

# Acceso mediante tecnología xDSL

## 1. Transformación de la red de acceso

En una red de telecomunicaciones, el proceso de las comunicaciones resulta más eficiente si las señales persisten en su condición de digital durante todo su desarrollo. Este es el criterio guía en la evolución a las nuevas redes. Históricamente la transición a una red digital tomó bastante tiempo, dependiendo sobremanera del estado de la red existente, su topología y el mantenimiento.

El primer paso lo impuso la necesidad en las áreas céntricas, en contar con ductos vacantes en las canalizaciones, para poder efectuar el pasaje de nuevos cables entre centrales, como reposición o ampliación. La solución vino, a principios de los años 1970, de la mano de los equipos PCM. Pero para digitalizar un enlace, para aquella época al ser las centrales locales analógicas, cada enlace requería cuatro conversiones digitales a analógica en cada uno de sus extremos. Dos conversiones en cada sentido, equipos sumamente costosos. Estos altos costos, forzaron la introducción del HDSL, más económico por duplicar las distancias de enlace y con mayores ventajas técnicas.

Ya a fines de esa década las centrales comenzaron a digitalizar sus equipos, principiando por las centrales concentración locales que presentaran excesivo tráfico. Con una red totalmente analógica, para proveer vínculos digitales PCM, se requería emplear cuatro conversiones analógicas /digitales por concentración.

A mediados de los años 1980, ya sé hacia necesario integrar todos los servicios aprovechando una red digital. Su inconveniente mayor fue disponer de áreas locales muy extensas, algunas con abonados alejados hasta 10 Km. Los cálculos económicos comparativos, demostraban la conveniencia de utilizar *unidades-remotas-de-abonados* URA, como concentradores digitales, formando pequeñas áreas de servicio digital. Para cada URA se empleaban vínculos equipados con HDSL.

Al irrumpir la fibra óptica en el ámbito de enlaces interurbanos e internacionales, se continuó con su uso en la red de abonado. El emplazamiento de concentradores se realizó con enlaces de fibra óptica, además se crearon anillos de fibra para grandes clientes. En ambos casos, trajo como lógica consecuencia extender las líneas hasta el abonado, reutilizando los pares de cobre, pero empleando técnicas de la familia del HDSL. Los formatos asimétricos ADSL y VDSL fueron los adecuados. para ese fin.

### El modem de banda angosta en la red telefónica

Otra historia confluyente lo representa la evolución y empleo masivo de los módem. Hasta los años de 1970, las redes telefónicas existentes eran de concepción esencialmente analógica. El empleo masivo de teletipos dio origen a la transmisión de datos de baja velocidad en la red telefónica. Luego, los facsímiles digitales, el empleo de sistemas PCM y posteriormente la proliferación de computadoras radicalmente digitales, llevaron paulatinamente a la necesidad de disponer de una red totalmente digital.

Esa necesidad de transmitir señales digitales, usando las redes telefónicas existentes analógicas, obligó al empleo de equipos moduladores y demoduladores modem, combinados en ambos extremos de las líneas a utilizar. En estos módem, los pulsos digitales son transformados en ondas analógicas de diferentes frecuencias. Por cada símbolo o ausencia del mismo se enviaba un cierto valor de frecuencia. Subsecuentemente se requirió el envío de señales digital de mayores velocidades, consecuentes con un mayor ancho de banda analógico.

En ese contexto, la evolución de los módem ha mantenido una curva asintótica, para alcanzar el valor definido por la UIT en velocidad digital de 64 Kb/s, equivalente al canal analógico de voz de 4 KHz.

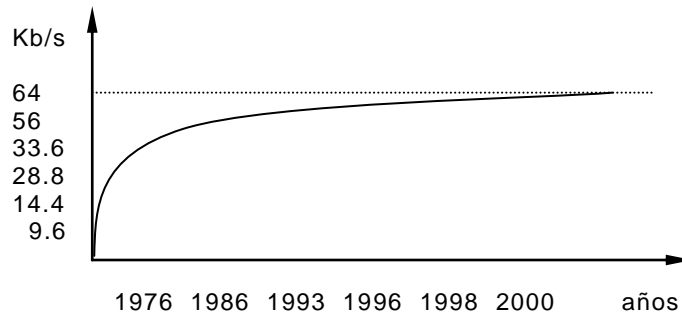


Fig. 1 - Evolución del módem de banda angosta

Los primeros módem permitían la transmisión en un solo sentido, luego por requerimientos del mercado se lanzaron los módem bidireccionales, es decir, en transmisión en ambos sentidos.

Módem en banda estrecha			
Año	Velocidad	Estándar UIT	Modulación
1940 - 1060	300 b/s-1.2 Kb/s	V.22	----
1968	2.4 Kb/s	V.26	QPSK
1972	4.8 Kb/s	V.27	8-PSK
1976	9.6 Kb/s	V.29	16-QAM
1986	14.4 Kb/s	V.33	64-QAM+TCM
1989	19.2 Kb/s	V.33 bis	64-QAM+TCM
1993	28.8 Kb/s	V. 34	DMT
1996	33.6 Kb/s	(KFlex)	DMT
1998	56 /33 Kb/s	V.90	DMT

El modem V.90 designado como de velocidad digital en 56 Kb/s, en sentido descendente, permite la transmisión ascendente de 33.6 Kb/s, aunque realmente en la práctica por ser de tráfico compartido en ciertos tramos de la red, obtiene velocidades máximas ascendentes de 44 ó 48 Kb/s. El modelo V.92 permite velocidades descendentes /ascendentes en 56 Kb/s y 44.8 Kb/s.

Nuevos requerimientos del mercado de negocios y el advenimiento masivo de Internet, han impulsado la comercialización intensiva de los módem de banda ancha.

Su primera distinción fue solventar la necesidad de una comunicación asimétrica, como lo es Internet, bajar mucha información desde la central y requerir poca capacidad hacia la central. Otros servicio interactivos presentes y programados a un futuro cercano exigían aun más esta particularidad. Por ejemplo, la televisión interactiva o la televisión sobre demanda VoD, las que son fundamentalmente bidireccionales.

## 2. Sistemas xDSL

Si deseamos transmitir datos sobre la línea telefónica analógica de pares trenzados, deberemos utilizar módem. Las velocidades de datos requeridas por Internet nos obliga a disponer para nuestra computadora un módem de velocidad mayor a 56 Kb/s (Fig. 23).

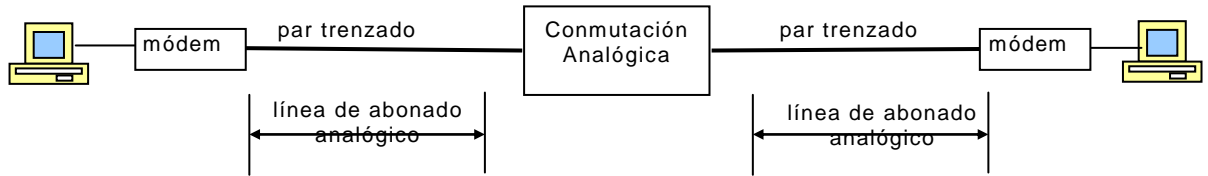


Fig. 23 - Módems en banda vocal

Vimos que a principio de los años 1970, se comenzó a aplicar con gran éxito la multiplexación digital mediante sistemas PCM, incrementando la eficiencia de las redes de enlace entre centrales. De dos pares se lograban aprovechar 24 canales (USA) o 30 canales en el resto del mundo.

A principio de los años 1980 surgieron equipos económicos que permitieron aplicar este sistema a las líneas de abonados. Mediante *unidad-de-servicio-de-canal / unidad-de-servicio-de-datos* CSU /DSU, se obtuvo el bucle de abonado digital, al que se le asignó el nombre de *línea de abonado digital* DSL (Digital Subscriber Line) (Fig. 24).



Fig. 24 - Bucle de abonado digital (DSL)

El pronto éxito obtenido con estos sistemas, radicó en su utilización para satisfacer los pedidos de líneas directas dedicadas de clientes corporativos y disponer de alta calidad de transmisión. Se dio servicio a 24 abonados mediante dos pares desde el domicilio corporativo hasta la oficina central. También se solía entregar un canal T1 (nivel DS-1) de 1.544 Mb/s (realmente 1.536 Mb/s para el abonado) extendiéndose varios kilómetros, cubriéndose hasta 1800 m sin emplear repetidor.

Con estos sistemas y otros de mayor velocidades, se logran alcanzar menores, longitudes del bucle de abonado, las especificamos en la siguiente tabla, referida siempre a pares de calibre 0.50 mm. Estos datos dependen de la calidad de transmisión y de la conservación dada a los cables.

#### ALCANCE CON MODEM DE BANDA VOCAL

Técnica	Velocidad (Mb/s)	Distancia (pies)	Distancia (m)
T1	1.544	6000	1800
E1	2.048	5300	1590
T2	6.312	4000	1200
E2	8.448	3000	900
1/4 STS-1	12.960	1500	450
1/2 STS-1	25.920	1000	300
STS-1	51.840	330	100

El éxito dado a estos servicios propulsaron el desarrollo de la tecnología del HDSL, creándose una familia de equipos xDSL. De entre ellos, con ADSL se puede obtener toda gama de velocidades, llegando hasta 8.1 Mb/s. Para mayores velocidades, se puede emplear el VDSL, que actualmente alcanza hasta más de 50 Mb/s.

La familia xDSL integra los sistemas de línea de abonado digital DSL, compuesta por las siguientes tecnologías:

- HDSL, línea de abonado digital de alta velocidad,
- SDSL, línea de abonado digital simétrico de par único,
- ADSL, línea de abonado digital asimétrica,
- RADSL, línea de abonado digital de velocidad adaptable,
- CDSL, línea de abonado digital del consumidor,
- MDSL, línea de abonado digital de velocidad media,
- IDSL, línea de abonado digital de RDSI,
- VDSL, línea de abonado digital de muy alta velocidad.

#### COMPARACIÓN DE SISTEMAS xDSL

Tipo	Velocidad de datos	Modo	Referencia		
			Clase	Línea	Máx. Long.
HDSL	1.544 Kb/s 2.048 Mb/s	simétrico	HDSL	2 prs	3.6 Km
			HDSL2	1 par	3.6 Km
SDSL	768 Kb/s	simétrico	-	1 par	3 Km
ADSL	1.5 a 8 Mb/s 16 a 640 Kb/s	descendente ascendente	-	1 par	5.4 Km
RADSL	1.5 a 8 Mb/s 16 a 640 Kb/s	descendente ascendente	-	1 par	5 Km
CDSL	hasta 1 Mb/s 16 a 128 Kb/s	descendente ascendente	-	1 par	4 Km
MDSL	272 Kb/s	simétrico			6.7 Km
IDSL	144 Kb/s	simétrico	-	1 par	5.5 Km
VDSL	13 a 55 Mb/s 1.5 a 55 Mb/s	descendente ascendente		en Cobre en FO.	300 m 1300 m

Varias son las ventajas de los sistemas xDSL respecto a otras tecnologías para la red de acceso. Por de pronto no requiere cambio alguno en los equipos de conmutación, para utilizar RDSI, por ejemplo, debe de acoplarse una placa especial en la central.

Otra ventaja es que algunas versiones como ser ADSL, RADSL y VDSL pueden sustentar tanto una PC, como un STB (Set Top Box) para televisión, así como redes LAN del tipo Ethernet. Incluso es válido utilizar una configuración de cableado eléctrico CEBus (Consumer Electronics Bus). Ofrece desde el domicilio del abonado transporte ATM, constituyendo redes de muy alta velocidad. Se puede asociar según el caso a B-ISDN y emplear líneas Ethernet, como TCP/IP.

Por último, xDSL se emplea tanto en redes de cobre para la baja velocidad de Internet de un usuario residencial, como sobre sistemas SDH, con una extensión de fibra óptica, para dar servicio a una corporación o a toda un área barrial.

Para efectuar el análisis de cada una de estas técnicas, hagamos una revisión de la evolución de esta tecnología digital, en su aplicación a la red de acceso. Se debe tener en cuenta que los límites de velocidad y alcance dados, son parámetros de diseño ofrecidos generalmente por los fabricantes, en la práctica se deben efectuar las respectivas pruebas de campo para determinar las reales condiciones de la red y comportamiento sobre ésta de los distintos equipos.

## 2. 1. Sistema HDSL

La historia del desarrollo de la familia xDSL nos manifiesta su pujante y acelerado potencial. Esta tecnología comienza con el sistema denominado línea de abonado digital de alta velocidad HDSL (High bit rate Digital Subscriber Line). Como vimos, el mismo ha sido utilizado, en sus inicios, para proveer mayor cantidad de vínculos entre centrales locales, sustituyeron al método empleado con los sistemas de multiplexación digital PCM.

Su empleo más significativo consiste en establecer líneas directas dedicadas de extremo a extremo, sin el empleo de conmutación. También, HDSL ha permitido vincular con pares de cobre las unidades remotas de abonados URA. Empleando varios sistemas HDSL ya no es necesaria la reconversión de la red a fibra óptica para multiservicios de hasta 7 Mb/s en distancias de 3 Km (o más según el calibre y estado de la línea). La tabla siguiente nos da una idea de la variación de distancia máxima alcanzada, según calibre de conductor utilizado:

ALCANCES MÁXIMOS HDSL PARA 2 Mb/s

Calibre		Distancia Km
AWG	mm	
#26	0.41	2.70
#24	0.51	3.60
#22	0.64	7.93

Emplea la adaptación al estado de las líneas mediante una auto ecualización. También se agregaron canceladores de eco para minimizar las autodiafonías. Si se empleara FDM para eliminar la autodiafonía se requerirán filtros terminales. El empleo del control de errores como el FEC podrá producir latencia, que al sobrepasar los 500  $\mu$ s origina eco en la línea.

Con HDSL, el usuario debe implementar teléfonos digitales o en su defecto para usar los teléfonos analógicos existentes colocar un *adaptador-de-terminal* TA, al igual que se efectúa en la RDSI.

### Requerimientos de la planta en sistemas HDSL

El sistema digital de línea de abonado de alta velocidad HDSL, G.703 de la ITU-T es un sistema de transmisión básicamente de 2 Mb/s, que incorpora avanzada tecnología de transmisión. Un sistema HDSL, consiste en dos equipos HDSL y dos pares de cobre, cada uno transmitiendo a 1.168 Kb/s dúplex, totalizando 2.336 Mb/s. Los equipos HDSL terminales en la central se denominan LTU (Line Termination Units), mientras que en el lado abonado, NTU (Network Termination Units). Mediante el sistema HDSL2, actualmente se permite emplear solo un par.

Los equipos HDSL de USA, cuando se emplean para establecer líneas dedicadas, se utilizan un distribuidor digital DCS (Digital Cross Connect System) y plaquetas como *unidad-terminal-HDSL central* HTU-C, ubicadas en los bastidores de la central. En el otro extremo, se utilizan las *unidad-terminal-HDSL remota* HTU-R, para formar un área de servicio de portadora CSA (Carrier Serving Area) o en los domi-

cilios de los abonados, para dar servicio a los dispositivos del usuario CPE (Customer Premises Equipment) (Fig. 17).

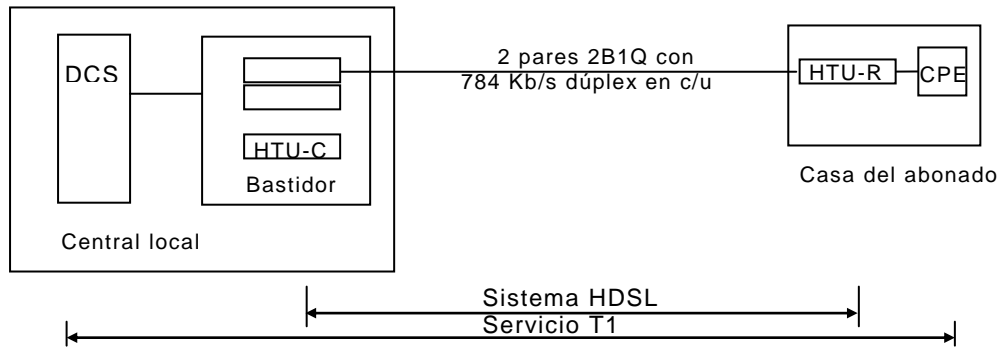


Fig. 17 - Canal T1 mediante sistema HDSL

Cada uno de los dos pares opera a 784 Kb/s en modo dúplex, difiriendo del método tradicional donde cada par transmite los bits en un solo sentido. Los equipos terminales tienen ambas funciones, transmisor y receptor constituyendo un transceptor (transceiver). El sistema HDSL emplea el código de línea cuaternario 2B1Q (dos símbolos binarios son codificados como un símbolo cuaternario). El método de transmisión HDSL, optimizado supera los alcances de los primitivos sistemas PCM (Fig. 18).

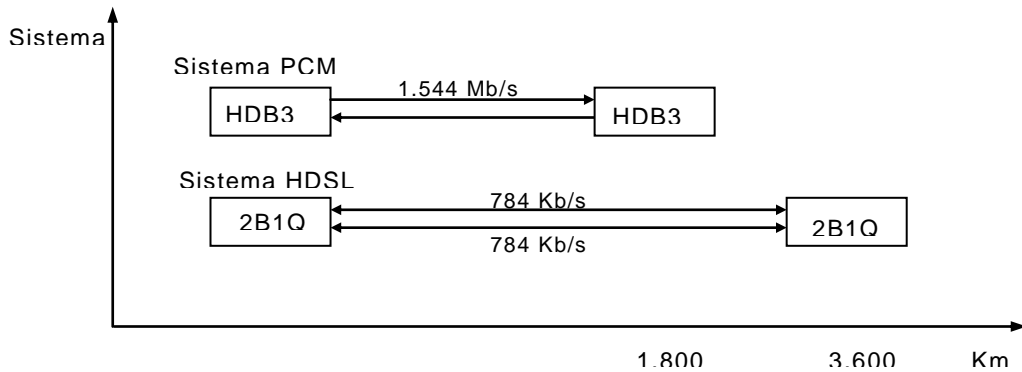


Fig. 18- Comparativo de alcances PCM y HDSL para calibre #24 AWG

Los sistemas HDSL se aplica con mayor éxito para enlaces de centrales locales e interconexión de estas centrales con PBX, proveedores de Internet ISP, entre LAN o para el acceso dedicado a WAN, ahorrando pares de cobre. En este esquema de manejar datos, un acceso integral concentrado en la central telefónica local toma el tráfico Internet, transmitido desde su operador sobre una red Ethernet y lo combina con la conmutación del tráfico vocal sobre la red pública. Esta intervención de la central podrá ser implementada por el operador de servicios básicos telefónicos, de CATV u otro administrador de servicios de valor agregado.

Las características de transmisión hacen que el equipo sea muy restrictivo con respecto a la calidad de los pares que presenten múltiples. En general no hay problema en utilizar líneas con pares multiplados, pero siempre que no se excedan de dos ramales y cada una con longitudes que no excedan 1.525 Km. Los ramales múltiples son mas críticos cuando se localizan cerca del extremo final de los pares, aproximadamente a 250 m y con una longitud también aproximada de 250 m. Los pares utilizados no deben estar pupinizados.

## 2. 2. Sistema SDSL

La tecnología denominada *línea-de-abonado-digital-simétrica* SDSL, permite brindar las mismas utilidades que el sistema HDSL, operando con T1 ó E1, pero concediendo menores alcances. Tiene un alcance máximo de 3 Km. El equipamiento del sistema SDSL es equiva-

lente al HDSL2, requiriendo solo un solo par para el enlace. Existen varios modelos disponibles, de los cuales el más económico tiene una velocidad de 768 Kb/s con interfaz V.35.

Supongamos que queremos crear un área de servicio de portadora CSA, mediante una terminal-remota RT, a varios kilómetros de la central local y un equipo *terminal-de-oficina-central* COT, ubicado en su interior. Con SDSL, se sustentan los RT mediante cuatro T1 (60 Mb/s) y desde allí se derivan canales subsidiarios fracción de T1, por ejemplo, de 784 Kb/s, ó 4 canales de 64 Kb/s, ó 2 canales de 64 Kb/s. De esta forma, con SDSL se permite brindar a los abonados bajo costo, alcance y velocidad de servicio.

#### VELOCIDADES Y ALCANCES SDSL

Velocidad Kb/s	Alcance máximo	
	Km	pies
128	6.71	22 000
256	6.56	21 500
384	4.42	14 500
768	3.97	13 000
1024	3.51	11 500

### 2. 3. Sistema RADSL

Los equipos del sistema de *línea-de-abonado-digital-asimétrico-adaptable* RADSL, son similares a los ADSL, con la diferencia que pueden ajustar su velocidad de acuerdo a la línea sobre la que funcionen. Esto significa que la velocidad de operación puede ser establecida por el usuario o ajustada automáticamente por el equipo, a la máxima velocidad posible de obtener sobre la línea en la que esté funcionando y sus condiciones de transmisión en cada instante.

Los requerimientos de tráfico de los usuarios varían de casa en casa y de momento en momento, lo mismo que las condiciones de transmisión de la línea de acceso, para días lluviosos o de mucho calor, ello llevó a crear el RADSL y luego el ADSL adaptativo. No difiere en cuanto a velocidades y alcances con respecto al sistema ADSL con velocidad adaptable entre 1.5 Mb/s y 8 Mb/s en downstream y entre 16 Kb/s y 640 Kb/s en upstream. Emplea la modulación del tipo Multitonos Discretos DMT (Discrete MultiTone). Ambos sistemas ofrecen amplia aplicación para los servicios de Internet, VoD o accesos a LAN. Como ADSL permite continuar con los servicios de telefonía analógica.

### 2. 4. Sistema CDSL (Little ADSL)

Los equipos línea-de-abonado-digital-del-consumidor CDSL, son similares a los ADSL y RADSL, con la diferencia que no se requiere filtro (splitter) que separe los servicio de datos y de teléfono en la casa del abonado. En la central local no obstante se demanda aún un filtro, el que separe al tráfico de datos del de voz, hacia los conmutadores. Algunos fabricantes denominaron a este sistema Little ADSL pues dispone de solo hasta 1 Mb/s de velocidad. Al limitar la velocidad en línea, permite restringir la carga de tráfico sobre ella, además, tiene un costo menor al usuario. Permite aun sin filtro, las comunicaciones simultáneas de telefonía y de datos, como ser Internet.

### 2. 5. Sistema MDSL

El universo de xDSL se ha expandido al fundirse el HDSL y ADSL y obtener la línea de abonado digital de velocidad media MDSL (Medium bit rate Digital Subscriber Line). Estos tienen una velocidad de 1 Mb/s en ambos sentidos sobre un simple par, pero con un alcance

limitado. Puede operar a 384 Kb/s ó a 272 Kb/s alcanzando de 6 a 6.7 Km. La rapidez de adaptación del MDSL hará mantener la oferta del cobre, a las velocidades demandadas por los nuevos sistemas.

## 2. 6. Sistema IDSL

El principal problema de ISDN, no es el límite de velocidad BRI ó PRI, sino que opera a través del conmutador de voz de la central local, con la consiguiente congestión de los equipos debido sobretodo al tráfico generado por los servicios de Internet. El mayor beneficio de IDSL se obtiene al permitir desviar el tráfico ISDN BRI, del conmutador de circuitos cuando se usa para un acceso ISP de Internet, aliviando la congestión del conmutador

La línea de abonado digital IDSL es ISDN + DSL. El sistema IDSL soporta inherentemente una línea DSL y una estructura ISDN de acceso básico con 2B+D que opera a 128 Kb/s en ambos sentidos de transmisión. El canal D del BRI en ese caso de IDSL, no se usa para la señalización de voz. También se confecciona un sistema tipo tunelado empleando ambos canales B más el D totalizando 144 Kb/s. Esta línea simétrica sobre un par, tiene un alcance máximo de 5.5 Km

Mediante RDSI con DSL se posibilitó ofrecer el servicio-de-datos-digital DDS, constituyendo líneas dedicadas. La línea al estar organizada en canales BRI de 144 Kb/s, el cliente puede adquirir cualquier equipo TE compatible con ISDN. Otra ventaja importante de IDSL es no requerirse las placas ISDN en la central.

## 2. 7. Sistema VDSL

Los sistemas de línea-de-abonado-digital-de-muy-alta-velocidad VDSL, operan con velocidades superiores al sistema ADSL, pero con alcances menores. El hecho del menor alcance de distancia, permite simplificar los circuitos de los módems utilizados y aumentar sus velocidades.

Esta tecnología es considerada asimétrica, aunque cuando se demanda puede tomar una configuración simétrica. Las altas velocidad se alcanza en tramos cortos o implementando portadora-de-bucle-digital DLC. En este caso se acerca al abonado con fibra óptica, hasta un área-de-servicio-de-portadora CSA y continúa en ella con una red de conductores metálicos. Estas configuraciones CSA se han incrementado en USA en los últimos 15 años. Se han dictado normas limitando los bucles a 3.6 Km con pares de calibre AWG #22 ó #24 y 2.7 Km con calibre AWG #26 y la prohibición de bobinas de carga. Las líneas con pares en múltiple, son limitadas a 762 m y con ramales que no superen los 600 m. Estas CSA podrán estar servidas mediante SONET /SDH y ATM (Fig. ).

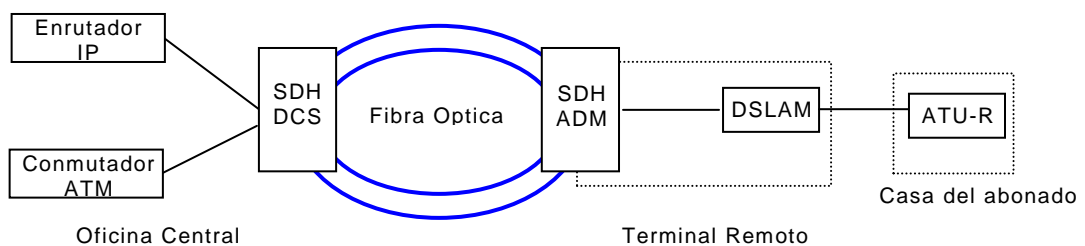


Fig. - xDSL y SONET /SDH

Se combinan velocidades de 13 Mb/s a 52 Mb/s en downstream y de 1.5 a 26 Mb/s en upstream. Se han definido las distancias máximas que se pueden alcanzar con VDSL:

### CARACTERÍSTICAS DE LOS SISTEMAS VDSL

Velocidad descendente (Mb/s)	Velocidad ascendente (Mb/s)	Distancia máxima (m)
12.96 - 13.80	1.5 - 13.80	1300
25.92 - 27.60	1.5 - 27.60	900



51.84 - 55.20	1.5 - 55.20*	300
---------------	--------------	-----

\*no simultáneo

Si se requiere canales upstream de alta velocidad juntamente con canales downstream se necesitará utilizar técnicas de cancelación de eco. Una versión del VDSL se ha materializado con un nuevo juego de chips y módems. El módem suministra tres canales: de voz, datos con tráfico descendente de 160 Kb/s a 7 Mb/s y ascendente a 640 Kb/s. El diseño tiene separado los puertos para datos y video, con tramas de video que soportan las compresiones MPEG-1 y MPEG-2. Con estas características mas su simplicidad, permitirán que esta tecnología sea de alta aplicación a la hora de implementar accesos en redes públicas ATM.

Se podrá esquematizar el sistema similar al empleado en áreas de distribución con líneas de cobre y enlace de fibra óptica a una terminal-remota RT, desde una terminal-de-oficina-central COT. En este caso se tiene la topología óptica de fibra-al-barrio FTTN. En el mismo, se emplea la tecnología VDSL para transportar vídeo y datos (asimétricos) en celdas ATM. También se adapta al protocolo IP y a combinaciones con redes SONET /SDH. Mediante ATM ó IP se podrá disponer todo tipo de tráfico de voz, audio, datos o video (Fig. 31).

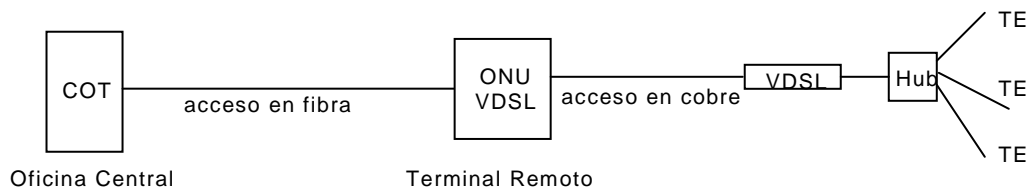


Fig. - Arquitectura VDSL

La distribución a cada casa de abonado y a cada dispositivo conectado al sistema, se podrá realizar con técnicas TDM para el sentido downstream, mientras que en sentido upstream se emplea generalmente acceso múltiple TDMA. También se podrá utilizar algún método de acceso múltiple con paso de testigo (token passing), o simplemente dividir los canales mediante técnicas FDM. Al igual que con ADSL se podrán aplicar el acceso en Ethernet, ATM o directamente TCP/IP.

Para este esquema se utiliza electrónica activa en la central-local CO y en el terminal-remoto RT, una unidad-de-red-óptica ONU, donde se dispone la conversión electroóptica de las señales. En este sistema se requiere el uso de filtros separadores (splitter) de los servicios de datos y de telefonía, en la central y casa del abonado. Los equipos-terminales TE de abonado, podrán implicar tanto una PC, una LAN, electrodomésticos o terminales de video-digital-conmutado SDV.

Las aplicaciones de sistemas VDSL son las mismas que las provistas por los sistemas ADSL, adicionando la posibilidad de servicios de televisión de alta definición. Deutsche Telekom ha sido la primera operadora en Europa en emplear el equipamiento VDSL, brindando velocidades de hasta 26 Mb/s en cada sentido, en longitudes de línea reducidas.

También se ha publicado el desarrollo de un chip VDSL para 52 Mb/s en dirección descendente y 2 Mb/s ascendente. En este caso se considera a esta tecnología apropiada para las redes Deutsche Telekom, ya que las distancias que manejan desde la central hasta los usuarios son en un 90% inferior a los 500 metros.

En USA ocurre un equivalente, pues al implementarse múltiples enlaces DLC a numerosas áreas CSA, cada una con un pequeño conmutador local y distanciadas pocos kilómetros una de otra, da como resultado bucles de cómo máximo 1300 m.

### 3. Sistema ADSL

La empresa Orckitm ubicada en Tel Aviv, Israel, en el año 1989, comenzó el desarrollo de la técnica ADSL. En USA el concepto ADSL fue propuesto por investigadores de los Laboratorios AT&T Bell y de la Universidad de Stándford, a principios de 1990.

El instituto de normalización ANSI de USA, en el año 1995, lo describe para la Capa Física como T1.413. por otra parte el ITU-T cuenta con la recomendación G.992.1. La disimilitud entre ambas solo radica en la sustentación al modelo de red artificial básica. Ambos conjuntos de modelos representan líneas multipladas en deferentes calibres y longitudes y pares puente. El modelo ITU cuenta con 6 modelo de redes de acceso y el modelo ANSI con 15 redes tipo.

El sistema *línea-de-abonado-digital-asimétrico* ADSL (Asymmetric Digital Subscriber Line), se denomina asimétrico pues la mayor cantidad de información digital, de 8 Mb/s, se envía en el sentido descendente hacia el cliente (downstream), mientras que en el sentido inverso hacia la central (upstream), es mucho menor, de 1/2 Mb/s. Una ventaja adicional lo representa disponer de un tercer canal analógico bidireccional, para el servicio de telefonía básica POTS. Así, el servicio telefónico queda siempre disponible por el cable de cobre, aún si se interrumpe el sistema ADSL. Esta cualidad agrega beneficios respecto al sistema HDSL, pues en este caso no se debe implementar un adaptador de terminal TA. Las nuevas versiones ADSL2 y ADSL3, emplea compresión MPEG-2.

El sistema digital asimétrico, por sus características, aporta beneficios de transmisión en su aplicación a servicios asimétricos, en especial a los sistemas iterativos, como lo es Internet.

Esta técnica divide el canal de transmisión en 256 bandas de 4 KHz. Como la atenuación en una línea es función directa del acoplamiento capacitivo distribuido que se produce entre conductores, la que se incrementa por las longitudes de los cables y por el valor de la frecuencia a emplear. El mayor inconveniente, es usar una gama tan amplia de frecuencia con un comportamiento no lineal del bucle de abonado, la atenuación será mayor a 1100 KHz que a 30 KHz. Los significativos efectos perjudiciales producidos para estas mayores frecuencia son minimizados en la presencia de tan ancho de banda, por el establecimiento de la partición de canales y el proceso de prorrateo de la potencia transmitida.

La velocidad de acceso es alta comparada a la de otros sistemas, este sistema permite transmitir desde 2 á 8 Mb/s (con un máximo de 8.192 Mb/s) en sentido hacia el abonado y en el sentido inverso de 16 Kb/s hasta 640 Kb/s, sobre la red de acceso de pares existente.

Es cierto que los pares de cobre trenzados, limita la distancia de operación del sistema ADSL, para velocidades de 8 Mb/s, en aproximadamente 3 Km, en el calibre #24 AWG (0.50 mm), y para redes con buen estado de mantenimiento. Pero la mayoría de los abonados, mas del 50%, se encuentra dentro de esta distancia. Para distancias de 6 Km la capacidad descendente es de 1 á 1.5 Mb/s y la ascendente de 64 á 80 Kb/s.

#### VELOCIDADES Y ALCANCES EN ADSL

Velocidad descendente	#24 AWG	#26 AWG
1.455 Mb/s (T1)	5.4 Km	4.5 Km
2.048 Mb/s (E1)	4.8 Km	3.6 Km
4.632 Mb/s (3xT1)	4.2 Km	3.6 Km

6.312 Mb/s (T2)	3.6 Km	2.7 Km
8.192 Mb/s (límite superior)	3 Km	2.1 Km

### 3. 1. Servicios del ADSL

Generalmente los módem ADSL son externos y se conectan al computador a través de una interfaz 10/100 Ethernet ó ATM de 25 Mb/s. La capacidad total de 8.1 Mb/s se puede operar para utilizando servicios como:

- 1 canal para telefonía analógica independientemente del sistema digital.
- 4 canales de TV de 1.5 Mb/s c/u, en dirección downstream, con calidad VCR.
- 1 canal ISDN-H<sub>0</sub> de 384 Kb/s, bidireccional, para videoconferencias.
- 1 canal ISDN de Acceso Básico de 160 Kb/s, bidireccional.
- 1 canal bidireccional para señalización y control de 64 Kb/s, para operar una videocasetera (VCR) virtual de *video-sobre-demanda* VoD como TV interactiva, u operar otro servicio interactivo.

También, en vez de recepcionar cuatro canales de 1.5 Mb/s, se podrá seleccionar un solo canal de alta definición que emplea 3 Mb/s.

### 3. 2. Modulaciones en la ADSL

Los métodos de modulación nos permite adaptar la información a un medio. Ciertas cualidades podrán ser tomadas del tipo de modulación, por ejemplo facilitar la radiación en radioenlaces, asignación de frecuencias, multiplexación, superar limitaciones del medio, etc. Es el caso de las señales emitidas por un computador a ser transportada en forma más apta por un par de cobre. Tal proceso es realizado por un modem. El módem ADSL emplea la modulación QAM en conjunción a la modulación DSL.

### 4. Modulación de amplitud en cuadratura, QAM

La *modulación-de-amplitud-en-cuadratura* QAM, consiste en la modulación multinivel de amplitud, de dos portadoras en cuadratura en forma independiente, describiendo una constelación de círculos. En este sistema de modulación, se combinan las variaciones de amplitud y fase. Se obtiene gran densidad de modulación, por ejemplo en el caso de 14 bit por muestra.

Como resultado de tomar las variaciones de dos parámetros independientes, consecuentemente estas modulaciones emplearán códigos bidimensionales. Estos esquemas de constelaciones, se entienden como el conjunto de puntos formados por las distintas posiciones posibles y su combinación digital respectiva.

En el caso de transmitir a 3 bit /Baud y se describe un patrón de constelación de 8 puntos, resultado de 8 combinaciones de amplitud y fase. Dos niveles de amplitud y defasajes a 0°, 90°, 180° y 270° (Fig. 11a). Otro esquema de constelación se describe transmitiendo 3 bit /Baud (Fig. 11b).

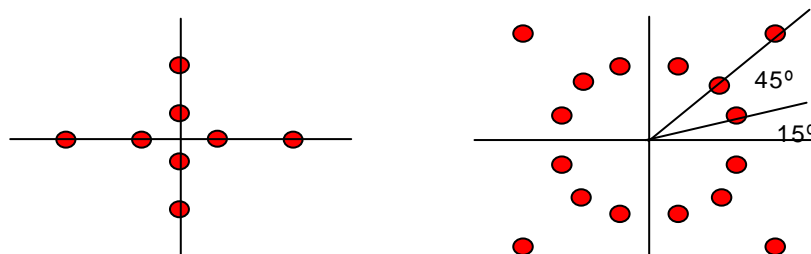


Fig. 11a - OAM de 3 bits/Baud.....Fig. 11b - OAM de 4 bit/Baud

La ecuación de la señal QAM se puede escribir como:

$$s_i(t) = a_i \cos \omega_c t + b_i \sin \omega_c t$$

Donde:

$$s_i(t) = A \cos(\omega_c t + x(t)) \sin(\omega_c t) \Delta\phi/2$$

Los factores  $a_i$  y  $b_i$  toman en forma independiente valores discretos previstos según un número de niveles establecidos. Entonces, se obtiene esquema donde cada canal en cuadratura puede tomar distintos niveles. Por ejemplo cuatro niveles distintos, resultando el sistema denominado como 16 QAM (Fig. 12a). Con otros parámetros se definirán otros esquemas más complejos, por ejemplo de 64 QAM (Fig. 12b).

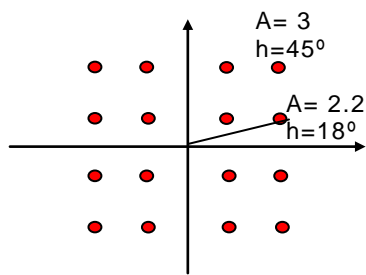


Fig. 12a - Patrón 16 de QAM

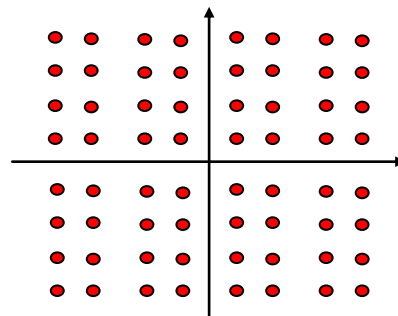


Fig. 12b - Patrón 64 de QAM

Las constelaciones multinivel, al crecer requieren mayores anchos de banda, asimismo disponen de menor tasa de error e introducen mejores valores de la relación señal a ruido S/N. Sin embargo, se hacen más sensibles a las variaciones de los parámetros de línea.

#### PATRÓN DE CONSTELACIÓN vs. RELACIÓN S/R

Nº de bit / muestra (r)	Constelación ( $2^r$ -QAM)	S/N (dB) para $10^{-7} \geq \text{BER}$
4	16-QAM	21.8
6	64-QAM	27.8
8	256-QAM	33.8
9	512-QAM	36.8
10	1024-QAM	39.9
12	4096-QAM	45.9
14	16284-QAM	51.9

Cada estándar de módem tiene su propio patrón de constelación. Por ejemplo el modelo ITU V.32 para módem de 9.6 Kb/s emplea la transmisión de 4 bit /Baud a 2400 Baud y resulta el patrón de 16 combinaciones, representado en la figura anterior. Se debe optar por el código de línea que satisfaga la longitud requerida y solvete la *calidad-de-servicio* QoS, estipulada para el mismo.

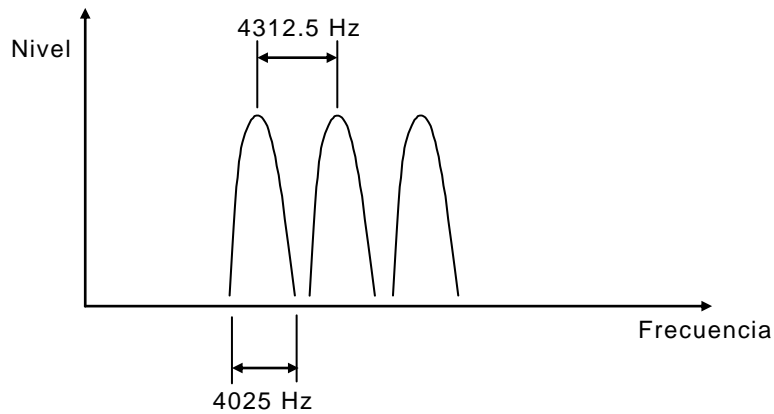
### 5. Modulación por multitonos discretos DMT

Rigurosas investigaciones fueron realizadas por los laboratorios Bellcore, Nynex, de GTE y British Telecom, formado a fin de estudiar la *tecnología-de-múltiples-*

*portadoras-discretas* DMT. Mediante simuladores computarizados y pruebas de prototipos, demostraron que el modelo DMT ofrece las mejores prestaciones. Integrado como grupo de tarea T1E1.4 de ANSI, decidió anexas su definición a la norma DMT, en marzo de 1993, en La Florida, EE.UU.

Se utiliza la técnica DMT para dividir el rango de frecuencia en tal alta cantidad de canales estrechos y manejar cada canal de forma independiente. En su aplicación, la modulación QAM se realiza sobre una banda previamente canalizada por DMT, en 256 canales. Los módem ADSL comunican entre sí por estos canales y reparten el tráfico por todos ellos en forma equilibrada. La modulación DMT para dividir el espectro de frecuencia en 256 canales, emplea 256 portadoras distintas. Mediante QAM se inyecta la señal en cada canal, con una codificación particular, acorde a la condición de transmisión.

La canalización se realizará a un ancho de banda similar al empleado en sistemas analógicos para obtener una mayor adaptabilidad a los sistemas existentes. Cada uno de estos canales tiene un ancho de banda de 4025 Hz, con una separación entre canales de 4312.5 Hz, con lo que se obtiene un ancho real de 4025 Hz, lo que permite una mejor adaptabilidad e inmunidad en la línea (Fig. 1).



Canalización digital ADSL

Se establece, inalterable la banda de 0 á 4 KHz para el canal telefónico analógico, más una banda de 24 á 136 KHz para 20 canales digitales ascendente y de 160 á 1104 KHz para 219 canales descendentes. Según los modelos de los distintos fabricantes la distribución entre la cantidad de canales ascendentes, descendentes y muertos entre bandas podrá sufrir alguna variación (Fig. 1).

256 portadoras separadas 4312.5 Hz

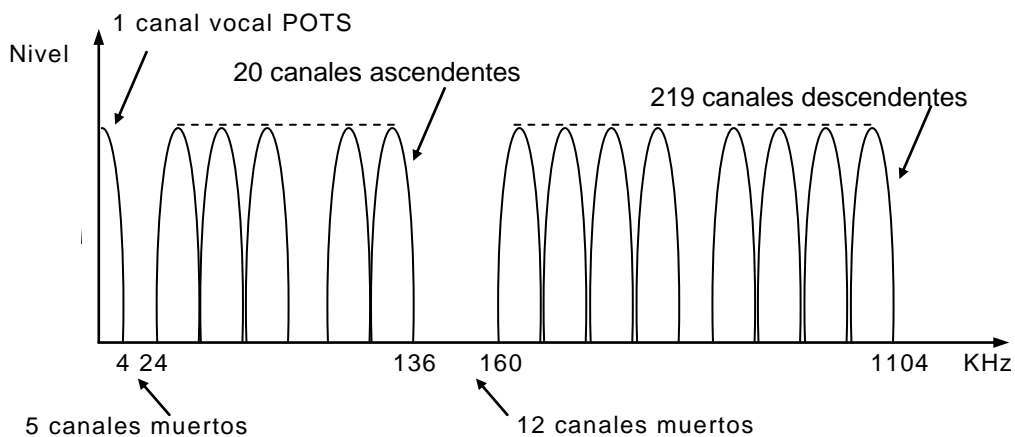


Fig. 1 - Modulación DMT con 256 canales

Cabe discutir porque se ha adoptado esta distribución de banda menor para los canales ascendentes y banda mayor para los descendentes y no en una ubicación permutada.

Ello se debe a que al se la banda descendente de mayor capacidad en ancho de banda, casi de 8 Mb/s y la inferior mucho menor a 1 Mb/s, en esta disposición las perturbaciones afectarían menos y la mala calidad de la red tendría menor influencia a los ruidos externos. Asimismo, su equipamiento se puede comenzar por los canales en la parte inferior de cada banda, ello permite una mejor calidad de servicio (QoS), debido a las mejores cualidades de los cables en red con respecto a las frecuencias altas, atenuaciones más bajas y menores ruidos interferentes.

La finalidad de mantener un canal de voz analógico en forma inalterable, se debe a que de esta forma no es necesario cambiar la gran cantidad de aparatos telefónicos existentes y asimismo emplear los equipos de conmutación de esta red telefónica. Por medio de un filtro pasabajo en el domicilio del abonado se filtra las frecuencias mayores, las que portarán los datos para los sistemas digitales.

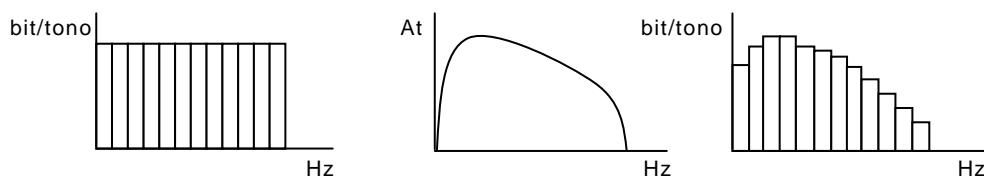
El propósito de emplear canales de 4 KHz, con 256 portadoras, radica en aprovechar los equipos normales de multiplexación telefónica y toda la tecnología digital de 64 Kb/s. Tal disposición favorecerá a los equipos ADSL adaptativos a RDSI.

### Ajuste automático de la DMT

Podemos considerar un módem ADSL como una gran batería de módems convencionales puestos en paralelo sobre líneas físicas diferentes. El echo de utilizar canales estrechos asegura un comportamiento lineal en cuanto a atenuaciones y distorsiones dentro de cada canal y permite a los módem ADSL ajustar la transmisión dentro de cada canal a sus características específicas. Por ejemplo, si detecta que un determinado canal tiene mas ruido que el resto o si acusa una interferencia en esa gama de frecuencias, transmitirá por él con menor velocidad, o incluso puede llegar a anularlo.

Debido a la gran cantidad de tareas, que han de desempeñar los módems ADSL, se requiere procesadores muy potentes. La adaptación del modem a las características y condiciones de la línea lo efectúa, luego de un chequeo interno con la medición de los valores de una curva de atenuación y las condiciones de S/N, de la línea. Con ambos datos adapta el módem a los estados temporales de la línea, compensando o minimizando sus efectos adversos (Fig. 2).

Trama de bits de entrada      Ganancia típica del bucle      Trama de bits de salida



Trama de bits de entrada      Ganancia real de un bucle      Trama de bits de salida

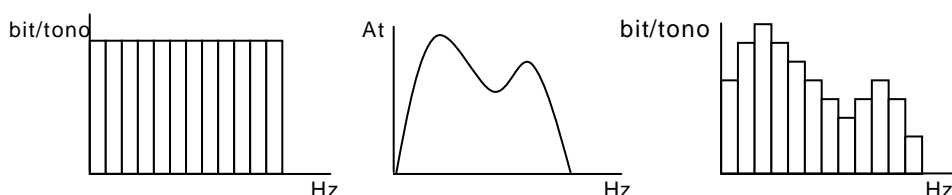


Fig. 2 - Ajuste automático de la DMT según estado del bucle

La altura de cada trama nos indica la carga en cantidad de bits. Para conocer la velocidad que está poseyendo cada canal, se debe multiplicar la cantidad de los bit empleados en el mismo por 4000, obteniendo la velocidad en bit/seg.

Modular con un valor de 4000, parte del efecto de interferencia entre símbolos, si este valor disminuye habrá distorsión en la recepción. La velocidad total de transmisión será la suma las velocidades de cada canal.

## 6. Cancelador de eco vs. FDM

Vimos algunas consideraciones que diferencian a los ISDN de los xDSL. Otra diferenciación importante se refiere a la disposición de los canales en su sentido de transmisión bidireccional. Mientras que ISDN emplea fundamentalmente los equipos canceladores de eco, ADSL en particular tiene una conformación de canales en modulación de frecuencia FDM, es decir, separando los canales en dos bandas cada una para un sentido de transmisión, ubicando cada banda en diferentes gamas de frecuencias.

Para ISDN el esquema de bandas de frecuencias en sentido ascendente y descendente, las muestra superpuestas para ambos sentidos de transmisión. El transmisor y el receptor operan en bandas iguales de frecuencias. En servicio estas frecuencias se las separa mediante el cancelador de eco.

Los fabricantes de equipos, acostumbrados al uso del cancelador de eco para los servicio de RDSI y HDSL, propiciaban su utilización en ADSL. Sin embargo, las pruebas efectuadas empleando la *modulación-por-división-de-frecuencias* FDM, resolvió esta cuestión.

El cancelador de eco opera inyectando una muestra de la señal transmitida en el receptor, para un intervalo de tiempo dado. Este receptor cuando recibe la onda del transmisor remoto elimina las señales correspondientes a esa muestra. El cancelador de eco trabaja comparando entre la señal emitida y la recibida, en un intervalo de tiempo prefijado. Si la señal recibida no es suprimida por el cancelador se genera una señal de ruido. Las desadaptaciones de la línea, fundamentalmente variables debido a los parámetros que la afectan, hacen que este sistema complique o malogre su principio de funcionamiento. Se podrá degradar la transmisión e incluso hacer caer la misma interrumpiendo el servicio.

El principal problema se crea al tener en la central un alto número de transeptores. La diafonía entre sistemas es el principal factor de error ya que un receptor desprecia por comparación la señal emitida por su transmisor, pero ignora las muestras de otros transmisores de ese mismo extremo de la línea. A gran escala se requeriría implementar muchos filtros para actuar con los canceladores de eco, y cada uno de alto costo (Fig. 47).

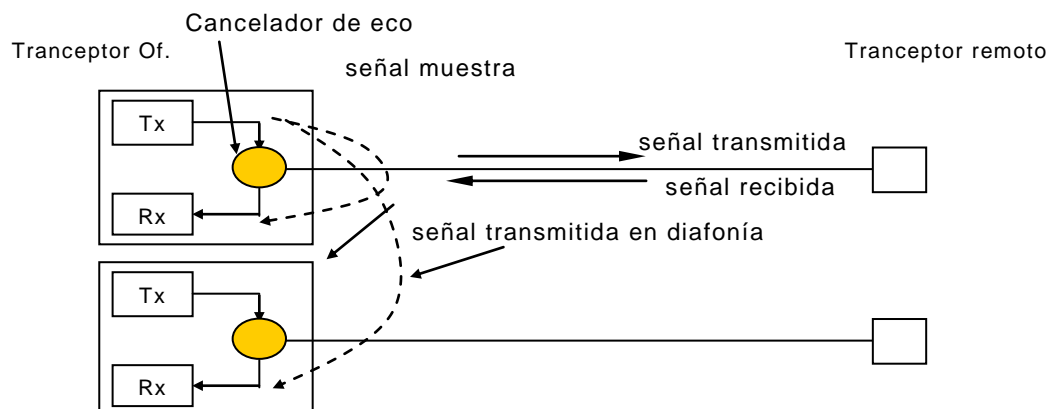


Fig. 47 - Operación y diafonía en el cancelador de eco

En tal situación el ITU recomendó para los sistemas ADSL el método de multiplexión por división de frecuencias FDM.

Transmiten canales en una banda descendente de altas velocidades y en canales ascendentes en una banda de velocidades más lentas. De esta forma se transmiten ambas bandas simultáneamente, sin que se produzcan interferencias entre ellas y al canal telefónico de frecuencia vocal. En su caso, se pueden emplear filtros pasabajo y/o pasa altos.

## **7. Corrección de errores**

La presencia de ruidos en las líneas de pares trenzados, originados en perturbaciones internas y/o externas, sobremanera del ruido impulsivo de origen aleatorio, hace necesario implementar mecanismos que confieran al tranceptor ADSL la robustez necesaria para brindar una calidad de servicio adecuado. Para ello, debe de cumplir una tasa de error admisible.

Los códigos de corrección-de errores-avanzado FEC, cumplen este requisito. El código FEC-RS (FEC-Reed Slomon) ha sido declarado de uso obligatorio por el instituto de normalización ANSI.

La capacidad del FEC-RS para la corrección de errores viene determinada por la adición de códigos redundantes. Este método consiste en intercalar palabras de datos en código RS. De esta manera se potencia la capacidad de corrección en un factor proporcional al nivel de intercalado, pero a costa de agenciar un retardo extra.

Es de hacer notar, que algunos servicio proveen sus propios códigos de corrección contra errores de transmisión. Por ejemplo, el esquema de compresión MPEG2, del servicio de video sobre demanda, incluye su propio cancelación de errores.

### Código Reed Solomon

El código Reed Solomon para la corrección de errores trabaja bajo el vector de síntoma igual al vector magnitud cero, para definir la ausencia de errores.

Si este vector es distinto de cero, al vector recibido se le agrega un patrón de errores para corregir los errores de transmisión. El patrón de errores es n dimensional. El receptor selecciona un patrón de errores que tenga el mismo síndrome de error que el vector recibido. Como varios patrones de error pueden dar como resultado el mismo resultado de error, es posible que la parte receptora seleccione un patrón incorrecto. Cuanto mayor sea la distancia entre palabras de código menor, será la probabilidad de seleccionar un patrón incorrecto.

El código Reed Solomon proporciona a través de la implementación mejorada de la paridad y la utilización de matrices complejas obtener una muy buena relación relleno /corrección. El agregado de 16 bit al mensaje y la implementación de paridad permite obtener la detección y corrección de hasta 8 Byte errados.

El entremezclado del mensaje anterior a la transmisión y su reordenamiento posterior a la recepción, logra el mayor distanciamiento posible entre errores originados y un mejor rendimiento del Reed Solomón. El receptor debe conocer el patrón de redistribución de bit para poder reagrupar el flujo de símbolos antes de comenzar la codificación. El espacio necesario depende de la duración de la ráfaga.

### Entrelazado

El entrelazado de un mensaje, se refiere al entremezclado previo del mismo antes de su emisión y al reordenamiento posterior en su recepción. Ello se efectúa para



lograr el mayor distanciamiento posible entre errores originados durante la transmisión y conseguir el mayor rendimiento de la corrección Reed Solomón. Para ello el intercalador reparte los símbolos de código sobre un intervalo de longitudes fijas (Fig. 55).

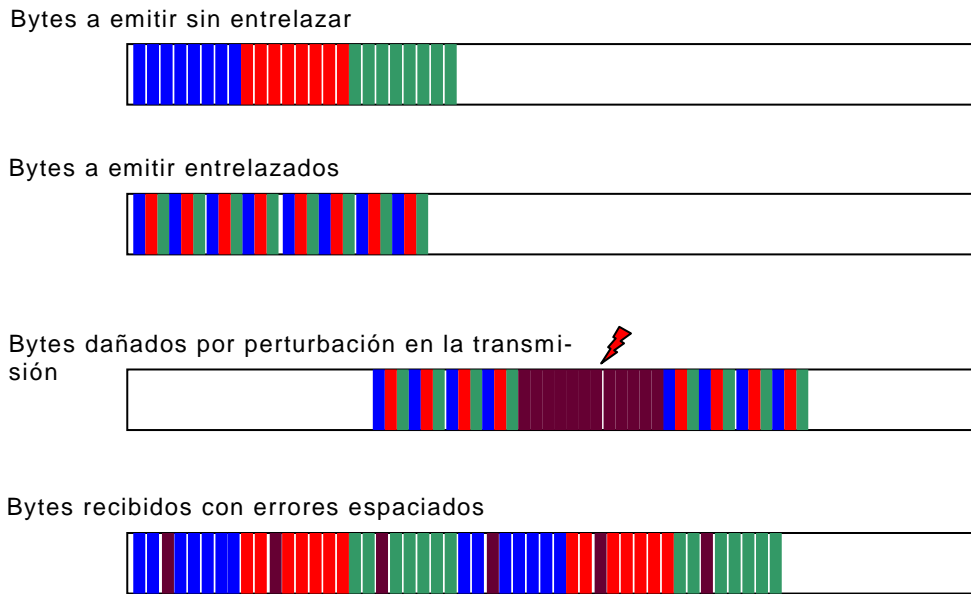


Fig. 55 - Proceso de entrelazado

El espacio asignado al entrelazado depende de la duración de la trama a emitir. El receptor debe conocer este patrón de entrelazado para poder reagrupar el flujo de símbolos antes de comenzar la codificación.

## 9. Estructura general de un sistema ADSL

Para adecuar la actual red de acceso analógica a un sistema digital, se debe estructurar un equipamiento específico. También la red troncal, aunque ya conformado sobre la base de una plataforma ATM, debe sufrir adaptación en particular.

En su análisis, partiremos desde la casa del cliente, donde se instala un modem ADSL (Cisco 677) esclavo, llamado *unidad-terminal-ADSL Remota* ATU-R. Ésta podrá servir a una PC residencial o varias conectadas en red a través de un Hub. Un divisor (splitter) podrá dar servicio hasta tres teléfonos analógicos.

En la central telefónica del abonado, pasando primero por un filtro pasabajo similar al ubicado en el domicilio del cliente, para encaminar las comunicaciones telefónicas al MDF y el conmutador de la central, se instala un modem denominado *unidad-terminal-ADSL Central* (ATU-C), en función maestro. Este modem, compone un grupo de equipos, en un bastidor al que se le denomina DSLAM. El DSLAM tiene capacidad para conectar hasta 240 módem, (Cisco modelo 6260) y concentra las comunicaciones a en un múltiplexor de acceso, que encamina la transmisión digital a la red troncal ATM (Fig. 22).

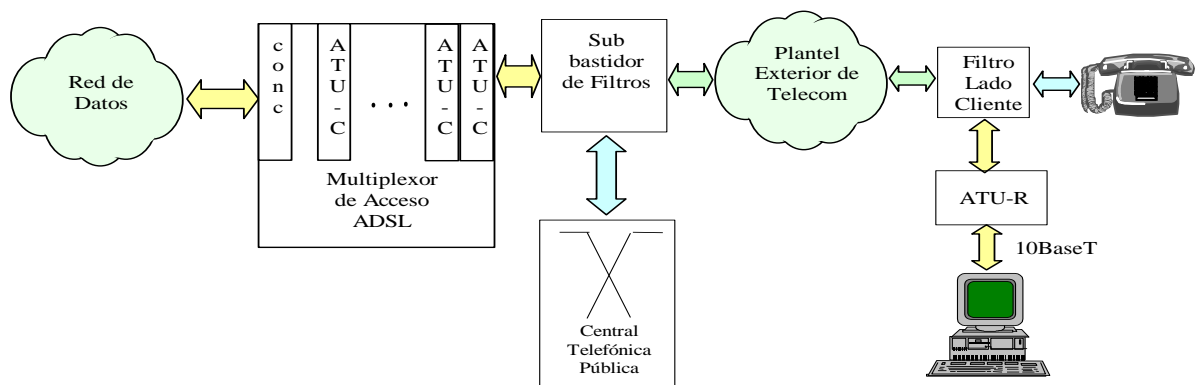


Fig. 22 - Red de acceso digitalizada ADSL

Desde allí y agrupando varios DSLAM se constituyen las interfaces a una concentración que sirve de borde a la nube ATM. El conjunto podrá comprender una o varias centrales y podrá estar constituido con hasta 4 DSLAM y estarán asociados en topología de árbol binario. En los distintos tramos según lo amerite el tráfico requerido se utilizan velocidades en E1, 4 x E1, E3, STM-1 ó llegado el caso de alto tráfico STM-4 (Fig. 23).

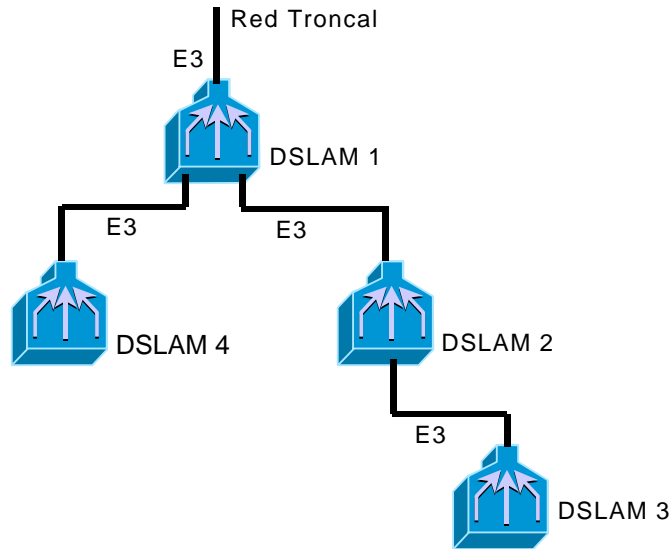


Fig. 23 - Concentración de DSLAM en tipo árbol digital

En general se asigna al conjunto de 4 DSLAM la velocidad E3, en consecuencia, por cada E3 se tiene un nodo constituido por un máximo de 960 ports (240 x 4). Teniendo en cuenta que E3 tiene 34 Mb/s, resultará que por cada port le corresponde 35 Kb/s. Si se comercializan dos productos, uno como Acceso Rápido (AR) con 256/128 Kb/s y otro como Acceso Rápido Plus (ARP) con 512/128 Kb/s, de valor máximos, podremos corresponderle, según el equipamiento establecido antes, al AR una velocidad promedio de 22 Kb/s y al ARP de 40 Kb/s.

En el otro extremo, ya saliendo de la nube ATM, se instala un agregador de servicio, que denominamos *servidor-de-acceso-al-troncal* BAS, desde donde se selecciona el camino a tomar por la transmisión de datos, según el servicio elegido por el cliente. Podrá optarse por continuar en la red del operador local o ser derivado a un ISP. El *proveedor-de-servicio-Internet* ISP podrá ser particular o propiedad del mismo operador de la red telefónica.

La vinculación al servidor de acceso BAS, se realiza mediante un *camino-virtual* VP, dentro del cual se establecerán los distintos *circuitos-virtuales* VC, que corresponden a cada módem. La nube ATM, en su corazón central está sustentada por una red óptica SONET /SDH. Mientras que las derivaciones a los proveedores de servicio, en su caso ISP, están cubiertas por una red TCP/IP, ante la falta de equipamiento ATM de estos suministradores de servicios (Fig. 24).

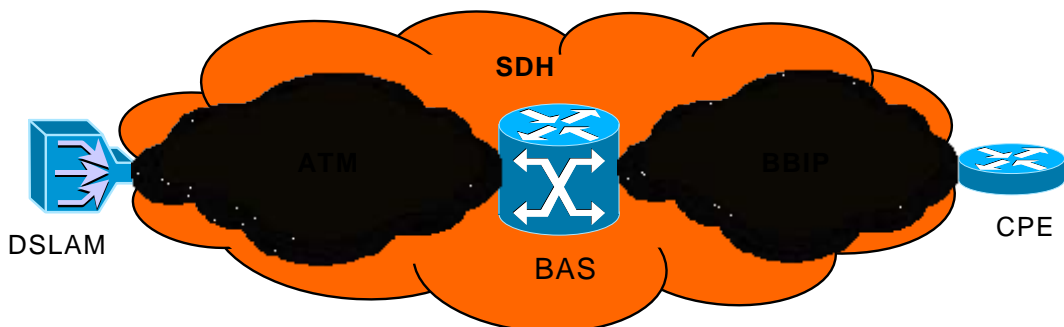


Fig. 24 - Red troncal ATM / IP

La planificación de implementación de los sistemas ADSL se basa en el estudio de las tasas de tráfico y de una matriz de tráfico a confeccionar. La red de ATM permitirá el flujo de tráfico tanto en sistemas TDM, Frame Relay y ATM, aunque solo en la tecnología ATM convergen las tres clases de tráfico indicadas. Estos tráficos se transportarán en circuitos con calidad de servicio diferenciada.

## 10. Arquitectura de la red troncal

La arquitectura de la red se apoya en un modelo de capas, constituido por una troncal central (backbone), en red malla, alrededor del cual se despliega una topología tipo árbol jerárquico, donde los nodos de capas más cercanas al centro (core) de la red concentran el tráfico de los niveles más alejados. (Fig. 25).

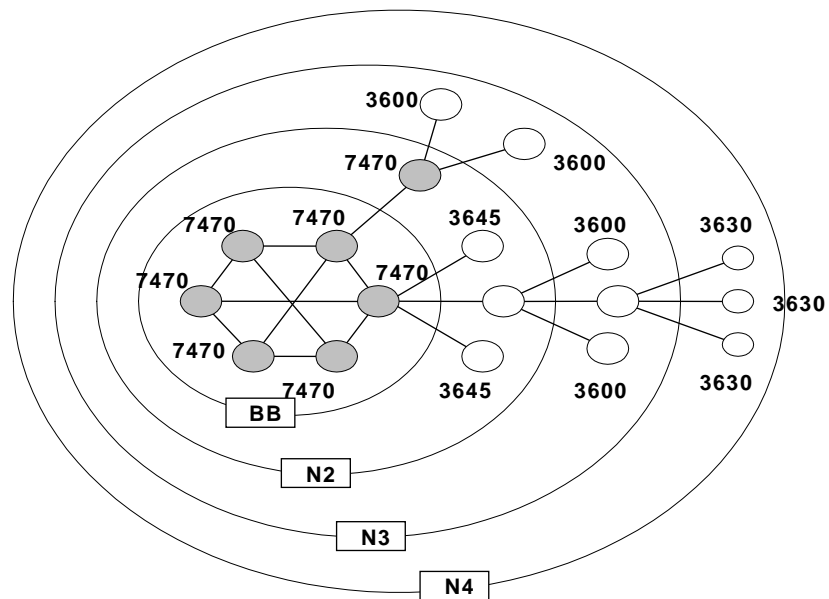


Fig. 25 - Red jerárquica troncal

En la figura se indicaron modelos de equipos Alcatel. Se clasifican en grupos TDM, FR y ATM. Los TDM contienen a los modelos 3645, 3600 y 3630, mientras que los equipos FR y ATM al modelo 7470. Las rutas y los enlaces, unen nodos en velocidades de tipo específico según sistema empleado:

- TDM para voz o para datos en E1
- FR en E1
- ATM en E3 y STM-1 tanto óptico como eléctrico.

El modelo conforma una estructura jerárquica en donde típicamente los niveles más cercanos al backbone incluyen los nodos más importantes con relación al parque total de clientes conectados a la red.

El estudio de tráfico se mide en requerimientos de ancho de banda, para ello, se evalúa los recursos disponibles a fin de la confección de la planificación final. Una matriz permite conocer el volumen de tráfico entre nodos de red, determinado por el origen-destino de todas las conexiones en servicio.

La matriz no mide tráfico real sino que evalúa la cantidad de recursos reservados (en términos de ancho de banda) para cursar tráfico, de acuerdo a los parámetros de configuración de los paths de clientes. Es conveniente desdoblar la matriz en TDM, FR y ATM para evaluar cada tipo de tráfico en forma particular.

## 10. 1. Proceso de la interconexión troncal

En la oficina central, el DSLAM, recupera los bits enviado sobre el lado de acceso del abonado y los vuelve a armar en celdas ATM. Es algo más que un distribuidor (cross connect) digital es más bien un conmutador ATM. En sentido hacia el abonado (downstream), divide el tráfico y en el sentido hacia la central (upstream) combina los flujos de bits de los distintos clientes y es enviada a la red ATM, actuando con función de servidor-de-acceso-remoto.

El *múltiplexor-de-acceso-a-línea-digital-de-abonado* DSLAM, es la puerta de entrada a la red, de los módem remotos ATU-R en casa del abonado. Consiste en un bastidor ubicado en la Oficina Central Telefónica, que tiene capacidad para conectar hasta 240 módem, (Cisco modelo 6260). El DSLAM accede generalmente hacia la red troncal, a través de una interfaz E3 en ATM, que la vincula al servidor de acceso BAS, mediante un *camino-virtual* VP, dentro del cual se establecerán los distintos *circuitos-virtuales* VC, que corresponden a cada módem. La agrupación en E3 se realiza en topología de árbol binario compuesto por 4 DSLAM. En consecuencia, por cada E3 se tiene un nodo constituido por un máximo de 960 ports (240 x 4). Teniendo en cuenta que E3 tiene 34 Mb/s, resultará que por cada port le corresponde 35 Kb/s.

Si se comercializan dos productos, uno como Acceso Rápido (AR) con 256/128 Kb/s y otro como Acceso Rápido Plus (ARP) con 512/128 Kb/s, de valor máximos, podremos corresponderle, según el equipamiento establecido antes, al AR una velocidad promedio de 22 Kb/s y al ARP de 40 Kb/s.

Líneas por bastidor	Líneas por sistema	Red de interconexión	Interfaz hacia red de datos	Categoría ATM	ATU-R	Clientes por BAS
92 á 1280 (144 - 240)	92 á 1280 (576 - 1560)	cascada	4 x E1	CBR rt CBR nrt UBR VBR	Bridge y Router Ethernet	768 á 48000 (4800 á 14000)
		-----	-----			
		4 etapas de concentración	E3			
		-----	-----			
árbol	SMT-1	ATM-F25 PC NIC USB				
-----	-----					
estrella.	SMT-4					

Mediante la red de interconexión troncal, desde los DSLAM, se envían las celdas ATM hasta el centro concentrador de la red ATM en E3. En jerarquías inferiores podría emplearse TDM o Frame Relay. En la red óptica ATM, se emplea SDH en STM-1. Asimismo el sistema permite el uso del sistema GigaEthernet.

En su lado remoto, estas redes ATM confluyen en un agregador de servicio BAS (Cisco 6400), que encamina la comunicación al operador de servicio seleccionado en tráfico IP. Se podrán disponer de hasta diez servicios diferentes, videoconferencias, VoD, etc. Puesto que en general, los Operadores de Servicio Agregado, no disponen de equipos ATM, se los vincula mediante técnica IP.

El BAS, posee la función de separar e identificar el tráfico proveniente de cada uno de los módem conectados a la red, como PVC ATM y enrutar el mismo hacia el ISP contratado por el cliente dentro de un túnel, constituido por el *protocolo-de-tunelado-de-nivel-2* L2TP, o hacia un *troncal-IP*, BBIP, urbano, interurbano o internacional, de destino.

El CAR trabaja en conjunto con el BAS y está compuesto por un servidor RADIUS donde se encuentran los distintos perfiles que se deberán aplicar a cada conexión. Cuando un cliente inicia una sesión, el BAS lo identifica y realiza la consulta en el CAR sobre qué parámetros aplicar a esa conexión y cuál será el destino que debe tener y su tratamiento.

Otros componentes de esta red son:

CPE de acceso del abonado: Selecciona AR ó ARP y provee servicio corporativo en PPP/ATM, con interfase 10/100BaseT para LAN o de una PC con placa Ethernet.

CPE del ISP: Selecciona y encamina a un cliente propio o del BBIP

NOC: Centro de supervisión de la red

AC: Equipo de acceso al VIP

PIX: Equipo firewall

Radius: Equipo que identifica y valida el acceso del usuario a la red.

NAT: Protocolo que traslada la dirección IP, de privada a pública.

NRP: Nodo, router procesador

LNS: Router en la ISP que junto a NRP conforman y finalizan la L2TP.

DHCP: Asigna IP a las PC en formación LAN, con NAT comparten la IP pública.

Se instala un agregador de servicio por cada 4 o 5 oficinas centrales. Desde el agregador de servicio podrán formarse backbone a cada proveedor de servicio determinado o reuniendo varios de ellos. Los proveedores de servicio podrán constituir grandes Centros de Datos (Data Center). Se debe resaltar el alto uso de canales virtuales privados PVC, aprovechando la posibilidad que brinda ATM en generar tunelados.

### Protocolos del sistema ADSL / ATM / IP

Es importante enfatizar que ADSL permite usar en forma indistinta, en la casa del usuario la tecnología Ethernet en 10BaseT o placas ATM, así como la interoperatividad troncal entre los sistemas ATM y TCP/IP. De tal forma, el proveedor de servicios, podrá explotar el uso TCP/IP actual o transportado sobre ATM, aprovechando los mayores beneficios en velocidad y capacidad y posibilidades de los diferentes servicios.

De tal forma cada tramo de tal red dispondrá de una serie de protocolos en diferente cantidad y niveles de capas (Fig. 26).

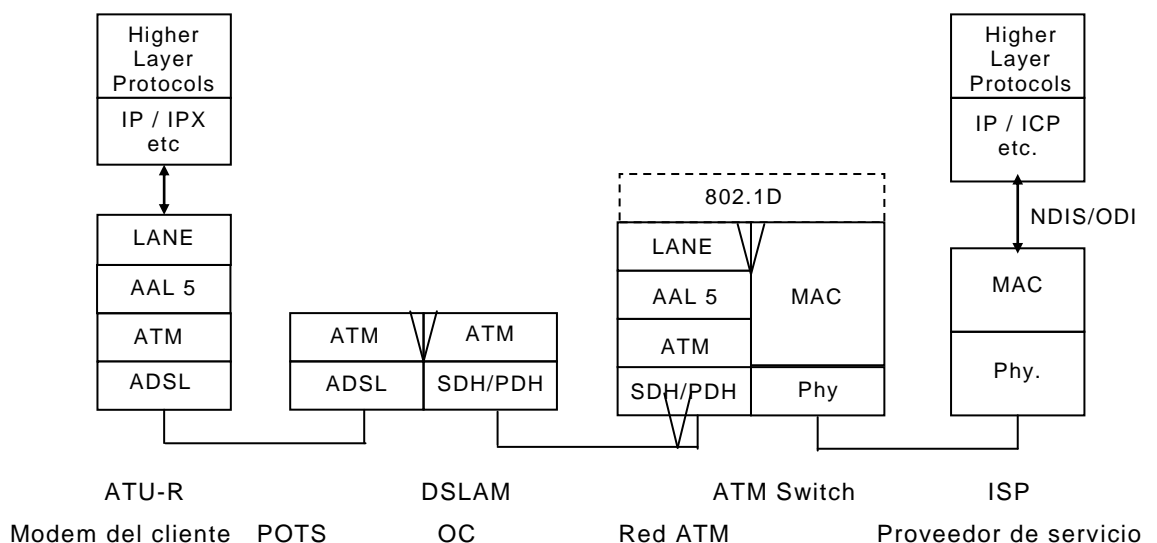


Fig. 26 - Esquema global de protocolos en un sistema ADSL / ATM / IP

### Servicio de agregación de acceso con Tunneling

Se denomina sesión a una unidad lógica de la red ADSL. Se establece cuando el usuario realiza una conexión con su ISP. Comienza en la PC y termina en su ISP, permaneciendo activa mientras el usuario mantenga la conexión. Por port de DSLAM es posible establecer solamente una sesión PPP por vez. Las sesiones se contratan desde el CAR.

Cada elemento de la red troncal se dimensiona para un máximo de secciones simultáneas, por ejemplo un BAS podrá soportar hasta 6000 sesiones simultáneas.

En el modelo de servicio, se debe iniciar una sesión de PPP desde la PC del abonado. La PC tiene un driver que inicia la sesión *PPP sobre Ethernet* PPPoE. En este caso el módem esta configurado en modo Bridge. La sesión PPP será validada por el *nodo-router-procesador* NRP y transportada hacia el proveedor de servicio, en un modelo transparente vía un túnel L2TP. El objetivo del modelo es hacer que el usuario de ADSL se vea como un usuario de dial-up para el ISP (Fig. 3).

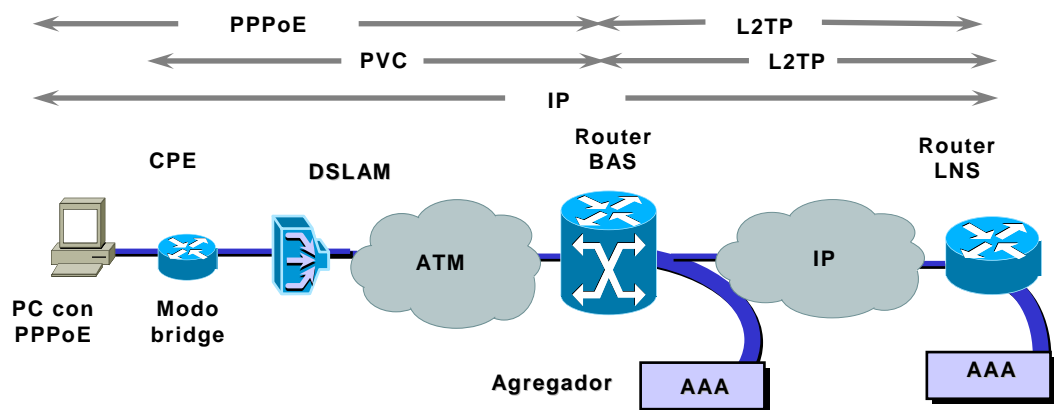


Fig. 3 - Modelo de agregación de accesos mediante tunneling L2TP

En un típico modo de tunneling L2TP, el dispositivo de agregación examina la estructura del nombre del usuario, en la sesión PPP y obtiene toda la información (profile) necesaria para crear el túnel L2TP, de la base de datos local del servidor Radius, a través de este nombre de dominio. Este "profile", contiene la dirección IP del servidor-de-red-L2TP LNS, y una password para el túnel.

### Secuencia de conexión. AR /ARP

1<sup>er</sup> Paso. El usuario utilizando el WinPoet, inicia la sesión PPP desde su PC ingresando "usuario&isp-region-servicio + password". Esta sesión PPP atraviesa el CPE-DSLAM y llega al BAS. El BAS recibe la sesión y consulta al CAR sobre el destino de la misma.

2<sup>o</sup> Paso. El CAR, ejecuta "isp-region-servicio", indicando al BAS hacia donde tiene que dirigir la sesión del cliente, en caso de no existir un túnel L2TP hacia el destino, el BAS inicia uno y continúa la sesión iniciada del cliente hasta el LNS del ISP.

3er Paso. El LNS del ISP, termina la sesión PPP iniciada por la PC del usuario y continuada por la NRP del BAS. Para terminar la sesión consulta al Radius del ISP por "usuario y password" del cliente. El LNS le asigna una dir IP publica al cliente. Este la utilizará para navegar por Internet.

4º Paso. El cliente después de localizar usuario y dominio, dispone de una conexión al ISP con una IP pública pudiendo navegar en Internet.

Circuito virtual permanente PVC

La conexión punto a punto sobre ATM PPOA permite la formación de trayectos virtuales VP y de canales virtuales VC, extremo a extremo, y la posibilidad de agregar un túnel sobre el lado cliente. Con la creación de un circuito virtual permanente PVC se podrá utilizar la IP Pública como si fuese IP Privada (Fig. 33).

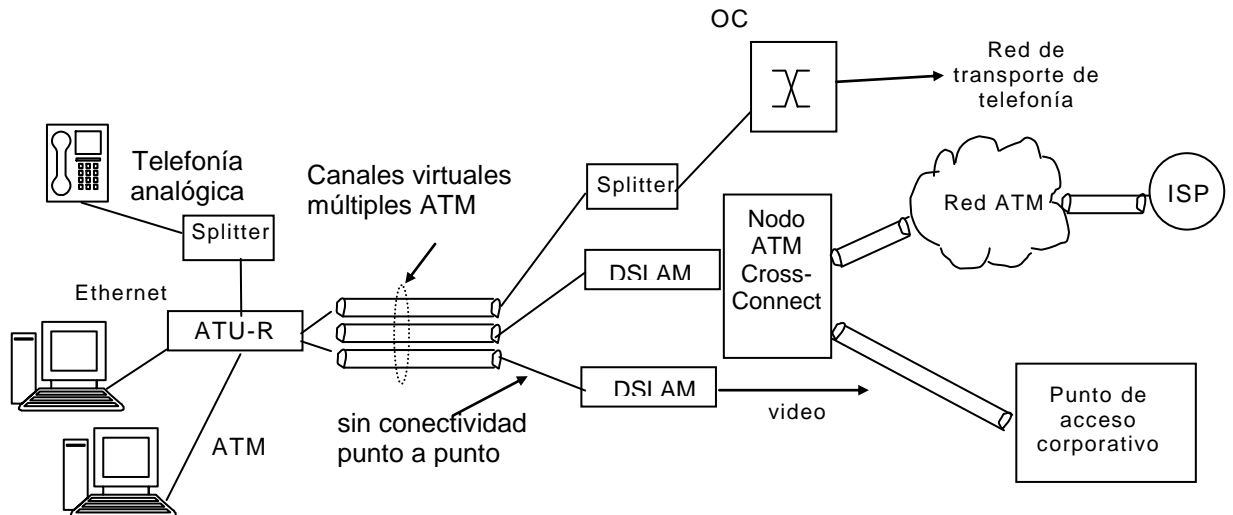


Fig. 33 - Esquema ADSL /ATM canalizado

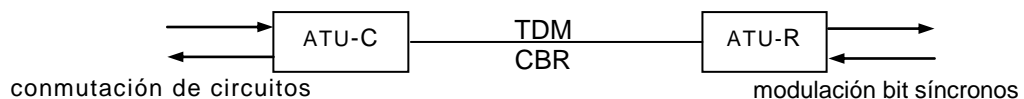
La creación de PVC, permite la conexión telefónica o de PC, en forma compartida o no. Faculta asimismo preservar el secreto de la información. Mediante la formación de una red canalizada, esto es con formación de túneles, se podrá seleccionar cualquiera de las PVC disponibles.

En el ATU-R se colocan TCP/IP, en tramas PPP, que disponen de su propio control de enlace y chequeo de errores, en el interior de la trama y soporte ADSL. El método para soportar PPP sobre ATM, consiste en ofrecer una serie de PVC sobre ADSL para alcanzar independientemente al proveedor seleccionado. Ello se realiza mediante los identificadores VCI y VPI de cada dispositivo. El manejo de valores VP /VC permite crear circuitos virtuales entre el modem del cliente y los distintos proveedores de servicio, en forma de conexiones independientes con calidad de servicio asegurada y ancho de banda definido.

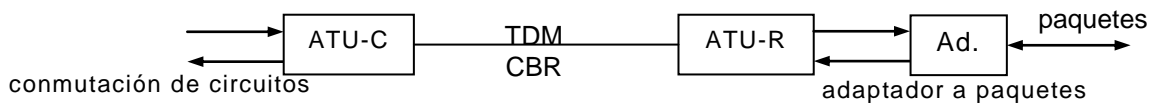
Distintos modos de transmisión

El ADSL Forum ha definido cuatro diferentes modos de distribución para todas las tecnologías xDSL. El modo de distribución indica la forma en que se envían los bits de las tramas (Fig. 36).

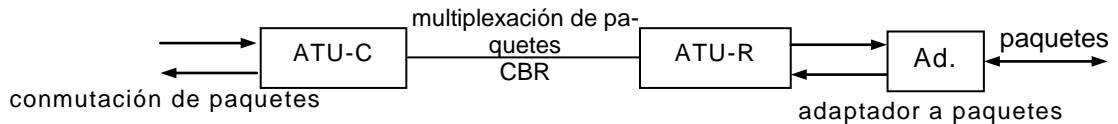
Modo 1 - Sincronía en bits



## Modo 2- Adaptador de paquetes



## Modo 3 - Paquete extremo a extremo



## Modo 4 - ATM

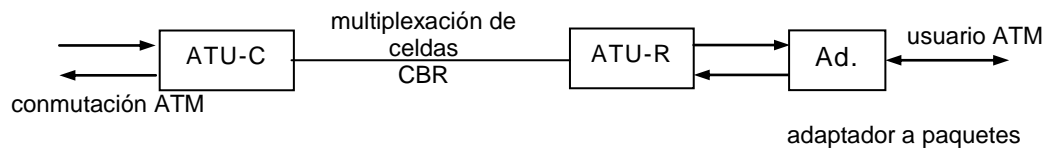


Fig. 36 - Modos de distribución del ADSL Forum

En el Modo 1, sincronía de bits, se puede colocar hasta cuatro dispositivos por cada ATU-R, ya que hay flujos de bits descendentes AS0 al AS3, a un STB de TV o una PC, además, por lo menos un LS0, para el control C. De este modo el enlace ADSL es una tubería que desemboca en una línea fija, al igual que una línea directa alquilada.

En el Modo 2, adaptador de paquetes, los paquetes de diferentes fuentes y destinos pueden compartir un único canal LS1 del acceso. El ATU-R mapea estos paquetes sobre canales fijos en el acceso. Si detrás del AT-C y el nodo de acceso existe un enrutador Internet, los paquetes son entregados en forma efectiva como flujo de bits en canales AS y LS multiplexados en TDM a los puntos finales, mediante circuitos en secuencia de tramas ADSL.

El Modo 3, paquetes punto a punto, los paquetes enviados por varios dispositivos del usuario son enviados en el enlace ADSL por flujos ascendentes y descendentes sin formar canales. Los paquetes del usuario deben ser del mismo tipo que los usados por el proveedor del servicio mediante un dispositivo adaptador multiplexor de paquetes como TCP/IP.

En el Modo 4, de transferencia ATM punto a punto, se multiplexa y envía celdas ATM, en vez de paquetes IP, desde su adaptador en el ATU-R. En el ATU-C se trasvasa las celdas a la red ATM. El contenido de las celdas podrá ser paquetes IP, mediante el protocolo IP punto a punto (PPP) sobre ATM para la distribución.

La combinación de estos cuatro casos, con los formatos de información de los equipos, conforma los típicos seis casos operativos de tráfico de la red de banda ancha (Fig. 37).

Caso 1, La red ADSL es una tubería pasiva de bits en TDM, en velocidad de bits constante CBR, sobre canales ADSL. La red utiliza el modo de sincronismo de bits extremo a extremo.

Caso 2, La red ADSL discurre paquetes IP de extremo a extremo. Los paquetes podrán representar otros protocolos o servicio siempre que ambos extremos entiendan el formato de los paquetes.



Caso 3, El ATU-C maneja una tubería de bits, la que requiere un gran potencial para administrar la red ATM y sus diferentes tipos de tráfico.

Caso 4, La red ADSL emplea paquetes IP y se deshace de la tubería pasiva de bit.

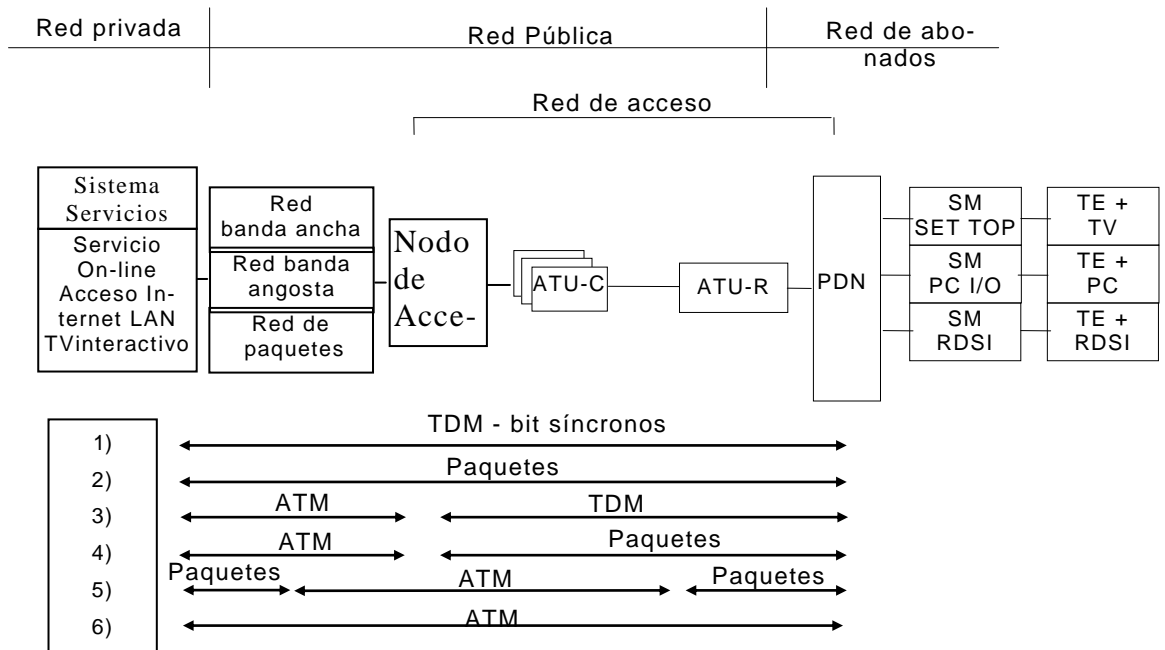


Fig. 37 - Distintos casos de transmisión según el Forum ADSL

Caso 5 - Permite proporcionar servicios ADSL basados en ATM, manteniendo el uso de interfaces de paquetes IP.

Caso 6 - La red ADSL fluye celdas ATM entre los extremos de la red. Es conveniente por disponer menos latencia y mayor ancho de banda en diferentes tipos de tráfico a clientes corporativo

## 11. Limitaciones de la red de acceso en cobre

Existe una serie de limitaciones teóricas y otras prácticas, que afectan brindar este servicio. Algunas remediables, pero otras intrínsecas al diseño de la planta externa local no enmendables, pero a considerar para evitar sus efectos.

- Ancho de banda mínimo teórico (Teorema de Nyquist)
- Capacidad del vínculo (Teorema de Shannon-Hartley)
- Atenuación
- Reflexiones
  - Desacoplo del trancceptor
  - Cambios de diámetros
  - Tomas en puente
- Dispersión del pulso
- Ruidos e interferentes
  - Paradiafonía y telediafonía
  - Ruido blanco, térmico e impulsivo
  - Interferencias de radiofrecuencias

### 11. 1. Teorema de Nyquist

Según el teorema del muestreo, enunciada en 1924 por Harry Nyquist, es posible reconstruir completamente una señal analógica si se conoce un número suficiente de muestras y se cumple que la frecuencia de muestreo sea igual o mayor dos veces la frecuencia máxima ( $2 f_{\text{máx}}$ ) de la onda a transmitir. Si esto se cumple, la señal original se podrá, mediante filtros, recuperar por completo con fidelidad. La separación entre dos muestras consecutivas de cada onda, o sea, que el periodo de muestreo esta definido por esa frecuencia de muestreo.

$$H_{\text{mínimo}} = 2 f_{\text{máx de muestreo}}$$

Si deseamos modular un canal de voz, como la banda vocal es de 300 Hz a 3400 Hz, le corresponderá una frecuencia de muestreo de 8 MHz, es decir, el doble de 4 KHz, considerando los márgenes debidos a los filtrados.

Asimismo, este investigador ha enunciado lo que se podría considerar como segundo Teorema de Nyquist, de tanta importancia como el anteriormente descrito. El mismo indica que el ancho de banda, BW (Bandwidth) mínimo teórico necesario para detectar  $R_s$  símbolos por segundo, deberá ser igual a  $R_s / 2$ , expresado en Hertz.

$$BW = \frac{R_s}{2} \text{ (Hz)}$$

## 11. 2. Teorema de Shannon-Hartley

Para estudios integrales de la capacidad de un sistema, se deberá emplear una función analítica más real, haciendo intervenir la relación entre el valor de una señal y del ruido aleatorio interferente, S/N (Sign /Noise), como ser la formulada en 1948 por Claude Shannon. Esta ley nos indica que la tasa máxima de datos en bits /seg, o sea, la velocidad de transmisión C (b/s), de un canal ruidoso cuyo ancho de banda es BW expresado en Hz y cuya relación señal al ruido es del valor S/N, estará dada por la expresión:

$$C \text{ (b/s)} = BW \log_2 (1+S/N)$$

La capacidad máxima del sistema definida según dicha fórmula, da origen a curvas teóricas que se podrán comparar con curvas prácticas que describen su variación en función de la longitud de la línea (Fig. 40).

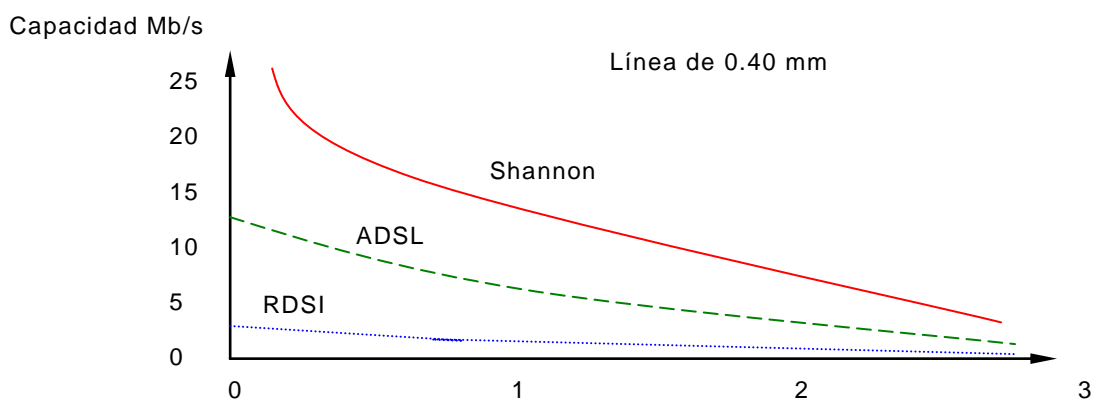


Fig. 40 - Capacidad máxima de un sistema según la relación S/N de la línea

## 11. 3. Atenuación

En una red digital los pulsos sufrirán una atenuación de amplitud de acuerdo a la longitud de línea recorrida, por efectos capacitivos y de resistencia óhmica en el conductor, empalmes derivaciones y desadaptaciones. Considerando banda ancha

las pérdidas que se obtienen en una línea son mayores que a frecuencias vocales de 4 KHz.

Una línea de longitud de 2 Km, constituida en calibre 0.50 mm, tiene una pérdida por atenuación de 20 dB, medida a 600 MHz. Esta misma línea a 4 Km tendrá una pérdida de 60 dB.

Si midiésemos a un valor menor de frecuencia, a 300 KHz, veríamos que su pérdida es menor, por ejemplo esta línea tendría una pérdida de 55 dB. Las sucesivas mediciones a distintas longitudes desde la central y frecuencia nos describirán correspondientes curvas (Fig. 41).

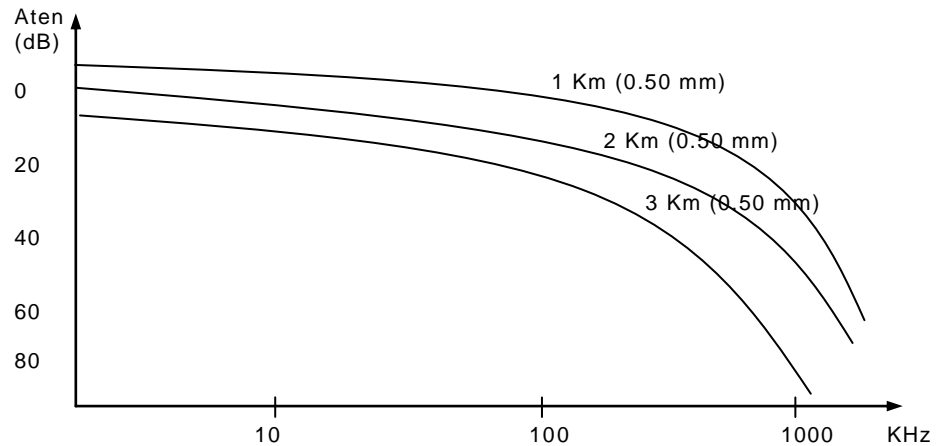


Fig. 41 - Atenuación de la línea según distintas longitudes y frecuencia

#### 11. 4. Reflexiones

##### Desacoplo del trancceptor

Se debe cuidar la correcta adaptación de las líneas y los trancceptores. Los conexiones de ingreso y salida deberán disponer de las mismas características de Impedancia característica, en su defecto se producirán reflexiones, atenuaciones y ruidos por desadaptaciones entre ambos. Ello podrá originar faltas y/o mala calidad de la transmisión.

##### Combinación de calibres

La técnica empleada en la Argentina para la red de acceso, a fin de reducir atenuaciones por efecto óhmico por su distancia hasta la central, fue combinar las distintas secciones de los conductores, calibres en la jerga telefónica. Instalando mayores secciones se logra disminuir las atenuaciones en las señales.

Sin embargo, los cambios de diámetros significan crear desadaptaciones de impedancias en las líneas, lo que provoca reflexiones de ondas, incrementando la relación señal al ruido. Cuando se opera con canales de frecuencia vocal estos efectos en la transmisión son despreciables, no así en cuanto la frecuencia de trabajo es mayor. Otros países parten de la central con cables multipares de un cierto calibre, el que sirve una determinada zona del acceso, con 0.40 mm la zona más cercana a la central, con 0.50 mm la zona contigua más alejada y así sucesivamente (Fig. 43).

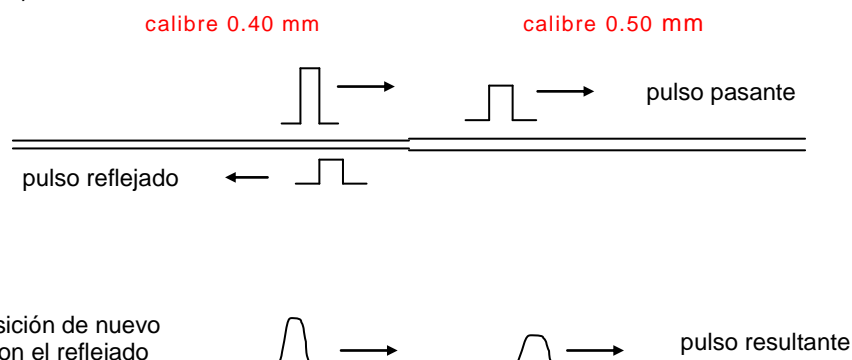


Fig. 43 - Resultando el ingreso de un nuevo pulso deformado, más atenuado y con mayor dispersión:

Con la técnica de combinar calibres, se parte desde la central siempre con secciones de 0.40 mm, esto permite partir con cables de capacidad en pares, que ocupen con mayor eficiencia los conductos subterráneos. En su recorrido una vez que los cables han alcanzado una cierta distancia y amerita una pérdida óhmica comprometida para el tramo restante, se cambia a un valor de sección superior de 0.50 mm y así sucesivamente. Se estudia que distintas secciones de conductores den servicio a determinadas áreas de servicio. De esta forma, se conforma una red de mínimo costo, considerando el alto precio del cobre. Se crean áreas a cubrir con calibres de 0.40, 0.50, 0.65 y en algunos casos hasta 0.90 mm. De esta forma, a la vez que se consiguen áreas más baratas, se obtiene alcances mayores con líneas más largas.

Este factor de desadaptación es agravado si tenemos en cuenta que ya de por sí hay varios puntos en la red de acceso que cuenta con desadaptaciones por cambios de calibre, los alambres internos de la central, las cruzadas en el repartidor general, los cables multipares, las acometidas a los abonados y sus cableados internos.

Las acometidas o bajadas (drop) son de todas estas secciones de red la mayor lesiva, por estar constituida en alambre de cobre acerados. Además, estas tienen un componente fuertemente inductivo debido a tener los conductores muy separados y en disposición paralela. Ello genera componentes en frecuencia no lineales, con amplios picos

#### Pares en doble

En función a la distancia hasta la central, el efector de mayor perjuicio no lo representa el factor resistencia óhmica, sino la capacidad mutua entre conductores de un mismo par. Este factor se agrava si se emplean tomas en puente, o sea, instalar pares en doble creando una red de acceso llamada multiplada (Fig. 44).

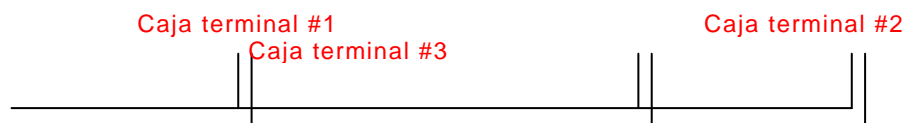


Fig. 44 - Pares multiplados

Esta práctica facilita la disposición de pares vacantes para las nuevas solicitudes de servicio, se diseñan redes de acceso empleando pares en doble. Tal técnica de diseño, además de agregar más puntos de falta introduce una longitud de líneas ficticia. De tal forma se incrementa innecesariamente el valor de capacidad mutua, aunque estos tramos extras no sean utilizados. También estos cables puentes originan ruidos extras debido a inducciones adicionales.

### **11. 5. Dispersión del pulso**

Considerando redes de acceso que den servicio enteramente digitales, los efectos por atenuación en las líneas serán variados. Los pulsos sufrirán pérdidas de amplitud y también experimentarán la dispersión de su ancho. Ambos efectos causarían errores de transmisión, pero la dispersión del pulso, además, provocará la reducción del ancho de banda efectivo del canal.

Por otra parte, considerando redes digitales constituidas con cambios de calibres y pares multiplados, se tendrán pulsos reflejados en cada desadaptación, en cada bifurcación y en todo final de línea. Cada par en doble significará un tramo (stub) abierto o en corto circuito, según de que frecuencia de trabajo se trate. Luego, la señal digital reflejada llega de regreso hasta colisionar con otra nueva señal digital emitida provocando la distorsión del pulso y con ello ocasionar errores en la transmisión.

## **11. 6. Ruidos e interferentes**

Los inconvenientes originados en interferencias y ruidos surgen de los campos eléctricos y magnéticos, al circular corriente eléctrica por los conductores adyacentes de energía eléctrica o de los mismos circuitos de telecomunicaciones. Estos campos inducen voltajes y corrientes en los conductores de telecomunicaciones sumergidos en los mismos.

Los efectos de interferencia eléctrica se deben a voltajes de los equipos interferentes, y al efecto electromagnético de las corrientes que circulan por sus circuitos, como ser, letreros luminosos, transformadores, líneas de alta tensión. Los valores de ruido son siempre relativos a los valores de la señal. Un ruido elevado podrá ser tolerado ante valores de señal altos, pero no así cuando la señal es pobre, luego lo que vale es el número de ruido, o sea, la relación del ruido a la señal en el punto de medición.

Se debe preservar altos valores en la relación señal ruido, previendo efectuar las instalaciones siempre alejada de fuentes electromagnéticas que generen inducciones de ruido. Tales como, transformadores o líneas de alta tensión para la planta externa y motores o tubos fluorescentes en la red interna de los edificios de abonados.

### *Paradiafonía y telediafonía*

El efecto de diafonía hace al mayor detrimento de la transmisión digital, limitando la calidad del servicio. Se origina principalmente en el acoplamiento capacitivo entre pares de un mismo grupo y de grupos adyacentes. La transmisión indeseable entre distintos sistemas de telecomunicaciones se denomina diafonía (Cross-Talk) y se estudia en sus distintos efectos diferenciándolos en paradiafonía y telediafonía.

Paradiafonía, NEXT (Near End Crosstalk), es el efecto de diafonía que ocurre entre pares de transmisión y recepción adyacentes, causado del lado tranceptor cercano. Se mide el ruido inducido sobre otro par, en el extremo cercano, que se inyecta la señal al par inductor.

Telediafonía, FEXT (Far End Crosstalk), es el efecto de diafonía que ocurre entre pares de transmisión y recepción adyacentes, causado del lado tranceptor remoto. Se mide el ruido inducido sobre otro par, en el extremo lejano al que se inyecta la señal en el par inductor.

Para estos sistemas ADSL, de banda ancha, los efectos de diafonía son mucho mayores por trabajar en gamas de frecuencia mucho mayor, hasta 1.1 MHz.

Otra consideración destacable la constituye la acción perjudicial de paradiafonía, considerada de afección mucho mayor respecto a la acción de telediafonía. Esto se debe a que la paradiafonía actúa en función distribuida, esparciendo su efecto en varios puntos de la red y con menor valor de señal.

Por el contrario, la paradiafonía actúa básicamente en un solo punto, afectando a varios equipos ubicados todos en el mismo lugar, concentrando señales interferentes concatenadas y de mayor nivel. Aunque la sumatoria de las señales de telediafonía fuese superior afectaría menos que las señales de paradiafonía.

Prevenir estos detrimentos del servicio se logrará principalmente separando los diferentes servicio, sus cableados e instalando cables de categoría superiores a las telefónicas de Categoría 3. Mientras que estos disponen un trenzado con un paso cada 15 cm, la Categoría 5 dispone un paso cada 10 cm (Fig. 45).

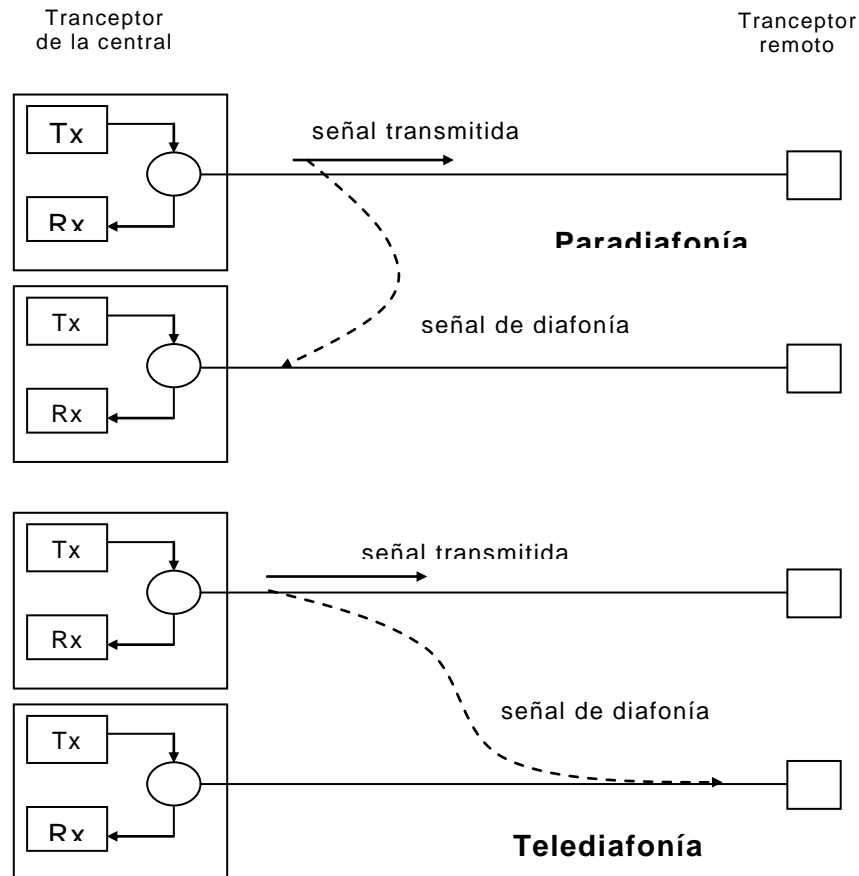


Fig. 45 - Diferenciación entre paradiafonía y telediafonía

En realidad, la condición de mejor calidad del cable se obtiene cuando cumple los valores de paradiafonía del conjunto de los grupos de pares del mismo. Este tipo de medición se denomina PSN (Power Sum Next). En redes internas es necesario el empleo de esta categoría de cables.

### Ruido blanco

El ruido expresado como valor de la corriente eficaz de fluctuación de la carga de los electrones en un conductor por unidad de ancho de banda, se denomina ruido blanco o de granalla. Es el resultado de emisiones catódicas en variaciones aleatorias.

$$I_n = \sqrt{2 Q_e I_b BW}$$

$I_n$  = Valor eficaz de la corriente de ruido, Ampere

$Q_e$  = Carga del electrón,  $1.6 \cdot 10^{-19}$  Coulomb

$I_b$  = Valor medio de la corriente, Ampere

$BW$  = Ancho de banda, Hz

Este efecto recibe el nombre de ruido blanco, por disponer un comportamiento similar a la luz blanca, en la cual la relación de potencia por unidad de intervalo de frecuencia es uniforme al lo largo de todo el espectro. Aunque el valor de ruido blanco es independiente de la temperatura tiene el mismo comportamiento estadístico de la agitación térmica.

El ruido blanco se manifiesta como un ruido de fondo. Es producido por múltiples causas circuitales y es de difícil eliminación práctica.

### Ruido térmico

Todo conductor eléctrico en circuito abierto, produce una tensión irregularmente variable entre sus terminales, como resultado del movimiento aleatorio de los electrones libres en el mismo, como producto de la agitación térmica.

$$e_n = \sqrt{4 k T R BW}$$

$e_n$  = Valor eficaz de la tensión de ruido térmica, Volt

$k$  = Constante de Boltzmann,  $1.374 \cdot 10^{-23}$  Joule /°K

$T$  = Temperatura absoluta, °K

$BW$  = Ancho de banda, Hz

Pruebas realizadas sobre cables tendidos en la planta externa han obtenido valores de temperaturas internas en los pares superiores a 10°C y hasta 30 °C en algunos casos, respecto al valor de temperatura ambiente. Para el caso de los módem ADSL estos equipos compensan las variaciones de atenuación debidos a estos efectos.

### Ruido impulsivo

Los ruidos impulsivos son producidos por transitorios electromagnéticos externos al circuito considerado, los que generan perturbación en este último.

Estos se caracterizan por estar constituidas en:

- Ráfagas aleatorias de gran amplitud
- Generadas principalmente en la central de conmutación
- Pulsos de marcado
- Corrientes de llamadas
- Señales discontinuas

También por descargas de rayos o proximidades con equipos de ascensores, ferrocarriles, fábricas, etc. Son originados por sistemas de ignición eléctrica en automotores o lámparas fluorescentes, disrupciones en líneas de transmisión o inducciones provocadas por interruptores, motores o transformadores eléctricos. Sus efectos son directamente proporcionales al ancho de banda de trabajo.

Se calcula que el nivel de ruido pico en líneas activas puede sobrepasar los 200 V, mientras que en pares inactivos, por efecto paradiafónico, podrá acoplar tensiones pico de hasta 60 mV.

### Interferencias de radiofrecuencias

En los tendidos aéreos de las redes telefónicas, los desbalances de resistencia óhmicas entre conductores de un mismo par, permiten fuertes inducciones de ondas de radio frecuencia. También podrán ser originadas por artefactos eléctricos domésticos, equipos industriales, de teléfonos celulares y emisoras de onda media como las de banda ciudadana o de onda larga. Los ruidos distantes de los 220 V son se evitan con un buen trenzado de pares en cables y alambres de bajada. El

blindaje del apantallado en los cables y su correcta continuidad impide la influencia de ruidos externos.

Las ondas emitidas por emisoras de radio de amplitud modulada AM, que transmiten en elevadas potencias son las más nocivas.

Además, al ocupar sus emisiones la gama de frecuencia desde 530 á 1610 KHz, se superponen a las bandas, ascendente y descendente de ADSL, de 10 á 100 y de 115 á 1100 KHz respectivamente lo que preocupa un perjuicio directo (Fig. 46).

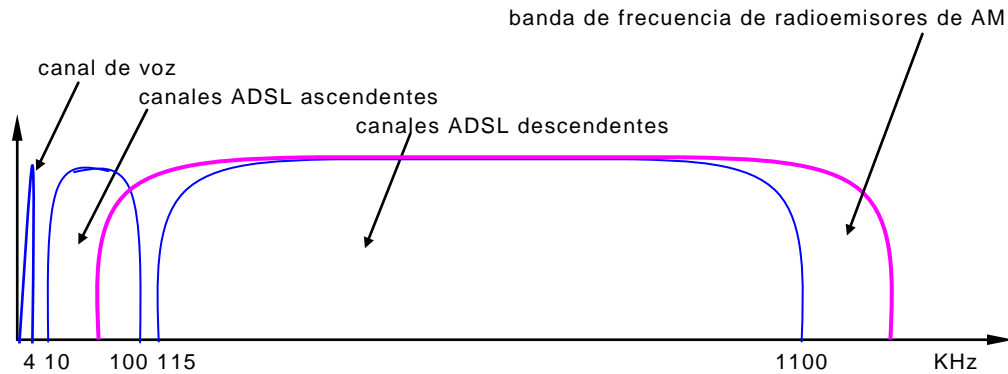


Fig. 46 - Interferencias de radiofrecuencias

Se debe medir el ruido y la densidad de ruido en banda ancha. Una gran ventaja de los sistemas ADSL es el de selección automática de la portadora del canal de menor ruido.

## 12. Requisitos de la red de abonado

Como corolario, podremos sintetizar los requisitos para la aplicación de ADSL aprovechando la red de pares de cobre. En principio, se deberá contemplar la utilización de pares de red sin tener que efectuar una selección previa y aplicación en toda su área de cobertura.

Ninguna de estas dos premisas se cumplen en la práctica, se selecciona el mejor par, dentro de los disponibles al abonado y se limita el área de cobertura en general a 3 Km. Tampoco se entrega la capacidad que el sistema permite, sino que (como vimos) se comercializan rangos muchos menores.

Sin embargo las condiciones en particular serán, no disponer por lo menos en los pares a utilizar, bobinas de pupinización. La multiplicación de pares no representa una limitación para algunos equipos, sin embargo, siempre causarán alta atenuación de las señales. La velocidad máxima a lograr es proporcional a las buenas condiciones de transmisión de la red, e inversamente proporcional a la distancia al usuario.

Si tenemos en cuenta una red existente, con pérdidas en el cable de pares trenzados, considerando el estado de mantenimiento presente, se podrán obtener aproximadamente los siguientes valores:

### LONGITUDES DEL ANILLO DE ABONADO vs. VELOCIDADES DIGITALES

Velocidad (Mb/s)	1.544	2.048	3.152	6.312	8.448
Longitud Km (AWG# 26)	4.600	4.100	3.600	2.800	2.300
Longitud Km (AWG# 24)	5.500	4.900	4.400	3.700	2.700



### Valores de transmisión sobre el par de acceso

Satisfacer la línea de cobre, ciertos valores de transmisión permitirá ofrecer al usuario, un servicio de apropiada calidad de servicio (QoS).

Para ello deberá cumplir los parámetros:

- 1- Característica de aislamiento, a-b, a-G y b-G, igual o superior de 5 MΩ.
- 2- La potencia de transmisión no superará los -32 dBm, para los canales más críticos o sean los canales de mayor frecuencia, que son más afectados por las atenuaciones de la línea. Se podrá llegar a -40 dBm según cantidad y posición en el cable de sistemas vecinos.
- 3- La máxima atenuación admisible es de 30 dB como promedio en banda an-gosta, aunque se podrá llegar hasta 55 dB si la relación señal /ruido es alta. En la zona de banda ancha la atenuación depende del canal analizado
- 4- El par utilizado debe tener la menor cantidad de pares multiplados (en do-ble), ya que la capacidad mutua entre pares se incrementa, perjudicado aún más, que la resistencia en Ohm. Los cambios de calibre también perjudican al valor de transmisión.
- 5- Los instrumentos de medición, operan las funciones digitales de velocidad, cantidad de bits y características del ADSL, también ofrece las funciones de medición analógicas de la línea, como multímetro y reflectómetro.

### **13. Instalaciones internas**

Las instalaciones internas en edificios, para ADSL, no difieren físicamente de las realizadas para telefonía básica. Se podrá emplear cables de pares-trenzados-sin-blindaje UTP, de Categoría 3. Para casos especiales, por ejemplo en ambientes con fuentes fuertes de ondas electromagnéticas, se deberán usar cables UTP de Categoría 5, trenzados en pasos amplios, o cables de *pares-trenzados-blindados* STP, a fin de cancelar la posibilidad de ruidos inducidos.

#### Esquema residencial

En el esquema domiciliario a un cliente individual la topología se conformará insta-lando un filtro del tipo Splitter Central que encamine la señal analógica a los apa-ratos telefónicos y la señal de datos a la computadora personal. También se podrán emplear Microfiltros, en la conformación individual, que actúen como filtros pasabajo para cada aparato telefónico (Fig. 60).

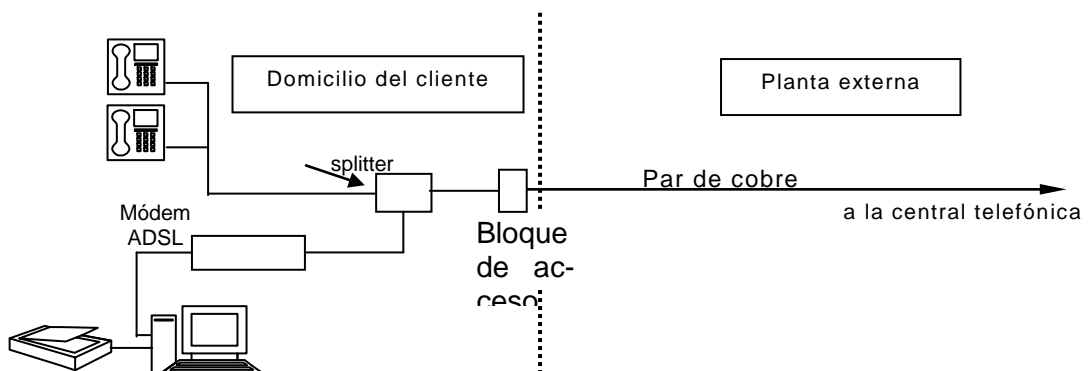


Fig. 60 - Esquema Residencial

#### Esquema en institución educativa

En el esquema dispuesto para la instalación en una red interna de un locutorio (cabinas públicas) o montaje para un instituto educacional, la topología se confor-mará pudiendo incluir un splitter central o varios microfiltros, mientras que la señal

de datos, se encamina desde el modem hasta las placas de red de la red de computadoras, empleando para ello un Hub.

A los fines de establecer sesiones independientes a cada máquina se podrá asignar a una computadora la función "Proxy" y desde ella servir a esta red (Fig. 61).

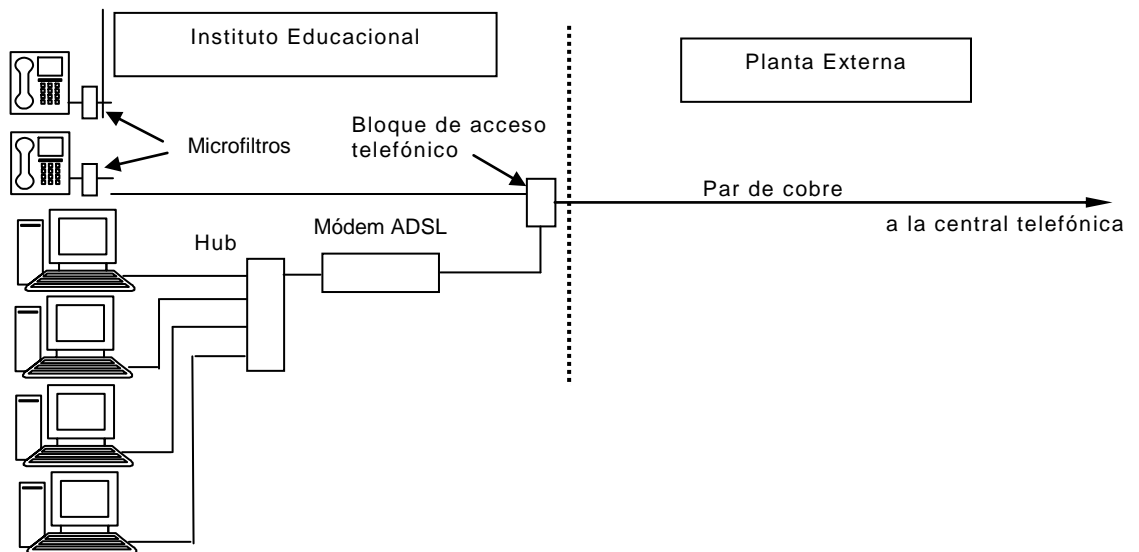


Fig. 61 - Esquema en Institución Educativa

### Conexión del modem ADSL

La conexión de las PC en el modem ADSL, se realiza siempre por un puerto de alta velocidad, descartando el puerto serie de interfaz serie RS132. Se usan los puertos Ethernet, DSL o ATM F.25. Del Pentium 2 en adelante las PC introdujeron el terminal de norma universal USB, el mismo no es práctico usar en redes, solo emplear en instalaciones residenciales, sino se tiene placa Ethernet. Todos los módems tienen puerto Ethernet pero no todos USB.

Con placas Ethernet se podrá disponer de 10 Mb/s, con USB hasta 16 Mb/s y con placa ATM-F25, hasta 25.6 Mb/s. El puerto Ethernet es mucho más económico y mejor configurable por Windows, aunque el puerto ATM es mucho más rápido, su uso debe justificarse su precio. Ethernet funciona con cualquier plataforma, no depende del sistema operativo, es más rápido y más estándar.

El módem tiene un lado llamado LAN o DSL y otro llamado WAN. El primero es el lado Ethernet, 10BaseT, que va hacia la PC y el segundo es el lado ADSL, que va hacia el Splitter y a la red de acceso. Cuando se conectan varias PC al modem, se utiliza un Hub. Los módems según modelo podrán trabajar como Bridge o como Router. Se limita hasta cuatro microfiltros, mayor cantidad carga en demasía al módem, como valor de impedancias, por lo que este pierde rendimiento.

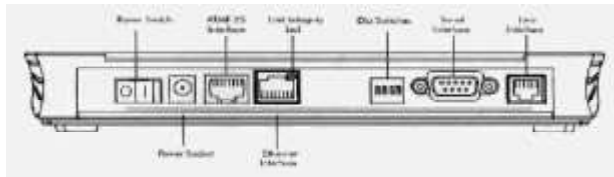
### Elementos constitutivos de la instalación en el domicilio del abonado

En el mercado argentino, tres firmas comercializan los aparatos ADSL, desde principios del 2001. A comenzado el lanzamiento del modem, la firma Cisco, seguida de Alcatel que presenta tres modelos y Arecom un producto de fabricación coreana, con dos modelos, el DSL 800 y el DSL 1000. Se muestra los principales dispositivos de la red interna del abonado.



Módem Arecom





Módem modelo Alcatel



Instrumento de medición



Microfiltro

#### 14. Correlación ISDN / xDSL / ATM / IP

Se debe considerar que en años recientes las empresas de telecomunicaciones nacionales han sido en su mayoría privatizadas, con lo que han sufrido una pronta expansión de sus redes de acceso y /o renovación de sus cables, por lo que cuentan, por consiguiente, con nuevas e importantes instalaciones de plantel exterior basado en cobre. Estos incrementos de red se han realizado, primordialmente con finalidad de dar soporte a una alta ganancia de servicio de telefonía y por ende posibilitar considerables réditos comerciales.

La transmisión de servicios digitales ISDN, presenta la enorme ventaja de comercializar incontables nuevos servicios suplementarios, portadores, teleservicios y de valor agregado. Sin embargo, con la incorporación de complejos esquemas de modulación analógica y codificaciones, se solicita una planta de cobre de alta calidad.

En estas circunstancias, la introducción de las tecnologías xDSL resulta del máximo interés, por cuanto permite el reaprovechamiento de dicha planta para brindar nuevos servicios de telecomunicaciones y seguir ganando nuevos abonados. Por las características de ADSL esto se logra sin desmedro del servicio básico de telefonía, que puede ser brindado en forma simultánea por el mismo par de cobre.

El tipo de aplicaciones de las tecnologías ADSL está dirigido a servicios interactivos asimétricos lo que lo hace excepcional para las redes de Internet. Asimismo, por su afinidad a Ethernet, ATM y TCP-IP es invaluable para el uso de VoIP, o VoATM (mediante la adaptación a capa 2 AAL-2) y su aplicación a la próxima generación de redes NGN.

Permite el conexionado de PBX, LAN y WAN y por su elevado ancho de banda lo habilita a los servicios de telefonía, VoD, telecompras, videoconferencias, todos en forma simultánea. Por otra parte, se podrá continuar con el servicio ISDN para los equipos en existencia.

Las ventajas del aprovechamiento de las nuevas redes de cobre, permiten asimismo, además, ganar nuevos abonados vender nuevos servicios lo que adicionará nuevas ganancias pecuniarias y con mínimo desembolso

-----o-----