico para transmitir datos.

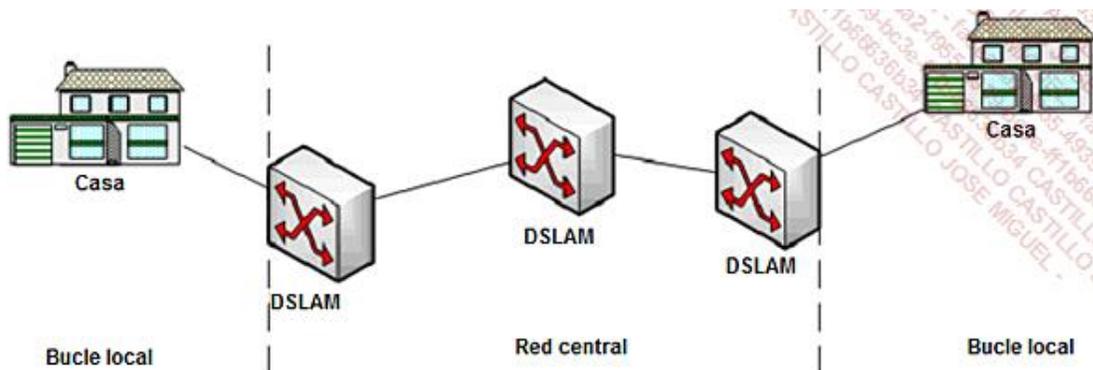
Podemos distinguir dos partes de la red telefónica conmutada. La primera, llamada bucle local (BL), es propiedad casi en su totalidad de Telefónica y conecta las centrales de este operador con los edificios de los clientes finales. Por encima de ella, una red central asume la comunicación.

- La red central de Telefónica transmite la información en forma digital desde hace mucho tiempo. En primer lugar, la voz se codifica (muestreo). Antes de enviarse al bucle local del destinatario correspondiente, se descodifica. Esta red central no tiene ninguna dificultad en transmitir datos informáticos.

En el interior de las centrales, los equipos *Digital Subscriber Line Access Multiplexer* (DSLAM) interconectan al abonado con la red central del operador. Inicialmente, solo Telefónica instalaba DSLAM en sus propias centrales. Desde hace algunos años, otros operadores pueden instalar sus dispositivos e interconectar su red central (digital) al bucle local.

En este acceso desglosado parcial, la comunicación telefónica se sigue produciendo a través de los servicios de Telefónica, mientras que el operador alternativo se ocupa de la circulación de los datos. Un acceso desglosado total indica que el operador alternativo se encarga por completo de las comunicaciones. En este caso, el abono a Telefónica lo hace el operador alternativo, y no el cliente final.

- En una zona de acceso no desglosado, la central solo contiene equipos de Telefónica.



Para transferir datos a través de la línea RTC, el módem analógico ha sido durante mucho tiempo la solución más

utilizada. Sin embargo, poco a poco ha caído en desuso y ahora se emplea sobre todo para proporcionar únicamente funcionalidades de fax. Los propios módems de la red digital de servicios integrados (RDSI) han sido abandonados por la adopción masiva en España de la *Asymmetric Digital Subscriber Line (ADSL)*, aunque esta tecnología no está disponible en todos los lugares.

Otras técnicas, como las líneas dedicadas (LD), pueden beneficiarse de este soporte a través de la línea RTC.

2. Red digital de servicios integrados (RDSI)

a. Principios

La red digital de servicios integrados (ISDN - *Integrated Services Digital Network*) es un conjunto de normas establecidas por la ex-CCITT (ITU-T) para transformar la red telefónica conmutada (analógica en sus inicios) en una red digital mundial.

➤ En España, Telefónica ofrecía un acceso RDSI para su red y lo comercializó con dicho nombre. Aunque compiten con otras tecnologías más recientes, las ofertas RDSI siguen estando presentes.

Una red completamente digitalizada permite la transmisión de cualquier tipo de información, voz, vídeo o datos. A través de la línea RTC se pueden ejecutar muchas aplicaciones: transferencia de archivos, videoconferencia, audioconferencia, fax.

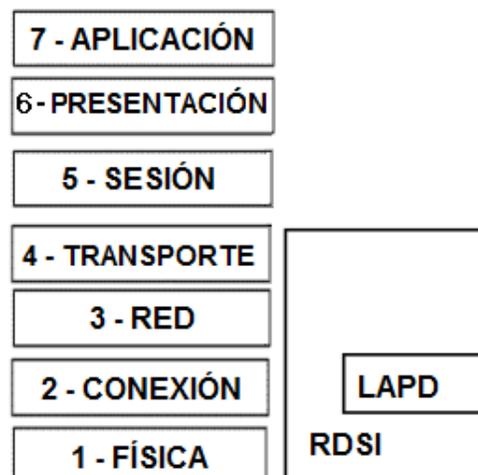
Como la RDSI es un estándar internacional, la compatibilidad entre países está garantizada.

b. Correspondencia con el modelo OSI

La RDSI cubre las tres primeras capas del modelo OSI. En la primera, la capa Física, la RDSI proporciona un multiplexado temporal entre los distintos elementos. Localmente, un módem RDSI permite la conexión entre el terminal y la red. Se utiliza el conector RJ45 y las interfaces S/T (S para el abonado, T para la red).

La capa de Conexión está garantizada por el protocolo *Link Access Protocol on the D-Channel Multipoint (LAP-D)*, que implementa direcciones multipunto y de difusión, así como la gestión del canal D.

A nivel de la capa de Red, hay disponibles dos canales distintos. El llamado básico (Canal B) se utiliza para la transferencia de información. El canal de datos (Canal D) se utiliza para la digitalización, el establecimiento de la comunicación, la identificación del interlocutor y otros servicios.



c. Tipos de acceso disponibles

Se han definido dos tipos de acceso para el usuario, en relación con la velocidad básica necesaria para transmitir la voz, 64 Kbps.

- En Europa, la voz en la red telefónica se digitaliza a 8000 muestreos por segundo, es decir, 1 cada 125 microsegundos. Se define cada impulso en 8 bits (256 niveles posibles). Así, esta codificación de modulación por impulsos codificados (MIC) transmite a 64 Kbps. Esta unidad es la base de la RDSI.

El acceso básico incluye:

- 2 canales B a 64 Kbps cada uno (o sea 128 Kbps por agregación de línea), para la transmisión de los datos.
- 1 canal D a 16 Kbps para la señalización.

- Gracias a la compresión RDSI, es posible alcanzar hasta 400 Kbps.

El acceso primario proporciona:

- 30 canales B a 64 Kbps cada uno.
- 1 canal D a 64 Kbps.

- En EE. UU. y en Japón, el acceso primario corresponde a 1 canal D y a 23 canales B.

En España, por ejemplo, las ofertas comerciales son adaptaciones de estos accesos.

La RDSI es un servicio conmutado; por lo tanto, se factura al usuario en función de la duración de comunicación y la distancia recorrida. Por supuesto, también se tiene en cuenta el tipo de acceso.

3. Línea dedicada (LD)

a. Los principios

Una línea dedicada es permanente y se alquila forzosamente a un operador telefónico, en la mayoría de casos a Telefónica. Interconecta dos números predefinidos punto a punto. No es necesario marcar el número del destinatario.

La facturación depende de la distancia y la velocidad ofrecida.

Las líneas dedicadas son accesibles desde cualquier punto del planeta. Debido a su coste, es una solución que utilizan mayoritariamente las empresas.

- Telefónica comercializa este servicio bajo el nombre Plan Novacom.

b. Velocidades

Con las líneas dedicadas, las velocidades son simétricas. En Europa se estandarizan con el nombre Ex y en EE. UU. con los niveles Tx.

Por ejemplo, las principales velocidades europeas son:

- E1, a 2.048 Mbps, equivalente 30*64 Kbps.
- E2, a 8.848 Mbps, equivalente 4*E1.
- E3, a 34.368 Mbps, equivalente 4*E2.
- E4, a 139.264 Mbps, equivalente 4*E3.

Entre las velocidades americanas, podemos citar:

- T1, a 1.544 Mbps, equivalente 24*64 Kbps.
- T2, a 6.312 Mbps, equivalente 4*T1.
- T3, a 44.736 Mbps, equivalente 7*T2.

4. Tecnologías xDSL

a. Principios

Anteriormente hemos visto que, a través del bucle local de la red telefónica conmutada, la señal se transmite habitualmente en forma analógica, y se transforma en digital a través del circuito troncal. Las tecnologías de transmisión, como la *Asymmetric Digital Subscriber Line (ADSL)*, permiten utilizar las frecuencias no utilizadas por la señal analógica. Permiten velocidades digitales muy elevadas, forzando el cable de cobre hasta el máximo de sus posibilidades.

De esta manera, se obtienen velocidades proporcionales, pero en distancias cortas dentro del bucle local. De hecho, la pérdida de calidad de esta señal a través del cable de cobre es muy rápida.

Para que una línea telefónica sea apta para una conexión ADSL, el abonado debe estar situado como máximo a 5 kilómetros de la central a la cual se conecta. Con ADSL 2+, esta distancia se incrementa alrededor de 1,5 kilómetros. No todo el mundo se puede conectar a alta velocidad a Internet mediante ADSL.

En casa del abonado, un módem específico permite dar el formato adecuado a la señal antes de enviarla por el soporte de cobre telefónico. El ordenador está conectado a este módem por un cable de par trenzado, con conectores RJ45 o por cable USB. Desde el punto de vista del software, se crea en el ordenador una configuración *Point to Point over Ethernet (PPoE)*, que permite la conexión hasta el Proveedor de Acceso a Internet (PAI) o *Internet Service Provider (ISP)*.

b. Los diferentes servicios

La primera solución comercial que se ofreció fue ADSL. Se definió en 1995 y ofrecía la utilización de un canal telefónico analógico o RDSI. Las velocidades previstas eran de:

- 800 Kbps máximo de velocidad de subida (desde el abonado a la central).
- 8,192 Mbps máximo de velocidad de bajada (desde la central al abonado).

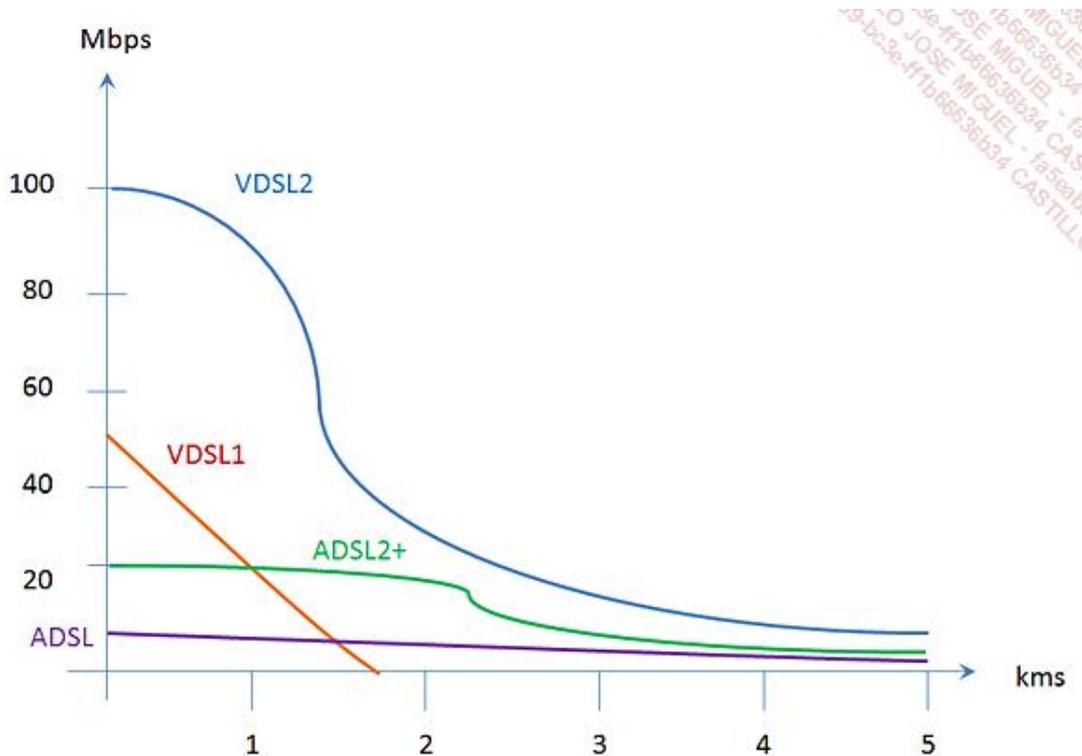
Gracias a los avances tecnológicos, hoy en día se puede llegar a:

- 1.024 Kbps de subida.
- 28,672 Mbps de bajada.

Las tecnologías DSL dependen mucho de la distancia hasta la central. Por eso, la velocidad máxima ADSL no se alcanza al sobrepasar los 2,4 kilómetros de bucle local. La evolución *Reach Extended* ADSL prolonga esta distancia alrededor de 800 metros más.

Después de este primer tipo de ADSL, han surgido otros, como:

- *High bit rate DSL* o **HDSL**, simétrica a 2 Mbps como máximo a unos 3,6 kilómetros.
- *Symmetric DSL* o **SDSL**, a 2 Mbps como máximo para distancias de unos 2.400 metros, pero con tiempos de espera muy convincentes.
- *Single-pair High-speed DSL* o **SHDSL**, de 144 Kbps a 2,3 Mbps, hasta 5.400 metros, pero con una velocidad fija garantizada (importante para las videoconferencias).
- *Very high bit-rate DSL* o **VDSL**, que llega hasta 55 Mbps de bajada y 8 Mbps de subida en modo asimétrico. En modo simétrico, la velocidad puede llegar a 34 Mbps.
- *Very high bit-rate DSL 2* o **VDSL2**, capaz de picos de bajada de hasta 100 Mbps, pero a 300 m de la central como distancia máxima (por encima, similar al ADSL 2+ presentada anteriormente, pero para 3.500 metros).



Velocidades xDSL en función del alcance

Dirigida principalmente a particulares, la ADSL ha evolucionado y hoy muchos proveedores de conexión ofrecen a sus clientes el uso de la tecnología ADSL 2+, que puede alcanzar picos de 20 Mbps, pero a 2,5 kilómetros como máximo. Para distancias mayores, está el ADSL clásico. En los extremos, tanto el módem como el DSLAM se han tenido que adaptar al ADSL 2+.

- Cada vez con más frecuencia, los ISP ofrecen velocidades en ATM, la que se da entre la red Internet y el DSLAM del ISP. La velocidad real es la IP, alrededor de un 25 % más lenta.

En España, sobre todo gracias a estas tecnologías xDSL, el acceso a Internet a alta velocidad se ha convertido en una realidad. Las comunicaciones son ahora tan fiables y rápidas que un gran número de empresas abandonan las costosas líneas dedicadas para contratar redes privadas virtuales (VPN - *Virtual Private Network*) permanentes, controladas por la empresa. Para ello, basta con configurar dos routers, que crearán un túnel seguro a través de Internet, sin otro compromiso con los operadores que la contratación necesaria.

c. Las ofertas «Todo en uno»

Con el acceso desglosado total y el aumento de la velocidad en ADSL 2+, los proveedores de acceso a Internet han comenzado a hacer ofertas que van mucho más allá del simple acceso a Internet de alta velocidad.

Esta ofertas, denominadas «Todo en uno», incluyen varios servicios en un solo contrato:

- acceso a Internet de alta velocidad,
- tarifa plana telefónica, sobre IP (VoIP),
- telefonía móvil,
- televisión, con una amplia gama de canales de pago.

Estas ofertas solo están disponibles para los abonados más próximos a los DSLAM.

La interfaz entre la toma telefónica y los distintos dispositivos (televisión, ordenador, teléfono...) se hace con módems especiales adaptados para el «Todo en uno». Los conectores que se utilizan son RJ11, RJ45 y SCART.

A continuación, se muestran los módem router de los tres operadores principales en España:



Livebox Orange



Modem router Vodafone



Modem router Movistar

➤ En España, los diferentes ISP llaman a estos dispositivos «box».

5. Cable público

Algunos núcleos urbanos ofrecen una solución alternativa de acceso a Internet, a través del cable de fibra óptica. Al contrario que en las tecnologías DSL, hay que conectar a los abonados a la arquitectura de red de fibra óptica a medida que se den de alta.

España ha dado poco apoyo a este soporte, muy costoso de instalar. La competencia de las tecnologías DSL, que se basan en una red que cubre ya todo el territorio, ha tenido mucha influencia. Por el contrario, empiezan a verse los límites de las tecnologías DSL, y el cable, que ofrece velocidades mucho mejores, aún tiene futuro. Por el momento, solo está disponible en núcleos urbanos muy grandes.

Las ofertas propuestas por los operadores de cable son muy similares a las del ADSL, con velocidades actualmente equivalentes e incluso superiores. Estos operadores también ofrecen el «Todo en uno».

6. WiMax

a. El bucle local inalámbrico

Las soluciones de acceso a Internet de alta velocidad DSL utilizan las líneas RTC. Desgraciadamente, estas tecnologías no pueden cubrir toda la población, y no permiten el acceso de alta velocidad a Internet a todo el mundo. Hay que tener en cuenta que el cableado de fibra óptica se reserva a núcleos urbanos cuya densidad de población sea muy alta.

La utilización de la solución Bucle Local Inalámbrico (BLI) permite evitar esta problemática. BLI se convierte así en una solución complementaria a las tecnologías xDSL y al cable público, que permite a los entornos profesionales y a los hogares acceder a Internet a alta velocidad.

Mediante las autorizaciones adecuadas, otros operadores alternativos a Telefónica puede crear sus propias redes BLI.

Para los proveedores de acceso a Internet, la BLI es una solución a algunos problemas de acceso desglosado. De hecho, para estos operadores es muy difícil reproducir una red de telecomunicaciones completa que llegue al cliente final. En ofertas de acceso desglosado parciales, el operador alternativo conecta el bucle local, que pertenece a Telefónica, con su propia red. Para esto, coloca sus equipos de transmisión en los locales del operador principal, del cual es competidor. La desagrupación total implica, además, que el ISP alquile la línea de bucle local. Por ello es comprensible que la utilización de BLI permita simplificar algunas operaciones.

b. Las solución WiMax

El grupo de trabajo IEEE 802.16 *Broadband Wireless Access Working Group* (BWA WG) estandariza las soluciones de tipo RMAN utilizables por BLI. Para promoverlas, Intel y Alvarion crearon en 2002 una asociación, la *Worldwide Interoperability Microwave Access* (WiMax) *forum*. Actualmente, esta agrupación cuenta con numerosas empresas asociadas.

Además de la promoción de esta tecnología, el objetivo de esta asociación es facilitar la certificación de hardware para garantizar su compatibilidad.



El logo WiMax

El estándar IEEE 802.16a, ratificado en enero de 2003, sirvió de base a WiMax. Permite velocidades simétricas que teóricamente llegan a los 70 Mbps, dentro de un alcance cercano a los 50 kilómetros. En realidad, los operadores hablan de una velocidad real máxima de 12 Mbps para un alcance de 10 a 20 kilómetros, en función del entorno.

Algunas antenas de infraestructura pueden bastar para poner en marcha una conexión punto a multipuntos a nivel de una comarca. Este primer estándar, que solo regula la conexión fija, evolucionó levemente al 802.16d, también llamado 802.16-2004, ratificado en junio de 2004.

La evolución 802.16e, aprobada en diciembre de 2005, trae la movilidad a WiMax. Prevé el paso de una antena a otra (*Hand-over*) y el desplazamiento a bordo de un vehículo sin interferencias en la comunicación. Su velocidad teórica es de 30 Mbps y su alcance es de 3,5 kilómetros. Para comunicarse, los ordenadores portátiles y otros equipos móviles han de tener integrado un componente dedicado.

La nueva versión 2 de WiMax está a punto de finalizarse (IEEE 802.16m).

Esta versión permite velocidades teóricas de 1 Gbps. Este estándar debe permitir la convergencia de las tecnologías Wi-Fi, WiMax y 4G.



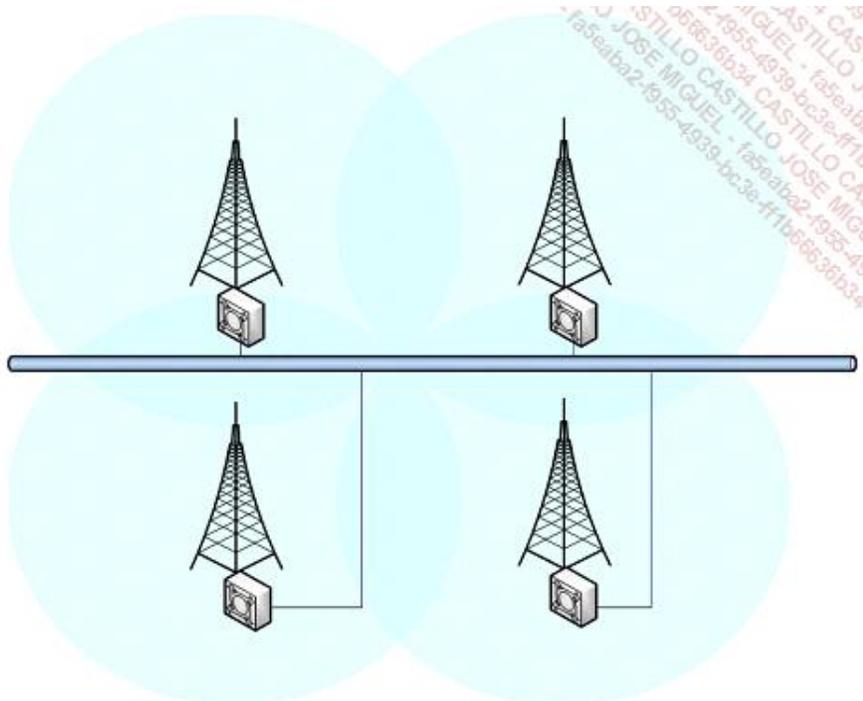
Convergencia de las redes móviles e inalámbricas

7. Redes móviles

a. Inicios

Hace ya algunos años, la telefonía móvil invadió nuestra vida diaria. También en este ámbito, la convergencia de las redes de voz y datos está de actualidad.

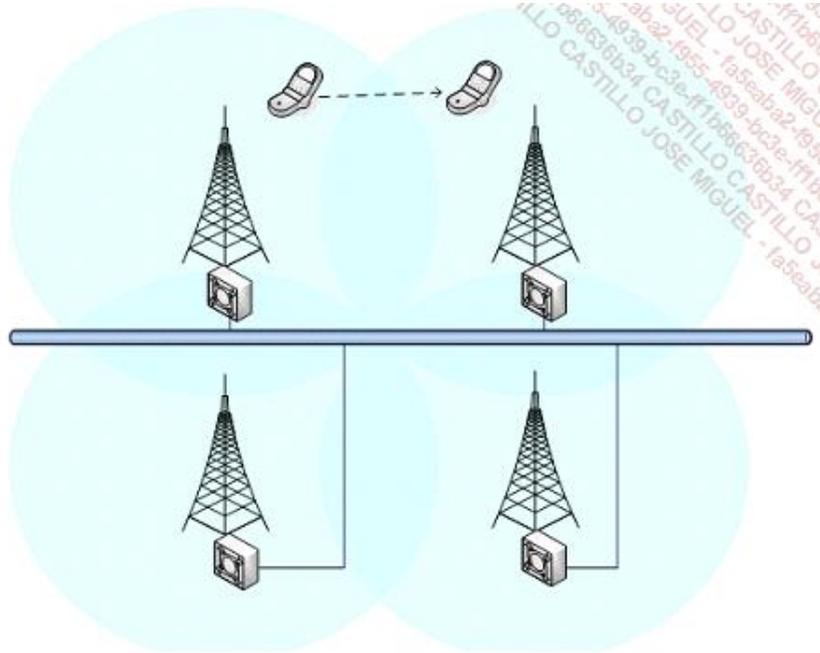
En estas redes, una antena (RAN - *Radio Access Network*) cubre una determinada zona geográfica. Todos los puntos que pueden alcanzarse a partir de este equipo forman una celda. Una estación de base, vinculada a la antena, desempeña el papel de servidor para todos los clientes de la celda. Una red central (CN - *Core Network*) conecta entre sí las distintas estaciones básicas.



Esta organización en celdas geográficas permite la transferencia de datos entre ellas durante la comunicación. De

hecho, el equipo móvil verifica continuamente la calidad de las señales recibidas. Si su estación de base no le proporciona la mejor señal posible, pide un cambio al administrador de la red central. Esta acción de comunicación tiene el nombre de *hand-over*, *handover* o *handoff*. En telefonía móvil, la capacidad de *roaming*, o itinerancia, implica un acuerdo entre operadores para acceder a su red desde el extranjero.

Estos conceptos y denominaciones se pueden encontrar en redes de tamaño inferior, RMAN o RLAN. El término *hand-over* indica también, a veces, un cambio de tecnología.



b. El comienzo

A finales de los años setenta, la red Radiocom 2000 se convirtió en la primera generación o 1G de telefonía móvil. El funcionamiento era completamente analógico, con conmutación de circuito. La red estaba formada por celdas de algunos kilómetros de alcance.

A principios de los años ochenta, la Conferencia Europea de correos y Telecomunicaciones (CEPT) empezó a estandarizar un sistema digital de telefonía móvil. Y para ello reservó las bandas de frecuencias cercanas a los 900 MHz. En 1987, el grupo de estudio GSM, Grupo Especial Móvil, del CEPT lanza el sistema de telefonía *Global System for Mobile* (GSM). En esta segunda generación o 2G, el transporte es digital y optimizado para la voz.

La evolución de este último, que utiliza la banda de 1800 MHz, el *Digital Cellular System* (DCS 1800), se establece rápidamente en 1990.



Teléfono portátil Radiocom 2000 de 1991

No hay ninguna razón técnica que se oponga a esta evolución y se intenta un primer servicio de datos a través de GSM: *Wireless Application Protocol* (WAP). Los datos se modulan con la señal de voz para reconstruirse a continuación por demodulación. Su velocidad es de 9,6 Kbps.

c. La evolución hacia el transporte de datos

La solución WAP, que fue un fracaso comercial, encontró un sucesor con *General Packet Radio Service* o GPRS, al que a veces se denomina como generación 2.5. Se trata de una verdadera adaptación de las redes móviles a la transferencia de datos. La conexión puede ser permanente, puesto que utiliza la técnica de conmutación de paquetes. En los terminales, GSM es quien administra las transferencias de voz (la facturación depende del tiempo de comunicación), mientras que GPRS administra la transferencia de datos (la facturación depende del volumen de datos transferidos).

Esta nueva tecnología permite una velocidad teórica que llega hasta los 115 Kbps, realmente 40 Kbps, adaptando su velocidad a la calidad de la red. Gracias a ella, las PDA pueden comunicarse realmente y han aparecido otras soluciones.



Terminales móviles utilizables para datos

GPRS evoluciona a EDGE (*Enhanced Data for GSM Evolution*), tecnología igualmente dedicada a la transferencia de datos en paquetes. Reutiliza las infraestructuras de las redes GSM existentes y permite aumentar la velocidad de transferencia. Puede alcanzar una velocidad de 384 Kbps. EDGE se considera como una solución intermedia entre GPRS y UMTS y se le llama la generación 2.75.

Pero, a pesar de todo, estas velocidades siguen siendo insuficientes y es difícil ofrecer aplicaciones multimedia con GPRS o EDGE, como por ejemplo la televisión o la videotelefonía. Además, a escala mundial, los distintos sistemas de comunicación móvil 2G son incompatibles. La Union Internacional de las Telecomunicaciones (UIT) propuso en 1985 la definición del programa *Future Public Land Mobile Telecommunications System* (FPLMTS) para utilizar una banda de frecuencias única y ofrecer accesos de hasta 2 Mbps.

El conjunto de especificaciones de este programa, finalmente bautizado como sistema *International Mobile Telecommunication 2000* (IMT 2000), llamó la atención del ETSI, que propuso su solución como respuesta: *Universal Mobile Telecommunications System* o UMTS. Otros organismos se agruparon en torno a esta solución para formar el consorcio *3rd Generation Partnership Project* (3GPP), que adopta UMTS a nivel mundial a principios de 1998. Los EE.UU. finalmente prefirieron adoptar el sistema CDMA2000, resultado de los trabajos del grupo 3GPP2.

d. Las nuevas generaciones de telefonía móvil

En Europa, UMTS se convierte en la tercera generación o **3G** de telefonía móvil.

Se establece una velocidad máxima de 384 Kbps de recepción para contrarrestar las grandes dificultades del *hand-over*. Ahora es posible la transferencia de datos entre dos móviles a la velocidad de un automóvil. Además, es posible intercambiar datos entre 2G y 3G sin pérdida de información.

La inversión necesaria por parte de los operadores de telefonía móvil para pasar a UMTS es importante. Las velocidades siguen siendo muy limitadas para aplicaciones que permitan recuperar la inversión. Rápidamente el UMTS evolucionó a HSDPA (*High Speed Downlink Packet Access*), considerado como el ADSL para la telefonía móvil. Esta generación **3G+** permite velocidades de más de 7 Mbps.



Tarjetas módem 3G o 3G+ en formato PCCard o USB

La futura revolución de las redes inalámbricas podría ser la utilización del estándar de comunicación *Unlicensed Mobile Access* (UMA). Permitirá el *roaming* entre redes 2G o 3G a Wi-Fi o Bluetooth, sin cortes de comunicación. Esta solución, llamada *Intelligent Transportation Systems* (ITS), podría hacer necesaria la utilización de una dirección IP fija.

La **4G** o cuarta generación hace referencia a un conjunto de criterios, tanto de velocidad como de calidad del servicio. Esta generación se conoce también como *Long Term Evolution* (LTE). Gracias a la utilización de múltiples conexiones de radio simultáneas, se puede incrementar la velocidad sustancialmente. Además, una menor latencia permite mejorar considerablemente la implementación de aplicaciones en tiempo real.

De hecho, mientras que las velocidades teóricas de 3G+ tienen un tope de 42 Mbps (7 Mbps en la práctica), la LTE anuncia velocidades teóricas de 100 Mbps de descarga y 50 Mbps de subida.

Para muchos operadores, el desarrollo de smartphones ha generado un tráfico de datos que se ha disparado en los dos últimos años. Algunas grandes ciudades tienen problemas de saturación en horas punta.

Después del lanzamiento, por parte de TeliaSonera, de la primera red operativa en Suecia en septiembre de 2009, Ericsson ha desplegado la alta velocidad móvil y MetroPCS la opera en EE. UU. (Dallas y Fort Worth, en Texas).

En junio de 2011, la CMT (Comisión del Mercado de las Telecomunicaciones) ha asignado en concurso las licencias 4G LTE (*Long Term Evolution*).

 Tenga en cuenta que la CMT publica regularmente información en su sitio web <http://www.cmt.es>.

Orange se ha hecho con las frecuencias de los 900 MHz por 443 millones de euros y ha obtenido 10 MHz.

Yoigo ha obtenido 30 MHz de las frecuencias de los 1800 MHz por 300 millones de euros. Telefónica ha adquirido 20 MHz en la banda de 800 MHz, 10 MHz en la banda de 900 MHz y 40 MHz de la banda de 2,6 GHz por un total de 668 millones de euros. La segunda fase de concesión de licencias es en 2015.

En verano de 2014, se ha comenzado a desplegar la nueva versión **4G+** (LTE-Advanced), y quedan pocos smartphones que no soporten 4G.

Samsung ha sido uno de los primeros en implementar 4G+ en sus smartphones:



Samsung Galaxy S5 LTE-A (4G+)

Del mismo modo, se comercializan módems portátiles para permitir la conexión con 4G+ desde cualquier dispositivo:



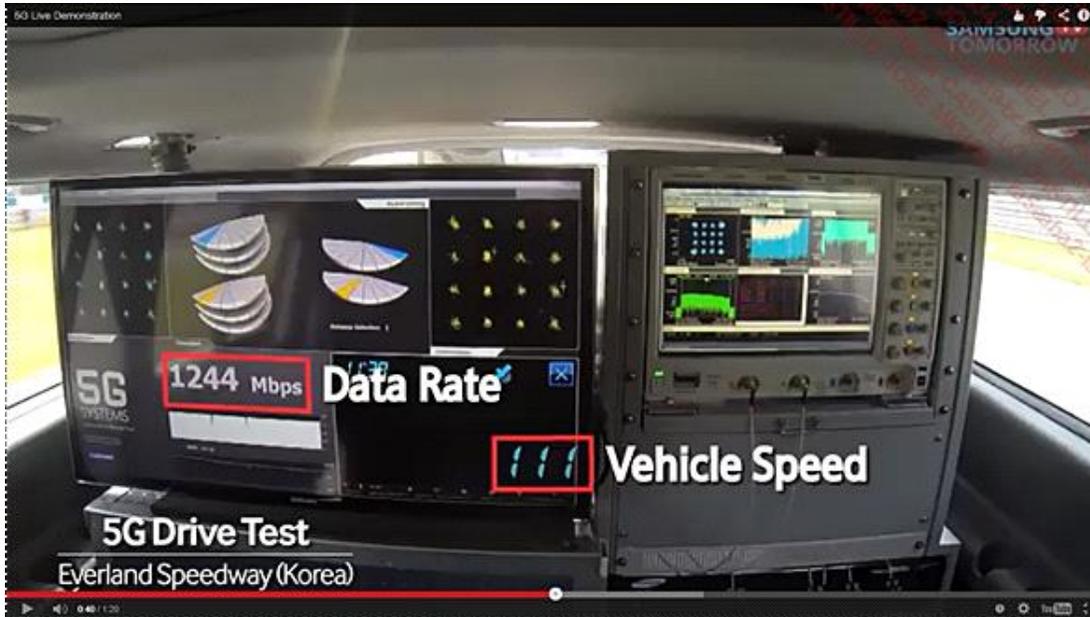
Módem Huawei R215

Finalmente, en el país más conectado del mundo, Corea del Sur, el **5G** ya está en marcha.

De hecho, este país es uno de los más avanzados en tecnología móvil. Ya dispone de una red sólida 4G y allí se ubican las empresas Samsung y LG Electronics.

Este deberá invertir más de mil millones de euros para poder disponer de 5G en el año 2020.

El 13 de noviembre de 2014, Samsung publicó un vídeo con ensayos en los que se obtenían velocidades de 1,2 Gbps a 110 km/h. Al parar, la velocidad obtenida alcanzaba los 7,5 Gbps.



Record de velocidad realizado por Samsung en 5G a 110 km/h

8. Fiber Distributed Data Interface (FDDI)

Esta tecnología de red metropolitana (MAN) fue desarrollada por los pioneros de la Sperry Corporation en 1982. Fue propuesta a ANSI, y después estandarizada por ISO con el número 9314. Es compatible con LLC e incluye una capa inferior MAC.

a. Principios

FDDI define una comunicación en un anillo doble con testigo contrarrotatorio, uno para cada sentido.

Originalmente, la velocidad es de 2*100 Mbps, a través de una fibra óptica monomodo o multimodo. Esta velocidad aumentó a 2*155 Mbps en FDDI-2, luego a 2*2,5 Gbps con la evolución *FDDI Follow On LAN* (FFOL).

➤ FDDI 2 funciona de manera síncrona, lo que permite transmisiones multimedia y transmisión de voz.

Hay alternativas que utilizan el par trenzado, como la *Copper Distributed Date Interface* (CDDI).

La distancia máxima entre dos conexiones es de 2 km con una fibra multimodo y de 60 km con una fibra monomodo.

b. Topología

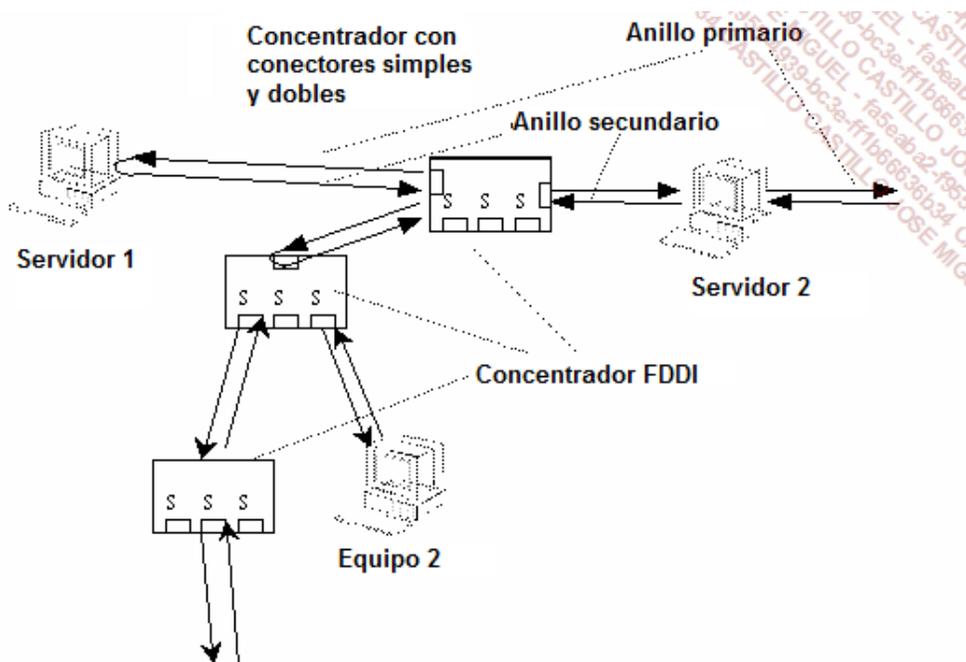
La red FDDI puede conectarse directamente al ordenador o a un *hub*.



Conectores FDDI

Se pueden utilizar diferentes métodos de conexión, con diferentes tipos de conector:

- A, doble conexión en cada anillo.
- B, doble conexión en un único anillo.
- C, concentrador conectado al doble anillo para conectar las estaciones B.



Conexión FDDI en árbol con tolerancia a fallos

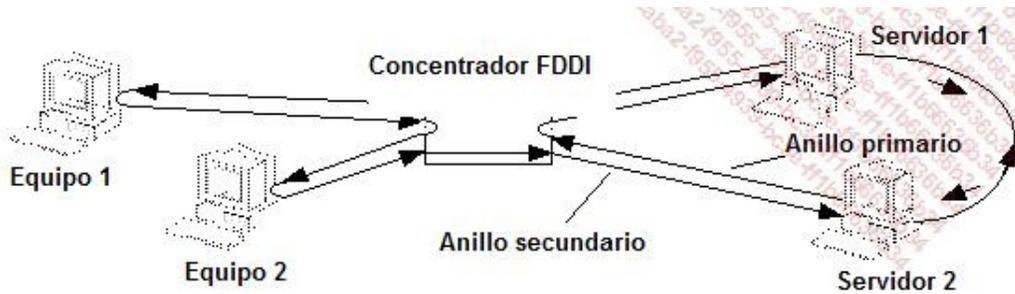
c. Funcionamiento

FDDI está calculada para redes de tipo MAN, pero puede ser utilizada como medio de interconexión entre LAN (troncales). El LLC utiliza sus servicios y su tecnología es cercana al 802.5.

Mejora el paso de testigo. En cuanto se emite el testigo, se produce una disminución de carga que permite repetir las tramas de equipo en equipo y poner al testigo en última posición para que las máquinas lo puedan registrar. De esta manera, agregan sobre el testigo su propia información, que irá al final de cada ciclo de tramas.

La arquitectura de dos anillos con sentidos contrarios de circulación permite retomar el ciclo automáticamente en

caso de fallo, y de esta manera se garantiza una fuerte tolerancia a fallos en los equipos.



En FDDI es posible disponer de 500 estaciones en un anillo de 100 km de perímetro. Cuando cada estación participa de la tolerancia a fallos en caso de corte, el reinicio del ciclo aumenta el tamaño total del anillo a cerca de 200 km y a 1000 máquinas.

Cada equipo se comporta como un repetidor, función que es necesaria cada 2 km.

Después de una vuelta al anillo, una trama puede presentar distintos estados que permitirán a su emisor saber si la recibieron correctamente. El estado inalterado indica que el destinatario no vio pasar la trama. En cualquier otro caso, el receptor modifica la trama para indicar que la copió o que la rechazó, debido a un error de CRC o por falta de espacio en el *buffer* de recepción del destinatario de la trama.

La codificación completa es de tipo NRZI - 4B / 5T.

9. Asynchronous Transfer Mode (ATM)

ATM nació de la fusión de la telefonía y la informática. El ATM Forum mantiene esta tecnología desde 1991.

a. Principios

ATM debía permitir la transmisión de voz, vídeo y datos en redes de gran tamaño y a grandes velocidades. Para ello fue necesario adoptar un método que permitiera una velocidad no variable (asincronismo) para los flujos multimedia.

Se implementó una conmutación de paquetes de tamaño fijo y reducido, las celdas. Esta conmutación de celdas permite velocidades de 155 Mbps, 622 Mbps o más. Se acopla con una clase de conmutación de nivel físico por instauración de circuitos virtuales multiplexados.

ATM se utiliza tanto como troncal en redes de tamaño relativamente pequeño como en las redes WAN.

b. El enlace de celdas

ATM es una forma de enlace de celdas (*Cell relay*). Una celda ATM es una trama fija, de 53 bytes, de los cuales 48 son de datos.

Este valor es una prueba de isocronismo para el muestreo. Como hemos visto anteriormente, se prevé que la digitalización de la voz contenga un byte cada 125 microsegundos. Se necesitan 6 milésimas tanto para completar como para vaciar una celda del receptor. Entre estas dos acciones, el transporte no debe excederse demasiado en el tiempo.

En una red ATM, cada equipo emite continuamente, aunque las celdas estén desocupadas. Esta tecnología

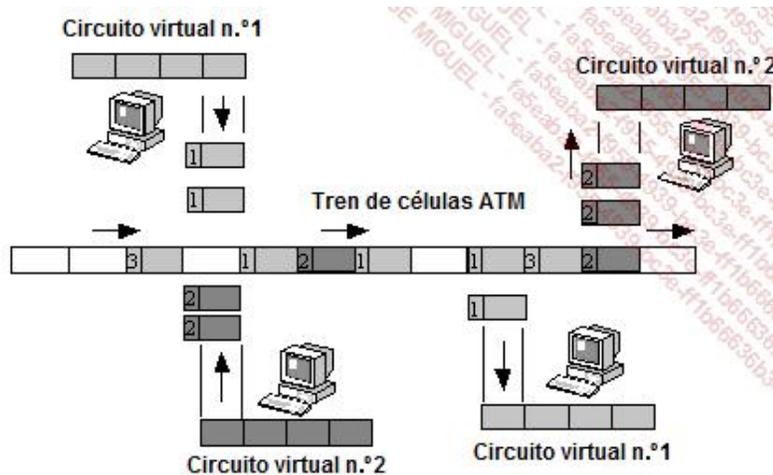
también tiene en cuenta los soportes de comunicación, los considera como una clase de memoria física durante el enrutamiento de las celdas.

Las celdas son de dos tipos y sus encabezados son diferentes:

- *Network Node Interface* (NNI), entre dos nodos de red.
- *User Network Interface* (UNI), para la entrada y salida de la red.

c. Regulación del tráfico

El protocolo ATM integra una asignación dinámica del ancho de banda, gracias a un multiplexado temporal asíncrono.



Gracias a este multiplexado, la conexión se efectúa a dos niveles. Las vías virtuales (VCI - *Virtual Channel Identifier*) son dos secciones identificadas por un número constante de VCI. En el interior de estas vías, los caminos virtuales (VPI - *Virtual Path Identifier*) aseguran las conexiones estáticas semipermanentes.

Las conmutaciones se realizan a dos niveles:

- En los paneles de conexión, cuya única función es la conmutación de señales.
- En los conmutadores, que actúan sobre VCI y los VPI.

Una celda de supervisión permite el establecimiento del circuito virtual. Utiliza una tabla de enrutamiento y determina la relación entre las vías de entrada y salida para cada nodo. Las relaciones se resumen en una tabla de conmutación.

d. Tipos de servicios

Con ATM se han definido cuatro clases:

- A, emulación de circuito de velocidad constante y flujo isócrono.
- B, emulación de circuito de velocidad variable y flujo isócrono.
- C, emulación de paquetes con conexión.
- D, emulación de paquetes sin conexión.

Los servicios que se asocian a estas clases:

- *Constant Bit Rate* (CBR), para voz y vídeo no comprimidos.
- *Variable Bit Rate* (VBR), para voz y vídeo comprimidos.
- *Available Bit Rate* (ABR), para la transmisión de datos e interconexión de redes locales.
- *Unspecified Bit Rate* (UBR), para la transmisión de datos.

Los tres primeros servicios implican parámetros de calidad de servicio y tipo de tráfico.

e. Topología y velocidades

La tecnología ATM abarca casi por completo desde la capa 1 a la 3 del modelo OSI.

El nivel físico, que se encarga de adaptar las celdas al soporte, se divide en dos partes:

- *Transmission Convergence* (TC) se encarga de la implementación.
- *Physical Medium* (PM) transmite en la red física.

Se definen tres modos de funcionamiento en la red física:

- *Plesiochronous Digital Hierarchy* (PDH), que utiliza las infraestructuras existentes.
- *Synchronous Digital Hierarchy* (SDH), que a largo plazo debería ser el único que se utilice.
- Celdas, para las redes privadas, en las que estas se pueden transmitir directamente sobre el soporte de transmisión.

A nivel de Conexión de datos, la propia capa ATM se encarga del transporte de las celdas de extremo a extremo, con la conmutación y el multiplexado necesarios. Soluciona los problemas de congestión, controla el flujo y adapta, si es preciso, la velocidad, insertando o eliminando celdas vacías. ATM es capaz de implementar la calidad del servicio.

Además, *ATM Adaptation Layer* (AAL) hace la conexión entre ATM y las capas superiores. Se divide en:

- *Segmentation And Reassembly* (SAR).
- *Convergence Sublayer* (CS).

AAL gestiona la segmentación y el montaje de la información, así como el tratamiento de errores y la recuperación de la señal del reloj.

Las velocidades son las descritas en el apartado de las líneas dedicadas, que pueden utilizar ATM, como las tecnologías DSL. Entre ellas podemos encontrar las velocidades europeas E1, E2, E3 y E4. Las redes ATM de velocidades muy altas utilizan el modo de funcionamiento SDH.

10. Synchronous Optical Network (SONET) y Synchronous Digital Hierarchy (SDH)

a. Antecedentes

Desde sus comienzos, la transmisión telefónica de voz ha sufrido dos dificultades importantes:

- Un elevado número de comunicaciones simultáneas deben transitar por un mismo soporte físico.
- La interconexión de líneas entre grandes operadores debe soportar grandes diferencias de velocidad.

En los años setenta se utilizaba una tecnología llamada *Plesiochronous Digital Hierarchy* (PDH), que tuvo que evolucionar para poder cumplir con las crecientes demandas de transferencia. Progresivamente, fueron surgiendo otras necesidades. Para responder a estas demandas, los operadores tuvieron que adaptar sus ofertas, sobre todo en cuanto a la flexibilidad.

Para responder a esta problemática nacieron nuevos enfoques, *Synchronous Optical Network* (SONET) en Europa y *Synchronous Digital Hierarchy* (SDH) en EE. UU.



La UIT-T estandarizó la propuesta de SDH.

b. Las características de SDH

Las ventajas de SDH con respecto a PDH son importantes:

- Facilidad de inserción de una trama en el interior de un multiplex.
- Velocidades elevadas que se reservan para el mantenimiento y el seguimiento del grupo.
- Posibilidad de evolucionar alcanzando altas velocidades (la limitación es solo técnica).
- Arquitectura de red mejor adaptada a la seguridad de las comunicaciones.
- Mayor modularidad de los equipos.

Desde mediados de los años ochenta, se emprendieron numerosos trabajos para permitir que los operadores de telecomunicaciones pudieran hacer evolucionar sus infraestructuras de red óptica.

Finalmente, en 1988 se llegó a acuerdos internacionales que permitieron coincidir en una serie de recomendaciones para el SDH:

- G. 707: velocidad binaria de SDH.
- G. 708: interfaz de nodo de red para SDH.
- G. 709: estructura de multiplexado síncrona.

Luego se añadieron otras normas para enriquecer el SDH.

c. Velocidades

Con SONET, los niveles se clasifican en *Optical Container* (OC). Algunos ejemplos de velocidades son:

- OC-1, a 51,84 Mbps.
- OC-3, a 155,52 Mbps.
- OC-9, a 466,65 Mbps.
- OC-24, a 1,244 Gbps.
- OC-48, a 2,488 Gbps.

Las velocidades SDH se codifican como *Synchronous Transport Module* (STM):

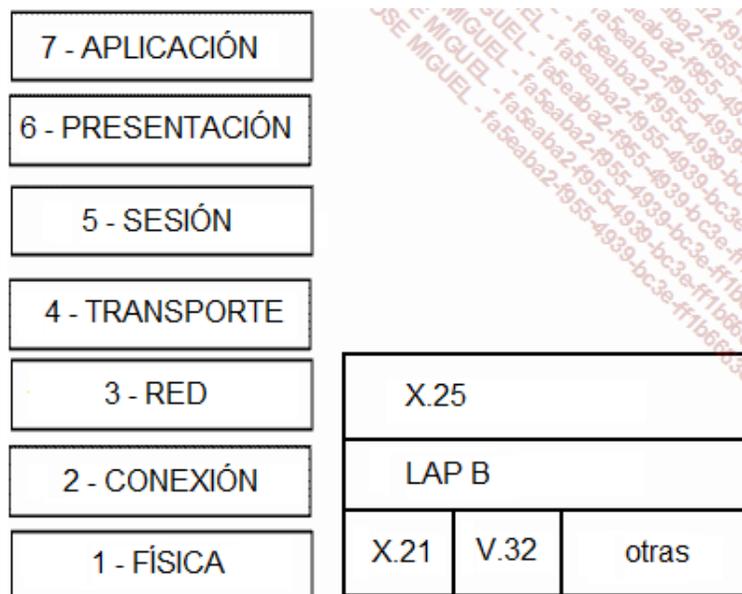
- STM-1, a 155,52 Mbps.
- STM-3, a 466,65 Mbps.
- STM-8, a 1,244 Gbps.
- STM-16, a 2,488 Gbps...

➤ La velocidad OC-3/STM-3, cercana a 155 Mbps, a menudo se relaciona con ATM.

11. X.25

La especificación X.25 del CCITT data de 1974. Originalmente, se trataba de conectar terminales distantes con grandes sistemas, para lo que se utilizaba la RTC, pero resultó poco fiable.

Previa al modelo OSI, esta especificación describe un conjunto de protocolos integrados en una red de conmutación de paquetes por circuitos virtuales.



Comparación del modelo OSI y X.25

La especificación X.25 se extiende sobre las tres primeras capas del modelo OSI y se basa en el protocolo *Link Access Protocol B* (LAP B). Hay numerosos estándares disponibles para la capa física.

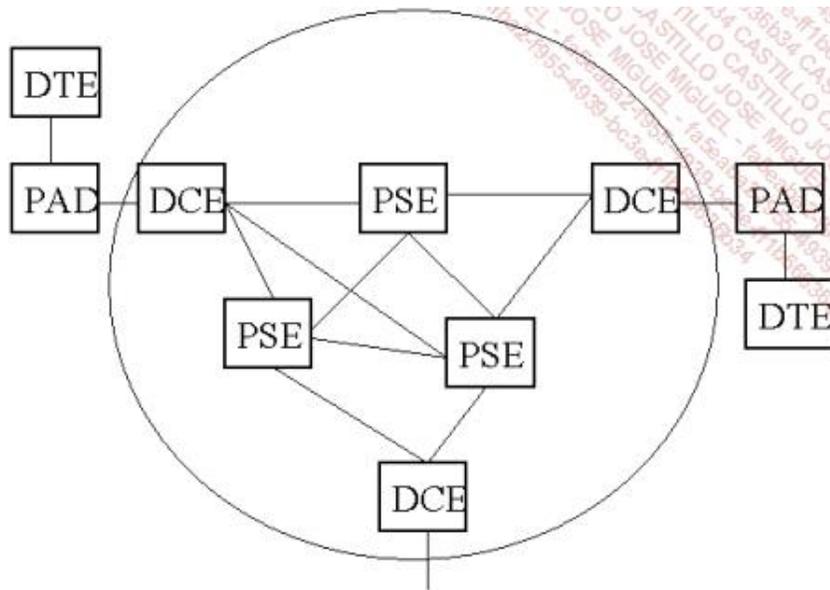
Asimismo, X.25 integra la identificación de paquetes y un reconocimiento de estos. Este protocolo administra, para cada circuito virtual, la recuperación de errores y el control de flujo. La arquitectura física de X.25 inicialmente fue pensada para la red telefónica existente, que no era muy fiable. Sin embargo esta corrección de errores asociada al control de flujo retrasa considerablemente X.25.

Sus velocidades no se adaptan a la conexión de una LAN. A pesar de todo, X.25 constituye una norma utilizada internacionalmente. Se desarrolla sobre todo en países que carecen de infraestructuras modernas.

En una red X.25, el equipo terminal (ETTD o DTE) se identifica con relación a ETCD o DCE. El conmutador se

denomina *Packet Switching Exchange* (PSE).

El *Packet Assembler/Disassembler* (PAD) permite que un terminal no X.25 se conecte a la red, Iberpac en España. También es posible acceder a la red X.25 a través de la RTC (definida por la norma X.32).



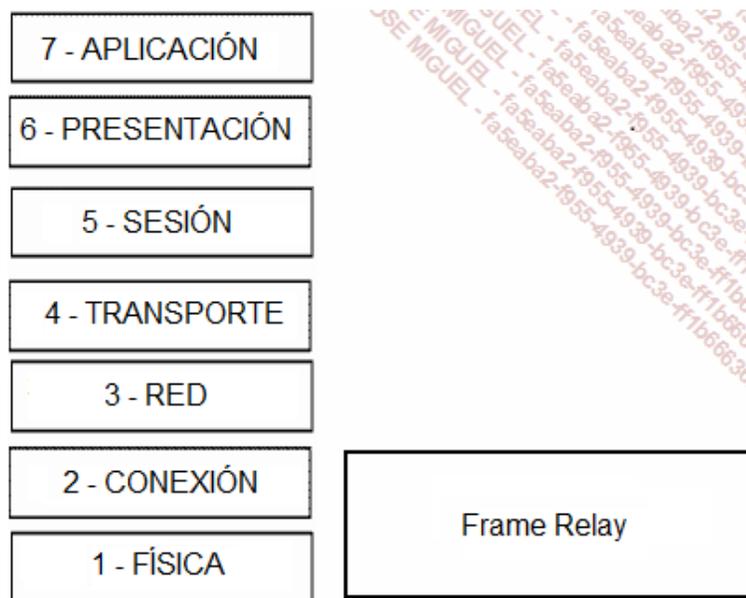
Ejemplo de arquitectura X.25

Por ejemplo, Telefónica ofrece, con Iberpac, la conexión directa a X.25 cuyas velocidades fluctúan entre los 9,6 Kbps y los 1920 Kbps. Permite una conectividad universal con todos los abonados, así como con todos los usuarios de una red pública X.25 conectada al nodo de tránsito internacional.

También puede realizarse el acceso a través de la red telefónica conmutada, RTC, o de una conexión a la red digital de servicios integrados (RDSI).

12. Frame Relay

El enlace de tramas (*Frame relay*) se concibió para simplificar los protocolos, transportando una trama de extremo a extremo, sin tener que acceder al nivel de red en los nodos intermedios. El direccionamiento y el enrutamiento se realizan en la capa 2 del modelo OSI. Los paquetes de la capa de red se encapsulan directamente, cualquiera que sea el protocolo, con lo que se logran velocidades relativamente elevadas.



Comparación del modelo OSI y Frame Relay

Aunque el Frame Relay se suele cualificar de conmutación rápida de paquetes (*Fast Packet Switching*), realmente realiza una conmutación en la trama (capa 2 OSI), para lo que debe ponerse en marcha un circuito virtual sobre esta capa, cuyo papel también es la recuperación de fallos. En cada extremo (EOP - *Elements Of Procedure*) se hace un reconocimiento y una re inserción, así como el control de flujo.

Para llegar a la red Frame Relay, los datos se transportan mediante una línea dedicada (LD) hacia un conmutador Frame Relay.

13. MPLS

a. Origen

El MPLS o *Multiprotocol Label Switching* significa literalmente conmutación multiprotocolo por etiqueta.

Su origen se encuentra principalmente a causa del funcionamiento de IP y de su modo no conectado. En cada router cruzado, el datagrama toma una decisión de enrutamiento que no tiene por qué ser necesariamente previsible por el emisor. El peso asignado a una ruta (número de routers cruzados, coste inverso de la banda ancha utilizada o ponderación definida por el administrador, etc.) permite tomar decisiones correctas.

Sin embargo, los proveedores de acceso tenían la necesidad de controlar mejor la banda ancha y de optimizar el flujo basado en la calidad del servicio bien definido.

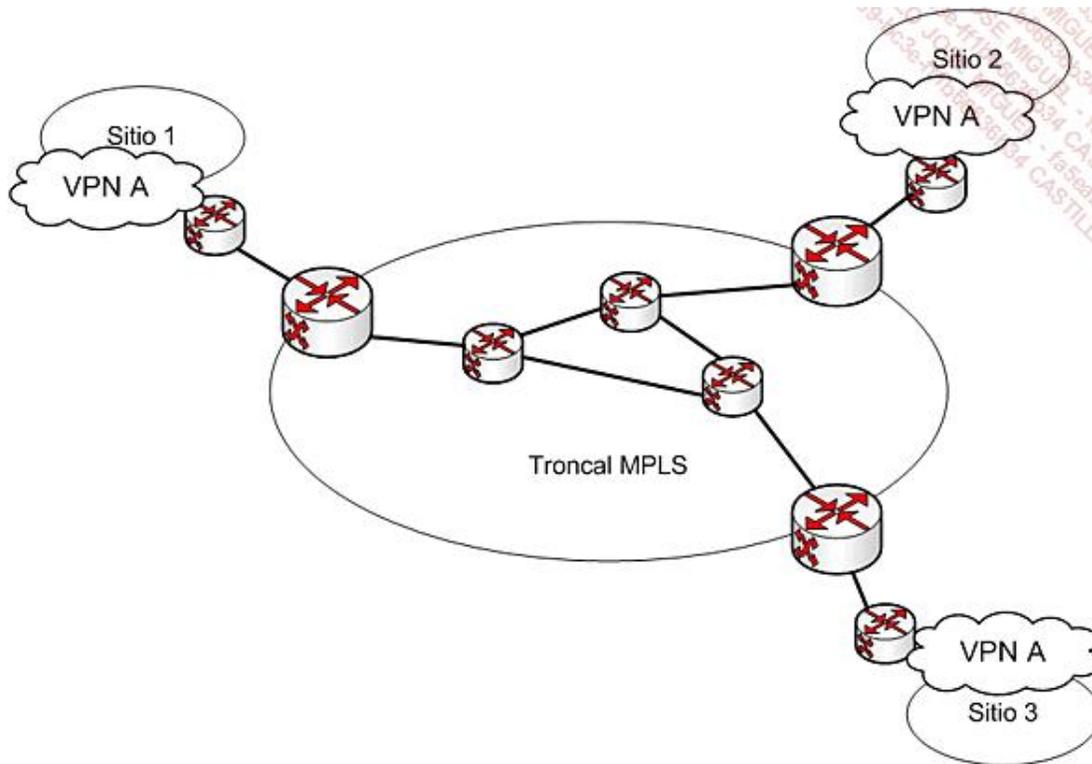
Por lo tanto, se centró la atención en la implementación:

- De un modo conectado para el protocolo de nivel 3.
- Del establecimiento de una ruta bien definida que corresponda al ancho de banda deseado.
- Del control del flujo correspondiente que permita gestionar un servicio para los clientes del operador.

MPLS apareció entonces para responder a estas necesidades.

A menudo, se utiliza para interconectar los centros de una misma empresa por medio de una VPN (*Virtual Private*

Network o red privada virtual):



VPN de capa 3 MPLS

b. Principios

Multiprotocol Label Switching (MPLS) es una norma reciente, propuesta por el IETF que combina tanto el transporte de nivel 3 como el convertido en IP y la conmutación de nivel 2 utilizada en la Frame Relay o ATM.

Los servicios de capa 3 OSI que ofrece la norma MPLS son bastante importantes, ya que se puede disponer de muy buenas velocidades. Gracias a su flexibilidad, permite integrar distintos protocolos de la capa OSI 3, incluyendo, por supuesto, IPv4 e IPv6. El MPLS, al no estar limitado por la tecnología de nivel 2, se muestra independiente de la infraestructura y puede utilizar los servicios ATM, Frame Relay, SDH, Ethernet...

MPLS se concibió para implementar fácilmente una buena calidad de servicio (*QoS - Quality of Service*) durante los transportes, y para todo tipo de datos. Como ATM, el MPLS utiliza la adición de flujo reduciendo al máximo el número de conexiones con el fin de ganar eficacia.

c. El circuito virtual y el etiquetado

MPLS atenúa la falta de visibilidad del transporte IP, en el cual solamente se controla el salto siguiente. En primer lugar, la transmisión de datos se efectúa sobre una ruta (*LSP - Label Switched Path*), una especie de circuito virtual establecido antes de la transmisión, desde la fuente hasta el destino. Los nodos intermedios, que participan en la implementación de este circuito, se llaman *Label Switched Router* (LSR). Administran una tabla de conmutación llamada *Label Switching Forwarding Table* (LSFT), que puede ser más compleja, pero más eficaz que una tabla de enrutamiento «clásica». Los nodos de acceso a la red MPLS son los *Label Edge Router* (LER).

Cuando un paquete llega a una red MPLS, se le asigna una etiqueta (label). Puede insertarse entre la capa 2 y el encabezamiento de la capa 3, o en el campo de enrutamiento del nivel 2 en función de los protocolos utilizados. Esta etiqueta está en función del grupo o de la clase de flujo *Forwarding Equivalent Class* (FEC) del paquete.

También a los clasificados como FEC se les trata de igual manera, recorriendo el mismo camino.



Generalized MPLS (GMPLS) extiende este concepto introduciendo otras diferenciaciones como referencia. Así, ya no es solo el paquete el que se sitúa, sino también un número de longitud de onda, un periodo...

d. Enrutamiento

En MPLS están previstos dos tipos de enrutamiento.

En el primero, los nodos de salida administran el enrutamiento gracias al protocolo *Label Distribution Protocol* (LDP). Los nodos intermedios *Label Switched Router* (LSR) utilizan los procedimientos y mensajes LDP, para construir el camino salto a salto. Los protocolos habituales de enrutamiento de Internet, como el *Open Shortest Path First* (OSPF) o *Routing Internet Protocol* (RIP), generalmente se utilizan para la gestión de las tablas de conmutación LSFT.

El enrutamiento explícito (*Explicit Routing*) permite utilizar los recursos de la red de la manera más eficaz posible. Permite realizar la ingeniería de tráfico, distribuyéndose por el conjunto de la red para evitar las congestiones. No se trata, como sucedía con el enrutamiento IP, de determinar el camino más corto, sino el más eficaz.