



Universidad de San Carlos de Guatemala  
Facultad de Ingeniería  
Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica

**CONSIDERACIONES TÉCNICAS DE REDES DE PLANTA EXTERNA DE  
COBRE PARA IMPLEMENTACIÓN DE SERVICIOS ADSL**

**Mynor Fabricio Ramírez Melgar**

Asesorado por el Ing. Luis Manuel Ramírez Ramírez

Guatemala, noviembre de 2011

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**CONSIDERACIONES TÉCNICAS DE REDES DE PLANTA EXTERNA DE  
COBRE PARA IMPLEMENTACIÓN DE SERVICIOS ADSL**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA  
FACULTAD DE INGENIERÍA

POR

**MYNOR FABRICIO RAMÍREZ MELGAR**

ASESORADO POR EL ING. LUIS MANUEL RAMÍREZ RAMÍREZ

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

**INGENIERO ELECTRÓNICO**

GUATEMALA, NOVIEMBRE DE 2011

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
FACULTAD DE INGENIERÍA



**NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA**

DECANO	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
VOCAL I	Ing. Alfredo Enrique Beber Aceituno
VOCAL II	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
VOCAL III	Ing. Miguel Ángel Dávila Calderón
VOCAL IV	Br. Juan Carlos Molina Jiménez
VOCAL V	Br. Mario Maldonado Muralles
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

**TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO**

DECANO	Ing. Herbert René Miranda Barrios
EXAMINADOR	Ing. Mario Renato Escobedo Martínez
EXAMINADOR	Ing. Kenneth Ramiro Barnett Castellanos
EXAMINADOR	Ing. Aparicio Cuyán Noj
SECRETARIA	Inga. Gilda Marina Castellanos de Illescas

## **HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR**

En cumplimiento con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

### **CONSIDERACIONES TÉCNICAS DE REDES DE PLANTA EXTERNA DE COBRE PARA IMPLEMENTACIÓN DE SERVICIOS ADSL**

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica, con fecha noviembre de 2010.



Mynor Fabricio Ramírez Melgar

Guatemala 20 de Septiembre de 2011

Ingeniero:

Carlos Eduardo Guzmán Salazar

Coordinador Área Electrónica.

Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica

Estimado Ingeniero Carlos Guzmán

Me permito dar aprobación al trabajo de Tesis titulado: **Consideraciones Técnicas de Redes de Planta Externa de cobre para implementación de Servicios ADSL.** Desarrollado por el señor Mynor Fabricio Ramirez Melgar, por considerar que cumple con los requisitos establecidos.

Por tanto, el autor de esta tesis y, yo, como su asesor, nos hacemos responsables por el contenido y conclusiones de la misma.

Sin otro particular, aprovecho la oportunidad para saludarle.

Atentamente,



Ing. Luis Manuel Ramirez Ramirez

Colegiado 5153

Luis Manuel Ramirez Ramirez  
Ingeniero Electrónico  
Colegiado No. 5153



Ref. EIME 67. 2011  
Guatemala, 4 de OCTUBRE 2011.


Señor Director  
Ing. Guillermo Antonio Puente Romero  
Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica  
Facultad de Ingeniería, USAC.

Señor Director:

Me permito dar aprobación al trabajo de Graduación titulado:  
**CONSIDERACIONES TÉCNICAS DE REDES DE PLANTA  
EXTERNA DE COBRE PARA IMPLEMENTACIÓN DE  
SERVICIOS ADSL,** del estudiante Mynor Fabricio Ramírez  
Melgar, que cumple con los requisitos establecidos para tal fin.

Sin otro particular, aprovecho la oportunidad para saludarle.

Atentamente,  
ID Y ENSEÑAD A TODOS

  
Ing. Carlos Eduardo Guzmán Salazar  
Coordinador de Electrónica



CEGS/sro



REF. EIME 65. 2011.

El Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica, después de conocer el dictamen del Asesor, con el Visto Bueno del Coordinador de Área, al trabajo de Graduación del estudiante; MYNOR FABRICIO RAMÍREZ MELGAR titulado: CONSIDERACIONES TÉCNICAS DE REDES DE PLANTA EXTERNA DE COBRE PARA IMPLEMENTACIÓN DE SERVICIOS ADSL, procede a la autorización del mismo.

Ing. Guillermo Antonio Puente Romero



GUATEMALA, 14 DE OCTUBRE 2011.

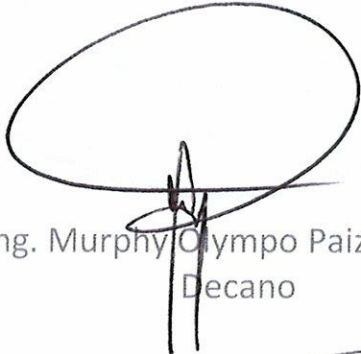




DTG. 452.2011

El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica, al trabajo de graduación titulado: **CONSIDERACIONES TÉCNICAS DE REDES DE PLANTA EXTERNA DE COBRE PARA IMPLEMENTACIÓN DE SERVICIOS ADSL**, presentado por el estudiante universitario **Mynor Fabricio Ramírez Melgar**, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE:



Ing. Murphy Olympo Paiz Récinos  
Decano

Guatemala, 2 de noviembre de 2011.



/gdech



## **ACTO QUE DEDICO A:**

- Dios** Por ayudarme a la realización de este trabajo, acompañarme y guiarme en todo momento de mi vida.
- Mis padres** Coralia Melgar de Ramírez y Carlos Ramírez, gracias a su esfuerzo, amor y apoyo incondicional pude completar mis estudios universitarios, este triunfo es para ustedes para compensar los sacrificios realizados.
- Mi familia** Débora e Isabel por su comprensión, amor y apoyo.
- Mis hermanos** Marlon y Gaby, un ejemplo a seguir.

## **AGRADECIMIENTOS A:**

<b>Empresa Claro</b>	Donde me ha permitido desarrollarme profesionalmente y realizar este trabajo, en especial al área de Operaciones Planta Interna Región Central.
<b>Ing. Manuel Ramírez</b>	Por su ayuda y asesoría para la realización de este trabajo de graduación.
<b>Ing. Erick Ávila</b>	Por su ayuda en este trabajo de graduación.
<b>Universidad de San Carlos</b>	Por ser la casa de estudios superiores la cual me formo como profesional.
<b>Personal técnico de Claro</b>	Del área de Escuintla por su colaboración y aporte técnico.





1.3.	Arquitectura de una red ADSL .....	17
1.3.1.	Componentes de red.....	18
1.3.2.	Diagrama de red ADSL.....	19
1.3.3.	Multiplexor de línea de abonado digital asimétrica (DSLAM) .....	20
1.3.3.1.	Descripción.....	20
1.3.3.2.	Estructura y tarjetas de equipo.....	21
1.3.3.3.	MÓDEM ATU-C ( <i>ADSL Terminal Unit Central</i> ).....	23
1.3.3.4.	MÓDEM ATU-R ( <i>ADSL Terminal Unit Remote</i> ).....	24
1.3.4.	CPE ( <i>Customer Premises Equipment</i> ).....	24
1.3.4.1.	Descripción.....	24
2.	CODIFICACIÓN DE LÍNEA ADSL .....	27
2.1.	Descripción.....	27
2.2.	Modulación Digital... ..	27
2.2.1.	Modulación ASK.....	27
2.2.2.	Modulación QAM.....	28
2.2.3.	Modulación FSK.....	33
2.3.	Modulación CAP ( <i>Carrierless amplitude/phase</i> ). .....	34
2.3.1.	Descripción .....	35
2.3.2.	Espectro de frecuencia .....	36
2.3.3.	Niveles de potencia.....	47
2.4.	Modulación Discreta Multitono (DMT).....	38
2.4.1.	Descripción .....	38
2.4.2.	Espectro de frecuencia del subcanal y señal compuesta DMT. ....	40
2.4.3.	Capacidad de Modulación DMT .....	43

2.4.4.	Capacidad de canales portadores.....	43
2.4.5.	ATU-C/R para transporte ATM.....	50
2.4.6.	ATU-C (ADSL <i>Terminal unit-central</i> ).....	51
2.4.6.1.	Densidad espectral de potencia.....	51
2.4.6.2.	Transmisor.....	53
2.4.7.	ATU-R (ADSL <i>Terminal unit-remote</i> ).....	54
2.4.7.1.	Densidad espectral de potencia.....	54
2.4.7.2.	Transmisor.....	55
2.4.8.	Comparativa modulación CAP y DMT.....	56
2.4.8.1.	Comparación entre métodos de modulación ..	56
3.	RED DE DISTRIBUCIÓN DE PLANTA EXTERNA .....	59
3.1.	Conceptos básicos .....	59
3.2.	Diagrama de red de planta externa.....	61
3.3.	Tipos de redes de distribución.....	64
3.3.1.	Red primaria.....	65
3.3.2.	Red secundaria .....	66
3.3.3.	Línea de abonado.....	66
3.3.4.	Línea multipar de abonado.....	67
3.4.	Parámetros eléctricos de conductor metálico de dos hilos.....	68
3.4.1.	Descripción.....	68
3.4.2.	Circuito eléctrico de línea de transmisión.....	68
3.4.3.	Capacidad de transmisión de bucle metálico .....	72
3.4.4.	Función de transferencia del par de cobre telefónico.....	73
3.4.4.1.	Resistencia de par de cobre telefónico .....	75
3.4.4.2.	Capacitancia de par de cobre telefónico.....	77
3.4.4.3.	Inductancia de par de cobre telefónico .....	77
3.4.5.	Paradiafonía (NEXT) y telediafonía (FEXT) .....	78
3.4.5.1.	Ruido crosstalk (Diafonía).....	78

3.4.5.1.1.	Near end crosstalk (NEXT).....	79
3.4.5.1.2.	Far end crosstalk (FEXT).....	79
3.4.6.	Calibres de cables usados en redes de planta externa...	82
3.4.7.	Capacidad de cable multipar.....	84
4.	MEDICIÓN DE SERVICIOS DE TECNOLOGÍA ADSL.....	85
4.1.	Descripción.....	85
4.2.	Medición de línea de abonado digital ADSL.....	96
4.3.	Medición de parámetros eléctricos de línea de abonado digital ....	96
4.3.1.	Descripción de mediciones .....	87
4.3.2.	Resistencia de bucle .....	88
4.3.3.	Aislamiento.....	90
4.3.4.	Longitud de línea.....	92
4.3.5.	Capacitancia .....	94
4.3.6.	Balance longitudinal .....	94
4.3.7.	Voltajes AC y DC .....	97
4.3.8.	Ruido de fondo.....	100
4.3.9.	Relación señal a ruido.....	102
4.4.	Mediciones de Parámetros de subida y bajada de transmisión de datos.....	104
4.4.1.	Máxima velocidad de subida.....	105
4.4.2.	Máxima velocidad de bajada.....	105
4.4.3.	Velocidad de subida.....	105
4.4.4.	Velocidad de bajada.....	106
4.4.5.	Capacidad de uso del canal de subida .....	106
4.4.6.	Capacidad de uso del canal de bajada .....	106
4.4.7.	Atenuación .....	107
4.4.8.	Nivel de señal a ruido.....	110
4.4.9.	Segundo erróneos.....	110



4.4.10.	Segundos severamente erróneos .....	110
5.	CERTIFICACIÓN DE RED DE COBRE PARA SERVICIOS ADSL.....	111
5.1.	Importancia de certificación de red de planta externa.....	111
5.2.	Método para certificación de red de planta externa .....	112
5.2.1.	Descripción de método de certificación .....	112
5.2.1.1.	Precalificación de servicio.....	114
5.2.1.2.	Medición de línea de cobre.....	114
5.2.1.3.	Medición de parámetros ADSL .....	116
5.2.1.4.	Medición de parámetros ADSL en CPE.....	117
5.2.2.	Diagrama de conexiones para mediciones ADSL .....	117
5.2.3.	Equipos utilizados para medición de redes ADSL .....	119
5.2.3.1.	Equipo de medición Cables shark .....	119
5.2.3.2.	Colt 450 .....	120
5.3.	Mediciones experimentales .....	121
5.3.1.	Mediciones de parámetros eléctricos de redes de cobre.....	122
5.3.1.1.	Precalificación del circuito de pruebas ADSL. ....	123
5.3.1.2.	Mediciones de línea de cobre de prueba ADSL. ....	123
5.3.2.	Medición de parámetros de subida y bajada de circuito de prueba ADSL.....	124
	CONCLUSIONES .....	127
	RECOMENDACIONES.....	129
	BIBLIOGRAFÍA.....	131



## ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

### FIGURAS

1. Arquitectura de Red HDSL operando a 1,544 Kbps .....	4
2. Arquitectura de Red HDSL operando a 2,048 Kbps .....	4
3. Arquitectura de una Red SHDSL .....	6
4. Espectro de frecuencia de canales ADSL .....	12
5. Filtros en sistemas ADSL.....	13
6. Espectro de frecuencias de ADSL y ADSL2+ .....	14
7. Velocidades de operaciones de versiones ADSL .....	16
8. Interconexión de equipos en una red ADSL .....	18
9. Arquitectura de Red ADSL.....	19
10. Arquitectura básica de DSLAM.....	21
11. Distribución de componentes de un DSLAM .....	23
12. Conexión de CPE en red ADSL.....	25
13. Modulación ASK .....	38
14. Modulador y demodulador 16-QAM.....	30
15. Diagrama de constelaciones QAM .....	31
16. Modulación de señal FSK.....	34
17. Modulador y demodulador CAP.....	35
18. Espectro de frecuencias de modulación CAP.....	37
19. Frecuencias de operación ADSL con modulación DMT .....	41
20. Número de bits en función de relación señal a ruido .....	44
21. Densidad espectral de potencia ATU-C.....	52
22. Diagrama de transmisor ATU-C.....	53
23. Densidad espectral de potencia ATU-R.....	54

24.	Diagrama de transmisor ATU-R .....	55
25.	Conexiones del MDF o distribuido principal .....	62
26.	Red de distribución de planta externa .....	63
27.	Circuito eléctrico del par de cobre telefónico.....	69
28.	Función de transferencia de voltaje del par telefónico .....	74
29.	Funciones de transferencia múltiples de par de cobre .....	75
30.	Ruidos de diafonía NEXT y FEXT sobre el par de cobre .....	81
31.	Diagrama de mediciones ADSL .....	87
32.	Medición de resistencia de bucle .....	88
33.	Medición de aislamiento .....	90
34.	Cálculo de balance longitudinal.....	95
35.	Medición de balance longitudinal .....	97
36.	Medición de voltajes AC y DC en un par de cobre .....	98
37.	Filtro G – ADSL .....	101
38.	Medición de relación de señal a ruido en un subcanal.....	103
39.	Atenuación de canales de subida y bajada ADSL.....	109
40.	Puntos de medición para certificación de circuitos ADSL .....	113
41.	Conexión de equipos para medición de línea de cobre.....	118
42.	Conexión de equipos para medición de parámetros ADSL .....	119
43.	Equipo de medición <i>CableShark</i> .....	120
44.	Equipo de medición Colt450.....	121

## TABLAS

I.	Distancias de operación de HDSL.....	5
II.	Canales y ancho de banda de ADSL.....	11
III.	Comparativa de tecnologías ADSL, ADSL2 y ADSL2+ .....	17
IV.	Eficiencias de ancho de banda de QAM.....	32
V.	Niveles de señal a ruido para un BER de $10^{-6}$ .....	33

VI.	Frecuencias de operación de modulación CAP .....	37
VII.	Ventajas de modulación DMT .....	39
VIII.	Subcanales y frecuencias de señal DMT .....	42
IX.	Comparación entre modulación CAP y DMT .....	57
X.	Características eléctricas de cables de cobre .....	67
XI.	Cálculo de coeficientes R (a 20°C) .....	76
XII.	Tangente de pérdidas, Tan $\delta$ para cálculo de G (a 20°C).....	77
XIII.	Cálculo de coeficientes L (a 20°C).....	78
XIV.	Cables de cobre para redes de planta externa .....	83
XV.	Capacidad en pares de cobre de de cable multipar .....	84
XVI.	Capacidad en pares de cobre de de cable multipar .....	91
XVII.	Valores de balance longitudinal .....	96
XVIII.	Valores aceptables de voltaje en un par de cobre .....	99
XIX.	Relación señal a ruido y asignación de bits en subcanal.....	103
XX.	Perfiles de velocidad y atenuación de ADSL .....	108
XXI.	Mediciones para certificación de circuitos ADSL .....	113
XXII.	Mediciones de línea de cobre .....	115
XXIII.	Medición de parámetros ADSL .....	116
XXIV.	Datos técnicos de circuito de prueba ADSL.....	122
XXV.	Resultados de mediciones de circuito de prueba ADSL .....	124
XXVI.	Medición de parámetros de subida y bajada circuito ADSL.....	126



## GLOSARIO

<b>AAL</b>	<i>ATM Adaptation Layer</i> , capa de adaptación ATM.
<b>AAL5</b>	<i>ATM Adaptation Layer 5</i> , capa de adaptación ATM 5.
<b>ADSL</b>	<i>Asymmetric digital subscriber line</i> , línea de abonado digital asimétrica, es un tipo de DSL la cual consiste en una línea de datos de alta velocidad que utiliza un par de cobre trenzado de una línea telefónica convencional.
<b>ANSI</b>	<i>American National Standards Institute</i> , es la organización ubicada en los Estados Unidos de América encargada de definir los estándares.
<b>ANSI T1.413</b>	Estándar de la ANSI para los servicios ADSL en Estados Unidos de América.
<b>ATM</b>	<i>Asynchronous Transfer Mode</i> , significa modo de transferencia asincrónica. Es una tecnología para transmisión de datos que utiliza celdas de 53 bytes para el transporte de datos.
<b>AWG</b>	<i>American Wire Gauge</i> , medida del diámetro de un alambre conductor de electricidad.



<b>Baudio</b>	Cantidad de símbolos por segundo enviados en un canal de transmisión, donde los símbolos son información digital modulada digitalmente.
<b>CAP</b>	<i>Carrierless amplitude/phase</i> , tipo de modulación de amplitud en cuadratura usado en tecnologías DSL.
<b>CO</b>	<i>Central Office</i> , oficina central donde se encuentra instalado equipo de Telecomunicaciones.
<b>CPE</b>	<i>Customer Premises Equipment</i> , cualquier equipo electrónico de un sistema de comunicaciones instalado en casa del cliente o empresa.
<b>Crosstalk</b>	Interferencia por canal o tecnología adyacente en un par de cobre.
<b>Diafonía</b>	Se dice que hay diafonía cuando la señal de un par de cobre aparece en otro par de cobre, debido a acoplamiento capacitivo o inductivo.
<b>Dial Up</b>	Enlace que es creado usando la red de telefonía pública ó PSTN <i>public switch telephone network</i> para conectar computadoras usando módems a servidores o redes locales de datos.

<b>DMT</b>	<i>Discrete multitone technique</i> , es un método para transmisión de datos usando pares de cobre trenzados los cuales dividen el rango de frecuencia disponible en subcanales ó tonos, ADSL usa DMT como técnica para codificación de línea que divide la frecuencia de 0 a 1 104 MHz en 256 canales.
<b>Downstream</b>	Dirección de flujo de datos que va de la central telefónica ó nodo de comunicaciones hacia las instalaciones del cliente.
<b>DSL</b>	<i>Digital subscriber line</i> , término genérico que se aplica a la familia entera de tecnologías DSL, como HDSL, SDSL, ISDL y ADSL.
<b>DSLAM</b>	<i>Digital subscriber line access multiplexer</i> , es un elemento de red típicamente instalada en una central telefónica o cuarto de comunicaciones, el cual concentra múltiples conexiones DSL de suscriptores, y transmite el tráfico a través de una red de alta velocidad para conectarse al proveedor de servicios de internet.
<b>E1</b>	Formato de transmisión digital, el cual puede transportar información a una velocidad de 2 048 Mbps.

<b>FDM</b>	<i>Frequency división multiplexing</i> , es un tipo de multiplexación usado en sistemas de transmisión analógicos, consiste en enviar la información en varias portadoras a diferentes frecuencias en el canal de información.
<b>FEXT</b>	<i>Far end crosstalk</i> , diafonía de extremo lejano.
<b>G.lite</b>	Versión de ADSL que opera a velocidades de bajada de hasta 1 536 Mbps, y de subida hasta 512 Kbps, no usa <i>splitter</i> .
<b>HDSL</b>	<i>High bit rate digital subscriber line</i> , línea de abonado digital de alta velocidad, es una variación de tecnología DSL usada para transmisión de datos de banda ancha usada entre compañías telefónicas y abonados, siendo su principal característica que es simétrica en la transmisión de subida y de bajada, usando uno o dos pares de cobre.
<b>IEEE</b>	<i>Institute of Electrical and Electronics Engineers</i> .
<b>Internet</b>	Red de redes a nivel mundial, interconectada por medio de protocolos de interconexión de redes, la cual provee servicios de transferencia de archivos, acceso remoto, correo electrónico y otras aplicaciones.

<b>IP</b>	<i>Internet Protocol</i> , Protocolo de internet.
<b>ISDN</b>	<i>Integrated Services Digital Network</i> , tecnología predecesora de la familia DSL que pueden ofrecer hasta 128 Kbps en modo simétrico.
<b>Kbps</b>	Kilobits por segundo.
<b>LTU</b>	<i>Line termination unit</i> , unidad de terminación de línea, es el equipo que se encuentra instalado en nodo de comunicaciones o central telefónica, usado para servicios HDSL operando a velocidades de 2 048 Kbps.
<b>Mbps</b>	Megabits por segundo.
<b>MDF</b>	<i>Main Distribution Frame</i> , ubicación dentro una central telefónica donde se concentran los cables de cobre que se conectan a la central telefónica y donde salen hacia las ubicaciones de los usuarios finales del servicio.
<b>Módems</b>	Equipo electrónico que convierte señal digitales en análogas las cuales son enviadas a través de líneas telefónicas.
<b>NEXT</b>	<i>Near end crosstalk</i> , diafonía de extremo cercano.

<b>NTU</b>	<i>Network termination unit</i> , unidad de terminación de línea, equipo instalado en las instalaciones del cliente y es usado para servicios HDSL, operando a velocidades de 2 048 Kbps.
<b>Par de cobre</b>	Par de hilos de cobre trenzado utilizado para enlazar a un usuario de telefonía a una central telefónica.
<b>PING</b>	Es una utilidad de diagnóstico en redes de computadoras que comprueba el estado de la conexión del host local con uno ó varios equipos remotos de una red TCP/IP por medio del envío de paquetes de solicitud y de respuesta.
<b>POTS</b>	<i>Plain Old Telephone Service</i> , función principal de una red de telefónica que ofrece servicios de canales de voz, toma cerca de 4 KHz de ancho de banda en un par trenzado de cobre.
<b>QAM</b>	<i>Quadrature amplitude modulation</i> , modulación por amplitud de cuadratura, tipo de modulación digital que transporta datos cambiando la amplitud de la onda portadora.
<b>Reed Solomon</b>	Es un estándar de detección y corrección de errores que protegen la información contra errores en los datos transmitidos sobre un canal de comunicaciones.

<b>SHDSL</b>	<i>Symmetrical high-speed digital subscriber line</i> , línea de abonado digital simétrica de alta velocidad.
<b><i>Splitter</i></b>	Filtro utilizado para separar señales ADSL de las de líneas telefónicas.
<b>Subcanal</b>	Son los canales portadores de información de bits de 4 KHz de ancho de banda de una señal ADSL, ADSL2 o ADSL2+.
<b>T1</b>	Formato de transmisión digital, el cual puede transportar información a velocidades de 1 544 Mbps.
<b>TC-PAM</b>	Método de codificación de línea denominada Codificación Trellis por modulación de ancho de pulso.
<b>Traceroute</b>	Es una consola de diagnóstico de redes de Linux que permite seguir la pista de los paquetes que vienen desde un <i>host</i> (punto de red).
<b>UIT</b>	Unión Internacional de Telecomunicaciones.
<b><i>Upstream</i></b>	Dirección de flujo de datos que va de las instalaciones físicas del cliente hacia el nodo de telecomunicaciones o la central telefónica.

**xDSL**

Nombre genérico para tecnología de abonado digital, la x es una variable que es reemplazada de acuerdo a la variedad de DSL como HDSL, SDSL, ISDL y ADSL.

**2B1Q**

Método de codificación de línea que representa 2 bits (2B) como un símbolo cuaternario (1Q).



## RESUMEN

El presente trabajo de graduación expone las consideraciones técnicas de redes de planta externa de cobre para la implementación de servicios ADSL (subscriptor de línea digital asimétrica). Se describen las tecnologías xDSL utilizadas y sus estándares de funcionamiento de acuerdo a la Unión Internacional de Telecomunicaciones (UIT); en el caso de ADSL se detalla la arquitectura de red y codificación de línea utilizada para esta tecnología, que es modulación discreta multitono DMT la cual utiliza múltiples portadoras o subcanales para el envío de información.

ADSL usa como medio de transmisión la red de planta externa de cobre que fue diseñada originalmente para servicios de tecnología, por lo que se presentan los tipos de redes existentes, como es la conexión desde la central telefónica hasta el usuario final del servicio. Se analiza el modelo matemático de la función de transferencia de una señal transmitida en un par de cobre, ya que para entender las limitantes de esta tecnología es necesario comprender como viaja esta señal y como por la distancia del enlace se atenúa, siendo esta la limitante para la velocidad de operación.

La red de planta externa de cobre usada para transmisión de datos usando tecnología ADSL, tiene parámetros eléctricos que en conjunto tienen que ser analizados, por lo que se determinara la forma de ser medidos para determinar el estado de la red de planta externa.

Los parámetros eléctricos que serán analizados son: resistencia de bucle, aislamiento, longitud de la línea, balance longitudinal, voltajes de AC y DC, ruido de fondo y relación señal a ruido.

ADSL tiene parámetros de funcionamiento los cuales se describirán y se indicaran la forma de ser medidos, para determinar la capacidad de transmisión, siendo estos: máxima velocidad de subida y bajada, velocidad de subida y bajada la que es conocida como *upstream* y *downstream* respectivamente, capacidad de uso del canal de subida y de bajada, atenuación, nivel de señal a ruido, segundos erróneos y segundos severamente erróneos.

Finalmente se describirá el proceso de certificación de una red de planta externa con la finalidad de determinar si está o no en condiciones de operación para servicios ADSL.

Para realizar la certificación de la red de cobre se utilizaran dos procedimientos, el primero será evaluar los parámetros eléctricos de la red de cobre y compararlos contra los valores de referencia y, el segundo la medición de los parámetros de la tecnología ADSL que también serán comparados con valores nominales de funcionamiento, en base a los resultados obtenidos de estos dos grupos de mediciones se determinara si la red de cobre está en condiciones o no de operar con la tecnología ADSL.

# OBJETIVOS

## General

Determinar el proceso de certificación de una red de planta externa de cobre, para la implementación de servicios de transmisión de datos utilizando la tecnología ADSL, línea de subscritor digital asimétrica.

## Específicos

1. Describir el funcionamiento de la tecnología ADSL.
2. Identificar los elementos de una red ADSL.
3. Conocer los estándares de ADSL.
4. Investigar los parámetros eléctricos de una línea de abonado necesarios para la operación de servicios ADSL.
5. Describir el proceso de certificación de una red de cobre para servicios ADSL.



## INTRODUCCIÓN

Actualmente existe gran demanda de servicios de datos e internet, para satisfacer esta demanda se pueden utilizar enlaces de fibra óptica, radioenlaces o la tecnología ADSL, la cual presenta muchas ventajas como lo es el tiempo de implementación de los servicios y la característica que su operación es asimétrica, donde el flujo de datos funciona a diferentes velocidades para la solicitud y el envío de la información, lo que la hace apropiada para servicios de internet.

En el caso de la tecnología de línea de abonado digital asimétrica, conocida como ADSL, se utiliza como medio de transmisión una infraestructura ya existente por parte de las compañías telefónicas, utilizada para servicios de voz o telefonía fija. Esta es la red de planta externa de cobre, la cual es necesario evaluar y certificar antes de ser utilizada para ofrecer servicios de transmisión de datos. Al hacer uso de esta red de distribución ya existente se logra un ahorro significativo y disminución en el tiempo de instalación de servicios de datos, la inversión consiste en los equipos que se instalan en la central telefónica y el usuario final del servicio.

Es necesario el estudio de la tecnología ADSL para comprenderla y de esta forma capacitar al personal técnico para que puedan hacer uso de los equipos de medición para certificar y medir este tipo de circuitos, para poder determinar si la red está en condiciones o no de prestar un servicio de datos.



# 1. TECNOLOGÍA xDSL

## 1.1. Descripción de tecnología xDSL

La creciente demanda de servicios de datos e internet de alta velocidad hace necesario la evolución de las redes de telecomunicaciones para ofrecer estos servicios, una de las soluciones que se tiene es el uso de la tecnología DSL (*Digital Subscriber Line*), la cual utiliza infraestructura ya instalada como la red de distribución de cobre empleada por las compañías telefónicas que prestan servicios de voz.

DSL es una tecnología de banda ancha que envía información digital usando la red de distribución de planta externa, la cual es referida como par de cobre o línea de cobre. Las aplicaciones de la tecnología DSL son usadas hoy en día, para ofrecer solución de conectividad, para servicios de datos e internet, para uso residencial y empresarial.

DSL en general describe la tecnología, mientras xDSL representa la familia tecnológica DSL, la x indica la velocidad y aplicación, hay que notar que las velocidades de operación de esta familia ahora se refieren a simétricos y asimétricos.



Los circuitos asimétricos operan a la misma velocidad de subida y bajada, mientras que los simétricos lo hacen a diferentes velocidades de subida y bajada.

Comparado a los módems analógicos (como por ejemplo los que se utilizaban discados a 56 Kbps/V.92), DSL logra mayores velocidades de operación haciendo uso del ancho de banda disponible del par de cobre. Los servicios de telefonía residencial (líneas telefónicas) hacen uso limitado de frecuencias de hasta 3 400 Hz.

Aunque a un ancho de banda de 3 400 Hz es más que suficiente para la transmisión de voz analógica de una calidad razonable, DSL suministra entre 256 Kbps y 16 Mbps, permitiendo la transmisión simultánea de voz y datos de alta calidad.

### **1.1.1. Tecnologías xDSL**

La familia de tecnología xDSL es muy amplia por lo que se tratarán las más utilizadas hoy en día indicando las características y velocidades de operación. Varios tipos de DSL han sido diseñados para operar sobre uno o dos pares de cobre, por ejemplo HDSL (*High bit rate digital subscriber line*) fue diseñada para operar como una tecnología de dos pares, mientras que ADSL (*Asymmetrical digital subscriber line*) fue concebida para operar sobre un par de cobre.

La tecnología ADSL fue creada para que coexistiera con el mismo par de cobre como la transmisión de voz analógica, permitiendo a los usuarios hacer uso de la línea telefónica existente.

En la familia de estas tecnologías se encuentran ISDN (*Integrated-Services Digital Network*), HDSL, SHDSL (*Symmetrical high-speed digital subscriber line*) y ADSL, de estas tecnologías ISDN hoy en día es muy poco utilizada por su limitación de ancho de banda para transmisión de datos, en contraste con las otras tecnologías que hoy en día son ampliamente usadas por sus velocidades de operación.

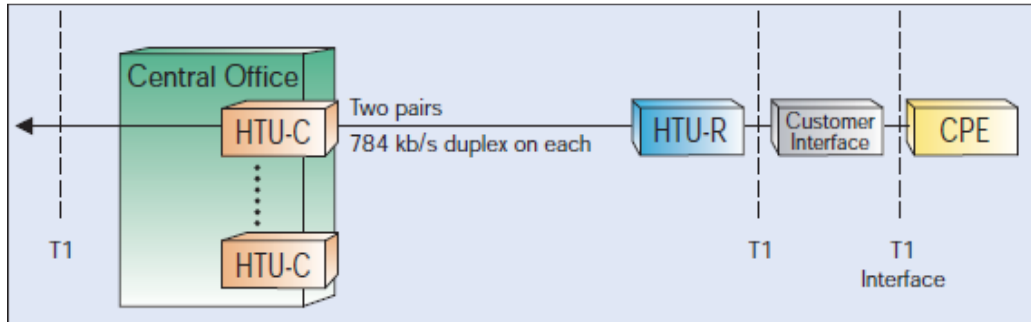
#### **1.1.1.1. Línea de abonado digital de alta velocidad (HDSL)**

Es una variación de la tecnología DSL la cual se le conoce como HDSL siendo su característica principal que la transmisión es simétrica. La mayoría de los equipos de transmisión usan uno o dos pares trenzados de cobre, aunque los primeros equipos o módems HDSL usaban tres pares para sistemas E1.

Debido a las que las velocidades de operación y estructuras de trama se igualan a los usados por los sistemas E1 o T1, las compañías telefónicas han estado utilizando esta tecnología para el suministro de estos servicios de datos.

El equipamiento de HDSL está formado por la unidad que se ubica en la central telefónica o CO (*Central Office*) la cual es conocida como HTU-CO para sistemas T1 y LTU (*Line termination unit*) para sistemas E1, la unidad que se ubica en las instalaciones del cliente se le llama HTU-R para sistemas T1 y NTU (*Network termination unit*) para sistemas E1. En la figura 1 se muestra la arquitectura de una red HDSL operando a 1,544 Mbps.

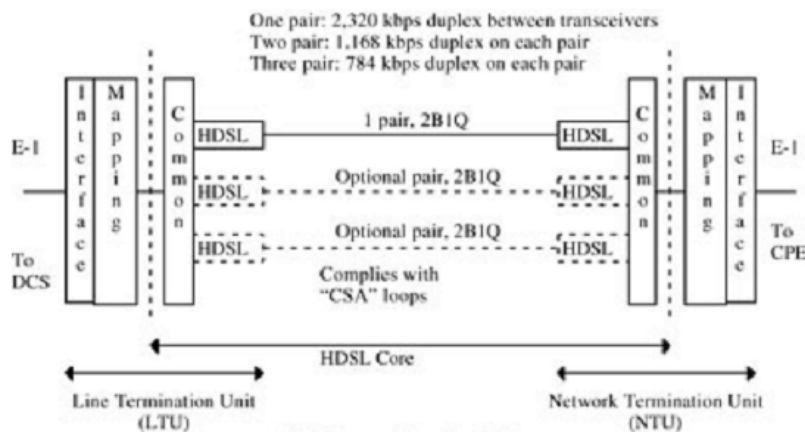
Figura 1. **Arquitectura de Red HDSL operando a 1,544 Mbps**



Fuente: EXFO. Local-Loop and DSL Testing Guide, p. 20.

En las aplicaciones de transmisión de datos operando a 2 048 Kbps, el enlace de datos HDSL entre el LTU y NTU utiliza un par trenzado de cobre, la codificación de línea usada es 2B1Q y los módems HDSL pueden operar con uno o dos pares de cobre. En la figura 2 se muestra la arquitectura de una red HDSL operando a una velocidad de 2 048 Kbps.

Figura 2. **Arquitectura de Red HDSL operando a 2 048 Kbps**



Fuente: GORALSKI, Walter. ADSL and DSL Technologies, p. 605.

El utilizar uno o dos pares de cobre para el enlace de datos dependerá de la calidad del par trenzado, en condiciones que sean adecuadas se usará un par, en el caso de no ser así se usarán dos pares los cuales operarán cada uno a menor velocidad de operación.

La distancia de funcionamiento del enlace de datos HDSL depende principalmente de la distancia del enlace entre la central telefónica o nodo de comunicaciones y las instalaciones del usuario final o cliente, en la Tabla I. Se detalla la relación del calibre del conductor de cobre y la distancia en kilómetros a la cual se puede enviar información.

Tabla I. **Distancias de operación de HDSL**

<b>Calibre de cable de Cobre (AWG)</b>	<b>Distancia (km)</b>
26	2.7
24	3.6
22	7.9

Fuente: elaboración propia.

#### **1.1.1.2. Línea de abonado digital de alta velocidad simétrica (SHDSL)**

Es una tecnología similar a HDSL y se le conoce como SHDSL (*Symmetrical high-speed digital subscriber line*) la cual opera en uno o dos pares de cobre de forma simétrica, pero a mayores velocidades de operación.



Las distancias de operación de esta tecnología son las mismas que las utilizadas por HDSL como se mostró en la tabla I.

#### **1.1.1.3. Línea de abonado digital asimétrica (ADSL)**

ADSL es hoy en día una de las tecnologías de línea de abonado digital más usadas, está definida por la norma UIT-T G.992.1, siendo su principal aplicación el acceso a servicios de internet, esto debido a que hace uso de la infraestructura de red de cobre ya instalada y que fue originalmente diseñada para servicios de telefonía residencial. ADSL tiene la característica principal de ser un sistema asimétrico, lo que significa que tiene diferente velocidad para la transmisión y recepción de datos.

Los rangos de bajada de datos (*Downstream*) van desde 256 Kbps hasta 8 Mbps, mientras que para la subida de datos (*Upstream*) van desde 16 Kbps hasta 1,3 Mbps. La técnica de codificación utilizada para ADSL es modulación discreta multitono (DMT).

#### **1.1.1.4. G. Lite**

Es una versión de ADSL conocida como ADSL *Lite* la cual está definida por el estándar UIT-T G.992.2 operando a una velocidad de subida de hasta 512 Kbps y de bajada hasta 1,536 Mbps, se caracteriza porque no usa *splitter*.

#### **1.1.1.5. Línea de Abonado Digital Asimétrica 2 (ADSL2)**

La Segunda Generación de ADSL, la ADSL2 fue aprobada por la UIT (Unión Internacional de Telecomunicaciones), mediante los estándares G.992.3 y G.992.4 conocidos como G.dmt.bis y G.lite.bis respectivamente. Esta tecnología de banda ancha mejora la velocidad de transferencia de datos, ya que permite una velocidad de hasta 12 Mbps de bajada y 1 Mbps de subida. La Tecnología ADSL2 agrega nuevas características y funcionalidad dirigidas a mejorar el desempeño y la interoperabilidad de los servicios DSL.

Además incluye soporte para nuevas aplicaciones y servicio, debido a que incluye mejoras en aspectos como adaptación de la velocidad de conexión, supervisión en el estado de la conexión y mejoras en la gestión de energía.

Es una versión mejorada de ADSL con mejoras en las velocidades de operación. Descrita en los estándares UIT-T G.992.3 y UIT-T G.992, ADSL2 puede ofrecer la misma tasa de transferencia de bits a mayores longitudes de cobre, incluye también diagnósticos al par trenzado de cobre, los módems ADSL2 son compatibles con los utilizados con ADSL.

ADSL2 ha sido específicamente diseñada para mejorar ampliamente la tasa de transferencia de datos y distancia de alcance de ADSL, adquiriendo un mejor desempeño en línea de transmisión largas, ante la presencia de interferencia de banda angosta.

ADSL2 provee una mejor eficiencia de modulación, utilizando la codificación Trellis de 16 estados y cuatro dimensiones con la modulación por amplitud por cuadratura con constelación de un bit, lo cual provee mayores tasas de transferencia de datos en líneas de transmisión de cobre largas donde la razón de señal a ruido (*SNR*) es baja.

Además esta tecnología hace uso de eficientes mecanismos que reducen la atenuación de la señal debido a la distancia, así como los fenómenos de diafonía presentes en los pares de cobre del tendido telefónico.

Las velocidades de operación del *Downstream* van desde 256 Kbps hasta 12 Mbps, mientras que para el *Upstream* van desde 16 Kbps hasta 1,0 Mbps. ADSL puede operar hasta distancias de 5,4 kilómetros en un par de hilos de cobre trenzado, aunque solamente las velocidades más bajas llegan hasta esta distancia.

#### **1.1.1.6. Línea de Abonado Digital Asimétrica 2+ (ADSL2+)**

ADSL2+ es un estándar establecido por UIT (Unión Internacional de Telecomunicaciones), denominado UIT-T G.992.5, la cual permite alcanzar una velocidad de bajada de mínima de 16 Mbps y máxima de 24 Mbps y una velocidad de subida de mínima 0,8 Mbps y máxima de 1,0 Mbps.

Esta tecnología es una versión mejorada de ADSL la cual permite mayores anchos de banda y menores interferencias, permitiendo aplicaciones como transferencia de video y televisión digital.



Una de las ventajas de de ADSL2+, es que al igual que ADSL2 facilita la corrección de errores en la línea de abonado , de modo que las compañías que puede monitorear en tiempo real el estado de la conexión y de esta manera prevenir fallas en el funcionamiento del servicio brindado a los abonados.

La técnica de codificación utilizada para esta versión de ADSL es Trellis de 16 estados y cuatro dimensiones, así como la modulación por amplitud por cuadratura (QAM) con constelación de un *bit*.

## **1.2. Línea de Abonado Digital Asimétrica (ADSL)**

ADSL es la tecnología de transmisión de datos más utilizada hoy en día para suministrar servicios de Internet y servicios de transmisión de datos, haciendo uso de red de cobre para servicios de telefonía fija.

### **1.2.1. Descripción**

La tecnología de transmisión de datos ADSL hace uso de una de las redes de transmisión más antigua instaladas como lo es la Red de Planta Externa de cobre la cual fue diseñada para servicios de telefonía fija. La utilización de la red de planta externa de cobre como medio de transmisión para tecnologías xDSL representa un ahorro significativo al momento de implementarlas, esto debido a que ya solo se necesita la implementación de los equipos de transmisión de datos en centrales telefónicas y el equipo en los usuarios finales del servicio.

## 1.2.2. Línea de Abonado Digital Asimétrica ADSL

La tecnología de transmisión de datos ADSL es usada principalmente para la entrega de servicio de transmisión de datos de alta velocidad para servicios de Internet, con la característica principal que se entrega un ancho de banda mayor para el *Downstream* (desde el proveedor de servicios de Internet al usuario final) que el *Upstream* (desde el usuario final del servicio hacia proveedor de servicios).

### 1.2.2.1. Descripción

La entrega de servicio ADSL necesitan un par trenzado de cobre para transportar un circuito de voz estándar o línea telefónica así como también un canal de datos.

Tres canales de información son creados en una señal ADSL como se muestra en la tabla II.

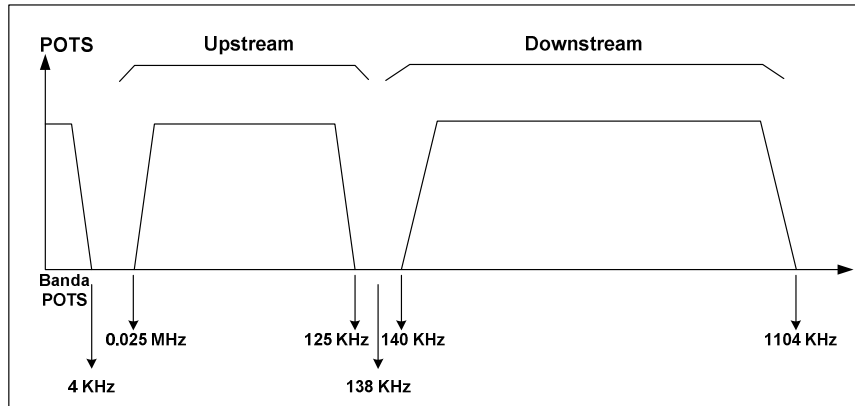
Tabla II. **Canales y ancho de banda de ADSL**

<b>Canal</b>	<b>Ancho de Banda</b>
De Voz o POTS ( <i>Plain Old Telephone Service</i> )	0 KHz a 4 KHz
De subida de datos o <i>Upstream</i>	25 KHz a 138 KHz
De bajada de datos o <i>Downstream</i>	138 KHz a 1 104 KHz

Fuente: elaboración propia.

En la figura 4 se muestra el espectro de frecuencias utilizados por los canales de una señal ADSL.

Figura 4. **Espectro de frecuencia de canales ADSL**



Fuente: Ingeniare. Revista Chilena de Ingeniería Vol.17 No. 1, 2009, p. 122.

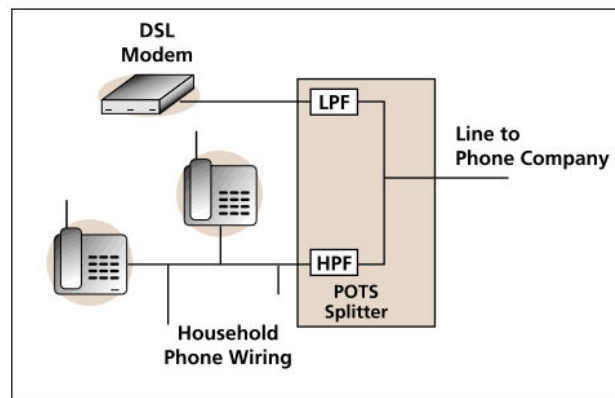
El espectro de frecuencias de *Upstream* y *Downstream* se divide cada uno en portadoras o subcanales que transportan información. A la velocidad de bajada desde la CO (*Central Office*) hacia las instalaciones del cliente se le llama *Downstream*, y a la velocidad de subida desde las instalaciones del cliente hacia el proveedor de servicios de Internet se le llama *Upstream*.

Por lo tanto, ADSL entrega mayor ancho de banda en el *Downstream* que el *Upstream*, esta característica es bastante útil ya que en los servicios de Internet el usuario recibe más datos de los que envía, de igual manera sucede con los sistemas basados en tecnología IP (*Internet Protocol*) o transmisión de paquetes. El canal POTS es separado de las señales ADSL utilizando un dispositivo pasivo conocido como *splitter* que consiste en un filtro pasa bajo y un filtro pasa alto, el cual separa las señales de baja frecuencia de POTS de las señales de alta frecuencia de ADSL.

El *splitter* también cumple la función de proteger la señal DSL de transientes originados de las señales POTS como los eventos de colgar y descolgar el teléfono y la señal de ringado, así como también se puede hacer uso simultaneo de servicios de voz y datos.

En la figura 5 se muestra la función de un *splitter* en la cual combina dos señales que son las que forman ADSL, voz y datos en un solo canal de transmisión esto a través de los filtros pasa alto (HPF, *High pass filter*) y pasa bajo (LPF, *Low pass filter*).

Figura 5. **Filtros en sistemas ADSL**



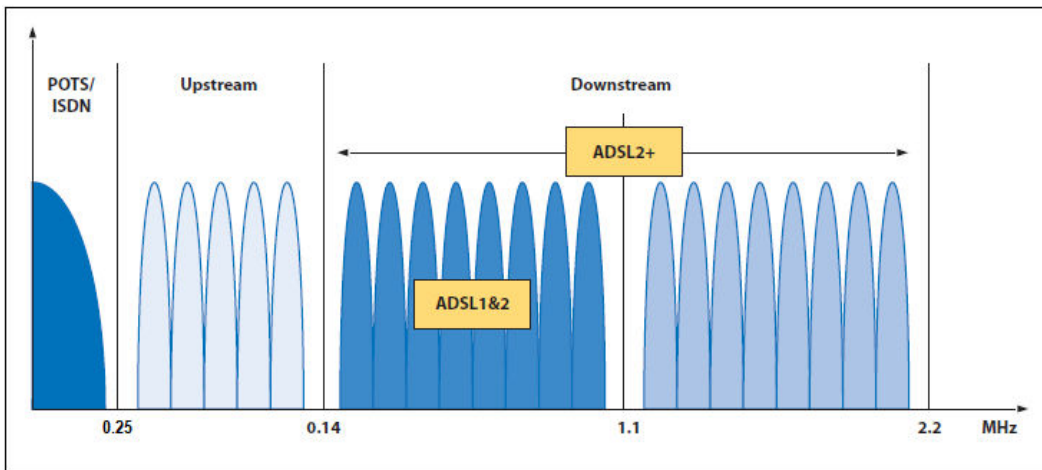
Fuente: LANE, Jim. Personal Broadband Services: DSL and ATM, p. 50.

El uso del *splitter* permite el uso simultáneo de servicios de voz y servicios de datos generalmente internet, esto se logra debido a que las señales ADSL ocupan una banda de frecuencia alta con respecto a las señales POTS.

Típicamente ADSL utiliza el espectro de frecuencias que va de 25 KHz a 1 104 KHz, mientras que las señales POTS usa la banda de 300 Hz a 3 400 Hz, para el caso de ADSL2+ el ancho de banda utiliza frecuencias desde los 25 KHz hasta 2 200 MHz.

En la figura 6 se muestra el espectro de frecuencias de una señal ADSL y ADSL2+, donde se puede observar que el ancho de banda de la señal del *Upstream* es el mismo para ambas señales, para el *Downstream* el ancho de banda varia, ADSL2+ tiene el doble que ADSL y ADSL2.

Figura 6. **Espectro de frecuencias de ADSL y ADSL2+**



Fuente: JDSU, Triple-play Service Deployment, p. 225.

Dos tipos de codificación de línea existen para ADSL, la primera técnica utilizada fue el sistema de modulación CAP (*carrierless amplitude/phase*). Esta técnica de modulación es muy similar a la utilizada por los módems discados (*Dial up*).

Hoy en día, prácticamente todos los DSLAM (*Digital Subscriber Line Acces Multiplexer*) y Modems ADSL usan la técnica de codificación DMT (Modulación Discreta Multitono).

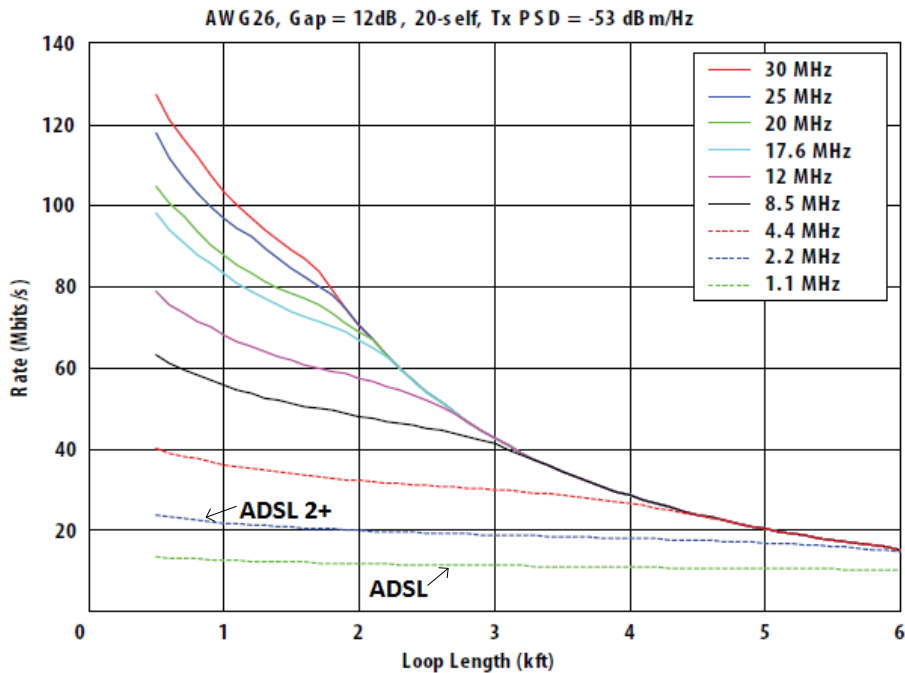
#### **1.2.2.2. Velocidades de operación**

La tasa de transferencia de datos depende de varios factores como:

- a) Longitud de la línea de cobre
- b) Calibre de cable de par trenzado
- c) Aterrizaje apropiado de la red de distribución de cobre
- d) Características del par de cobre trenzado

El desempeño del par trenzado de cobre aumenta conforme la longitud de la línea es reducida o se aumento el calibre del par trenzado de cobre. Las velocidades de operación aproximadas de las versiones de línea de abonado digital asimétrico se muestran en la tabla III.

Figura 7. **Velocidades de operación de versiones ADSL**



Fuente: JDSU. Triple-Play Service Deployment, p. 228.

Como se muestra en la figura 7 las diferentes versiones de ADSL ofrecen la mayor capacidad de transporte de información aproximadamente en línea de cobre de par trenzado de dos kilómetros de longitud, después no hay una diferencia significativa a partir de líneas de cobre de más de tres kilómetros de longitud, hasta llegar a los seis kilómetros donde la razón de transferencia de datos ya llega a un nivel de cero.

En la tabla III se muestra las principales características de las versiones de ADSL, indicando la norma UIT correspondiente y velocidades de operación.

Tabla III. **Comparativa de tecnologías ADSL, ADSL2 y ADSL2+**

<b>Característica</b>	<b>ADSL</b>	<b>ADSL2</b>	<b>ADSL2+</b>
<b>Estándar UIT-T</b>	G.992.1	G.992.3	G.992.5
<b>Velocidad <i>Upstream</i> Mínimo / Máximo</b>	0.6 Mbps / 1.3 Mbps	0.8 Mbps / 1 Mbps	0.8 Mbps / 1 Mbps
<b>Velocidad <i>Downstream</i> Mínimo / Máximo</b>	6 Mbps / 8 Mbps	8 Mbps / 12Mbps	16 Mbps / 24Mbps
<b>Ancho de banda</b>	1.1 MHz <i>Upstream: 25 Khz a 140 Khz</i> <i>Downstream: 140 KHz a 1100 KHz</i>	1.1 Mhz <i>Upstream: 25 Khz a 140 Khz</i> <i>Downstream: 140 KHz a 1100 KHz</i>	2.2 MHz <i>Upstream: 25 Khz a 140 Khz</i> <i>Downstream: 140 KHz a 2200 KHz</i>
<b>Cantidad de subcanales</b>	256	256	512

Fuente: elaboración propia.

### 1.3. **Arquitectura de una Red ADSL**

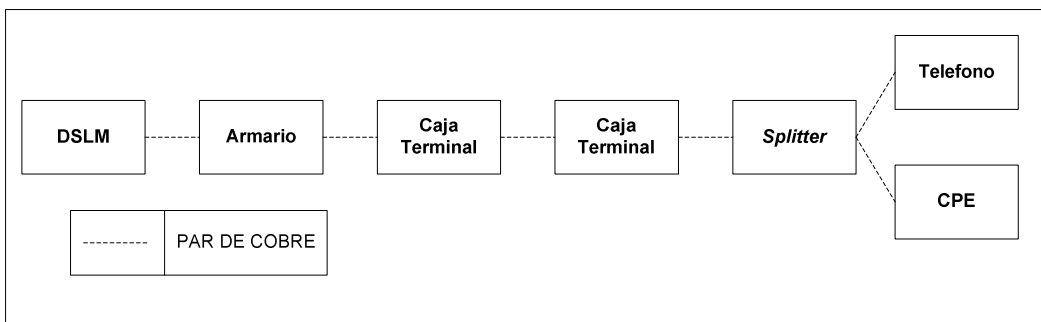
Se describirán los componentes que forma una red ADSL indicando sus principales características, es importante indicar que para las diferentes versiones de ADSL el esquema de instalación es el mismo, la diferencia principal radica en el equipo instalado en la central telefónica y su configuración lógica para determinar la versión que se utilizara para los servicios de datos o internet.



### 1.3.1. Componentes de Red

Los componentes de las redes ADSL independiente de la versión son el equipo instalado en la central telefónica, el cual está integrado por DSLAM, *splitter* y Central Telefónica que suministra los canales de voz o señales POTS, la Red de Distribución de Planta Externa y el equipo del usuario residencial o empresarial CPE (*Customer Premises Equipment*). En la figura 8 se muestra el detalle interconexión de equipos en una red ADSL.

Figura 8. Interconexión de equipos en una red ADSL



Fuente: elaboración propia.

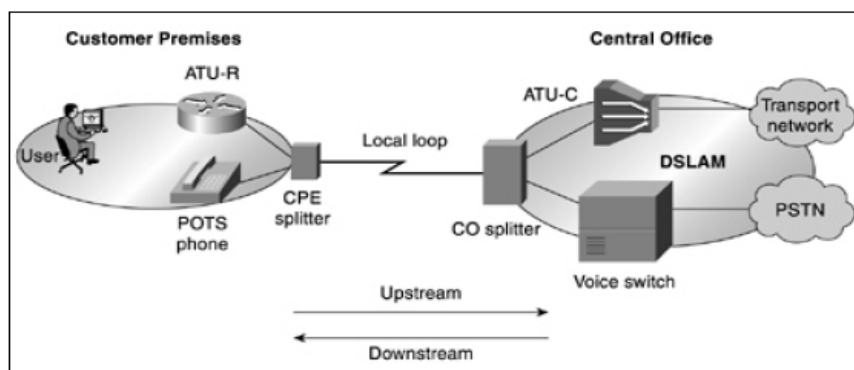
Las señales eléctricas salientes del nodo de comunicaciones se transmiten a través de par trenzado de cobre usado para distribución de línea telefónica analógica. Finalmente, las señales eléctricas al ingresar a las instalaciones del usuario final o cliente lo hacen a través del *splitter* donde se descompone la señal en dos, una es la señal ADSL y la otra la del servicio de telefonía.

### 1.3.2. Diagrama de red ADSL

La arquitectura básica de una red ADSL está integrada por el equipo ubicado en las instalaciones del cliente ATU-R (ADSL *terminal unit–remote*) el cual se conecta al *splitter* al igual que el teléfono. Estas dos señales utilizan el *local loop* para llegar a la CO donde las señales se conectan al *splitter*, la señal de datos se conecta a otro equipo ATU-C (ADSL *terminal unit–central*) el cual forma parte del banco de módems del DSLAM, este se interconecta a la red de datos para poder transmitir la información a la red de transporte y la señal de voz al salir del *splitter* se conecta a la central telefónica.

En la figura 9 se detalla la arquitectura de una red ADSL, donde el equipo del cliente y el equipo ubicado en la central interconectados por el par de cobre son los tres componentes principales de la red, independientemente si es ADSL, ADSL2 o ADSL2+.

Figura 9. Arquitectura de Red ADSL



Fuente: LE, Cris. Design and implementation of DSL-Base Access Solution, p. 15.

### **1.3.3. Multiplexor de línea de abonado digital asimétrica (DSLAM)**

Este equipo es un multiplexor que concentra la información de los módem ATU-C y la entrega a la red de transporte. Este equipo está instalado en la central de telecomunicaciones o en las instalaciones del proveedor de servicios de Internet.

#### **1.3.3.1. Descripción**

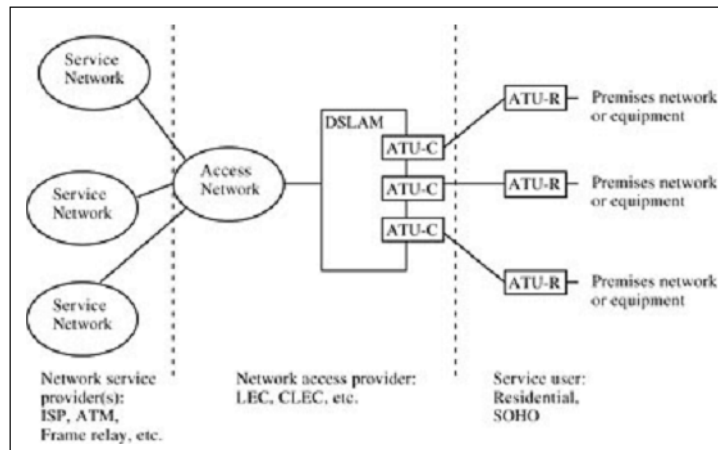
El multiplexor de línea de abonado digital asimétrica DSLAM generalmente se encuentra instalado en las instalaciones de la CO (*central officce*). Este equipo soporta la gran variedad de tecnologías DSL y es donde las unidades ATU-C se concentran y generalmente integra el *splitter*, el cual se conecta a la central telefónica que suministra los canales POTS y también recibe la señal de datos ADSL, para formar un solo canal de voz y datos el cual usará como medio de transmisión hacia el usuario final del servicio la red de planta externa que es usada para líneas telefónicas.

El DSLAM al concentrar los módems ATU-C necesita interconectarse a una red de transmisión NAP (*Network Access Provider*) para dar salida al tráfico de datos, las tecnologías de transporte que se usan por lo general son del tipo:

- a) ATM (*asynchronous Transfer Mode*)
- b) IP (*Internet Protocol*)

De las dos tecnologías de transporte la más usada es IP (*Internet Protocol*), esto debido a la gran utilización de redes Ethernet por la facilidad a operar a 10 Mbps, 100 Mbps o 1 000 Mbps. Este dispositivo opera en la capa 2 del nivel OSI (*Open System Interconnect*). En la la figura 10 se muestra la estructura básica de un DSLAM.

Figura 10. **Arquitectura básica de DSLAM**



Fuente: GORASLKI, Walter. ADSL and DSL Technologies, p. 947.

### 1.3.3.2. Estructura y tarjetas de equipo

El DSLAM está integrado de dos equipos instalados en un bastidor, los dos equipos son:

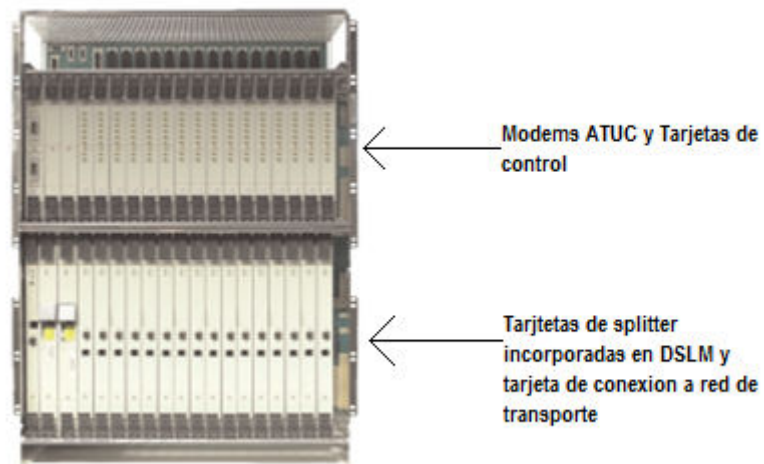
- a) Chasis para tarjetas electrónicas
- b) Chasis para el *splitter*

El chasis para tarjetas electrónicas presenta la funcionalidad de poder ser configurado de acuerdo a las necesidades de la aplicación que se dará para servicios DSL y a la red de transporte de datos que se interconectará, las tarjetas que generalmente están disponibles para los DSLAM son:

- a) Control y supervisión
- b) *Interface a red de Transporte WAN (Wide Area Network)*, hay varios tipos, siendo los más utilizados:
  - *Fast Ethernet* con capacidad de 100 Mbps, utiliza una interface eléctrica con conector RJ-45
  - *Gigabyte Ethernet* con capacidad de 1000 Mbps, utiliza una interface óptica monomodo
- c) Interface de línea, los cuales varían en la cantidad de puertos según modelo y marca, hay varios tipos como:
  - IUT-T G.DMT
  - IUT-T G.LITE
  - IUT-T G.SHDSL

El chasis para el *splitter* permite la instalación de tarjetas que contienen los filtros para poder mezclar señales de POTS y ADSL, éstas varían en la cantidad por tarjeta dependiente de la marca y el fabricante. Dependiendo el fabricante del DSLAM las tarjetas que contienen los *splitter* pueden estar o no integrados, en el caso de no estar integrados existirá otro chasis para las tarjetas *splitter*. En la figura 11 se puede observar un DSLAM marca Alcatel modelo 7300 para muestra la distribución de componentes en el equipo.

Figura 11. **Distribución de componentes en un DSLAM**



Fuente: ALCATEL, Alcatel 7300ASAM DSL Subscriber Acces Platafom, p. 5.

### 1.3.3.3. **MÓDEM ATU-C (ADSL *Terminal Unit-Central*)**

El modem ATU-C se encuentra instalado en el DSLAM, se encarga de generar cada una de las 256 ó 512 portadoras para el *Downstream* dependiendo si está trabajando ADSL o ADSL2 respectivamente. La cantidad de portadoras utiliza un ancho de banda de 4 KHz y están separadas uno de otra 4,3125 KHz, la cantidad de información a enviar en cada portadora dependerá de la relación señal a ruido presente en cada portadora. El módem se encarga de modular digitalmente la información a transmitir con la técnica DMT.

#### **1.3.3.4. MÓDEM ATU-R (ADSL *Terminal Unit-Remote*)**

El módem ATU-R se encuentra instalado en las instalaciones del cliente, y se encarga de demodular la información proveniente del modem ATU-C para transmitirla al equipo del cliente generalmente, a través de una interface Ethernet. Este módem se encarga de generar las portadoras del *Upstream* hasta un máximo de 32 portadoras, donde en cada una de ellas la información a enviar dependerá de la relación señal a ruido presente en la línea de cobre.

#### **1.3.4. CPE (*Customer Premises Equipment*)**

Este es el equipo que entrega la señal de datos o internet a un usuario final el cual es ubicado en las instalaciones del cliente.

##### **1.3.4.1. Descripción**

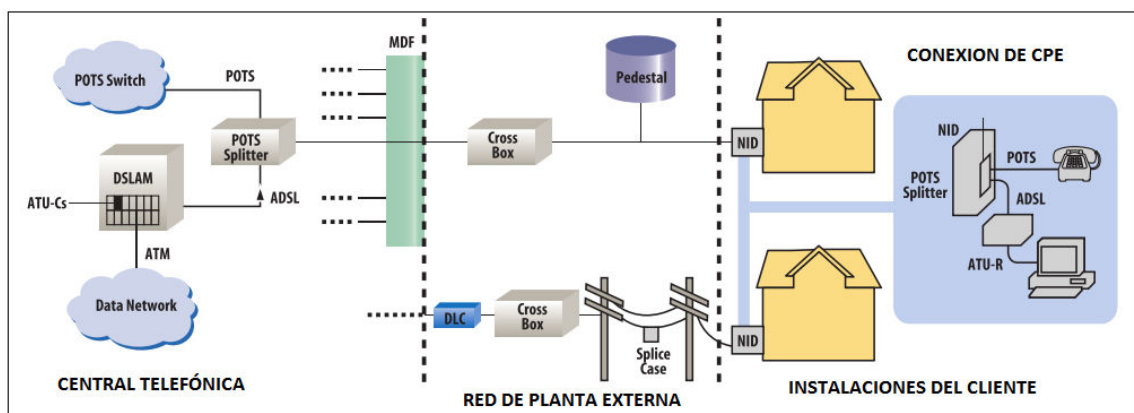
El CPE está conectado a un *splitter* en el cual la señal ADSL se divide en dos partes, siendo una la señal de datos y la otra la señal telefónica analógica la cual se conecta a un teléfono. Este equipo integra un módem ATU-R, el cual demodula la señal proveniente del ATU-C que se ubica en el DSLAM.

Generalmente los CPE tienen dos interfaces, siendo éstas la interface WAN (*Wide area network*) y la interface LAN (*Local area network*). La interface LAN generalmente consiste en un switch de cuatro puertos Ethernet operando a 10/100Base T para permitir la conexión de computadoras personales o equipos que utilicen esta interface.

Otra facilidad muy usada y que la mayoría de estos equipos ofrece es una interface inalámbrica Wi-Fi IEEE 802,11b/g. Las especificaciones del puerto DSL es que un conector RJ-11 el cual puede operar con los estándares ADSL, ADSL2 y ADSL2+.

En la figura 12 se detalla la conexión típica de un CPE en la red ADSL y su conexión al *splitter*.

Figura 12. **Conexión de CPE en red ADSL**



Fuente: JDSU, Triple-play service deployment, p. 224.





## 2. CODIFICACIÓN DE LÍNEA ADSL

### 2.1. Descripción

La codificación de línea de un sistema ADSL utiliza dos técnicas una es DMT (*Discrete multitone*) y la otra es CAP (*Carrier-less amplitude / phase modulación*, modulación de fase con portadora suprimida), ambas técnicas utilizan varias técnicas de modulación digital donde varían principalmente propiedades de fase y amplitud de la señal a transmitir.

### 2.2. Modulación digital

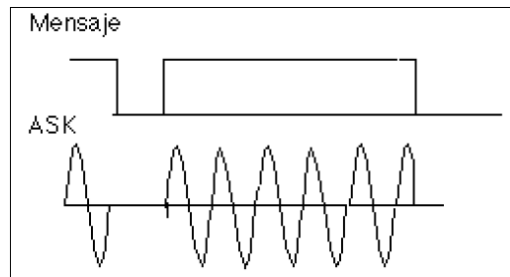
Se describirán los diferentes tipos de modulación que son utilizados por la tecnología ADSL.

#### 2.2.1. Modulación ASK

ASK (*Amplitude Shift Key*, modulación por desplazamiento de amplitud) es una técnica de modulación digital que transmite datos digitales como variaciones en la amplitud de una onda portadora.

La amplitud de la onda portadora varía de acuerdo al flujo de bits, la frecuencia y la fase no cambian. El nivel de amplitud puede representar a un cero o uno lógico. En la figura 13 se muestra como se modula una señal ASK.

Figura 13. **Modulación ASK**



Fuente: elaboración propia.

La definición de una señal modulada en amplitud es:

$$\phi(t) = A\text{sen}(\omega_c t) \Leftrightarrow 0 < t \leq T \text{ (equivalente al 1 binario)}$$

$$\phi(t) = 0 \text{ en cualquier otro valor de } t \text{ (equivalente al 0 binario)}$$

### 2.2.2. **Modulación QAM**

La modulación QAM (*Quadrature Amplitude Modulation*, modulación de amplitud en cuadratura) es una forma de modulación digital en donde la información digital está contenida en la amplitud como en la fase de la portadora transmitida.

La señal modulada en QAM es compuesta por la suma lineal de dos señales previamente moduladas DBL-PS (Doble banda lateral con portadora suprimida).

Esta forma de modulación consiste en modular por desplazamiento en amplitud (ASK) de forma independiente, dos señales portadoras que tienen la misma frecuencia pero que están desfasadas entre sí 90 grados.

La señal modulada QAM es el resultado de sumar ambas señales ASK. Estas pueden operar en el mismo canal sin interferencia mutua porque sus portadoras al tener tal desfase, se dice que están en cuadratura.

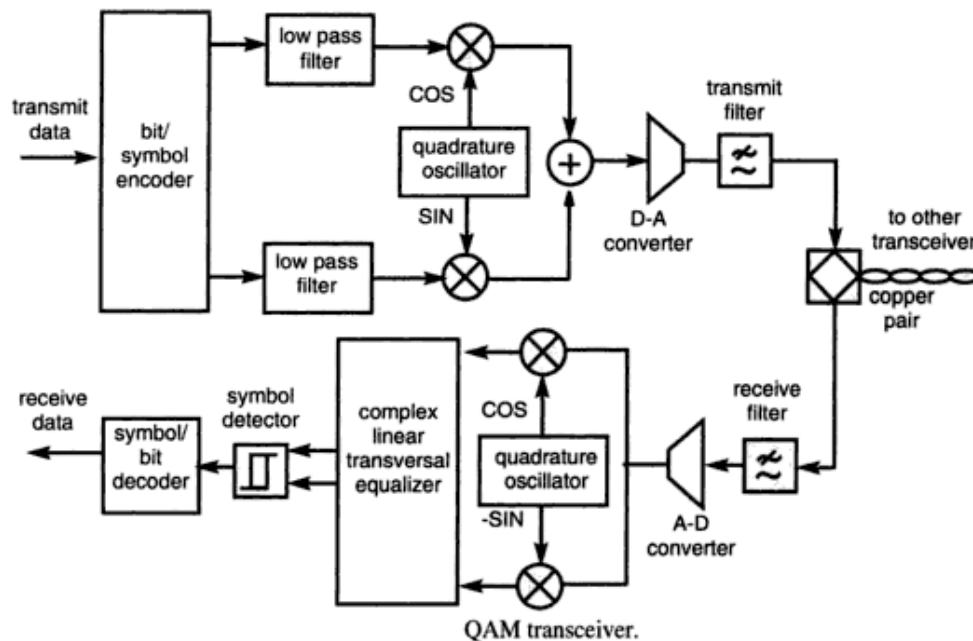
La ecuación matemática de una señal modulada en QAM es:

$$QAM = a_n \cos(\omega t) + b_n \sin(\omega t)$$

Las amplitudes de las dos señales moduladas en ASK (a y b), toman de forma independiente los valores discretos  $a_n$  y  $b_n$  correspondientes al total de los N estados de la señal moduladora codificada en banda base multinivel, según la ecuación  $N = n * m$ . Una de las características principales de la modulación QAM es que modula la mitad de los símbolos con una frecuencia y la otra mitad con la misma frecuencia pero desfasados 90 grados, el resultado de las componentes después se suman dando lugar a la señal QAM. De esta forma, QAM permite llevar dos canales en una misma frecuencia mediante la transmisión ortogonal de uno de ellos con relación al otro.

Los bits a modular se dividen en dos grupos de bits usando un convertidor de serie en paralelo, los grupos de bits se identifican como I y Q, en donde cada grupo puede estar formado por 2, 3 ó 4 bits cada uno para los casos de 16-QAM, 64-QAM y 256-QAM respectivamente. En la figura 14 se muestra un modulador de 16 estados QAM.

Figura 14. **Modulador y demodulador 16-QAM**

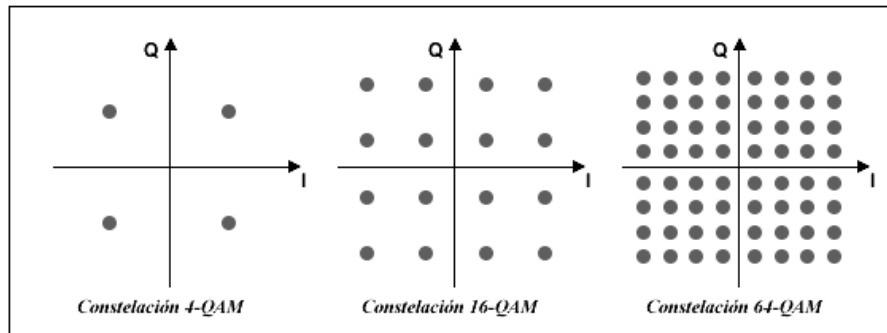


Fuente: WHYTE, Bill. Multimedia Telecommunications, p. 152.

Realizado el proceso de modulación de bits el resultado son símbolos los cuales se representan en un diagrama de constelación, cada símbolo tiene una amplitud y una fase específico que será lo que se transmitirá en el canal de información.

En la figura 15 se muestran las diferentes constelaciones de QAM, en los casos presentados se varían los niveles de amplitud y fase de cada uno de los símbolos, se presentan los casos de 4-QAM, 16-QAM y 64-QAM.

Figura 15. Diagrama de constelaciones QAM



Fuente: elaboración propia.

Para entender y comparar la eficiencia de los diferentes métodos de modulación digital se utiliza la eficiencia del ancho de banda, la cual es básicamente la relación de la tasa de bits de transmitidos por segundo por Hertz.

La eficiencia es definida por  $\gamma$  y es representada por la siguiente expresión matemática:

$$\gamma = \frac{\text{velocidad de transmisión (bits/segundo)}}{\text{ancho de banda (Hz)}}$$

La tasa de bits se refiere al número de bits, a diferencia de la tasa de símbolos parte del hecho que un conjunto de bits forma un símbolo.

En la tabla IV se muestran las eficiencias de ancho banda para el tipo de modulación digital QAM.

Tabla IV. Eficiencias de ancho de banda de QAM

Tipo Modulación	Eficiencia de Ancho de Banda (bps/Hz)	Número de Símbolos
4QAM	2	4
16-QAM	4	16
64-QAM	6	64
256-QAM	8	256

Fuente: WINCH, Robert. Telecommunication transmission systems, p. 102.

Habiendo establecido el valor de eficiencia de ancho de banda a utilizar en QAM se debe de evaluar cuanta potencia recibida es requerida para un valor de tasa de errores de bit (BER, *Bit Error Rate*). La tasa de error de bit viene definida por la siguiente expresión matemática:

$$\text{BER} = (\text{número de bits erróneos}) / (\text{número de bits transmitidos})$$

Al incrementar el nivel de modulación se requieren valores altos de relación señal a ruido (S/R) para lograr un determinado valor de BER, se puede observar en la Tabla V, donde para utilizar niveles altos de modulación QAM es necesario tener un elevado valor de relación S/R (relación señal a ruido).

Tabla V. Niveles de señal a ruido para un BER de  $10^{-6}$

Modulación	Relación señal a ruido (dB)
16-QAM	20,5
32-QAM	24,4
64-QAM	26,6

Fuente: WINCH, Robert. Telecommunication transmission systems, p. 102.

### 2.2.3. Modulación FSK

Modulación FSK (*Frequency Shift Key*, modulación por desplazamiento de frecuencia) es una forma de modulación de ángulo de la señal portadora y amplitud constante, la señal modulación es un tren de impulsos. La expresión general para esta para la señal FSK es:

$$m(t) = A_c \cdot \cos \left( \left( \left[ \omega_c + \frac{s_m(t) \cdot \Delta\omega}{2} \right] t \right) \right)$$

en donde:

$m(t)$  = onda FSK binaria

$A_c$  = amplitud pico de la portadora sin modular

$\omega_c$  = frecuencia en radianes/seg de la portadora

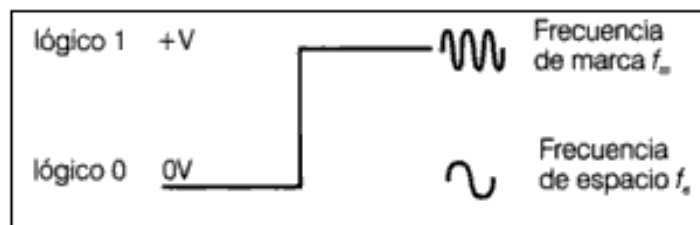
$s_m(t)$  = señal modulante digital binaria

$\Delta\omega$  = cambio de frecuencia en la salida



Como puede ver en esta ecuación, en FSK binario la amplitud  $A_c$  de la portadora se mantiene constante con la modulación pero la frecuencia  $\omega_c$  de la portadora cambia en la cantidad  $\pm\Delta\omega/2$ . Este cambio de frecuencia es proporcional a la amplitud y polaridad de la moduladora binaria. La rapidez o velocidad con que cambia la frecuencia de la portadora es igual a la velocidad de cambio de la señal binaria  $s_m(t)$ . En la figura 16 se muestra la representación gráfica del tipo de modulación digital FSK.

Figura 16. **Modulación de señal FSK**



Fuente: elaboración propia.

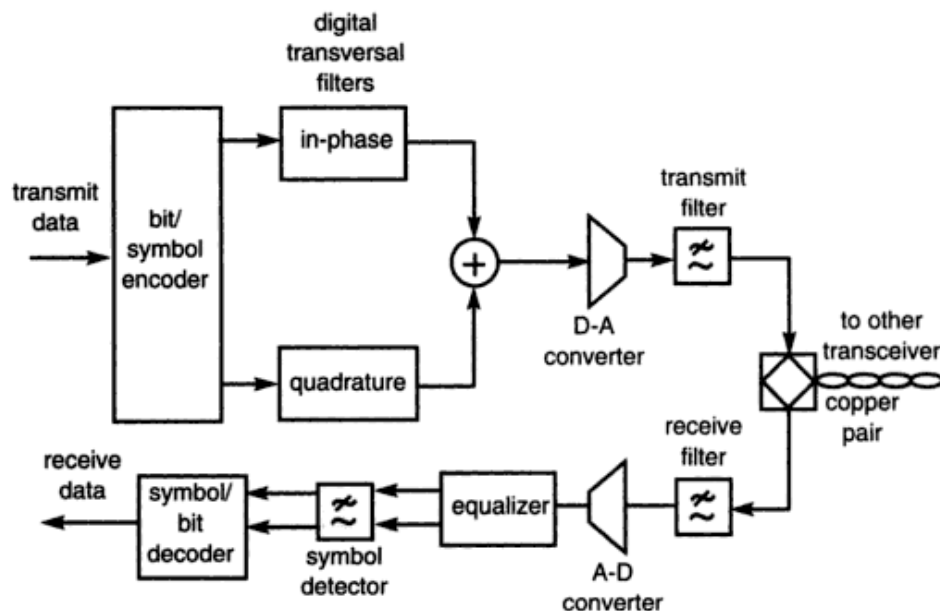
### 2.3. Modulación CAP (*Carrierless amplitude/phase*)

Este tipo de modulación fue originalmente utilizada como la tecnología para transmisión de datos de ADSL.

### 2.3.1. Descripción

La modulación CAP es una técnica de modulación digital similar a QAM. CAP tiene la misma forma espectral de QAM y puede ser compatible con QAM, sin embargo, en lugar de generar dos ondas ortogonales entre sí generadas por un mezclador de funciones seno y coseno, la modulación de cada una de las dos grupos de bits se lleva a cabo utilizando dos filtros digitales pasabanda que tienen la misma respuesta al impulso que son par de Hilbert, lo que significa que tienen las mismas características de amplitud pero difieren en fase por  $\pi/2$ , la señal de salida es la suma de las dos ondas generadas. En la figura 17 se muestra un modulador y demodulador CAP.

Figura 17. **Modulador y demodulador CAP**



Fuente: WHYTE, Bill. Multimedia Communications, p. 153.

La tecnología de modulación digital CAP fue el sistema de codificación usado en los comienzos de ADSL hasta 1997, debido a que es una tecnología propietaria distribuido por una sola compañía (Globespan Semiconductor la cual era anteriormente parte de *AT&T/Paradyne*), y por no existir interoperabilidad entre el *hardware* de los distintos fabricantes fue que no tuvo mucha aceptación para ser aceptada como estándar de transmisión ADSL.

### **2.3.2. Espectro de frecuencia**

La tecnología de modulación digital CAP utiliza el ancho de banda total del canal del par de cobre para el envío de información, de esta forma no utiliza subportadoras o subcanales como sí lo hace DMT (*Discrete multitone modulation*, modulación discreta multitono). La operación es full-duplex la cual es llevada a cabo utilizando técnica de modulación digital FDM (*Frequency Division Multiplexing*, multiplexación por división de frecuencia). El ancho de banda del canal es una función de la velocidad de transmisión y del número de símbolos a transmitir.

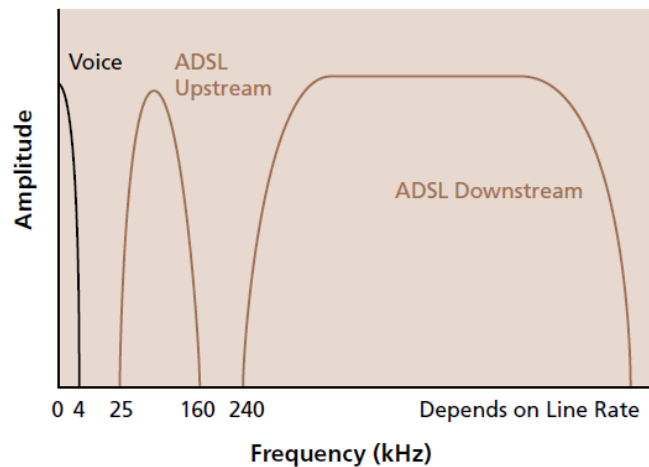
Dependiendo de la velocidad de transmisión de datos puede usar desde 4 hasta 512 estados de amplitud y fase para la codificación de datos, la máxima frecuencia superior para el *Downstream* es 1,5 MHz. Las frecuencias de operación utilizadas por modulación CAP se detallan en la tabla VI, y en la figura 15 se muestra el espectro de frecuencia de una señal CAP.

Tabla VI. **Frecuencias de operación de modulación CAP**

Frecuencia (MHz)	Uso
0 – 4	Señales POTS
25 – 160	<i>Upstream</i> o canal de datos de subida
240 – 1 500	<i>Downstream</i> o canal de datos de bajada

Fuente: elaboración propia.

Figura 18. **Espectro de frecuencia de modulación CAP**



Fuente: LANE, Jim. Personal Broadband Services DSL and ATM, p. 42.

### 2.3.3. Niveles de potencia

Los niveles de potencia de transmisión para los transmisores CAP son de 26 dBm, y la densidad espectral de potencia es -34 dBm/Hz.

## 2.4. Modulación Discreta Multitono (DMT)

Este tipo de modulación es el estándar adoptado por la industria fabricante de equipos para tecnología ADSL y el más utilizado para suministrar enlaces de datos e internet, usando redes de planta externa de cobre que fueron diseñadas para servicios de telefonía fija.

### 2.4.1. Descripción

Modulación discreta multitono (DMT, *discrete multitone modulation*) es una técnica de codificación de línea usada para ADSL, la cual es conocida como la norma ANSI T1.413 o UIT-T G992.1, la cual está definida como el estándar de codificación de línea para transmisión ADSL.

Esta técnica de codificación utiliza FDM (*frequency división mutliplexing*, multiplexación por división de frecuencia) ya que divide el canal de información en varios subcanales cada uno asociado a una portadora, en este caso sería impráctico tener una serie de osciladores y demoduladores para generar y recuperar la señal, por lo que se acude al proceso digital de señal, basado en la Transformada Discreta de Fourier (DFT, *Discrete Fourier Transform*). Para la recuperación de la señal enviada se utiliza la Transformada Inversa de Fourier (IDFT, *Inverse Discrete Fourier Transform*).

Los bits a enviar en cada canal son convertidos en números complejos los cuales serán los que determinarán la amplitud y frecuencia de cada símbolo. Conceptualmente podemos pensar en DMT como un banco de moduladores QAM funcionando simultáneamente y en paralelo cada uno operando a una frecuencia específica.

La modulación y demodulación de multiportadoras necesita ortogonalidad entre subcanales. Esto puede ser implementado usando la Transformada de Fourier.

Si el número de subcanales es elevado se asocia un ancho de banda a cada uno y que sean iguales, en el caso de DMT el ancho de banda de canal subcanal es de 4 KHz y por ser un ancho de banda pequeño tiene las siguientes ventajas que se presentan en la tabla VII.

Tabla VII. **Ventajas de modulación DMT**

No.	Ventaja
1	Exhibe una apreciable inmunidad frente al ruido impulsivo.
2	Presenta una notable flexibilidad, para reducir el número de bits a transmitir en cada subcanal asociado a un nivel de señal a ruido menor, o inclusive eliminando dicho subcanal.
3	Los canales son independientes, por lo que cada uno puede ser individualmente codificado.
4	Cada subcanal es independientemente modulado usando QAM.
5	El comité ANSI T1 estandarizo DMT como el código de línea para ser usado en transmisión ADSL.
6	ANSI T1.413 o UIT-T G992.1 son estándares que definen métodos de codificación e implementación DMT.

Fuente: elaboración propia.

## 2.4.2. Espectro de frecuencia del subcanal y señal compuesta DMT

La codificación de línea DMT divide el canal de información en el medio de transmisión del par de cobre en tres canales, los cuales son usados para:

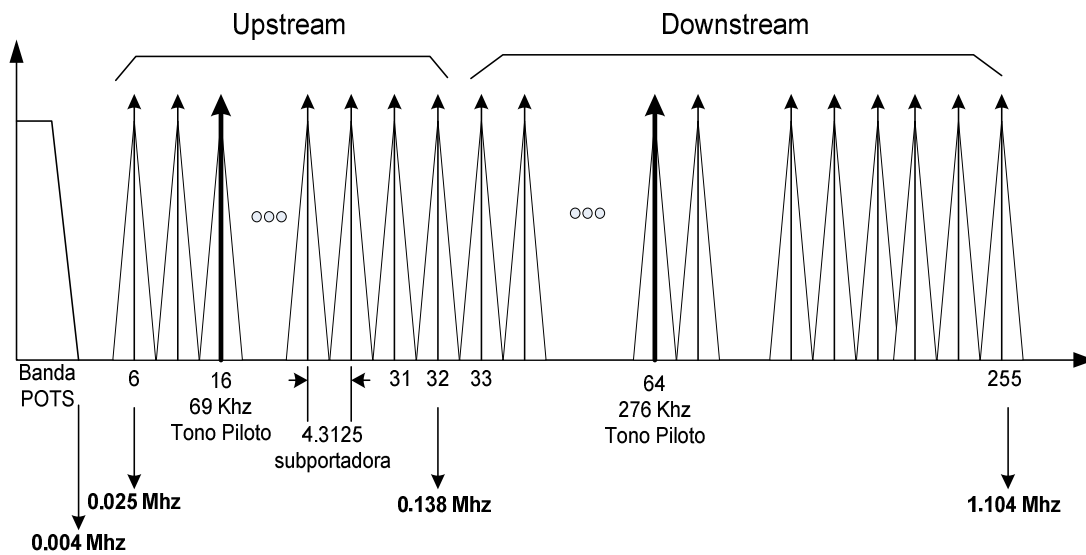
- a) Canal de voz o POTS
- b) Canal de bajada o *Downstream*
- c) Canal de subida o *Upstream*

Estos canales se dividen en:

- a) 256 subcanales o *Bins*, se les asigna un número y frecuencia
- b) Cada canal tiene un ancho de banda de 4KHz
- c) La separación entre cada una de las portadoras de los subcanales es de 4,3125 KHz.
- d) El espectro de frecuencia asignado para los subcanales va desde 0 Hz hasta 1,104 MHz

En la figura 19 se muestra el detalle de la distribución de frecuencias en función de los canales de la tecnología DMT, en este caso es la distribución de canales y frecuencias de la tecnología ADSL.

Figura 19. **Frecuencias de operación ADSL con modulación DMT**



Fuente: UIT. Recomendación UIT-T G.992.1 (06/99), p. 130.

En la tabla VIII se muestra los subcanales asociados al número asignado de tono y el rango de frecuencias de operación de una señal ADSL con modulación DMT.



Tabla VIII. **Subcanales y frecuencias de señal DMT**

Canal	Subcanales Asignados	Detalle de canal	Frecuencias Asignadas (KHz)	Ancho de banda (KHz)
	0	No usado	0	0
Voz	No aplica	<i>POTS</i>	0.30 - 4	0 – 4
Banda de guarda	1 al 5	No usados, para evitar interferencias entre voz y datos	4.3125 – 1.5625	4 - 21
<i>Upstream</i>	6 – 31	26 subcanales para datos	25.875 – 29.375	25 – 138
	16	Tono piloto	69	
	32	Banda de guarda, previene diafonía entre <i>Upstream</i> y <i>Downstream</i>	138	
<i>Downstream</i>	33 - 255	222 subcanales para Datos	142.3125 – 1099.687	142- 1104
	64	Tono piloto	276	

Fuente: elaboración propia.

Los tonos pilotos indicados en la tabla VIII son utilizados para la recuperación de la señal de sincronización.

### **2.4.3. Capacidad de Modulación DMT**

La capacidad de modulación DMT está determinada por la inicialización de línea entre los módems ATU-C (ADSL *terminal unit–central*) y ATU-R (ADSL *terminal unit–remote*), ya que realizan una secuencia de pruebas en el par de cobre en términos de la relación señal a ruido.

La inicialización de la línea consistirá en evaluar y analizar los valores de relación de señal a ruido en cada uno de los subcanales del 6 al 255 en ambos módem ATU-C y ATU-R. Basado al valor de S/R, el módem ADSL ajustará automáticamente el tamaño de la constelación QAM que puede ser usada en un subcanal, de acuerdo a la tasa de bits alcanzable.

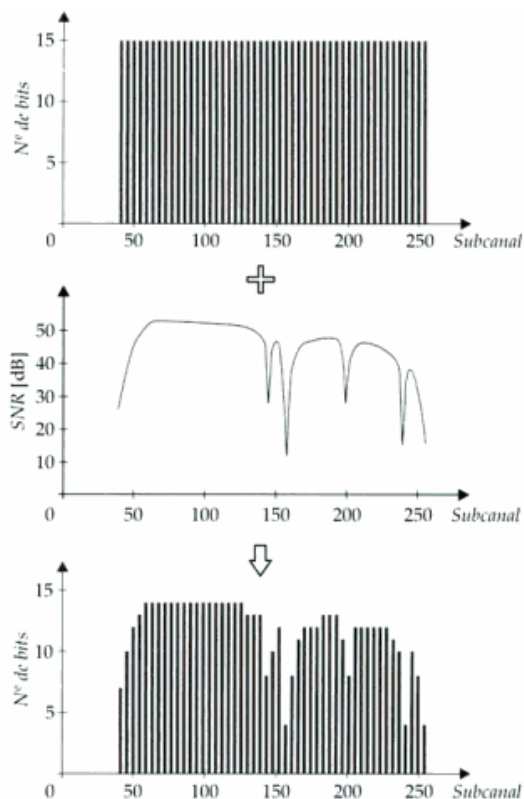
### **2.4.4. Capacidad de canales portadores**

La cantidad de datos a enviar en cada subcanal es proporcional a la relación señal/ruido (S/R) en cada uno de los subcanales, cuanto mayor sea este valor mayor la cantidad de datos que transportan, si la cantidad de información a enviar es elevada, esto significa que la cantidad de ruido en esa zona es bajo, por lo tanto, la probabilidad de que lleguen corruptos los datos a su destino es menor.

La estimación del número de bits que se enviarán en cada subcanal se determina al establecer la conexión entre los módems ATU-C y ATU-R con las siguientes consideraciones:

- a) A través de cada subcanal se pueden enviar símbolos a una tasa de 4 000 baudios y cada símbolo puede transportar hasta 15 bits.
- b) La cantidad efectiva de bits/símbolo que puede enviarse en un subcanal depende de la relación señal a ruido y además del margen mínimo de señal a ruido configurado por el sistema.

Figura 20. **Número de bits en función de relación señal a ruido**



Fuente: INGENIARE, Revista Chilena de Ingeniería Vol.17 No. 1, 2009, p. 124.

En la figura 20 se muestra la relación entre el número de bits a enviar y la gráfica de relación de señal a ruido presente en los subcanales, así como también se muestran los bits que finalmente fueron asignados. Se puede observar que a mayor nivel de relación señal a ruido los bits asignados son más con respecto a los que tienen un nivel de señal a ruido menor.

Un teorema muy conocido en la teoría de la información, es de *Hartley-Shannon*, la cual indica la capacidad de un canal gaussiano blanco de ancho de banda limitado es:

$$C = B \cdot \log_2(1 + S/N) \text{ bps}$$

Donde B es el ancho de banda del canal y S/N es la razón de señal a ruido.

Esta ecuación puede replantearse en forma de ecuación integral:

$$C = \int_{f^{\min}}^{f^{\max}} \log_2(1 + \text{SNR}(f)) df$$

De la ecuación anterior se determina que la capacidad total del canal es la sumatoria de cada una de las contribuciones de cada una de las frecuencias que componen el ancho de banda. La capacidad total del canal de transmisión se realiza tomando en cuenta cada uno de los tonos del espectro de frecuencias del canal. Debido a esto se debe de calcular la capacidad individual de cada canal y realizar la sumatoria para calcular la capacidad de transmisión del canal de información.

El modelo matemático para el cálculo de la capacidad del canal considerando como único factor de ruido, el ruido blanco aditivo gaussiano (AWGN, *Additive White Gaussian Noise*) y no incluyendo el efecto de diafonía que causan los servicios perturbadores cercanos, los cuales están localizados en los pares de cobre adyacentes al servicio afectado es la siguiente ecuación:

$$\frac{C}{\Delta f} = \int_{f^{\min}}^{f^{\max}} \log_2 \left( 1 + \frac{|H_{\text{channel}}(f)|^2 \cdot S(f)}{\text{AWGN}} \right) df$$

Donde:

C = capacidad del canal de información, en bps (bits por segundo)

$H_{\text{channel}}$  = es la función de transferencia de la línea de transmisión

$S(f)$  = es la densidad espectral de potencia de la señal transmitida

AWGN = ruido blanco aditivo gaussiano presente en canal de transmisión

$\Delta f$  = ancho de banda del canal de transmisión

La evaluación de la capacidad alcanzada por la línea debe calcularse en el extremo del cliente, para que se considere el efecto de atenuación causado por las características físicas y eléctricas del cable telefónico de cobre en la señal transmitida, al propagarse por éste.

Debe tomarse en cuenta un margen de seguridad para considerar la presencia de efectos aleatorios que afectan la capacidad de transmisión de datos del canal de información como el ruido impulsivo.

Derivado de esto, la ecuación considerando el margen de seguridad  $\sigma$  el cual está especificado en dB es:

$$\frac{C}{\Delta f} = \int_{f^{\min}}^{f^{\max}} \log_2 \left( 1 + \frac{|H_{\text{channel}}(f)|^2 \cdot S(f)}{10^{(\sigma/10)} \cdot \text{AWGN}} \right) df$$

El margen de seguridad  $\sigma$  expresa hasta donde puede ser aprovechada la razón señal a ruido, para la transmisión de datos por parte de un módem bajo una consigna de una máxima tasa de error de bits de batos BER (*Bit Error Rate*, Tasa de error de bit). Entre más pequeño el margen de seguridad, mayor será la tasa de transmisión de datos. Se debe de considerar un margen de error debido a que la complejidad de un módem real tiene un límite práctico.

De esta manera el margen de ruido se asegura que el módem pueda mantener una cierta tasa de transmisión de bits con una determinado BER, cuando la relación señal a ruido se reduce.

El margen de seguridad  $\sigma$  está compuesto por  $\text{SNR}_{\text{GAP}}$ , ECG (código de ganancia efectivo) y el margen de ruido. Entonces la ecuación para el margen de seguridad se describe mediante la siguiente expresión:

$$\text{Margen de seguridad} = \sigma = \text{SNR}_{\text{GAP}} - \text{ECG} + \text{Margen de Ruido}$$

Se supondrá un  $SNR_{GAP}$  de 9,8 dB, un ECG de 3,8 dB y un margen de ruido de 6 dB, entonces el margen de seguridad  $\sigma$  es:

$$\text{Margen de seguridad} = \sigma = (9,8 - 3,8 + 6) = 12 \text{ dB}$$

Un módem ideal puede operar con un BER de cero y con margen de seguridad de cero. La tasa de transmisión alcanzada por un módem ideal es denominada el límite de Shannon, el cual define la máxima tasa de transmisión de datos alcanzable, en un determinado medio de transmisión. El margen de seguridad es dependiente del BER, el cual tiene un valor normalmente cercano a  $10^{-7}$  de la tecnología DSL (*Digital Subscriber Line*). Para la tecnología ADSL (línea de suscriptor digital asimétrica) convencional con codificación Trellis, el  $SNR_{GAP}$  es de 5,7 dB, el cual puede ser disminuido implementando técnicas más avanzadas de codificación en el módem ADSL.

Entonces, mediante la modulación DMT, la evaluación de la capacidad del canal debe realizarse tono a tono, por lo tanto, la capacidad total del canal viene dada por la sumatoria de cada uno de los tonos que componen la señal ADSL, dando resultado la siguiente ecuación:

$$C = B \cdot \sum_{f=1}^{f=L} \log_2 \left( 1 + \frac{|H_{\text{channel}}(f)|^2 \cdot S(f)}{10^{(\sigma/10)} \cdot \text{AWGN}} \right)$$

Donde el subíndice  $i$  indica el valor del tono en el cual será evaluada la ecuación para el cálculo de la capacidad de transmisión de bits de este tono. La portadora máxima de cada canal de transmisión se especifica mediante  $L$ , la cual es la portadora con la frecuencia mayor del espectro del canal.

Debido a que ADSL es asimétrica, la velocidad de transmisión de bajada es diferente de la de subida, debido a que usan canales diferentes. El canal de datos de bajada es mayor que el de subida.

Las siguientes ecuaciones calculan la cantidad de bits por segundo por Hertz, de cada uno de los tonos del canal de transmisión de subida y bajada. Cada uno de estos cálculos es necesario multiplicarlos por el ancho de banda  $B$  de cada una de las portadoras que es de 4 KHz, con el fin de obtener la capacidad de cada tono individual. La sumatoria debe realizarse desde el tono 6 al 31 para el canal de subida y del canal de bajada del 33 al 255.

$$C_{UP} = B \cdot \sum_{i=6}^{i=31} \log_2 \left( 1 + \frac{|H_{channel}(i \cdot \Delta f)|^2 \cdot PSD_{SEÑAL}(i \cdot \Delta f)}{10^{(\sigma/10)} \cdot AWGN} \right) \text{ bps}$$

$$C_{DOWN} = B \cdot \sum_{i=33}^{i=255} \log_2 \left( 1 + \frac{|H_{channel}(i \cdot \Delta f)|^2 \cdot PSD_{SEÑAL}(i \cdot \Delta f)}{10^{(\sigma/10)} \cdot AWGN} \right) \text{ bps}$$



#### **2.4.5. ATU-C/R para transporte ATM**

Los transmisores ATU se encargan de la transmisión de datos del DSLAM a las facilidades del cliente, para lo cual utilizan ATM (*Asynchronous Transfer Mode*, modo de transferencia asincrónica) para el transporte de datos.

La tecnología ATM básicamente consiste en un proceso de conmutación y transferencia de información digital, concebida para ser soporte de las redes de transmisión de datos de gran ancho de banda y de propósito general.

Una de las características principales de ATM es su flexibilidad y amplio rango respecto a las velocidades de transmisión, permitiendo desde velocidades muy pequeñas (64 Kbps) hasta velocidades muy altas (155 Mbps).

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

De acuerdo a las reglas de AAL (*ATM Adaptation Layer*, capa de adaptación ATM), definiremos cómo la información es formateada en la celda ATM en el área de transporte de datos conocido como *Payload* (datos de usuario en celdas ATM).

ADSL utiliza lo que es AAL5 (*ATM Adaptation Layer 5*) ya que tiene un encabezado mínimo que las demás AAL. AAL5 es utilizado para aplicaciones de razón de bit variable (VBR, *Variable Bit Rate*) y no garantiza un retardo estable a través de la red (no obstante, las aplicaciones necesitan de un retardo estable). AAL5 usualmente utiliza conexiones a través de redes ATM, lo cual no es necesario

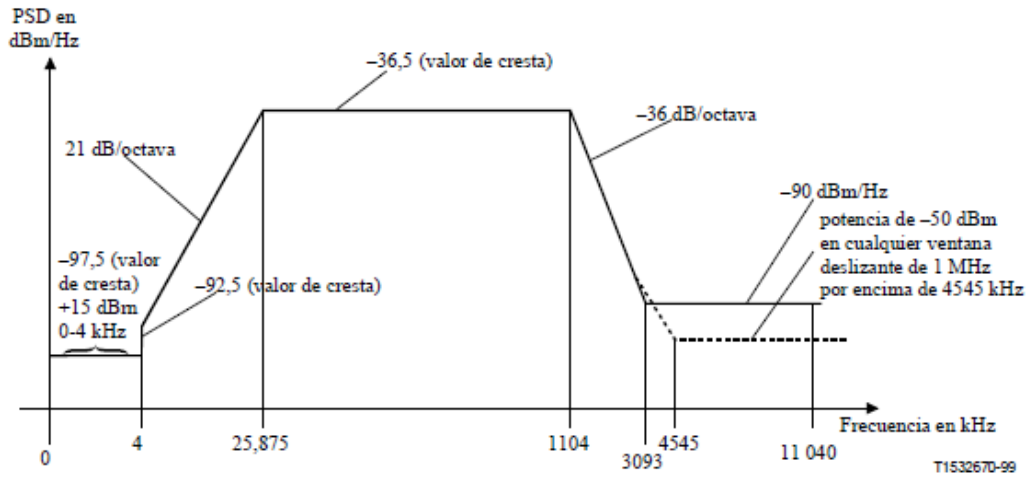
#### **2.4.6. ATU-C (*ADSL Terminal unit-central*)**

##### **2.4.6.1. Densidad espectral de potencia**

La densidad espectral de potencia del módem ATU-C usado para el *Downstream* se define en el rango de frecuencias de 138 KHz a 1104 KHz, el valor establecido es de -36,5 dBm/Hz. En la figura 19 se muestra la densidad espectral de potencia de un módem ATU-C.

En la figura 21 se detalla la densidad espectral de potencia para la tarjeta ATU-C.

Figura 21. Densidad espectral de potencia ATU-C



Banda de frecuencias $f$ (kHz)	Ecuación para las líneas (dBm/Hz)
$0 < f < 4$	-97,5, con potencia máxima en la banda 0-4 kHz de +15 dBm
$4 < f < 25,875$	$-92,5 + 21 \times \log_2(f/4)$
$25,875 < f < 1104$	-36,5
$1104 < f < 3093$	$-36,5 - 36 \times \log_2(f/1104)$
$3093 < f < 4545$	-90 (valor de cresta), con potencia máxima en la ventana $[f, f + 1 \text{ MHz}]$ de $(-36,5 - 36 \times \log_2(f/1104) + 60)$ dBm
$4545 < f < 11 040$	-90 (valor de cresta), con potencia máxima en la ventana $[f, f + 1 \text{ MHz}]$ de -50 dBm

NOTA 1 – Todas las mediciones de PSD están efectuadas en 100  $\Omega$ ; la medición de la potencia total de la banda POTS está efectuada en 600  $\Omega$ .

NOTA 2 – Las frecuencias de corte y los valores PSD son exactos; las pendientes indicadas son aproximadas.

NOTA 3 – Por encima de 25,875 kHz, la PSD de cresta se medirá con una anchura de banda de resolución de 10 kHz.

NOTA 4 – La potencia en una ventana deslizante de 1 MHz se mide en una anchura de banda de 1 MHz, comenzando en la frecuencia de medición.

NOTA 5 – El paso en la plantilla de la PSD en 4 kHz tiene por finalidad proteger el valor de calidad de funcionamiento indicado en la Recomendación V.90. Originalmente, la plantilla PSD siguió la pendiente de 21 dB/octava por debajo de 4 kHz alcanzando un valor de umbral inferior de -97,5 dBm/Hz a 3400 Hz. Se reconoció que esto podría afectar la calidad de funcionamiento indicada en la Recomendación V.90 y, por consiguiente, el umbral inferior se amplió a 4 kHz.

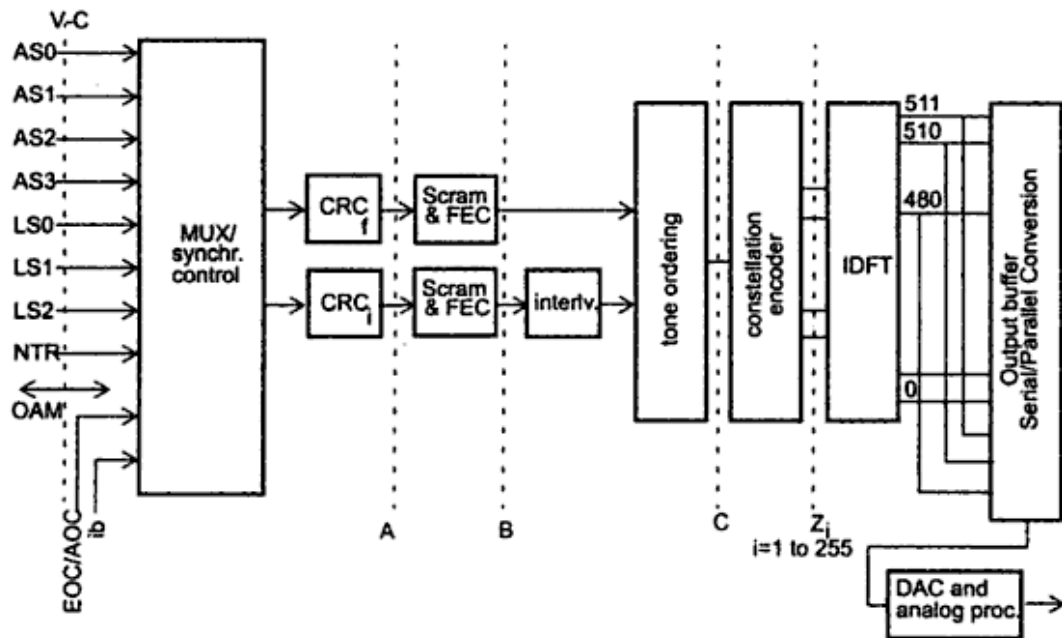
NOTA 6 – Todas las mediciones de PSD y de potencia se efectuarán en la interfaz U-C (véase la figura 1-1); en el anexo E se indican las señales transmitidas a la RTPC.

Fuente: UIT. Recomendación UIT-T G.992.1 (06/99), p. 137.

### 2.4.6.2. Transmisor

El valor nominal de potencia para los transmisores ATU-C es de +19,9 dBm, según recomendación UIT-T G.992.1. En la figura 22 se muestra el detalle de un transmisor ATU-C.

Figura 22. Diagrama de transmisor ATU-C



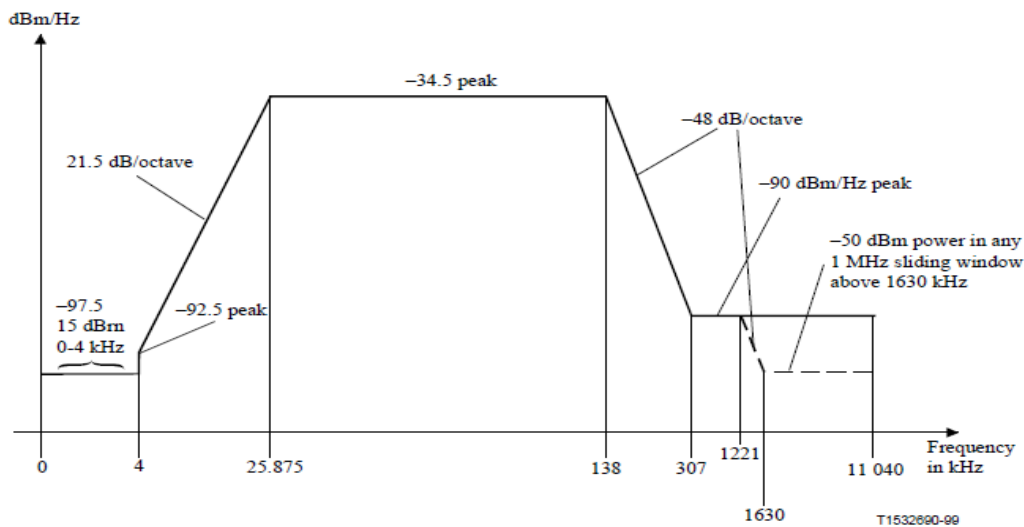
Fuente: CABALLERO, Jose Manuel. Installation and Maintenance of SDH/SONET, ATM, xDSL, and synchronization, p. 159.

## 2.4.7. ATU-R (ADSL Terminal unit-remote)

### 2.4.7.1. Densidad espectral de potencia

La densidad espectral de potencia del módem ATU-R usado para el *Upstream* se define en el rango de frecuencias de 25,875 KHz a 138 KHz, el valor establecido es de -34,5 dBm/Hz. En la figura 23 se muestra la densidad espectral de potencia de un módem ATU-R.

Figura 23. Densidad espectral de potencia de ATU-R



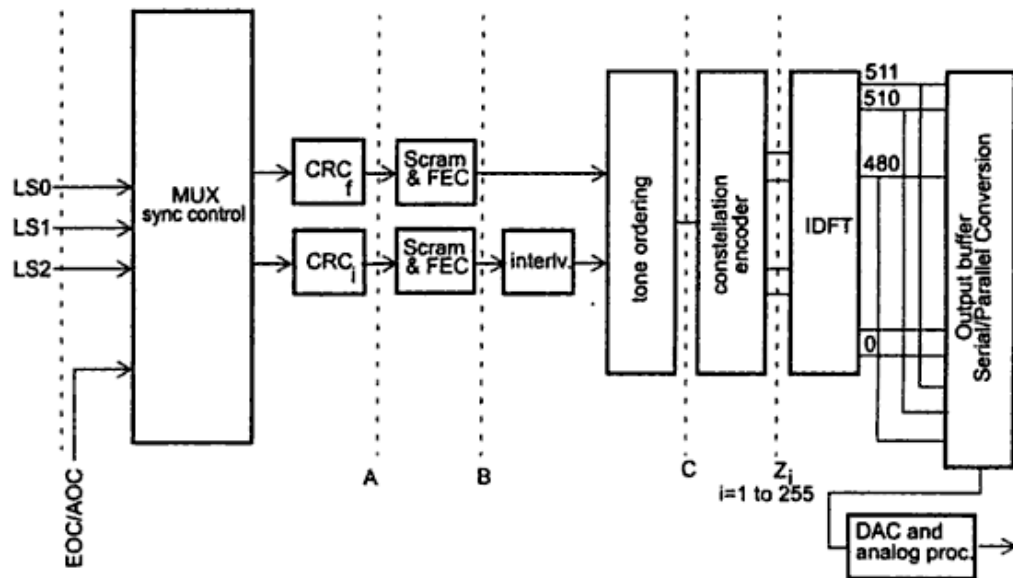
Frequency band $f$ (kHz)	Equation for line (dBm/Hz)
$0 < f < 4$	-97.5, with max power in the in 0-4 kHz band of +15 dBm
$4 < f < 25.875$	$-92.5 + 21.5 \times \log_2(f/4)$
$25.875 < f < 138$	-34.5
$138 < f < 307$	$-34.5 - 48 \times \log_2(f/138)$
$307 < f < 1221$	-90
$1221 < f < 1630$	-90 peak, with max power in the $[f, f + 1 \text{ MHz}]$ window of $(-90 - 48 \times \log_2(f/1221) + 60)$ dBm
$1630 < f < 11040$	-90 peak, with max power in the $[f, f + 1 \text{ MHz}]$ window of -50 dBm

Fuente: UIT. Recomendación UIT-T G.992.1 (06/99), p. 136.

### 2.4.7.2. Transmisor

El transmisor del módem ATU-R es similar al de ATU-C, la única diferencia está en la interface (T-R diferente de V-C) y el número de símbolos generados. El valor nominal de potencia de transmisión es de 12,5 dBm, según recomendación UIT-T G.992.1. En la figura 24 se muestra el detalle de un transmisor ATU-C.

Figura 24. Diagrama de transmisor ATU-R



Fuente: CABALLERO, Jose Manuel. Installation and Maintenance of SDH/SONET, ATM, xDSL, and synchronization, p. 160.

## **2.4.8. Comparativa modulación CAP y DMT**

La comparación entre modulación CAP y DMT es fundamental para determinar porqué DMT es la técnica de modulación utilizada para sistemas ADSL, y porqué los fabricantes de equipos electrónicos hoy en día fabrican equipos para esta tecnología.

### **2.4.8.1. Comparación entre métodos de modulación**

En la tabla IX se describe la comparación entre los sistemas de modulación digital CAP y DMT, para realizar la comparación se tomará en cuenta las siguientes características:

- a) Niveles de potencia
- b) Interoperabilidad
- c) Desempeño a altas velocidades
- d) Estandarización
- e) Inmunidad al ruido

Y al analizar los resultados se podrá observar porque DMT es la mejor opción como técnica de modulación de servicios ADSL.

Tabla IX. **Comparación entre modulación CAP y DMT**

Potencia	A tasas de transmisión iguales DMT utiliza menos potencia que CAP, hay una diferencia de +6 dBm/Hz más de densidad espectral de potencia de CAP con respecto a DMT, lo que significa que por cada Hertz debe ser usada más potencia.
Interoperabilidad	DMT es definido como un estándar internacional abierto para codificación de línea ADSL, lo que permite que varios fabricantes fabriquen esta tecnología, CAP es una tecnología propietaria fabricada exclusivamente por un fabricante.
Desempeño a altas velocidades	DMT tiene mejor desempeño, más alcance que CAP. Los módem CAP soportan hasta 4 Mbps de bajada y 422 Kbps de subida, contra DMT que soporta hasta 24 Mbps de bajada y 1.3 Mbps de subida.
Estandarización	DMT es la única técnica de modulación que está estandarizada por parte de ANSI y UIT.
Inmunidad al ruido	DMT utiliza subcanales para el envío de información lo que hace que la cantidad de símbolos a enviar depende de la relación señal a ruido en cada subcanal, en comparación de CAP que utiliza un solo canal para el envío de información ya sea el caso del <i>Upstream</i> o <i>Downstream</i> , haciéndola más susceptible a lo que son interferencias por ruido.

Fuente: elaboración propia.





### **3. RED DE DISTRIBUCIÓN DE PLANTA EXTERNA**

#### **3.1. Conceptos básicos**

Las compañías telefónicas o empresas que suministran servicios de voz y datos generalmente están formadas de dos grandes áreas que tradicionalmente se les conoce como planta interna y planta externa.

La planta interna generalmente se relaciona con los equipos electrónicos como Centrales Telefónicas, multiplexores de servicios de datos, equipos de energía y equipos de transmisión que generan las señales eléctricas o información que será enviada a un usuario final del servicio.

La planta externa es el medio de transmisión que conecta la central telefónica con el usuario final del servicio, en el caso de telefonía fija o voz se utilizan conductores de material de cobre, dicho medio utiliza dos conductores para transportar la señal.

Las redes de planta externa de cobre utilizadas para servicios de voz fueron diseñadas para utilizar un ancho de banda de 4KHz, el cual es el necesario para enviar canales de voz analógicos.

La constante demanda de mayor velocidad para aplicaciones de transmisión de datos y la aparición de la red Internet ha creado tecnologías para entregar estos servicios, los cuales usan como medio de transmisión sistemas de microondas y fibra óptica los cuales son costosos de implementar, ya que se tienen que construir conforme sea necesario.

Con la aparición de las tecnologías xDSL y en especial de ADSL se pueden entregar servicios de datos e Internet a alta velocidades, donde al usuario se le instala un router y modem integrado en un solo equipo conocido como CPE (*Customer Premises Equipment*, equipo instalado en facilidades del cliente) el cual se comunica con el DSLAM ubicado en la central telefónica, la comunicación se logra utilizando la red de planta externa ya existente para aplicaciones de voz, lo que da a esta tecnología una gran ventaja en su rápida implementación ya que no se tiene que invertir en el medio de transmisión.

Por lo tanto, las redes de planta externa de cobre hoy en día son muy utilizadas en servicios de Internet Residencial, servicios de datos empresariales y por supuesto en servicios de voz analógica, este es el valor agregado de utilizar una red ya existente lo que genera ahorro en la implementación de ADSL.

Para las aplicaciones de transmisiones de datos usando ADSL es importante conocer la estructura y características de la red de planta externa, con la finalidad de poder medirla y diagnosticarla, ya que el estado de la red determinará la distancia y velocidad de operación.

### 3.2. Diagrama de red de planta externa

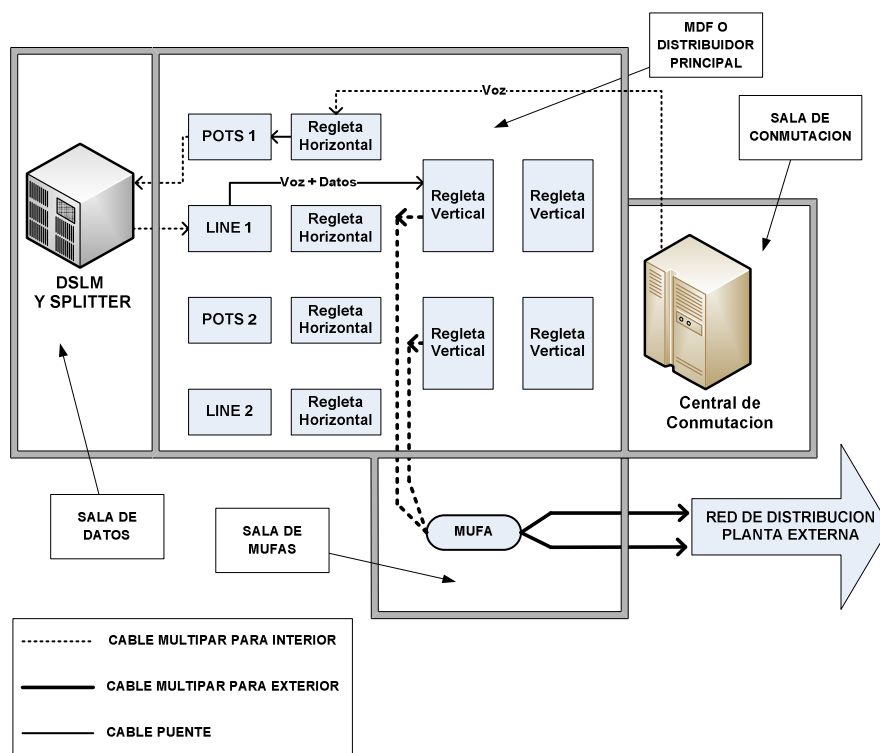
La red de planta externa de cobre tiene una estructura básica que empieza en la central telefónica en una área que se le conoce como MDF (*Main Distribution Frame*, distribuidor principal), que es el lugar donde se ubican una estructura metálica, en dicha estructura se encuentran instaladas regletas o puntos de interconexión.

Las regletas de cable multipar donde se interconectan las señales provenientes de la central telefónica son conocidas como regletas verticales, y las regletas horizontales son las que se interconectan con los cables multipares de alta capacidad que salen de la central hacia los usuarios finales de los servicios. Para establecer una comunicación con el usuario se logra mediante una conexión entre un punto de contacto de una regleta vertical con otro punto de contacto de una regleta horizontal utilizando un par de cobre trenzado conocido como cable puente.

Cuando se utilizan sistemas ADSL existen otras regletas identificadas como POTS y LINE, la regleta POTS recibe la señal proveniente de la regleta horizontal en la cual viene la señal de telefónica y se interconecta al *Splitter*, la regleta LINE se interconecta al *Splitter* y recibe ya la señal de voz y datos proveniente del DSLAM la cual es la que se conecta a la regleta vertical para llevar al usuario final la señal de voz y datos, la mezcla de las dos señales se lleva a cabo en el *Splitter*. La sala de datos se ubica en la central de telecomunicaciones y es donde se encuentran los equipos activos como el DSLAM, en la sala de conmutación se ubica la central de conmutación o central telefónica pública la cual suministra la señal de Telefonía básica.

La salida de los cables multipares del MDF se realiza a través de lo que se conoce como sala de mufas, este lugar es donde se realizan los empalmes de cable multipar flexible provenientes del MDF con cable multipar para exterior y protegiendo el empalme con un cierre o mufa. En la figura 25 se muestra el detalle de un MDF para servicios ADSL en una central telefónica.

Figura 25. **Conexiones del MDF o distribuidor principal**

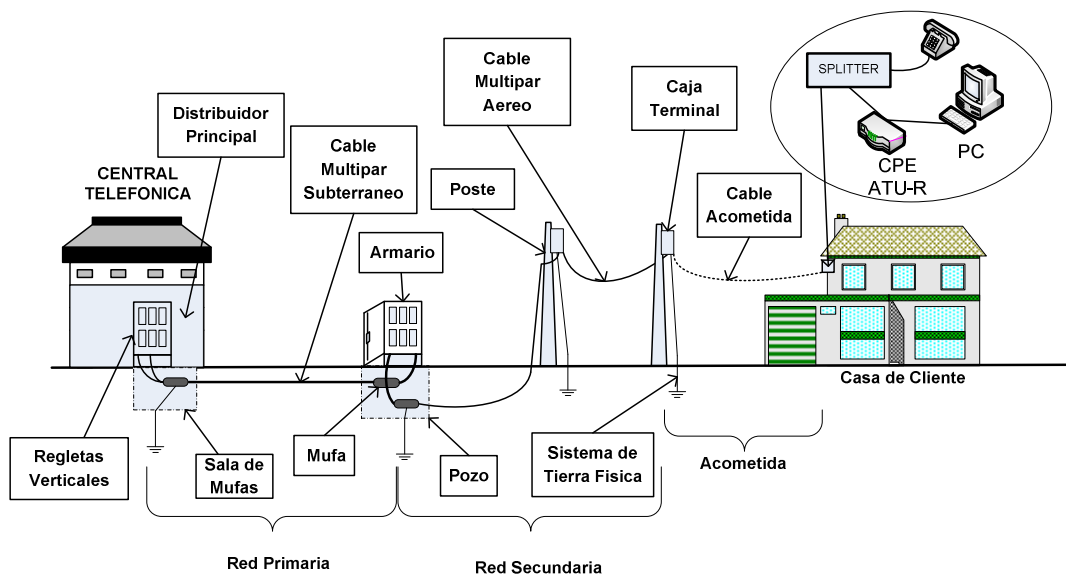


Fuente: elaboración propia.

En la sala de mufas el cable multipar está listo para salir de la central telefónica, utilizando para esto canalización, pozos, postes de metal o madera, dependiendo el diseño de la red de planta externa se pueden utilizar armarios de distribución y cajas terminales para la distribución de señal hasta el abonado o usuario final del servicio.

En la figura 26 se muestra el detalle de una red de planta externa.

Figura 26. Red de distribución de planta externa



Fuente: elaboración propia.

### **3.3. Tipos de redes de distribución**

Una línea de abonado está constituida por un circuito de dos hilos al que se denomina par, interconectando el distribuidor principal de la central telefónica al equipo (teléfono y/o CPE) del cliente.

En la red de la Central Telefónica, el par de la línea de abonado es para uso exclusivo de un abonado específico. El par de cobre sale de la Central Telefónica incorporado en un cable multipar debidamente codificado, para llegar a un punto de fácil distribución, ese punto recibe el nombre de armario o centro de distribución, de aquí se divide la Red Primaria con la red denominada Secundaria, dicha red se conecta a la Caja Terminal, la cual estará ubicada lo más cerca de la casa del cliente, porque de allí se hará una conexión a los equipos del cliente por medio de línea de un par que recibe el nombre de línea de acometida o de abonado.

El armario de distribución es el punto en donde se unen estas dos redes que son la primaria y la secundaria, por medio de un puente bifilar de dos colores diferentes, para identificar el hilo a y el hilo b. Este tipo de redes es empleado preferentemente en lugares en donde hay una gran concentración de abonados, se exceptúan los casos inmediatos a la central.

Los cables multipares pueden ser aéreos o subterráneos, la escogencia depende muchos factores, algunos de orden técnico y otros de orden económico. En el diseño de los cables, también se consideran pares de reserva dependiendo del tipo de cable que se trate, primario o secundario, deberán tener representación por medio de una regleta en uno de sus extremos, ya sea el distribuidor principal o el armario de distribución.

En la red de distribución de cobre hay dos tipos principalmente utilizadas como los son las redes de distribución rígidas y flexibles. Las redes flexibles son las más utilizadas hoy en día, las cuales están divididas en dos grandes secciones que reciben los nombres de red primaria y red secundaria.

### **3.3.1. Red primaria**

Es la red que interconecta a la regleta vertical (ver figura 26) del distribuidor principal de la central telefónica y la regleta del armario de distribución que se encuentra en las afueras de la central telefónica está constituida por un cable multipar que recibe el nombre de cable primario, el cual tiene como característica principal el ser de una gran capacidad en lo que a un número de pares se refiere. En nuestro medio, la capacidad mayor que se utiliza es el de 2 400 pares con un calibre 0,4 milímetros (26 AWG).

La capacidad de estos cables varía en el rango de 100 a 2 400 pares, en múltiplos de 100 y en su mayoría se instalan en forma subterránea, aunque también hay cables multipares para instalación aérea solo que de menor capacidad, ambos son utilizados para alimentar a los armarios de distribución.

Por el grosor de los cables subterráneos empleados, es necesario que las canalizaciones sean las adecuadas en el diámetro y con el suficiente número de vías disponibles y los pozos en los tamaños convenientes que permitan el montaje de los cables, con sus curvaturas indicadas y que exista facilidad para ejecutar dentro de ellos las tareas de mantenimiento. Este tipo de canalización recibe el nombre de canalizaciones primarias.



### **3.3.2. Red secundaria**

Es la red que se interconecta a la regleta de armario del par secundario con la caja terminal, los cables que la constituyen, reciben el nombre de Cables Secundarios.

La capacidad de los cables secundarios, es menor que la de los cables primarios, por esta razón las canalizaciones empleadas son más económicas, por poderse instalar pozos prefabricados de pequeñas dimensiones. La canalización empleada recibe el nombre de canalizaciones secundarias.

Generalmente está compuesta por cables multipares de baja capacidad, con conductores de diámetro comprendido entre 22AWG y 26AWG (0,6 milímetros y 0,4 milímetros, respectivamente) los cuales se utilizan para conectar las cajas terminales con los armarios de distribución; se distribuyen ampliamente en una zona delimitada. La capacidad de estos cables está comprendida en el rango de 10 a 300 pares, en múltiplos de 10 y pueden instalarse de forma aérea y/o subterránea.

### **3.3.3. Línea de abonado**

Está compuesta por cables de un par de conductores de diámetro de 18 AWG y 22 AWG, los cuales se utilizan para conectar el aparato del usuario con la caja terminal. Estos cables pueden instalarse de forma subterránea (22 AWG) o aérea (18 AWG) y la longitud de la línea varía entre 100 y 500 metros.

### 3.3.4. Línea multipar de abonado

En la red telefónica del país las líneas de usuario son pares de cobre en cables que se dividen conforme la distancia se incrementa, desde la central telefónica hacia el abonado o usuario final del servicio. Esta es una red heterogénea en la que existen varios tipos de cables y diferentes diámetros de conductores.

La sección primaria tiene cables con conductores de diámetro 22 AWG (0,6 milímetros) en un 7 por ciento, 24 AWG (0,5 milímetros) en un 9 por ciento y 26 AWG (0,4 milímetros) en un 84 por ciento. La sección secundaria está construida con cables de conductores de diámetro 22 AWG (0,6 milímetros) en un 8 por ciento y 26 AWG (0,4 milímetros) en un 92 por ciento. Tienen una longitud total que varía entre 6 y 900 metros, con un promedio de 300 metros. Las características eléctricas de resistividad y capacitancia de los cables de las secciones primaria y secundaria y de acometida de la red de abonado se presentan en la tabla X. La resistividad que se muestra en la tabla es de bucle o del par de cobre del cable multipar.

Tabla X. **Características eléctricas de cables de cobre a 20°C**

<b>Diámetro del par de cobre</b>	<b>Resistencia de bucle R (<math>\Omega</math>/km)</b>	<b>Capacitancia C (<math>\eta</math>F/km)</b>
22 AWG	108	52,5
24 AWG	172	52,5
26 AWG	273	52,5

Fuente: EXFO. Calificador de cable xDSL, p. 181.

### **3.4. Parámetros eléctricos de conductor metálico de dos hilos**

#### **3.4.1. Descripción**

El par telefónico de cobre puede modelarse como una línea de transmisión uniforme, mediante la obtención de ecuaciones matemáticas diferenciales que permitan describir el comportamiento de la corriente y el voltaje de la señal al propagarse a lo largo de la línea de transmisión.

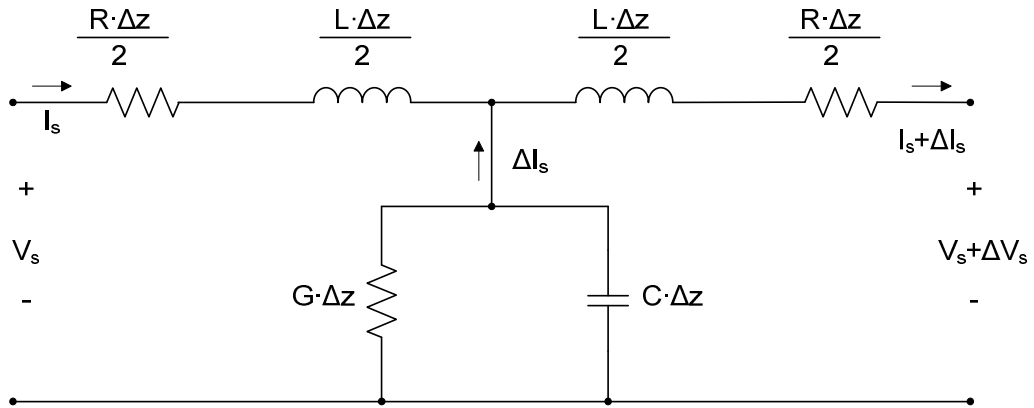
Un método para el desarrollo del modelo sería resolver las ecuaciones de Maxwell, sujetas a condiciones de frontera impuestas por la línea de transmisión particular. El modelo matemático será descrito por los parámetros distribuidos de la línea de transmisión, que son la inductancia, capacitancia, conductancia en derivación y las resistencias asociadas con un incremento de la longitud de línea.

#### **3.4.2. Circuito eléctrico de línea de transmisión**

Se realizará el estudio matemático del par de cobre utilizado para telefónica, el cual consiste básicamente en una línea de transmisión con los parámetros distribuidos de resistencia, inductancias, capacitancia e inductancia.

El análisis se realiza en un tramo de la línea de transmisión de longitud  $\Delta z$ , que contiene una resistencia  $R \cdot \Delta z$ , una inductancia  $L \cdot \Delta z$ , una conductancia  $G \cdot \Delta z$  y una capacitancia  $C \cdot \Delta z$ . El circuito que permite modelar la línea de transmisión uniforme se muestra en la figura 27.

Figura 27. **Circuito eléctrico del par de cobre telefónico**



Fuente: elaboración propia.

Debido a que el segmento de la línea se ve igual desde cualquier extremo, se divide en dos elementos en serie para producir una red simétrica. Un circuito equivalente al anterior, hubiera sido colocar de una manera equivalente la mitad de la conductancia y la mitad de la capacitancia de cada extremo.

La señal que se aplicará en la entrada del circuito se considerará como una onda sinusoidal en el tiempo y se usará la notación para cantidades complejas.

El voltaje  $V$ , entre los conductores es generalmente una función de la distancia  $z$  y el tiempo  $t$ , como se describe en la siguiente ecuación:

$$V = V_o \cos (\omega t - \beta z + \psi)$$

Utilizando la identidad de Euler se puede expresar la ecuación anterior en notación de números complejos como:

$$V = \text{Re} V_0 e^{j(\omega t - \beta z + \psi)} = \text{Re} V_0 e^{j\omega t} e^{-j\beta z} e^{j\psi}$$

Por conveniencia, la ecuación anterior se puede expresar también en notación fasorial, eliminando la parte real de la expresión,  $\text{Re}$ , y suprimiendo  $e^{j\omega t}$ . De esta manera se transforma el voltaje en un fasor, el cual se indica con la notación  $V_s$ .

$$V_z = V_0 e^{j\psi} e^{-j\beta z}$$

El voltaje a lo largo del perímetro de la figura 27 está descrito por la siguiente ecuación:

$$V_s = \left( \frac{R \cdot \Delta z}{2} + \frac{j\omega L \cdot \Delta z}{2} \right) I_s + \left( \frac{R \cdot \Delta z}{2} + \frac{j\omega L \cdot \Delta z}{2} \right) (I_s + \Delta I_s) + V_s + \Delta V_s$$

Si se aproxima la variable  $\Delta z$  a un valor de cero, el término  $\Delta I_s$ , el segundo término del lado derecho desaparece, por lo que se obtiene la siguiente ecuación:

$$\frac{dV_z}{dz} = -(R + j\omega L) I_s$$

A partir de la ecuación anterior y aproximando el voltaje a través de la rama principal como  $V_s$ , se obtiene la siguiente expresión:

$$\frac{\Delta I_s}{dz} = -(G+j\omega C)V_s = \frac{dI_s}{dz}$$

Se define el coeficiente de propagación  $\gamma$ , esta constante permite describir el comportamiento de la señal eléctrica en función del medio, o sea de los parámetros distribuidos del cable (R, L, G, C), y de la frecuencia de transmisión.

$$\gamma = \alpha + j\beta = \sqrt{(R+j\omega L) \cdot (G+j\omega C)}$$

El coeficiente de propagación es un número complejo, donde el término real  $\alpha$ , se conoce como constante de atenuación y la parte imaginaria  $\beta$ , es el coeficiente de distorsión de fase de la señal.

La longitud de onda de la señal se define como la distancia que da un desplazamiento de  $2\pi$  radianes, y se expresa en función de la constante de propagación, como se describe en la siguiente expresión matemática:

$$\lambda = \frac{2\pi}{\beta}$$

Por lo que la velocidad de fase, o la velocidad de propagación de la señal queda definida mediante la siguiente ecuación:

$$V_p = \frac{\omega}{\beta}$$

El voltaje y la corriente en cualquier punto de la línea de transmisión se pueden modelar como la suma de dos voltajes y dos corrientes en direcciones opuestas. Estos están relacionados con  $z$ , la distancia del cable y con  $\gamma$ , el coeficiente de propagación.

$$V(z) = V_o^+ \cdot e^{-\gamma z} + V_o^- \cdot e^{\gamma z}$$

$$I(z) = I_o^+ \cdot e^{-\gamma z} + I_o^- \cdot e^{\gamma z}$$

De las ecuaciones anteriores, se puede obtener el valor de la impedancia característica de la línea de transmisión que está representada por la ecuación:

$$Z_o = \sqrt{\frac{(R+j\omega L)}{(G+j\omega C)}}$$

### **3.4.3. Capacidad de transmisión de bucle metálico**

La capacidad de transmisión del bucle metálico depende de los parámetros eléctricos del par de cobre como lo son resistencia, capacitancia, inductancia y conductancia los cuales están en función de la frecuencia, así como también la distancia de operación del enlace que determinará la atenuación de los subcanales de la señal ADSL que afecta la potencia de la señal transmitida.

El otro factor que ha de tomarse en cuenta es el ruido en el par de cobre y que se conoce como diafonía, denominada en inglés *Crosstalk*, es cuando parte de las señales presentes en uno de ellos, considerado perturbador, aparece en el otro, considerado perturbado, la diafonía se manifiesta de dos formas que son FEXT (*Far end crosstalk*, diafonía de extremo lejano) y NEXT (*Near end crosstalk*, diafonía de extremo cercano)

#### **3.4.4. Función de transferencia del par de cobre telefónico**

La función de transferencia de ganancia de tensión de la línea, es la relación que existe entre el voltaje de salida de la línea y el voltaje de entrada de la misma, tomando en cuenta las variaciones en la amplitud y la fase de la señal transmitida.

La función de transferencia de ganancia de tensión de la línea de cobre se define mediante la siguiente ecuación:

$$T(f) = (V_o / V_i) = e^{-\gamma \cdot d}$$

$$T(f) = e^{-\sqrt{(R(f) + j\omega L(f)) \cdot (G(f) + j\omega C(f))} \cdot d)}$$

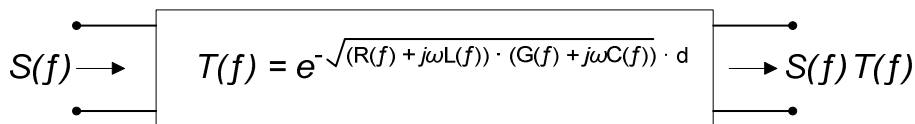
Suponiendo que  $V_o$  es valor de voltaje de salida de la red al aplicar un voltaje de entrada  $V_i$  en el extremo opuesto de la línea de transmisión. Las constantes de la línea de transmisión son R, L, G y C.



De acuerdo con la recomendación G.996.1 de la UIT, los parámetros distribuidos de la línea de transmisión  $R(f)$ ,  $L(f)$ ,  $G(f)$  y  $C(f)$  no son constantes, sino que varían en función de la frecuencia de transmisión.

En la figura 28 se muestra como se modifica la señal original portadora de datos  $S(f)$  al propagarse a través del par telefónico de cobre. La señal a la salida del cable telefónico es igual a la señal  $S(f)$  multiplicada por la función de transferencia de ganancia de voltaje de la línea de transmisión tomando en cuenta la longitud del cable “d” donde se propaga la señal.

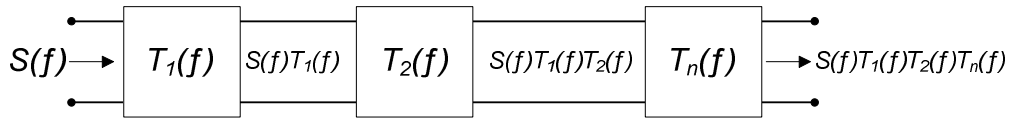
Figura 28. **Función de transferencia de voltaje del par telefónico**



Fuente: elaboración propia.

En el caso de un tramo de cable telefónico compuesto por varios tipos de calibres de cable multipar y longitudes, la función de transferencia de voltaje del par de cobre telefónico es igual a la multiplicación de cada una de las funciones de transferencia de cada tramo, la cual se multiplicará con la señal entrante  $S(f)$ , de esta forma se obtendrá la función de transferencia total como se muestra en la figura 29.

Figura 29. **Funciones de transferencia múltiples de par de cobre**



Fuente: elaboración propia.

Una vez calculada la función de transferencia, lo que se necesita es obtener las ecuaciones para el cálculo en función de la frecuencia de la resistencia, inductancia y capacitancia.

#### 3.4.4.1. Resistencia de par de cobre telefónico

La resistencia  $R$  en el par de cobre telefónico viene dada por la siguiente ecuación:

$$R(f) = (r_{oc}^4 + a_c \cdot f^2)^{1/4} \text{ } [\Omega/\text{m}]$$

donde  $f$  es la frecuencia en Hertz (Hz).

Los valores de  $r_{oc}$  y  $a_c$  se muestran en la tabla XI, con un valor de temperatura de 20 grados centígrados, para cables multipares de diferentes calibres y aislamiento, como lo es papel y polietileno.

Tabla XI. Cálculo de coeficientes R (a 20°C)

Tipo de Cable		$r_{oc}$	$a_c$
Papel	0,40 mm	$2,688 \times 10^{-1}$	$2,267 \times 10^{-13}$
	0,50 mm	$1,724 \times 10^{-1}$	$9,374 \times 10^{-14}$
	0,65 mm	$1,041 \times 10^{-1}$	$2,787 \times 10^{-14}$
	0,90 mm	$5,589 \times 10^{-2}$	$7,180 \times 10^{-15}$
Polietileno	0,40 mm	$2,714 \times 10^{-1}$	$1,705 \times 10^{-7}$
	0,50 mm	$1,742 \times 10^{-1}$	$7,346 \times 10^{-14}$
	0,65 mm	$1,048 \times 10^{-1}$	$2,436 \times 10^{-14}$
	0,90 mm	$5,630 \times 10^{-2}$	$6,486 \times 10^{-15}$

Fuente: recomendación UIT-T G.996.1 (02/2001), p. 29.

La conductancia G en el par de cobre telefónico viene dada por la siguiente ecuación:

$$G(f) = \omega \cdot C \cdot \tan \delta \text{ [mho/m]}$$

donde  $\omega=2\pi f$  y C es la capacitancia del par de cobre.

En la tabla XII se muestran los valores para el cálculo de la tangente de pérdidas en función del aislamiento de los cables multipares de cobre más utilizados.

Tabla XII. **Tangente de pérdidas, Tan  $\delta$  para el cálculo de G (a 20°C)**

<b>Coeficiente</b>	<b>Papel</b>	<b>Polietileno</b>
Tan $\delta$	$2,5 \times 10^{-2}$	$5,0 \times 10^{-4}$

Fuente: Recomendación UIT-T G.996.1 (02/2001). 29. p.

#### **3.4.4.2. Capacitancia de par de cobre telefónico**

La capacitancia C en el par de cobre telefónico se supone constante en todo el cable multipar en función de la frecuencia, y se le asigna un valor de  $C = 52,5 \times 10^{-9}$  [F/m].

#### **3.4.4.3. Inductancia de par de cobre telefónico**

La inductancia L en el par de cobre telefónico está dada por la siguiente ecuación:

$$L(f) = x_a + x_b \cdot f^{1/2} + x_c \cdot f^{1/3} \text{ [H/m]}$$

Los valores de  $x_a$ ,  $x_b$  y  $x_c$  se muestran en la tabla XIII, con un valor de temperatura de 20 grados centígrados, para cables multipares de diferentes calibres y aislamiento, como lo es papel y polietileno.

Tabla XIII. **Cálculo de coeficientes L (a 20°C)**

Tipo de Cable		$x_a$	$x_b$	$x_c$
Papel	0,40 mm	$6,834 \times 10^{-7}$	$-2,094 \times 10^{-10}$	$7,205 \times 10^{-10}$
	0,50 mm	$7,351 \times 10^{-7}$	$1,930 \times 10^{-11}$	$-2,330 \times 10^{-9}$
	0,65 mm	$8,006 \times 10^{-7}$	$2,696 \times 10^{-10}$	$-5,340 \times 10^{-9}$
	0,90 mm	$8,304 \times 10^{-7}$	$5,111 \times 10^{-10}$	$-8,161 \times 10^{-9}$
Polietileno	0,40 mm	$7,257 \times 10^{-7}$	$-2,059 \times 10^{-10}$	$9,678 \times 10^{-10}$
	0,50 mm	$7,618 \times 10^{-7}$	$-1,547 \times 10^{-11}$	$-1,656 \times 10^{-9}$
	0,65 mm	$8,139 \times 10^{-7}$	$2,354 \times 10^{-10}$	$-4,801 \times 10^{-9}$
	0,90 mm	$8,407 \times 10^{-7}$	$4,816 \times 10^{-10}$	$-7,721 \times 10^{-9}$

Fuente: UIT. Recomendación UIT-T G.996.1 (02/2001). 29. p.

### 3.4.5. Paradiafonía (NEXT) y telediafonía (FEXT)

#### 3.4.5.1. Ruido *crosstalk* (Diafonía)

En la familia de sistemas de transmisión ADSL, el factor primordial que define el alcance de un circuito que ofrece un servicio a un abonado, es la pérdida de potencia de la señal, debido al factor de atenuación. De igual forma, otro factor determinante es el ruido de diafonía, producto de una señal de energía de similares o diferentes sistemas de transmisión en pares adyacentes del mismo cable.

### 3.4.5.1.1 *Near end crosstalk (NEXT)*

Es un tipo de ruido de diafonía que se presenta cuando el receptor en un par perturbado está localizado en el mismo extremo del cable que el transmisor del par perturbador. Según el estándar T1.413 de la ANSI, el modelo matemático para la densidad espectral de potencia del ruido NEXT, se puede describir mediante la siguiente expresión:

$$\text{PSD}_{\text{DSL\_NEXT}} = \text{PSD}_{\text{DSL\_DISTURBER}} (\chi_n) (f^{3/2}) \text{ Watts}$$

$$\text{Con } \chi_n = 8,536 \times 10^{-15} \times n^\rho$$

$$0 \leq f \leq \infty$$

$$n \leq 50$$

Donde:

$\text{PSD}_{\text{DSL\_NEXT}}$  = densidad espectral de potencia de ruido provocada por la diafonía NEXT

$\text{PSD}_{\text{DSL\_DISTURBER}}$  = densidad espectral de potencia del servicio perturbador

$\chi_n$  = Parámetro de ajuste del sistema

$n$  = número de perturbadores

$\rho$  = índice de rigurosidad, es fijado en 0,6

$f$  = frecuencia en *Hertz*

### 3.4.5.1.2 *Far end crosstalk (FEXT)*

Es el ruido de diafonía que se produce cuando el receptor en un par perturbado está localizado en el otro extremo del cable que el transmisor del par perturbador.

Según el estándar T1.413 de la ANSI, el modelo matemático para la densidad espectral de potencia del ruido FEXT, se puede describir mediante la siguiente expresión:

$$\text{PSD}_{\text{DSL\_FEXT}} = \text{PSD}_{\text{DSL\_DISTURBER}} \cdot \left| H_{\text{FEXT}}(f) \right|^2 \text{ Watts}$$

$$\left| H_{\text{FEXT}}(f) \right|^2 = \left| H_{\text{channel}}(f) \right|^2 \cdot k \cdot l \cdot f^2 \text{ Watts}$$

Donde:

$\text{PSD}_{\text{DSL\_FEXT}}$  = densidad espectral de potencia de ruido provocado por la diafonía FEXT

$\text{PSD}_{\text{DSL\_DISTURBER}}$  = densidad espectral de potencia del servicio perturbador

$\left| H_{\text{channel}}(f) \right|$  = función de transferencia del canal, en términos de la frecuencia

$k$  = constante de acople =  $8 \times 10^{-20} \cdot (n/49)^{\rho}$  para  $n < 50$

$n$  = número de servicios perturbadores

$l$  = constante de acople de longitud de bucle en pies = 9 000

$f$  = frecuencia en *Hertz*

El modo FEXT asume que la ganancia de inserción de la función de transferencia es calculada para la trayectoria total del cable entre el transmisor y el receptor perturbado. Por otra parte la constante de acople de longitud es calculada sólo sobre la longitud de la trayectoria de acople  $l$ .

La longitud de trayectoria de acople es la longitud del cable sobre la cual el receptor víctima y el transmisor perturbador, en el extremo lejano tienen la trayectoria común de cable.

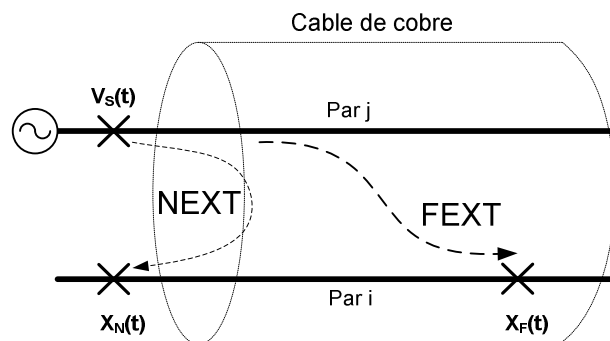
Las ecuaciones consideradas anteriormente, para el cálculo de la diafonía NEXT y FEXT, son aplicables para sistemas DSL, de la misma clase que coexisten en un agrupamiento de pares de cable telefónico.

El ruido total que afecta la transmisión de datos a través de ambos servicios de banda ancha que se calcula mediante la suma lineal algebraica del ruido NEXT, el ruido FEXT y AWGN. De esta manera, el ruido total del canal sería:

$$N(f) = \text{PSD}_{\text{DSL\_NEXT}} + \text{PSD}_{\text{DSL\_FEXT}} + \text{AWGN}$$

La figura 30 muestra el comportamiento de ambos fenómenos de diafonía sobre un cable telefónico.

Figura 30. **Ruidos de diafonía NEXT y FEXT sobre el par de cobre**



Fuente: elaboración propia.



Entonces si se desea considerar el efecto del ruido de diafonía dentro del modelo teórico, las ecuaciones de capacidad del canal de transmisión serían reajustadas como se detalla a continuación:

$$C_{UP} = B \cdot \sum_{i=6}^{i=31} \log_2 \left( 1 + \frac{|H_{channel}(i \cdot \Delta f)|^2 \cdot PSD_{SEÑAL}(i \cdot \Delta f)}{(PSD_{DSL\_NEXT} + PSD_{DSL\_FEXT} + AWGN) \cdot 10^{(\sigma/10)}} \right) \text{ bps}$$

$$C_{DOWN} = B \cdot \sum_{i=33}^{i=255} \log_2 \left( 1 + \frac{|H_{channel}(i \cdot \Delta f)|^2 \cdot PSD_{SEÑAL}(i \cdot \Delta f)}{(PSD_{DSL\_NEXT} + PSD_{DSL\_FEXT} + AWGN) \cdot 10^{(\sigma/10)}} \right) \text{ bps}$$

#### 3.4.6. Calibres de cables usados en redes de planta externa

Los calibres de cable multipar de cobre están en función del diseño de la red de planta externa, ya que estos cables pueden ser instalados de forma aérea o subterránea, y pueden ser usados para línea de abonado o acometida, red primaria y secundaria. De estos cables hay varios tipos y sus aplicaciones los cuales se muestran en la tabla XIV, en la cual se muestra información de cables fabricados por la empresa mexicana Condumex, la cual suministra la mayoría de cables para aplicaciones de telefonía fija en el país.

Tabla XIV. **Cables de cobre para redes de planta externa**

<b>Tipo</b>	<b>Código</b>	<b>Calibre AWG</b>	<b>Aislamiento</b>
Acometida Aérea	2x18-PVC	18	Aislamiento en paralelo de PVC
	Acometida Reforzado	22	Polietileno
	Acometida Reforzado blindado	22	Polietileno
Instalación Subterránea	SCREB (Poliplas)	26	Polietileno
		24	
		22	
Instalación subterránea relleno	SCReEBH	26	Polietileno celular con capa externa solida
Directamente enterrado	SCReEBhf	24	
Cables Autosoportados	ASPB (ACREBg)	22	Polietileno celular con capa externa solida
	ALPETH FIGURA 8	20	Polietileno sólido
	Cables Secos para uso aéreo o subterráneo	ALPETH	26
Cables rellenos con aislamiento sólido	ALPETH RELLENO	24	Sólido de polieolefina
		22	
		19	

Fuente: elaboración propia.

Como se observa en la tabla XIV hay varios cables dependiendo la forma de instalación, y si es para la red primaria, secundaria o de acometida. El aislamiento más utilizado para el cable multipar es el polietileno, ya que está diseñado para resistir la exposición prolongada a la radiación solar, humedad y otros efectos ambientales. En red subterránea se recomienda usar cables rellenos. En las redes aéreas el tipo de cable más utilizado es el autosoportado figura 8 o cable con mensajero, el cual se puede sujetar a un extremo por medio del mensajero, generalmente los herrajes metálicos instalados en postes.

### 3.4.7. Capacidad de cable multipar

En la tabla XV se detalla la capacidad en pares de cobre de los cables multipares más utilizados, para redes de planta externa de cobre. El código indicado en la tabla XV es como se identifica en el catálogo de cables Telefónicos de Condumex del 2002.

Tabla XV. **Capacidad en pares de cobre de cable multipar**

Tipo	Código	Calibre AWG	Número de pares de cobre
Acometida aérea	2x18-PVC	18	1
	Acometida Reforzado	22	1 a 2
	Acometida Reforzado blindado	22	1
Instalación Subterránea	SCREB (Poliplas)	26	10 a 1800
		24	10 a 1200
		22	10 a 900
Instalación subterránea relleno	SCReEBH	26	10 a 1800
		24	20 a 1200
		22	10 a 900
Directamente enterrado	SCReEBhf	26	20 a 1800
		24	20 a 1200
		22	20 a 900
Cables Autosoportados	ASPB (ACREBg)	26	10 a 300
		24	10 a 300
		22	10 a 300
	ALPETH FIGURA 8	20	10 a 100
		26	10 a 400
		24	10 a 400
Cables Secos para uso aéreo o subterráneo	ALPETH	22	10 a 400
		26	6 a 2400
		24	6 a 1800
Cables rellenos con aislamiento sólido	ALPETH RELLENO	22	6 a 900
		26	25 a 1800
		24	6 a 1200
		22	6 a 600

Fuente: elaboración propia.

## **4. MEDICIÓN DE SERVICIOS DE TECNOLOGÍA ADSL**

### **4.1. Descripción**

La entrega de servicios ADSL usando redes de cobre es posible gracias a los avances en tecnologías DSL, que a su vez demandan mayor calidad en la red de cobre para la utilización como medio de transmisión. En este caso la señal ADSL utiliza como medio de transmisión el par de cobre el cual está instalado desde la central telefónica o nodo de telecomunicaciones hasta el usuario final del servicio.

Las mediciones del par de cobre o línea de abonado son parte de lo que se conoce como proceso de certificación del par de cobre, y dependiendo de los resultados se aceptará o no para ser usado para un servicio de internet o de datos para un usuario residencial o empresarial, en el caso que las mediciones realizadas no se encuentren en el rango de operación permitido lo que procede es que el área encargada de mantenimiento de la red multipar o departamento de reparación de cables realice el mantenimiento correctivo necesario. Después de haber realizado el mantenimiento correctivo en la red, se procederá nuevamente a realizar el proceso de certificación del par de cobre.

## **4.2. Medición de línea de abonado digital ADSL**

La medición de los pares de cobre utilizados para tecnología ADSL debe de realizarse para verificar el desempeño a nivel del enlace de datos entre el CPE y el DSLAM, esto debido a que el ancho de banda máximo a utilizar para este tipo de circuitos es de 1,1 Mhz.

Se tienen dos grupos de mediciones básicas que se tiene que realizar para garantizar la utilización de un par de cobre para servicio ADSL, los cuales son:

- a) Medición de parámetros eléctricos del par
- b) Medición de parámetros de par de cobre a nivel de transmisión de datos

El primer grupo es el básico del que dependerán el grupo de mediciones del segundo grupo, ya que si no se tienen condiciones aceptables a nivel de los parámetros eléctricos no se tendrán velocidades de operación y desempeño aceptables, lo que influirá en la calidad del servicio que recibirá el usuario final.

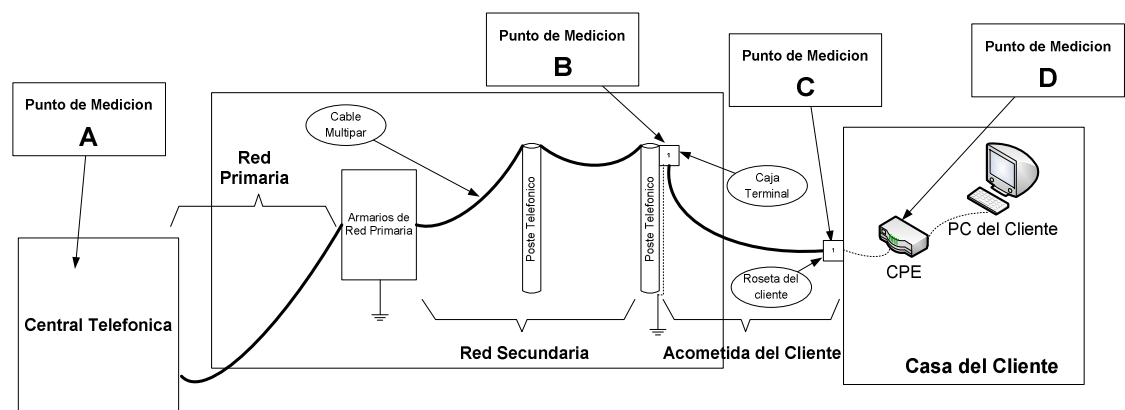
## **4.3. Medición de parámetros eléctricos de línea de abonado digital**

Se describirá la forma de realizar mediciones de los parámetros eléctricos de una red de planta externa, indicando los equipos de medición a utilizar y la forma de conexión.

### 4.3.1. Descripción de mediciones

Las mediciones a realizar en la línea de abonado digital serán realizadas usando la figura 31, donde se tiene la distribución de red de cobre desde la central telefónica hasta la casa del cliente o usuario final.

Figura 31. Diagrama de mediciones ADSL



Fuente: elaboración propia.

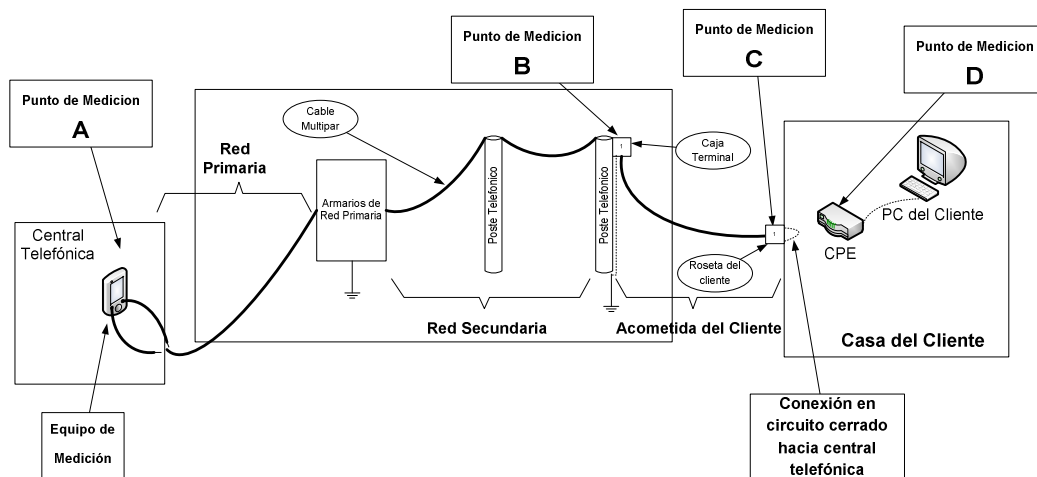
En la figura 31 se observa que hay cuatro puntos de medición lo cuales se hará referencia para las distintas mediciones a realizar. Los cuatro puntos de medición están identificados como:

- a) Punto de medición A (Central telefónica)
- b) Punto de medición B (Caja terminal)
- c) Punto de medición C (Roseta del cliente)
- d) Punto de medición D (En el CPE del cliente)

### 4.3.2. Resistencia de bucle

La resistencia del bucle es la medición que se realiza para determinar la resistencia eléctrica de la línea de abonado, la cual se realiza según figura 32 desde el punto de medición A hacia el punto C, en la cual los hilos A y B del par de cobre están conectados para que exista continuidad en toda la línea de cobre y así poder cerrar el circuito para realizar la medición.

Figura 32. Medición de resistencia de bucle



Fuente: elaboración propia.

El objeto de la medición es comprobar la continuidad del par de cobre y en base a la distancia en metros de la línea se puede determinar si el valor de resistencia corresponde a su longitud, utilizando para ello el valor de resistencia en  $\Omega/\text{km}$ .

Para calcular la resistencia total del circuito bajo prueba se usarán los valores de resistencia de la tabla X, y usar la ecuación descrita a continuación para realizar la compensación por temperatura:

$$R_{T2} = R_{T1} (1 + \alpha (T2 - 20)) \Omega/\text{km}$$

Donde:  $R_{T1}$  = resistencia por kilómetro a temperatura de 20°C

$R_{T2}$  = resistencia por kilómetro a temperatura T2 en °C

T2 = temperatura a calcular resistencia en grados centígrados

$\alpha$  = coeficiente de temperatura para cobre igual a  $3,93 \times 10^{-3}$

Por lo que la resistencia eléctrica por kilómetro será:

Resistencia del conductor ( $\Omega/\text{km}$ ) = (resistencia a 20°C) x ( $R_{T2}$ )

Los valores típicos en una línea de 3,5 kilómetros con un calibre AWG 26 sería de  $936\Omega$ , que será el valor máximo a obtener en un circuito ADSL.

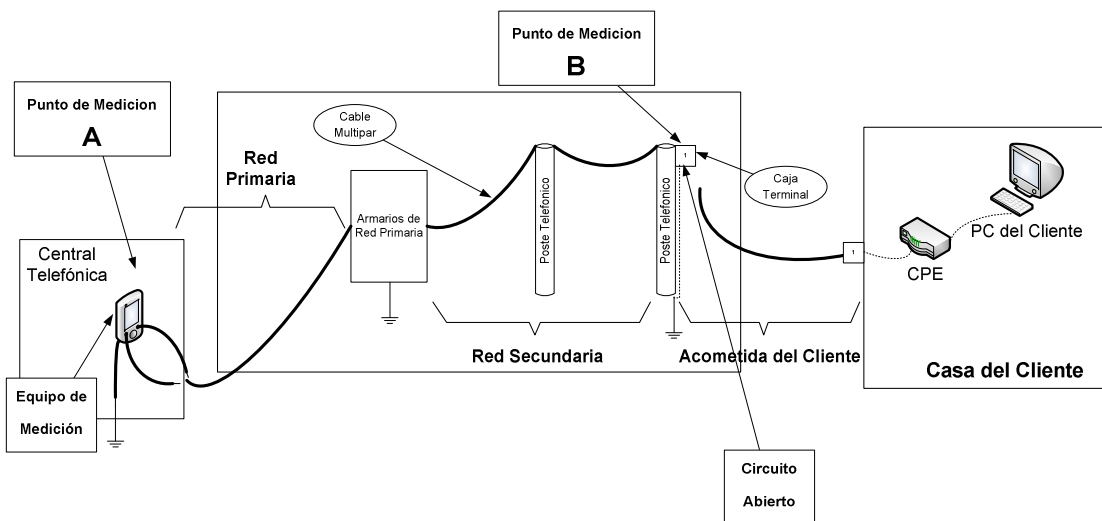
En caso la línea este formado por varios calibres de cable, se deberá calcular la resistencia individual de cada tramo y proceder a realizar la suma algebraica de estos valores para calcular el valor total de resistencia, este será el caso más usual, ya que las redes de planta externa están compuestas por varios calibres de cables multipar.



### 4.3.3. Aislamiento

Es el valor de la resistencia eléctrica del material con que están revestidos los conductores eléctricos. Debido a que resistencia eléctrica, es la oposición que presentan los materiales al paso de la corriente eléctrica, es de esperarse que este valor sea lo más alto posible (en el rango de los  $M\Omega$ ) ya que no se desea que circulen corrientes de fuga entre un hilo y otro y la pantalla de los cables. Esta medición se realiza entre el punto de medición A y el punto de medición B como se muestra en la figura de la figura 33.

Figura 33. **Medición de aislamiento**



Fuente: elaboración propia.

Para seccionar la medición también se puede realizar desde el armario hacia los puntos de medición A y B.

Para realizar esta medición es necesario que el par de cobre a medir se encuentre abierto en el otro extremo, para evitar daños a cualquier equipo interconectado. Las mediciones de resistencia de aislamiento se pueden realizar de tres formas:

- a) Entre hilos del mismo par
- b) Entre hilos de diferente par
- c) Entre hilo y tierra

El valor de la resistencia de aislamiento depende del material dieléctrico que se utilice para el revestimiento de los conductores. Se considera un buen aislamiento si la medición esta en valores iguales o superiores a los 400 MΩ. Se considera bajo aislamiento si la medición esta en el rango de 400 MΩ a 200 MΩ y se considera un aislamiento malo para valores menores a 200 MΩ. Cuando el aislamiento de un hilo es de 0 MΩ se dice que el hilo esta a tierra. En la tabla XVI se muestran los valores de aislamiento y su estado en un par de cobre.

Tabla XVI. **Valores de aislamiento de un par de cobre**

<b>Valores de Aislamiento (MΩ)</b>	<b>Estado</b>
Menor que 200	Mal aislamiento
Entre 400 y 200	Bajo aislamiento
Mayor que 400	Aceptable

Fuente: elaboración propia.

Las pruebas de aislamiento entre hilos de un par es parte importante de las pruebas de certificación de cable, cuando se tiene bajo aislamiento o mal aislamiento las causas que lo provocan pueden ser una de las siguientes:

- a) Cables dañados
- b) Humedad o agua en el cable
- c) Empalmes mal realizados y no sellados adecuadamente

La medición del aislamiento es realizada generalmente por un instrumento de medición llamado Megger, que esencialmente es un medidor de resistencia de alto rango con un generador de corriente directa incorporado. Este medidor es de construcción especial con bobinas de corriente y bobinas de voltaje que permiten que los ohmios se puedan leer directamente, independientemente del voltaje aplicado.

Este método no es destructivo, es decir, no ocasionará deterioro al aislamiento. Se tiene que tomar en cuenta que la resistencia medida (del aislamiento) será determinada por el voltaje aplicado y la corriente resultante. Los valores típicos de voltaje usados para mediciones de aislamiento para cables telefónicos o pares de cobre oscilan desde 100 Vdc, 250 Vdc y 500 Vdc.

#### **4.3.4. Longitud de línea**

La longitud de la línea del par de cobre determina en gran medida el alcance de un circuito ADSL debido a la atenuación de la señal, por tal motivo es importante poder realizar la medición de la longitud de la línea, el estándar de ADSL establecido para circuitos esta en el orden de los 3,5 kilómetros desde la central telefónica hasta las instalaciones del cliente.

Esta medición se efectúa desde el punto de medición A al punto de medición C de la figura 31, y puede ser calculada de dos formas:

- a) Usando reflectometría en el dominio del tiempo: la cual se realizó usando un equipo TDR (*Time Domain Reflectometer*, reflectometría de dominio en el tiempo): con el par de cobre en circuito abierto en un extremo se envían pulsos de voltaje a través de la línea y se monitorean las reflexiones del voltaje las que son provocadas por anomalías en los cables. Los tiempos de reflexión se miden desde la ubicación de la reflexión en el tiempo hacia el dispositivo TDR, que está conectado en un extremo del cable, calculando así la distancia del par de cobre
- b) Cálculo de distancia por método teórico: con un extremo del circuito en corto circuito, se calcula la resistencia del circuito de cobre como se hizo en el inciso 4.3.2.

Al obtener la resistencia del circuito se utilizará la siguiente fórmula para el cálculo teórico de la distancia del par de cobre:

$$\text{Longitud de la línea(km)} = \frac{\text{Resistencia medida } (\Omega)}{2 \times \text{resistencia del conductor } (\Omega/\text{Km})}$$

La utilidad de la medición de la línea es comprobar la longitud basada en planos de la distribución de red, y poder detectar cortes en la línea de cobre al momento de realizar mantenimiento correctivo.

#### **4.3.5. Capacitancia**

Es el valor del efecto capacitivo que se dan en los conductores eléctricos. El valor de este efecto depende del tipo de material que exista entre los conductores (el aislante, relleno, agua) de la distancia que exista entre los conductores, calibre y longitud de los conductores.

La capacitancia  $C$  en el par de cobre telefónico se supone constante en función de la frecuencia, y se le asigna un valor de  $C = 52,5 \times 10^{-9}$  [F/m], la cual es independiente de la longitud de la línea.

Este valor es medido entre los puntos de medición A y el punto de medición C, un extremo del par debe de estar en circuito abierto.

#### **4.3.6. Balance longitudinal**

El envío y recepción de señales en el par de cobre se lleva a cabo entre los hilos a y b o también como se conocen *Tip y Ring*. Las relaciones entre los hilos de un par de cobre de resistencia, capacitancia e impedancia respecto a tierra son las que se conocen como características longitudinales.

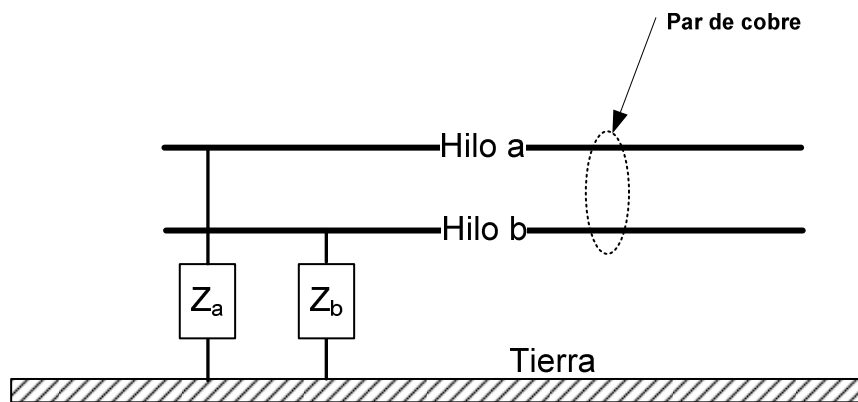
Los pares de cobre en un cable multipar a menudo están instalados cerca de líneas de voltaje y otras fuentes de interferencia y por lo tanto son susceptibles de inducción por ruido. Las líneas de voltaje y otras fuentes de ruido inducen una corriente longitudinalmente en el par.

Esta corriente inducida longitudinalmente fluye en ambos hilos del par de cobre en la misma dirección y al mismo tiempo y puede resultar en varios voltios entre el par y tierra. Un porcentaje de este voltaje longitudinal puede

aparecer diferencialmente entre los hilos del par de cobre y causar interferencia en las señales que están siendo transmitidas. La cantidad de voltaje diferencial (llamado voltaje metálico entre *Tip y Ring*) es determinado por las impedancias relativas a tierra de los hilos individuales de cada par. Las impedancias relativas pueden ser medidas y son llamadas balance longitudinal del par de cobre.

El balance longitudinal es medido induciendo una señal específica en el par de cobre longitudinalmente y midiendo la señal metálica correspondiente o voltaje entre hilos del par. El balance es básicamente la razón de un estímulo sobre una señal medida. Altos valores de balance indican una mejor relación de impedancias entre hilo a y tierra e hilo b y tierra, lo que da como resultado un bajo nivel de ruido en el par de cobre. En la figura 34 se describe la forma de cálculo del balance longitudinal.

Figura 34. **Cálculo de balance longitudinal**



$$\text{Balance} = 20 (\log_{10} (Z_a - Z_b) / (Z_a + Z_b)) \text{ dB.}$$

Fuente: elaboración propia.

Los valores de balance longitudinal aceptados para circuitos DSL son del orden de 40 dB o mayores según norma ANSI T1.413, valores bajos de aislamiento indican desbalance en los hilos del par haciéndolo susceptible al ruido.

En la tabla XVII se muestran los valores de aislamiento y se indican cuáles son los rangos de operación.

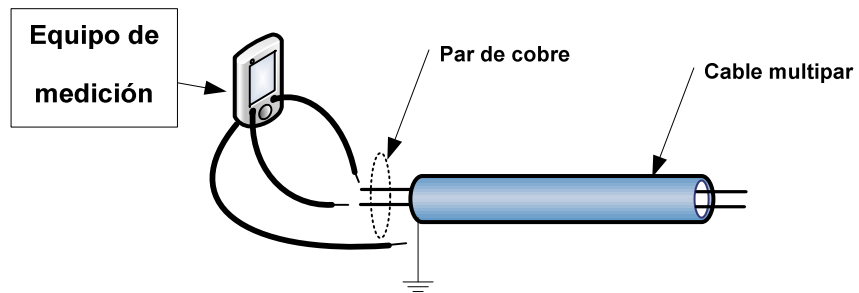
Tabla XVII. **Valores de balance longitudinal**

<b>Balance Longitudinal (dB)</b>	<b>Condición</b>
Menor de 40	Bajo
Mayor de 40 y menor de 50	Aceptable
Mayor de 50	Óptimo

Fuente: elaboración propia.

La medición del balance longitudinal de un par de cobre se realiza como se muestra en la figura 35, conectado el equipo de medición con sus tres puntas de pruebas de la siguiente forma, una al hilo a y la otra al hilo b, la tercera se conecta a tierra física, el otro extremo del par de cobre se debe de tener abierto. La medición se realiza entre los puntos A y B de la figura 35 con el par en circuito abierto.

Figura 35. **Medición de balance longitudinal**



Fuente: elaboración propia.

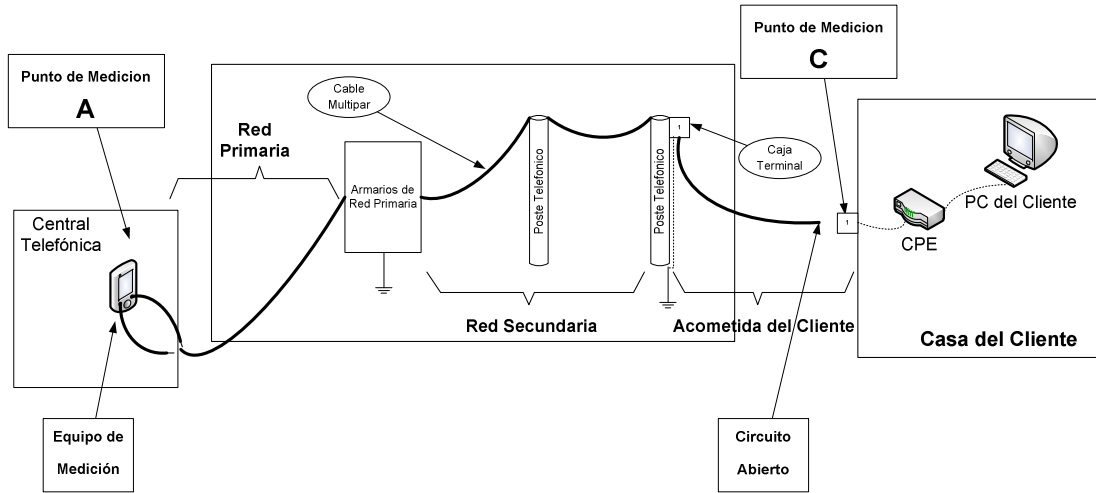
Para medir el balance longitudinal es necesario contar una referencia a tierra, en el caso de cable multipar de cobre se obtiene de la conexión de la pantalla del cable a tierra, razón por la cual es de suma importancia contar con valores de tierra física menor de 2 ohmios.

#### **4.3.7. Voltajes AC y DC**

Generalmente las mediciones de voltaje AC y DC en un par de cobre, es uno de las primeras pruebas que se realizan a un par de cobre, la medición se realiza entre los hilos a y b del par de cobre con un extremo en circuitos abierto, y se realiza entre los puntos A y C como se muestra en la figura 36.



Figura 36. **Medición de voltajes AC y DC en un par de cobre**



Fuente: elaboración propia.

Los voltajes de DC medidos en un par de cobre con un extremo abierto típicamente son resultado del voltaje de la central telefónica. Esto se debe a un par que este en contacto con otro como resultado de un daño en el cable multipar, agua en el cable o empalmes no sellados adecuadamente, esto provocará ruido en el par de cobre lo que afectara la relación señal a ruido. Un valor menor de 3 Vdc entre hilo a y b, hilo a y tierra, hilo b y tierra son aceptables para que no se afecte la señal, estas mediciones se realizan con un extremo en circuito abierto.

Al encontrarse conectado el par de cobre a la central telefónica y el otro extremo al equipo del cliente se debe de medir un voltaje entre 48 Vdc y 52 Vdc entre hilo a y b del par de cobre, -48 Vdc a -52 Vdc entre hilo a y tierra, y menos de 3 Vdc entre hilo b y tierra.

Para el caso de medición de voltajes AC en un par de cobre, una de las principales fuentes de problemas la constituye la inducción debido a las líneas de transmisión de energía eléctrica, este voltaje actúa como una fuente de ruido, degradando la calidad de señal xDSL.

Para la medición de voltajes AC en un par de cobre también se utiliza el esquema presentado en la figura 36. Los valores de mediciones de voltajes AC entre hilos a y b de un par de cobre deben de ser menores que 3 Vac, entre hilo a y tierra, hilo b y tierra el voltaje debe ser menor que 10 Vac.

En la tabla XVIII se muestran los valores aceptables de voltajes AC y DC en un par de cobre para que pueda operar un circuito ADSL.

Tabla XVIII. **Valores aceptables de voltaje en un par de cobre**

<b>Medición de voltaje</b>	<b>Voltaje AC</b>	<b>Voltaje DC</b>
Entre hilo a y b / circuito abierto	< 3	< 3
Entre hilo a y b / circuito conectado a la central telefónica	< 0.5	de 48 a 52
Entre hilo a y tierra / circuito conectado a la central telefónica	< 10	de -48 a 52
Entre hilo b y tierra / circuito conectado a la central telefónica	< 10	< 3

Fuente: JDSU. Triple-Play Service Deployment, p.84.

#### **4.3.8. Ruido de fondo**

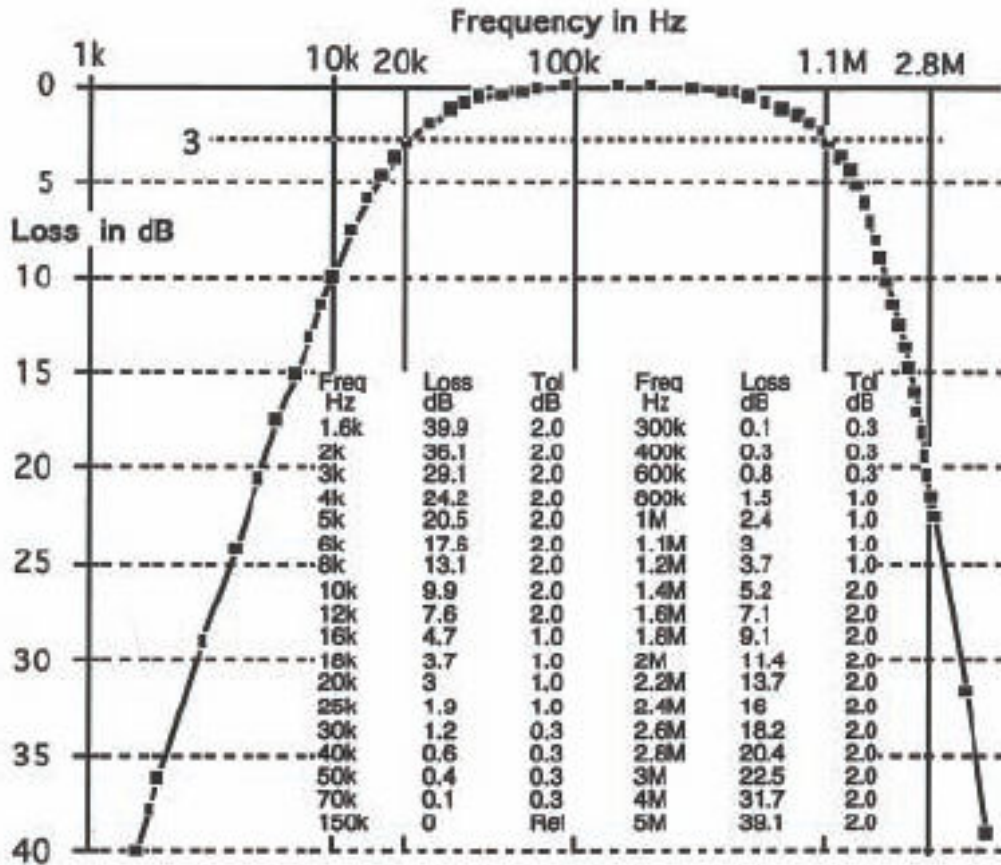
Ruido a alta frecuencia puede tener un impacto negativo en los servicios xDSL, causando errores y en el peor de los casos pérdida completa de sincronización entre las unidades ATU-R y ATU-C. Para medir el ruido, es necesario un equipo capaz de mediciones de ruido de banda ancha y no uno que este diseñado para medir el ruido de la banda de voz. Este debe ser capaz de medir en el espectro de banda ancha ADSL hasta 1,1 Mhz.

Para medir el ruido que afectará a la señal ADSL, se debe de usar el aparato de medición con el filtro G, el cual para asegurar la exactitud la medición el extremo lejano debe estar terminado con una resistencia de 100  $\Omega$ . Esta medición se realiza entre los puntos de medición A y C en circuito abierto.

El filtro G está definido por la recomendación IEEE estándar 743, el cual esta especificado para un ancho de banda de 20 KHz a 1 100 KHz. El ruido de banda ancha puede ser el resultado de interferencia de un servicio digital en el mismo cable, señales de AM o banda corta de radio de estaciones de radio.

Debido a que la señal de ruido puede ser muy fuerte para afectar el servicio xDSL, en muchos casos un par desbalanceado, empalmes mal realizados y aterrizaje del cable multipar son factores que contribuirán al ruido debido a que reducen la inmunidad al ruido. En la figura 37 se muestra la respuesta en frecuencia de un filtro G.

Figura 37. Filtro G – ADSL



Fuente: EXFO. Measuring noise for DSL, application Note 149

Los valores generalmente aceptados de ruido en el filtro G son del orden de -50 dBm, el cual en los equipos de mediciones cuenta los impulsos en un determinado número de tiempo el cual puede ser horas o minutos.

#### **4.3.9. Relación señal a ruido**

El esquema de modulación DMT utiliza subcanales donde se envían los bits de información, estos son modulados usando modulación digital QAM, a medida que se envían mas símbolos en cada subcanal implica que la relación señal a ruido tiene que ser mayor.

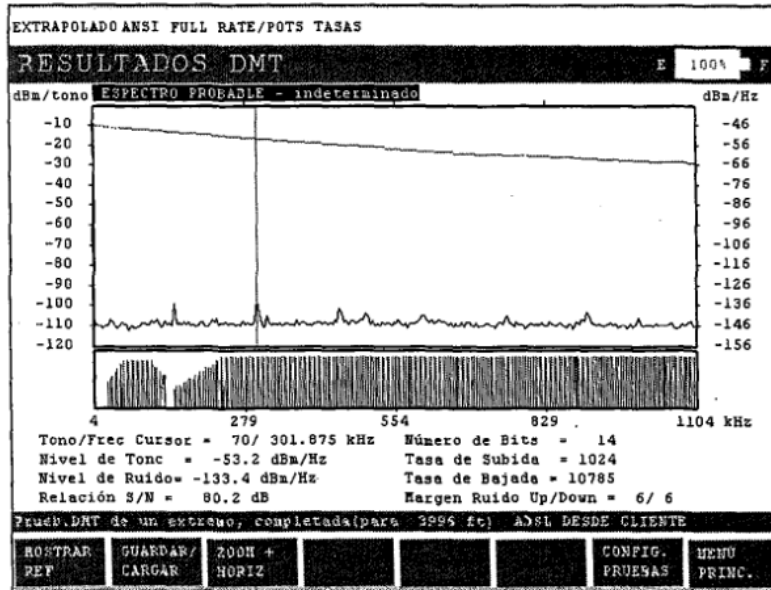
La relación señal a ruido puede ser medida de dos formas:

- a) Utilizando equipos de medición que cumplan con la normas ANSI.T1.413 y UIT-T G.992.1
- b) A través del equipo CPE.

Debido a que por cada subcanal puede existir una relación señal a ruido, la forma más recomendada para realizar el análisis es el gráfico utilizando el equipo de medición, ya que en este caso existirá un problema de no lograr una determinada velocidad de operación se puede visualizar el número de subcanal, la frecuencia de operación, los bits asignados al subcanal y la relación señal a ruido, así se podrá ubicar que canales estuvieran siendo afectados por interferencias a una frecuencia específica en el medio de transmisión.

En la figura 38 se muestra una gráfica típica obtenida de un equipo de medición de una señal ADSL, donde se muestra la relación señal a ruido y asignación de bit en los subcanales.

Figura 38. **Medición de relación de señal a ruido en un subcanal**



Fuente: EXFO. Calificador de cable xDSL CablesharkP3, p. 72.

En la tabla XIX se muestra la correspondencia entre los valores de relación señal a ruido y bits asignados a cada subcanal de datos

Tabla XIX. **Relación señal a ruido y asignación de bit en subcanales**

Bits/símbolo	Relación señal a ruido (dB)
2	16,6
6	29,8
10	41,9
14	54,0

Fuente: INGENIARE. Revista Chilena de Ingeniería. vol.17 No.1, p. 123.

Una de las principales ventajas de la técnica DMT es su capacidad de adaptación a las condiciones del medio y su casi óptima utilización del espectro. Esto se debe a que es posible asignar a un canal una determinada cantidad de bits, este proceso se realiza durante el proceso de inicialización de los modem ATU, por lo tanto esta adaptación al medio requiere que ambas unidades ATU-C y ATU-R efectúen mediciones de la relación señal a ruido de cada subcanal durante el proceso de encendido, este proceso se realiza continuamente para detectar si el nivel de señal a ruido disminuya y no sea posible transmitir bits en ese subcanal.

Cuando esto ocurre se da lo que se llama *bit swapping*, el cual consiste en disminuir el número de bits en el subcanal y al mismo tiempo incrementar el número de bits de otro subcanal, en la misma cantidad que fue disminuido del primero.

De esta manera los sistemas ADSL son capaces de reaccionar activamente a las variaciones de las condiciones bajo las cuales se realiza la transmisión, sin que esto implique cambio en las velocidades o interrupción en el servicio.

#### **4.4. Mediciones de parámetros de subida y bajada de transmisión de datos**

Se describen los parámetros utilizados en la medición de circuitos ADSL en función del desempeño de la red del par de cobre y la velocidad de operación previamente programada en el DSLAM.

Con estos parámetros se puede diagnosticar que las tasas de transferencias de datos y valores de atenuación se encuentren dentro de los valores calculados en el diseño del enlace. Estos parámetros pueden ser obtenidos a través de equipos de medición o desde el CPE instalado en el usuario final a través de comandos previamente establecidos en función del proveedor del equipo.

#### **4.4.1. Máxima velocidad de subida**

Se define como la máxima tasa de transferencia de subida o *Upstream* alcanzable entre la ATU-R y el ATU-C durante la fase de inicialización. El valor se muestra por general en Kbps (kilobits por segundo). Este valor representa la máxima velocidad que el circuito puede manejar.

#### **4.4.2. Máxima velocidad de bajada**

Se define como la máxima tasa de transferencia de bajada o *Downstream* alcanzable entre la ATU-R y el ATU-C durante la fase de inicialización. El valor se muestra por general en Kbps (kilobits por segundo). Este valor representa la máxima velocidad que el circuito puede manejar.

#### **4.4.3. Velocidad de subida**

Muestra la tasa de transferencia actual de datos existente entre el ATU-C y el ATU-R en el canal de subida o *Upstream*, este valor es el que debe de representar la velocidad configurada en el ATU-C, a menos que el circuito este siendo afectado por ruido. Los valores se muestran en kilo bits por segundo, y típicamente es el valor al que el DSLAM se ha configurado.



#### **4.4.4. Velocidad de bajada**

Muestra la tasa de transferencia actual de datos existente entre el ATU-C y el ATU-R en el canal de bajada o *Downstream*, este valor es el que debe de representar la velocidad configurada en el ATU-C, a menos que el circuito este siendo afectado por ruido. Los valores se muestran en kilo bits por segundo, y típicamente es el valor al que el DSLAM se ha configurado.

#### **4.4.5. Capacidad de uso del canal de subida**

Muestra la capacidad de la línea, y es la relación entre la velocidad de subida y la máxima velocidad de subida, la cual es expresada en porcentaje (%), un valor alto indica que el enlace se está acercando a su máxima capacidad de transferencia, mientras que un valor bajo puede significar que el enlace está siendo subutilizado.

#### **4.4.6. Capacidad de uso del canal de bajada**

Muestra la capacidad de la línea, y es la relación entre la velocidad de bajada y la máxima velocidad de bajada, la cual es expresada en porcentaje (%), un valor alto indica que el enlace se está acercando a su máxima capacidad de transferencia, mientras que un valor bajo puede significar que el enlace está siendo subutilizado.

#### 4.4.7. Atenuación

Representa el valor de atenuación promedio en los canales de subida y de bajada existente entre el ATU-C y ATUC-R. Hay un valor para cada canal, uno para el *Upstream* y otro para el *Downstream*, los cuales son medidos en dB.

Los valores de atenuación varían dependiendo de las velocidades de operación y de la distancia de operación entre el usuario final y la central de telecomunicaciones, para clasificar las velocidades de operación los operadores de servicios de ADSL las clasifican en perfiles, los cuales indican cual es la velocidad de subida y de bajada en kilobits por segundo.

En la tabla XX se muestran los perfiles más utilizados por las compañías de Telecomunicaciones que ofrecen enlaces de datos e internet, siendo el parámetro más utilizado la velocidad de bajada del enlace de internet con el cual se identifica el servicio a nivel comercial. Los valores de atenuación promedio de son lo que el enlace funcionara adecuadamente, es importante notar que son diferentes a medida que cambia la velocidad de operación.

Generalmente la velocidad de transmisión de datos del canal de bajada es el doble de velocidad del canal de subida, esta por la característica ADSL que es un circuito asimétrico, los valores son con referencia al equipo instalado en el usuario final del servicio CPE.

Tabla XX. **Perfiles de velocidad y atenuación de ADSL**

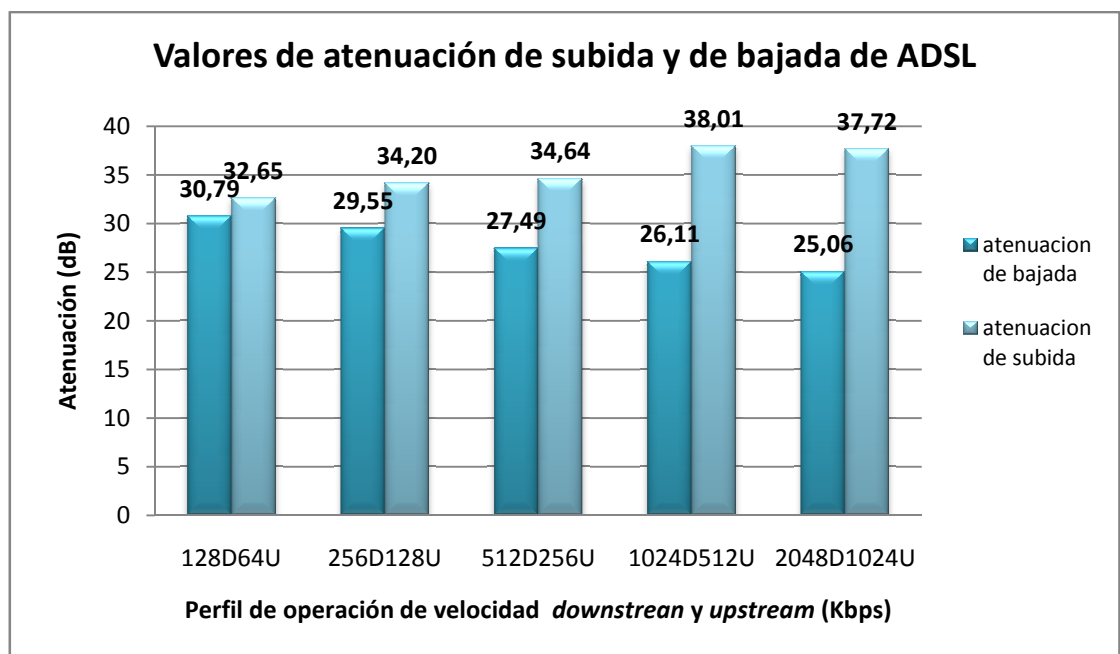
PERFIL de velocidad de transmisión de datos	Velocidad de bajada (Kbps)	Velocidad de subida (Kbps)	Valores promedio de atenuación (dB)	
			Canal de bajada	Canal de subida
128 Kbps <i>Downstream</i> 64 Kbps <i>Upstream</i>	128	64	30,79	32,65
256 Kbps <i>Downstream</i> 128 Kbps <i>Upstream</i>	256	128	29,55	34,20
512 Kbps <i>Downstream</i> 256 Kbps <i>Upstream</i>	512	256	27,49	34,64
1024 Kbps <i>Downstream</i> 512 Kbps <i>Upstream</i>	1024	512	26,11	38,01
2048 Kbps <i>Downstream</i> 1024 Kbps <i>Upstream</i>	2048	1024	25,06	37,72
Nota: los perfiles mostrados son los programados en el CPE hacia el DSLAM.			Nota: los valores se obtuvieron de pruebas realizadas a circuitos ADSL en funcionamiento	

Fuente: elaboración propia.

Los perfiles de velocidad ayudan a obtener datos de atenuación y distancias promedio en base a mediciones realizadas a enlaces en funcionamiento, estos perfiles serán los utilizados en el capítulo 5 como referencia para las pruebas realizadas a circuitos ADSL en funcionamiento como valores nominales para que el circuito pueda operar sin errores.

En la figura 39 se representan los valores nominales de atenuación de los canales de subida y bajada en circuitos ADSL, estos valores fueron calculados con base a mediciones realizadas a circuitos en funcionamiento en el departamento de Escuintla.

Figura 39. **Atenuación de canales de subida y bajada ADSL**



Fuente: elaboración propia.

#### **4.4.8. Nivel de señal a ruido**

El nivel de señal a ruido para los canales de subida y bajada a través de los subcanales activos en la señal DMT, es un valor promedio de los canales que están transportando datos. Existe una medición para el canal de subida y otra para el canal de bajada, las cuales son medidas en dB (decibeles), valores mayores de 20 decibeles permiten operar a los circuitos ADSL. Esta medición es más efectiva al realizarse la medición de señal a ruido a cada subcanal de la señal DMT, la cual es realizada con equipos de medición que cumplan con la recomendación ANSI T1.413 o UIT-T G992.1.

#### **4.4.9. Segundo erróneos**

Es el valor medido en segundos que se obtiene directamente del CPE a través de la opción de desempeño de red, el cual indicará con base a los bits enviados si en un segundo hubo un bit erróneo.

#### **4.4.10. Segundos severamente erróneos**

Es el valor medido en segundos que se obtiene directamente del CPE a través de la opción de desempeño de red, el cual indicará los segundos en los cuales la tasa de error de bit BER presenta un valor de  $1 \times 10^{-3}$ .

## **5. CERTIFICACIÓN DE RED DE COBRE PARA SERVICIOS ADSL**

### **5.1. Importancia de certificación de red de planta externa**

Las redes de planta externa de cobre instalada para servicios de telefonía fija pueden ser utilizada como medio de transmisión para nuevas tecnologías para transporte de datos, siendo uno de las más utilizadas ADSL, por este motivo es necesario tener un conocimiento amplio de las características de la red de cobre y sus parámetros eléctricos que son los que limitan su capacidad de operación.

Al utilizar la red de cobre para servicios de telefonía fija el ancho de banda máximo a utilizar es de 3 Kiloherztz, cuando se utiliza transmisión de datos usando tecnología ADSL se utiliza un ancho de banda de 1,1 Megahertz y si se utiliza ADSL+2 se necesitan 2,2 Megahertz, por tal motivo la medición de la red de cobre es un paso que no se puede obviar cuando se quiere implementar servicios ADSL, ya que de esta forma se podrá tener un medio de transmisión en óptimas condiciones para brindar estabilidad al servicio de datos o internet el cual será utilizado por un usuario final del servicio, sea residencial o empresarial.

La medición de la red de cobre y su evaluación dentro de parámetros determinados de operación para determinar si es apta o no para implementar servicios ADSL es lo que llamaremos certificación de red de cobre, si una red está certificada se tendrá certeza que el circuito a implementar funcionará y se tendrá un enlace estable que soportará la tasa de transferencia de datos contratada por un usuario final.

Para la certificación de redes de cobre es indispensable lo siguiente:

- a) Procedimiento de medición de parámetros eléctricos de red de cobre y los valores nominales de funcionamiento.
- b) Equipos de medición para tecnología ADSL que cumplan con recomendaciones internacionales como la UIT-T G992.1.
- c) Personal técnico capacitado en la tecnología ADSL

## **5.2. Método para certificación de red de planta externa**

Se describirá el proceso de certificación recomendado para circuitos que utilizan la tecnología ADSL.

### **5.2.1. Descripción de método de certificación**

Las mediciones a realizar en los servicios ADSL para la certificación de red son los listados en la tabla XXI.

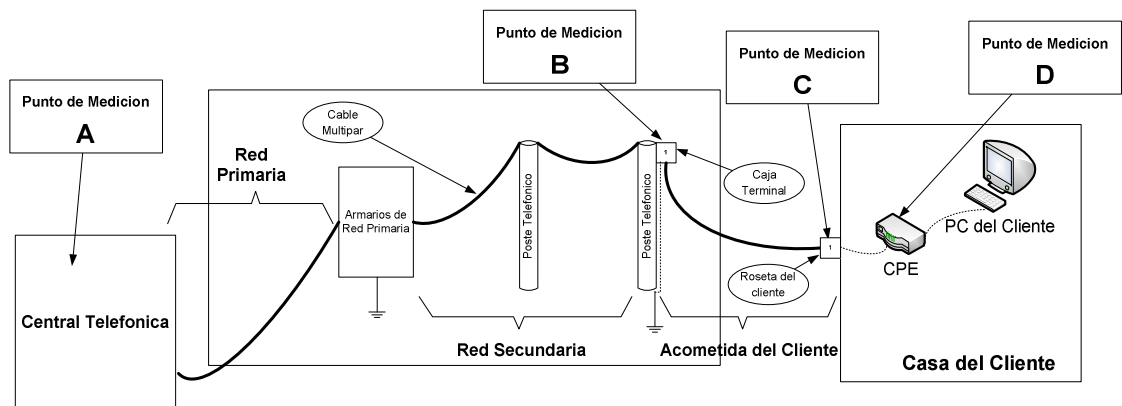
Tabla XXI. Mediciones para certificación de circuitos ADSL

No.	Descripción	Punto a realizar medición
1.	Precalificación de servicio	Punto A
2.	Medición de línea de cobre	Punto B
3.	Medición de parámetros ADSL	Punto C
4.	Medición de parámetros ADSL en CPE	Punto D

Fuente: elaboración propia.

Los puntos de medición indicados en la tabla XXI son los que se muestran en la figura 40.

Figura 40. Puntos de medición para certificación de circuitos ADSL



Fuente: elaboración propia.



#### **5.2.1.1. Precalificación de servicio**

Usando la base de datos de las redes de cobre existentes, se ingresaran los datos del servicios telefónico a implementar el servicio ADSL, el sistema indicara la distancia de la línea de cobre hasta la central telefónica más cercana y se comprobará que sea menor de 3,5 kilómetros, si es así se procede a realizar pruebas a la línea.

La base de datos de red de cobre existente consiste en planos digitalizados de la distribución de red de cobre de un área geográfica, los cuales son propiedad de las compañías telefónicas y suministran generalmente los servicios ADSL.

Con la base de datos de la red de cobre se describe la ubicación de la central telefónica, armarios, cajas terminales, distancias de la redes de cobre respecto a central telefónica y calibres de cables multipares.

#### **5.2.1.2. Medición de línea de cobre**

Las mediciones a realizar a la línea o par de cobre serán las indicadas en la tabla XXII. Los puntos de medición son los indicados en la figura 40.

Tabla XXII. Mediciones de línea de cobre

No	Parámetro	Unidad de medición	Valor de referencia	Equipo de medición	Punto de medición
1	Precalificación	Metros	< 3 500	Base de datos de compañías Telefónicas	<b>Desde A</b>
2	Resistencia de bucle	$\Omega$	< 936	CableShark	<b>Entre A y C</b> circuito cerrado
4	Aislamiento	M $\Omega$	> 400	CableShark	<b>Entre A y B</b> circuito abierto
3	Longitud de línea	Metros	< 3,500	CableShark	<b>Entre A y C</b> circuito abierto
5	Capacitancia	F/m	$52,5 \times 10^{-9}$	CableShark	<b>Entre A y C</b> circuito abierto
6	Balance Longitudinal	dB	> 40	CableShark	<b>Entre A y B</b> circuito abierto
7	Voltajes AC y DC	Voltios	< 3 VAC	CableShark	<b>Entre A y C</b> circuito abierto
			< 3VDC		
8	Ruido de banda ancha	dBm	< -50	CableShark	<b>Entre A y C</b> circuito terminado en 100 $\Omega$

Fuente: elaboración propia.

### 5.2.1.3. Medición de parámetros ADSL

Con esta medición se obtendrán los valores máximos de transferencia de datos de una línea de cobre para ADSL. Las mediciones a realizar son las indicadas en la tabla XXIII.

Tabla XXIII. Mediciones de parámetros ADSL

No	Parámetro	Unidades de medición	Valor de referencia	Equipo de medición	Punto de medición
1	Máxima velocidad de subida	Kbps	Dependerá de las condiciones de la línea de cobre bajo prueba	Colt 450	<b>C</b>
2	Máxima velocidad de bajada				
3	Velocidad actual de subida	Kbps	Deberá ser la velocidad en Kbps programada en el DSLAM	Colt 450	<b>C</b>
4	Velocidad actual de bajada				
5	Capacidad de canal de subida	%	Calculada usando parámetros 3 y 1 de esta tabla	Colt 450	<b>C</b>
6	Capacidad de canal de bajada	%	Calculada usando parámetros 4 y 2 de esta tabla	Colt 450	<b>C</b>
7	Atenuación	dB	Depende de perfil de velocidad utilizado, ver tabla XIV.	Colt 450	<b>C</b>
8	Margen de relación señal a ruido de subida	No tiene	Deberá ser mayor de 20 para un tasa de error de $10^{-7}$	Colt 450	<b>C</b>

Fuente: elaboración propia.

#### **5.2.1.4. Medición de parámetros ADSL en CPE**

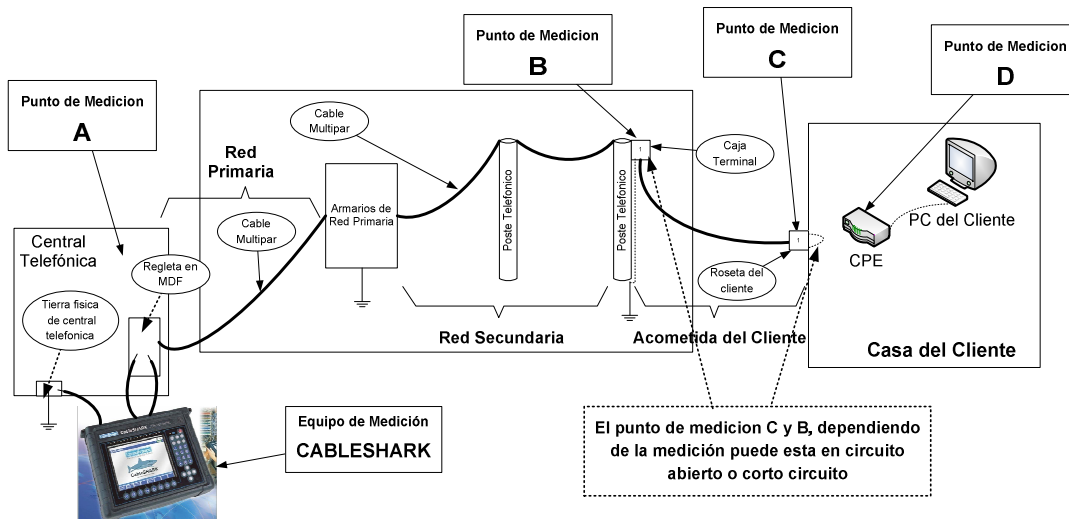
Los parámetros a medir son básicamente los descritos en el inciso 5.2.1.3, al ingreso al menú de funciones del CPE se puede obtener esta medición y en caso de contar con equipo medición como el COLT 450, esta es una forma alternativa de realizar las mediciones de los parámetros ADSL. Estas son realizadas desde el punto de medición D mostrada en la figura 40.

#### **5.2.2. Diagrama de conexiones para mediciones ADSL**

Para realizar las mediciones de la línea de cobre en un circuito ADSL se utilizará el diagrama de mediciones de la figura 41. Para la medición de línea de cobre se utilizará el equipo de medición Cables shark, el cual se ubicará en el punto de medición A el cual se ubica en la central telefónica, específicamente en el distribuidor principal donde se encuentran las regletas donde se remata el cable multipar que viene del exterior, para que la medición de la línea de cobre sea efectiva el equipo de medición debe de estar conectado a un punto de tierra física, como se estará trabajando en el distribuidor principal de la central telefónica el punto de tierra física utilizado será el utilizado para aterrizar el distribuidor principal.

Para realizar estas mediciones puede ser usado el punto B o caja terminal y el punto C o roseta ubicada en la casa del cliente, dependiendo la medición pueden estar en circuito abierto o corto circuito.

Figura 41. **Conexión de equipos para medición de línea de cobre**

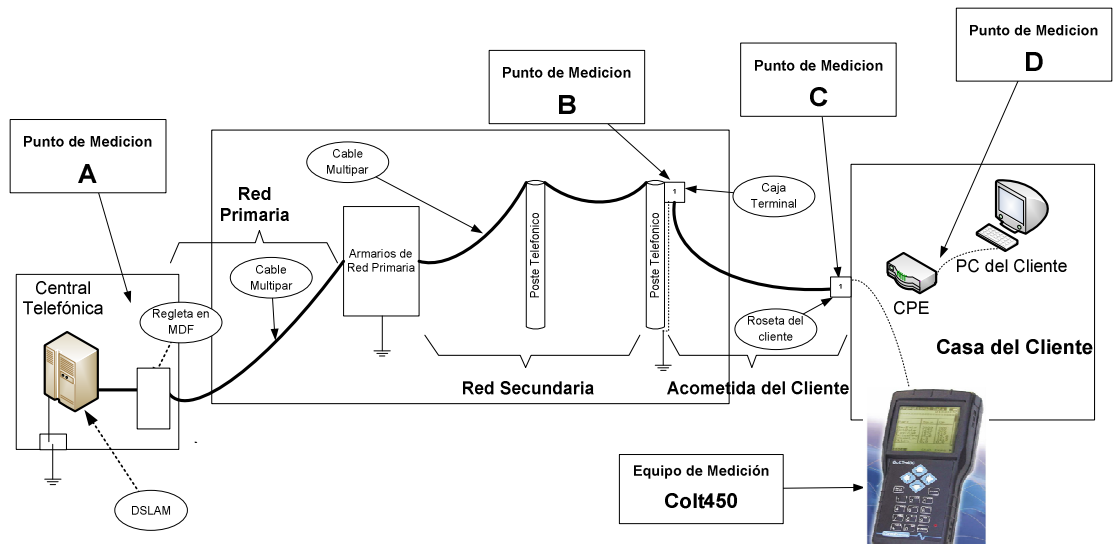


Fuente: elaboración propia.

Para la medición de los parámetros ADSL se utilizará el esquema de medición mostrado en la figura 42, y el equipo a utilizar será el Colt450. La conexión será realizada en el punto de medición D o la roseta del cliente hacia la central telefónica.

En este punto de medición D es importante mencionar que no se cuenta con conexión de tierra física, por lo tanto, la única conexión utilizada será con dos hilos o el par de cobre. En la central telefónica el par de cobre que será objeto de prueba debe de estar conectado, por ningún motivo debe de estar en circuito abierto.

Figura 42. **Conexión de equipos para medición de parámetros ADSL**



Fuente: elaboración propia.

### 5.2.3. Equipos utilizados para medición de redes ADSL

Para las mediciones a realizar en los circuitos ADSL se utilizarán dos equipos, el primero es el CableShark el cual será utilizado para las mediciones de los parámetros de la línea de cobre y el segundo el Colt450 para la medición de los parámetros ADSL.

#### 5.2.3.1. Equipo de medición CableShark

Es un equipo de medición fabricado por la compañía EXFO y es un calificador de cables multipares de cobre, diseñado para medir la respuesta en frecuencia y realizar reflectometría del dominio del tiempo en el cable de telecomunicaciones de par trenzado en el circuito local del suscriptor.

Estas mediciones determinan la capacidad de cable para llevar la tecnología xDSL digitalizada. Este equipo de medición cumple con las normas internacionales para realizar mediciones a las siguientes variantes de xDSL:

- a) ANSI T1.413 Issue 2 y UIT-T G.992.1 (G.DMT) para ADSL
- b) UIT-T G.992.3 para mediciones ADSL2
- c) UIT-T G.992.5 para mediciones ADSL2+

Figura 43. **Equipo de medición CableShark**



Fuente: <http://documents.exfo.com/specsheets/CableSHARKP3-angHR.pdf>, [consulta 21 agosto 2011].

#### **5.2.3.2. Colt 450**

Es un equipo portátil diseñado para conectarse a una ATU-C ubicada en el DSLAM y realizar el análisis de la conexión ADSL entre el proveedor de servicios y la localidad del cliente. Este equipo también permite realizar pruebas en capas superiores como ATM, PING, Traceroute, velocidades de descargas de páginas de internet.

El Colt 450 contiene un chipset marca Conexant ADSL2+ ATU-R con el fin de cumplir con los estándares internacionales para ADSL tales como ANSI T1.413 Issue 2, UIT-T G.992.1 y UIT-T G.992.2 (G.Lite).

Figura 44. **Equipo de medición Colt 450**



Fuente: <http://documents.exfo.com/specsheets/COLT-450-BIATS-angHR.pdf>. [consulta 21 agosto 2011].

### **5.3. Mediciones experimentales**

Las pruebas experimentales serán desarrolladas en un circuito ADSL del área del sur del país en la ciudad de Escuintla, departamento de Escuintla donde hay instalada red de planta externa de cobre que son utilizadas para servicios de internet o enlaces de datos empresariales en este lugar. Los métodos que se usaran para realizar las mediciones con los equipos de mediciones son los indicados en el capítulo 4 y consistirán en mediciones de los parámetros eléctricos de la línea de cobre y de los parámetros de ADSL.



### 5.3.1. Mediciones de parámetros eléctricos de redes de cobre

Para realizar las mediciones de los parámetros eléctricos de redes de cobre se utilizará un circuito ADSL usado para suministrar un servicio de internet en el municipio de Escuintla, los datos técnicos de configuración del circuito y la red de cobre asignada para este servicio se muestran en la tabla XXIV. Estas mediciones serán realizadas desde el distribuidor principal ubicado en la central telefónica, y se tiene que tomar en cuenta que cuando se realicen y el circuito este en condición de circuito abierto el cliente no tendrá servicio de internet.

Tabla XXIV. **Datos técnicos de circuito de prueba ADSL**

<b>DATOS TÉCNICOS</b>	<b>VALOR</b>
Perfil de operación	512 Kbps de <i>Downstream</i> 256 Kbps de <i>Upstream</i>
Marca y modelo de DSLAM	Alcatel 7302
Ubicación de servicio	Municipio de Escuintla, Escuintla
Número de cable multipar	ESC042
Armario de distribución	ESC417
Caja terminal	39/40
Par secundario	01
Par primario	2062

Fuente: Claro. Base de datos de clientes servicios internet.

#### **5.3.1.1. Precalificación del circuito de prueba ADSL**

Para hacer la precalificación del circuito ADSL se procede a revisar en la base de datos digital de la empresa Claro, la distancia existente entre la central telefónica de Escuintla donde está ubicado el DSLAM Alcatel 7302 a la ubicación del usuario final del servicio, siendo esta de 2,41 kilómetros.

Debido a que la distancia del servicio que es de 2,41 kilómetros menor que 3,5 kilómetros el circuito se procede a calificar como apto para brindar el circuito ADSL.

#### **5.3.1.2. Mediciones de línea de cobre de prueba ADSL**

Los resultados de las mediciones realizadas a la línea de cobre usada para el circuito ADSL y realizadas con el equipo de medición Cablesark son las mostradas en la tabla XXV.

En esta tabla se mostrarán los valores de nominales de los parámetros de la línea de cobre de prueba ADSL bajo prueba, los cuales serán comparados contra los valores medidos con el equipo de medición y se indicará en una columna, si la prueba fue exitosa, se indicará cómo PASA, caso contrario, NO PASA.

Tabla XXV. **Resultados de mediciones de circuito de prueba ADSL**

No	Parámetro	Unidad de medición	Valor de referencia	Valor medido	Resultado de medición
1	Precalificación	Metros	< 3,500	2410	PASA
2	Resistencia de bucle	$\Omega$	< 936	588,3	PASA
4	Aislamiento	M $\Omega$	> 400	650	PASA
3	Longitud de línea	Metros	< 3,500	2470	PASA
5	Capacitancia	F/m	$52.5 \times 10^{-9}$	$52,5 \times 10^{-9}$	PASA
6	Balance longitudinal	dB	> 40	42	PASA
7	Voltajes AC y DC	Voltios	< 3 VAC	0,05	PASA
			< 3VDC	0,1	

Fuente: medición en campo.

### 5.3.2. Medición de parámetros de subida y bajada de circuito de prueba ADSL

La medición de los parámetros del circuito ADSL serán realizadas con el equipo de medición Colt450. Los resultados de las mediciones obtenidas son las mostradas en la tabla XXVI.

En esta tabla se mostrarán los valores nominales de los parámetros de subida y bajada del circuito de prueba ADSL bajo prueba, los cuales serán comparados contra los valores medidos con el equipo de medición y se indicara en una columna si la prueba fue exitosa se indicara como PASA caso contrario NO PASA.

Es importante mencionar que los parámetros de subida y bajada del canal dependen de la forma en que este configurado el circuito, que puede ser ADSL o ADSL2+, por lo que en el momento de realizar la prueba se deberá de comunicar con el centro de gestión y configuración del proveedor de servicios de la empresa de telecomunicaciones para verificación de la configuración del circuito.

Es importante mencionar que el Colt450 puede ser utilizado en otro punto de medición que podría ser el armario de distribución, desde el cual se podrán realizar mediciones hacia la central telefónica y de esta manera es posible aislar un problema en la red de cobre y determinar si es la red primaria o la red secundaria que pudiera estar con problemas y afectar la calidad del servicio final entregado a un usuario final.

En la tabla XXVI se muestran las mediciones realizadas al circuito de prueba, en los parámetros de subida y bajada de datos, se observa que los valores obtenidos al ser comparados con los de referencia pasan la prueba por lo que el circuito está en condiciones de operar adecuadamente.

Tabla XXVI. **Medición de parámetros de subida y bajada circuito ADSL**

No	Parámetro	Unidad de medición	Valor de referencia	Valor medido	Resultado de medición
1	Máxima velocidad de subida	Kbps	1200	1216	PASA
2	Máxima velocidad de bajada		12000	12064	
3	Velocidad actual de subida	Kbps	256	256	PASA
4	Velocidad actual de bajada		512	512	
5	Capacidad de canal de subida	%	21,33	21,05	PASA
6	Capacidad de canal de bajada	%	4,26	4,24	PASA
7	Atenuación subida	dB	34,64	18,4	PASA
	Atenuación bajada		27,49	28,6	
8	Margen de relación señal a ruido de subida	No tiene	20	30,5	PASA

Fuente: medición de campo.

## CONCLUSIONES

1. Las redes de planta externa de cobre que fueron diseñadas para servicios de telefonía fija, pueden ser utilizadas para aplicación de transmisión de datos de alta velocidad haciendo uso de técnicas de modulación digital como ADSL, la cual utiliza subcanales de información para la transmisión y recepción de datos.
2. La capacidad de transmisión de un circuito ADSL depende de la distancia de operación del enlace desde la central telefónica hasta la ubicación del servicio final del servicio.
3. La atenuación en la línea de cobre es la limitante del alcance de servicios ADSL.
4. Los parámetros eléctricos de balance longitudinal, resistencia, aislamiento y los valores de voltajes de AC y DC presentes en la línea son los parámetros principales para calificar una red de planta externa que será usada para transmisión de datos usando la tecnología ADSL.
5. La capacidad de transmisión de las versiones ADSL dependen de la relación señal a ruido presenten en el canal de comunicaciones, en este caso la línea de cobre.



## RECOMENDACIONES

1. La utilización de tecnologías ADSL para transmisión de datos hace necesaria la capacitación del personal técnico sobre los fundamentos de transmisión de los que hace uso la técnica de modulación digital discreta DMT, para tener un conocimiento apropiado de la tecnología utilizada para la instalación, diagnóstico y reparación de fallas.
2. La utilización de redes de planta externa para transmisión de datos hace necesario la elaboración de un procedimiento de prueba de los parámetros eléctricos para certificar la red de cobre y determinar su capacidad de transmisión y si está calificada o no para servicios de datos.
3. Previo a implementar servicios de transmisión de datos utilizando como medio de transmisión redes de cobre de planta externa, es necesario la certificación de la red de cobre, a fin de garantizar un servicio de calidad y disponibilidad a los usuarios finales del servicio.
4. Los departamentos técnicos de empresas de telecomunicaciones deben de incluir el proceso de certificación de redes de cobre cada vez que se realicen mantenimientos preventivos y correctivos en las redes de planta externa existentes o por instalar.





## BIBLIOGRAFÍA

1. ACHARYA, Vivek. *TCP/IP Distributed System*. New Delhi: Firewall Media, 2006. 474 p. ISBN: 8170089328.
2. ALUWIHARE, Assahi; BECKMAN, Jon; FLASK, Robert. *Triple-Play Service Deployment*. Estados Unidos: JDSU Uniphase Corporation, 2007. 271 p.
3. CABALLERO, Jose Manuel. *Installation and Maintenance of SDH/SONET, ATM, xDSL, and synchronization*. Massachusetts: Artech House, 2003. 461 p. ISBN: 1-58053-525-9.
4. CRIS, Le. *Design and implementacion of DSL-Based Access Solution*. Indianapolis: Cisco Press, 2002. 272 p. ISBN-10: 1-58705-021-8.
5. DUNSMORE, Bradley. *Telecommunications Technologies Reference*. 2a ed. Estados Unidos: Cisco Press, 2003. 624 p. ISBN: 1-58705-036-6.
6. EXFO. *CableShark P3 Calificador de Cable xDSL. Guia de Usuario*. Canada: EXFO, 2007. 215 p.
7. FITTS, Robert; DUNDORF, Chris. *Local Loop and DSL Testing Reference Guide*. 2a ed. Canada: Exfo, 2007. 92 p. ISBN: 1-55342-007-1.

8. GAGNAIRE, Maurice. *Broadband local loops for high-speed internet Access*. Massachusetts: Artech House, 2003. 454 p. ISBN: 1-58053-089-3.
9. GORALSKI, Walter. *ADSL and DSL Technologies*. Estados Unidos de América, McGraw-Hill, 1998. 1435 p. ISBN: 0-07-024679-3.
10. HERRERA PEREZ, Enrique. *Comunicaciones II: comunicación digital y ruido*. Mexico: Limusa, 2002. 272 p. ISBN: 9789681861964.
11. JONES, David; JOWERR, Jeffrey. *Guía para pruebas de diagnóstico de aislamiento*. [en línea]. 2a ed. 2002. Disponible en Web: [www.megger.com](http://www.megger.com)
12. LANE, Jim. *Personal Broadband services DSL and ATM*. [en línea]. Santa Clara, CA: Virata, 1998. Disponible en Web: [http://www.telecomsportal.com/Assets\\_papers/Broadband/virata\\_dsl2.pdf](http://www.telecomsportal.com/Assets_papers/Broadband/virata_dsl2.pdf), [Consulta: 21 de abril de 2011].
13. MEDINA CARRASCO, Mario; CARRASCO STERNSDORFF, Andres. *Una herramienta de diagnóstico para enlaces de suscripción digital asimétrica (ADSL)*. Ingeniare, Revista Chilena de Ingeniería [en línea]. Enero – Abril 2009, vol 17, no. 1, pp 121-128. Disponible en Internet: [http://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0718-33052009000100013&lng=pt&nrm=iso](http://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0718-33052009000100013&lng=pt&nrm=iso). ISSN 0718-3305.

14. PINEDA QUESADA, Daniel. *Evaluación del rendimiento de la red externa de cable telefónico para la implementación de las tecnologías de conexión de banda ancha ADSL2 y ADSL2+*. Cartago: 2007. Instituto Tecnológico de Costa Rica.
15. TOMASI, Wayne. *Sistemas de comunicaciones Electrónicas*. 2a ed. México: Prentice Hall Hispanoamericana, 1996. 843 p. ISBN: 968-880-674-9.
16. UNIÓN INTERNACIONAL DE TELECOMUNICACIONES. *Transceptores de línea de abonado digital asimétrica*. Recomendación UIT-T G.992.1. Ginebra: UIT, 2000. 250 p.
17. WHYTE, Bill. *Multimedia Telecommunications*. Inglaterra: Chapman & Hall, 1997. 284 p. ISBN: 0412786001.
18. WINCH, Robert G. *Telecommunication Transmission System: microwave, fiber optic, mobile cellular radio, data and digital multiplexing*. United States: McGraw-Hill, 1993. 527 p. ISBN: 0-07-070964-5.