

ACCESO Y REDES DE BANDA ANCHA

En este artículo se exponen de forma general los diferentes niveles y tecnologías que constituyen las redes banda ancha, cuyo embrión lo constituyeron las redes cable pero que, actualmente, coexisten con otras tecnologías que permiten un gran ancho de banda, como son fibra óptica y la radio, además de xDSL para aprovechar el bucle de abonado existente.

En primer lugar, analicemos el significado de la expresión “red de banda ancha”. Todos sabemos lo que es una red: un conjunto de recursos interconectados entre sí que, gestionados de algún modo, interaccionan para satisfacer las necesidades de los usuarios que la utilizan; por otra parte, el concepto de banda ancha es mucho más extenso que el de todo aquel medio físico que soporta más de un canal de voz. Los tiempos actuales exigen un concepto de banda ancha mucho más amplio, en el cual se ponga de manifiesto la importancia de ser transparente al usuario, pues éste debe poder acceder a los servicios que tiene asignados sin problemas a través de esa red de banda ancha.

En segundo lugar, la integración adquiere un papel fundamental en el desarrollo actual y futuro de las redes de banda ancha. El concepto de integración debe ser entendido bajo varios puntos de vista: Integración como la variedad de servicios soportados sobre un medio de transporte digital común.

Integración de servicios y aplicaciones.

Integración de las subredes en una infraestructura de información global que podemos denominar red universal, siendo Internet una buena aproximación a este concepto.

Otro aspecto a destacar es el de interoperabilidad. El objetivo fundamental de dicha interoperabilidad es maximizar el valor de los productos existentes en el mercado. Por otra parte, permite a los servicios alcanzar el máximo número de usuarios con el menor número de aplicaciones. Sin embargo, surgen algunas barreras a la hora de establecer un entorno de interoperabilidad, entre las que destacan los conflictos que se producen en todos los niveles de la arquitectura de capas. No obstante, para combatir estos conflictos disponemos de dos armas: la estandarización y las arquitecturas abiertas.

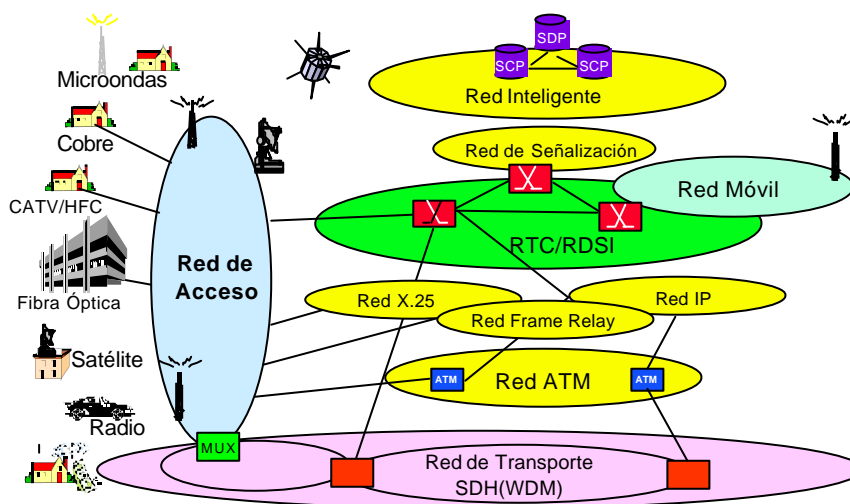
En una red de telecomunicaciones se pueden distinguir cuatro niveles funcionales:

- **Proveedores de servicios:** involucra a los encargados de generar los contenidos multimedia, que pueden ser transmitidos en tiempo real (servicios de distribución) o almacenados en grandes bases de datos

multimedia, y entregarlos al sistema de transporte, siendo esta la distinción entre los proveedores de contenido y los proveedores de servicio.

- **Sistema de transporte:** dentro del sistema de transporte de la red, se pueden englobar todos los elementos encargados de llevar los contenidos multimedia hasta el usuario y atender las peticiones de éste por el canal de retorno. Sin embargo, es conveniente estructurar más la red y distinguir cuatro niveles dentro del sistema de transporte de la red:
- **Red troncal de transporte:** es el primer nivel de la red de transporte y se encarga de hacer posible que la red alcance cualquier extensión geográfica.
- **Red de distribución:** a través de la red de distribución deben llevarse a cabo las tareas de transmisión de datos y conmutación, teniendo como misión principal multiplexar la información proveniente de diferentes proveedores de servicios o distintos usuarios y adaptar el sistema de

RED COMPLETA DE TELECOMUNICACIONES



transporte a las características específicas del bucle de abonado.

- En particular, la red debe ser capaz de gestionar el establecimiento y liberación de las conexiones de banda ancha con los bucles de abonado, además de transportar la información con diferentes tipos de requerimientos en cuestiones de ancho de banda.

El transporte digital es bidireccional y se realiza mediante tecnologías de alta velocidad síncronas, como la SDH (Synchronous Digital Hierachy). La SDH facilita el transporte isócrono de los contenidos multimedia a velocidades superiores o iguales a los 155,52 Mbit/s.

Hoy en día, no hay duda de que el sistema de transporte (que engloba la red de transporte y la red de distribución) para aplicaciones multimedia, tiene que basarse en conmutadores ATM y utilizar fibra óptica como medio físico. La tecnología ATM ha sido elegida no solamente por su aptitud para gestionar gran ancho de banda, sino también por sus especiales características de flexibilidad y altas prestaciones necesarias para redes multimedia, soportando la posibilidad de asociar distintos parámetros de calidad según el servicio a ofrecer.

Los interfaces de usuario son los elementos finales de la red en el entorno de abonado que adaptan las señales a interfaces normalizadas de uso extendido, tales como el Set-Top-Box de las redes de TV por cable. Así pues, de ahora en adelante identificaremos el interfaz de usuario con el Set-Top-Box (STB), que de esta forma engloba todas las funciones necesarias en la parte del cliente para hacer visible y controlable la aplicación para el usuario. Se puede decir que el STB es el encargado de codificar y decodificar la información proveniente de usuario (PC, línea telefónica, RDSI,...) o de la parte de la red o bucle de abonado, como son los distintos contenidos multimedia. También realiza funciones de gestión, mantenimiento, señalización y tasación.

Las diferencias entre las redes de acceso existirán, al menos, durante un largo período en el que las tecnologías y las estrategias de negocio irán siendo probadas por el propio mercado. De esta forma, con un mercado tan competitivo en las redes de acceso y en los equipos terminales, los dispositivos de interfaz jugarán un papel fundamental en el permitir que una gran variedad de equipos terminales se conecten a diferentes tipos de redes de acceso.

Un aspecto muy importante en el desarrollo de las redes de banda ancha es el hecho de que los servicios que demanda cada tipo de cliente son bastante diferentes, como lo son también los requisitos que imponen a las redes de soporte. Fundamentalmente, los usuarios residenciales van a enfocarse más a servicios relacionados con el ocio (televisión y juegos de todo tipo) y la gestión doméstica (teléfono, telecompra, etc.), que no van a requerir de la red cantidades de información en el sentido usuario-red que no sean manejables, en la mayoría de los casos, por la actual RDSI de banda estrecha. En cambio, las empresas y organizaciones de todo tipo precisarán de servicios multimedia para la transmisión bidireccional de toda clase de información. Las exigencias que estas necesidades impondrán a las redes van a ser muy superiores a las que planteen los usuarios residenciales.

Acceso a los servicios de banda ancha

Conviene dejar claramente sentado que lo que el usuario quiere es utilizar los servicios de telecomunicaciones que satisfagan sus necesidades de comunicación, ocio, etc. El usuario es quien, al final, va pagar todas las facturas con las que se van a nutrir las cuentas de resultados de las empresas que operen en el sector.

Los servicios que se quieran dar, y el precio relativo al que se espere vender cada uno de ellos, son los que van a determinar la arquitectura y la tecnología de las redes que se construyan, y no a la inversa como ha sucedido hasta hace poco. La explosión de nuevas tecnologías y la liberalización del mercado hacen ya viable la idea de construir una red de telecomunicaciones capaz de ofrecer al público los servicios que éste demande, a unas tarifas suficientes para cubrir los gastos y permitir la amortización de capital invertido.

No hay que olvidar que los usuarios son, en la práctica totalidad de los casos, absolutamente indiferentes a la tecnología o la infraestructura que se está empleando para facilitarles el servicio. Por ello, en última instancia, el progreso o fracaso de las diferentes redes de acceso no va a depender de la solvencia técnica, empresarial o financiera de las empresas que se constituyan en operadores, sino de su capacidad para dar servicios a los usuarios a mejores precios y con mejores prestaciones y calidad que los que ahora reciben por otros medios o no reciben en absoluto.

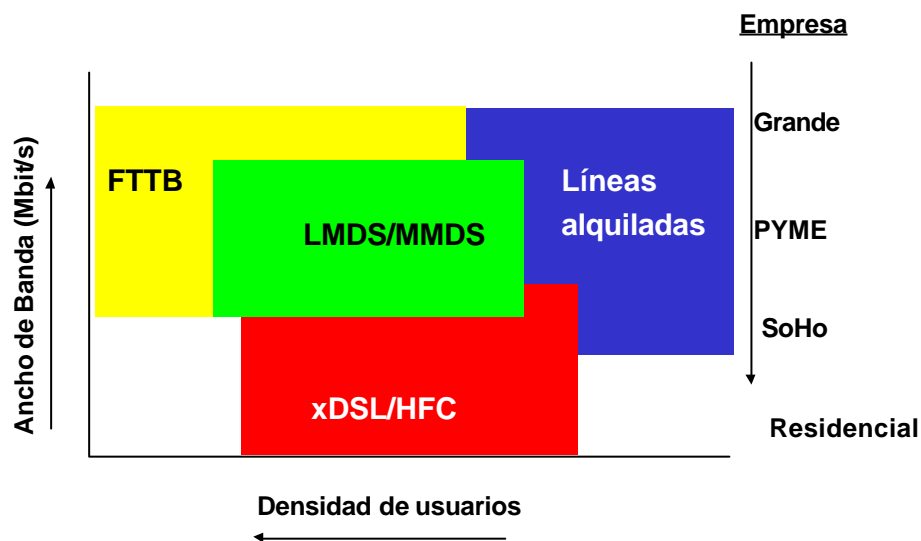
Al hilo de lo anterior, conviene tener presente, además, que la convergencia de los distintos servicios a través de la digitalización y las plataformas multimedia han llevado a que técnicamente sea posible ya la construcción y operación de redes multiservicio interactivas de banda ancha. Ello plantea un dilema fundamental a la estrategia de las empresas operadoras de telecomunicaciones: ¿deben seguir siendo, como hasta ahora, operadores de servicios basados en infraestructuras, o es preferible concentrarse en el papel de proveedor de infraestructuras, sobre las que los proveedores de servicios hagan llegar éstos a los clientes?. La respuesta a esta pregunta no es fácil. Por una parte, el contacto con el cliente, y con él buena parte del valor añadido y de la información comercial, va a estar en manos del proveedor del servicio. Pero, por otra parte, el proveedor del acceso local va a conservar siempre el contacto con el cliente, por lo que la opción de convertirse en operador de infraestructuras permitirá a las compañías ofrecer a sus clientes una gama de servicios mucho más variada. Asimismo, la enorme capacidad de transmisión de las redes de banda ancha va a hacer que lo difícil sea conseguir tráfico suficiente para llenarlas y amortizar inversiones de su instalación.

Clasificación de las redes de acceso

A la hora de estudiar las diferentes redes de acceso, las clasificaremos en tres grupos:

- Las redes de acceso vía cobre: entre las que destacan las tecnologías xDSL.
- Las redes de acceso vía radio: tales como MMDS y LMDS.
- Las redes de acceso vía fibra óptica: mención especial merecen las redes HFC (objeto del proyecto), las redes PON, las redes SDV y las redes HFR.

POSICIONAMIENTO DE LOS SISTEMAS DE ACCESO DE BANDA ANCHA



Redes de acceso vía cobre

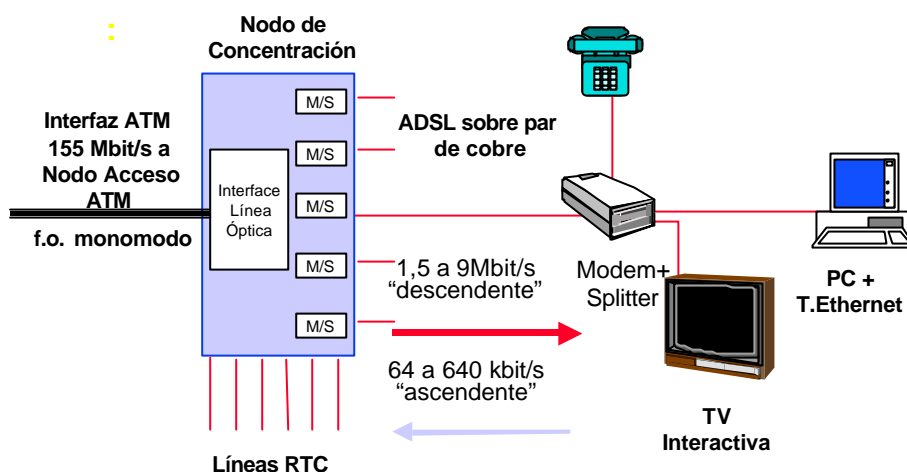
Durante años se ha especulado sobre las limitaciones de las redes telefónicas y, en particular, si se podría superar los 14,4 kbit/s primero, y los 28,8 kbit/s después, utilizando pares de cobre. La RDSI ya dio un importante paso adelante al proporcionar 192 kbit/s en su acceso básico. En los próximos años vamos a ver cómo los nuevos módems xDSL se aproximan a velocidades de 10 Mbit/s. Y es que potenciales alternativas al bucle de abonado como las redes de cable o los sistemas inalámbricos de tercera generación, pasan por la instalación de nuevos medios de transmisión de fibra en el primer caso y de notables infraestructuras de antenas y estaciones base en el segundo, ambas empresas muy costosas y nunca exentas de dificultades.

Dos acontecimientos importantes han impulsado a las tradicionales compañías operadoras telefónicas a investigar una tecnología que permitiera el acceso al servicio de banda ancha sobre sus tradicionales pares trenzados de cobre: *Las nuevas aplicaciones multimedia y el acceso rápido a contenidos de Internet.*

Las nuevas aplicaciones multimedia, que generan la necesidad de proporcionar velocidades de banda ancha (en Europa son los servicios por encima de E1, el límite de la RDSI de banda estrecha).

A pesar de que aún no se han logrado estandarizar por completo, los módems xDSL nos ofrecen la capacidad necesaria en términos de ancho de banda para acceder a toda clase de servicios multimedia interactivos a través de los accesos telefónicos tradicionales. En otras palabras, nos permiten convertir el bucle de abonado convencional, hoy utilizado únicamente para conectar el teléfono o un módem de hasta 33,6 kbit/s, en un potente sistema de acceso a los nuevos servicios multimedia o a las redes WAN de banda ancha.

ADSL: DATOS ASIMÉTRICOS EN EL BUCLE DE ABONADO



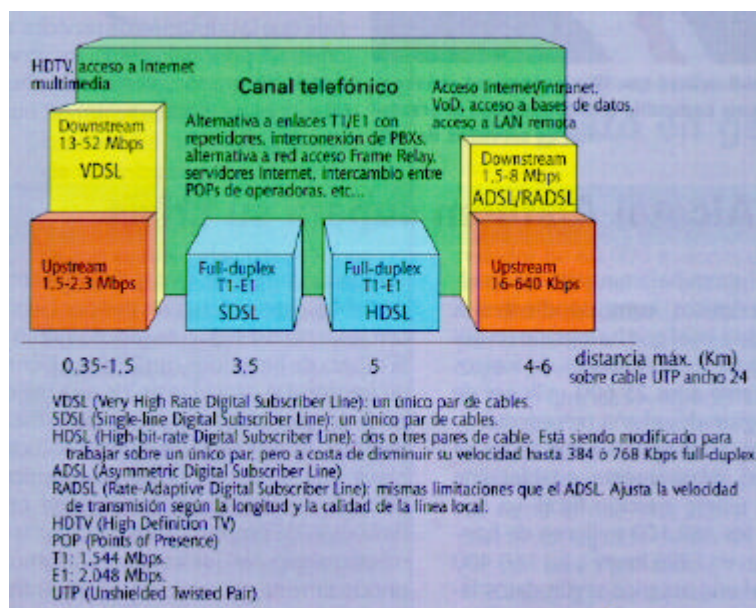
El factor común de todas las tecnologías DSL (Digital Subscriber Line) es que funcionan sobre par trenzado y usan la modulación para alcanzar elevadas velocidades de transmisión, aunque cada una de ellas con sus propias características de distancia operativa y configuración. A pesar que entre ellas pueden existir solapamientos funcionales, todo parece indicar que su coexistencia está asegurada, lo cual obligará a los proveedores de estos servicios a decantarse por una u otra según el tipo de aplicación que se decidan a ofrecer. Las diferentes tecnologías se caracterizan por la relación entre la distancia alcanzada entre módems, velocidad y simetrías entre el tráfico de descendente (el que va desde la central hasta el usuario) y el ascendente (en sentido contrario). Como consecuencia de estas características, cada tipo de módem DSL se adapta preferentemente a un tipo de aplicaciones:

- HDSL (High-bit-rate Digital Subscriber Line): los primeros en aparecer fueron bs modems HDSL, diseñados para ofrecer servicios a velocidades de hasta de 2,048 Mbit/s sobre 2 o 3 pares de cables en anchos de banda que varían entre 8 kHz y 240 kHz, según la técnica de modulación utilizada.

Aplicaciones típicas para HDSL serían para la conexión de centralitas PBX, las antenas situadas en las estaciones base de las redes telefónicas celulares, servidores de Internet, interconexión de LANs y redes privadas de datos.

- **SDSL (Single line Digital Subscriber Line):** Es prácticamente la misma tecnología que HDSL pero utiliza únicamente un par, por lo que se sitúa estratégicamente en el segmento de los usuarios residenciales que sólo disponen de una línea telefónica.
- **RADSL/ADSL (Rate-Adaptive/Asymmetric Digital Subscriber Line):** esta nueva tecnología va a ir suplantando a las anteriores, ofreciendo velocidades de acceso mayores y una configuración de canales que se adapta mejor a los requerimientos de las aplicaciones dirigidas a los usuarios privados como vídeo simplex (o TV en modo distribución), vídeo bajo demanda o acceso a Internet. Son estas las típicas aplicaciones donde se necesitan unos anchos de banda elevados para recibir la información multimedia y solo unos pocos kilobits por segundo para seleccionarla.
- **VDSL (Very High Digital Subscriber Line):** esta tecnología, aún en fase experimental, coincide básicamente con ADSL y permitirá velocidades de hasta 52 Mbit/s aunque sobre distancias menores.

En resumen, las técnicas xDSL aumentan la capacidad de transmisión en el bucle de abonado empleando técnicas de modulación avanzadas y modems, sin embargo, tienen serias limitaciones en distancia.



Redes de acceso vía radio

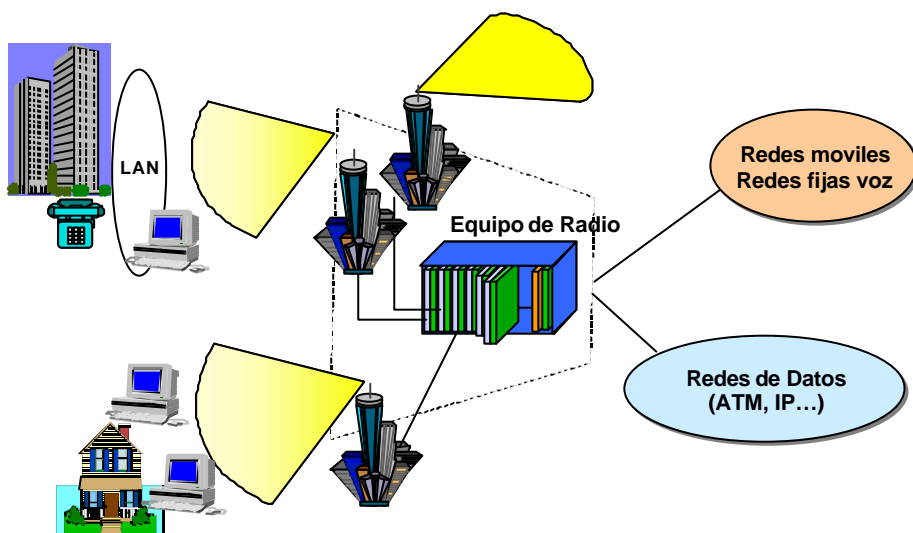
Los sistemas vía radio presentan una alternativa clara a las redes de cable (por ello nos centraremos un poco más en ellos con el fin de entender mejor las ventajas de las redes de cable) para la difusión de múltiples canales de televisión y otros servicios multimedia, ya que soportan interactividad a través de los canales de retorno.

La ventaja clara de este tipo de sistemas es la reducción de los costes de infraestructura, además del pequeño margen de tiempo necesario para su funcionamiento, puesto que en el momento en que se dispone de la antena, se llega inmediatamente a miles de usuarios.

Los sistemas que se presentan y desarrollan en la actualidad para el acceso a los servicios de banda ancha son, fundamentalmente el MMDS (Multichannel Multipoint Distribution System) y el LMDS (Local Multipoint Distribution System).

Los dos tipos de sistemas fueron inicialmente utilizados exclusivamente para la distribución de múltiples canales de televisión, en ambos casos como una alternativa potencial a los sistemas de televisión por cable. Ambos han evolucionado, y siguen evolucionando en direcciones diferentes y por motivos también diferentes.

Sistema de Acceso Radio de Banda Ancha



- **Sistemas MMDS**

Los sistemas MMDS surgieron en los años 80 como una evolución de los sistemas MDS (Microwave Distribution System), que constituyeron la primera explotación comercial en la banda de 2 GHz para la distribución directa al abonado de una canal de televisión de pago. Posteriormente se concedieron licencias para servicio multicanal, ocupando las bandas de 2,150 MHz – 2,162 MHz y 2,500 MHz – 2,686 MHz, aunque esta asignación puede variar de unos a otros países.

En la actualidad, la mayor parte de las licencias en la banda MMDS están dedicadas a la transmisión de señales de televisión analógicas, aunque existen

excepciones. Es por esta razón que este servicio ha venido denominándose también cable inalámbrico.

Muchos observadores atribuyen la escasa penetración relativa de los sistemas MMDS al hecho de que los 186 MHz de ancho de banda disponibles no permiten transmitir más de 25 o 30 canales analógicos, frente a los 80 canales analógicos disponibles en el cable y a los 150 canales de los sistemas digitales por satélite DTH (Direct To Home), por lo que no puede haber competencia respecto al tipo de servicio ofrecido. Por ello, los sistemas MMDS han tenido más éxito comercial en zonas rurales o zonas de baja densidad de abonados, donde la inversión necesaria para la distribución por cable no se justifica.

Sin embargo, dadas las ventajas económicas comunes a todos los sistemas inalámbricos (baja inversión inicial en equipos y costes de implantación proporcionales al número de abonados), existe un número no despreciable de abonados en zonas urbanas y semiurbanas, allí donde una estructura de precios permita que, con solamente unos 30 canales de televisión, el servicio resulte atractivo a un determinado sector del mercado.

Así las cosas, alrededor de 1995 empezaron a aparecer dos tecnologías que han alterado (y siguen alterando) la situación de los sistemas MMDS considerablemente, como es la compresión digital de canales de televisión que permitió multiplexar la capacidad de los sistemas MMDS con una razón de 5:1.

Los sistemas de acceso son de tipo banda ancha compartido, con protocolo IP, similares a los sistemas de acceso tipo DOCSIS utilizados en las redes de cable. La bajada es TDM con las portadoras moduladas en 64-QAM y la subida es TDMA con portadoras moduladas en QPSK.

- **Sistemas LDMS**

Es una tecnología muy similar al MMDS, pero con más potencial para la interactividad con el usuario, debido, sobre todo, a su mayor ancho de banda. El sistema opera alrededor de la banda de los 26-28 GHz, siendo ésta la única tecnología de enlaces vía radio que permite un gran ancho de banda tanto en el canal de difusión de televisión como en el de retorno. El LDMS es capaz de ofrecer una gran variedad de servicios tales como vídeo multicanal digital, telefonía, vídeo bajo demanda, teleconferencia y servicios de datos de alta velocidad. Dada la posibilidad de utilizar un solo medio con alta capacidad para cubrir la "última milla" del bucle local, los modelos de los servicios a ofrecer dependen fundamentalmente de consideraciones locales (tipo de demanda, situación competitiva, densidad de posibles abonados, etc.).

La reciente disponibilidad comercial de tecnologías punto–multipunto es, en estos momentos, el factor más importante en el desarrollo comercial del LDMS, para el que en España y ase han concedido varias licencias.

Dado el carácter de terminal de red que tienen estos sistemas, no es sorprendente que los sistemas con protocolo ATM sean los preferidos por las empresas operadoras por su capacidad de combinar voz y datos manteniendo al mismo tiempo la calidad de servicio requerida. Sin embargo, los sistemas IP

están encontrando aceptación creciente a medida que tecnologías del tipo VoIP mejoran sus prestaciones.

Aparte del protocolo básico, una de las características dominantes de los sistemas punto–multipunto es un sistema de acceso que permita obtener la ganancia estadística basada en el ancho de banda bajo demanda o, al menos, en el ancho de banda compartido. Las características básicas de los sistemas de acceso líderes en cuanto a implantación son FDD, protocolo ATM, modulación QPSK junto con protocolo TDM en la bajada de la estación base al abonado y modulación QPSK junto con TDMA (con ancho de banda bajo demanda) en el sentido contrario.

Los sistemas LDMS son sistemas de estructura celular. El radio de la célula y la topografía del terreno determina el número de células necesarias para obtener la cobertura de una zona determinada. Para disminuir en lo posible la interferencia entre células adyacentes se utilizan técnicas de reutilización de frecuencia similares a las utilizadas en telefonía móvil celular.

Una de las decisiones fundamentales a nivel de diseño es precisamente el número y localización de las células y el método de interconexión entre ellas (fibra o microondas) y a las redes de datos, IP y telefonía.

Dentro de cada célula los parámetros más críticos son la densidad de abonados, las velocidades de datos promedio y las estadísticas del tráfico para cada categoría de abonado. En zonas de alta densidad de abonados se divide la célula en sectores que van desde los 180° hasta los 30°, cada uno de los cuales puede verse desde el punto de vista del sistema como una célula independiente.

La cabecera contiene todos los equipos de generación de señal, el módem de la unidad de acceso, los equipos de gestión y control y los equipos de conexión a las redes nacionales. En el caso de utilizarse un transmisor moderno de banda ancha, las portadoras se combinan en una frecuencia intermedia (en la banda de los 950 MHz–1850 MHz) y se pasan al transmisor de la estación base.

Redes de acceso vía fibra óptica

La introducción de la fibra óptica en el nodo de acceso va a permitir el disponer de un medio de transmisión de gran ancho de banda para el soporte de servicios de banda ancha, tanto actuales como futuros.

En función de la extensión de la fibra en la red de acceso, podemos distinguir las siguientes topologías:

- FTTH (Fiber To The Home): se trata de llegar con fibra óptica hasta el hogar del abonado, directamente desde el nodo de servicio. Es la alternativa más directa, y también la de mayor coste a la hora de proporcionar acceso a banda ancha. Desde el punto de vista del operador, tiene el inconveniente de que requiere una fuerte inversión en obra civil.

- FTTB (Fiber To The Building): en este caso, la fibra llega hasta el interior de un edificio residencial o de negocios, existiendo una terminación de red óptica (ONU, Optical Network Termination) para todo el edificio.
- FTTC (Fiber To The Curb): el ONU y el tendido final de fibra son compartidos por varios abonados pertenecientes a una manzana de edificios o un área urbana de extensión reducida.
- FTTCab (Fiber To The Cabinet): configuración muy parecida a la anterior, con la diferencia de que el ONU es compartido por un mayor número de usuarios y que la red de cable eléctrico es de mayor extensión.
- FTTEXch (Fiber To The Exchange): la fibra termina en el nodo de conmutación.

Redes Híbridas Fibra-Coaxial (HFC)

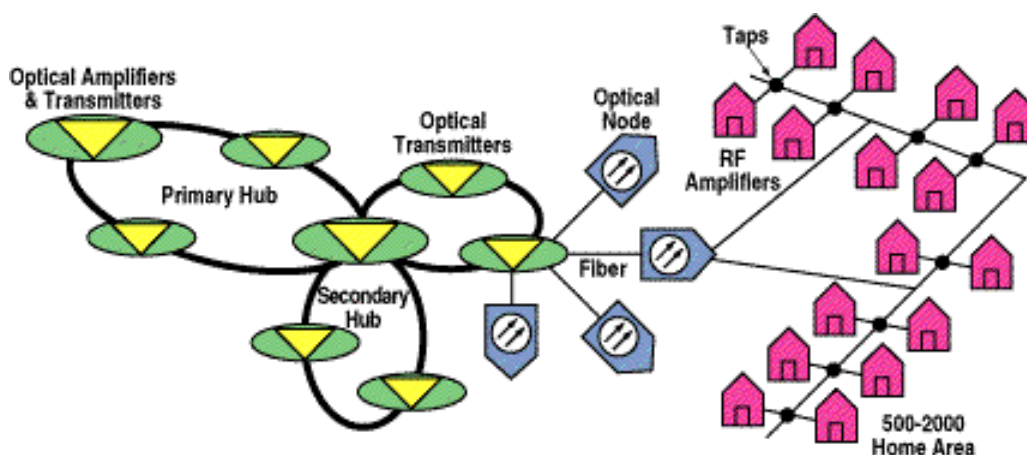
Una red de acceso HFC está constituida, genéricamente, por tres partes principales:

Elementos de red: dispositivos específicos para cada servicio que el operador conecta tanto en los puntos de origen de servicio como en los puntos de acceso al servicio.

Infraestructura HFC: incluye la fibra óptica y el cable coaxial, los transmisores ópticos, los nodos ópticos, los amplificadores de radiofrecuencia, taps y elementos pasivos.

Terminal de usuario: set-top-box, cablemodems y unidades para integrar el servicio telefónico.

En la figura siguiente se muestra un esquema típico de este tipo de redes:



Con mayor ancho de banda, los operadores disponen de mayor espectro en el que ofrecer servicios que generen beneficio. El ancho de banda de la red HFC es la clave en la que se fundamentan las ventajas de este tipo de redes, entre las que se incluyen:

- Posibilidad de ofrecer una amplia gama de servicios tanto analógicos como digitales.
- Soporte de servicios conmutados y de difusión.
- Capacidad de adaptación dinámica a los cambios de la demanda y del mercado, debida, en gran parte, a la gran flexibilidad y modularidad de que están dotadas este tipo de redes.

Redes Ópticas Pasivas (PON)

En el caso de usuarios residenciales se despliega la fibra hasta el domicilio del abonado y, mediante el ONU se le proporciona el servicio de vídeo a través del STB conectado al receptor de televisión, y servicio telefónico o de transmisión de datos. En este caso la técnica de transmisión más utilizada es la multiplexación por división en longitud de onda WDM (Wavelength Division Multiplexing) y la configuración punto a punto.

Los usuarios de negocios o comunidades científicas o educativas se suelen conectar a un anillo de distribución SDH que permite velocidades de varios cientos de Mbit/s. Al ser toda la infraestructura de fibra óptica, se proporciona una transmisión muy segura y libre de errores, con una alta capacidad de transferencia si se emplea, por ejemplo, ATM. El anillo se puede conectar a una LAN a través de un firewall para separar la Intranet de la Internet.

Redes Híbridas Fibra–Radio (HFR)

Las redes híbridas radio–fibra se basan en una estructura de acceso vía radio junto con una estructura de transporte que emplea la fibra óptica como medio de transmisión. En esta línea, se están llevando a cabo importantes investigaciones y avances, entre los cuales merece ser destacado el proyecto FRANS (Fibre Radio ATM Networks and Services

José M. Huidobro

Ingeniero de Telecomunicación