



## CENTRO DE ESTUDIOS FINANCIEROS

VIRIATO, 52	28010 MADRID	914 44 49 20
PONZANO, 15	28010 MADRID	914 44 49 20
G. DE GRÀCIA, 171	08012 BARCELONA	934 15 09 88
ALBORAYA, 23	46010 VALENCIA	963 61 41 99

[www.cef.es](http://www.cef.es)

[info@cef.es](mailto:info@cef.es)

## Índice Tema 11

---

1. Tecnologías XDSL. Concepto. Características técnicas.
  - 1.1. Conceptos básicos.
  - 1.2. Tipos dentro de la familia XDSL.
  - 1.3. Estructura y elementos de red.
2. Normativa reguladora.





## CENTRO DE ESTUDIOS FINANCIEROS

VIRIATO, 52	28010 MADRID	914 44 49 20
PONZANO, 15	28010 MADRID	914 44 49 20
G. DE GRÀCIA, 171	08012 BARCELONA	934 15 09 88
ALBORAYA, 23	46010 VALENCIA	963 61 41 99

www.cef.es

info@cef.es

### TEMA 11

#### **Tecnologías XDSL. Concepto. Características técnicas. Normativa reguladora.**

#### **1. TECNOLOGÍAS XDSL. CONCEPTO. CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS.**

##### **1.1. CONCEPTOS BÁSICOS.**

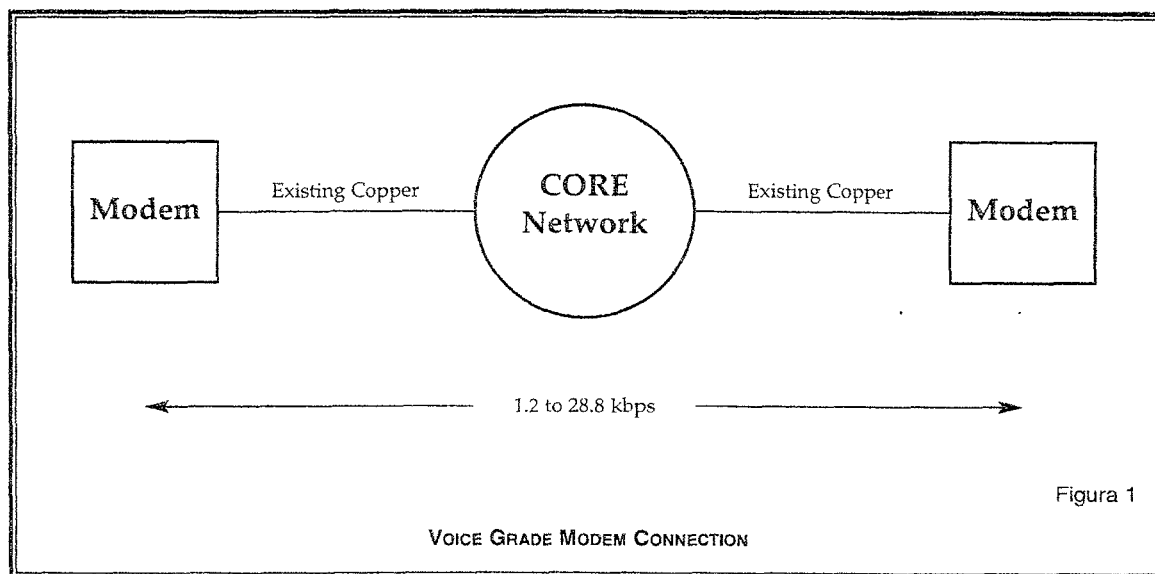
El concepto inicial de Redes de Banda Ancha se introduce formalmente en agosto de 1989 en la Asamblea Plenaria del CCITT (actualmente denominado Unión Internacional de Telecomunicaciones o UIT) celebrada en Brasilia, donde se definieron las nuevas redes públicas de servicios integrados. El aspecto más visible, de cara al abonado, sería el acceso a cadencias iguales o superiores a 155 Mbit/s. La definición oficial de la UIT es algo menos ambiciosa, especificando que un servicio es de banda ancha cuando requiere canales de transmisión con capacidad mayor que un acceso primario (2,048 Mbit/s).

De ese concepto inicial anunciando una verdadera revolución tecnológica en el acceso de abonado, el mercado ha pasado a utilizar la expresión «Banda Ancha» para referirse a tecnologías que permiten velocidades de acceso de usuario del orden de Mbit/s.

Sin embargo, los estudios de prospectiva ya empiezan a cuestionar este escenario y abogan por escenarios de banda ancha con velocidades por encima de 10 Mbit/s. En el estudio de Gartner, publicado en agosto de 2002, se argumenta que una «verdadera» infraestructura de Banda Ancha (con accesos a 10 Mbit/s) puede incrementar notablemente el PIB.

Bajo el nombre XDSL se definen una serie de tecnologías que permiten el uso de una línea de teléfono estándar (la que conecta nuestro domicilio con la central de Telefónica) para transmisión de datos a alta velocidad y, al mismo tiempo, para el uso normal como línea telefónica. Se llaman XDSL (HDSL, ADSL, RADSL, VDSL) ya que todas tienen un mismo tipo de funcionamiento, pero distintas características en cuanto a prestaciones (velocidad de la transmisión de datos) y distancia máxima del domicilio a la central (el cable telefónico no se diseñó originalmente para este tipo de servicios, a mayor distancia menores prestaciones). Entre estas tecnologías, la más adecuada para un uso doméstico es la llamada ADSL.

Conocemos los módems de voz y datos y sus limitaciones. Estos módems transmiten señales a través de los circuitos existentes de cobre que, además, transportan señales de voz. Su ventaja es que desde cualquier teléfono del planeta puedo uno conectarse y hay más de 600.000.000 de puntos de conexión de este tipo en el mundo.



Las limitaciones del ancho de banda de estas líneas no vienen de la línea física de cobre, provienen del «core network». Los filtros existentes en la esquina de este «core» limitan el ancho de banda a 3,3 kHz, sin estos filtros las líneas de cobre pueden trabajar con frecuencias dentro de la región de los MHz. Sin embargo, la atenuación se incrementa con la longitud de la línea y la frecuencia y estos son los dos factores dominantes en las restricciones que operan sobre los cableados de cobre indicados anteriormente.

Los límites prácticos en función del tipo de línea y la longitud de la misma vienen indicados en la relación siguiente:

- DS1 (T1)      1.544 Mbps      18,000 feet
- E1            2.048 Mbps      16,000 feet
- DS2           6.312 Mbps      12,000 feet
- E2            8.448 Mbps      9,000 feet
- 1/4 STS-1    12.960 Mbps      4,500 feet
- 1/2 STS-1    25.920 Mbps      3,000 feet
- STS-1 51.    840 Mbps        1,000 feet

HDSL, ADSL, VDSL y SDSL son acrónimos de tecnologías soportadas sobre módems DSL, diseñadas para operar sobre líneas telefónicas pensadas originalmente para comunicaciones de voz (300 Hz a 3,4 kHz). Un prerrequisito básico para que puedan funcionar correctamente estos sistemas DSL es la eliminación de los rollos cargables («loading coils»), que fueron instalados a intervalos regulares para

mejorar las características de transmisión de voz. Los avances realizados en la tecnología DSP, junto a las mejoras de algoritmos empleados, así como de técnicas de codificación han permitido incrementar el ancho de banda disponible hasta 100 kHz para la RDSI de banda estrecha hasta por encima de los 10 MHz para VDSL.

## 1.2. TIPOS DENTRO DE LA FAMILIA XDSL.

### A) RDSI-BA (DSL).

El acrónimo DSL se utilizó originalmente para referirse a la red ISDN-BA (Basic-rate Access transmission for the Integrated Services Digital Network) conocida como RDSI-BA en español.

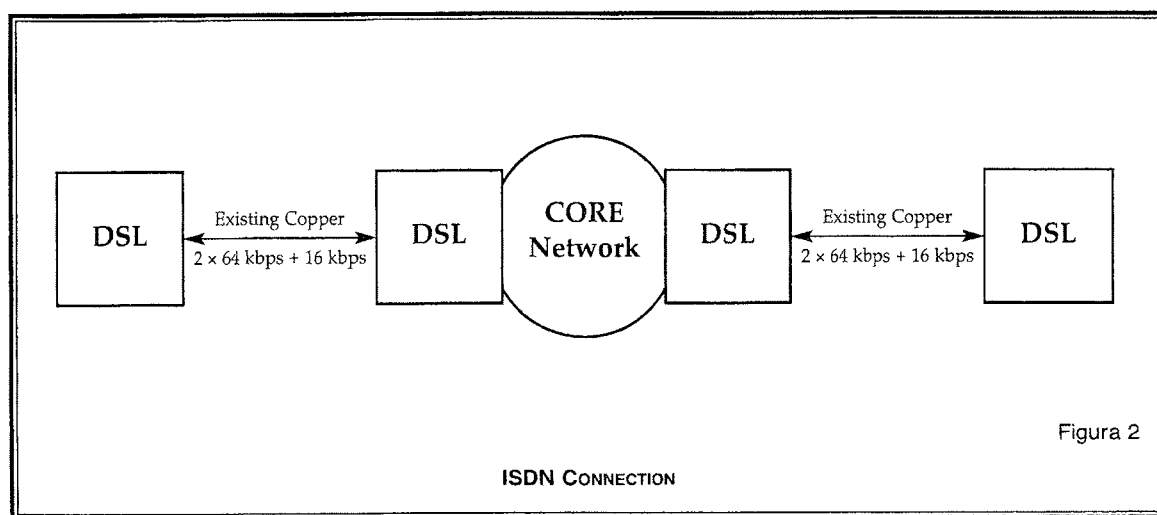


Figura 2

La figura explica conceptualmente la estructura de cableado de esta red.

### B) ADSL.

ADSL (Asymmetric Digital Subscriber Line: Línea de abonado Digital Asimétrica) es la tecnología de banda ancha que permite utilizar las líneas telefónicas convencionales para la transmisión de datos a alta velocidad, con acceso permanente y simultáneamente a la utilización del teléfono para hablar.

ADSL, como su nombre indica, es una tecnología asimétrica que proporciona mucho más caudal en el canal descendente (de la red hacia el usuario) que en el ascendente (del usuario a la red). El ancho de banda del cable de cobre se divide en tres secciones: una para el servicio telefónico convencional, otra para el canal ascendente y otra para el canal descendente.

El carácter asimétrico de esta tecnología se adapta perfectamente a Internet, ya que los usuarios de la red suelen recibir (velocidad de bajada o descendente) muchos más datos de los que envían (velocidad de subida o ascendente): por ejemplo, cuando se visita una página, se envía a la red la petición (unos pocos bytes) y posteriormente se recibe en el ordenador la página deseada compuesta por texto e imágenes (el tamaño de los mismos depende del contenido y tipo de la página, pero es muy superior al tamaño de la petición realizada).

La otra característica importante de ADSL es que separa la voz y los datos, de forma que se puede hablar por teléfono aunque el ordenador esté conectado a Internet. ADSL se comercializa bajo la modalidad de cuota fija pagando una tarifa plana, con independencia de cuánto tiempo se haya tenido el ordenador conectado a la Red, y facturación independiente de la de voz.

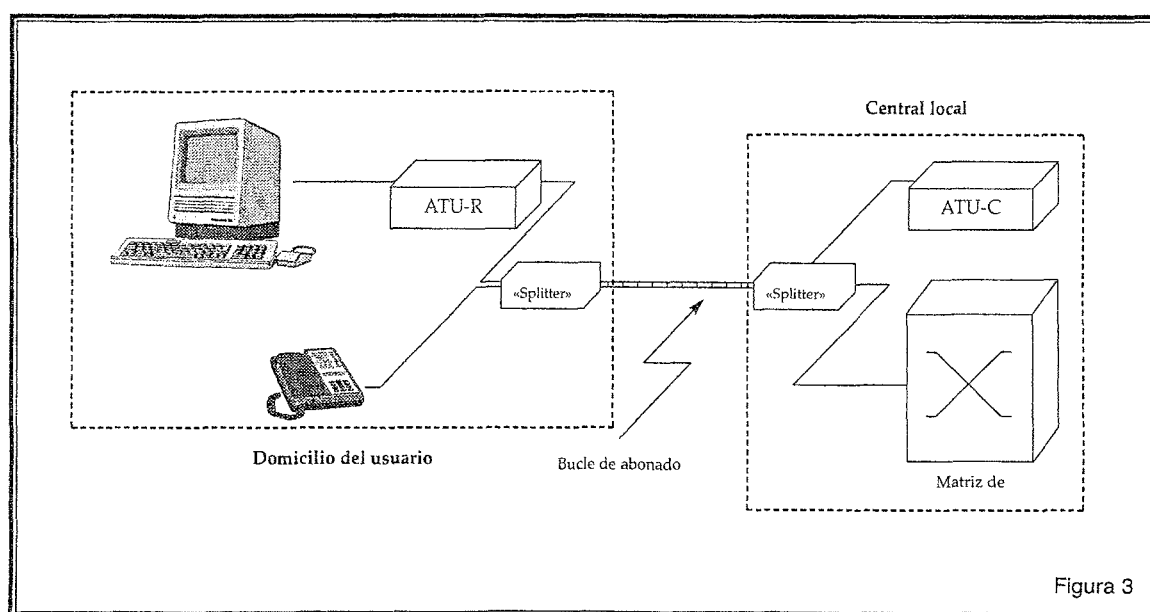
El despliegue de ADSL posibilita la oferta de servicios de banda ancha a través del cable telefónico. El alto número de líneas telefónicas (en nuestro país hay casi 18 millones) permite extender este servicio a un gran número de usuarios residenciales y oficinas remotas.

La tecnología ADSL emplea una técnica de modulación que permite la transmisión de datos a gran velocidad sobre el par de cobre (línea telefónica convencional). La primera diferencia entre esta técnica de modulación y las usadas por los módems en banda vocal (V.32 a V.90) es que estos últimos sólo transmiten en la banda de frecuencias usada en telefonía (300 Hz a 3.400 Hz), mientras que los módems ADSL operan en un margen de frecuencias mucho más amplio que va desde los 24 KHz hasta los 1.104 KHz, aproximadamente.

Otra diferencia entre el ADSL y otros módems es que el ADSL puede coexistir en un mismo bucle de abonado con el servicio telefónico, cosa que no es posible con un módem convencional pues opera en banda vocal, la misma que la telefonía.

Al tratarse de una modulación en la que se transmiten diferentes caudales en los sentidos Usuario  $\rightarrow$  Red y Red  $\rightarrow$  Usuario, el módem ADSL situado en el extremo del usuario es distinto del ubicado al otro lado del bucle, en la central local.

En la figura se muestra un enlace ADSL entre un usuario y la central local de la que depende. En dicha figura se observa que además de los módems situados en casa del usuario (ATU-R o «ADSL Terminal Unit-Remote») y en la central (ATU-C o «ADSL Terminal Unit-Central»), delante de cada uno de ellos se ha de colocar un dispositivo denominado «splitter». Este dispositivo no es más que un conjunto de dos filtros: uno paso alto y otro paso bajo. La finalidad de estos filtros es la de separar las señales transmitidas por el bucle de modo que las señales de baja frecuencia (telefonía) vayan separadas de las de alta frecuencia (datos).



En una primera etapa coexistieron dos técnicas de modulación para el ADSL: CAP («Carrierless Amplitude/Phase») y DMT («Discrete MultiTone»). Finalmente, los organismos de estandarización (ANSI, ETSI e ITU) se han decantado por la solución DMT. Básicamente, consiste en el empleo de múltiples portadoras y no sólo una, que es lo que se hace en los módems de banda vocal. Cada una de estas portadoras (denominadas subportadoras) es modulada en cuadratura (modulación QAM) por una parte del flujo total de datos que se van a transmitir. Estas subportadoras están separadas entre sí 4,3125 KHz, y el ancho de banda que ocupa cada subportadora modulada es de 4 KHz. El reparto del flujo de datos entre subportadoras se hace en función de la estimación de la relación Señal/Ruido en la banda asignada a cada una de ellas. Cuanto mayor es esta relación, tanto mayor es el caudal que puede transmitir por una subportadora. Esta estimación de la relación Señal/Ruido se hace al comienzo, cuando se establece el enlace entre el ATU-R y el ATU-C, por medio de una secuencia de entrenamiento predefinida.

La técnica de modulación usada es la misma tanto en el ATU-R como en el ATU-C. La única diferencia estriba en que el ATU-C dispone de hasta 256 subportadoras, mientras que el ATU-R sólo puede disponer como máximo de 32. El algoritmo de modulación se traduce en una IFFT (transformada rápida de Fourier inversa) en el modulador, y en una FFT (transformada rápida de Fourier) en el demodulador situado al otro lado del bucle. Estas operaciones se pueden efectuar fácilmente si el núcleo del módem se implementa sobre un DSP.

- El modulador del ATU-C hace una IFFT de 512 muestras sobre el flujo de datos que se ha de enviar en sentido «downstream».
- El modulador del ATU-R hace una IFFT de 64 muestras sobre el flujo de datos que se ha de enviar en sentido «upstream».
- El demodulador del ATU-C hace una FFT de 64 muestras tomadas de la señal «upstream» que recibe.
- El demodulador del ATU-R hace una FFT, sobre 512 muestras de la señal «downstream» recibida.

Existen dos modalidades dentro del ADSL con modulación DMT:

- En la primera FDM, los espectros de las señales ascendente y descendente no se solapan, lo que simplifica el diseño de los módems, aunque reduce la capacidad de transmisión en sentido descendente, no tanto por el menor número de subportadoras disponibles como por el hecho de que las de menor frecuencia, aquellas para las que la atenuación del par de cobre es menor, no están disponibles. Esta primera solución consiste en asignar una banda para cada uno de los canales (multiplexación por división en frecuencia). Cada una de estas bandas se divide, mediante técnicas de multiplexación por división en el tiempo, en otros canales de alta o baja velocidad.
- La segunda modalidad, cancelación de ecos, basada en un cancelador de ecos para la separación de las señales correspondientes a los dos sentidos de transmisión, permite mayores caudales a costa de una mayor complejidad en el diseño. Esta técnica permite la superposición de los canales, separándolos gracias a técnicas de cancelación de eco local como la CCITT V.32 o V.34. La utilización del ancho de banda resulta más eficiente que la de la técnica anterior, si bien también supone un coste y una complejidad mayores.

Es necesario una calidad muy buena de la transmisión porque pequeños errores producen efectos negativos muy apreciables en la calidad de las imágenes.

En un par de cobre la atenuación por unidad de longitud aumenta a medida que se incrementa la frecuencia de las señales transmitidas. Y cuanto mayor es la longitud del bucle, tanto mayor es la atenuación total que sufren las señales transmitidas. Ambas cosas explican que el caudal máximo que se puede conseguir mediante los módems ADSL varíe en función de la longitud del bucle de abonado. La presencia de ruido externo provoca la reducción de la relación Señal/Ruido con la que trabaja cada una de las subportadoras, y esa disminución se traduce en una reducción del caudal de datos que modula a cada subportadora, lo que a su vez implica una reducción del caudal total que se puede transmitir a través del enlace entre el ATU-R y el ATU-C.

Hasta una distancia de 2,6 Km de la central, en presencia de ruido (caso peor), se obtiene un caudal de 2 Mbps en sentido descendente y 0,9 Mbps en sentido ascendente. Esto supone que en la práctica, teniendo en cuenta la longitud media del bucle de abonado en las zonas urbanas, la mayor parte de los usuarios están en condiciones de recibir por medio de ADSL un caudal superior a los 2 Mbps. Este caudal es suficiente para muchos servicios de banda ancha, y desde luego puede satisfacer las necesidades de cualquier internauta, teletrabajador, así como de muchas empresas pequeñas y medianas.

El ADSL necesita una pareja de módems por cada usuario: uno en el domicilio del usuario (ATU-R) y otro (ATU-C) en la central local a la que llega el bucle de ese usuario.

Esto complica el despliegue de esta tecnología de acceso en las centrales. Para solucionar esto surgió el DSLAM («Digital Subscriber Line Access Multiplexer»): un chasis que agrupa gran número de tarjetas, cada una de las cuales consta de varios módems ATU-C, y que además concentra el tráfico de todos los enlaces ADSL hacia una red WAN.

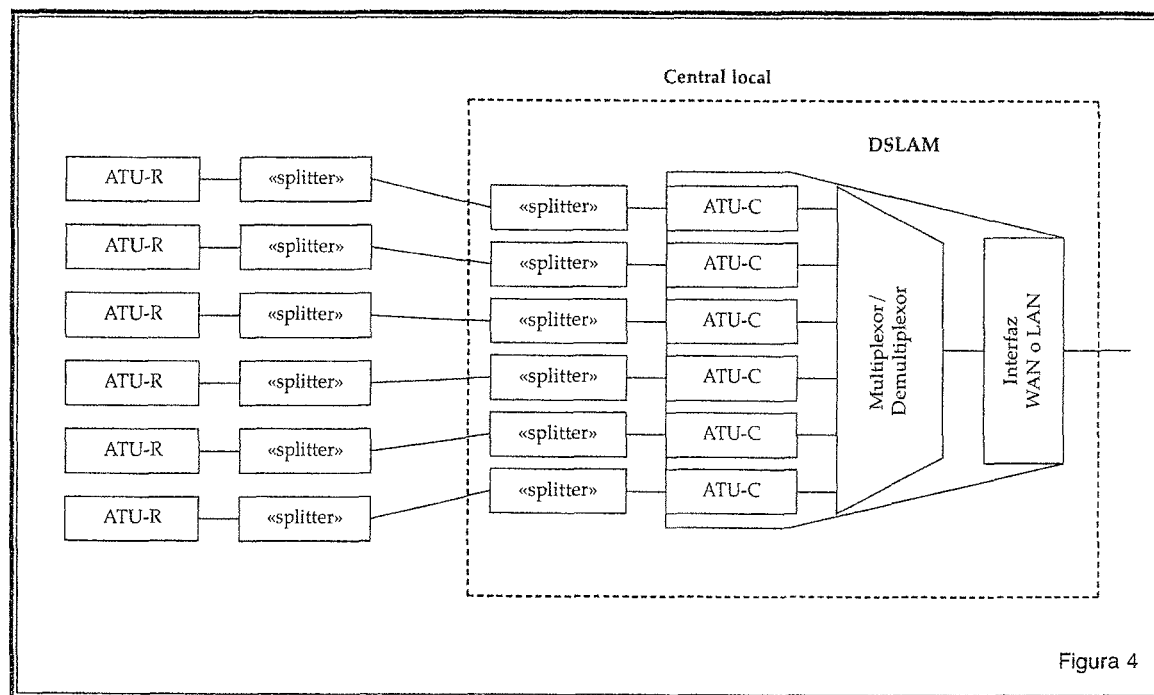


Figura 4

La integración de varios ATU-Cs en un equipo, el DSLAM, es un factor fundamental que ha hecho posible el despliegue masivo del ADSL. De no ser así, esta tecnología de acceso no hubiese pasado nunca del estado de prototipo dada la dificultad de su despliegue, tal y como se constató con la primera generación de módems ADSL.



En el domicilio del usuario se colocan unos filtros separadores (splitters) en cada toma de teléfono RJ11 para separar la voz de los datos. Estos filtros también pueden ir incorporados en el propio módem ADSL y la instalación es tan sencilla que la puede hacer el propio usuario. La configuración del terminal (PC) se realiza con el CD que proporciona el proveedor del servicio ADSL.

Muchas aplicaciones soportadas por ADSL (el vídeo digital comprimido, por ejemplo) implican el transporte de datos en tiempo real. Este tipo de tráfico no permite la utilización de procedimientos de enlace o de control de errores al nivel de red, típicos de los sistemas de comunicación de datos. Por esta razón los módems ADSL incorporan técnicas de corrección de errores.

Es el sistema más desplegado en la actualidad, se estima que para el 2005 se sobrepasarán los 35 millones de líneas ADSL en el conjunto de los actuales miembros de la Unión Europea. Se trata de un sistema de gran popularidad debido a su comercialización en el segmento residencial (en EE.UU., un 77% de los abonados ADSL son residenciales). El nombre ADSL fue acuñado por Bellcore (actualmente, Telcordia) en 1989. Es importante situarse en esta fecha, en la que se estaba definiendo la nonata Red Digital de Servicios Integrados de Banda Ancha (RDSI-BA), para explicarse algunas de las características del ADSL. Así, en 1989 el ITU-T (por entonces, el CCITT) escoge ATM como tecnología de transporte para la RDSI-BA y define salomónicamente la longitud de la celda.

Por entonces, los operadores de telefonía establecidos apuntaban a introducirse en el servicio de televisión, es la época de los éxitos y mayores despliegues de los operadores de cable en EE.UU. Las operadoras tradicionales vieron en ADSL la solución para revalorizar su planta de cobre instalada ofreciendo servicios de vídeo («convertir el cobre en oro»). Este cúmulo de circunstancias condujo a considerar el empleo de ATM sobre ADSL como forma de establecer prioridades para los tráficos de tiempo real (vídeo, audio y voz) frente a los tráficos de datos, y además determinó los objetivos iniciales de capacidad (8 Mbit/s hacia el abonado y 640 kbit/s en sentido inverso), que hacían posible la transmisión de más de un canal de TV comprimido hacia el abonado.

Las expectativas puestas por los operadores en los servicios de vídeo para el despliegue de ADSL no se cumplieron. Sin embargo, pronto aparecería una aplicación que actuaría como verdadero catalizador en el despliegue de esta tecnología: el acceso a Internet. En este nuevo escenario se cuestionó, entre otros por Bellcore, la utilización de ATM, proponiéndose el transporte directo de tramas Ethernet sobre ADSL. Pero en octubre de 1996 el Joint Procurement Consortium, formado por las operadoras Ameritech, BellSouth, Pacific Bell y SBC Communications, decidió optar por una solución ADSL basada en transporte ATM, marcando la tendencia definitiva.

Una característica importante de ADSL es la compartición del espectro disponible en el par telefónico con el servicio telefónico, permitiendo el acceso simultáneo a la red telefónica y a Internet. Esto se logra mediante el empleo de un splitter (filtro separador de bandas) en casa del abonado.

La simultaneidad de la voz y los datos, unida a las considerables tasas de bits proporcionadas, hace de ADSL una técnica muy atractiva. Gracias a ella se puede disponer de un acceso permanente a Internet, con tarifa plana, y sin necesidad de contratar una línea adicional ni de cambiar los aparatos telefónicos. Todo ello, sin duda, constituye un factor diferencial frente a las técnicas HDSL y SHDSL vistas anteriormente. Enumeramos a continuación los factores que afectan y limitan esta técnica de transmisión:

Alcance y tipos de bucle. El objetivo de los sistemas ADSL es llegar a la mayor parte de los abonados dentro del Área de Servicio, zona geográfica servida por una central de conmutación o una Unidad Remota de abonados, en donde se ubica el banco de módems y el multiplexor digital DSL (conocido como DSLAM, Digital Subscriber Line Access Multiplexer).

Para calcular el alcance desde una central, normalmente se utiliza un cálculo resistivo. Los elementos que alimentan el bucle de abonado se suelen especificar en ohmios; así se dice del circuito de línea de una central que soporta bucles de 1.200 a 1.900 ohmios, es decir, la suma de la resistencia del par más el teléfono pueden alcanzar como máximo esos valores. Estos valores, junto con la tensión de alimentación que suministra la central y la resistencia interna de este suministro de alimentación (tradicionalmente conocida como el puente de alimentación), nos dan un valor mínimo de corriente en el bucle que permite el funcionamiento del aparato telefónico. Las tensiones de alimentación normalmente utilizadas son  $-48$  y  $-60$  Voltios. Obsérvese que tensiones superiores a estos valores, de corriente continua, pueden presentar peligro al personal de mantenimiento.

A partir de las estadísticas de los operadores, se estima que un 90 por 100 de los abonados en EE.UU. y la mayoría de los abonados en Europa están a una distancia menor de 6 km con pares de 0,5 milímetros, o de 4,5 km con pares de 0,4 milímetros. En la práctica, sin embargo, es necesario tener en cuenta las posibles irregularidades que pueden presentarse en la planta telefónica, como empalmes de distinto calibre y derivaciones sin terminar (bridge taps). En estos casos, puede ser necesario compensar las discontinuidades de impedancias y reflexiones que se producen a lo largo del par. Otra situación particular a considerar son los bucles con bobina de carga, que al limitar el ancho de banda al estrictamente necesario para telefonía, quedan totalmente descartados para aplicaciones DSL. En Europa, afortunadamente, estos bucles son poco frecuentes.

**Ruido de fondo.** Estudios realizados por Telcordia durante el proceso de estandarización concluyeron que el ruido de fondo, en el caso peor, puede modelarse como un ruido blanco gaussiano aditivo, con un nivel de potencia de  $-140$  dBm/Hz o, de forma equivalente, 30 nV/Hz sobre 100 ohmios.

**Ruido impulsivo.** Son ráfagas de gran amplitud de ruido, con duración variable desde unos pocos hasta unos cientos de microsegundos, procedentes de diversas fuentes: impulsos de disco, corriente de llamada, cambios de polaridad en la línea, rayos, etc.

**Interferencias de emisiones de radio.** Aunque el par trenzado telefónico es teóricamente un sistema de transmisión equilibrado, este equilibrio decrece con la frecuencia. Además, la planta externa tiene recorridos en el espacio abierto (fachadas, interior de las casas, zonas rurales en postes) que incluso en algunos tramos se realizan con pares paralelos en vez de trenzados. Todo esto hace que estas partes de la planta se conviertan en antenas captadoras de las emisiones de radio, tanto en onda larga, como media o corta, especialmente las emisiones de radioaficionados.

**Coexistencia con el servicio telefónico.** Además de los efectos de ruido impulsivo mencionados más arriba, una línea telefónica presenta cambios de impedancia dependiendo de si el aparato telefónico está colgado o descolgado.

**Diafonía.** La diafonía es el acoplamiento inductivo y capacitivo entre diferentes hilos dentro del mismo mazo o mazos adyacentes. Es el efecto que más limita la capacidad de los sistemas xDSL. Aunque este efecto existe a frecuencias vocales, y de ahí el que los pares del bucle de abonado sean trenzados en la mayor parte de su recorrido, a las altas frecuencias de los sistemas DSL adquiere nueva relevancia (el paso del trenzado para audio no es el idóneo para estas frecuencias).

Existen dos tipos de diafonía: la paradiafonía (NEXT) cuando la fuente de la señal perturbadora está colocada en el mismo extremo que el receptor perturbado; y la telediafonía (FEXT), cuando el receptor está colocado en el lado remoto.

La diafonía además puede ser auto, cuando es producida por sistemas de la misma tecnología, o foránea, cuando son sistemas diferentes. Fácilmente se comprende que el tipo de diafonía más perjudicial es la auto-paradiafonía, causada por el acoplamiento de la señal sin atenuar a la salida de un módem sobre el receptor de otro módem. Para evitar este efecto, en ADSL se suele emplear duplexado por división en frecuencia, es decir, bandas distintas en cada extremo para recepción y transmisión. Otra alternativa es el duplexado por división en el tiempo («pingpong»), en donde la transmisión y recepción se alternan en el tiempo.

En este caso, sin embargo, se requiere que todos los emisores y receptores de la red estén sincronizados, lo cual puede presentar problemas en entornos multioperador. En lo que a prestaciones (velocidad, distancia) se refiere, es la paradiafonía foránea, causada por otros sistemas de transmisión digital, la que mayores limitaciones plantea en la práctica. Los sistemas más perturbadores son las transmisiones de 2 Mbit/s en código HDB3, las interfaces de línea (interfaz U) de RDSI y las líneas HDSL.

Las principales técnicas de modulación utilizadas en los sistemas ADSL son CAP (Carrier-less Amplitude and Phase modulation) y DMT (Discrete Multi-Tone). A continuación se examinan brevemente las principales características de estos sistemas de modulación, así como la controversia existente sobre ellos en los foros de estandarización y, principalmente, en los mercados. La técnica CAP utiliza una sola portadora por sentido de transmisión para modular en amplitud y fase la información binaria (en VDSL existen sistemas multibanda, pero en cualquier caso el número de portadoras es muy reducido). DMT, por su parte, trata de aproximarse al máximo teórico de capacidad de un canal en función de la frecuencia, dividiéndolo en numerosos subcanales.

Cada uno de ellos se modula en amplitud y fase, adaptándose la tasa de bit a la capacidad real de dicho subcanal, dada por la relación señal-ruido del mismo. En ADSL se emplean 256 subportadoras, mientras que en VDSL son hasta 4.096. El espaciado entre las portadoras es de 4,3215 kHz, escogido en relación con la duración del símbolo, a fin de reducir las interferencias entre portadoras y entre símbolos.

Los sistemas DMT son superiores a los sistemas CAP, ya que aproximan mejor el límite de capacidad teórico de Shannon-Hartley. Traducido en términos prácticos, DMT proporciona más alcance para la misma velocidad, o más velocidad para el mismo alcance. Estas ventajas se pagan en más complejidad (más área de silicio), así como en una relación de potencia de pico (todas las portadoras transmitiendo en fase) respecto a potencia media que hace que los márgenes dinámicos sean extremadamente amplios (convertidores A/D de más resolución, dispositivos analógicos con grandes márgenes dinámicos). Todo esto ha hecho que los sistemas CAP aparezcan antes en el mercado, aunque en la actualidad los sistemas DMT se están desplegando en mayores volúmenes en el caso de ADSL. Ambas soluciones están recogidas en los estándares y esta tendencia se mantiene en la estandarización de VDSL, donde en la actualidad prevalece la solución CAP multibanda.

### C) HDSL.

HDSL (High Data rate DSL) es simplemente una mejora de las normas E1 (y T1, en Estados Unidos y Japón). Utiliza menos ancho de banda y requiere repetidores: alcanza hasta 2.048 Mbps utilizando dos pares de cobre, aunque la distancia de 4.500 metros que necesita es algo menor a la de ADSL, utilizando la modulación por amplitud de pulso 2B1Q, en un ancho de banda comprendido entre los 80 kHz y los 240 kHz, dependiendo de la técnica que se utilice.

HDSL está enfocado principalmente hacia usos empresariales (interconexión de nodos de proveedores de Internet, interconexión entre estaciones base de telefonía móvil, redes privadas de datos, en-

laces entre centralitas, etc) más que hacia el usuario (cuyas necesidades se verán mejor cubiertas por las tecnologías ADSL y SDSL). Una de las principales aplicaciones de HDSL es el acceso de última milla a coste razonable a redes de transporte digital para RDI, redes satelitales y del tipo Frame Relay.

La tecnología HDSL tiene cabida en las comunicaciones de redes públicas y privadas también. Cada empresa puede tener requerimientos diferentes, orientados al uso de líneas privada de fácil acceso y obtención para que con productos de tecnología HDSL se puedan obtener soluciones de bajo costo y alta efectividad.

Los sistemas HDSL se emplean para proporcionar accesos primarios RDSI, así como para el suministro de líneas alquiladas. Otra aplicación habitual de este tipo de sistemas es la interconexión de equipos de red situados en la planta exterior de acceso del operador (por ejemplo, estaciones base de telefonía móvil o concentradores remotos de abonados).

Debido a que los sistemas HDSL emplean distintos sistemas de transmisión de línea, así como a la existencia de realizaciones propietarias de la operación y mantenimiento, los equipos de central y de usuario han de ser suministrados por el mismo proveedor. Como se indica en el siguiente apartado, el HDSL se verá sustituido a relativo corto plazo por sistemas HDSL-2 en regiones ANSI y por sistemas SHDSL en regiones que siguen normativa ETSI.

#### D) SDSL.

SDSL (Single line DSL) es una versión de HDSL en una única línea, transmitiendo señales TI y/o El sobre un único par trenzado. Sin embargo, SDSL tiene una importante ventaja comparada con HDSL, y es que se adapta al mercado del abonado individual que, normalmente, está equipado con una única línea de teléfono, pero no alcanza más de 3 km de distancia.

Esta tecnología provee el mismo ancho de banda en ambas direcciones, tanto para subir como para bajar datos: es decir que, independientemente de que se esté cargando o descargando información de Internet, se tiene el mismo rendimiento. Este tipo de conexión es ideal para las empresas pequeñas y medianas que necesitan un medio eficaz para subir y bajar archivos a la Web.

#### E) VDSL.

VDSL (Very high rate DSL) transmite datos a alta velocidad sobre tendidos de par trenzado de pequeño alcance. El rango de velocidades depende de la velocidad de la línea (en sentido ascendente se puede alcanzar entre 51 y 55 Mbps sobre líneas de 300 metros) y existen dos modalidades: simétrica y asimétrica.

El principal escollo que debe salvar VSDL es que las distancias que cubre resultan demasiado cortas. Una posible solución es una arquitectura FTTN (Fiber To The Neighbourhood), en la que la fibra se lleve hasta una terminación (le red óptica ONU, Optical Network Unit), que dará servicio a un área de vecindario. En la ONU tiene lugar la conversión de la señal a formato eléctrico (y a formato óptico, en sentido ascendente) y la inyección de la señal resultante en la red de par trenzado. VDSL existe en dos versiones, asimétrica y simétrica. La versión asimétrica se ha diseñado para soportar servicios de banda ancha de marcado carácter asimétrico en los que las necesidades de ancho de banda son mucho mayores en sentido descendente que en sentido ascendente (éste es el caso de los servicios de difusión tales como la televisión, el vídeo bajo demanda, etc.).

La versión simétrica, mucho más orientada al mercado corporativo, dispone del mismo ancho de banda en los dos sentidos de la comunicación y soporta aplicaciones de datos a alta velocidad, videoconferencia, etc. Las velocidades son menores que las conseguidas por la versión asimétrica. Para la separación de canales, las versiones asimétricas de VDSL utilizan la multiplexación por división en frecuencia, mientras que las simétricas hacen uso de la cancelación de eco.

#### F) G. SHDSL

G. SHDSL (Single-pair High-speed DSL) proporciona un servicio simétrico de hasta 2,3 Mbps sobre distancias que pueden llegar casi a los 3 km, adaptando la velocidad a la distancia. Sin embargo, es posible alcanzar distancias mayores mediante el empleo de repetidores (generalmente tres, aunque el estándar permite más). La versión más empleada en las empresas de G.SHDSL se conoce simplemente, como SHDSL (Symmetric High-speed DSL).

G. SHDSL puede coexistir con ADSL, lo que permite ofrecer a las empresas un servicio simétrico de 2,3 Mbps. Además, la posibilidad de combinar varios enlaces físicos en un único enlace lógico de alta velocidad hace posible aumentar el ancho de banda hasta 15 Mbps. Por esta razón, G.SHDSL resulta adecuado para aplicaciones como el acceso a Internet a alta velocidad, los servicios de red LAN transparente y la integración de voz y datos.

La agrupación de enlaces SHDSL en otro de mayor capacidad se puede llevar a cabo de tres maneras diferentes (dos de las cuales están basadas en ATM). Las primeras dos técnicas se aplican al tranco de red comprendido entre el equipamiento de usuario y el DSLAM y se conocen como técnicas de multiplexación inversa. La multiplexación inversa requiere de la coordinación entre los módems de los extremos.

La solución más sencilla consiste en agrupar dos enlaces simétricos de 2,3 Mbps en otro de 4,6 Mbps. La agrupación se consigue haciendo funcionar dos bucles de manera síncrona. Existe un pequeño inconveniente, y es el retardo diferencial entre los dos enlaces. Sin embargo, resulta muy fácil resolver este problema si tenemos en cuenta que los dos enlaces deben terminar en puertos adyacentes del DSLAM. Otro inconveniente es que si alguno de los bucles deja de funcionar, el enlace se pierde.

SHDSL puede aplicarse en la pequeña y mediana empresa (PYME) para conectar la LAN corporativa directamente a Internet. En este ámbito, SHDSL presenta una ventaja fundamental sobre ADSL y es que proporciona un ancho de banda simétrico de 2,3 Mbps mientras que el ancho de banda de ADSL en el canal ascendente es de 384 Kbps.

Sus beneficios, para los usuarios, son:

- Soporta las funcionalidades tradicionales:

Servicio Centrex.

Dispositivos analógicos, fax y módem.

- Mejores servicios a mejor precio:

Menor coste que una línea alquilada.

Mayor velocidad que la proporcionada por la RDSI.

- Un único proveedor de servicios para voz y datos:

LAN-LAN, VPN, Internet a alta velocidad.

VoDSL, videoconferencia con alta calidad.

- Migración sin coste adicional de hardware.

Por esta razón, SDSL se aplica en las PYME y ADSL en redes residenciales o entornos de oficina pequeña (SOHO).

La familia xDSL.

A continuación se presenta una tabla resumen de las características básicas de esta familia.

MIEMBRO	BANDA DE FRECUENCIAS	RENDIMIENTOS
<b>RDSI 2B1Q</b>	10 Hz - 50 kHz	144 kbps
<b>ADSL sobre POTS</b>	25.875 kHz a 1.104 MHz	Hasta 8 Mbps DS, 640 kbps US
<b>ADSL sobre RDSI</b>	138 kHz a 1.104 MHz	Hasta 8 Mbps DS, 640 kbps US
<b>HDSL 2B1Q (3 pares)</b>	0.1 kHz - 196 kHz	2 Mbps
<b>HDSL 2B1Q (2 pares)</b>	0.1 kHz - 292 kHz	2 Mbps
<b>HDSL CAP (1 par)</b>	0.1 kHz - 485 kHz	2 Mbps
<b>SDSL</b>	10 kHz - 500 kHz	192 kbps a 2.3 Mbps
<b>VDSL</b>	300 kHz - 10/20/30 MHz	Hasta 24/4 DS/US, y hasta 36/36 en modo asimétrico.

### 1.3. ESTRUCTURA Y ELEMENTOS DE RED.

#### A) Sistemas de HDSL y SHDSL (TDM).

Estos sistemas se utilizan principalmente como meras soluciones de transporte para proporcionar accesos de 2Mbit/s. El sistema consta de un módem o terminal de red en las dependencias del usuario y de un equipo que agrupa los correspondientes módems o terminales de línea en la central. Ambos módems ofrecen interfaces G.703 de 2 Mbit/s, o n x 64 kbit/s, tanto del lado de usuario, como del de red.

Las interfaces G.703 del lado de red se llevan normalmente a un repartidor digital, donde se conectan para entregar la señal a la red destino. Una aplicación muy común de estos sistemas es la interconexión de estaciones base de sistemas celulares en áreas urbanas.

La gestión de este tipo de sistemas suele ser autónoma, esto es, sin formar parte de una red propiamente dicha. Para ello, suelen ofrecer una conexión en el banco de módem de central mediante una

interfaz de gestión propietaria. Esto no impide que la gestión se pueda hacer de manera remota (por ejemplo, vía módem), e incluso centralizar la gestión de varios sistemas sobre un único terminal, sin que en ningún caso aparece la idea de una «red».

El equipo de central integra el sistema de transmisión SDH, proporcionándose una interfaz de gestión normalizada para su integración en un sistema de gestión extremo a extremo. La transmisión de línea SHDSL, con una carga útil de 36 canales de 64 kbit/s (2,3 Mbit/s), permite transportar hasta los módems un contenedor virtual VC-12 SDH, en vez de los 2 Mbit/s; esto hace que se pueda realizar una monitorización más estricta de la calidad del servicio hasta el mismo extremo del abonado.

#### B) Sistemas de ADSL y SHDSL (ATM).

Éstas son las ventajas del acceso ADSL:

- Gran ancho de banda en el acceso: permite el intercambio de información en formato digital a gran velocidad entre un usuario y la central local a la que se conecta mediante un par de cobre. Ancho de banda disponible de forma permanente.
- Se aprovecha una infraestructura ya desplegada, por lo que los tiempos de implantación de los servicios sobre la nueva modalidad de acceso se acortan.
- El acceso es sobre un medio no compartido, y por tanto intrínsecamente seguro.

Ahora bien, ¿cómo se puede sacar provecho de esta gran velocidad de acceso? Las redes de comunicaciones de banda ancha emplean el ATM («Asynchronous Transfer Mode») para la conmutación en banda ancha. Desde un primer momento, dado que el ADSL se concibió como una solución de acceso de banda ancha, se pensó en el envío de la información en forma de células ATM sobre los enlaces ADSL.

En los estándares sobre el ADSL, desde el primer momento se ha contemplado la posibilidad de transmitir la información sobre el enlace ADSL mediante células ATM. La información, ya sean tramas de vídeo MPEG2 o paquetes IP, se distribuye en células ATM, y el conjunto de células ATM así obtenido constituye el flujo de datos que modulan las subportadoras del ADSL DMT.

Si en un enlace ADSL se usa ATM como protocolo de enlace, se pueden definir varios circuitos virtuales permanentes (CVPs) ATM sobre el enlace ADSL entre el ATU-R y el ATU-C. De este modo, sobre un enlace físico se pueden definir múltiples conexiones lógicas, cada una de ellas dedicadas a un servicio diferente. Por ello, ATM sobre un enlace ADSL aumenta la potencialidad de este tipo de acceso al añadir flexibilidad para múltiples servicios a un gran ancho de banda.

Otra ventaja añadida al uso de ATM sobre ADSL es el hecho de que en el ATM se contemplan diferentes capacidades de transferencia (CBR, VBR-rt, VBR-nrt, UBR y ABR), con distintos parámetros de calidad de servicio (caudal de pico, caudal medio, tamaño de ráfagas de células a velocidad de pico y retardo entre células consecutivas) para cada circuito. De este modo, además de definir múltiples circuitos sobre un enlace ADSL, se puede dar un tratamiento diferenciado a cada una de estas conexiones, lo que a su vez permite dedicar el circuito con los parámetros de calidad más adecuados a un determinado servicio (voz, vídeo o datos).

Aunque en un principio los sistemas ADSL tenían una topología muy similar a las mostradas anteriormente, actualmente la práctica totalidad de las instalaciones se basan en el empleo de DSLAM.

Una característica importante en estos sistemas es que el equipo de central incorpora funciones de multiplexión ATM. Ello, junto a las características del tráfico del principal servicio ofrecido en la actualidad, el acceso a Internet de Alta Velocidad, permite obtener ganancia estadística mediante «sobresuscripción», es decir, la suma de los tráficos «medios» ofrecidos a los abonados es superior al tráfico total que puede suministrar la red. Este hecho está en contradicción con la ventaja, a veces mencionada, del ADSL frente al cable módem. Así, suele argüirse que mientras que el cable módem tiene que compartir el ancho de banda con los otros abonados servidos por el mismo cable, en ADSL el abonado dispone de todo el ancho de banda por tener un par de cobre dedicado. Es evidente que el ADSL también es un medio compartido, en este caso en la conexión que va hacia la red. En ambos casos, el comportamiento del sistema dependerá del grado de sobresuscripción.

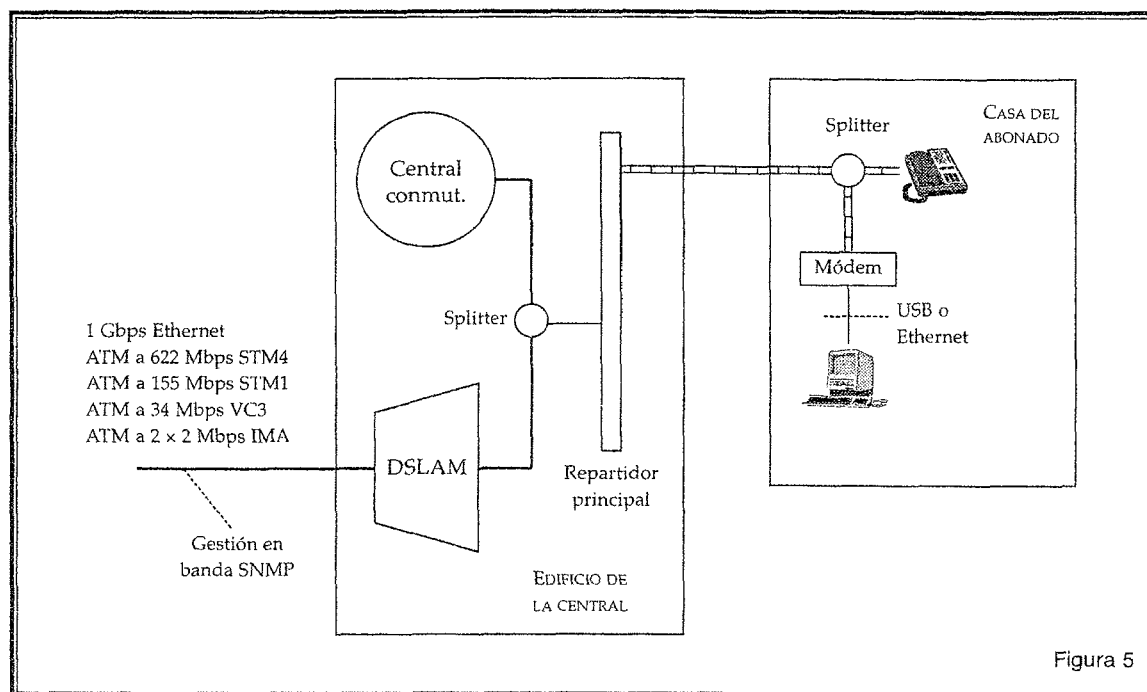


Figura 5

En la figura se muestra una lista de las interfaces hacia la red más comunes en ADSL. Generalmente, se trata de interfaces ATM sobre SDH y las velocidades más habituales son un VC3 34 Mbit/s o 155 Mbit/s. Cuando los sistemas son muy pequeños, se opta por interfaces IMA (Inverse Multiplex ATM) sobre  $n \times E1$  (con un valor  $n$  máximo de 8). Esta opción puede parecer muy atractiva si se comparan los costes de unos pocos enlaces primarios frente al de enlaces a 34 Mbit/s o 155 Mbit/s. Sin embargo, han de tenerse en cuenta también los costes de las terminaciones en los conmutadores de la red ATM. En este sentido, hay que considerar tanto los costes directos (no hay mucha diferencia en una terminación de línea de 2 Mbit/s a una de 155 Mbit/s), como los de oportunidad (si se utilizan terminaciones de 2 Mbit/s, ocupando ranuras de circuitos de terminación en el conmutador, se desperdicia la capacidad de conmutación de la matriz ATM).

El deseo de poder ofrecer servicios de vídeo, está dando lugar a que empiecen a ofrecerse interfaces a velocidades superiores: 622 Mbit/s y 1 Gigabit Ethernet. La orientación hacia el mundo de los datos hace que estos sistemas hayan optado por un protocolo de gestión SNMP (Simple Network Management Protocol), que normalmente es transportado en ATM, aunque a veces está disponible sobre una conexión Ethernet separada. En la figura siguiente se muestra un escenario de red típico para la provisión del servicio de Acceso a Internet de Alta Velocidad mediante ADSL.



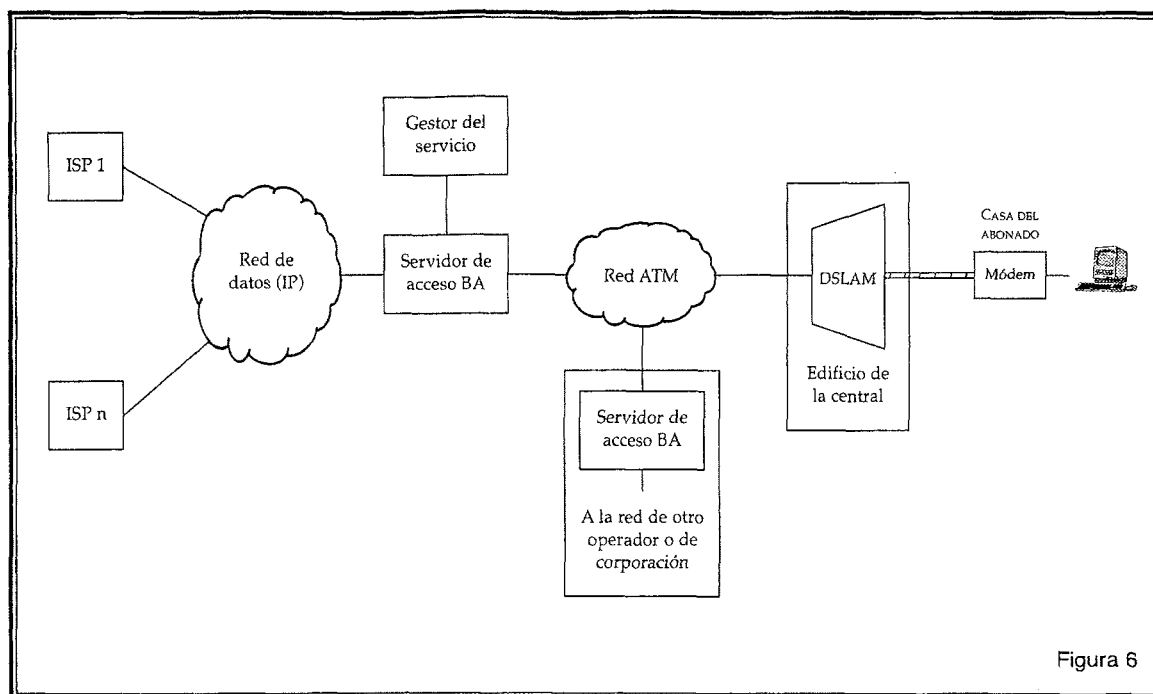


Figura 6

Una de las soluciones más habituales consiste en establecer una conexión ATM semipermanente entre cada usuario y el Servidor de Acceso de Banda Ancha, y otra entre éste y cada ISP. Al activar la sesión, el usuario establece contacto, vía el servidor de Banda Ancha, con el Gestor de Servicio, a fin de realizar las oportunas funciones de AAA (Authorization, Authentication and Accounting). El gestor de servicio, a su vez, se comunica mediante un protocolo RADIUS (Remote Authentication Dial-In User Service) con el ISP, el cual asigna al usuario una dirección IP libre de su rango. A partir de ese momento, todo el tráfico proveniente del usuario con esa dirección IP origen se redirige al ISP correspondiente. La solución descrita es la más flexible, ya que permite que el usuario pueda elegir el ISP al que desea conectarse en cada sesión.

En el caso de asignación fija entre usuarios e ISP, se puede prescindir de la función de servidor de acceso de banda ancha. En este caso, se configuran mediante gestión caminos ATM semipermanentes entre usuario y proveedor de servicios (otra posibilidad es configurar directamente enrutamientos a nivel IP). Este sería el caso también de un usuario conectado permanentemente a un servidor de Acceso de una corporación, como también se muestra en la figura.

## 2. NORMATIVA REGULADORA.

El ADSL (Bucle de Abonado Digital Asimétrico) es una técnica de transmisión que, aplicada sobre los bucles de abonado de la red telefónica, permite la transmisión sobre ellos de datos sobre a alta velocidad. Para ello utiliza frecuencias más altas que las empleadas en el servicio telefónico y sin interferir en ellas, permitiendo así el uso simultáneo del bucle para el servicio telefónico y para acceder a servicios de datos a través de ADSL.

La asimetría que caracteriza a los sistemas ADSL supone que ofrece una mayor capacidad de transmisión en el llamado «sentido descendente» (de la red de telecomunicaciones al usuario) que en «sentido ascendente» (del usuario a la red). Esto los hace especialmente apropiados para aplicaciones como el acceso a Internet basada en sistemas Web, donde el volumen de información recibida por los usuarios es notablemente mayor que el de los comandos de control generados en la navegación.

Para acceder estas nuevas posibilidades es preciso, en primer lugar, que la central local que actualmente nos presta el servicio telefónico haya sido dotada de medios ADSL por el operador de red.

Asimismo, es preciso que el servicio telefónico se nos esté prestando mediante un bucle convencional de cobre cuyas características permitan la implantación del ADSL, que puede experimentar dificultades, especialmente en bucles de gran longitud. Adicionalmente, se requiere que no tengamos contratado sobre este bucle ningún servicio incompatible con ADSL, como son los de hilo musical, IBERCOM, Teletax, Red Delta, líneas de backup, circuitos alquilados (Frame Relay, IP básico) o tele-tarifación mediante impulsos a 12 kHz.

La regulación sobre el despliegue y provisión de servicios sobre medios ADSL arranca con la Orden de 26 de marzo de 1999, por la que se establecen las condiciones para la provisión del acceso indirecto al bucle de abonado de la red pública telefónica fija, que estableció la obligación a Telefónica de España, S.A.U., en su condición de operador dominante del servicio telefónico fijo disponible al público, de establecer una oferta mayorista de servicios de acceso basados en tecnologías ADSL, modelo este de servicios que también se conoce como «bitstream access».

La citada Orden fue derogada por el Real Decreto 3456/2000, por el que se aprueba el Reglamento que establece las condiciones para el acceso al bucle de abonado de la red pública telefónica fija de los operadores dominantes, recogiendo y modificando este Reglamento las disposiciones aplicables a las ofertas mayoristas de servicios ADSL en un marco normativo más amplio sobre desagregación del bucle de abonado, establecido en aplicación del Reglamento (CE) 2887/2000 del Parlamento Europeo y del Consejo, de 18 de diciembre de 2000, sobre el acceso desagregado al bucle local.

Las condiciones en las que estos operadores tienen acceso a los medios ADSL desplegados por Telefónica de España en su red, se recogen en la Oferta de acceso al Bucle de Abonado (OBA), aprobada por la Comisión del Mercado de las Telecomunicaciones, cuya última revisión se realizó mediante Resolución de la CMT de 29 de abril de 2002.

En el marco de estas disposiciones, Telefónica de España, S.A.U., viene desarrollando desde septiembre de 1999 un plan de despliegue de medios ADSL en su red pública telefónica fija, posibilitando que otros operadores de redes de telecomunicaciones y proveedores de servicios de transmisión de datos establezcan y comercialicen directamente ofertas de servicios que hagan uso de las capacidades de banda ancha proporcionadas por las tecnologías ADSL.

En marzo de 2001, Telefónica de España, S.A.U., solicitó autorización para comercializar, por sí misma y en régimen minorista, una oferta de servicios de acceso a Internet empleando los medios ADSL establecidos en su red pública telefónica fija, fijándose por Resolución de 31 de julio de 2001 del Secretario de Estado de Telecomunicaciones y para la Sociedad de la Información las condiciones para el desarrollo de esta oferta de forma compatible con lo dispuesto en el Reglamento sobre acceso al bucle de abonado y, en particular, garantizando el respeto a los principios de transparencia, equidad y no discriminación en él recogidos.

Los precios de la citada oferta minorista fueron aprobados mediante Acuerdo de la Comisión Delegada del Gobierno para Asuntos Económicos, de 4 de julio de 2002.

Como cabría esperar, la tecnología ADSL es principalmente una tecnología de operadores establecidos. La planta exterior de pares de cobre pertenece en su inmensa mayoría a los primeros operadores, que la han ido desplegando desde la invención del teléfono en 1876. Este hecho constituye una

posición de ventaja competitiva frente a cualquier nuevo operador: el operador establecido, que posee el par (la conexión al usuario), parte con ventaja en cualquier escenario de libre competencia. Es un hecho que se inscribe dentro del concepto, muy contestado, de «monopolio natural».

La liberación de las telecomunicaciones, comenzada en EE.UU. en 1986 con el Communication Act, y seguida en el resto del mundo con similares medidas que favorecen la competencia, ha llevado al concepto de Desagregación del Bucle de Abonado (Local Loop Unbundling). Su principio es muy sencillo: el operador establecido ha de ceder al nuevo operador la conexión a «su» abonado. El nuevo operador paga una cuota mensual por el mantenimiento del bucle al operador establecido: no podemos olvidar que el par desagregado sigue yendo en un cable con otros pares que pertenecen al operador establecido. Una de las hipótesis del ejercicio es que el par ya está amortizado, e incluso, ha sido subvencionado por los años de monopolio que normalmente ha disfrutado el operador establecido.

La desagregación del bucle es una de las acciones de la Comisión Europea, acordada en la cumbre de Lisboa de diciembre de 2000, para favorecer la competencia en las redes de acceso, incrementar la penetración de los servicios de banda ancha: acceso a Internet de Alta Velocidad, Multimedia, etc., y reducir el precio de los servicios avanzados de telecomunicación.

La Comisión recomienda tres alternativas de desagregación de bucle, aunque sólo obliga a regular la desagregación completa, mostrada en la Figura. La idea, aunque sencilla, da origen a una reglamentación muy compleja. Un ejemplo es la OBA (Oferta de acceso al Bucle de Abonado) de España, donde se regulan las obligaciones y precios de los distintos servicios que el operador establecido debe procurar al nuevo operador:

- Cuota mensual (que suele ser una cantidad muy parecida a la que paga el usuario particular por su cuota de abono).
- Espacios que el operador establecido debe proporcionar en su edificio, así como el precio de su alquiler.

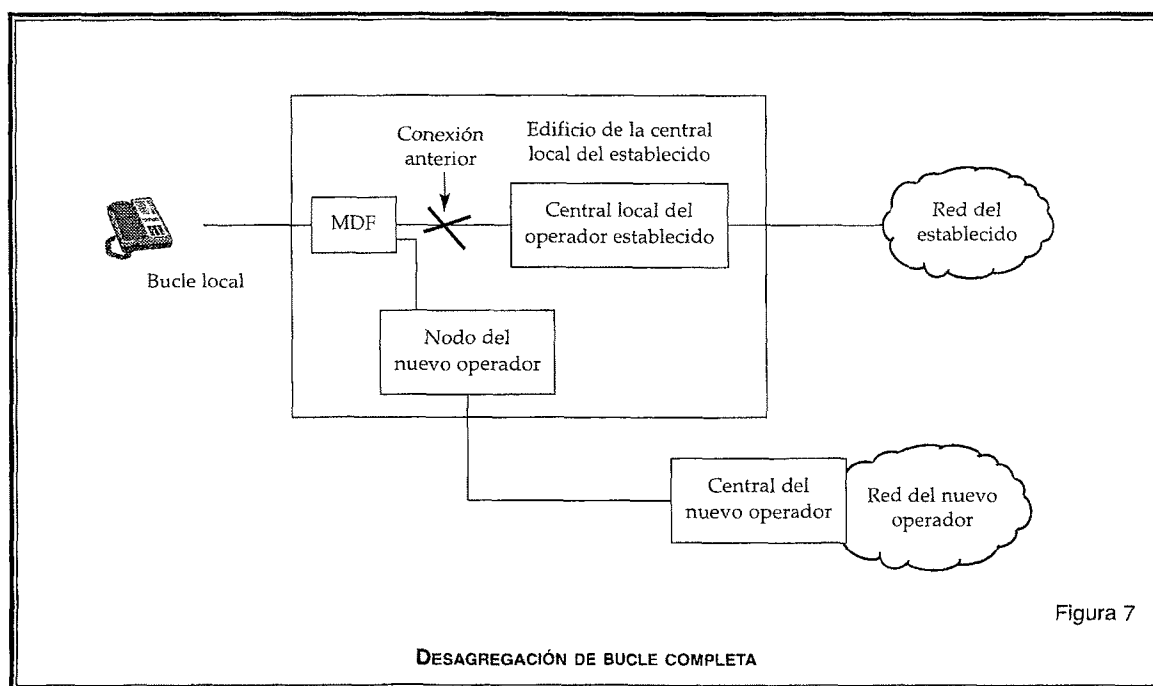


Figura 7

- Precios de los cableados desde el Repartidor Principal hasta la ubicación del nuevo operador.
- Número máximo de servicios de banda ancha que se pueden proporcionar en un mazo de 25 pares.
- Medidas de seguridad de acceso al edificio, así como precio que el nuevo operador deberá abonar por acceder al mismo.

Todas estas medidas son el resultado de prolijas negociaciones entre operadores, con el regulador como árbitro. Las negociaciones en sí constituyen una barrera de entrada, ya que retrasan el comienzo del negocio del nuevo operador, lo cual, junto con las tarifas a pagar por cada uno de los servicios, están motivando que la desagregación del bucle no esté siendo el éxito que los reguladores pretendían. Por el contrario, la desagregación del bucle puede tener efectos contraproducentes al desarrollo de las telecomunicaciones, puesto que desincentivan las inversiones del operador establecido en la mejora y modernización de su planta, ya que de alguna forma son forzados a cederla a los nuevos operadores. Y, por el mismo motivo, los nuevos operadores se retraen de invertir en sus propias redes de acceso.

#### A) Entorno Regulatorio de ADSL.

##### Oferta del Bucle de Abonado (OBA):

- Publicada en [www.telefonicaonline.com/operadores](http://www.telefonicaonline.com/operadores).
- Acceso Compartido: TdE cede todo el Bucle.
- Acceso Desagregado: TdE cede las Altas Frecuencias.
- Acceso Indirecto: Servicio GigADSL.

##### Títulos habilitantes necesarios:

- Acceso Desagregado y Compartido.
- Licencia Individual B1, C1 y C2.
- Acceso Indirecto.
- Todas las Licencias Individuales.
- Autorización General Tipo C: la habitual en PSI.

##### Autoprestación de Administraciones Públicas (Ley General Telecomunicaciones art. 7.º 3).

Una de las ventajas más notables de la tecnología ADSL es su grado de normalización e interoperabilidad, demostrada en el campo. El ITU-T recoge esta normalización en sus recomendaciones G.992.1, para ADSL DMT, y G.992.2, para el denominado ADSL-lite.

Esta última variante proporciona menor caudal, pero tiene la ventaja de no requerir splitter en casa del abonado, lo que en principio permite evitar el desplazamiento de personal de la operadora a casa del abonado para la instalación del servicio. En mayo de 2002 se acordó una evolución de estas

normas, conocidas de forma genérica como ADSL2 (recomendaciones G.992.3 y G.992.4), que introducen una serie de mejoras derivadas de la experiencia obtenida con los despliegues realizados:

- Mejoras en las pruebas de interoperabilidad, así como en señales y mensajes de iniciación.
- Mejoras en prestaciones de alcance/caudal.
- Modo de bajo consumo.
- Posibilidad de usar todo el espectro para el transporte de la señal digital, desde 0 Hz, en aquellas aplicaciones en que no se requiera servicio telefónico simultáneo (all digital mode).
- Posibilidad de usar varios pares simultáneamente: 32 Mbit/s sobre 4 pares, 24 Mbit/s sobre 3 pares, 16 Mbit/s sobre 2 pares (inverse multiplex bonding).
- Capa de convergencia para transportar directamente Ethernet sobre ADSL.

Existen, además, otras líneas de evolución previstas. Así, el ADSL+ amplía la banda utilizable hasta 2,2 MHz (el doble de la actual) y el ADSL++ hasta 3 o 3,75 MHz, si bien en ambos casos el alcance es menor que en ADSL convencional. Otra línea de evolución, en sentido contrario al anterior, es la propuesta Low Frequency DSL del DSL Forum, que utiliza una región del espectro situada por debajo de la banda descendente (red a usuario) de ADSL. Esta nueva banda se usa en los dos sentidos de forma solapada, lo que permite velocidades de unos 180 kbit/s y alcances de hasta 12 km con pares de calibre 0,5.

El sistema HDSL está normalizado a nivel europeo en la ETR 152 (Transmission and Multiplexing; High bit rate Digital Subscriber Line transmission system on metallic local lines; HDSL core specification and applications for 2048 kbit/s based access digital sections), y a nivel internacional en la Recomendación G.991.1 del ITU-T (High bit rate Digital Subscriber Lines transceivers).

El sistema SHDSL está especificado en el estándar TS 101 524 de ESTI (Transmisión and Multiplexing; Access transmission system on metallic access cables; Symmetrical single pair high bit rate Digital Subscriber Line, SDSL). Dentro del ámbito internacional, rige la Recomendación G.991.2 del ITU-T (Single pair High speed Digital Subscriber Lines transceivers).

Las recomendaciones del ITU-T G.992.1 y G.992.2 especifican los estándares para ADSL DMT y ADSL-lite, respectivamente. En el caso de ADSL-2, las recomendaciones aplicables son las G.992.3 y la G.992.4.

#### B) Estrategia de acceso xDSL.

El objetivo de esta tecnología de acceso es utilizar la planta de pares de cobre existente, desplegada en su origen para dar el servicio telefónico, y diseñada de acuerdo con los requisitos de este servicio, que pueden resumirse en las siguientes reglas de ingeniería:

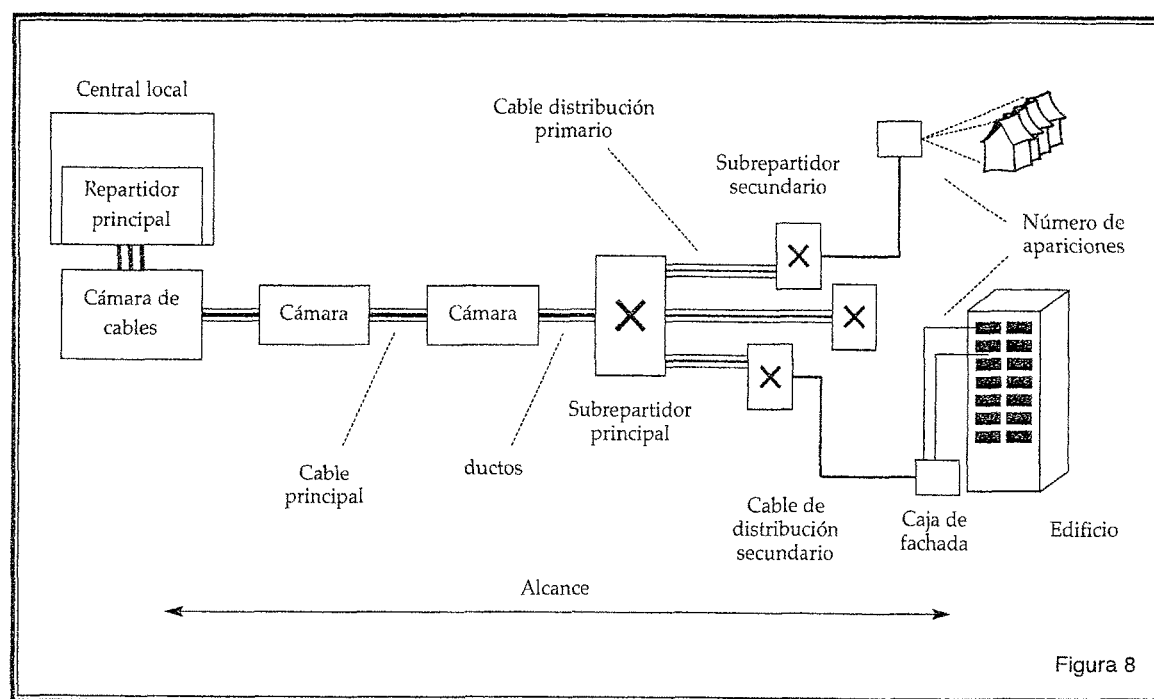
- Alcance resistivo de la central de conmutación o concentrador de abonados, para garantizar una corriente de alimentación suficiente al aparato telefónico. Los límites resistivos se establecen entre 1.200 y 1.900 ohmios, para la suma de resistencia óhmica del par de abonado más la del aparato telefónico.
- Límite de atenuación del plan de transmisión para 800 o 1.000 Hz. Las pérdidas máximas que se pueden atribuir al par están entre 8 y 10 dB.

Estos dos parámetros determinan el diseño del área de servicio cubierta por una central o concentrador de abonados. Con los calibres de pares empleados normalmente (0,4 o 0,5 mm) el radio del área de servicio es de unos 6 km. En la Figura se muestra un detalle del despliegue de la planta de pares de cobre dentro de un área de servicio. Se puede apreciar cómo los pares se van distribuyendo desde la central (cables de 400 a 3.600 pares) hasta el abonado (un solo par), pasando por puntos de flexibilidad o subrepartición, donde se emplean cables de 25, 50 o 100 pares.

El esquema desde un concentrador remoto es similar, definiendo su propia área de servicio. La diferencia estriba en que las centrales se ubican en áreas de gran densidad demográfica (varios miles de abonados), controlando varios concentradores remotos que dependen de ella, mientras que con los concentradores remotos se cubren áreas de unos pocos miles, cientos o incluso decenas de usuarios.

Los concentradores remotos se unen a las centrales de las que dependen por sistemas de transmisión que transportan típicamente de 2 a 4 sistemas de 2 Mbit/s.

En España existen 1.145 centrales de conmutación y 12.998 concentradores remotos, por lo que, suponiendo que el 30 por 100 (la media mundial es 20%) de los usuarios están conectados a concentradores remotos, se obtienen medias de 400 abonados por concentrador remoto y 15.000 por central (incluyendo abonados directos y remotos).

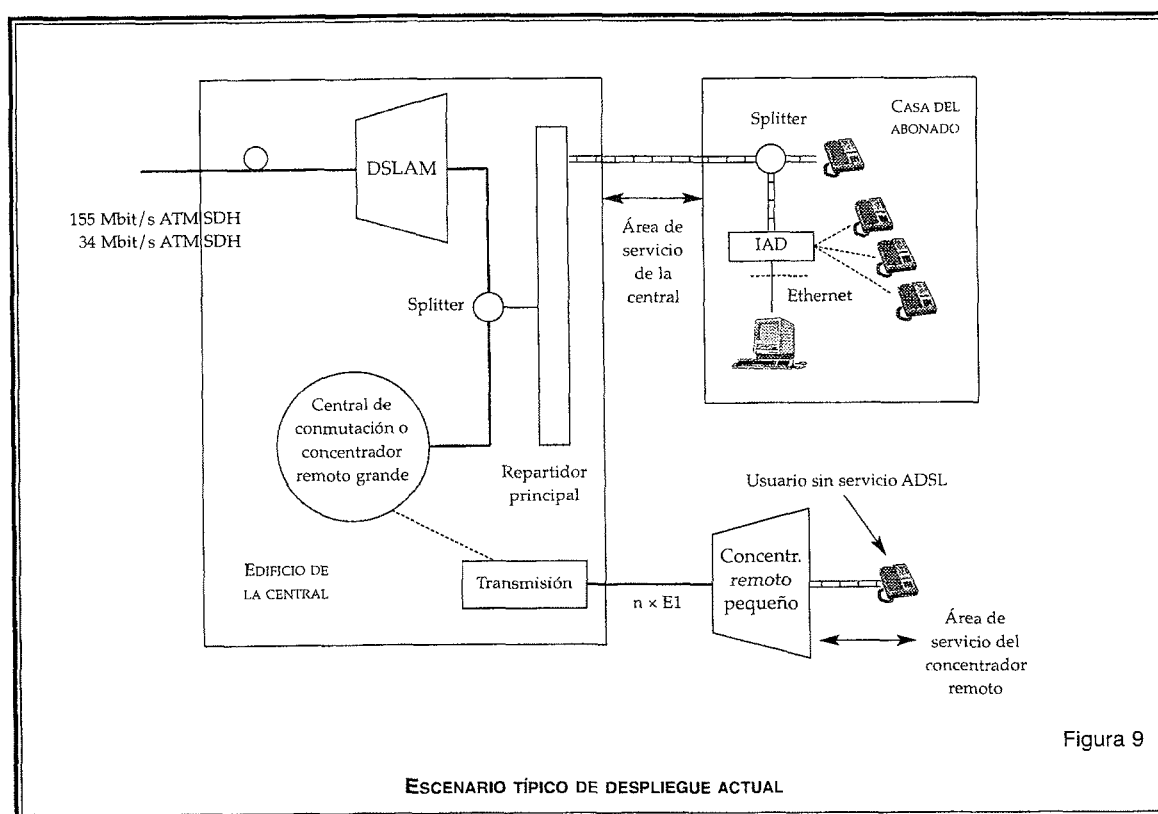


### C) Estrategia actual de despliegue de xDSL en una red:

- Utilizar la planta de cobre existente sin modificación, que implica:
  - Cubrir primero las centrales (áreas urbanas) y concentradores remotos grandes. Desde estos puntos se pueden alcanzar miles de abonados, existe espacio y energía para instalar y existe o es fácilmente obtenible capacidad de transmisión para conectarse a los niveles superiores de la red.

- Limitar la oferta de servicios a velocidades compatibles con las distancias máximas dentro de un área de servicio. Por ejemplo, la oferta máxima en España de 2 Mbit/s descendente se corresponde aproximadamente a los límites prácticos obtenibles en una planta real a una distancia no superior a 3,5 km.
  - Utilizar los elementos de red ADSL (DSLAM) disponibles en el mercado:
    - En línea con los objetivos iniciales de cobertura expuestos, los fabricantes han optimizado en costes las configuraciones destinadas a ser ubicadas en centrales de conmutación o grandes concentradores remotos.
- Esto lo han conseguido incrementando la densidad de líneas por equipo, de forma que se distribuya el coste de las funciones comunes de los DSLAM (control, transmisión, alimentación, gestión, etc.) entre el mayor número de líneas posible.
- Los equipos disponibles en el mercado están orientados al acceso a Internet de alta velocidad, pudiendo soportar otros servicios, como por ejemplo distribución de TV, de forma muy limitada.

En la figura siguiente se muestra el escenario típico de despliegue de ADSL al día de hoy.



De este escenario típico pueden extraerse las siguientes conclusiones:

- No se necesitan inversiones en planta exterior.
- La demanda de acceso de alta velocidad a Internet está cubierta para abonados de zonas urbanas.

- Los abonados que se conectan a concentradores remotos de pequeña capacidad no suelen disponer de servicio ADSL. Aunque existen dispositivos «mini-DSLAM», su coste por línea es alto, se requiere ampliar la capacidad de transmisión entre la ubicación del concentrador y la central, pueden existir problemas de espacio, consumo, disipación, etc.
- Las estructuras actuales no permiten un despliegue comercial de servicios de televisión (tanto de distribución como bajo demanda), aunque lo permitirán en un futuro cercano.

En resumen, se puede afirmar que el crecimiento de esta tecnología en cuanto al número de abonados servidos no tiene limitaciones importantes, aunque sí pueden existir para llegar a abonados que dependan de concentradores remotos pequeños, en función de la disponibilidad de DSLAM de pequeña capacidad a precios adecuados.

Por otra parte, en cuanto al crecimiento desde el punto de vista de nuevos servicios, para proporcionar distribución de televisión y vídeo bajo demanda de forma masiva, obliga a remodelar la planta existente. Las modificaciones más importantes serían introducir la fibra más profundamente en la red, hasta garantizar que la distancia cubierta con pares de cobre no sobrepasa 1,5 km, modificar los DSLAM existentes y ampliar la capacidad de los medios de transporte hasta los DSLAM.

D) La evolución a medio plazo del acceso xDSL será:

En los núcleos urbanos, donde existen centros de cableado densos (centrales o concentradores remotos grandes) se puede considerar que el despliegue de la tecnología ADSL ha sido realizado ya en Europa y, particularmente, en España.

En estas zonas, a medio plazo, se puede esperar que vayan introduciéndose las mejoras de la tecnología ya previstas en su evolución natural:

- En las terminaciones de línea, migración a ADSL2, con aumentos de caudal y alcance. Con lo cual se podrá ampliar la cobertura para los servicios que requieren mayor ancho de banda. Por ejemplo, se podrá aumentar el límite de vídeo sobre ADSL, que se encuentra actualmente en 1,5 km.
- Soporte de Inverse Multiplex Bonding, es decir, agregación del ancho de banda de varios pares para dar servicio a un usuario. Con esto se podrán proporcionar nuevos servicios de empresa.
- Seguirán bajando los precios por línea.

Esta evolución requerirá la ampliación y actualización tanto de los DSLAM, para introducir nuevas funciones (multicast y ampliar su ancho de banda interno), como de la red de transporte que los alimenta.

En cuanto a las áreas de baja densidad de abonados, seguirá constituyendo el mayor reto para esta tecnología. Es de esperar que, a medio plazo, con las continuas reducciones de precio de los equipos, se alcance un punto en que la inversión necesaria para dar servicio ADSL pueda resultar menos onerosa, pero será difícil que llegue a ser rentable. Además de DSLAM más pequeños y, por tanto, más caros por línea, se necesitará la infraestructura de fibra para llegar a los mismos. En lugar de fibra, podría usarse tecnología radio, ya sean microondas punto a punto o LMDS. Incluso en este último caso, se podría pensar en una utilización doble del LMDS, como transporte y como acceso (por ejemplo, para los abonados servidos actualmente por sistemas TRAC).

