

11

Redes de Área Extensa (WAN)

11.1 PROPIEDADES WAN

11.1.1 DEFINICIÓN DE TÉRMINOS WAN

Se conoce como **equipamiento en las instalaciones del cliente** (CPE, *Customer Premises Equipment*) a la electrónica de red propiedad del proveedor de servicios que se encuentra en la ubicación del cliente.

Se conoce como **CSU/DSU** (*Channel Service Unit/Data Service Unit*) al dispositivo de capa 1 que conecta los puertos serie del *router* del cliente con la red del proveedor de servicios y se conecta directamente al *demarcation point*. Puede ser un dispositivo externo o una tarjeta interna del *router*. Es el dispositivo empleado para suministrar la señal de reloj al CPE y otras características, como el control del voltaje. Se utiliza por tanto para conectarse a circuitos síncronos.

Se conoce como **PTR** (Punto de Terminación de Red), **demarcation point** o *demarc* al punto donde termina la responsabilidad del proveedor de servicios y comienza el CPE. Generalmente se trata de un dispositivo en un armario de comunicaciones conocido como NID (*Network Interface Device*) propiedad de la compañía de telecomunicaciones, la cual también es responsable de su instalación.

No obstante, es responsabilidad del cliente cablear desde el *demarcation point* hasta el CPE, lo que suele ser una conexión con una CSU/DSU o una interfaz RDSI.

Se conoce como **bucle local** (*local loop*) o **bucle de abonado** a un cable consistente en un par de hilos de cobre que conecta el *demarc* con la ubicación más próxima de conmutación, denominada **oficina central** (CO, *Central Office*).

Se conoce como CO o punto de presencia (POP, *Point of Presence*) al edificio de una compañía telefónica que conecta la red del cliente con el proveedor de la red conmutada.

Se conoce como **red aduana** (*toll network*) a la línea troncal dentro de una red WAN del proveedor de servicios. Esta red es un conjunto de conmutadores propiedad del ISP.

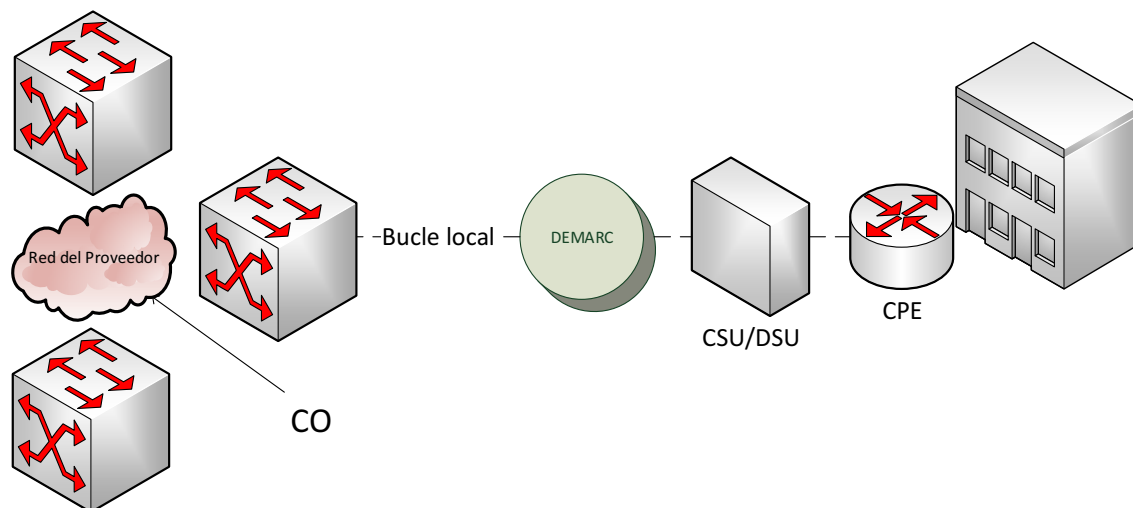


Figura 11.1. Ejemplo clásico de WAN.

11.1.2 TIPOS DE CONEXIÓN WAN

Una conexión WAN suelen ser clasificadas dentro de tres categorías genéricas distintas:

- **Línea dedicada** (*dedicated line*): Es un enlace permanente (*always on*) establecido entre dos ubicaciones diferentes. Esta conexión lógica entre emplazamientos es implementada mediante una conexión física ofrecida por un proveedor de servicios. Una **línea dedicada alquilada** (*dedicated leased line*) es una ruta de comunicación WAN preestablecida que une por un lado el CPE con el conmutador DCE (*Data Communication Equipment*) y por el otro con el CPE del sitio remoto. Idealmente, el CPE permite la conexión entre redes DTE (*Data Terminal Equipment*) en cualquier instante de tiempo sin necesidad de emplear complejos procedimientos de configuración para poder transmitir la información. Se pueden emplear líneas serie síncronas para alcanzar una velocidad de canal de hasta 45 Mbps. No obstante, el coste económico de las líneas dedicadas con respecto a otras tecnologías WAN es superior para la misma velocidad nominal del canal, si bien es cierto que el ancho de banda no es compartido con otros clientes en las líneas dedicadas. Ejemplos de encapsulamiento empleados en líneas dedicadas alquiladas son HLDC (*High-Level Data Link Control*) y PPP (*Point-to-Point Protocol*).



Figura 11.2. Ejemplo de enlace mediante línea dedicada.

- **Conmutación de circuitos:** Es un enlace entre dos ubicaciones establecido cuando surge la necesidad de establecer una comunicación entre ellas. En conmutación de circuitos no puede transmitirse información hasta que no está establecida una conexión extremo a extremo. La conmutación de circuitos puede considerarse análoga al establecimiento de una llamada telefónica a través de la RTC (Red Telefónica Conmutada). Un ejemplo de conmutación de circuitos es la conectividad mediante módems dial-up. Otro ejemplo sería la Red Digital de Servicios Integrados (RDSI), en inglés ISDN (*Integrated Services Digital Network*), que puede operar como una conexión de conmutación de circuitos, estableciendo un circuito virtual (VC, *Virtual Circuit*) bajo demanda. Este tipo de conectividad permite ahorro de costes de operación a aquellos clientes que únicamente necesitan conectividad ocasional con una ubicación remota. Suelen tarifarse según tiempo de conexión. Suele emplearse en enlaces de datos con escaso ancho de banda.



Figura 11.3. Ejemplo de conmutación de circuitos.

- **Conmutación de paquetes:** La mayoría de las conexiones de conmutación de paquetes son de establecimiento permanente. Permiten que múltiples clientes compartan el ancho de banda ofrecido por un proveedor de servicio. El cliente establece mediante contrato las métricas de rendimiento (ancho de banda, retraso máximo, disponibilidad, etc.) que debe garantizar el proveedor de servicios. Las conexiones lógicas entre clientes se establecen empleando VC. Ejemplos de este tipo de conexiones son X.25 y *Frame Relay*.



Figura 11.4. Ejemplo de conmutación de paquetes.

11.1.3 VELOCIDAD DE CONEXIÓN EN WAN

En general, los enlaces MAN y WAN son más rápidos que los LAN. Además de utilizarse como medida de velocidad de enlace entre dos ubicaciones los bps (y sus potencias), en las redes ópticas de alta velocidad se emplean niveles de portadora óptica (OC, *optical carrier*). En EE.UU., el estándar de transmisión síncrono sobre fibra óptica se denomina SONET (*Synchronous Optical Network*), siendo su equivalente internacional SDH (*Synchronous Digital Hierarchy*). La velocidad base estándar en SONET se denomina OC-1 y tiene una tasa binaria de 51,84 Mbps, siendo otros niveles de OC potencias del ancho de banda de OC-1. Es decir, un enlace del tipo OC-3 (155,52 Mbps) representa 3 veces la capacidad de un enlace OC-1.

En líneas dedicadas alquiladas, el nivel más básico de ancho de banda de una conexión síncrona entre dos ubicaciones se denomina línea T1. Esta línea es capaz de transmitir hasta 24 canales DS0 (*Digital Signal 0*) de 64 kbps en EE.UU., Japón (donde se denomina J1) y Corea del Sur. En Europa se utiliza una versión mejorada denominada E1 que permite hasta 30 canales DS0. T1 utiliza patrones de bit DS1 (*Digital Signal 1*) para transmitir paquetes; en origen, DS1 representaba los 24 canales de voz digital transmitidos a través de una línea T1 (24x64 kbps= 1,536 Mbps). Tras transmitir cada byte de información por cada canal (24x8 bits= 192 bits) se transmite un bit extra de sincronización denominado bit de trama (*bit frame*), enviándose por tanto 193 bits (lo que computa un total de 8.000 bits al transmitir los 1,536 Mbits). Por tanto, las líneas T1 tienen una velocidad permanente de 1,544 Mbps.

La partición en canales independientes permite a la compañía telefónica la combinación de voz y datos sobre una conexión T1 o utilizar la línea T1 como si fuera un único canal de 1,544 Mbps. Existe la posibilidad de contratar un circuito fracción de una línea T1, denominado FT1 (*Fractional T1*), pero entonces no se pueden emplear los 24 canales.

Las líneas T-x (las más habituales son las líneas T1 y T3) pueden ser alquiladas a la compañía telefónica. Estas pueden ser suministradas al cliente a través de par de cobre o como parte de una línea troncal (*trunk line* o *backbone*). Emplean modulación TDM (*Time Division Multiplexing*) para dividir el ancho de banda en canales de la misma tasa de bit (*bit rate*).

Las líneas T3 equivalen a 28 circuitos T1 (es decir, 672 canales DS0), utilizan una señal denominada DS3 (*Digital Signal 3*) y operan a 44,736 Mbps generalmente sobre cableado de fibra óptica. Este tipo de líneas suelen ser empleadas por ISP locales con otros ISP de mayor nivel. También pueden ser empleadas por grandes corporaciones internacionales para la transmisión de voz y datos entre sus principales oficinas regionales.

El equivalente europeo de la línea T3 es la E3 (conformada por 16 E1 y con capacidad de 34,368 Mbps), mientras que en Japón es la J3 (con capacidad de 32,064 Mbps).

Se conoce como modulación WDM (*Wavelength Division Multiplexing*) a la multiplexación de varias portadoras ópticas en una única fibra óptica empleando diferentes longitudes de onda.

Por su parte, la modulación DWDM (*Dense Wavelength Division Multiplexing*) multiplexa dentro de una banda específica (1550 nm).

Una nueva tecnología para dar conexión a Internet a hogares y empresas se conoce como PON (*Passive Optical Network*) o *fibra hasta las instalaciones (fiber to the premises)*. Se trata de una tecnología punto-multipunto, con una única fibra utilizada por diferentes instalaciones (valor típico comprendido entre 16 y 28) y donde se emplean divisores (*splitters*) ópticos sin conexión eléctrica.

El sistema se conforma mediante una OLT (*Optical Line Termination*) en las instalaciones del operador de comunicaciones y un conjunto de ONU (*Optical Network Unit*) próximos a los usuarios finales. Este esquema permite velocidades de descarga a los usuarios de entre 155 y 655 Mbps, siendo la velocidad de subida de hasta 155 Mbps.

La Tabla 11.1 ofrece una muestra de los anchos de banda habituales de diferentes tecnologías WAN.

Tecnología WAN	Ancho de banda
Frame Relay	56 kbps- 1,544 Mbps
T1	1,544 Mbps
T2	6,312 Mbps
T3	44,736 Mbps
T4	274,176 Mbps
E1	2,048 Mbps
E3	34,368 Mbps
ATM	155- 622 Mbps
SONET	51,84 Mbps (OC-1) – 159,25 Gbps (OC-3072)

Tabla 11.1. Anchos de banda típicos en WAN.

11.1.4 MEDIO FÍSICO DEL CANAL EN WAN

Los enlaces WAN pueden ser implementados empleando medios cableados (cobre o fibra óptica) o enlaces inalámbricos. No obstante, las soluciones inalámbricas son utilizadas en aquellos casos en los que la implementación de las tecnologías WAN convencionales no están disponibles o porque los clientes tienen como requisito la movilidad.

El medio físico cableado empleado para las conexiones WAN es similar al empleado para las conexiones LAN. Así, son habituales los siguientes cableados:

- **UTP:** Empleado tanto en circuitos analógicos como digitales desde la central telefónica (CO, *Central Office*) a la sede del cliente. Suele emplearse cableado Cat 3. Ejemplos de tecnologías WAN que emplean este tipo de soporte físico son los circuitos T1, las conexiones DSL, las conexiones dial-up empleando módems analógicos o los circuitos RDSI.

- **Cable coaxial:** Empleado en soluciones WAN residenciales. A la ubicación del cliente llega un cable coaxial (Ej. cable coaxial RG-6) que se conecta a un cable módem, empleado para la transmisión/recepción de la comunicación. Sobre el cable coaxial pueden implementarse diferentes servicios (datos, televisión, etc.) utilizando diferentes frecuencias de portadora.
- **Cable de fibra óptica:** Empleado en conexiones WAN de alta capacidad o que deben enlazar ubicaciones separadas por grandes distancias. Presenta la ventaja de su inmunidad frente a EMI.
- **Tendido eléctrico:** Empleadas para dar servicio de acceso a Internet de banda ancha a zonas residenciales debido al ahorro de costes que supone emplear la infraestructura ya existente para el suministro eléctrico. Se utiliza la tecnología denominada BPL (*broadband over power lines*). Permite suministrar al cliente un ancho de banda de 2,7 Mbps.

Los enlaces inalámbricos permiten flexibilizar las conexiones WAN y en general reducen costes. No obstante, los retrasos y la tasa de error en el envío de paquetes son mayores que en las soluciones cableadas. Algunos ejemplos son:

- **Satélite:** En aquellas ubicaciones donde no es posible establecer comunicaciones cableadas (Ej. áreas alejadas de entornos urbanos) es posible establecer enlaces entre distintas ubicaciones vía satélite. Dependiente de la meteorología para una buena conexión con el satélite. Comunicaciones condicionadas también por las tormentas solares. El retardo de transmisión es significativo, dificultando las aplicaciones de comunicación en tiempo real, como VoIP y videoconferencia.
- **Enlace de radio por microondas (*microwave radio relay*):** Se pueden utilizar radioenlaces *línea de vista* en la banda radioeléctrica de las microondas para la transmisión de señales analógicas o digitales. Se emplean antenas direccionales en ambos extremos para conformar entre ambas ubicaciones una conexión radio fija. La reglamentación de cada nación regula la correcta gestión del espectro radioeléctrico, lo que hace que varíe la implementación de las diferentes soluciones WAN basadas en comunicaciones radioeléctricas. Aunque la tasa de transferencia habitual de estos enlaces está comprendida entre los 1 y 10 Mbps, pueden conseguirse actualmente tasas de transferencia de hasta 300 Mbps.
- **Telefonía celular:** Los desarrollos tecnológicos se agrupan en generaciones, siendo la primera generación denominada 1G (*First Generation*), que únicamente permitía la transmisión de voz analógica. El salto a 2G introdujo voz digital y el envío de datos tipo mensaje de texto. La 3G permitió el envío de voz digital y datos de alta velocidad con acceso a Internet. Es la cobertura más extendida actualmente en los países desarrollados, si bien aumenta progresivamente la cobertura de redes 3.5G y 4G.
 - **UMTS (*Universal Mobile Telecommunications System*):** Una de las tecnologías 3G, sucesora de GSM, debido a que la tecnología GSM no podía seguir un camino evolutivo para brindar servicios de tercera generación. Permite una velocidad de acceso a Internet cercana a 2 Mbps transmitiendo audio y video en tiempo real. Además, dispone de una variedad de servicios muy extensa.
 - **HSPA+ (*Evolved High-Speed Packet Access*):** Considerada como 3.5G. Permite opcionalmente una arquitectura completamente IP (uno de los requisitos de 4G). Utilizada para dar servicio inalámbrico de banda ancha con velocidades de descarga entre 3 y 4 Mbps y de subida entre 1 y 2 Mbps.
 - **WiMAX (*Worldwide Interoperability for Microwave Access*):** Tecnología 4G basada en el estándar IEEE 802.16. Permite enlaces entre torres de comunicaciones y con dispositivos móviles. Utilizada para suministrar acceso inalámbrico de banda ancha a dispositivos fijos y móviles en zonas donde es compleja o extremadamente costosa la distribución cableada en la última milla. También puede ser empleada para dar cobertura a ciudades enteras. La velocidad en el canal descendente suele estar comprendida entre los 5 y los

6 Mbps y el canal ascendente entre los 2 y 3 Mbps. Sus principales inconvenientes son su incompatibilidad con 2G y 3G, la necesidad de una elevada potencia de transmisión y sus menores tasas binarias con respecto a LTE.

- **LTE** (*Long-Term Evolution*): Tecnología 4G con mayor difusión. Utiliza tecnología todo IP, tiene la mejor cobertura en interiores, mantiene la tasa binaria en toda la celda y permite las mayores velocidades de descarga, entre 7 y 12 Mbps y subida entre 3 y 5 Mbps.

11.2 TECNOLOGÍAS DE BANDA ANCHA

Los servicios dedicados de banda ancha comprenden la transmisión de información en diferentes medios físicos y una gran variedad de frecuencias.

Las diferentes formas de servicios DSL (*Digital Subscriber Line*) se consideran servicios de banda ancha por enviarse información digital sobre un canal de alto ancho de banda sobre una portadora de frecuencia superior a la del canal de voz banda base empleando como soporte físico un cableado de par de cobre.

La principal alternativa doméstica al DSL para proveer servicios de televisión y datos sobre banda ancha son las redes denominadas de cable, aunque realmente es una implementación mixta fibra-coaxial conocida como HFC (*Hybrid Fiber Coaxial*).

Las principales diferencias entre ambas soluciones tecnológicas son:

- **Velocidad:** En general, las redes de cable suelen ofrecer mayor velocidad de conexión.
- **Seguridad:** Actualmente ofrecen un nivel de seguridad equivalente, aunque hasta fechas recientes eran más seguras las soluciones implementadas sobre DSL.
- **Nivel de implantación:** En EE.UU. tiene gran implantación el cable, aunque está expandiéndose cada vez más el DSL. En cambio, en Europa hay mayor número de clientes de DSL que de cable.

11.2.1 PLAIN OLD TELEPHONE SYSTEM (POTS)

La red telefónica conmutada (RTC), o en inglés PSTN (*Public Switched Telephone Network*), está formada por una gran cantidad de operadoras de telefonía fija repartidas por todo el mundo.

La conexión entre el cliente y el proveedor de servicios se lleva a cabo mediante una interfaz de la RTC y realizando una marcación al proveedor de servicios. La interfaz entre el dispositivo del usuario y el PTR (*demarc*) está formada por un módem y un par de hilos de cable de cobre con conector RJ-11. Desde el *demarc* se enlaza a través de una línea telefónica con la CO (*Central Office*) de su compañía telefónica local, conocida como LEC (*Local Exchange Carrier*). Este tramo *demarc*-CO es conocido como bucle de abonado. Desde la CO se establece el enlace del cliente con la RTC. Esta conexión, conocida como POTS (*Plain Old Telephone System*), es analógica y del tipo *dial-up*.

Las conexiones POTS pueden ser utilizadas para la transmisión de voz y datos. Su principal ventaja es su mayor disponibilidad con respecto a otras tecnologías WAN, dado que se puede establecer una conexión con cualquier lugar del mundo desde donde se disponga de acceso a la RTC. No obstante, el ancho de banda disponible es muy limitado (56 kbps).

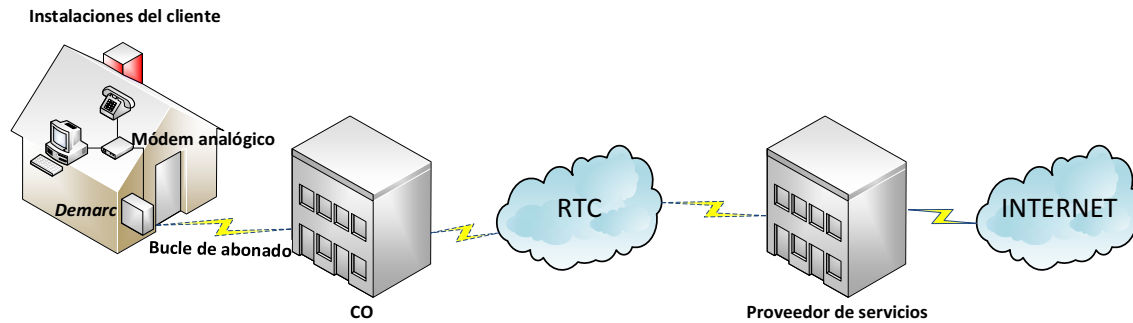


Figura 11.5. Esquema de conexión POTS.

11.2.2 PROTOCOLO PUNTO A PUNTO (PPP)

Un protocolo de capa 2 muy utilizado en líneas dedicadas es el protocolo punto a punto (PPP, Point-to-Point Protocol). PPP tiene la capacidad de poder transmitir simultáneamente múltiples protocolos de capa 3 mediante la utilización de protocolos de control (CP, *Control Protocols*). Por ejemplo, IP utiliza el protocolo IPCP (*IP Control Protocol*). Cada CP de capa 3 utiliza una instancia del protocolo de control de enlace (LCP, *Link Control Protocol*) de PPP. Entre las características de LCP destacan:

- Interfaz multienlace: Permite múltiples conexiones físicas sobre una misma interfaz lógica, la cual permite balanceo de carga a través de múltiples interfaces físicas.
- Detección de bucles de enlace: Detección y prevención de bucles de enlaces PPP en la capa 2.
- Detección de errores: Las tramas con errores pueden ser detectadas y descartadas.
- Autenticación: Un dispositivo en un extremo de un enlace PPP puede autenticar un dispositivo al otro extremo del enlace. Ejemplos de autenticación PPP son PAP (*Password Authentication Protocol*), CHAP (*Challenge-Handshake Authentication Protocol*) y MS-CHAP (*Microsoft Challenge-Handshake Authentication Protocol*).

El protocolo punto a punto sobre Ethernet (PPPoE, *Point-to-Point Protocol over Ethernet*) es una tecnología WAN muy utilizada para el acceso doméstico y empresarial a Internet mediante DSL en el tramo comprendido entre el módem DSL y el ISP. PPPoE encapsula tramas PPP en tramas Ethernet. El empleo de PPPoE permite utilizar Ethernet con características de PPP, como la autenticación del cliente con el ISP.

11.2.3 TECNOLOGÍAS DSL Y XDSL

DSL es una tecnología de transmisión en la capa física. Las conexiones DSL se implantan en la denominada *última milla* (*last-mile*) de una red telefónica o bucle local. Por **última milla** se entiende la conexión física desde el cliente hasta el primer dispositivo de agregación (Ej. multiplexor) de la red del proveedor.

Una conexión DSL se establece entre un par de módems en cada extremo de un cable de cobre situado entre el CPE y el DSLAM (*Digital Subscriber Line Access Multiplexer*). El **DSLAM** es el dispositivo que concentra las conexiones de múltiples clientes DSL y está situado en la CO del proveedor. La distancia máxima que puede existir entre un módem DSL y el DSLAM es de aproximadamente 5.400 metros. Esta limitación es debida a que tradicionalmente se utilizaron

inductancias en las líneas telefónicas cada 5.400 metros para reducir la capacitancia inherente al cableado de cobre, la cual provoca ecos en la línea. No obstante, la señal DSL no puede traspasar las inductancias.

El éxito del conjunto de tecnologías xDSL (la x representa el carácter comodín para englobar las diferentes variantes existentes) como solución para el suministro de servicios de banda ancha a los clientes domésticos es debido a su bajo coste de despliegue en comparación con otras soluciones como una línea T1, al emplear como medio físico el cableado convencional de la RTC.

En xDSL se utiliza una portadora de frecuencia superior a la empleada para la transmisión de voz por el mismo par de cable de cobre. El extremo de este cable se conecta en las instalaciones del cliente a una interfaz de red denominada punto final (*endpoint*), que es el módem DSL.

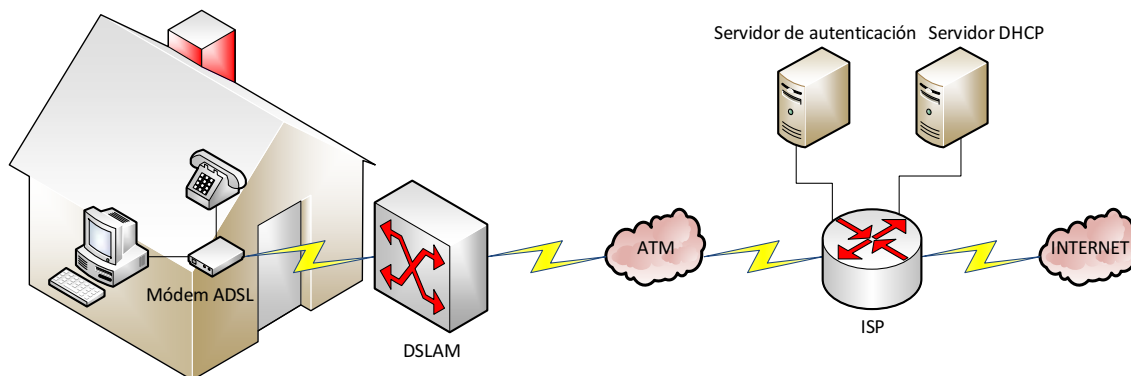


Figura 11.6. Ejemplo de conexión ADSL.

A continuación, se detallan algunas de las implementaciones de DSL:

- **HDSL** (*High bit-rate Digital Subscriber Line*): Fue la primera implementación DSL. Desarrollada para circuitos síncronos. Permiten el establecimiento de un circuito digital unidireccional de 1,544 Mbps (T1) o 2,048 Mbps (E1), utilizando una transmisión full-dúplex simultánea por cada uno de los pares de hilos. La distancia máxima entre terminales es de entre 3 y 4 km, dependiendo del diámetro y del estado de los pares de cobre.
- **SDSL** (*Symmetric Digial Subscriber Line*): Transmisión simétrica de datos, es decir, misma tasa binaria en sentido ascendente y descendente. Permite la transmisión simétrica a velocidades T1/E1, pero no permite llamadas de voz en la misma línea empleando el canal de baja frecuencia. Utilizada en Pymes que no necesitan una línea dedicada para conectarse con un servidor.
- **VDSL** (*Very high-rate Digital Subscriber Line*): Permite la transmisión de datos de manera asimétrica (52 Mbps de descarga y 16 Mbps de subida) o simétrica (26 Mbps tanto en subida como en bajada) sobre el mismo cable de cobre empleado en telefonía POTS (*Plain Old Telephone Service*). Además de utilizarse para la conexión a Internet, puede ser empleada simultáneamente para aplicaciones como HDTV y VoIP. VDSL2 (VDSL de segunda generación) utiliza anchos de banda de hasta 30 MHz para permitir velocidades binarias de hasta 100 Mbps a simultáneo en el canal ascendente y descendente. Esta velocidad binaria máxima se alcanza en distancias de hasta 300 m, degradándose la conexión conforme aumenta la atenuación en el bucle de abonado (bucle local).
- **ADSL** (*Asymmetric Digital Subscriber Line*): La implementación más frecuente. La conexión es asimétrica y orientada a permitir una rápida tasa de transmisión descendente (hasta 10 Mbps) y una aceptable tasa ascendente (próxima a 1 Mbps). Permite realizar llamadas de voz sobre la misma línea de cobre empleando un divisor (*splitter*) en la línea POTS.

11.2.4 CABLE MÓDEM

En una red de cable, se conoce como **cabecera** (*headend*) el lugar donde se reciben, procesan y conforman todas las señales. Estas señales se transmiten posteriormente desde la cabecera a la red de distribución.

Se conoce como **red de distribución** a las pequeñas áreas de servicio utilizadas para dar servicio a grupos de entre 100 y 2.000 clientes (siendo necesaria una dirección IPv4 clase B con submáscara /20 o /21). La red suele utilizar un medio físico HFC, empleándose la fibra óptica para sustituir la parte de la troncal de red entre la cabecera y el **nodo óptico**, que es el equipo donde se convierte la señal de luz en señal RF. Esta señal RF es distribuida utilizando cable coaxial RG-6 desde el nodo óptico al cable módem ubicado en las instalaciones del cliente.

DOCSIS (*Data Over Cable Service Interface Specification*) es la especificación empleada para establecer los requisitos de las interfaces de las redes de cable para la transmisión de datos y vídeo. La versión europea se denomina Euro-DOCSIS.

El principal problema de las redes de cable es que los usuarios de cada área de servicio tienen que compartir el ancho de banda total disponible en la red de distribución a la que están conectados. Es decir, que el uso intensivo de los recursos disponibles en la red de distribución por otros usuarios de dicho área de servicio condiciona la calidad del servicio del usuario.

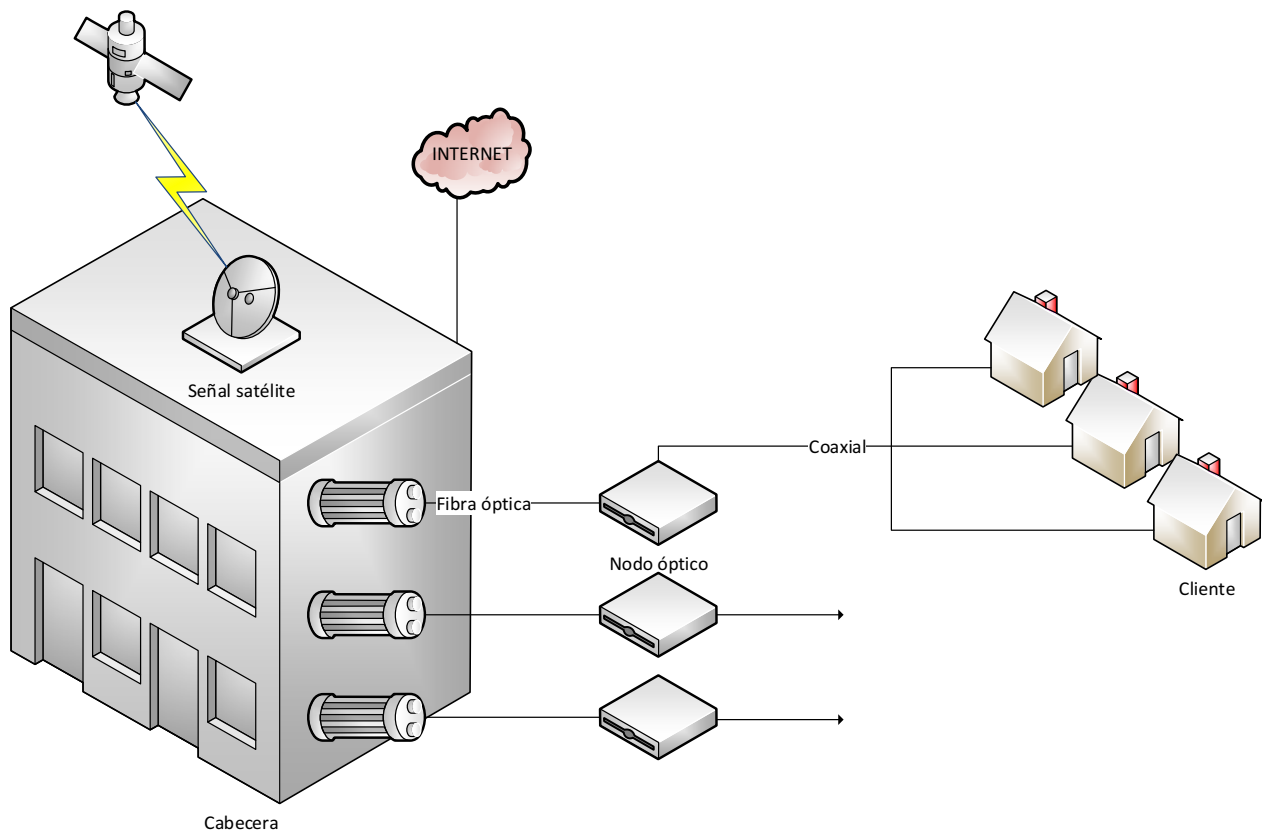


Figura 11.7. Ejemplo de red HFC.

11.3 TECNOLOGÍAS WAN

11.3.1 RED DIGITAL DE SERVICIOS INTEGRADOS (RDSI)

La RDSI, o ISDN en inglés, es una tecnología WAN digital punto a punto capaz de suministrar empleando accesos básicos BRI (*Basic Rate Interface*) una conectividad de 128 kbps, o a través de un acceso primario PRI (*Primary Rate Interface*) una velocidad máxima de conexión de 2 Mbps.

Utiliza el mismo cableado UTP que POTS, pero a mayor velocidad binaria. No obstante, utiliza señal digital en lugar de la señal analógica empleada para la transmisión de voz en POTS.

Una línea RDSI tiene dos tipos de canales:

- **Canal B** (*Bearer*): Utilizados para la transmisión de información. Cada canal B tiene una capacidad de 64 kbps. Una línea BRI tiene 2 canales B, mientras que una línea PRI tiene 23 canales B. En la línea BRI, uno de los canales puede ser utilizado para transmisión de voz mientras que el otro puede ser utilizado para transmisión de datos. La modulación empleada en cada par de cobre es TDM (*Time Division Multiplexing*). Los canales B de una línea BRI pueden unirse utilizando multiplexación inversa, también conocida como BONDING (*Bandwidth On Demand Interoperability Group*), para transmitir datos totalizando un ancho de banda de 128 kbps.
- **Canal D** (*Delta*): Conocido también como canal de señalización. Se multiplexa en un par de cobre. Este canal es utilizado para el establecimiento de llamada y gestión del enlace. Tiene un ancho de banda de 16 kbps en la línea BRI y 64 en la línea PRI. En raras ocasiones se utiliza el canal D para la transmisión de datos, como la verificación de datos de una tarjeta de crédito.

Algunos dispositivos RDSI están diseñados para conectarse a circuitos RDSI de cuatro cables, mientras que otros solo necesitan conectarse a circuitos RDSI de dos cables. Además, no todos los dispositivos de una red RDSI tienen por qué ser dispositivos nativos RDSI, siendo por tanto necesaria la existencia de interfaces y puntos de referencia en la red.

Se conoce como TE1 (*Terminal Endpoint 1*) a los dispositivos que soportan de manera nativa RDSI (Ej. terminal telefónico RDSI). Se conoce como TE2 (*Terminal Endpoint 2*) a los dispositivos que no soportan de manera nativa RDSI (como un ordenador o un terminal telefónico analógico).

Se conoce como TA (*Terminal Adapter*) al dispositivo que realiza la conversión de protocolos entre un dispositivo TE2 y un dispositivo TE1, permitiendo por tanto conectar dichos dispositivos a la red RDSI. El *punto de referencia R* se encuentra entre el TA y un dispositivo TE2.

Se conoce como NT1 (*Network Termination 1*) al dispositivo que interconecta un circuito RDSI de cuatro hilos a un circuito RDSI de dos hilos. El *punto de referencia S/T* se encuentra entre el TE1 y un NT1. El *punto de referencia U* se encuentra entre el NT1 y la toma de la pared (*demarc*) que conecta con el proveedor de servicios de RDSI.

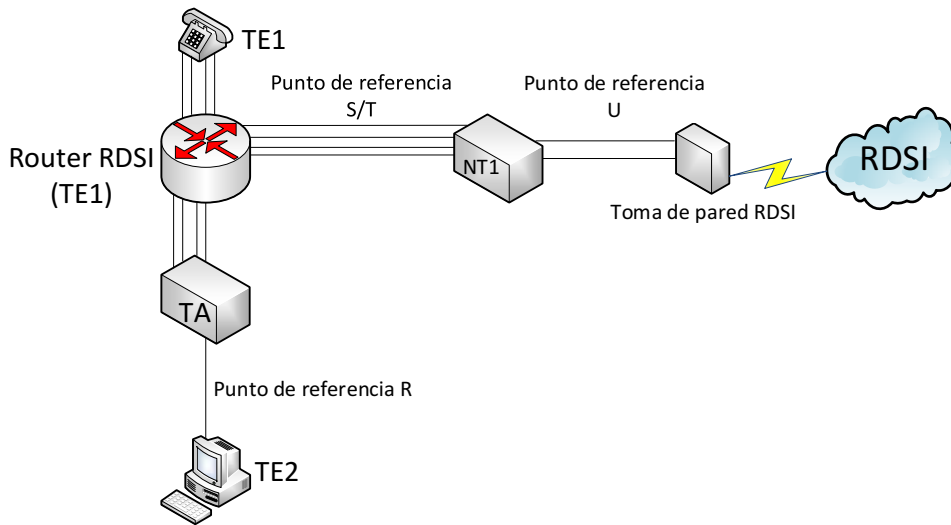


Figura 11.8. Esquema de conectividad RDSI.

11.3.2 FRAME RELAY (FR)

Frame Relay (FR) es una tecnología WAN en la que se transmiten paquetes de longitud variable mediante conmutación de paquetes.

Mientras que en las líneas dedicadas punto a punto es necesario establecer un enlace entre el servidor y cada una de las sedes remotas, en FR se reduce el coste de operación, pues únicamente es necesaria una conexión entre el *router* corporativo y el conmutador FR, tal y como se aprecia en la Figura 11.9. No obstante, esto tiene como contrapartida una menor redundancia frente a fallos, por la existencia de un único punto de fallo.

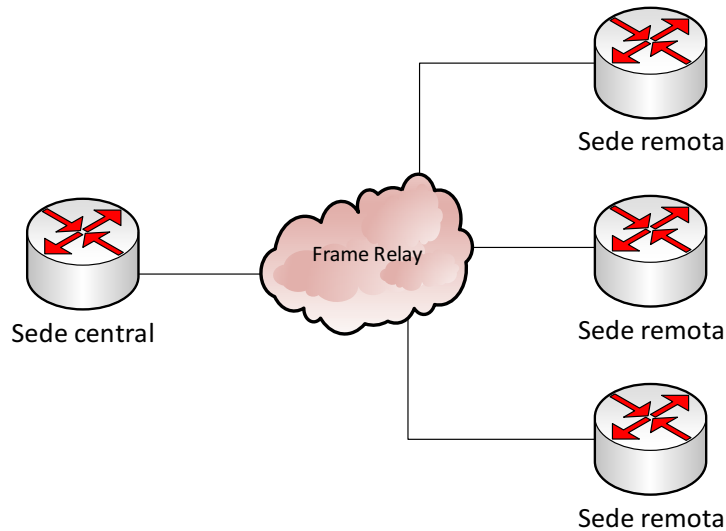


Figura 11.9. Ejemplo de enlace FR.

FR establece una red de conmutación de paquetes a la que se conectan diferentes usuarios simultáneamente, lo que permite distribuir el coste de conmutación entre un elevado número de clientes. El proveedor, al dimensionar el servicio, asume que no todos sus clientes se conectarán al mismo tiempo y que no todo el tiempo estarán transmitiendo información.

FR asigna una parte dedicada de ancho de banda a cada usuario, permitiendo además que el cliente exceda su ancho de banda garantizado si los recursos disponibles del proveedor del servicio lo permiten. Por tanto, existen dos anchos de banda en FR:

- **Tasa binaria de acceso** (*access rate*): velocidad máxima a la que la interfaz FR puede transmitir.
- **Tasa binaria comprometida** (CIR, *Committed Information Rate*): El ancho de banda máximo garantizado, siendo realmente la tasa media que el proveedor de servicios permite transmitir en función del ancho de banda contratado por el cliente a través de un SLA (*Service Level Agreement*).

Si la tasa binaria de acceso y la CIR son similares, la conexión FR funcionaría prácticamente como una línea dedicada. No obstante, la tasa binaria de acceso suele ser superior a la CIR. En estos casos, cuando el tráfico del cliente excede la CIR, la tasa binaria transmitida que supera la CIR se conoce como **ráfaga** (*burst*). Si la suma de la CIR y la ráfaga máxima, denominada tasa máxima de ráfaga (MBR, *Maximum Burst Rate*), excede la tasa de acceso, es muy probable que ese tráfico adicional sea descartado.

En caso de existir congestión, el proveedor de servicios puede llegar a necesitar que el cliente reduzca su tasa de transmisión por debajo de su CIR. Esta petición se realiza mediante el bit BECN (*Backwards Explicit Congestion Notification*) de la cabecera de la trama FR. Esta reducción del CIR nunca será superior al 25% por intervalo temporal (por defecto, 125 ms).

Si el proveedor de servicio no está congestionado, el cliente puede temporalmente transmitir a una tasa binaria superior a la establecida en el CIR. Las tramas enviadas en exceso del CIR tienen activado el bit DE (*Discard Eligible*) en la cabecera de la trama FR. Estas tramas con el bit DE activado, en caso de existir congestión, serán descartadas.

FR opera mediante circuitos virtuales. Estos circuitos virtuales son los que enlazan los miles de dispositivos conectados a la infraestructura del operador. Es decir, que en FR se establece un circuito virtual entre dos DTE haciendo que parezcan al usuario como un circuito dedicado físico, cuando en realidad están utilizando una gran infraestructura compartida.

Existen dos tipos de circuitos virtuales:

- Circuitos virtuales permanentes (PVC, *Permanent Virtual Circuits*): Los más empleados. El operador de comunicaciones crea el mapeo en sus equipos de red y los mantiene en tanto se mantenga el contrato con el cliente.
- Circuitos virtuales conmutados (SVC, *Switched Virtual Circuits*): El circuito virtual se establece cuando existe la necesidad de transmitir datos, siendo eliminado cuando se completa la transferencia.

La identificación de los PVC de FR a los DTE se lleva a cabo mediante DLCI (*Data Link Connection Identifiers*). El proveedor de servicios asigna los valores DLCI que serán empleados por las interfaces FR para poder distinguir los diferentes circuitos virtuales. Esto permite conectar la sede central con las sedes remotas empleando en la sede central una única interfaz FR, un único CSU/DSU, un único circuito contratado y tantos PVC como sedes remotas se quieran enlazar.

11.3.3 ASYNCHRONOUS TRANSFER MODE (ATM)

ATM es un servicio orientado a la conexión diseñado como protocolo de acceso de alta velocidad que funcionara independientemente de la topología de la LAN empleada. ATM utiliza conmutación de celdas (*cell switching*) y como unidad de datos de protocolo (PDU, *Protocol Data Unit*) celdas (*cells*) de tamaño fijo de 53 bytes (5 bytes de cabecera y 48 bytes de *payload*). Estas celdas se emplean para tanto para la transmisión de datos como para la transmisión de voz y vídeo en tiempo real.

Al igual que FR, emplea PVC y SVC. No obstante, ATM emplea un par de números para la identificación de un circuito virtual (VC, *Virtual Circuit*). Uno de estos números es el **identificador de camino virtual** (VPI, *Virtual Path Identifier*). Cada uno de estos VPI puede contener múltiples VC, que se diferencian entre sí por su **identificador de circuito virtual** (VCI, *Virtual Circuit Identifier*) que es el otro número identificativo de un VC.

En ATM, las interconexiones entre los conmutadores ATM y los extremos ATM se denominan **interfaces de usuario de red** (UNI, *User-Network Interfaces*), mientras que las interconexiones entre conmutadores ATM se denominan **interfaces de nodo de red** (Network Node Interfaces).

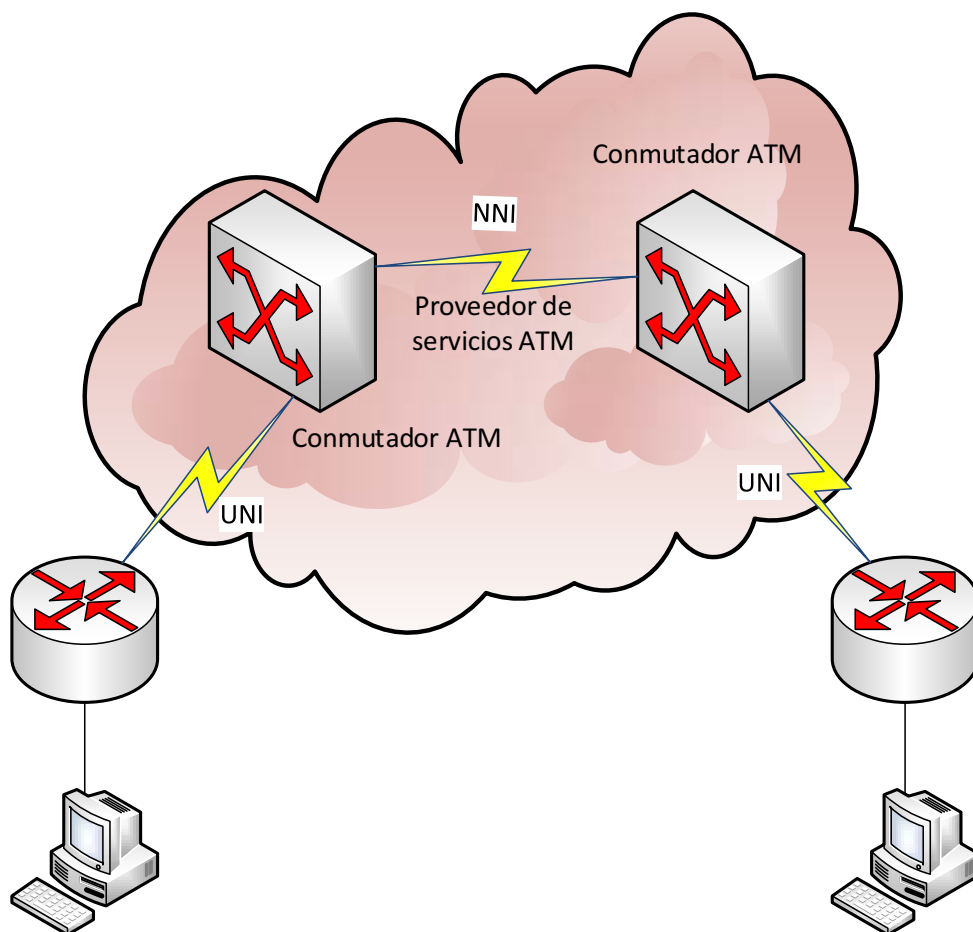


Figura 11.10. Ejemplo de conexión ATM.

ATM está diseñado para transmitir las celdas a gran velocidad estableciendo una conexión virtual entre los nodos fuente y destino; las celdas pasan a través de múltiples puntos de conmutación antes de llegar a su destino final. El destinatario tendrá que recomponer los datos ordenando las celdas recibidas.

La tasa de transferencia binaria es escalable, comenzando en 1,5 Mbps y estando disponibles tasas de transferencia binaria de 25 Mbps, 51,84 Mbps, 100 Mbps, 155,52 Mbps y superiores. El medio físico utilizado para estas tasas binarias puede ser tanto el cableado de cobre como el de fibra óptica. Para la tasa binaria de 622,08 Mbps se emplea cableado de fibra óptica.

ATM utiliza enrutamiento basado en hardware, lo que permite una velocidad de procesamiento mayor que la obtenida mediante el procesamiento software.

Las redes ATM basadas en fibra utilizadas por los proveedores de servicio permiten velocidades de hasta 10 Gbps, lo que permite la transmisión de voz y vídeo en tiempo real sin que se produzcan grandes retrasos, denominados latencia.

No obstante, ATM es menos eficiente que otros protocolos WAN porque el ratio entre la parte útil de datos transmitida (*payload*) y la cabecera de la celda es pequeño en comparación con otros protocolos.

11.3.4 MULTIPROTOCOL LABEL SWITCH (MPLS)

MPLS es una tecnología WAN de creciente popularidad entre los proveedores de servicio. Entre las ventajas de MPLS se encuentran que permite utilizar múltiples protocolos en la misma red (Ej. unir en la misma troncal a usuarios de FR y ATM) e ingeniería de tráfico (enrutamiento dinámico dentro de la nube MPLS a partir de condiciones de carga en tiempo real de enlaces específicos y la disponibilidad de rutas alternativas).

MPLS inserta una cabecera de 32 bits entre las cabeceras de capa 2 y capa 3. Por este motivo se considera a MPLS una tecnología *de capa 2 y media*. Dentro de la cabecera de 32 bits existe una etiqueta (*label*) de 20 bits. Esta etiqueta se utiliza para adoptar decisiones de envío dentro de la nube MPLS. El proceso de encaminar tramas MPLS a través de una nube MPLS se denomina **conmutación de etiquetas** (*label switching*).

Un encaminador de conmutación de etiquetas perimetral (ELSR, *Edge Label Switch Router*) es un dispositivo situado en el perímetro de una nube MPLS e interconecta al proveedor de servicios con uno o varios clientes.

Un encaminador de conmutación de etiquetas (LSR, *Label Switch Router*) se encuentra dentro de una nube MPLS y se encarga de adoptar las decisiones de envío de las tramas a partir de las etiquetas que se encuentran en sus cabeceras.

La etiqueta de la cabecera MPLS no permanece constante durante su paso por una nube MPLS. Cuando un LSR recibe una trama, examina su etiqueta, toma una decisión de envío basada en ella, la vuelve a etiquetar y la envía al siguiente LSR. Este proceso de conmutación de etiquetas es más eficiente que el direccionamiento basado en direcciones IP en la capa 3.

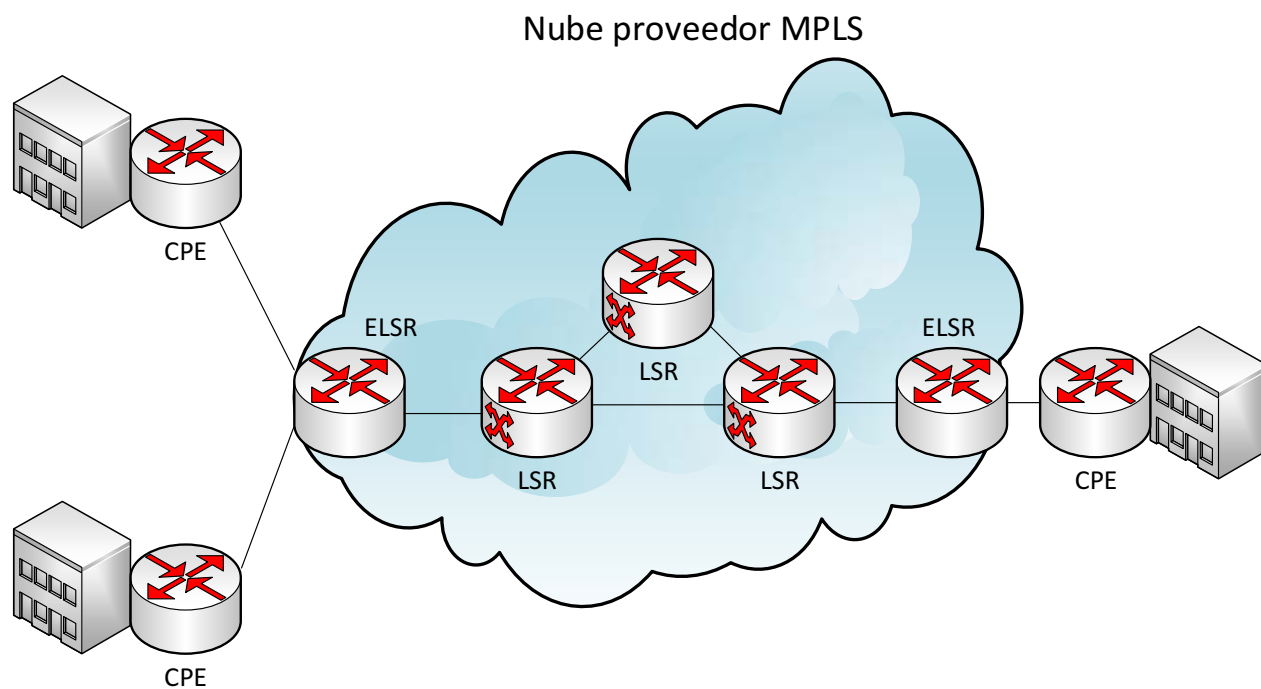


Figura 11.11. Ejemplo de conexión MPLS.