

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA
FACULTAD DE INGENIERÍA ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA



TÉCNICAS DE MODULACIÓN EN ADSL

INFORME DE SUFICIENCIA
PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:
INGENIERO ELECTRÓNICO

PRESENTADO POR:
ELVIS HENRRY CELEDONIO ROJAS

PROMOCIÓN:
FIEE 1999 – II

LIMA – PERÚ
AÑO 2002

A mi madre, por el amor y cariño que cada día me otorga
A mi padre, porque sin su ayuda no sería lo que ahora soy
A mis hermanos, porque sus logros enorgullecen mi vida.

TÉCNICAS DE MODULACIÓN EN ADSL

SUMARIO

El presente informe pretende dar una descripción de la tecnología ADSL y sus múltiples aplicaciones, centrándose en las diversas técnicas de modulación que se utilizan en esta tecnología.

La primera parte explica el origen de ADSL, así como las diversas tecnologías que forman parte de la familia DSL. Posteriormente, se hace una descripción técnica detallada de la tecnología ADSL y de los Servicios que brinda, así como la descripción de las tecnologías en las cuales se soporta ADSL como es el caso del ATM, descrito en la parte final del informe.

ÍNDICE

CAPITULO I	INTRODUCCIÓN	1
CAPITULO II	DESCRIPCIÓN DE LA TECNOLOGÍA ADSL	3
2.1	Familia xDSL	3
2.2	Contexto actual	8
2.3	Tarifa plana para acceso a Internet	11
2.4	Principios de ADSL	12
2.5	Características de algunos servicios interactivos	13
2.5.1	<i>Servicios bajo demanda</i>	15
2.5.2	<i>Acceso a Internet a alta velocidad</i>	15
2.5.3	<i>Enseñanza a Distancia</i>	16
2.5.4	<i>Telemedicina</i>	17
2.5.5	<i>Teletrabajo</i>	17
2.5.6	<i>Acceso Remoto a Redes / Interconexión de Redes.</i>	17
2.6	Utilización de la infraestructura existente	18
2.6.1	<i>Tráfico asimétrico sobre UTP</i>	19
2.6.2	<i>Espectro de frecuencia en ADSL</i>	20
2.7	Limitaciones del ADSL	22
2.7.1	<i>Limitantes físicas:</i>	22
2.7.2	<i>Teorema de Nyquist</i>	22
2.7.3	<i>Ley de Shannon-Hartley</i>	25
2.7.4	<i>Atenuación.</i>	28
CAPITULO III	TÉCNICAS DE MODULACIÓN EN ADSL	37
3.1	Fundamentos Básicos de Modulación	38
3.2	Técnicas de modulación de una señal.	39
3.2.1	<i>Modulación de Amplitud ASK (Amplitude shift keying)</i>	39
3.2.2	<i>Modulación en Frecuencia FSK (Frequency shift keying)</i>	39
3.2.3	<i>Modulación en Fase PSK (Differential phase shift keying)</i>	40

3.2.4	<i>Modulación QAM.</i>	42
3.3	Estándares de modulación - Normas de la serie V.	43
3.4	Módems de banda base.	45
3.5	Multiplexación en ADSL	47
3.5.1	<i>Multiplexación por División en la Frecuencia (FDM)</i>	48
3.5.2	<i>La Cancelación de Eco</i>	49
3.6	Modulación QAM	50
3.7	Técnicas de modulación en ADSL	56
3.7.1	<i>Modulación por Multitonos discretos (DTM)</i>	57
3.7.2	<i>Modulación Carrierless Amplitude and Phase (CAP)</i>	63
3.7.3	<i>Comparación entre ambas Técnicas de Modulación para ADSL</i>	65
3.7.4	<i>Discrete Wavelet MultiTone (DWMT)</i>	66
3.8	Código de detección y corrección de error en ADSL	68
3.9	Arquitectura del sistema ADSL	69
3.9.1	<i>Modems y Splitters</i>	70
3.9.2	<i>DSLAM</i>	73
3.9.3	<i>Estándares para ADSL</i>	74
3.10	Servicios ADSL en el Perú	77

CAPITULO IV ATM COMO PLATAFORMA DE TRANSPORTE PARA ADSL

79

4.1	ATM sobre ADSL	82
4.2	Modo de Transferencia Asíncrona ATM	85
4.2.1	<i>Definición</i>	85
4.2.2	<i>Características</i>	85
4.2.3	<i>Transporte en celdas</i>	86
4.2.4	<i>Interfaces ATM</i>	86
4.2.5	<i>Celda ATM</i>	87
4.3	Modelo de Referencia ATM	88
4.3.1	<i>Capa Física</i>	88
4.3.2	<i>Capa ATM</i>	88
4.3.3	<i>Capa de Adaptación (AAL):</i>	88

4.3.4	<i>Capa Superior</i>	89
4.4	Calidad de servicio QoS en ATM	89
CONCLUSIONES		90
APÉNDICE A GLOSARIO		92
APÉNDICE B ACRÓNIMOS		95
BIBLIOGRAFÍA		97
➤	Textos de consulta	97
➤	Links de Interés	97

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.- Familia xDSL	5
Figura 2.- Características de algunas técnicas xDSL	7
Figura 3.- Espectro de frecuencias utilizadas en un módem analógico	9
Figura 4.- Características de algunos servicios interactivos	18
Figura 5.- Línea con servicio ADSL	19
Figura 6.- ADSL Asymmetric Digital Subscriber Line	20
Figura 7.- Frecuencias de trabajo	21
Figura 8.- ADSL con RDSI	21
Figura 9.- Capacidad de Shannon-Hartley para el UTP	28
Figura 10.- Atenuación causada por las características de frecuencia	29
Figura 11.- Atenuación debido a la distancia	29
Figura 12.- Decaimiento de la velocidad en función de la distancia	30
Figura 13.- Rendimiento de ADSL	31
Figura 14.- Curva Caudal vs Distancia	32
Figura 15.- Atenuación causada por taps	33
Figura 16.- Dispersión del pulso	33
Figura 17.- Efecto Crosstalk en un línea de cobre	34
Figura 18.- Efecto Crosstalk Near End / Far End en el bucle de Abonado	34
Figura 19.- Multiplexación por División de Frecuencia	48
Figura 20.- FDM en ADSL	49
Figura 21.- Cancelación de Eco	49
Figura 22.- Eje Horizontal Portadora (16QAM)	51
Figura 23.- Eje Vertical Portadora (16QAM)	52
Figura 24.- Diagrama de Constelación (16QAM)	52
Figura 25.- Técnica de Modulación 16QAM	53
Figura 26.- Ejemplo de Transmisión de Bits usando QAM	53
Figura 27.- Constelación para 32 QAM	54
Figura 28.- Presencia del Ruido en QAM	55
Figura 29.- Modulación usando Múltiples portadoras	57
Figura 30.- Bits Transportados en Relación a las características de la Línea.	58

Figura 31.- Composición del símbolo DMT	59
Figura 32.- Modulación por Multitonos Discretos: DMT	60
Figura 33.- Numero de Bits por portadora	61
Figura 33.- Estructura de Supertrama ADSL	62
Figura 34.- Espectro de Modulación CAP	64
Figura 35.- Modulación DWMT	66
Figura 36.-Lóbulos Principales en DWMT	67
Figura 37.- Código Reed-Solomon	69
Figura 38.- Esquema de la Arquitectura ADSL	70
Figura 39.-Configuración Sistema ADSL hasta el bucle de abonado	70
Figura 40.- Esquema Usuario-Red / Red-Usuario	71
Figura 41.- Función del Filtro y el Splitter en ADSL	72
Figura 42.- Trafico ADSL Usuario-Red	72
Figura 43.- Componentes de un DSLAM	73
Figura 44.- Modelo de Referencia del ATM Forum (1)	76
Figura 45.- Modelo de Referencia del ATM Forum (2)	76
Figura 46.- Servicio Speedy de Telefónica del Perú	77
Figura 47.- Elementos de Red - Concentradores	80
Figura 48.- Torre de protocolos con ATM sobre ADSL	81
Figura 49.- Modelos para la prestación de servicios con acceso ADSL	82
Figura 50.- Torre de protocolos simplificada, con ATM sobre ADSL	82
Figura 51.- Transmisión de Datos a través de ATM	83
Figura 52.- ADSL+ATM en el bucle de abonado	84
Figura 53.- Estructura de una Plataforma ATM para ADSL	84
Figura 54.- PV/CV (Path Virtual / Channel Virtual)	86
Figura 55.- Interfaces ATM	87
Figura 56.-Estructura de la cabecera	87
Figura 57.- Modelo de referencia ATM	88
Figura 58.- Protocolos sobre ATM	89

CAPITULO I INTRODUCCIÓN

Para poder entender la tecnología ADSL, debemos conocer primero sus raíces, por lo cual es indispensable comentar un poco acerca de la tecnología DSL.

La tecnología DSL, Digital Subscriber Line (Línea de Abonados Digitales), es usada para suministrar el ancho de banda suficiente para numerosas aplicaciones, incluyendo además un rápido acceso a Internet utilizando las líneas telefónicas, acceso remoto a las diferentes redes de área local (LAN), videoconferencia, y sistemas de redes privadas virtuales (VPN).

ADSL, Asymmetric Digital Subscriber Line (Línea de Abonado Digital Asimétrica) es una de las tecnologías que pertenece a la familia xDSL, y sus orígenes se remontan al año 1989. La denominación de asimétrica es debida a que las velocidades de transmisión y recepción son distintas. La velocidad de bajada, con la que llega la información a nuestro ordenador, suele ser bastante mayor que la de subida, con la que se mandan datos desde nuestro equipo.

Los beneficios del DSL pueden resumirse en:

- **Conexión Ininterrumpida y veloz:** Los usuarios podrán bajar gráficos, vídeo clips y otros archivos, sin perder mucho tiempo esperando para que se complete la descarga.
- **Flexibilidad:** Antes del desarrollo de la tecnología DSL, aquellos quienes querían utilizar Internet sin ocupar su línea debían adherir otra más; lo que en realidad tenía un costo bastante elevado. Utilizando la tecnología DSL, los usuarios podrán utilizar la misma línea para recibir y hacer llamadas telefónicas mientras estén en línea (on-line).
- **Totalmente digital:** DSL convierte las líneas telefónicas analógicas en digitales adhiriendo un dispositivo de interconexión de línea en la oficina central, y un módem del tipo DSL en la casa del abonado. Para esto, los clientes deberán suscribirse al servicio DSL desde sus proveedores de servicio telefónico.

Los beneficios de este renacimiento tecnológico son inmensos. Los Proveedores de Redes de Servicios pueden ofrecer nuevos servicios avanzados de inmediato, incrementando las ganancias y complementando la satisfacción de los usuarios. Los propietarios de redes privadas pueden ofrecer a sus usuarios los servicios expandidos que juegan un papel importante en la productividad de la compañía y los impulsa a mejorar su posición competitiva.

Para utilizar DSL, se debe estar a menos de 5500m (aproximadamente) de la oficina central de la empresa telefónica, ya que a una distancia mayor no se puede disfrutar de la gran velocidad que provee el servicio. Después de los 2.400m, la velocidad comienza a disminuir, pero aún así este tipo de tecnologías es más veloz que una conexión mediante un módem y una línea telefónica.

Las líneas de cobre telefónicas soportan diferentes canales de ancho de banda. El canal más bajo es para la comunicación de voz, mientras que el canal con mayor ancho de banda utiliza dos vías de alta velocidad para la transmisión de datos. Utilizando la tecnología DSL, no hay necesidad de una línea telefónica adicional, porque DSL usa el canal de mayor ancho de banda que el teléfono no utiliza. Así pues, podemos llamar por teléfono al mismo tiempo que accedemos a Internet, lo cual veremos con mas detalle más adelante.

Los costos de inversión son relativamente bajos, especialmente comparados con los costos de re-cableado de la planta instalada de cobre. Adicionalmente a esto, la facilidad en la instalación de los equipos DSL permite la reducción de costos por tiempo de instalación para la puesta en marcha de los nuevos servicios.

En nuestro país el servicio ADSL fue reglamentado en el año 1999, pero el servicio se vende comercialmente desde el año 2000 y es brindado por el proveedor Telefónica del Perú.

CAPITULO II

DESCRIPCIÓN DE LA TECNOLOGÍA ADSL

2.1 Familia xDSL

xDSL viene a ser la familia de tecnologías que usan DSL, es decir, está formado por un conjunto de tecnologías que proveen un gran ancho de banda sobre circuitos locales de cable de cobre, sin amplificadores ni repetidores de señal a lo largo de la ruta del cableado, entre la conexión del cliente y el primer nodo de la red. Son unas tecnologías de acceso punto a punto a través de la red pública, que permiten un flujo de información tanto simétrico como asimétrico y de alta velocidad sobre el bucle de abonado.

Las tecnologías xDSL convierten las líneas analógicas convencionales en digitales de alta velocidad, con las que es posible ofrecer servicios de banda ancha en el domicilio de los abonados, similares a los de las redes de cable o las inalámbricas, aprovechando los pares de cobre existentes, siempre que estos reúnan un mínimo de requisitos en cuanto a la calidad del circuito y distancia.

xDSL utiliza más de un ancho de banda sobre las líneas de cobre, las cuales son actualmente usadas para los viejos servicios telefónicos planos o POTS (plain old telephone service). Utilizando frecuencias superiores al ancho de banda telefónico (300 Hz a 3400 Hz), xDSL puede codificar más datos y transmitir a más elevadas tasas de datos, esta posibilidad estaría restringida por el rango de frecuencias de una red POTS. Para utilizar frecuencias superiores al espectro de audio de voz, deben instalarse equipos xDSL en ambos terminales y un cable de cobre entre ellos debe ser capaz de sostener las altas frecuencias para completar la ruta. Esto quiere decir, que las limitaciones del ancho de banda de estos aparatos deben ser suprimidas o evitadas.

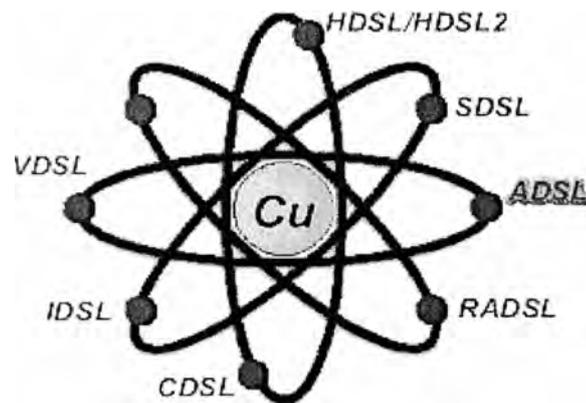


Figura 1.- Familia xDSL

En general, en los servicios xDSL, el envío y recepción de datos se establecen a través de un módem xDSL (que dependerá de la clase de xDSL utilizado). Estos

datos pasan por un dispositivo, llamado "splitter", que permite la utilización simultánea del servicio telefónico básico y del servicio xDSL. El splitter se coloca delante de los módems del usuario y de la central; está formado por dos filtros, uno paso bajo y otro paso alto. La finalidad de estos dos filtros es la de separar las señales transmitidas por el canal en señales de alta frecuencia (datos) y señales de baja frecuencia (telefonía).

Las transmisiones de voz, residen en la banda base (4 KHz e inferior), mientras que los canales de datos de salida y de entrada están en un espectro más alto (centenares de KHz). El resultado es, que los proveedores de servicio pueden proporcionar velocidades de datos de múltiples megabits mientras dejan intactos los servicios de voz, todo en una sola línea.

La tecnología xDSL soporta formatos y tasas de transmisión especificados por los estándares, como lo son T1 (1.544 Mbps) y E1 (2.048 Mbps), y es lo suficientemente flexible para soportar tasas y formatos adicionales como sean especificados por ejemplo, 6 Mbps asimétricos permite transmisión de alta velocidad de datos y vídeo. xDSL puede coexistir en el circuito con el servicio de voz es decir, todos los tipos de servicios (voz, video, multimedia y servicios de datos) pueden ser transportados sin el desarrollo de nuevas estrategias de infraestructura.

xDSL es llamada una tecnología "Modem-Like" (muy parecida a la tecnología de los módem), donde es requerido un dispositivo xDSL terminal en cada extremo

del circuito de cobre. Estos dispositivos aceptan flujo de datos, generalmente en formato digital, y lo sobrepone a una señal análoga de alta velocidad. Las tres técnicas de modulación usadas actualmente para xDSL son 2B1Q (2 Bit, 1 Quaternary), "carrier-less amplitude phase modulation" (CAP) y "discrete multitone modulation" (DMT). Estas dos últimas técnicas de modulación serán los temas de fondo que se explicarán, analizarán y compararán en el presente informe, ya que son las técnicas de modulación usadas en ADSL.

Figura 2.- Características de algunas técnicas xDSL

TECNOLOGÍA	Descripción	VELOCIDAD	Limitación de la Distancia	Aplicaciones
IDSL (ISDN-BA)	ISDN la Línea del Subscriptor Digital	128 Kbps	18,000 pies en 24 alambre de la medida	Similar al ISDN BRI pero solo para datos (no voz en la misma línea)
HDSL	Línea de Abonados Digital de Índice de Datos alto	1.544 Mbps full duplex (T1) 2.048 Mbps full duplex (E1) (utiliza 2-3 pares)	12,000 pies sobre 24 AWG 4.572 metros	Sustitución de varios canales T1/E1 agregados, interconexión mediante PBX, agregación de tráfico frame relay, extensión de LANs.
SDSL	Línea de Abonados Digital Simétrica	1.544 Mbps full duplex (U.S. y Canada) (T1); 2.048 Mbps full duplex (Europa) (E1);(utiliza 1 par)	12,000 pies sobre 24 AWG 3.040 metros	Sustitución de varios canales T1/E1 agregados, servicios interactivos y extensión LANs.
ADSL	Línea de Abonados Digital Asimétrica	1.544 a 6.1 Mbps bajada 16 a 640 Kbps subida	5.847 metros (3.658 para las velocidades más rápidas)	Acceso a Internet, video bajo demanda, servicios telefónicos tradicionales.
VDSL (BDSL)	Línea de Abonados Digital de Tasa Muy Alta	13 a 52 Mbps bajada 1,5 a 2,3 Mbps subida	305 a 1.471 metros (según la velocidad)	Igual que ADSL más TV de alta definición.
RADSL	Línea de Abonados Digital de Tasa Adaptable	640 Kbps a 2.2 Mbps bajada 272 Kbps a 1.088 Mbps subida	Se ajusta de forma dinámica a las condiciones de la línea y su longitud.	Es espectralmente compatible con voz y otras tecnologías DSL sin el bucle local
ADSL G.LITE (UDSL)	"Splitterless" DSL sin el "truck roll"	De 1.544 Mbps a 6 Mbps, dependiendo del servicio contratado.	18,000 pies en 24 AWG	El estándar ADSL; sacrifica velocidad para no tener que instalar un splitter en casa del usuario
CDSL	El consumidor DSL de Rockwell	1 downstream de Mbps; menos upstream	18,000 pies en 24 alambre de la medida	Casa de Splitterless y el servicio de negocio pequeño; similar a DSL Lite
CiDSL	Consumer-installable Digital Subscriber Line			Es propiedad de Globespan
Ether Loop	EtherLoop	1.5 Mbps y 10 Mbps		Propiedad de Nortel
G. shdsl	G.shdsl	entre 192 Kbps y 2.3 Mbps sobre un simple par de cobre	15,600 pies sobre 24 AWG 3.952 metros	Compatibilidad con otras variantes DSL. Puede negociar el número de tramas del protocolo incluyendo ATM, T1, E1, ISDN e IP
HDSL 2	DSL de Índice de Datos alto 2 ó DSL de Índice de Datos alto sobre un par	T1 a 1.544 Mb/s sobre un simple par de cobre		
MDSL	Línea de Abonados Digital Simétrica Multi Tasa	128 Kbps y 2.048Mbps. CAP: 64 Kbps/128 Kbps	8.9 Km sobre cables de 24AWG (0.5 mm) y 4.5 Km (2 Mbps)	Valorada en los servicios TDM sobre una base ubicada
UDSL	Línea de Abonados Digital Unidireccional			Versión unidireccional de HDSL

Las características y diferencias de algunas de estas técnicas se muestran en la figura anterior.

xDSL provee configuraciones asimétricas o simétricas para soportar requerimientos de ancho de banda en uno o dos sentidos. Se refiere a configuraciones simétricas, si el canal de ancho de banda necesario o provisto es el mismo en las dos direcciones ("upstream": sentido cliente-red, y "downstream": sentido red-cliente). Aplicaciones asimétricas son esas en las cuales las necesidades de ancho de banda son mayores en una dirección que en la otra. Por ejemplo, para "navegar" en la web, se requiere de un ancho de banda muy pequeño desde el cliente hasta su proveedor, dado que solamente se requiere lo necesario para pasar información de control y generalmente con algunos Kbps basta. Mientras que en el otro sentido (desde el proveedor hasta el cliente), el ancho de banda requerido se podría expresar en Mbps.

xDSL equivale a bucle de abonado digital x, donde x hace referencia a la tecnología del momento. Se trata de tecnologías que explotan el par de hilos de cobre de la red de telecomunicaciones ya existente para transmitir datos a alta velocidad.

2.2 Contexto actual

Con las bondades de la tecnología ADSL se desea cambiar la forma de acceder a los servicios de banda ancha e Internet, ya que el uso de las líneas analógicas para acceso a Internet, en la actualidad, es muy común en nuestro país. Este es un acceso a una tasa máxima de 56 Kbps lo cual se traduce en un acceso lento para los usuarios, además al momento de acceder a Internet no se dispone del servicio

telefónico ya que se está usando el par físico, además que se dispone de servicios de banda ancha de las cuales hablaremos mas adelante. Estas limitaciones hacen del acceso a Internet tradicional usando módems analógicos un método de acceso muy limitado y poco flexible.

En el caso de RDSI se tienen velocidades de 64 Kbps, 128 Kbps hasta 2 Mbps, pero el costo de estos servicios es caro para un buen porcentaje de los usuarios de la RTC (Red de Telefónica Conmutada).

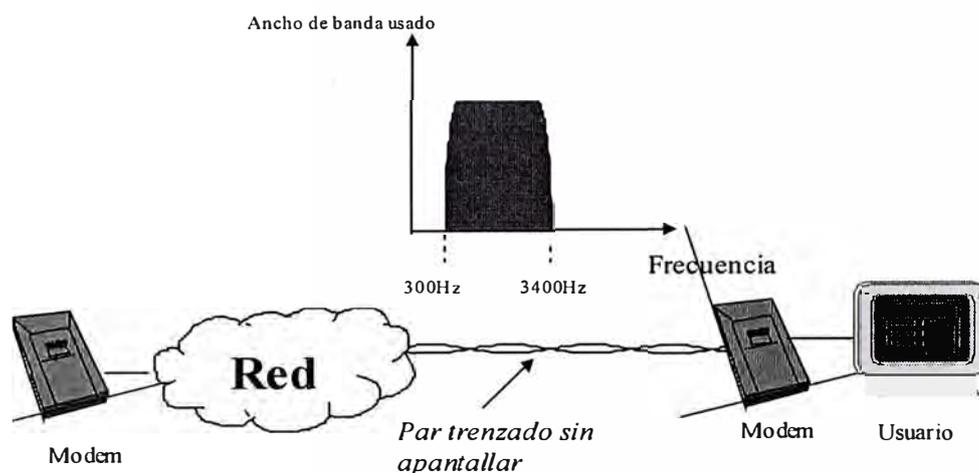


Figura 3.- Espectro de frecuencias utilizadas en un módem analógico

La figura 3 es la representación del acceso a Internet a través de una línea analógica, como vemos, el espectro de la voz va desde 300 Hz hasta 3400 KHz. En el lado del usuario se tiene un módem, el cual permite que los datos digitales a transmitir se modulen dentro del espectro de frecuencia de la voz. Del lado de la central de conmutación se tiene también un módem para demodular los datos transmitidos.

Pues bien, ADSL es una tecnología que permite mejorar las deficiencias de los servicios de acceso a Internet por una línea convencional (también puede usarse con el servicio de RDSI), utilizando el mismo par de trenzado de cobre que llega al abonado que permite brindar servicios de banda ancha, los cuales se detallarán más adelante. ADSL ofrece un compromiso entre alta velocidad de transmisión, integración de servicios de banda ancha, flexibilidad para transmitir voz y datos por el mismo par telefónico y además bajo costo del servicio ya que se cobra por la suscripción al servicio independientemente de las veces que se acceda a este (Tarifa Plana para acceso a Internet).

En muchos países los operadores públicos de telefonía están contemplando el uso masivo de ADSL en su planta de cobre, principalmente debido a los siguientes motivos:

- Reutilización de la propia planta de cobre.
- Utilización del par de abonado como un acceso barato a servicios basados en ATM (Asimetric Transfer Mode), frente a un acceso basado en fibra óptica.
- Atender la demanda del mercado residencial, de pequeñas y medianas empresas, cuya necesidad en sus aplicaciones requieren un ancho de banda elevado al menos en uno de los sentidos de la transmisión, con tarifas atractivas para la mayoría de los usuarios.
- Los costes "hardware" por línea ADSL se han reducido lo suficiente como para pensar en una rápida amortización de las inversiones.

2.3 Tarifa plana para acceso a Internet

Se le llama tarifa plana de acceso a Internet al establecimiento de un costo mensual fijo que brinda el derecho de acceder a Internet cuantas veces el usuario lo considere necesario. Con una tarifa plana, el usuario puede conectarse unos minutos o varias horas al día sin que cambie el costo de la conexión. Entonces por Tarifa Plana se entiende pagar una cuota fija mensual, independientemente del uso que se haga de un servicio.

La tarifa plana puede entenderse básicamente como:

- El costo de cada conexión a Internet tiene una tarifa independiente de la duración de la misma.
- El costo de todas las conexiones a Internet, sin importar la duración de las mismas ni el número de conexiones realizadas es un costo fijo mensual.

En el acceso a Internet se pueden distinguir entre dos tipos de tarifa plana:

- Tarifa plana para el proveedor de acceso a Internet:

Para conectarse a Internet se usan los servicios de un proveedor de acceso a Internet. Tarifa plana, en este caso, quiere decir pagar una cuota fija (mensual, trimestral, anual, etc.) independientemente de las horas de uso de los servicios del proveedor de acceso. Este tipo de tarifa es el mayoritario debido a la fuerte competencia entre los proveedores de acceso.

- Tarifa plana para las llamadas telefónicas:

Si bien con el proveedor de acceso pagamos una tarifa plana, para acceder a sus instalaciones, y en definitiva a Internet, hay que hacer uso de la línea

telefónica. Actualmente el uso de la línea telefónica se tarifica por tiempo y es aquí donde se centran nuestras reivindicaciones, conseguir pagar una cantidad de dinero fija (y razonable) independientemente del número o duración de las llamadas efectuadas.

2.4 Principios de ADSL

ADSL son las siglas en inglés de Asimetric Digital Subscriber Line que corresponden a Línea de abonado Digital Asimétrica.

Como ya mencionamos, ADSL es una nuevo sistema de comunicación asimétrico que permite la transmisión de servicios de banda ancha a usuarios individuales y organizaciones, sobre un par de cobre trenzado telefónico manteniendo intacto el canal de voz tradicional.

El carácter asimétrico de la transmisión se traduce en la existencia de un canal de alta capacidad (hasta 6-8 Mbps), en sentido descendente o "downstream" (de la central local hacia el abonado), y uno de capacidad media-baja (640 Kbps - 1 Mbps) en sentido ascendente o "upstream" (del abonado hacia la central local).

ADSL opera sobre un único par de cables trenzados y su conexión es a través de un par de módems, uno en el lado del usuario y el segundo en la Central Telefónica más cercana.

Como ya comentamos, ADSL es una modalidad dentro de la familia xDSL que, basada en el par de cobre de la línea telefónica normal, la convierte en una línea digital asimétrica de alta velocidad para ofrecer servicios de banda ancha.

ADSL es una tecnología de módem que permite enviar simultáneamente tanto voz como datos por la línea de cobre convencional. Para ello establece tres canales independientes:

- Dos canales de alta velocidad (uno de recepción de datos y otro de envío de datos).
- Un tercer canal para la comunicación normal de voz (servicio telefónico básico).

Los caudales de transmisión en los sentidos Usuario a Red y Red a Usuario son diferentes (asimétricos), pudiéndose alcanzar hasta 9 Mbps en sentido red-usuario y hasta 900 Kbps en sentido usuario-red

2.5 Características de algunos servicios interactivos

El fenómeno Internet, junto con el conjunto de servicios a los que se acceden gracias a él, es uno de los fenómenos de mayor relevancia en el panorama actual de las telecomunicaciones.

Cada día aparecen nuevos servicios que demandan mayor ancho de banda o que necesitan de una conexión permanente a los servicios de información.

Con el empleo de la tecnología ADSL en la red de acceso se resuelven ambos problemas, proporcionando servicios de mayor ancho de banda que los que obteníamos sólo con la telefonía convencional y conexión permanente a dichos servicios.

Algunos servicios que podrían beneficiarse de estas bondades que nos ofrece ADSL y que por tanto podrían proveerse sobre dicha tecnología son:

- Servicios y contenidos de transmisión de datos y acceso a servicios de información, ya disponibles a las velocidades típicas de los módems RTC (acceso a Internet, mensajería electrónica, comercio electrónico, etc.)
- Servicios y contenidos que se apoyarán en la disponibilidad de mayores velocidades.

Entre ellos se pueden destacar:

- Audio y vídeo difusión (canales de radio o TV).
 - Audio y vídeo bajo demanda (acceso a bancos de recursos de audio y vídeo).
 - Audio y vídeo conferencia.
 - Accesos a bases de datos documentales.
 - Aplicaciones interactivas en red (juegos, software de demostración en red, etc.).
 - Tele-educación
- Servicios y contenidos que se beneficiarán de que la conexión siempre esté establecida:
 - Interconexión de Redes de Área Local.
 - Redes Privadas Virtuales.
 - Acceso remoto y teletrabajo.

En general, todas las aplicaciones de tipo "acción o supervisión a distancia", las cuales aprovechan el hecho de que los puntos supervisados están

permanentemente disponibles. Ejemplos típicos: telemedicina, teleasistencia, televigilancia, telecontrol, telemedida, etc.

A continuación detallamos algunos de los más importantes servicios que se pueden brindar usando tecnología ADSL:

2.5.1 *Servicios bajo demanda*

Mediante las nuevas tecnologías de compresión de video y audio, podemos disfrutar de una película de video digital con una velocidad de 1.5 a 3 Mbps. ADSL proporciona un canal suficiente como para poder transportar varias películas, lo que permitirá al usuario tener acceso a video bajo demanda a través de la conexión telefónica, sin necesidad de antenas receptoras y a un precio competitivo. De la misma forma, música bajo demanda, TV mediante pago por visión.

Otra línea de negocio, dentro de los servicios bajo demanda, serán los video-catálogos, servicios de viajes con información en video, videojuegos on-line.

2.5.2 *Acceso a Internet a alta velocidad*

La explosión actual del interés por Internet ha creado una oportunidad clara para proporcionar un acceso a Internet a alta velocidad para usuarios y pequeñas empresas. La evolución de Internet hacia contenidos multimedia y servicios on-line, obliga a tener una conexión a alta velocidad. Comercio electrónico, relaciones con el banco, entre

otras, todas aquellas comunicaciones que requieran de seguridad pueden aprovechar la posibilidad del uso de video y sonido para establecerlas utilizando protocolos seguros de tunneling.

2.5.3 *Enseñanza a Distancia*

La enseñanza a distancia basada en la presentación de los temas con contenido multimedia necesita de un gran ancho de banda. Ahora ADSL lo hace posible. La enseñanza a distancia off-line, es decir, aquella en la que la clase está grabada en un formato multimedia y el alumno accede a ella reproduciéndola, es equivalente a un sistema de video bajo demanda. En las clases on-line, ADSL hace posible recibir video en vivo desde una clase remota mediante el par trenzado. Por ejemplo, un profesor puede impartir una clase en una localización, con alumnos en ella. Al mismo tiempo, otros estudiantes, en casa o en una clase remota reciben la clase en vivo. Además se establece una comunicación bidireccional de baja calidad (bajo ancho de banda) entre ambas clases, ofreciendo interactividad para que el alumno participe de forma activa en las clases. En este caso, nótese que, como veremos en apartados posteriores, el canal duplex es de baja capacidad (unos 600 Kbps) y permite una comunicación con calidad baja, mientras que el canal descendente, que es simplex, ofrece un canal de gran capacidad (unos 6Mbps) y la calidad de video es profesional. Otras posibilidades son: Cursos de idiomas, libros interactivos, acceso a CD-ROMs o DVDs remotos, etc.

2.5.4 *Telemedicina*

Los servicios de asistencia sanitaria remota (telediagnos) necesitan de una calidad de imagen muy elevada, ADSL proporciona un ancho de banda más que suficiente permitiendo transporte de imágenes (teleradiología) y videos de alta calidad. Otro campo de aplicación importante es la formación, los alumnos de una facultad de medicina pueden tener acceso a videos de operaciones o incluso a operaciones on-line. Además se podrían generar sistemas de información a la población con videos explicativos de enfermedades, formación y prevención.

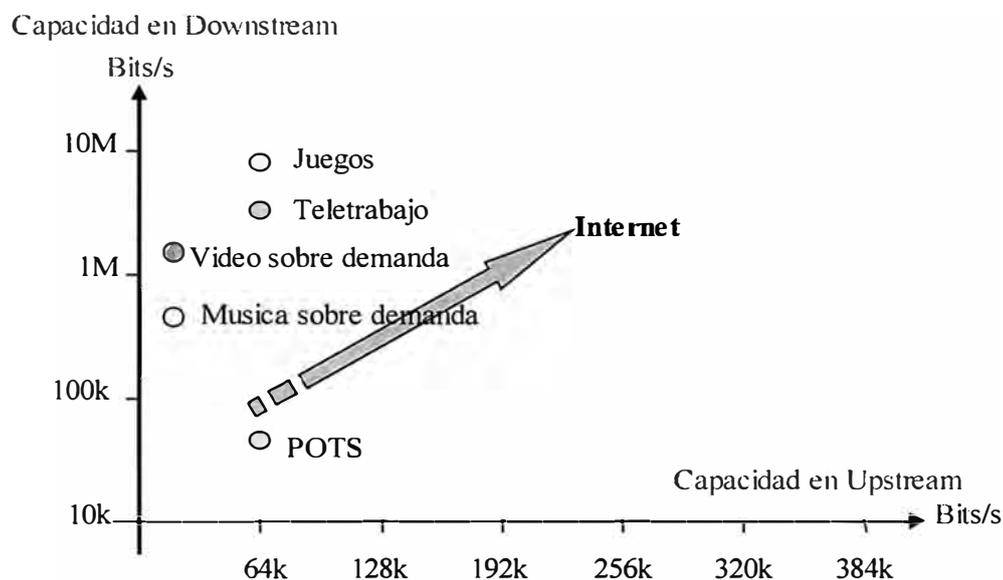
2.5.5 *Teletrabajo*

Aquellos teletrabajadores que desarrollen actividades de creatividad generando gran cantidad de información (Diseño gráfico, composición de música, otros) podrán enviar sus trabajos a alta velocidad estableciendo un acceso remoto de la empresa. Además, es común que los teletrabajadores reciban cursos de formación y actualización para poder realizar su trabajo. ADSL permitirá hacer llegar explicaciones en video directamente.

2.5.6 *Acceso Remoto a Redes / Interconexión de Redes.*

El acceso remoto a redes para descargar grandes ficheros simultáneamente con videoconferencia, sacará provecho de la

comunicación de alta velocidad que ofrece ADSL junto con el uso de protocolos seguros.



POTS : Plain Old Telephone Service

Figura 4.- Características de algunos servicios interactivos

2.6 Utilización de la infraestructura existente

Puesto que la tecnología ADSL utiliza el par de hilos de cobre (bucle de abonado), que conectan a cualquier usuario del servicio telefónico con la central local, la infraestructura básica para poder implementar esta tecnología se encuentra ya desplegada, gracias a la práctica universalidad del servicio telefónico por pares de cobre.

El par de cobre trenzado utilizado en el bucle de abonado de las redes de telefonía tiene un ancho de banda aproximado de 1 MHz (hasta 2 MHz según el estado de la línea). De todo este gran ancho de banda sólo se utiliza una porción mínima de unos 4 KHz para el canal de voz. La tecnología ADSL aprovecha el

ancho de banda no utilizado por el canal de voz para transmitir datos a mayor velocidad que los métodos de transmisión de datos tradicionales.

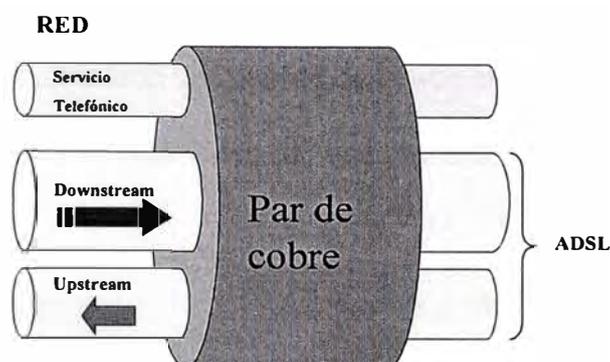


Figura 5.- Línea con servicio ADSL

No existen, como se constata en el ámbito internacional, vías alternativas que puedan proporcionar en el mismo plazo y con equivalente extensión, soluciones para la provisión de servicios de banda ancha, como es capaz de hacerse mediante ADSL. Por tanto, el empleo de esta tecnología beneficiará tanto a los operadores de telecomunicaciones como a los usuarios, permitiendo a estos últimos el acceso a los servicios de banda ancha de manera rápida y económica.

Con ADSL la red de acceso pasa de ser una red de banda estrecha capaz de ofrecer únicamente telefonía y transmisión de datos vía módem, a ser una red de banda ancha multiservicio. Y todo ello sin afectar a un servicio básico como es la telefonía.

2.6.1 Tráfico asimétrico sobre UTP

ADSL es una tecnología asimétrica, lo que significa que las características de la transmisión no son iguales en ambos sentidos: la velocidad de recepción de datos es mucho mayor que la de envío, lo cual hace de esta tecnología el

instrumento idóneo para acceso a los denominados servicios de información, y en particular la navegación por Internet (hasta 8 Mbps en sentido red-usuario y hasta 900 Kbps en sentido usuario-red). Normalmente, el usuario recibe más información de Internet de la que envía, lee más correo electrónico del que escribe y ve más vídeo del que produce.

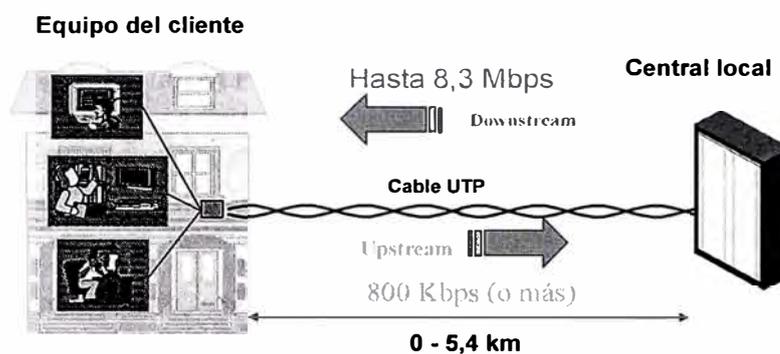


Figura 6.- ADSL Asymmetric Digital Subscriber Line

2.6.2 Espectro de frecuencia en ADSL

Como veremos en la figura 7, ADSL emplea los espectros de frecuencia que no son utilizados para el transporte de voz, y que por lo tanto, hasta ahora, no utilizaban los módems en banda vocal (estándares V.32 a V.90). Estos últimos sólo transmiten en la banda de frecuencias usada en telefonía (300 Hz a 3400 Hz), mientras que los módems ADSL operan en un margen de frecuencias mucho más amplio que va desde los 24 KHz hasta los 1104 KHz, aproximadamente.

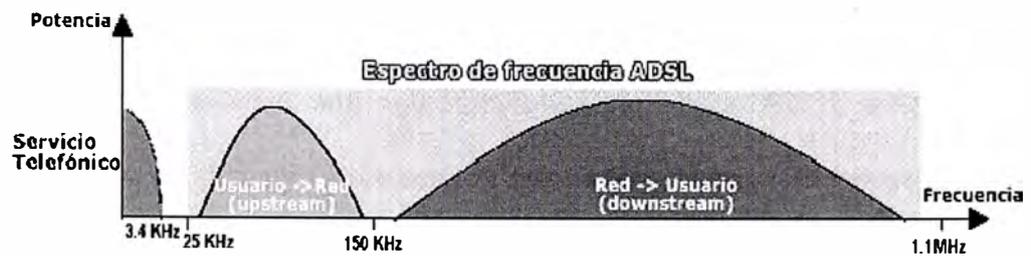


Figura 7.- Frecuencias de trabajo

Este hecho explica que ADSL pueda 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. Con ADSL es posible sobre la misma línea, hacer, recibir y mantener una llamada telefónica simultáneamente a la transferencia de información, sin que se vea afectado en absoluto ninguno de los dos servicios.

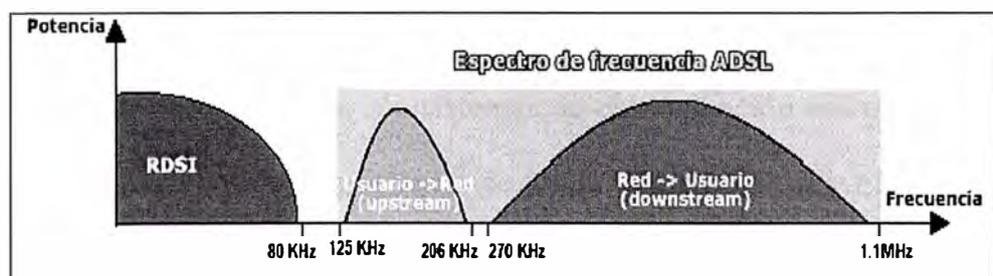


Figura 8.- ADSL con RDSI

Como vemos en la figura 8, también se puede ofrecer ADSL sobre RDSI empleando los espectros de frecuencia que no son utilizados por RDSI.

En el modelo utilizado por Telefónica del Perú los módems de este tipo manejan en sentido usuario-red frecuencias comprendidas entre 125 KHz y 206 KHz, y en el sentido red-usuario desde 270 KHz hasta 1104 KHz.

En este informe sólo se tratará ADSL sobre telefonía básica, si bien los conceptos que se vean son igualmente válidos para ADSL sobre RDSI, aunque se usa módems y filtros específicos para este rango de frecuencias

2.7 Limitaciones del ADSL

Los factores limitantes en ADSL se pueden clasificar como:

2.7.1 *Limitantes físicas:*

Estas limitaciones definen la máxima tasa de datos de un canal y están definidas por los teoremas de Nyquist, Shannon y Hartley.

En 1924 Nyquist estableció una ecuación que expresaba la máxima tasa de transmisión para una canal sin ruido de banda finita. El teorema de Nyquist da un máximo absoluto que no puede darse en la práctica. En particular, los ingenieros han observado que los sistemas de comunicación están sometidos a pequeñas cantidades de interferencia de fondo llamado ruido, y que tal ruido hace imposible lograr la razón máxima de transmisión teórica. En 1948, Claude Shannon basándose en los trabajos de Nyquist extendió el teorema para el caso de un canal con ruido aleatorio (ruido Térmico).

2.7.2 *Teorema de Nyquist*

Nyquist observó la existencia de un límite fundamental en las transmisiones digitales sobre canales analógicos, que se conoce como teorema de Nyquist, que establece que la tasa máxima (r) en Bits / segundo sobre un canal teniendo un pasabanda de ancho B en Hertz es dado por $r \leq 2B$.

Expresado de otra forma sería, el número máximo de baudios (número de símbolos o estados que se transmiten en un segundo) que puede transmitirse por un canal no puede ser superior al doble de su ancho de banda. Así, en el caso de la transmisión de datos por una línea telefónica, con un ancho de banda de 3 KHz, el máximo número de baudios que puede transmitirse es de 6000.

Podemos comprender intuitivamente el teorema de Nyquist si imaginamos cual sería la frecuencia que tendría una señal digital que transmitiera 6 Kbaudios; supongamos por sencillez que 1 baudio = 1 bps, o sea que manejamos únicamente dos estados, y que utilizamos una corriente de 1 voltio para indicar un bit a 1 y de -1 voltio para indicar un bit a 0, la frecuencia mínima de la señal, que sería de cero hertz, se produciría cuando transmiéramos continuamente ceros o unos, mientras que la frecuencia máxima se produciría cuando transmiéramos la secuencia 010101..., momento en el que obtendríamos una onda cuadrada de 3 KHz de frecuencia (ya que cada dos bits forman una oscilación completa); así pues para transmitir 6 Kbaudios, necesitaríamos un ancho de banda de 3 KHz, conclusión que coincide con la que habríamos obtenido a partir del teorema de Nyquist.

El teorema de Nyquist no establece el número de bits por baudio, que depende del número de estados que se utilicen. Así en el caso anterior, si en vez de dos valores de voltaje utilizamos cuatro (-2, -1, 1 y 2 voltios por

ejemplo) con el mismo número de baudios (y de hertzios) podemos duplicar el número de bits por segundo.

Podemos expresar el teorema de Nyquist también en forma de ecuación relacionándolo con la velocidad máxima de transmisión, así si B es el ancho de banda y N el número de niveles o estados posibles, entonces la velocidad máxima de transmisión V viene dada por:

$$\mathbf{V = 2B \cdot \log_2 N}$$

Por ejemplo, en un canal telefónico (B=3 KHz) con tres bits por baudio (ocho estados, N=8) la máxima velocidad de transmisión posible es 18 Kbps.

Podemos calcular también la eficiencia “E” de un canal de comunicación, que es la relación entre la velocidad de transmisión y el ancho de banda:

$$\mathbf{E = V/B}$$

Así en nuestro ejemplo anterior la eficiencia era de 6 bits/Hz.

Combinando las dos fórmulas anteriores podemos expresar de otra forma el Teorema de Nyquist:

$$\mathbf{E = 2 \log_2 N}$$

Dicho de otro modo, la eficiencia máxima de un canal está fijada por el número de estados diferentes de la señal, o sea por la forma como se codifica ésta.

Debido a la relación directa que el teorema de Nyquist postula entre ancho de banda y velocidad de transmisión es frecuente en telemática considerar ambas expresiones como sinónimos, así decimos por ejemplo, que la transmisión de grandes ficheros necesita un elevado ancho de banda queriendo decir que requiere una elevada velocidad de transmisión.

El teorema de Nyquist es bidireccional, es decir, también se aplica en el sentido opuesto, cuando se trata de una conversión analógica a digital. Por ejemplo, para que un teléfono RDSI (códec) pueda capturar la señal de audio sin mermar la calidad respecto a una línea analógica, el teorema de Nyquist establece que la frecuencia de muestreo deberá ser como mínimo de 6 KHz. En la práctica los teléfonos digitales muestrean a 8 KHz para disponer de un cierto margen de seguridad. Los sistemas de grabación digital de alta fidelidad, que muestrean a 44.1 KHz, son capaces de capturar sonidos de hasta 22 KHz lo cual excede la capacidad del oído humano (en la práctica suelen filtrarse todas las frecuencias superiores a 20 KHz). Cuando el teorema de Nyquist se aplica en este sentido se le suele denominar teorema de muestreo de Nyquist.

2.7.3 Ley de Shannon-Hartley

El teorema de Nyquist supone la utilización de un canal de comunicación perfecto, es decir sin ruido. En la realidad los canales tienen, aparte de otros tipos de ruido, un ruido aleatorio llamado también ruido térmico, que se mide por su valor relativo a la señal principal, y se conoce como relación señal-ruido S/N (signal-noise ratio). El valor de esta magnitud se suele indicar en

decibelios (dB), que equivalen a $10 \log_{10} S/N$ (así 10 dB equivalen a una relación S/N de 10, 20 dB a una relación de 100 y 30 dB a una de 1000). Dado que la percepción de la intensidad del sonido por el oído humano sigue una escala logarítmica, la medida en decibelios da una idea más exacta de la impresión que producirá un nivel de ruido determinado (este parámetro es uno de los que se utilizan para medir la calidad de los componentes de un equipo de reproducción musical de alta fidelidad). En 1948 Shannon y Hartley generalizaron el teorema de Nyquist al caso de un canal de comunicación con ruido aleatorio, derivando lo que se conoce como la ley de Shannon-Hartley, que está expresada en la siguiente ecuación:

$$V = B \log_2 (1 + S/N)$$

De nuevo aquí B representa el ancho de banda y V la velocidad de transmisión. Por ejemplo, con un ancho de banda de 3 KHz y una relación señal-ruido de 30 dB (o sea 1000, valor típico de una buena conexión telefónica) obtenemos una velocidad de transmisión máxima de 29902 bps. Si la relación señal-ruido desciende a 20 dB (cosa bastante normal) la velocidad máxima baja a 19963 bps.

Si lo expresamos en términos de eficiencia obtendremos:

$$E = \log_2 (1 + S/N)$$

Vista de este modo la Ley de Shannon-Hartley establece una eficiencia máxima para un valor dado de la relación señal-ruido, independientemente de la frecuencia y del ancho de banda asignado al canal. Así por ejemplo, para una relación señal-ruido de 40 dB la eficiencia máxima teórica es de 13.3

bps/Hz. En la práctica la eficiencia de una señal depende de muchos factores y puede estar en un rango muy amplio, entre 0.25 y 10 bps/Hz.

Conviene destacar que tanto el teorema de Nyquist como la Ley de Shannon-Hartley han sido derivados basándose en planteamientos puramente teóricos y no son fruto de experimentos, además de eso han sido verificados reiteradamente en la vida real. Por tanto, su validez puede considerarse universal y los contraejemplos deberían tratarse con el mismo escepticismo que las máquinas de movimiento perpetuo. Haciendo un cierto paralelismo con la Termodinámica se podría decir que el Teorema de Nyquist equivale al primer principio de la Termodinámica (que postula la ley de conservación de la energía) y la Ley de Shannon-Hartley equivale al segundo principio, que establece que no es posible convertir totalmente en trabajo útil la energía obtenida de una fuente de calor, o dicho de otro modo, que un motor nunca puede funcionar al 100% de eficiencia.

También podemos expresar el teorema de Shannon-Hartley de la siguiente forma:

$$\text{Capacidad [bps.]} \approx (1/3) * B * S/N$$

B: Ancho de Banda
S/N: Relación Señal a Ruido (expresado en dB)

Para el caso real de una línea ADSL usando par de cobre desprotegido UTP (Unshielded Twisted Pair), tendremos el comportamiento mostrado en la figura 9.

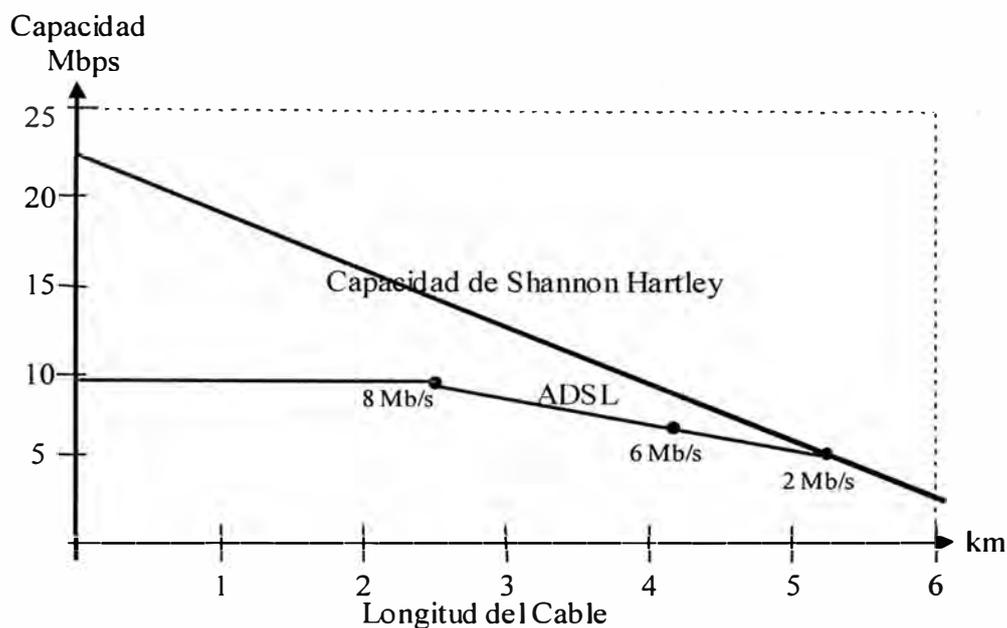


Figura 9.- Capacidad de Shannon-Hartley para el UTP

2.7.4 Atenuación.

Con el fin de maximizar la calidad del enlace ADSL, es necesario que se midan las características físicas del par de cobre. Algunos de los parámetros importantes se mencionan a continuación:

- Atenuación debido a la frecuencia.

La característica principal de un cable desde el punto de vista de transmisión de datos es su atenuación. La atenuación se produce por la pérdida de energía radiada al ambiente, por lo que cuanto más apantallado o protegido está un cable, menor es ésta. El cable UTP de categoría más alta tiene menor atenuación, ya que el mayor número de vueltas le da un mayor apantallamiento. Por el contrario, menor atenuación tiene el cable STP (Screened Twisted Pair) o el cable coaxial.

La atenuación depende de la frecuencia de la señal transmitida, a mayor frecuencia mayor atenuación cualquiera que sea el tipo de cable.

En un par de cobre la atenuación por unidad de longitud aumenta a medida que se incrementa la frecuencia de las señales transmitidas.

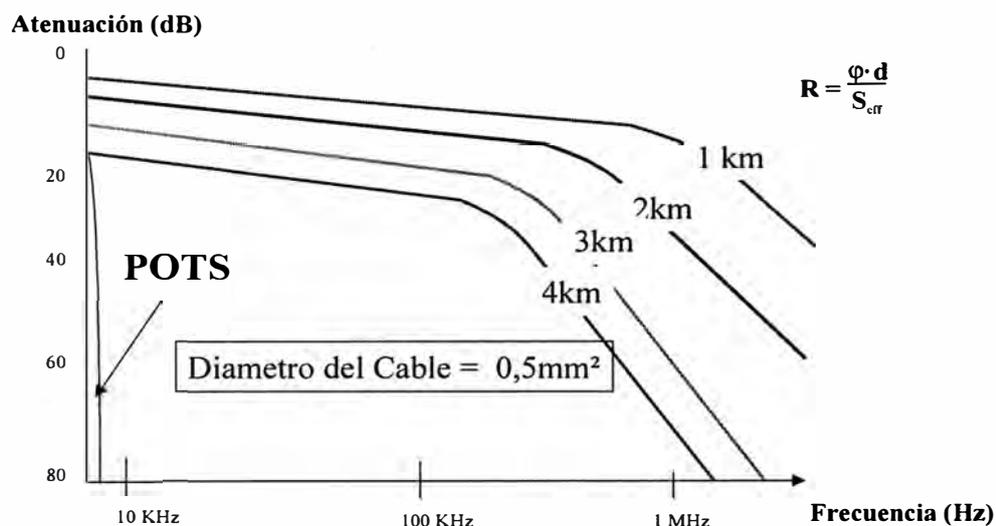


Figura 10.- Atenuación causada por las características de frecuencia

- Atenuación debido a la distancia

La distancia del cable también es un factor limitante en ADSL, ya que cuanto mayor es la longitud del bucle, mayor es la atenuación total que sufren las señales transmitidas.

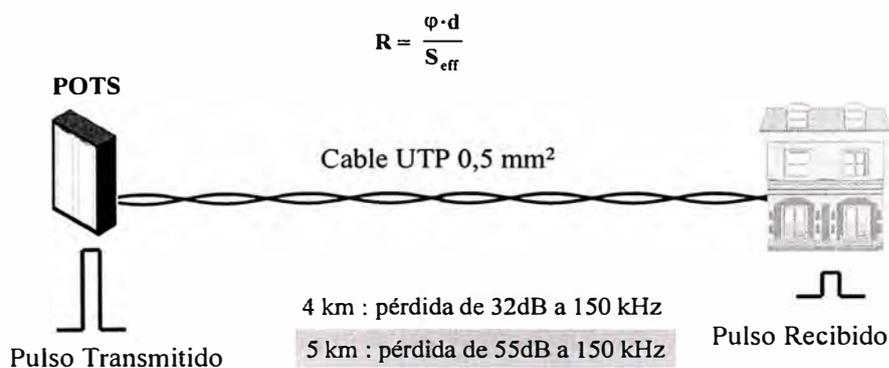


Figura 11.- Atenuación debido a la distancia

Las distintas velocidades que ofrece ADSL son en función de la longitud del cable telefónico y del estado del mismo. Según las características de esta tecnología, para alcanzar las velocidades de 1.5 a 2 Mbps, es necesario que la distancia máxima no sea más de 5.5 Km entre un módem ADSL y otro, es decir desde donde se encuentra el ordenador del usuario hasta donde está la central telefónica más próxima. En muchos casos ésta circunstancia no será ningún inconveniente, ya que en centros urbanos o periferias de grandes ciudades, es probable que exista una central telefónica con ADSL en una distancia inferior.

La atenuación en la línea crece con la longitud del cable y la frecuencia, y decrece al aumentar el diámetro del cable. Esto explica que el caudal máximo que se puede conseguir mediante los módems ADSL varíe en función de la longitud del bucle y las características del mismo.

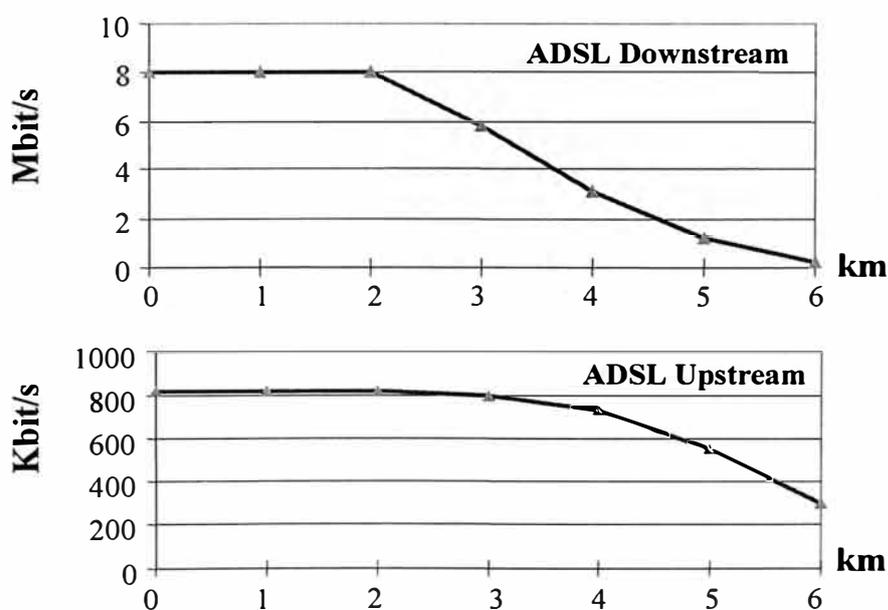


Figura 12.- Decaimiento de la velocidad en función de la distancia

De lo anterior deducimos que la velocidad de transmisión depende de la longitud y diámetro del cable. Existen otros factores que también afectan la la velocidad de transmisión, algunos de estos son:

- Presencia de ramas multipladas.
- Estado de conservación del bucle.
- Acoplamiento de ruido.
- Diafonía introducida por otros servicios (RDSI, xDSL).

En la siguiente figura se muestra las prestaciones máximas de ADSL en sentido downstream para diversos cables conductores (sin tener en cuenta ruido y puentes o ramas multipladas).

VELOCIDAD	TIPO DE CABLE	DISTANCIA	GROSOR DEL CABLE
1.5 ó 2 Mbps	24 AWG	5.5 Km	0.5 mm.
1.5 ó 2 Mbps	26 AWG	4.6 Km	0.4 mm.
6.1 Mbps	24 AWG	3.7 Km	0.5 mm.
6.1 Mbps	26 AWG	2.7 Km	0.4 mm.

Figura 13.- Rendimiento de ADSL

Como vemos, la capacidad de transmisión decrece al aumentar la longitud del bucle. Al disminuir el diámetro del bucle también decrece la longitud máxima de alcance.

La presencia de ruido externo provoca la reducción de la relación S/N con la que trabaja cada una de las subportadoras, y esa disminución se traduce, como habíamos visto al hablar de la modulación, 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 abonado y la central.

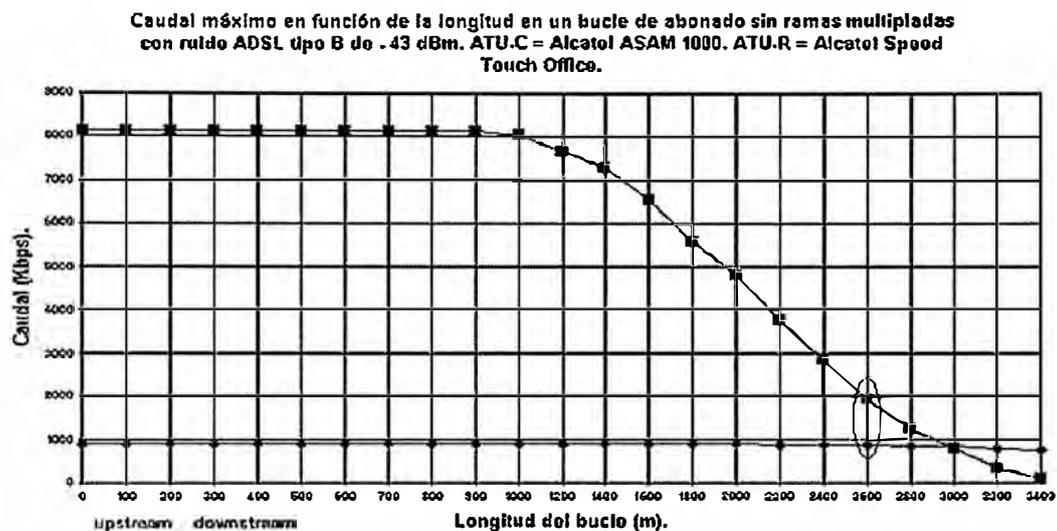


Figura 14.- Curva Caudal vs Distancia

Como vemos en la figura 14, hasta una distancia de 2.6 Km de la central, 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 del 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.

- Atenuación debido a la interferencia externa

Dentro de los factores físicos que afectan a una línea ADSL esta también la atenuación debido a agentes externos. Como ejemplo tenemos la atenuación producidos por los Taps:

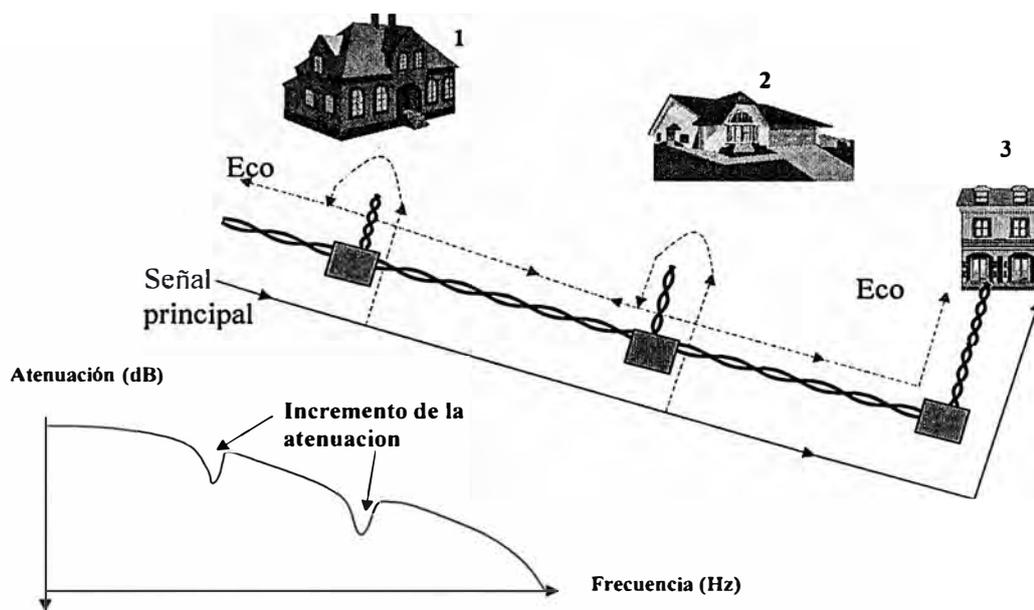


Figura 15.- Atenuación causada por taps

La interferencia externa causa en muchos casos dispersión del pulso transmitido, esto se muestra en la figura siguiente.

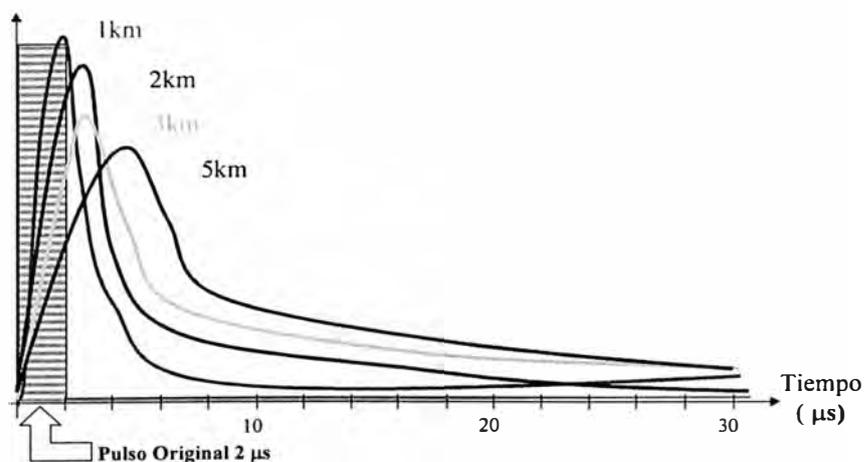


Figura 16.- Dispersión del pulso

- Efecto Crosstalk

Se debe tener en cuenta que en la medida en que aumente la velocidad de transmisión en ADSL, más crítica será la influencia de parámetros como la capacitancia y crosstalk.

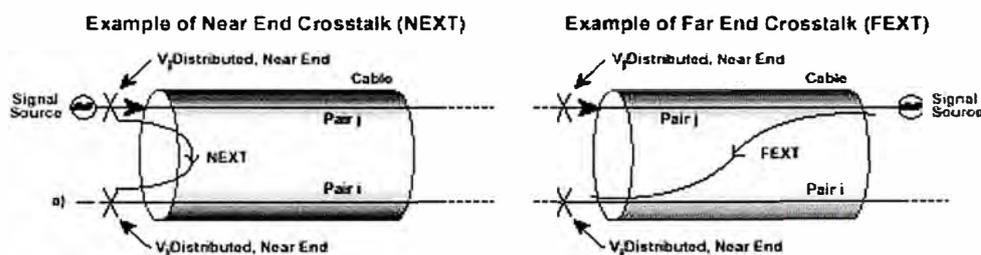


Figura 17.- Efecto Crosstalk en un línea de cobre

Como ya hemos visto, el ruido tiene diversas causas, por un lado esta el ruido térmico, que es inevitable pues es intrínseco a la señal transmitida. También puede haber interferencia producida por otros pares de hilos telefónicos próximos conocida como cruce de líneas o efecto crosstalk. Finalmente hay interferencia debida a fenómenos eléctricos próximos (motores, rayos, equipos RFI, etc.).

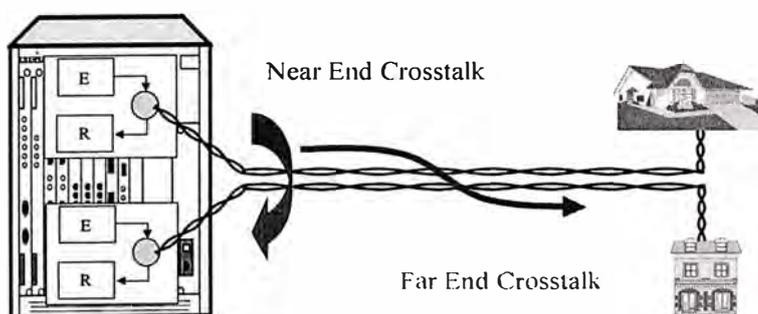


Figura 18.- Efecto Crosstalk Near End / Far End en el bucle de Abonado

La diafonía es la influencia electromagnética de un circuito sobre otro vecino, por tanto, el efecto crosstalk viene a ser la diafonía existente entre pares de cobre cercanos. Este efecto no se percibe a distancias pequeñas, pero a mayores distancias se aprecia en forma de eco.

Near End Crosstalk:

Siempre que una señal eléctrica se transmite por una unión (empalme, conector, etc.), una parte de la señal original es reflejada hacia atrás (de forma similar a lo que ocurre cuando enfocamos el haz de una linterna hacia el cristal de una ventana), esta pequeña señal es recogida por los amplificadores y llevada hasta su origen, donde puede llegar a ser audible. Si el retraso con que llega la señal reflejada es mayor de 65 milisegundos ésta se percibe como un eco claramente diferenciado de la señal original, y entre 20 y 65 ms de retardo produce un sonido que confunde a la persona que habla; por debajo de 20 ms el efecto no es perceptible. Cuando el punto donde se produce la reflexión está a menos de 2 Km del origen, la señal llega a la persona que habla con un retraso menor de 20 ms, con lo que no hay problema de eco. Para evitarlo en conexiones de distancia superior a los 2 Km se han desarrollado unos dispositivos denominados supresores de eco, que actúan a modo de válvulas forzando una comunicación half dúplex por la línea; los supresores de eco son capaces de invertir su sentido de funcionamiento en unos 2 a 5 milisegundos cuando cambia la persona que habla.

Otros factores también importantes son:

- Limitantes Gubernamentales

Uso de frecuencias, nivel de diafonía (en el Perú, el nivel máximo de diafonía es de 65 dB debajo de la señal)

- Limitantes Tecnológicas: Disponibilidad de componentes

- Limitantes ambientales y de equipo: RFI, atenuación

CAPÍTULO III

TÉCNICAS DE MODULACIÓN EN ADSL

Este es el capítulo principal del presente informe, en el cual trataremos principalmente sobre las técnicas de modulación empleadas en ADSL que garanticen la prestación de los servicios mencionados anteriormente.

Como ya sabemos, nosotros queremos velocidad de bit máxima y al mismo tiempo una probabilidad de error de bit muy bajo. Estos parámetros pueden mejorar si la potencia de transmisión se aumenta y/o el ancho de banda se aumenta y/o la complejidad del sistema se aumenta. Desde luego que se desea un mínimo de potencia, ancho de banda y complejidad de sistema. Es más, el sistema de comunicación pone un límite en estos parámetros. Un número máximo de usuarios debe poder usar un servicio confiable con un mínimo de retardo y un máximo de resistencia a la interferencia (esto es lo que el usuario requiere).

Existen diversas formas de alterar una señal portadora de alta frecuencia para generar una onda modulada, este es uno de los puntos que trataremos como requisito previo a las técnicas de modulación en ADSL.

Para ADSL existen dos esquemas definidos de modulación que compiten: CAP (Carrierless Amplitude Phase) no estandarizada y DMT (Discrete Multi-Tone) ya estandarizada por el ANSI/ETSI/ITU. Ambos utilizan la técnica de modulación QAM, que explicaremos en forma detallada en este capítulo.

3.1 Fundamentos Básicos de Modulación

La información que se intercambia en un proceso de comunicación de datos es de tipo binario, es decir, está constituida por señales que solo pueden adoptar dos valores discretos (“1” y “0”), con transiciones bruscas entre ambos estados.

El espectro de estas señales contiene en consecuencia una serie de componentes de alta frecuencia que precisamente son las que dan la forma “cuadrada” a la señal.

Las líneas telefónicas tienen, como sabemos, un ancho de banda limitado a 3100Hz, en el rango de 300 a 3400Hz, por lo que las frecuencias superiores a la misma no se van a transmitir. Cuando se utiliza una línea telefónica para transmisión de datos va a haber, por tanto, un recorte de las frecuencias altas que implicará un redondeo de la señal. Esto, unido a la atenuación introducida por la resistencia de la línea, hace que la información sea irreconocible en el extremo receptor.

Para evitar estos problemas es necesario utilizar dispositivos que transformen la señal digital en una analógica y que sean capaces de enviar la información binaria alterando algún parámetro de la señal analógica. Estos dispositivos reciben el nombre de MODEM (MOdulador-DEModulador).

Un módem genera una señal sinusoidal con una frecuencia comprendida en la banda vocal (de 300 a 3400Hz) denominada PORTADORA. Para introducir la información binaria, el MODEM puede modificar la amplitud, frecuencia o fase de dicha señal de acuerdo con los unos y ceros de la señal digital. Este es el proceso denominado MODULACIÓN. En el extremo distante el módem deberá convertir los cambios de la señal analógica en unos y ceros, realizando un proceso de DEMODULACIÓN.

3.2 Técnicas de modulación de una señal.

Estas técnicas hacen que se modifique uno de los parámetros de la señal portadora (amplitud, frecuencia o fase) generando diferentes estados de la señal (básicamente son tres).

3.2.1 Modulación de Amplitud ASK (Amplitude shift keying)

Se modifica la amplitud de la señal, esto quiere decir que se asigna a cada estado de la señal digital un valor de amplitud. Por ejemplo al “1” se le representa por presencia de portadora y al “0” por ausencia.

3.2.2 Modulación en Frecuencia FSK (Frequency shift keying)

Se modifica la frecuencia, esto significa que se utilizan distintos valores de frecuencia de la portadora para representar los bits de la señal. Este método se utiliza bastante en módems de baja velocidad (normalmente hasta 1200 bps) dado que es sencillo y con una inmunidad al ruido relativamente buena.

3.2.3 *Modulación en Fase PSK (Differential phase shift keying)*

En este método se cambia la fase de la portadora de acuerdo con los cambios de la señal digital. Es un método muy fiable bastante utilizado en módems de alta velocidad. En el sistema de modulación de fase diferencial la portadora cambia de fase 180 cuando trasmite un “1” y permanece con la misma fase cuando trasmite un “0”.

Pero existen limitaciones, pues cualquiera de estas modulaciones presenta un límite a la velocidad de transmisión que es inherente al propio método. Esto es debido a que el extremo receptor (módem) necesita que la señal esté presente en línea, sin cambios, un tiempo mínimo para poder reconocerla. Así por ejemplo si utilizamos una portadora de 2400Hz y el receptor necesita un ciclo completo para reconocer la señal, no se podrán enviar señales digitales de velocidad superior a 2400 bps.

- **Modulación Multibit o en Baudios**

Para evitar las limitaciones de las modulaciones indicadas en el apartado anterior, cuando se deban utilizar velocidades de transmisión superiores hay que recurrir a métodos de modulación algo más complejos que el asignar un bit por cambio de señal, como hacen los que hemos descrito hasta ahora. Estos métodos se denominan multibit (símbolos) porque utilizan señales con varios estados o niveles a los que se asignan grupos de 2, 3 o más bits.

Estos métodos se utilizan generalmente con modulaciones DPSK y ASK. Si suponemos que la mínima cantidad reconocible de portadora es un ciclo, la

velocidad de transmisión será el doble de la frecuencia de la misma, si en cada ciclo se transmiten dos bits.

Velocidad de modulación = Baudios y bits por segundo.

El sistema de modulación multibit comentado en el apartado anterior es un buen ejemplo para ilustrar la diferencia entre “baudios” y “bits por segundo”. Ambos términos ya se utilizaron anteriormente pero así hubiera alguna duda lo aclararemos en esta parte. Estos dos términos son usados para medir la velocidad de transmisión y son confundidos muy a menudo, aunque responden a conceptos diferentes.

A continuación explicaremos la diferencia entre velocidad de símbolo y velocidad de bit.

Consideremos una modulación en amplitud sencilla, cuando se quiere enviar información digital sobre una línea, ésta se puede transmitir representando un bit con un cierto nivel de voltaje, por ejemplo +3v para un uno lógico y -3V para un cero lógico.

Cuando representamos un sólo bit con un cierto nivel de voltaje la velocidad de símbolo es igual la velocidad de bit.

Cuando agregamos mas niveles de voltaje se pueden especificar más bits por símbolo, por ejemplo +3V representan la secuencia de bits 11, +1V representa 10, -1V representa 01 y -3V representan el 00

$$\frac{\text{Bits}}{\text{sec}} = \frac{\text{simbolos}}{\text{sec}} \times \frac{\text{bits}}{\text{simbolos}}$$

Con el ejemplo anterior hemos colocado 2 bits e un símbolo con lo cual duplicamos la velocidad de bit. Por otro lado la velocidad de símbolo permanece constante. De donde definimos:

Velocidad de Bit: expresada en bits por segundo (bps)

Velocidad de símbolo: expresada en baudios

Baudio: Mide la velocidad máxima de los cambios de señal en línea o, dicho de otra forma, es la inversa del mínimo intervalo significativo.

Bits por segundo: Mide la velocidad de transferencia de información, es decir, el número real de bits que se transfieren cada segundo.

Ambas se relacionan de la siguiente forma:

$$\text{Bits por segundo} = \log_2 N * \text{baudios}$$

De acuerdo con esto, los términos baudio y bit por segundo, sólo se pueden utilizar indistintamente cuando a cada estado significativo en línea le corresponda un bit de información.

3.2.4 *Modulación QAM.*

Utilizando modulación multibit, la velocidad de transmisión puede aumentar sin más que utilizar ángulos de fase. Esto, no obstante, hace que la señal sea más compleja y por tanto más sensible al ruido y con equipos mucho más complejos.

En los casos en que la velocidad es crítica, suele emplearse una combinación de modulación de fase y amplitud denominado QAM (Quadrature Amplitude Modulation).

Por ejemplo en el caso en el que se utilicen dos niveles de amplitud en combinación con cuatro valores de fase con lo que se codifican 8 posibles símbolos de tres bits cada uno. En este caso la velocidad de transmisión será tres veces la capacidad en baudios de la línea.

Una forma cómoda de visualizar los estados de la señal en línea en sistemas de modulación QAM de cierta complejidad, consiste en utilizar diagramas vectoriales en los que a cada posible estado le corresponde un punto definido en el diagrama mediante una amplitud y una fase. Este tipo de modulación se verá más adelante con más detalle ya que es usado en ADSL.

3.3 Estándares de modulación - Normas de la serie V.

El CCITT ha normalizado una amplia gama de módems a fin de facilitar la realización de enlaces internacionales de datos. Estas recomendaciones cubren prácticamente la totalidad de las necesidades actuales pero, dado que continuamente aparecen nuevas posibilidades gracias al progreso tecnológico, la lista de módems normalizados no puede considerarse cerrada. A continuación detallamos algunos de las normas de modulación de la serie V:

- V.24: Lista de definiciones para circuitos de comunicación de datos entre DTEs y DCEs.
- V.29: Padrón para uso general en módems en circuitos punto a punto con 4 hilos y tasas de 9600 bps.

- V.32: Padrón para uso general en módems dobles en circuitos telefónicos conmutados con tasas de 9600 bps.
- V.34: Transmisión de Voz y Datos en forma simultanea, a velocidades a partir de 28.8 Kbps. Los datos son multiplexados en paquetes. Las velocidades de 28,8 Kbps y superiores son difíciles de conseguir en la práctica, ya que el más mínimo defecto en la línea impide su funcionamiento por esto el estándar V.34 prevé una gran variedad de velocidades; de esa manera los módems pueden establecer en cada caso la velocidad máxima posible de acuerdo con las condiciones de la línea. Puede ocurrir además que la calidad no sea igual en ambos sentidos, en cuyo caso los módems podrán establecer velocidades asimétricas, cada una ajustada lo más posible a las condiciones. Incluso durante una sesión los módems monitorizan la tasa de errores, y puede haber un cambio de velocidad 'sobre la marcha' hacia arriba o hacia abajo si la situación lo requiere (fenómeno conocido como 'retraining').
- V.35: Transmisión de datos a 48 Kbps usando circuitos con banda entre 60 y 108 Hz.
- V.90: Es una norma internacional nueva para comunicaciones de datos de 56K.

V.42: Este estándar incluye compresión y corrección de errores (V.42 y V.42bis respectivamente). Usado en la mayoría de los módems actuales ya que incluyen compresión y corrección de errores, lo cual es muy interesante pues evitan que lo tenga que incorporar el software de comunicaciones. Los protocolos estándar para esto son el V.42 (corrección de errores) y el V.42bis (compresión), y se

utilizan siempre conjuntamente. El V.42bis utiliza el algoritmo de compresión conocido como Lempel-Ziv (de sus inventores) que se emplea en muchos programas de compresión. Es bastante eficiente y consigue ratios de compresión que pueden llegar a ser 4:1.

Según la ley de Shannon-Hartley la velocidad de 33,6 a la que llega el estándar V.34 se encuentra en el límite de lo posible en una conexión telefónica analógica. Algunos fabricantes han sacado al mercado módems que permiten conexiones asimétricas de 56/33,6 Kbps (56 en sentido 'descendente', proveedor a usuario y 33,6 en sentido 'ascendente' usuario a proveedor) siempre y cuando el proveedor esté conectado a RDSI y no se produzca más de una conversión digital-analógica en el camino hacia el usuario. Esta es una tecnología que apareció en el 1997, también existían anteriormente en el mercado dos sistemas diferentes e incompatibles entre sí que ofrecen velocidad a 56 Kbps estas eran: la denominada X2 de U.S. Robotics y la K56Flex de Rockwell. Estas fueron reemplazadas una nueva norma internacional V.90 para comunicaciones de datos a 56K.

3.4 Módems de banda base.

Los módems en banda base, realmente no son módems, aunque comercialmente se les llame así, se les podría llamar adaptadores de terminal en banda base, pues lo que hacen realmente es adaptar la señal a una línea en banda base, no modulan ni demodulan.

Como acabamos de indicar, el MODEM banda base debe realizar una adaptación de la señal para hacerla compatible con la línea. Esta adaptación se centra

básicamente en dos aspectos: eliminación de componente continua e introducción de suficiente número de cambios que permitan reconstruir el reloj en recepción.

Para conseguir esto existe una gran variedad de códigos de línea de los que presentamos algunos a título de ejemplo:

- UNIPOLAR: Se asigna a cada símbolo “0” ó “1” los niveles 0 y +V voltios. Esta sería la forma de señal original antes de codificar.
- POLAR NRZ: Similar al anterior, pero utilizando los niveles +V y -V. Gran parte de la potencia transmitida se concentra alrededor de la frecuencia cero.
- POLAR RZ: Igual al anterior, pero pasando la señal a 0 voltios en mitad de cada bit.
- NRZ DIFERENCIAL: Se produce un cambio de nivel si la señal es “1” y permanece si es “0”.
- BIFASE -L O MANCHESTER: Se produce una transición en la mitad de todos los bits. Esta transición es de +V -V si el bit es “0”.y la transición contraria si es “1”.
- BIFASE -M: Se produce una transición siempre al principio de cada bit. Si el bit es “1” se produce otra transición en la mitad del mismo mientras que si es “0” no se produce.
- BIPOLAR: En los códigos bipolares un bit se codifica con dos niveles. En el caso más sencillo el “0” le corresponde el nivel 0V y al “1” los niveles +V y -V de forma alternada.
- 2B1Q: Una secuencia de dos bits se transmite como un pulso de señal de cuatro niveles. 2B1Q es un tipo de codificación de línea, en la cual, pares de bits binarios son codificados de 1 a 4 niveles para la transmisión (por tanto 2

binarios/1 cuaternario). Será utilizada, exclusivamente, en la tecnología IDSL.

Si bien es cierto, en las diferentes técnicas de modulación, hemos visto que no todas se utilizan para ADSL, sin embargo nos es muy útil para poder entender el proceso de modulación.

3.5 Multiplexación en ADSL

Para crear varios canales, los módems ADSL dividen el ancho de banda disponible de la línea telefónica utilizando para ello dos métodos:

- Multiplexación por división de frecuencias(FDM)
- Cancelación del eco

La técnica FDM asigna un ancho de banda para los datos enviados a la central telefónica y otra para los procedentes de esta. La cancelación del eco superpone ancho de banda dirigido al usuario al ancho de banda dirigido a la central y luego las separa mediante la supresión de eco local, de la misma forma que se hace en los módems V.32 y V.34, este sistema permite utilizar el ancho de banda con más eficacia, pero a cambio de un mayor coste y complejidad.

En ambos métodos, FDM y cancelación del eco, es necesario añadir un filtro, que separa una banda de 4 KHz para la línea telefónica habitual. De esta forma el tráfico de voz y de datos pueden transmitirse por el mismo cable y eliminándose así la necesidad de tener una línea para voz y otra para datos. Esto quiere decir

que utilizando la tecnología ADSL es posible discriminar la información de voz y la de datos al mismo tiempo que se consigue una alta velocidad de transmisión

Como ya mencionamos, sea cual sea la técnica de modulación utilizada, el estándar ANSI T1.413, que veremos mas adelante, especifica que ADSL debe utilizar Multiplexación por División en la Frecuencia (FDM) o Cancelación de Eco para conseguir una comunicación full-duplex. Ambas técnicas reservan los subcanales más bajos para la voz analógica.

3.5.1 Multiplexación por División en la Frecuencia (FDM)

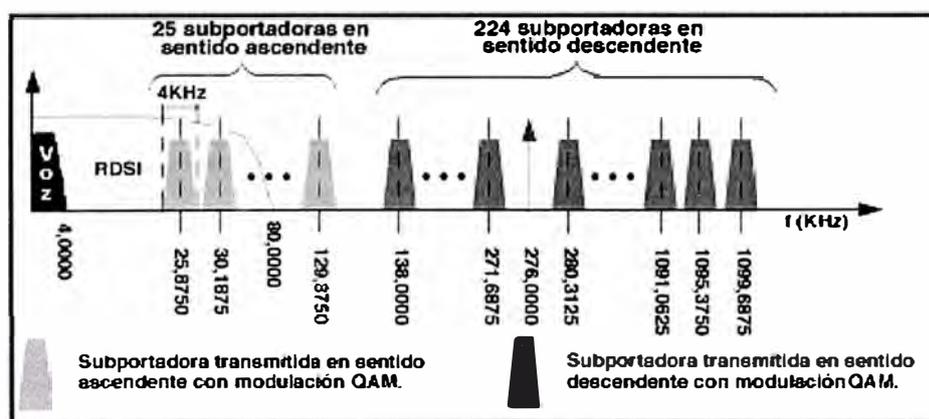


Figura 19.- Multiplexación por División de Frecuencia

Divide el rango de frecuencias en dos bandas, una de upstream (sentido ascendente) y otra de downstream (sentido descendente), 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, aquéllas para las que la atenuación del par de cobre es menor, no están disponibles.

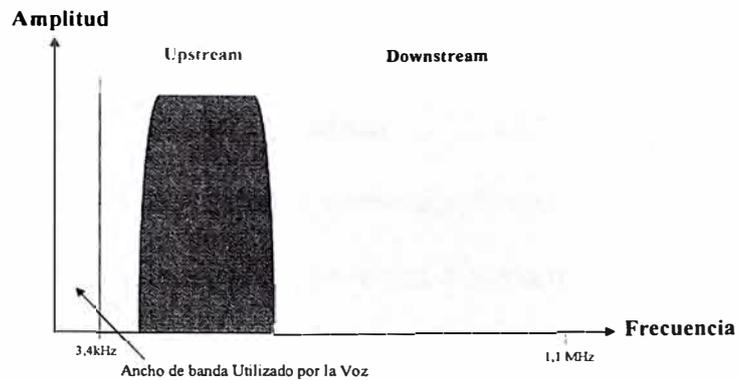


Figura 20.- FDM en ADSL

Este es el modelo usado en la actualidad en los equipos de Telefónica que es el operador que brinda servicios de ADSL en el Perú.

3.5.2 La Cancelación de Eco

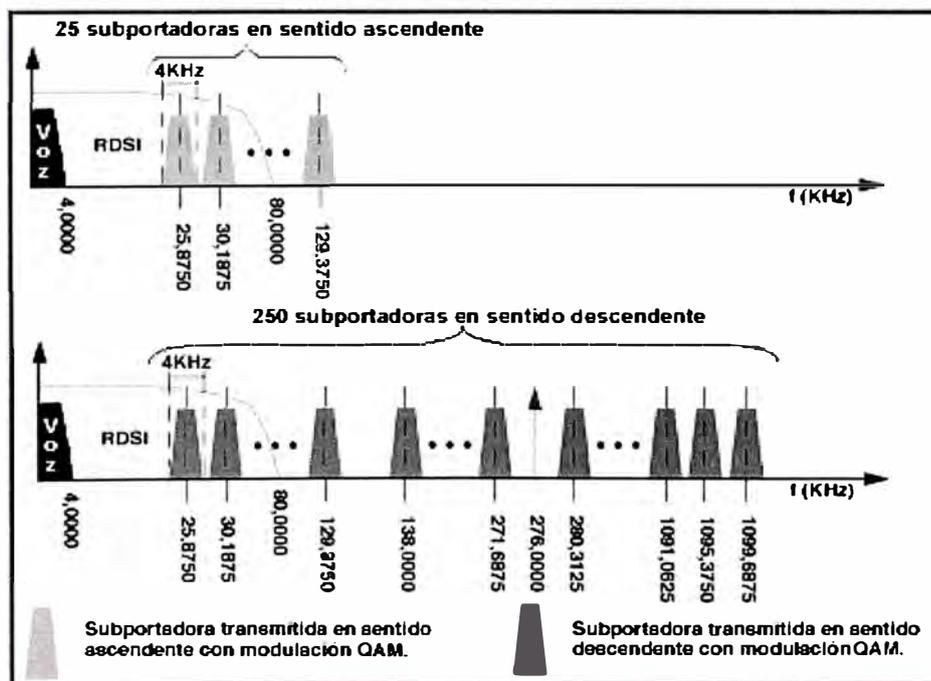


Figura 21.- Cancelación de Eco

Elimina la posibilidad de que la señal en una dirección sea interpretada como "una señal producida por una persona" en la dirección opuesta, y por tanto devuelta en forma de eco hacía el origen.

Por tanto separa de las señales correspondientes a los dos sentidos de transmisión, permitiendo mayores caudales a costa de una mayor complejidad en el diseño de los módems.

3.6 Modulación QAM

Anteriormente hemos dado una pequeña descripción de las técnicas de modulación en la cual se vio un poco la modulación QAM, pues bien ahora profundizaremos más en este punto, ya que esta técnica de modulación es usada en los módems ADSL.

La técnica de la modulación QAM usa dos portadoras, cada una de la misma frecuencia pero separadas en fase 90° . Esto significa que una portadora sigue a la otra separada un cuarto de ciclo. En transmisiones digitales, cada una es modulada en fase y amplitud por una porción de la señal de la entrada digital. Las dos señales moduladas se combinan entonces y se transmiten como una sola forma de onda. El equipo receptor sólo necesita invertir el proceso para producir una salida digital que puede procesarse para producir luego imágenes u otra información útil.

Estableciendo niveles de amplitud adicionales para representar entradas digitales específicas aumentarán el número de bits por segundo que puede transmitirse en un ancho de banda dado. Por ejemplo, si se aplican dos niveles de amplitud y dos

estados de fase a cada una de las portadoras, cada señal podría tener el valor de -3.0, -1.0, +1.0, +3.0 en un momento dado. En este ejemplo, un cambio de la fase ha ocurrido cuando la señal cambió de un valor negativo a un valor positivo. Si esto se hace a ambas portadoras, tenemos 16 posibles combinaciones. Esto es conocido como 16 QAM.

Extendiendo esto a 3 amplitudes nos permite generar 6 estados para cada portadora y 36 posibles combinaciones. Nosotros podemos escoger no utilizar ciertas combinaciones, y a menudo los 36 posibles estados de 36 QAM se disminuyen a 32 combinaciones específicas. Esto es conocido como 32 QAM. Esto permite la identificación de 32 o 25 palabras digitales si cada palabra es un estado específico de la señal modulada (también conocido como un "símbolo").

- **DIAGRAMAS de CONSTELACIÓN**

Estas señales complejas pueden visualizarse en forma gráfica muy fácilmente.

Si nosotros representáramos con un eje la primera portadora, los posibles estados para el caso de 16 QAM serían:

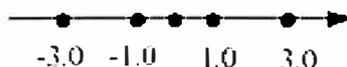


Figura 22.- Eje Horizontal Portadora (16QAM)

La figura 22 muestra la otra señal (en cuadratura) en un eje vertical para tener en cuenta el cambio de fase de 90° .

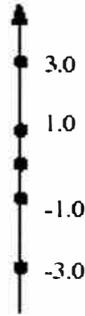


Figura 23.- Eje Vertical Portadora (16QAM)

La figura 23 muestra la combinación de estas dos señales. Esta imagen es conocida como el diagrama de la constelación.

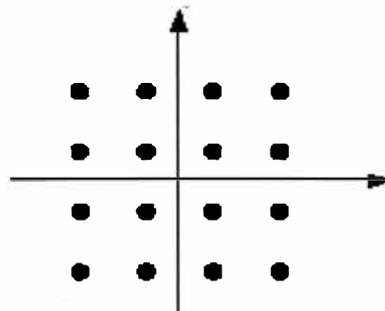


Figura 24.- Diagrama de Constelación (16QAM)

La técnica de modulación QAM es una técnica de modulación en 2-D ya que sus parámetros dependen de la variación de la amplitud y fase para cierta frecuencia:

$$y = A \cdot \text{Sen}(2\pi f \cdot t + \phi)$$

Para el caso de 16QAM tenemos 4 bits/símbolo. Representando la modulación de amplitud y fase tendríamos:

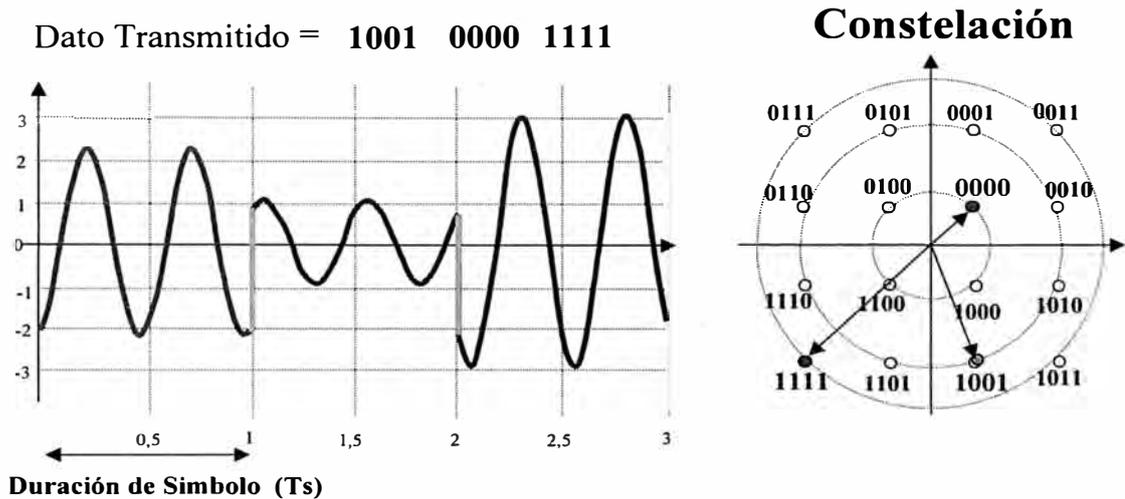


Figura 25.- Técnica de Modulación 16QAM

En la siguiente figura se propone un ejemplo de transmisión de los bits 001-010-100-011-101-000-011-110 usando QAM.

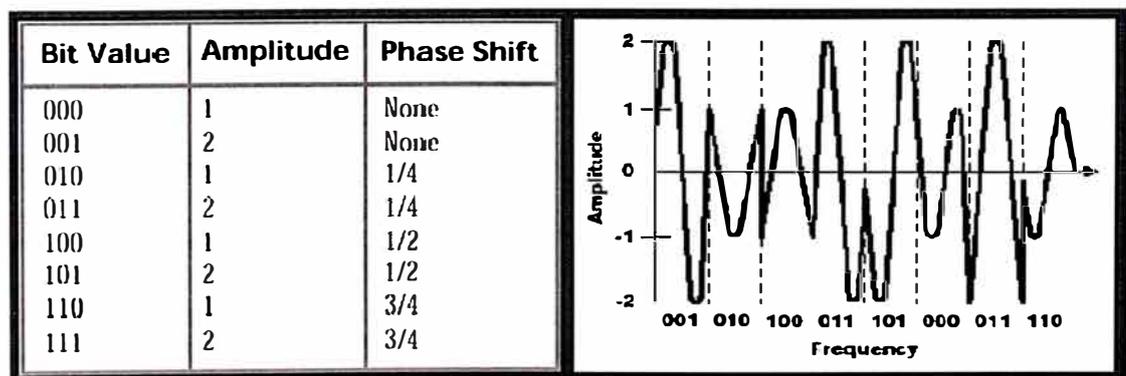


Figura 26.- Ejemplo de Transmisión de Bits usando QAM

Una constelación para 32 QAM se muestra en la figura 27 que muestra los estados de las esquinas perdidos que podrían usarse si deseáramos 36 QAM.

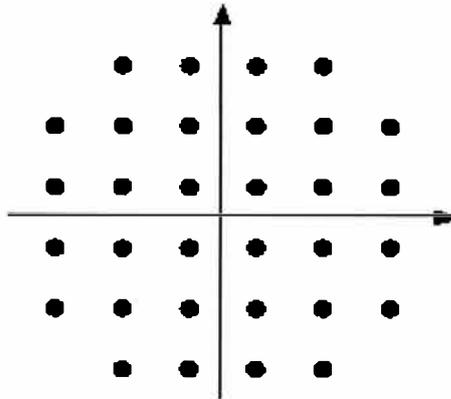


Figura 27.- Constelación para 32 QAM

- ***Reacción del QAM al Ruido***

La velocidad máxima alcanzable depende de la relación señal a ruido (S/N).

Entre más alta sea el nivel de la señal y menor sea la cantidad de ruido en la línea, más alta será la velocidad de datos posible en esa línea.

Capacidad b/s = f (ruido, Potencia, ancho de banda, etc)

Teorema de Shannon-Hartley: Capacidad b/s= 1/3 x W x S/N

Desafortunadamente un nivel bajo de ruido requiere un par de cobre de gran calidad lo cual puede llegar a ser muy costoso o no disponible.

Por otro lado el nivel de la señal está limitado para evitar la diafonía.

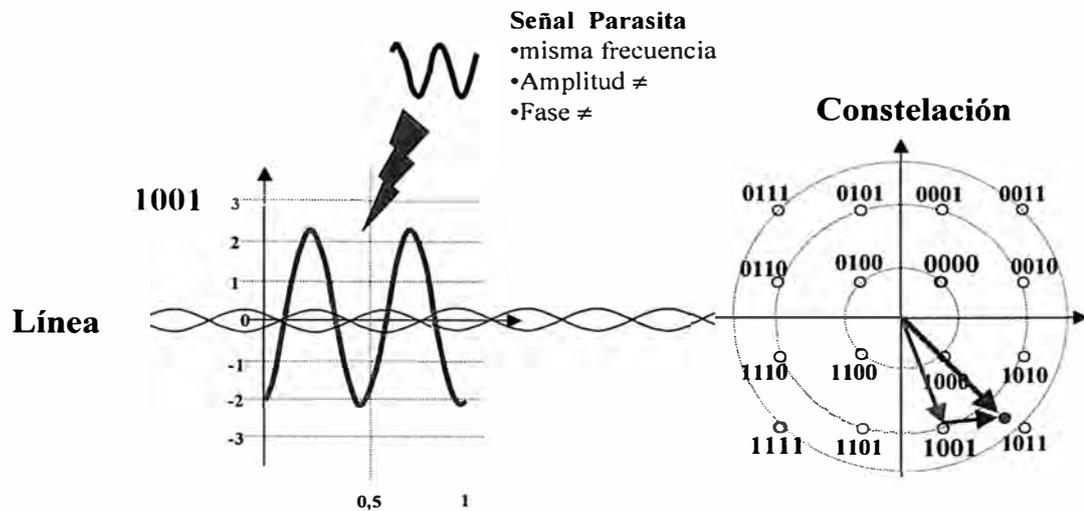


Figura 28.- Presencia del Ruido en QAM

Disminuir la relación señal a ruido puede causar un aumento en la tasa de bits erróneos (BER) en la línea, pero con las tecnologías existentes es posible detectar y corregir estos errores hasta un cierto nivel. Se puede decir que al introducir estas técnicas de detección / corrección aumentan la capacidad actual de las líneas para una S/N y BER dados.

Los principales inconvenientes de la modulación QAM son:

- El uso de la transformada de Fourier que, al introducir armónicos adicionales que no transportan información, consumen potencia y ancho de banda innecesarios
- Su elevado coste
- Su gran complejidad

3.7 Técnicas de modulación en ADSL

Las tecnologías DSL usan varios tipos de modulación que están regularizándose por la Unión de la Telecomunicación Internacional. En el caso de ADSL existen dos principales métodos de modulación que se puede usar, uno de ellos es DMT (Discrete Multitone), el otro es CAP (Carrieless Amplitude Phase).

El primero es un método de codificación multinivel multifase que da a la combinación de bit de datos unas modulaciones en ambas formas: amplitud y fase, creando una serie de señales que se envían sobre el par de líneas de cobre. Las frecuencias disponibles son divididas en 256 canales de 4.3125 KHz cada uno dentro del rango de 26 KHz y 1100 KHz.

A diferencia de DMT, CAP usa todo el rango de frecuencia desde los 4 KHz hasta 1.1 MHz como un solo canal. Esta misma modulación CAP es usada en módem estándares como V.32/V.32bis.

DMT es considerado una tecnología más confiable y sofisticada y muchos creen que dominará el futuro de las telecomunicaciones.

El estándar ADSL de la ITU-T define a DMT como el método de modulación a usar en los equipos de comunicación aunque existen algunos fabricantes que trabajan en el estándar CAP.

También existe una variante de DTM, esta es llamada DWMT (Discrete Waveler Multi-tone). En el presente informe lo describiremos con fines estrictamente de conocimiento por lo cual se dará solo una breve explicación.

3.7.1 Modulación por Multitonos discretos (DTM)

El estándar ANSI T1.413 ha adoptado DMT (Discrete Multitone - Multitonos Discretos) como la técnica de modulación en ADSL. DMT demuestra mayor inmunidad al ruido, mayor flexibilidad en la velocidad de transmisión y mayor facilidad para adaptarse a las características de la línea que otros métodos. Todo ello se traduce en fiabilidad en largas distancias de línea.

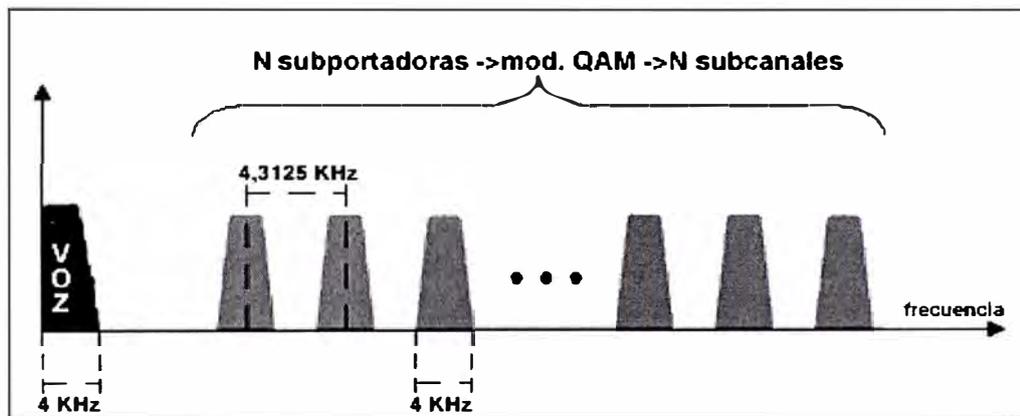


Figura 29.- Modulación usando Múltiples portadoras

La implementación básicamente consiste en el empleo de múltiples portadoras (multitonos) 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 y Amplitud (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.

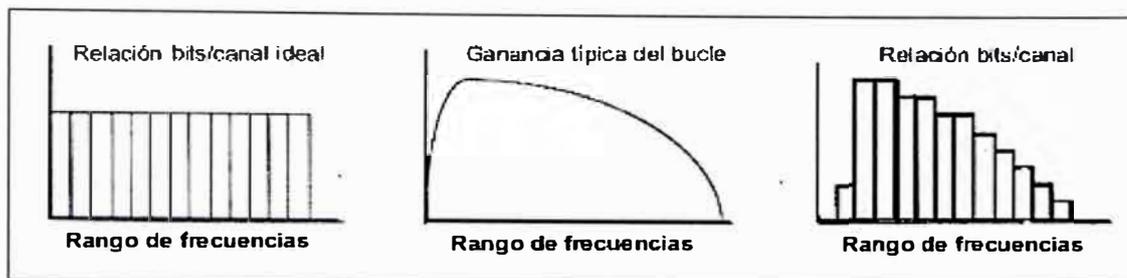


Figura 30.- Bits Transportados en Relación a las características de la Línea.

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, mayor es el caudal que puede transmitir por una subportadora, en definitiva el sistema se adapta a la respuesta del canal (ver figura 30) Esta estimación de la relación Señal/Ruido se hace al comienzo, cuando se establece el enlace entre el Modem de Usuario (denominado ATU-R) y el Modem del lado de la central (denominado 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.

Dado que las señales de alta frecuencia atravesando las líneas de cobre sufren mayores pérdidas en presencia de ruido, DMT divide las frecuencias disponibles en 256 subcanales. Como en el caso del sistema CAP, realiza una comprobación al comienzo de la transmisión para determinar la capacidad de la señal portadora de cada subcanal. A continuación los datos entrantes se fragmentan en diversos números de bits y se distribuyen entre una

determinada combinación de los 256 subcanales creados, en función de su capacidad para efectuar la transmisión. Para eliminar el problema del ruido, se transportan mas datos en las frecuencias inferiores y menos datos en las superiores.

- **Esquema usando DMT**

Al dividir el espectro de frecuencias en subcanales o tonos, tenemos la posibilidad de utilizar diferentes esquemas de modulación QAM de manera independiente para cada tono.

QAM-4 f1



QAM-16 f2



QAM-4 f3



$\Sigma = \text{DMT}$

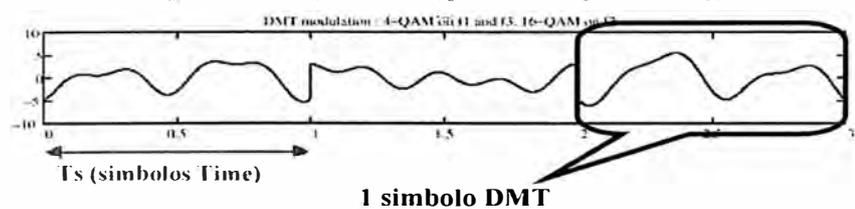


Figura 31.- Composición del símbolo DMT

Usando DMT el espectro usado por ADSL será dividido en 255 portadoras, siguiendo la siguiente distribución:

- Cada portadora esta situada en $n \times 4,3125$ KHz

- Usa Multiplexación por División de Frecuencia: Canales de Upstream y Downstream en distintos rangos de frecuencia
- Para el canal de upstream (transmisión) se usan las portadoras 7 a 29
- Para el canal de Downstream (recepción) se usan las portadoras 38 a 255
- Modulación QAM-4 (2 bits / símbolo) - QAM-16384 (14 bits / símbolo)
- El número de Símbolos/periodo $\approx 232\mu s$ ($=1/4312,5\text{Hz}$).
- El número de símbolos/s es de solo 4000 símbolos/s

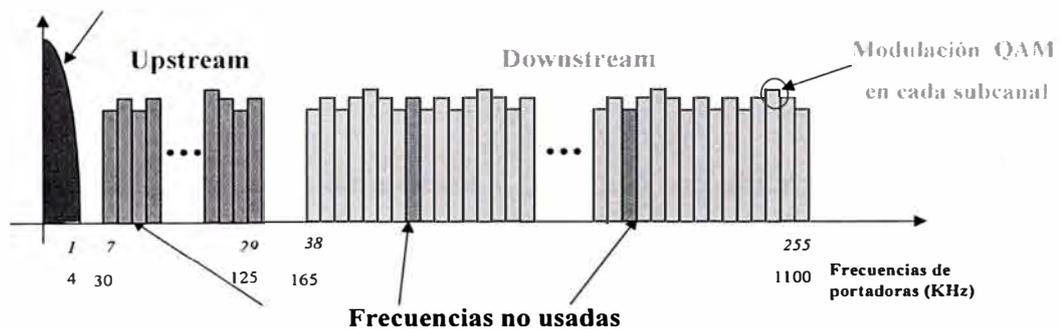


Figura 32.- Modulación por Multitonos Discretos: DMT

Siempre colocamos un número de bits por portadora menor al permitido por la S/N. Típicamente colocamos un promedio de 2 bits menos.

Este margen es llamado el Target Noise Margin (TNM). Cuando se enciende un módem, este mide la S/N, después resta el Target Noise Margin, y después calcula el esquema de modulación que sea más conveniente para esa S/N. Por default el TNM es 6 dB.

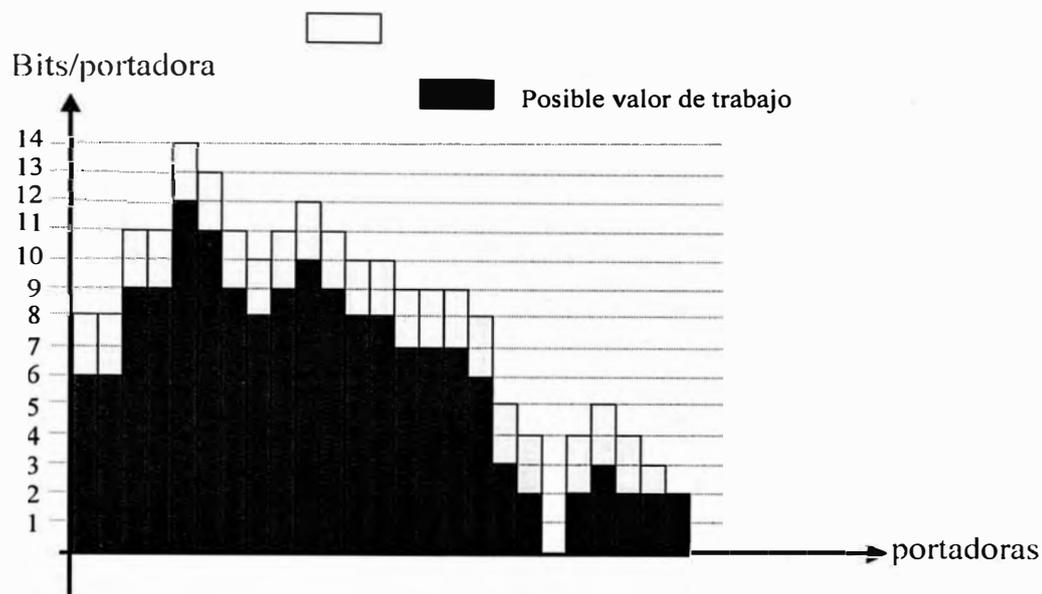


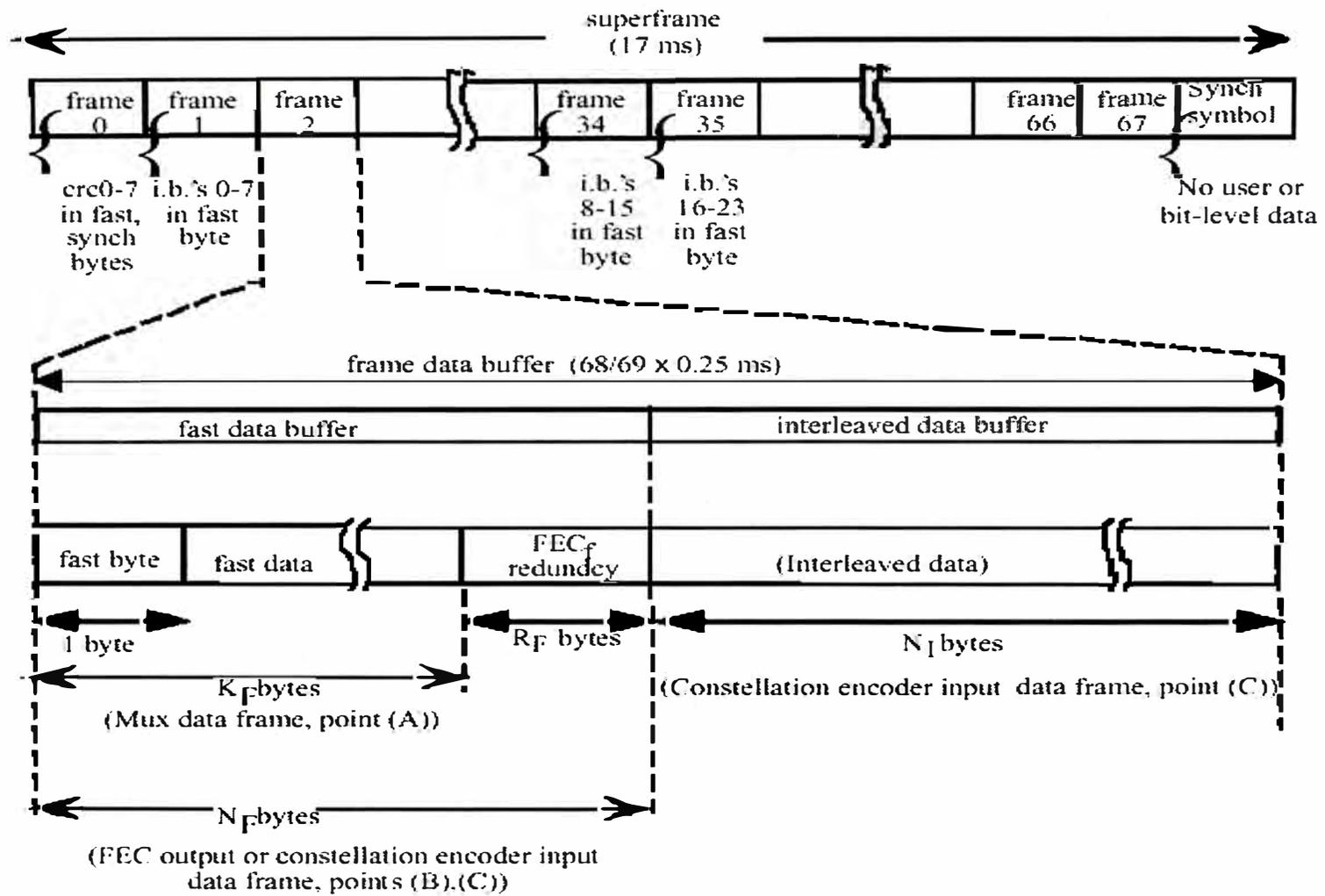
Figura 33.- Numero de Bits por portadora

- **Entramado**

Los canales de datos de ascenso y descenso son sincronizados con la tasa de símbolos ADSL DMT de 4KHz y multiplexados en dos buffers de datos separados (rápido y de interespaciado).

ADSL usa la estructura de supertrama que se muestra a en la figura 34. Cada supertrama se compone de 68 tramas de datos ADSL, que son codificadas y moduladas a símbolos DMT. Si la tasa de símbolos de la DMT es de 4000 baudios (el periodo es de 250us), pero debido al símbolo de sincronismo insertado al final de cada supertrama, la tasa transmitida de símbolos es de $(69/68)*4000$ baud.

Figura 33.- Estructura de Supertrama ADSL



Ocho bits de cada supertrama son reservados para el código cíclico de redundancia y 24 bits de indicador (ib0 - ib23) son asignados para funciones de operación y mantenimiento. El byte fast del buffer rápido lleva los bits CRC, EOC o de sincronismo. Cada hilo de datos de usuario es asignado al buffer rápido o de interespaciado durante la inicialización.

3.7.2 *Modulación Carrierless Amplitude and Phase (CAP)*

La modulación Carrierless amplitude and phase (CAP) es un estándar de implementación propiedad de Globespan Semiconductor. Mientras el nombre especifica que la modulación es "carrierless" una portadora actual es impuesta por la banda trasmisora formando un filtro a través del cual los símbolos fuera de los límites son filtrados. Por eso CAP es algorítmicamente idéntico a QAM.

El receptor de QAM necesita una señal de entrada que tenga la misma relación entre espectro y fase que la señal transmitida. Las líneas telefónicas instaladas no garantizan esta calidad en la recepción, así pues, una implementación QAM para el uso de ADSL tiene que incluir ecualizadores adaptativos que puedan medir las características de la línea y compensar la distorsión introducida por el par trenzado.

CAP divide la señal modulada en segmentos que después almacena en memoria. La señal portadora se suprime, puesto que no aporta ninguna información ("carrierless"). La onda transmitida es la generada al pasar cada

uno de estos segmentos por dos filtros digitales transversales con igual amplitud, pero con una diferencia de fase de $\pi/2$ ("quadrature"). En recepción se reensamblan los segmentos y la portadora, volviendo a obtener la señal modulada. De este modo, obtenemos la misma forma del espectro que con QAM, siendo CAP más eficiente que QAM en implementaciones digitales.

En el comienzo de la transmisión CAP comprueba la calidad de la línea de acceso y utiliza la versión más eficaz de QAM para obtener el mayor rendimiento en cada señal.

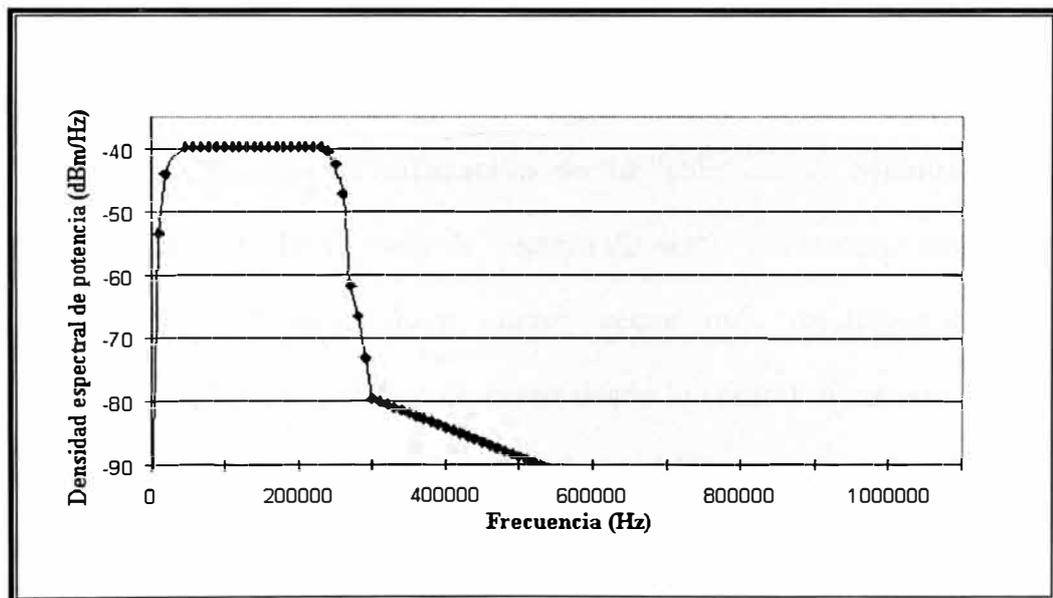


Figura 34.- Espectro de Modulación CAP

La tasa de subida es de 136 Kbaudios sobre una portadora de 113.2 KHz, mientras que la tasa de bajada es de 340 Kbaudios sobre una portadora de 435.5 KHz, 680 Kbaudios sobre una portadora de 631 KHz, o 952 Kbaudios sobre una portadora de 787.5 KHz. Esto permite al módem adaptar la tasa de

símbolos variando las condiciones de la línea. La modulación QAM también adapta las tasas variando el número de bits por símbolos.

3.7.3 Comparación entre ambas Técnicas de Modulación para ADSL

Una ventaja de CAP que afirma tener es unos picos de voltaje relativos por término medio más bajos que DTM. Esto quiere decir que los emisores y receptores pueden operar a más bajo voltaje que DMT porque no requieren tener la capacidad de la señal de pico que es requerida en un circuito DMT.

La modulación CAP tiene la ventaja de estar disponible para velocidades de 1,544 Mbps y su coste es reducido debido a su simplicidad, la desventaja que presenta es que reduce el rendimiento en ADSL y es susceptible de interferencias debido a la utilización de un solo canal. Mientras que la modulación del tipo DMT tiene la ventaja de ser la norma que han acogido ANSI y ETSI, además ofrece cuatro veces más rendimiento que la modulación CAP para el tráfico de datos desde la central al usuario y de diez veces más desde el usuario a la central, también es menos susceptible al ruido, y las pruebas realizadas por los laboratorios demuestran que este tipo de modulación es más rápida que la CAP, independientemente de la distancia que separe los módems ADSL. Los inconvenientes son que su coste resulta superior al de CAP y es un sistema muy complejo.

Ambos están basados en el sistema QAM, aunque cada uno lo adopta de una forma distinta.

La ventaja del principio de CAP está en la base de instalación de los módems. Estos están siendo desarrollados en varios mercados y disponibles por varios fabricantes.

Presenta el gran inconveniente de no estar estandarizado por ningún organismo oficial (ni europeo ni americano).

3.7.4 Discrete Wavelet MultiTone (DWMT)

Existe una variante de DTM, denominada Discrete Wavelet Multi-Tone (DWMT) que es algo más compleja pero a cambio ofrece aún mayor rendimiento al crear mayor aislamiento entre los 256 subcanales. Esta variante podría ser el protocolo estándar para transmisiones ADSL a larga distancia y donde existan entornos con un alto nivel de interferencias.

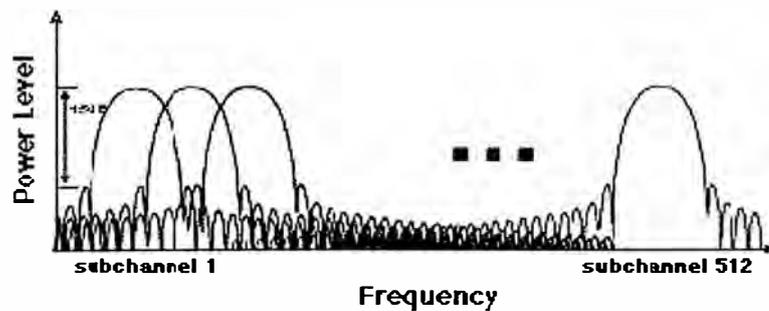


Figura 35.- Modulación DWMT

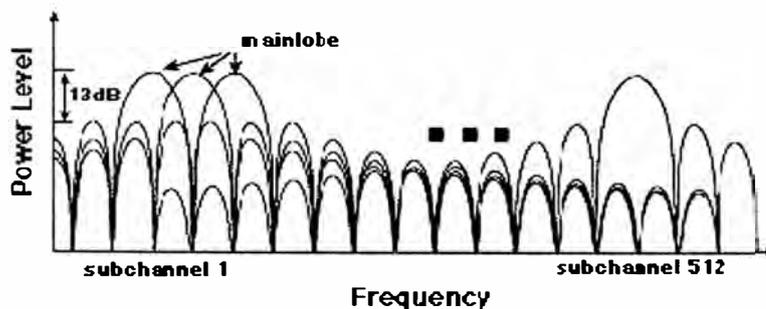


Figura 36.-Lóbulos Principales en DWMT

Esta tecnología es similar al estándar basado en DMT. DWMT usa una avanzada transformación de onda digital en vez de la transformada de Fourier usada en OFDM y DMT.

Los subcanales de DWMT tienen lóbulos laterales (sidelobes) significativamente más bajos que los de DMT y más fielmente aproximados al ideal. La ideal subcanalización debería ser usada en los lóbulos principales (mainlobe) los cuales contienen el 100 % del voltaje del subcanal.

Los lóbulos laterales de DWMT son de 45 dB inferior al lóbulo principal, mientras que los lóbulos laterales de OFDM y DMT son sólo de 13 dB por encima, así pues el 99.997 % del voltaje de los subcanales de DWMT reside en el lóbulo principal mientras que en OFDM y DMT es el 91 %.

El espectro superior de DWMT da lugar a las siguientes ventajas:

- DWMT tiene menos solapamientos de transmisión que OFDM o DMT. No hay tiempos de seguridad entre los símbolos ni una costosa sincronización de tiempo
- DWMT es capaz de mantener niveles superiores de ruido a ADSL
- En arquitecturas HFC multipunto a punto DWMT activa el ancho de banda repartiéndolo a usuarios de forma independiente con un único canal de seguridad.

3.8 Código de detección y corrección de error en ADSL

En ADSL se utiliza Corrección de Errores Hacia Delante o Forward Error Correction (FEC) para asegurar el funcionamiento óptimo. Está basada en codificación Reed-Solomon y debe ser implementada. La palabra de un código Reed-Solomon tiene un tamaño $N = K + R$, donde el número de bytes de comprobación R y el tamaño de la palabra código N varían dependiendo del número de bits asignados al buffer rápido o al buffer de interespaciado.

Las palabras de código Reed-Solomon en el buffer de interespaciado son separadas convolucionalmente, con valores para la distancia de 16, 32 ó 64 (32 ó 64 para sistemas basados en *2.048 Mbps*)

Los módem ADSL por tanto incorporan mecanismos FEC para corrección de errores sin retransmisión que reducen de forma importante los errores causados por el ruido impulsivo. La corrección de errores símbolo a símbolo también reduce los errores causados por el ruido continuo acoplado en una línea.

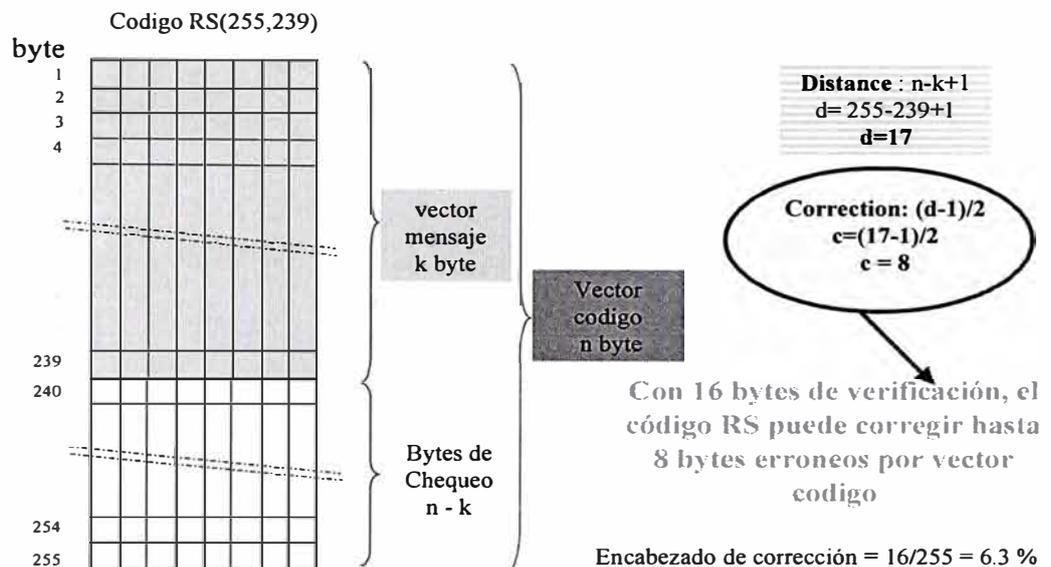


Figura 37.- Código Reed-Solomon

3.9 Arquitectura del sistema ADSL

En el servicio ADSL, el envío y recepción de los datos se establece desde el ordenador del usuario a través de un módem ADSL. Estos datos pasan por un filtro (splitter), que permite la utilización simultánea del servicio telefónico básico (RTC) y del servicio ADSL. Es decir, el usuario puede hablar por teléfono a la vez que está navegando por Internet.

En el esquema se resumen todos los elementos que forman la arquitectura típica para dar servicios sobre ADSL, de los cuales pasaremos a dar una pequeña descripción.

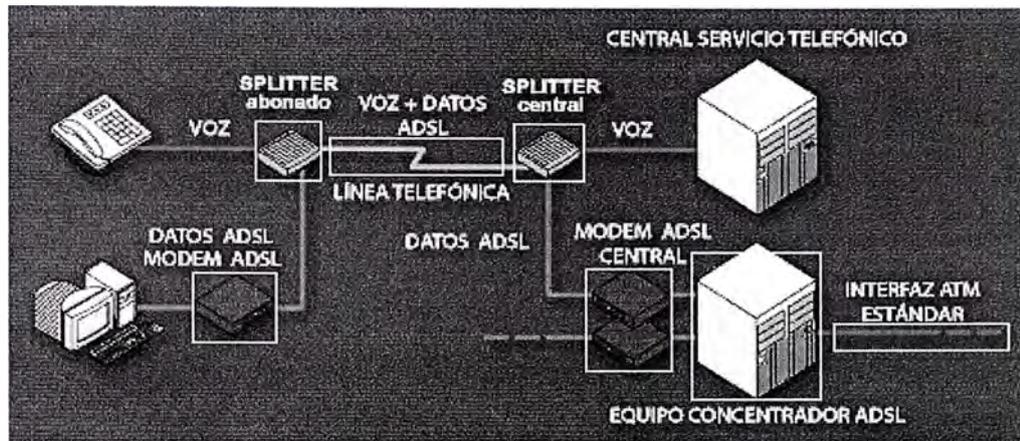


Figura 38.- Esquema de la Arquitectura ADSL

3.9.1 Modems y Splitters

Para completar un circuito ADSL es necesario colocar un par de módems ADSL, uno a cada lado de la línea telefónica de par trenzado. Uno se sitúa en casa del usuario, conectado a un PC o dispositivo set-top box, y el otro u otros (batería de módems) se ubican en la central telefónica local de la que depende el usuario.

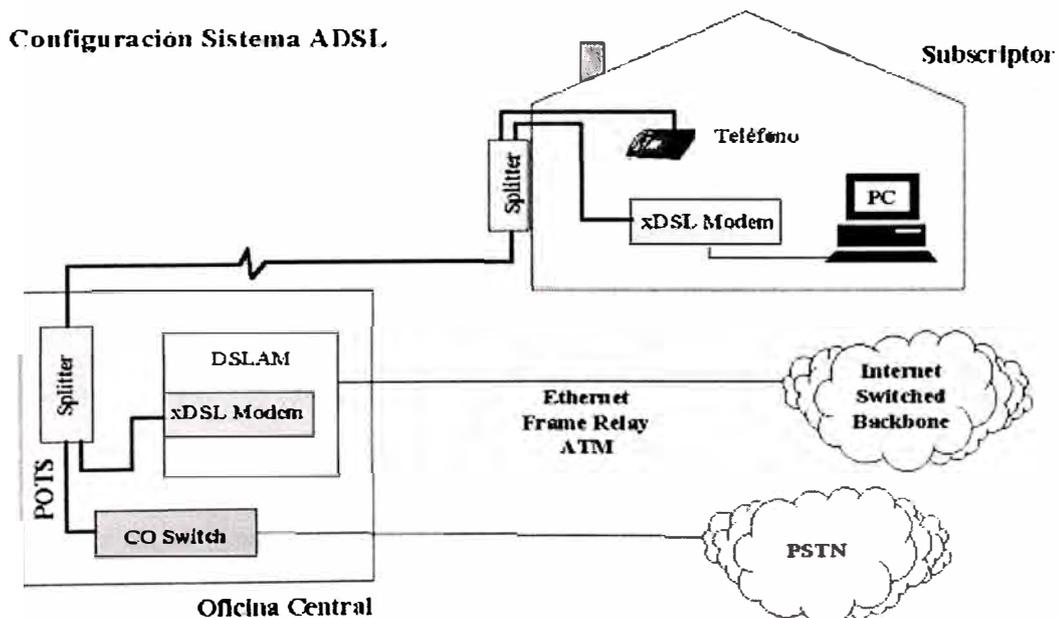


Figura 39.-Configuración Sistema ADSL hasta el bucle de abonado

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

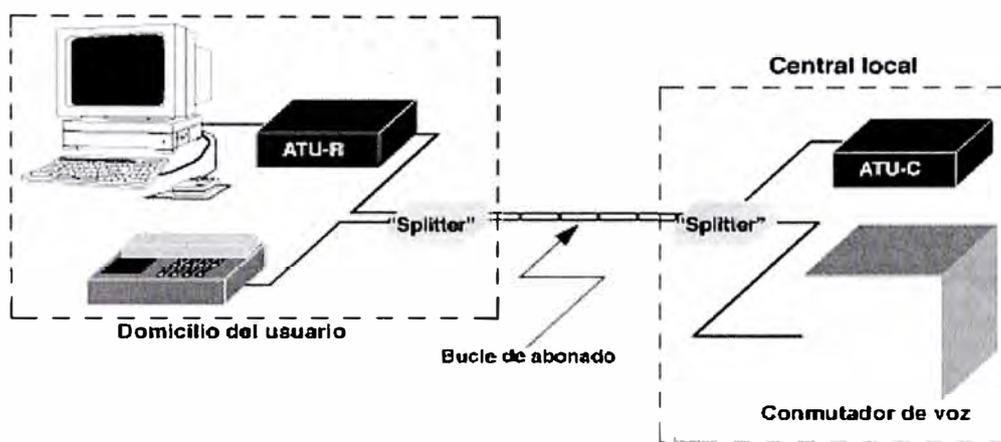


Figura 40.- Esquema Usuario-Red/Red-Usuario

En la figura 40 se muestra un enlace ADSL entre un usuario y la central local de la que depende. En esta figura se observa que además de los módems situados en casa del usuario o ATU-R (ADSL Terminal Unit-Remote) y en la central o ATU-C (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 es decir, que las señales de baja frecuencia (telefonía) estén separadas de las de alta frecuencia (ADSL).

Al mismo tiempo protege a la señal del servicio telefónico (teléfono o conmutador de la central), de las interferencias en la banda de voz producidas

por los módems ADSL (ATUs) y, del mismo modo, a éstos de las señales del servicio telefónico

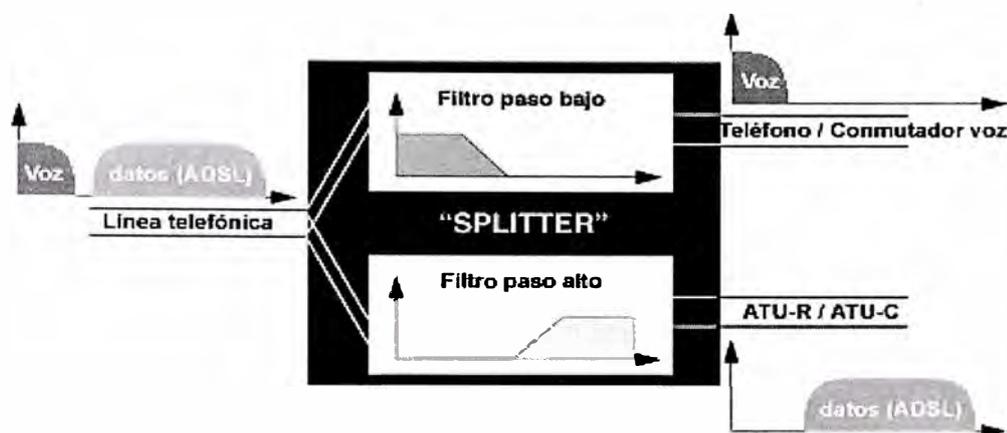


Figura 41.- Función del Filtro y el Splitter en ADSL

A continuación les mostramos el esquema de cómo viajan los datos desde el usuario hasta la central:

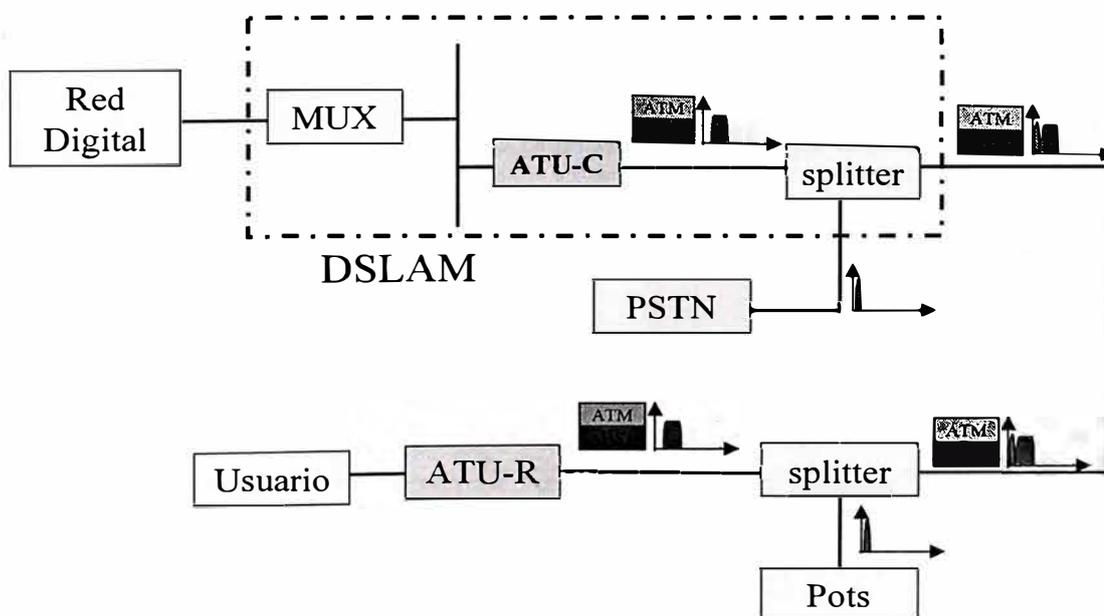


Figura 42.- Trafico ADSL Usuario-Red

3.9.2 DSLAM

Como vimos al hablar de Módems y splitters, 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 realiza las siguientes funciones:

- Concentra en un mismo chasis los módems de central de varios usuarios.
- Concentra (Multiplexa/demultiplexa) y enruta el tráfico de todas los enlaces ADSL hacia una red WAN.
- Realiza funciones de nivel de enlace (protocolo ATM sobre ADSL) entre el módem de usuario y el de central.

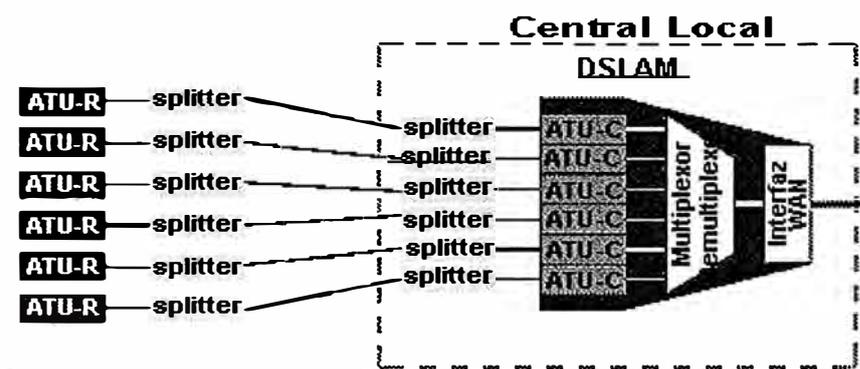


Figura 43.- Componentes de un DSLAM

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.

3.9.3 Estándares para ADSL

Como cualquier otra tecnología, ADSL necesita de los estándares. De esta manera los productos basados en esta tecnología serán consistentes en su funcionamiento, independientes de un fabricante en particular, y funcionarán con los otros dispositivos de su misma categoría.

- **El ANSI (American National Standards Institute)** en el subcomité T1.413 issue 1 (1.995) y T1.413 issue 2 (1.998) define el estándar para la capa física de ADSL:
 - ANSI T1.413 (1)-1995: La primera especificación del ADSL en 1995 estaba basada en STM y no estaba completamente construida.
 - ANSI T1.413 (2)-1998: Segunda especificación del ADSL y está basada en ATM como es usado hoy en día.
- **El ETSI (European Telecommunication Standards Institute)** ha contribuido incluyendo un anexo con los requerimientos europeos y el TS 101 388 v.1.1.1 con la solución inicial de ADSL sobre RDSI de acuerdo a ANSI.
- **El ITU (International Telecommunications Union)** con sus recomendaciones G.992.1 (define ADSL sobre POTS y ADSL sobre RDSI), G.992.2 (G. Lite), G.994.1, G.995.1, G.996.1 y G.997.1.
 - ITU-T G.dmt o G992.1

Especificación de los ITU-T la cual está basada en el estándar ANSI T1.413 issue 2 más un protocolo extra de control de flujo.

- o ITU-T G.lite o G992.2: Es una clase del estándar ANSI T1.413 issue2 más un protocolo extra de control de flujo.
- o ITU-T G.hs o G994.1: Especifica el protocolo de control de flujo para los transductores de xDSL.

- **El ADSL Forum** es una organización formada para promover la tecnología ADSL, desarrollando protocolos, interfaces y arquitecturas necesarias. El ADSL Forum se formó a finales de 1994 y está compuesto por más de 400 miembros (Nov. 2000) e incluye a los miembros más significativos de la comunidad mundial de las telecomunicaciones, entre los cuales se encuentra Telefónica.

ADSL Forum trabaja en colaboración con el resto del grupo de estándares similares.

- **EL ATM Forum** y DAVIC (Digital Audio-Visual Council) han reconocido a ADSL como protocolo de transmisión de la capa física para par trenzado no blindado.

En la actualidad, el ADSL Forum agrupa a los distintos fabricantes de ADSL y se encarga de la estandarización de esta nueva tecnología. Sus actividades son de orden técnico y comercial

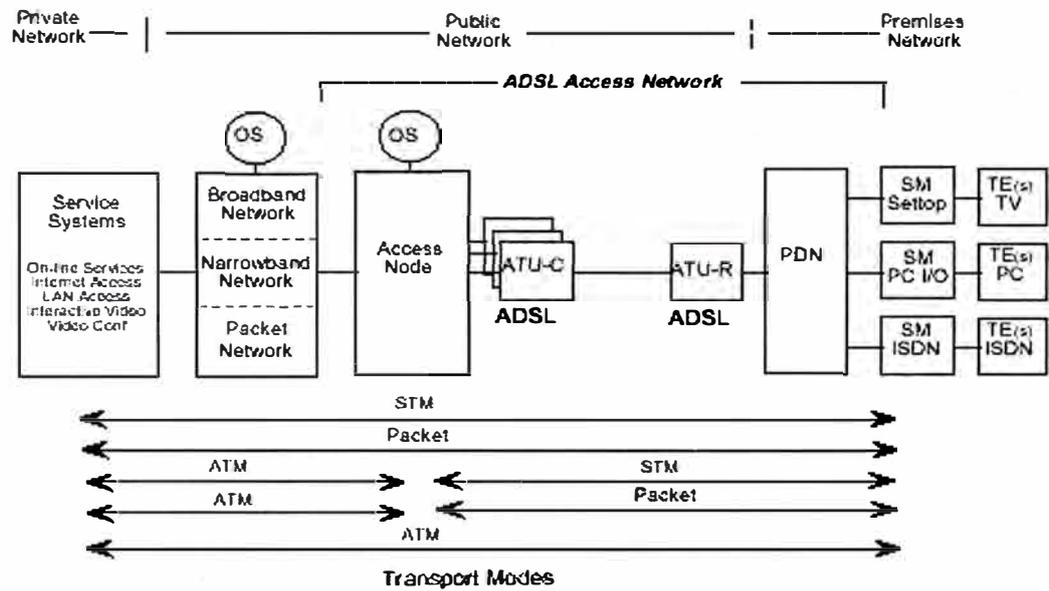


Figura 44.- Modelo de Referencia del ATM Forum (1)

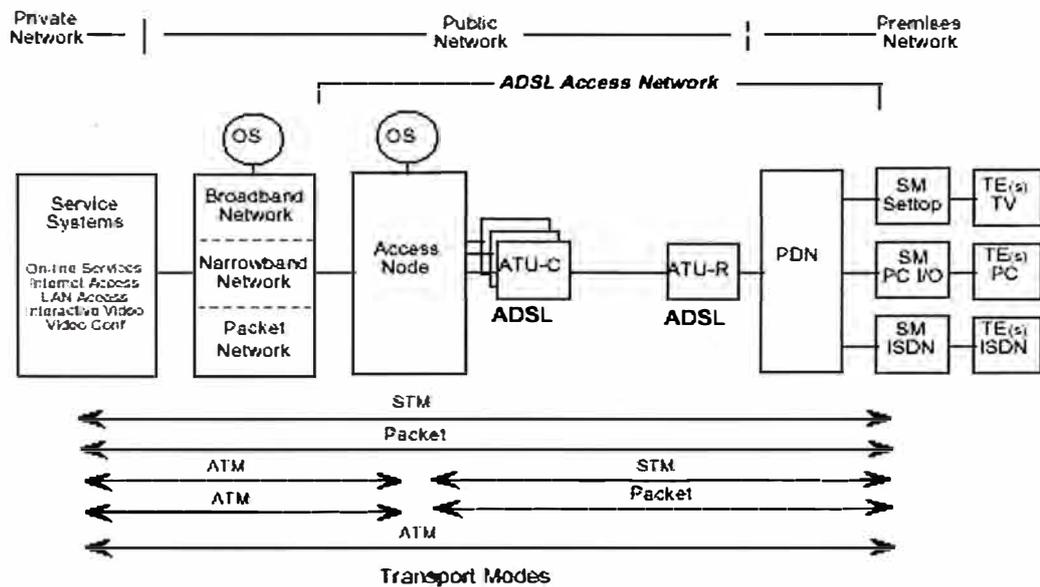


Figura 45.- Modelo de Referencia del ATM Forum (2)

3.10 Servicios ADSL en el Perú

Telefonica del Peru comercializa los servicios de ADSL para acceso a internet con el nombre de Speedy, las principales ventajas de este servicio es que permite acceso a alta velocidad y conexión permanente a internet, permitiendo una doble funcionalidad de la línea telefónica y generando una nula ocupación de la central, no existiendo riesgo de colapso en la red de telefonía básica

El servicio Speedy tiene una tasa mínima de transferencia Garantizada 1/10 de la velocidad nominal, los servicios están clasificados de la siguiente forma:

Red/Abonado	Modalidad	PCR	SCR	CDVT	MBS
	Kbps	Kbps	Kbps	mseg	celdas
Básico	128/64	128	12,8	10	32
Estándar	256/128	256	25,6	5	32
Class	512/128	512	51,2	3	32
Premium	2,048/320	2016	201,6	0,7	64

Abonado/Red	Modalidad	PCR	SCR	CDVT	MBS
	Kbps	Kbps	Kbps	mseg	celdas
Básico	128/64	64	6,4	20	32
Estándar	256/128	128	12,8	10	32
Class	512/128	128	12,8	10	32
Premium	2,048/320	320	32	4	32

Figura 46.- Servicio Speedy de Telefónica del Perú

Donde:

- SCR: Sustainable Cell Rate (Tasa mínima Sostenida)
- PCR: Peak Cell Rate (Tasa de Pico máxima)
- MBS: Maximum Burst Size (Numero Máximo de Celdas ATM)
- CDVT: Cell Delay Variation Tolerance

El usuario de Speedy, deberá completar una fase de autenticación como etapa previa al establecimiento de su conexión IP. Esta etapa está dada por el establecimiento de una sesión PPP entre el equipo del usuario y el Servidor de Accesos (B-RAS), quien termina todo el tramo de este enlace PPP sobre los PVCs de los usuarios, por lo que también reciben el nombre de Terminador de Accesos y Agregador de Servicios.

Las principales características del servicio son las siguientes:

Acceso al servicio utilizando cualquier bucle de abonado que este atendido por una Oficina Central que cuente con facilidades de brindar el servicio suplementario Speedy al usuario final a través de los DSLAMs. Es decir, el usuario debe tener contratado una línea telefónica que se encuentre dentro del ámbito de cobertura.

Si bien un acceso ADSL es una conexión permanente que se soporta sobre plataformas de transporte ATM, el Servicio Speedy contempla una fase de autenticación, a través del protocolo PPP en forma análoga a las conexiones conmutadas, pero con la diferencia de no estar sujeto a un establecimiento del enlace a nivel 2 a través de una llamada, y tampoco a facturación por tiempo de uso.

CAPÍTULO IV

ATM COMO PLATAFORMA DE TRANSPORTE PARA ADSL

Una de las preguntas que salta a la vista es como se puede sacar provecho de esta gran velocidad de acceso. Las redes de comunicaciones de banda ancha emplean el ATM – Modo de Transferencia Asíncrona ("Asynchronous Transfer Mode") para la conmutación. Desde un primer momento, dado que el ADSL se concibió como una solución para acceso de banda ancha (Transmisión de Voz, Datos y Video), se pensó en el envío de la información en forma de células ATM sobre los enlaces ADSL para conseguir las velocidades que estos servicios requieren.

La información, ya sean tramas de vídeo o paquetes de datos 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 transmisión, 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).

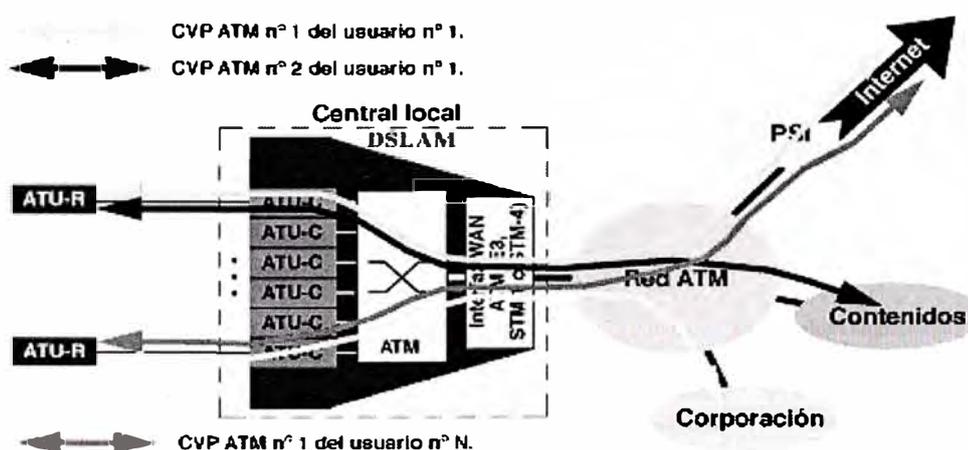


Figura 47.- Elementos de Red - Concentradores

En los módems ADSL se pueden definir dos canales, uno el canal "fast" y otro el "interleaved". El primero agrupa los CVPs ATM (Circuitos Virtuales Permanentes)

dedicados a aplicaciones que pueden ser sensibles al retardo, como puede ser la transmisión de voz. El canal "interleaved", llamado así porque en el se aplican técnicas de entrelazado para evitar pérdidas de información por interferencias, agrupa los CVP's ATM asignados a aplicaciones que no son sensibles a retardos, como puede ser la transmisión de datos.

A nivel de enlace, algunos suministradores de equipos de central para ADSL han planteado otras alternativas al ATM, como PPP (Point to Point Protocol) sobre ADSL y Frame-Relay sobre ADSL, pero finalmente no han tenido mucha aceptación.

Los estándares y la industria han impuesto el modelo de ATM sobre ADSL. En ese contexto, el DSLAM pasa a ser un conmutador ATM con múltiples interfaces, una de ellas sobre STM-1, STM-4 o E3, y el resto ADSL-DMT, y el núcleo del DSLAM es una matriz de conmutación ATM sin bloqueo. De este modo, el DSLAM puede ejercer funciones de policía y conformado sobre el tráfico de los usuarios con acceso ADSL. En la figura 48 se muestra la torre de protocolos con ATM sobre ADSL, es decir los protocolos que interactúan con ADSL.

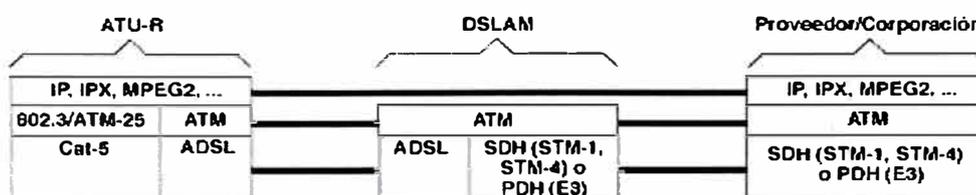


Figura 48.- Torre de protocolos con ATM sobre ADSL

Los modelos para ofrecer servicios propuestos por el ADSL Fórum son los que se muestran en la figura 49.

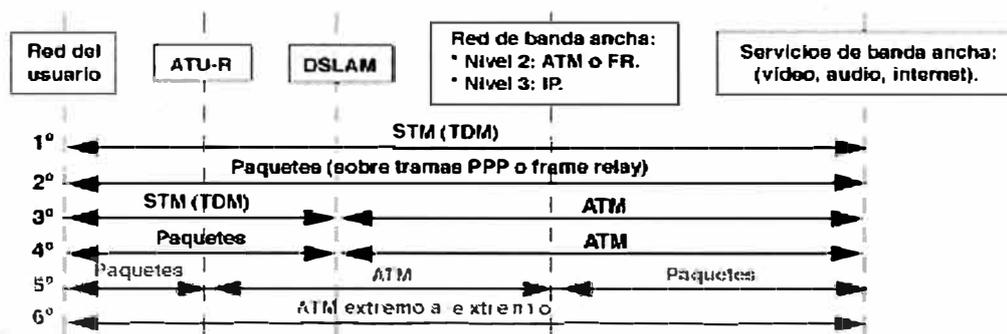


Figura 49.- Modelos para la prestación de servicios con acceso ADSL

De acuerdo con lo que ya explicamos en el apartado anterior, la solución que se ha impuesto pasa por el envío de células ATM sobre el enlace ADSL (entre el ATU-R y el ATU-C situado en el DSLAM). Por lo tanto, de los seis modelos que propone el ADSL Fórum sólo son válidos los dos últimos.

4.1 ATM sobre ADSL

Pues bien, ahora que conocemos el funcionamiento del ADSL cabe preguntarse cómo sacar el máximo provecho de todas las ventajas que nos ofrece ADSL. Para esto, es necesario un protocolo de nivel de enlace entre el ATU-R y el ATU-C.

Las redes de comunicaciones emplean el protocolo ATM ("Asynchronous Transfer Mode") para la conmutación en banda ancha. La transmisión ATM se puede realizar sobre un gran número de medios físicos, entre ellos, fibras ópticas y líneas de cobre. En este último caso, la solución más adecuada es el empleo de células ATM para transmitir la información sobre el enlace ADSL.

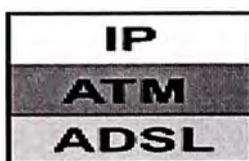


Figura 50.- Torre de protocolos simplificada, con ATM sobre ADSL

Es deseable la posibilidad de poder definir sobre el enlace ADSL múltiples conexiones para diferentes servicios.

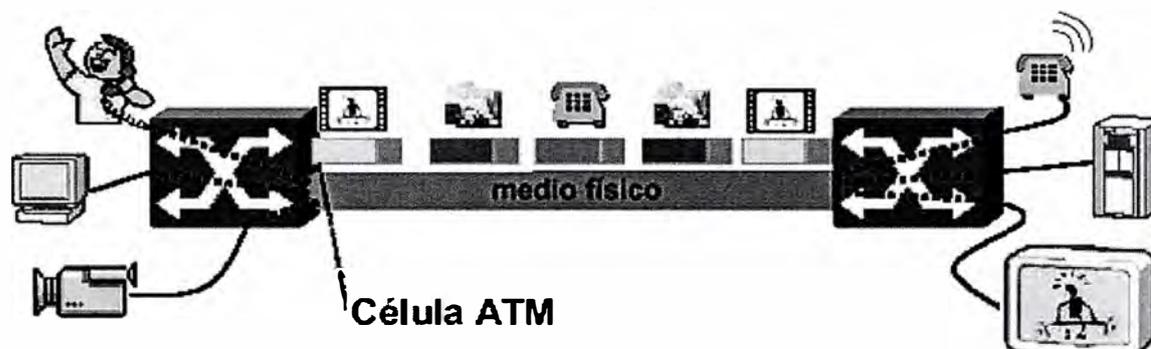


Figura 51.- Transmisión de Datos a través de ATM

Con el empleo de ATM, los datos sin importar su origen, se fragmenta en células (paquetes de información de tamaño constante) que se transmiten independientemente unas de otras. Los equipos y circuitos de transmisión, pueden así transportar células provenientes de fuentes distintas

Es necesario un protocolo de nivel de enlace con mecanismos de Calidad de Servicio (Quality of Service).

No todas las fuentes de información tienen los mismos requisitos para ser transportadas. Por ejemplo, el tráfico de voz requiere un retardo mínimo, mientras que los datos no son tan exigentes en este aspecto. En ATM existen procedimientos de control que garantizan la calidad necesaria para los distintos tipos de información transferida. Las conexiones ATM entre origen y destino, se establecen ya configuradas para garantizar el nivel de calidad contratado, lo que permite una mayor eficiencia debido a que cada aplicación solicita a la red la calidad y servicio estrictamente necesarios, lo que se traduce en un mayor aprovechamiento de recursos.

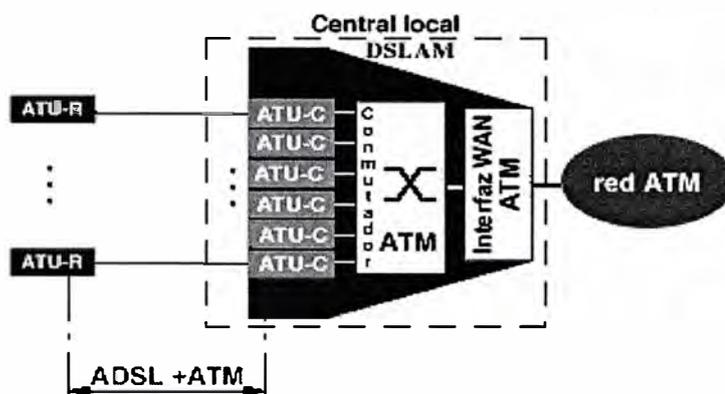


Figura 52.- ADSL+ATM en el bucle de abonado

Teniendo en cuenta estas ventajas que nos ofrece el protocolo ATM la solución que se ha tomado para ofrecer servicios es el envío de células ATM sobre el enlace ADSL (entre el ATU-R y el ATU-C situado en el DSLAM).

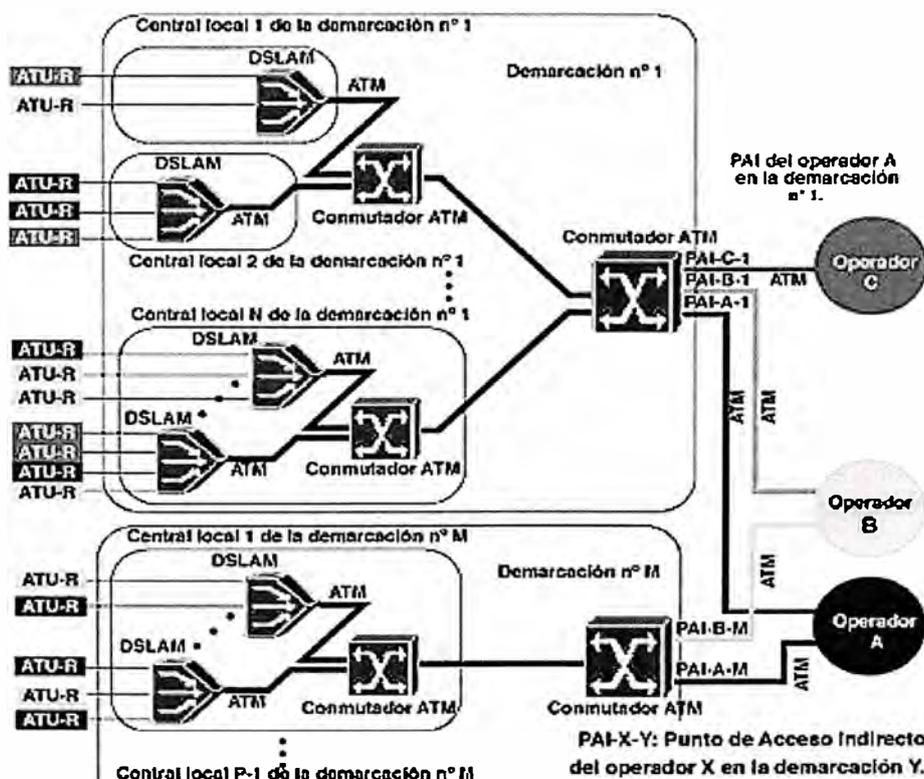


Figura 53.- Estructura de una Plataforma ATM para ADSL

4.2 Modo de Transferencia Asíncrona ATM

En esta parte del informe profundizaremos un poco en la tecnología ATM para entender mejor su interacción con la tecnología ADSL.

4.2.1 Definición

ATM proviene de las siglas en inglés Asynchronous Transfer Mode que significa Modo de Transferencia Asíncrona y es una Tecnología que facilita el desarrollo de una Red Digital de Servicios Integrados de Banda Ancha. Está basado en técnicas de conmutación de paquetes, basada en una configuración de longitud fija llamada célula o celda ATM (celdas de 53 Bytes). Es decir todos los servicios, sean de Banda Ancha o Banda Angosta, se dividen en una serie de células para ser transmitidos a través de una Red ATM que consta de un conjunto de enlaces, conectada por conmutadores que contienen un flujo constante de canales de celdas, al interior de los cuales están localizadas los servicios.

4.2.2 Características

ATM es una tecnología Asíncrona, orientado a conexión es decir las conexiones se establecen antes de la transferencia de información. La carga útil de la celda ATM es de longitud fija y pequeña (48 Bytes) y posee un encabezamiento con prestaciones reducidas (5 Bytes) con lo que se completa el tamaño fijo de 53 Bytes.

ATM evita numeraciones en la red y direcciones en la cabecera, también identifica el camino virtual con el Virtual Connection Identifier (VCI+VPI) entre cada nodo ATM.

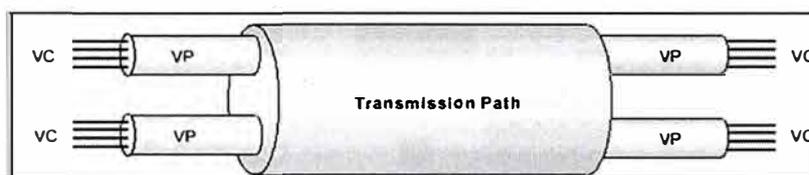


Figura 54.- PV/CV (Path Virtual / Channel Virtual)

A diferencia de otros estándares de Telecomunicaciones, el ATM proporciona gran flexibilidad en la asignación de ancho de banda requerido, con diferentes tipos de servicios coexistentes en el mismo enlace. Esto da como resultado una mejor utilización de la Red.

4.2.3 Transporte en celdas

ATM permite el transporte de diferentes tipos de tráfico simultáneamente sobre la misma red. También proporciona controles de errores y flujo pero sólo en los extremos.

La estructura simple de la celda facilita la conmutación. Esto permite grandes tasas de transmisión y retardos de red muy bajos.

4.2.4 Interfaces ATM

Existen dos tipos de interfaces estándar definidos por el ATM Forum que son la interfase NNI (Network to Network Interfase) y UNI (User to Network Interface).

La figura 55 nos muestra los tipos de interfaces mencionados:

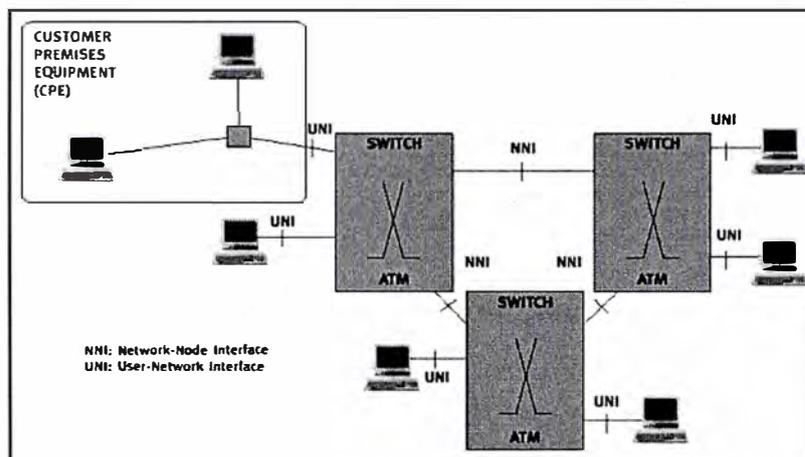
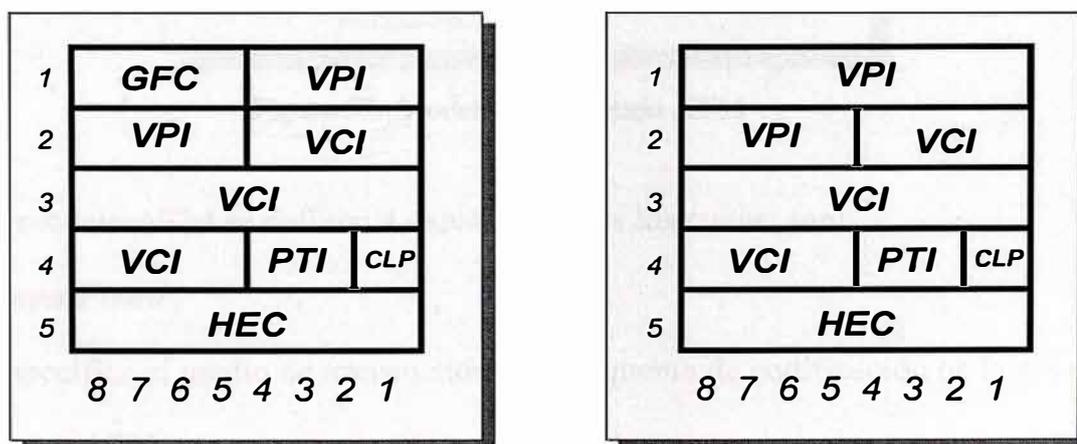


Figura 55.- Interfaces ATM

4.2.5 Celda ATM

La unidad fundamental del ATM es la celda que una longitud fija de 53 bytes la cual se compone de dos partes, una cabecera de 5 bytes y la carga o payload de 48 bytes de información.



Cabecera UNI

Cabecera NNI

Figura 56.-Estructura de la cabecera

Las funciones principales de la cabecera son:

- Identificación del canal virtual

- Implementación de prioridades de retardo y pérdida
- Identificación de celdas de mantenimiento y transporte útil.
- Protección contra errores

4.3 Modelo de Referencia ATM

ATM define un modelo de referencia el cual se muestra en al siguiente figura:

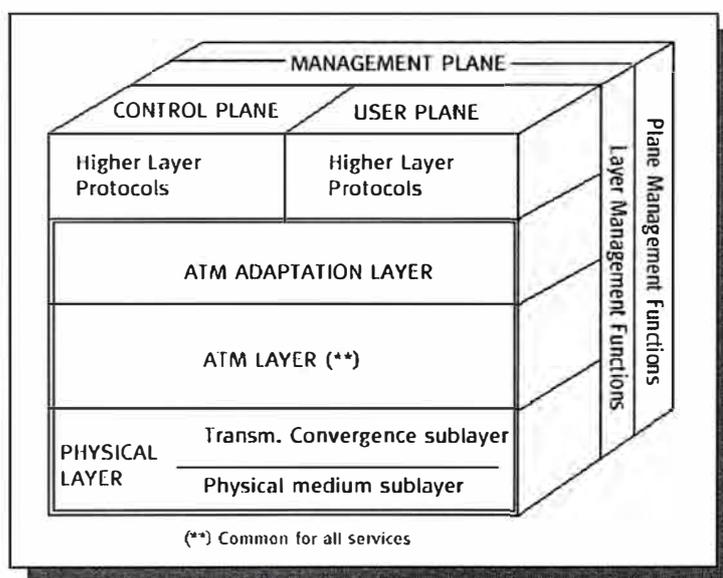


Figura 57.- Modelo de referencia ATM

En el modelo ATM se definen 4 capas o niveles los cuales son:

4.3.1 *Capa Física*

Especifica el medio de transmisión y un esquema de codificación de la señal

4.3.2 *Capa ATM*

Define la estructura de la celda. Es independiente del servicio.

4.3.3 *Capa de Adaptación (AAL):*

Convierte información de cualquier tipo en información con formato adecuado para ser transportado por la red ATM. Depende del servicio.

4.3.4 Capa Superior

Aquí se encuentran los protocolos de capas superiores como IP, TCP/UDP etc.

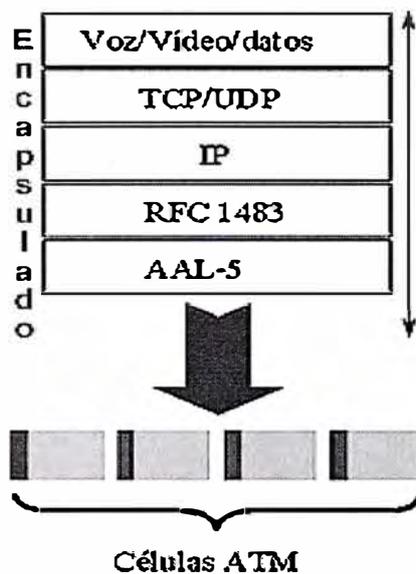


Figura 58.- Protocolos sobre ATM

4.4 Calidad de servicio QoS en ATM

Antes de ingresar al flujo de celdas ATM, la red debe ser dimensionada de acuerdo al tipo de Datos a enviar por la red. Al establecer una conexión virtual la data ira asociado a una calidad de servicio QoS, que determinaran el tratamiento de que la red ATM dará a esta data. Algunas de estas Clase de QoS son:

- CBR (Constant Bit Rate)
- VBR-rt (Variable Bit Rate-real time)
- VBR-nrt (Variable Bit Rate-non real time)
- UVR (Unspecified Bit Rate)
- ABR (Available Bit Rate)

CONCLUSIONES

Las conclusiones respecto al presente informe basado en ADSL es el siguiente:

En el servicio ADSL, el envío y recepción de datos se establece desde el ordenador del usuario a través de un módem ADSL. Estos datos pasan por un filtro (splitter), que permite la utilización simultánea del servicio telefónico básico (RTC) y del servicio ADSL. Es decir, el usuario puede hablar por teléfono a la vez que está navegando por Internet.

ADSL utiliza la técnica de modulación DMT que permiten ampliar el rendimiento del cableado telefónico actual, adaptando el flujo de datos a las condiciones de la línea

La velocidad de transmisión depende de la longitud y del diámetro del bucle la tecnología ADSL establece tres canales independientes sobre la línea telefónica estándar: dos canales de alta velocidad (uno de recepción de datos y otro de envío de datos) y un tercer canal para la comunicación normal de voz (servicio telefónico básico).

Los dos canales de datos son asimétricos, el canal de recepción de datos tiene mayor velocidad que el canal de envío de datos.

En el modelo actual se utiliza el protocolo ATM para transmitir la información sobre el enlace ADSL

Se posibilita el desarrollo de servicios en la red de acceso que demandaban ancho de banda y conexión 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.

Actualmente en nuestro país, ADSL es una clara respuesta a la demanda social de acceso a Internet con calidad y tarifa plana

ANEXO A

GLOSARIO

- **AAL:** Capa de adaptación ATM, su finalidad es el encapsulado del flujo de saltos (tramas o paquetes) sobre el flujo de células de un circuito virtual ATM.
- **ADSL:** Tecnología para módems que hace posible la transmisión de datos a gran velocidad sobre el bucle de abonado. Los caudales que se transmiten son asimétricos.
- **ATM:** Tecnología de multiplexación de paquetes.
- **ATU-R:** Módem ADSL de usuario.
- **ATU-C:** Módem ADSL de la central.
- **Banda Ancha:** Es un término que se refiere a las conexiones de alta velocidad y alta capacidad de Internet y datos.
- **Baudio:** Cuando se transmiten datos, un baudio es el número de veces que cambia el 'estado' del medio de transmisión en un segundo. Como cada cambio

de estado puede afectar a más de un bit de datos, la tasa de bits de datos transferidos puede ser superior a la correspondiente tasa de baudios.

- Bit: Unidad mínima de información digital que puede ser tratada por un computador. Proviene de la contracción de la expresión binary digit (dígito binario).
- CAP: Es una modulación en cuadratura, para los módems ADSL, no es estándar.
- CBR: Es una de las capacidades de transferencia definidas en ATM. Este tipo se emplea para conexiones ATM destinadas a la emulación de circuitos.
- CVP: Es una conexión permanente entre dos equipos conectados a una red ATM. Se identifica por medio de un identificador de trayecto virtual y un identificador de circuito virtual.
- DMT: Es la solución elegida en el estándar ADSL para la modulación. Consiste básicamente en el empleo de varias subportadoras, cada una de las cuales se modula en QAM por parte de la información a transmitir.
- DSL: Línea Digital de Suscriptor, presta un circuito digital dedicado entre una residencia o negocio y la central telefónica. Esto permite la transmisión de datos a través de las líneas telefónicas de cobre.
- DSLAM: Es el concentrador que se encuentra instalado en la central local y básicamente consta de un gran número de módems ATU-C y sus correspondientes filtros. Su misión es concentrar el tráfico de los usuarios de ADSL hacia la red (WAN) ATM de datos.
- POTS: Denominación dada en E.E.U.U al servicio telefónico básico.

- RADSL: Módems ADSL capaces de conectarse a la máxima velocidad que permita el estado del bucle de abonado.
- LAN: Red de Área Local.
- RFC: Son los estándares elaborados por el IETF.
- S/N: Relación señal-ruido.
- Splitter: Filtro que separa en la línea telefónica la transmisión de datos y voz.
- VDSL: La Línea Digital de Suscriptor con Velocidad en Bits Muy Alta, es para bucles locales cortos.
- WAN: Redes de área amplia.
- xDSL: Familia de la tecnología de línea digital de suscriptor como ADSL, HDSL y RADSL.

ANEXO B

ACRÓNIMOS

AAL: ATM Adaptation Layer

ADSL: Asymmetric Digital Subscriber Line.

ANSI: American National Standard Institute.

ATM: Asynchronous Transfer Mode.

ATU-R: ADSL Terminal Unit-Remote.

ATU-C: ADSL Terminal Unit-Central.

CBR: Constant Bit Rate.

CAP: Carrierless Amplitude Phase.

CVP: Circuito Virtual Permanente.

DMT: Discret Multi Tone.

DSL: Digital Subscriber Line.

DSLAM : Digital Subscriber Line Access Multiplexer.

FDM: Frequency Division Multiplexing.

FSK: Frecuency Shift Keying.

HDSL: High-bit-rate digital Subscriber Line.

IDC: International Data Corporation.

IP: Internet Protocol.

ISDL: ISDN Digital Subscriber Line.

ITU: International Telecommunications Union.

NSP: Network Service Provider.

LAN: Local Area Network.

PPP: Point to Point Protocol (Protocolo Punto a Punto).

POTS: Plain Old Telephone Service.

PSK: Phase Shift Keying (Modulación por Desplazamiento en Fase).

PSTN: Public Switched Telephone Network (Red Telefónica Pública Conmutada).

QAM: Quadrature Amplitude Modulation (Modulación de Amplitud en Cuadratura).

RADSL: Rate Adaptive Digital Subscriber Line.

RDSI: Red Digital de Servicios Integrados también llamada ISDN.

RPTC: Red Pública de Telefonía Conmutada.

SDSL: Symmetric Digital subscriber Line.

S/N: Signal to Noise Ratio

VBR-nrt: Variable Bit Rate-non real time.

VBR-rt: Variable Bit Rate-real time.

VDSL: Very High-bit-rate Digital Subscriber Line.

WAN: Wide Area Network.

xDSL: x Digital Subscriber Line.

WWW: World Wide Web.

BIBLIOGRAFÍA

La información de este trabajo la hemos obtenido de las siguientes fuentes:

➤ **Textos de consulta:**

- Computers Networks: Tanenbaum (Sexta edición).
- Redes de Computadoras Internet e Inter-redes: Douglas E Comer (Primera edición).
- Redes Globales de Información con Internet y TCP/IP: Douglas E Comer (tercera edición).
- Sistemas de Comunicación: B. P. Lathi - Mac Graw Hill.
- Telecommunications Primer – Signal, Building Blocks and Networks: E. Bryan Carne – IEEE Press.

➤ **Links de Interés:**

- <http://www.disc.ua.es> (Información xDSL)
- <http://www.unizar.es> (Servicio de conexión ADSL)
- <http://www.canal9-mendoza.com.ar> (Técnicas de Modulación)

- <http://darkstar.iespana.es> (Modulación en ADSL)
- <http://www.geocities.com> (Sistemas de transmisión en ADSL)
- <http://www.teyconline.com> (Artículo Alcatel)
- <http://www.bandaancho.st> (Modulación en DSL)
- <http://www.ietf.org/html.charters> (IETF forum)
- <http://www.itpapers.com/cgi> (Papers ADSL)
- <http://www.cisco.com>
- <ftp://ftpeng.cisco.com>
- <http://www.dataconnection.com>
- <http://www.alcatel.es>
- <http://www.epl.co.uk>
- <http://www.sel.alcatel.de>
- <http://www.ece.wpi.edu>
- <http://www.lucent.com>
- <http://www.ansi.org>
- <http://www.etsi.org>
- <http://www.itu.org>
- <http://www.davic.org>
- <http://www.canalti.com>
- <http://www.cybercursos.net>