

# Criterios de Diseño para una Red de Acceso de Nueva Generación



Jairo Tejada Abella  
Marco Aurelio Ordóñez Ordóñez

Trabajo de grado presentado como requisito para obtener el título de  
Ingeniero en Electrónica y Telecomunicaciones

Director: Ing. Edgar Castillo E.

UNIVERSIDAD DEL CAUCA  
FACULTAD DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA Y TELECOMUNICACIONES  
DEPARTAMENTO DE TELECOMUNICACIONES  
GRUPO I+D NUEVAS TECNOLOGÍAS EN TELECOMUNICACIONES  
POPAYÁN  
2004

# **Criterios de Diseño para una Red de Acceso de Nueva Generación**

**Jairo Tejada Abella  
Marco Aurelio Ordóñez Ordóñez**

**UNIVERSIDAD DEL CAUCA  
FACULTAD DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA Y TELECOMUNICACIONES  
DEPARTAMENTO DE TELECOMUNICACIONES  
GRUPO I+D NUEVAS TECNOLOGÍAS EN TELECOMUNICACIONES  
POPAYÁN  
2004**

# CONTENIDO

INTRODUCCIÓN .....	1
Capítulo 1: FAMILIA xDSL .....	2
1.1 INTRODUCCIÓN .....	2
1.2 LÍNEA DE ABONADO DIGITAL ASIMÉTRICA (ADSL - ASYMMETRIC DIGITAL SUBSCRIBER LINE) .....	3
1.2.1 Antecedentes .....	3
1.2.2 Concepto de ADSL.....	3
1.2.3 Arquitectura de ADSL.....	4
1.2.4 Funcionamiento.....	5
1.2.4.1 División Espectral.....	6
1.2.4.2 Métodos de Separación de Canales .....	6
1.2.4.3 Técnicas de Modulación .....	8
1.2.5 Estructura de la Trama ADSL.....	11
1.2.6 Canales Portadores.....	13
1.2.7 Ventajas y desventajas.....	17
1.2.7.1 Ventajas.....	17
1.2.7.2 Desventajas .....	17
1.2.8 Factibilidad de instalar ADSL.....	17
1.3 LÍNEA DE ABONADO DIGITAL DE MUY ALTA VELOCIDAD (VDSL - VERY HIGHT RATE DIGITAL SUBCRIBER LINE) .....	18
1.3.1 Introducción .....	18
1.3.2 Velocidades y distancias .....	19
1.3.3 Modelo de referencia general .....	19
1.3.4 Características de la interfaz del medio de transmisión.....	21
1.3.4.1 Método de Duplexación.....	21
1.3.4.2 Bandas de transmisión .....	21
1.3.4.3 Requerimientos de desempeño ante errores .....	22
1.3.4.4 Requerimientos eléctricos de los Splitters.....	23
1.3.4.5 DWMT.....	23
1.4 LÍNEA DE ABONADO DIGITAL DE ALTA VELOCIDAD DE DATOS (HDSL - HIGHT DATA RATE DIGITAL SUBSCRIBER LINE).....	24
1.4.1 Antecedentes .....	24

1.4.2 Descripción .....	24
1.4.3 Arquitectura HDSL para E1 .....	24
1.4.4 Arquitectura HDSL para T1 .....	26
1.4.5 Código de línea.....	27
1.4.6 Aplicaciones.....	28
1.4.7 Ventajas y desventajas.....	28
1.4.7.1 Ventajas.....	28
1.4.7.2 Desventajas .....	28
1.5 HDSL2.....	29
1.5.1 Antecedentes .....	29
1.5.2 Requerimientos del ANSI para HDSL2 .....	30
1.5.3 Código de Línea.....	33
1.5.4 Desempeño.....	35
1.5.5 Comparación entre HDSL y HDSL2.....	35
1.5.6 Compatibilidad espectral .....	36
1.6 OTRAS VARIANTES DE XDSL.....	37
1.6.1 Línea de Abonado Digital de Tasa Adaptable (RADSL - Rate Adaptive Digital Subscriber Line) .....	37
1.6.2 ADSL Splitterless (Sin Splitters) .....	37
1.6.3 Línea de Abonado Digital Simétrica (SDSL - Symmetric Digital Subscriber Line) .....	40
1.6.4 Línea de Abonado Digital de Alta Velocidad de un solo par (SHDSL - Single-pair High-speed Digital Subscriber Line).....	41
1.6.5 Línea de Abonado Digital RDSI (IDSL – ISDN Digital Subscriber Line) .....	44
Capítulo 2: CRITERIOS DE DISEÑO PARA UNA RED xDSL.....	45
2.1 INTRODUCCIÓN .....	45
2.2 REQUERIMIENTOS TÉCNICOS DE LOS PARES DE COBRE .....	46
2.2.1 Par Trenzado .....	46
2.2.2 Características de los pares trenzados .....	47
2.2.3 Pruebas necesarias para el despliegue de un sistema xDSL .....	49
2.2.3.1 Importancia de hacer pruebas en xDSL.....	49
2.2.3.2 Pruebas al bucle de abonado .....	50
2.2.3.3 Pruebas al cableado interno del usuario .....	62
2.2.3.4 Pruebas a los equipos xDSL .....	63
2.3 CRITERIOS PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE xDSL.....	64
2.3.1 Criterios enfocados al cliente.....	64
2.3.1.1 Simetría del enlace y servicios .....	64

2.3.1.2	Distancia .....	65
2.3.1.3	Capacidad (bps) / Velocidad.....	66
2.3.1.4	Costos.....	67
2.3.1.5	Comparación de las tecnologías xDSL .....	67
2.3.2	Criterios enfocados a los proveedores de servicios .....	69
2.3.2.1	Distancia .....	69
2.3.2.2	Simetría de los servicios.....	70
2.3.2.3	Servicios que se deben entregarse.....	70
2.3.2.4	Capacidad.....	71
2.3.2.5	Escalabilidad.....	72
2.3.2.6	Costos.....	72
2.3.2.7	Otros.....	72
2.3.3	Criterios de verificación de la red de acceso (pares de cobre) .....	73
2.4	GUÍA DE CRITERIOS DE DISEÑO.....	73
2.4.1	Despliegue de la red DSL.....	73
2.4.2	Análisis de los requerimientos de los clientes .....	74
2.4.3	Estudio de las condiciones del bucle de abonado.....	77
2.4.4	Conclusiones .....	77
2.5	DISPOSITIVOS INVOLUCRADOS EN UNA RED DSL.....	78
2.5.1	Equipos en el sitio del usuario (CPE).....	80
2.5.1.1	Modems (xTU) .....	81
2.5.1.2	Enrutadores (Routers).....	81
2.5.1.3	Filtros y Splitters.....	82
2.5.2	Equipos de los proveedores de servicio.....	82
2.5.2.1	Multiplexor de Acceso DSL (DSLAM) .....	82
2.5.2.2	Concentrador de Acceso Universal (UAC – Universal Access Concentrator).....	86
2.5.2.3	Otros equipos.....	88
2.5.3	Algunos modelos de interconexión .....	88
Capítulo 3:	APLICACIÓN DE LOS CRITERIOS DE DISEÑO.....	91
3.1	INTRODUCCIÓN .....	91
3.2	INFRAESTRUCTURA DE UNA RED TELEFÓNICA FIJA.....	92
3.2.1	Definiciones .....	92
3.2.2	Arquitectura general de una red telefónica fija .....	94
3.2.3	Acceso Fibra – Cobre.....	96
3.3	RED TELEFÓNICA PARA LA CIUDAD DE POPAYÁN.....	96

3.4 DESAGREGACIÓN DEL BUCLE LOCAL .....	107
3.5 RED DSL PARA LA CIUDAD DE POPAYÁN.....	108
3.5.1 Justificación .....	108
3.5.2 Aplicación de los criterios de diseño para una red DSL .....	111
3.5.2.1 Despliegue de la red .....	111
3.5.2.2 Análisis de los requerimientos de los clientes .....	112
3.5.2.3 Estudio de las condiciones del bucle de abonado .....	112
3.5.3 Costos relacionados con la prestación de servicios xDSL .....	113
3.5.3.1 Costos de la plataforma xDSL .....	113
3.5.3.2 Costos para el suministro del bucle local .....	115
3.5.3.3 Costos de gestión, operación y mantenimiento de la red de servicio .....	117
3.5.3.4 Costo total.....	118
3.5.3.5 Recuperación de la inversión.....	118
3.5.4 Zonas de cobertura xDSL para Popayán .....	119
Capítulo 4: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....	123
4.1 CONCLUSIONES .....	123
4.2 RECOMENDACIONES .....	125
BIBLIOGRAFÍA .....	126
ENLACES WEB .....	128
ACRÓNIMOS.....	130

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1.1	Arquitectura ADSL.....	4
Figura 1.2	División del espectro por parte del splitter.....	5
Figura 1.3	Distribución del espectro en ADSL.....	6
Figura 1.4	Distribución de espectro con FDM.....	7
Figura 1.5	Distribución de espectro con Cancelador de Eco.....	7
Figura 1.6	Modulación ADSL DMT con FDM.....	9
Figura 1.7	Modulación ADSL DMT con cancelación de eco.....	10
Figura 1.8	Estructura de supertrama ADSL.....	11
Figura 1.9	Asignación de canales en la trama ADSL.....	14
Figura 1.10	Canales AS y LS.....	15
Figura 1.11	Conexión mediante VDSL.....	18
Figura 1.12	Modelo de Referencia General G.993.1.....	20
Figura 1.13	Localización de las bandas de frecuencia VDSL.....	21
Figura 1.14	Estructura de un “splitter” VDSL.....	23
Figura 1.15	Arquitectura HDSL para E1.....	25
Figura 1.16	Arquitectura HDSL para T1.....	26
Figura 1.17	Comparación de los espectros de frecuencia de HDSL y T1 AMI.....	27
Figura 1.18	Sistema T1 , HDSL y HDSL2.....	30
Figura 1.19	Interferencia de Diafonía en la oficina central.....	32
Figura 1.20	Interferencia Diafonía en la premisa del cliente.....	32
Figura 1.21	Espectro de HDSL2 (Mascara de OPTIS PSD).....	34
Figura 1.22	Distribución de frecuencias con RADSL.....	37
Figura 1.23	Topología ADSL Splitteless.....	38
Figura 1.24	Distribución de frecuencias G.Lite.....	39
Figura 1.25	Arquitectura SDSL en un sistema “pair gain”.....	40
Figura 1.26	Modelo de aplicación SHDSL.....	42
Figura 1.27	Trama SHDSL.....	43
Figura 1.28	Dos unidades IDSL operando sobre un par de cobre.....	44
Figura 2.1	Par trenzado.....	46
Figura 2.2	Pruebas en xDSL.....	50
Figura 2.3	Bobinas de carga.....	52
Figura 2.4	Bobina de carga o línea abierta.....	53
Figura 2.5	Detección de un puente con un TDR.....	56
Figura 2.6	Interferencia interna.....	57
Figura 2.7	Representación grafica para NEXT y FEXT.....	58
Figura 2.8	Interferencias externas.....	59
Figura 2.9	Servicios y sus requerimientos de capacidad.....	66
Figura 2.10	Ejemplo de zonas de cobertura DSL.....	69
Figura 2.11	Topología de una red DSL básica.....	78
Figura 2.12	Pila de protocolos xDSL extremo a extremo y su ubicación dentro de una red.....	80
Figura 2.13	Modem.....	81
Figura 2.14	DSLAM.....	82
Figura 2.15	Arquitectura DSLAM.....	83
Figura 2.16	Papel central del DSLAM en DSL.....	85
Figura 2.17	Concentrador de Acceso Universal.....	87
Figura 2.18	Conexión HDSL – Simétricos - Conexión punto a punto.....	89
Figura 2.19	Conexión ADSL – Asimétricos - Conexión punto a multipunto.....	89
Figura 2.20	Posible conexión en la CPE.....	90
Figura 3.1	Arquitectura Esquemática de la red telefónica fija.....	94

Figura 3.2 Red de acceso en cobre – Red Primaria.....	95
Figura 3.3 Red de Acceso en Cobre - Segmento Secundario – Canalizada.....	95
Figura 3.4 Red de Acceso en Cobre - Segmento Secundario – Aérea.....	96
Figura 3.5 Determinación de áreas de cubrimiento y localización de centrales telefónicas.....	97
Figura 3.6 Zonificación de la ciudad de Popayán.....	98
Figura 3.7 Ubicación de Centrales Telefónicas.....	100
Figura 3.8 Distritos - Zona 1 (60 distritos).....	101
Figura 3.9 Distritos - Zona 2 (37 distritos).....	102
Figura 3.10 Distrito - Zona 3 (1 distrito).....	103
Figura 3.11 Red telefónica para la Zona 1.....	104
Figura 3.12 Red telefónica para la Zona 2.....	105
Figura 3.13 Red telefónica para la Zona 3.....	106
Figura 3.14 Aplicaciones de Internet – Requerimientos de velocidad.....	109
Figura 3.15 Costos de aprovisionamiento (iniciales) de servicios DSL por suscriptor.....	117
Figura 3.16 Zonificación DSL Central 1.....	120
Figura 3.17 Zonificación DSL Central 2.....	121
Figura 3.18 Zonificación DSL Central 3.....	122

## LISTA DE TABLAS

Tabla 1.1	Velocidades y distancias VDSL.....	19
Tabla 1.2	Banda de frecuencias Plan A.....	22
Tabla 1.3	Banda de frecuencias Plan B.....	22
Tabla 1.4	Velocidades y distancias SDSL.....	41
Tabla 2.1	Categorías del par trenzado - AWG .....	47
Tabla 2.2	Valores de resistencia a temperatura ambiente.....	53
Tabla 2.3	Valores de resistencia y distancia para cada tecnología xDSL .....	54
Tabla 2.4	Valores de Capacitancia para cada categoría de cable .....	54
Tabla 2.5	Simetría de los servicios .....	65
Tabla 2.6	Comparación de las tecnologías xDSL (calibre 26 AWG) .....	68
Tabla 2.7	Formato de recolección de los requerimientos del cliente .....	75
Tabla 2.8	Criterios de simetría, distancia y velocidad.....	76
Tabla 2.9	Características de un DSLAM.....	85
Tabla 3.1	Distancias de los abonados críticos .....	106
Tabla 3.2	Tipos de tráfico – Colombia 2.001.....	108
Tabla 3.3	Aplicaciones de Internet – Colombia 2.001 .....	109
Tabla 3.4	Costos de los Equipos DSLAM y sus respectivas tarjetas .....	114
Tabla 3.5	Costos de los Equipos de usuario CPE .....	114
Tabla 3.6	Costos de los Equipos de red .....	115
Tabla 3.7	Costos de la estación de gestión .....	118
Tabla 3.8	Costo total para una red DSL.....	118
Tabla 3.9	Costos servicios DSL en Popayán .....	118

# **CRITERIOS DE DISEÑO PARA UNA RED DE ACCESO DE NUEVA GENERACIÓN**

## **INTRODUCCIÓN**

En el campo de las telecomunicaciones hay una serie de avances que hacen que la estructura de las redes tenga que modernizarse drásticamente, para esto se debe cambiar la estructura horizontal de la prestación de los servicios, en la cual cada servicio posee su propia infraestructura y recursos, que hace que la interoperabilidad entre diferentes redes y servicios sea complicada. Un modelo vertical, donde todas las aplicaciones funcionen sobre una única infraestructura parece ser el más indicado. Este es el concepto empleado por las Redes de Nueva Generación (NGN – Next Generation Networks), las cuales están siendo impulsadas por la industria de telecomunicaciones como la solución más adecuada a las necesidades presentes y futuras.

La Agenda de Conectividad es uno de los instrumentos del gobierno nacional para acercar a la comunidad al fácil acceso de la información, tomando medidas para que la mayoría de la población pueda acceder a recursos tecnológicos tales como el acceso a Internet, lo que impulsa el desarrollo de la sociedad Colombiana. El gobierno debe crear leyes que permitan estimular el crecimiento de la industria de telecomunicaciones para que Colombia avance en el desarrollo tecnológico y esté al par de las grandes naciones.

Tratando de establecer cual es la alternativa tecnológica más adecuada para el acceso por parte de los usuarios a los contenidos de información, se realizó este trabajo que permitió adquirir un conocimiento profundo acerca de las diferentes tecnologías de acceso y establecer una serie de criterios de diseño que le permitan a los operadores de servicios de banda ancha determinar la solución tecnológica más adecuada para cada uno de los clientes que solicitan sus servicios. Según la Comisión de Regulación de Telecomunicaciones (CRT), actualmente la familia DSL (Digital Subscriber Line - Línea de Abonado Digital) es la tecnología de acceso más adecuada para proporcionar servicios de Banda Ancha en Colombia.

Para la aplicación de los criterios de diseño se realizó un ejercicio académico que consistió en simular una red telefónica para la ciudad de Popayán sobre la cual se pudiera desplegar una red DSL, suponiendo que se contaba con estudios de mercadeo y de demanda de servicios para determinar el número y tipo de usuarios. Además, se establecieron zonas de cobertura y se realizó un estudio de costos de equipos y despliegue de la red.

En el capítulo uno se trata a fondo la familia de tecnologías xDSL, características, ventajas y desventajas. El capítulo dos, contiene una serie de criterios que son aplicados en el diseño de una red DSL para la ciudad de Popayán y cuyo resultado esta consignado en el capítulo tres. Finalmente, el capítulo cuatro contiene las conclusiones y recomendaciones a las que se llegaron con el desarrollo de este trabajo.

## Capítulo 1:

### FAMILIA xDSL

#### 1.1 INTRODUCCIÓN

Analizando las características de cada una de las tecnologías de acceso consignadas en el Anexo A y según la CRT, se puede concluir que xDSL es la opción tecnológica más favorable para la implementación de una red de acceso para una NGN, debido a que utiliza una infraestructura existente, los pares trenzados de la Red Telefónica Pública Conmutada (PSTN - Public Switched Telephony Network), además es una tecnología madura y estandarizada que cumple con las expectativas del mercado de las telecomunicaciones, su implementación es sencilla y los costos no son elevados en comparación con otras tecnologías.

La familia de tecnologías xDSL fue desarrollada para transportar datos a grandes velocidades aprovechando al máximo las características físicas y eléctricas de los pares de cobre, los cuales se encuentran desplegados en casi todas las ciudades y pueblos del mundo. La transmisión de información de banda ancha a través de las líneas telefónicas, implementadas inicialmente para la transmisión de voz analógica, es posible gracias a sofisticadas técnicas de modulación que permiten extender el uso de las líneas PSTN y así permitir el acceso por parte de los usuarios a los diferentes servicios de banda ancha prestados por los proveedores.

Adelantos tecnológicos tales como el acelerado desarrollo de Internet y la aparición de nuevos servicios son los principales motores de las NGN, las cuales se basan en la prestación al usuario de servicios de banda ancha en cualquier momento y lugar. En el campo del acceso fijo, lo ideal sería llegar a cada cliente directamente con fibra óptica, pero esta solución es demasiado costosa, sobre todo en países como Colombia donde el poder adquisitivo de la mayoría de la población es muy bajo. Por esto, las empresas de telecomunicaciones que desean continuar siendo competitivas deben aprovechar la infraestructura de telecomunicaciones existente y proveer servicios NGN a quien se los solicite.

La infraestructura de acceso en las redes de telefonía esta basada principalmente en pares de cobre, y es ahí donde se enfocan las empresas para la adición y retención de clientes, puesto que con tecnologías como xDSL se pueden proveer los servicios más solicitados, tales como acceso a Internet y transporte de información (T1 - 1.544 Mbps / E1 - 2.048 Mbps), y en ocasiones los Servicios de Telefonía Básica (POTS - Plain Old Telephone Service) tradicionales (p.e. voz analógica).

En este capítulo se presentan las diferentes variedades de DSL, sus características, ventajas y desventajas, anchos de banda, servicios que se pueden prestar con cada una de ellas y otras particularidades. En la tabla 2.6 del capítulo 2 se muestra una comparación entre las diferentes tecnologías DSL.

## 1.2 LÍNEA DE ABONADO DIGITAL ASIMÉTRICA (ADSL - ASYMMETRIC DIGITAL SUBSCRIBER LINE)

### 1.2.1 Antecedentes

Esta técnica fue desarrollada en principio para la distribución de señales de televisión con el fin de que los operadores de telefonía pudieran competir con los de cable en el negocio de la distribución de televisión, de ahí sus objetivos iniciales de capacidad (8 Mbps hacia el abonado y 640 Kbps en sentido inverso), que hacen posible la transmisión de hasta 4 canales comprimidos de televisión simultáneamente a cada abonado. Esta técnica surgida a principios de los 90, no encontró su principal aplicación en la distribución de señales de vídeo, sino en el acceso a Internet a alta velocidad. Una característica importante de esta técnica es su capacidad para compartir el espectro con la telefonía tradicional o con los servicios de la Red Digital de Servicios Integrados (RDSI) sobre el mismo par de cobre, lo que permite el empleo simultáneo del par de cobre para la conversación telefónica y la transmisión de datos, la separación se obtiene con filtros adecuados, llamados splitters.

ADSL es muy conveniente para las aplicaciones de Pequeña Oficina / Oficina en el Hogar (SOHO - Small Office / Home Office) de uso residencial y empresarial que requieren un acceso a Internet dedicado y de alta velocidad. Un circuito de ADSL es la conexión entre un módem de ADSL en cada extremo de una línea telefónica de par trenzado, creándose en el cable de cobre tres canales, uno de información en sentido descendente de gran velocidad, otro de media velocidad en sentido ascendente, y un canal de servicio telefónico básico.

### 1.2.2 Concepto de ADSL

ADSL es una tecnología de acceso a Internet que permite una transmisión de datos en forma digital a alta velocidad sobre el par de cobre de la línea telefónica. Esta tecnología utiliza espectros de frecuencia distintos a los que utiliza la voz, por lo que por una misma línea telefónica se puede utilizar el servicio de telefonía y estar conectado a Internet al mismo tiempo. La especificación de esta tecnología está consignada en la recomendación ITU-T<sup>1</sup> G.992.1. A continuación se explica el porque de sus siglas en inglés:

A (Asymmetric = Asimétrico)

Es asimétrico porque la velocidad de transmisión en sentido descendente es diferente a la velocidad en sentido ascendente<sup>2</sup>, con esta clase de DSL se tiene una mayor velocidad de bajada que de subida.

D (Digital = Digital)

Es digital porque las señales eléctricas transmitidas entre la ubicación del usuario y el terminal ubicado en la central representan información digital, al contrario de las señales analógicas que se transmiten en un enlace telefónico típico.

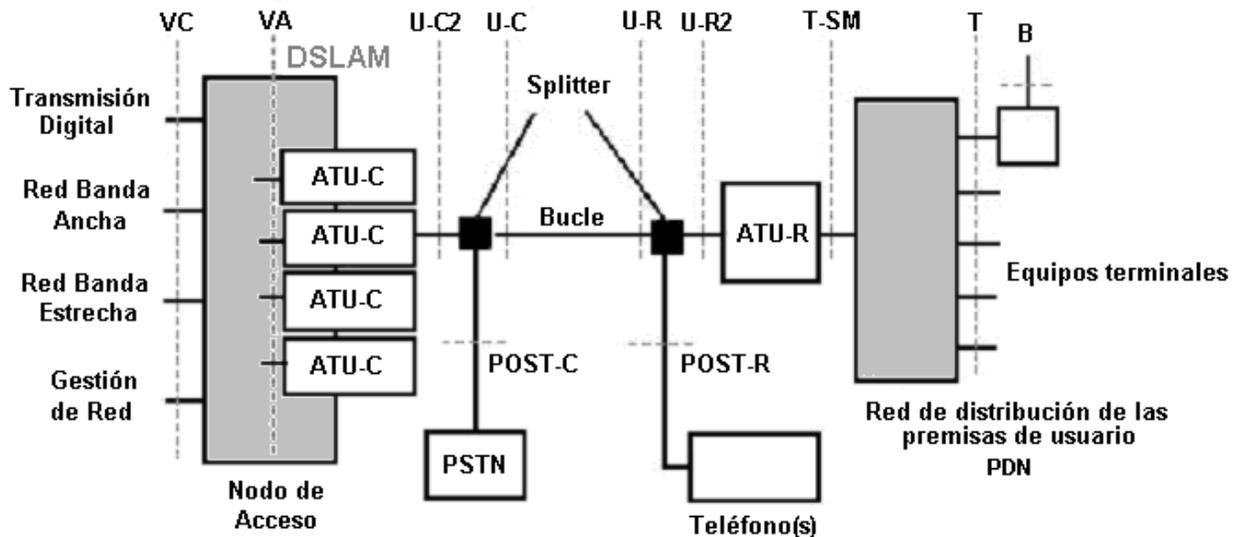
<sup>1</sup> Unión Internacional de Telecomunicaciones (ITU - International Telecommunications Union)

<sup>2</sup> Sentido descendente (De la central al usuario) – Sentido ascendente (Del usuario a la central)

SL (Subscriber Line = Línea de abonado)

Esta tecnología aprovecha el tendido telefónico basado en pares de cobre, y esta pensada para utilizar la línea telefónica de un usuario común.

### 1.2.3 Arquitectura de ADSL



VC - Interfaz entre el Nodo de Acceso y la Red (WAN)  
 VA - Interfaz lógica entre la ATU-C y el Nodo de Acceso  
 U-C2 - Interfaz entre el Splitter y la ATU-C  
 U-C - Interfaz entre el bucle y el splitter en el lado de la red  
 U-R - Interfaz entre el bucle y el splitter en el lado de las premisas de usuario  
 U-R2 - Interfaz entre el Splitter y la ATU-R  
 T-SM - Interfaz entre la ATU-R y la PDN  
 T - Interfaz entre la PDN y los módulos de servicio  
 B - Entrada auxiliar de datos al módulo de servicios

Figura 1.1 Arquitectura ADSL

La arquitectura de la red ADSL es muy simple (Figura 1.1), esta compuesta de las siguientes partes:

**Unidad Transceptora<sup>3</sup> ADSL en el terminal Remoto (ATU-R - ADSL Transceiver Unit Remote):** Este es el módem digital que se instala en la ubicación del cliente y que está conectado a la línea telefónica y al computador, los datos son modulados mediante el uso de modulación Multi-Tono Discreto (DMT - Discrete Multi-Tone), según la recomendación ITU-T G.992.1, sobre una banda de frecuencia superior a la del servicio telefónico común, ó sea, arriba de los 4 KHz.

<sup>3</sup> En algunas ocasiones llamada Unidad de Terminación o Unidad de Transmisión.

**Splitter:** Es el elemento que divide las señales de voz y de los datos, y evita las interferencias provocadas sobre la transmisión de datos cuando se cuelga (on hook) o se levanta (off hook) el auricular del teléfono del lado del usuario. El Splitter consiste básicamente en un par de filtros que van a dividir el espectro de la señal en dos bandas, una banda de frecuencias bajas de 0 a 4 KHz para el servicio de voz y una banda para datos que esta compuesta por las frecuencias mayores a 4 KHz, hasta los 1100 KHz. Al filtrar las frecuencias bajas se separa la voz y se eliminan las interferencias provocadas por la transmisión de datos, de la misma forma al filtrar las frecuencias altas se separan los datos.

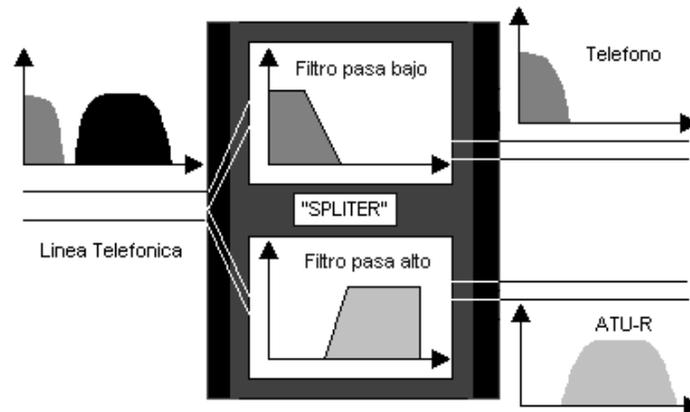


Figura 1.2 División del espectro por parte del splitter

**Unidad Transceptora ADSL en la Oficina Central (ATU-C - ADSL Transceiver Unit Central Office):** Es el módem digital que está ubicado del lado de la central (Operador de Red), este debe utilizar el mismo tipo de modulación que el ATU-R. Generalmente es una tarjeta que se inserta en el equipo que concentra y multiplexa el tráfico de datos (DSLAM).

**Multiplexor de Acceso de DSL (DSLAM - Digital Subscriber Line Access Multiplexer):** Este es el componente que concentra y multiplexa el tráfico de los usuarios DSL. Antes del DSLAM está el cableado proveniente del Splitter de la Central que separa la información de voz y datos provenientes del usuario, y del otro lado del DSLAM se encontrará la red de datos, que puede ser una red tipo Modo de Transferencia Asíncrono (ATM - Asynchronous Transfer Mode) que proveerá el camino para llegar a los diferentes Proveedores de Internet.

#### 1.2.4 Funcionamiento

Como ADSL funciona punto a punto, no necesita control de acceso al medio y cada usuario obtiene toda la velocidad disponible de forma continua. Sin embargo, la velocidad de los módem ADSL depende de las características de la línea, tales como distancia, calibre y el estado físico en el que se encuentre. Los módem ADSL de velocidad variable se adaptan a las condiciones de la línea.

### 1.2.4.1 División Espectral

La banda de frecuencias utilizada en ADSL esta comprendida desde 0 hasta 1,1 MHz, ya que más allá de los 1,1 MHz las perdidas serían demasiado altas. Éste ancho de banda se reparte en 3 canales fundamentales (figura 1.3):

- **Canal telefónico (0 - 4 KHz):** Corresponde al espectro clásico de un canal telefónico analógico o canal telefónico básico, que se ubica entre 0 y 4 KHz, el ancho de banda utilizado por el canal telefónico generalmente es de 3.100 Hz, ó sea, la banda de frecuencias que va desde los 300 Hz hasta los 3.400 Hz aproximadamente. El cual es más que aceptable para una transmisión de voz con buena fidelidad.
- **Canal de subida (25 KHz - 138 KHz):** Sirve para la transmisión de información desde la ubicación del cliente hasta la central telefónica, con velocidades que varían entre 16 Kbps y 640 kbps.
- **Canal de bajada (200 KHz – 1,1 MHz):** Sirve para la transmisión desde la central telefónica hasta la ubicación del cliente, con el que se pueden alcanzar velocidades entre 1,544 Mbps y 8 Mbps. Este canal se puede presentar al usuario como uno solo, ó múltiples subcanales, siempre dependiendo de la función a realizar.

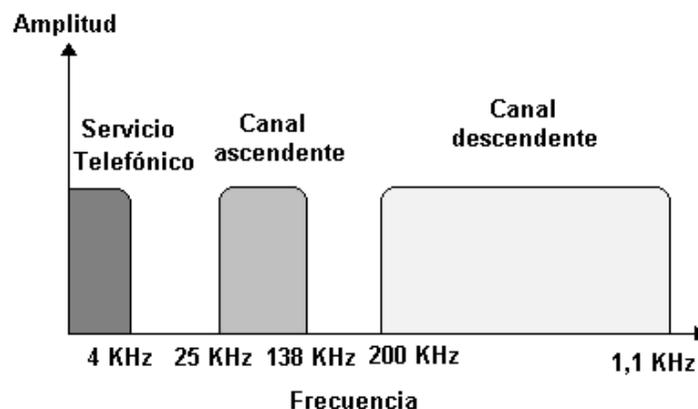


Figura 1.3 Distribución del espectro en ADSL

### 1.2.4.2 Métodos de Separación de Canales

Para soportar canales bidireccionales, los módems ADSL dividen el ancho de banda disponible con Multiplexación por División de Frecuencia (FDM – Frequency División Multiplexing), sin solapar las bandas asignadas para el enlace descendente y ascendente, o bien mediante un cancelador de eco.

#### 1.2.4.2.1 Multiplexación por División de Frecuencia

Este método asigna un ancho de banda para los datos del canal ascendente y otro ancho de banda para los datos del canal descendente. El canal descendente es dividido utilizando Multiplexación por División de Tiempo (TDM – Time División Multiplexing) en uno o más canales de gran velocidad y uno o más canales de baja velocidad. El canal ascendente es también multiplexado en sus correspondientes canales de baja velocidad.

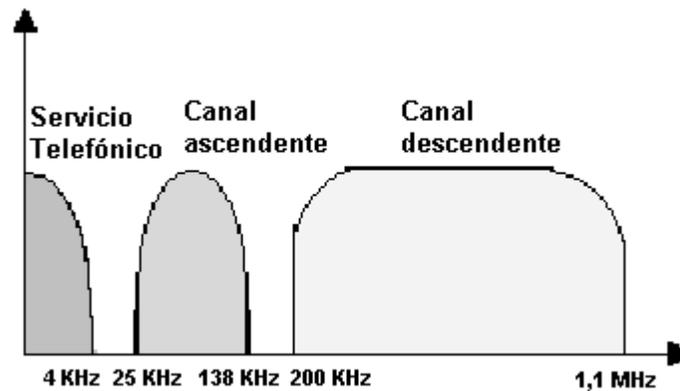


Figura 1.4 Distribución de espectro con FDM

#### 1.2.4.2.2 Cancelador de eco

El eco es una señal del transmisor local que se realimenta en el receptor debido al acoplamiento entre hilos. Por lo tanto, el cancelador de eco funciona conociendo lo que se transmite para restarlo de lo que se recibe. El cancelador de eco no puede combatir la Paradiafonía<sup>4</sup> ni la Telediafonía<sup>5</sup>, puesto que no existe forma de saber lo que es transmitido en esa línea adyacente. La cancelación de eco utiliza el ancho de banda más eficazmente, pero tiene un grado más de complejidad y costo económico.

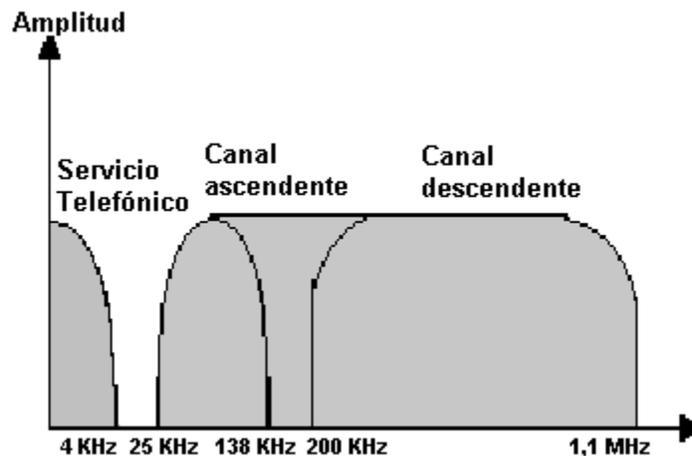


Figura 1.5 Distribución de espectro con Cancelador de Eco

En las Figuras 1.4 y 1.5 se muestran los espectros de las señales transmitidas por los módems ADSL, tanto en sentido ascendente como descendente. Como se puede ver, los espectros nunca se solapan con la banda reservada para el servicio telefónico básico.

<sup>4</sup> Conocida como Interferencia del Extremo Cercano (NEXT - Near-End cross Talk)

<sup>5</sup> Conocida como Interferencia del Extremo Lejano (FEXT - Far-End Cross Talk)

### 1.2.4.3 Técnicas de Modulación

Como con todas las tecnologías, ADSL tiene sus propios estándares. En 1994 se creó el ADSL Forum, un organismo encargado de promover y desarrollar la implementación y arquitecturas de ADSL, los estándares de modulación establecidos hasta el momento para ADSL son:

#### 1.2.4.3.1 Modulación por Amplitud y Fase Sin Portadora (CAP - Carrierless Amplitude Phase)

Fue desarrollada por AT&T Paradyne y ofrece una solución al problema de generar una onda modulada capaz de transportar cambios de amplitud y de fase. La versión CAP de la Modulación de Amplitud en Cuadratura (QAM - Quadrature Amplitude Modulation) almacena partes de una señal en una memoria y luego une los fragmentos de la onda modulada. La señal portadora se suprime antes de la transmisión ya que no contiene información y se vuelve a componer de nuevo en el módem receptor. De ahí la expresión de carrierless, es decir, sin portadora. Al comienzo de la transmisión, CAP también comprueba la calidad de la línea de acceso y utiliza la versión más eficaz de QAM para obtener el mayor rendimiento en cada señal. Este tipo de modulación permite llegar a velocidades de hasta 1,5 Mbps y es utilizado generalmente para la televisión por cable.

#### 1.2.4.3.2 Modulación Multitono Discreto (DMT - Discrete Multitone)

Fue desarrollada por Comunicaciones de Amati y la Universidad de Stanford. Dado que cuando las señales de alta frecuencia están 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 más datos en las frecuencias inferiores y menos datos en las superiores. DMT es la base del estándar T1.413 del Instituto Nacional Americano de Estándares (ANSI - American National Standards Institute).

Existe una variante de DMT, denominada Multi Tono Discreto Wavelet (DWMT - Discrete Wavelet Multi Tone) que es algo más compleja, pero a cambio ofrece un 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. También utiliza FDM para multiplexar el canal ascendente.

Mientras que DMT usa transformadas rápidas de Fourier para decodificar los bits en cada subcanal, el DWMT utiliza transformadas Wavelet (algoritmo para descomponer una señal en elementos más simples). El uso de la transformada de Fourier digital para decodificar bits en el algoritmo DMT genera armónicos en el receptor, sin embargo, la transformada Wavelet produce armónicos de energía más bajos, lo cual hace de esto una tarea más simple para detectar la señal decodificada en la recepción.

La Relación Señal a ruido (SNR - Signal Noise Relation) realizada con DWMT puede estar en el orden de 43 dB, mientras que DMT tiene una SNR de alrededor de 13 dB. Con DWMT, la mayoría de la energía está contenida en los subcanales actuales y no se pierde en los armónicos adicionales que resultan de la operación de transformada.

#### 1.2.4.3.3 CAP vs DMT

La modulación CAP tiene la ventaja de estar disponible para velocidades de 1,544 Mbps y su costo es menor debido a su simplicidad, la desventaja que presenta es que reduce el rendimiento en ADSL y es susceptible a interferencias debido a la utilización de un solo canal. La modulación del tipo DMT tiene la ventaja de ser la norma que han acogido el ANSI y el Instituto Europeo de Normas de Telecomunicaciones (ETSI - European Telecommunications Standards Institute), además ofrece cuatro veces más rendimiento que la modulación CAP para el tráfico de datos desde la central a la ubicación del cliente y diez veces más desde la ubicación del cliente a la central, también es menos susceptible al ruido, y las pruebas realizadas por los laboratorios Bell, demuestran que este tipo de modulación es más rápida que la CAP, independientemente de la distancia que separe los modems ADSL. Los inconvenientes son que su costo resulta superior al de CAP, debido a que es un sistema muy complejo.

#### 1.2.4.3.4 Modulación ADSL DMT con FDM

En una primera etapa coexistieron las dos técnicas de modulación para el ADSL: CAP y DMT. Finalmente los organismos de estandarización (ANSI, ETSI e ITU) se han decidido por la solución DMT.

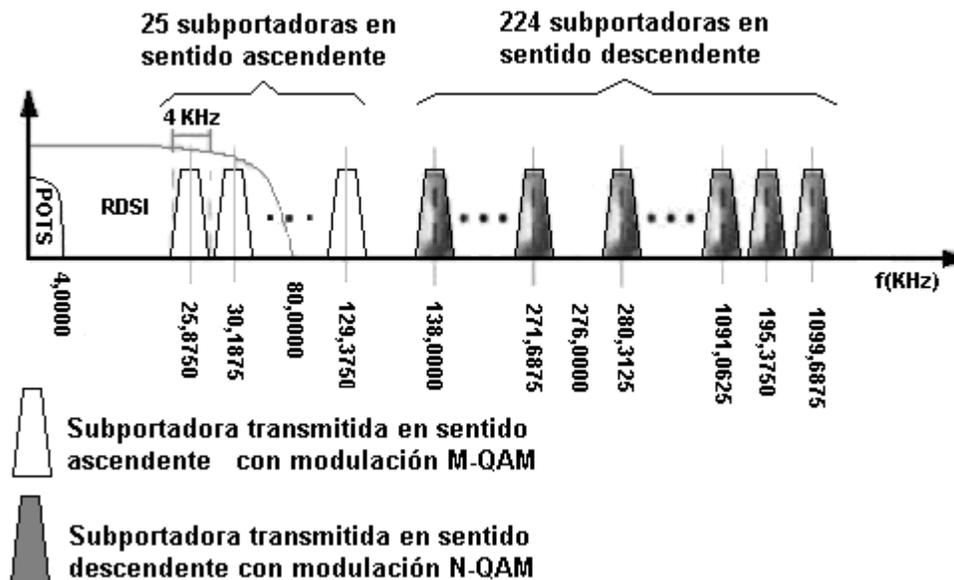


Figura 1.6 Modulación ADSL DMT con FDM

Básicamente consiste en el empleo de múltiples portadoras, y no solo una, que es lo que se hace en los modems de banda vocal. Cada una de estas portadoras (denominadas subportadoras) es modulada en cuadratura (modulación QAM) por una parte del flujo total de datos que se van a transmitir. Estas subportadoras están separadas entre sí 4,3125 KHz, y el ancho de banda que ocupa cada subportadora modulada es de 4 KHz. El reparto del flujo de datos entre subportadoras se hace en función de la estimación de la SNR en la banda asignada a cada una de ellas, cuanto mayor es esta relación, tanto mayor es el caudal que puede transmitir por una subportadora. Esta estimación de la SNR se hace al comienzo, cuando se establece el enlace entre el ATU-R y el ATU-C, por medio de una secuencia de negociación predefinida.

#### 1.2.4.3.5 Modulación ADSL DMT con cancelación de eco

La técnica de modulación utilizada 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.

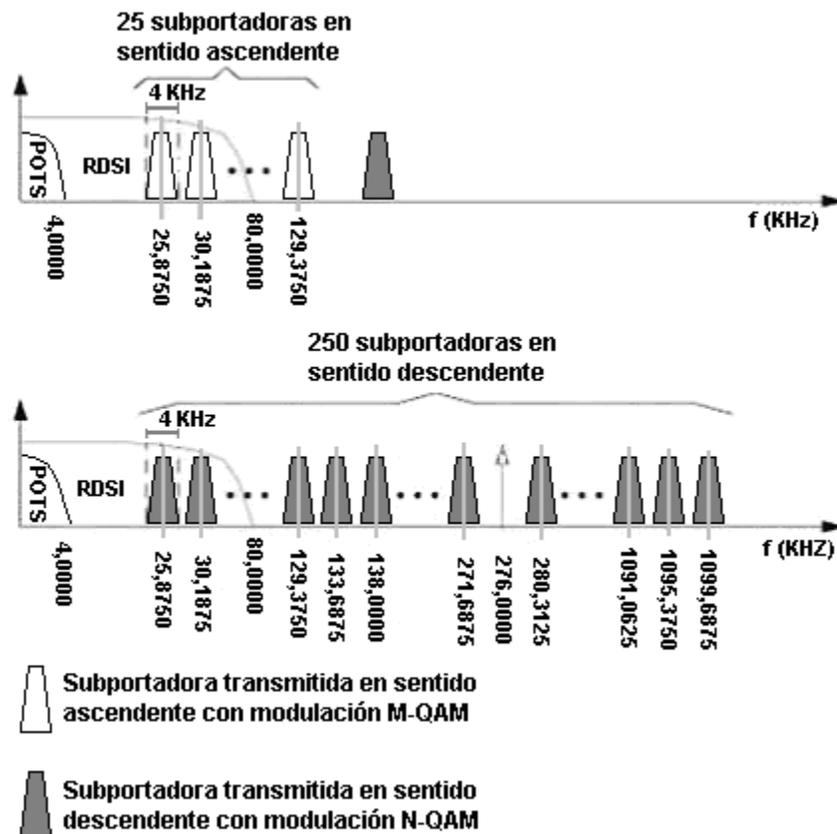


Figura 1.7 Modulación ADSL DMT con cancelación de eco

La modulación parece y realmente es bastante complicada, pero el algoritmo de modulación se traduce en una Transformada Rápida de Fourier Inversa (IFFT – Inverse Fast Fourier Transform) en el modulador, y en una Transformada Rápida de Fourier (FFT – Fast Fourier Transform) en el demodulador situado al otro lado del bucle.

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

En las Figuras 1.6 y 1.7 se muestran las dos modalidades de modulación para ADSL: modulación DMT con FDM y cancelación de eco. En la primera, los espectros de las señales ascendente y descendente no se solapan, lo que simplifica el diseño de los módems, aunque reduce la capacidad de transmisión en sentido descendente, no tanto por el menor número de subportadoras disponibles sino por el hecho de que las de menor frecuencia, aquéllas para las que la atenuación del par de cobre es menor, no están disponibles. La segunda modalidad, basada en un cancelador de eco para la separación de las señales correspondientes a los dos sentidos de transmisión, permite mayores caudales a costa de una mayor complejidad en el diseño.

### 1.2.5 Estructura de la Trama ADSL

Los canales de datos de ascenso y descenso son sincronizados con la tasa de símbolos ADSL DMT de  $4\text{KHz}$  y multiplexados en dos buffers de datos separados, uno llamado Búfer de Datos Rápidos(Fast Data Buffer) y el otro Búfer de Datos Entrelazados (Interleaved Data Buffer). ADSL utiliza una estructura de *supertrama* (Figura 1.8), en la cual cada supertrama se compone de 68 tramas de datos ADSL, que son codificadas y moduladas a símbolos DMT. Las tramas se encuentran numeradas desde la 0 hasta la 67. La tasa de símbolos DMT es de  $4000$  baudios (el periodo es de  $250\mu\text{s}$ ), pero debido al símbolo de sincronismo insertado al final de cada supertrama, la tasa transmitida de símbolos es de  $(69/68) * 4000$  baudios =  $4058,82$  baudios.

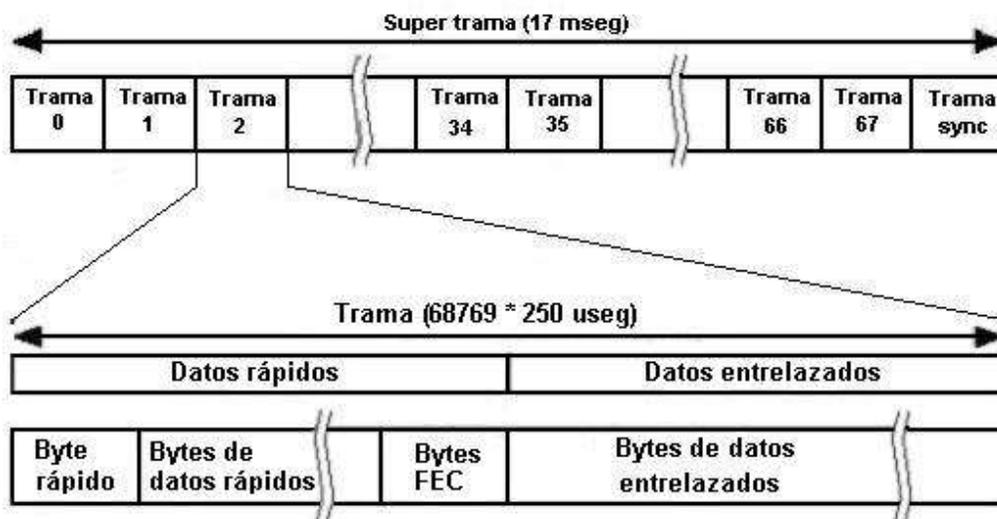


Figura 1.8 Estructura de supertrama ADSL

Como en el caso de cualquier método de transporte de datos, se deben proporcionar algunos mecanismos para sincronizar el formato y asegurar la entrega de la información digital. Con un formato estándar de información que se acomoda a las necesidades de los datos que los usuarios transportan, ADSL organiza la información en una jerarquía tiempo-sincronizada. Los datos en el transporte de ADSL son organizados así:

**Supertramas:** Estas representan el nivel más alto de presentación de los datos y se repiten cada 17 ms. Cada supertrama contiene sesenta y ocho tramas ADSL, una de las cuales se utiliza para proporcionar la sincronización de la supertrama, identificando el comienzo de una supertrama. Algunas de las tramas restantes también se utilizan para funciones especiales.

**Tramas:** Cada trama empieza con una duración límite de tiempo de 250  $\mu$ s. Mientras el cronometrado de las tramas restantes es constante, el tamaño real y el contenido de las tramas pueden variar con base en el modo de transporte.

Las tramas y supertramas tienen una organización inherente, proporcionando la estructura para sincronizar el transporte de información y gestionar la distribución de los diferentes canales portadores. Cada trama de ADSL se transmite en un formato fijo, como el mostrado en la Figura 1.8.

Cada trama tiene tres secciones generales:

- **Byte rápido (Fast byte):** Se utiliza para las funciones especiales del procesamiento de las supertramas-relacionadas.
- **Datos rápidos (Fast data):** Este campo se utiliza para la transmisión de información de tiempo real como el audio y para ayudar a garantizar la exactitud de los datos críticos (información transmitida sin posibilidad de retransmisión). Para esto también puede usarse Corrección de Errores hacia delante (FEC – Forward Error Correction).
- **Datos entrelazados (Interleaved data):** Estos son los datos del usuario que la interfaz de ADSL es responsable de transmitir. Este segmento de la trama de ADSL se usa típicamente como el mecanismo para transportar los datos conectados a una red de computadores (por ejemplo, Internet), o sea la carga útil.

Cada trama debe re-enviarse en un límite de 250 ms y la velocidad de los datos puede variar, la cantidad de información contenida en cada uno de los datos rápidos y los datos entrelazados de las tramas básicas también varía. Adicionalmente, todas las tramas de sincronización se mezclan en la transmisión para ayudar a garantizar que todas las tramas de sincronización de supertrama sean únicas.

Las sesenta y ocho tramas contenidas dentro de la supertrama se utilizan para llevar los datos, sincronizan la organización de tramas, y realizan las funciones de mantenimiento de enlaces especiales. La sincronización de Supertrama se logra utilizando la trama sesenta y ocho, la cual no contiene ningún dato del usuario y sólo se logra una configuración de la sincronización. Esta sincronización es importante considerando que algunas de las tramas restantes se utilizan para la detección de errores y señalización de control.

El fast data byte lleva diferente información en varias tramas dentro de la supertrama. El fast data byte en una supertrama específica incluye:

- El fast data byte de la trama 0 contiene el Chequeo de Redundancia Cíclica (CRC - Cyclical Redundancy Check), que se utiliza para asegurar la exactitud de la información de control de la supertrama.
- El fast data byte de las tramas 1, 34 y 35 contienen bits indicadores que se utilizan para la señalización de control del enlace. Algunos de estos indicadores incluyen:
  - Error de Bloque de Extremo Lejano (FEBE – Far End Block Error), que se usa para señalar una desigualdad recibida de los datos y que se recibió un CRC.
  - Código de Corrección de Extremo Lejano (FECC – Forward Error Correction Code), se utiliza para señalar la ocurrencia de errores en los datos recibidos y/o corregidos con FEC.
  - Pérdida de Señal (LOS – Lost Of Signal), se utiliza para indicar la pérdida en recepción en la calidad de la señal piloto. Esta pérdida en recepción es indicada a través de un cero indicando que una condición de LOS ha ocurrido, y uno cuando todo está bien (por lo menos con respecto a la LOS)
  - Indicación del Defecto Remoto (RDI – Remote Defect Indicator), se emite cuando una estación recibe una o más Tramas Severamente Erróneas (SEF – Severely Errored Frame). En el contexto de ADSL, un SEF ocurre cuando se reciben dos supertramas consecutivas con error.
  - Las tramas 2 hasta la 33 y de la trama 36 hasta la 67 (las tramas restantes) tiene Fast Data Bytes que contienen porciones de un Canal de Operaciones Incorporado (EOC - Embedded Operations Channel) y control de la sincronización. Estos bytes se utilizan para proporcionar el control del enlace y servicios de funcionamiento requeridos en la alarma y vigilancia de las fallas. Algunas de estas funciones tienen que ser consideradas con mayor detalle. Por ejemplo, las funciones de los EOC y campos de control de sincronización son sumamente complejas.

### 1.2.6 Canales Portadores

Siguiendo la jerarquía de los protocolos de telecomunicaciones, los servicios de enlace ADSL pueden soportar uno o más canales portadores. Cada uno de estos canales se puede usar para transportar diferentes flujos de información. El número de canales proporcionado en cada interfaz es dependiente de la velocidad en que el canal es capaz de operar. En la figura 1.9 se indica la distribución de los canales tanto en el enlace ascendente como en el enlace descendente.

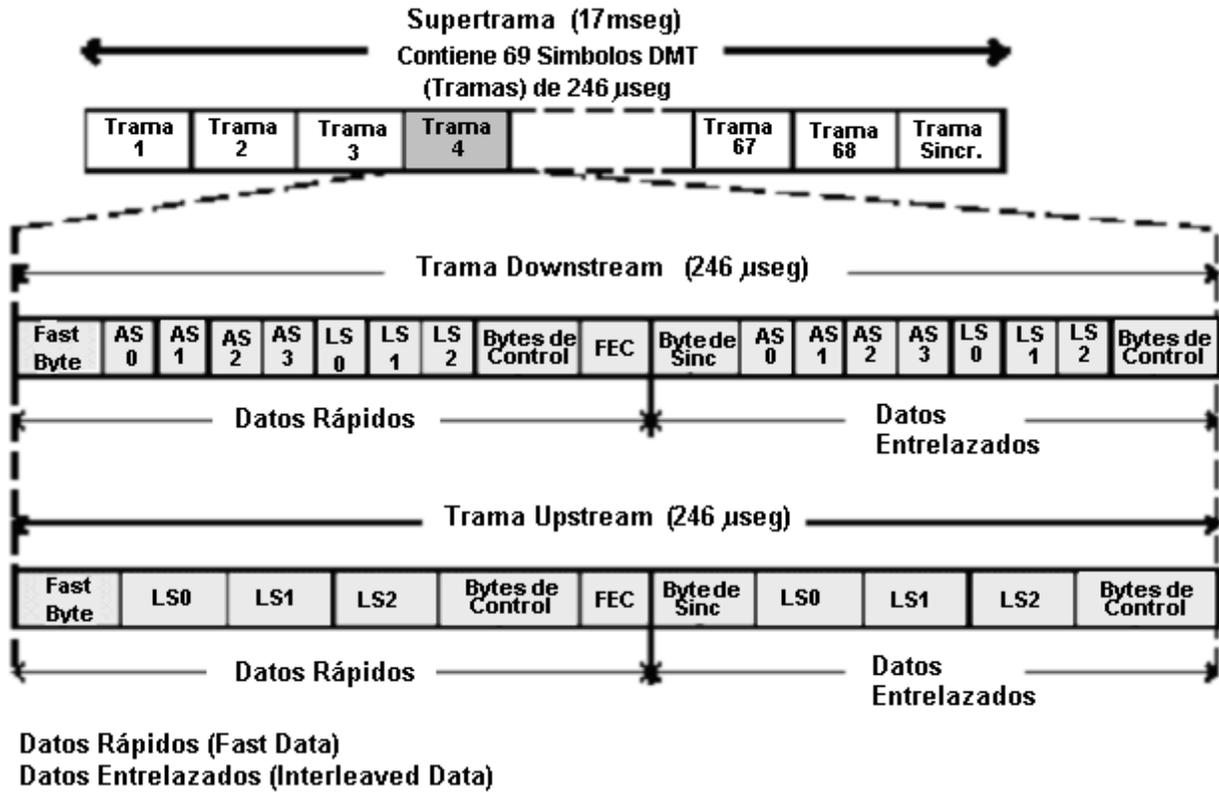


Figura 1.9 Asignación de canales en la trama ADSL

ADSL tiene dos tipos generales de canales portadores, AS y LS. Los canales de portador AS llevan el tráfico descendente a la ubicación del cliente. Pueden existir cuatro canales AS: AS0, AS1, AS2, y AS3. Los canales de portador LS son full dúplex, llevando la información en las direcciones ascendente y descendente. Puede haber hasta tres canales LS, desde el canal LS0 hasta el canal LS2. Cualquier canal portador puede operar a un múltiplo de 32 Kbps arriba de la máxima velocidad llevada por la interfaz particular. Las siglas AS y LS no tienen ningún significado especial.

En la figura 1.10 se indican los siete canales que se pueden establecer como máximo en un enlace ADSL.

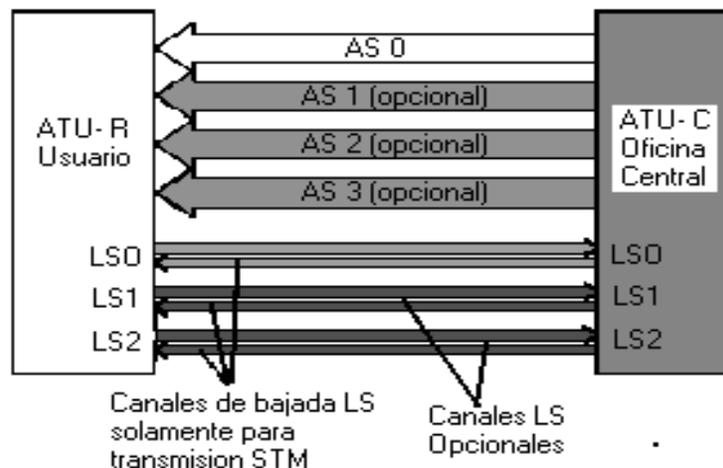


Figura 1.10 Canales AS y LS

Mientras que el número de canales de transporte puede variar, el canal AS0 siempre va a ser soportado. Los canales restantes son opcionales, dependiendo principalmente de la clase de transporte. Estas clases de transporte se seleccionan basándose en la velocidad de los datos y la configuración de los canales portadores sobre el enlace de referencia. Hay cuatro clases de transporte separadas, junto con un juego de clases optativas pensadas para aplicaciones europeas que utilizan los 2,048 Mbps, donde están los sistemas Carrier E-Class<sup>6</sup>. Las cuatro clases de transporte primarias son:

#### Transporte Clase 1

Pensado para circuitos cortos, donde están disponibles altas velocidades de datos, el transporte de clase 1 proporciona una velocidad de 6,144 Mbps de tráfico descendente hasta la ubicación del cliente. Puede consistir entre uno y cuatro canales portadores. Esta clase es considerada obligatoria y debe poder soportar un solo subcanal que corre a 6,144 Mbps en AS0. El transporte de clase 1 también incluye una serie de configuraciones de canales opcionales que contienen:

- Un canal portador de 4,608 Mbps y uno de 1,536 Mbps
- Dos canales portadores de 3,072 Mbps
- Un canal portador de 3,072 Mbps y dos de 1,536 Mbps
- Cuatro canales portadores de 1,536 Mbps

#### Transporte Clase 2

Esta clase es opcional y proporciona 4,608 Mbps de capacidad en el enlace descendente que puede construirse en base a tres canales de 1,536 Mbps. Así AS0, AS1, y AS2 pueden aparecer en el transporte clase 2, dependiendo de la configuración.

#### Transporte Clase 3

Esta clase también es opcional, y puede llevar 3,072 Mbps en el enlace descendente. En el caso del transporte clase 3, los canales portadores deben ser incluso múltiplos de 1,536 Mbps. Esto deja dos opciones para los canales portadores: un canal portador de 3,072 Mbps o dos canales portadores de 1,536 Mbps.

<sup>6</sup> Tipo de Sistema de Transporte utilizado en Europa

#### Transporte Clase 4

Esta clase es obligatoria y se utiliza en los bucles de mayor longitud, pero ofrece la capacidad en el enlace descendente más baja de todas las configuraciones ADSL. Sólo existe un canal portador de 1,536 Mbps sobre el AS0.

Estos sets de arreglos en los canales, están completamente basados en el estándar americano T1.

Se definen varias clases de transporte optativas para acomodar las normas europeas. Estas clases de transporte incluyen:

#### Transporte clase 2M-1

Esta clase proporciona una velocidad máxima de 6,144 Mbps, como en el caso del transporte clase 1, pero divide la velocidad en una colección de 2,048 Mbps que pueden incluir:

- Un canal de 6,144 Mbps
- Un canal descendente de 4,096 Mbps y uno de 2,048 Mbps
- Tres canales de 2,048 Mbps

#### Transporte clase 2M-2

Como el transporte clase 2, el transporte clase 2M-2 proporciona 4,096 Mbps. Esta clase puede colocarse en un canal de 4,096 Mbps o en dos canales de 2,048 Mbps.

#### Transporte clase 2M-3

Esta clase es opcional y está diseñada para los bucles de mayor longitud. Solo existe un canal portador de 2,048 Mbps.

Hay cuatro clases de transporte adicionales para soportar ATM. En estas clases, un solo canal portador AS0 puede correr a 1,760 Mbps, 3,488 Mbps, 5,216 Mbps o 6,944 Mbps. Estas velocidades son submúltiplos de la utilizadas en ATM y se han seleccionado para ayudar a que se asegure la compatibilidad con los mecanismos de transporte ATM. Además del tráfico en sentido descendente, se especifica un rango de mecanismos para soportar la transferencia de información de control y de datos del canal ascendente. Hay dos tipos adicionales de canales: los canales C (Control), que es un canal de control obligatorio, y dos canales portadores bidireccionales llamados LS1 y LS2. El canal C siempre corre a 64 kbps.

Cada una de las clases de transporte especifica el número de canales portadores en el canal descendente, también contiene un juego de estándares de configuraciones para los canales bidireccionales (LS1 y LS2), y la configuración del canal C.

## 1.2.7 Ventajas y desventajas

### 1.2.7.1 Ventajas

- Ahorro de costos, ya que elimina la necesidad de instalar fibra óptica en el bucle de abonado para suministrar servicios de alta velocidad, por lo tanto, no se requiere de trabajos de ingeniería civil para tender nuevos cables.
- ADSL puede introducirse con base en la demanda por usuario individual, esto es importante para los operadores de la red porque significa que su inversión en ADSL es proporcional a la aceptación de los servicios multimedia de altas velocidades por parte del usuario.
- Para los usuarios, los servicios ADSL aportan nuevas posibilidades de acceso de alta capacidad para soportar una gran variedad de aplicaciones, desde multimedia a interconexión de Redes de Área Local (LAN - Local Area Network) y acceso a Internet.
- Una de las mayores ventajas de ADSL sobre los módem analógicos, RDSI y HDSL reside en su capacidad para proporcionar soporte de servicio telefónico sin impacto alguno en la capacidad de procesamiento de datos.

### 1.2.7.2 Desventajas

- El sistema no es compatible con líneas que prestan servicios especiales, como son RDSI, hilo musical, etc., aunque se están preparando dispositivos para que sean compatibles.
- La distancia desde la central telefónica hasta la ubicación del cliente debe tener un máximo, cuanto mayor sea la distancia menor será la velocidad o incluso no se podrá desplegar ADSL.
- Aun a pesar de que las condiciones anteriores se cumplan, quizás no se pueda montar ADSL debido a un exceso de interferencias en la línea telefónica.
- Debe contratarse el servicio a la operadora telefónica correspondiente. Esto no sucede con los módem habituales, puesto que basta con conectarlos a la red, sin tener que dar aviso a la operadora.
- Otro inconveniente importante es la saturación de los servidores al conectarse muchos usuarios con ADSL.

## 1.2.8 Factibilidad de instalar ADSL

Las distintas velocidades que ofrece ADSL dependen 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 superior a 5,5 Km entre un módem ADSL y otro, es decir desde donde se encuentra el computador del usuario hasta donde está la central telefónica más próxima. En muchos casos, esta circunstancia no será ningún inconveniente, ya que en centros urbanos o periferias de grandes ciudades, es probable que exista una central telefónica con ADSL a una distancia inferior.

Otro factor clave en este tipo de tecnología es el estado del cable. Una comunicación ADSL trata de sacar el máximo partido al par de cobre, utilizando como elemento clave el bajo nivel de ruido de la línea, para esto es necesario que éste se encuentre en perfectas condiciones, ya que de lo contrario puede darse el caso de no llegar a alcanzar las velocidades especificadas en los estándares.

Actualmente, existen en el mercado dispositivos que permiten medir ciertas características del par de cobre para determinar si este es o no capaz de soportar el servicio ADSL, tal es el caso de los Reflectómetros en el Dominio del Tiempo (TDR - Time Domain Reflectometer).

### 1.3 LÍNEA DE ABONADO DIGITAL DE MUY ALTA VELOCIDAD (VDSL - VERY HIGH RATE DIGITAL SUBSCRIBER LINE)

#### 1.3.1 Introducción

VDSL es la más rápida de las tecnologías xDSL, se trata de un tipo de conexión que puede ser simétrica o asimétrica, y puede alcanzar velocidades de 1,5 a 6 Mbps en sentido ascendente y 13 a 55,2 Mbps en sentido descendente sobre un simple par trenzado, utilizando modulación DWMT. Su alcance esta entre 300 y 1.500 metros. VDSL está destinado a ser utilizado en conjunto con tecnologías que utilizan fibra óptica, tales como Fibra hasta el Armario (FTTCab - Fiber To The Cabinet) o Fibra hasta el Edificio (FTTB - Fiber To The Building) y también con ATM o la Jerarquía Digital Síncrona (SDH - Synchronous Digital Hierarchy).

La conexión local al backbone de datos a grandes velocidades es hecha mediante fibra óptica. Existe un punto de acceso en la vecindad (FTTCab) o en el sótano del edificio (FTTB) que es propiedad del operador de telecomunicaciones (por lo general un armario), que utiliza VDSL para alcanzar la ubicación del cliente utilizando el bucle local existente (par trenzado), como se muestra en la figura 1.11. Este tipo de arquitectura es llamada Área de Servicio de Portador (CSA - Carrier Service Area), en la cual se concentra el tráfico de varios usuarios y se transporta a través de la fibra óptica hasta la central.

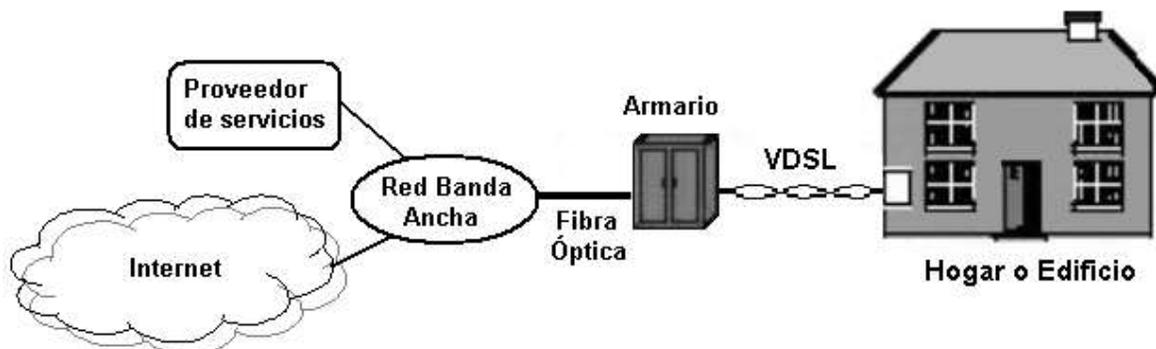


Figura 1.11 Conexión mediante VDSL

Es también posible el funcionamiento simultáneo de VDSL y de los servicios de banda estrecha tradicionales (POTS o RDSI) sobre una única línea telefónica. Esto requiere un divisor en cada extremo de la línea para separar la señal VDSL de mayor frecuencia de la señal POTS o RDSI de menor frecuencia. De forma alternativa, los servicios de banda estrecha pueden transmitirse dentro de banda formando parte de los datos digitales.

VDSL es un estándar consignado en la norma ITU-T G.993.1, la cual incluye planes de frecuencia mundiales que permiten servicios asimétricos y simétricos sobre pares de cobre. Los transceptores G.993.1 deben superar muchos tipos de interferencia de entrada tales como las frecuencias de radio y de otras técnicas de transmisión que tienen lugar en las mismas frecuencias, similarmente, los niveles de potencia de transmisión de G.993.1 han sido diseñados para minimizar la potencial interferencia de salida que puede afectar a otros sistemas de transmisión.

### 1.3.2 Velocidades y distancias

Las velocidades en sentido descendente son submúltiplos de SONET <sup>7</sup> y SDH (155,52 Mbps), normalmente 51,84, 25,92 y 12,96 Mbps. Las velocidades en sentido ascendente están bajo discusión, pero llegan a igualar a las descendentes (para los servicios simétricos).

VELOCIDAD	DISTANCIA
<b>Descendente</b>	
12,96 – 13,8 Mbps	1.500 metros
25,92 – 27,6 Mbps	1.000 metros
51,84 – 55,2 Mbps	300 metros
<b>Ascendente</b>	
1,62 – 6 Mbps	Igual a las de bajada

Tabla 1.1 Velocidades y distancias VDSL

### 1.3.3 Modelo de referencia general <sup>8</sup>

La figura 1.12 muestra la configuración de referencia utilizada para VDSL. Esta es esencialmente una arquitectura de FTTCab, con una Unidad de Red Óptica (ONU - Optical Network Unit) situada en la red de acceso alámbrada existente para llevar señales de y hacia la ubicación del cliente.

<sup>7</sup> Red Óptica Síncrona (SONET - Synchronous Optical Network)

<sup>8</sup> Según la Recomendación ITU-T G.993.1: Very-high-speed Digital Subscriber Line Foundation

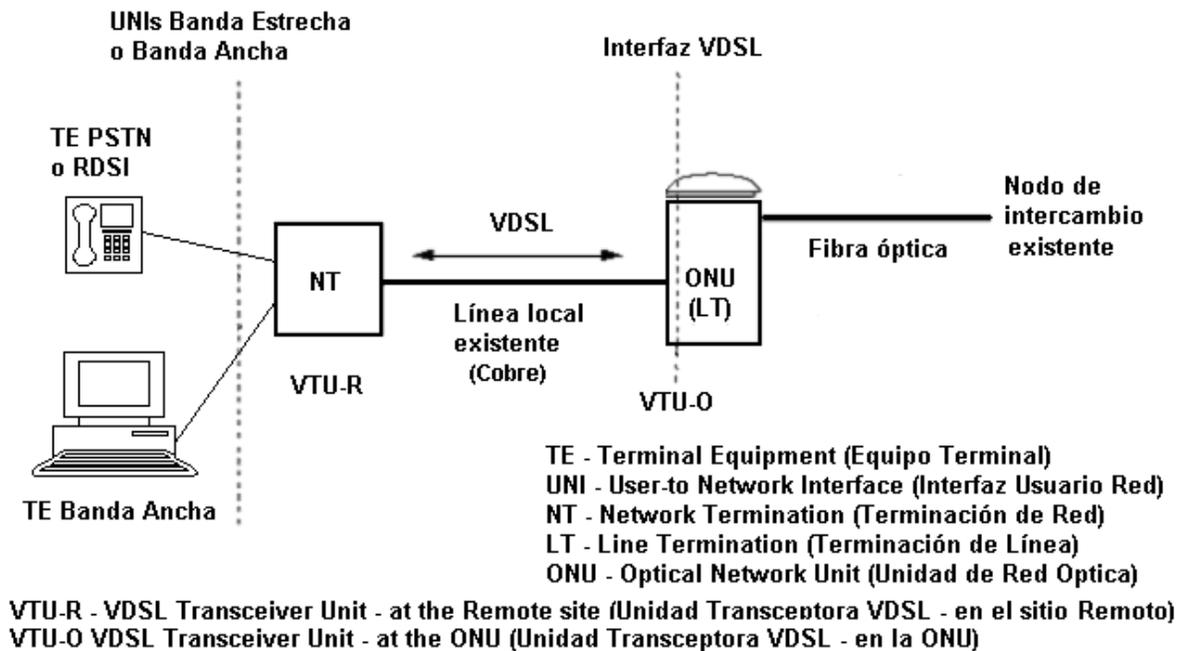


Figura 1.12 Modelo de Referencia General G.993.1

La configuración de referencia proporciona dos o cuatro caminos de datos, consistiendo en uno o dos caminos en sentido descendente y uno o dos caminos en sentido ascendente. Un solo camino en cada dirección puede tener una latencia alta (con menor BER<sup>9</sup> esperada) o menor latencia (con mayor BER esperada). Caminos duales en cada dirección proporcionan un camino de cada tipo. La configuración dual está pensada para que tenga latencia mínima y sea capaz de soportar un amplio conjunto de servicios. El modelo asume que se necesita una FEC en la carga útil y se requerirá entrelazando profundo (Interleaving) para proporcionar protección adecuada contra el ruido impulsivo.

VDSL encontrará aplicaciones en el transporte de varios protocolos. El servicio VDSL debe coexistir con los servicios de banda estrecha en el mismo par trenzado. Una falla de potencia en el ancho de banda de la NT o una falla del servicio VDSL no afectarán ningún servicio de banda estrecha existente. Esto puede implicar que el filtro divisor (splitter) sea de naturaleza pasiva y que no requiera potencia externa para proporcionar separación de frecuencia de VDSL y las señales de banda estrecha. La conformación espectral debe asegurar la compatibilidad espectral con otros servicios heredados (T1/E1, RDSI, ADSL, HDSL, etc.) en el mismo grupo de cables (grupo de pares trenzados de cobre). La máxima potencia de transmisión que los sistemas VDSL pueden inyectar en la línea en cualquiera de sus extremos es de 11,5 dBm, en comparación con los 20 dBm y los 13 dBm, respectivamente, para la transmisión en sentido descendente y ascendente en ADSL.

<sup>9</sup> Tasa de Error de Bit (BER – Bit Error Rate)

### 1.3.4 Características de la interfaz del medio de transmisión

#### 1.3.4.1 Método de Duplexación

Los transreceptores G.993.1 usan Duplexación por División de Frecuencia (FDD – Frequency Division Multiplexing<sup>10</sup>) en la separación de la transmisión ascendente y descendente. Estos sistemas utilizan un plan de cuatro bandas que empieza en 138 KHz y se extiende hasta 12 MHz. Las cuatro bandas de frecuencia se denominan como DS1, US1, DS2, y US2 <sup>11</sup>, para la primera banda descendente, la primera banda ascendente, la segunda banda descendente, y la segunda banda ascendente respectivamente, como se muestra en la Figura 1.13.

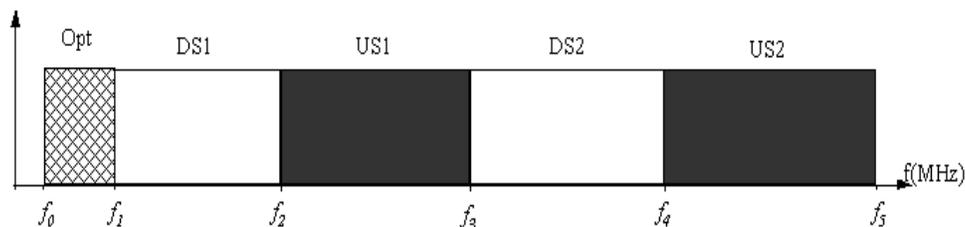


Figura 1.13 Localización de las bandas de frecuencia VDSL

#### 1.3.4.2 Bandas de transmisión

La banda entre 25 KHz ( $f_0$ ) y 138 KHz ( $f_1$ ) se utiliza de acuerdo a la recomendación ITU-T G.994.1<sup>12</sup>, para indicar y seleccionar la capacidad existente en los equipos G.993.1 (bit Opt Usage) y uso de uno de los dos siguientes bits:

- Si la banda se usa para el canal ascendente (bit OptUp)
- Si se usa para el canal descendente (bit OptDn)

Si el bit Opt Usage esta fijado en “uno” significa que el VTU puede ser configurado para el uso de la banda opcional de 25 a 138 KHz. Si el bit OptUp esta fijado en “uno” significa que el VTU puede ser configurado para el uso de la banda opcional de 25 a 138 KHz en la transmisión ascendente. Si el bit OptDn esta fijado en “uno” significa que el VTU puede ser configurado para el uso de la banda opcional de 25 a 138 KHz en la transmisión descendente.

<sup>10</sup> FDD provee dos bandas distintas de frecuencias para cada enlace (ascendente y descendente).

<sup>11</sup> DS – descendente, US - ascendente

<sup>12</sup> Handshake procedures for Digital Subscriber Line (DSL) transceivers (Procedimientos para poner de acuerdo a los transceptores DSL): Esta Recomendación provee un mecanismo flexible de los transceptores DSL para intercambiar capacidades y seleccionar un modo común de funcionamiento. Incluye parámetros que relacionan requerimientos de servicio y aplicación, así como parámetros pertinentes a varios trans-receptores DSL.

- Banda de frecuencias Plan A

En la tabla 1.2 se definen las frecuencias y el uso de la banda de frecuencias Plan A, que formalmente es llamando Plan 998 (utilizado en Norte América y Japón).

<b>Frecuencias</b>	<b>(MHz)</b>	<b>Dirección</b>
$f_0 - f_1$	0,25 – 0,138	Uso y Dirección opcionales
$f_1 - f_2$	0,138 – 3,75	Descendente
$f_2 - f_3$	3,75 – 5,2	Ascendente
$f_3 - f_4$	5,2 – 8,5	Descendente
$f_4 - f_5$	8,5 - 12	Ascendente

Tabla 1.2 Banda de frecuencias Plan A

- Banda de frecuencias Plan B

En la tabla 1.3 se definen las frecuencias y el uso de la banda de frecuencias Plan B, que formalmente es llamando Plan 997 (utilizado en Europa).

<b>Frecuencias</b>	<b>(MHz)</b>	<b>Dirección</b>
$f_0 - f_1$	0,25 – 0,138	Uso y Dirección opcionales
$f_1 - f_2$	0,138 – 3,0	Descendente
$f_2 - f_3$	3,0 – 5,1	Ascendente
$f_3 - f_4$	5,2 – 7,05	Descendente
$f_4 - f_5$	7,05 - 12	Ascendente

Tabla 1.3 Banda de frecuencias Plan B

#### 1.3.4.3 Requerimientos de desempeño ante errores

El sistema G.993.1 opera con un margen de ruido de por lo menos + 6 dB y una BER menor que  $10^{-7}$ . Las condiciones, bucles de prueba y modelos de ruido están siendo estudiadas.

#### 1.3.4.4 Requerimientos eléctricos de los Splitters

Un servicio de “splitters” (filtro divisor) se requiere en ambos extremos de la línea que lleva señales VDSL, para que los servicios de banda estrecha existentes permanezcan inalterados por la presencia de señales VDSL en el mismo par trenzado. La estructura del filtro divisor se muestra en la Figura 1.14. El puerto VDSL conecta al transceptor VDSL, el puerto TELE conecta el PSTN NT o el RDSI-BA NT existentes, la función entre TELE-PORT y LINE-PORT es un filtro pasa bajo y la función entre VDSL PORT y LINE PORT es un filtro pasa alto. Entre los puertos TELE y VDSL se requiere un gran aislamiento para prevenir la interacción indeseable entre VDSL y el servicio banda estrecha.

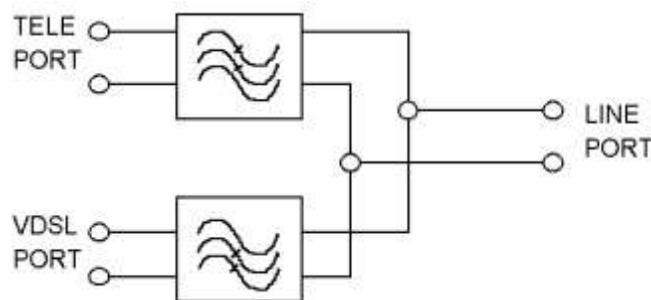


Figura 1.14 Estructura de un “splitter” VDSL

#### 1.3.4.5 DWMT

DWMT es un esquema de modulación multitono muy similar a DMT, en el cual se divide el canal en subcanales para hacer uso de las secciones del espectro de frecuencia que son menos afectadas por la interferencia. Mientras que DMT utiliza Transformadas Rápidas de Fourier para modular / demodular cada subcanal, DWMT utiliza Transformadas Rápidas Wavelet (FWT – Fast Wavelet Transform), que son algoritmos que sirven para descomponer una señal en elementos más simples. El uso de la Transformada de Fourier para decodificar bits en el algoritmo DMT genera armónicos en el receptor que hacen que la SNR se vea afectada. Por su parte, la Transformada Wavelet produce armónicos de energía más baja, presentando una mejor relación señal a ruido que la que tienen los sistemas DMT (cerca de 30 dB).

La diferencia fundamental entre DMT y DWMT es que esta última utiliza solapamiento en el dominio del tiempo para lograr una mayor compresión espectral de los canales en el dominio de la frecuencia. DMT trabaja con 256 subcanales, mientras que los sistemas DWMT utilizan 512. Una de las ventajas de DWMT sobre DMT es que el problema de la Interferencia Entre Canales (ICI - Inter Channel Interference) es mucho menos severo, pero a su vez es un poco más susceptible a la Interferencia Entre Bloques (IBI - Inter Block Interference). DWMT emplea PAM de una dimensión mientras que DMT utiliza QAM.

## **1.4 LÍNEA DE ABONADO DIGITAL DE ALTA VELOCIDAD DE DATOS (HDSL - HIGH DATA RATE DIGITAL SUBSCRIBER LINE)**

### **1.4.1 Antecedentes**

En la década de los 80, las compañías telefónicas tenían miles de kilómetros de par de cobre ya instalados, reconocían que los altos costos de la fibra óptica limitarían su desarrollo y eran conscientes de las fallas de los repetidores T1/E1. Así, comenzaron a buscar una mejor técnica, de tal forma que a finales de esa década el grupo de investigación de la compañía Bell, desarrollo un nuevo método al cual llamaron Línea de Abonado Digital de Alta velocidad de datos (HDSL). Su intención era entregar una forma de transmisión de alto desempeño y a un costo razonable, con la cual se pudiera transmitir velocidades de hasta 2 Mbps sobre el cable de cobre existente, rápida de instalar y que no necesitara repetidores o condiciones especiales de la línea. Inicialmente, el desarrollo de HDSL fue lento y se utilizó para proveer enlaces T1/E1 sobre las rutas más difíciles y potencialmente más complejas. Como los precios mejoraron, la implementación con HDSL llegó a ser un método rápido y de bajo costo para el establecimiento de enlaces T1/E1 sobre par de cobre en redes públicas y privadas.

Es importante destacar que las capacidades de adaptación de HDSL permiten un nivel de calidad de señal cercano al de un enlace con fibra óptica, y los servicios pueden estar disponibles en pocas horas. HDSL transforma el par de cobre en canales digitales de alta velocidad capaces de proveer opciones de servicios avanzados no sólo para corporaciones y pequeños negocios, sino también para los hogares. HDSL cuadruplicó la distancia a la cual una señal digital puede viajar sin necesitar el uso de repetidores.

### **1.4.2 Descripción**

La tecnología HDSL es simétrica y bidireccional, por lo que la velocidad desde la central al usuario y viceversa es la misma. Esta es una de las tecnologías DSL con mayor despliegue, ya que se encuentra implementada en grandes fábricas donde existen grandes redes de datos y es necesario transportar información a muy alta velocidad de un punto a otro. La velocidad que puede llegar a alcanzar es de 1,544 Mbps (full duplex) utilizando dos pares de cobre y de 2,048 Mbps sobre tres pares, aunque la distancia de 4.5 Kms que necesita es algo menor a la de ADSL.

### **1.4.3 Arquitectura HDSL para E1**

Cuando HDSL se utiliza para ofrecer un E1 (2,048 Mbps), la disposición de la arquitectura es la que se muestra en la figura 1.15, basada en la documentación de la ETSI para HDSL.

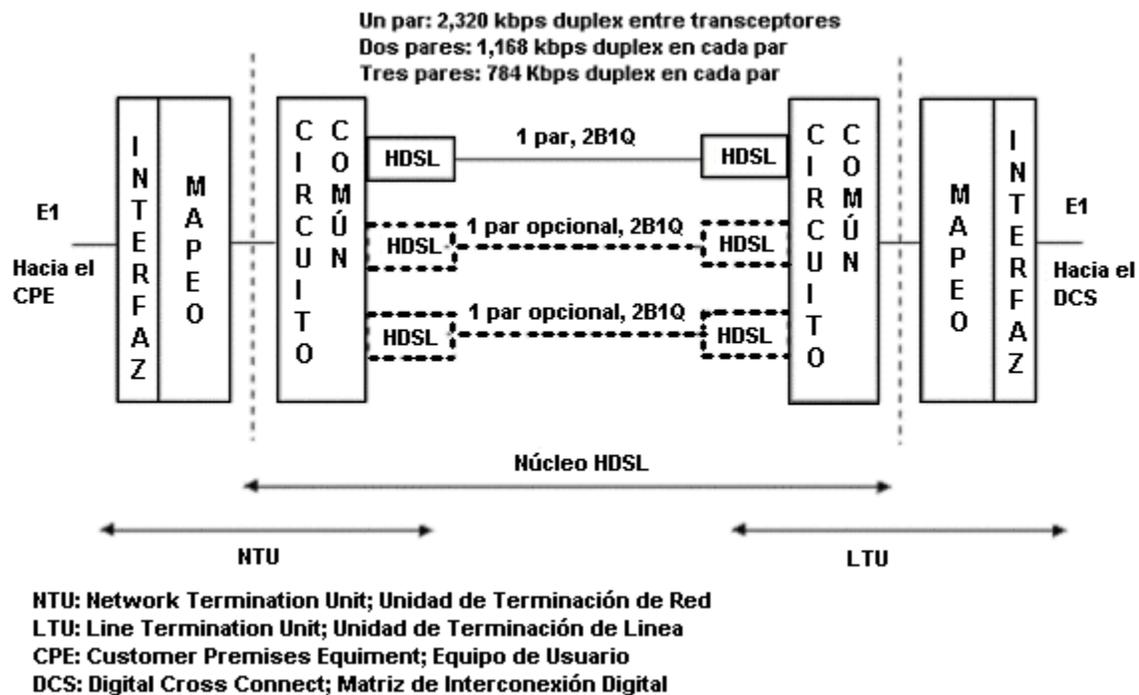


Figura 1.15 Arquitectura HDSL para E1

La parte izquierda de la figura 1.15 muestra un E1 ingresando en el equipo HDSL de la central del proveedor del servicio y un E1 saliendo hacia el usuario para ser conectado al CPE. En medio, HDSL transporta el E1. Los componentes de HDSL se agrupan tanto en la LTU de lado del proveedor, como en la NTU en la parte del usuario. Cada Unidad de Terminación consiste de cuatro grandes equipos:

- 1) El propio transceptor HDSL
- 2) Un sistema de circuitos eléctrico común utilizado en todas las versiones de HDSL, o sea sistemas de uno, dos o tres pares.
- 3) Un módulo para mapear los bits de la trama E1 en una estructura de trama HDSL y viceversa.
- 4) Una interfaz para aceptar un conector estándar E1.

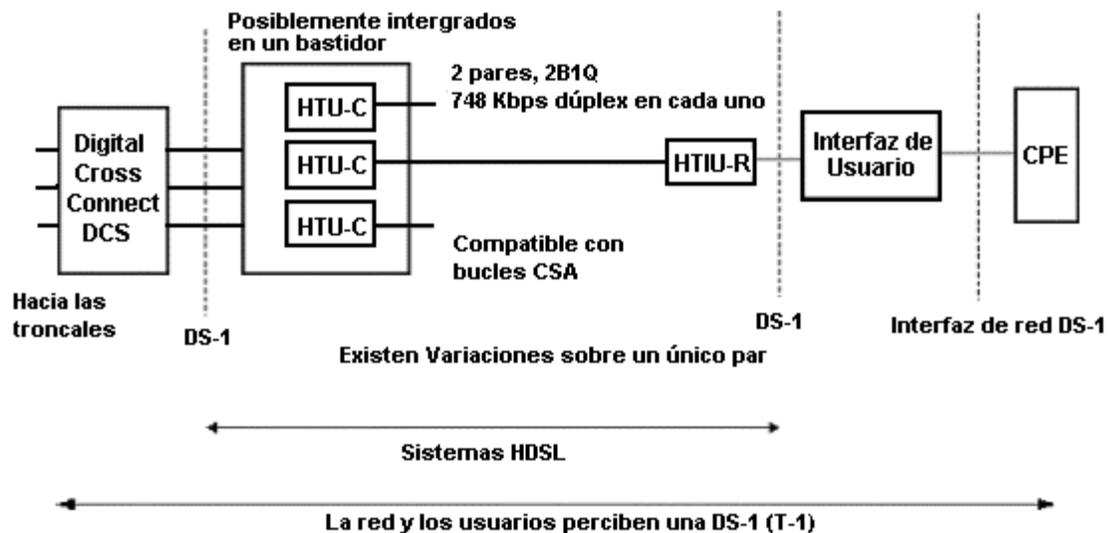
Los componentes desde el sistema de circuitos hasta el transceptor HDSL de cada extremo forman el núcleo HDSL del sistema.

En su forma más simple, el enlace HDSL entre la LTU y la NTU es un par de cobre trenzado. Este enlace puede tener algunas combinaciones de calibres en las líneas, pero deben cumplir con los estándares internacionales de los bucles locales de la CSA. Este par utiliza la codificación 2 Binario 1 Cuaternario (2B1Q - 2 Binary 1 Quaternary), el mismo que utiliza HDSL para T1 (1,544 Mbps), y opera a un total de 2.320 Mbps entre los transceptores HDSL. Los bits extra por encima de los 2,048 Mbps se utilizan en la cabecera de la trama y elementos de compatibilidad con SDH.

En los sistemas HDSL E1, es muy común encontrarse con varios pares de cobre. Con dos pares de hilos, cada par opera a 1,168 Mbps full - duplex tanto en sentido ascendente como en sentido descendente. Con esta configuración la velocidad total es ligeramente superior ( $2 \times 1,168 \text{ Kbps} = 2,336 \text{ Mbps}$ ) en comparación con los 2,048 Mbps debido al incremento de cabeceras. También difiere del tradicional E1, donde cada par de hilos transmite bits en una única dirección, al igual que el T1. Cuando se utilizan tres pares, cada uno opera a 784 Kbps full - duplex en sentido ascendente y en sentido descendente. Para este caso existen más cabeceras ( $3 \times 784 \text{ Kbps} = 2,352 \text{ Mbps}$ ) y cada par opera a una velocidad menor, pero de este modo se pueden alcanzar mayores distancias.

#### 1.4.4 Arquitectura HDSL para T1

En la Figura 1.16, se ilustra la arquitectura de HDSL para T1, basada en la documentación original de Bellcore.



**DCS:** Digital Cross Connect; Matriz de interconexión digital  
**DS-1:** Digital Signal; Señal digital  
**HTU:** HDSL Terminación Unit; Unidad de terminación HDSL  
**HTU-C:** HTU- Central Office; HTU- Parte de la central  
**HTU\_R:** HTU- Remote; HTU- Parte remota o de usuario  
**CSA:** Carrier Serving Areas; Areas de servicio de protadoras  
**CPE:** Customer Premises Equipment; Equipo de Usuario

Figura 1.16 Arquitectura HDSL para T1

En la figura 1.16, se puede observar que las líneas privadas dedicadas T1 no pasan a través del conmutador de circuitos del proveedor del servicio. Las líneas privadas son dirigidas a través de un Sistema Digital de Acceso y Matriz de Conexión (DACS - Digital Acces and Cross Connect System) hacia una red de troncales. En su forma más simple, la entrada DS-1(1,5 Mbps) en la central local no proviene de un enlace T1, sino de una tarjeta especial denominada Unidad Transceptora HDSL en la oficina Central (HTU-C - HDSL Transceiver Unit Central Office). Las HTU-C pueden ser tarjetas individuales o pueden estar agrupadas en el interior de un bastidor (o chasis), la ventaja es que se puede soportar varias HTU-C con la misma fuente de alimentación, con los mismos equipos de redundancia, los mismos métodos de gestión, etc.

En el extremo opuesto del enlace HDSL esta la Unidad Transceptora HDSL Remota o de usuario (HTU-R - HDSL Transceiver Unit Remote). La HDSL tiene lugar en realidad entre la HTU-C y la HTU-R. En su forma más común, la interfaz entre la HTU - C y la HTU-R son dos pares de cobre trenzados. Este enlace puede tener alguna combinación de calibres, pero debe cumplir, al igual que en los sistemas E1, con los estándares internacionales de los bucles locales de la CSA. Cada uno de los dos pares opera a 784 Kbps full- duplex en sentido ascendente y en sentido descendente. Se utiliza el código de línea 2B1Q y Modulación por Amplitud de Pulsos (PAM - Pulse Amplitude Modulation).

#### 1.4.5 Código de línea

Hay dos opciones diferentes que se utilizan para el código de línea: 2B1Q y CAP, esta última es aplicable únicamente para 2,048 Mbps, mientras que la modulación 2B1Q está definida para las dos velocidades 1,544 y 2,048 Mbps.

El estándar 2B1Q para 2,048 Mbps proporciona una transmisión duplex sobre un solo par y una transmisión paralela sobre dos o tres pares. Esto permite la distribución de los datos en varios pares, la reducción de la velocidad de símbolos y aumentar la línea de transmisión. CAP se define únicamente para uno o dos pares y 2B1Q a 1,544 Mbps se define exclusivamente para dos pares.

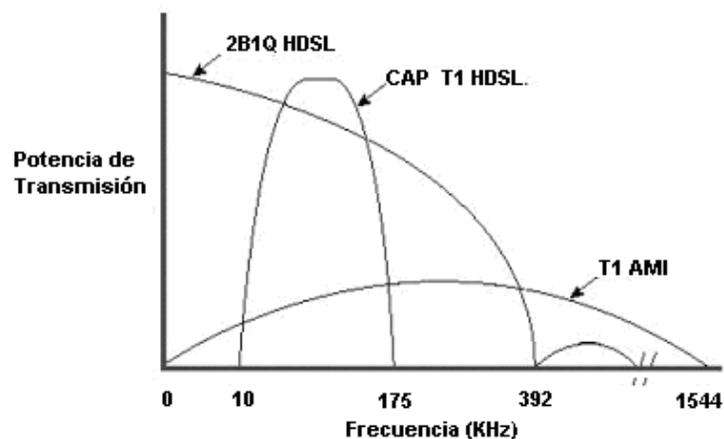


Figura 1.17 Comparación de los espectros de frecuencia de HDSL y T1 AMI

También existe la posibilidad de emplear un sólo par, en cuyo caso se puede transmitir solo 15 canales de 64 Kbps. Sin embargo, las interfaces externas de la HTU-C y la HTU-R siguen siendo de 2,048 Mbps de acuerdo a las normas G.703 / G.704 de la ITU-T. Para soportar la atenuación y posibles perturbaciones que se presentan en la línea, HDSL emplea una sofisticada técnica de ecualización adaptativa, esto quiere decir, que en todo momento se tiene respuesta a la frecuencia que presenta el canal.

#### **1.4.6 Aplicaciones**

Una de las principales aplicaciones de HDSL es el acceso de último kilómetro a un costo razonable para redes de transporte digital, redes satelitales y del tipo Frame Relay. La tecnología HDSL también tiene cabida en las comunicaciones de redes públicas y privadas. Cada empresa puede tener requerimientos diferentes, orientados al uso de líneas privadas, de fácil acceso y obtención, para que con productos de tecnología HDSL se puedan obtener soluciones de bajo costo y alta efectividad. Entre las distintas aplicaciones de HDSL se tienen: redes privadas, extensiones de E1 y T1, conexión entre Centrales de Conmutación Privadas (PBX - Private Branch eXchange), acceso a las redes troncales de fibra, video conferencia, acceso remoto de datos, entre otras aplicaciones de carácter simétrico.

#### **1.4.7 Ventajas y desventajas**

##### **1.4.7.1 Ventajas**

- Disminuye el costo y el tiempo necesarios para la instalación de las líneas T1/E1.
- Permite ampliar el alcance de un enlace cambiando el tipo de cable (se puede pasar de 3,6 km con un cable de cobre de 0,5 mm, y distancias mayores de 7 km con cables de mayor diámetro).
- El algoritmo digital adaptativo de procesamiento de la señal empleado por HDSL, proporciona una calidad de transmisión mucho mayor que la que se consigue con las líneas T1/E1.
- La instalación de HDSL no requiere nueva infraestructura ni reacondicionar las ya existentes (HDSL se puede implantar en el 99% de las líneas de par trenzado ya instaladas).

##### **1.4.7.2 Desventajas**

- No puede haber combinación de datos y voz, como en ADSL.
- ADSL alcanza mayores velocidades que HDSL, ya que el nivel de Diafonía es mayor en los sistemas simétricos.
- Necesita más de un par de cobre para alcanzar distancias superiores a 1 Km.

## 1.5 HDSL2

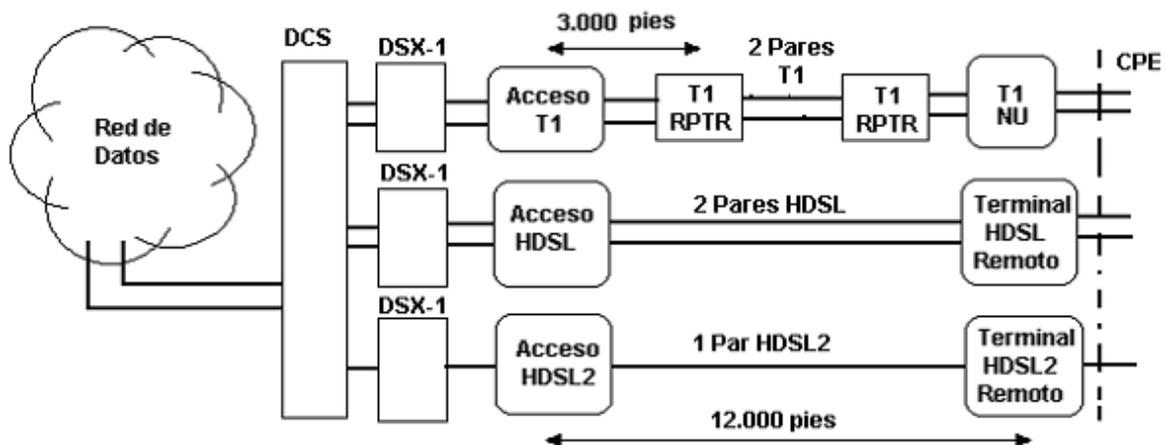
### 1.5.1 Antecedentes

La especificación HDSL2 de la ANSI es uno de los mejores avances técnicos dados en la familia xDSL. La tecnología es una respuesta a demandas hechas por las Compañías de Operaciones Bell de la Regional de Norte América (RBOCs - North American Regional Bell Operating Companies) a inicios de 1996. Mientras la tecnología HDSL convencional se fue desplegando con éxito a lo largo del mundo, las RBOCs buscaba un avance con el que se permita una transmisión simétrica por medio de un solo par de cobre con las siguientes características:

1. Lograr el mismo alcance que HDSL, pero con un solo par de cobre.
2. Tolerar los mismos deterioros en el bucle (atenuación, puentes, diafonía, etc.) actualmente soportados por HDSL.
3. No degradar la señal al existir mas de un servicio.
4. Proporcione un funcionamiento robusto en bucles reales.
5. Proporcionar una reducción del costo del HDSL convencional.

El principal objetivo de las RBOCs era proporcionar un enlace T1 sobre un solo par, pero para lograrlo se debían resolver una serie de problemas, entre los que están el hecho de que el bucle local es inadecuado para un ambiente de transmisión digital y que la calibración del cable y las derivaciones de los puentes a lo largo de la trayectoria de transmisión crean desigualdades de impedancia. Además, las perturbaciones de diafonía mixta de una variedad de servicios, crean un ambiente de ruido severo. Después de casi tres años de trabajo y en respuesta a la propuesta hecha por las RBOCs el comité ANSI T1E1.4 desarrolló el estándar ANSI T1E1.418, el cual especifica a HDSL2 y sus enfoques sobre el transporte T1 para velocidades de 1,544 Mbps. La tecnología debe ofrecer el mismo desempeño robusto que se consigue con los dos pares en HDSL, pero sobre un solo par trenzado.

A lo largo del desarrollo de HDSL2, ha habido una fuerte preocupación por encontrar una solución que sea fácil de desplegar y que pueda operar en bucles reales. El servicio debe armonizar el desempeño robusto y la compatibilidad espectral de HDSL.



**DCS: Digital Cross Connect - Sistema Digital Cross Connect**  
**RPTR: Repetidor**  
**NIU: Network Interface Unit - Unidad de Interfaz de Red**  
**CPE: Customer Premises Equipment - Equipo de Premisas de Usuario**  
**DSX: Digital System Cross Connect - Sistema Digital Cross Connect**

Figura 1.18 Sistema T1 , HDSL y HDSL2

Una gran ventaja que favorece el desarrollo de la tecnología HDSL2 esta en el hecho de que los primeros diseñadores de la tecnología tales como ADC Telecom, Adtran, e Intel, contaban con muchos años de experiencia en la producción y despliegue de sistemas HDSL convencionales, esta experiencia hizo que el grupo de desarrollo fuera perceptivo y consiente de los problemas que deberían afrontar entre los que se encuentran la compatibilidad espectral y el adecuado funcionamiento en un ambiente con diafonía mixta. Desde un comienzo, era reconocido que el diafonía de los servicios mezclados producían gran deterioro en el sistema, por lo cual, el grupo tuvo mucho cuidado caracterizando las peores condiciones en el caso del ruido.

### 1.5.2 Requerimientos del ANSI para HDSL2

Mientras las RBOCs habían entregado pautas generales para HDSL2, el progreso real no se hizo hasta que el comité de el ANSI estaba de acuerdo con los requerimientos del sistema, los cuales se listan a continuación:

- Alcance del bucle: Parámetros del cable y Área de Servicio de Portador como se especifica en el ANSI T1.601

2,7 kms sobre el cable 26 AWG <sup>13</sup> (0,4 mm)  
 3,6 kms sobre el cable 24 AWG (0,5 mm)

<sup>13</sup> America Wire Gauge

- El sistema operando a una velocidad de 1,544 Mbps en un ambiente de diafonía mixta, debe entregar una BER de  $10^{-7}$  con + 6 dB de margen en el desempeño.
- La latencia también era un requisito importante impuesto por el ANSI. Una de las aplicaciones primarias para HDSL2 es el transporte de canales de voz. El tráfico de la voz requiere de una latencia baja y el ANSI especifica una latencia de 500  $\mu$ s de un extremo a otro. Este requisito hizo particularmente difícil de desarrollar una modulación y un esquema de codificación que pudiera proporcionar una ganancia de codificación significativa. Un sistema de codificación entrelazado como el utilizado en ADSL, no es práctico debido al retraso excesivo.
- Con la desregulación de las telecomunicaciones y la aparición de muchos nuevos servicios que se prestan sobre el bucle local, la compatibilidad espectral es otra gran preocupación. El ANSI estableció el criterio de que el servicio de HDSL2 debe ser espectralmente amistoso con todos los servicios existentes. Los deterioros causados por HDSL2 en otros servicios no deberán ser peores que el deterioro causado por los dos pares de cable implementados en HDSL. Los siguientes servicios fueron tomados como referencia para el análisis de interferencia:
  - ADSL (ANSI T1.413)
  - HDSL (ANSI TR-28)
  - T1 (ANSI T1.403)

Para el análisis de la interferencia de diafonía se debe tener en cuenta que la mayoría de la interferencia que afecta a un solo par es provocada por los seis pares adyacentes en el grupo de cables. La contribución de diafonía de otros pares en un grupo es secundaria debido a la distancia física entre los pares del cable.

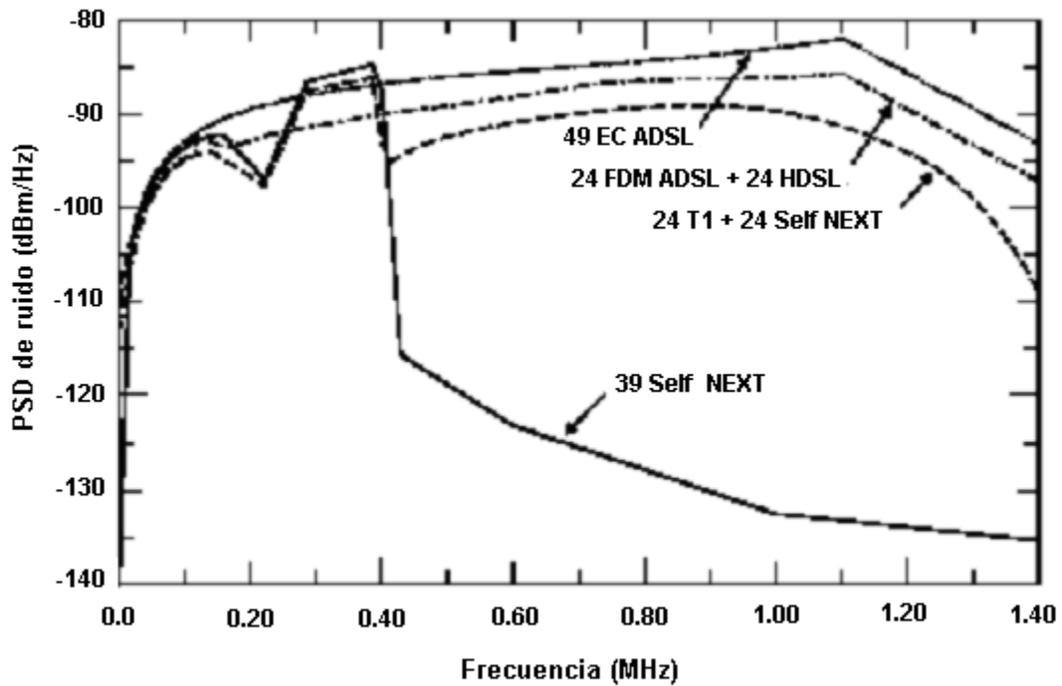


Figura 1.19 Interferencia de Diafonía en la oficina central

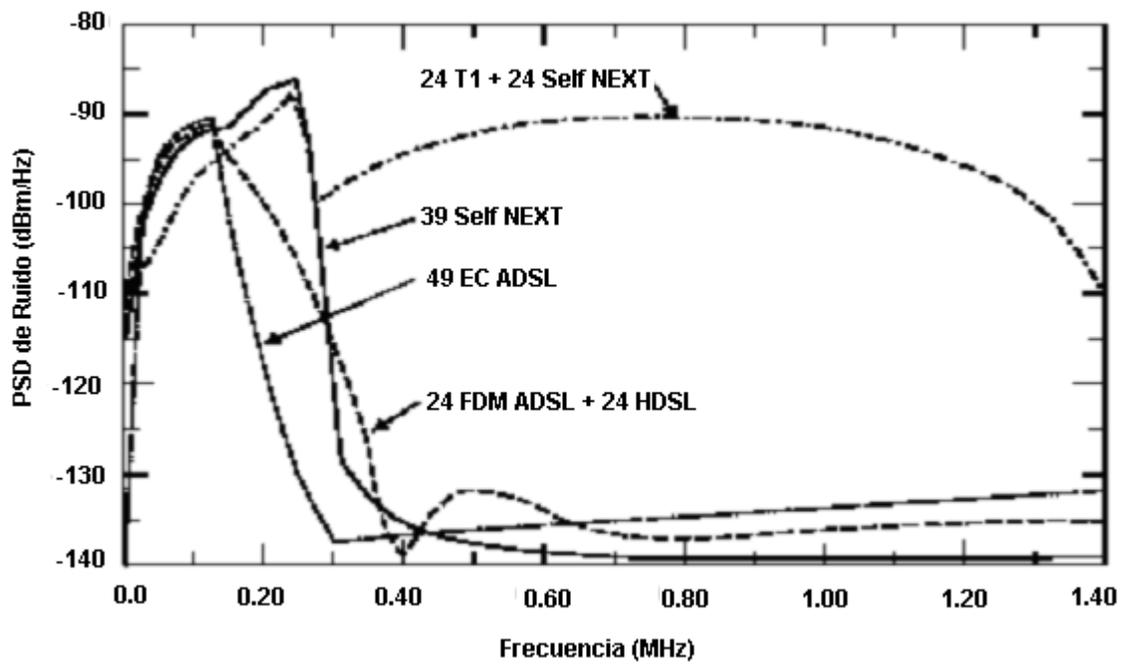


Figura 1.20 Interferencia Diafonía en la premisa del cliente

En las Figuras 1.19 y 1.20 se muestran los patrones de diafonía para ambas direcciones de transmisión, ascendente y descendente de los servicios T1, ADSL y HDSL. El receptor que se encuentra en la oficina central y el receptor en la premisa de cliente deben ser capaces de decodificar la señal de este ruido de fondo. Es importante notar que el ruido es diferente para los dos ambientes que existen, uno en la oficina central y el otro en las premisa del cliente. En la Oficina Central, la Densidad espectral de Potencia (PSD - Power Spectral Density) de ruido a la entrada del receptor es denominado como Paradiafonía. En el otro extremo de la línea, en la premisa de cliente, la forma del ruido PSD del canal ascendente esta principalmente determinado por la combinación de un T1 y del canal ascendente de ADSL. Puesto que en el espectro del canal ascendente de ADSL dominan las frecuencias más bajas, el canal descendente de HDSL2 utiliza un espectro de transmisión más ancho. Un espectro nulo reside entre las frecuencias de 200kHz hasta los 300Khz. En estas regiones, la señal descendente de HDSL2 tiene una relación señal a ruido relativamente buena, esto le permite al espectro de la señal ascendente que se aumente en esa región y aun permitirle al transceptor del extremo remoto recibir la señal descendente de HDSL2 con un buen margen de relación señal a ruido.

### 1.5.3 Código de Línea

Mientras hay algún desarrollo de sistemas xDSL que simplemente doblan la velocidad en baudios de los transceptores 2B1Q utilizados en el HDSL convencional, estas soluciones no pueden cumplir el alcance, el desempeño y los requisitos de compatibilidad espectrales fijados por ANSI. De hecho, el espectro de transmisión de los sistemas 2B1Q de doble velocidad exceden al espectro descendente de ADSL, haciendo a estas dos tecnologías incompatibles. Para cumplir con los retos de desempeño y compatibilidad espectral, se requirió un avance más allá de los códigos de la línea simples, como las tecnologías de transmisión 2B1Q y QAM. Por lo tanto HDSL2 utiliza conceptos avanzados en formación espectral y códigos de corrección de errores para lograr un desempeño cercano al límite teórico de capacidad del canal.

En el desarrollo de HDSL2, se consideraron inicialmente la transmisión con Cancelación de Eco Simétrica (SEC – Symetric Eco Cancellation) y la transmisión con multiplexación por división de frecuencia (FDM). Los sistemas SEC demostraron estar limitados por la paradiafonía y tener márgenes de desempeño de 2 a 3 dB. En contraste, la transmisión FDM no está limitada por la paradiafonía, pero si, por el ingreso de diafonía de otros servicios. FDM también requiere el uso de un espectro mucho más ancho y tiene problemas de compatibilidad espectral propuestos por otros servicios. El ingreso y salida de diafonía hizo que los sistemas FDM fueran menos deseables que los sistemas SEC. Esto no fue hasta que ADC Telecom e Intel colaboraron definiendo la plantilla de Transmisión PAM solapada con Espectro Enclavado (OPTIS - Overlapped PAM Transmission with Interlocking Spectrum) PSD como una solución a estos problemas. OPTIS involucra solapamiento para espectros no idénticos en las dos direcciones de transmisión. Esencialmente, este es un híbrido entre los sistemas SEC y FDM, que usan cancelación de eco y espectros asimétricos para la transmisión ascendente y descendente. Los espectros ascendente y descendente se forman adecuadamente para proporcionar el máximo de rendimiento en presencia de condiciones de ruido que residen en la central y en el terminal remoto.

En la dirección ascendente, el transmisor PSD es estimulado en el rango de 200 a 300 kHz, la región dónde el receptor en el extremo remoto de la línea experimenta una SNR relativamente buena. La formación espectral de OPTIS también minimiza la diafonía en otros servicios. El espectro ascendente es severamente limitado, para minimizar la interferencia con el espectro descendente de ADSL. Además, el espectro descendente de OPTIS PSD es limitado en la región de 200 a 300 kHz, esta discontinuidad en el espectro corresponde a la estimulación en el canal ascendente y esta referida al enclavamiento, o sea, al aumento de potencia que se da en el espectro ascendente para esta región del espectro. Por el enclavando de las señales ascendentes y descendentes, la diafonía de OPTIS en otros servicios se minimiza.

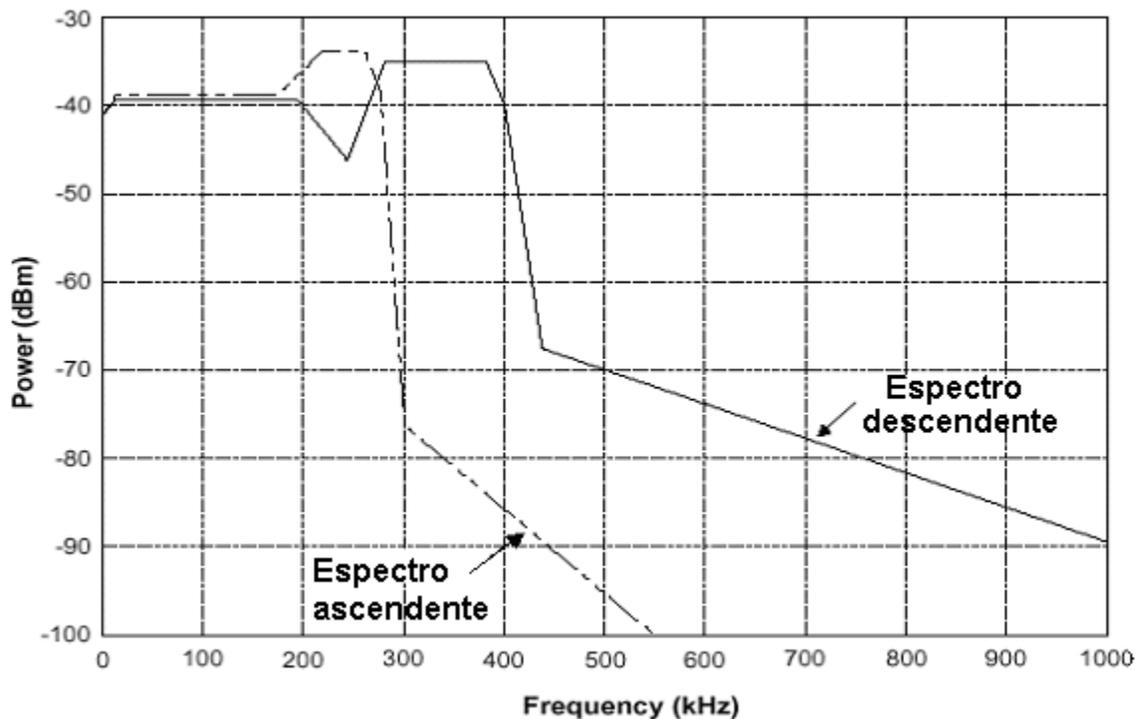


Figura 1.21 Espectro de HDLSL2 (Mascara de OPTIS PSD)

Además de la formación espectral, la solución de OPTIS abarca las siguientes características:

- La formación del espectro de transmisión se desacopla de la velocidad de símbolo para permitir un uso flexible del ancho de banda de exceso.
- Se utiliza una combinación de codificación cruzada y PAM para producir la plantilla única de PSD.

#### 1.5.4 Desempeño

En la evaluación del sistema, el acoplamiento de paradiafonía se modeló utilizando el modelo Unger<sup>14</sup> para un cable de 49 pares. El acoplamiento de telediafonía, se planeó como esta consignado en la especificación ANSI de ADSL, T1.413 Anexo B. El desempeño cerca de los valores teóricos sólo es posible a través del uso de ecualizadores fraccionariamente espaciados

#### 1.5.5 Comparación entre HDSL y HDSL2

Hay que concluir que para el desarrollo de un sistema de un solo par, que proporciona el mismo rendimiento que HDSL (que utiliza 2 pares), se requirió un avance significativo en señales analógicas mezcladas y en capacidad PSD. Algunas de las diferencias de complejidad entre HDSL2 y HDSL se resumen a continuación:

- HDSL2 utiliza un nivel de potencia de transmisión que es 3 dB superior a HDSL. Además, el uso de precodificación junto con la formación espectral, ocasionan que el sistema tenga una proporción de potencia del nivel pico al promedio (factor de cresta) mayor que los sistemas 2B1Q de HDSL, o sea, que los niveles de voltaje máximo más altos incrementan el consumo de potencia de la circuitería de línea.
- El precodificador de ecualización del canal tiene una función similar a la de un filtro de realimentación en el ecualizador de realimentación de decisión utilizado en HDSL. Sin embargo, los datos en el precodificador son muy anchos (12-16), en lugar de los 2 bits del de HDSL, esto incrementa la complejidad. Además, la presencia del precodificador también incrementa la complejidad del cancelador de eco.
- Para obtener un rendimiento adecuado, HDSL2 requiere un ecualizador fraccionariamente espaciado y un cancelador de eco, los dos son significativamente más complejos que sus equivalentes empleados en los transceptores de HDSL.
- Mientras HDSL2 representa un incremento significativo en la complejidad del DSP, el decrecimiento del costo del silicio hace de esta una solución competitiva. La disponibilidad del proceso, el costo de implementación de un transceptor de HDSL2, son esencialmente iguales a los de una solución HDSL de 2 pares. Como la tecnología del proceso del silicio continúa abaratándose, el costo del sistema HDSL2 pasará a caer por debajo del costo de HDSL, claro que el costo real del ahorro está en la transmisión sobre un solo par.
- Mientras el costo y desempeño de HDSL2 han sido reunidos en un sistema de un solo par, esto no necesariamente es el final del HDSL convencional. La

---

<sup>14</sup> Modelo Unger especificado en T1E14/96-036

complejidad agregada de HDSL2 consume aproximadamente 2.5 veces mas potencia que un transceptor simple 2B1Q de HDSL. Muchas aplicaciones normalmente usan un alimentador remoto de potencia. El incremento de potencia, acoplado con el hecho de que la potencia sólo puede entregarse sobre un solo par, limita severamente la habilidad de utilizar HDSL2 en el repetidor y en aplicaciones del bucle. Para bucles superiores a los 5 kms de distancia, HDSL convencional sigue siendo la mejor solución para entregar el servicio simétrico de 1,544 Mbps. Lo mismo puede decirse para sistemas T1 de velocidad fraccional, dónde transceptores 2B1Q de un solo par son suficientes para velocidades de los datos por debajo de 784 kbps.

### **1.5.6 Compatibilidad espectral**

HDSL2 determino la compatibilidad espectral entre los nuevos servicios y los ya existentes. Para RDSI era fácil de mostrar, a través de simulación, que los códigos de línea propuestos tenían definitivamente menor deterioro que la misma paradiafonía del sistema de RDSI. Sin embargo, para los otros servicios no eran así de fácil. Para un T1, la técnica inicial involucró la medición de la cantidad total de potencia de paradiafonía presente en el receptor de T1, esto se comparó con la potencia del T1 de la misma diafonía para ver si surgía algún problema. En varias contribuciones del ANSI, la diafonía se pesó por una medida, o se calculó en el filtro del receptor T1, después se observó que la compatibilidad espectral con T1 debe ser comprobada solamente desde el primer segmento de la oficina central que tiene 15 dB de pérdida de atenuación, y no los 36 dB sobre los que otros servicios deben operar por encima.

Con ADSL, la compatibilidad espectral se definió por los cálculos del margen ideal. Se encontró que ADSL es sensible a pequeños cambios en los niveles de ruido. La PSD transmitida y el mínimo número de portadoras también tiene un impacto significativo en la estimación del desempeño. La mayoría de los cálculos encontraron que el OPTIS PSD degrada los márgenes ADSL (T1.413) por menos de 1,0 dB para el peor caso en la combinación de disturbios de ruido.

Demostrar la compatibilidad con HDSL fue el mayor desafío. El trabajo inicial de la compatibilidad fue hecho utilizando los cálculos teóricos e indicando que no había una significativa degradación del desempeño debido a OPTIS. Sin embargo, la comprobación real indicó que algunas de las más tempranas implementaciones de HDSL eran degradadas en un exceso de 2 dB en la presencia del espectro de OPTIS.

El ANSI estableció el desempeño para la compatibilidad espectral modificando la plantilla del OPTIS PSD y reduciendo el requisito del margen de desempeño de 6 a 5 dB. Esto resultaba una disminución de 2 dB en la degradación de los sistemas de HDSL más viejos. Con el HDSL más maduro, las aplicaciones y la degradación debido a OPTIS disminuyeron en 1,0 dB.

## 1.6 OTRAS VARIANTES DE XDSL

### 1.6.1 Línea de Abonado Digital de Tasa Adaptable (RADSL - Rate Adaptive Digital Subscriber Line)

Funciona con la misma filosofía de ADSL, pero tiene la ventaja de ajustarse de forma dinámica a las condiciones de la línea y a su longitud. Los modems de esta tecnología utilizan una técnica de adaptación de velocidad que emplea una serie de pruebas automáticas de inicialización sobre los pares telefónicos antes de comenzar la transmisión de los datos y así determinan la velocidad máxima que los pares pueden soportar.

Esta variante utiliza la modulación CAP, en la cual el sistema RADSL puede entregar de 640 Kbps a 2,2 Mbps en el canal descendente y de 272 Kbps a 1,088 Mbps en el canal ascendente sobre una línea existente a una distancia de hasta 2 Kms.

En Marzo de 1993, se reconoció por parte del grupo de trabajo T1E1 de ANSI el estándar RADSL, conocido como ANSI TR59 y especifica a RADSL como una tecnología que es espectralmente compatible con voz y otras tecnologías DSL.

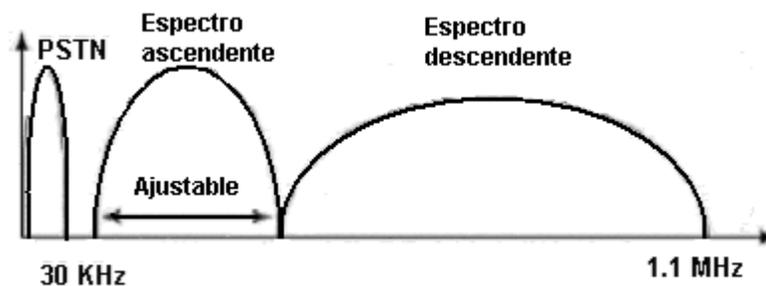


Figura 1.22 Distribución de frecuencias con RADSL

### 1.6.2 ADSL Splitterless (Sin Splitters)

Existen varios tipos de ADSL que no requieren de splitter remoto tales como G.Lite, CDSL, CiDSL, UDSL, entre otros, los cuales son soluciones que tienen pequeñas diferencias, pero que tienen la misma funcionalidad.

ADSL y RADSL requieren la instalación y mantenimiento de un splitter que separe los datos digitales (DSL) de la voz analógica (POTS), esto puede causar inconvenientes de cableado, configuración y asistencia al cliente. Debido a esto, se comenzaron a realizar experimentos para dar solución a estas limitaciones. Existe una estrecha relación entre ADSL Splitterless y ADSL con dos diferencias significativas, la ausencia de splitter remoto y que ADSL Splitterless alcanza una menor velocidad y distancia.

El extremo del enlace en la central no sufre ningún cambio, aun se necesita un splitter en la parte de la central para separar los paquetes de datos de alta velocidad de las conversaciones de voz. El gran cambio se produce en los equipos de usuario, debido a que existe la posibilidad de eliminar el splitter, pero se deben utilizar filtros pasabajas (microfiltros) para una buena separación de las señales POTS. La arquitectura general de ADSL Splitterless se muestra en la figura 1.23, donde se observa que el splitter remoto puede ser eliminado.

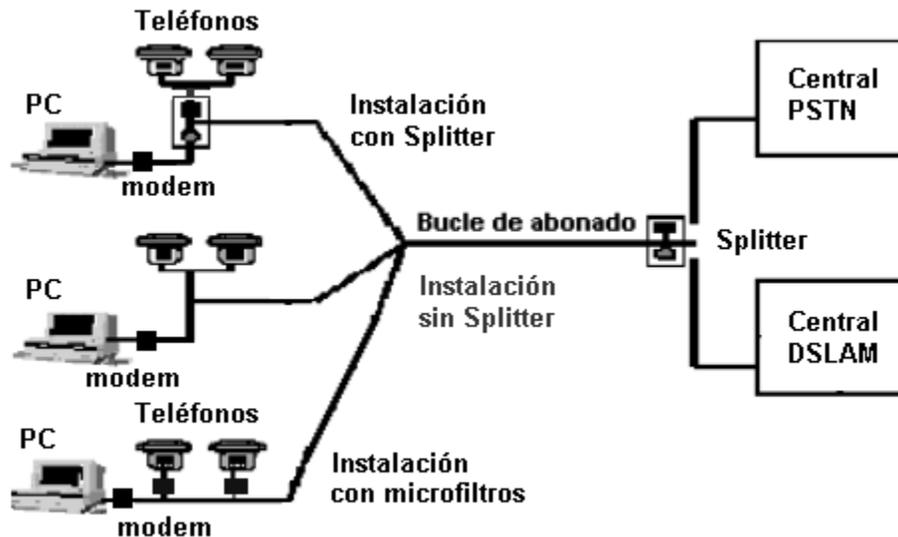


Figura 1.23 Topología ADSL Splitterless

ADSL Splitterless tiene una serie de características que la hacen atractiva tanto para los usuarios como para los proveedores de servicio, estas son:

- Velocidades de acceso adecuadas para la mayoría de usuarios
- Facilidad de instalación por parte del usuario
- Voz y acceso a Internet simultáneos
- Bajo costo para los usuarios
- Bajo costo en equipos e instalaciones
- Menor consumo de potencia
- Iniciativas y estándares

Aunque presenta una serie de desventajas con respecto a sus similares ADSL:

- Mayor latencia
- Menor velocidad
- Colgar el teléfono causa interrupción en el canal digital
- Durante una llamada telefónica hay una disminución en el desempeño del sistema

La intención de esta tecnología es ser un complemento para los proveedores de servicio que ofrecen ADSL y RADSL, sobre todo en lugares donde grandes velocidades no son obligatorias, y donde la instalación del splitter y el cableado puede suponer un inconveniente.

CDSL (Customer DSL) es la versión de ADSL splitterless de Rockwell International creada en 1997; CiDSL (Consumer-installable DSL) es propiedad de Globespan y UDSL (User Digital Subscriber Line) fue desarrollada en Enero de 1998 por el Grupo de Trabajo de ADSL Universal (UAWG), también conocida como G.Lite.

G.Lite ofrece velocidades de hasta 1,5 Mbps en el canal descendente y 512 Kbps en el canal ascendente a distancias no superiores a los 5 kms. En Junio de 1999, la ITU adoptó el estándar G.992.2, el cual consigna la información relacionada con esta tecnología. G.Lite utiliza código de línea DMT en un ancho de banda de 552 KHz (ADSL utiliza 1,1 MHz), subdividido en 128 subcanales independientes (ADSL utiliza 256 subcanales), paralelos e igualmente espaciados (Figura 1.24). Se utiliza modulación QAM en cada subcanal, los cuales son de 4.3125 KHz cada uno.

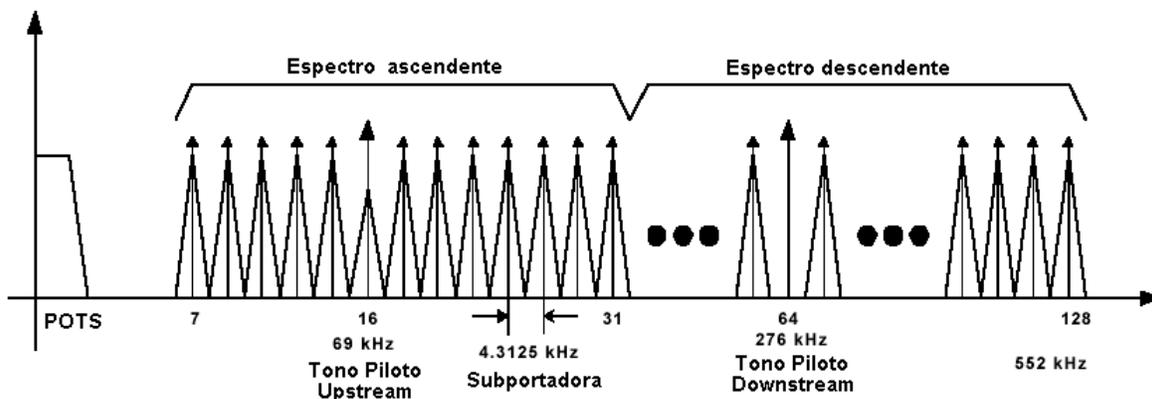


Figura 1.24 Distribución de frecuencias G.Lite

Se utiliza IFFT para generar una serie de subbandas, las cuales transmiten la información de forma independientemente. La clave del desempeño de este sistema DMT es dividir el ancho de banda disponible en un conjunto de subcanales ortogonales e independientes. El sistema G.Lite mide la SNR de cada subcanal y basado en esta medición asigna un determinado numero de bits a cada uno de ellos. DMT transmite la información en subportadoras que tengan buena relación S/N y evita regiones del espectro de frecuencia que sean demasiado ruidosas o severamente atenuadas.

Los sistemas G.Lite poseen una técnica denominada "fast retrain", la cual limita la potencia en el canal ascendente cuando el teléfono POTS esta siendo utilizado, de esta manera se minimiza la interferencia, luego se restaura la potencia cuando se cuelga el aparato telefónico. Esto debido a que cuando el teléfono es descolgado, la impedancia de este puede ser tan baja (corto circuito) que desvía parte de la potencia de la señal ADSL, además, la no linealidad de los microteléfonos POTS puede convertir las señales de voz en señales moduladas de alta frecuencia que interfieren en la señal ADSL.

Los sistemas ADSL utilizan gran cantidad de potencia y ancho de banda, comparados con los sistemas G.Lite, debido a esto son propensos a interferir en las frecuencias POTS, por lo tanto deben emplearse POTS Splitters para separar las frecuencias de datos de las de voz. Los splitters son básicamente dos filtros, uno pasa-altas para las señales DSL y otro pasa-bajas para las señales POTS, son instalados por el proveedor del servicio y este proceso puede resultar muy incomodo para el usuario. En G.Lite, el uso de splitters se omite, debido a sus características “fast retrain” y a que utiliza potencia y frecuencias más bajas, las cuales presentan menos interferencias, pero en algunas ocasiones es necesario emplear “microfiltros” para que la señal DSL no interfiera en las señales POTS, estos microfiltros están compuestos por un filtro pasa-bajas y son fácilmente instalados por el usuario, lo que los hace muy populares en sitios donde el cliente no tiene disponibilidad de tiempo para una visita de instalación por parte del proveedor (Europa).

### 1.6.3 Línea de Abonado Digital Simétrica (SDSL - Symmetric Digital Subscriber Line)

SDSL se define como DSL Simétrico, pero existen otras variaciones de xDSL que también son simétricas, tales como HDSL y SHDSL. Comenzó operando a 784 Kbps sobre un solo par trenzado y posteriormente operó a distintas velocidades (ver tabla 1.4). SDSL no tiene un estándar definido, debido a esto, no existe interoperabilidad entre los diferentes fabricantes.

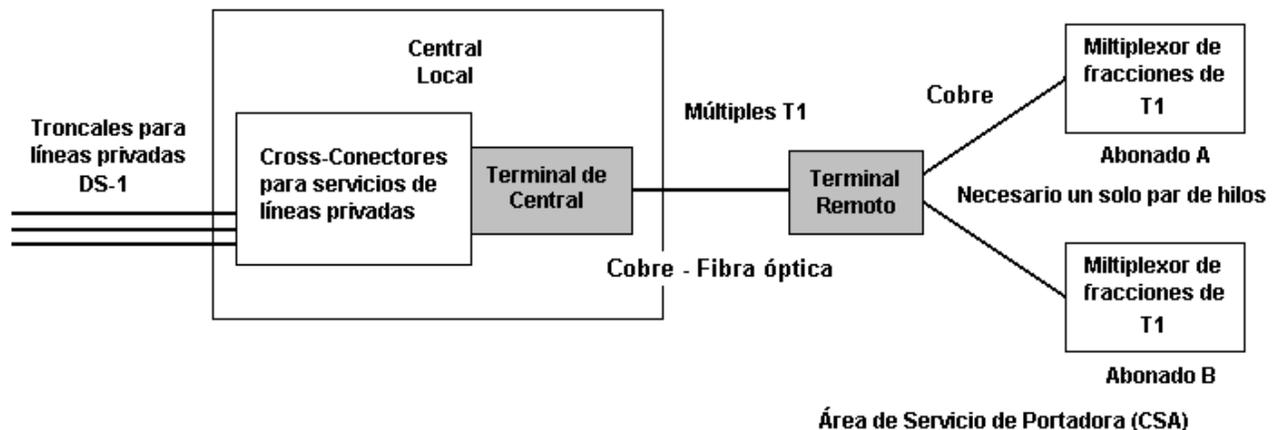


Figura 1.25 Arquitectura SDSL en un sistema "pair gain"

En la figura 1.25, un Terminal de Central y un Terminal Remoto (TR) se conectan por medio de múltiples enlaces T1 para formar la arquitectura CSA. Los TR más comunes solo soportan cuatro T1, por lo que la arquitectura está limitada, pero en un sector residencial o en una pequeña empresa, quizá fuera suficiente una fracción de T1.

SDSL permite al proveedor del servicio ofrecer servicios DSL basados en tres parámetros: costo, alcance y velocidad, con lo que los usuarios pueden escoger entre varias opciones de SDSL. Las velocidades máximas soportadas, así como las distancias asociadas, se presentan en la tabla 1.4.

Velocidad SDSL (Kbps)	Distancia Máxima (Kms)	
	24 AWG	26 AWG
144	7,42	5,60
256	7,22	4,76
400	6,44	4,20
784	5,60	3,78
1040	4,76	3,36
1168	4,34	3,08

Tabla 1.4 <sup>15</sup> Velocidades y distancias SDSL

SDSL tiene las siguientes características:

- No puede haber coexistencia de frecuencias de voz sobre la misma línea.
- SDSL utiliza codificación 2B1Q

Existe otra versión simétrica denominada Multirate SDSL (M/SDSL), la cual soporta cambios operacionales de velocidad y distancia en el transceptor. La versión CAP soporta diferentes tasas: 64 Kbps/128 Kbps a una distancia de 8,9 Km sobre cables 24 AWG y una tasa de 2 Mbps a una distancia de 4,5 Km.

#### 1.6.4 Línea de Abonado Digital de Alta Velocidad de un solo par (SHDSL - Single-pair High-speed Digital Subscriber Line)

Esta plasmada en el estándar ITU-T G.991.2, ofrece un significativo conjunto de características tales como tasas adaptables, operación sobre un solo par, brinda mayores distancias y velocidades que cualquier estándar simétrico actual. Este método tiene anchos de bandas simétricos comprendidos entre 192 Kbps y 2,3 Mbps, con un 30% más de longitud que SDSL y presenta cierta compatibilidad con otras variantes DSL. También, puede negociar el número de tramas de protocolo incluyendo ATM, T1, E1, ISDN e IP y está considerado como el reemplazo de las tecnologías T1, E1, HDSL, SDSL HDSL2, RDSI e IDSL.

SHDSL Soporta servicios de voz digital o VoDSL (*Voice over DSL*) realizada usando protocolos IP (VoIP) o utilizando protocolos ATM (VoATM) permitiendo múltiples canales de voz digital y datos sobre el mismo par de cobre.

---

<sup>15</sup> Datos obtenidos de Cisco

SHDSL esta diseñada principalmente para operación duplex sobre un par de cobre y un modo de operación opcional con dos pares. Los transceptores SHDSL pueden soportar velocidades de datos simétricas en un rango de 192 a 2.312 Kbps utilizando un código de línea que combina modulación PAM y Código Trellis (TC-PAM - Trellis Coded Pulse Amplitude Modulation) en distancias de 1,8 hasta 6,5 Kms (los enlaces E1/T1 tienen un límite de distancia de 4 Kms). Estos están diseñados para tener compatibilidad espectral con otras tecnologías de transmisión desplegadas en la red de acceso, incluyendo tecnologías DSL. SHDSL no soporta el uso de tecnologías de división analógicas para coexistencia de POTS o RDSI.

La figura 1.26 muestra el modelo de aplicación de un sistema típico SHDSL, en el cual el STU-R esta conectado a uno o más terminales de usuario (CPE), que pueden ser terminales de datos, equipos de telecomunicaciones u otros dispositivos. Estos puntos de conexión se denominan puntos de referencia S/T. El enlace entre el STU-R y el STU-C puede contener uno o más SRUs (Unidad de Regeneración SHDSL). Las conexiones de las DLL para interconectar la STU-R y la STU-C se designan como puntos de referencia U. La conexión entre el STU-C y la oficina central se realiza a través de la interfaz V.

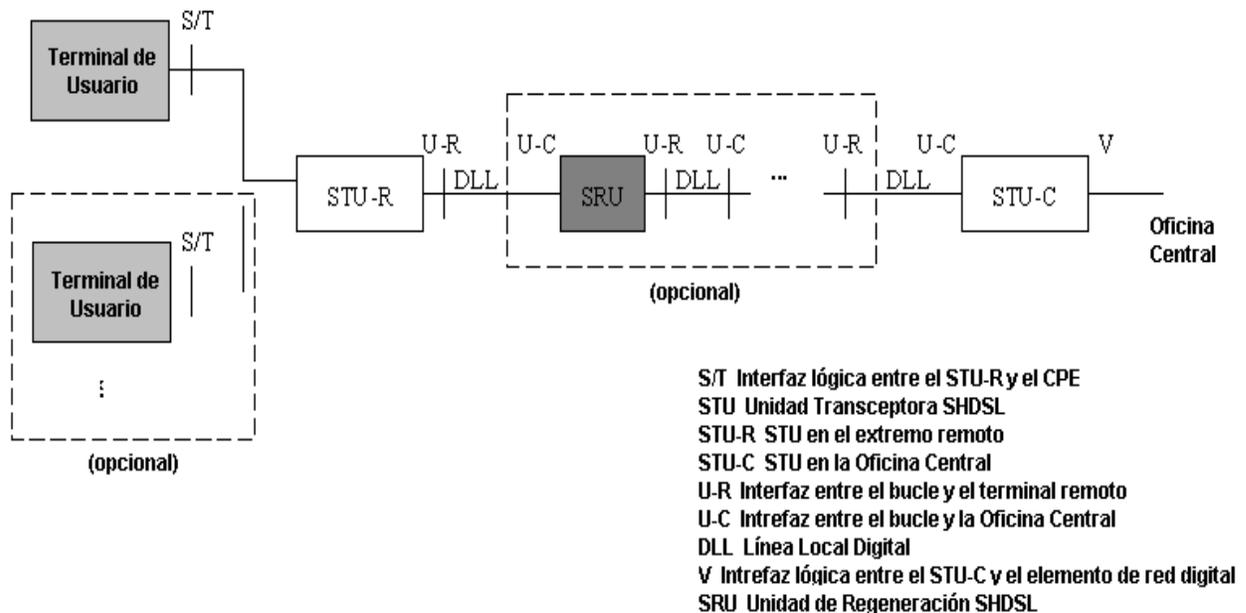


Figura 1.26 Modelo de aplicación SHDSL

### Capacidad de transporte

La recomendación ITU-T 991.2 especifica un modo de operación con dos cables (un par) para transceptores SHDSL que son capaces de soportar velocidades de datos de usuario (carga útil) de 192 a 2.312 Kbps en incrementos de 8 Kbps. Permitiendo velocidades que son dadas de  $n * 64 + i * 8$  Kbps, donde  $3 \leq n \leq 36$  y  $0 \leq i \leq 7$ . Para  $n = 36$ ,  $i$  esta restringido a valores de 0 o 1. Esta recomendación también especifica un modo opcional de operación con cuatro cables (dos pares) que es capaz de soportar velocidades desde 384 a 4.624 Kbps en incrementos de 16 Kbps.

## SHDSL – TC PAM

TC-PAM combina un esquema de modulación con codificación convolucional, con el propósito de ganar inmunidad al ruido sin necesidad de expandir el ancho de banda de la señal o aumentar la potencia de transmisión. El aspecto innovador de TCM (Trellis Code Modulation – Modulación de Código Trellis) radica en que la codificación convolucional y la modulación no se realizan en entidades separadas, sino en una única operación. SHDSL utiliza PAM con un valor de alfabeto de 16 niveles para mapear una palabra de 4 bits ( $2^4=16$ ) en un símbolo. Esta es una técnica de modulación que posee detección y corrección de errores.

## Tramas SHDSL

La trama SHDSL consta de (Figura 1.27):

- 14 bits de sincronización (alineamiento de trama)
- 4 Cabeceras para 4 bloques de carga útil consecutivos, son utilizadas para información crítica de entramado e indicar anomalías
- 4 bloques de carga útil, donde se transporta la información, cada bloque tiene una duración de 1.5 ms / bloque
- Cada bloque posee 12 sub-bloques
- 2 “bit stuffing” – Utilizados en aplicaciones asincrónicas. Por lo general se dejan en ceros.

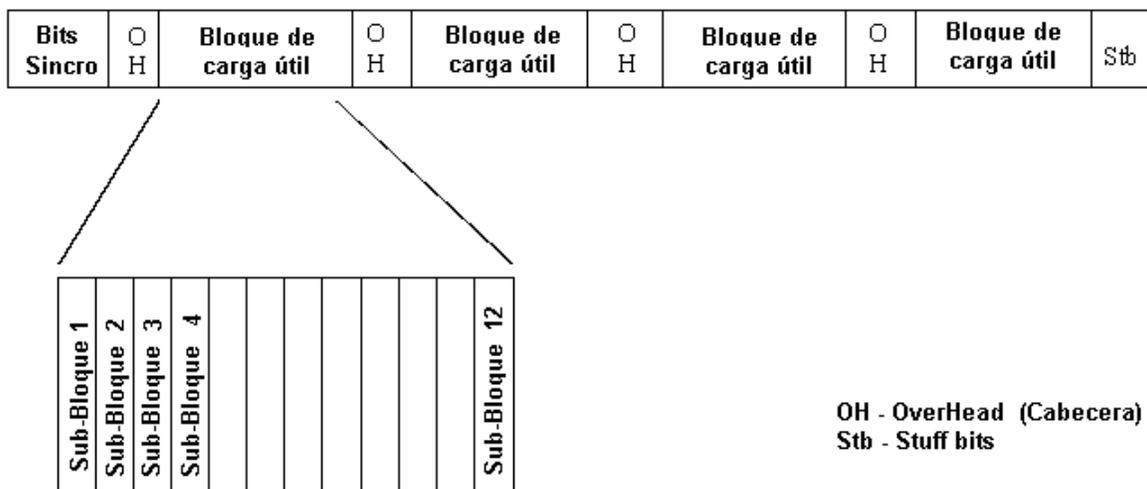


Figura 1.27 Trama SHDSL

### 1.6.5 Línea de Abonado Digital RDSI (IDSL – ISDN Digital Subscriber Line)

Esta tecnología es simétrica, similar a SDSL, pero opera a velocidades más bajas y a distancias más grandes. Se basa en el desarrollo DSL de Ascend Communications. IDSL se implementa sobre una línea de RDSI y actualmente se emplea como conexión a Internet y para transferencia de datos. El servicio de IDSL permite velocidades de hasta 144Kbps, a distancias de 5 Kms aproximadamente. Como IDSL no es telefonía conmutada, no requiere del canal D de señalización (call setup) por lo que puede proveer 16 Kbps mas que la RDSI estándar ( $128 + 16 = 144$  Kbps). No soporta el servicio de POTS. Utiliza modulación 2B1Q.

Algunas diferencias de IDSL y RDSI son: RDSI es tarifada por tiempo de uso, mientras que IDSL ofrece tarifa plana (costo único independientemente del tiempo de conexión). IDSL permite estar siempre conectado mientras el computador está encendido, entretanto que para RDSI es necesario establecer una conexión telefónica mediante marcación (dial up). IDSL es un servicio dedicado para cada usuario, al contrario de RDSI.

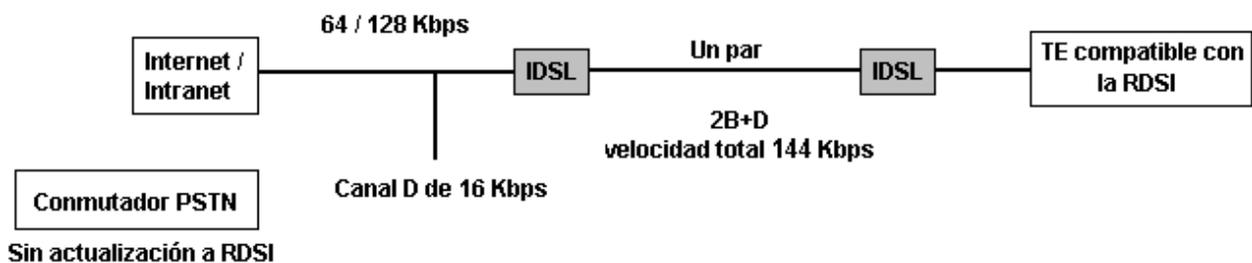


Figura 1.28 Dos unidades IDSL operando sobre un par de cobre

La figura 1.28 muestra dos equipos IDSL operando sobre un par de cobre, la línea está organizada en canales BRI (Basic Rate Interface – Interfaz de Velocidad Básica) comunes con un servicio 2B+D con un agregado de 144 Kbps. En el extremo del usuario, el cliente puede adquirir cualquier equipo compatible con RDSI. En el conmutador local, todos los mensajes del canal D (señalización) son ignorados, ya que IDSL es en esencia un servicio de líneas dedicadas.

## Capítulo 2:

### CRITERIOS DE DISEÑO PARA UNA RED xDSL

#### 2.1 INTRODUCCIÓN

En este capítulo se exponen una serie de criterios a tener en cuenta en el momento de diseñar e implementar una red xDSL. Se tienen en cuenta tres conjuntos de aspectos fundamentales, los de carácter técnico, los relacionados con la prestación del servicio y los económico - administrativos.

- Para los aspectos técnicos se tienen en cuenta factores tales como análisis de las características físico – eléctricas de los pares de cobre (resistencia, capacitancia, inductancia, presencia de ruido, etc.), condiciones de la infraestructura de la red telefónica existente (distancias, bobinas de carga, derivaciones, corto circuitos, entre otros), pruebas realizadas a los pares para determinar si es factible la implementación de una determinada tecnología DSL, características de los equipos y conectividad de la red.
- Los aspectos relacionados con la prestación del servicio tienen que ver con los requerimientos del cliente y de la empresa prestadora del servicio, entre estos requerimientos se tienen: distancia, ancho de banda, simetría, capacidad de soporte, escalabilidad, fiabilidad, entre otros.
- La viabilidad económica es otro aspecto importante a tener en cuenta, debido a que se tiene que planificar de la mejor manera, para poder tener un rápido retorno de la inversión.

Todo esto está dirigido a proporcionar la máxima satisfacción de los clientes, puesto que son estos los que determinan el éxito de la red.

## 2.2 REQUERIMIENTOS TÉCNICOS DE LOS PARES DE COBRE

Las tecnologías xDSL están desarrolladas para aprovechar al máximo la infraestructura de la red de acceso existente, basada en pares de cobre. Por lo tanto, lo primero que se debe tener en cuenta en el momento de desplegar alguna de las diferentes alternativas de DSL, es la valoración de los pares de cobre que garantice su correcto funcionamiento para dicha tecnología. En esta sección se analizarán los diferentes factores, tanto físicos como eléctricos, que deben tener los pares de cobre para cumplir con las recomendaciones de la industria mundial de telecomunicaciones.

### 2.2.1 Par Trenzado

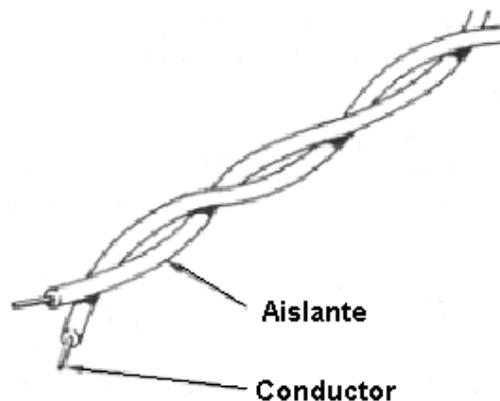


Figura 2.1 Par trenzado

Consiste de dos alambres de cobre, aislados, dispuestos bajo un patrón en espiral. El trenzado minimiza las interferencias electromagnéticas entre los cables, dado que el acoplamiento entre ellos es mayor, de forma que las interferencias afectan a ambos cables de forma parecida. Es necesario que los cables tengan una impedancia característica bien definida para asegurar una propagación uniforme de las señales de alta velocidad a lo largo del cable y para asegurar que la impedancia de los equipos que se conectan a la línea es la adecuada, de modo que se pueda transferir la máxima potencia. Cuando se conoce la impedancia característica de una línea con cierta precisión, es posible diseñar una terminación adecuada para ésta, de modo que se evite la reflexión de las señales transmitidas, que podría dar lugar a errores en la transmisión.

Hay varios tipos de pares trenzados:

- Pares semirrígidos aislados con PVC (Cloruro de Polivinilo) y de bajo precio, son los más utilizados, carecen de impedancia uniforme y provocan excesivas reflexiones.
- Pares trenzados no apantallados UTP (Unshielded Twisted Pair) con PVC irradiado. Proporcionan mejores características con un costo algo superior. Es el cable par trenzado más simple, sin ningún tipo de pantalla adicional y con una impedancia

característica de 100 Ohmios. El conector más frecuente con el UTP es el RJ45, aunque también puede usarse otro (R-J11, DB-25, DB-11, etc), dependiendo del adaptador de red. Es sin duda el que hasta ahora ha sido mejor aceptado, por su costo, accesibilidad y fácil instalación. Sus dos alambres de cobre trenzados aislados con plástico PVC han demostrado un buen desempeño en las aplicaciones de hoy, sin embargo, a altas velocidades puede resultar vulnerable a las interferencias electromagnéticas del medio ambiente. Actualmente, existen 8 categorías dentro del cable UTP, cada categoría especifica unas características eléctricas para el cable: atenuación, capacidad de la línea e impedancia. El cable telefónico esta ubicado entre las categorías 1 y 2.

- Pares trenzados apantallados (STP - Shielded Twisted Pair) y aislados con materiales de baja constante dieléctrica (Twinax) que cumplen con los requisitos eléctricos reduciendo interferencias y proporcionan atenuaciones de más de 30 dB (decibeles) para el ruido. Su uso es esencial para cumplir con las normas de la Comisión Federal de Comunicaciones (FCC - Federal Communications Commission) para transmitir datos con velocidades superiores a 10 Mbps. En este tipo de cable, cada par va recubierto por una malla conductora que actúa como pantalla frente a interferencias y ruido eléctrico. Su impedancia es de 150 Ohms. El nivel de protección del STP ante perturbaciones externas es mayor al ofrecido por UTP, sin embargo, es más costoso. La pantalla del STP, para que sea más eficaz, requiere una configuración de interconexión con tierra (dotada de continuidad hasta el terminal). Con el STP se suelen utilizar conectores RJ-49.

Los pares trenzados de cobre sólido se clasifican de acuerdo a su diámetro de la siguiente forma, según las medidas de cable americano (AWG - American Wire Gauge):

<b>Diámetro</b>	<b>Categoría</b>
0,4 mm	26 AWG
0,5 mm	24 AWG
0,6 mm	22 AWG
0,9 mm	19 AWG

Tabla 2.1 Categorías del par trenzado - AWG

### 2.2.2 Características de los pares trenzados

La calidad y la transmisión de señales digitales en pares de cobre se ven afectados básicamente por: resistencia, temperatura, inductancia, capacitancia, ruido, puentes o derivaciones y bobinas de carga, entre otros.

**RESISTENCIA:** Afectada por la longitud del cable, la temperatura ambiente y el diámetro o calibre del alambre conductor. Este valor es importante para determinar si en la línea existen cortos o si en alguno de los cables hay algún deterioro como el estar sulfatado o con corrosión, con lo que se pueden generar cortos.

**TEMPERATURA:** Cuando la temperatura aumenta, la resistencia del alambre aumenta y viceversa. Otro aspecto que se ve afectado por este factor es la velocidad de transmisión la cual disminuye con el aumento de temperatura.

**INDUCTANCIA:** Cuando se envía una señal eléctrica por una línea telefónica, se crea un campo magnético alrededor del par. Esta inducción también es llamada Diafonía o "Cross Talk". Con el trenzado del par se compensa el campo magnético alrededor de la línea y reduce la inducción (interferencias y diafonía) de la señal hacia el par adyacente. Esto permite señales de frecuencia más altas.

**CAPACITANCIA:** Generada por la diferencia de potencial entre los dos cables, este efecto introduce atenuación en la señal, el valor de la capacitancia de un par se puede incrementar si este presenta derivaciones a lo largo de su trayecto.

**RUIDO:** Señales no deseadas que se adicionan a la señal primaria y que afectan el buen desempeño de un sistema de transmisión, como el de xDSL. Existen varias fuentes de ruido y para el par trenzado se clasifican en dos categorías principalmente. El ruido interno que se produce en los pares por problemas de desequilibrio y el ruido externo que interfiere al par por efecto de radiaciones, antenas, aparatos electrónicos, etc.

**BOBINAS DE CARGA:** También llamadas bobinas de pupinización, tienen valores de 88, 66 y 44 mH dependiendo de la distancia de separación entre estas, y sirven para compensar la pérdida de señal de voz en la línea. Filtran las frecuencias por encima de la señal de voz (3,4 KHz), como son las señales E1/T1 ó xDSL. Estos elementos que en un principio fueron utilizados para mejorar las transmisiones de voz, no son de gran ayuda y por el contrario afectan la transmisión digital por el par de cobre.

**PUNTES O DERIVACIONES:** Segmentos de cable que se unen a un cable principal, los cuales actúan como antenas pasivas. Este elemento afecta el desempeño de las transmisiones digitales, produciendo ecos u ondas reflejadas que afectan a la señal.

**COMBINACIÓN DE CALIBRES:** En muchas ocasiones se realizan combinaciones de calibres, esto produce débiles ecos porque las señales se reflejan cuando las características del medio cambian.

**NOTA:** Los valores de Resistencia, Inductancia y Capacitancia para cables 22, 24 y 26 AWG se encuentran consignados en el Anexo X de la Recomendación ITU-T G.996.1: Test procedures for digital subscriber line (DSL) transceivers.

El comportamiento eléctrico de un par de cables telefónicos puede verse afectado por varios problemas, que se pueden resumir en:

- Pérdidas por atenuación de la señal que proviene de la planta telefónica o del aparato terminal.
- Diafonía, es decir, cruce de señales entre diferentes pares, la cual perjudica la claridad de la señal y limita la privacidad de la conversación.

- Inducción de señales externas de alguna fuente de Ingreso de Radiofrecuencia (RFI - Radio Frequency Ingress) o Interferencia Electro-Magnética (EMI – Electro Magnetic Interference), que igualmente degradan la calidad de la comunicación.
- Ruidos por malos contactos, humedad, etc, que atentan contra una buena relación SNR.

### 2.2.3 Pruebas necesarias para el despliegue de un sistema xDSL <sup>16</sup>

A continuación se describen el porque y cuales son las pruebas necesarias a realizar en un sistema xDSL para asegurar su correcto funcionamiento. Como ya se sabe la principal ventaja de las tecnologías DSL es que utiliza como medio de transmisión el par de cobre. Por lo tanto, éste debe cumplir con unos requisitos mínimos para que el sistema xDSL pueda ser desplegado satisfactoriamente a cada uno de los usuarios que demandan el servicio, y a su vez tener en cuenta que los equipos DSL deben ser fabricados con unas determinadas características, las cuales son definidas por organismos competentes tales como la ITU-T, ANSI, ETSI, ADSL Forum, entre otros. Que hacen posible su correcto funcionamiento e interoperabilidad. Por ultimo no se debe olvidar el cableado interno en el sitio del cliente (casa, oficina, etc.), el cual es una frecuente fuente de problemas.

#### 2.2.3.1 Importancia de hacer pruebas en xDSL

Las pruebas que actualmente se están haciendo para caracterizar un par de cobre y evaluar su aplicabilidad a xDSL son muy pobres, no solo en los países de América Latina sino a nivel mundial. Una prueba común puede la del ensayo y error, es decir, se conecta el modem y se verifica si funciona o no, en caso de que no funcione, entonces se toma como opción seleccionar otro par de cobre. Algunos van más allá y utilizan un multímetro para medir la resistencia de la línea, continuidad y el voltaje inducido, antes de conectar el modem. Otros utilizan los populares Reflectometro en el Dominio del Tiempo (TDR - Time Domine Reflectometer), con los que pueden hacer un diagnóstico mas profundo de la línea. Pero, en muy pocos lugares están siendo realizadas las pruebas necesarias para calificar completamente el par de cobre, debido a la carencia de los instrumentos necesarios. Un problema con los sistemas de ensayo y error, es que la mayoría de los sistemas xDSL tienen la capacidad de ajustarse a las condiciones de la línea, para transmitir a la mayor velocidad posible, es decir, en la mayoría de los casos van a funcionar, pero no a la velocidad ideal y no se tendría una confiabilidad aceptable.

En la figura 2.2 se muestran los diferentes tipos de prueba, en un orden lógico o secuencial. Sin embargo, en la realidad ocurre casi todo lo contrario ya que se requiere reducir el tiempo necesario para verificar el enlace y a veces no todas las pruebas son realizadas. El técnico que va a activar el servicio está por lo general acostumbrado a primero hacer una prueba de factibilidad para un cliente y si el sistema sincroniza sin problemas y todos los parámetros del enlace están dentro de lo esperado, solo verifica la conectividad IP. O sea que por lo general, el técnico omite algunas pruebas que pueden ser relevantes para garantizar una buena calidad de servicio.

---

<sup>16</sup> Basado en la Guía de referencia del TDR SunSet xDSL de la Sunrise Telecom

En el caso de que se note algo extraño en el enlace, como que tenga problemas en sincronizar o que no sincronice, el técnico debe contar con las herramientas necesarias para poder identificar y solucionar el problema, que limita el correcto funcionamiento del enlace.

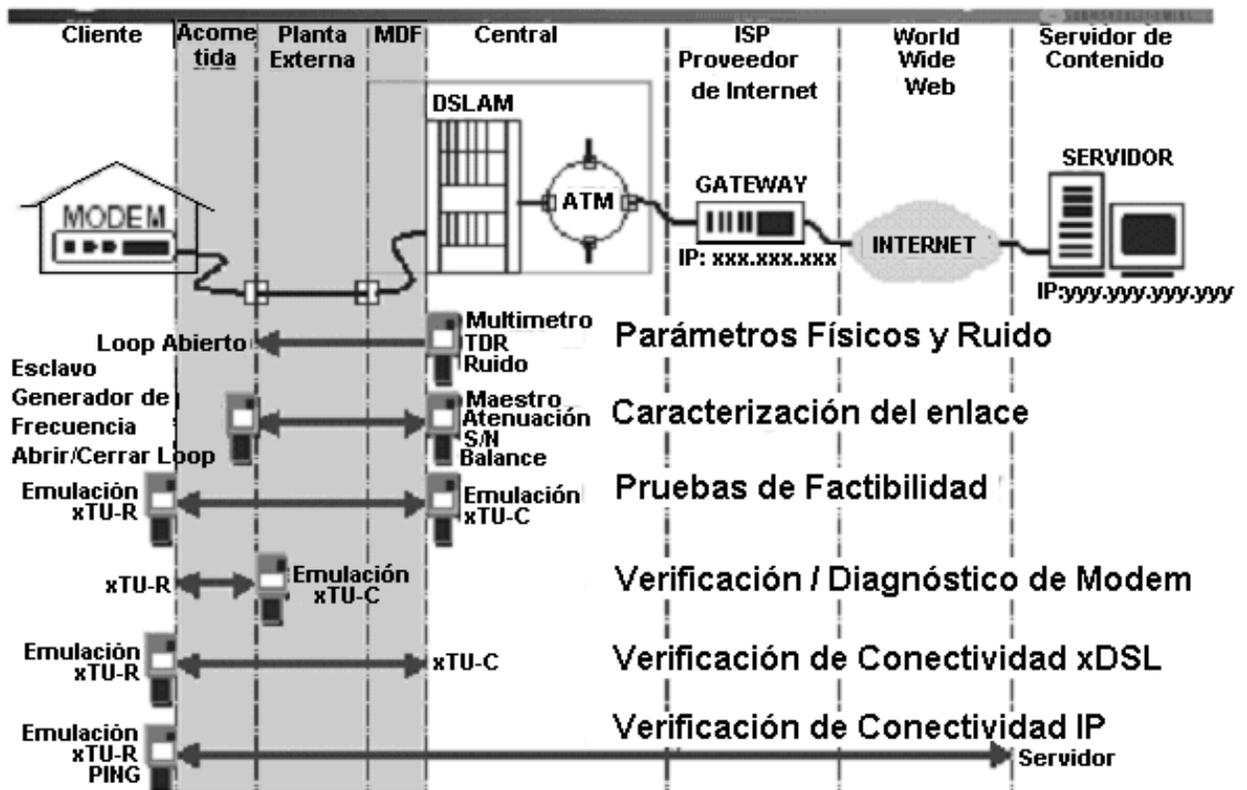


Figura 2.2 Pruebas en xDSL

Las pruebas que se deben realizar a un sistema xDSL para su adecuado funcionamiento se dividen en dos grupos, el primero hace referencia a las pruebas necesarias en el bucle de abonado desde la central local hasta el punto de conexión con el abonado incluyendo el cableado interno del usuario, el segundo grupo abarca las pruebas de equipos terminales tanto de usuario como los de la central.

### 2.2.3.2 Pruebas al bucle de abonado

A cada uno de los pares que conforman el bucle de abonado es necesario que se le realicen las pruebas de valoración para determinar si son capaces de soportar la transmisión de señales xDSL con máximas garantías, asegurando la calidad de servicio. A esta etapa previa al despliegue del sistema xDSL se le denomina la precalificación del par de cobre.

Esta precalificación es necesaria puesto que la mayoría de pares fueron instalados hace muchos años y no para transmitir varios megabits por segundo, sino para el simple canal de voz (4 KHz). Uno de los grandes problemas que se pueden encontrar durante el proceso de precalificación de los pares, es la presencia de bobinas de pupinización, las cuales bloquean totalmente las señales DSL.

Existen dos métodos de pruebas de precalificación, el primero el que puede hacerse con un solo equipo de prueba desde un único extremo del par de hilos y el otro método el que necesita de dos equipos de prueba uno en cada extremo de la línea. Con el primer método se tiene la ventaja de no tener que enviar personal a la casa del abonado interesado en el servicio ya que las pruebas se pueden realizar desde la central y con una seguridad del 90%. Sin embargo, con el segundo método las mediciones son más precisas, lo que permite precalificar completamente el bucle de abonado.

Para el primer método, y desde cualquier extremo, preferiblemente desde la central, se necesita ser capaz de realizar las siguientes medidas:

- Determinar si hay bobinas presentes en el bucle y su localización.
- Determinar la longitud total del bucle.
- Determinar la longitud total de las derivaciones del par sin terminar (Bridge Taps).
- Determinar la presencia de ruido en el par (diafonía).
- Posibilidad de medir los siguientes parámetros entre hilos (Tip-to-Ring) y entre cada hilo y tierra (Tip-to-Ground, Ring-to-Ground): voltaje DC y AC, resistencia y capacitancia.
- Posibilidad de medir el balance longitudinal.

Con el segundo método, pruebas desde ambos extremos, además de realizar las pruebas anteriores, es posible realizar pruebas de emulación de cualquier tipo de modem DSL.

#### 2.2.3.2.1 Medidas desde un extremo

A continuación se indican los pasos a seguir para determinar si un par trenzado es apto para prestar un servicio DSL, estos pasos no son obligatoriamente consecutivos y pueden omitirse algunos de ellos cuando se considere necesario.

Antes es necesario que se entienda que es un TDR.

Un TDR es un instrumento que trabaja enviando un pulso a lo largo del cable y midiendo cualquier reflexión que regrese. Estas reflexiones son causadas por cambios en la impedancia del cable y que pueden ser causados por agua, pares divididos, puentes, bobinas de carga, cortos o circuitos abiertos. El principal beneficio de un TDR es su exactitud y habilidad para detectar el lugar exacto de la falla. Mientras que un detector de bobinas solo puede establecer cuantas son, con un TDR se puede determinar el lugar donde se encuentran.

### Paso 1 - Detección de bobinas de carga

El primer paso de la precalificación es la detección de las bobinas de carga que se encuentran a lo largo de toda la línea telefónica desde la central hasta las inmediaciones del abonado. Para esto se utiliza un detector de bobinas de carga que por resonancia puede detectar cuantas bobinas se han introducido en la línea (ver figura 2.3).

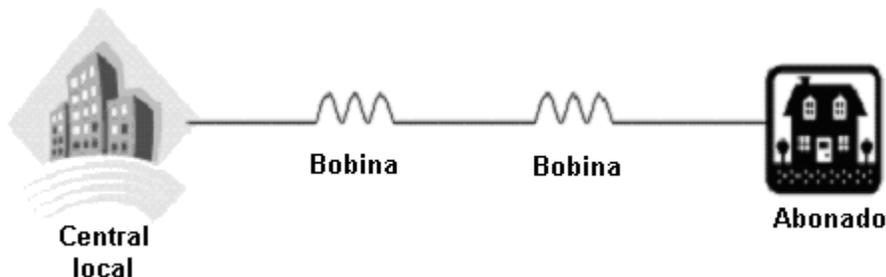


Figura 2.3 Bobinas de carga

Una sola bobina de carga puede causar que no sea posible prestar el servicio DSL. Debido a esto es conveniente chequear la presencia de estas bobinas antes de la instalación del servicio o en el caso de no poder establecer un enlace verificar si se tienen bobinas que estén evitando prestar el servicio DSL.

Las bobinas de carga fueron muy utilizadas para compensar el efecto capacitivo en líneas muy largas, de ahí que se utilizaron para extender las señales de voz en bucles largos de alrededor de 18.000 pies (~5 Kms). Una bobina es típicamente un inductor que trabaja aumentando la potencia de la señal dentro de las frecuencias de voz entre 300 Hz y 3 KHz, sin embargo, después de los 3,1 KHz, la potencia cae. Las bobinas de carga son localizadas generalmente a intervalos regulares, siendo esto un factor clave para su localización. Generalmente, la primer bobina aparece a los 3.000 pies (900 m) de la oficina central y las siguientes bobinas se encuentran cada 6.000 pies (1,8 Kms) después de la primera.

Para solucionar el problema de las bobinas de carga, se utilizan dos herramientas:

- A. Lo primero que se debe hacer es establecer cuantas bobinas de carga existen sobre la línea, para ello, se utiliza un detector de bobinas de carga el cual trabaja por medio de resonancia.
- B. Una vez detectadas, se prosigue a su localización para lo cual generalmente se utiliza un TDR, con este se encuentra la posición de la primera bobina y luego de retirarla se vuelve a utilizar el TDR para hallar la posición de la siguiente. En un TDR una bobina de carga se visualiza como un circuito abierto o el fin del cable, por esta razón no es posible ver más allá de la distancia donde se encuentra la primera bobina y es por esto que la primera bobina debe ser retirada, antes de poder ubicar la siguiente.

Gráficamente una bobina de carga en un TDR aparece como un ligero pico. Este será muy similar a la grafica que representa un circuito abierto, tal como se muestra en la Figura 2.4.

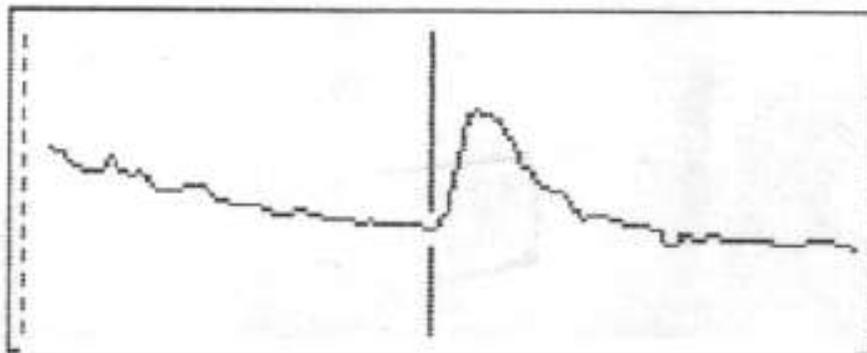


Figura 2.4 <sup>17</sup> Bobina de carga o línea abierta

## Paso 2 - Medida de la longitud total del bucle

Para hallar la longitud total del bucle existen varios métodos, uno de ellos se lleva a cabo por medio de los valores de resistencia que deben tener los hilos del par de cobre. Para esta medición de la distancia con base en la resistencia del bucle, se requiere de un corto en el extremo final, por ejemplo en el lado del usuario. Luego de la medición se debe hacer la conversión de acuerdo a los valores dados en la tabla 2.2, así por ejemplo, si tenemos un cable 24 AWG con un valor de resistencia de 850 ohms la distancia equivalente sería  $850/170 = 5$  Kms aproximadamente.

Diámetro	Categoría	Resistencia
0,4 mm	26 AWG	277 +/- 10% Ohms por Km
0,5 mm	24 AWG	170 +/- 10% Ohms por Km
0,6 mm	22 AWG	108 +/- 10% Ohms por Km
0,9 mm	19 AWG	53 +/- 10% Ohms por Km

Tabla 2.2 <sup>18</sup> Valores de resistencia a temperatura ambiente

Con base en los anteriores datos y conociendo las limitantes en cuanto a distancia de cada una de las tecnologías xDSL se puede deducir los valores aproximados de resistencia para cada tecnología, estos valores se indican en la tabla 2.3 para el calibre 26 AWG.

<sup>17</sup> Figura tomada de SunSet xDSL - Guía de referencia. Sunrise Telecom

<sup>18</sup> Valores tomados de SunSet xDSL - Guía de referencia de Sunrise Telecom. Y corroborados por la norma ANSI T1.601 Anexo G y la recomendación ITU-T G.996.1

Tecnología	Distancia limite	Resistencia
ADSL	< 5 km	1.300 ohms
HDSL/HDSL2	< 3.6 km	900 ohms
IDSL	< 5 km	1.300 ohms
SDSL	< 3.6 km	900 ohms
VDSL	< 1.5 KM	260 ohms

Tabla 2.3 Valores de resistencia y distancia para cada tecnología xDSL

Otras mediciones que se realizan con respecto a la resistencia del bucle son la resistencia de aislamiento y el desequilibrio resistivo, de las cuales se hablara posteriormente.

Otro de los métodos importantes para la medición de la longitud total del bucle es aquel que esta relacionado con el valor de capacitancia que debe haber entre los hilos del par de cobre, pues la longitud del cable se puede calcular gracias a que de antemano se puede conocer los nF/Km que se asignan a un determinado tipo de par de cobre, según los valores de referencia consignados en la recomendación ITU-T G.996.1. Estos valores se indican en la tabla 2.4.

Diámetro	Categoría	Capacitancia
0,4 mm	26 AWG	50 +/- 2 nF/Km
0,5 mm	24 AWG	50 +/- 2 nF/Km
0,6 mm	22 AWG	50 +/- 2 nF/Km
0,9 mm	19 AWG	50 +/- 2 nF/Km

Tabla 2.4 Valores de Capacitancia para cada categoría de cable

Los valores de capacitancia son útiles para determinar si el cable está abierto o si se tiene un corto en alguna parte del trayecto. Si las mediciones de capacitancia muestran valores superiores a 2  $\mu$ F, entonces se encuentra un corto en el par. Para verificar se recomienda comparar con las mediciones de resistencia, y posteriormente se debe utilizar el TDR para localizar el corto y solucionar el problema.

Con base en las mediciones de capacitancia se pueden determinar la distancia al circuito abierto en el par de cobre. Para ello se utiliza un factor de conversión de 51 nF = 1 Km ó 83nF = 1 milla. Si el valor de la distancia es menor o mayor que el esperado, esto podría indicar una rotura en el cable.

Una precaución que se debe considerar cuando se realiza una medición de capacitancia es que este valor es afectado debido a la presencia de derivaciones que se encuentran adheridas a la línea principal. O sea que estos elementos hacen que se incremente el valor de capacitancia y en consecuencia la estimación de la longitud de la línea. Por esto, si la longitud obtenida con la capacitancia ( $L_c$ ) es significativamente mayor que la obtenida con la resistencia ( $L_r$ ) es muy posible que existan derivaciones o puentes en la línea. Por ejemplo, si el par mide 2,5 kms con una lectura de resistencia y se encuentra un puente de 500 m, una lectura de capacitancia ( $L_c$ ) en estas condiciones daría una distancia de 3 kms, la distancia del puente o derivación es equivalente a la diferencia entre las dos distancias( $L_c-L_r$ ).

Lo que se debe hacer en estas circunstancias donde hay conflictos entre los valores de distancia medida con resistencia y distancia medida con capacitancia, es realizar una medición de TDR, ya que un TDR puede localizar un puente o una ruptura en el par. Utilizando una combinación de capacitancia, TDR y resistencia del bucle, se puede obtener una confiable vista de las condiciones del par.

También hay que tener en cuenta que en ocasiones hay bucles formados por pares de diferentes calibres y para lo cual es necesario tomar el peor caso, o sea, considerar todo el par con el calibre de menor diámetro que se este utilizando.

Al conocer la longitud de la línea, podemos diferenciar entre una bobina de carga y el final del cable, y también se puede limitar la búsqueda con el TDR.

### **Paso 3 - Medida de la longitud total de las derivaciones del par sin terminar (Bridge Tags)**

Los puentes son un elemento común en el bucle local ya que han sido utilizados por años para agregar o remover líneas adicionales del distribuidor principal. Un puente es cualquier sección del cable que no está en la senda correcta entre la oficina central y el suscriptor. La presencia de derivaciones en el par sin terminar no son por si mismas un problema, factores como su posición y su longitud son los que determinarán si son perjudiciales o no. Los puentes pueden crear un segundo trayecto para la señal digital, cuando esta señal viaja por el camino incorrecto, se refleja por el abierto en el extremo del puente y termina creando ruido en el cable principal.

Un puente puede reducir en gran medida la velocidad de transmisión para los servicios DSL y en casos extremos el enlace no podría ser montado. Existen dos factores clave para determinar el efecto de un puente en el servicio DSL.

- Primero el largo de la derivación. Puentes más cortos son más dañinos que los largos. La señal que viaja por el puente más corto experimenta menor atenuación pues tiene un menor recorrido y debido a esto es más potente, en los puentes con mayor distancia, la reflexión puede llegar a ser tan atenuada que tiene poco efecto en el desempeño.
- El segundo factor es la distancia del puente ya sea al módem xTU-C o xTU-R. De nuevo la atenuación es la clave, cuando la fuente de ruido está más cerca del receptor existe mayor daño que cuando la fuente de ruido está más alejada, pues entre más alejada la señal de ruido se atenúa más.

En el caso de servicios basados en ADSL, las derivaciones aunque no bloquean su uso, si limitan su velocidad máxima de funcionamiento. Basándonos en las pruebas de campo realizadas en los laboratorios de la SUNRISE TELECOM, los peores escenarios para los puentes en cuanto a los servicios ADSL parecen ser cuando el puente está ubicado dentro de los primeros 305 m (1000 pies) desde cualquier modem y entre los 61 y 152 m de largo. Estos resultados están basados en pruebas internas de laboratorio así como en pruebas de campo, y por lo tanto, no son parte de una especificación estándar de ningún organismo.

Un TDR es la mejor herramienta que puede utilizarse para detectar derivaciones, aunque también existen otros aparatos que detectan la presencia de estas sobre la línea mediante la detección de las frecuencias donde el cable se comporta como un filtro de rechazo (notch). Si se conoce la velocidad de propagación del cable entonces podemos hallar la longitud total de la derivación que causa ese efecto de resonancia. La figura 2.5 muestra un puente encontrado en la pantalla de un TDR, el puente se distingue porque aparece como una depresión seguida de una ampliación de la señal, ya que el pico al final representa el final del cable.

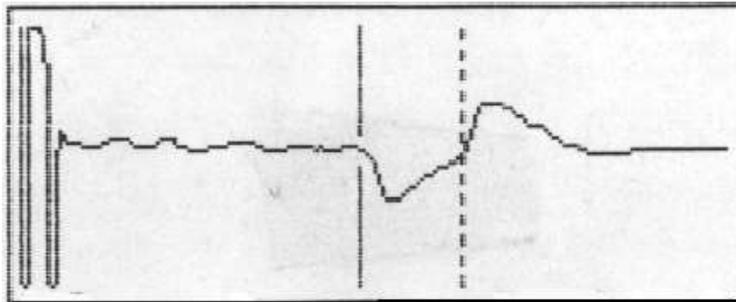


Figura 2.5 Detección de un puente con un TDR

Las mediciones para la pérdida de inserción también pueden ser utilizadas para verificar la presencia de puentes. Aunque este es un tipo de prueba que se hace en ambos extremos.

#### **Paso 4 - Medida de la presencia de ruido en el par (Diafonía)**

La medida de ruido en el par nos debe permitir conocer no sólo el nivel de ruido, sino su naturaleza y las frecuencias a las que afecta. Lo primero sería tratar de identificar las posibles fuentes internas de ruido, o sea, saber si hay pares dentro del mismo cable que por estar transportando determinados servicios como E1, HDSL, ISDN, ADSL, etc. puedan afectar a la transmisión por ese par, ver figura 2.6. El otro tipo de ruido que se debe identificar hace referencia a las fuentes de ruido externas como las emisiones en AM o HF.

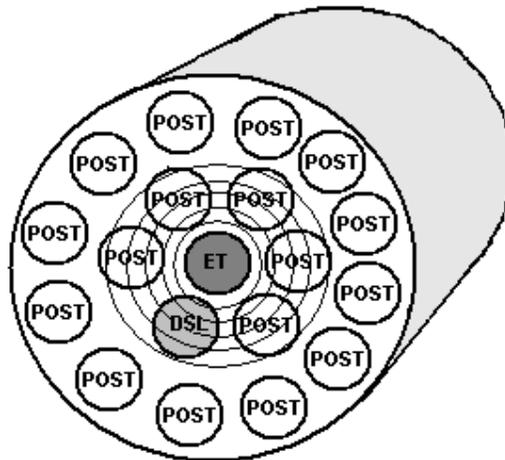


Figura 2.6 Interferencia interna

El instrumento utilizado para llevar a cabo esta tarea es un analizador espectral de potencia. Algunos aparatos disponen de cierta inteligencia para analizar el ruido y sugerir las posibles fuentes, también hay aparatos que disponen de medidores de ruido impulsivo para poder identificar problemas intermitentes como motores, encendido de automóviles, descargas eléctricas, etc.

Para el caso del ruido interno uno de los parámetros claves para detectar problemas en la línea es el análisis de ruido de fondo en banda ancha, realizado con un analizador de espectros. De esta forma es posible identificar interferentes internos tomados en la diafonía (*crosstalk*). La diafonía se produce cuando la señal transmitida por un par logra afectar a los demás pares adyacentes del cable, produciendo interferencias entre las líneas del cable. Cuando se enfrenta la transmisión de señales por pares dentro de un cable que contiene varios sistemas digitales o analógicos como telefonía o modem de datos, la diafonía puede tener un efecto importante como limitador de las distancia de transmisión.

Las principales causas que generan la diafonía, son los desequilibrios capacitivos y el bajo aislamiento entre los pares del cable, lo que normalmente se produce cuando se realizan los empalmes. Es importante llamar la atención en este punto, dado que la diafonía, a diferencia de otros defectos, es muy difícil de localizar y reparar, por lo tanto los técnicos encargados de realizar los empalmes de los cables deberán tomar todas las medidas pertinentes, con el objetivo de evitar que se produzcan desequilibrios capacitivos o bajo aislamiento entre los cables.

Se distinguen dos tipos de diafonía que se indican en la figura 2.7. La diafonía en el terminal cercano llamada NEXT (Near-End-CrossTalk) conocida también como paradiafonía y la diafonía en el terminal lejano llamada FEXT (Far-End-CrossTalk) denominada telediafonía.

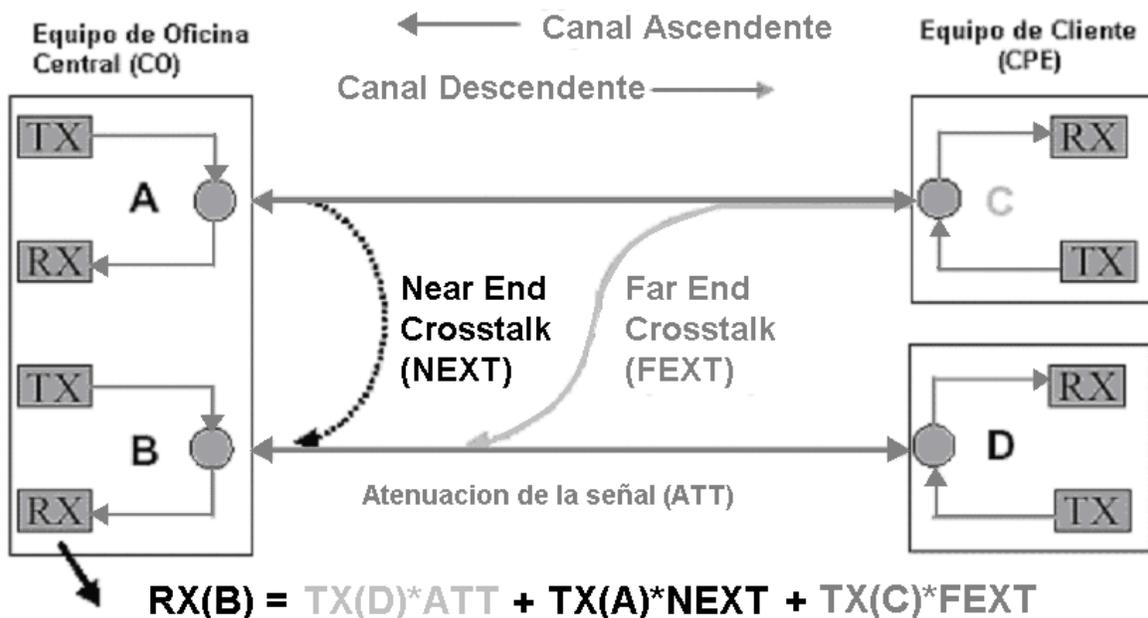


Figura 2.7 Representación gráfica para NEXT y FEXT

La paradiafonia (NEXT) se da cuando parte de la energía transmitida por un par trenzado es inducida hacia otro u otros pares que llegan a la parte de recepción en el mismo equipo para este caso en el DSLAM.

La paradiafonia es definitivamente un parámetro que afecta a los servicios DSL, en general, cuando en el lado de la central se concentran múltiples servicios digitales que se transmiten con potencias relativamente altas. Cada servicio que se agrega a un cable, es una fuente potencial de ruido. Es de tener en cuenta que la señal que llega al receptor llega atenuada, y por tanto, el nivel de señal que se da por la inducción magnética del par que produce la paradiafonia puede ser comparable y afectar a la señal que llega en recepción. Lo importante en estos casos es que la relación señal a ruido sea lo bastante aceptable para garantizar la buena prestación del servicio.

Para la telediafonía (FEXT), como su nombre lo indica, es el ruido que detecta un receptor en el extremo opuesto a la fuente de ruido transmisora. Puesto que la señal interferente es mucho más débil que en la paradiafonia, el problema de telediafonía es mucho menos preocupante. Los filtros que se instalan en la ubicación del usuario y en la oficina central del operador deben ser capaces de eliminar estos ruidos espúreos.

Para la identificación del tipo de ruido de diafonía se tiene que, normalmente, el tipo de ruido que se encuentra en los cables de planta externa no es de tipo externo, son diafonías de otros servicios de transmisión digital que viajan en el mismo grupo de cables. Los más críticos son los producidos por los equipos de la central, que transmiten señales con potencias relativamente altas.

Los servicios basados en codificaciones simples como 2B1Q (p.e. HDSL e ISDN) son muy robustos y muy pocas veces son afectados por otros servicios. Si la atenuación y el

margen de señal / ruido están dentro de las especificaciones del modem, el sistema funcionara con un margen de error muy bajo.

En casos como el de ADSL, donde no se habla de una sola portadora y el ancho de banda es mayor, el servicio se ve mas afectado por el ruido. En la practica, ADSL ha demostrado ser un sistema de transmisión muy robusto, capaz de adaptarse a las condiciones de la línea.

Para facilitar la identificación del tipo de interferencia con su nivel, es importante utilizar un analizador espectral de potencia, ya sea por medio de máscaras de referencia o automáticamente. Las mascararas de referencia son una forma de comparación de cada una de las señales que se pueden ir incorporando y teniendo repercusiones de interferencia en el sistema, esto con el fin de darle al técnico suficiente información para solucionar el problema.

En la medición de ruido para un servicio especifico, es necesario limitar la banda de análisis para eliminar la banda de ruido que no afecta el servicio. Para esto, se utilizan los filtros estándar E, F y G, los cuales se indican a continuación:

- Filtro E: Para RDSI acceso básico BRI (Basic Rate Interface – Interfaz de Velocidad Básica), limita el ancho de banda de análisis entre 1 y 50 KHz.
- Filtro F: Para HDSL, limita el ancho de banda entre 5 y 245 KHz.
- Filtro G: para ADSL, limita el ancho de banda entre 20 KHz y 1,1 MHz.

Es necesario aplicar el filtro correspondiente para poder comprar el valor medido, con las especificaciones del modem.

Por último, el ruido externo, el cual básicamente se trata de ruido impulsivo generado por chispas eléctricas, líneas de alta tensión, maquinaria, interruptores, luces fluorescentes, entre otros. Tal vez las más importantes son las interferencias de las emisoras de radio.

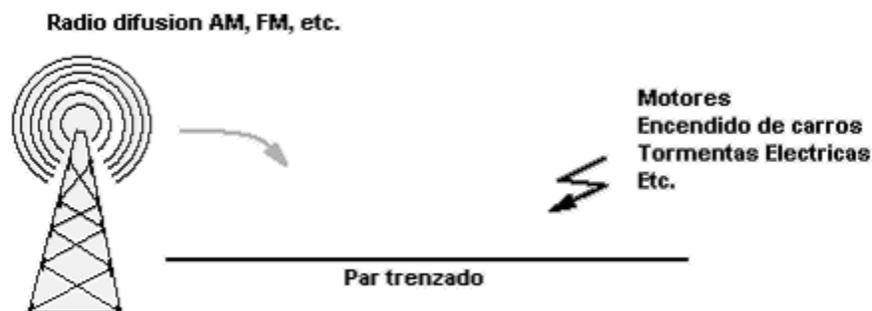


Figura 2.8 Interferencias externas

Es importante tener en cuenta cuales de estas interferencias están presentes por un corto periodo de tiempo, generando como su nombre lo indica una interferencia de tipo impulso. La otra interferencia externa esta relacionada con aquellas perturbaciones de larga duración, como lo son las líneas de alto voltaje o las emisiones de radio para las cuales se tendrá que disponer de soluciones más adecuadas, como reemplazar la acometida del suscriptor por una acometida subterránea o protegida por una tubería.

Algo que se debe tener claro, es que entre mayor sea el rango de frecuencias que maneje el sistema, mayor será la posibilidad de que sean afectados por las interferencias. Con base a lo anterior, se puede notar que sistemas como HDSL o RDSI se ven beneficiados gracias a que manejan frecuencias más bajas que las que manejan sistemas como ADSL.

### **Paso 5 - Medida de parámetros físicos entre hilos**

Entre los parámetros físicos que se deben analizar para garantizar el buen funcionamiento de un sistema xDSL están la resistencia del bucle y la capacitancia, los cuales como se indico anteriormente son muy importantes y se utilizan para determinar la longitud de la línea. Sin embargo, deben hacerse otro tipo de mediciones con respecto a estos parámetros y las cuales se indican a continuación:

- **Resistencia de aislamiento**

Se realiza una medición entre los dos hilos A y B del par y entre cada hilo y tierra, la medición tiene que hacerse con circuito abierto en el extremo lejano. Según el estándar ANSI T1.413, el cual especifica que las mediciones de resistencia de aislamiento para los tres tipos de medición, o sea entre A-B , A-GND y B-GND deben ser mayores de 5 Megaohms. El análisis con respecto a estas medidas se presenta a continuación:

1. Si el resultado de la resistencia medida entre los hilos A-B del bucle es un valor menor de 5 Megaohms, esto indica la posibilidad de un corto o un contacto por corrosión o sulfatación. Para verificar esta anomalía se puede entonces utilizar el TDR para buscar el corto.
2. Si se obtiene un valor de resistencia entre el hilo A y GND o B y GND menor a 5 Megaohms, se dice entonces que existe una tierra en el par. Se recomienda utilizar el TDR para encontrar la tierra y solucionar el problema.

Otra condición necesaria para el buen funcionamiento de una línea de transmisión, es lo referente al **desequilibrio resistivo**. Se entiende como desequilibrio resistivo a la diferencia de resistencia entre el hilo A y el hilo B del mismo par, y la cual no puede ser superior al 2% de la resistencia total del bucle, y en ningún caso ser mayor a 17 ohms.

- **Desequilibrio capacitivo**

En cuanto a la capacitancia del par se tiene el desequilibrio capacitivo, el cual se define como la diferencia de capacitancia entre el hilo A y B del par, medido respecto de la pantalla del cable, teóricamente está diferencia no debe superar al 2% de la capacitancia total.

- **Voltaje AC**

Otro parámetro que se debe analizar es el voltaje AC y para el cual se debe comprobar que no hay tensiones AC entre cada una de las siguientes configuraciones para los hilos y tierra, A-B, A-GND, B-GND debido a líneas de alimentación próximas a los cables que contienen los pares. Se deben obtener valores muy pequeños para los 3 resultados, pues no se admiten valores superiores a 5 VAC.

- **La verificación de voltaje POST**

El bucle POST es alimentado con 48 voltios DC desde la oficina central. Este voltaje es insertado en el hilo B y las lecturas que se deben obtener son  $-48$  VDC para B-GND y de  $+48$  VDC para A-B. Esta medida puede indicar un par cruzado, por ejemplo, si se está probando un par con un circuito abierto en el extremo lejano y se observan los siguientes valores A-B =  $-48$  V, A-GND =  $+48$  V y B-GND =  $0$  V, esto indica que el hilo A está cruzado con otro hilo B de otro par. Durante la instalación un voltímetro puede ser utilizado para verificar el voltaje correcto para POST.

## **Paso 6 - Medida del balance longitudinal de impedancias**

El balance longitudinal permite estimar la susceptibilidad al ruido de un cable. Un pobre balance longitudinal puede causar corrientes longitudinales no balanceadas que produzcan ruido y causen errores que limiten la velocidad de transmisión. Esta es una medida que muchos saben que existe, algunos conocen de que se trata, pero pocos la entienden y solo una minoría saben como interpretar los resultados. La recomendación G.992.1 en su Anexo A Sección A.4.3.1, especifica que el par utilizado para ADSL debe tener un balance longitudinal mayor a 40 dB, para el rango de frecuencias de 30 a 1.104 Hz.

La mayoría de los instrumentos de campo que realizan esta medida lo hacen para la banda de audio (4kHz), que no es aplicable a ADSL o xDSL en general. Esto causa aun más confusión.

El balance longitudinal es un medio para estimar la susceptibilidad al ruido de un cable, es decir, la posibilidad de que ingrese ruido al cable. Desafortunadamente en la practica, una vez que el cable está instalado el ruido deja de ser una posibilidad, se convierte en un hecho y no hay mucho que se pueda hacer. Es por esta razón que los instrumentos modernos se enfocan a la medida e identificación del ruido que existe en el cable, por medio de sofómetros o analizadores de densidad espectral de potencia.

Por ultimo, es de entender que con esta medida no se puede identificar ni resolver el problema del ruido, solo es un valor que se debe cumplir para garantizar el adecuado funcionamiento del sistema.

### 2.2.3.2.2 Medidas extremo a extremo

Las pruebas extremo a extremo son muy necesarias, pues solo con este tipo de pruebas se puede garantizar, por completo, que un enlace xDSL puede funcionar, o puede ser la base para decidir cambiar el par con el cual no se este alcanzando un enlace. A continuación se indican cada una de estas pruebas:

- **Pruebas de emulación de modem**

Verifica que se establece el enlace entre el terminal remoto (xTU-R) y el terminal que esta ubicado en el lado de la central (xTU-C). Determina que velocidad de transmisión puede alcanzarse con un determinado margen de ruido.

- **Medida de número de bits/portadora en ADSL**

Mide la atenuación de la señal para cada tono y el ruido en cada banda, con lo que se obtiene el número de bits transmitidos en cada tono. Sumando el número de bits transmitidos por cada tono se obtiene la máxima velocidad posible, tanto en sentido ascendente como en sentido descendente.

La característica de bits por tono es una herramienta muy utilizada si la tasa en el principio del enlace está por debajo de lo esperado. Los tonos que tienen una asignación de bits alta tienen la mayor relación señal a ruido, por ejemplo, si se encuentra un descenso significativo en la distribución de los bits alrededor de los 772 KHz, existe una alta posibilidad de una interferencia de un T1 afectando el desempeño del servicio DSL.

La distribución de los bits es de vital importancia para la transmisión óptima de la tasa de bits. Cada tono puede soportar hasta un teórico máximo de 15 bits. Los modems constantemente monitorean la relación señal a ruido para cada tono, si un tono se degrada en calidad se manda un comando de barrido para ajustar la asignación de los bits a un tono en particular. Estos bits pueden ser agregados a un tono diferente o quitados de este por completo.

En un cable normal (sin problemas) la distribución de portadoras debe ser homogénea y reflejará la forma de la curva de señal / ruido del cable (una pendiente). Si se detecta una discontinuidad en el grupo de portadoras, esto puede indicar la presencia de una señal de interferencia o la resonancia de una línea en paralelo. Esta discontinuidad es una indicación de posibles problemas.

### 2.2.3.3 Pruebas al cableado interno del usuario

Los problemas más comunes que aparecen en la ubicación del abonado son:

1. El cableado interior en la casa del abonado suele tener varias derivaciones para conectar varios teléfonos. Estas derivaciones al estar muy cerca del modem son particularmente dañinas.

2. Los interruptores y aparatos que usan motores para su funcionamiento pueden producir interferencias electromagnéticas que afectan intermitentemente el funcionamiento del sistema xDSL. Los mismos aparatos y técnicas, utilizados para probar el par de hilos desde la central a la acometida del abonado pueden utilizarse para examinar el comportamiento del cableado interior de la casa del abonado o de los pares que forman el sistema xDSL completo.

#### **2.2.3.4 Pruebas a los equipos xDSL**

Las pruebas que se realizan a los equipos xDSL se pueden dividir en las siguientes:

- Pruebas de conformidad, las cuales han sido redactadas para asegurar que un determinado equipo cumple un conjunto de especificaciones.

La ITU es el organismo encargado de redactar las recomendaciones que describen los diferentes métodos de transmisión para el transporte de datos en las redes de acceso de telecomunicaciones. La recomendación G.996.1 describe los procedimientos de prueba para las recomendaciones del ITU-T relativas a DSL, esta recomendación involucra únicamente a los sistemas ADSL (G.992.1 y G.992.2) y SHDSL (G.991.2).

- Pruebas de interoperabilidad, las cuales han sido diseñadas para asegurar que equipos de diferentes fabricantes pueden funcionar juntos.

En ellas se comprueba los procesos de inicialización, negociación, comunicación y recuperación ante errores. Existen laboratorios independientes que se dedican a realizar pruebas de interoperabilidad a los equipos xDSL de diferentes fabricantes como el InterOperability Laboratory de la Universidad de New Hampshire en EEUU.

- Pruebas de comportamiento, diseñadas para asegurar el correcto comportamiento de un equipo bajo diversas condiciones de funcionamiento, Dentro de este tipo se incluyen las pruebas en condiciones extremas de temperatura y humedad, pruebas en condiciones de sobrecarga, etc. Tanto los operadores como los fabricantes necesitan probar los equipos. Los fabricantes necesitan comprobar que los equipos diseñados cumplen con las recomendaciones de los organismos internacionales (ITU, ETSI, ANSI, etc.). Los operadores necesitan además asegurarse que los equipos cumplen con sus requerimientos particulares y necesitan comparar los productos de varios fabricantes.
- Pruebas de conectividad IP  
Luego de establecer que la línea cumple con los parámetros físicos requeridos para xDSL, se procede a determinar la conectividad IP de los equipos. Esto se puede hacer utilizando paquetes de reconocimiento de Internet (PINGs - Packed InterNet Groper).

## **2.3 CRITERIOS PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE xDSL**

Una red DSL esta compuesta básicamente por el DSLAM, los CPEs y el bucle de abonado, estos elementos involucran directamente al operador junto con su infraestructura y al cliente, por lo tanto, para realizar un diseño se deben tener en cuenta criterios enfocados en el cliente, criterios enfocados en el operador y las características de su infraestructura.

En el momento de hacer el estudio de factibilidad para la implementación de alguna de las tecnologías xDSL, no solamente se tienen que tener en cuenta aspectos técnicos, sino que se deben analizar otros factores tales como los económicos y administrativos. Además, se tiene que hacer una diferenciación entre las necesidades de los usuarios y las de los proveedores de los servicios, aunque ambas están ligadas directamente a la prestación de servicios, los requerimientos de los usuarios están enfocados en la velocidad, calidad y transparencia de la prestación de dichos servicios. Por otro lado, los proveedores deben considerar como cumplir con las necesidades de sus clientes, para tenerlos satisfechos, y así mantenerlos en su portafolio y atraer a unos nuevos. Además, buscar que las inversiones que hagan para este fin, sean rentables y que puedan recuperarse rápidamente.

### **2.3.1 Criterios enfocados al cliente**

Estos criterios están encaminados a determinar cual es la tecnología xDSL que se debe desplegar en un caso determinado, es decir, que cada cliente se evalúa por separado y se le da una solución particular. Estos criterios son:

#### **2.3.1.1 Simetría del enlace y servicios**

Muchos de los servicios que se ofrecen en la actualidad, y los venideros, no necesitan que el canal de datos ascendente (transmisión de usuario) sea igual al canal de datos descendente (recepción en el lado del usuario), porque seria un desperdicio de ancho de banda. En la tabla 2.5 <sup>19</sup> se muestran los diferentes servicios con su respectivo tipo de simetría.

---

<sup>19</sup> Fuente: Trabajo de Grado: “Análisis de las Soluciones de Acceso a las Redes de Telecomunicaciones”. Caipe, Jenny y Leudo John. Universidad del Cauca. 1998 y “Soluciones de Acceso Inalámbrico LMDS en Colombia”. Cancimanse, Arely y Chacon Beatriz. Universidad del Cauca. 2000.

TIPO DE SERVICIO	SIMETRIA
Voz	Simétrico
Difusión de video, Difusión de TV, Pague por ver - cercado	Asimétrico
Video interactivo, Video por demanda, TV interactiva Juegos interactivos, Servicios de retribución de información	Asimétrico
Acceso a Internet, (www, ftp, telnet), Difusión de voz	Asimétrico
Datos simétricos, Multimedia de escritorio, Videoconferencia, Video telefonía, fax	Simétrico
Pequeños negocios / Hogar, Home Page en Internet, Servidores de información en Internet	Asimétrico

Tabla 2.5 Simetría de los servicios

En xDSL se tienen diferentes alternativas que manejan la simetría del enlace para aprovechar el escaso ancho de banda disponible. En la tabla 2.6 se pueden observar las diferentes tecnologías xDSL y algunas de sus características.

xDSL esta siendo mirada como la solución más cercana para la migración hacia NGN en la parte de acceso, por lo tanto, debe soportar todos los servicios NGN, tales como videoconferencia, todo lo relacionado con IP (p.e. voz sobre IP), los servicios telefónicos tradicionales, entre otros. Cada tecnología DSL tiene la capacidad de soportar diferentes servicios, es así como ADSL puede transportar datos digitales y voz analógica sobre el mismo enlace, pero HDSL no. En la tabla 2.6 se listan las aplicaciones para cada una de las tecnologías DSL.

### 2.3.1.2 Distancia

La velocidad de DSL esta limitada por la distancia. Como se puede ver en la tabla 2.6, las tecnologías xDSL que manejan mayores velocidades tienen menores alcances en cuanto a distancia, es decir, existe una relación inversa entre la velocidad y la distancia. Aunque existen otros factores que limitan la velocidad y la distancia, tales como el calibre del cable y sus características físico-eléctricas.

Los clientes que se encuentran ubicados más cerca de los concentradores DSL tienen la ventaja de disponer de mejores soluciones, debido a que un número mayor de tecnologías pueden ser consideradas para ser desplegadas. Estos clientes se encuentran ubicados a distancias inferiores a 1,5 Kms. Para los clientes ubicados a distancias superiores, solo unas pocas tecnologías pueden ser tomadas como soluciones reales, siendo ADSL en el campo asimétrico la tecnología más probada para distancias de hasta 5,5 Kms, y G.SHDSL, en el campo simétrico, con distancias de hasta 4 Kms.

### 2.3.1.3 Capacidad (bps) / Velocidad

En el mercado de las telecomunicaciones existen diferentes tipos de usuarios finales, los cuales se diferencian unos de otros fundamentalmente por sus requerimientos de capacidad en la parte de acceso. Para satisfacer cada una de las necesidades, la familia xDSL tienen diferentes alternativas, cada una de las cuales maneja una determinada velocidad, es así como la tecnología que menor velocidad maneja es IDSL con 128 Kbps, tecnología simétrica con un alcance de hasta 5 Kms, y la que mayor velocidad puede alcanzar es VDSL con 52 Mbps, tecnología asimétrica (también puede trabajar de forma simétrica hasta 6 Mbps) que alcanza hasta 1,5 Kms. En la tabla 2.6 se pueden observar las velocidades que alcanza cada tipo de DSL.

Se debe tener en cuenta el número de equipos (estaciones de trabajo) que se encuentran en la ubicación del cliente y que van a ser conectados al punto de acceso DSL, puesto que la capacidad de acceso va a ser compartida entre estos. Si existen muchos equipos conectados, no se apreciará el verdadero beneficio de DSL.

En la figura 2.9 <sup>20</sup> se ilustran diferentes servicios con sus respectivos requerimientos de ancho de banda.

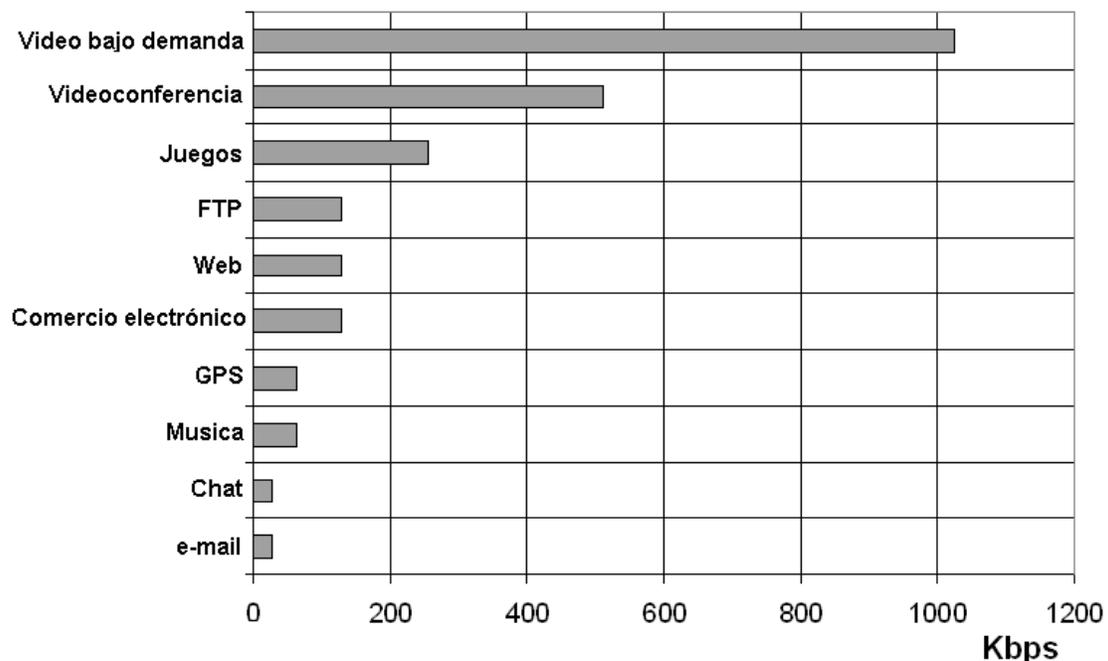


Figura 2.9 Servicios y sus requerimientos de capacidad

<sup>20</sup> Fuente: Presentación "Estudio de Backbone para Internet en Colombia" hecha para la CRT por Luis O. Barbosa, Profesor de la Universidad de Ottawa – Canada

#### **2.3.1.4 Costos**

El costo puede ser un factor limitante para la implementar cualquier solución. Cada uno de los clientes tiene diferente poder de adquisición, por lo tanto, no todos podrán adquirir buenos productos (CPEs) y tecnologías. Sin embargo, la tecnología escogida y desplegada debe ser transparente para el cliente, puesto que este únicamente le interesa la disponibilidad y calidad del servicio.

Para el cliente es más conveniente económicamente alquilar los equipos, incluyendo el alquiler en el costo de la prestación de los servicios, y que luego de un determinado periodo de tiempo se le de la opción de compra.

#### **2.3.1.5 Comparación de las tecnologías xDSL**

En la tabla 2.6 se indican las diferentes características para cada una de las tecnologías xDSL, tales como tipo de simetría, velocidad nominal, distancia máxima, número de pares que utiliza, tipo de modulación y aplicaciones.

xDSL	Simetría	VELOCIDAD NOMINAL	DISTANCIA MÁX	No. de PARES	TIPO DE MOD	APLICACIONES
IDSL	Simétrico	128 Kbps	< 5 Kms	1	2B1Q	Similar a RDSI-BRI pero solo para datos (no voz en la misma línea)
HDSL	Simétrico	T1/E1	< 3 Kms	2/3	2B1Q/ CAP	Substitución de varios canales T1/E1 agregados, interconexión mediante PBX, agregación de tráfico Frame Relay, extensión de LANs
SDSL	Simétrico	T1/E1 768 Kbps	< 3 Kms < 3,5 Kms	1	2B1Q/ CAP	Substitución de varios canales T1/E1 agregados, servicios interactivos y extensión de LANs
ADSL	Asimétrico	1,5 a 8 Mbps en el canal descendente 16 a 640 Kbps en el canal ascendente	< 5,5 Kms	1	DMT/ CAP	Acceso a Internet, Video bajo demanda, servicios telefónicos tradicionales
VDSL	Asimétrico / Simétrico	13 a 52 Mbps en el canal descendente 1,5 a 6 Mbps en el canal ascendente	300 m a 1,5 Kms (dependiendo de la velocidad)	1	DWMT	Igual a ADSL más TV de alta definición
RADSL	Asimétrico	1,5 a 8 Mbps en el canal descendente 16 a 640 Kbps en el canal ascendente	< 2 Kms	1	CAP	Velocidad ajustable a las condiciones de la línea y es espectralmente compatible con la voz y otras tecnologías xDSL
ADSL Sin Splitter	Asimétrico	1,5 Mbps en el canal descendente 500 K en el canal ascendente	< 5 Kms	1	DMT	Sacrifica velocidad para no tener que instalar un splitter en la ubicación del usuario
G. SHDSL	Simétrico	E1/T1	< 4 Kms	1	TC-PAM	Compatibilidad con otras tecnologías DSL. Puede negociar el número de tramas de protocolo incluyendo ATM, T1, E1, RDSI e IP
HDSL2	Simétrico	E1/T1	< 3 Kms	1	OPTIS	Igual a HDSL, sobre un solo par

Tabla 2.6 Comparación de las tecnologías xDSL (calibre 26 AWG)

### 2.3.2 Criterios enfocados a los proveedores de servicios

Adicionalmente, se debe tener un análisis del lado del proveedor de servicios, puesto que es éste, él que realiza las inversiones en la implementación y operación de la tecnología. Un proveedor de servicios debe tener en cuenta criterios como:

#### 2.3.2.1 Distancia

La principal limitante de las tecnologías DSL es la distancia que hay desde la ubicación del cliente hasta el DSLAM. Teniendo en cuenta este criterio, se puede determinar unas zonas de cobertura para cada una de las variantes de DSL, lo que permite ubicar fácilmente a un cliente en una determinada zona, facilitando el despliegue y la gestión de la red.

Aunque también se debe tener en cuenta las condiciones del bucle, puesto que si esta muy deteriorado afecta considerablemente el desempeño de la tecnología y no cumpliría con los límites de distancia.

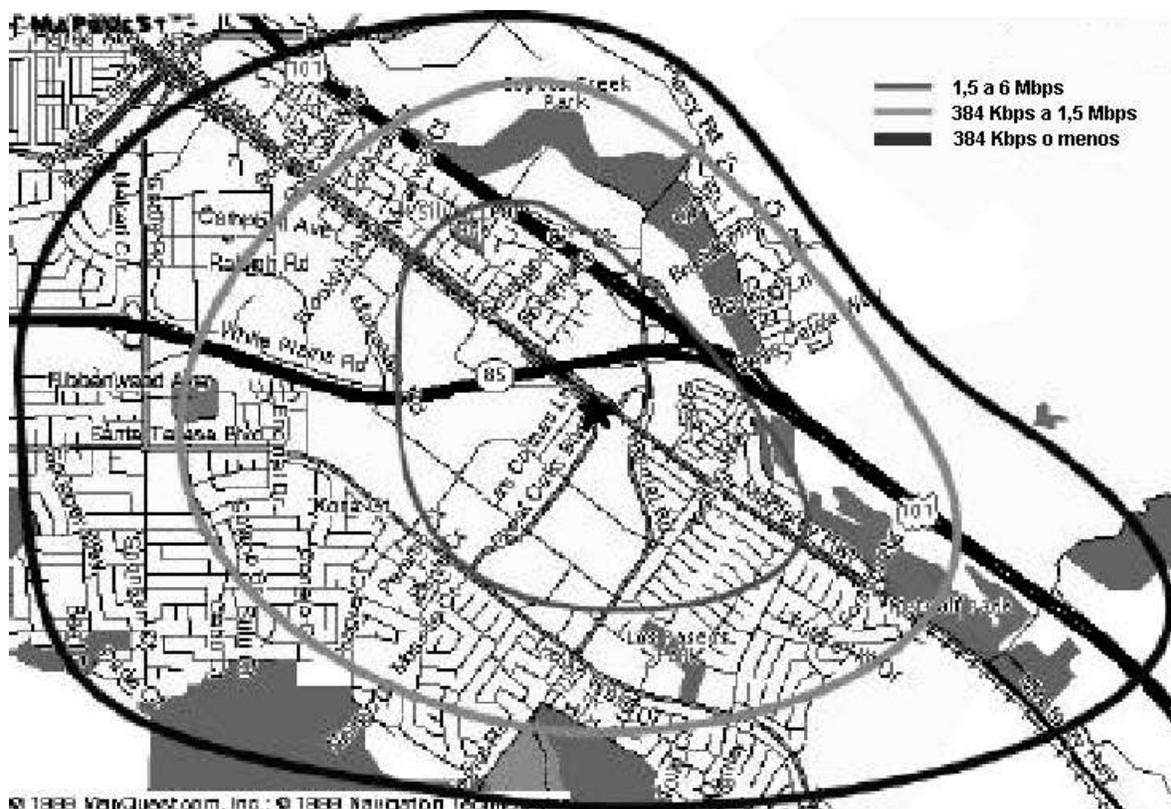


Figura 2.10<sup>21</sup> Ejemplo de zonas de cobertura DSL

<sup>21</sup> Tomada del documento "Técnicas de prueba en banda ancha, más allá del ADSL" elaborado por Ildelfonso Polo, Director de Marketing Latinoamérica - Sunrise Telecom, Febrero 2001.

En la figura 2.10 se pueden observar 3 zonas de cobertura, que son obtenidas con base en la información recolectada en las pruebas de campo, estas ayudan mucho al personal del departamento comercial, ya que les permite ofrecer diferentes planes de acceso (velocidades) dependiendo del sector donde se encuentre el usuario.

### **2.3.2.2 Simetría de los servicios**

Para un operador de telecomunicaciones es importante, antes de realizar cualquier tipo de inversión, tener en cuenta un estudio de la demanda de los diferentes servicios y sobre todo la simetría de los mismos. El servicio que mayor demanda tiene es el de acceso a Internet, por lo tanto, la empresas deben enfocar sus esfuerzos en la prestación de dicho servicio de carácter asimétrico, siendo ADSL la tecnología que mejor se acomoda a este tipo de requerimiento. Pero no se debe descuidar la prestación de servicios simétricos, tales como la voz IP, la videoconferencia, enlaces E1/T1, entre otros, los cuales representan ganancias muy superiores, puesto que con un solo cliente de este tipo, se puede igualar la ganancia que se tendría con varios clientes de tipo ADSL. La tecnología con mejores perspectivas en el campo simétrico es SHDSL <sup>22</sup>.

### **2.3.2.3 Servicios que se deben entregarse**

Como se dijo anteriormente, los clientes se pueden diferenciar unos de otros por los servicios que demandan y para poder incluir este punto como un criterio de diseño, el operador telefónico deberá tener en cuenta la factibilidad de prestar una amplia gama de servicios, de tal manera que se cubra con la mayor cantidad del mercado demandante.

Entre los servicios que se prestan utilizando la infraestructura de xDSL se tienen:

- Acceso banda ancha a Internet
- Enlaces T1 / E1
- Voz tradicional
- Web hosting
- Distribución de video
- Teletrabajo / Telemedicina
- Servicios de comunicación interactivos extremo a extremo
- Servicios de red privada virtual
- E-Commerce
- entre otros relacionados con los servicios que debe prestar una NGN.

---

<sup>22</sup> Fuente: Informe Final "Acceso de banda ancha sobre bucle de abonado" presentado por Jesús C. Martínez para la CRT en Marzo de 2002.

### 2.3.2.4 Capacidad

Un factor fundamental que se debe tener en cuenta para diseñar una red de acceso, es el dimensionamiento, el cual se relaciona directamente con el número de usuarios que podrán ser atendidos por parte del operador de la red. Para el caso de la implementación de tecnologías xDSL, se debe partir del hecho de que la mayoría de la infraestructura física ya se encuentra disponible (pares de cobre), y por lo tanto, todos los usuarios que disponen de una línea telefónica son potenciales clientes para la prestación de los servicios de banda ancha. Debe anotarse que el despliegue de una línea telefónica es muy sencillo, solo basta con instalar el bucle tendiendo un par desde la caja de distribución hasta la ubicación del cliente, esto es posible gracias a que los operadores de telefonía cuentan con pares de reserva para la adición de nuevos usuarios.

La capacidad de usuarios que un operador telefónico puede atender queda restringida por factores claves como:

- El primero, concerniente a los equipos adicionales que se deben instalar en la central local para la concentración de suscriptores y para las correspondientes interfaces con la red de datos, ya sea una red privada (intranet) o Internet. La decisión a tomar para la adquisición de estos equipos debe estar soportada con base en un adecuado estudio de mercado, que indique un margen de posibles usuarios que requieran del servicio. Actualmente, en el mercado se encuentran disponibles una variedad de equipos para la concentración de usuarios DSL. Estos equipos son los llamados DSLAM, en los cuales, dependiendo del fabricante, la capacidad del número de puertos puede alcanzar los 240 para la atención a igual número de clientes.

Es importante aclarar que los equipos deben cumplir con los estándares internacionales, para facilitar la interoperabilidad de equipos de diferentes fabricantes y principalmente entre los CPEs (modems, conmutadores, enrutadores, etc) de los clientes y los concentradores DSLAMs de las centrales telefónicas. Las características de cada concentrador determinan que tecnologías xDSL se pueden soportar, por lo que antes de adquirirlos hay que analizar que tecnología cumple con los requerimientos de los usuarios.

- Un segundo factor involucra directamente las condiciones físico-eléctricas en las que debe estar el tendido de cobre para que pueda cumplir con los requerimientos técnicos mínimos, que garanticen el despliegue de alguna de las tecnologías xDSL, lo anterior debido a que las líneas fueron implementadas inicialmente para la transmisión de voz analógica, y por lo tanto, no todas las líneas se encuentran en óptimas condiciones para la transmisión de datos de alta velocidad. Una solución es readecuar las líneas que estén en malas condiciones o escoger una opción que no demande condiciones muy extremas en los bucles locales.

### 2.3.2.5 Escalabilidad

Prever en el diseño la adición de los futuros clientes, es una parte vital para el dimensionamiento de la red de acceso. Por lo anterior, es importante destacar dentro de las características de los equipos concentradores DSLAM, el que permitan la agrupación de múltiples de ellos y la escalabilidad entre un modelo y otro, de tal forma que facilite la adición de nuevos usuarios. La ventaja que se obtiene se ve reflejada en la inversión inicial que debe realizar el operador telefónico, puesto que en un principio el número de usuarios no es grande y el equipo concentrador podría ser de mediana capacidad pero que cuente con la opción de adición de tarjetas y de apilamiento con otros equipos que cumplan la misma función, de tal forma que al final se tenga como resultado la agregación gradual de los nuevos usuarios. Para este fin, el equipo debe tener un carácter modular que permita que este criterio se haga realidad.

Otro punto a tratar en la escalabilidad, es el referente al soporte de varias de las tecnologías de la familia xDSL. Para asegurar la adecuada diversificación de los servicios, se debe tener en cuenta que a todos los usuarios no se les va a brindar la misma solución, y por lo tanto, no van a disponer del mismo equipo terminal, con lo cual, se deben soportar la gran mayoría de estas tecnologías. Es decir, que los equipos concentradores DSLAM deben contar con interfaces tanto para ADSL como para VDSL, SHDSL, IDSL, etc.

### 2.3.2.6 Costos

La funcionalidad, operabilidad y desempeño de un equipo son características claves que garantizan el adecuado despliegue de una tecnología, el costo del mismo se ve incrementado a medida que el equipo cuenta con funciones o características más complejas. Por lo tanto, debe existir un balance entre las prestaciones del equipo y el costo del mismo, lo que conlleva a que las tarifas que se ofrezcan a los usuarios no sean tan altas y al mismo tiempo exista una rápida recuperación de la inversión.

Algo importante que se debe tener en cuenta, es que a medida que aumenta la popularidad y madurez de una determinada tecnología y se incrementa su demanda, también disminuye su precio de venta. De lo anterior, se concluye que el valor de un equipo se devaluará significativamente en poco tiempo, por lo que resulta conveniente adquirir los equipos realmente necesarios para cubrir la demanda.

### 2.3.2.7 Otros

Desde el punto de vista funcional, el operador debe contar con una estrategia que le garantice la **disponibilidad de los servicios** a los usuarios, para que en cualquier momento tengan acceso a los mismos, esto se ve limitado por la capacidad que pueda brindar el proveedor de servicios, ya sea de Internet o de otro tipo de información como video, audio, datos, etc. Además, la activación del servicio debe ser lo más rápido posible para tener satisfecho al cliente, esto se puede lograr por medio de sistemas de atención al cliente, por ejemplo vía web o sistemas integración computador – telefonía (CTI Computer Telephony Integration).

La **fiabilidad** es otro punto clave que debe ser analizado, pues de esto depende que se pueda satisfacer a los clientes y tenerlos como punto de partida para la captura de unos nuevos, sabiendo que estos son quienes determinan la permanencia de un operador en el duro mercado de las telecomunicaciones.

La **gestión** que se le pueda dar a la red de acceso influye determinadamente en el desempeño de la misma, pues con una apropiada gestión, tanto de los equipos de los usuarios como de los equipos de cada central, se puede asegurar que la red opere en óptimas condiciones. Esta tarea puede ser fácilmente realizada gracias a que los equipos de red DSL ya cuentan con una Base de Información de Gestión (MIB - Management Information Base) para la gestión utilizando el Protocolo Simple de Gestión de Red (SNMP - Simple Network Management Protocol).

### **2.3.3 Criterios de verificación de la red de acceso (pares de cobre)**

Un criterio fundamental que se debe tener en cuenta en el momento de desplegar el servicio DSL es el concerniente a la realización de las diferentes pruebas que se tienen que hacer, para verificar si un par trenzado de cobre cumple con las condiciones mínimas para prestar el servicio.

Para cumplir con esta fase es necesario que la empresa prestadora del servicio realice un estudio de las condiciones en las que se encuentra la infraestructura telefónica (planta externa), debido a que la mayoría de estas redes ha tenido un largo periodo de uso y han sido modificadas con el paso de los años (instalación de bobinas de carga, adición de derivaciones, empalmes, entre otros), lo que conlleva a su deterioro.

En el punto 2.2.2 "*Pruebas necesarias para el despliegue de un sistema xDSL*" se establecen los pasos a seguir para precalificar los pares trenzados de la red de acceso.

## **2.4 GUÍA DE CRITERIOS DE DISEÑO**

Esta guía contiene los pasos a seguir por parte de un operador del servicio xDSL para desplegar la solución más adecuada a las necesidades de los clientes. Se divide en tres fases que son: Despliegue de la red DSL, Análisis de los requerimientos de los clientes y Estudio de las condiciones del bucle de abonado. Cada fase hace referencia a los criterios de diseño consignados en los numerales anteriores.

### **2.4.1 Despliegue de la red DSL**

Los criterios que se tienen en cuenta son: simetría de los servicios, capacidad y escalabilidad. El objetivo primordial de este conjunto de criterios es poder determinar cual es el DSLAM que mejor se acomoda a las condiciones del diseño, desde el punto de vista del operador de servicios de banda ancha.

- Simetría de los servicios

El operador debe contar con estudios de demanda de servicios que le proporcionen información de cuales son los servicios más solicitados, para así poder determinar cuales son las tecnologías más factibles para ser adquiridas. *Este criterio permite establecer el tipo de tarjetas que se deben adquirir para el DSLAM (tipos de DSL).*

- Capacidad

Con estudios de mercadeo el operador determina cual es la cantidad y tipo de clientes potenciales que va a tener a corto plazo, y estimar cuantos a largo plazo, para así poder determinar las características de los equipos que debe adquirir. En el caso de una red DSL el equipo más importante es el DSLAM, el cual esta compuesto por tarjetas modulares limitadas por un determinado número de puertos (numero de usuarios), por lo tanto, existe una relación directa entre “usuarios – tarjetas”. *Este criterio sirve para establecer el número de tarjetas a adquirir por cada tecnología escogida.*

- Escalabilidad

Otro aspecto importante para la escogencia del DSLAM es el tipo de tecnología DSL que debe soportar, como criterio de diseño se recomienda que el DSLAM tenga por lo menos soporte para dos tipos de tecnología, una asimétrica y otra simétrica (p.e. ADSL y G.SHDSL), que tenga la capacidad de adicionar futuros usuarios (tarjetas), y para interoperar con equipos similares y de interconexión de redes (p.e. interfaces ATM). *Este criterio sirve para establecer el tipo de chasis del DSLAM.*

**NOTA:** En cuanto a los equipos de enlace al backbone de la red (conmutadores y enrutadores) se tiene un poco de libertad para su escogencia, debido a que son equipos más genéricos y muchas veces ya hacen parte de la red. Estos equipos soportan enlaces estándar (p.e. STM-1 <sup>23</sup>), por lo que no se ve comprometido el diseño de la red DSL. Debe tenerse presente la capacidad de concentración y el tipo de interfaz que soporten.

En la escogencia de los CPEs se tiene mayor flexibilidad, debido a que los equipos son fabricados de acuerdo a estándares de los organismos de regulación, con lo cual se garantiza la interoperabilidad con el DSLAM. El CPE debe cumplir con los requerimientos del cliente y con la solución que pretende dar el operador. Es importante escoger una buena marca que tenga respaldo técnico garantizado.

#### 2.4.2 Análisis de los requerimientos de los clientes

Una vez el operador esté en capacidad de empezar a prestar servicio a los usuarios, debe capturar los requerimientos de cada cliente para luego poder establecer las posibles soluciones tecnológicas que se le pueden ofrecer. La información puede ser recolectada con el siguiente formato (tabla 2.7).

---

<sup>23</sup> STM-1 (Synchronous Transport Mode – Modo de Transporte Síncrono) - Velocidad de 155,52 Mbps

<b>EMPRESA PRESTADORA DEL SERVICIO DE BANDA ANCHA</b>			
Nombre del cliente: _____			
Dirección: _____			
Teléfono: _____			
Razón social: _____			
Tiene línea telefónica con esta empresa		SI	NO
Desea una línea adicional			
No. de PCs			
Tipo de servicio que desea	Acceso a Internet		
	Voz		
	T1		
	E1		
	Otros		
Otras aplicaciones	Distribución de música y video		
	Juegos		
	Teletrabajo		
	VPN		
	Web hosting		
Otros			
Velocidad que desea	128 Kbps		
	256 Kbps		
	1500 Kbps		
	2000 Kbps		
	Mayores a 2 Mbps		
Otra			
Anotaciones:			

Tabla 2.7 Formato de recolección de los requerimientos del cliente <sup>24</sup>

Una vez recolectada la información se procede a analizarla y se tienen en cuenta los criterios de distancia, velocidad, servicios y simetría. (Ver tabla 2.6).

- Servicios y simetría

Los servicios que el cliente requiere están directamente relacionados con el tipo de simetría que presentan, por ejemplo, para acceso a Internet se puede utilizar cualquier tecnología, pero para un enlace E1 / T1 se deben utilizar tecnologías simétricas tales como HDSL, HDSL2, y GSHDSL y la tecnología asimétrica VDSL, las cuales soportan velocidades de hasta 2,048 Mbps en ambos sentidos de transmisión.

<sup>24</sup> Esta es una de muchas opciones para la captura de los requerimientos del cliente.

También se debe tener en cuenta, que el cliente puede requerir además del servicio de datos el servicio de telefonía tradicional (POTS), para lo cual se procede a determinar que tecnologías soportan ambos servicios sobre una misma línea o si es necesario qué se instale una línea adicional. Por ejemplo, tecnologías como ADSL, RADSL, ADSL Splitterless y VDSL soportan los dos servicios simultáneamente, pero tecnologías como HDSL, G.SHDSL, SDSL e IDSL requieren otro bucle para prestar el servicio de voz.

- Distancia

Por medio de la dirección de la ubicación del cliente y teniendo en cuenta los planos del despliegue de la red se puede saber que distancia existe entre el concentrador de acceso xDSL (DSLAM) y la ubicación del cliente. Además, se determina que grupo de pares se puede estudiar para su uso en esta ubicación, en caso de que el cliente no tenga una línea que pertenezca a la empresa o desee una línea adicional para el servicio. Teniendo en cuenta la distancia, se puede determinar qué tecnologías DSL cumplen con este requerimiento y así se pueden ir descartando. Por ejemplo, para distancias entre 3,5 y 5 Kms se pueden descartar tecnologías tales como VDSL y SDSL.

- Velocidad

Luego de determinar la distancia y todo lo que esta conlleva, es necesario establecer cuales tecnologías cumplen con la velocidad requerida por el cliente. Se debe tener en cuenta que las únicas tecnologías que siguen siendo alternativas de solución son las que cumplieron con el requerimiento de distancia, de tal manera que se va reduciendo el número de posibles soluciones. La velocidad se ve limitada por el número de equipos terminales conectados al punto de acceso DSL, por lo tanto, el requerimiento de velocidad aumenta conforme al número de PCs conectados. Si se conecta un solo equipo terminal al punto de acceso DSL, el CPE más indicado es un modem, pero si se conectan varios equipos, el CPE más adecuado es un enrutador.

En la tabla 2.8 se resumen los criterios utilizados en el análisis de los requerimientos del cliente. Estos criterios ayudan a encontrar la tecnología DSL más adecuada según las necesidades del cliente.

SIMÉTRIA	DISTANCIA (aprox. en Kms)	VELOCIDAD (en bps)		TECNOLOGÍA (xDSL)
		Descendente	Ascendente	
ASIMÉTRICA + (voz)	< 5	1,5 a 8 M	16 a 640 K	ADSL
		1,5 M	500 K	ADSL Splitterless
	< 2	1,5 a 8 M	16 a 640 K	RADSL
	1,5 o menor	13 a 52 M	1,5 a 6 M	VDSL
SIMÉTRICA	< 5	128 K		IDSL
	< 4	T1 / E1		G.SHDSL
	3 o menor	T1 / E1		HDSL / HDSL2
				SDSL
			VDSL	

Tabla 2.8 Criterios de simetría, distancia y velocidad

Estos criterios están dirigidos a la escogencia de la tecnología DSL más adecuada para cada cliente, el tipo y características del CPE que se requiere.

### 2.4.3 Estudio de las condiciones del bucle de abonado

El siguiente paso es determinar si un bucle específico está en condiciones de soportar la solución que el operador ha establecido para satisfacer las necesidades de sus clientes. Para esto, se debe realizar un procedimiento de precalificación del bucle, este procedimiento se encuentra consignado en el punto 2.2.2 *“Pruebas necesarias para el despliegue de un sistema xDSL”*. Estos son los pasos a seguir:

- Medida de parámetros físicos (resistencia, capacitancia, inductancia, atenuación, voltajes inducidos) y ruido presente en el bucle.
- Caracterización del enlace (ubicación de bobinas de carga, circuitos abiertos, cortos, derivaciones).
- Pruebas de factibilidad.
- Verificación y diagnóstico del modem.
- Verificación de conectividad xDSL.
- Verificación de conectividad IP.

**NOTA:** Una vez concluido el análisis y escogida la tecnología a desplegar, se puede proceder a ofrecerle al cliente el portafolio de servicios, el cual incluye un detallado informe del servicio a ofrecer, alternativas de configuración y costos. Si el cliente acepta, lo más conveniente es firmar un acuerdo de nivel de servicio, en el cual se estipulen las condiciones legales del mismo, para finalmente llevar a cabo la instalación y puesta en funcionamiento.

### 2.4.4 Conclusiones

- Una adecuada guía de criterios de diseño de una red DSL es muy importante para las empresas de telecomunicaciones, debido a que ahorra tiempo y dinero en el despliegue de una determinada tecnología. Ya que anteriormente las empresas tenían la práctica del “ensayo y error” para desplegar los servicios, lo que conllevaba a solucionar los problemas sobre la marcha.
- Con base en esta guía, se pueden determinar cuales son las soluciones óptimas que debe tener en cuenta un operador para el despliegue de los diferentes servicios.
- Un correcto diseño de la red DSL permite al operador dimensionar de manera adecuada la capacidad de la red y desplegar rápidamente los servicios, para así poder tener una buena base de clientes y posicionarse en el mercado.
- En cuanto a la interacción con el cliente, se deben establecer acuerdos de nivel de servicio (SLA - Service Level Agreements) para dejar claras las condiciones de la prestación de los mismos, y así no tener problemas en el análisis de los requerimientos.

## 2.5 DISPOSITIVOS INVOLUCRADOS EN UNA RED DSL

La tecnología DSL esta basada en módems que utilizan las líneas telefónicas (pares trenzados de cobre) para transportar datos de gran ancho de banda. Los servicios xDSL conforman un acceso de red dedicada, extremo a extremo sobre pares de cobre entre el bucle local, el cual también es llamado “último kilómetro”, que se localiza entre el sitio donde se encuentra el cliente y el DSLAM que se encuentra ubicado en la oficina central de un Proveedor de Servicio de Red (NSP – Network Service Provider).

En la figura 2.11 se muestra una arquitectura típica de servicios DSL. Consta de un equipo terminal de usuario o CPE y un equipo de soporte radicado en el Punto de Presencia (POP – Point Of Presence) DSL. Los Puntos de Acceso a la Red (NAP – Network Access Point) administran los núcleos de red de capa 2 (enlace de datos), mientras que los NSP administran los núcleos de red de capa 3 (red). Estos papeles están divididos o compartidos entre los Operadores Locales Involucrados (ILEC - Incumbent Local Exchange Carrier), los Operadores Locales de la Competencia (CLEC – Competitive Local Exchange Carrier) y las empresas Proveedoras del Servicio de Internet (ISP – Internet Service Provider).

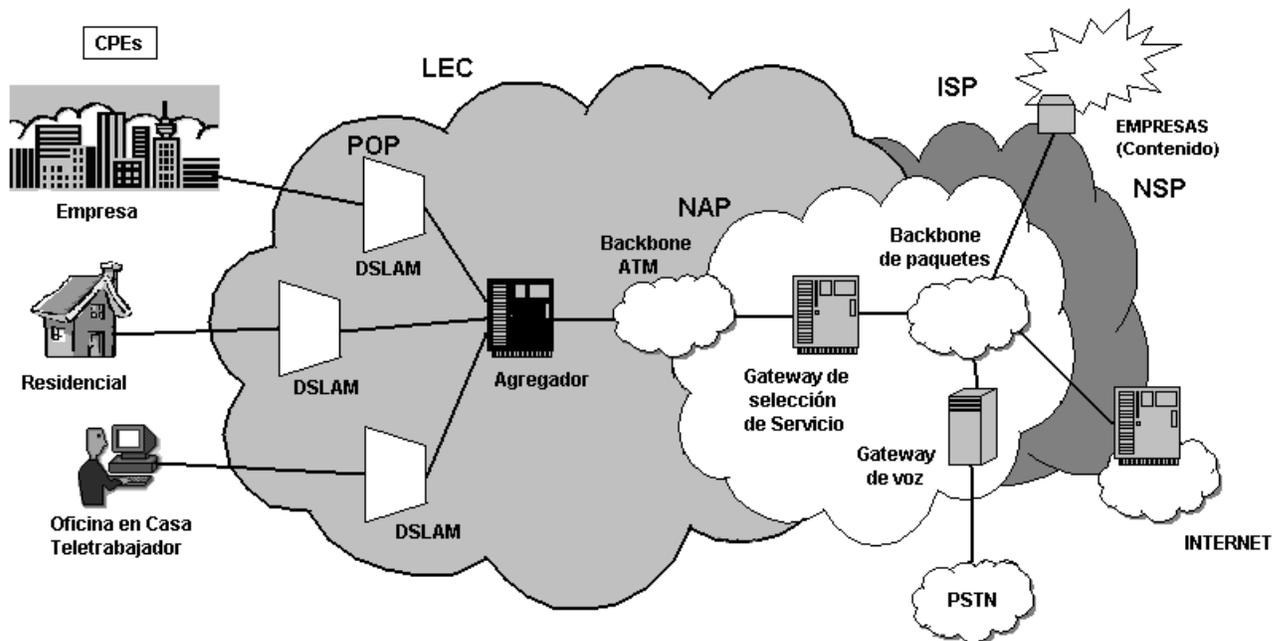


Figura 2.11 Topología de una red DSL básica <sup>25</sup>

<sup>25</sup> Figura tomada de Cisco Systems

Los CPE representan cualquier combinación de PCs o estaciones de trabajo de usuario final, Unidades Transceptoras Remotas DSL y de enrutadores. Por ejemplo, un usuario final residencial podría tener un solo computador con un modem DSL integrado en una tarjeta de Interconexión de Componentes Periféricos (PCI – Peripheral Component Interconnect), o quizás un computador personal provisto de una interfaz Ethernet o de Bus Serial Universal (USB – Universal Serial Bus) conectado a un modem DSL autónomo (xTU-R). Por el contrario, los usuarios a nivel de empresa seguramente conectarán muchos PCs de usuario final, red Ethernet, a un enrutador provisto de un modem DSL integrado.

En el punto de presencia DSL, el NAP despliega uno o mas DSLAMs que prestan sus servicios a los bucles de cobre entre el POP y el CPE, para atender todo el tráfico de los usuarios. En un proceso llamado “subvigilancia”, los DSLAM pueden ser encadenados para mejorar la utilización de la canalización ATM. Los DSLAM se conectan localmente o a través de un enlace de oficina central con un Concentrador de Acceso Local (LAC – Local Access Concentrator) o agregador de tráfico, el cual proporciona “atención” ATM, “tunneling” PPP (Point to Point Protocol – Protocolo Punto a Punto) y terminación de capa 3 para el contenido local memorizado en el caché. Puede adicionarse una pasarela de selección de servicio (SSG – Service Selection Gateway) con el LAC, de forma que los clientes puedan seleccionar distintos servicios dinámicamente. Desde el LAC/SSG <sup>26</sup>, los servicios se extienden por el núcleo ATM del NSP o el núcleo de la red IP.

Se pueden aplicar tres arquitecturas distintas a los servicios DSL:

- ATM punto a punto  
Conecta entre sí a los abonados con sus ISP o empresas de destino con Circuitos Virtuales Permanentes (PVC – Permanent Virtual Circuit) desde el CPE hasta el extremo final.
- Agregación  
Agrega múltiples Circuitos Virtuales (VC – Virtual Circuit) de abonado en PVCs de enlace troncal con el fin de reducir el número de conexiones VC del núcleo de red; en vez de que haya un VC por abonado, utiliza un VC para muchos abonados al mismo destino.
- SVC y MPLS  
Utiliza Circuitos Virtuales Permanentes Conmutados (SVC - Switched Virtual Circuit) para hacer conexiones automáticas desde el DSLAM hasta un enrutador que trabaje con Conmutación de Etiquetas de Multi-Protocolo (MPLS - Multi Protocol Label Switching).

La figura 2.12 ilustra la pila de protocolos extremo a extremo que se usan con xDSL y en que sitios de la red se utilizan.

---

<sup>26</sup> Este conjunto también es llamado Concentrador de Acceso Universal (UAC – Universal Access Concentrator), el cual se alberga en un solo dispositivo.

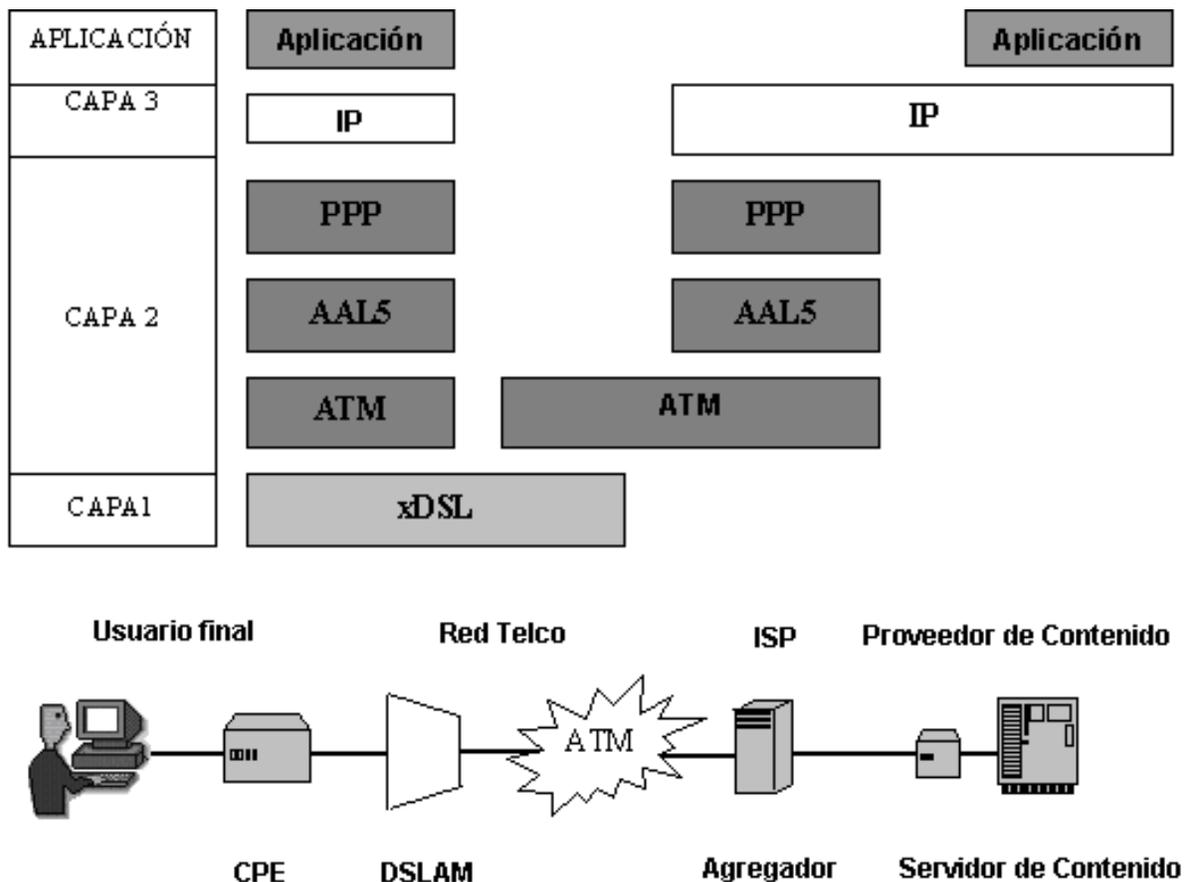


Figura 2.12 Pila de protocolos xDSL extremo a extremo y su ubicación dentro de una red

En la figura 2.12 se puede observar la conectividad DSL, en la cual el usuario final a través de un CPE, que puede pertenecerle a él o a la empresa prestadora del servicio, accede a los servicios. Los diferentes tipos de conectividad xDSL se dan únicamente entre el CPE y el DSLAM. Luego de que el tráfico DSL es recolectado por el DSLAM se distribuye en la red ATM y se accede a los diferentes servicios gracias al agregador.

### 2.5.1 Equipos en el sitio del usuario (CPE)

El sitio del cliente puede estar dentro de una residencia, edificio o campus, y es ahí donde se encuentran los equipos de usuario. Dentro del concepto CPE pueden entrar muchas formas diferentes, incluyendo módems, concentradores, puentes, conmutadores y enrutadores.

Los requerimientos de los clientes determinan qué CPE es el más apropiado para sus necesidades, por ejemplo, un módem DSL es adecuado para un consumidor que desea acceso más rápido a Internet, juegos en línea y entretenimiento como chat rooms y compras. Sin embargo, un módem no es la mejor solución para un negocio pequeño o un teletrabajador corporativo, los cuales requieren una funcionalidad comercial reforzada con rasgos tales como calidad de servicio, capacidades de voz, o seguridad tipo negocio tal como la implementación de un muro de seguridad y Red Privada Virtual (VPN - Virtual Private Network), para esto necesitarán de un enrutador.

### 2.5.1.1 Modems (xTU)

La familia de tecnologías xDSL transporta información digital de banda ancha a través de las líneas telefónicas convencionales (PSTN), las cuales fueron diseñadas para comunicaciones de voz, frecuencias de audio (analógicas) en el intervalo de 400 a 3.400 Hz. Los módems xDSL tienen la función de enviar los datos a través de líneas telefónicas y hacer lo opuesto en recepción, gracias a sofisticados procesos de modulación que permiten aprovechar al máximo las características de los pares de cobre. De estas dos funciones, MODulación y DEModulación, surge el nombre del módem. Existen diferentes tipos de módems: módems PCI, tarjetas que pueden conectarse directamente al computador; o módems "individuales", que se conectan al computador a través de un cable serial.

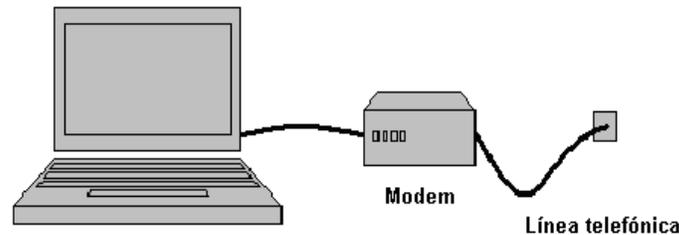


Figura 2.13 Modem

### 2.5.1.2 Enrutadores (Routers)

El enrutador es el principal dispositivo con el que se trabaja cuando se está en la capa de red de OSI (Open Systems Interconnection – Interconexión de Sistemas Abiertos), trabajar en esta capa le permite al enrutador tomar decisiones basándose en las direcciones de red (direcciones IP). El propósito de un enrutador es examinar los paquetes entrantes, elegir la mejor ruta para ellos a través de la red, y después, conmutarlos al mejor puerto de salida. Los enrutadores también pueden conectar diferentes tecnologías de capa 2 (enlace), como Ethernet, Token Ring e Interfaz de Datos Distribuida por Fibra (FDDI - Fiber Distributed Data Interface). Debido a su capacidad de enrutar paquetes con base en la información de la capa de red (capa 3), los enrutadores se han convertido en el backbone de Internet, ejecutando el protocolo IP.

La solución para dar conectividad a varios PCs (por ejemplo una LAN) por medio de un punto de acceso DSL se utilizan enrutadores DSL, los cuales tienen el ATU-R incorporado.

### 2.5.1.3 Filtros y Splitters

En algunos casos, como cuando se trabaja con ADSL se debe contar con filtros o divisores (splitters), para separar las señales de datos ADSL de alta frecuencia de las señales de voz (POTS) de baja frecuencia (0 – 4 KHz), y así llevar la señal ADSL a los dispositivos de datos tales como concentradores o computadores y la señal de voz a los aparatos telefónicos.

## 2.5.2 Equipos de los proveedores de servicio

### 2.5.2.1 Multiplexor de Acceso DSL (DSLAM)

Para interconectar a los múltiples usuarios de DSL en una red de computadoras, la compañía telefónica utiliza un DSLAM. Típicamente, el DSLAM se conecta a una red ATM donde puede transmitir la información procedente de los usuarios. En el sentido contrario, el demultiplexor del DSLAM envía la información que está dirigida a los usuarios a través de las conexiones individuales DSL apropiadas. En la figura 2.14 se muestra la composición general de un DSLAM.

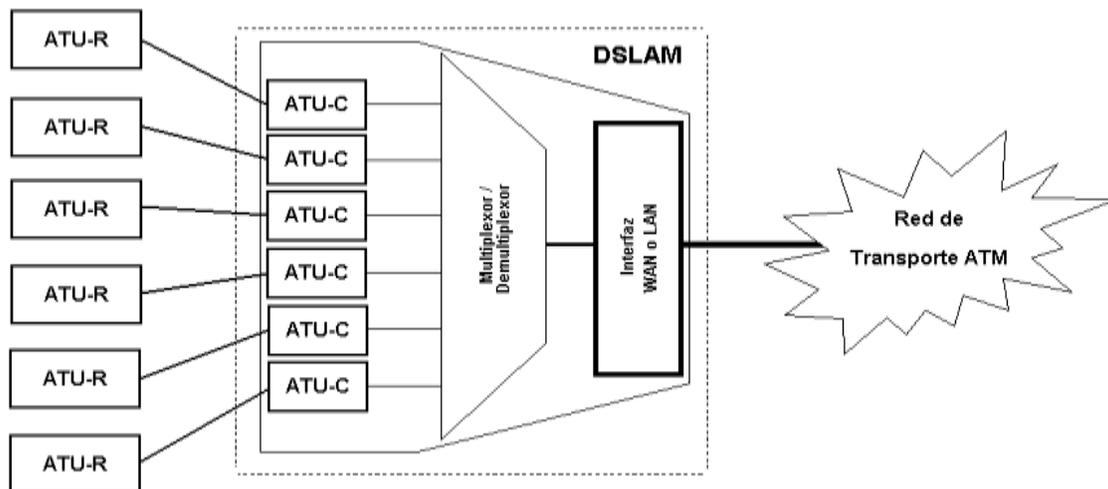


Figura 2.14 DSLAM

En DSL se necesita una pareja de módems por cada usuario: uno en la ubicación del usuario (xTU-R) y otro (xTU-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: que es un bastidor que agrupa gran número de tarjetas, cada una de las cuales consta de varios módems xTU-C, y que además concentra el tráfico de todos los enlaces xDSL hacia una red Red de Area Extensa (WAN - Wide Area Network).

Un DSLAM consta generalmente de:

- Unidades de Terminación: Asimétricas y Simétricas
- Multiplexor / Demultiplexor
- Interfaz LAN / WAN
- PSC (POTS Splitter Chassis), que separa las frecuencias de datos de la de voz.

Tan importante como son la xTU-R y la xTU-C para el funcionamiento de un enlace xDSL, lo es el DSLAM, sin este, los bits no tienen ningún sitio a donde ir una vez llegan al xTU-C y es aquí donde se termina el proceso de modulación propio de DSL. El DSLAM conecta el lado de usuario (DSL) de la red con el lado de servicio de la red (Internet, servidores de video, etc.). En el lado del servicio, el DSLAM puede interconectarse con conmutadores ATM, enrutadores IP, servidores de video, LAN, y muchos otros equipos.

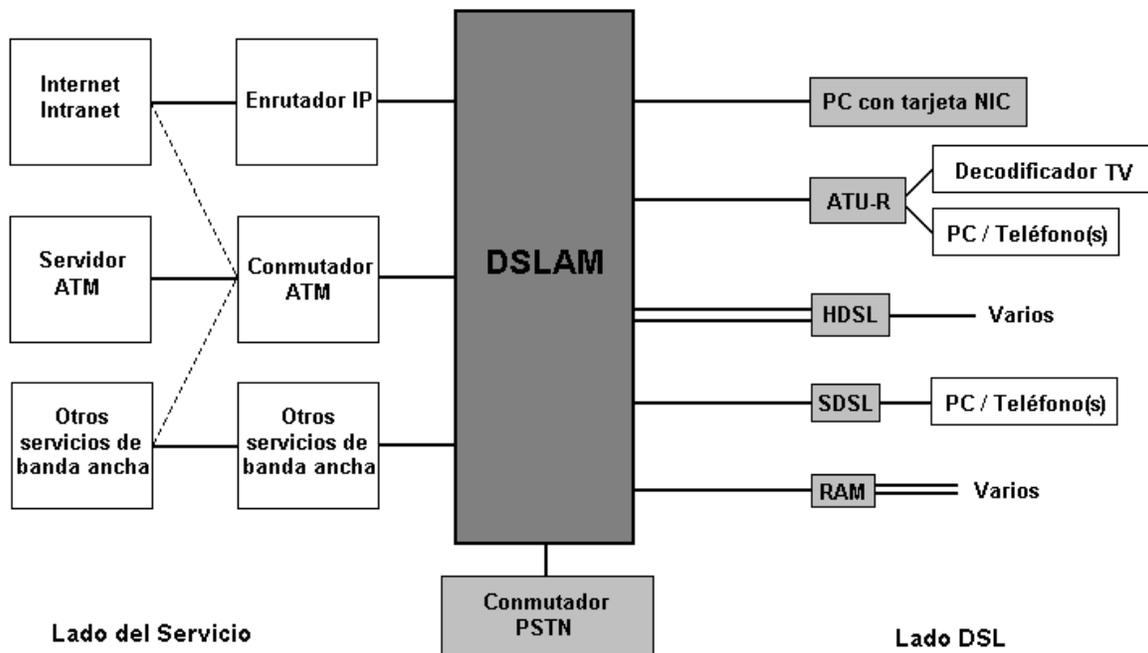


Figura 2.15 Arquitectura DSLAM

En la figura 2.15 se muestra la arquitectura básica de un DSLAM. Esta arquitectura no se encuentra limitada a un tipo particular de DSL, todo depende del soporte que el fabricante ofrezca en un producto particular. En una de sus formas más simples, el DSLAM podría ser un nodo de acceso ADSL y soporta enlaces ADSL y acceso a Internet a través de un enrutador IP. El DSLAM normalmente se encuentra ubicado en la central local. En algunos ambientes de competencia, el DSLAM podría ser propiedad y podría ser gestionado por un proveedor de servicio distinto al propio proveedor local (LEC – Local Exchange Carrier). En cualquier caso, el DSLAM ejerce de interfaz con el conmutador PSTN, si debe continuar ofreciendo servicios de voz analógicos, que será algo que normalmente soportará.

Es necesario observar que el DSLAM no es un conmutador o un enrutador. Es un tipo de multiplexor. El DSLAM combina los flujos de bits de los canales ascendentes procedente de los hogares y pequeñas oficinas y divide la gran cantidad de bits en sentido descendente procedente de la red IP o ATM. El DSLAM divide este flujo de bits basándose en canales, como hace un multiplexor. Por ello, el enlace desde el DSLAM al resto de equipos, sea el que sea, debe ser capaz de transportar la suma total del tráfico procedente de los usuarios. Esta agregación de tráfico basada en la suma total de las velocidades de bits entrantes es denominada comúnmente Multiplexación por División en el Tiempo (TDM). El DSLAM utiliza equipos de multiplexación para enviar y recibir información digital, estos equipos utilizan la técnica denominada multiplexación estadística por división en el tiempo, etiquetado de tráfico prioritario, modelado de tráfico (traffic shaping) y otras características de interconexión. Esto hace que el DSLAM se más caro, pero más efectivo.

La configuración básica de un DSLAM y su funcionamiento no se encuentran cubiertos por ningún tipo de estándares DSL. El concepto fundamental del DSLAM como un equipo que alberga múltiples ATU-C, o STU-C, o cualquier otro, es lo único fijo. A parte de esto, lo que hace el DSLAM y la manera en que lo hace varía completamente según el fabricante. Esto no significa que el campo de los DSLAM sea un mercado de libre competencia, la mayoría de los equipos DSLAM tienen una serie de características comunes, pero los equipos pueden variar en otros aspectos, en términos de número de tarjetas y velocidades.

El DSLAM ocupa una posición clave en la arquitectura global de DSL. Todo el tráfico hacia y desde los usuarios pasa a través del DSLAM y todo el tráfico desde y hacia los servidores de la red debe pasar también a través del DSLAM. El DSLAM se coloca normalmente en el wire center (centro de cableado) de la central local ya que es necesario tener acceso a los bucles locales. Esta colocación es la común cuando un proveedor del servicio es un LEC o un CLEC, aunque son posibles otros tipos de proveedores de servicio DSL. Todo lo que se necesita es acceder a algunos de los bucles locales de usuario, un DSLAM, y algunos servicios que ofrecer.

Podría ser de utilidad dividir la arquitectura de red ADSL en tres partes, especialmente desde la perspectiva del DSLAM. Este modelo es bastante común en la documentación de los distribuidores de equipos DSL. En este modelo las ATU-R, u otros dispositivos xDSL como HTU-R, forman parte del usuario del servicio de la red. La ATU-C, HTU-C y otras interfaces en el DSLAM forman la parte del proveedor de acceso a la red. La propia red de acceso y la red o redes donde se encuentran los servicios forman la parte de proveedor de servicio de red. El papel central del DSLAM es el de proporcionar la conexión entre el usuario del servicio y el proveedor del servicio. Este modelo se muestra en la figura 2.16.

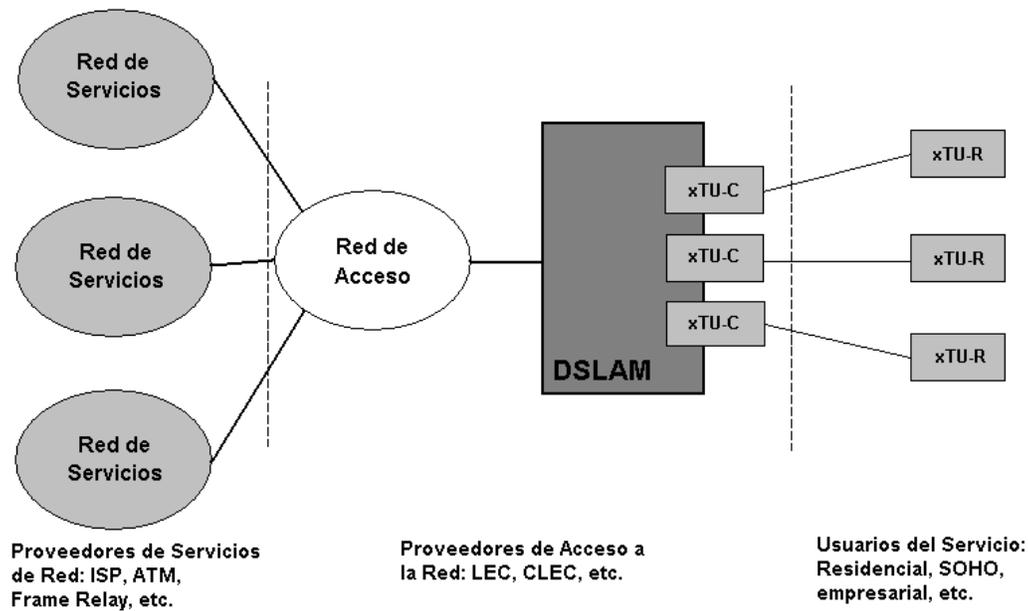


Figura 2.16 Papel central del DSLAM en DSL

En esta figura, el DSLAM hace algo más que alojar las xTU-C. En su forma más general, el DSLAM también incluye lo que se denomina en la figura, la red de acceso a los servicios. Esta red puede ser tan simple como un conmutador ATM o un enrutador IP, o tan complicada como una red completa en todos los sentidos. El tipo de red de acceso soportada depende del tipo de conectividad que ofrezca el fabricante del DSLAM.

En la tabla 2.9 se pueden observar las principales características de un DSLAM.

CARACTERÍSTICA	BENEFICIO
Soporte multiservicios	Como el mercado DSL crece, la diversidad de aplicaciones también crece. Los diferentes servicios para DSL requieren manejabilidad, escalabilidad y soporte para IP, Frame Relay, TDM, voz y servicios ATM con un completo juego de servicios QoS (Calidad de Servicio) con garantías de funcionamiento.
Soporte de Código de Línea	Flexibilidad de desarrollo y escalabilidad. El DSLAM puede soportar una variedad de códigos de línea (p.e., CAP, DMT, 2B1Q). DSLAM tiene soporte para los estándares ADSL, SDSL e IDSL y pueden ser aumentados con innovaciones como RADSL.
Arquitectura flexible	La inteligente y flexible arquitectura DSLAM soporta la capacidad de combinar ATM con IP así como una gran variedad de servicios, aplicaciones, modelos de redes y transportes DSL son soportados para los negocios y consumidores de mercado.
Escalabilidad	Flexibilidad para soportar servicios de usuarios con costes competitivos.
Gestión	Estándares orientados a la compatibilidad con varias plataformas de Network Management System (NMS).

Tabla 2.9 Características de un DSLAM

Un DSLAM da servicio a los bucles locales gracias a una tarjeta que contiene el software y el hardware para el código de línea y tipo de xDSL apropiados. Las tarjetas se aseguran en bandejas, las cuales normalmente comparten una toma de alimentación y pueden tener sus propias capacidades de gestión de red. Las bandejas se albergan en el bastidor o rack, que es la unidad básica del DSLAM (bastidor o chasis). Esto quiere decir que el tamaño del bastidor determina la capacidad total del DSLAM, la cual puede extenderse adicionando tarjetas.

La conexión con el proveedor de servicios será probablemente una conexión ATM o Ethernet de 10 o 100 Mbps (10 Base-T, 100 Base-T). De todos modos, algunos DSLAM soportan conexiones HSSI (High Speed Serial Interface – Interfaz Serie de Alta Velocidad) comunes en redes Frame Relay o algún tipo de portadora-T normalmente T1, T3, o ambas. El DSLAM también podrá realizar algunas funciones de enrutamiento. El DSLAM podrá ser capaz de enviar y recibir celdas ATM o paquetes IP en la mayoría de los casos. En algunas ocasiones, se podría soportar otros protocolos, como el protocolo de paquetes propietario de las redes Novell (IPX), el protocolo punto a punto de Internet (PPP – Point to Point Protocol), Frame Relay y otros protocolos antiguos denominados NetBios y el protocolo de control del enlace de datos síncrono (SDLC - Synchronous Data Link Control) de IBM para redes con Arquitectura de Redes de Sistemas (SNA - Systems Network Architecture).

En lo referente a la gestión de red, casi todos los DSLAM soportan el Protocolo de Gestión de Red Simple (SNMP), utilizado inicialmente en Internet, pero extendido ahora a casi todos los equipos. También pueden soportar CMIP (Common Management Interface Protocol – Protocolo Común de Interfaz de Red). Algunos DSLAM no emplean SNMP directamente, pero permiten que sea gestionado de manera indirecta a través de un proxy, normalmente un PC que trabaja tanto con SNMP como con el protocolo de gestión de red que el DSLAM utilice. Los proxys son algo común cuando el software de gestión de red de un equipo es propietario y no estándar. Los proxys son generalmente evitados en la medida de lo posible, a no ser que sean absolutamente necesarios, ya que son equipos ineficaces y que añaden cierta complejidad.

### **2.5.2.2 Concentrador de Acceso Universal (UAC – Universal Access Concentrator)**

Los DSLAM envían el tráfico proveniente de la parte DSL hacia el backbone ATM de alta velocidad a través del Concentrador de Acceso Universal, también llamado agregador, el cual puede concentrar otros tipos de tráfico. El UAC selecciona el NSP al cual va a enviar, enrutar o conmutar los datos. En la figura 2.17 se observa el papel que cumple un UAC dentro de la red DSL.

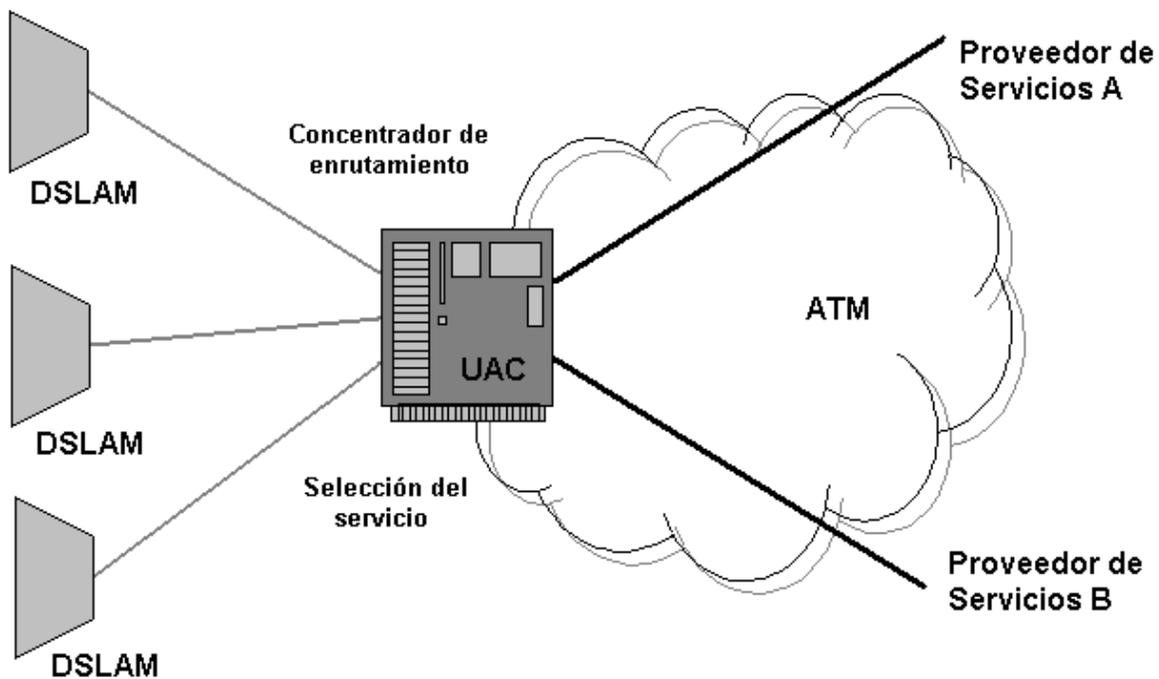


Figura 2.17 Concentrador de Acceso Universal

El UAC tiene funciones tales como:

- Concentrar el suministro de ATM (T1, DS-3, OC-3).
- Terminar las sesiones PPP y de "bridging".
- Seleccionar servicios de capas 2 y 3.
- Contabilidad y facturación

Las interconexiones que se pueden hacer mediante un UAC son:

- **PPPoATM**  
Principalmente implementado como una parte de ADSL. Operando en los modos de Capa de Control de Enlace Lógico - Protocolo de Acceso de Subred (LLC – Logical Link Control, SNAP – SubNetwork Access Protocol) o VC-Mux. Un CPE encapsula una sesión PPP basada en la RFC 1483 para transportarla a través de un bucle ADSL y el DSLAM. Se puede enrutar al proveedor de servicio (SP - Service Provider) a través de PPP sobre una conexión ATM. Esto proporciona validación de usuario con una opción de selección de servicio.
- **RFC 1483**  
La RFC 1483 describe dos diferentes métodos de interconectar tráfico de redes no orientadas a conexión sobre una red ATM: Unidades de Datos de Protocolo (PDU – Protocol Data Units) enrutadas y PDUs "puenteadas". El enrutamiento permite la

multiplexación de múltiples protocolos sobre un simple circuito virtual ATM y el “puenteo” realiza una multiplexación de múltiples protocolos de las capas superiores implícitamente a través de los circuitos virtuales ATM. Se puede “puentear” al SP a través de una LAN Virtual (VLAN – Virtual Local Area Network).

- **PPPoE**  
PPP proporciona la capacidad de conectar una red Ethernet mediante un simple dispositivo de acceso a un concentrador de acceso remoto o concentrador de agregación. Se puede tener una sesión “puenteada” PPP sobre Ethernet para terminar sobre un enrutador o un concentrador.

El concentrador de enrutamiento proporciona seguridad y control de la QoS, incluyendo modelado de tráfico. Como una parte de seguridad, el concentrador filtra las transmisiones de la capa MAC generadas por los suscriptores para asegurar que estas no se propaguen a todos los suscriptores de red DSL o suscriptores SP. Las transmisiones de la capa de Control de Acceso al Medio (MAC - Medium Access Control) generadas por un SP dado son únicamente propagadas a los suscriptores de ese SP.

El proveedor de red configura la Gateway de Selección de Servicio (SSG – Service Selection Gateway) para prestar acceso de acuerdo a la clase de suscriptor. Diferentes servicios pueden ser seleccionados por el suscriptor.

### **2.5.2.3 Otros equipos**

- **Pasarela de Voz.** Para la interconexión con la PSTN y también trabajar con voz sobre IP (VoIP)
- **Sistemas de Gestión.** Utilizados para gestionar la red y sus dispositivos, utilizando SNMP.

### **2.5.3 Algunos modelos de interconexión**

DSL permite conexión CPE residencial, café Internet, SOHO, teletrabajadores, empresarial, campus, entre otros, tanto asimétricas como simétricas. En la figura 2.18 se muestra un modelo para ambientes simétricos utilizando HDSL en la cual se puede observar que no puede haber combinación de voz analógica y datos DSL sobre una misma conexión, además estas son punto a punto.

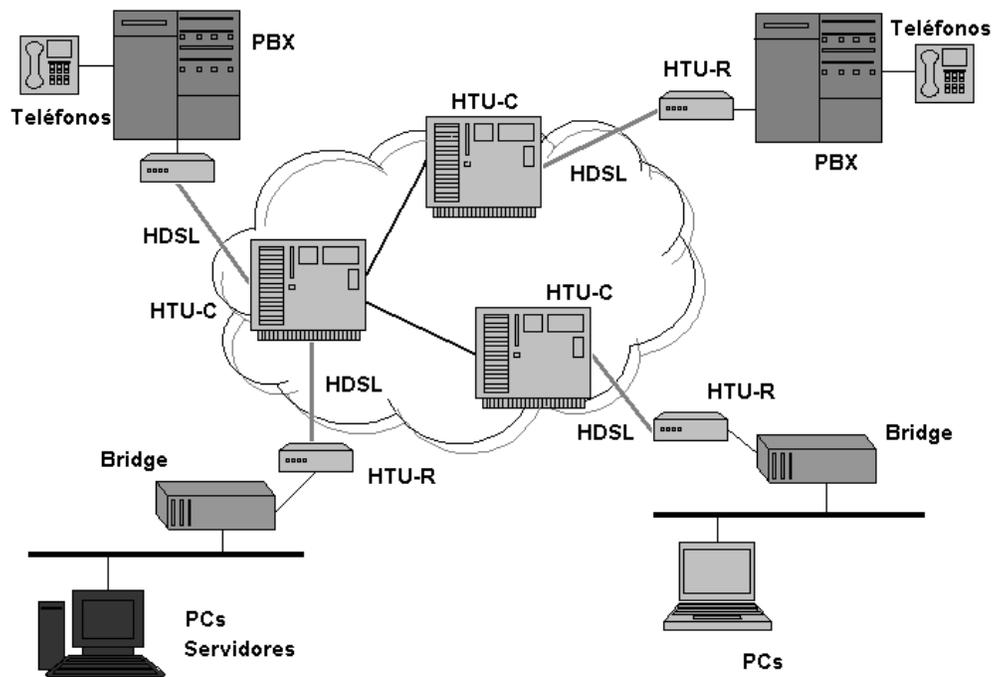


Figura 2.18 Conexión HDSL – Simétricos - Conexión punto a punto

En la figura 2.19 se muestra un ambiente asimétrico utilizando ADSL, en el cual puede haber combinación de voz y datos sobre el mismo enlace, en algunos casos punto a multipunto.

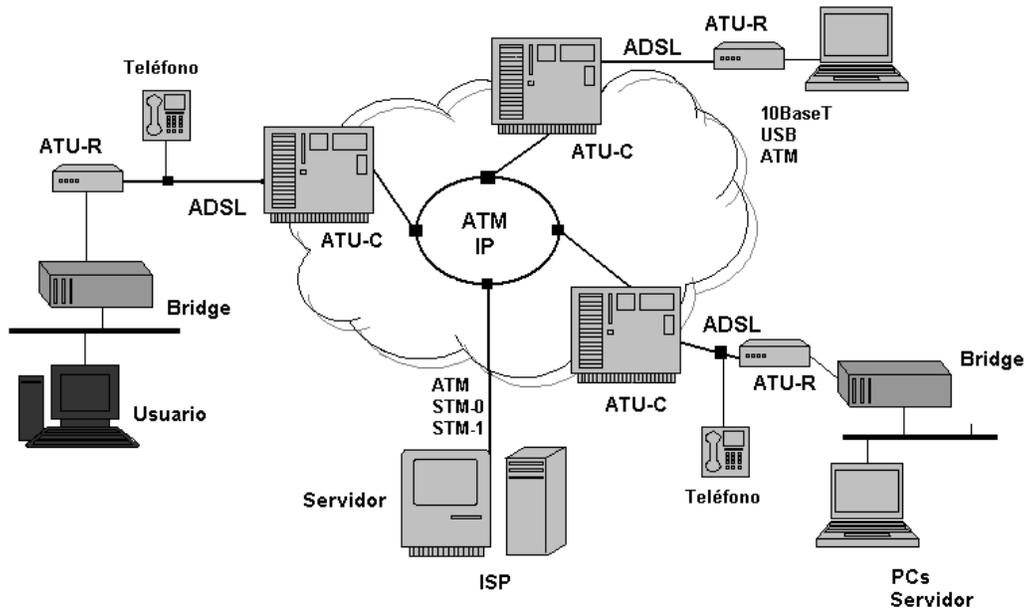


Figura 2.19 Conexión ADSL – Asimétricos - Conexión punto a multipunto

En la figura 2.20 se ilustra una conexión DSL en las CPE con más detalle. El par trenzado de cobre llega al hogar o al sitio donde se encuentre ubicado el cliente y es acoplado en el dispositivo interfaz de red (NID – Network Interface Device). Si es un enlace que combina voz y datos se necesitara un POTS Splitter que haga la separación de los servicios de voz y datos, el servicio de voz puede ser conectado directamente a los aparatos telefónicos, estos también se puede hacer con micro-filtros. El modem DSL, que también es un enrutador, se conecta serialmente a un computador o a otros dispositivos de interconexión de redes tales como enrutadores, conmutadores y concentradores mediante Ethernet y de ahí se pueden desplegar estaciones de trabajo.

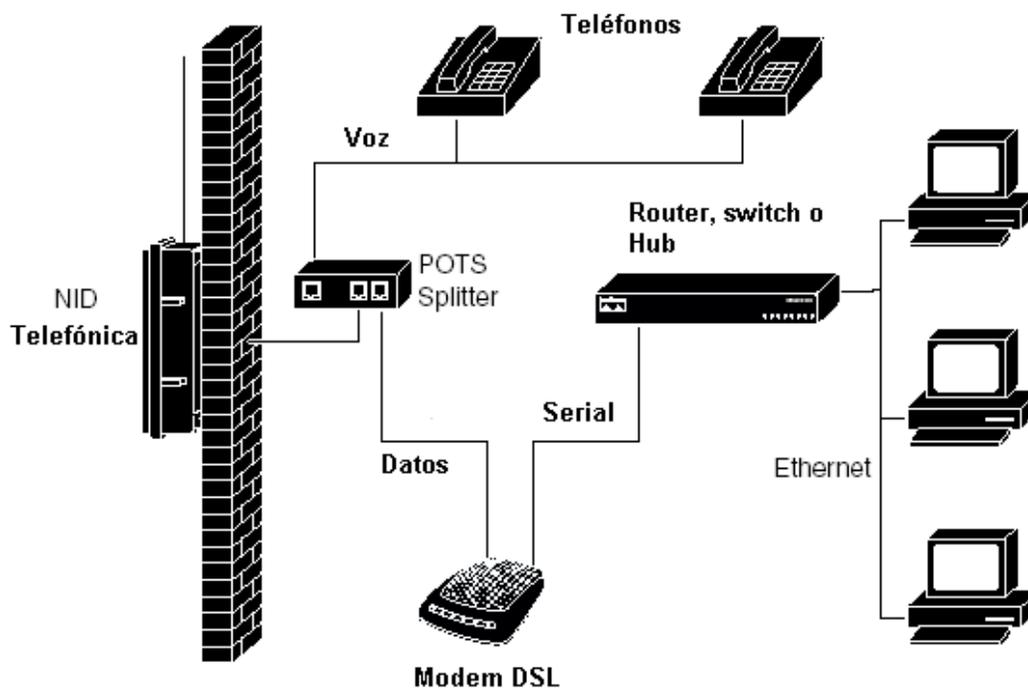


Figura 2.20<sup>27</sup> Posible conexión en la CPE

**NOTA:** Algunos de equipos utilizados en una red DSL, su precios y proveedores, se consignan en el Anexo B.

<sup>27</sup> Figura tomada de Cisco, Cisco 600 series - Installation and Operation Guide

## Capítulo 3:

### APLICACIÓN DE LOS CRITERIOS DE DISEÑO

#### 3.1 INTRODUCCIÓN

Una de las finalidades de la familia de tecnologías DSL es aprovechar la infraestructura de la red telefónica basada en pares de cobre, los cuales se encuentran tendidos en casi todas las ciudades y pueblos de Colombia y del mundo. La información correspondiente al despliegue de los pares de cobre de una determinada empresa de telecomunicaciones es de carácter confidencial, debido a la seguridad que debe tener la infraestructura de la red, para así evitar robos y demás atentados contra la integridad de la misma. Para la aplicación de los criterios de diseño se acude a una simulación de una red de acceso de telefónica fija para la ciudad de Popayán y sobre ella se diseña la red DSL.

Además del diseño de la infraestructura de la red DSL, también se realiza un estimativo de los costos en los que se incurre en el momento de desplegar una red de este tipo. Se tienen en cuenta aspectos tales como equipos, ubicación de los mismos, instalaciones, gestión y mantenimiento, entre otras.

## 3.2 INFRAESTRUCTURA DE UNA RED TELEFÓNICA FIJA

Para la simulación de la red telefónica de Popayán, se tomó como referencia el informe final del Modelo de Costos de Red Fija en Colombia (MCRF) versión 1 de la Comisión de Regulación de Telecomunicaciones (CRT) publicado en Septiembre de 2.001, en el cual se indican las pautas que se deben tener en cuenta para llevar a cabo el diseño de una red telefónica fija. Este modelo está compuesto de tres módulos: Acceso, Conmutación y Transmisión; para la aplicación de los criterios de diseño, expuestos en el Capítulo 2, solo se tendrán en cuenta el módulo de acceso. Este es un ejercicio netamente académico que busca dar una base para el diseño de la red DSL.

Debido a que la información relacionada con los tendidos de la red telefónica local es confidencial y no se puede tener acceso a esta, se optó por simular una red fija apoyándose en planos de la ciudad de Popayán y suponiendo que se cuenta con los debidos permisos (red de acueducto, alcantarillado, gas y energía eléctrica) para el despliegue de la red, además suponiendo también que se tienen estudios de mercado, demanda de servicios y densidad de usuarios.

El objetivo final de esta actividad es tener la base para el diseño de la red DSL, la cual esta limitada principalmente por la distancia y las características de los pares de cobre.

### 3.2.1 Definiciones

Antes de realizar el diseño, se deben tener claros una serie de conceptos que se manejan en este campo y que ayudan a entender el desarrollo del mismo.

**Armario:** Gabinete metálico instalado en la planta externa, el cual recibe la red primaria y desde donde se distribuye la red secundaria. Es el elemento que provee de red a un distrito. Hasta este elemento llega la red que viene de la central o de un concentrador remoto y se dispersa hacia su área de influencia. Por regla general, la red con la cual se alimenta un armario ha de llegar canalizada, mientras que la red que de allí sale puede hacerlo vía aérea o subterránea.

**Armario inteligente:** Concentrador remoto que da servicio a un grupo limitado de usuarios, se conecta a una central telefónica a través de fibra óptica y tiene la capacidad de realizar tareas de conmutación.

**Cable de bajada:** Es el cable de cobre tendido entre la caja de dispersión ubicada en el poste y la casa del usuario. El cable de bajada o de dispersión cubre distancias aproximadas de 60 metros. También es llamado “acometida”.

**Cable Primario:** El segmento de red primaria esta conformada por una serie de cables de gran denominación que salen de las centrales. Típicamente, se utilizan cables de

1.200 pares pero excepcionalmente se utilizan cables de 1.500, 1.800 y 2.400 pares telefónicos. Los cuales no necesariamente alimentan un armario, sino que en virtud de su ruta, alimentan de red primaria a varios de ellos.

**Cable segmento secundario:** Esta red está formada por cables plomados, cables de papel de barrera contra humedad y cables plásticos rellenos de 10 a 400 pares.

**Caja de dispersión poste:** Es un compartimiento metálico instalado en la parte superior de los postes, el cual recibe el cable secundario en una regleta de 10 o 20 pares. A partir de esta posición se distribuye el cable hacia los usuarios.

**Canalización:** Son tubos de PVC mediante los cuales se interconectan las cámaras (cajas de paso) a través de los cuales se tienden los cables telefónicos en forma subterránea.

**Cámaras:** Son cajas de paso en forma de bóvedas subterráneas, destinadas para manejo de cables, labores de empalmería y mantenimiento de la red externa.

**Distribuidor General:** Es la interfaz entre el cableado (red de acceso en cobre) y la central telefónica. También llamado Panel Principal de Distribución (MDF - Main Distribution Frame), es el punto de unión entre Planta interna y planta externa.

**Distribuidor Digital:** Es la interfaz entre el segmento troncal (implementado con fibra óptica) y la central telefónica.

**Distrito:** En su definición básica, un distrito corresponde al área de cobertura de un armario de 300 pares primarios, aunque se dispone de armarios con mayor número de pares (600).

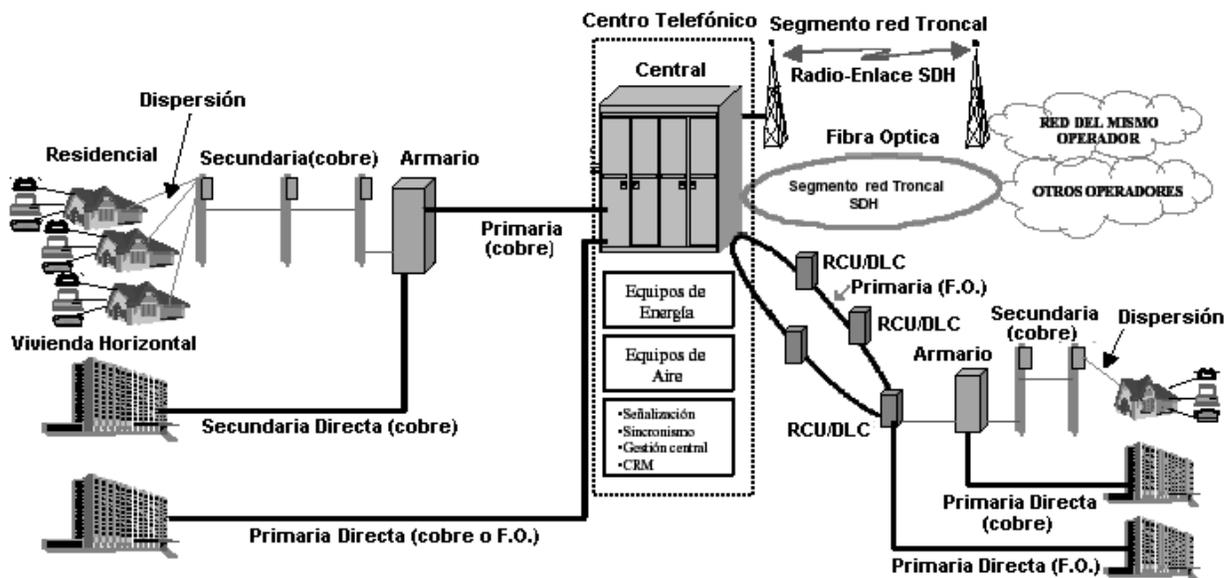
**Modulo de Acceso:** Está integrado por el segmento de red primaria, segmento de red secundaria y segmento de dispersión, los cuales pueden ser implementados con tecnología cableada (cable de cobre o fibra óptica) y/o inalámbrica.

**Modulo Troncal:** Esta conformado por los equipos e infraestructura requerida para la conexión entre las diferentes centrales de conmutación cuando hay mas de una central en la red, y para la interconexión de la red con las demás redes telefónicas adyacentes y/o complementarias. Su implementación se realiza utilizando fibra óptica y/o radio-enlaces, con tecnología SDH.

**Strip:** Son gabinetes ubicados al interior de aquellos predios de los usuarios en los que se instalan más de diez líneas telefónicas. Allí se alojan regletas o minibloques a los que van conectadas las líneas telefónicas.

### 3.2.2 Arquitectura general de una red telefónica fija

La arquitectura de una red telefónica se muestra en la figura 3.1, en esta se puede observar el módulo de acceso que está compuesto por la red primaria, la red secundaria y la acometida, y sus diferentes formas de implementación. Además, se puede observar la conexión entre centrales a través de fibra óptica (anillo SDH), radio enlaces y la implementación de una arquitectura CSA (armarios inteligentes – RCU/DLC).



RCU – Remote Concentrator Unit (Unidad de Concentración Remota)

DLC – Digital Loop Carrier (Portador de Bucle Digital)

Figura 3.1 Arquitectura Esquemática de la red telefónica fija

La red telefónica fija está compuesta por enlaces punto a punto (pares de cobre) entre la central local y cada usuario conformando una red en estrella, distribuyendo los pares de la siguiente forma: Se parte desde la central (MDF) con un cable primario, que por lo general está desplegado de manera subterránea a través de canalización, este tipo de cables pueden tener 2.400, 1.800, 1.500, 1.200, 900, 600 o 300 pares y llegan hasta una cámara subterránea donde un grupo de pares se separa para dirigirse hacia un armario ubicado en el exterior y el resto de los pares puede seguir un trayecto hacia uno u otros armarios mediante canalización (ver figura 3.2). Esta sección de la red telefónica se denomina Red Primaria.

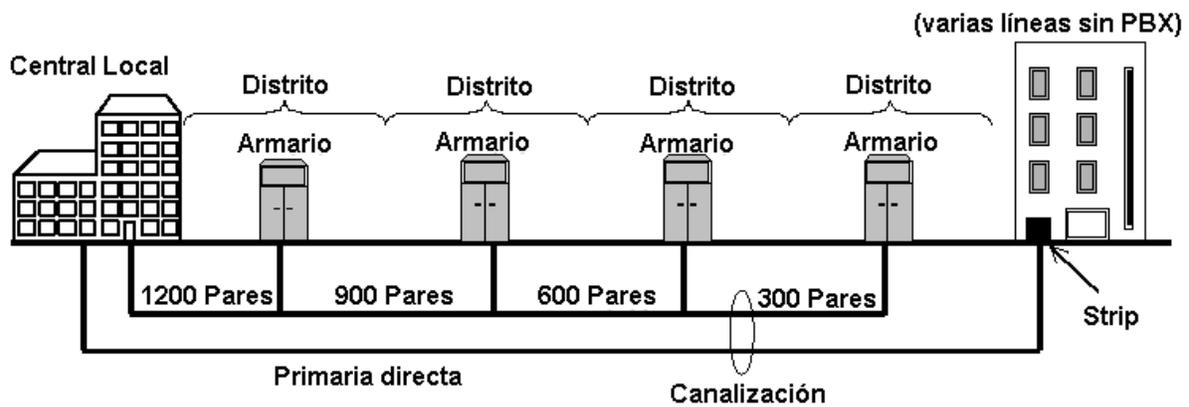


Figura 3.2 Red de acceso en cobre – Red Primaria

Para escoger el tamaño del cable primario a utilizar se debe considerar el número de líneas a instalar por distrito y el número de distritos dentro de la cobertura del cable primario de la central Telefónica, garantizando la prestación del servicio y futuras conexiones.

A partir del armario empieza la Red Secundaria, la cual llega hasta las cajas de distribución, desde donde se distribuyen las líneas hasta los usuarios (Acometida), los armarios tienen capacidades de 300, 600 u 800 pares. El cable de red secundario puede tener 400, 300, 200, 150, 100, 80, 50, 30 o 10 pares. La red secundaria puede ser desplegada de las siguientes dos maneras: (a) Desde el armario son tomados los pares necesarios y se conducen mediante canalización hacia cada uno de los postes donde sea conveniente la instalación de una caja de distribución, la cual puede contener 10 o 20 pares que se distribuyen hacia los usuarios. (b) La otra forma de despliegue consiste en separar los pares necesarios en cada poste y el resto conducirlos hacia otro poste de forma aérea (ver figura 3.3 y 3.4).

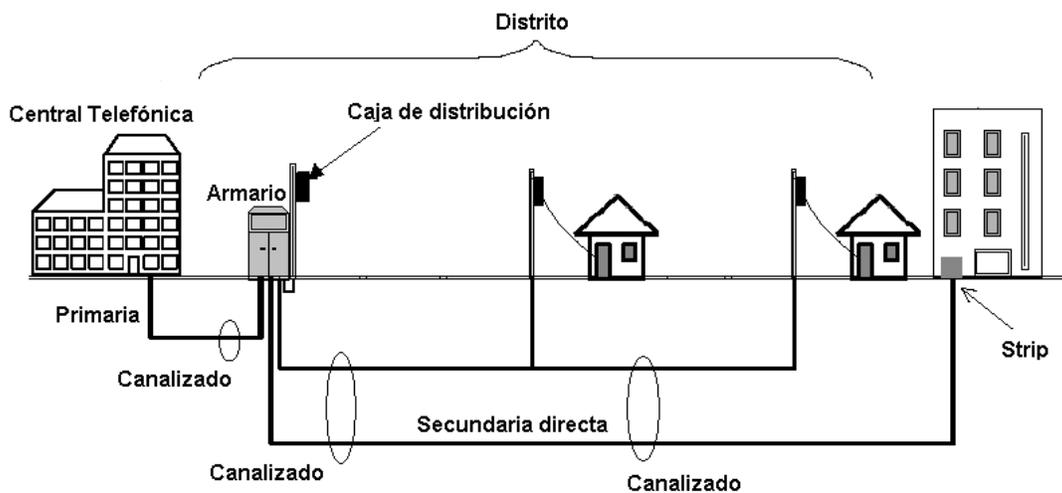


Figura 3.3 Red de Acceso en Cobre - Segmento Secundario – Canalizada

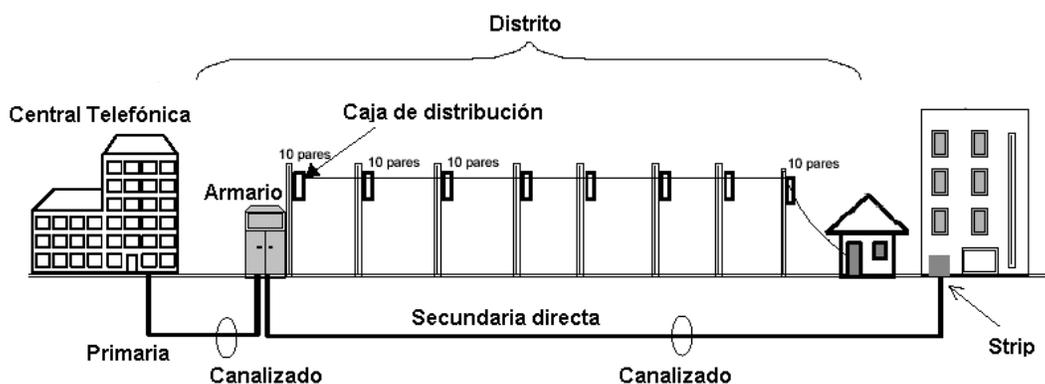


Figura 3.4 Red de Acceso en Cobre - Segmento Secundario – Aérea

La ubicación de los armarios debe hacerse en el vértice del distrito más cercano a la central telefónica y en la esquina más cercana a dicha central. La cantidad de armarios, tamaño de los distritos y cantidades de cajas de distribución se determinan de acuerdo a estudios de densidad de población y demanda del servicio.

### 3.2.3 Acceso Fibra – Cobre

Este tipo de acceso está constituido por una red primaria basada en fibra óptica, que parte desde la central local hasta una ONU (que puede hacer parte de un armario inteligente) localizada en un extremo remoto, por lo general, interconectados mediante un enlace STM-1. A partir del armario inteligente, la red secundaria y la acometida están desplegadas mediante pares de cobre, constituyendo una arquitectura CSA. Este tipo de estructura permite mayor alcance de la red primaria y concentrar una gran cantidad de usuarios remotos gracias a la utilización de la fibra óptica.

## 3.3 RED TELEFÓNICA PARA LA CIUDAD DE POPAYÁN

A finales de Diciembre de 2.001 la Comisión de Regulación de Telecomunicaciones (CRT) realizó el “*Estudio de Banda Ancha sobre bucle de abonado – Cuestionario para Operadores de Telefonía Básica Conmutada*”, con el cual se realizó una estimación general sobre la disposición de la red de abonado predominante y se identificó la tendencia de las longitudes de los bucles en cada red según el tipo de arquitectura de la misma, definiendo dos tipos de redes, se habla de redes de tipo tradicional, en donde las longitudes de los bucles son relativamente largas, o si son de tipo reciente, en las cuales la longitud de los bucles de cobre es relativamente corta. La ciudad de Popayán se acomoda a las características de una red reciente, en donde los bucles presentan longitudes promedio cercanas al kilómetro, que raramente pasan de los 3 kilómetros y prácticamente nunca de los 5 kilómetros, los centros de alambre son relativamente pequeños, que van desde unos cientos de líneas hasta unas 5.000, el calibre del cable utilizado es el 0,4 mm y no se usan las bobinas de carga <sup>28</sup>.

<sup>28</sup> Según el Informe Final “Acceso de banda ancha sobre bucle de abonado” presentado por Jesús C. Martínez para la CRT en Marzo de 2.002.

En la simulación de la red telefónica para la ciudad de Popayán se siguieron los siguientes pasos:

#### 1. Determinación de las áreas de cubrimiento

Para determinar el área de influencia de cada central telefónica, se debe tomar la geografía del área a atender y subdividirla en áreas cuadrangulares de tal manera que permita de forma lógica y ordenada la implementación de la red, evitando el traslape de las áreas atendidas y la posibilidad de dejar zonas no atendidas por cada central. Partiendo de las características técnicas del medio de acceso (par de cobre) y de la calidad mínima de la voz exigida y recomendada, se tiene que lo anterior se cumple cuando el segmento de acceso con el par de cobre no excede el promedio de alcance de 3 Kms. Con base en la anterior limitante se toma por defecto 36 kms cuadrados como el tamaño del cuadrilátero de cubrimiento de una central, ubicando esta en el centro (ver figura 3.5).

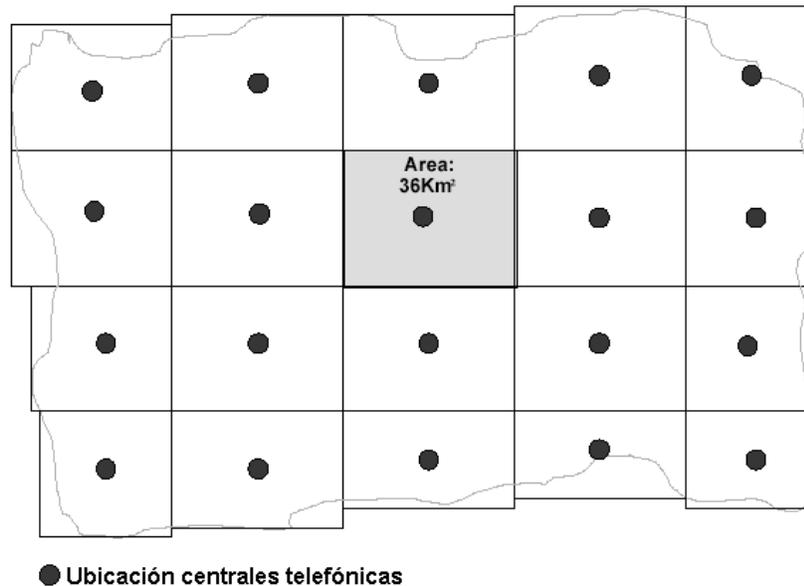


Figura 3.5 Determinación de áreas de cubrimiento y localización de centrales telefónicas

Pero para la ciudad de Popayán no se sigue al pie de la letra este criterio y se determinan zonas de cobertura irregulares de aproximadamente 16 Kms cuadrados (2 Kms de radio), en las cuales pueden existir usuarios alejados hasta 3 Kms de la central. Esta distribución de zonas no se aleja de la realidad debido a que es muy similar a la hecha por los operadores telefónicos locales (Emtel, Caucatel y Telecom) y garantiza la calidad en la prestación del servicio y las posibles expansiones de la red.

Con un plano de la ciudad de Popayán y suponiendo que se tienen datos (estudios) de densidad de usuarios y demanda del servicio telefónico, se realiza un análisis de cobertura y además se determina la ubicación de cinco zonas cobertura (figura 3.6).

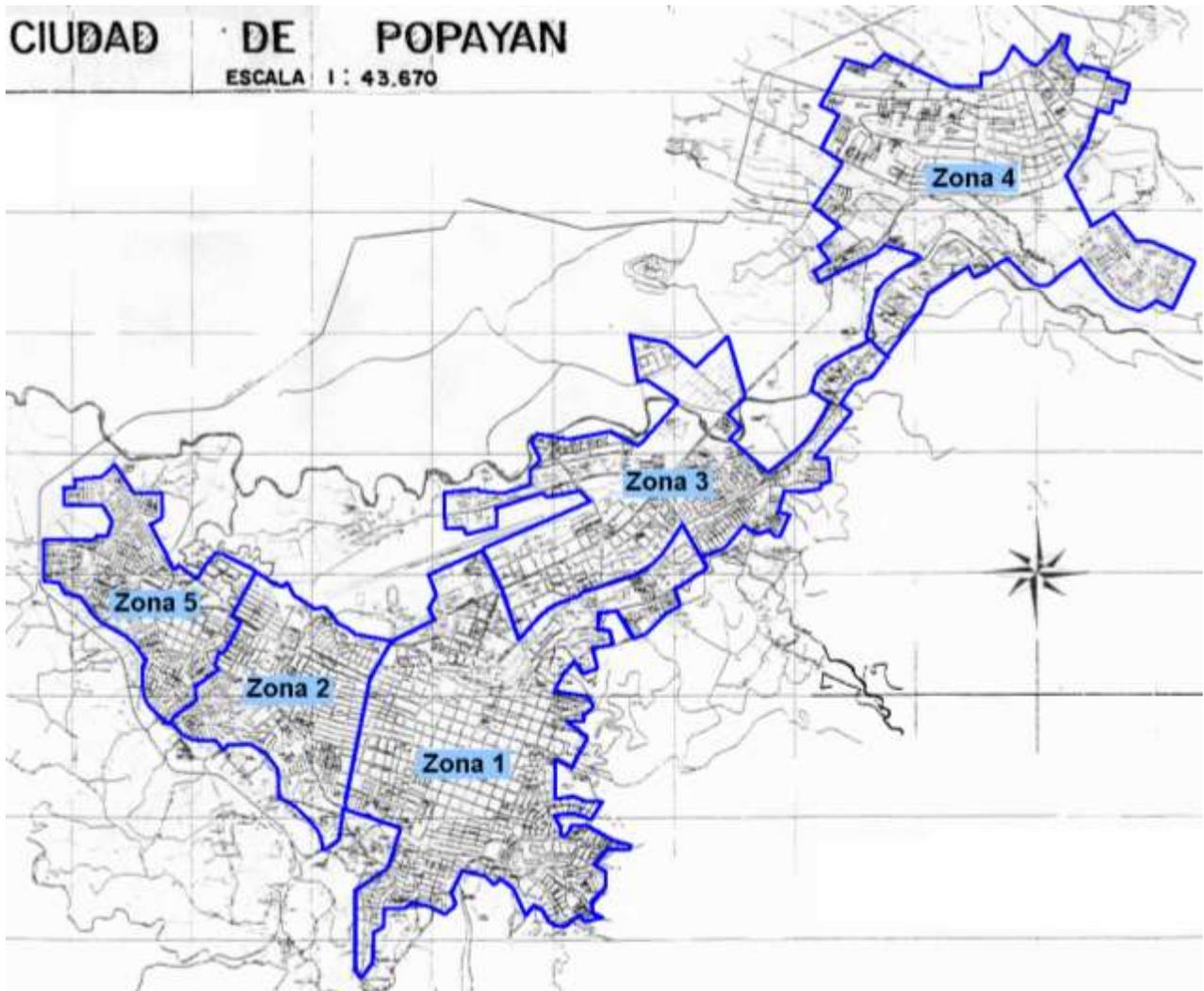


Figura 3.6<sup>29</sup> Zonificación de la ciudad de Popayán

- **Zona 1:** Comprende entre otros los barrios Las Américas, Valencia, Modelo, Cadillal, Bolívar, Rincón de la Estancia, Bosques de Pomona, Pomona, El Empedrado, Liceo, Suizo, El Lago, Los Sauces, Maria Oriente, B. Plateado, San Camilo, El Deán, El Limonar, Loma de la Virgen, Los Comuneros, Santa Mónica,

<sup>29</sup> Fuente: Instituto Geográfico “Agustín Codazzi” – Escala 1:43670

Santa Inés, Moscopán, Santa Catalina, Las Ferias, Loma de Cartagena, Centro, Tulcán, Caldas y La Pamba.

- **Zona 2:** La Esmeralda, Pandiguando, Camilo Torres, Santa Elena, José María Obando, Pajonal, Santa Fe, El Mirador, Las Vegas, Minuto de Dios, Chapinero, El Retiro, y Tomás Cipriano, entre otros.
- **Zona 3:** Santa Clara, El Recuerdo, Antonio Nariño, La Cabaña, El Batallón, Campamento, La Villa, La Playa, Puerta de Hierro, Catay, Ciudad Jardín, Palace, Yambitara, Galicia, La Virginia, Torre Molinos, Campo Bello, Torres del Río, Lácteos, Belalcazar, Prados del Norte, Yanaconas, Alicante, La Jimena, Guayacanes, Villamercedez, Porvitec, Aida Lucía, Las Tres Margaritas, Vega de Prieto, entre otros.
- **Zona 4:** Comprende entre otros los barrios Río Vista, Tablazo, Villa del Viento, El Bosque, Balcones del Norte, Quintas de José Miguel, El Bambú, Bella Vista, La Arboleda, Bello Horizonte, El Uvo, Cruz Roja, Mayorca, La Paz, Matamoros y La Aldea.
- **Zona 5:** La María, La Sombrilla, Carlos Primero, Santo Domingo Sabio, Libertad, Las Palmas, San José, Los Campos, Los Naranjos, entre otros.

## 2. Ubicación de las centrales telefónicas

En la planeación de la red se determinó dar cobertura únicamente a tres zonas: 1, 2 y 3. La zona 1 es atendida por una central telefónica ubicada en el Centro, en la Calle 8 con Carrera 5 (capacidad 5.000 abonados), la zona 2 también es atendida por una central ubicada en el barrio José María Obando en la Calle 6A con Carrera 20A (capacidad 5.000 abonados) y la zona 3 es atendida por un concentrador (armario inteligente), el cual está ubicado en el barrio Antonio Nariño en la Calle 18N con Carrera 9A (capacidad 500 abonados). Como se puede ver en la figura 3.7, las centrales telefónicas se encuentran ubicadas aproximadamente en los centros de cada zona.

Tanto la central 2 como el armario inteligente están interconectados con la central 1 por medio de fibra óptica.

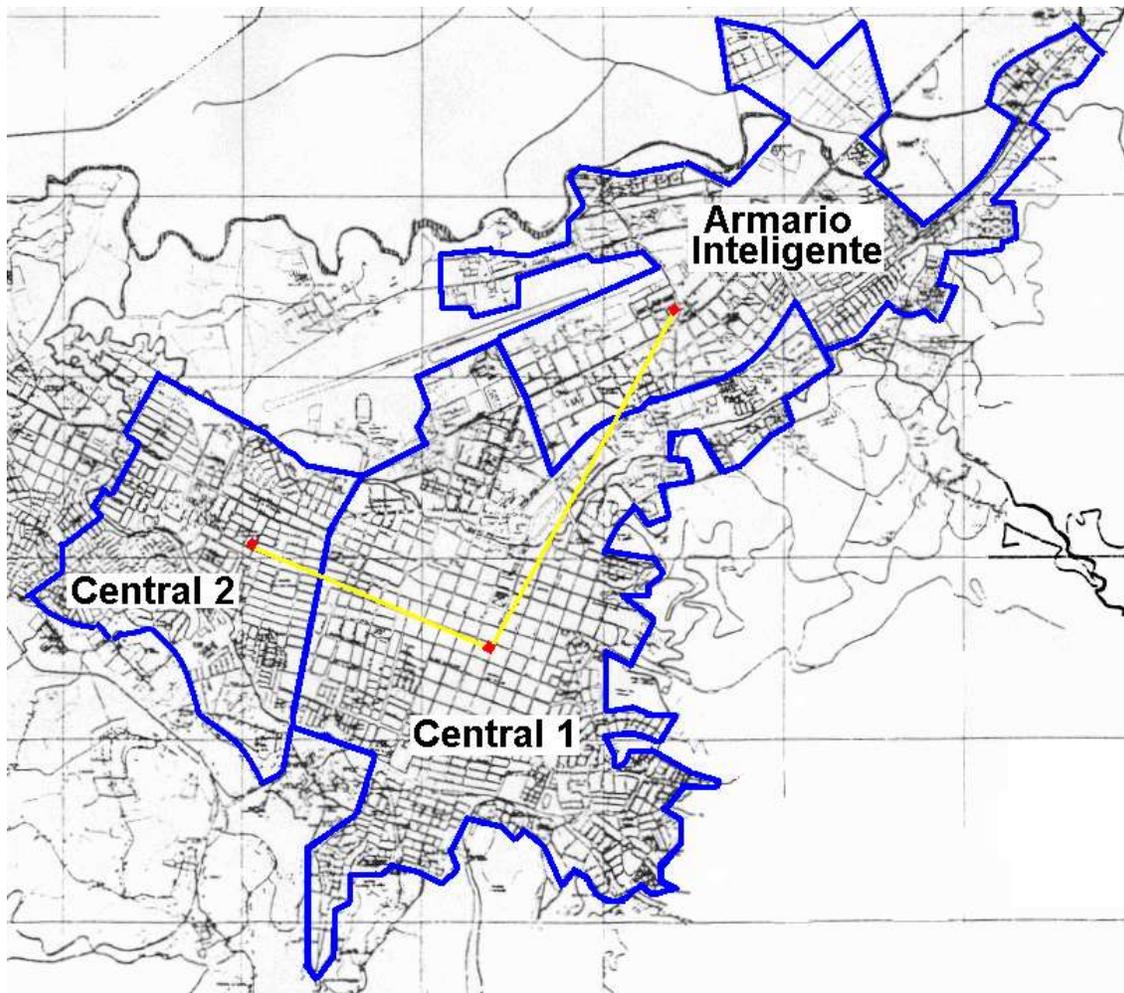


Figura 3.7 <sup>30</sup> Ubicación de Centrales Telefónicas

### 3. Determinación de los distritos telefónicos

Una vez ubicados los puntos de concentración (centrales y concentradores) se procede a la determinación de los distritos para cada zona. El tamaño de cada distrito está determinado por factores tales como la densidad de usuarios potenciales, condiciones geográficas, interferencia con coberturas de otros operadores, posible expansión de la red, estrato socio-económico, entre otros. Los distritos serán atendidos por armarios cuya capacidad depende de los factores mencionados anteriormente. En las figuras 3.8, 3.9 y 3.10 se indican las zona con sus correspondientes distritos (Zona 1: 60 distritos, Zona 2: 37 distritos). En la zona 3, no se da una completa cobertura (un solo distrito), debido a que se implementa un armario inteligente con capacidad de 500 abonados, pensado para aplicaciones CSA (escenario VDSL).

<sup>30</sup> Fuente: Instituto Geográfico “Agustín Codazzi” – Escala 1:43.670





Figura 3.9 Distritos - Zona 2 (37 distritos)



En las figuras 3.11, 3.12 y 3.13, se muestran las zonas con sus respectivos distritos y el despliegue de la red telefónica hasta los usuarios más críticos.

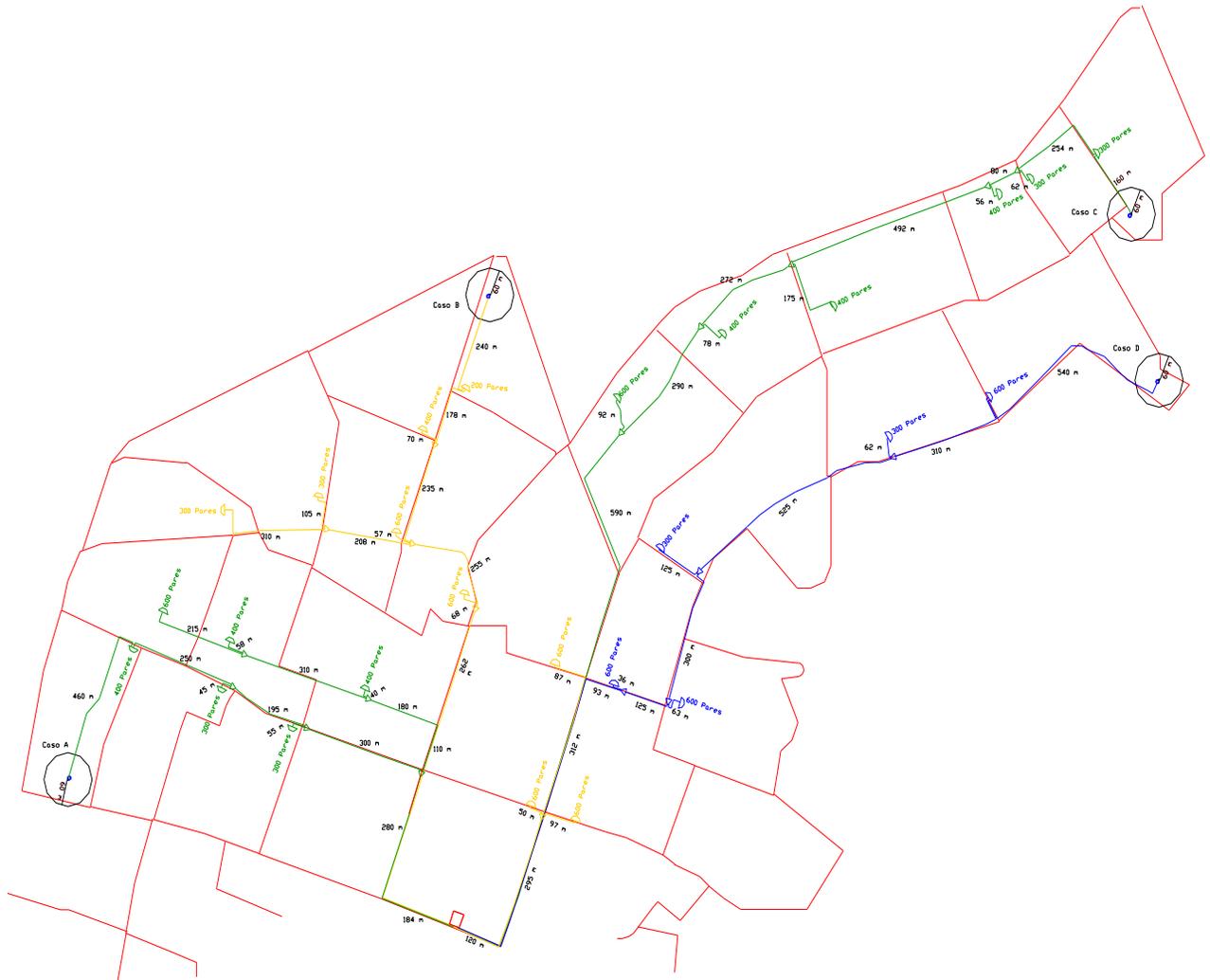


Figura 3.11 Red telefónica para la Zona 1

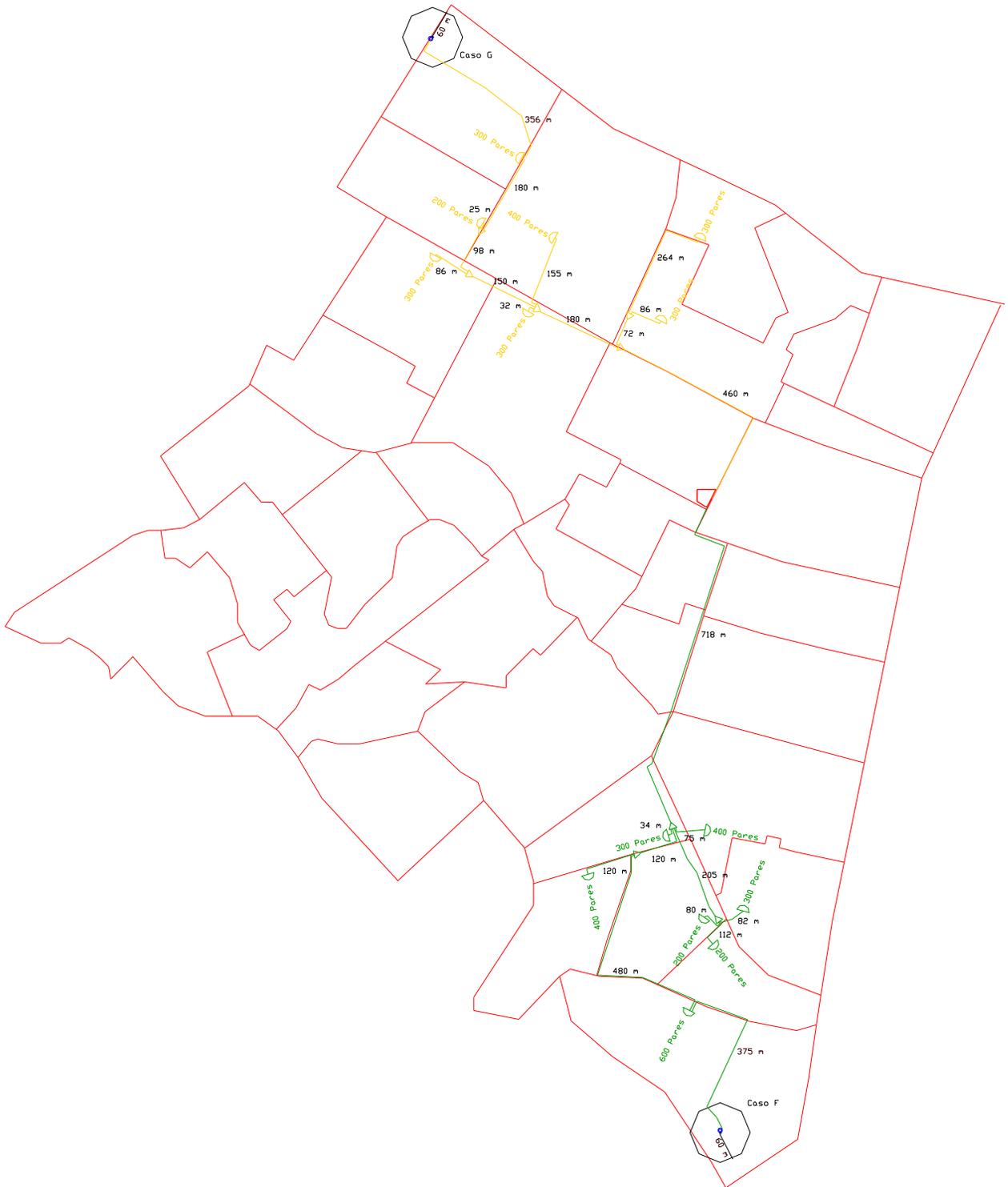


Figura 3.12 Red telefónica para la Zona 2

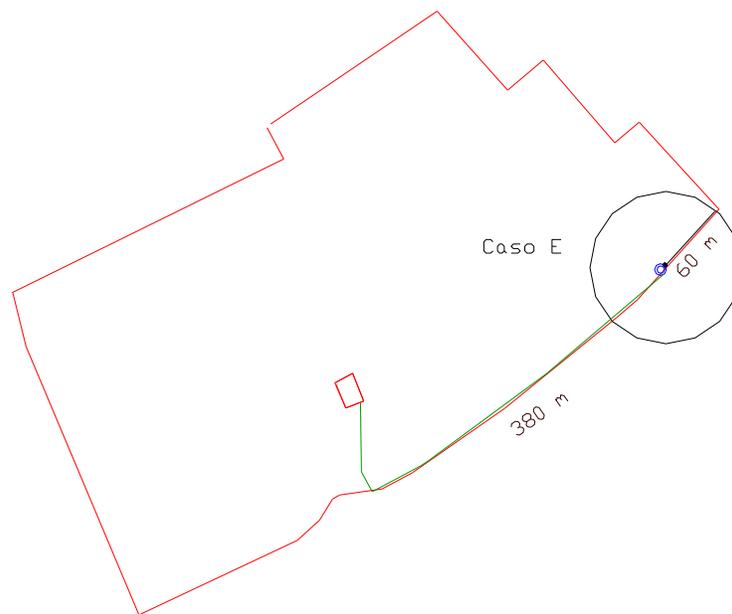


Figura 3.13 Red telefónica para la Zona 3

En la tabla 3.1 se consignan las distancias de la red telefónica para cada uno de los casos críticos (ver figuras 3.11, 3.12 y 3.13). El porcentaje de adición de 5% corresponde a la longitud del cable que se dispone con motivos de reserva, empalmería, altura de los postes, adecuación de cámaras, armarios y cajas de distribución.

CASO	Distancia del recorrido (metros)	Porcentaje de adición (5%)	Distancia de la red telefónica
A	1.669	83,45	1.752,45
B	1.774	88,7	1.862,7
C	2.885	144,25	3.029,25
D	2.680	134	2.814
E	440	22	462
F	1.753	87,65	1.840,65
G	1.484	74,2	1.558,2

Tabla 3.1 Distancias de los abonados críticos

### 3.4 DESAGREGACIÓN DEL BUCLE LOCAL <sup>33</sup>

En muchas ocasiones la proyección y capacidades de los operadores de telefonía para el suministro de accesos de banda ancha es sensiblemente baja por diferentes razones, por lo tanto, es más factible que ingresen a este mercado nuevos operadores que tengan la visión, agilidad, conocimiento, experiencia y los recursos necesarios para la prestación eficiente y sostenible de este tipo de servicios. Debido a que los nuevos operadores de servicios no cuentan con una infraestructura de acceso propia (bucles de abonado) y resulta muy costoso desplegar una nueva, lo que constituye una barrera de entrada al mercado, lo más conveniente es entrar a rentar los bucles pertenecientes a los operadores telefónicos establecidos ya hace muchos años.

Para facilitar esta alternativa y apoyándose en los esfuerzos que esta llevando a cabo el gobierno nacional en promover y reforzar políticas destinadas a hacer más efectivo el desarrollo de las plataformas de acceso a la infraestructura de la información, del contenido de la misma y del mejoramiento de las condiciones culturales y económicas de la población <sup>34</sup>, la CRT publicó las resoluciones 087 de 1.997 y 469 de 2.002, las cuales determinan la necesidad de la desagregación del bucle de abonado y la declaración del bucle local como instalación esencial.

El termino desagregación del bucle local se utiliza para significar el servicio de suministro de acceso a los abonados a través del bucle local por parte de un operador con posición dominante a un operador entrante de nuevos servicios, con base en un acuerdo de tipo comercial.

La desagregación del bucle local como requerimiento regulatorio se inicio en Hong Kong en 1.995, Estados Unidos adoptó esta medida en la Ley de Telecomunicaciones en 1.996 (*The Telecommunications Act, 96*), Finlandia y Canadá siguieron el ejemplo en Mayo y Abril de 1.997 respectivamente, y Alemania y Corea del Sur lo introdujeron en 1.998 como parte de su estrategia de liberalización del mercado de las telecomunicaciones. Con este tipo de leyes los operadores telefónicos están obligados a poner a disposición de los nuevos operadores de servicios de banda ancha, a título de arrendamiento, el acceso a los bucles locales de pares de cobre de sus redes, las facilidades de ubicación de equipos e información relevante que les sea solicitada por los segundos con destino a la prestación de servicios de banda ancha, conforme a las reglas establecidas por la autoridad competente. En Colombia son necesarias leyes de esta naturaleza para apoyar el desarrollo tecnológico que amplíe la gama de servicios y la sana competencia entre las empresas, lo que conlleve finalmente al beneficio de la comunidad.

---

<sup>33</sup> Según el Informe Final "Acceso de banda ancha sobre bucle de abonado" presentado por Jesús C. Martínez para la CRT en Marzo de 2.002.

<sup>34</sup> Objetivos de la Agenda de Conectividad

### 3.5 RED DSL PARA LA CIUDAD DE POPAYÁN

La infraestructura base para una red DSL esta compuesta por los bucles de abonado de una red telefónica, constituidos por pares de cobre. Para la ciudad de Popayán se tienen bucles de calibre 0,4 mm (26 AWG) y raramente son superiores a 3 Kms de longitud. El éxito para el adecuado funcionamiento de una red DSL radica no solo en la correcta interoperabilidad de los equipos sino en que se cumpla con los requerimientos de distancia y calidad de los pares de cobre. Debido a que DSL es una tecnología de nivel físico, las características físico – eléctricas son sumamente importantes, por lo tanto, para garantizar la incorporación de la familia xDSL, los pares deben cumplir con los requerimientos mínimos establecidos para cada tecnología.

#### 3.5.1 Justificación

Debido a los adelantos tecnológicos y a que el gobierno nacional, con la Agenda de Conectividad, busca lograr que Colombia ingrese a la Sociedad del Conocimiento a través de la masificación del uso de las Tecnologías de la Información, de manera que se logre aumentar la competitividad del sector productivo, modernizar las instituciones públicas y de Gobierno, y socializar el acceso a la información y a la educación en el país, se hace necesaria la implementación de soluciones tecnológicas que permitan alcanzar estos objetivos. Para esto, la familia de tecnologías DSL es la que más se acomoda a las condiciones socio-económicas del país, incorporándose lentamente, iniciando con velocidades bajas (128, 240 Kbps) e incrementándose poco a poco, dependiendo de la evolución de la red en cuanto a la prestación de servicios.

#### A. Demanda de servicios en Colombia <sup>35</sup>

En la tabla 3.2 se indican los porcentajes de los diferentes tipos de tráfico de Internet presentado en Colombia para el año 2,001, según la CRT y CINTEL <sup>36</sup>.

Tipo de tráfico	Porcentaje %
E-mail	38
www	28
Otros TCP	26
Conexiones encriptadas	2
Otros UDP	2
Transferencia de archivos	2
DNS	1
Emulación de terminal	1

Tabla 3.2 Tipos de tráfico – Colombia 2.001

<sup>35</sup> Datos tomados de la presentación “Estudio de Backbone para Internet en Colombia” hecha para la CRT por Luis O. Barbosa en el año 2.002, Profesor de la Universidad de Ottawa – Canada

<sup>36</sup> CINTEL – Centro de Investigación de las Telecomunicaciones

En cuanto a los tipos de acceso alámbrados en Colombia para el año 2.001, se tiene que cerca del 79% de los accesos a Internet se hacen a través de tecnologías de marcación (p.e. modem telefónico) y el 21% restantes son enlaces dedicados en su mayoría de tipo empresarial (p.e. T1, E1).

Con el despliegue de las tecnologías DSL se busca dar un paso significativo en la evolución de la red de acceso para migrar hacia las Redes de Nueva Generación. Las tecnologías DSL brindan la capacidad de acceso necesaria para los diferentes tipos de aplicaciones de telecomunicaciones (ver tabla 3.3).

Aplicación	Porcentaje %
Web	69
Chat	9
e-mail	8
Juegos	1
otros	13

Tabla 3.3 Aplicaciones de Internet – Colombia 2.001

En la figura 3.14 se muestran los diferentes servicios y sus requerimientos de velocidad.

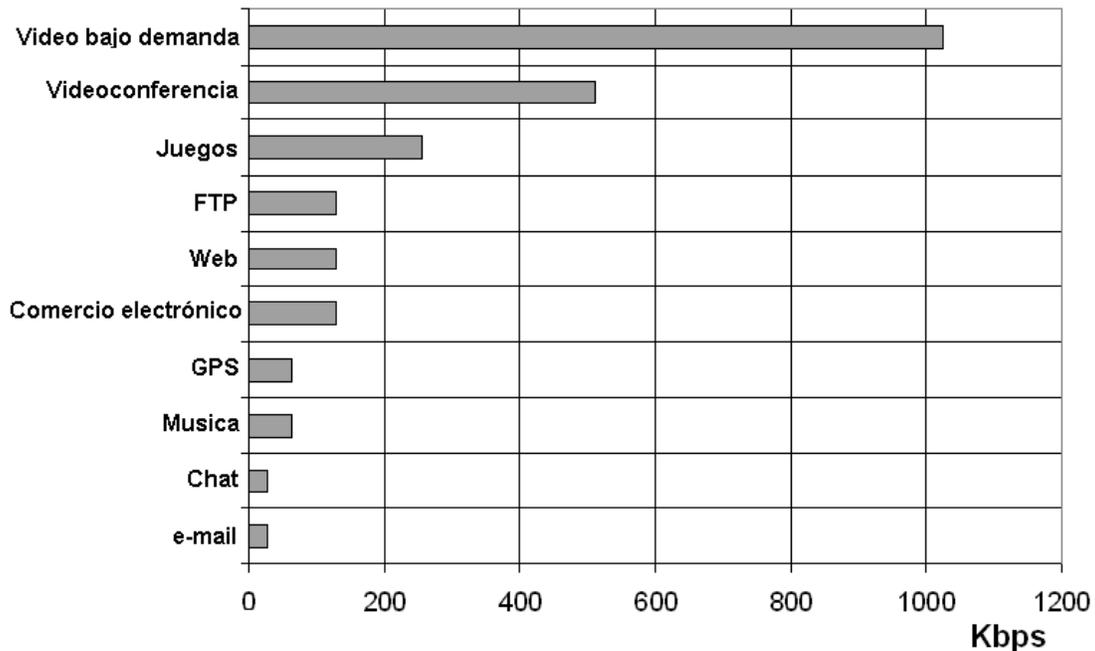


Figura 3.14 Aplicaciones de Internet – Requerimientos de velocidad

Se espera que en los años venideros la demanda y aparición de aplicaciones que requieren de un ancho de banda superior a los 200 Kbps se incremente, y por lo tanto, las empresas de telecomunicaciones se vean en la necesidad de modernizar sus redes de acceso.

#### B. Precalificación de las redes de abonado para soportar xDSL

Con base en las respuestas al “Estudio de Banda Ancha sobre bucle de abonado – Cuestionario para Operadores de Telefonía Pública Básica Conmutada” remitido a los operadores de las redes telefónicas públicas de Bogotá, Medellín, Cali, Barranquilla, Bucaramanga y Cartagena por la Comisión de Regulación de Telecomunicaciones a finales de Diciembre de 2.001, se estableció que de los 4,23 millones de bucles de abonado en servicio en estas seis ciudades:

- El 90% de los bucles menores de 3 kilómetros podría ser apto para soportar ADSL
- El 70% de los bucles entre 3 y 5 kilómetros podría ser apto para soportar ADSL

#### C. Proyección del suministro de accesos de banda ancha (xDSL) para Colombia por parte de los operadores telefónicos <sup>37</sup>

Partiendo de que en Colombia aproximadamente el 4,21 % de habitantes con respecto a la totalidad de la población tienen un computador personal y el 2,6 % de habitantes tiene acceso a Internet <sup>38</sup>, además de que en año 2.001 se tenían 1.182 accesos ADSL y 3.193 HDSL, que equivalen al 5 y 13 % del total de los accesos digitales en esa época, se tiene que la proyección para el mercado de las tecnologías DSL en el año 2.005 es la siguiente:

- Se proyecta tener una disponibilidad de cerca de 120.000 accesos ADSL, de los cuales 72.000 estarán funcionando, o sea, un 1,11% de los hogares en Colombia, o el 1,5% de las líneas en servicio. Esto en cuanto al mercado residencial y PYME<sup>39</sup>.
- Para el mercado empresarial (Tecnologías simétricas con accesos de 1,5 Mbps, 2 Mbps o superiores) se proyectan menos de 9.000 accesos.
- En ciudades pequeñas como Popayán se proyectan 974 accesos residenciales (p.e. ADSL) y 292 accesos empresariales (p.e. SHDSL).

<sup>37</sup> Fuente: Informe Final “Acceso de banda ancha sobre bucle de abonado” presentado por Jesús C. Martínez para la CRT en Marzo de 2.002.

<sup>38</sup> Fuente ITU 2.001, tomado de la presentación “Estudio de Backbone para Internet en Colombia” hecha para la CRT por Luis O. Barbosa en el año 2.002, Profesor de School of Information Technology and Engineering de la Universidad de Ottawa – Canada.

<sup>39</sup> PYME – Pequeña Y Mediana Empresa

**NOTA:** Para el año 2.005 la proyección total de accesos de tipo DSL es cerca de 365.000, los aproximadamente 230.000 que no son cubiertos por los operadores telefónicos deben ser cubiertos por nuevos operadores de servicios de banda ancha (ver numeral 3.4 Desagregación del bucle local).

### 3.5.2 Aplicación de los criterios de diseño para una red DSL <sup>40</sup>

#### 3.5.2.1 Despliegue de la red

En el lado del operador telefónico (u operador de servicios de banda ancha) se tiene el DSLAM, el cual es el encargado de concentrar el tráfico de los usuarios DSL, este tipo de equipo se encuentra presente para toda una gama de capacidades: desde “micro DSLAM” que maneja muy pocos puertos por nodo, entre 4 y 16 puertos xDSL, y que son de fácil instalación y ocupan mínimo espacio; las soluciones “mini” del orden de 36 a 96 puertos xDSL; hasta soluciones mayores para instalar en las centrales locales, que por cada bastidor (aproximadamente de 60 cms de ancho, 30 cms de profundidad y 2 m de alto) albergan entre 240 y 480 puertos xDSL, incluyendo los splitters y las protecciones de línea. Todas estas versiones se pueden adicionar, reemplazar y combinar entre sí, casi siempre con equipos del mismo fabricante únicamente. La mayoría de estas soluciones utilizan DSLAM “universales”, es decir, permiten conectar tarjetas de cualquier versión xDSL (ADSL, SDSL, VDSL, etc.) y trabajar sobre protocolos ATM e IP, con lo cual se puede brindar una gama importante de servicios utilizando la misma infraestructura.

Basado en los criterios de diseño, consignados en el numeral 2.4.1 Despliegue de la red DSL y en la Justificación para la implementación de la red DSL (Numeral 3.5.1) se tienen en cuenta los criterios de Simetría de los servicios, Capacidad y Escalabilidad para la escogencia del DSLAM.

- Simetría de los servicios  
Teniendo en consideración este criterio y analizando la demanda de servicios, se concluye que el DSLAM debe soportar al menos una tecnología asimétrica y otra simétrica. Para este diseño se escogen las tecnologías ADSL y G.SHDSL, para servicios asimétricos y simétricos, respectivamente. Puesto que cumplen con los requerimientos de distancia y velocidad <sup>41</sup>.
- Capacidad (*Determinación de la cantidad de clientes*)  
De estudios de demanda realizados por una empresa telefónica local x, relacionada con la prestación del servicio ADSL y G.SHDSL y con las proyecciones para el año 2.005, se estima un soporte inicial (a la fecha: Enero 2.004) de 96 usuarios ADSL y 40 usuarios SHDSL.

<sup>40</sup> Basada en la Guía de Criterios de Diseño (Capítulo 2, Numeral 2.4)

<sup>41</sup> Ver tabla 2.6

- Escalabilidad

Con base en este criterio el DSLAM debe contar con un chasis que soporte las tecnologías ADSL y G.SHDSL, y otras versiones tales como VDSL, G.Lite, SDSL, entre otras. Además, debe tener facilidad de interconexión con otros dispositivos de red (otros DSLAM, routers, pasarelas, etc.), contando con interfaces ATM e IP.

Analizando las diferentes alternativas presentes en el mercado de los DSLAM <sup>42</sup> se seleccionó el DSLAM Cisco 6260 y el DSLAM Cisco 6015, debido a que cumplen con las características expuestas en los anteriores criterios y por el respaldo que tiene la empresa fabricante, además porque son los más utilizados en este tipo de redes en Sudamérica <sup>43</sup>.

En el diseño se ubican dos DSLAM Cisco 6260 en las centrales de El Centro y José María Obando, y en el concentrador de Antonio Nariño (armario inteligente) se instala un DSLAM de menor capacidad, el DSLAM Cisco 6015. Se presupuestan 12 tarjetas para ADSL y 5 tarjetas para SHDSL, distribuidas así: 5 Tarjetas ADSL y 2 G.SHDSL para cada DSLAM 6260, y 2 ADSL y 1 G.SHDSL para el DSLAM 6015

### 3.5.2.2 Análisis de los requerimientos de los clientes

El objetivo de los criterios de Servicios, Distancia y Velocidad, enfocados al cliente, es la escogencia del CPE. En combinación con estos criterios, se tiene en cuenta el tipo de tecnologías que soporta el DSLAM escogido anteriormente, por lo tanto, los CPEs tienen que ser ADSL y G.SHDSL.

Existe una amplia gama de equipos para el lado del cliente (CPE), desde los que permiten conectar un solo computador, incluso como tarjeta incorporada al mismo, hasta los que permiten conectar múltiples computadores. El equipo que se ha escogido en este diseño, es el Router CPE Cisco 828 para G.SHDSL, Router CPE Cisco 827 para ADSL y los “splitters” en caso de tener una combinación voz + datos, se escogieron estos equipos gracias a sus características <sup>44</sup> y al respaldo con el que cuenta esta empresa. Y la más importante, tienen compatibilidad asegurada con los DSLAMs Cisco 6260 y 6015.

### 3.5.2.3 Estudio de las condiciones del bucle de abonado

El medio de transmisión (pares de cobre) hace parte de la empresa prestadora del servicio, por lo tanto, esta es la encargada de verificar y garantizar que los bucles de abonado estén en óptimas condiciones para la prestación del servicio (Precalificación de los pares de cobre para el servicio xDSL). El procedimiento a seguir está consignado en el numeral 2.1.3 - Pruebas necesarias para el despliegue de un sistema xDSL de la guía de criterios de diseño. Los resultados de este tipo de estudios se dan únicamente a través de pruebas de campo.

---

<sup>42</sup> Ver Anexo B - Proveedores, equipos y costos.

<sup>43</sup> Fuente Unisys de Colombia S.A.

<sup>44</sup> Ver Anexo B - Proveedores, equipos y costos.

Por otro lado, para el adecuado funcionamiento de la red se deben tener también en cuenta las condiciones del cableado interno en las instalaciones donde se encuentra ubicado el cliente, puesto que en muchas ocasiones se presentan derivaciones que pueden afectar el correcto funcionamiento de la tecnología DSL.

### 3.5.3 Costos relacionados con la prestación de servicios xDSL <sup>45</sup>

En esta parte del diseño, se analizan los principales costos que se presentan en la implantación y la operación de una red para la prestación de servicios de banda ancha, con base en las tecnologías xDSL. La estimación de los costos ayuda a determinar si es factible económicamente el despliegue de la red, establecer el tiempo para la recuperación de la inversión y las posibles ganancias.

Los costos básicos directos se clasifican en:

- Costos de la plataforma xDSL.
- Costos iniciales para el suministro del bucle local.
- Costos de gestión, operación y mantenimiento de la red de servicio.

Este análisis se hace con base en la información consignada en los capítulos anteriores y utilizando los criterios usados por algunos integradores y suministradores de este tipo de tecnologías en Colombia, como resultado de la encuesta efectuada por la CRT a principios de 2.002. Se utilizan también, a manera de orientación y soporte, los rubros y precios promedio para los diferentes servicios de algunos operadores en diversos países y datos recopilados de varios autores y artículos de medios especializados.

#### 3.5.3.1 Costos de la plataforma xDSL

Estos costos corresponden a la adquisición de equipos y software directamente relacionados con la plataforma de banda ancha. Como ya se mencionó anteriormente los equipos con los cuales se realiza el diseño pertenecen al fabricante CISCO, decisión tomada en especial por la garantía y robustez que presentan.

Los costos de la plataforma se dividen en:

A. Sistemas de acceso y multiplexación, básicamente los DSLAM.

De acuerdo con el diseño, la red DSL cuenta con 3 DSLAM. En la tabla 3.4 se indican los costos (en dólares) relacionados con estos equipos <sup>46</sup>.

---

<sup>45</sup> Basado en el Informe Final "Acceso de banda ancha sobre bucle de abonado" presentado por Jesús C. Martínez para la CRT en Marzo de 2.002.

<sup>46</sup> Los Datos son tomados del Capítulo 3

<b>Equipo DSLAM</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Costo unitario</b>	<b>Costo total</b>
DSLAM – Chasis Cisco 6260	2	4.370	8.740
DSLAM – Chasis Cisco 6015	1	1.680	1.680
Módulo de alimentación de potencia para el chasis (PEM DC)	3	800	2.400
Tarjetas NI-2	3	6.800	20.400
Tarjeta Cisco DMT (ATU-C) x 8 puertos	12	1.280	15.360
Tarjeta Cisco G.SHDSL (STU-C) 8 puertos	5	1.280	6.400
Chasis POTS Splitter	3	3.135	9.405
Tarjetas POTS Splitter 8 puertos	12	150	1.800
Software Cisco IOS para el 6260	1	4.600	4.600
Software Cisco IOS para el 6015	1	1.700	1.700
Cableado, materiales de instalación y demás.			10.000
<b>Total</b>			<b>82.485</b>

Tabla 3.4 Costos de los Equipos DSLAM y sus respectivas tarjetas

Una de las características del DSLAM escogido es que esta constituido por tarjetas individuales de ocho puertos, por lo cual no es necesario adquirir la totalidad de las tarjetas que soporta, sino que se pueden adquirir de manera gradual conforme aumentan los usuarios. En el diseño se presupuestaron 12 tarjetas par ADSL y 5 tarjetas para SHDSL, resultando una disponibilidad para 96 usuarios ADSL y 40 usuarios SHDSL, que representa cerca del 15 % de la capacidad de los equipos.

#### B. Equipos de abonado - CPE

El análisis de costos de esta parte de la plataforma xDSL se puede abordar de dos maneras diferentes, una en la cual el usuario asume el costo del equipo y la otra es en la cual el operador o prestador del servicio es quien lo asume. Cuando el operador asume el costo del equipo, el alquiler del mismo puede ser incluido dentro de la tarifa del servicio. Una de las razones de esta modalidad es el costo de estos equipos, por lo que es mucho más cómodo para el usuario que el operador sea quien adquiera el equipo.

Para el diseño de la red DSL se asume que se inicia con un numero limitado de clientes, para los cuales se utiliza el mismo modelo de equipo CPE. El número inicial de usuarios con el que se trabaja es de 136, de los cuales 96 son usuarios residenciales atendidos con ADSL y los otros 40 son de tipo empresarial o educativo atendidos con G.SHDSL. El costo (en dólares) de cada uno de estos equipos se indica en la tabla 3.5<sup>47</sup>.

<b>Equipo de usuario CPE</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Costo unitario</b>	<b>Costo total</b>
CPE G.SHDSL – Cisco 828	40	470	18.800
CPE ADSL - Cisco 827	96	400	38.400
POTS Splitter	96	2,5	240
<b>Costo total Equipos CPE</b>			<b>57.440</b>

Tabla 3.5 Costos de los Equipos de usuario CPE

<sup>47</sup> Ver Anexo B – Equipos, Proveedores y Costos.

**NOTA:** Gracias a las características con las que cuenta el DSLAM (Tarjetas independientes de 8 Puertos) a medida que crezca la demanda se pueden ir adquiriendo gradualmente los equipos CPE que sean necesarios.

### C. Red de servicio.

En este diseño, la red de servicio incluye un conmutador ATM para cursar el tráfico de los usuarios DSL y un enrutador IP para la salida hacia el ISP. Los costos (en dólares) de estos equipos se indican en la tabla 3.6.

Equipo de Red	Cantidad	Costo unitario	Costo total
Concentrador ATM - Cisco	1	37.500	37.500
Enrutador – Cisco	1	12.300	12.300
<b>Total</b>			<b>49.800</b>

Tabla 3.6 Costos de los Equipos de red

#### 3.5.3.2 Costos para el suministro del bucle local

Corresponde a los costos asociados con los trabajos de adecuación y suministro físico del bucle por parte del operador propietario de los mismos y, por los cuales, el cliente solicitante paga una sola vez.

El principio más aceptado internacionalmente sobre la forma de establecer los precios de estos elementos consiste en hacerlo con base en los costos del suministro de cada uno de ellos, más una utilidad razonable. Los parámetros, elementos y conceptos que se tienen en cuenta para establecer los costos difieren de operador en operador, presentándose apreciables diferencias entre los precios finales establecidos. Estos costos pueden incluir:

- i. El bucle y la adecuación del mismo, llamados también costos de conexión o de suministro del bucle.

En América Latina, Telefónica de Chile <sup>48</sup> tiene una tarifa de conexión del par de cobre, entre el distribuidor principal (MDF) y la caja de distribución de US\$ 14,4; más la acometida, es decir, la conexión entre la caja de distribución y la ubicación del suscriptor, de US\$21,4, es decir, un total de US\$ 35,8 entre el MDF y la ubicación del suscriptor. Este puede ser un valor para tomar como referencia que sirva para los propósitos del diseño. Este costo se tiene en cuenta únicamente si los clientes solicitan una línea telefónica extra para la prestación del servicio. En nuestro caso se tienen 136 suscriptores, con lo cual resulta un costo de **US\$ 4.870**

- ii. Costos de ubicación y facilidades relacionadas con ésta, tales como:

<sup>48</sup> Ver: [www.telefonicodechile.com/tarifas\\_vigentes](http://www.telefonicodechile.com/tarifas_vigentes) (año 2.003)

- adecuación de áreas para ubicación de equipos.
- el suministro del distribuidor de paso.
- el suministro del cable de enlace.
- acometidas eléctricas y ampliaciones del sistema de aire acondicionado.
- adecuación de salones y de otros lugares para instalación de equipos de xDSL, etc.

Respecto a los costos relacionados con la ubicación, éstos son aun más difíciles de establecer, puesto que, además de los diferentes criterios de los operadores para establecerlos, los mismos varían apreciablemente dependiendo de las circunstancias reales que implica el suministro de espacio y facilidades en cada caso y en cada sitio. Adicionalmente, la información de costos del suministro de ubicación por puerto no es fácil de obtener, puesto que los diferentes operadores indican que los precios para este servicio se negociarán según cada caso concreto.

Con el objeto de determinar un rango de precios iniciales relacionados con la ubicación por puerto, se utiliza la siguiente referencia encontrada sobre estos aspectos.

La Figura 3.15 muestra la relación de los tres principales costos de aprovisionamiento de servicios DSL (costos iniciales) para servicios de acceso de banda ancha en el mercado británico, según una publicación de British Telecom, BT <sup>49</sup>. Mientras los precios por línea de los equipos de la red de acceso (CPE, DSLAM y relacionados) y del suministro del bucle (“Conexión del bucle sin trabajo especial”) permanecen aproximadamente constantes con referencia al tamaño de las agrupaciones de suscriptores, es decir: € 350 (US\$ 318) por equipos y € 140 (US\$127) por el bucle, se destaca el impacto que representan los costos de las facilidades y adecuación de las centrales del operador para permitir la ubicación, especialmente para pequeños grupos de suscriptores por sitio, tal como lo indican los siguientes valores:

- cerca de €250 (US\$ 227) para grupos de 250 suscriptores por central, (más del 178%, comparado con el precio del suministro del bucle).
- unos € 110 (US\$ 100) para grupos de 500 suscriptores (78% vs. suministro del bucle).
- unos € 50 (US\$ 45) para agrupaciones de 750 suscriptores ( 36% vs. suministro del bucle).
- cerca de €40 (US\$ 36) para agrupaciones de 1000 usuarios (28%, vs. el del bucle).

---

<sup>49</sup> Fuente LLU-is anybody still interested ?, BT, Nov. 2001. Página 10

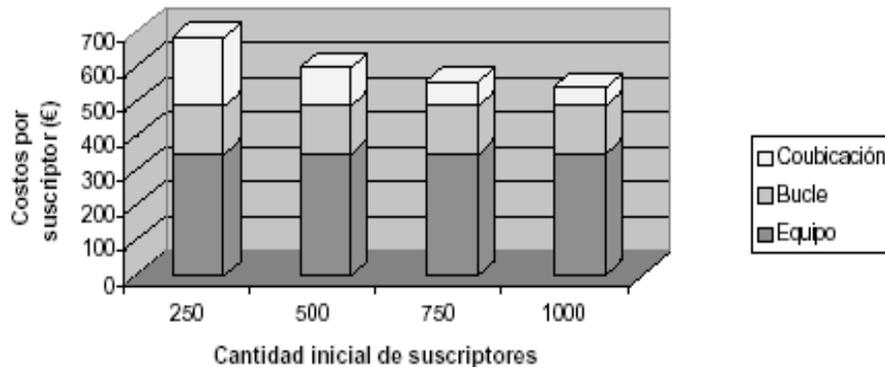


Figura 3.15 Costos de aprovisionamiento (iniciales) de servicios DSL por suscriptor

Para nuestro ejemplo del diseño usaremos los precios por línea de las agrupaciones pequeñas, es decir, US\$ 227, suponiendo que los nodos DSLAM atendieran agrupaciones de 250 suscriptores o menos. Como se tienen tres agrupaciones de este tipo, entonces el costo total por este concepto es **US\$ 680**.

El costo total de suministro del bucle de abonado de **US\$ 5.550**

### 3.5.3.3 Costos de gestión, operación y mantenimiento de la red de servicio

Son los costos que implican para el operador de servicios de banda ancha la gestión, la operación y el mantenimiento de su propia infraestructura, tales como la propia red DSL, los de sus nodos de conmutación o enrutamiento, los del centro de gestión, los de *backbones* o enlaces hacia otras redes, etc. Estos costos dependen directamente de la configuración de la red y de las tecnologías utilizadas, así como de la eficiencia de las herramientas, los procedimientos y de las rutinas que utiliza cada operador de banda ancha para su ejecución.

El parámetro de cálculo utilizado por algunos integradores o suministradores de la plataforma a nivel nacional es el siguiente:

- Para los tipos de equipo que atienden pocas líneas o suscriptores individuales como es el caso de los CPE, se requiere por lo general un servicio tipo 5/8 (5 días a la semana, 8 horas diarias) lo cual implica un costo aproximado entre un 4 y 5% del valor total de los equipos, por concepto de operación, mantenimiento y soporte.  
**Costo = US\$ 2.300**
- Para equipos que atienden múltiples usuarios y los que constituyen la red de servicio y los concentradores se requiere un servicio tipo 7/24 (7 días por semana, 24 horas al día) lo cual implica un costo aproximado anual del 9% del valor total de los equipos, por concepto de labores de operación y mantenimiento.  
**Costo = US\$ 11.905**

Otro aspecto importante es la gestión de red, para esto es necesario disponer de una estación de monitoreo y control, la cual esta ubicada en la Central Centro. Esta estación esta compuesta por un terminal de gestión (computador de altas prestaciones) y el software necesario. El Cisco DSL Manager es el software escogido para este propósito. Los costos relacionados con la estación de gestión se muestran en la tabla 3.7.

Producto	Costo
Terminal de gestión	15.000
Cisco DSL Manager	27.300
<b>Total</b>	<b>42.300</b>

Tabla 3.7 Costos de la estación de gestión

Costo gestión, operación y mantenimiento **US\$ 56.505**

### 3.5.3.4 Costo total

El costo total de la implementación de una red DSL se muestra en la tabla 3.8.

Concepto	Costo
Costo del sistema de acceso y multiplexación.	82.485
Costo de los equipos CPE	57.440
Costo de la red de servicio	49.800
Costo del suministro del bucle de abonado	5.550
Costos de operación, gestión y mantenimiento	56.505
<b>COSTO TOTAL RED DSL</b>	<b>US\$ 251.780</b>

Tabla 3.8 Costo total para una red DSL

### 3.5.3.5 Recuperación de la inversión

Se estima que la inversión hecha para un proyecto de esta magnitud se recupera aproximadamente en 5 meses. Esta conclusión se toma basándose en los precios de la prestación de los siguientes servicios de banda ancha (tabla 3.9):

SERVICIO	CAPACIDAD (Down / Up Stream)	COSTO FIJO MENSUAL	COSTO DE INSTALACIÓN
ADSL	256 / 128 Kbps	180.000	140.000
G.SHDSL	256 / 256 Kbps	3'000.000	1'000.000

Tabla 3.9 Costos servicios DSL en Popayán <sup>50</sup>

<sup>50</sup> Fuente: Emtel S.A. E.S.P. – Enero 2.004

Costo de instalación para 96 clientes ADSL	\$ 13'440.000
Costo de instalación para 40 clientes G.SHDSL	\$ 40'000.000
<b>Costo de instalación DSL</b>	<b>\$ 53'440.000</b>
Costo mensual para 96 clientes ADSL	\$ 17'280.000
Costo mensual para 40 clientes G.SHDSL	\$ 120'000.000
<b>Costo mensual DSL</b>	<b>\$ 137'280.000</b>
<b>Costo total implementación red DSL</b>	<b>US\$ 251.780</b>
(Suponiendo una tasa de cambio fija de \$2.750 por US\$1)	
Se tiene que el Costo en pesos es de	\$ 692'395.000
(menos) Costo de instalación DSL	\$ 53'440.000
Saldo	\$638'955.000
(dividido) Costo mensual DSL	\$ 137'280.000
<b>Número de meses</b>	<b>5</b>

**NOTA:** En este calculo no se tienen en cuenta ningún tipo de impuestos ni gastos adicionales (p.e. gastos de personal, capacitaciones, entre otros), por lo tanto, la verdadera recuperación de la inversión y la obtención de ganancias puede tomar por lo menos un año.

### 3.5.4 Zonas de cobertura xDSL para Popayán

Los planos de zonificación para las tecnologías xDSL en la ciudad de Popayán se realizaron teniendo en cuenta únicamente el criterio de distancia <sup>51</sup>. Las distancias 1,5, 2, 3 Kms y superiores son las distancias clave para xDSL (ver tabla 2.6).

Convenciones utilizadas para las figuras 3.16, 3.17 y 3.18:

-  Hasta 1,5 Kms – Limite para VDSL
-  Hasta 2 Kms – Limite para RADSL
-  Hasta 3 Kms – Limite para HDSL, HDSL2 y SDSL
-  Superior a 3 Kms (fin de la zona de cubrimiento de la central) – Posibilidad de desplegar ADSL, G.Lite, G.SHDSL e IDSL

<sup>51</sup> Estos planos se realizaron teniendo en cuenta los datos de la tabla 3.1 - Distancias de los abonados criticos.





Figura 3.17 Zonificación DSL Central 2

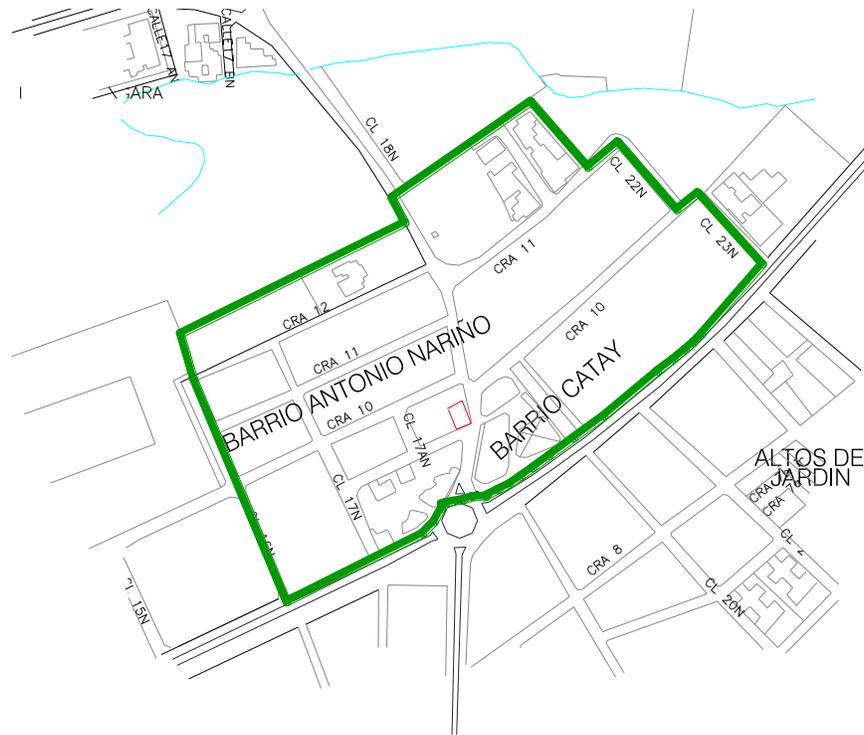


Figura 3.18 Zonificación DSL Central 3

Después de realizar la zonificación DSL para Popayán, se llega a la conclusión (ver figuras 3.16, 3.17 y 3.18) que la tecnología ADSL puede ser implementada en cualquier parte de la ciudad (si el par presenta excelentes condiciones), debido a que no se presentan bucles que excedan los 5 kms. Para clientes ubicados en regiones muy distantes a una central (>5 kms) se pueden implementar arquitecturas CSA para desplegar cualquier tecnología DSL.

Debido a que por lo general, el área de cobertura de las centrales es menor a 3 Kms, se concluye que el servicio de G.SHDSL también puede ser implementado en la ciudad sin ningún problema. La única limitante que se puede presentar, es que los bucles se encuentren en malas condiciones físico-eléctricas para la prestación de servicios de datos de banda ancha, por lo tanto, es muy importante precalificar el par, para cada tecnología, antes de proceder a desplegar cualquier solución.

## Capítulo 4:

# CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

## 4.1 CONCLUSIONES

- El rápido crecimiento de Internet y la aparición de nuevos y sofisticados servicios, junto con la insaciable sed de conocimiento de las personas alrededor del mundo, han hecho que las redes de telecomunicaciones tengan que evolucionar para poder satisfacer todas estas necesidades. Actualmente, cada servicio está implementado sobre su propia infraestructura, esto se traduce en complejidad en la integración de los diferentes tipos de tecnologías. Lo que se busca es contar con una infraestructura única para todos los servicios y aplicaciones, y que estos servicios sean prestados al cliente en cualquier momento y lugar. Esta es la filosofía de las Redes de Nueva Generación.
- Como el objetivo principal de las empresas de telecomunicaciones es la satisfacción de sus clientes, entonces se ven en la necesidad de modernizar sus redes para retenerlos y si es posible capturar a unos nuevos. La migración de las redes actuales hacia redes de Nueva Generación, debe partir desde las redes de Telefonía Pública Básica Conmutada y convertirlas gradualmente en redes de paquetes.
- El acceso es la parte de la red que está directamente relacionada con el cliente, por eso, requiere de una mayor atención. El camino más adecuado para modernizar la red de acceso es el aprovechamiento de la infraestructura existente. En todas las ciudades del mundo existen redes de telefonía, las cuales están basadas en pares trenzados de cobre, este tipo de redes puede ser modernizado fácilmente utilizando técnicas avanzadas de modulación para digitalizar el bucle de abonado. La familia de tecnologías xDSL es una opción económica y tecnológicamente viable para prestar servicios de banda ancha y así migrar hacia el concepto de NGN.

- Teniendo en cuenta los requerimientos actuales de los servicios de telecomunicaciones más utilizados en Colombia, tales como acceso banda ancha a Internet, enlaces T1/E1, web hosting, entre otros, la CRT ha concluido que las tecnologías xDSL son las más apropiadas para prestar dichos servicios. Sin embargo, debido a las actuales condiciones del mercado, la proyección para DSL es poco favorable.
- El gobierno nacional esta realizando grandes esfuerzos para que los habitantes del país cuenten con un acceso eficiente a la información, lo que ayudaría al desarrollo integral y acelerado de Colombia. Para lograr estos objetivos ha creado una serie de entidades gubernamentales tales como la Agenda de Conectividad, Computadores para educar, CRT, entre otras, las cuales son la base para realizar proyectos que buscan mejorar la situación tecnológica del país.
- Según la CRT, el futuro de las tecnologías de acceso esta en ADSL y SHDSL, las cuales capturarán el mercado residencial y empresarial, respectivamente. Para que puedan ser desplegadas adecuadamente, deben existir mecanismos legales que obliguen a las operadoras de telefonía básica conmutada a “desagregar” sus bucles de abonado, es decir, arrendarlos a nuevos operadores de servicios de banda ancha, que tengan la experiencia y recursos para brindar este tipo de servicios.
- Los operadores del servicio de banda ancha deben contar con una guía de criterios de diseño en la cual puedan basarse para implementar la red DSL. Esta guía ahorra tiempo y dinero, pues contiene los pasos a seguir para desplegar una determinada tecnología según las necesidades de cada cliente. Este tipo de documentos permiten cambiar la actitud de muchas empresas, las cuales implementan tecnología sin hacer ningún tipo de estudio preliminar que les ayudara a sustentar la escogencia de una determinada solución.
- DSL comprende una serie de tecnologías que abarcan un amplio rango de requerimientos de acceso, por ejemplo, distancias que van desde menos de un 1 Km hasta 5 kms y velocidades desde 128 K a 52 Mbps. Esta es la solución de acceso ideal teniendo en cuenta estos requerimientos, pero presenta dos limitantes fundamentales que ponen en riesgo su funcionamiento ideal, la longitud del bucle y las características del par trenzado. Una ventaja de las tecnologías xDSL es que los equipos que se encuentran en el mercado están estandarizados, por lo que su interoperabilidad esta asegurada.
- La realización de este trabajo trajo como resultado el aprendizaje teórico relacionado con las tecnologías de acceso, sobre todo la familia DSL, conocimiento de estándares y equipos, concientización de la realidad tecnológica del país, adquisición de experiencia en cuanto al trabajo cooperativo entre distintas entidades, y el principal, la elaboración de una guía de criterios de diseño para una red DSL.

## 4.2 RECOMENDACIONES

- Una recomendación muy importante para las empresas prestadoras de servicios de banda ancha, en especial, a las que trabajan o quieren trabajar con las tecnologías xDSL, es la utilización de una guía de criterios de diseño, como la que se elaboró en este trabajo, para ser usada como base en la toma de decisiones. Además, la adquisición de equipos que permitan precalificar los pares de cobre para la prestación de los servicios DSL.
- Aprovechando la amplia experiencia que tienen los docentes y estudiantes de la facultad en el desarrollo de software, se debe fomentar la creación de paquetes de simulación para las tecnologías DSL. Practicas a cerca de modulación CAP, DMT, 2B1Q, y análisis de factores como ruido, atenuación, paradiafonía, telediafonía, entre otros, en especial para las materias: Laboratorio de Sistemas Digitales y Teoría de Telecomunicaciones.
- Debido a la falta de laboratorios modernos para realizar prácticas, deben establecerse acuerdos de tipo académico por parte de la universidad con las empresas de telecomunicaciones, para que los estudiantes realicen practicas tipo pasantía y de esta manera adquieran la experiencia y los conocimientos no queden únicamente en la teoría.
- La universidad debería adquirir laboratorios que le permitan a sus estudiantes y profesores fortalecer sus conocimientos, y que de alguna manera fomentar procesos de investigación, sobre todo en el campo de las nuevas tecnologías, todo esto para estar a la vanguardia del conocimiento.

**BIBLIOGRAFÍA**

- Goralski, Walter.  
2000 Tecnologías ADSL y xDSL. Osborne MacGraw-Hill, España.
- Halsall, Fred  
1998 Comunicación de datos, redes de computadores y sistemas abiertos. Pearson Educación, México.
- Cisco Systems Inc.  
2002 Networking Academy Program. Segunda edición, España.
- Cisco Systems Inc.  
2001 Basic Digital Subscriber Line (DSL) End-to-End Architecture - version 2.3 - Student Guide, USA.
- Castelli, Matthew  
2002 Network Consultants Handbook. Cisco Press, USA.
- Castillo, Edgar.  
1997 Red Digital de Servicios Integrados – RDSI. Universidad del Cauca.
- Bolaños S., Claudia L.  
1997 Criterios de planeación, diseño e implementación de redes ATM. Documento final de trabajo de grado, Universidad del Cauca, Popayán.
- Caibe B., Jenny E. y Leudo G., John J.  
1998 Análisis de las soluciones de acceso a las redes de telecomunicaciones. Documento final de trabajo de grado, Universidad del Cauca, Popayán.
- Campo M., Andrea C. y Certuche M., Carlos L.  
2002 Metodología para la migración hacia redes de próxima generación en Colombia. Documento final de trabajo de grado, Universidad del Cauca, Popayán.
- Jorge, Girón y Mora, Liz  
2003 IP sobre redes ópticas DWDM. Documento final de trabajo de grado, Universidad del Cauca, Popayán.

**ITU-T**

- 1998 Rec. G.991.1: High bit rate Digital Subscriber Line (HDSL) transceivers
- 1999 Rec. G.992.1: Asymmetric digital subscriber line (ADSL) transceivers
- 1999 Rec. G.992.2: Splitterless asymmetric digital subscriber line (ADSL) transceivers
- 1999 Rec. G.997.1: Physical layer management for digital subscriber line (DSL) transceivers
- 2001 Rec. G.994.1: Handshake procedures for Digital Subscriber Line (DSL) transceivers
- 2001 Rec. G.995.1: Overview of digital subscriber line (DSL) Recommendations
- 2001 Rec. G.996.1: Test procedures for digital subscriber line (DSL) transceivers
- 2001 Rec. G.991.2: Single-pair high-speed digital subscriber line (SHDSL) transceivers
- 2001 Rec. 993.1: Very-high-speed digital subscriber line foundation
- 2001 Informe sobre los sistemas xDSL

Universidad Blaise Pascal, Grupo LASMEA (Laboratorio de Ciencias y de Materiales Electrónicos y Automáticos)

- 2001 Estudio sobre como se afecta la transmisión ADSL en cables telefónicos de cobre con anomalías.

Fernandez, Marco V.

- 2000 Redes de nueva generación (NGN). Archivo en formato pdf en la Web.  
[www.ice.en.cr](http://www.ice.en.cr)

Gea G., Juan M.

- 2001 Técnicas xDSL - Sistemas de transporte de datos. Documento en sitio web.  
[www.disc.ua.es/asignaturas/std/trabajos/xDSL/index2.html](http://www.disc.ua.es/asignaturas/std/trabajos/xDSL/index2.html)

**Cisco Systems Inc.**

Documentación en formato pdf:

- Cisco 600 Series Installation and Operation Guide
- Cisco 827 and SOHO 77 Routers Hardware Installation Guide
- Introduction to the Cisco 6100 Series System
- Cisco 6260 Hardware Installation Guide
- Cisco 6015 Hardware Installation Guide

**Comisión de Regulación de Telecomunicaciones – CRT**

- 2001 Asesoría para el desarrollo de una metodología para calcular los costos de los módulos de acceso fijo, conmutación y transmisión de una red de Telecomunicaciones genérica – Informe Final - Modelo de Costos de Red Fija Colombia (MCRFC V.1.0)

2002 Reporte de Internet en Colombia  
2002 Informe sectorial de Telecomunicaciones

### **DOCUMENTOS VARIOS EN FORMATO PDF**

López, Giovanni - Universidad del Cauca  
Tecnologías de Acceso

Vidal, Francisco - Director técnico de estrategias de acceso de ALCATEL  
Acceso de banda ancha a través de pares de cobre – Tecnologías xDSL.

INTEL

HDSL2 Overcomes the Impairments of the Local Loop

Zimmerman, George A. - Chief Scientist, PairGain Technologies

HDSL2 Tutorial: Spectral Compatibility and Real-World Performance Advances

Sunrise Telecom

SunSet xDSL, Guía de referencia rápida.

Pruebas en xDSL.

DANE

Tecnologías de la Información y las Comunicaciones - Estadísticas e indicadores del sector de estado. 2002

Orozco B., Luis – Profesor Universidad de Ottawa Ottawa, CANADA  
Estudio de Backbone para Internet en Colombia.

### **ENLACES WEB**

<http://www.itu.int>

<http://www.etsi.org/>

<http://www.sunrisetelecom.com>

<http://www.dsforum.org>

<http://www.dsllife.com>

<http://www.adslforum.org>

<http://www.cisco.com>

<http://www.crt.gov.co>

<http://www.agenda.gov.co>

<http://www.mincomunicaciones.gov.co>  
<http://www.vdslalliance.com/>  
<http://www.t1.org/t1e1/e14home.htm>  
<http://www.monografias.com/trabajos13/tecnacc/tecnacc.shtml>  
<http://www.monografias.com/trabajos14/acceso-atm/acceso-atm.shtml>  
<http://neutron.ing.ucv.ve/revista-e/No4/vdsl.html>  
<http://neutron.ing.ucv.ve/revista-e/No4/hdsl.html>  
[http://www.itlp.edu.mx/publica/revistas/revista\\_isc/actual/xdls.html](http://www.itlp.edu.mx/publica/revistas/revista_isc/actual/xdls.html)  
[http://neutron.ing.ucv.ve/revista-e/No2/F\\_Ortiz.htm](http://neutron.ing.ucv.ve/revista-e/No2/F_Ortiz.htm)  
[http://www.tlm.unavarra.es/asignaturas/bi/bi99\\_00/mejores/bi40/index.html](http://www.tlm.unavarra.es/asignaturas/bi/bi99_00/mejores/bi40/index.html)  
<http://www.plantaexterna.cl/>  
<http://www.fh-lippe.de/~wayne1/abstract.html>  
<http://www-comm.itsi.disa.mil/t1/413.html>  
[http://es.gsmbox.com/news/mobile\\_news/](http://es.gsmbox.com/news/mobile_news/)  
<http://europa.eu.int/ISPO/infosoc/telecompolicy/unbundall/Telefonica-es.htm>  
[http://www.tempresas.cl/3\\_servicios/ser\\_dat\\_internet/ser\\_adsl\\_item8\\_2.asp](http://www.tempresas.cl/3_servicios/ser_dat_internet/ser_adsl_item8_2.asp)  
<http://www.3com.com/>  
[http://www.alcatel.es/technologies/hot\\_technologies/broadband\\_access.htm](http://www.alcatel.es/technologies/hot_technologies/broadband_access.htm)  
<http://larepublica.terra.co.cr/news/articulo/html/2003/03/11/rep6613.htm>  
[http://arizonainternet.net/dsl/dsl\\_works.html](http://arizonainternet.net/dsl/dsl_works.html)  
[http://ieeexplore.ieee.org/xpl/abs\\_free.jsp?arNumber=180075](http://ieeexplore.ieee.org/xpl/abs_free.jsp?arNumber=180075)  
<http://www.noticiasdot.com/publicaciones/2002/0302/1203/noticias1203/noticias1203-23.htm>  
<http://www.dataconnection.com/mgcp/mgcpidx.htm>  
<http://www.mynetwatchman.com/kb/adsl/adslqual.htm>  
<http://www.laempresa.net/termometro/telecomunicaciones/2001/telecomunicaciones-datos.htm>

## ACRÓNIMOS

2B1Q (2 Binary 1 Quaternary – 2 Binario 1 Cuaternario)  
 ADSL (Asymmetric DSL – Línea Digital de Abonado Asimétrica)  
 AMI (Alternate Mark Inversión – Inversión Alternada)  
 ANSI (American National Standards Institute – Instituto de Estandares Nacional Americano)  
 API (Application Program Interface - Interfaz de Programa de Aplicación)  
 ATM (Asynchronous Transfer Mode - Modo de Tránsito Asíncrono)  
 AWG (American Wire Gauge)  
 BER (Bit Error Rate - Rata de Error de Bit)  
 BRI (Basic Rate Interface – Interfaz de Velocidad Básica)  
 CAP (Carrierless Amplitude Phase - Fase y Amplitud Sin Portadora)  
 CATV (TV por Cable)  
 CCITT (Consultative Committee International Telegraph and Telephone – Comité Consultor Internacional de Telefonía y Telegrafía)  
 CDSL (Customer DSL – DSL de Consumidor)  
 Centro de Operaciones de Red (NOC – Network Operation Center)  
 CiDSL (Consumer-installable DSL – DSL de Consumidor Instalable)  
 CMTS (Cable Modem Termination System – Sistema de Terminación de Modem de Cable)  
 COE (Central Office Equipment - Equipo de la Oficina Central)  
 CPE (Customer Premises Equipment – Equipos de Usuario)  
 CRC (Cyclical Redundancy Check – Chequeo de Redundancia Ciclica)  
 CSA (Carrier Service Area - Área de Servicio de Portador)  
 CTI (Computer Telephony Integration - Integración Computador Telefonía)  
 DACS (Digital Access and Cross Connect System - Sistema de Acceso Digital y Matriz de Conexión)  
 DCS (Digital Cross Connect – Matriz de Conexión Digital)  
 DLC (Digital Loop Carrier – Portadora de Bucle Digital)  
 DMT (Discrete Multi-Tone - Multi-Tono Discreto)  
 DOCISIS (Data Over Cable Service Interface Specification – Especificación de la Interfaz de Datos Sobre el Servicio de Cable)  
 DS-1 (Digital Signal 1 – Señal Digital 1, 1.5 Mbps)  
 DSL (Digital Subscriber Line – Línea de Abonado Digital)  
 DSLAM (Digital Subscriber Line Access Multiplexer – Multiplexor de Acceso de DSL)  
 DWDM (Dense Wave Division Multiplexing – Multiplexación por División de Onda Densa)  
 DWMT (Discrete Wavelet Multi-Tone - Multi-Tono Discreto Wavelet)  
 E1 (2.048 Mbps)  
 EMI (Electro-Magnetic Interference - Interferencia Electro-Magnética)  
 EMS (Element Management System - Sistema de Gestión de Elementos)  
 EOC (Embedded Operations Channel - Canal de Operaciones Incorporado)  
 ETSI (European Telecommunications Standards Institute - Instituto Europeo de Normas de Telecomunicaciones)  
 FCC (Federal Communications Commission – Comisión de Comunicaciones Federal)

FDM (Frequency Division Multiplexing - Multiplexación por División de Frecuencia)  
 FEBE (Far End Block Error - Error de Bloque de Extremo Lejano)  
 FEC (Forward Error Correction – Corrección de Errores hacia Delante)  
 FECC (Forward Error Correction Code - Código de Corrección de Extremo Lejano)  
 FEXT (Far-End cross Talk - Interferencia del extremo lejano)  
 FFT (Fast Fourier Transform - Transformada Rápida de Fourier)  
 FTTB (Fiber To The Building - Fibra hasta el Edificio)  
 FTTC (Fiber To The Curb - Fibra hasta la Acera)  
 FTTCab (Fiber To The Cabinet - Fibra hasta el Armario)  
 FTTH (Fiber To The Home -Fibra hasta el Hogar)  
 FTTx (Fiber To The x – Fibra hasta x)  
 G.Lite (ADSL Splitterless – ADSL sin splitters)  
 HDB3 (High Density Bipolar 3 – Bipolar 3 de Alta Densidad),  
 HDSL (High bit-rate DSL - Línea Digital de Abonado de Alta Velocidad)  
 HDTV (High Definition Televisión - Televisión de Alta Definición)  
 HFC (Hybrid Fiber Coax – Híbrido Fibra Coaxial)  
 ICT (Information and Communication Technology - Tecnologías de la Información y la Comunicación)  
 IDSL (ISDN DSL - Línea Digital de Abonado sobre RDSI)  
 IEEE (Institute of Electrical and Electronics Engineers – Instituto de Ingenieros Eléctricos y Electrónicos)  
 IFFT (Inverse Fast Fourier Transform - Transformada Rápida de Fourier Inversa)  
 IP (Internet Protocol - Protocolo de Internet)  
 ISDN (Integrated Services Digital Network - Red Digital de Servicios Integrados)  
 ISP (Internet Service Provider – Proveedor del Servicio de Internet)  
 ITU (International Telecommunications Union - Unión Internacional de Telecomunicaciones)  
 LAN (Local Area Network - Red de Área Local)  
 LAP (Link Access Protocol – Protocolo de Acceso al Enlace)  
 LOS (Lost Of Signal - Pérdida de Señal)  
 LTU (Line Termination Unit - Unidad de Terminación de Línea)  
 M/SDSL (Multirate SDSL – SDSL Multivelocidad)  
 MAC (Medium Access Control - Control de Acceso al Medio)  
 MGCP (Media Gateway Control Protocol)  
 MIB (Management Information Base – Base de Información de Gestión)  
 MPEG (Motion Picture Experts Group)  
 MPLS (Multiprotocol Label Switching – Conmutación de Etiquetas Multiprotocolo).  
 NEXT (Near-End cross Talk - Interferencia del extremo propio)  
 NGN (Next Generation Network - Red de Nueva Generación)  
 NGS (Next Generation Services - Servicios de Nueva Generación)  
 NT (Network Termination - Terminación de Red)  
 NTU (Network Termination Unit - Unidad de Terminación de Red)  
 OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplex – Multiplexación por División de Frecuencia Ortogonal)  
 OLT (Optical Line Termination - Terminación de Línea Óptica)  
 ONU (Optical Network Unit - Unidad de Red Óptica)  
 OPTIS (Overlapped PAM Transmission with Interlocking Spectrum - Transmisión PAM sobrelapada con Espectro Enclavado)  
 PAM (Pulse Amplitude Modulation - Modulación por Amplitud de Pulsos)

PBX (Private Branch eXchange – Central de Conmutación Privada)  
 PC (Personal Computer – Computador Personal)  
 PDA (Personal Digital Assitant - Asistente Digital Personal)  
 PINGs (Packed InterNet Groper)  
 PLC (Power Line Communication - Comunicación por la Línea de Potencia)  
 PON (Passive Optical Network – Red Óptica Pasiva)  
 POTS (Plain Old Telephone Service - Servicios de Telefonía Básica)  
 PPP (Point to Point Protocol – Protocolo Punto a Punto)  
 PSD (Power Spectral Density – Densidad espectral de Potencia)  
 PSTN (Public Switched Telephony Network - Red Telefónica Pública Conmutada)  
 PVC (Cloruro de Polivinilo)  
 QAM (Quadrature Amplitude Modulation - Modulación de Amplitud en Cuadratura)  
 QoS (Quality of Service - Calidad de servicio)  
 QPSK (Quadrature Phase Shift Keying – Codificación por cambio en la fase en cuadratura)  
 RADSL(Rate-Adaptive DSL - Línea Digital de Abonado de Velocidad Adaptativa)  
 RBOCs (North American Regional Bell Operating Companies)  
 RDI (Remote Defect Indicator - Indicación del Defecto Remoto)  
 RDSI (Red Digital de Servicios Integrados)  
 RF (Radio Frequency – Radio Frecuencia)  
 RFI (Radio Frequency Ingress – Ingreso de Radiofrecuencia)  
 RT (Remote Terminal – Terminal Remoto)  
 S/R (Signal/Noise – Relación Señal a Ruido)  
 SDH (Synchronous Digital Hierarchy - Jerarquía Digital Síncrona)  
 SDLC(Synchronous Data Link Control – Control del Enlace de Datos Síncrono )  
 SDSL (Symmetric DSL - Línea Digital de Abonado Simétrica)  
 SEC (Symetric Eco Cancelation - Cancelación de Eco Simétrica)  
 SG (Study Group - Grupos de Estudio)  
 SHDSL (Single-pair high-speed DSL - Línea Digital de Abonado de Alta Velocidad de un Solo Par)  
 SIP (Session Initiation Protocol – Protocolo de Iniciación de Sesión)  
 SLA (Service Level Agreements - Acuerdos de Nivel de Servicio)  
 SNA (Systems Network Architecture – Arquitectura de Redes de Sistema)  
 SNMP (Simple Network Management Protocol – Protocolo Simple de Gestión de Red)  
 SOHO (Small Office / Home Office - Pequeña Oficina / Oficina en el Hogar)  
 SRU (SHDSL Regenerator Unit - Unidad de Regeneración SHDSL)  
 SS7 (Sistema de Señalización No. 7)  
 STP (Shielded Twisted Pair - Pares trenzados apantallados)  
 T1(1.544Mbps)  
 TC-PAM (Trellis Coded Pulse Amplitude Modulation)  
 TDM (Time División Multiplexing – Multiplexación por División de Tiempo)  
 TDMA (Time División Multiple Access - Acceso Múltiple por División de Tiempo)  
 TDR (Time Domain Reflectometer – Reflectometro en el Dominio del Tiempo)  
 TRI (Telephony Return Interface - Interfaz de Retorno Telefónico)  
 UAWG (Universal ADSL Work Group - Grupo de Trabajo de ADSL Universal)  
 UDSL (User Digital Subscriber Line – DSL de Usuario)  
 UMTS (Universal Mobile Telecommunications System – Sistema Universal de Telecomunicaciones Móviles)  
 UTP (Unshielded Twisted Pair - Pares trenzados no apantallados)

VDSL (Very high-bit rate DSL - Línea Digital de Abonado de Muy Alta Velocidad)

VLAN (Virtual Local Area Network – Red de Área Local Virtual)

VPN (Virtual Private Network - Red Privada Virtual)

WAN (Wide Area Network - Red de Area Extensa)

WDM (Wavelength Division Multiplexing - Multiplexación por División de Longitud de Onda)

WLAN (Wireless Local Areal Network – Red de Area Local Inalámbrica)