



TEMA 7: REDES DE ÁREA EXTENSA (WAN)



INDICE TEMA 7

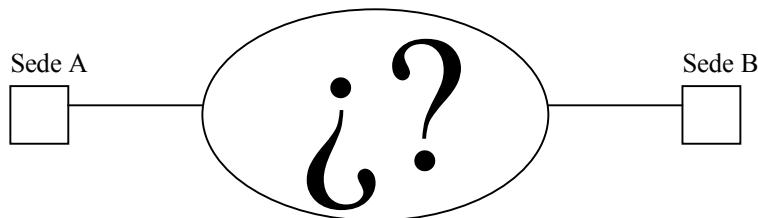
1 ESTABLECIMIENTO DE ENLACES PUNTO A PUNTO.....	1
1.1 CONEXIONES TEMPORALES A TRAVÉS DE RTB O RDSI	1
1.2 ACCESOS PERMANENTES CON ADSL O CON CABLEMÓDEM	2
1.3 ALQUILER DE LÍNEAS DE TRANSMISIÓN PARA USO EXCLUSIVO	3
1.4 LÍNEAS DE TRANSMISIÓN EN PROPIEDAD	3
1.5 ALQUILER DE CIRCUITOS VIRTUALES PERMANENTES O TEMPORALES	3
1.6 RED PRIVADA VIRTUAL (VPN)	4
2 CIRCUITOS DE TRANSMISIÓN PARA REDES DE ÁREA EXTENSA.....	6
2.1 LÍNEAS DE TELEFONÍA ANALÓGICA	6
2.2 CABLEMÓDEM	7
2.3 ACCESO A TRAVÉS DE LA RED ELÉCTRICA	8
2.4 BUCLE DE ABONADO VÍA RADIO (WLL)	9
2.5 CIRCUITOS CON MODULACIÓN POR CODIFICACIÓN DE PULSOS (PCM)	10
2.6 LÍNEAS RDSI	11
2.7 MULTIPLEXACIÓN DE CANALES PCM.....	12
2.8 JERARQUÍA DIGITAL SÍNCRONA (JDS)	13
3 SERVICIOS DE RED DE ÁREA EXTENSA	17
3.1 X.25	17
3.1.1 Capa Física.....	18
3.1.2 Capa de Enlace.....	18
3.1.3 Capa de Paquete (de Red)	18
3.1.4 Acceso de terminales en modo carácter.....	19
3.1.5 Interconexión de redes.....	20
3.2 FRAME RELAY	20
3.2.1 Protocolos de enlace en Frame Relay	21
3.2.2 Función de los gestores de tramas.....	22
3.2.3 Control de congestión	22
3.2.3.1 Estrategia de rechazo	23
3.2.3.2 Prevención de congestión	24
3.2.3.3 Recuperación de congestión	24
3.3 ATM	25
3.3.1 Arquitectura ATM	26
3.3.2 Conexiones ATM.....	27
3.3.3 Celdas ATM	27
3.3.4 Comutadores ATM	28
3.3.4.1 Comutador por división de tiempo	29
3.3.4.2 Comutador por división de espacio.....	30
1 LA RED CORPORATIVA DE LA UNIVERSIDAD DE OVIEDO	33
2 BIBLIOGRAFÍA	45



1 ESTABLECIMIENTO DE ENLACES PUNTO A PUNTO

Los enlaces a larga distancia necesarios para comunicaciones punto a punto o para crear la estructura de una red de área extensa, se pueden conseguir de diferentes formas (y con costes diferentes) en función de las necesidades del usuario u organización que las precise.

Este capítulo se va a centrar en cómo resolver las necesidades de un usuario para establecer una conexión entre dos dispositivos de su propiedad situados en puntos más o menos distantes geográficamente. En todo caso, suponemos que la solución de una red local no es viable. El ejemplo típico sería el de una empresa con la necesidad de conectar entre sí dos computadores que se encuentran en ciudades diferentes. Por lo tanto, aquí no se hace hincapié, aunque se menciona, el caso de una empresa o usuario que busque una conexión a la red Internet para poner en ella sus contenidos o acceder a la información que en ella se puede encontrar.



1.1 Conexiones temporales a través de RTB o RDSI

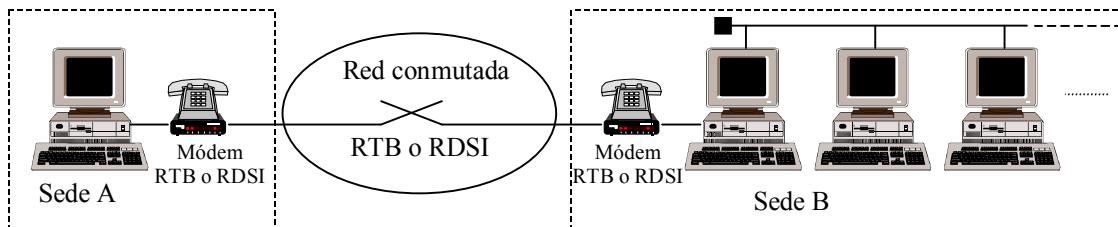
Cuando los intercambios de datos se realizan de forma muy esporádica, no resulta rentable mantener una comunicación permanente entre los sistemas informáticos. La alternativa es el establecimiento de una conexión temporal por medio de una línea telefónica convencional de la Red Telefónica Básica (RTB) o de una línea digital de la Red Digital de Servicios Integrados (RDSI).

En el primer caso es necesario el uso de un módem telefónico en ambos extremos de la línea, pudiendo alcanzar velocidades de transmisión de la información de hasta 33,6 kbps. o 56 kbps. dependiendo de la calidad de las líneas telefónicas. La facturación se realiza en función de la duración de la llamada telefónica que se establece con la marcación del número de abonado telefónico del destinatario, del horario en que se realiza y del tipo de esta (local, provincial, nacional, etc.), a parte de los costes fijos mensuales o bimestrales por disposición y mantenimiento de la línea. Actualmente las compañías telefónicas ofrecen la posibilidad del uso de "bonos" o sistemas de "tarifa plana" sobre todo para el acceso a Internet (siempre a través de un proveedor de acceso a Internet, ISP, *Internet Service Provider*).

RDSI se presenta para el usuario en dos modalidades de acceso: *básico* y *primario*. La primera se suele utilizar para establecer conexiones temporales de voz o de datos. Los costes para una llamada a través de la RDSI son similares, la forma de tarificación es la misma y solo varía la cuantía de los costes fijos. Mediante un "módem RDSI", que no es un módem analógico, si no que simplemente codifica los datos para su transmisión a través de la línea digital, el usuario dispone en la modalidad más económica de uno o dos canales digitales full-duplex a 64 kbps. La velocidad de transmisión de la información se puede



incrementar a veces mediante la modificación del contrato con la compañía suministradora a múltiplos de 64 kbps. con el aumento de costes correspondientes. El establecimiento de la comunicación se realiza de la misma forma que con una línea telefónica convencional ya que el disponer de una línea RDSI permite sustituir a la anterior si se dispone de un teléfono digital RDSI, de tal manera que el usuario utiliza igualmente un número de abonado telefónico convencional. Además, a través de la línea RDSI se pueden utilizar simultáneamente el teléfono y la conexión de datos.



El acceso RDSI primario no permite conexiones temporales, si no que se trata de un acceso punto a punto permanente a 2 Mbps. hacia otro usuario o hacia un servicio de red de área extensa. Por ello su descripción no corresponde a este apartado.

En cualquiera de los casos, el uso de la RTB o la RDSI es para el usuario un simple medio de transmisión, con distintas velocidades posibles, que le permiten la conexión a otros usuarios o redes públicas utilizando el protocolo que en cada caso sea preciso.

1.2 Accesos permanentes con ADSL o con Cablemódem

Para el acceso a una red de datos como Internet, muchos usuarios desean poder disponer de una conexión permanente, barata, con un ancho de banda aceptable y que no impida el uso independiente del teléfono. Este tipo de acceso es posible mediante un *Módem ADSL* a través de una línea telefónica convencional o mediante un *Cablemódem* a través de una red de televisión por cable. Se utilizan fundamentalmente para acceder a los servicios de los proveedores de acceso a Internet (ISP).

Sin embargo, estos accesos no se suelen utilizar para el establecimiento de enlaces punto a punto a larga distancia o de redes de área extensa privadas, salvo que se establezca un sistema de Red Privada Virtual como el que se describirá más adelante.

El acceso por ADSL proporciona al usuario un canal privado con el ISP independiente en velocidad y uso del acceso del resto de usuarios del ISP. En cambio, con el módem de cable todos los usuarios de una zona geográfica comparten el medio de transmisión hacia el ISP (constituido de un sistema de cableado coaxial con amplificadores de señal). La velocidad de acceso de cada usuario depende del número de usuarios de la zona conectados en cada momento y el uso que estén haciendo de la red. Además la privacidad de cada conexión podría verse comprometida.

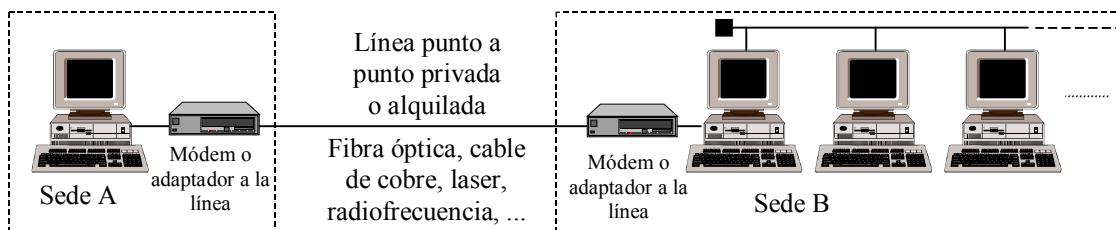
El acceso ADSL puede ser conducido hacia otros servicios, a parte del de un ISP. Por ejemplo, hacia la red de la empresa en la que trabaja el usuario (habitualmente esto se hace combinando la tecnología ATM), proporcionando así al usuario un acceso punto a punto con la red de su empresa.



1.3 Alquiler de líneas de transmisión para uso exclusivo

Cuando la frecuencia del intercambio de datos aconseja al usuario mantener una conexión permanente punto a punto, una de las opciones es el alquiler una línea de transmisión a una compañía que disponga de ellas. No sólo las compañías telefónicas disponen de estas líneas, sino que otros tipos de compañías que tienen facilidades para el tendido de ellas. Este es el caso de empresas eléctricas, de distribución de gas, ferrocarriles, radiodifusión, etc., que normalmente realizan tendidos para la transmisión de datos paralelos a sus instalaciones para su propio uso o el alquiler a terceros.

Las velocidades de transmisión de la información y los dispositivos de interfaz para la conexión a esas líneas dependen de la tecnología y características de las mismas. La facturación suele ser fija e independiente del volumen de datos transmitidos. Permite al usuario el disponer de un canal de capacidad fija para su uso exclusivo, por lo que se ha de valorar bien su necesidad. Si su uso no es muy intensivo, puede dar lugar a un desaprovechamiento del canal en períodos de baja actividad y no justificar el coste del mismo.



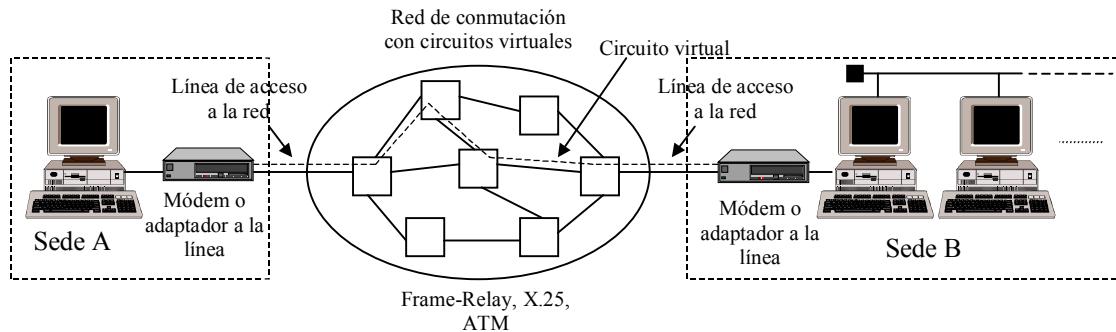
1.4 Líneas de transmisión en propiedad

Cuando el usuario puede realizar el tendido de sus propias líneas de transmisión ha de tener en cuenta la inversión inicial y los costes de mantenimiento de esas líneas que estará en función de su capacidad y tecnología. Estos costes son justificables si la frecuencia y volumen de datos es grande. Generalmente se trata de compañías como las mencionadas anteriormente, que en muchas ocasiones, a parte del uso propio, alquilan esas líneas a terceros.

1.5 Alquiler de circuitos virtuales permanentes o temporales

Los operadores de transmisión de datos suelen ofrecer servicios avanzados de red mediante sus redes de comutación X.25, Frame-Relay, ATM, etc. Esto permite ofrecer al usuario un ancho de banda mínimo para sus conexiones temporales o permanentes y la posibilidad de aumentar ese ancho de banda si lo necesita y la carga de la red en esos momentos lo permite. El aprovechamiento de las líneas de transmisión es mayor, ya que al ser compartidas por múltiples usuarios, los períodos de inactividad se reducen al mínimo.

La velocidad de la línea de transmisión que une al usuario a la red suele ser bastante superior al ancho de banda contratado, ya que este suele tener un mayor peso en el coste de la conexión. Los parámetros de facturación pueden ser tremadamente complejos, añadiendo en general a los costes fijos (conexión, velocidad de la línea de transmisión y ancho de banda contratado), costes variables en función del volumen de tráfico, horario de acceso, exceso sobre el ancho de banda contratado, etc.

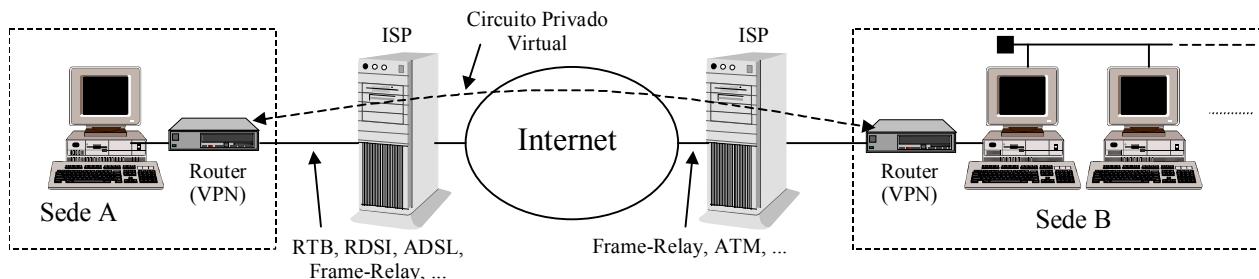


1.6 Red Privada Virtual (VPN)

Una alternativa más económica que la contratación de circuitos virtuales, es la utilización de una red pública de conmutación de paquetes, como Internet, para establecer las conexiones punto a punto de larga distancia de la empresa.

En el transporte de los datos pueden intervenir múltiples nodos pertenecientes a diferentes empresas y organizaciones públicas o privadas. Por ello, hay que poner especial interés en mantener su privacidad en su viaje a través la red mediante el uso técnicas de cifrado. Estas técnicas son también recomendables en el caso de los ejemplos descritos en los apartados anteriores, especialmente, cuando no exista confianza en el medio de transmisión o las compañías que le dan soporte.

El acceso de cada extremo a la red Internet se hará a través de un proveedor de servicio (ISP), hasta el que se llega mediante alguno de los métodos habituales: RTB, RDSI, ADSL, Cablemódem, Frame-Relay, etc. Desde el ISP el acceso a la red Internet se realiza a través de alguna organización conectada a la misma normalmente mediante conexiones Frame-Relay o ATM. Es responsabilidad del ISP que estas últimas tengan el ancho de banda adecuado para dar un servicio de calidad a todos sus clientes, conectados temporal o permanentemente a la red Internet.



El elemento final que conecta cada sede a la línea de transmisión que va hacia el ISP, suele ser un encaminador (router) con capacidad para establecer una *Red Privada Virtual* (VPN, *Virtual Private Network*). Esto consiste en crear un *Círculo Privado Virtual*, es decir, una conexión punto a punto con el encaminador del otro extremo, a través del que viajan todos los datos que se intercambian entre ambas sedes. Los datos viajan normalmente codificados y obviamente se pueden conectar más de dos sedes, manteniendo varias conexiones punto a punto.

De esta manera, los nodos de ambos extremos del enlace tienen la sensación de



pertenecer a la misma red, a la vez que esta resulta prácticamente invisible para el resto del mundo. Los inconvenientes son la imposibilidad de garantizar un ancho de banda mínimo e incluso el servicio de los enlaces punto a punto, sometidos a los avatares del estado de las conexiones y el tráfico de la red Internet.



2 CIRCUITOS DE TRANSMISIÓN PARA REDES DE ÁREA EXTENSA

Como se ha visto en el apartado anterior existen distintas tecnologías para la transmisión física de los datos que permiten el establecimiento temporal o permanente de enlaces punto a punto. Con estos enlaces se pueden establecer conexiones simples entre dos sistemas o crear múltiples conexiones punto a punto entre sistemas para la organización de una estructura de red de área extensa.

En este apartado se describen las características técnicas (medio físico, codificación de la señal, etc.) de los medios de transmisión más habitualmente utilizados para establecer los enlaces punto a punto descritos anteriormente.

2.1 Líneas de telefonía analógica

El modo más elemental para establecer un enlace temporal a larga distancia es utilizando una línea telefónica de la RTB. Originalmente se trataba del establecimiento de un enlace por conmutación de circuitos mediante la marcación del número del abonado de destino, pero en la actualidad las tecnologías de conmutación, sobre todo entre centrales de la RTB han cambiado mucho. Sin embargo, no ha cambiado tanto la línea que une al abonado con la central más próxima de la RTB. Se trata de un par de cables trenzados que debido a los sistemas de repetidores analógicos (amplificadores de banda) que se emplean para amplificar la señal que porta la voz del usuario, apenas tiene un ancho de banda de 4 KHz en el mejor de los casos, estando generalmente limitado entre 300 y 3000 Hz.

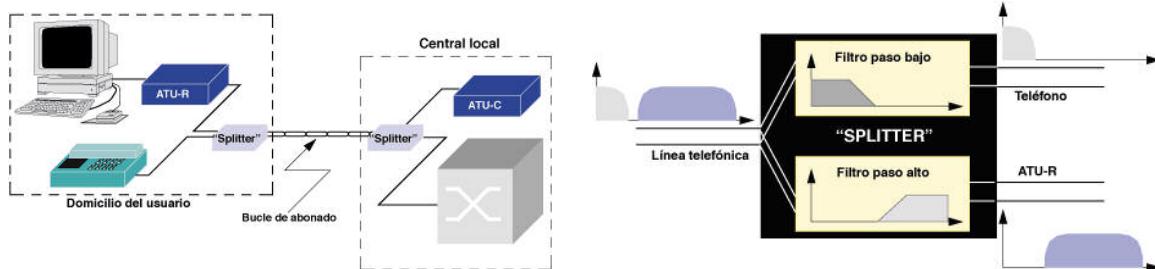
El no poder bajar de 300 Hz impide que señales digitales en banda base, que establecen generalmente valores de tensión continua en la codificación, puedan viajar por estas líneas. Por lo tanto se ha de utilizar un equipo modulador-demodulador, *módem*, para enviar y recibir señales a través de ellas. La mejora en la tecnología de estos equipos con la utilización de varias frecuencias portadoras sobre las que se modula la información digital combinando la modulación de fase y de amplitud, permite la transmisión de información full-duplex a velocidades de hasta 33,6 y 56 kbps según la calidad de la línea, en un medio que apenas permite transmitir 600 elementos de señal por segundo (baudios) sobre cada frecuencia portadora.

Si la distancia del abonado a la central telefónica más próxima no es muy grande (unos 5 km sino se limita más por otras circunstancias) y la central telefónica está suficientemente modernizada, el usuario podrá optar por soluciones RDSI o ADSL, ya que para esas distancias no son necesarios los amplificadores de banda en la línea de cobre. Para distancias mayores, se precisará algún sistema de amplificación específico que normalmente no es rentable para las compañías que ofertan el servicio.

ADSL (*Asymmetric Digital Subscriber Line* o *Línea de Abonado Digital Asimétrica*) consiste en transmitir conjuntamente voz y datos modulados a distintas frecuencias sobre la línea telefónica convencional. Ambas transmisiones se separan en la recepción por medio de un filtro (o *splitter*) colocado en ambos extremos de la linea telefónica. El filtro separa las frecuencias correspondientes a la voz (o telefonía convencional) de las frecuencias sobre las que se modulan los datos digitales. Así, cuando se está utilizando el módem ADSL (un módem especial para este tipo de tecnología), se tiene la línea de teléfono



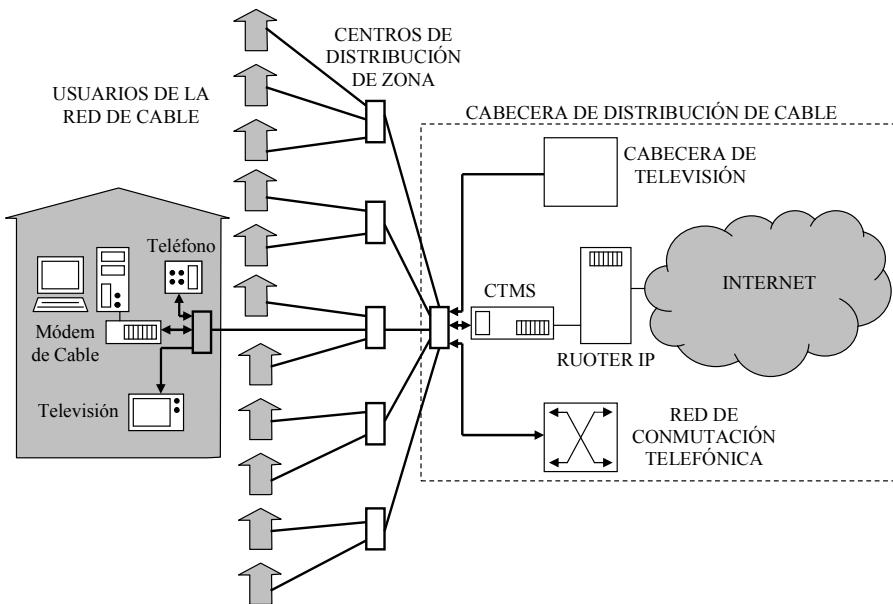
disponible para realizar simultáneamente llamadas de voz. Además la conexión del usuario a través del módem ADSL puede mantenerse las 24 h del día.



La comunicación que se establece mediante ADSL es asimétrica, ya que la velocidad en bits por segundo a la que se transmite la información hacia el usuario es mucho mayor que la que se utiliza en sentido contrario. En la actual red telefónica española, la velocidad de entrada puede llegar hasta 2 Mbps y la de salida hasta 300 kbps, de ahí que sea considerada una tecnología de banda ancha, frente a la actual capacidad de los módem convencionales de enviar y recibir a 56 kbps.

2.2 Cablemódem

La tecnología Cablemódem es ofrecida por las compañías de televisión por cable como alternativa al acceso a la red Internet y, por lo tanto, puede permitir el establecimiento de conexiones punto a punto a través de enlaces privados virtuales (VPN) u otras estrategias.



A través de una red de cable se difunden habitualmente las señales desde la cabecera de distribución de los canales de televisión hacia los clientes, utilizando tantos canales de frecuencia como canales se distribuyen. Los medios de transmisión son fundamentalmente la fibra óptica y el cable coaxial. La primera se utiliza para conectar las centrales de transmisión con los distribuidores de zona y el segundo para llegar desde estos hasta los domicilios de los clientes finales. El resto de ancho de banda de estos cables (el que no se utiliza para la distribución de televisión) se puede utilizar para otros servicios con flujos de información tanto de bajada hacia el usuario como de subida desde el domicilio del usuario.



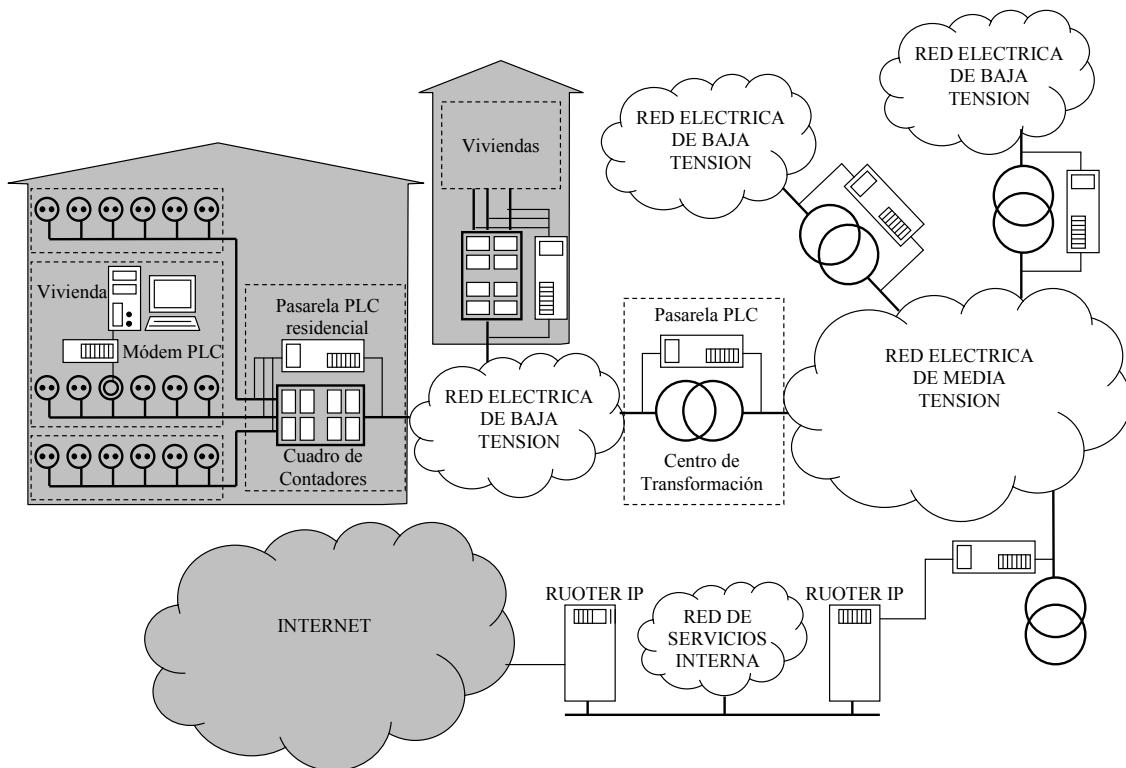
hacia la cabecera, fundamentalmente telefonía y acceso a redes de datos.

El servicio es asimétrico, con una mayor velocidad de datos en la bajada que en la subida. La bajada de datos puede superar los 50 Mbps usando un único canal de frecuencia de 8 MHz (equivalente a un canal de televisión) en la banda comprendida entre los 65 y los 850 MHz con modulación 64-QAM ó 256-QAM. Este flujo de bajada es enviado desde el CMTS (Cable Modem Termination System) y recibido por todos los módem de cable que filtran el tráfico que corresponde a su sesión, por lo que comparten el ancho de banda total. Por lo general, un CMTS tiene capacidad para dar servicio hasta unos 1000 usuarios.

La subida de datos se realiza en un canal de 2 MHz en la banda de frecuencias entre 5 y 65 MHz, con modulación QPSK ó 16-QAM, que proporciona hasta 3 Mbps. Los módem de cable transmiten en ranuras de tiempo reservadas en unos casos o por las que compiten mediante un sistema de contienda en otros, en cuyo caso se pueden producir colisiones. Sin embargo, la transmisión de un módem de cable hacia el CMTS no puede ser escuchada por los demás.

2.3 Acceso a través de la red eléctrica

Las compañías de suministro eléctrico empiezan a ofrecer a sus clientes acceso de banda ancha a Internet a través de la propia red eléctrica. El sistema es comparable al proporcionado por un módem de cable: se utiliza un módem PLC (Power Line Communication) que se conecta a cualquier enchufe de la vivienda o local del usuario, y se comparte el ancho de banda de la red eléctrica de baja tensión a la que se está conectado con el resto de los usuarios.



La tecnología más desarrollada se denomina Powerline. La transmisión se realiza mediante modulación OFDM empleando múltiples bandas de frecuencia entre los 4 y los 21 MHz. No todas esas frecuencias sufren la misma atenuación en los cables eléctricos de

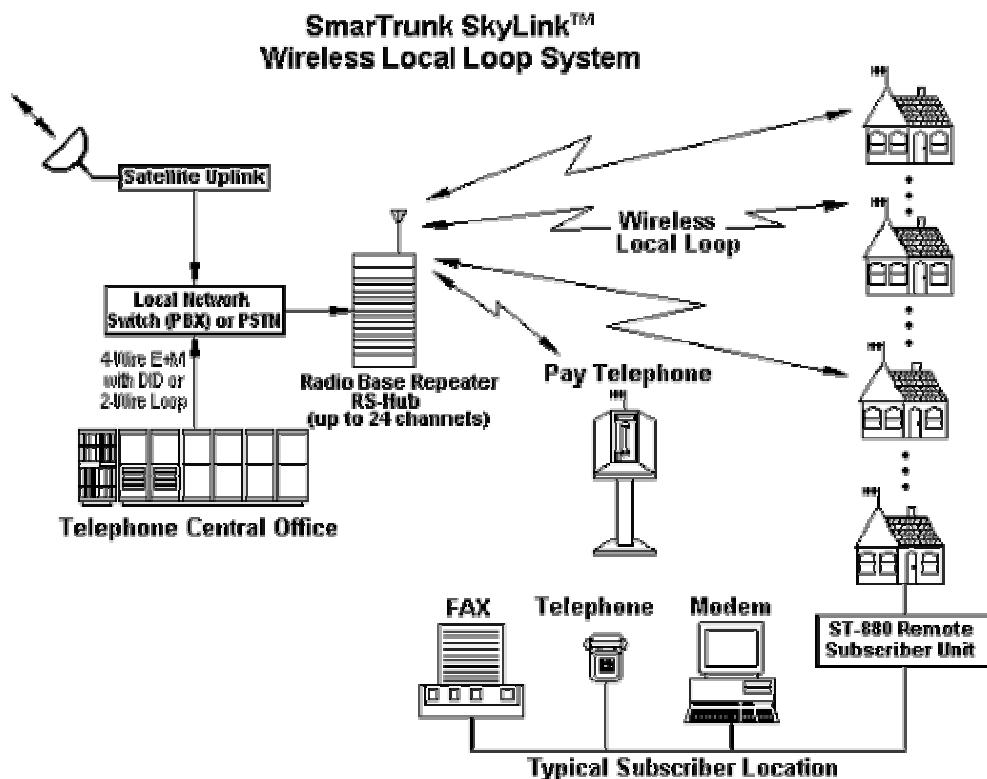


una instalación, e incluso las características de la instalación varían de unos edificios a otros y se ven afectadas por los dispositivos conectados, la longitud de los cables, el número de puntos de conexión, etc. Para superar estos inconvenientes el sistema Powerline monitoriza constantemente la línea de transmisión y suprime o utiliza el envío de señales en determinadas frecuencias según se propaguen o no adecuadamente.

Los mismos principios de la tecnología Powerline pueden aplicarse para establecer una red local de dispositivos a través de los enchufes de la vivienda, pero utilizando frecuencias y modulaciones diferentes.

2.4 Bucle de Abonado Vía Radio (WLL)

El bucle de abonado vía radio, cuya denominación en inglés es Wireless Local Loop (WLL), es el término que se refiere a la distribución del servicio telefónico y de datos por un sistema que utiliza señales de radio para conectar a los abonados a su central telefónica más cercana, en lugar de utilizar los métodos cableados convencionales.

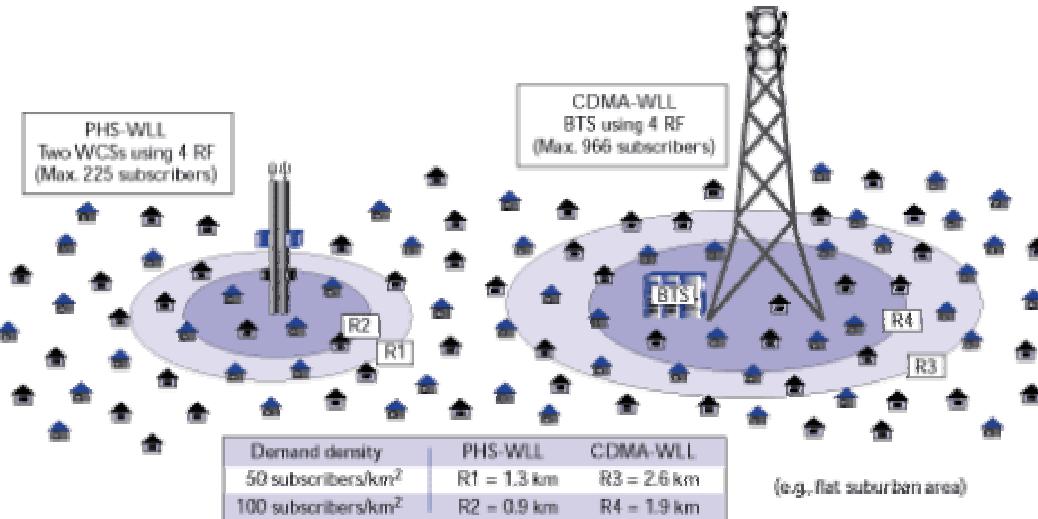


Estos sistemas utilizan ondas radioeléctricas de alta frecuencia permitiendo ofrecer velocidades de transmisión entorno a los 2 Mbps. Tienen un coste de instalación y mantenimiento relativamente bajo y no deben producir interferencias con otros sistemas de comunicación ya existentes como las comunicaciones por microondas o de señales broadcast (TV y Radiodifusión).

Las tecnologías a utilizar para establecer el WLL pueden ser analógicas o digitales, entre las que están las tecnologías tradicionales de telefonía móvil o sistemas inalámbricos como DECT (Digital European Cordless Telecommunication). Actualmente son preferibles las tecnologías digitales y en este campo aún existen muchos sistemas propietarios, sin que se haya impuesto un estándar abierto.



Algunas tecnologías como SkyLink, PHS o CDMA se muestran en las figuras.
(<http://www.smartrunk.com>, <http://www.phsmou.or.jp>)



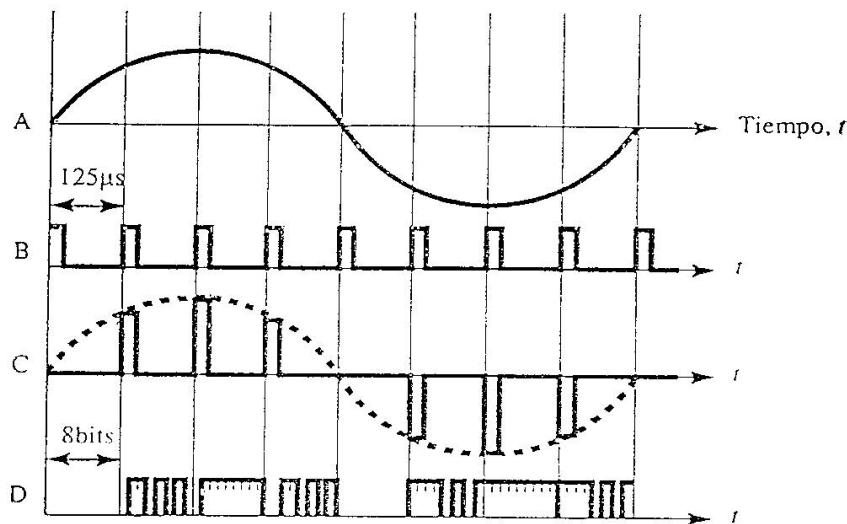
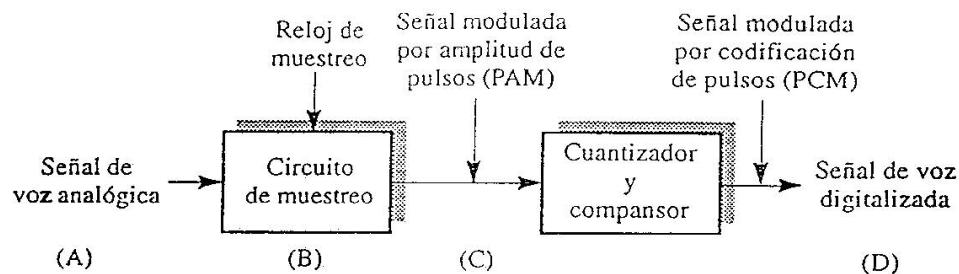
2.5 Circuitos con Modulación por Codificación de Pulso (PCM)

Las compañías telefónicas han optado por las ventajas de la comunicación digital y han ido cambiando sus tradicionales circuitos analógicos para la interconexión de centrales telefónicas por sistemas digitales en los que las señales analógicas se digitalizan para su posterior transmisión. Esto facilita en alguna medida la transmisión de datos digitales, que ya no necesitan ser modulados sobre portadoras analógicas.

La *modulación por codificación de pulsos* (PCM) consiste en muestrear una señal analógica cada 125 µs. Esta frecuencia de muestreo se considera suficiente para reproducir sin problemas la voz humana en una línea telefónica. El valor de cada muestra se codifica en 7 u 8 bits (es decir, en valores de 0 a 127 ó de 0 a 255) que se envían con esa misma cadencia por la línea en banda base. Esto quiere decir que la velocidad de transmisión de información necesaria para un canal de voz en PCM será 8 bits / 125 µs = 64 kbps. Precisamente los canales B de las líneas RDSI están diseñados para ser el soporte de conexiones telefónicas de voz con la ayuda de teléfonos digitales que muestrean y reconstruyen la voz de los interlocutores.

Aparentemente utilizar un canal digital de voz parece una desventaja, ya que una línea analógica con un ancho de banda de 4 kHz es más que suficiente frente a los 28 kHz que se necesitan al menos para transmitir una señal digital a 56 kbps (suponiendo que cada muestra se codifica con 7 bits en lugar de con 8). Sin embargo hay otras ventajas que compensan esta opción:

- Al usar repetidores de señales digitales en lugar de amplificadores de señales analógicas no hay ruido aditivo.
- Las señales digitales se multiplexan en el tiempo (*Time division multiplexing*, TDM) en lugar de en frecuencia (*Frecuency-division multiplexing*, FDM) por lo que no hay ruido de intermodulación.
- La conversión a señales digitales permite el uso de técnicas más eficaces de conmutación.



2.6 Líneas RDSI

La forma más básica en la que se suelen utilizar los canales PCM es la que presentan las líneas RDSI. Las modalidades de acceso RDSI son en principio dos: el *acceso básico* y el *acceso primario* [STALLINGS 97].

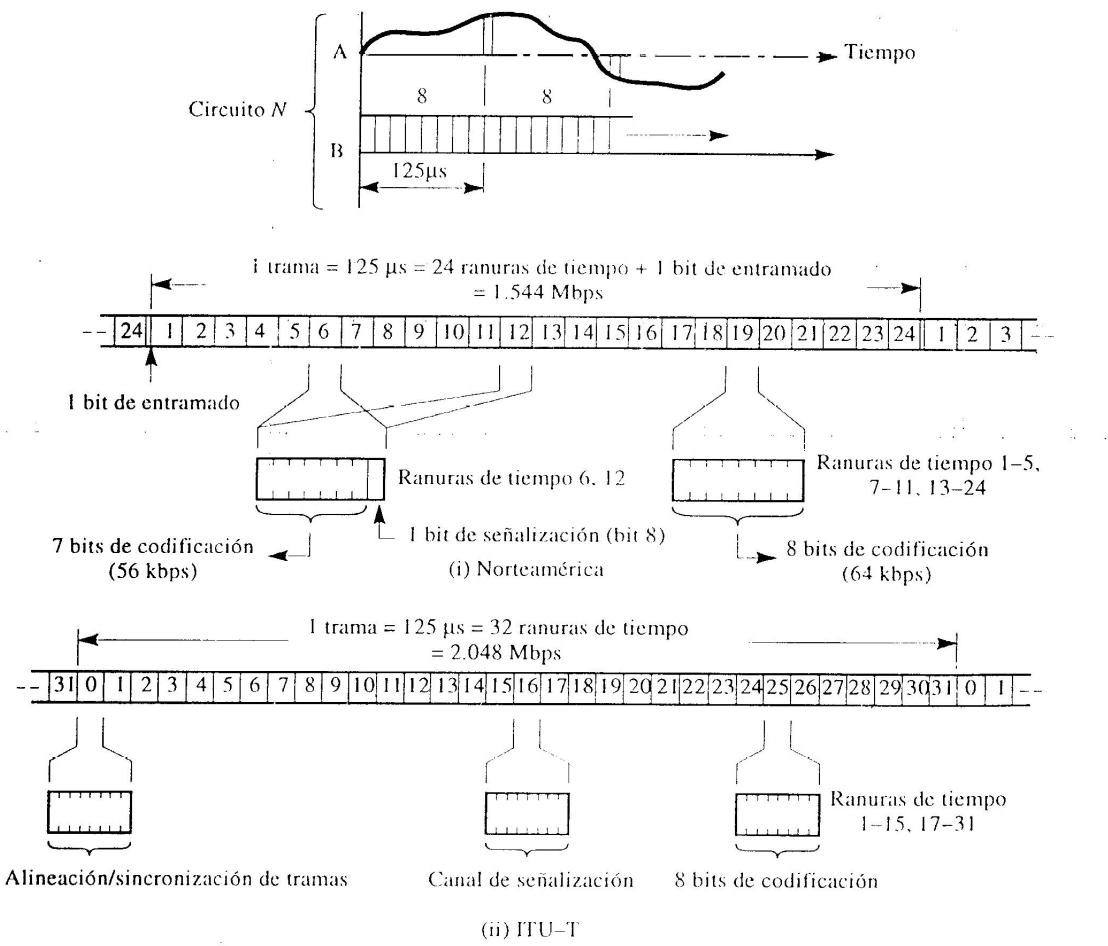
El **acceso básico** consiste en dos canales full-duplex a 64 kbps, denominados de tipo B, y uno a 16 kbps, denominado de tipo D, que suman en total 144 kbps. De todas formas, el usuario puede optar por un uso restringido del acceso básico a un coste más económico. Aún siendo tres canales independientes, se multiplexan sobre uno o dos pares de hilos. Si es un único par se establece un sistema con un transformador híbrido y cancelación de eco para permitir la transmisión en ambos sentidos simultáneamente [HALSALL 95]. En ambos casos las líneas trabajan en realidad a 192 kbps full-duplex, debido a la necesidad de añadir bits para la sincronización y la compensación de niveles de continua en la señal.

El **acceso primario** se adapta de forma diferente a las características de la estructura de la red telefónica en Norte América y en Europa. En Norte América la velocidad de acceso es 1,544 Mbps que, a parte de los canales utilizados para señalización o control, se organiza generalmente para el usuario en 23 canales B y un canal D a 64 kbps multiplexados en el tiempo sobre un único medio físico. En Europa la velocidad es 2,048 Mbps organizados en 30 canales B y un canal D. El acceso primario requiere normalmente que la conexión desde el usuario al proveedor de la línea se realice mediante fibra óptica, aunque existen soluciones mediante cable de cobre.



2.7 Multiplexación de canales PCM

Como se ha mencionado anteriormente las señales digitales se suelen multiplexar en el tiempo (TDM). Tanto en Norte América como en Europa se han desarrollado sistemas TDM síncronos y jerárquicos, pero con diferentes capacidades.



La multiplexación básica de canales PCM en Norte América se denomina T1 o DS1 y consiste en tramas de 193 bits que se transmiten cada 125 µs, lo que significa 1,544 Mbps. En esa trama se transportan los 8 bits de 24 canales de voz correspondientes a una muestra de la señal analógica que codifica cada canal ($8 \times 24 = 192$ bits) más un bit adicional que sirve para la delimitación y sincronización de la trama. En Europa la presentación básica es la agregación de 30 canales de voz con un total 2,048 Mbps. En ambos casos, la capacidad de transmisión de información coincide con la del acceso primario de una línea RDSI.

El resto de capacidades que se reflejan en la tabla siguiente se consiguen mediante la multiplexación de más canales PCM o de canales básicos en otros de velocidad superior. Por ejemplo, cuatro canales T1 se pueden multiplexar en un canal T2. En Europa se ha adoptado la recomendación internacional UIT-T (*Unión Intenacional de Telecomunicaciones-Sector Telecomunicaciones* o, en inglés *International Telecommunications Union-Telecommunications Sector*, ITU-T) que se refleja en la misma tabla. Los valores en Mbps no se corresponden con múltiplos exactos de los canales de voz



soportados, ya que en las distintas tramas se insertan bits o se utilizan los 8 de algún canal para la sincronización y otras funciones de señalización (como establecimiento de llamadas).

Norte América			UIT-T		
Identificación	Nº canales de voz	Mbps	Identificación	Nº canales de voz	Mbps
T1 o DS1	24	1,544	E1	30	2,048
T1C o DS1C	48	3,152	E2	120	8,448
T2 o DS2	96	6,312	E3	480	34,368
T3 o DS3	672	44,736	E4	1920	139,264
T4 o DS4	4032	274,176	E5	7680	565,148

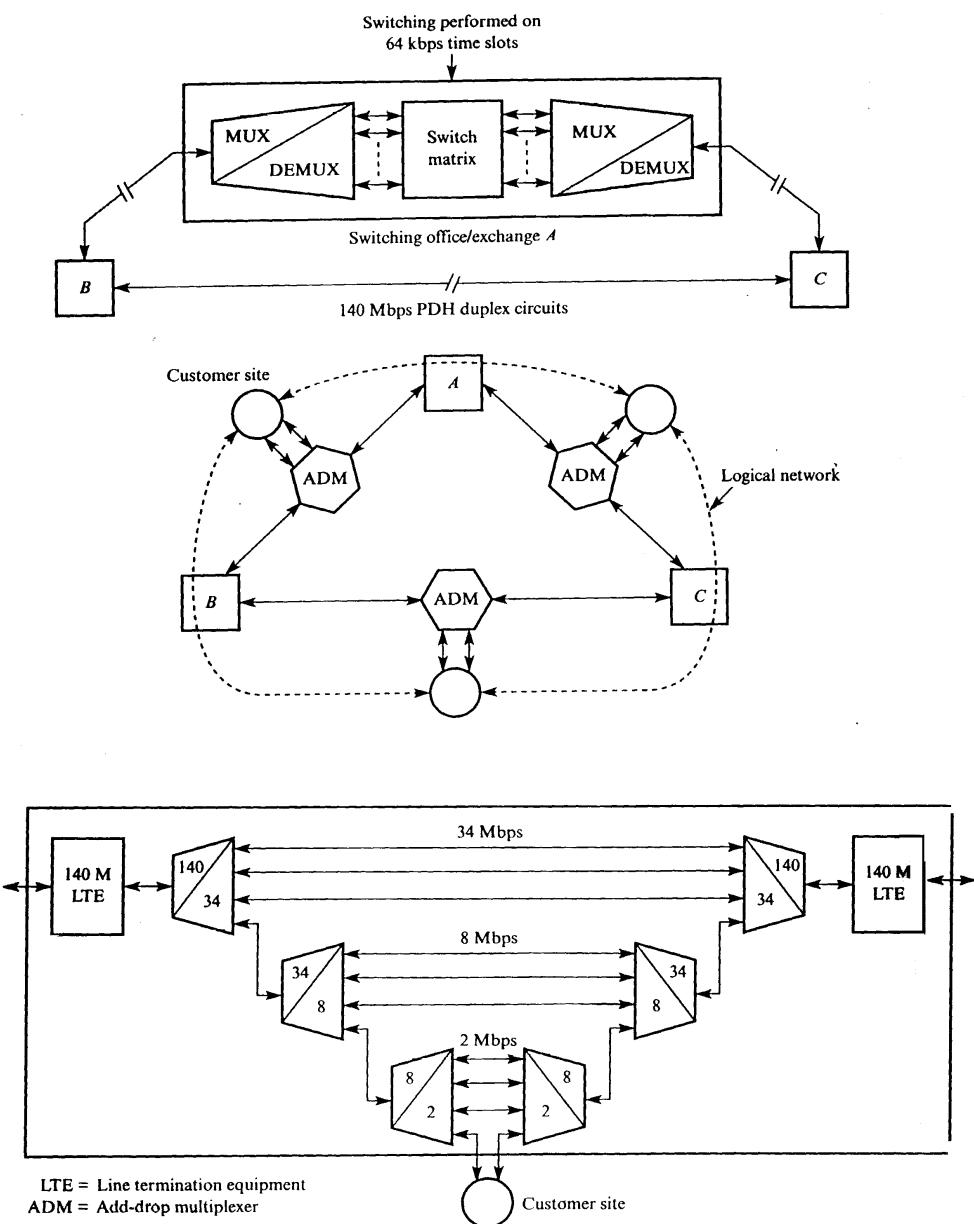
En las líneas TDM las diferencias en la sincronización de los relojes de los canales que se multiplexan dan lugar a que las tasas de las líneas de salida tengan que ser un poco superiores a la suma de las tasas de los canales de entrada, y llenadas con los llamados bits de justificación. A esta técnica se la conoce como *Jerarquía Digital Plesioocrónica (Plesiochronous Digital Hierarchy, PDH)* [HALSALL 95].

Estas líneas se establecen como enlaces punto a punto, lo que puede dar a la red la topología que se quiera. Lo habitual, sobre todo para velocidades altas, es elegir una topología de anillo bidireccional (a veces doble para tener redundancia por si se produjera la rotura de uno de ellos) sobre fibra óptica. En la aplicación telefónica, este anillo une centralitas donde se conmutan los canales de voz de los abonados conectados a cada una de ellas hacia otros abonados de la centralita o hacia el canal correspondiente de la línea multiplexada si el interlocutor está conectado a otra centralita del anillo.

Si un usuario necesita una portadora para transmitir datos entre 2 o más oficinas de su empresa, se le pueden reservar en la portadora que circula por cada segmento del anillo el espacio correspondiente en canales PCM que necesita para la velocidad solicitada. La forma de insertar los datos del usuario en la portadora no es sencilla y la suele llevar a cabo un ADM (*Add-Drop Multiplexer*) situado en la centralita más próxima al o los puntos de acceso correspondientes. Este dispositivo ha de demultiplexar la portadora general hasta el nivel de la portadora del cliente para extraer o introducir en ella los datos de sus comunicaciones. Desde el punto de vista del usuario e independientemente de como estén configuradas las líneas TDM, se dispondrá de una línea de comunicación punto a punto de la velocidad que se haya establecido.

2.8 Jerarquía Digital Síncrona (JDS)

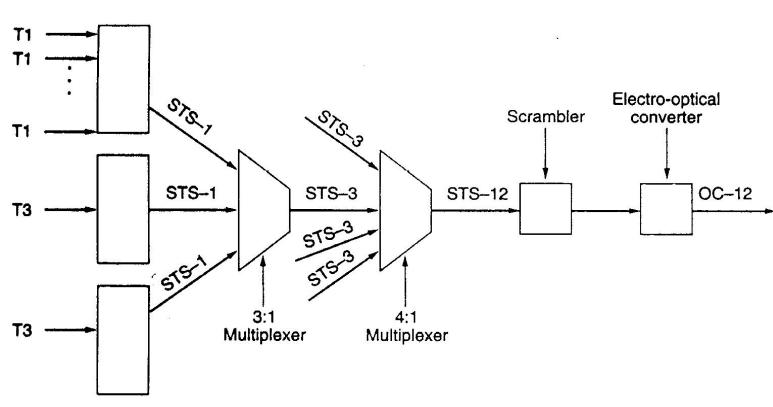
La *Jerarquía Digital Síncrona* (JDS o, en inglés *Digital Synchronous Hierarchy, SDH*) es una recomendación estándar del CCITT (Comité Consultivo Internacional para la Telefonía y la Telegrafía) basado y prácticamente idéntico al estándar que desarrolló la compañía Bellcore bajo la denominación de SONET (*Synchronous Optical NETwork*).



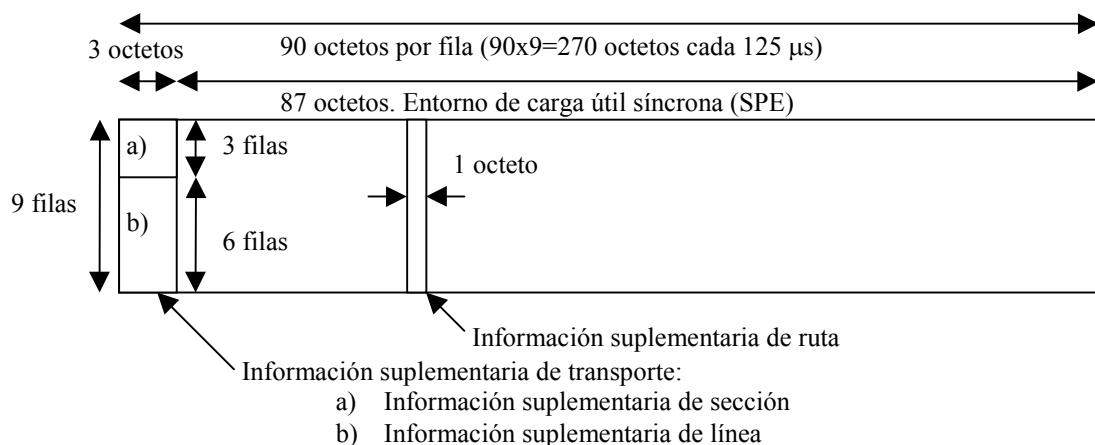
El objetivo de SONET era superar las barreras de velocidad definidas para T4 con un esquema síncrono gobernado por un reloj maestro para evitar los inconvenientes del esquema PDH.

SONET	STS-1	STS-3	STS-9	STS-12	STS-18	STS-24	STS-36	STS-48
JDS		STM-1	STM-3	STM-4	STM-6	STM-8	STM-12	STM-16
Mbps	51,84	155,52	466,56	622,08	933,12	1244,16	1866,24	2488,32

La velocidad básica definida para SONET es de 55,84 Mbps y se denomina STS-1 u OC-1, habiéndose definido también tasas más altas. En JDS el módulo básico es 155,52 Mbps, denominado STM-1. La correspondencia entre ambas especificaciones se refleja en la tabla.



Al igual que en la TDM de la PDH, la señal portadora en SONET o JDS se compone de un conjunto repetitivo de tramas que se transmiten cada 125 µs. Para STS-1 la trama está constituida por 810 octetos. La trama se suele representar como una matriz de 9 filas de 90 octetos que se transmiten fila a fila de izquierda a derecha y de arriba abajo. Los tres primeros octetos de cada fila ($3 \times 9 = 27$) llevan información suplementaria para las líneas y secciones por las que circula la trama. El resto es carga útil que incluye también una columna de información suplementaria relacionada con la ruta. Esta columna no tiene por qué ser la primera, sino que su posición se determina mediante un puntero de la información suplementaria. Cuando se multiplexan tramas, por ejemplo tres STS-1 en una STS-3, se hace octeto a octeto, es decir, el primer octeto en STS-3 es el primero del primer canal STS-1, el segundo es el primero del segundo canal STS-1, el tercero es el primero del tercer canal STS-1, el cuarto es el segundo del primer canal STS-1 y así sucesivamente. En las figuras se muestra la estructura de una trama STS-1 de SONET y de tramas multiplexadas según la nomenclatura de JDS.

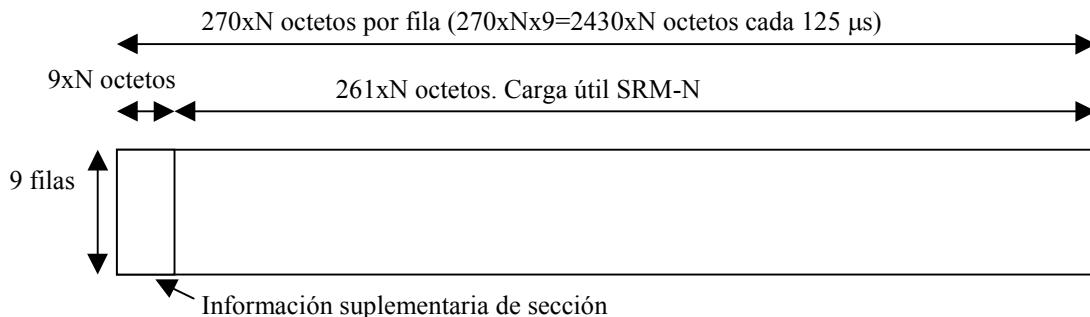


Formato de la trama STS-1.

El contenido de información de cada trama puede servir para transportar múltiples flujos de PDH **tributarios** entre 1,5 y 140 Mbps u otros de distinta naturaleza procedentes por ejemplo de un commutador ATM. Cada uno de esos flujos se transporta en un **contenedor virtual** cuyo inicio no tiene por qué coincidir con el inicio de la trama STS o STM, ni tampoco su tamaño pudiendo ser mayor o menor que ella y, por lo tanto, puede no estar contenido en una sola trama. Es decir, el contenedor virtual puede empezar en cualquier punto de una trama y terminar en cualquier punto de la misma o de alguna de las siguientes.

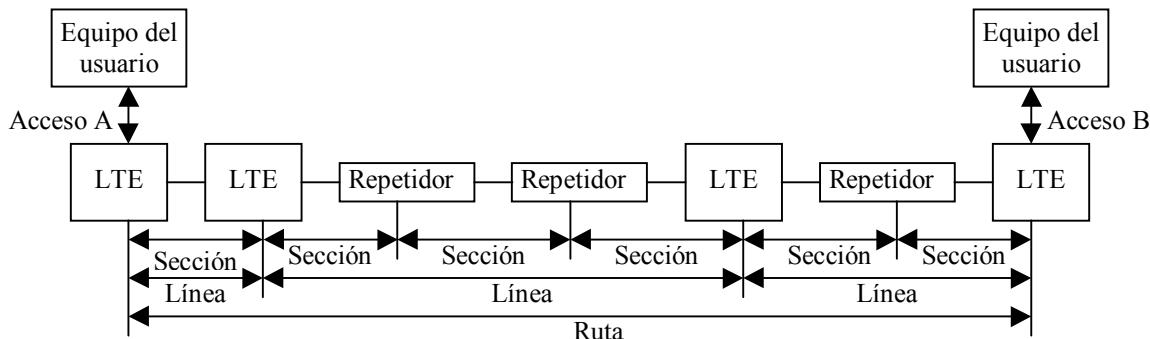


En la estructura de la red SONET/JDS intervienen tres elementos principales: los **comutadores**, **multiplexores**, y **repetidores** todos ellos conectados por fibra óptica. A los comutadores y multiplexores se les denomina Equipos Terminales de Línea (LTE).



Formato de la trama STM-N.

Al tramo de fibra que une dos repetidores, se le denomina **sección**. Al conjunto que une dos LTEs, posiblemente a través de varios repetidores intermedios, se le denomina **línea**. Y finalmente, al recorrido a través de varios repetidores y/o LTEs intermedios, entre el LTE a través del que accede el tributario del usuario en un extremo y aquel por el que accede el tributario conectado con él en el otro extremo, se le denomina **ruta**.



La topología de la red SONET/JDS podría ser la que se quisiera, aunque lo habitual suele ser una topología en anillo bidireccional sobre fibra óptica, como la descrita anteriormente para PDH, donde los nodos que forman el anillo son comutadores o multiplexores (LTEs). Por lo tanto, para el usuario del transporte de datos de la red, esta será un enlace punto a punto transparente para él, al que accederá en cada extremo a través de un ADM adecuado para esta red.



3 SERVICIOS DE RED DE ÁREA EXTENSA

Con el objeto de mejorar el servicio que da al cliente una red de transmisión de datos, se han desarrollado distintos servicios de red para redes de área extensa. Uno de los más utilizados ha sido la red X.25 que en España se denominó red IBERPAC-X.25. Se trata de una red de conmutación de paquetes que ofrece un servicio de red fiable con conexión sobre enlaces, en principio, poco fiables.

La mejora de las tecnologías de transmisión, ha hecho que muchas de las funciones de protocolo de X.25 orientadas a mejorar la fiabilidad del enlace resulten innecesarias, e incluso perjudiciales por hacer más lentas las comunicaciones. Por ello aparece un sistema de conmutación de tramas denominado Frame Relay cuyo protocolo más simplificado se basa en la mejor calidad de las nuevas líneas digitales y, además, realiza la conmutación a nivel de enlace en lugar de a nivel de red como ocurre con X.25. Frame Relay consigue superar la velocidad de X.25 en al menos un orden de magnitud.

Posteriormente se ha desarrollado el Modo de Transferencia Asíncrono (ATM, *Asynchronous Transfer Mode*) donde se realiza conmutación de celdas. Conceptualmente es similar a Frame Relay ya que las celdas ATM son básicamente tramas de pequeño tamaño. La ventaja de ATM está en su funcionalidad que permite alcanzar velocidades varios ordenes de magnitud superiores a Frame Relay.

En este capítulo se realiza una introducción a las bases de cada uno de estos sistemas de conmutación en su aplicación al soporte de redes de área extensa.

3.1 X.25

Aunque X.25 se refiere a una especificación que define la interfaz entre un usuario y una red de conmutación de paquetes como se verá más adelante, bajo esta denominación se conocen las propias redes de conmutación de paquetes que dan soporte a esos usuarios. El desarrollo de la red X.25 en España la llevó a cabo desde 1983 Telefónica, denominándola IBERPAC-X.25. Fue la sucesora de IBERPAC-RSAN que desde 1971 era la red de conmutación de paquetes existente fundamentalmente para los clientes bancarios y que requería del desarrollo de aplicaciones propias bastante costosas. El desarrollo original de la red se basó en nodos de conmutación multiprocesador Intel 8086, con velocidades de acceso de los usuarios que variaban entre los 50 bps y los 64 kbps. Los nodos de conmutación estaban unidos entre sí mediante líneas a 16 y 64 kbps. Tanto los nodos de conmutación como la velocidad de las líneas de acceso e interconexión se fueron mejorando con el tiempo, de hecho, también la recomendación X.25 sufrió revisiones desde su primera definición por el CCITT en 1976, en los años 80, 84, 88, 92 y 93.

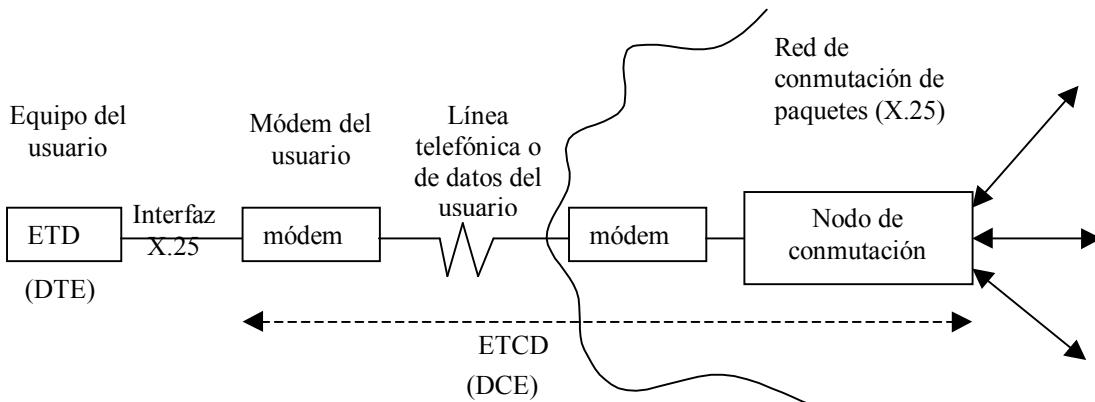
La recomendación X.25 especifica las funciones de tres capas que coinciden con las tres inferiores del modelo OSI: Física, Enlace y Red, esta última denominada en X.25 capa de Paquete. En ella se define el intercambio de información entre un Equipo Terminal de Datos (ETD o en inglés DTE) y el Equipo Terminal del Circuito de Datos (ETCD o en inglés DCE) de la red de conmutación de paquetes más próximo al usuario. Hay que advertir que en X.25 se entiende como ETCD al nodo de la red de conmutación de paquetes más próximo al usuario, no exclusivamente al módem que utiliza este, aunque para el usuario, su interfaz con la red puede estar perfectamente representada por su



módem.

3.1.1 Capa Física

La capa física en la interfaz está definida por el protocolo X.21 que fue pensado para un enlace completamente digital entre el ETD y el nodo de conmutación más próximo. Sin embargo la falta de disponibilidad de estos enlaces hizo que se generalizara el uso de X.21bis que recoge el uso de módem síncrono según las recomendaciones V.24 y V.28 que son en realidad equivalentes a la norma RS-232 de la EIA. En resumen la interfaz física más generalizada para el acceso a una red X.25 en una conexión serie síncrona RS-232 entre el equipo del usuario y su módem.



3.1.2 Capa de Enlace

La capa de enlace se encarga de la transmisión fiable de datos a través del enlace físico mediante la transmisión de secuencias de tramas. La capa de enlace estándar es el LAPB (*Protocolo Equilibrado de Acceso al Enlace*) que es un subproducto del protocolo HDLC y utiliza su formato de trama, aunque no todas las funciones que este tiene. Las tramas transportan paquetes X.25 generados por la capa superior entre el usuario y el nodo de la red de conmutación al que está conectado o entre dos nodos de la red.

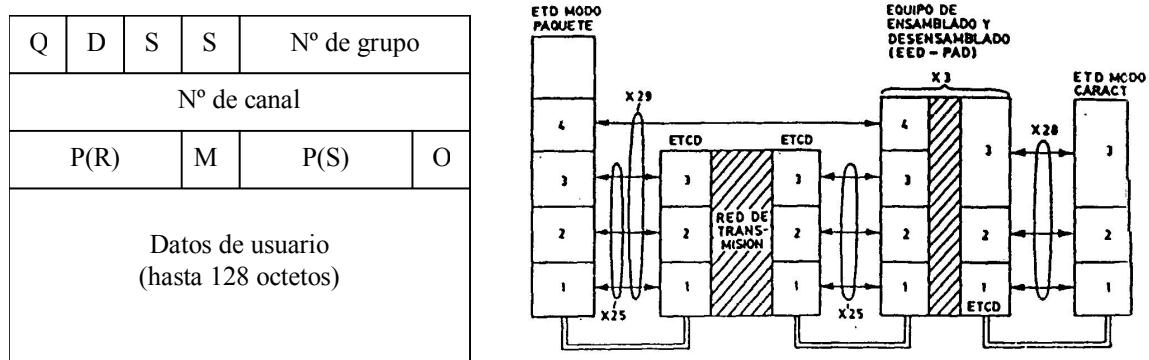
De todas formas, LAPB proporciona un enlace con conexión libre de errores y de duplicados sobre la línea que une al usuario con el primer nodo de conmutación de la red. Si los enlaces punto a punto entre cada pareja de nodos de conmutación se realizan también con LAPB, el control de flujo y de errores se hará también en cada uno de esos enlaces. Esto implica, por ejemplo, que la retransmisión de los datos que van en una trama errónea de un enlace se hará sólo en ese enlace, y no desde el punto de origen de los datos.

3.1.3 Capa de Paquete (de Red)

Esta capa se basa en el establecimiento de circuitos virtuales que pueden ser *temporales* o *permanentes*. Los primeros se establecen mediante una *llamada virtual* que provoca la actualización de las tablas de encaminamiento de los nodos de la red para dar servicio a ese circuito virtual temporal y se liberan una vez finalizado el intercambio de datos borrando las entradas de ese circuito en las tablas de encaminamiento. Los circuitos virtuales permanentes transportan datos como los anteriores pero no es necesario el proceso de llamada y liberación ya que son fijados mediante la configuración de los nodos de la red por tiempo indeterminado.



Existen básicamente seis formatos diferentes de paquetes X.25 para tres funciones distintas: transporte de datos, control de las llamadas virtuales (establecimiento del circuito virtual) y control de flujo y reinicio. Para cada función existen dos modelos de paquete diferente, en función de que se utilicen para numerar los paquetes números de secuencia de 3 bit o de 7 bits, en cuyo caso la cabecera del paquete es más grande. Como ejemplo se representa el paquete de datos con números de secuencia de 3 bits:



El bit Q es generalmente “0” en los paquetes X.25, se emplea para distinguirlos de los paquetes procedentes de un Equipo Empaqueador-Desempaqueador de Paquetes que se describirá más adelante. El bit D es un “1” si el paquete requiere acuse de recibo. Los bits SS indican la extensión de los campos de numero de secuencia, “01” significa 3 bits y “10” significa 7 bits. Los campos Nº de grupo (4bits) y Nº de canal (8 bits) definen en conjunto el identificador del circuito virtual al que pertenece el paquete. P(R) y P(S) son campos de 3 bits para los números de secuencia de paquetes recibidos y enviados respectivamente. El bit M indicará si llegarán más datos y el bit O es “0” para indicar que se trata de un paquete de datos y un “1” para otros tipos de paquetes.

3.1.4 Acceso de terminales en modo carácter

En el desarrollo de la red X.25 hubo de especificarse un modo de acceso para terminales (ETD) que trabajaban en modo carácter ya que el acceso definido en principio es sólo para terminales en modo paquete, es decir, que son capaces de construir paquetes X.25. Determinados dispositivos como terminales financieras, terminales de videotexto (denominado Ibertext en España), datáfonos y otros como podría ser un PC con un módem asíncrono precisan de un dispositivo intermedio en el acceso a la red que empaquete los datos en el formato X.25 para su transporte por la red.

Resumen de algunas de las recomendaciones X del CCITT	
X.25	Protocolo entre el ETD y el ETCD de una red de conmutación de paquetes
X.21	Circuitos físicos digitales para la interfaz ETD-ETCD
X.21bis	Circuitos físicos para la interfaz con un módem síncrono
X.3	Funcionalidad del DEP
X.28	Protocolo entre el DEP y el ETD en modo carácter
X.29	Protocolo entre el DEP y el ETD en modo paquete



X.75

Protocolo de acceso internacional X.25

Este dispositivo se denomina *Desensamblador-Ensamblador de Paquetes* (DEP, o en inglés *Packet Assembly-Disassembly*, PAD). Su funcionalidad está definida por la recomendación X.3 del CCITT, su diálogo con los ETD en modo carácter por la X.28 y con los ETD en modo paquete por la X.29.

3.1.5 Interconexión de redes

Cuando el transporte de los datos es hacia un ETD que está en otra red X.25, por ejemplo en la de otro país, el transporte se hace mediante un sistema de interconexión de redes X.25. El protocolo utilizado en este tipo de interconexiones se denomina generalmente *Acceso Internacional X.25* y está recogido en la especificación X.75 del CCITT.

Los paquetes X.25, aún siendo una unidad de datos a nivel de red, pueden ser utilizados para transportar unidades de datos de otros protocolos de red. De hecho, X.25 fue uno de los primeros soportes para la conexión de encaminadores (routers) de la red Internet. Los datagramas IP que intercambian estos encaminadores se fragmentan si es necesario y transportan en paquetes X.25 hasta su destino, donde son reconstruidos los datagramas IP. A este proceso se le conoce como *IP-Tunneling* y es bastante ineficiente, por lo que sólo se recurre a él cuando no existe otra alternativa más eficaz.

3.2 Frame Relay

La especificación técnica de Frame Relay contempla su utilización para velocidades de acceso por encima de 2 Mbps [STALLINGS97]. Se ha diseñado además para eliminar gran parte del coste de proceso que supone X.25 para la red y el usuario sobre todo al utilizar altas velocidades sobre líneas de alta calidad. Se podrían indicar como principales diferencias:

- La multiplexación y commutación de conexiones lógicas tiene lugar en la capa de enlace en lugar de la capa de red, eliminando una capa completa de procesamiento.
- No hay control de flujo ni recuperación de errores en los enlaces individuales entre nodos. Este control se realiza extremo a extremo (entre la máquina origen y la de destino) y es responsabilidad de capas superiores.

Dentro de Frame Relay algunos autores distinguen entre los conceptos commutación de tramas y retransmisión de tramas [HALSALL95]. En el primer caso la red realizaría los procedimientos de control de errores y de flujo y en el segundo no. Como quiera que el segundo caso es más habitual y, como se comentaba antes, estas tareas se dejan a capas superiores, la traducción habitual de Frame Relay es *Retransmisión de Tramas*.

La retransmisión de tramas ofrece un servicio de enlace orientado a conexión con las siguientes propiedades:

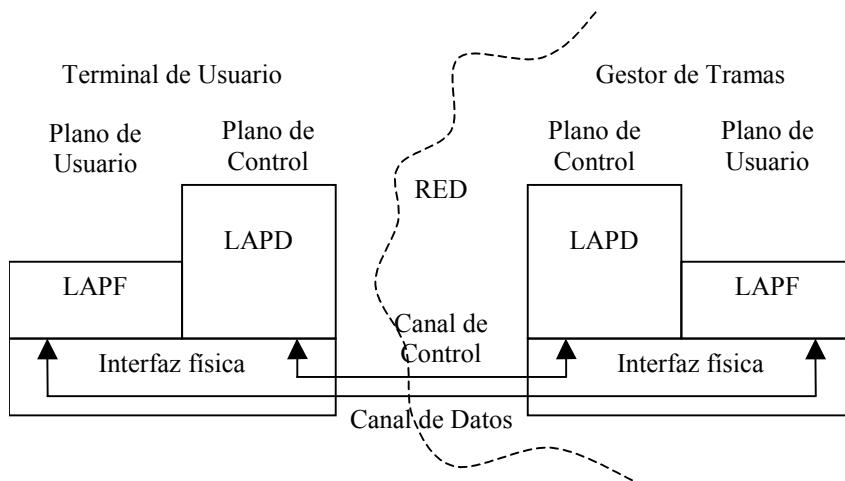
- Se preserva el orden de la transferencia entre el origen y el destino aunque las tramas no van numeradas.
- Existe una pequeña probabilidad de pérdida de tramas.



Las conexiones pueden ser *temporales* o *permanentes*. Las primeras se establecen mediante un sistema de *control de llamada* que provoca la actualización de las tablas de conexión de los nodos de la red. Las conexiones permanentes se establecen cuando se acepta la conexión del usuario a la red y son fijadas mediante la configuración de los nodos de la red por tiempo indeterminado.

3.2.1 Protocolos de enlace en Frame Relay

En la arquitectura de Frame Relay existen varios protocolos de enlace para la realización de distintas funciones. Se habla de un **Plano de Control** mediante el que se realiza el establecimiento y liberación de conexiones lógicas. Estas funciones se llevan a cabo transmitiendo tramas del protocolo LAPD, otro derivado del HDLC, que se definió para ser utilizado en los canales D de la interfaz RDSI (suele ser el método habitual de acceso a las redes Frame Relay). A través de este canal el terminal del usuario se comunica con el *gestor de tramas* (nodo de conmutación de la red Frame Relay) más próximo.



Una vez establecida la conexión entra en funcionamiento el **Plano de Usuario** encargado del intercambio de los datos del usuario a través de una conexión por la que sólo viajan tramas de datos, evitándose así la sobrecarga de los mensajes de control. En el caso de una conexión a través de RDSI los datos viajan por canales de tipo B o H para los que se establece y libera la conexión, como se mencionó antes, desde un canal D. Este intercambio de datos de usuario se realiza mediante tramas de protocolo LAPF (que en este caso es una versión de LAPD). LAPF está formado por dos partes que se denominan *LAPF control* y *LAPF core*. En Frame Relay solo se utiliza el núcleo (LAPF core) lo cual quiere decir que no se realiza el control de errores ni de flujo.

1	2 a 4	Variable	2	1
Flag	Dirección	Datos	CRC	Flag

La trama es muy semejante a la trama HDLC, salvo que no existe campo de control. El campo de dirección tiene en principio dos octetos pudiendo ampliarse a 3 o 4, de tal manera que contiene un DLCI (Identificador de Conexión de Enlace de Datos) de 10, 17 o 24 bits según las necesidades. Los bits denominados EA de este campo permiten determinar la longitud del mismo. Otros bits de este campo permiten realizar el control de



congestión en la red Frame Relay y se describirá su función más adelante. El formato del campo de dirección con dos octetos es el siguiente:

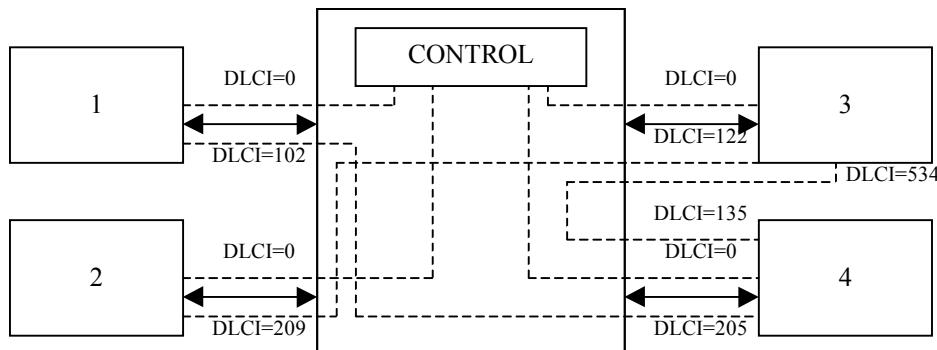
8	7	6	5	4	3	2	1
DLCI superior						C/R	EA 0
DLCI inferior	FECN	BECN	DE	EA 1			

- C/R Bit de orden/respuesta
EA Bits de ampliación del campo de direcciones
FECN Notificación de congestión explícita hacia delante
BECN Notificación de congestión explícita hacia atrás
DE Bit de rechazo de trama

3.2.2 Función de los gestores de tramas

El funcionamiento de la red Frame Relay se basa en la funcionalidad de *los gestores de tramas*, que son los nodos de conmutación de la red. Estos encaminan las tramas descritas anteriormente en función de su DLCI. Los gestores de tramas mantienen una tabla de conexión basada en DLCI que hace corresponder tramas de entrada por un canal con su salida por otro, traduciendo adecuadamente su DLCI. Por ejemplo, una trama que llega por el canal 2 desde otro gestor de tramas perteneciendo a la conexión lógica (DLCI) 209 y sale por el canal 3 hacia otro gestor de tramas a través de la conexión lógica 122.

Por otro lado la conexión lógica con DLCI=0 de cada canal está reservada para control y es la que permite el control de llamadas para el establecimiento y liberación de las conexiones lógicas y, por lo tanto, la actualización de las tablas de conexión.



Cada vez que llega una trama el gestor comprueba el CRC para detectar la existencia de posibles errores en la misma. Si se detecta un error, la trama es simplemente descartada. La recuperación de errores será misión de los usuarios finales.

3.2.3 Control de congestión

El objetivo del control de congestión en Frame Relay es limitar la longitud de las colas en los gestores de tramas para evitar un colapso en el rendimiento de la red. Por lo general esta congestión se produce cuando la carga ofrecida a la red es superior a su capacidad de proceso, lo que suele dar lugar a una congestión general de la red. También se puede producir de forma puntual en uno o varios gestores de tramas si la carga de



trabajo de estos es superior a su capacidad, con el consiguiente aumento del tamaño de sus colas de entrada y salida.

Los objetivos del control de congestión en Frame Relay, son los siguientes:

- Minimizar del rechazo de tramas.
- Generación mínima de tráfico de red suplementario.
- Sencillez de implementación y reducido coste para el usuario y la red.
- Mantenimiento con alta calidad y mínima varianza, de una calidad de servicio adecuada.
- Distribución de los recursos de red entre los usuarios finales minimizando la posibilidad de que un usuario final pueda monopolizar los recursos de la red a expensas de otros usuarios finales.

Los procedimientos para controlar las congestiones en Frame Relay son tres: la *estrategia de rechazo, prevención de congestión y recuperación de congestión*.

3.2.3.1 Estrategia de rechazo

Es la respuesta más básica a una congestión severa en la cual la red se ve forzada a rechazar tramas. Este rechazo se hace de forma selectiva empezando por las tramas que tienen alterado el bit de rechazo, DE, del campo de dirección. La manipulación de este bit la hace el gestor de tramas que recibe una trama procedente del terminal del usuario.

El usuario contrata con la red para cada conexión *una tasa de información contratada*, CIR. La suma de las CIR de las conexiones del usuario debe ser siempre inferior o igual a la velocidad de la línea de acceso del usuario a la red. Por ejemplo, si el usuario tiene contratada la posibilidad de hacer dos conexiones simultáneas con una CIR de 16 kbps cada una, su línea de acceso debería tener una velocidad superior a 32 kbps. Si la velocidad de esta línea de acceso es por ejemplo 64 kbps el usuario no estará limitado por la CIR, es decir, podrá enviar hasta 64 kbps entre sus dos conexiones. Sin embargo, aquellas tramas que supongan que el usuario supera su CIR en un determinado intervalo de tiempo T, en alguna de las conexiones, serán marcadas por el primer gestor de tramas en su bit DE. En caso de congestión severa serán las primeras en ser descartadas por la red.

Para las conexiones permanentes la CIR se fija cuando el usuario se conecta a la red, y para las temporales, la determinación de la CIR forma parte del protocolo de control de llamada.

Lo lógico es que los recursos de un gestor de tramas tengan capacidad suficiente para la suma de las CIR de todas las conexiones de todos los sistemas de usuario finales conectados a él. De todas formas, esto no asegura que no haya rechazos antes de alcanzar la CIR, dando un servicio inferior a la CIR en caso de congestión extrema.

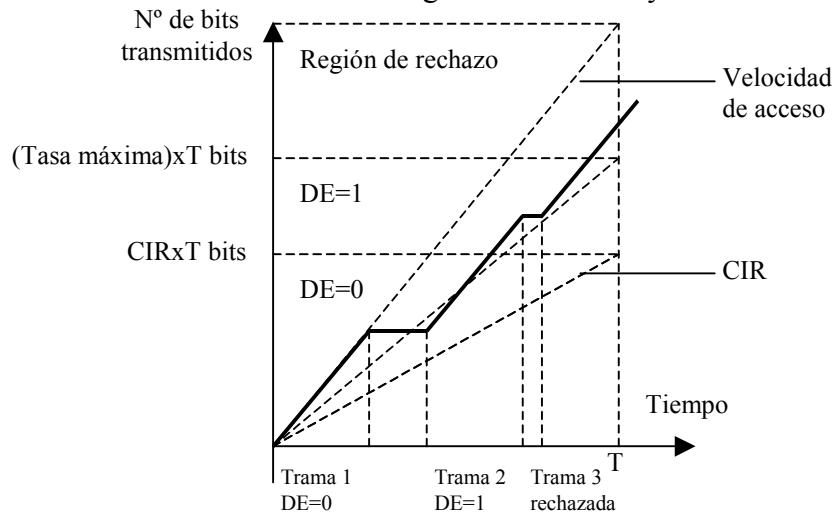
También se impone al usuario una tasa de transmisión máxima (inferior normalmente a la velocidad de acceso) por encima de la cual las tramas que supongan que esta tasa se supera en un intervalo de tiempo T son descartadas inmediatamente por el primer gestor de tramas.

Hay que destacar que estas funciones de marcado del bit DE y rechazo de las tramas de una conexión de usuario sólo las realiza el gestor de tramas que las recibe directamente del usuario. El resto de gestores de la red no modificarán el bit DE, ni controlarán la tasa



máxima del usuario.

Por otro lado también tiene mucha importancia el intervalo de tiempo T en el que se computa la CIR. Si T fuera muy grande, por ejemplo varios minutos, probablemente el usuario no la superaría nunca ya que la información suele viajar a ráfagas con intervalos largos de inactividad entre ellas. Sin embargo, la red podría resentirse frente a esas ráfagas de tráfico intenso. Si T es muy pequeño, la red marcará muchas tramas como rechazables y se defenderá mejor de la congestión. Pero el usuario puede verse perjudicado y obligado a no enviar tramas muy seguidas para evitar superar su CIR en el tiempo T a pesar de que su media de transmisión de información a lo largo del día sea muy inferior a esa CIR.



3.2.3.2 Prevención de congestión

Cuando un gestor de tramas de la red aprecia que existe congestión, comienza a marcar los bits BECN y FECN de las tramas. Los demás gestores no deben desactivar estos bits cuando la trama pasa por ellos. Estos bits son mensajes para los usuarios finales que reciben las tramas.

- **Notificación de congestión explícita hacia atrás (BECN):** notifica al usuario final que las tramas que transmite en sentido contrario a la recibida pueden encontrar recursos congestionados. El usuario debe poner en marcha procedimientos para evitar la congestión. Estos procedimientos suelen consistir en reducir la velocidad a la que el usuario transmite las tramas hasta que desaparezca la señal.
- **Notificación de congestión explícita hacia adelante (FECN):** notifica al usuario final que la recibida ha encontrado recursos congestionados y que el tráfico que venga en ese sentido puede también sufrir la congestión. El usuario debe poner en marcha procedimientos para evitar la congestión que en este caso son más complejos ya que deberá avisar al usuario del otro extremo de la conexión de la situación para que reduzca la velocidad a la que transmite las tramas hasta que desaparezca la señal.

3.2.3.3 Recuperación de congestión

Los niveles superiores del usuario final pueden detectar de forma implícita que existe congestión en la red cuando detecta que esta ha descartado una trama, bien por no haber



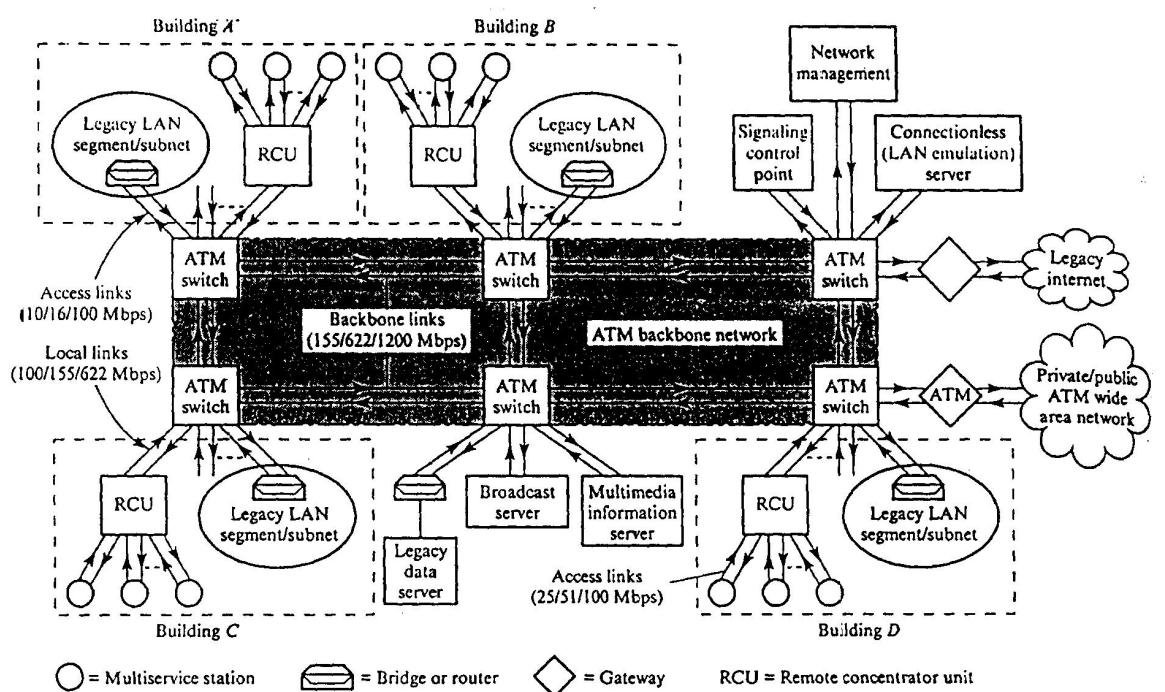
llegado el acuse de recibo desde el otro extremo del último mensaje enviado en la trama, o bien por haber sido rechazado este por el otro extremo por no tener el número de secuencia esperado.

En este caso, para recuperarse de la congestión, los niveles superiores del usuario final hacen uso de su control de flujo. Por ejemplo, reduciendo la ventana deslizante del control de flujo. Una vez recuperada la congestión, cuando no se detecten pérdidas de tramas, se volvería a recuperar poco a poco el tamaño de la ventana original.

3.3 ATM

El Modo de Transferencia Asíncrono (ATM) es un sistema en muchos aspectos similar a las técnicas de conmutación de X.25 y de Frame Relay, aunque en este caso se habla de *retransmisión de celdas*. La unidad de datos con la que funcionan los conmutadores ATM tiene sólo 53 octetos y es de longitud fija. Estos dispositivos tienen un número de puertos fijo entre los que conmutan las celdas a velocidades del orden de Gbits por segundo. Las transmisiones de las celdas a través de los puertos son a 155,52 y 622,08 Mbps en la mayoría de los casos aunque se admiten otras velocidades, lo que implica el uso de tecnologías ópticas aplicándose en muchos casos JDS.

A un puerto de un conmutador ATM se puede encontrar conectado otro conmutador, una estación de trabajo o un concentrador para varias estaciones, un conmutador de una red local, un dispositivo de captura y digitalización de voz y/o vídeo, etc. Toda la información que proceda de esos dispositivos estará encapsulada en celdas que viajarán a través de circuitos virtuales temporales o permanentes de la red ATM desde su fuente hacia su destino atravesando uno o varios conmutadores ATM.



Aún siendo un servicio basado en circuitos virtuales, la red ATM sólo asegura la correcta secuencia de las celdas (nunca llegarán fuera de orden) y existe una pequeña

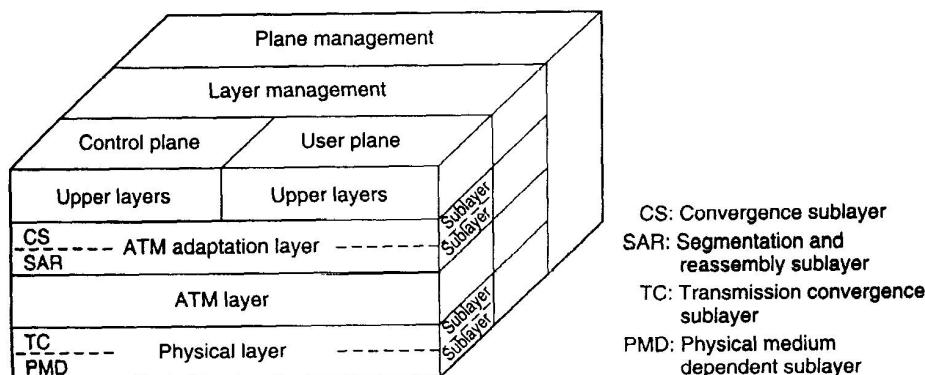


probabilidad de que se pierdan celdas al no tener implementados los mecanismos de recuperación de errores necesarios.

La red ATM debe poder adaptarse a tipos de tráfico muy diferentes: de tasa fija, como la voz y en ocasiones el vídeo, o variable como los datos. En las celdas ATM pueden ir fragmentadas y encapsuladas unidades de datos de diferentes protocolos de red o incluso tramas de redes locales. En este último caso, ATM junto con los commutadores de red local que actúan como puentes, permite la construcción de las denominadas *LAN virtuales*. Básicamente se trata de redes locales muy separadas geográficamente pero que funcionan como una sola al existir un medio de interconexión (la red ATM) que permite propagar las tramas de unas redes locales en las otras cuando es necesario.

3.3.1 Arquitectura ATM

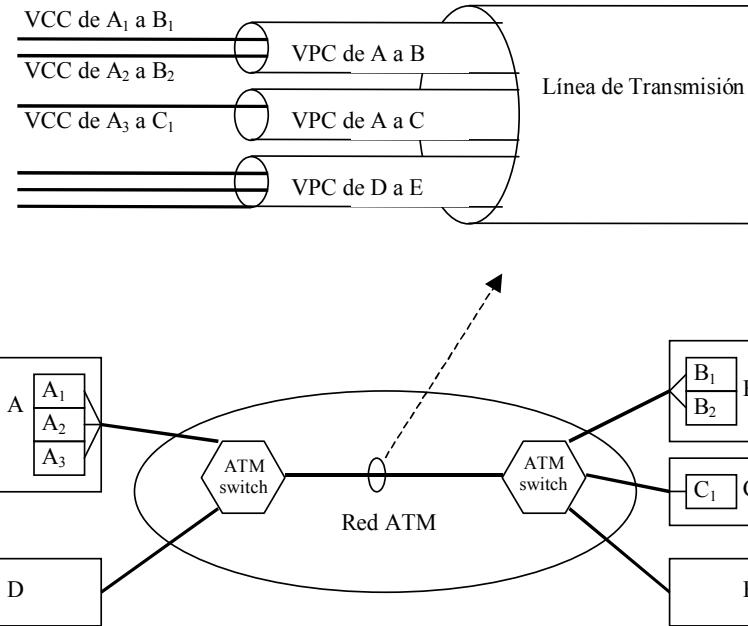
En la arquitectura de ATM se definen tres capas. La inferior es la **capa física** que podría corresponder con la capa física del modelo de referencia OSI de ISO y en principio ATM no la define ya que puede tratarse de cualquier medio físico adecuado a los requisitos de ATM.



Las otras dos capas están relacionadas con las funciones ATM, y podrían constituir la capa de enlace de OSI aunque se discute que dada la capacidad de encaminamiento de la información a través de circuitos virtuales, se trate de una capa de red.

La capa inferior de estas dos se denomina **capa ATM** y define la transmisión de datos en celdas de tamaño fijo utilizando conexiones lógicas. La superior se denomina **capa de adaptación ATM** (AAL). Permite la adaptación de protocolos no basados en ATM para su transmisión a través de la red ATM. Agrupa información de las capas superiores en celdas para su transmisión y la extrae de las celdas recibidas para entregarla a las capas superiores.

En el modelo de ATM se hace también mención a tres planos separados: **plano de usuario** que permite la transferencia de información de usuario, **plano de control** que realiza el control de llamadas y de conexión y **plano de gestión** que proporciona coordinación entre todos los planos, *gestión de plano*, y todas las capas, *gestión de capa*.



3.3.2 Conexiones ATM

En las conexiones lógicas ATM se distinguen *Conexiones de Canales Virtuales* (VCC, *Virtual Channel Connection*) y *Conexiones de Caminos Virtuales* (VPC, *Virtual Path Connection*). Un VPC es una conexión virtual extremo a extremo entre dos dispositivos, A y B, que intercambian información a través de una red ATM y contiene un haz de VCC independientes que tienen el mismo origen y destino que el VPC. Esto permite reducir el coste de encaminamiento en los nodos de conmutación, ya que todos los VCC de un mismo VPC se commutan conjuntamente por el mismo camino. Si se tiene que establecer un nuevo circuito virtual entre A y B se generará un nuevo VCC dentro del VPC ya establecido, lo que agiliza el proceso de establecimiento, control y liberación de la conexión. Las líneas de transmisión que unen comutadores de la red ATM entre sí y con los dispositivos terminales de usuario contendrán a su vez múltiples VPC.

3.3.3 Celdas ATM

En ATM se utilizan celdas de tamaño fijo, 53 octetos, de los cuales 5 son de cabecera y los 48 restantes forman el campo de información. Las razones que justifican celdas tan pequeñas y de tamaño fijo son que pueden ser conmutadas más eficientemente y que se reduce el retardo en cola para celdas de alta prioridad.

Las cabeceras varían ligeramente si se trata de una celda de la interfaz entre el usuario y el primer nodo de conmutación de la red o de una celda que viaja entre dos nodos de conmutación de la red.

4	8	16	3	1	8
GFC	VPI	VCI	PT	CLP	HEC

Cabecera en la interfaz usuario-red (40 bits).

12	16	3	1	8
VPI	VCI	PT	CLP	HEC

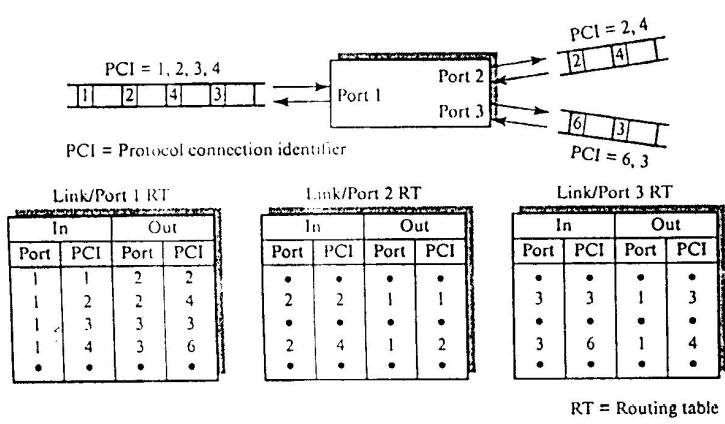
Cabecera en la interfaz red-red (40 bits).



VPI y VCI son respectivamente los identificadores de camino y canal virtual. El campo GFC sólo se usa en la interfaz usuario-red para realizar un control de flujo o calidad de servicio (QOS, *Quality Of Service*) en esta interfaz que ayuda también a la aparición de sobrecarga en la red. El campo PT indica el tipo de carga útil que lleva la celda, de usuario o de gestión y mantenimiento de la red. Este campo además puede señalizar si se ha producido congestión en la transmisión de una celda con información de usuario. El bit CLP indica si la celda es de una categoría de baja o alta prioridad para que en el caso de tener que rechazar celdas por congestión de la red, empezar por las de baja prioridad. Este bit puede ser activado por un commutador de la interfaz usuario-red si está en desacuerdo con los parámetros de tráfico o calidad de servicio fijados para el usuario. Finalmente, el campo HEC es un control de errores para la cabecera que, en caso de que el dispositivo que recibe la celda errónea implemente el algoritmo adecuado, permite además la recuperación de aquellos errores en la cabecera que sean solamente de un bit.

3.3.4 Conmutadores ATM

Un commutador de celdas ATM está formado por un número limitado de líneas de entrada y generalmente el mismo número de líneas de salida, ya que normalmente las líneas son bidireccionales. En el interior del commutador se produce la conmutación a alta velocidad de las celdas que llegan por las líneas de entrada hacia su correspondiente línea de salida.



Aunque las celdas llegan de forma asíncrona a las líneas de entrada el procesamiento interno del commutador es síncrono. Se basa en un reloj maestro que marca el comienzo de cada ciclo de conmutación. En general, durante un ciclo las celdas que hayan llegado completamente a las líneas de entrada al comienzo del mismo son recogidas, se comprueba su HEC y, si no son descartadas por este o por otros motivos (congestión, colisiones, etc.), pasan por el commutador y se ponen para su transmisión en las líneas de salida. En otros casos la secuencia de operaciones necesaria permite realizar el proceso en varios ciclos de reloj. Por una línea a 150 Mbps podrían llegar 360000 celdas por segundo lo que indica que el tiempo de ciclo máximo debería estar entorno a 2,7 µs. Para 622 Mbps debería ser inferior a 700 ns. Los commutadores comerciales suelen tener entre 16 y 1024 líneas de entrada-salida, por lo que deberían ser capaces de conmutar de 16 a 1024 celdas, según el caso, en los tiempos de ciclo indicados. Esto supone, por ejemplo, para un commutador con 16 puertos a 155 Mbps una velocidad de conmutación de 2,5 Gbps. Todos los



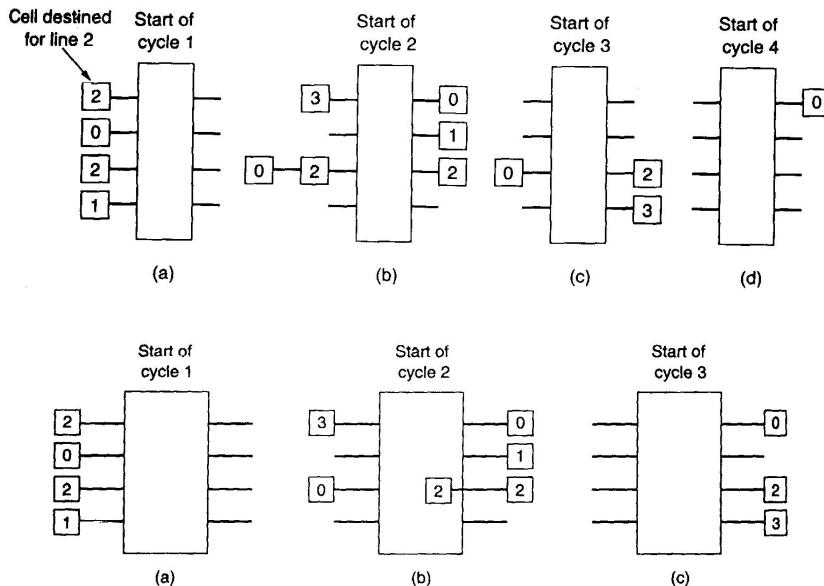
comunicadores ATM tienen dos objetivos comunes y fundamentales:

- Conmutar las celdas con la tasa de rechazo más baja posible.
- No cambiar nunca el orden de las celdas de un circuito virtual.

Una tasa aceptable de rechazo sería del orden de 1 celda entre cada 10^{12} [TANENBAUM 96]. En un comunicador grande esto puede suponer 1 ó 2 celdas rechazadas por hora. Las limitaciones que imponen estas dos reglas se aprecian al observar detenidamente el funcionamiento de un comunicador. Si a más de una celda de las que están en las líneas de entrada en un ciclo de reloj le corresponde salir por una determinada línea de salida, se podría optar por dos soluciones inmediatas:

- Enviar una de las celdas a la línea de salida y descartar las demás, lo cual incumpliría el primer objetivo.
- Hacer recircular por un bus las celdas descartadas de nuevo hacia las líneas de entrada, lo que si no se implementa la lógica necesaria puede incumplir el segundo objetivo.

La solución, más adecuada es establecer colas en las líneas de entrada o de salida de manera que las celdas que no puedan ser despachadas en un determinado ciclo, lo sean en el siguiente. Según [TANENBAUM 96] es más eficiente el que las colas estén en las líneas de salida, ya que en el otro caso, celdas que no son capaces de ser conmutadas hacia una determinada línea de salida saturada, pueden bloquear otras celdas que están detrás en la misma cola de la línea de entrada destinadas a salidas que se encuentran libres.



3.3.4.1 Conmutador por división de tiempo

Una de las posibilidades de realizar la conmutación es disponer de una placa base con un bus de alta velocidad capaz de transferir N celdas en el tiempo de ciclo, siendo N igual al número de puertos de entrada. Las celdas son así multiplexadas en el tiempo sobre el bus de transferencia, que las deja a su salida en las colas de las líneas de salida correspondiente. Este diseño sólo permite un número reducido de puertos, ya que está limitado por la velocidad del bus de la placa base. Por ejemplo, un bus a 2,5 Gbps puede manejar 16 puertos de entrada/salida de 155 Mbps o 4 de 622 Mbps.



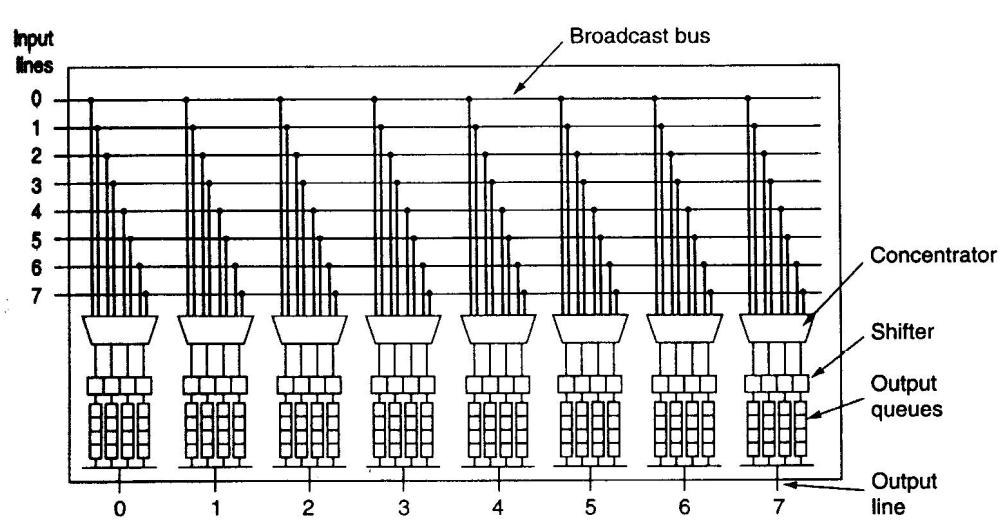
3.3.4.2 Conmutador por división de espacio

En este caso la matriz de conmutación está formada por un conjunto de elementos de conmutación que proporcionan caminos alternativos por el interior del conmutador.

3.3.4.2.1 Conmutador de matriz totalmente conectada

En este tipo de arquitectura todas las líneas de entrada están conectadas con todas las líneas de salida mediante un elemento de conmutación en cada conexión. Lógicamente en un mismo ciclo puede aparecer más de una celda dirigida a la misma salida, lo que implica la necesidad de disponer de una cola en la salida que permita mediante un elemento concentrador colocar en ella todas las celdas que llegan en un ciclo. A veces en lugar de una única cola por cada salida se implementan varias en paralelo que son servidas por un registro de desplazamiento que las rellena de forma uniforme. El sistema de colas en paralelo permite dar servicio a celdas que llegan simultáneamente a la línea de salida de una forma más rápida y eficaz.

Según como se implemente el concentrador este podrá dar servicio a todas las celdas o sólo a una parte de las que en un ciclo van simultáneamente hacia una misma salida, otras serán descartadas. Esta última es la implementación conocida como **conmutador Knockout** en el que las celdas dirigidas a una misma salida en un mismo ciclo compiten como en un torneo de cuartos de final, semifinales, etc. para ver cuáles alcanzan la salida. Se consigue así simplificar la estructura electrónica del conmutador a costa de elevar ligeramente la tasa de pérdida de celdas. El otro motivo que puede suponer que se descarten celdas es que la cola de una determinada salida esté llena y ya no pueda aceptar más celdas.



El mayor problema de este tipo de conmutador es que el número de elementos de conmutación es el cuadrado del número de entradas/salidas que tiene, N^2 , lo que limita su tamaño máximo.

3.3.4.2.2 Conmutador Batcher-Banyan

En un conmutador Batcher-Banyan la conmutación se hace en varios ciclos al tener que pasar las celdas por varias etapas de conmutación. La matriz de conmutación Banyan, también conocida como matriz delta, se encarga en la conmutación propiamente dicha pero, por las razones que se expondrán a continuación, suele ir precedida por una matriz de ordenamiento Batcher.

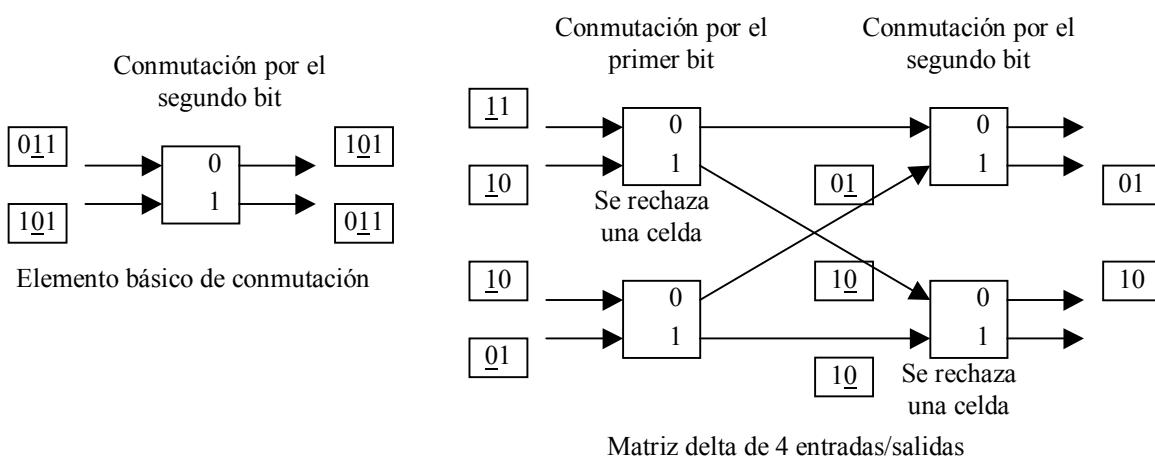


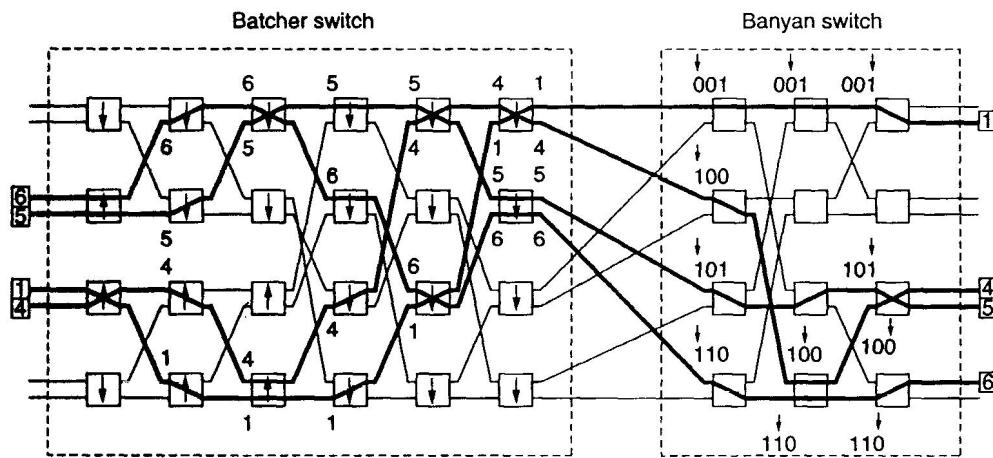
El elemento de conmutación básico del conmutador Banyan tiene dos entradas y dos salidas. Se basa en un bit de la salida de destino de la celda en cuestión para decidir por cual de las dos salidas la conmuta. En un conmutador para cuatro entradas/salidas se necesitan dos etapas de conmutación con dos elementos básicos de conmutación cada una, en total 4, frente a los $16 (N^2)$ que requiere una matriz totalmente conectada. En general para N entrada/salidas se precisan $\log_2 N$ etapas con $N/2$ elementos de conmutación cada una, es decir, $(N/2) \cdot \log_2 N$ elementos básicos de conmutación.

El primer problema que aparece, es que si a la entrada de un elemento de conmutación hay dos celdas con el bit que se utiliza para conmutación igual, una de las dos ha de ser descartada. En segundo lugar, esto supone también que varias celdas dirigidas a la misma salida en el mismo ciclo, acabarán encontrándose y sólo una de ellas llegará a la salida.

El primero de los dos problemas se puede solventar con una matriz de ordenamiento Batcher que se encarga de ordenar las celdas en función de la dirección (de menor a mayor) de la línea de salida hacia la que van. Se puede comprobar que si las celdas llegan a las entradas de la matriz Banyan ordenadas, no se producirán colisiones en los elementos de conmutación.

El segundo problema es más complejo de resolver, ya que hay que encolar celdas en alguna parte del proceso cuando simultáneamente llegan celdas dirigidas hacia la misma salida. La matriz Banyan por su forma de funcionamiento no permite las colas en las líneas de salida. Las soluciones aplicadas se basan en sistemas de colas internas, en las matrices de ordenamiento o conmutación, o la recirculación de celdas tras su ordenamiento de nuevo hacia la entrada de la matriz de ordenamiento. Esto último implica una elevada complejidad en la lógica del conmutador ya que se debe cumplir el precepto de mantener el orden de las celdas de cada conexión lógica.







APENDICES

1 LA RED CORPORATIVA DE LA UNIVERSIDAD DE OVIEDO

Como ejemplo de la aplicación de algunas de las tecnologías vistas en este capítulo tenemos la red corporativa de la Universidad de Oviedo, que modificó drásticamente la estructura de su red interna en 1996. La evolución de la red de esta Universidad fue presentada en las Jornadas Técnicas de RedIris de 1995 [CORRALES 95].

La red pasó de estar basada en enlaces de 64 kbps a través de las centralitas telefónicas de los distintos edificios y campus, a enlaces ATM a 155 Mbps sobre fibra óptica. Gran parte de esos enlaces de alta velocidad se implementan físicamente mediante dos anillos de fibra óptica a 2,5 Gbps empleando JDS. A su vez, las centralitas telefónicas pasaron de ser el soporte de la red de datos, a utilizar esta para muchos de sus enlaces internos, bien sobre el anillo JDS, o bien, sobre conexiones ATM.

En el año 2003 la red de la Universidad de Oviedo sufre una nueva remodelación motivada principalmente por:

- El crecimiento del Campus de Mieres.
- La actualización de los equipos de conmutación Ethernet de 10 a 100 Mbps.
- La sustitución de los troncales de la red basados hasta el año 2002 en la conmutación ATM a 155 Mbps por troncales 1 Gbps Ethernet.

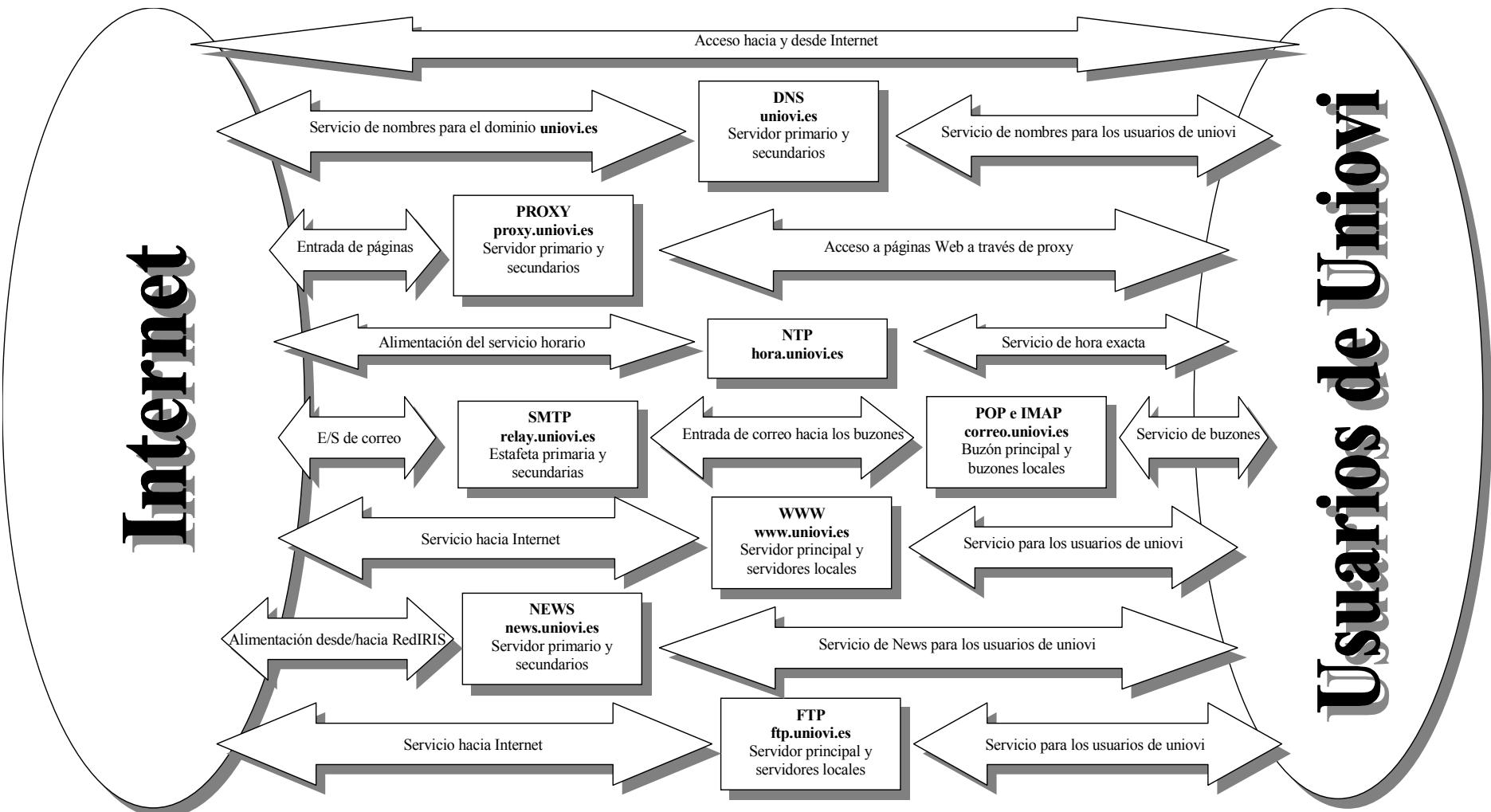
La conectividad exterior de la red corporativa de la Universidad de Oviedo depende fundamentalmente de sus enlaces con el nodo de la red REDIRIS (www.rediris.es) en Asturias. Esta red, financiada por el Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC), da soporte de acceso a Internet a distintos centros nacionales de investigación y entre ellos a las universidades españolas.

La estructura de REDIRIS también ha cambiado en el año 2003, pasando de una estructura radial a una red con redundancia de enlaces para cada una de las comunidades españolas. Esto dota a la red de una mayor robustez, ya que anteriormente la caída de uno de los enlaces autonómicos dejaba sin conexión a los centros de esa comunidad autónoma sin alternativa posible. Actualmente la caída de un enlace puede ser subsanada por la existencia de otros enlaces redundantes para esa comunidad autónoma.

El acceso de REDIRIS a Internet, del que se sirve toda la comunidad REDIRIS, está constituido por el acceso al punto neutro español Espanix (www.espanix.es), accesos contratados a la red Internet en Estados Unidos y el acceso a la red científica europea Geant (anteriormente denominada Ten-155) dependiente del proyecto europeo Dante (www.dante.net). Esta red conecta a la mayoría de los países europeos y tiene enlaces con Estados Unidos y Japón. Tiene además prevista su expansión hacia el resto de Europa, Norte de África y Latinoamérica.



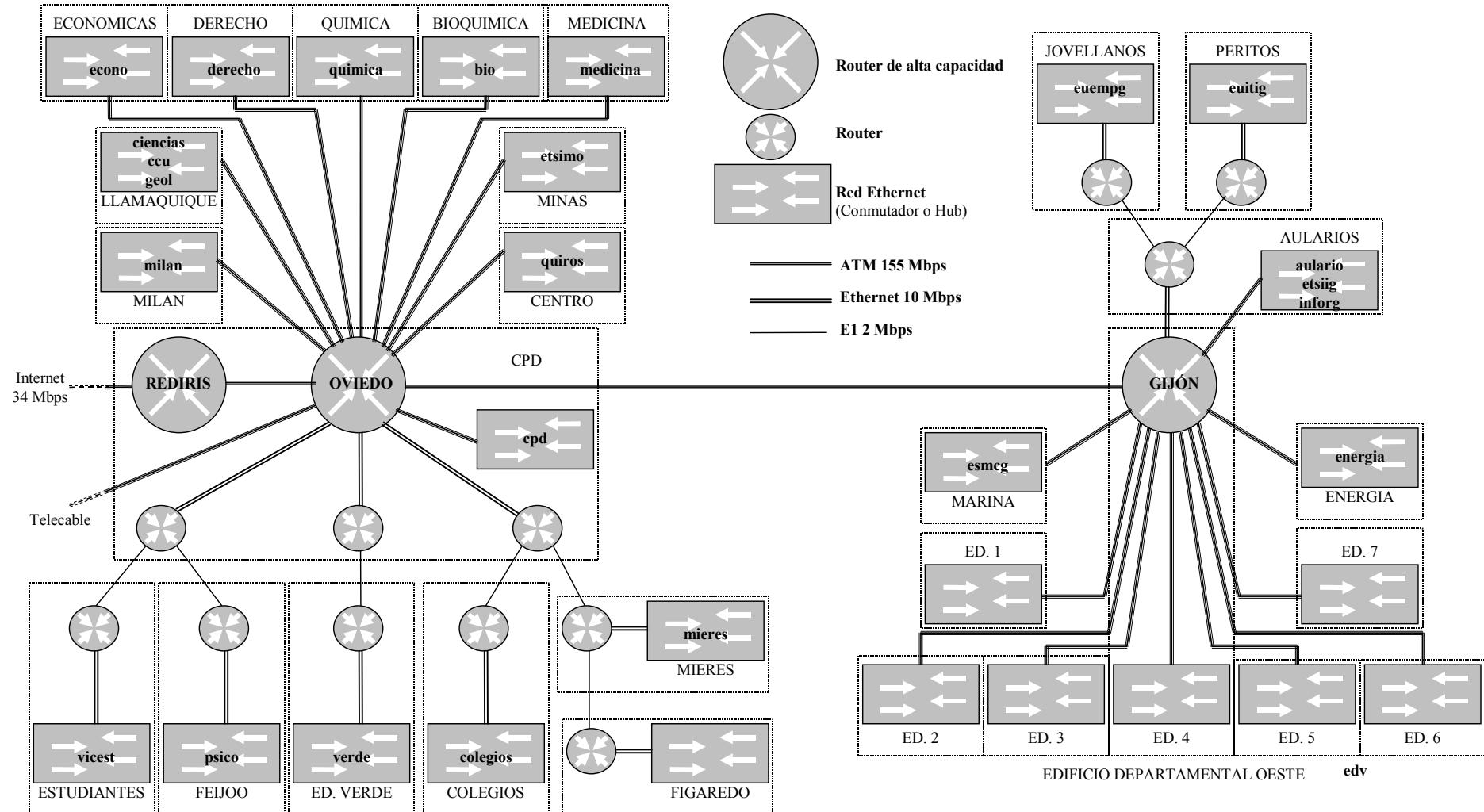
RED CORPORATIVA DE LA UNIVERSIDAD DE OVIEDO





REDES

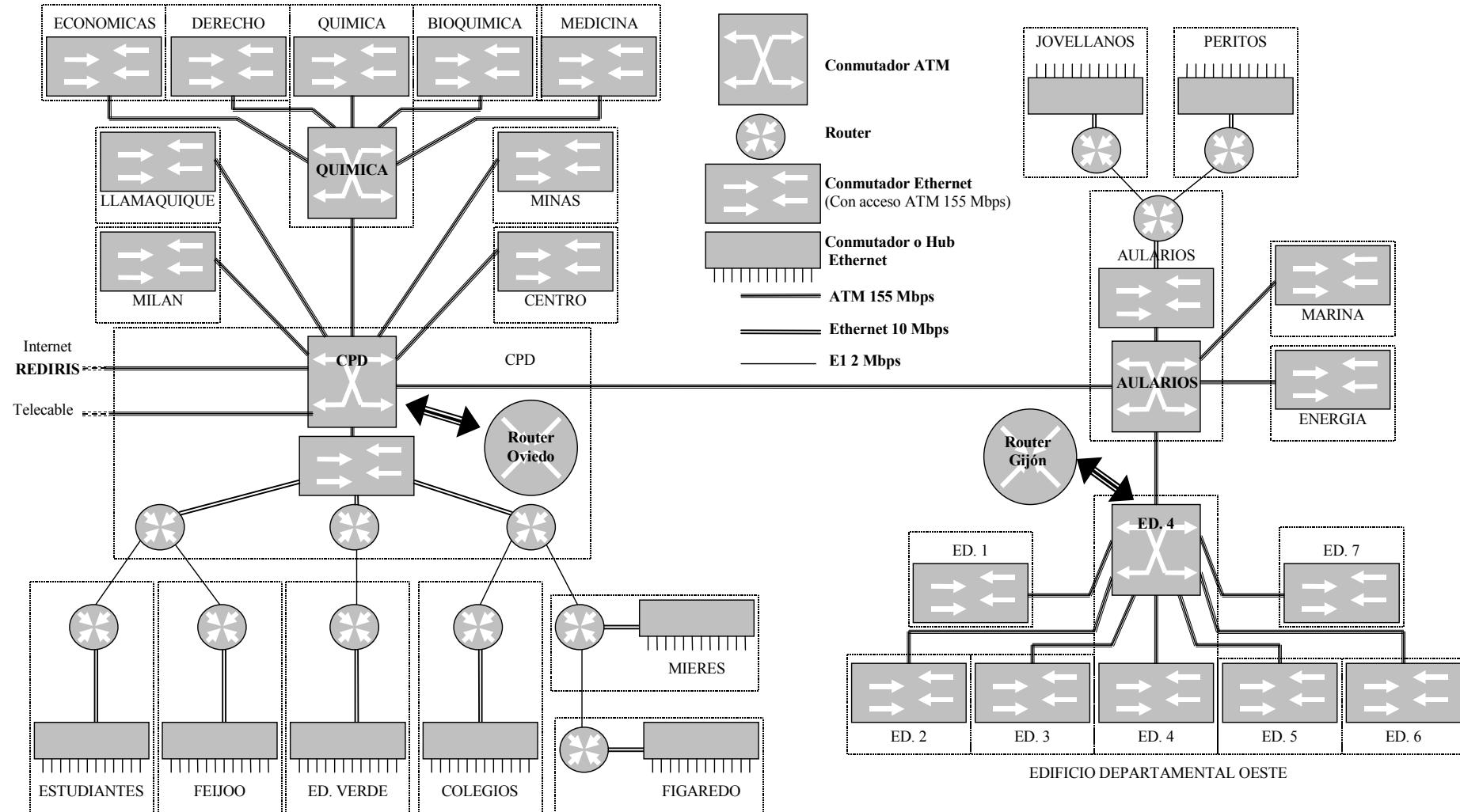
ORGANIZACIÓN DEL ENCAMINAMIENTO A NIVEL IP (NIVEL 3) (hasta el 2002)





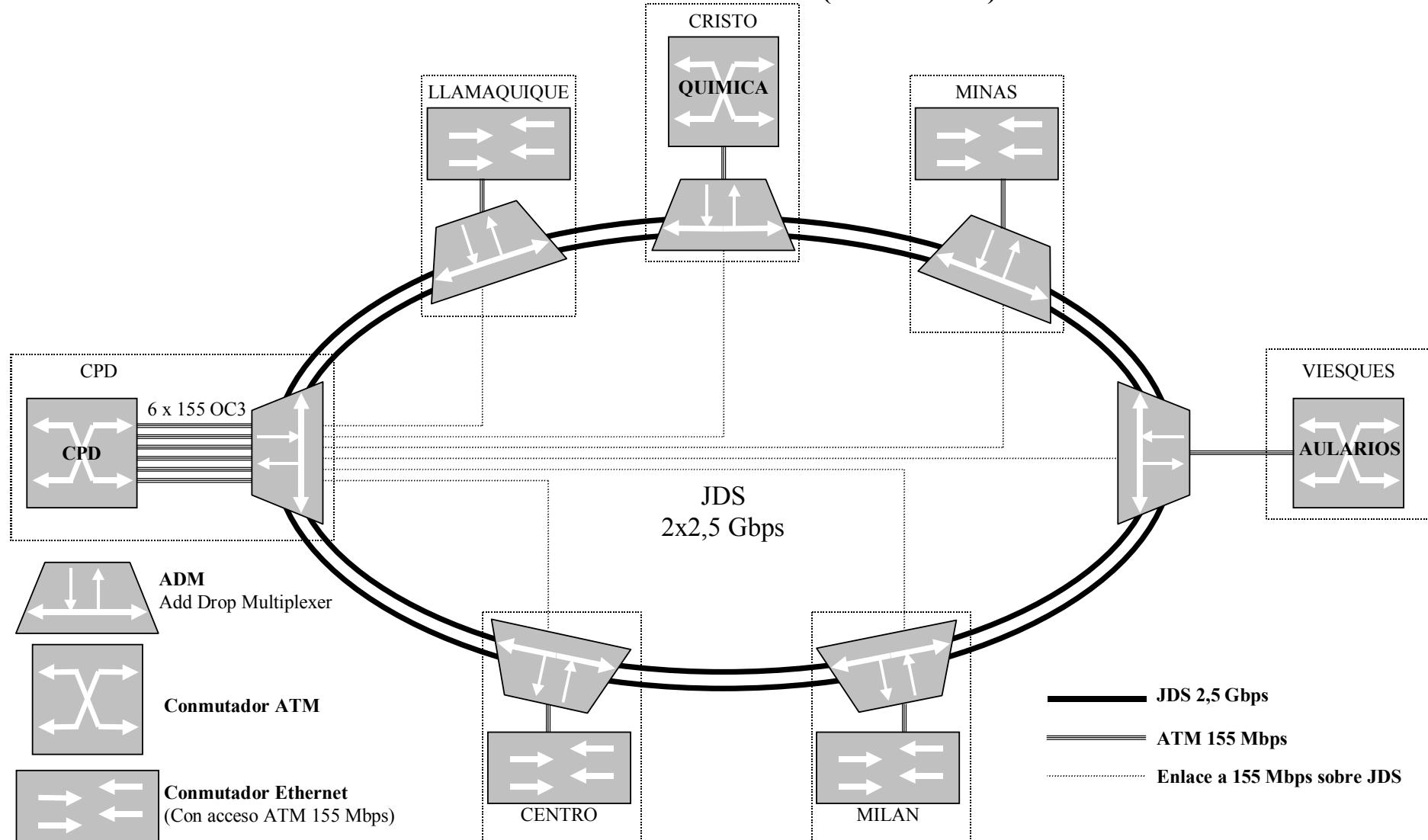
REDES

ESTRUCTURA DE CONMUTACIÓN ATM Y ETHERNET (hasta el 2002)



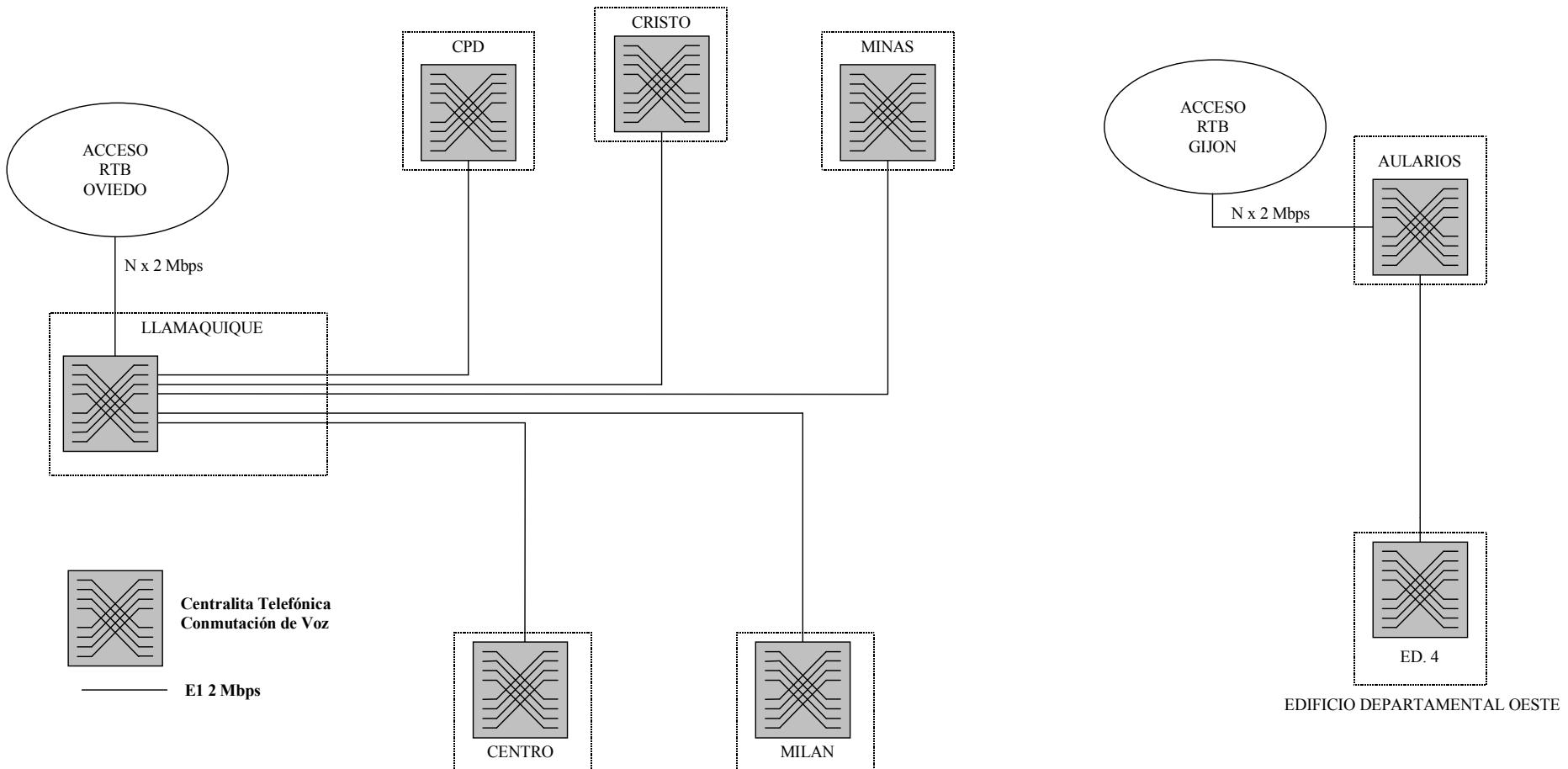


ENLACES ATM SOBRE JDS (hasta el 2002)



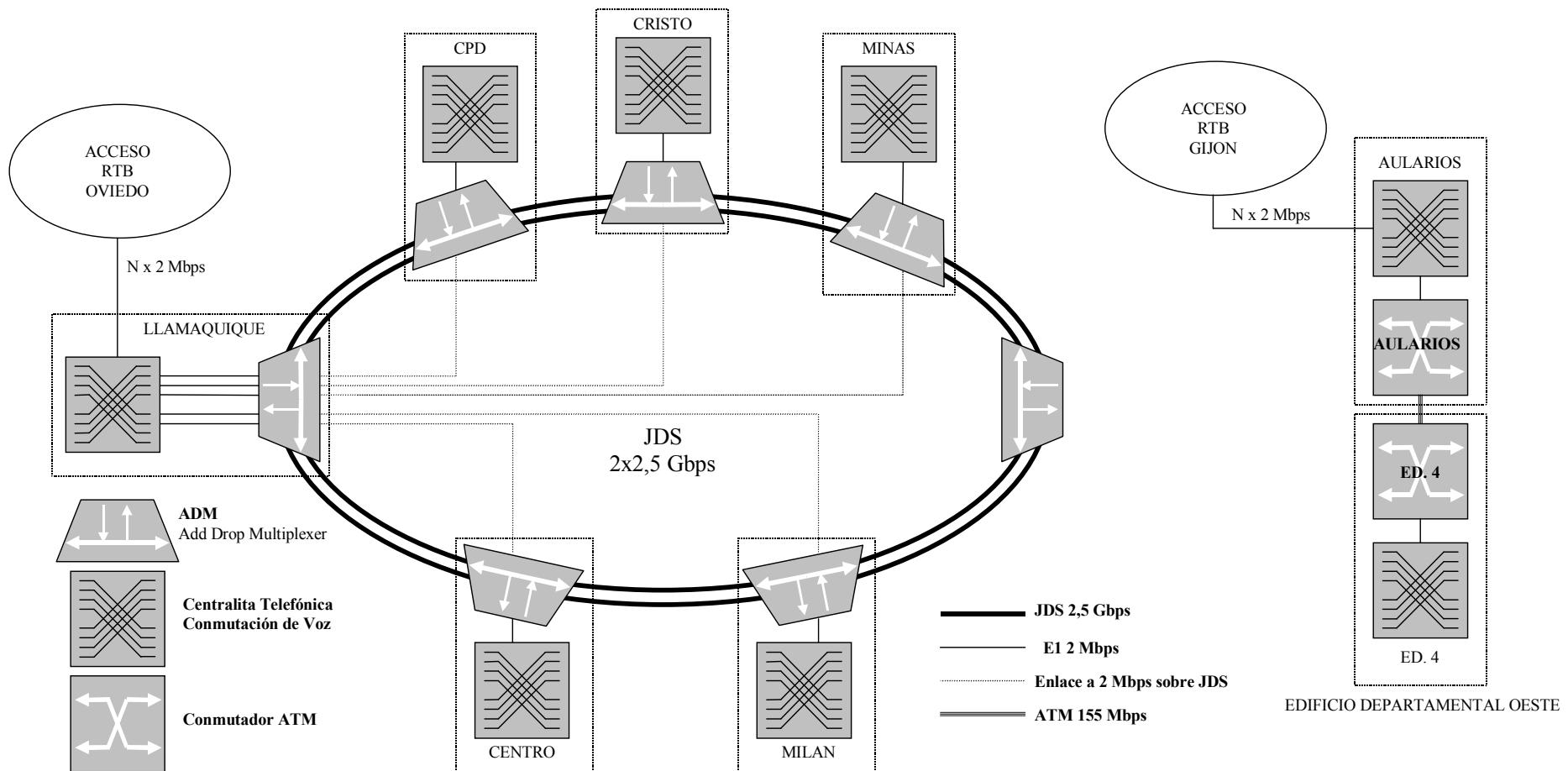


CONEXIÓN DE CENTRALITAS DE TELEFONÍA DE VOZ (hasta el 2002)



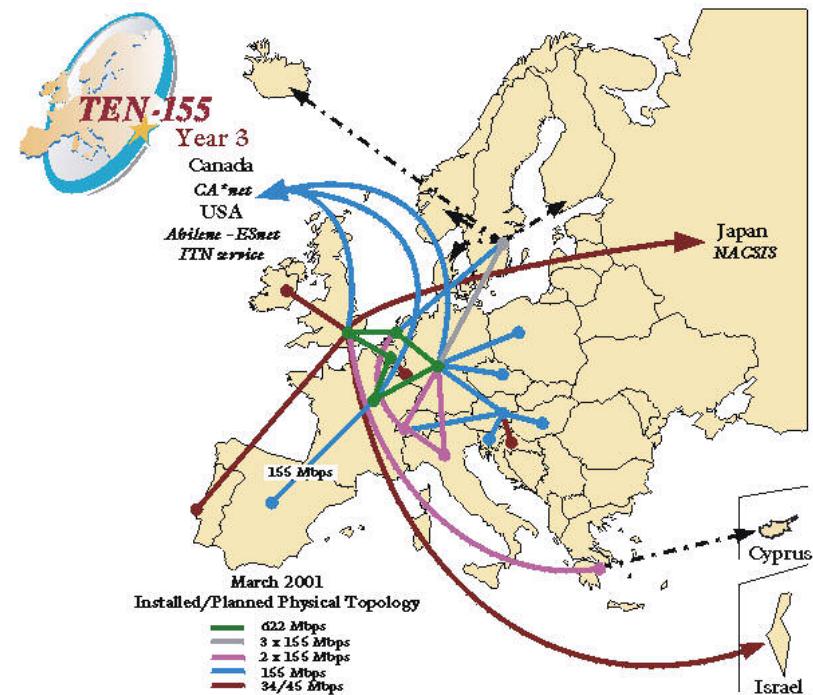


ENLACES DE TELEFONÍA DE VOZ SOBRE JDS Y ATM (hasta el 2002)



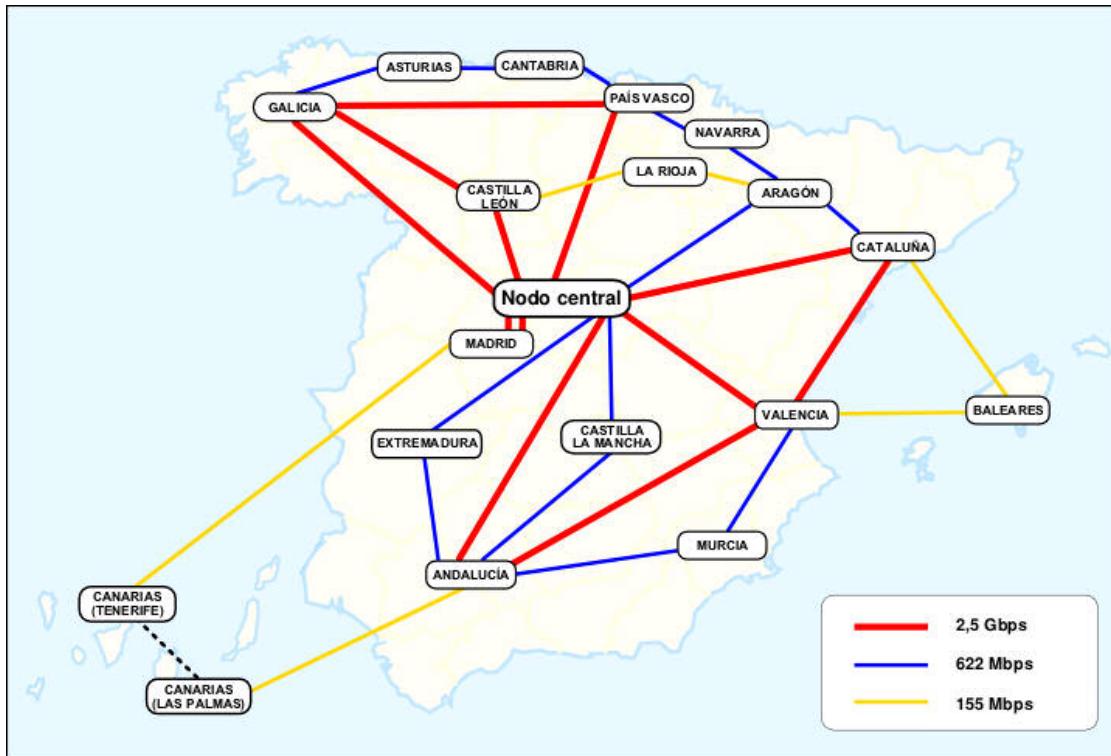


ESTRUCTURA DE REDIRIS Y TEN-155 (hasta el 2002)





ESTRUCTURA DE REDIRIS www.rediris.es (desde el 2003)





PUNTO NEUTRO ESPAÑOL www.espanix.es

The screenshot shows a Microsoft Internet Explorer window displaying the Espanix traffic monitoring page. The title bar reads "ESPAÑIX [Tráfico] - Microsoft Internet Explorer". The menu bar includes "Archivo", "Edición", "Ver", "Favoritos", "Herramientas", and "Ayuda". The toolbar contains icons for Back, Forward, Stop, Refresh, Home, Search, Favorites, Multimedia, Mail, Print, and Links. The address bar shows the URL "http://www.espanix.net/trafico.html".

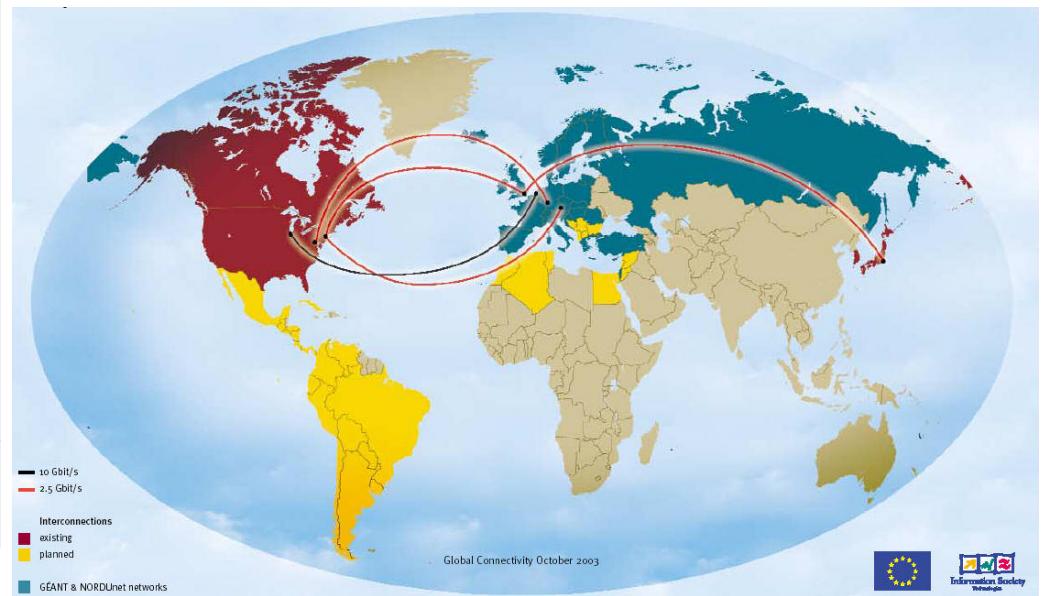
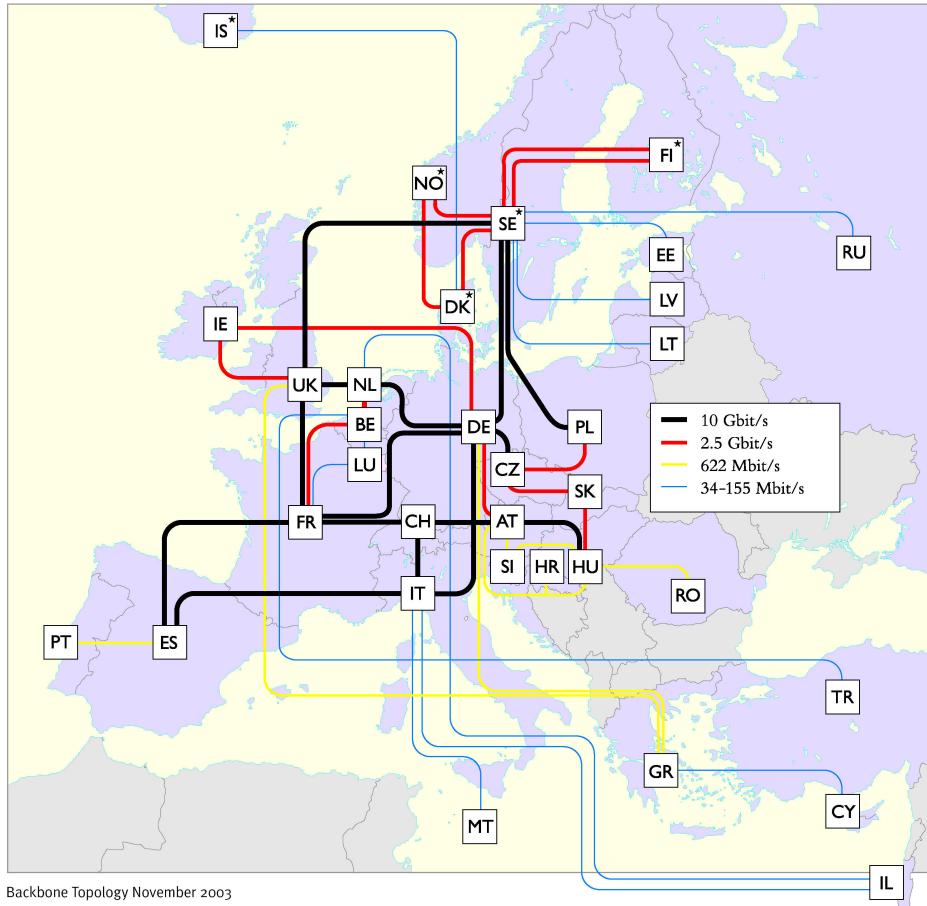
The main content area features the Espanix logo and the text "Punto neutro Español de Internet". A large graphic on the right says "TRÁFICO ESPAÑIX". On the left, there's a sidebar with links: "Página principal", "Contacte con espanix", "Miembros de espanix", "Tráfico de red", "Unirse a espanix", "Noticias espanix", "Zona privada miembros", and "Sala de alojamiento". Below this is a "Looking Glass" icon and a "Notas d" icon.

A yellow arrow points from the "Sala de alojamiento" link towards a chart titled "Gráfica diaria (media cada minuto)". The chart displays traffic in bits per second over a 24-hour period. The Y-axis ranges from 0.0 G to 12.0 G. The legend indicates two series: "Tráfico de entrada (Bits por segundo)" (green dashed line) and "Tráfico de salida (Bits por segundo)" (blue dashed line). The chart shows a peak around 12.0 G during the day and a dip around 8.0 G at night.

At the bottom, there's a navigation bar with links: "Portada", "Contacte", "Miembros", "Tráfico", "Unirse", "Noticias", "Zona Privada", and "Sala Alojamiento". The copyright notice reads "Copyright © 2001 www.espanix.net Todos los derechos reservados." and an "Internet" icon is visible in the bottom right corner.

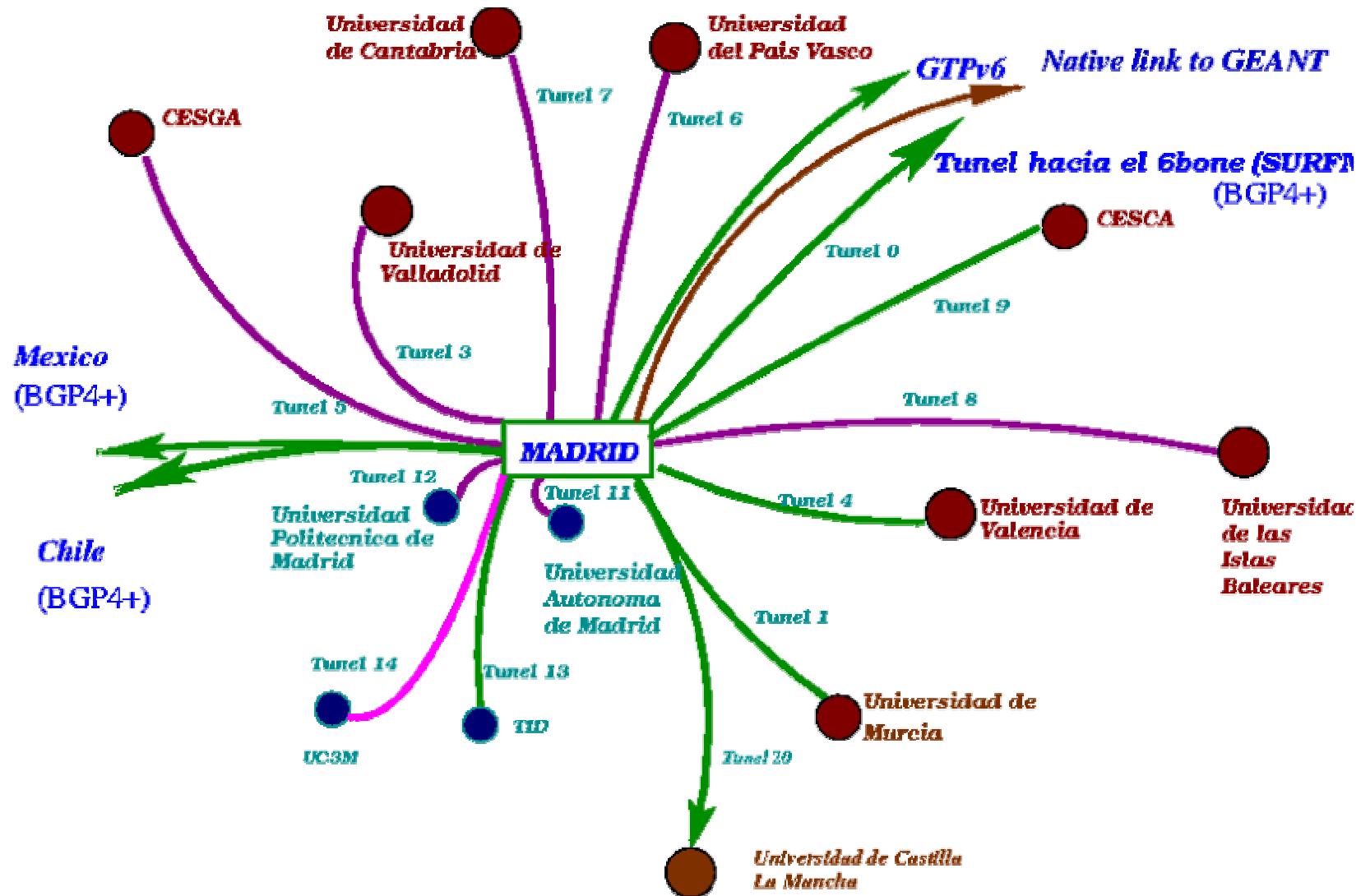


RED EUROPEA GEANT www.dante.net





RED EXPERIMENTAL IPv6 DE REDIRIS





2 BIBLIOGRAFÍA

Bibliografía consultada para la realización de este capítulo:

[STALLINGS 97]

Stallings, W. (1997).
Comunicaciones y redes de computadores, 5^a ed.
Prentice Hall Iberia.

[TANENBAUM 96]

Tanenbaum, A.S. (1996).
Computer Networks. (Third Edition).
Prentice-Hall.

[HALSALL 95]

Halsall, F. (1995).
Data Communications, Computer Networks and Open Systems.
Addison-Wesley.

[TELEFONICA 89]

Telefónica. (1989).
Manual extractado de operación, Red IBERPAC. Protocolo X.25
Telefónica/Formación.

[TELEFONICA 90]

Telefónica. (1990).
Estructura y funcionamiento de la Red IBERPAC.
Telefónica/Formación.

[CORRALES 95]

Corrales, J.A. ; Ojea, G. (1995)
La red corporativa de la Universidad de Oviedo.
Jornadas Técnicas de RedIris 1995.

[FREEER 88]

Freer, J. (1988).
Introducción a la tecnología y diseño de Sistemas de Comunicaciones y Redes de Ordenadores.
Anaya Multimedia.

[ALONSO 95]

Alonso, J. M. (1995).
Protocolos de comunicaciones para sistemas abiertos.
Addison-Wesley Iberoamericana.