

INSTITUTO TECNOLÓGICO DE COSTA RICA



Escuela de Ingeniería en Electrónica

“Evaluación del rendimiento de la red externa de cable telefónico para la implementación de las tecnologías de conexión de banda ancha *ADSL2* y *ADSL2+*”

Instituto Costarricense de Electricidad



Proyecto de graduación para optar por el título de Ingeniero en Electrónica con grado académico de Licenciatura

Daniel Quesada Pineda

200216559

Cartago, Septiembre del 2007

INSTITUTO TECNOLÓGICO DE COSTA RICA
ESCUELA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA
PROYECTO DE GRADUACIÓN
TRIBUNAL EVALUADOR

Proyecto de Graduación defendido ante el presente Tribunal Evaluador como requisito para optar por el título de Ingeniero en Electrónica con el grado académico de Licenciatura, del Instituto Tecnológico de Costa Rica.

Miembros del Tribunal



Ing. Gabriela Ortiz León, MSc
Profesor lector



Ing. Eduardo Interiano Salguero
Profesor lector



Ing. Adolfo Chaves Jiménez
Profesor asesor

Los miembros de este Tribunal dan fe de que el presente trabajo de graduación ha sido aprobado y cumple con las normas establecidas por la escuela de Ingeniería Electrónica.

Declaro que el presente Proyecto de Graduación ha sido realizado enteramente por mi persona, utilizando y aplicando literatura referente al tema, así como la información que suministró la institución para la que se realizó el proyecto, y aplicando e introduciendo conocimientos propios.

En los casos en que he utilizado bibliografía, he procedido a indicar las fuentes mediante las respectivas citas bibliográficas.

En consecuencia, asumo la responsabilidad total por el trabajo de graduación realizado y por el contenido del correspondiente informe final.

Cartago, Septiembre del 2007



Daniel Quesada Pineda
Céd: 1 1220 0355

Resumen

El Instituto Costarricense de Electricidad (ICE), se encuentra en un constante proceso de modernización de los servicios de telecomunicaciones. La cantidad de clientes que demandan servicios de *Internet*, ha ido aumentando considerablemente, por lo que la institución se encuentra evaluando la posibilidad de brindar los servicios de conexión de banda ancha *ADSL2* y *ADSL2+*, los cuales ofrecen una velocidad de transferencia de datos superior al estándar *ADSL*.

Estas tecnologías de conexión a *Internet* de banda ancha, hacen uso de la infraestructura existente de líneas telefónicas convencionales; como línea de transmisión. Por esta razón el departamento de Evaluación de Red y Sistemas del ICE se ve en la necesidad de evaluar el rendimiento de dicha red externa de cable telefónico para la implementación de los servicios de banda ancha *ADSL2* y *ADSL2+*. Con el desarrollo de este proyecto queda en evidencia como la capacidad del par de cable telefónico para el soporte de ambas tecnologías; depende de las características físicas del cable, estrictamente el calibre y el aislante utilizado. Así mismo, la capacidad de transferencia de datos del canal se ve afectada notablemente por la densidad espectral de potencia (*PSD, Power Spectral Density*) de la señal de los equipos terminales *ATU (ADSL Terminal Unit)* y también por el fenómeno de ruido de fondo presente en la línea de transmisión.

Como primera etapa del proyecto se desarrolló un modelo teórico que permite estimar la capacidad de transmisión de datos del canal en función de las variables definidas anteriormente. Una vez desarrollado el modelo matemático se procedió a la realización de pruebas experimentales que permitan validar y justificar la estimación teórica obtenida. Posteriormente, en la siguiente etapa se implementó un algoritmo de programación que realiza el cálculo de la capacidad del canal y la predicción de la factibilidad de la prestación de ambos servicios de banda ancha, basado en el modelo teórico desarrollado, con el fin de evitar la realización de mediciones técnicas para evaluar dichos servicios.

Palabras clave: *Internet*, *ADSL2*, *ADSL2+*, banda ancha, calibre, aislante, atenuación, densidad espectral de potencia, ruido de fondo, algoritmo, factibilidad.

Abstract

The *Costa Rican* Electrical Company (*Instituto Costarricense de Electricidad*) is immersed in a constant renewal process of its telecommunication's services. The number of Internet subscribers has been significantly increasing, therefore; the Costa Rican Electrical Company (ICE) is evaluating the possibility of providing broadband connection services: ADSL2 and ADSL2+, which offer a greater bitrate than the ADSL standard technology. These Internet technologies use the conventional telephone copper network as a transmission line. For this reason, the ICE's department of Network and Systems Evaluation is evaluating the telephone copper network's performance for the implementation of ADSL2 and ADSL2+ broadband services.

The development of this project demonstrates how telephone's cable pair capacity depends of the physical characteristics of the cable, specifically the gauge and the insulation. Also, the channel's bitrate capacity is notably affected by the signal's power spectral density (PSD) from the terminal units (ATU, ADSL Terminal Unit), and also by the background noise phenomena, that is present in the transmission line.

During the first project's stage, a theoretical model was developed in order to predict the channel's data transmission capacity as a function of the previously defined variables. Once the mathematics model was developed, experimental tests were performed to validate and justify the obtained theoretical estimation.

For the second stage a programming algorithm was implemented with the objective of measure the channel's capacity calculus and the feasibility prediction for lending the two broadband services, based on the developed theoretical model. The software has as objective to predict the velocity and the reach of both broadband technologies as well as to avoid on-field technical measurements for evaluating these services.

Keywords: Internet, ADSL2, ADSL2+, broadband, gauge, insulation, attenuation, power spectral density, background noise, algorithm, feasibility.

Agradecimientos

A mis padres y a mis hermanos por su apoyo incondicional durante todos mis estudios.

Al Ing. Joaquín Angulo Escudero, Ing. Adolfo Chaves, Marco Vinicio Coronado Moya, Gerardo Vargas Jiménez, Gerardo Zumbado Quesada, por su apoyo y colaboración durante todo el proyecto.

Índice

Capítulo 1. Introducción	1
1. Generalidades del Proyecto.....	1
1.1. Entorno del proyecto	1
1.2. Definición del problema	2
1.2.1. Descripción General	2
1.2.2. Descripción sintética del problema	4
Capítulo 2. Objetivos	5
2. Meta y Objetivos	5
2.1. Meta	5
2.2. Objetivos	5
2.2.1. Objetivo general.....	5
2.2.2. Objetivos específicos	5
Capítulo 3. Metodología	8
3.1. Propuesta de solución	8
3.2. Desarrollo del modelo matemático	9
3.2.1. Establecimiento del modelo matemático de la red externa de cables telefónicos del ICE	9
3.2.2. Investigación preliminar acerca de modelos teóricos existentes y su aplicabilidad a la red externa de cobre del ICE	10
3.2.3. Determinación del modelo matemático.....	11
3.2.4. Validación del modelo teórico mediante mediciones experimentales	12
3.2.5. Recomendaciones para el modelo matemático obtenido	16
Capítulo 4. Marco Teórico	17
4.1 Planta Externa de la Red Nacional de Telefonía del ICE	17
4.1.1 Conceptos Básicos	17
4.1.2 Principales redes de la planta externa	18

4.1.2.1	Red Directa	18
4.1.2.2	Red Primaria	19
4.1.2.3	Red Secundaria	21
4.1.3	Línea de transmisión multipar, utilizada en telefonía	22
4.2	Descripción de la tecnología de conexión actual, ADSL de banda ancha.....	24
4.3	Prueba de factibilidad para estimar la posibilidad por parte del ICE de brindar los servicios de conexión de banda ancha.....	27
4.4	Descripción de las tecnologías de conexión de banda ancha <i>ADSL2</i> y <i>ADSL2+</i>	30
4.4.1	Línea de Abonado Digital Asimétrica 2 “ <i>ADSL2</i> ”	30
4.4.1.1	Arquitectura de red para el acceso de banda ancha basado en la Línea de Abonado Digital Asimétrica 2 “ <i>ADSL2</i> ”.	33
4.4.1.2	Modo de diagnóstico en la Línea de Abonado Digital Asimétrica 2 “ <i>ADSL2</i> ”.....	34
4.4.1.3	Mejoras en el consumo de potencia de los dispositivos de la Línea de Abonado Digital Asimétrica 2 “ <i>ADSL2</i> ”	35
4.4.1.4	Adaptación de la tasa de transferencia de datos en la Línea de Abonado Digital Asimétrica 2 “ <i>ADSL2</i> ”.....	36
4.4.1.5	Características añadidas en la Línea de Abonado Digital Asimétrica 2 “ <i>ADSL2</i> ”, con respecto a ADSL.....	38
4.4.2	Línea de Abonado Digital Asimétrica 2 de anchura de banda ampliada “ <i>ADSL2+</i> ”	41
4.4.2.1	Reducción de la diafonía mediante el uso de la tecnología <i>ADSL2+</i>	43
4.4.2.2	Características añadidas en tecnología <i>ADSL2+</i> , con respecto a <i>ADSL2</i> ...	44
4.4.2.3	Comparación entre las tecnologías de banda ancha <i>ADSL</i> , <i>ADSL2</i> y <i>ADSL2+</i>	45
4.4.2.4	Mejoras en los estándares <i>ADSL2</i> y <i>ADSL2+</i>	46
4.4.2.4.1	Mejoras en la eficiencia de modulación.....	47
4.4.2.4.2	Reducción en la trama de congestión.	48
4.4.2.4.3	Mayor ganancia en la codificación	48

4.4.2.4.4	Inicialización Mejorada	48
4.4.2.4.4.1	<i>Power Cutback</i> (Reducción en el consumo de potencia)	49
4.4.2.4.4.2	Configuración del Espectro.....	49
4.4.2.4.4.3	Tonos piloto determinados en el receptor.....	50
4.4.2.4.5	Reconfiguración en línea.....	50
4.4.2.4.5.1	<i>Bit Swapping</i> (Intercambio de <i>Bits</i>).....	51
4.4.2.4.5.2	<i>Dynamic Rate Repartitioning</i> (<i>DDR</i> , Asignación Dinámica de Velocidad).....	51
4.4.2.4.5.3	<i>Seamless Rate Adaptation</i> (<i>SRA</i> , Adaptación de velocidad transparente).....	52
4.5	Plataforma de Acceso Multiservicio Integrada (<i>I-MAP</i> , <i>Integrated Multiservice Access Platform</i>)	53
4.5.1	Arquitectura del sistema <i>I-MAP</i>	55
4.5.2	Componentes principales del <i>I-MAP</i>	57
4.5.2.1	Estructura de Tarjetas y Sub-bastidores.....	57
4.5.2.2	<i>Buses del sistema</i>	58
4.5.3	Arquitectura de red para el establecimiento de una conexión <i>ADSL2</i> o <i>ADSL2+</i> , mediante el uso de <i>I-MAP's</i>	59
4.6	Sistemas de transmisión de información	60
4.6.1	Ley de <i>Hartley-Shannon</i> , para el cálculo de la capacidad de un sistema de transmisión.....	61
4.7	Sistema de Modulación <i>DMT</i> (<i>Discrete Multi-Tone</i>)	64
4.8	Codificación <i>Trellis</i> de Cuatro Dimensiones y 16 Estados	66
4.8.1	<i>TCM</i> (<i>Trellis Coded Modulation</i> , Modulación <i>Trellis</i> Codificada)	66
4.8.1.1	Codificador <i>Wei</i> de cuatro dimensiones y dieciséis estados.....	67
	Capítulo 5. Modelo Teórico	68
5.	Desarrollo del modelo teórico matemático	68
5.1.	Modelado del par telefónico de cobre	68
5.1.1.	Función de transferencia de ganancia de tensión de la línea	71

5.1.2.	Función de transferencia de ganancia de tensión de la línea para bucles variables.....	73
5.2.	Máscara de Densidad Espectral de Potencia (<i>PSD</i>).....	76
5.2.1.	Densidad espectral de potencia para <i>ADSL2</i>	76
5.2.1.1.	Densidad espectral de potencia de bajada con espectro no superpuesto para <i>ADSL2</i>	76
5.2.1.2.	Densidad espectral de potencia de subida para <i>ADSL2</i>	77
5.2.2.	Densidad espectral de potencia para <i>ADSL2+</i>	78
5.2.2.1.	Densidad espectral de potencia de bajada con espectro no superpuesto para <i>ADSL2+</i>	78
5.2.2.2.	Densidad espectral de potencia de subida para <i>ADSL2+</i>	79
5.3.	Ecuaciones para el cálculo de la capacidad del canal de transmisión.....	80
5.4.	Aplicaciones futuras: Consideraciones sobre ruido <i>Crosstalk</i> (Diafonía).....	89
5.4.1.	Ruido <i>Crosstalk</i> (Diafonía).....	89
5.4.1.1.	<i>Near End Crosstalk (NEXT)</i>	89
5.4.1.2.	<i>Far End Crosstalk (FEXT)</i>	90
	Capítulo 6. Mediciones Experimentales	93
6.1	Mediciones Experimentales.....	93
6.1.1	Medición de la atenuación de los pares telefónicos de cobre.....	93
6.1.2	Medición de la longitud de los pares telefónicos de cobre.....	94
6.1.3	Medición de la capacitancia de los pares telefónicos de cobre.....	95
6.1.4	Medición del ruido de fondo de los pares telefónicos de cobre.....	97
6.1.5	Medición de la resistencia de aislamiento de los pares telefónicos de cobre.....	98
6.1.6	Pruebas de factibilidad de los servicios <i>ADSL2</i> y <i>ADSL2+</i> en el par telefónico de cobre.....	100
6.1.7	Medición de la <i>PSD (Power Spectral Density, Densidad Espectral de Potencia)</i> de las señales de los servicios de banda ancha <i>ADSL2</i> y <i>ADSL2+</i>	102
6.2	Descripción de los equipos e instrumentos de medición utilizados.....	104
6.2.1	<i>Dynatel 965 DSP</i>	104

6.2.2	Megóhmetro (<i>Megger</i>)	105
6.2.3	<i>Sunset MTT XDSL</i>	106
6.2.4	Módem, <i>CPE ATU-R 210</i>	107
	Capítulo 7. Descripción del software desarrollado	108
7.1	Software diseñado: Cálculo de la capacidad y factibilidad de las tecnologías de banda ancha: <i>ADSL2</i> y <i>ADSL2+</i>	108
7.2	Manual de utilización del <i>software</i> de cálculo de la capacidad del canal y evaluación de la factibilidad de servicios de banda ancha <i>ADSL2</i> y <i>ADSL2+</i>	116
7.2.1	Cálculo de la capacidad del canal y evaluación de la factibilidad de las tecnologías de banda ancha <i>ADSL2</i> y <i>ADSL2+</i>	121
7.2.2	Gráfica de la Densidad Espectral de Potencia, “ <i>UpStream</i> ” y “ <i>DownStream</i> ”, para “ <i>ADSL2</i> ” y “ <i>ADSL2+</i> ”.....	123
	Capítulo 8. Análisis de Resultados	128
8.	Análisis de los resultados de las mediciones	128
8.1	Atenuación del par telefónico de cobre	128
8.1.1	Atenuación de la línea en el distrito 20, Volio	128
8.1.2	Atenuación de la línea en el distrito 36, San Miguel de Piedades Sur	131
8.1.3	Atenuación de la línea en el distrito 20, Calle Zamora.....	133
8.2	Capacitancia del par telefónico de cobre.....	135
8.2.1	Capacitancia de la línea en el distrito 20, Volio	135
8.2.2	Capacitancia de la línea en el distrito 16, Zamora	136
8.2.3	Capacitancia de la línea en el distrito de San Miguel de Piedades Sur	136
8.3	Resistencia de aislamiento de la línea telefónica	137
8.3.1	Resistencia de aislamiento de la línea en el distrito 20, Volio.....	137
8.3.2	Resistencia de aislamiento de la línea en el distrito 16, Calle Zamora	137
8.3.3	Resistencia de aislamiento de la línea en el distrito 36, San Miguel de Piedades Sur.....	138
8.4	Ruido de fondo de la línea telefónica	139
8.4.1	Pruebas de ruido de fondo en el distrito 20, Volio	139

8.4.2	Pruebas de ruido de fondo en el distrito 36, San Miguel de Piedades Sur	142
8.4.3	Pruebas de ruido de fondo en el distrito 20, Calle Zamora	144
8.5	Medición de la Densidad Espectral de Potencia (<i>PSD</i>) de la señal	146
8.6	Pruebas de capacidad y factibilidad de los servicios <i>ADSL2</i> y <i>ADSL2+</i>	151
8.6.1	Pruebas de capacidad y factibilidad de los servicios <i>ADSL2</i> y <i>ADSL2+</i> en el distrito 20, Volio.....	153
8.6.1.1	Pruebas de capacidad y factibilidad de los servicios <i>ADSL2</i> y <i>ADSL2+</i> en el distrito 20, Volio.....	153
8.6.1.1.1	Servicio <i>ADSL2</i> configurado a una velocidad de 12/1 <i>Mbps</i>	153
8.6.1.1.2	Servicio <i>ADSL2+</i> configurado a una velocidad de 24/1 <i>Mbps</i>	156
8.6.1.2	Pruebas de Capacidad y Factibilidad de los servicios <i>ADSL2</i> y <i>ADSL2+</i> en el distrito 36, San Miguel de Piedades Sur	159
8.6.1.2.1	Servicio <i>ADSL2</i> configurado a una velocidad de 12/1 <i>Mbps</i>	159
8.6.1.2.2	Servicio <i>ADSL2+</i> configurado a una velocidad de 24/1 <i>Mbps</i>	161
8.6.1.3	Pruebas de Capacidad y Factibilidad de los servicios <i>ADSL2</i> y <i>ADSL2+</i> en el distrito 16, Calle Zamora	164
8.6.1.3.1	Servicio <i>ADSL2</i> configurado a una velocidad de 12/1 <i>Mbps</i>	164
8.6.1.3.2	Servicio <i>ADSL2+</i> configurado a una velocidad de 24/1 <i>Mbps</i>	168
	Capítulo 9. Conclusiones y Recomendaciones	172
9.1	Conclusiones.....	172
9.2	Recomendaciones.....	173
	Bibliografía	174
	Apéndices	178
	Apéndice 1. Recomendaciones de la UIT-T para <i>ADSL2</i>	178
	Apéndice 2. Recomendaciones de la UIT-T para <i>ADSL2+</i>	179
	Apéndice 3. Configuración del <i>CPE, ATUR-210</i>	180
	Apéndice 4. Glosario	195

Índice de Figuras

Figura 1. Diagrama que describe los pasos para el establecimiento del modelo matemático, para caracterizar los servicios de banda ancha <i>ADSL2</i> y <i>ADSL2+</i> , en la red externa de cobre.	10
Figura 2. Diagrama del procedimiento de validación del modelo teórico que caracterice el rendimiento de la red externa de cobre ante las tecnologías de conexión de banda ancha.	13
Figura 3. Diagrama de la planta externa de un sistema de comunicaciones.	18
Figura 4. Diagrama de la red primaria.	20
Figura 5. Diagrama de la red secundaria.	21
Figura 6. Cable multipar telefónico de cobre.	22
Figura 7. Estructura general de la conexión ADSL brindada por el ICE.	25
Figura 8. Diagrama que muestra el espectro de frecuencia para <i>ADSL</i>	25
Figura 9. Diagrama que muestra el funcionamiento de un <i>Splitter</i>	26
Figura 10. Módem <i>ATU-R</i> o <i>CPE</i>	27
Figura 11. Comparación entre la tasa de transferencia de datos y el alcance de las tecnologías <i>ADSL2</i> y <i>ADSL</i>	32
Figura 12. Arquitectura de red para el acceso de banda ancha basado en las tecnologías <i>ADSL2</i> y <i>ADSL2+</i>	33
Figura 13. Modos de operación L0, L2 y L3, para el mejoramiento en el consumo de potencia.	36
Figura 14. Efecto de diafonía causado en pares adyacentes.	37
Figura 15. Comparación entre las tecnologías <i>ADSL2</i> y <i>ADSL2+</i>	41
Figura 16. <i>ADSL2+</i> duplica la velocidad de transferencia de datos de <i>ADSL2</i>	42
Figura 17. <i>ADSL2+</i> puede ser utilizado para reducir el fenómeno de diafonía	43
Figura 18. Esquema de la Red de Acceso Multiservicio Integrada	53
Figura 19. Topología mixta <i>I-MAP</i>	54
Figura 20. Arquitectura de red para una conexión de <i>I-MAP</i> 's.	55
Figura 21. Sub-bastidor <i>I-MAP</i>	57

Figura 22. Tarjeta madre, con diferentes buses	58
Figura 23. Modelo de red para el establecimiento de una conexión <i>ADSL2</i> ó <i>ADSL2+</i> entre el ICE, proveedor de servicios, y un abonado.....	59
Figura 24. Esquema básico de un sistema de comunicación.....	60
Figura 25. Espectro de portadora sencilla y espectro OFDM.....	64
Figura 26. Sistema QAM-16.....	65
Figura 27. Codificador <i>Wei 4D</i> y 16-estados.....	67
Figura 28. Circuito eléctrico que permite modelar el par telefónico de cobre.....	68
Figura 29. Bucles de prueba de <i>ETSI</i>	74
Figura 30. Fenómeno de atenuación de la línea en un par telefónico de cobre. $S(f)$ es la señal de interés sin atenuar. $T(f)$ es la función de transferencia de ganancia de voltaje del cable.	75
Figura 31. Cálculo de la atenuación para un bucle de abonado compuesto por diferentes secciones de cable con diferentes características físicas de calibre, aislante y longitud.	75
Figura 32. Máscara de densidad espectral de potencia del transmisor <i>ATU-C</i> , para funcionamiento con espectro no superpuesto, para la tecnología <i>ADSL2</i>	76
Figura 33. Máscara de densidad espectral de potencia del transmisor <i>ATU-R</i> , para la tecnología <i>ADSL2</i>	77
Figura 34. Máscara de densidad espectral de potencia del transmisor <i>ATU-C</i> , para funcionamiento con espectro no superpuesto, para la tecnología <i>ADSL2+</i>	78
Figura 35. Máscara de densidad espectral de potencia del transmisor <i>ATU-R</i> para la tecnología <i>ADSL2</i>	79
Figura 36. Distribución de subportadoras para <i>ADSL2</i>	83
Figura 37. Distribución de subportadoras para <i>ADSL2+</i>	84
Figura 38. Margen de seguridad considerado en la ecuación 5.23.	85
Figura 39. Ruidos de diafonía NEXT y FEXT sobre el par de cobre.	91
Figura 40. Circuito para la medición de la atenuación del par telefónico de cobre....	93
Figura 41. Circuito para la medición de la longitud del par telefónico de cobre.	94

Figura 42. Circuito para la medición del nivel de ruido de fondo en el par telefónico de cobre.....	97
Figura 43. Circuito para realizar mediciones de la resistencia de aislamiento en el par telefónico de cobre.....	98
Figura 44. Circuito para realizar pruebas de factibilidad de servicios de banda ancha en el par telefónico de cobre.....	100
Figura 45. Circuito para realizar las mediciones de la <i>PSD</i> de los servicios <i>ADSL2</i> y <i>ADSL2+</i>	102
Figura 46. Circuito para realizar las mediciones de la <i>PSD</i> de los servicios <i>ADSL2</i> y <i>ADSL2+</i> , en el extremo de la UR.....	103
Figura 47. <i>Dynatel 965 DSP</i>	104
Figura 48. Medidor de resistencia de aislamiento <i>Megger</i>	105
Figura 49. Instrumento de medición <i>Sunset MTT</i>	106
Figura 50. Módem <i>ATU-R 210</i>	107
Figura 51. Diagrama de primer nivel del programa a desarrollar.....	108
Figura 52. Diagrama de flujo que describe el algoritmo para la evaluación de la factibilidad.....	114
Figura 53. Diagrama de flujo del software desarrollado.....	115
Figura 54. Ventana principal para el cálculo de la capacidad del canal y evaluación de la factibilidad de servicios de banda ancha <i>ADSL2</i> y <i>ADSL2+</i>	116
Figura 55. Ventana de opciones de configuración de ruido.....	117
Figura 56. Ventana de personalización del bucle de abonado.....	119
Figura 57. Ventana que muestra el cálculo de la capacidad de la tecnología.....	121
Figura 58. Pantalla que muestra el cálculo de la factibilidad de la tecnología.....	122
Figura 59. Ventana de gráfica de <i>PSD</i>	123
Figura 60. Densidad espectral de potencia en el sentido de bajada para <i>ADSL2</i> ...	124
Figura 61. Densidad espectral de potencia en el sentido de subida para <i>ADSL2</i> ...	125
Figura 62. Densidad espectral de potencia en el sentido de bajada para <i>ADSL2+</i> .	125
Figura 63. Densidad espectral de potencia en el sentido de subida para <i>ADSL2+</i> .	126
Figura 64. Ventana Acerca de.....	127

Figura 65. Curvas experimental y teórica para el par B9-1 ubicado a 769 metros de la unidad remota, en el distrito de Volio. El calibre del cable es de 0.65 mm.....	129
Figura 66. Curvas experimental y teórica para el par A2-1 ubicado a 5370 metros de la unidad remota, en el distrito de Volio. El calibre del cable es de 0.65 mm los primeros 4000 m y de 0.9 mm los restantes 1370 m.	130
Figura 67. Curvas experimental y teórica para el par E2-1 ubicado a 6880 metros de la unidad remota, en el distrito de Volio. El calibre del cable es de 0.65 mm los primeros 4000 m y de 0.9 mm los restantes 2880 m.	130
Figura 68. Curvas experimental y teórica para el par A4-6 ubicado a 2547 metros de la unidad remota, en el distrito de San Miguel de Piedades Sur. El calibre del cable es de 0.4 mm.	132
Figura 69. Curvas experimental y teórica para el par B1-2 ubicado a 2715 metros de la unidad remota, en el distrito de Calle Zamora. El calibre del cable es de 0.4 mm.	134
Figura 70. Ruido de fondo para la línea B9-1, ubicada a 769 metros de la unidad remota.....	140
Figura 71. Ruido de fondo para la línea A2-1, ubicada a 5370 metros de la unidad remota.....	141
Figura 72. Ruido de fondo para la línea A2-1, ubicada a 5370 metros de la unidad remota.....	141
Figura 73. Ruido de fondo para la línea A4-6, ubicada a 2547 metros de la unidad remota.....	143
Figura 74. Ruido de fondo para la línea B1-2, ubicada a 2715 metros de la unidad remota.....	145
Figura 75. Ruido de fondo para la línea A5-4, ubicada a 3330 metros de la unidad remota.....	145
Figura 76. Densidad Espectral de Potencia (<i>PSD</i>) para <i>ADSL2</i> , medida en el extremo de la unidad remota.....	148
Figura 77. Densidad Espectral de Potencia (<i>PSD</i>) para <i>ADSL2+</i> , medida en el extremo de la unidad remota.....	148

Figura 78. Gráfica de la <i>PSD</i> teórica y experimental para <i>ADSL2</i> a una distancia de 3330 m.	150
Figura 79. Gráfica de la <i>PSD</i> teórica y experimental para <i>ADSL2+</i> a una distancia de 3330 m.	150
Figura 80. Velocidad de bajada de datos para la tecnología <i>ADSL2</i> , en función de la distancia, para un cable de calibre 0.65 mm.	153
Figura 81. Comparación entre las capacidades teóricas obtenidas con el modelo matemático y la capacidad experimental de las mediciones realizadas, para <i>ADSL2</i> en sentido <i>DownStream</i>	154
Figura 82. Comparación entre las capacidades teóricas obtenidas con el modelo matemático y la capacidad experimental de las mediciones realizadas, para <i>ADSL2</i> en sentido <i>UpStream</i>	154
Figura 83. Capacidad de bajada para el servicio <i>ADSL2</i> , utilizando una línea de transmisión con un calibre de 0.65 mm.	155
Figura 84. Velocidad de bajada en función de la distancia para <i>ADSL2+</i>	157
Figura 85. Comparación entre los límites teóricos obtenidos con el modelo matemático y la capacidad experimental de las pruebas realizadas, para <i>ADSL2+</i> en sentido <i>DownStream</i>	157
Figura 86. Comparación entre las capacidades teóricas obtenidas con el modelo matemático y la capacidad experimental de las mediciones realizadas, para <i>ADSL2+</i> en sentido <i>UpStream</i>	158
Figura 87. Capacidad de bajada para el servicio <i>ADSL2+</i> , utilizando una línea de transmisión con un calibre de 0.65 mm.	158
Figura 88. Comparación entre las capacidades teóricas obtenidas con el modelo matemático y la capacidad experimental de las mediciones realizadas, para <i>ADSL2</i> en sentido <i>DownStream</i>	160
Figura 89. Comparación entre las capacidades teóricas obtenidas con el modelo matemático y la capacidad experimental de las mediciones realizadas, para <i>ADSL2</i> en sentido <i>UpStream</i>	160

Figura 90. Comparación entre las capacidades teóricas obtenidas con el modelo matemático y la capacidad experimental de las mediciones realizadas, para <i>ADSL2+</i> en sentido <i>DownStream</i>	162
Figura 91. Comparación entre las capacidades teóricas obtenidas con el modelo matemático y la capacidad experimental de las mediciones realizadas, para <i>ADSL2+</i> en sentido <i>DownStream</i>	162
Figura 92. Comparación entre la velocidad de bajada alcanzada por <i>ADSL2</i> y <i>ADSL2+</i>	163
Figura 93. Velocidad de subida en función de la distancia para <i>ADSL2</i>	165
Figura 94. Velocidad de bajada en función de la distancia para <i>ADSL2</i>	165
Figura 95. Capacidad de subida en función de la distancia, para <i>ADSL2</i>	166
Figura 96. Capacidad de bajada en función de la distancia, para <i>ADSL2</i>	166
Figura 97. Comparación entre las capacidades teóricas obtenidas con el modelo matemático y la capacidad experimental de las mediciones realizadas, para <i>ADSL2</i> en sentido <i>DownStream</i>	167
Figura 98. Comparación entre las capacidades teóricas obtenidas con el modelo matemático y la capacidad experimental de las mediciones realizadas, para <i>ADSL2</i> en sentido <i>UpStream</i>	167
Figura 99. Velocidad de subida en función de la distancia para <i>ADSL2+</i>	169
Figura 100. Velocidad de bajada en función de la distancia para <i>ADSL2+</i>	169
Figura 101. Capacidad de subida en función de la distancia, para <i>ADSL2+</i>	170
Figura 102. Capacidad de bajada en función de la distancia, para <i>ADSL2+</i>	170
Figura 103. Comparación entre las capacidades teóricas obtenidas con el modelo matemático y la capacidad experimental de las mediciones realizadas, para <i>ADSL2+</i> en sentido <i>DownStream</i>	171
Figura 104. Comparación entre las capacidades teóricas obtenidas con el modelo matemático y la capacidad experimental de las mediciones realizadas, para <i>ADSL2+</i> en sentido <i>UpStream</i>	171
Figura 105. Diagrama de las interfaces de conexión del módem <i>ATUR-210</i>	180
Figura 106. Ventana de conexiones de red.....	181

Figura 107. Selección de propiedades en el icono de conexión de área local.	182
Figura 108. Pantalla de propiedades del protocolo <i>TCP/IP</i>	182
Figura 109. Pantalla de resultados del ping.	183
Figura 110. Solicitud de usuario y contraseña al intentar conectarse al módem.	183
Figura 111. Ventana de configuración avanzada del módem.	184
Figura 112. Configuración de la red de área ancha (<i>WAN</i>).	185
Figura 113. Configuración de la interfaz <i>WAN</i>	185
Figura 114. Configuración <i>ATM</i>	186
Figura 115. Configuración de la categoría del servicio <i>ATM</i>	186
Figura 116. Selección del tipo de conexión.	187
Figura 117. Selección del modo de encapsulación.	188
Figura 118. Configuración de las direcciones <i>IP</i> para la conexión <i>WAN</i>	188
Figura 119. Configuración del host y la puerta de enlace predeterminada.	189
Figura 120. Configuración de la interfaz para la conexión <i>WAN</i>	190
Figura 121. Configuración de los servidores <i>DNS</i>	190
Figura 122. Ventana de configuración <i>NAT</i>	191
Figura 123. Resumen de la configuración <i>WAN</i>	192
Figura 124. Configuración de la red de área local.	192
Figura 125. Configuración del servidor <i>DHCP</i>	193
Figura 126. Configuración <i>TCP/IP</i> desde el computador.	194

Índice de Tablas

Tabla 1. Tipo de servicios y velocidades ofrecidas por el servicio @celera Internet del ICE.....	28
Tabla 2. Tabla comparativa de las características de las tecnologías de conexión de banda ancha ADSL, ADSL2 y ADSL2+.....	45
Tabla 3. Descripción de las características principales de la plataforma I-MAP.....	56
Tabla 4. Cálculo de los coeficientes de R y L (a 20 °C).....	72
Tabla 5. Tangente de pérdidas, $\tan \delta$ para el cálculo de G(a 20 °C).....	72
Tabla 6. Nivel de potencia de la PSD, a diferentes frecuencias, para el gráfico de la Figura 34.....	78
Tabla 7. Nivel de potencia de la PSD, a diferentes frecuencias, para el gráfico de la Figura 35.....	79
Tabla 8. Tonos utilizados en los dos sentidos de transmisión, para ambas tecnologías.....	82
Tabla 9. Distancias seleccionadas para la realización de pruebas experimentales en el distrito de Volio.....	128
Tabla 10. Distancias seleccionadas para la realización de pruebas experimentales en el distrito de San Miguel de Piedades Sur.....	131
Tabla 11. Distancias seleccionadas para la realización de pruebas experimentales en el distrito de Calle Zamora.....	133
Tabla 12. Valores experimentales de capacitancia en la línea telefónica para el distrito de Volio.....	135
Tabla 13. Valores experimentales de capacitancia en la línea telefónica para el distrito de Calle Zamora.....	136
Tabla 14. Valores experimentales de capacitancia en la línea telefónica para el distrito de San Miguel de Piedades Sur.....	136
Tabla 15. Valores medidos de la resistencia de aislamiento en la línea telefónica para el distrito 20.....	137

Tabla 16. Valores medidos de la resistencia de aislamiento en la línea telefónica para el distrito 16.....	137
Tabla 17. Valores medidos de la resistencia de aislamiento en la línea telefónica para el distrito 36.....	138
Tabla 18. Promedio y desviación estándar de los valores obtenidos en las mediciones de ruido de fondo, para diferentes pares en el distrito de Volio.	139
Tabla 19. Promedio y desviación estándar de los valores obtenidos en las mediciones de ruido de fondo, para diferentes pares en el distrito de San Miguel de Piedades Sur.....	142
Tabla 20. Promedio y desviación estándar de los valores obtenidos en las mediciones de ruido de fondo, para diferentes pares en el distrito de Calle Zamora.	144
Tabla 21. Densidad Espectral de Potencia (<i>PSD</i>) experimental, para ambas tecnologías y para ambos sentidos de transmisión de datos, medida directamente desde la unidad remota.....	147
Tabla 22. Densidad Espectral de Potencia (<i>PSD</i>) teórica, para ambas tecnologías y para ambos sentidos de transmisión de datos, según los estándares UIT-T G.992.3 y UIT-T G.992.5.	149
Tabla 23. Resultados de las pruebas de capacidad del servicio <i>ADSL2</i> , configurado a una velocidad de 12/1 <i>Mbps</i> , en el distrito de Volio.	153
Tabla 24. Resultados de las pruebas de capacidad del servicio <i>ADSL2+</i> , configurado a una velocidad de 24/1 <i>Mbps</i> , en el distrito 20, de Volio.	156
Tabla 25. Resultados de las pruebas de capacidad del servicio <i>ADSL2</i> , configurado a una velocidad de 12/1 <i>Mbps</i> , en el distrito de San Miguel de Piedades Sur.	159
Tabla 26. Resultados de las pruebas de capacidad del servicio <i>ADSL2+</i> , configurado a una velocidad de 24/1 <i>Mbps</i> , en el distrito de San Miguel de Piedades Sur.	161
Tabla 27. Resultados de las pruebas de capacidad del servicio <i>ADSL2</i> , configurado a una velocidad de 12/1 <i>Mbps</i> , en el distrito de Calle Zamora.....	164
Tabla 28. Resultados de las pruebas de capacidad del servicio <i>ADSL2+</i> , configurado a una velocidad de 24/1 <i>Mbps</i> , en el distrito de Calle Zamora.....	168

Capítulo 1. Introducción

1. Generalidades del Proyecto

1.1. Entorno del proyecto

Ante la creciente demanda del servicio de *Internet* en el país, el Instituto Costarricense de Electricidad (ICE), se encuentra evaluando la posibilidad de poner a disposición del cliente las tecnologías de conexión de banda ancha *ADSL2* y *ADSL2+*. Estos dos tipos de conexión son parte de la nueva familia de tecnologías denominada *xDSL*, y se desea que sean sucesoras de la tecnología *ADSL*, utilizada por el servicio *@celera Internet del ICE®*.

En general, la tecnología *ADSL* (*Asymmetric Digital Subscriber Line*, en español, Línea de Subscriptor Digital Asimétrica) permite utilizar las líneas telefónicas convencionales para la transmisión de datos a una alta velocidad y el uso simultáneo del teléfono. La tecnología *ADSL* es asimétrica, debido a que el ancho de banda del canal de subida de datos (*Upstream*) es diferente con relación al de bajada (*Downstream*).

Las tecnologías *ADSL2* y *ADSL2+* fueron diseñadas para ofrecer tasas de transferencia mayores que las proporcionadas por el *ADSL* convencional, y haciendo uso de la misma infraestructura telefónica basada en pares telefónicos de cobre, instalada por el ICE en la mayor parte del territorio nacional; por lo que se aprovecha la gran inversión realizada tiempo atrás. El *ADSL* opera a una tasa mínima de bajada/subida de 6/0.64 *Mbps*, aunque el ICE lo comercializa a una velocidad máxima de 4096/768 *Kbps*. Mientras que con el *ADSL2* se consigue como mínimo 8/0.8 *Mbps* y con *ADSL2+* 16/0.8 *Mbps*, por lo que este último servicio duplica el ancho de banda de bajada del *ADSL2*.

Para realizar la migración de la tecnología de *ADSL* a *ADSL2* y *ADSL2+*, se requiere conectar un nuevo equipo entre la central telefónica y el usuario final, que soporte la nueva tasa de transferencia.

Es sumamente necesario para la institución realizar un análisis detallado del rendimiento de los diferentes tipos de pares telefónicos de cobre ante la implementación de ambos sistemas de conexión de banda ancha. Los pares telefónicos de cobre varían en cuanto a parámetros como el aislamiento, el calibre, y la longitud; por lo que el estudio debe contemplar estas variantes.

1.2. Definición del problema

1.2.1. Descripción General

El ICE está contemplando la posibilidad de realizar la implementación de las tecnologías *ADSL2* y *ADSL2+*. Estas dos últimas tecnologías proveen una mayor tasa de transferencia de datos, por lo que requieren de la instalación de nuevos dispositivos electrónicos *CPE* que logren establecer la conexión entre el cliente y la central telefónica, a la velocidad deseada.

Ante la necesidad de proporcionar al cliente servicios de conexión que utilicen tecnologías que permitan el tráfico de datos a un mayor ancho de banda, se tiene la necesidad de realizar un análisis teórico que proporcione un modelo matemático, el cual permita describir la capacidad de la planta externa de pares telefónicos de cobre existente, de brindar el servicio de conexión de banda ancha mediante las tecnologías *ADSL* y *ADSL2+*. Este debe ser respaldado mediante pruebas experimentales que se realizarán con distintos tipos de cable, equipos de conexión e instrumentos de medición electrónicos y a diferentes distancias en determinadas localidades predefinidas, con el fin de establecer la distancia y la velocidad a la que se pueden establecer ambos enlaces de banda ancha en un determinado sitio geográfico.

El problema principal al cual se enfrenta el ICE, es la carencia de dicho modelo matemático, que caracterice el comportamiento de las principales características eléctricas de la red externa de pares telefónicos de cobre, ante el establecimiento de un enlace de comunicación con las tecnologías *ADSL2* y *ADSL2+*.

Con el establecimiento de dicho modelo teórico y la realización de pruebas experimentales, el ICE espera tener una primera estimación acerca de la factibilidad de los servicios de banda ancha que se esperan implementar. Esto, debido a que, de acuerdo con los resultados de las pruebas a realizar, se podría determinar si los servicios que se brindarán tendrán o no la calidad requerida, o inclusive se tendría la certeza de si estos podrían o no ser suministrados del todo.

Se carece de conocimiento acerca de si el estado actual de las redes de cable telefónico de cobre permitiría un funcionamiento adecuado de las tecnologías de comunicación, debido a que cuando se implementó esta red se hizo con el objetivo de permitir la transmisión de voz únicamente; además de que muchos de los cables tienen mucho tiempo de estar en funcionamiento y podrían ocasionar problemas de comunicación.

Se requiere entonces, que mediante diversas pruebas experimentales con diferentes tipos de cables, equipos y a diferentes distancias en diversas localidades geográficas, se logre realizar una valoración del estado en que se encuentra actualmente la red de cable telefónico de cobre, con el fin de lograr validar el modelo de comportamiento matemático, obtenido de dicha red externa, para lograr brindarle al cliente información confiable acerca de la calidad del servicio de banda ancha que le será proporcionado, en cuanto a parámetros como distancia y velocidad a las que se puede establecer la conexión.

Las mediciones experimentales deben ser realizadas en distintas áreas geográficas del país, previamente definidas. Esto con el objetivo de hacer que el estudio sea una representación fiel del estado de la red externa de pares telefónicos de cobre del ICE.

1.2.2. Descripción sintética del problema

“La carencia de un modelo matemático ajustado a las condiciones actuales de la planta externa de cable telefónico del ICE, que permita estimar la capacidad de dicha red externa de brindar los servicios de conexión de banda ancha mediante las tecnologías *ADSL* y *ADSL2+*, y que sea validado mediante la realización de pruebas experimentales; con el fin de evaluar la factibilidad (tomando en cuenta los parámetros de distancia y velocidad a la que se ofrece el enlace) de la posterior implementación de ambas tecnologías de conexión”.

Capítulo 2. Objetivos

2. Meta y Objetivos

2.1. Meta

Conocer la factibilidad de brindar los servicios de conexión de banda ancha *ADSL2* y *ADSL2+*, utilizando como medio de transmisión la red externa de cable telefónico, y tomando en cuenta sus condiciones actuales.

2.2. Objetivos

2.2.1. Objetivo general

Evaluar mediante el establecimiento de modelos teóricos y validar por medio de mediciones prácticas, la capacidad de la red externa de pares telefónicos de cobre, para brindar las tecnologías de conexión de banda ancha *ADSL2* y *ADSL2+*.

2.2.2. Objetivos específicos

2.2.2.1 Implementar el sistema prototipo de conexión de banda ancha para las tecnologías *ADSL2* y *ADSL2+*, utilizando el equipo del que dispone el ICE, con el fin de lograr realizar las mediciones experimentales que caractericen el estado del enlace.

Indicador: Implementación física del sistema prototipo de conexión de banda ancha para ambas tecnologías.

2.2.2.2 Diseñar un programa informático basado en el modelo matemático establecido, que sea posteriormente ajustado de acuerdo a las pruebas de campo realizadas y que permita al ICE determinar la capacidad de brindar los servicios de conexión de banda ancha mediante las tecnologías *ADSL2* y *ADSL2+*, que utilizan como medio de transmisión la planta externa de pares telefónicos de cobre.

Indicador: Ecuaciones, modelos matemáticos y algoritmos que describan el comportamiento de los servicios de banda ancha, ante diferentes tipos de cable telefónico, según parámetros como el calibre, aislamiento y longitud; principalmente.

2.2.2.3 Obtener las principales características eléctricas para los diferentes tipos de cable que componen la red externa de pares telefónicos de cobre, en cuanto a parámetros como aislamiento, calibre y longitud; con el fin de validar los modelos teóricos obtenidos y evaluar la calidad de transmisión de datos mediante ambos servicios de banda ancha.

Indicador: Establecimiento del modelo matemático que caracterice la capacidad de la red externa de pares telefónicos de cobre, para brindar las tecnologías de conexión de banda ancha *ADSL2* y *ADSL2+*.

2.2.2.4 Determinar el estado de la conexión *ADSL2*, mediante la estimación de las velocidades de transferencia de datos que se pueden alcanzar en distintos sitios geográficos y a distintas distancias específicas, así como otras características del enlace.

Indicador: Documentación de las diferentes velocidades y localidades geográficas a las que se puede brindar el servicio *ADSL2*, así como otras variables características del enlace.

2.2.2.5 Determinar el estado de la conexión *ADSL2+*, mediante la estimación de las velocidades de transferencia de datos que se pueden alcanzar en distintos sitios geográficos y a distintas distancias específicas, así como otras características del enlace.

Indicador: Documentación de las diferentes velocidades y localidades geográficas a las que se puede brindar el servicio *ADSL2+*, así como otras variables características del enlace.

2.2.2.6 Documentar el análisis de resultados y las conclusiones obtenidas a partir de este, con el fin de proveer al ICE con toda la información generada en el desarrollo del proyecto, acerca de los distintos sitios geográficos y velocidades a las que se pueden brindar ambos servicios de conexión de banda ancha.

Indicador: Documentación en formato electrónico del análisis de resultados y las conclusiones.

Capítulo 3. Metodología

3. Procedimiento Metodológico

3.1. Propuesta de solución

El ICE requiere del establecimiento de un modelo matemático, que permita caracterizar el comportamiento de la red de pares telefónicos de cobre existente, ante la transferencia de datos mediante los servicios de banda ancha basados en las tecnologías *ADSL2* y *ADSL2+*.

En primera instancia, ante la necesidad de realizar estudios del funcionamiento y comportamiento de ambas tecnologías de conexión de banda ancha, se hace indispensable una investigación exhaustiva acerca de estas, con el fin de lograr la capacitación requerida en cuanto a temas como: manejo e instalación de equipos para estas tecnologías y el procedimiento adecuado para la realización de pruebas experimentales.

De manera similar, se hace necesario adquirir conocimientos sólidos en cuanto a las características y comportamiento de la red externa de pares telefónicos de cobre. Es de mucha importancia también el conocimiento que se logre adquirir acerca del proceso seguido por diferentes compañías en otros países, para la implementación de tecnologías de banda ancha de este tipo.

Se documentará la información recabada en esta primera etapa del proyecto, con el fin de generar una base de conocimientos que provea al ICE con material de apoyo acerca de la investigación realizada y que a la vez sirva como material de referencia para futuros proyectos que tengan una filosofía similar a éste y que puedan ser desarrollados en un futuro.

Una vez que se haya realizado el estudio previo de todos los conceptos teóricos y prácticos que conlleva el funcionamiento de las tecnologías de conexión de banda ancha, se procederá con el establecimiento del modelo matemático, que permita caracterizar el funcionamiento de las tecnologías *ADSL2* y *ADSL2+* sobre la planta externa existente de cable telefónico.

Con la finalización del proyecto, se pretende que el ICE tenga una primera estimación adecuada acerca de la factibilidad de la transferencia de datos mediante las tecnologías de conexión de banda ancha, *ADSL2* y *ADSL2+*; sobre la infraestructura existente de cable telefónico y de acuerdo a las condiciones que esta presenta, con el fin de determinar la viabilidad de brindar el servicio de conexión.

La estimación y determinación de las zonas y velocidades específicas a las cuales se pueden brindar satisfactoriamente ambos servicios de conexión de banda ancha, permitirá agilizar el proceso de implementación de los servicios, debido a que se evita la realización de mediciones innecesarias en zonas donde no se tenga conocimiento acerca de la posibilidad de brindar estas tecnologías.

3.2. Desarrollo del modelo matemático

3.2.1. Establecimiento del modelo matemático de la red externa de cables telefónicos del ICE

Es claro, que la posibilidad de utilizar las tecnologías *ADSL2* ó *ADSL2+*, depende en gran medida, de la calidad del par de cobre a utilizar, así como del diseño de la planta exterior. Se debe considerar que la mayoría de los casos, esta fue diseñada con el único propósito de ser utilizada en servicios de telefonía básica. Por tanto, surge la necesidad de realizar un detallado estudio del par de cobre, con el objetivo fundamental de verificar si este cumple con los parámetros mínimos recomendados para el soporte de las tecnologías de banda ancha. El diagrama de la Figura 1 describe el procedimiento a seguir para el establecimiento del modelo matemático.

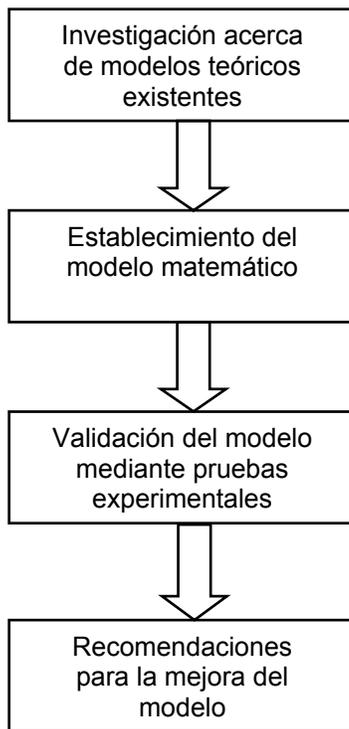


Figura 1. Diagrama que describe los pasos para el establecimiento del modelo matemático, para caracterizar los servicios de banda ancha *ADSL2* y *ADSL2+*, en la red externa de cobre.

3.2.2. Investigación preliminar acerca de modelos teóricos existentes y su aplicabilidad a la red externa de cobre del ICE

Antes del establecimiento del modelo matemático que describa las características de la red externa de cable telefónico, se investigará acerca de modelos matemáticos existentes, desarrollados en estudios e investigaciones respaldadas por organismos internacionales como la *ITU* (Unión Internacional de Telecomunicaciones), la *ANSI* (Instituto Nacional de Estándares Americanos), la *ETSI* (*European Telecommunications Standards Institute*) y el *DSL Forum*, con el fin de adquirir conocimiento acerca de modelos matemáticos que se hayan desarrollado y que tengan una filosofía similar al que se desea establecer para caracterizar el rendimiento de los servicios de conexión de banda ancha. De esta manera se tendrá conocimiento acerca de modelos matemáticos ya existentes y que podrían ser

utilizados en el establecimiento del modelo que describa el comportamiento de las señales de los servicios de banda ancha sobre la planta externa de cobre.

Como parte de la investigación preliminar se debe determinar si los modelos teóricos existentes se pueden aplicar a la infraestructura de la red externa de cable telefónico de la que dispone el ICE. Además es de suma importancia definir los parámetros y variables que tienen mayor relevancia sobre el comportamiento de las señales de banda ancha, así como la metodología de medición de estos.

Una vez definidas las variables que se desean medir, se procederá a realizar una serie de mediciones experimentales, que permitan validar los modelos teóricos conocidos, y de esta manera se determine si dichos modelos se acercan a los fenómenos que ocurren en la realidad, en la infraestructura de la red externa de cable telefónico del ICE.

3.2.3. Determinación del modelo matemático

Las mediciones experimentales que se obtendrán mediante diversas pruebas de campo se utilizarán para comparar los modelos teóricos investigados y de esta manera lograr justificar el establecimiento de un modelo matemático que se aproxime de la manera más fiable al comportamiento del sistema descrito en la realidad, considerando las características y condiciones que posee la infraestructura de red de cables telefónicos del ICE.

Los modelos de descripción matemáticos no son una representación exacta de un sistema, estos son una aproximación al comportamiento real, debido a que el modelo no considera diversas situaciones que podrían afectar la respuesta del sistema. Por esta razón es necesario determinar mediante un nuevo procedimiento de mediciones experimentales, las deficiencias que presenta el modelo matemático, con el fin de comprobar y validar el acercamiento a la realidad del modelo del sistema, con respecto a las características que presenta la red telefónica que se utiliza como medio de transmisión.

Con el conocimiento generado a partir de la investigación de modelos teóricos existentes que caractericen el funcionamiento de los servicios de banda ancha

ADSL2 y *ADSL2+*, así como con los datos obtenidos de las mediciones experimentales realizadas; se espera crear un programa informático en algún paquete de *software*, que incluya algoritmos y rutinas de programación que evalúen y describan el rendimiento de las señales de banda ancha, que utilizan la red de cable telefónico como medio de transmisión; haciendo uso de las ecuaciones matemáticas obtenidas en el desarrollo del modelo matemático de predicción.

Se espera, que finalmente, el programa informático basado en el modelo matemático obtenido permita estimar de manera confiable la factibilidad de la prestación del servicio a una determinada zona geográfica, a una distancia en específico y a una velocidad de transferencia de datos predefinida.

3.2.4. Validación del modelo teórico mediante mediciones experimentales

Como proceso de desarrollo del modelo matemático, que caracterice el comportamiento de ambos servicios de banda ancha, se iniciará la etapa de medición experimental, que tendrá como objetivo validar el modelo matemático establecido. El diagrama de la Figura 2 permite visualizar las diferentes etapas que se deben cumplir para lograr realizar las diferentes mediciones experimentales.

Como primera etapa se debe definir si se someterá a prueba la tecnología *ADSL2* o la *ADSL2+*. Como se vio anteriormente, la principal diferencia entre estos dos sistemas es el ancho de banda, debido a que la última tecnología trabaja a un doble ancho de banda de bajada en comparación con la primera.

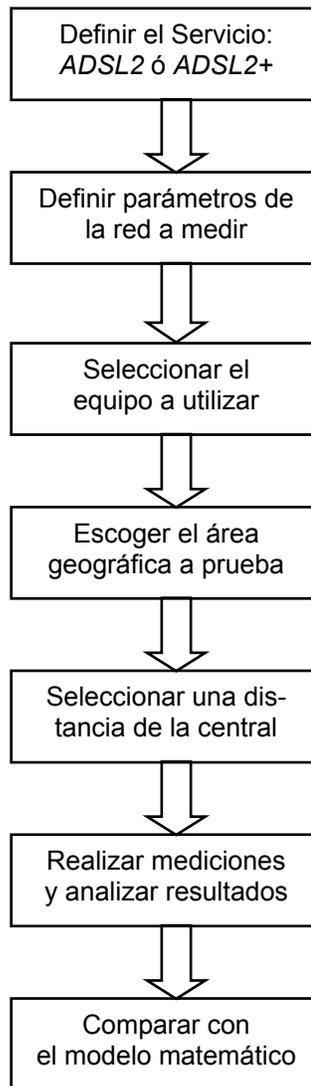


Figura 2. Diagrama del procedimiento de validación del modelo teórico que caracterice el rendimiento de la red externa de cobre ante las tecnologías de conexión de banda ancha.

Posteriormente se procederá a establecer la velocidad de operación, ya que si bien la velocidad mínima de transferencia de datos de *ADSL2* es de 8 *Mbps* (*Downstream*) y 0.8 *Mbps* (*Upstream*) y para *ADSL2+* es de 16 *Mbps* (*Downstream*) y también de 0.8 *Mbps* (*Upstream*); el ICE establece velocidades intermedias que se encuentran por debajo de estas velocidades máximas permisibles, con el fin de realizar contratos con clientes o empresas a diferentes tarifas y así lograr satisfacer tanto las necesidades de velocidad de conexión como la capacidad económica del cliente. Es por esta razón que se deben realizar pruebas a diferentes velocidades de subida/bajada, ya que de esta manera se logra garantizar al cliente una velocidad determinada, a una distancia específica de la central telefónica.

Se deben seleccionar las características y parámetros eléctricos que se considere sean de mayor relevancia para la prueba de campo que se va realizar. Las principales variables que se pretenden medir experimentalmente en el par de cable telefónico de cobre son: la atenuación, la distancia de transmisión, la velocidad de transmisión, la razón señal a ruido *SNR*, y la determinación del comportamiento en la frecuencia, mediante un análisis de densidad espectral de potencia para sistemas de banda ancha.

Las tecnologías de transmisión de información de banda ancha *ADSL2* y *ADSL2+*, han sido implementadas en diferentes países del mundo mediante el cumplimiento de distintas normativas y estándares. Por lo tanto es de suma importancia acatar las normas y recomendaciones que brindan instituciones reconocidas a nivel mundial como la UIT, *ANSI*, y *ETSI*. Otro ente que vela por el cumplimiento de estándares internacionales es el *DSL Forum*. Este, es un consorcio internacional de la industria conformado por proveedores de servicio, así como de fabricantes de equipo, que se interesan en desarrollar la capacidad máxima del *xDSL* de banda ancha para satisfacer las necesidades del mercado mundial.

Una vez que se tengan definidas las características y parámetros eléctricos que se desean medir, así como las normativas y estándares que respaldan las tecnologías de banda ancha; se deben seleccionar cuidadosamente los equipos electrónicos *ATU-R* que se utilizarán para establecer la conexión de la red.

El ICE ha adquirido equipos electrónicos para realizar pruebas experimentales con las tecnologías de conexión de banda ancha. Se cuenta en este momento con varios dispositivos *ATU-R* de una misma marca comercial, para el establecimiento de conexiones mediante la tecnología *ADSL2*. Además en lugar de los dispositivos *ATU-R*, se utilizarán instrumentos de medición, con el fin de obtener algunos parámetros y variables que no se pueden medir desde los dispositivos *CPE*.

Con el fin de que el estudio que se va realizar tenga resultados confiables y fieles a la realidad del estado de la red externa de cobre del ICE, se seleccionarán de manera aleatoria diferentes localidades con distintas características, de manera que conformen una muestra representativa de la red telefónica de cable. Las localidades o puntos de prueba que se seleccionaran deberán cumplir con encontrarse a diferentes distancias desde la unidad remota.

Definida el área geográfica, se procederá con la realización de las pruebas y diferentes mediciones de campo con el objetivo de determinar el comportamiento de fenómenos de tipo eléctrico como lo son: la atenuación, la relación *SNR (Signal to Noise Ratio)*, así como la distancia y velocidad del enlace entre otros que se consideren de importancia con el desarrollo y avance en las mediciones experimentales. Se espera que para cada una de las mediciones, de los diferentes servicios, se obtengan resultados que describan fielmente el comportamiento de la red de cobre ante señales de banda ancha, por lo que se seleccionarán cuidadosamente los equipos que se utilizarán para realizar las mediciones experimentales.

Mediante el análisis de resultados se pretende crear tablas y gráficos que relacionen variables, de manera que permitan hacer comparaciones entre ambas tecnologías de banda ancha. Las principales características que serán punto de comparación entre ambos servicios son la distancia y la velocidad a la que se ofrece el servicio.

Una vez analizada y procesada la información se procederá con la evaluación de los diferentes conocimientos generados a partir del análisis de resultados. Se podrá entonces, de esta forma, obtener el rango de operación de cada uno de los

servicios en la red de cobre. De igual manera se procedería a establecer la similitud de los resultados experimentales obtenidos con el modelo matemático establecido.

Finalmente, mediante estos resultados se espera que sea posible concluir cuáles de los sectores en estudio están o no en capacidad de brindar los servicios de la nueva tecnología de banda ancha *ADSL2* y *ADSL2+*, y en caso de que estén capacitados, determinar la calidad del servicio que estos pueden brindar.

3.2.5. Recomendaciones para el modelo matemático obtenido

Una vez que se haya determinado el modelo matemático que mejor se ajuste al comportamiento de los servicios de banda ancha en la red externa de cable telefónico del ICE, y se haya sometido al proceso de validación mediante mediciones experimentales, se procederá a hacer un análisis y comparación entre los resultados obtenidos a partir del programa matemático de predicción y los que se generaron a partir de las pruebas de campo, con el fin de encontrar alguna inconsistencia en los datos y evaluar la posibilidad de repetir algunas mediciones. Finalmente se debe ajustar el modelo obtenido a las condiciones actuales de infraestructura de la red de cable telefónico del ICE.

Capítulo 4. Marco Teórico

4.1 Planta Externa de la Red Nacional de Telefonía del ICE

4.1.1 Conceptos Básicos

El concepto de planta externa es utilizado para denominar a todos los elementos de la red de telecomunicaciones que se encuentran ubicados fuera del edificio central. Dentro de algunos elementos que componen la planta externa, se encuentran: [13]

- Red de enlace por fibra óptica.
- El *MDF (Main Distribution Frame)*, el cual es el armario repartidor de distribución principal.
- La galería de cables.
- Las redes directa, primaria y secundaria.
- Conjunto de armarios y postes telefónicos.
- Los sistemas de presurización.
- Equipos electrónicos encargados de la multiplicación de los pares.

En este proyecto se analiza el comportamiento de las señales de banda ancha de las tecnologías *ADSL2* y *ADSL2+*, en la red o planta externa de cobre, específicamente en lo que se denomina la red secundaria de cableado telefónico. En este caso la red secundaria comprende desde el punto donde se encuentra localizado el *I-MAP*, que funciona como UR (Unidad Remota), hasta las instalaciones del cliente.

La Figura 3 muestra un diagrama de la planta externa de un sistema de comunicaciones:

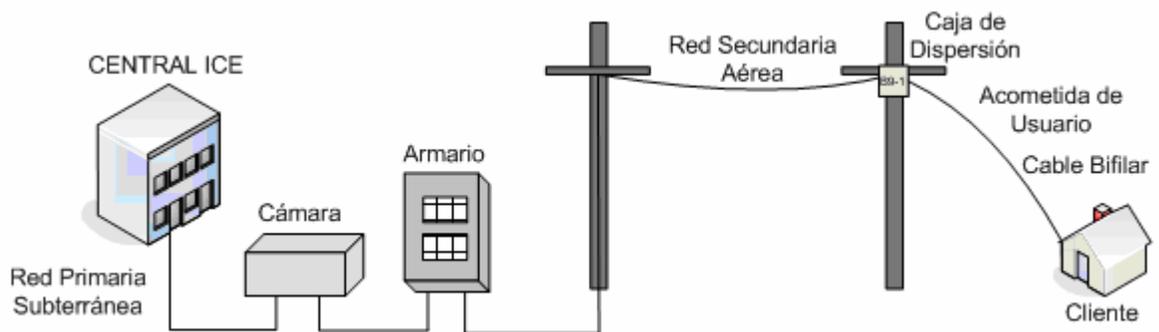


Figura 3. Diagrama de la planta externa de un sistema de comunicaciones.

El repartidor principal de la central, o *MDF*, es el elemento que permite enlazar la planta interna con la planta externa. Este repartidor se encuentra ubicado dentro de las instalaciones de la central del ICE.

La conexión entre la red primaria y la red secundaria, se realiza mediante un dispositivo denominado *jumper* (en español, puente). [13]

4.1.2 Principales redes de la planta externa

4.1.2.1 Red Directa

Esta red está constituida por todos los pares de líneas telefónicas que salen desde el repartidor principal de la central telefónica, hasta las cajas de dispersión, en los casos en que estos pares no pasan a través de un armario de subrepartición. [13]

4.1.2.2 Red Primaria

Es el conjunto de cables que se encuentra localizado entre el repartidor principal de la central y el armario de subrepartición. Está compuesta por los siguientes elementos:

- Listón primario en el repartidor principal.
- Cable primario.
- Listón primario en el armario de subrepartición.

El listón primario en el repartidor principal es el punto de enlace entre la planta externa e interna. El *MDF* está constituido por varios listones, los cuales cada uno pertenece a un único cable de 100 pares, generalmente.

Por otra parte el cable primario es la línea de transmisión que permite establecer conexión entre el listón primario ubicado en el repartidor principal y el listón primario que se localiza en el armario de subrepartición. En nuestro país, el cable primario se encuentra presurizado, subterráneo y canalizado. Los pares del cable primario en su mayoría tienen un aislante de papel o polietileno, siendo el primero un tanto antiguo y discontinuado. Además poseen una capacidad que va desde los 100 hasta los 2400 pares y de un calibre variable que puede ser de 0.4, 0.5, 0.65 y 0.9 mm. La Figura 4 muestra un diagrama general de la red primaria.

El listón en el armario de subrepartición se utiliza para hacer la conexión entre la red primaria y la red secundaria. En este listón es posible encontrar la misma cantidad de pares que en el listón del repartidor principal de la central, y además se encuentran en el mismo orden y correctamente identificados. [13]

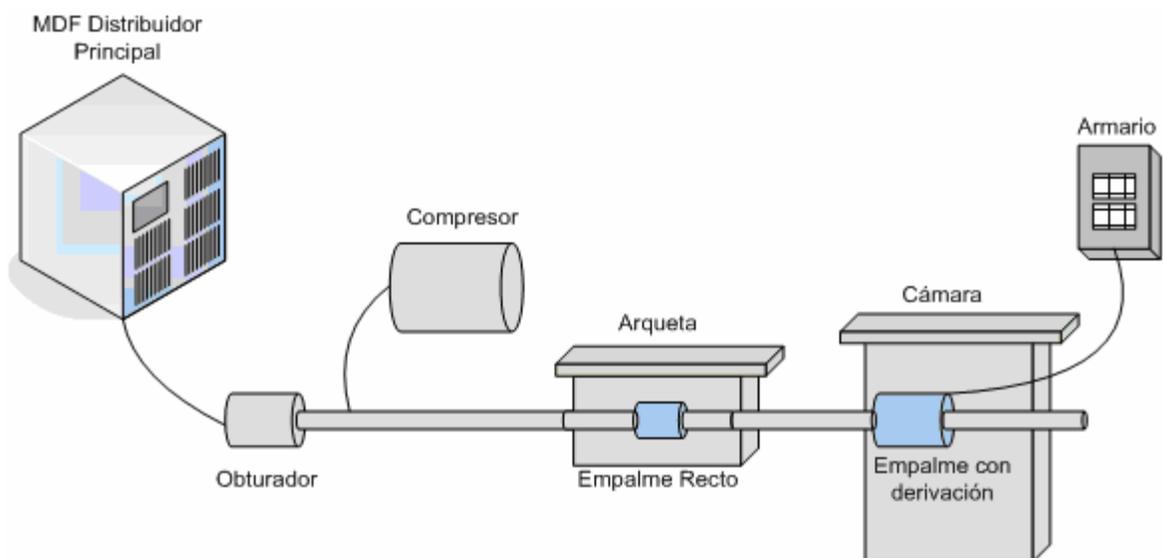


Figura 4. Diagrama de la red primaria.

El proceso de canalización permite el mantenimiento preventivo y correctivo de fallas en la red primaria. Este proceso se logra mediante la instalación de cámaras, las cuales son estructuras de concreto, a nivel subterráneo; utilizadas para realizar empalmes, y labores de mantenimiento. Generalmente, hay una cámara asociada a cada armario de distribución, y aproximadamente cada 60 metros se instala una cámara de menor tamaño que es conocida como arqueta.

Por otra parte, la red primaria de cable es sometida a un proceso de presurización, el cual consiste en la inyección de aire seco a presión mediante compresores en todos los cables, mediante mangueras individuales. Este aire es tomado del medio ambiente, por medio de un equipo deshidratador. Todos los empalmes tienen instalada una válvula que permite realizar mediciones de presión, para verificar que esta se encuentre en un valor aceptable.

La razón por la cual se presurizan los cables, es debido a que en caso de que se presente una ruptura de la protección que posee el cable, el aire seco que es inyectado por medio de compresores, sale desde el cable hasta el exterior, por lo que se evita la entrada de humedad y suciedad al interior de este. Los cables primarios son constantemente monitorizados mediante sensores de presión; y un sistema electrónico, el cual en caso de una falla activa una alarma de alerta. [13]

4.1.2.3 Red Secundaria

Es la línea de transmisión constituida por el cable secundario, que generalmente se distribuye a través de una red aérea, y que está constituida con cables de un menor número de pares. La Figura 5 muestra un diagrama de la red secundaria. Esta red aérea llega a cajas de dispersión que son instaladas en postes, y estas es de donde se extraen los pares telefónicos de cobre que finalmente llegan al abonado. Estos cables finales son los que se conocen como cables de acometida de usuario, o cable de acometida exterior, el cual es un cable de tipo bifilar. Generalmente se extraen 10 o 20 pares hacia los clientes, desde cada caja de dispersión. [13]

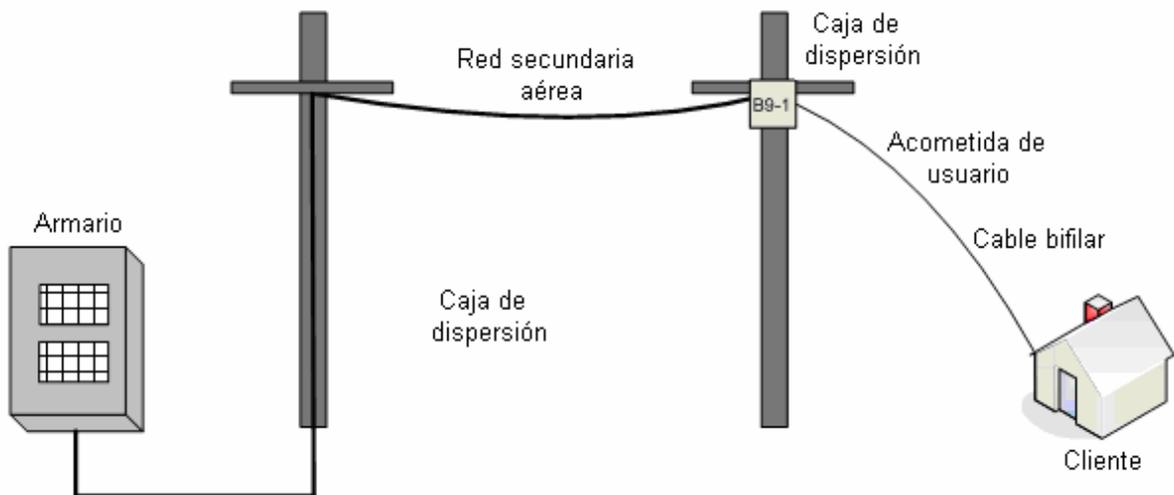


Figura 5. Diagrama de la red secundaria.

4.1.3 Línea de transmisión multipar, utilizada en telefonía

Las líneas de transmisión telefónicas están constituidas por cables que agrupan un conjunto de pares trenzados de cobre. Cada par de cobre es utilizado para brindar servicio a uno o varios clientes. La cantidad de pares de cobre trenzado que se agrupan es variable, y depende de si se encuentra en el segmento de red primaria o secundaria. Esto debido a que la red primaria siempre posee una mayor cantidad de pares agrupados que la red secundaria. Los pares de cobre son apilados en un subgrupo de 25 pares, y se pueden identificar por una cinta plástica de color que los agrupa. La Figura 6 muestra un diagrama de un cable multipar telefónico de cobre.

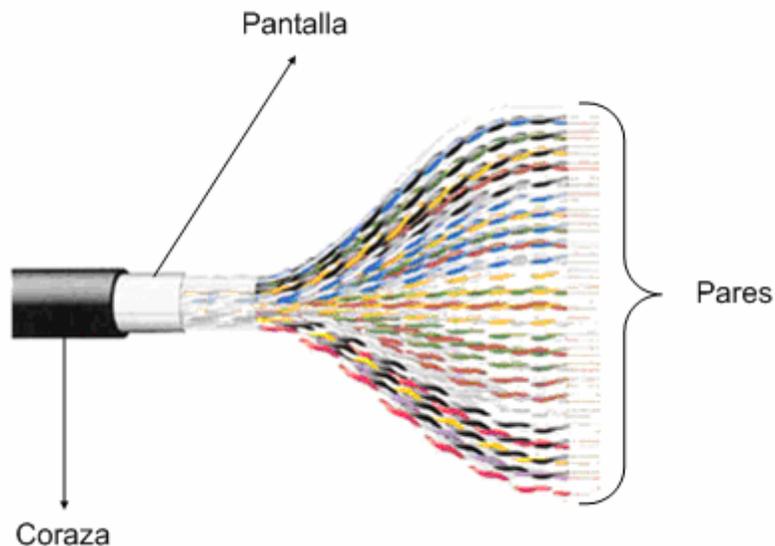


Figura 6. Cable multipar telefónico de cobre.

Cada hilo de cobre perteneciente a un par de una línea telefónica está cubierto por un aislante que lo identifica mediante el código de colores de *Munsell*.

Todos los pares del cable multipar están protegidos eléctricamente al ser cubiertos mediante un escudo de aluminio, el cual es una pantalla de conexión a tierra. Recubriendo la pantalla, se encuentra el cobertor externo del cable, el cual se denomina coraza, y tiene como objetivo proteger el cable de agentes externos como la lluvia y el sol; y además le brinda rigidez al cable. [13]

Los pares de cobre son trenzados con el propósito de cancelar los voltajes de ruido inducidos en los hilos, debido principalmente a fuentes de ruido como el fenómeno de diafonía, en sus dos manifestaciones *NEXT* (*Near End Crosstalk*, diafonía de extremo cercano) o *FEXT* (*Far End Crosstalk*, diafonía de extremo lejano).

Mediante el uso de equipos multiplicadores de pares instalados por parte del ICE, los cuales utilizan la técnica de modulación por división de frecuencia (*FDM*, *Frequency Division Multiplexing*), se multiplexan varios canales de información digitalizada y de esta manera se brindan servicios a varios usuarios, mediante el uso de un solo par de cobre. El ICE multiplexa un máximo de 11 clientes en una sola línea de transmisión. [13]

4.2 Descripción de la tecnología de conexión actual, ADSL de banda ancha

El sector de normalización de la Unión Internacional de Telecomunicaciones (UIT-T), ha definido dos clases de ADSL:

- **ADSL “Full”**: Definido por el estándar de la UIT-T G.992.1, opera a una velocidad de subida de 640 *Kbps*, y de bajada de 6 *Mbps*.
- **ADSL “Lite”**: Definido por el estándar de la UIT-T G.992.2, opera a una velocidad de subida de 512*Kbps*, y de bajada de 1.536 *Mbps*. Se caracteriza porque no utiliza *splitter*. [15]

El ICE utiliza actualmente el *ADSL full*, pero lo ha comercializado ofreciendo una tasa máxima de transferencia de 4 *MHz* de bajada y 768 *Kbps* de subida.

Como se puede ver en la Figura 7, la tecnología *ADSL* utiliza dos canales de información, estos son el canal de servicio de voz, que va de los 0 a los 4 *KHz*, y se encuentra conectado a la central telefónica de conmutación. El otro canal es el de servicio de datos, el cual comprende las frecuencias en el rango de los 25 *KHz* a 1.1 *MHz* y se encuentra conectado al multiplexor *DSLAM (Digital Subscriber Line Access Multiplexer)*. [12]

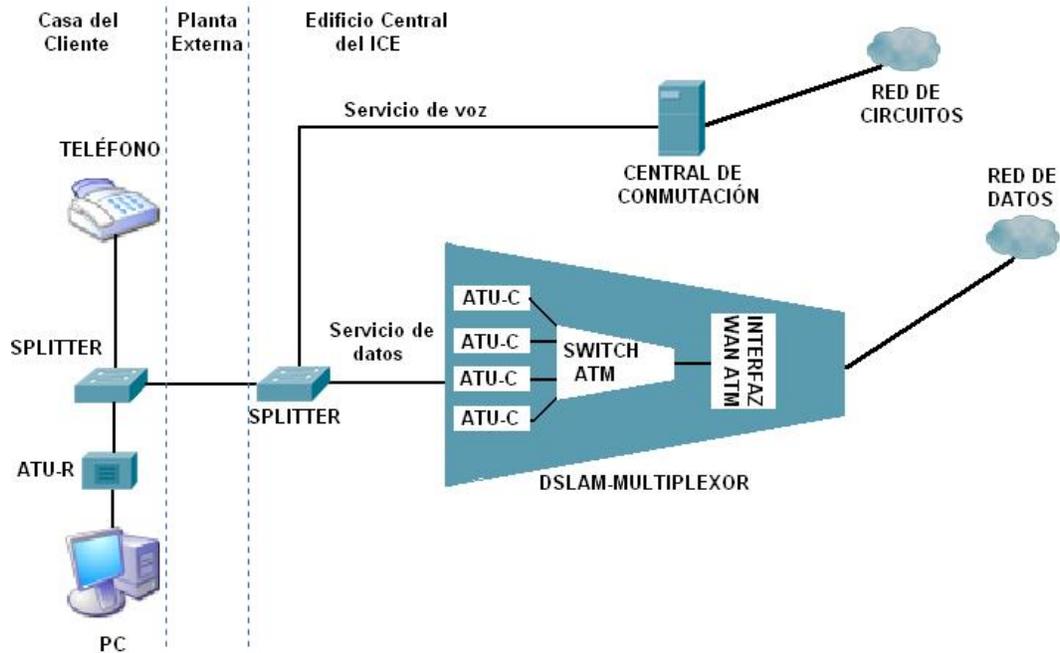


Figura 7. Estructura general de la conexión ADSL brindada por el ICE.

El espectro de frecuencia de *ADSL* está compuesto por 256 portadoras, las cuales se dividen de la siguiente manera: 5 portadoras están reservadas para *POTS* (*Plain Old Telephone Service*), es decir para la línea telefónica convencional que brinda el ICE, y 251 para la transmisión de datos; subdivididas en 27 para *Upstream* y 224 para *Downstream*, por esta razón el canal de bajada posee mayor velocidad en comparación con el canal de subida, debido a que posee una mayor cantidad de portadoras. (Ver con más detalle en la Figura 8). [15]

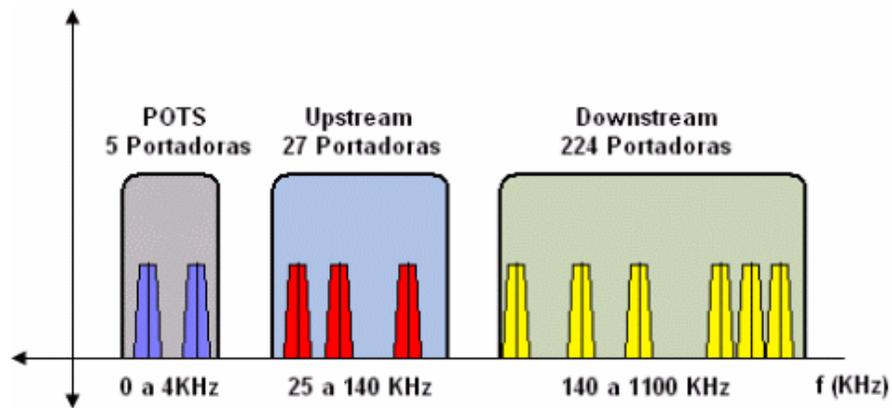


Figura 8. Diagrama que muestra el espectro de frecuencia para *ADSL*.

Debido a que *ADSL* utiliza un par de cobre para transportar simultáneamente las señales de voz y datos en canales diferentes se debe utilizar un *Splitter*, el cual es un dispositivo separador de frecuencias, este se muestra en la Figura 9. Este dispositivo debe ser usado tanto del lado del suscriptor, como del lado del proveedor del servicio y hace posible el suministro de voz y datos en forma simultánea, sin que se interfieran el uno con el otro.

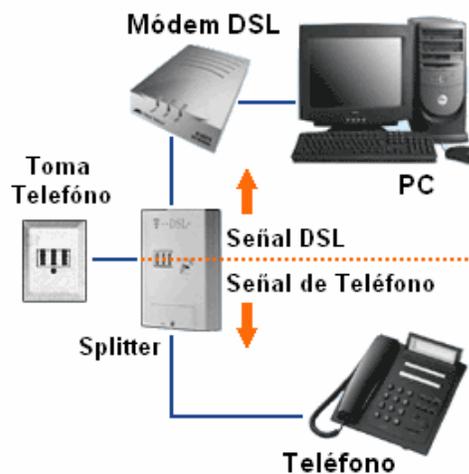


Figura 9. Diagrama que muestra el funcionamiento de un *Splitter*.

El funcionamiento de este dispositivo electrónico es tal que permite filtrar las señales de alta frecuencia que provienen de la transmisión de datos de alta velocidad de *ADSL* que normalmente inician a una frecuencia de 25 KHz , por lo que está compuesto por un filtro pasa-altas. Además esta compuesto por otro filtro pasa-bajas que se encarga de filtrar las frecuencias de voz que van desde los 0 hasta los 4 KHz . [15]

En la Figura 10, se muestra el dispositivo electrónico denominado *ATU-R* (*ADSL Terminal Unit-Remote*), el cual es un módem que permite establecer la conexión *ADSL* en la línea telefónica que se encuentra en el extremo del cliente. También se le conoce con el nombre de *CPE* (*Customer Premises Equipment*).



Figura 10. Módem *ATU-R* o *CPE*.

El *ATU-C* (*ADSL Terminal Unit-Central*) es el módem que se conecta en el extremo de la línea *ADSL* en la central telefónica, del lado del proveedor de servicios. Estos dispositivos electrónicos se encuentran conectados a equipos denominados *DSLAM*.

El *DSLAM*, es un multiplexor de servicios *DSL* el cual tiene la función de agrupar una gran cantidad de tarjetas en las cuales se encuentran diferentes *ATU-C*, correspondientes a cada uno de los abonados y además se encarga de enrutar el tráfico hacia una red *WAN* (*Wide Area Network*), donde se encuentra la red de datos del proveedor del servicio. La red de datos del ICE se conoce como *RAI* (*Red Avanzada de Internet*).

4.3 Prueba de factibilidad para estimar la posibilidad por parte del ICE de brindar los servicios de conexión de banda ancha

El ICE, debido al compromiso que adquiere al establecer un contrato con un usuario final, debe garantizar que la zona en la que se ubica el cliente que tiene posibilidad de adquirir conexión con la tecnología *ADSL*; reciba satisfactoriamente el servicio solicitado. Esto es, conectarse al ancho de banda establecido de acuerdo con el tipo de tarifa solicitada.

El ICE se compromete a hacer que el servicio esté disponible en las localidades que publica en una lista que pone a disposición del público en general y no garantiza la conexión a lugares que no se encuentren citados en dicha lista. Además, el cliente se debe encontrar en una distancia promedio menor de 4 Km de la central telefónica. [15]

El procedimiento actual al que recurre el ICE ante una solicitud de contrato del servicio *@celera Internet del ICE* (se muestran velocidades de conexión y tarifas disponibles en la Tabla 1) consiste en verificar que el cliente apruebe una denominada “prueba de factibilidad”. [8]

La prueba de factibilidad consiste en determinar la satisfacción de los siguientes tres requisitos principales:

- Existencia de un par telefónico de cobre de calidad desde la central telefónica más cercana hasta el inmueble del usuario.
- Se logra la velocidad de transmisión solicitada por el cliente.
- Se cumple con una distancia apropiada para soportar la velocidad de transmisión contratada desde la central telefónica hasta el inmueble del cliente.

Tabla 1. Tipo de servicios y velocidades ofrecidas por el servicio *@celera Internet del ICE*. [2]

Tipo de Servicio	Velocidad (Bajada/Subida)
Acelera Hogar Básico	256/128 Kbps
Acelera Hogar Medio	512/256 Kbps
Acelera Hogar <i>Premium</i>	1024/512 Kbps
Acelera Hogar <i>Premium Plus</i>	2048/768 Kbps
Acelera Pymes Básico	1536/768 Kbps
Acelera Pymes Medio	2048/768 Kbps
Acelera Pymes <i>Premium</i>	4096/768 Kbps

Para lograr establecer si se podría brindar la velocidad solicitada a un cliente localizado a una distancia determinada, se debe haber realizado un estudio que confirme o descarte la posibilidad del ICE de brindar el servicio.

En los estudios de factibilidad de conexión del servicio, se debe realizar mediciones técnicas, mediante las cuales se pueda estimar la cantidad máxima de clientes que se puedan conectar desde una determinada localidad, así como la velocidad máxima a la que estos pueden realizar el uso del servicio y la distancia específica desde una determinada área geográfica; con el fin de establecer si el solicitante cumple con los requisitos para convertirse en abonado.

Mediante el establecimiento de un modelo teórico matemático que será posteriormente validado mediante mediciones experimentales, se espera estimar las zonas y velocidades específicas a las cuales sería factible brindar satisfactoriamente los servicios de conexión de banda ancha *ADSL2* y *ADSL2+*, esto con el fin de agilizar el proceso de implementación de los servicios, evitando de esta manera la realización de mediciones innecesarias en puntos geográficos donde no se tenga conocimiento acerca de la posibilidad del ICE de suministrar los servicios de conexión.

La factibilidad del suministro de los servicios de banda ancha *ADSL2* y *ADSL2+* depende también, al igual que el servicio *ADSL*, de que se cumplan los tres requisitos principales que constituyen la denominada “prueba de factibilidad”. Por esta razón es necesario que el modelo matemático desarrollado e implementado mediante un algoritmo en una rutina de *software*, permita conocer si el servicio consultado cumple alguna de las siguientes tres condiciones: es factible, debe ser sometido a valoración técnica, o no es factible.

En investigaciones y trabajos realizados con anterioridad (Ver bibliografías [3], [6] y [14]) para evaluar el comportamiento de la red externa de pares telefónicos de cobre ante un sistema de banda ancha como el *ADSL*, se debió establecer un modelo teórico que caracterizara de la forma más exacta posible el enlace de conexión. Posteriormente se realizaron mediciones experimentales y finalmente se contrastaron ambos resultados obtenidos con el fin de validar si el modelo teórico establecido es una representación fiel de la conexión del servicio de banda ancha que se establece en la práctica entre un proveedor de servicios y un cliente.

Para que el ICE lograra llevar a cabo el plan de implementación del sistema de conexión con tecnología *ADSL*, se debieron realizar pruebas experimentales en la red telefónica de cobre. Dentro de las variables que se consideran a la hora de estudiar el comportamiento del cable telefónico ante las tecnologías de banda ancha, se encuentran: resistencia, determinación de abiertos, tensión AC/DC, ruido, atenuación, voltajes inducidos, corriente, distancia. Así como el caso de la velocidad de transmisión, diafonía, la razón señal a ruido *SNR*, y por último el comportamiento en la frecuencia, mediante un análisis de densidad espectral de potencia (*PSD*, *Power Spectrum Density*) para sistemas de banda ancha.

4.4 Descripción de las tecnologías de conexión de banda ancha *ADSL2* y *ADSL2+*

4.4.1 Línea de Abonado Digital Asimétrica 2 “*ADSL2*”

La segunda generación de *ADSL*, la *ADSL2* fue aprobada por la Unión Internacional de Telecomunicaciones (*ITU*, por sus siglas en inglés), mediante los dos estándares *G.992.3*, y *G.992.4*. Conocidos como “*G.dmt.bis*” y “*G.lite.bis*”, respectivamente. Esta tecnología de conexión de banda ancha mejora la velocidad de transferencia de datos, ya que permite una velocidad mínima de 8 *Mbps* de bajada y 0.8 *Mbps* de subida. [22]

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 servicios, 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.

ADSL2 ha sido específicamente diseñado para mejorar ampliamente la tasa de transferencia de datos y la distancia de alcance de *ADSL*, adquiriendo un mejor desempeño en largas líneas de transmisión, ante la presencia de interferencia de banda angosta. Esto se logra mediante mejoras en la eficiencia de modulación y la optimización del tamaño de las tramas de congestión (*Overhead Framming*). Además tiene una mejor eficiencia de codificación, mediante el perfeccionamiento de la

máquina de estados de inicialización, y cuenta con una serie de algoritmos mejorados para el procesamiento de la señal que los ofrecidos por *ADSL*, por lo que se mejora la calidad de la señal que llega al cliente. La Figura 11 muestra un gráfico de comparación entre ambas tecnologías. [7]

ADSL2 provee una mejor eficiencia de modulación, utilizando la codificación *Trellis* de 16 estados y cuatro dimensiones, así como la modulación de amplitud por cuadratura (*QAM, Quadrature Amplitude Modulation*) con constelación de un *bit*; lo cual provee mayores tasas de transferencias de datos en largas líneas de transmisión donde la razón de señal a ruido (*SNR*) es baja. [7]

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.

El servicio *ADSL2* es también capaz de reducir la cantidad de distorsión y ruido en el medio, y cuenta con un algoritmo de corrección de errores en el envío de tramas.

El sistema de conexión *ADSL2* optimiza el tamaño de las tramas de congestión, proporcionando una trama con un número programable de *bits*. Por lo tanto a diferencia de la primera generación de estándares *ADSL*, donde los *bits* de la trama de congestión eran fijados y consumían 32 *Kbps* del total de datos; en el estándar *ADSL2* los *bits* de esta trama pueden ser programados desde 4 a 32 *Kbps*. [7]

En la primera generación de sistemas *ADSL*, tomando como ejemplo largas líneas de transmisión, donde la velocidad de transferencia de datos es lenta, (por ejemplo, 128 *Kbps*) un espacio de 32 *Kbps* es destinado como trama de datos de congestión, ocupando un espacio igual al 25% de la tasa de transferencia de datos total, lo cual es sumamente ineficiente. En los sistemas *ADSL2*, la tasa de datos de la trama de congestión puede ser reducida a 4 *Kbps*, destinándose de esta manera un espacio de 28 *Kbps* para datos útiles.

En largas líneas de transmisión donde las tasas de transferencia de datos son más bajas, *ADSL2* adquiere una mayor eficiencia en la codificación del código *Reed Solomon (RS)*. Esto debido a las mejoras en las tramas de *ADSL2* que proporcionan flexibilidad y programabilidad en la construcción de las palabras de código (*RS*). [7]

La máquina de estados de inicialización tiene numerosas mejoras que proveen un incremento en la tasa de transferencia de datos de los sistemas *ADSL2*, dentro de estas se pueden citar las siguientes:

- Capacidades de interrupción en el suministro eléctrico a ambos extremos de la línea para reducir el eco al final de la línea y el promedio de diafonía en los pares adyacentes de las líneas de transmisión.
- Determinación de la localización del tono piloto por parte del receptor con el objetivo de evitar canales inválidos provenientes de interferencia de banda angosta de radio AM.
- Determinación de las portadoras utilizadas para la inicialización de los mensajes por parte del receptor con el objetivo de evitar canales inválidos provenientes de interferencia de banda angosta de radio AM.
- Deshabilitación de tonos durante la inicialización para habilitar la cancelación de la interferencia por radio frecuencia [7]

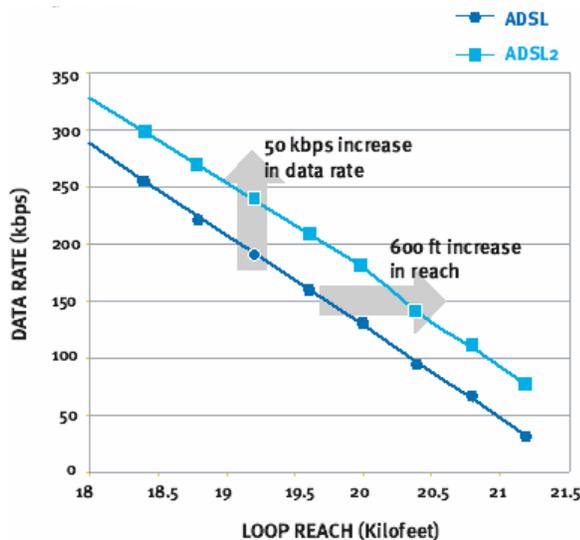


Figura 11. Comparación entre la tasa de transferencia de datos y el alcance de las tecnologías *ADSL2* y *ADSL*. [7]

4.4.1.1 Arquitectura de red para el acceso de banda ancha basado en la Línea de Abonado Digital Asimétrica 2 “ADSL2”.

En la Figura 12 se muestra la arquitectura de red para el acceso de banda ancha basado en la tecnología *ADSL2*, como se describe en la recomendación G.992.3 de la UIT-T. Este mismo modelo de arquitectura de red se aplica para la tecnología de conexión *ADSL2+*, descrita en la recomendación UIT-T G.992.5.

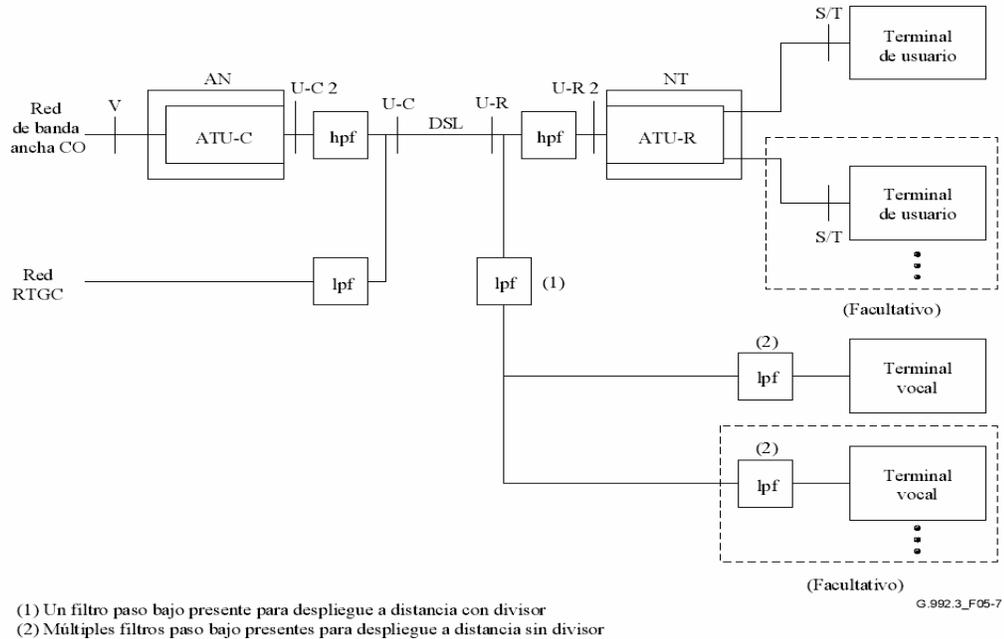


Figura 12. Arquitectura de red para el acceso de banda ancha basado en las tecnologías *ADSL2* y *ADSL2+*. [22] [24]

CO: Oficina Central

RTGC: Red Telefónica General Conmutada

ATU: *ADSL Transceiver Unit*, Unidad de Transceptor de *ADSL*

ATU-C: *ATU* de la Central, es decir, del extremo del operador de la red.

ATU-R: *ATU* en el extremo distante, (en las instalaciones del cliente)

AN: *Access Node*, Nodo de Acceso

UC: Interfaz de red de acceso al bucle abonado en central.

UR: Interfaz de red de acceso al bucle abonado en usuario.

HPF: *High Pass Filter*, Filtro pasaaltas. *LPF*: *Low Pass Filter*, Filtro pasabajas

NT: *Network Termination* (Terminación de Red)

S/T: Interfaces entre la terminación de red *ADSL* y la red en el hogar.

4.4.1.2 Modo de diagnóstico en la Línea de Abonado Digital Asimétrica 2 “ADSL2”

Determinar la causa de los problemas que surgen en el servicio *ADSL* brindado al cliente es un gran obstáculo en el desarrollo de estos sistemas. Con el fin de resolver este problema, los transceptores de la tecnología *ADSL2* han sido mejorados con extensas capacidades de diagnóstico. Estas capacidades de diagnóstico proporcionan herramientas para la resolución de problemas durante y después de la instalación, así como un monitoreo constante del desempeño de la conexión mientras se brinda el servicio, mejorando así la supervisión de la conexión y la calidad de servicio (*QoS, Quality of Service*) de los servicios demandados a través de la línea de conexión de banda ancha.

Con el objetivo de diagnosticar y reparar problemas, los transceptores *ADSL2* proporcionan mediciones de parámetros como el ruido en la línea, atenuación del bucle, y razón señal a ruido (*SNR*) a ambos extremos de la línea. Estas mediciones pueden ser recolectadas utilizando un modo de prueba especial de diagnóstico, aún en el caso en que la calidad de la línea de transmisión sea muy baja como para permitir una conexión *ADSL*.

Además, *ADSL2* incluye capacidades de monitoreo en tiempo real del desempeño que proporcionan información acerca de la calidad de la línea y las condiciones de ruido a ambos extremos de la línea. Esta información es interpretada por un *software* especial y luego es utilizada por el proveedor de servicios para monitorear la calidad de la conexión *ADSL* y prevenir fallas futuras en el servicio. Esta información también puede ser utilizada para determinar si un cliente puede tener acceso a servicios con mayores tasas de transferencia de datos. [7]

4.4.1.3 Mejoras en el consumo de potencia de los dispositivos de la Línea de Abonado Digital Asimétrica 2 “ADSL2”

Los transceptores de la primera generación de *ADSL* operan en el modo *full-power* (alta potencia) tanto de día como de noche, aún cuando no se está utilizando el servicio de conexión.

Con la tecnología *ADSL2*, es posible la disminución del consumo de energía por parte de los equipos conectados a los extremos de los proveedores del servicio, debido a que se introducen estados de reposo (*standby*) en función de la carga que están soportando dichos dispositivos electrónicos. Esto permite que se ahorre electricidad.

La mejora en la gestión de energía se basa en el uso de dos modos de energía: el *L2* y el *L3*. El modo de energía *L2* regula la energía en función del tráfico de *Internet* circundante en la conexión entre el proveedor y el cliente.

Cuando se bajan archivos de tamaño grande, *ADSL2* trabaja en modo *full-power*, denominado modo de alta potencia *L0*, con el fin de maximizar la velocidad al bajar datos.

Al reducirse el tráfico en *Internet*, el sistema *ADSL2* puede realizar una transición al modo de baja potencia *L2* (*Low Power Mode, L2*), donde la tasa de transferencia de datos es ligeramente disminuida y el consumo total de potencia es reducido.

Mientras se encuentre en el modo *L2*, el sistema *ADSL2* puede reingresar instantáneamente al modo *L0*, e incrementar al máximo la tasa de transferencia de datos tan pronto como el usuario inicie una descarga de un archivo.

El modo *L3* supone un estado de reposo más retardado, introducido cuando la conexión no está siendo usada durante un largo periodo de tiempo. *L2* supone un tipo de mecanismo invisible al cliente, mientras que recobrar un estado activo a partir de *L3* supone un proceso de reinicio de 3 segundos. [7]

En la Figura 13 se muestra una gráfica de potencia *vrs* tiempo transcurrido, que permite observar cada uno de los modos de operación de consumo de potencia de la tecnología *ADSL2*.

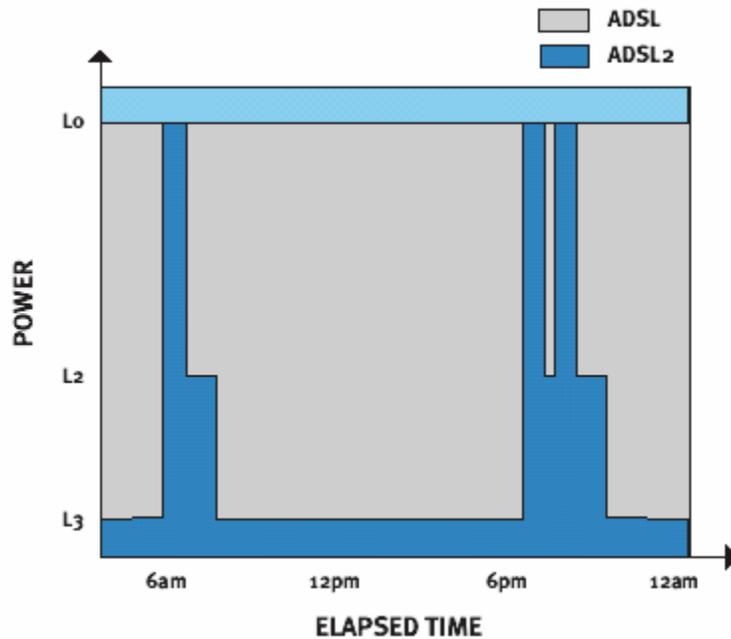


Figura 13. Modos de operación L0, L2 y L3, para el mejoramiento en el consumo de potencia.

[7]

4.4.1.4 Adaptación de la tasa de transferencia de datos en la Línea de Abonado Digital Asimétrica 2 “ADSL2”

Los cables telefónicos contienen pares de hilo de cobre trenzados, que son envueltos juntos. La cantidad de pares que se agrupan en un cable es variable. Como resultado de este agrupamiento, las señales eléctricas de un par pueden incidir electromagnéticamente en los pares adyacentes dentro del cable multipar. Este fenómeno es conocido como diafonía y puede impedir un buen desempeño en la transferencia de datos del servicio *ADSL*. Cambios en los niveles de diafonía dentro del cable pueden causar que un sistema *ADSL* abandone la conexión. La Figura 14 muestra el efecto de diafonía en pares adyacentes.

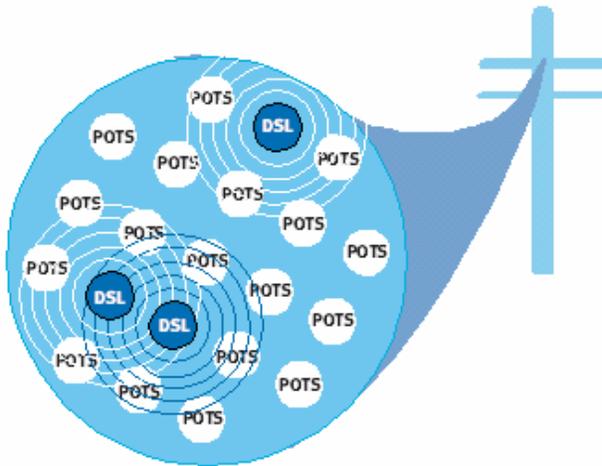


Figura 14. Efecto de diafonía causado en pares adyacentes. [7]

La forma en que *ADSL2* resuelve este problema es adaptando la tasa de transferencia de datos en tiempo real. Esta técnica se denomina Adaptación de Tasa Ininterrumpida (*Seamless Rate Adaption, SRA*), y permite al sistema *ADSL2* cambiar la velocidad de transferencia de datos de la conexión, mientras se encuentre en operación, sin ocasionar ninguna interrupción en el servicio ni errores de *bits*.

ADSL2 detecta cambios en las condiciones del canal y adapta la velocidad de transferencia de datos a las nuevas condiciones del canal, de manera transparente al usuario, evitando que este perciba la transición.

La tecnología de adaptación *SRA* se basa en la separación de la capa de modulación y la capa de entramado de los datos, en los sistemas *ADSL2*. Esta separación habilita a la capa de modulación a cambiar los parámetros de transmisión de la tasa de transferencia de datos sin modificar parámetros en la capa de entramado de los datos, la cual podría causar que los módem pierdan sincronización de la trama de datos, ocasionando errores de *bits* incorregibles y un reinicio del sistema. *SRA* utiliza los procedimientos de la técnica de reconfiguración en línea (*OLR, Online Reconfiguration*) de los sistemas *ADSL2*, para cambiar ininterrumpidamente la tasa de transferencia de datos de la conexión. [7]

4.4.1.5 Características añadidas en la Línea de Abonado Digital Asimétrica 2 “ADSL2”, con respecto a ADSL

La recomendación G.992.3 describe la segunda generación de *ADSL*, sobre la base de la recomendación UIT-T G.992.1, que corresponde a la primera generación. La Unión Internacional de Telecomunicaciones (UIT-T) tiene el propósito de que esta recomendación se implemente en dispositivos multimodo que soportan tanto la recomendación UIT-T G.992.3 como la recomendación UIT-T G.992.1.

La recomendación G.992.3 se ha formulado para proporcionar prestaciones adicionales a las especificadas en la recomendación UIT-T G.992.1. La recomendación UIT-T G.992.1 fue aprobada en junio de 1999. Con posterioridad a esa fecha se han identificado varias mejoras potenciales en materias tales como la característica de velocidad de datos contra calidad de funcionamiento desde el punto de vista de la longitud del bucle, diagnóstico de bucle, despliegue desde armarios distantes, control del espectro, control de potencia, robustez frente a los factores de degradación del bucle y la interferencia de radiofrecuencia (*RFI*), operaciones y mantenimiento. La presente recomendación proporciona una nueva especificación de la interfaz *U* de *ADSL*, que incluye las mejoras identificadas, y que el UIT-T considera que será de gran utilidad para la industria de la *ADSL*.

Con relación a la recomendación de la UIT-T G.992.1 se han añadido las siguientes características: [22]

- Soporte de aplicación mejorado para un modo de funcionamiento totalmente digital y funcionamiento con voz sobre *ADSL*.
- Función *TPS-TC* de paquetes, además de las funciones *TPS-TC STM* y *ATM* existentes.
- Soporte obligatorio de 8 *Mbit/s* en sentido descendente y 800 *kbit/s* en sentido ascendente para la función *TPS-TC #0* y el portador de trama #0;
- Soporte de *IMA* en la *TPS-TC ATM*.
- Capacidad de configuración mejorada para cada *TPS-TC* con configuración de latencia, *BER* y velocidades de datos mínima, máxima y reservada.

- Un entramado más flexible, incluido el soporte de hasta cuatro portadores de trama, cuatro trayectos de latencia.
- Parámetros que permiten una mejor configuración del canal.
- Estructura de trama con parámetros de codificación seleccionados por el receptor.
- Estructura de trama con utilización optimizada de ganancia de codificación *RS*.
- Estructura de trama con latencia y tasa de errores de *bit* configurables.
- Protocolo *OAM* para extraer una información más detallada sobre la supervisión de la calidad de funcionamiento.
- Capacidades mejoradas de reconfiguración en línea, incluida la redistribución dinámica de la velocidad.
- Nuevos procedimientos de diagnóstico de línea disponibles para situaciones de inicialización exitosa y no exitosa, caracterización de bucle y eliminación de averías.
- Capacidades mejoradas de reconfiguración en línea, incluidas permutaciones de *bits* y adaptación de velocidad sin repercusiones.
- Secuencia de inicialización corta, facultativa, para recuperación tras error o reanudación rápida del funcionamiento.
- Adaptación de velocidad sin repercusiones, facultativa, con cambios de la velocidad de línea durante el tiempo de presentación.
- Robustez mejorada frente a tomas puenteadas con tono piloto determinado por el receptor.
- Acondicionamiento mejorado del transceptor con intercambio de características detalladas de la señal en transmisión.
- Medición mejorada de la relación señal/ruido durante el análisis de canal.
- Eliminación de la subportadora para permitir la medición de *RFI* durante la inicialización y el tiempo de presentación.
- Calidad de funcionamiento mejorada con soporte obligatorio de la codificación reticular.

- Calidad de funcionamiento mejorada con constelación de un *bit* obligatoria.
- Calidad de funcionamiento mejorada con datos modulados sobre el tono piloto.
- Robustez mejorada frente a la *RFI* con ordenación de los tonos determinada por el receptor.
- Mayores posibilidades de recorte de la potencia de transmisión en el lado central y en el lado distante.
- Inicialización mejorada pues la duración de los estados de inicialización está controlada por el receptor y el transmisor.
- Inicialización mejorada pues las portadoras para la modulación de mensajes están determinadas por el receptor.
- Capacidad mejorada de identificación de canal con conformación espectral durante las fases de descubrimiento de canal y acondicionamiento del transceptor.
- Reducción obligatoria de la potencia en transmisión para minimizar el margen en exceso bajo el control de la capa de gestión.
- Posibilidad de economizar energía, por la *ATU* central, con el nuevo estado L2 de baja potencia.
- Posibilidad de economizar energía con el nuevo estado L3 de reposo.
- Control del espectro con enmascaramiento de tonos individuales bajo el control del operador, mediante la *MIB* de la oficina central.
- Pruebas de conformidad mejoradas, incluido el aumento de las velocidades de datos para muchas pruebas existentes.

4.4.2 Línea de Abonado Digital Asimétrica 2 de anchura de banda ampliada “ADSL2+”

Posteriormente la *ITU* aprobó un nuevo estándar, el denominado *G.992.5*. Este estándar respalda la tecnología de conexión de banda ancha *ADSL2+*, la cual permite alcanzar una velocidad de bajada mínima de 16 *Mbps* y una tasa de transferencia de subida mínima de 0.8 *Mbps*.

La tecnología *ADSL2+* es una evolución del *ADSL* que permite mayores anchos de banda y menores interferencias. El hecho de que se soporten mayores anchos de banda posibilita el acceso a servicios como la transferencia de vídeo y la televisión digital. Las menores interferencias hacen posible que las compañías puedan ofrecer una mayor calidad en el servicio.

En la Figura 15, se puede apreciar como el estándar *ADSL2+* utiliza un margen de frecuencias para la bajada de datos que va desde los 0.14 *MHz* hasta los 2.2 *MHz*, por lo que se duplica el ancho de banda del espectro de bajada utilizado con respecto al *ADSL* y el *ADSL2*, lográndose así que exista un canal de información que permita una mayor velocidad de transferencia de datos, en líneas de transmisión telefónicas a cortas distancias desde una central. En la Figura 15 y la Figura 16, se puede observar una comparación entre las tecnologías *ADSL2* y *ADSL2+*. [7]

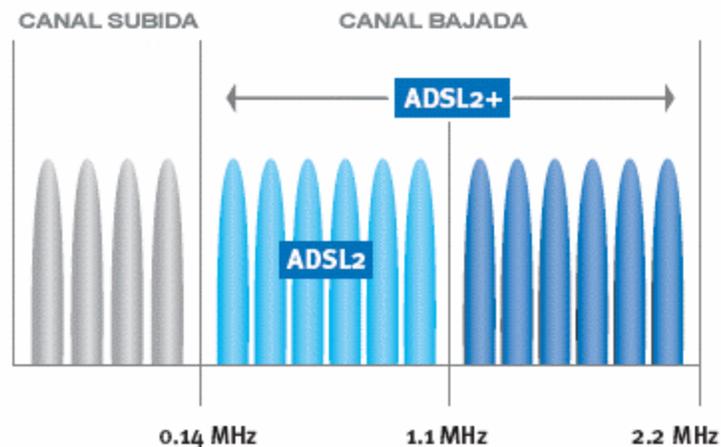


Figura 15. Comparación entre las tecnologías *ADSL2* y *ADSL2+*. [7]

El servicio de conexión *ADSL2+* además proporciona un modo de operación opcional que duplica el ancho de banda de subida, el cual también proporciona que se duplique la velocidad de transferencia de datos de subida.

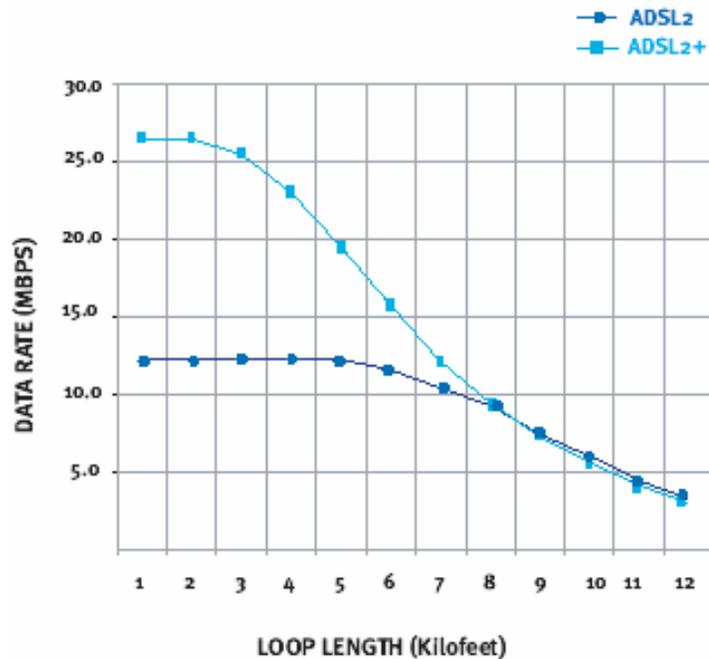


Figura 16. *ADSL2+* duplica la velocidad de transferencia de datos de *ADSL2*. [7]

Otra de las ventajas de la tecnología *ADSL2+*, es que al igual que *ADSL2* facilita la corrección de errores en la línea del abonado, de modo que las compañías proveedoras son capaces de monitorizar en tiempo real el estado de la conexión y de esta manera prevenir fallas en el funcionamiento del servicio brindado a los subscriptores.

4.4.2.1 Reducción de la diafonía mediante el uso de la tecnología *ADSL2+*

La tecnología de conexión de banda ancha *ADSL2+* es usada también para reducir la diafonía. *ADSL2+* proporciona la capacidad de utilizar únicamente tonos entre los 1.1 *MHz* y 2.2 *MHz* ocultando las frecuencias de bajada menores a 1.1 *MHz*. Esta característica es particularmente muy útil cuando los servicios *ADSL* de ambos extremos de la línea, la oficina central y la terminal remota; están presentes en el mismo cable conforme se aproximan hacia el abonado. La diafonía de los servicios de *ADSL* de la terminal remota sobre las líneas de la oficina central puede perjudicar significativamente la tasa de transferencia de datos en la línea de la oficina central.

La tecnología *ADSL2+* puede ser utilizada para corregir este problema utilizando frecuencias por debajo de los 1.1 *MHz* desde la oficina central y frecuencias entre los 1.1 *MHz* y los 2.2 *MHz* de la terminal remota hacia el suscriptor. Esto eliminará la mayoría de la diafonía entre los servicios y mantendrá las velocidades de transferencia de datos en la línea, como se puede observar en la Figura 17. [7]

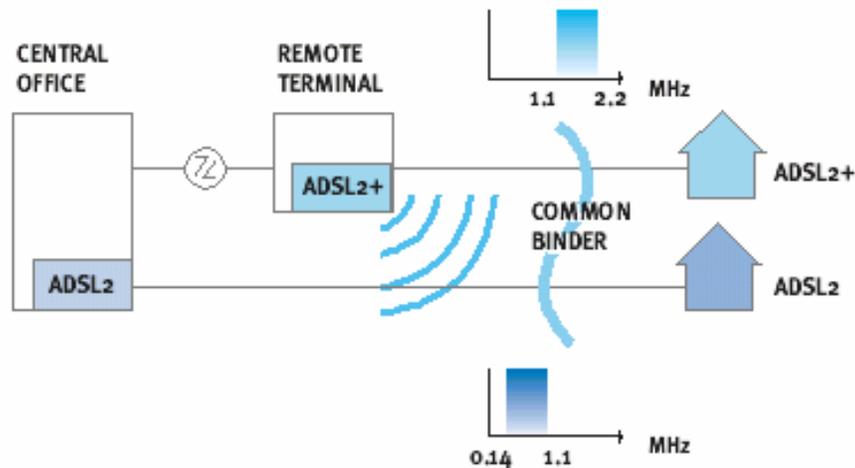


Figura 17. *ADSL2+* puede ser utilizado para reducir el fenómeno de diafonía. [7]

4.4.2.2 Características añadidas en tecnología **ADSL2+**, con respecto a **ADSL2**

El objetivo de la recomendación UIT-T G.992.5 es proporcionar características adicionales a las de la recomendación UIT-T G.992.3. La Unión Internacional de Telecomunicaciones (UIT) ha identificado varias modificaciones que podrían mejorar la utilización de velocidades de datos superiores en bucles cortos y aumentar el alcance a velocidades de datos altas. La recomendación UIT-T G.992.5 presenta una nueva especificación de la interfaz-U de *ADSL* que incluye las mejoras identificadas.

En relación con la recomendación UIT-T G.992.3, se han añadido las siguientes características: [24]

- Mejor soporte de los servicios que requieren altas velocidades de datos en sentido descendente (por ejemplo, los servicios de entretenimiento en banda ancha).
- Soporte de hasta tres palabras de código *Reed-Solomon* por símbolo.
- Anchura de banda ampliada en sentido descendente hasta 2,208 MHz (512 subportadoras) en todos los modos de funcionamiento (*POTS/RDS*//modo totalmente digital).
- Control del espectro en sentido descendente con máximo individual de *PSD* de transmisión en el punto de referencia *U-C* por subportadora, controlada por el operador a través de la *CO-MIB*, lo que permite la configuración en función de los requisitos regionales (por ejemplo, Norteamérica, Europa o Japón) y por escenarios de instalación (por ejemplo, en *CO* o distante).
- Conformación del espectro en sentido descendente en tiempo de presentación (*PSD* de transmisión conformada en la banda de paso, es decir, no plana) para mejorar la flexibilidad de la *PSD* de transmisión en sentido descendente.

4.4.2.3 Comparación entre las tecnologías de banda ancha *ADSL*, *ADSL2* y *ADSL2+*

Tabla 2. Tabla comparativa de las características de las tecnologías de conexión de banda ancha *ADSL*, *ADSL2* y *ADSL2+*

Característica	ADSL	ADSL2	ADSL2+
Estándar UIT-T	G.992.1 y G.992.2	G.992.3 y G992.4	G.992.5
Tipo de Modulación	División en tonos de cada una de las frecuencias (DMT). Modulación QAM para cada portadora	Codificación Trellis de 16 estados y 4 dimensiones. Modulación QAM con constelación de un <i>bit</i> .	Codificación Trellis de 16 estados y 4 dimensiones. Modulación QAM con constelación de un <i>bit</i> .
Cantidad de Portadoras	256	256	512
Ancho de Banda	1.1 MHz UpStream: De 25 a 140 KHz. DownStream: De 140 a 1100 KHz	1.1 MHz UpStream: De 25 a 140. DownStream: De 140 a 1100 KHz	2.2 MHz UpStream: De 25 a 140 KHz. DownStream: De 140 a 2200 KHz
Velocidad mín. UpStream	0.64 Mbps	0.8 Mbps	0.8 Mbps
Velocidad mín. DownStream	6 Mbps	8 Mbps	16 Mbps
Tasa de la trama de congestión	32 Kbps	Programable de 4 a 32 Kbps	Programable de 4 a 32 Kbps
Distancia Efectiva Aproximada	2 Km	2 Km	2.5 Km
Tiempo de Sincronización	De 10 a 30 segundos	3 segundos	3 segundos
Modo Standby de bajo consumo de potencia	No	Si	Si
Modo de Diagnóstico	No	Si	Si
Adaptación de Velocidad	No	Si	Si
Corrección de Errores	No	Si	Si

4.4.2.4 Mejoras en los estándares *ADSL2* y *ADSL2+*

En este apartado se discute la mejora en la velocidad de transferencia de datos con respecto a la distancia de alcance, contemplada en los estándares de la UIT-T *G.992.3*, para *ADSL2* y *G.992.5*, para *ADSL2+*. Estos nuevos estándares pretenden corregir los problemas de servicio que presentó el estándar *ADSL* a los proveedores y subscriptores, en general. Las principales mejoras en *ADSL2*, en comparación con la tecnología *ADSL* son: [30]

1. Se incrementó la tasa de transferencia de datos con respecto a la distancia.
2. Mejoras en el diagnóstico del bucle de abonado.
3. Se incorporó control en el espectro de frecuencias y en el manejo de potencia.
4. Mayor robustez para enfrentar las malas condiciones del bucle de abonado.
5. Se mejoraron mecanismos de operación y mantenimiento.

Las mejoras en la tasa de transferencia de datos en *ADSL2*, se desarrollaron, en primera instancia; para los casos en que las líneas de cable telefónico eran largas y la interferencia de banda angosta era predominante.

Desde que surgió como inconveniente para la tecnología *ADSL* la incapacidad de brindar servicios de banda ancha de manera confiable a los clientes que están situados lejos de una central telefónica, el *ADSL2* ha tenido como desafío lograr mejoras en este aspecto.

ADSL2 alcanza una tasa de transferencia de datos mínima de 8 *Mbps*, para el canal de bajada, y 800 *Kbps*, para el canal de subida. Pero normalmente alcanza 12 *Mbps* de bajada y 1 *Mbps* de subida.

Las principales mejoras del estándar *ADSL* son:

4.4.2.4.1 Mejoras en la eficiencia de modulación

ADSL2 provee una mayor eficiencia en la modulación, debido a que utiliza el bloque procesador de *Wei*, de 16 estados y cuatro dimensiones, con codificación *Trellis*. Los *bits* de datos del *buffer* de trama de datos se extraen primero, de acuerdo con la tabla de ordenación de *bits*. Estos *bits* son mapeados en dos palabras binarias utilizando el codificador *Trellis*. Un codificador algorítmico de constelación se utiliza para construir las constelaciones con un número máximo de *bits* igual al número máximo predefinido de *bits* que cada subportadora puede portar.

Además de la codificación *Trellis*, el modo opcional de modular datos en el tono piloto también se utiliza para mejorar la eficiencia de modulación. El tono piloto está localizado en el subcanal número 64, que se encuentra en el canal de bajada de datos. Durante la etapa de inicialización, el receptor terminal remoto puede colocar un *bit*, para decirle al transmisor de la oficina central que quiere utilizar el tono piloto para transmisión de datos. El transmisor va tratar entonces el tono piloto, como cualquier otro de los subcanales portadores de datos en el símbolo *DMT*. En primera instancia, la mejora en la tasa de transferencia de datos parece mínima al utilizar esta innovación; pero si se consideran líneas de transmisión largas, donde las tasas de transferencia de datos rondan unos pocos cientos de *Kbps*, agregar 8 *bits* extra en el tono piloto, brinda $8 \times 4 \text{ KHz} = 32 \text{ Kbps}$, lo cual puede ser significativo en determinadas circunstancias.

La tercera mejora en la eficiencia de modulación, utilizada en *ADSL2*, es el soporte para la utilización de constelaciones de 1-*bit*. El punto de constelación +1,+1 significa un cero; y un punto descrito por -1,-1 significa un uno. Con codificación *Trellis*, dos constelaciones de 1-*bit*, pueden ser combinadas para construir una constelación de 2-*bits*, generada por el codificador *Trellis*. Esta mejora es útil de manera primordial para líneas largas, donde al menos un *bit* puede ser transportado, aún cuando las subportadoras tengan una baja razón señal a ruido. [30]

4.4.2.4.2 Reducción en la trama de congestión.

A diferencia de la tecnología *ADSL*, donde los *bits* de trama de congestión son fijos, y consumen 32 *Kbps* de los datos útiles, *ADSL2* permite programar el tamaño de la trama de congestión de datos. Esta trama de datos puede variar entre 4 y 32 *Kbps*. Esta mejora es significativa particularmente para largas líneas de transmisión, por ejemplo si la tasa de transferencia de datos es de 128 *Kbps*. [30]

- Para *ADSL*, se tienen $32/128 = 25\%$ de congestión.
- Para *ADSL2*, se tienen $4/128 = 3.125\%$ de congestión.

4.4.2.4.3 Mayor ganancia en la codificación

Con el fin de mejorar el desempeño de las largas líneas de transmisión, *ADSL2* adquiere una mayor ganancia de codificación al utilizar el código *Reed-Solomon (RS)*. El entramado flexible permite que el código *RS* tenga 0-16 octetos de redundancia en pasos de 2. Si la línea es corta y la razón señal a ruido es alta, un número pequeño de octetos de redundancia son utilizados para reducir la congestión de codificación. Por otra parte, para canales más pobres, se puede adquirir una mayor ganancia en la codificación utilizando más octetos de redundancia. [30]

4.4.2.4.4 Inicialización Mejorada

Se requiere un proceso de inicialización para establecer un enlace de comunicación entre un *ATU-C* y un *ATU-R* conectados físicamente.

La recomendación *G.994.1* de la *ITU-T*, tiene dos tramas de datos: *Capabilities List (CL)*, Lista de Capacidades) y *CLR (Capabilities List Request, Solicitud de Lista de Capacidades)*. *G.994.1* es un estándar con procedimientos de comunicación para transceptores *DSL*. Dentro de las mejoras en la inicialización se tiene: [30]

4.4.2.4.4.1 Power Cutback (Reducción en el consumo de potencia)

La reducción en el consumo de potencia es una de las principales mejoras para reducir el ruido de diafonía (*crosstalk*), y ecos de extremo lejano (*far-end echoes*) en la inicialización de *ADSL2*. La potencia destinada en las subportadoras de subida, puede ser trasladada a frecuencias más bajas para evitar el fenómeno de diafonía. Las posibilidades de brindar mejoras en la reducción en el consumo de potencia de transmisión, en ambos extremos: *CO* (Oficina Central) e instalaciones del abonado, depende del bucle de abonado y las capacidades locales.

La reducción en el consumo de potencia es la reducción del nivel de la densidad espectral de potencia transmitida (*PSD, Power Spectral Density*), en decibeles (*dB*), en cualquier sentido de transmisión de datos, en relación al nivel nominal de transmisión *PSD* (*NOMPSD*). El mismo nivel de reducción de transmisión *PSD*, es aplicado a toda la banda entera de frecuencias (reducción en el consumo de potencia plana). El *NOMPSD*, es utilizado en el comienzo de la inicialización y es relativo a los cambios subsecuentes en el nivel de la *PSD* de transmisión que pueden ocurrir, como lo determinan los transceptores durante el proceso de inicialización. Después de que se reduzca el consumo de potencia en cualquier dirección, *NOMPSD* se convierte en el nivel *REFPSD* (*Reference Transmit PSD*). [30]

4.4.2.4.4.2 Configuración del Espectro

La forma general del canal *DSL* es tal que las frecuencias más altas son generalmente atenuadas más que las frecuencias más bajas. Los sistemas *ADSL* destinan las altas frecuencias al espectro de bajada. Para mejorar la eficiencia de *ADSL* en los bucles de abonado largos, comúnmente es necesario mejorar la tasa de transferencia de datos de bajada. La potencia de transmisión de subida es trasladada a frecuencias más bajas para evitar la diafonía.

ADSL2 se basa en la técnica de modulación *DMT (Discrete Multi-Tone)*. *ADSL2* tiene cierta flexibilidad en la configuración de su espectro de transmisión. Es posible mejorar el desempeño de esta tecnología colocando potencia en las frecuencias donde el canal se encuentra en mejores condiciones (ya sea encogiéndolo el rango de frecuencias de bajada o levantando la potencia de transmisión). [30]

4.4.2.4.4.3 Tonos piloto determinados en el receptor

Durante la inicialización, el *ATU-R*, selecciona el índice de la subportadora para el tono piloto de bajada. Los tonos piloto sólo aplican para el canal de bajada. Estos pueden ser utilizados para recuperación de la sincronización y como referencia. Son transmitidos a un nivel de potencia de *REFPSD*. [30]

4.4.2.4.5 Reconfiguración en línea

La reconfiguración en línea permite que las terminales *ADSL (ATU)* se mantengan en operación de manera autónoma dentro de los límites establecidos por diversos parámetros de control. Esto es de provecho cuando la línea o las condiciones del ambiente son lentamente cambiantes, situación característica de los sistemas *ADSL*. Cuando los parámetros de control no pueden ser mantenidos a través de la reconfiguración en línea autónoma, ocurre una condición de error.

La reconfiguración en línea es también utilizada para optimizar los parámetros de la *ATU* después de la inicialización, especialmente cuando se utiliza la secuencia de inicialización rápida que requiere hacer estimaciones más rápidas durante la fase de conocimiento y exploración. Además datos de capa más alta, administración y funciones de control pueden utilizar reconfiguración en línea. Los tres tipos de reconfiguración en línea son: *Bit Swapping*, *Dynamic Rate Repartitioning*, y *Seamless Rate Adaptation*. [30]

4.4.2.4.5.1 *Bit Swapping* (Intercambio de Bits)

La técnica de intercambio de *bits* reacomoda los datos y la potencia a lo largo de las subportadoras de datos sin modificar las características de la capa física. El intercambio de *bits* reconfigura los *bits* y parámetros de ganancia sin cambiar ninguno de los otros parámetros de control de las capas más altas.

Después de la reconfiguración de intercambio de *bits*, la tasa de transferencia de datos total (PL_p) no cambia y esa tasa de transferencia de datos en cada trayectoria de retardo (L_p , *Latency path*) se mantiene también constante. La técnica de intercambio de *bits* es una característica obligatoria, debido a que es utilizada para cambios autónomos, con el fin de mantener las condiciones de operación del módem durante condiciones cambiantes de ambiente. [30]

4.4.2.4.5.2 *Dynamic Rate Repartitioning* (DDR, Asignación Dinámica de Velocidad)

Dynamic Rate Repartitioning, es utilizada para reconfigurar la asignación de la tasa de transmisión de datos a través de diferentes trayectorias de retardo (L_p , *Latency paths*). Las trayectorias de retardo son caminos a través de la capa física, con diferentes características de latencia, los cuales permiten el soporte de aplicaciones variantes que requieren diferente desempeño y características de robustez. *ADSL* soporta por arriba de cuatro tipos de trayectorias de retardo. *DDR*, incluye modificaciones a los *bits* y parámetros de ganancia, reasignando *bits* a lo largo de todas las subportadoras. *DDR* no modifica la tasa de transferencia de datos total (ΣL_p), pero si cada uno de los trayectos de latencia individuales (L_p). [30]

4.4.2.4.5.3 Seamless Rate Adaptation (SRA, Adaptación de velocidad transparente)

Esta técnica es utilizada para reconfigurar la tasa de transferencia de datos total (ΣL_p), modificando los parámetros de control del multiplexor de tramas, variando los *bits* y parámetros de ganancia. Una vez que la tasa de transferencia de datos total es modificada, al menos una trayectoria de retardo (o más), tendrán una nueva tasa de transferencia de datos después de la SRA. La técnica SRA permite que los parámetros de modulación cambien sin modificar los parámetros del entramado de datos. Esto previene el fenómeno de de-sincronización que causa errores incorregibles en *bits*, o una reinicialización en el sistema. [30]

4.5 Plataforma de Acceso Multiservicio Integrada (*I-MAP, Integrated Multiservice Access Platform*)

El ICE se encuentra en el desarrollo de una red de acceso multiservicio integrada en varias localidades de todo el territorio nacional, instalando dispositivos *I-MAP*; los cuales permiten una gran capacidad de ancho de banda y un alcance de decenas de kilómetros. Además, integra múltiples accesos o conexiones de diferentes tecnologías de servicios utilizando tarjetas como *POTS*, *ISDN*, *XDSL*, y *GSHDSL*, entre otras. (Ver la Figura 18).

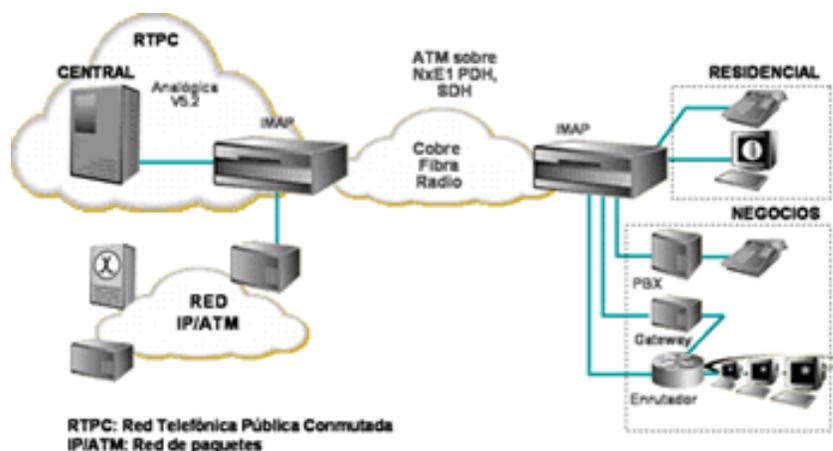


Figura 18. Esquema de la Red de Acceso Multiservicio Integrada. [12]

La plataforma *I-MAP* está diseñada como un sistema integral, debido a que combina diferentes tecnologías y servicios. Además, por tratarse de una plataforma de acceso multiservicio, brinda una amplia gama de servicios de voz y datos (desde servicios de banda angosta hasta servicios de banda ancha) a los abonados sobre una plataforma integrada.

La plataforma *I-MAP*, al ser independiente de una tecnología específica, incluye normalmente las capacidades correspondientes al manejo de todos los servicios requeridos en la red de acceso, tales como una capacidad *TDM* (Multiplexión por División de Tiempo) integral para los servicios clásicos de voz y datos conmutados por circuitos, así como capacidades de Modo de Transferencia Asíncrono (*ATM*, por

sus siglas en inglés) y del Protocolo Internet (*IP, Internet Protocol*) para los servicios basados en paquetes (servicios de red). [19]

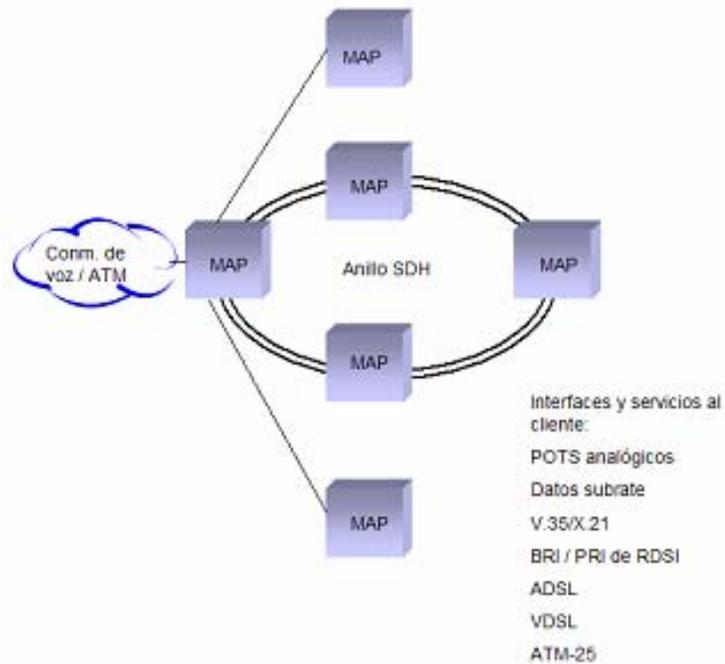


Figura 19. Topología mixta *I-MAP*. [19]

Como se muestra en la Figura 19, el *I-MAP* tiene la capacidad integral y simultánea para soportar topologías de acceso diferentes (punto a punto, estrella, anillo o mixtas). Además este sistema se puede integrar con la tecnología *ADSL*, debido a que permite capturar funcionalidades de sistemas multiplexores de datos como el *DSLAM*. [19]

4.5.1 Arquitectura del sistema *I-MAP*

La estructura básica del sistema de plataforma es generalmente un *I-MAP* que funciona como una unidad central (UC), el cual permite varios tipos de conexiones de enlace, ya sea un conmutador de la Red Telefónica Pública Conmutada (*PSTN*, en inglés) o servicios de red *IP/ATM*. A este se conectan uno o más *I-MAP*'s, los cuales se denominan unidades remotas (UR). La unidad central generalmente reside en un sub-bastidor interno, mientras la unidad remota se encuentra en un gabinete que podría estar ubicado en interiores o exteriores. Cada una de estas unidades centrales o remotas contienen varios sub-bastidores estándar y a su vez cada uno de estos dispone de tarjetas electrónicas de servicio, transmisión, así como de alimentación y control. [2]

La unidad central se conecta a las unidades remotas a través de enlaces de transmisión de fibra óptica, radio microondas o cobre. Las unidades remotas se localizan en las proximidades del abonado y son las encargadas de suministrar los servicios al cliente. En la Figura 20 se muestra un ejemplo de una arquitectura básica de conexión *I-MAP*.

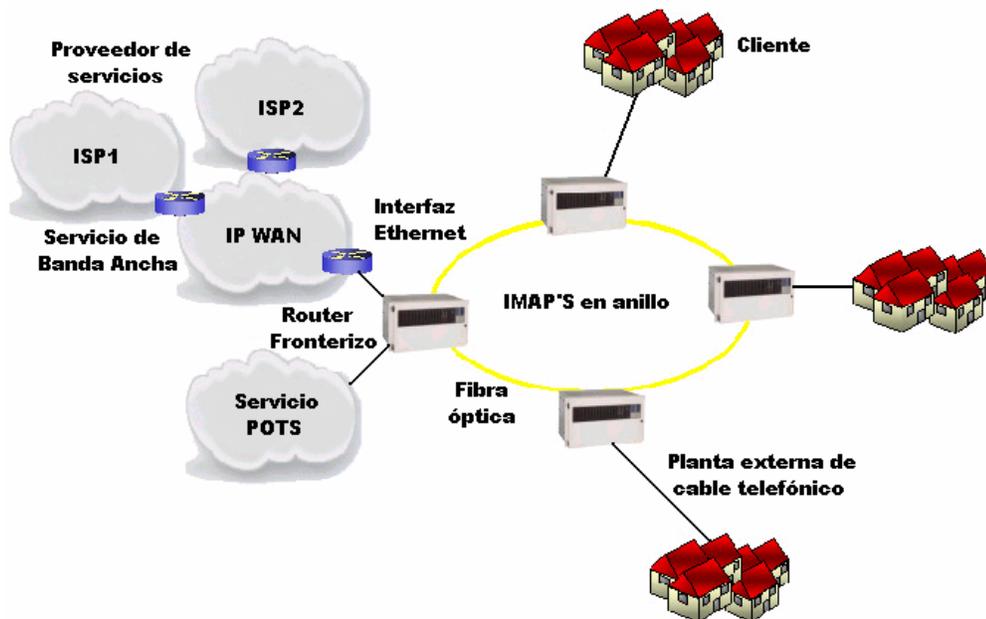


Figura 20. Arquitectura de red para una conexión de *I-MAP*'s. [2]

Broadaccess es un sistema que soporta varias interfaces de red integradas, así como interfaces de transmisión de fibra óptica y cobre. Los tipos de interfaces soportadas son interfaces de red, de transmisión y de servicio, las cuales se detallan en la siguiente tabla.

Tabla 3. Descripción de las características principales de la plataforma *I-MAP*. [2]

Interfaces	Descripción
Buses	<ul style="list-style-type: none"> • <i>TDM: POTS, RDSI</i>, datos a 64 Kbps • <i>SDH: Acceso a tarjeta STM-4, E1</i> • <i>ATM: ADSL y IP</i> de alta velocidad
Interfaces de Red	<ul style="list-style-type: none"> • Interfaces Digitales V5.1 y V5.2 <ul style="list-style-type: none"> • Interfaz Analógica <i>POTS</i> • Interfaz <i>ISDN</i> • Interfaz <i>E1, 64 Kbps</i> • <i>STM-1, STM-4 ATM UNI</i>
Interfaces de Transmisión	<ul style="list-style-type: none"> • <i>SDH(STM-1/STM-4)</i> <ul style="list-style-type: none"> • 34 Mbps ópticas • <i>E1's (G.703)</i> • <i>HDSL 2 Mbps</i>
Interfaces de Servicio	<ul style="list-style-type: none"> • <i>POTS</i> • <i>ISDN 2B1Q/4B3T</i> • Teléfonos Públicos y Servicios Especiales <ul style="list-style-type: none"> • 64 Kbps • <i>HDSL, G.HDSL y ADSL</i> <ul style="list-style-type: none"> • 10/100 Base-T • <i>STM-1 UNI</i>
Topologías soportadas	<ul style="list-style-type: none"> • Anillo • Estrella • Punto a punto • Mixta y cascada

4.5.2 Componentes principales del *I-MAP*

4.5.2.1 Estructura de Tarjetas y Sub-bastidores

Los sub-bastidores son utilizados tanto en las UC, como en las UR. Cada uno de estos sub-bastidores posee 21 ranuras para tarjetas. Cada uno de estos sub-bastidores está en la capacidad de soportar hasta 480 abonados. El sistema puede ampliar su capacidad conectando sub-bastidores secundarios a los sub-bastidores primarios. [2]

En la Figura 21 se observa un sub-bastidor. Cada sub-bastidor puede alojar hasta un máximo de 21 tarjetas de los siguientes tipos:

- 15 tarjetas de servicio. Transportan todos los servicios entre la central telefónica y los abonados.
- 1 tarjeta de matriz *ATM*: proporciona conexión al bus *ATM* del sistema.
- 2 tarjetas de control normales: controlan la administración y el funcionamiento del sistema, así como la matriz *ATM*.
- 2 tarjetas de transmisión: controlan la transmisión de información entre la UC y las UR.
- 2 tarjetas de alimentación: proporcionan la entrada de energía al sistema.



Figura 21. Sub-bastidor *I-MAP*. [2]

4.5.2.2 Buses del sistema

El sub-bastidor posee una tarjeta madre con diferentes buses, entre ellos, *ATM*, *SDH*, y *TDM*, para el suministro simultáneo de servicios de banda ancha y estrecha. En la Figura 22, se observa una tarjeta madre con diferentes tipos de buses. [2]

Bus TDM: Es el encargado de brindar servicios de banda estrecha, como *POTS*, datos a 64 *Kbps*, *ISDN (Integrated Services Digital Network)*, y algunos otros servicios especiales de banda estrecha, como el caso de las líneas de emergencia.

Bus SDH (Synchronous Digital Hierarchy): El bus de jerarquía digital síncrona, permite tener acceso a una tarjeta *STM-4 (Synchronous Transport Module, level 4)*, la cual permite una velocidad de transmisión de 622 *Mbps*.

Bus ATM (Asynchronous Transfer Mode): Este bus es encargado de brindar servicios de banda ancha, como por ejemplo *ADSL* sobre *ATM* y datos *IP* a gran velocidad. El bus *ATM* es utilizado para transferir células *ATM* de las tarjetas de servicio a las tarjetas matriz *ATM*, y posteriormente a las tarjetas de transmisión *SDH*.

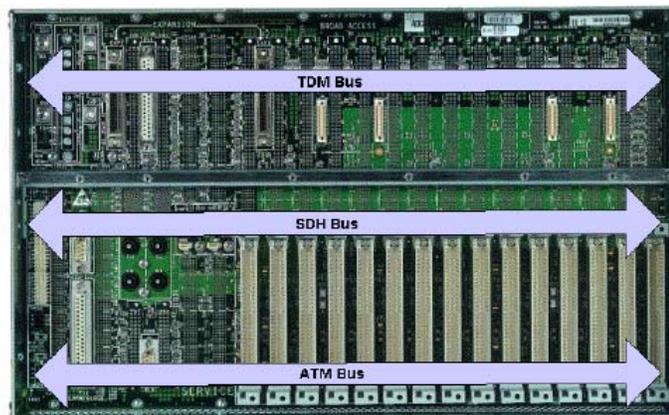


Figura 22. Tarjeta madre, con diferentes buses. [2]

4.5.3 Arquitectura de red para el establecimiento de una conexión *ADSL2* o *ADSL2+*, mediante el uso de *I-MAP*'s

En la Figura 23 se muestra un modelo de arquitectura de red para el acceso de banda ancha basado en las tecnologías *ADSL2* y *ADSL2+*, tomando en consideración la recomendación G.992.3 de la UIT-T. A diferencia del modelo de arquitectura de red para el acceso a banda ancha basado en el servicio *ADSL*, que se describe en la Figura 7; esta arquitectura de conexión utiliza una red de *I-MAP*'s en lugar de un dispositivo multiplexor *DSLAM*. Los dispositivos *I-MAP*'s permiten extender el alcance de una central telefónica en decenas de kilómetros, además de que disponen de una gran capacidad de ancho de banda.

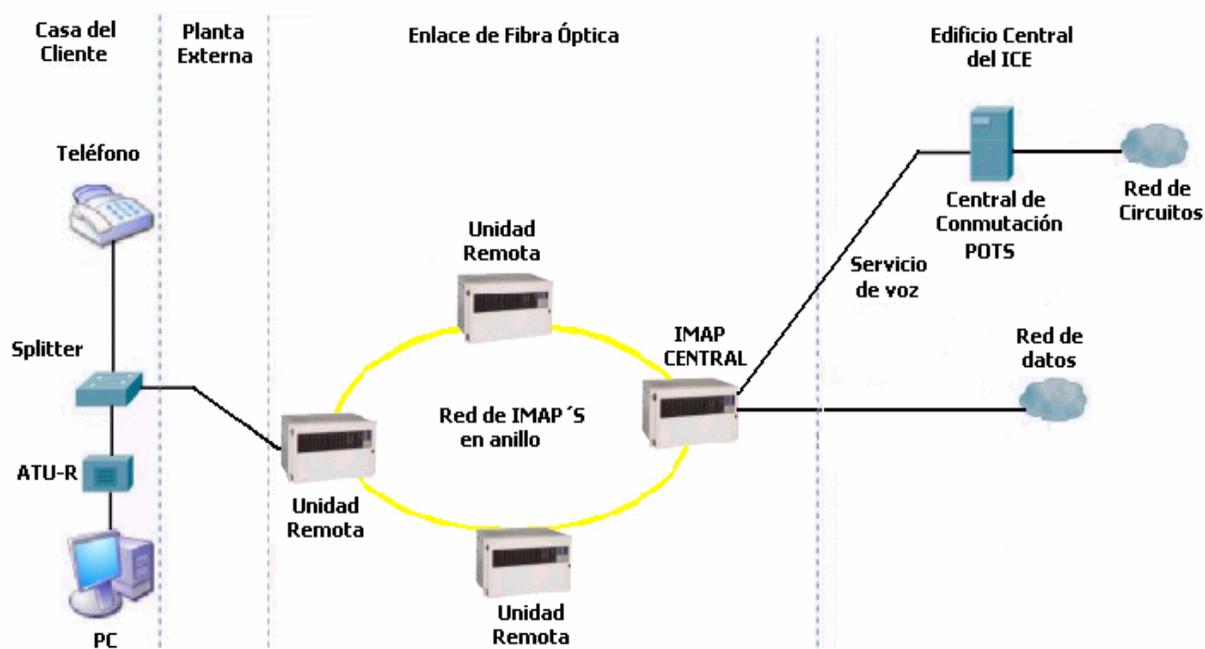


Figura 23. Modelo de red para el establecimiento de una conexión *ADSL2* ó *ADSL2+* entre el ICE, proveedor de servicios, y un abonado.

4.6 Sistemas de transmisión de información

Debido a la necesidad de la transmisión de información a largas distancias, se necesita efectuar algunas alteraciones u operaciones en la señal eléctrica que conducirá la información preparada para transmitirse. Una vez efectuada la recepción, se deben efectuar operaciones inversas conocidas para restaurar y capturar la información.

En el proceso de transmisión de la información, las señales que portan la información se contaminan con el ruido presente en el canal de transmisión. El ruido en los sistemas de comunicaciones eléctricas es generado por hechos naturales o artificiales, y provoca errores en la transmisión de la información. [16]

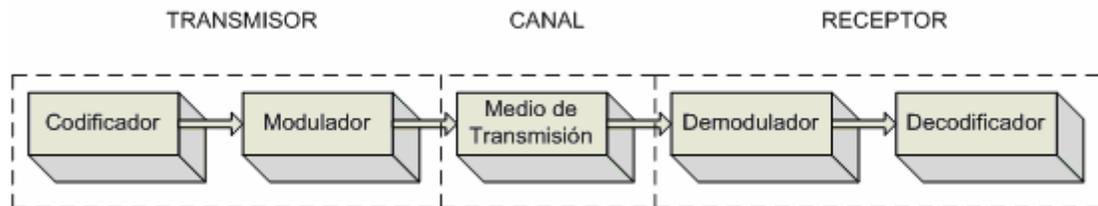


Figura 24. Esquema básico de un sistema de comunicación. [16]

En la Figura 24, se muestra un esquema que describe los módulos más importantes comprendidos en un sistema de comunicación. El bloque codificador elige la mejor forma de la señal para optimizar su detección en la salida. El decodificador efectúa la operación inversa para tomar la mejor decisión, basándose en las señales de indicación disponibles de que algún mensaje fue enviado.

En los sistemas de comunicación modernos, se busca mejorar la eficiencia en la conducción de la información.

El modulador se encarga de producir una señal variable en la salida, que es proporcional, a la señal que aparece en sus terminales de entrada. De esta manera, un modulador senoidal puede variar la amplitud, la frecuencia o la fase de una señal senoidal en proporción directa a la tensión de entrada.

Las funciones del codificador y el modulador son semejantes en lo que respecta a la preparación de la señal para una transmisión más eficiente. El proceso

de codificación es complejo, debido a que es realizado para optimizar la detección de errores en un mensaje que se está transmitiendo, mientras que el proceso de modulación está diseñado para imprimir la señal de información sobre la onda que se va a transmitir. El demodulador realiza la operación inversa al modulador para restaurar la señal a su forma original. [16]

El canal o medio de transmisión, en este caso, una línea de transmisión, introduce atenuación, distorsión, así como las señales de ruido generadas en los medios y en los equipos de transmisión y de recepción. Las señales de ruido son señales eléctricas aleatorias ya sea de tensiones o corrientes, que interfieren con la recepción libre de errores de la señal portadora del mensaje. El canal, es el factor limitante del rendimiento de cualquier sistema de comunicación bien diseñado y se encarga de incluir los efectos del ruido aditivo, interferencia, la propagación y la distorsión.

La función del transmisor, es la de preparar la información para enviarla de tal forma que pueda superar de la manera mejor posible las limitaciones impuestas por el canal. Su contraparte, el receptor, es el encargado de realizar las operaciones inversas del transmisor para recuperar la información con la menor cantidad de errores posible. En general, el transmisor y el receptor, como pareja; están diseñados de manera específica para combatir los efectos perjudiciales ocasionados por el canal en un sistema de transmisión de información. [16]

4.6.1 Ley de *Hartley-Shannon*, para el cálculo de la capacidad de un sistema de transmisión

En este proyecto de investigación, se analizará el canal de transmisión de información, en este caso el par telefónico de cobre, suponiendo como único perjuicio a la transmisión el ruido blanco aditivo gaussiano, *AWGN*, por sus siglas en inglés. Para una efectiva comunicación es necesario un ancho de banda mínimo B . Un ancho de banda mayor permitiría más interferencia del ruido en la transmisión de la información, por lo que es importante mantener el ancho de banda de dicho canal tan reducido como sea posible.

El ruido presente en el canal de transmisión de la información es caracterizado por una potencia media, P_N , y la señal transmitida por una potencia media P_S . Si la potencia media del ruido es relativamente pequeña, la potencia de la señal no necesita ser muy grande para que el receptor determine la información que se está enviando a través del canal. Vale la pena resaltar, que también es de sumo interés la eficiencia, por lo tanto, se intenta minimizar la potencia transmitida necesaria para conducir la información hasta el receptor.

Por otra parte la potencia media de la señal debe ser relativamente grande cuando la potencia de ruido es grande. Entonces, lo importante es la razón entre la potencia media de la señal y la potencia de ruido, y no las magnitudes de cada una de las señales. Esta razón S/N se denomina razón señal a ruido.

Debido a la adición del ruido, la señal transmitida se adultera y como resultado el receptor comete algunos errores. La ley de *Hartley-Shannon*, permite determinar si para un canal y una tasa de transmisión de información dados; es teóricamente posible mejorar el sistema con el objetivo de reducir la cantidad de errores. [16]

El teorema de *Hartley-Shannon* plantea que si la tasa de transmisión de información R , es tal que, $R \leq C$, donde C es la capacidad del canal; entonces si es posible teóricamente mejorar el sistema para reducir la cantidad de errores en la transmisión. Matemáticamente, la capacidad está dada mediante la siguiente relación:

$$C = B \cdot \log_2 \left(1 + \frac{S}{N} \right) \text{ bps} \quad (4.1)$$

Donde B es el ancho de banda del canal (en Hz) y S/N es la razón señal a ruido. Si se intenta enviar información con demasiada rapidez, o sea si $R > C$, los errores comienzan a aumentar de manera acelerada, entonces no tiene sentido diseñar un sistema para mejorar la situación, debido a que la ecuación nos dice que teóricamente no es posible. De manera similar, si $R < C$, entonces si es posible disminuir la cantidad de errores, si se logra un buen diseño en el sistema de comunicación.

Si se desea aumentar la tasa de transmisión de información aumentando la velocidad de los símbolos r , se requerirían entonces más transiciones de símbolos por segundo, por lo que debe aumentarse el ancho de banda. Debido a esta razón, se puede lograr un aumento en la tasa de información con un aumento en el ancho de banda. En tecnologías de banda ancha como *ADSL2+*, se mejora la velocidad de transmisión, debido a que se duplica el ancho de banda de transmisión de datos de bajada.

Al analizar el teorema de *Hartley-Shannon*, se establece como el ancho de banda y la razón señal a ruido se pueden intercambiar. De esta manera, se puede apreciar como si se aumenta el ancho de banda se puede lograr una razón S/N menor y viceversa. La ley de *Hartley-Shannon* es aplicable a canales con ruido aditivo, y no incluye efectos como la interferencia y la distorsión. Esta ley es muy utilizada en el análisis y modelado de sistemas de comunicación, debido a que establece la existencia de cotas para la máxima tasa de transmisión de información en un canal dado. [16]

4.7 Sistema de Modulación *DMT (Discrete Multi-Tone)*

También es conocida como multiplexión ortogonal por división de frecuencia (*OFDM, Orthogonal Frequency Division Multiplexing*). Como se observa en la Figura 25, esta técnica divide un canal de banda ancha, en L canales paralelos de banda angosta.

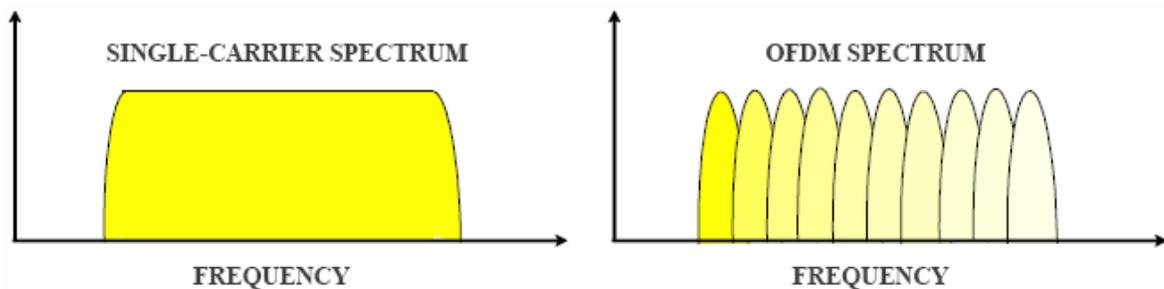


Figura 25. Espectro de portadora sencilla y espectro OFDM. [17]

En lugar de enviar un canal único de alta velocidad de transmisión de datos, como lo hacen los sistemas de portadora única, un sistema *OFDM* transmite L canales paralelos con una baja tasa de transmisión de *bits*. El incremento en la capacidad de cálculo de las computadoras, el desarrollo de la FFT (*Fast Fourier Transform*), ha logrado que los sistemas *OFDM*, se hayan podido implementar en la práctica. Los módems *ADSL* han sido la primera aplicación a gran escala de esta técnica de modulación. [17]

Una de las ventajas de la modulación *OFDM* es la habilidad de enviar más *bits* de información en las secciones del espectro de frecuencia del canal que presenten buenas condiciones de transmisión y una menor cantidad de *bits* para las secciones del espectro de frecuencia que presentan peores condiciones. Para determinar las secciones del canal, con mejores condiciones, se envía una serie de tonos a diferentes frecuencias a través del canal, y la razón señal a ruido recibida, es medida a cada frecuencia. A una frecuencia dada, entre mayor sea el *SNR*, mejor es el subcanal de transmisión.

Cada uno de los subcanales definidos por *DMT*, es modulado por la técnica de modulación en cuadratura (*QAM, Quadrature Amplitude Modulation*). La cantidad de *bits* que son modulados por una constelación depende de la relación señal a ruido en la frecuencia portadora que realizará la transmisión de los datos.

En este tipo de modulación digital el mensaje está contenido tanto en la amplitud como en la fase de la señal transmitida. Esta se basa en la transmisión de dos mensajes independientes por un único camino. Para conseguir esto, se modula una misma portadora, desfasada 90° entre uno y otro mensaje. Esto supone la formación de dos canales ortogonales en el mismo ancho de banda, con lo cual se mejora la eficiencia del ancho de banda.

Aumentando el número de símbolos de la constelación, la velocidad de transmisión conseguida es mayor. Sin embargo, no podemos aumentar indefinidamente el tamaño de la constelación, fundamentalmente debido a la presencia de ruido en el canal, que hará más complicada la posibilidad de distinguir cada punto dentro de la constelación. Para realizar la implementación de este tipo de modulación se debe construir una constelación de *bits*, los cuales se diferencian por nivel, o magnitud, y por el ángulo o fase a la cual están ubicados. A modo de ejemplo, la Figura 26 muestra un alfabeto de 16 símbolos, por lo que usa palabras de 4 *bits*. [10]

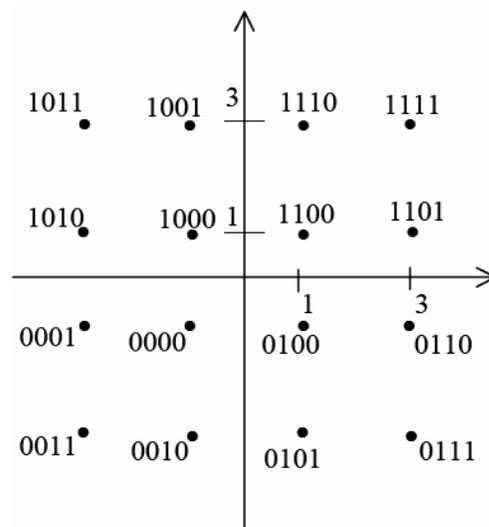


Figura 26. Sistema QAM-16. [10]

4.8 Codificación *Trellis* de Cuatro Dimensiones y 16 Estados

La modulación Multi-tono Discreta (*DMT*), es una técnica multiportadora que hace más eficiente el uso del canal, maximizando la tasa de transferencia de datos, mediante el envío de diferentes números de *bits* en diferentes subcanales. El número de *bits* en cada subcanal depende de la razón señal a ruido (*SNR*) medida en el subcanal. El rendimiento de un sistema *DMT* puede ser incrementado usando técnicas mejoradas de codificación. A partir de esta necesidad surge la *TCM* (*Trellis Coded Modulation*, Modulación *Trellis* Codificada). [5]

4.8.1 *TCM* (*Trellis Coded Modulation*, Modulación *Trellis* Codificada)

Para canales de banda limitada, como por ejemplo las líneas telefónicas, es sumamente factible la implementación de la codificación *Trellis*. Los códigos *Trellis* no aumentan ni el ancho de banda ni la potencia de transmisión, lo cual si realizan otras técnicas de codificación. La idea básica de esta técnica es la de combinar codificación y modulación. Un código *Trellis* consiste de un código convolucional que agrega *bits* adicionales, los cuales incrementan el ancho de banda.

Para reducir el ancho de banda se utiliza un esquema de constelación de la señal más denso (un esquema de modulación de orden superior). De esta manera el ancho de banda se mantiene constante. El costo de utilizar un esquema de modulación de orden superior es una reducción de la distancia mínima cuadrada entre los puntos de la señal. Para minimizar esta reducción, la constelación de la señal se divide en varias subconstelaciones. Dentro de una subconstelación los puntos de la señal son separados tanto como se pueda. Dos alternativas para dividir la constelación de la señal son la partición en conjuntos y la partición en subconjuntos. La codificación *Trellis*, utiliza un codificador *Wei* de *4D* y 16-estados. [5]

4.8.1.1 Codificador Wei de cuatro dimensiones y dieciséis estados

El codificador *Wei* de 4D y 16-estados particiona la constelación de la señal en ocho subconstelaciones de cuatro dimensiones. Una constelación 4D esta compuesta por dos constelaciones de dos dimensiones (2D), cada punto 4D es mapeado en un par complejo (X_i, X_j) . [5]

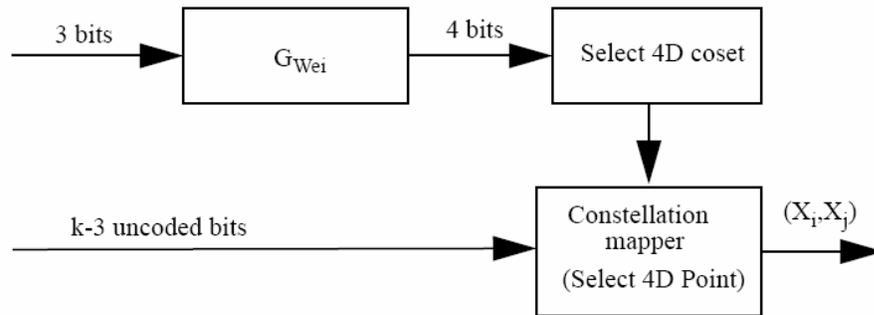


Figura 27. Codificador *Wei* 4D y 16-estados. [5]

Un codificador convolucional a una tasa de 3/4, como el de la Figura 27, especifica un subconjunto y los *bits* no codificados son mapeados por el mapeador de constelación a un punto en el subconjunto especificado.

Capítulo 5. Modelo Teórico

5. Desarrollo del modelo teórico matemático

5.1. Modelado del par telefónico de cobre

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 en particular. [9]

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 longitud de línea.

Se supone que la propagación de la señal se da en la dirección del vector unitario a_z . El análisis se realiza en un tramo de la línea de transmisión de longitud Δz , 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 28.

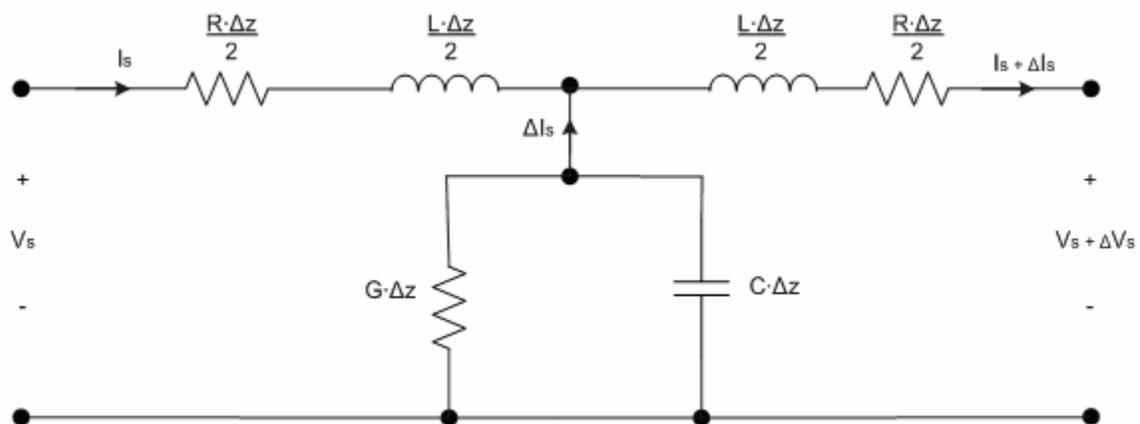


Figura 28. Circuito eléctrico que permite modelar el par telefónico de cobre. [9]

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 en cada extremo. [9]

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:

$$V = V_o \cos(\omega t - \beta z + \psi) \quad (5.1)$$

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

$$V = \text{Re} V_o e^{j(\omega t - \beta z + \psi)} = \text{Re} V_o e^{j\psi} e^{-j\beta z} e^{j\omega t} \quad (5.2)$$

Por conveniencia, la ecuación anterior se puede expresar también en notación fasorial, eliminando la parte real de la expresión, 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 .

$$V_s = V_o e^{j\psi} e^{-j\beta z} \quad (5.3)$$

El voltaje a lo largo del perímetro de la Figura 28 está descrito por la siguiente ecuación:

$$V_s = \left(\frac{R \cdot \Delta z}{2} + \frac{j\omega L \cdot \Delta z}{2} \right) I_s + \left(\frac{R \cdot \Delta z}{2} + \frac{j\omega L \cdot \Delta z}{2} \right) (I_s + \Delta I_s) + V_s + \Delta V_s \quad (5.4)$$

Agrupando términos y expresando el cambio en el voltaje ΔV_s en relación al cambio en la distancia Δz se tiene:

$$\frac{\Delta V_s}{\Delta z} = -(R + j\omega L) I_s - \left(\frac{R}{2} + \frac{j\omega L}{2} \right) \Delta I_s \quad (5.5)$$

Si se aproxima la variable Δz a un valor de cero, el término ΔI_s , el segundo término del lado derecho desaparece, por lo que se obtiene la siguiente ecuación:

$$\frac{dV_s}{dz} = -(R + j\omega L)I_s \quad (5.6)$$

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

$$\frac{\Delta I_s}{dz} = -(G + j\omega C)V_s = \frac{dI_s}{dz} \quad (5.7)$$

Se define el coeficiente de propagación γ , 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.

$$\gamma = \alpha + j\beta = \sqrt{(R + j\omega L) \cdot (G + j\omega C)} \quad (5.8)$$

El coeficiente de propagación es un número complejo, donde el término real α , se conoce como constante de atenuación y la parte imaginaria β , 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 2π radianes; y se expresa en función de la constante de propagación, como se describe en la siguiente expresión matemática:

$$\lambda = \frac{2\pi}{\beta} \quad (5.9)$$

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

$$V_p = \frac{\omega}{\beta} \quad (5.10)$$

El voltaje y la corriente en cualquier punto de la línea de transmisión se pueden modelar como la suma de dos voltajes y corrientes en direcciones opuestas, respectivamente. Estos están relacionados con z , la distancia del cable y con γ , el coeficiente de propagación. [9]

$$V(z) = V_o^+ \cdot e^{-\gamma z} + V_o^- \cdot e^{\gamma z} \quad (5.11)$$

$$I(z) = I_o^+ \cdot e^{-\gamma z} + I_o^- \cdot e^{\gamma z} \quad (5.12)$$

A partir de las ecuaciones anteriores, se puede obtener la impedancia característica de la línea de transmisión, que está definida por la siguiente ecuación:

$$Z_o = \sqrt{\frac{R + j\omega L}{G + j\omega C}} \quad (5.13)$$

5.1.1. Función de transferencia de ganancia de tensión de la línea

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.

Suponiendo que V_o es el nivel de tensión de salida de la red al aplicar un nivel de tensión de entrada V_i en el extremo opuesto de la línea de transmisión, la función de transferencia de ganancia de tensión de la línea se define mediante la siguiente ecuación:

$$T(f) = \frac{V_o}{V_i} = e^{-\gamma \cdot d} \quad (5.14)$$

$$T(f) = e^{-\sqrt{(R(f)+j\omega L(f))(G(f)+j\omega C(f))} \cdot d} \quad (5.15)$$

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

Según la normativa descrita en el párrafo anterior, la variación de R, L y G en función de la frecuencia puede ser calculada exactamente con las ecuaciones mostradas a continuación.

Los coeficientes para el cálculo de estos parámetros eléctricos se muestran en la Tabla 4.

$$R(f) = (r_{oc}^4 + a_c \cdot f^2)^{1/4} \quad [\Omega/m] \quad (5.16)$$

$$L(f) = x_a + x_b \cdot f^{1/2} + x_c \cdot f^{1/3} \quad [H/m] \quad (5.17)$$

$$G(f) = \omega \cdot C \cdot \tan \delta \quad [mho/m] \quad (5.18)$$

$$C = 50 \times 10^{-9} \quad [F/m] \quad (5.19)$$

Las ecuaciones descritas anteriormente dan el valor de R en *ohmios/m*, L en *Henrios/m*, G en *mho/m*, C en Faradios/m y la frecuencia f en *Hertz (Hz)*. La frecuencia angular es $\omega = 2\pi f$ rad/s. La capacitancia C, se supone constante en función de la frecuencia, y se le asigna un valor de $C = 50 \text{ nF/m}$. En la Tabla 5, se muestra el valor de la tangente de pérdidas, $\tan \delta$ para el cálculo de la conductancia G. [27]

Tabla 4. Cálculo de los coeficientes de R y L (a 20 °C).

Tipo de Cable		r_{oc}	a_c	x_a	x_b	x_c
Papel	0.4 mm	2.688×10^{-1}	2.267×10^{-13}	6.834×10^{-7}	-2.094×10^{-10}	7.205×10^{-10}
	0.5 mm	1.724×10^{-1}	9.374×10^{-14}	7.351×10^{-7}	1.930×10^{-11}	-2.330×10^{-9}
	0.65 mm	1.041×10^{-1}	2.787×10^{-14}	8.006×10^{-7}	2.696×10^{-10}	-5.340×10^{-9}
	0.9 mm	5.589×10^{-2}	7.180×10^{-15}	8.304×10^{-7}	5.111×10^{-10}	-8.161×10^{-9}
Polietileno	0.4 mm	2.714×10^{-1}	1.705×10^{-7}	7.257×10^{-7}	-2.059×10^{-10}	9.678×10^{-10}
	0.5 mm	1.742×10^{-1}	7.346×10^{-14}	7.618×10^{-7}	-1.547×10^{-11}	-1.656×10^{-9}
	0.65 mm	1.048×10^{-1}	2.436×10^{-14}	8.139×10^{-7}	2.354×10^{-10}	-4.801×10^{-9}
	0.9 mm	5.630×10^{-2}	6.486×10^{-15}	8.407×10^{-7}	4.816×10^{-10}	-7.721×10^{-9}

Tabla 5. Tangente de pérdidas, $\tan \delta$ para el cálculo de G(a 20 °C).

Coefficiente	Papel	Polietileno
$\tan \delta$	2.5×10^{-2}	5.0×10^{-4}

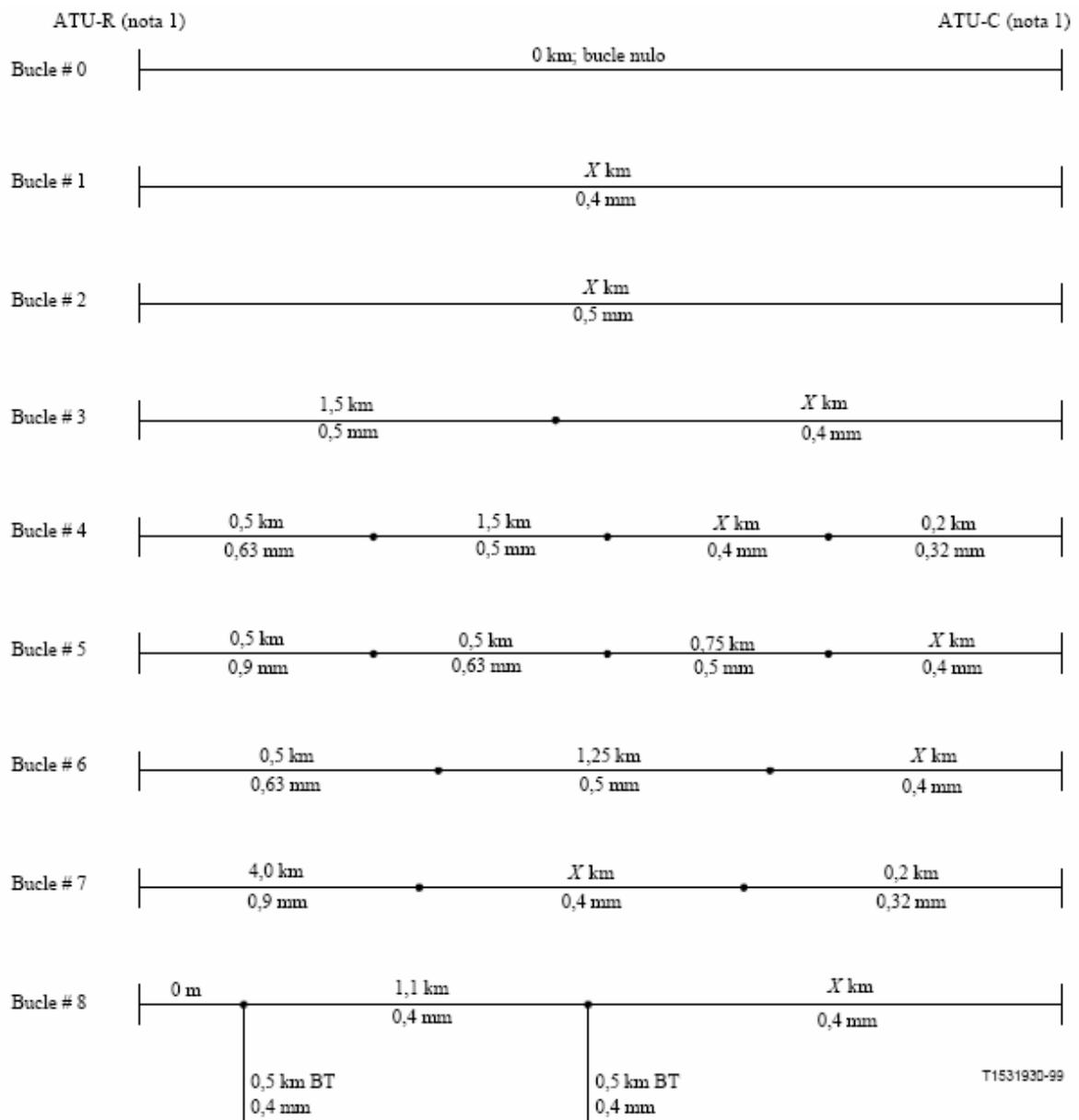
5.1.2. Función de transferencia de ganancia de tensión de la línea para bucles variables.

En muchos casos, ocurre que el bucle de abonado no es uniforme, es decir no presenta un mismo calibre y un mismo tipo de aislante a lo largo de todo su trayecto. Un bucle de abonado puede estar constituido por varios tramos o secciones de longitud y calibre variable.

Debido a la razón anterior, se decidió incorporar en el modelo teórico de cálculo de la atenuación la estimación de la función de transferencia de ganancia de tensión de la línea, considerando el caso en el que los bucles presentan variaciones.

La Figura 29, muestra las configuraciones principales de los bucles de prueba europeos, en los cuales se detallan longitudes nominales de las diferentes secciones que componen el bucle de prueba. También se pueden ver bucles predefinidos, como por ejemplo algunos con secciones de un calibre y distancias definidas, seguidos de una sección de un calibre fijo y una longitud variable.

En el modelo teórico se incluyó la posibilidad de personalizar un bucle de abonado, permitiendo la posibilidad de variar tanto el calibre como la longitud de cada una de las secciones que componen la totalidad de la línea de transmisión. En el programa de cálculo y factibilidad diseñado, se permite configurar una línea de transmisión con un número máximo de secciones igual a cinco, cantidad que es considerada suficiente debido a que excede en uno la cantidad de tipos de calibre de cable que se pueden encontrar en la infraestructura de red externa de cable telefónico del ICE.



NOTA 1. Estos bucles de prueba se muestran con las *ATU-R* a la izquierda; éste es el convenio europeo.

NOTA 2. Todo el cable está aislado con polietileno.

NOTA 3. 1 km = 3,28 *Kft*.

NOTA 4. *BT (bridged tap)* = Derivación de puente (es decir, sección de cable no terminado).

Figura 29. Bucles de prueba de *ETSI*. [27]

La Figura 30 muestra un diagrama de bloques, que describe como se modifica la señal original portadora de datos al propagarse a través del par telefónico de cobre. La señal a la salida del cable telefónico es igual a la señal de interés multiplicada por la función de transferencia de ganancia de voltaje de la línea de transmisión.

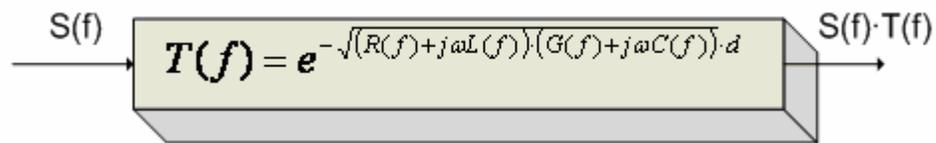


Figura 30. Fenómeno de atenuación de la línea en un par telefónico de cobre. $S(f)$ es la señal de interés sin atenuar. $T(f)$ es la función de transferencia de ganancia de voltaje del cable.

Para un bucle de abonado compuesto por varias secciones de longitud y calibre variable, la función de transferencia de ganancia de voltaje total sería igual a la multiplicación de cada una de las funciones de transferencia independientes de cada tramo. Así como la señal de salida sería igual a la señal de entrada original $S(f)$, multiplicada por esa función de transferencia total. Este fenómeno se puede visualizar en el diagrama de la Figura 31.

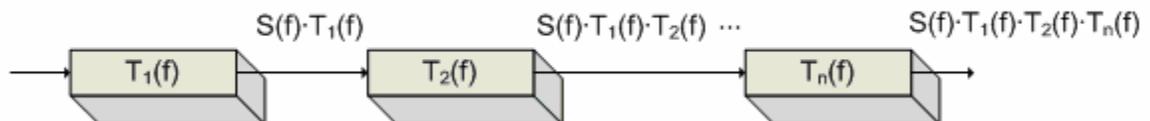


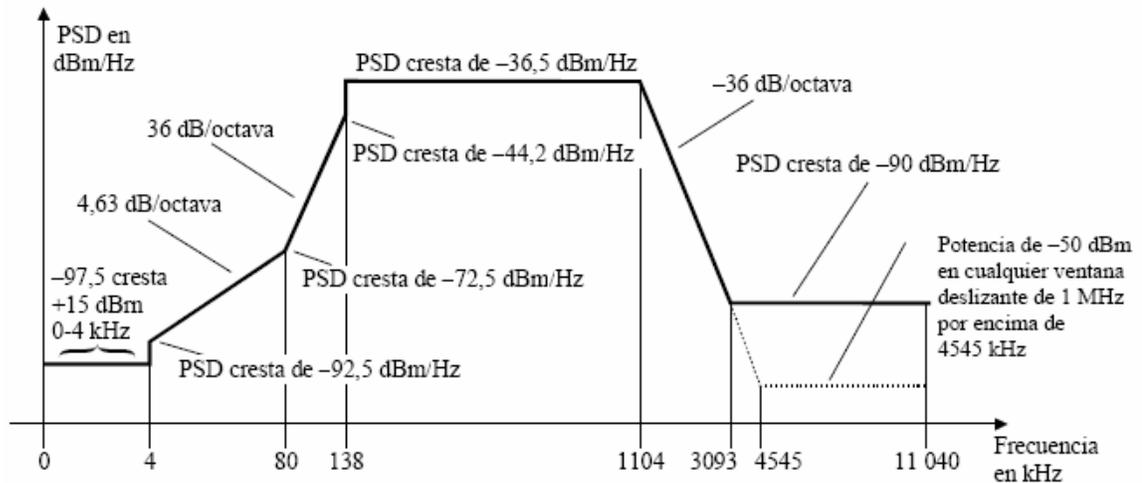
Figura 31. Cálculo de la atenuación para un bucle de abonado compuesto por diferentes secciones de cable con diferentes características físicas de calibre, aislante y longitud.

5.2. Máscara de Densidad Espectral de Potencia (PSD).

En las recomendaciones G.992.3 y G.992.5 de la UIT-T se definen las máscaras de densidad espectral de potencia (PSD) de transmisión tanto de la ATU-C, como de la ATU-R, es decir para el sentido de transmisión de bajada y de subida respectivamente.

5.2.1. Densidad espectral de potencia para ADSL2.

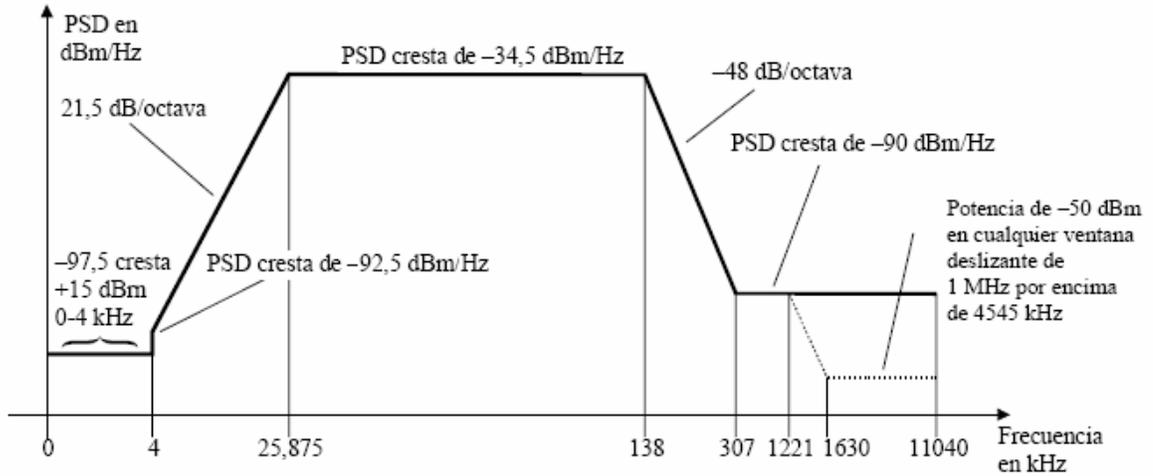
5.2.1.1. Densidad espectral de potencia de bajada con espectro no superpuesto para ADSL2. [22]



Banda de Frecuencias (KHz)	Ecuación para la línea (dbm/Hz)
$0 < f \leq 4$	-97.5
$4 < f \leq 80$	$-92.5 + 4.63 \cdot \log_2(f/4)$
$80 < f \leq 138$	$-72.5 + 36 \cdot \log_2(f/80)$
$138 < f \leq 1104$	-36.5
$1104 < f \leq 3093$	$-36.5 - 36 \cdot \log_2(f/1104)$
$3093 < f \leq 4545$	-90
$4545 < f \leq 11040$	-90

Figura 32. Máscara de densidad espectral de potencia del transmisor ATU-C, para funcionamiento con espectro no superpuesto, para la tecnología ADSL2.

5.2.1.2. Densidad espectral de potencia de subida para ADSL2. [22]



Banda de Frecuencias (KHz)	Ecuación para la línea (dbm/Hz)
$0 < f \leq 4$	-97.5
$4 < f \leq 25.875$	$-92.5 + 21.5 \cdot \log_2(f/4)$
$25.875 < f \leq 138$	-34.5
$138 < f \leq 307$	$-34.5 - 48 \cdot \log_2(f/138)$
$307 < f \leq 1221$	-90
$1221 < f \leq 1630$	-90
$1630 < f \leq 11040$	-90

Figura 33. Máscara de densidad espectral de potencia del transmisor *ATU-R*, para la tecnología *ADSL2*.

5.2.2. Densidad espectral de potencia para ADSL2+. [24]

5.2.2.1. Densidad espectral de potencia de bajada con espectro no superpuesto para ADSL2+

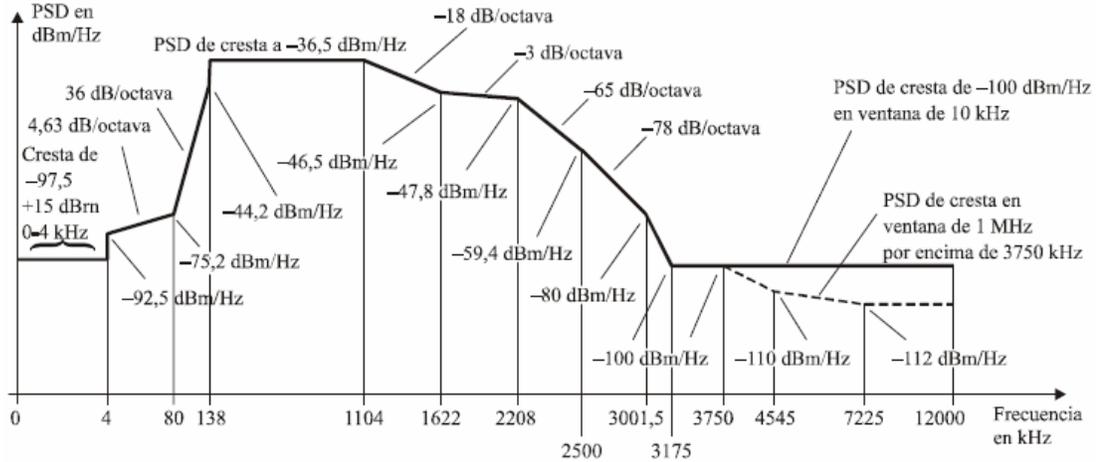


Figura 34. Máscara de densidad espectral de potencia del transmisor *ATU-C*, para funcionamiento con espectro no superpuesto, para la tecnología *ADSL2+*.

Tabla 6. Nivel de potencia de la *PSD*, a diferentes frecuencias, para el gráfico de la Figura 34.

Frecuencia (KHz)	Nivel de <i>PSD</i> (dBm/Hz)	<i>MBW</i> (KHz)
0	-97,5	0,1
4	-97,5	0,1
4	-92,5	0,1
10	Interpolado	10
80	-72,5	10
138	-36,5	10
1104	-36,5	10
1622	-46,5	10
2208	-47,8	10
2500	-59,4	10
3001,5	-80	10
3175	-100	10
3750	-100	1
4545	-110	1
7225	-112	1
12000	-100	10

5.2.2.2. Densidad espectral de potencia de subida para ADSL2+ [24]

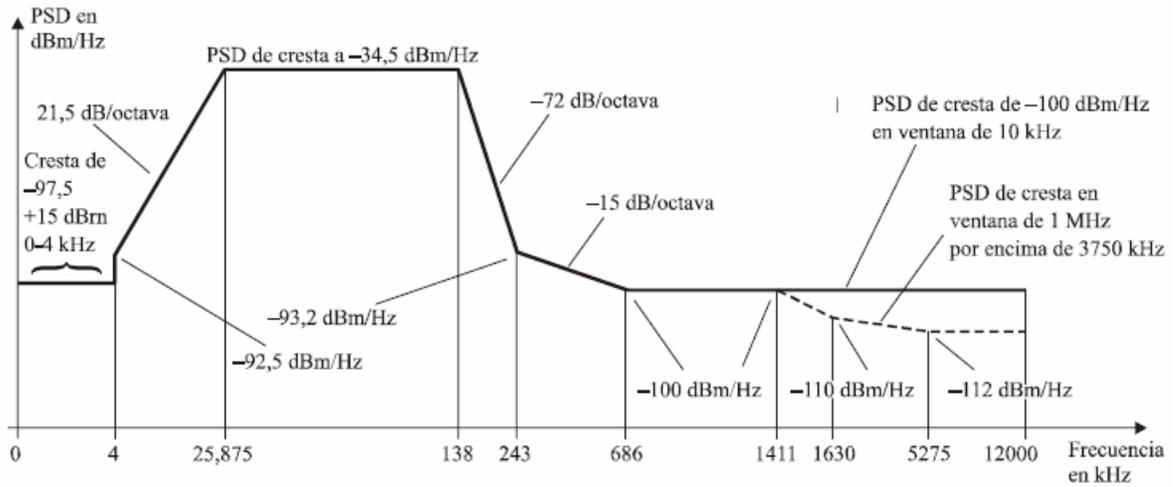


Figura 35. Máscara de densidad espectral de potencia del transmisor ATU-R para la tecnología ADSL2.

Tabla 7. Nivel de potencia de la PSD, a diferentes frecuencias, para el gráfico de la Figura 35.

Frecuencia (KHz)	Nivel de PSD(dBm/Hz)	MBW(KHz)
0	-97.5	0.1
4	-97.5	0.1
4	-92.5	0.1
10	Interpolado	10
25.875	-34.5	10
138	-34.5	10
686	-93.2	10
1411	-100	1
1630	-110	1
5275	-112	1
5275	-100	10
1622	-100	10
12000	-100	10
12000	-112	1

5.3. Ecuaciones para el cálculo de la capacidad del canal de transmisión.

El vínculo entre el transmisor y el receptor de un sistema de comunicaciones, incluidas las fuentes de ruido y el medio de transmisión es conocido como el canal de transmisión. La tasa límite de transmisión de información a través de un canal es conocida como la capacidad del canal.

El concepto de capacidad de un canal de transmisión se basa en el teorema establecido y comprobado por C. E. Shannon. Este teorema establece que si la tasa de transmisión de información R es igual o menor que la capacidad del canal C , existe entonces una técnica o método de codificación que permite la transmisión de datos a través del canal con una frecuencia de errores arbitrariamente pequeña. [16]. De tal manera debe cumplirse que:

$$R \leq C \quad (5.20)$$

La restricción anterior es válida aunque haya presencia de ruido en el canal de transmisión de información. El inverso de este teorema establece que no es posible transmitir mensajes sin errores si $R > C$. La capacidad del canal se define como la máxima razón de información confiable a través del canal.

Para describir convenientemente un canal de transmisión de un sistema de comunicación, se debe describir este en términos del ancho de banda y de la razón señal a ruido. [16]

Un teorema muy importante en la teoría de la comunicación, es el teorema de *Hartley-Shannon*. Esta ley establece que la capacidad de un canal gaussiano blanco de banda limitada es:

$$C = B \cdot \log_2(1 + S/N) \text{ bps} \quad (5.21)$$

En la ecuación anterior, B es el ancho de banda del canal y S/N es la razón señal a ruido cuadrática media. [16]

Esta ecuación debe replantearse con el fin de utilizarla en el programa que calcula la capacidad teórica del canal, para las tecnologías *ADSL2* y *ADSL2+*. Entonces la capacidad del canal se puede expresar en forma de una ecuación integral, como se muestra a continuación:

$$C = \int_{f_{\min}}^{f_{\max}} \log_2(1 + SNR(f)) df \quad (5.22)$$

En la ecuación anterior, se deduce como 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 del canal. [30]

La determinación de la capacidad total del canal de transmisión debe realizarse considerando cada uno de los tonos del espectro de frecuencias del canal. Por lo tanto se debe calcular la capacidad individual de cada uno de las subportadoras o tonos, y por último realizar la sumatoria de todos, para obtener la contribución total de todo el espectro de frecuencias del ancho de banda del canal.

El ancho de banda del canal de subida es diferente al ancho de banda del canal de bajada, por lo que se obtiene un valor en *bps* de capacidad del canal de subida y otro valor de capacidad para el canal de bajada.

En el estándar de la *UIT-T*, se establece que la tecnología *ADSL2* utiliza como método de modulación el de multitono discreto (*Discrete Multi-Tone, DMT*). Cada símbolo *DMT*, está constituido por un conjunto de subportadoras, con índice de $i=0$, hasta $i=NSC$. El término *NSC* es el índice de subportadora más alto que puede transmitirse (índice de subportadora correspondiente a la frecuencia *Nyquist*). El parámetro para la *ATU-C* (NSC_{ds}) puede ser diferente del parámetro para la *ATU-R* (NSC_{us}) (*UIT-T G.992.3*). El valor de este es fijado por la recomendación y depende del servicio subyacente (*POTS* o *RDSI*, aunque en este proyecto se analiza *ADSL* sobre *POTS*). Por otra parte depende de si la máscara de transmisión funciona en espectro superpuesto o no superpuesto. [22]

La técnica de modulación utilizada en ambas tecnologías permite que cada símbolo *DMT* esté constituido por un conjunto de subportadoras, con índices $i = 0$ a *NSC*. El espaciamiento de las subportadoras *DMT*, Δf , es de 4,3125 *kHz*, con una tolerancia de ± 50 *ppm*. Las frecuencias de subportadora son de $f_i = i \times \Delta f$, $i = 0$ a *NSC*. [22]

La Tabla 8 muestra los tonos utilizados por cada una de las tecnologías, para el canal de bajada y el de subida. La cantidad de tonos utilizados en el canal de bajada dependen de si se utiliza espectro superpuesto o no superpuesto.

Tabla 8. Tonos utilizados en los dos sentidos de transmisión, para ambas tecnologías. [22] [24]

Tono	Canal de Bajada		Canal de Subida
	Espectro superpuesto	Espectro no superpuesto	
Tono Mín <i>ADSL2</i>	7	33	7
Tono Máx <i>ADSL2</i>	255	255	31
Tono Mín <i>ADSL2+</i>	7	33	7
Tono Máx <i>ADSL2+</i>	511	511	31

La tecnología *ADSL2*, correspondiente al estándar *G.dmt.bis*, *G.992.3 UIT-T*; permite aproximadamente un mínimo de 8 *Mbps* de velocidad de bajada de datos y 800 *Kbps* como velocidad mínima de subida, dependiendo de condiciones como el ruido presente en la línea de transmisión. *ADSL2* utiliza el método de codificación de línea de multitono discreto (*DMT*). *DMT* se basa en el uso de la *IFFT* (*Inverse Fast Fourier Transformation*, Transformada Inversa Rápida de Fourier), para generar un conjunto de subcanales, y transmitir la información de cada canal de manera independiente.

En la Figura 36 se observa el espectro de frecuencias de *ADSL2*. En esta se describe la banda *POTS* (*Plain Old Telephone Service*, Plan de Servicio de Telefonía Convencional), el tono piloto de subida, el tono piloto de bajada, el espaciamiento entre las subportadoras y el número de subportadoras para los canales de bajada y

de subida de datos. El desempeño de *DMT* se da debido a la división del ancho de banda disponible en un conjunto de subcanales independientes y ortogonales. *DMT* mide la razón señal a ruido (*SNR, Signal to Noise Ratio*), de cada subcanal y luego asigna el número de *bits* por subportadora adecuado, basándose en la calidad del enlace. Esto permite que se transmita información en subportadoras con una buena razón señal a ruido y evita la transmisión en regiones del espectro de frecuencia que son sumamente ruidosas o severamente atenuadas. La técnica de modulación descrita se basa en el método de modulación de amplitud por cuadratura (*QAM, Quadrature Amplitude Modulation*). Cada subcanal tiene un ancho de 4.3125 *KHz* y es capaz de transportar cerca de 15 *bits* como máximo.

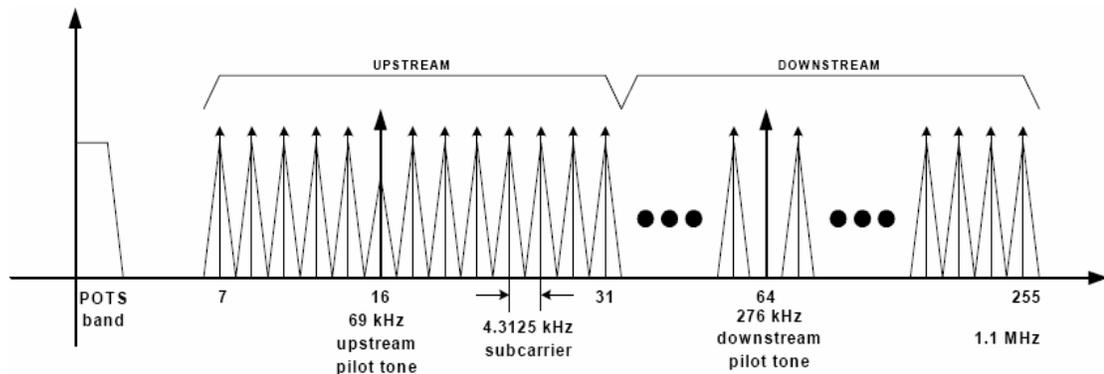


Figura 36. Distribución de subportadoras para *ADSL2*. [28]

En este proyecto se considera la máscara *PSD* del canal de bajada datos para ambas tecnologías, *ADSL2* y *ADSL2+*, para funcionamiento con espectro no superpuesto.

La tecnología *ADSL2* utiliza un canal de subida de datos que está compuesto por 25 subportadoras, que van desde la subportadora número 7, ubicada a 30.1875 *KHz*, hasta la subportadora número 31 a 133.6875 *KHz*. El canal de bajada de datos está compuesto por 223 subportadoras, que van desde la subportadora número 33, a una frecuencia de 142.3125 *KHz*; hasta la número 255, ubicada a 1099.6875 *KHz*. [28]

ADSL2+ utiliza las mismas características en el canal de subida de datos, pero duplica el ancho de banda del canal de bajada de datos, debido a que utiliza 478 subportadoras, que van desde la subportadora número 33, a una frecuencia de 142.3125 KHz; hasta la número 511, ubicada a 2203.6875 KHz.

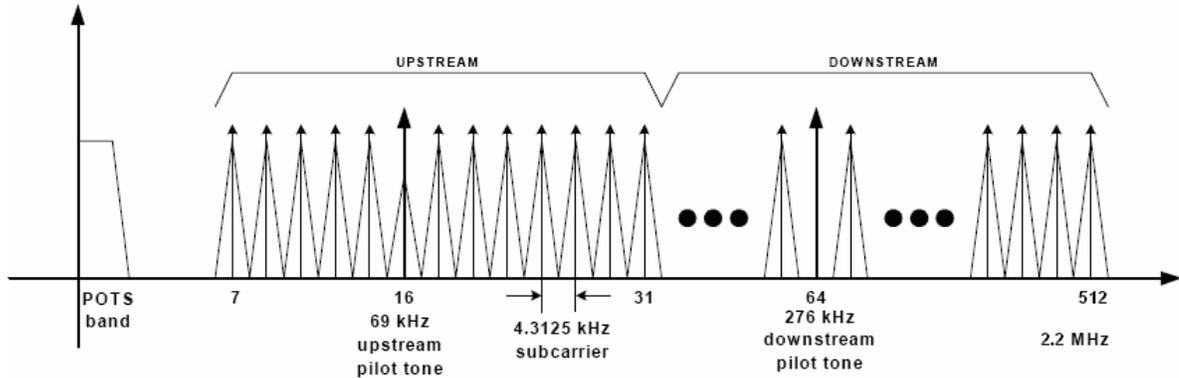


Figura 37. Distribución de subportadoras para ADSL2+.

El modelo matemático para la determinación de la capacidad del canal, considera como único factor de ruido el ruido blanco aditivo gaussiano (AWGN, por sus siglas en inglés *Additive White Gaussian Noise*). Esta ecuación utilizada para calcular la capacidad teórica del canal de información no incluye el efecto de diafonía que causan servicios perturbadores cercanos, localizados en pares adyacentes al servicio afectado.

$$\frac{C}{\Delta f} = \int_{f_{\min}}^{f_{\max}} \log_2 \left(1 + \frac{|H_{\text{channel}}(f)|^2 \cdot S(f)}{AWGN} \right) df \quad (5.23)$$

En la ecuación anterior:

C: Es la capacidad del canal, en *bps*.

$H_{\text{channel}}(f)$: Es la función de transferencia de la línea de transmisión, obtenida en la sección de cálculo de la función de transferencia del canal.

$S(f)$: Es la densidad espectral de potencia de la señal transmitida.

AWGN: *Additive White Gaussian Noise*, es el ruido blanco aditivo gaussiano presente en el canal de transmisión.

Δf : Es el 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 a través de este.

Es posible agregar un margen de seguridad a la ecuación (5.23). Este margen es utilizado para considerar la presencia de efectos aleatorios e impredecibles que afectan la capacidad de transmisión de datos de un canal de información, tales como el fenómeno del ruido impulsivo. [31]

Entonces, la ecuación (5.23), considerando un margen de seguridad σ , se podría reescribir como:

$$\frac{C}{\Delta f} = \int_{f_{\min}}^{f_{\max}} \log_2 \left(1 + \lambda \cdot \frac{|H_{\text{channel}}(f)|^2 \cdot S(f)}{AWGN} \right) df \quad (5.24)$$

El margen de seguridad σ , se establece en decibeles (*dB*), por lo que para multiplicarlo con los demás términos en la ecuación (5.23), este debe convertirse a un valor adimensional. Por esta razón el margen en *dB* σ , se define como $\lambda = 10^{\frac{\sigma}{10}}$ en la ecuación anterior, debido a que este es multiplicado por el ruido que afecta el canal de transmisión. El margen de seguridad puede ser visto gráficamente en la Figura 38.

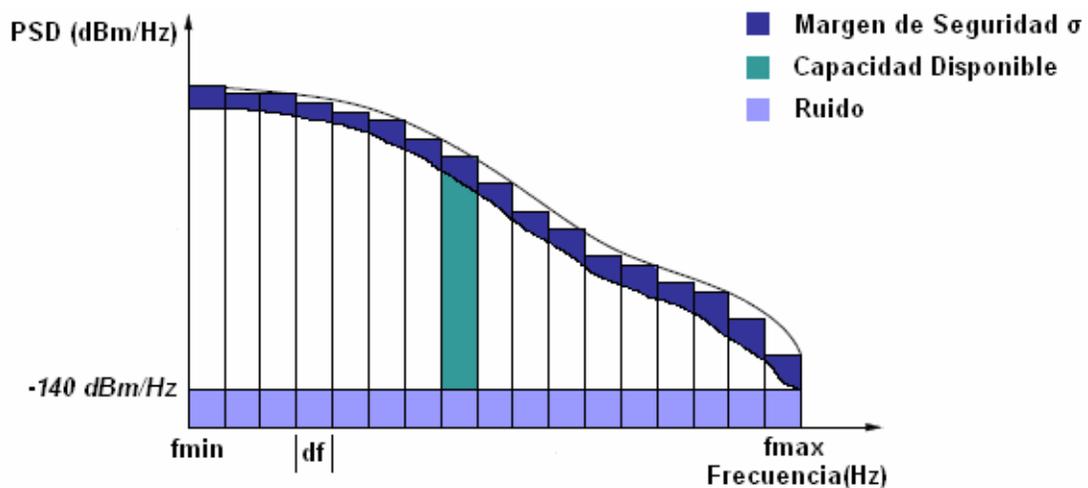


Figura 38. Margen de seguridad considerado en la ecuación 5.23.

La consideración anterior da resultado a la siguiente expresión:

$$\frac{C}{\Delta f} = \int_{f_{\min}}^{f_{\max}} \log_2 \left(1 + \frac{|H_{channel}(f)|^2 \cdot S(f)}{10^{\frac{\sigma}{10}} \cdot AWGN} \right) df \quad (5.25)$$

El margen de seguridad 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 datos (*BER, Bit Error Rate*).

Entre más pequeño sea el margen de seguridad, es mayor la tasa de transmisión de datos. Se debe 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 determinada máxima tasa de errores de *bit* (*BER*), cuando el *SNR* se reduce.

El margen de seguridad σ , está compuesto por la constante SNR_{GAP} , la *ECG* (*Effective Coding Gain*), y el margen de Shannon, o margen de ruido. Entonces la ecuación para el margen de seguridad se describe mediante la siguiente expresión:

$$M \text{ arg en de Seguridad } \sigma = SNR_{GAP} - ECG + M \text{ arg en Shannon} \quad (5.26)$$

Suponiendo un SNR_{GAP} de 9.8 dB, un *ECG* de 3.8 dB y un margen de *Shannon* de 6 dB, entonces el margen de seguridad σ , para las tecnologías *ASDL2* y *ADSL2+* es de: [31]

$$M \text{ arg en de Seguridad } \sigma = (9.8 - 3.8 + 6) = 12 \text{ dB}$$

Un módem ideal, de infinita complejidad puede operar a un *BER* de cero, con un margen de seguridad de cero. La tasa de transmisión de *bits* alcanzada por un módem ideal es denominada el límite *Shannon*, este define la máxima tasa de transmisión de datos alcanzable, dado un determinado ambiente de transmisión. El margen de seguridad es dependiente del *BER*, el cual tiene un valor normalmente cercano a 10^{-7} , y de la tecnología del transceptor *DSL*. Por ejemplo para la tecnología de *ADSL* convencional, con codificación *Trellis*, el SNR_{GAP} es de 5.7 *dB*. El SNR_{GAP} puede ser disminuido implementando técnicas más avanzadas de codificación en el módem *ADSL*. Las mejoras en la codificación permiten disminuir el SNR_{GAP} , a un valor tan bajo como 1 *dB*; pero bajo el compromiso de incrementar la complejidad del módem. [31]

Entonces, mediante la modulación *DMT*, la evaluación de la capacidad del canal debe realizarse tono a tono. Entonces la capacidad total del canal de transmisión está determinada por una sumatoria de cada uno de los tonos que componen el canal de transmisión, como se muestra en la siguiente ecuación:

$$C = B \cdot \sum_{i=1}^L \log_2 \left(1 + \frac{|H_{channel_i}(f)|^2 \cdot S_i(f)}{10^{\frac{\sigma}{10}} \cdot AWGN} \right) \quad (5.27)$$

En la ecuación 5.27, el subíndice *i*, indica el valor del tono en el cual será evaluada la ecuación para el cálculo de la capacidad transmisión de *bits* de este tono. La ecuación realiza una sumatoria de cada uno de los tonos que componen el canal de transmisión, con el fin de poder calcular la capacidad total de transmisión de *bits* de información del canal.

La portadora máxima de cada canal de transmisión se especifica mediante *L*. Esta es la portadora del canal, ubicada en la frecuencia mayor del espectro del canal.

Debido a que la tecnología *ADSL2* es asimétrica, la velocidad de transmisión de datos de bajada es diferente a la de subida. Esto es debido a que utilizan canales de transmisión con diferentes anchos de banda. El canal de datos de bajada presenta un ancho de banda mayor que el canal de datos de subida.

Las siguientes ecuaciones muestra por lo tanto, la cantidad de *bits* por segundos por *Hertz*, de cada uno de los tonos del canal de transmisión de subida y bajada de datos. Cada uno de estos cálculos es necesario multiplicarlos por el ancho de banda de cada una de las portadoras, que es de 4 *KHz*, con el fin de poder obtener la capacidad de cada todo individual. La sumatoria debe realizarse desde el tono 7 hasta el tono 31, debido a que los tonos inferiores están destinados para utilizarse en el servicio de telefonía convencional (*POTS, Plain Old Telephone Service*). Para la determinación de la capacidad del canal de transmisión de bajada de datos, debe realizarse la sumatoria desde el tono 33 hasta el tono 255.

$$C_{UP} = B \cdot \sum_{i=7}^{31} \log_2 \left(1 + \frac{PSD_{SEÑAL}(i * \Delta f) |H_{channel_i}(i * \Delta f)|^2}{AWGN \cdot 10^{\frac{\sigma}{10}}} \right) bps \quad (5.28)$$

$$C_{DOWN} = B \cdot \sum_{i=33}^{255} \log_2 \left(1 + \frac{PSD_{SEÑAL}(i * \Delta f) |H_{channel_i}(i * \Delta f)|^2}{AWGN \cdot 10^{\frac{\sigma}{10}}} \right) bps \quad (5.29)$$

De manera similar, para la tecnología *ADSL2+*, se realiza un procedimiento similar, pero con diferentes límites en la sumatoria y además con la máscara densidad espectral de potencia de la señal transmitida propia de esta tecnología, como se especifica de máscaras de densidad espectral, tomado de la recomendación de la *UIT-T G.992.5*. La ecuación para el cálculo de la capacidad transmisión de datos de subida se mantiene.

$$C_{UP} = B \cdot \sum_{i=7}^{31} \log_2 \left(1 + \frac{PSD_{SEÑAL}(i * \Delta f) |H_{channel_i}(i * \Delta f)|^2}{AWGN \cdot 10^{\frac{\sigma}{10}}} \right) bps \quad (5.30)$$

$$C_{DOWN} = B \cdot \sum_{i=33}^{511} \log_2 \left(1 + \frac{PSD_{SEÑAL}(i * \Delta f) |H_{channel_i}(i * \Delta f)|^2}{AWGN \cdot 10^{\frac{\sigma}{10}}} \right) bps \quad (5.31)$$

5.4. Aplicaciones futuras: Consideraciones sobre ruido *Crosstalk* (Diafonía)

5.4.1. Ruido *Crosstalk* (Diafonía)

En la familia de sistemas de transmisión *ADSL*, el factor primordial que define el alcance de un bucle 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.

5.4.1.1. *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: [4]

$$PSD_{DSL_NEXT} = PSD_{DSL_DISTURBER} \cdot x_n \cdot f^{3/2} \quad \text{Watts} \quad (5.32)$$

Con:

$$x_n = 8.536 \times 10^{-15} \times n^{\rho}$$

$$0 \leq f < \infty$$

$$n < 50$$

Donde:

PSD_{DSL_NEXT} : Densidad espectral de potencia de ruido provocado por la diafonía NEXT.

$PSD_{DSL_DISTURBER}$: Densidad espectral de potencia del servicio perturbador.

x_n : Parámetro de ajuste del sistema

n : Número de servicios perturbadores

ρ : Índice de rigurosidad, es fijado en 0.6

f : frecuencia en Hertz

5.4.1.2. 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: [4]

$$PSD_{DSL_FEXT} = PSD_{DSL_DISTURBER} \cdot |H_{FEXT}(f)|^2 \quad \text{Watts} \quad (5.33)$$

$$|H_{FEXT}(f)|^2 = |H_{CHANNEL}(f)|^2 \cdot k \cdot l \cdot f^2 \quad \text{Watts} \quad (5.34)$$

Donde:

PSD_{DSL_FEXT} : Densidad espectral de potencia de ruido provocado por la diafonía FEXT.

$PSD_{DSL_DISTURBER}$: Densidad espectral de potencia del servicio perturbador.

$H_{CHANNEL}(f)$: Función de transferencia del canal, en términos de la frecuencia.

$$k : \text{Constante de acople} = 8 \times 10^{-20} x \left(\frac{n}{49} \right)^{\rho} \text{ para } n < 50$$

n : Número de servicios perturbadores

l : constante de acople de longitud del bucle en pies = 9000 *ft*

f : frecuencia en *Hertz*

El modelo *FEXT* asume que la ganancia de inserción de la función de transferencia es calculada para la trayectoria total del cable entre el transmisor perturbador 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 una 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 se calcula mediante la suma lineal algebraica del ruido *NEXT*, el *FEXT*, y el *AWGN*. De esta manera, el ruido total del canal sería:

$$N(f) = PSD_{DSL_NEXT} + PSD_{DSL_FEXT} + AWGN \quad (5.35)$$

La Figura 39 muestra el comportamiento de ambos fenómenos de diafonía sobre un cable telefónico de cobre.

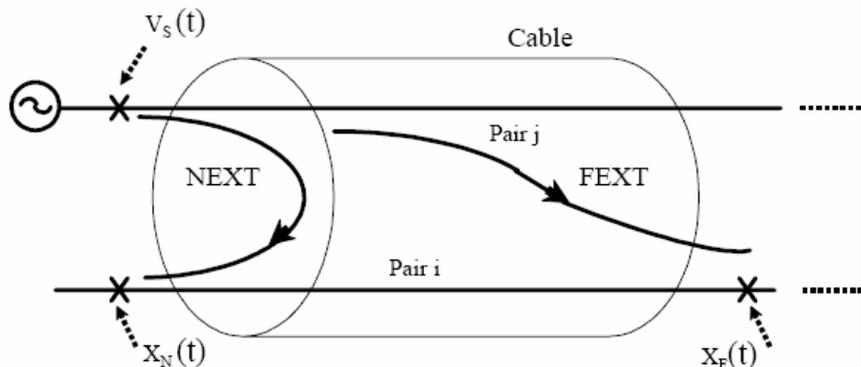


Figura 39. Ruidos de diafonía *NEXT* y *FEXT* sobre el par de cobre.

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:

Para la tecnología ADSL2:

$$C_{UP} = B \cdot \sum_{i=7}^{31} \log_2 \left(1 + \frac{PSD_{SEÑAL}(i * \Delta f) |H_{channel_i}(i * \Delta f)|^2}{(PSD_{DSL_NEXT} + PSD_{DSL_FEXT} + AWGN) \cdot 10^{\frac{\sigma}{10}}} \right) bps \quad (5.36)$$

$$C_{DOWN} = B \cdot \sum_{i=33}^{255} \log_2 \left(1 + \frac{PSD_{SEÑAL}(i * \Delta f) |H_{channel_i}(i * \Delta f)|^2}{(PSD_{DSL_NEXT} + PSD_{DSL_FEXT} + AWGN) \cdot 10^{\frac{\sigma}{10}}} \right) bps \quad (5.37)$$

Para la tecnología ADSL2+:

$$C_{UP} = B \cdot \sum_{i=7}^{31} \log_2 \left(1 + \frac{PSD_{SEÑAL}(i * \Delta f) |H_{channel_i}(i * \Delta f)|^2}{(PSD_{DSL_NEXT} + PSD_{DSL_FEXT} + AWGN) \cdot 10^{\frac{\sigma}{10}}} \right) bps \quad (5.38)$$

$$C_{DOWN} = B \cdot \sum_{i=33}^{511} \log_2 \left(1 + \frac{PSD_{SEÑAL}(i * \Delta f) |H_{channel_i}(i * \Delta f)|^2}{(PSD_{DSL_NEXT} + PSD_{DSL_FEXT} + AWGN) \cdot 10^{\frac{\sigma}{10}}} \right) bps \quad (5.39)$$

Capítulo 6. Mediciones Experimentales

6.1 Mediciones Experimentales

6.1.1 Medición de la atenuación de los pares telefónicos de cobre

La atenuación es la pérdida de potencia eléctrica de una señal al propagarse por una línea de transmisión. Como se analizó en el Capítulo 5, en la ecuación 5.15 se puede notar como la atenuación varía en función de la distancia y la frecuencia. Por esta razón, las subportadoras de frecuencias más altas sufren una mayor degradación que los canales de frecuencias más bajas. Así mismo, el incremento en la distancia aumenta también la atenuación de la señal.

Para la medición de la atenuación se utilizó el equipo *Sunset MTT*, de la marca *Sunrise Telecom*. En el departamento se cuenta también con el equipo *Dynatel 965 DSP*, pero este no es capaz de enviar tonos a una frecuencia mayor que 1.1 MHz, por lo que las mediciones no son aptas para analizar el comportamiento del servicio *ADSL2+*, que utiliza un ancho de banda de 2.2 MHz. Por esta razón, se seleccionó el equipo *Sunset MTT*, el cual si es capaz de enviar tonos a las frecuencias deseadas. El circuito de medición se muestra en la Figura 40.

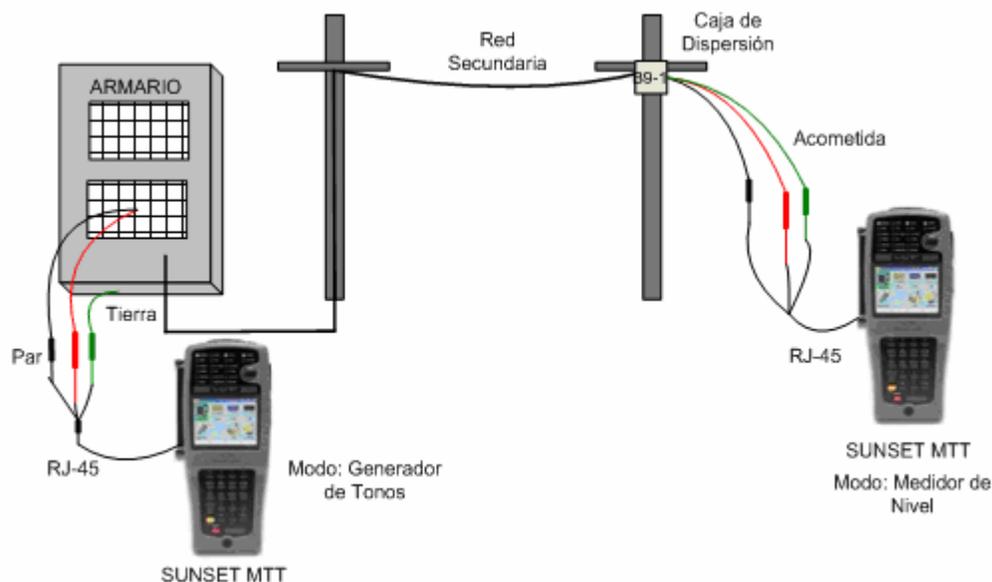


Figura 40. Circuito para la medición de la atenuación del par telefónico de cobre.

La medición de la atenuación se logra colocando un equipo *Sunset MTT*, en un extremo de la línea, configurado como generador de frecuencias. Este equipo envía un tono de prueba a una determinada frecuencia y con un valor de potencia que en la mayoría de los casos se fija en 0 dBm . En el otro extremo de la línea se coloca otro equipo *Sunset MTT*, pero configurado como medidor de nivel, con el fin de medir el nivel de potencia de la señal después de haberse propagado a lo largo de la línea de transmisión. El valor de la atenuación a la frecuencia de prueba, es la resta de la potencia a la que se envía el tono desde el generador de frecuencias; de la potencia recibida por el equipo medidor de nivel colocado al otro extremo de la línea de transmisión.

6.1.2 Medición de la longitud de los pares telefónicos de cobre

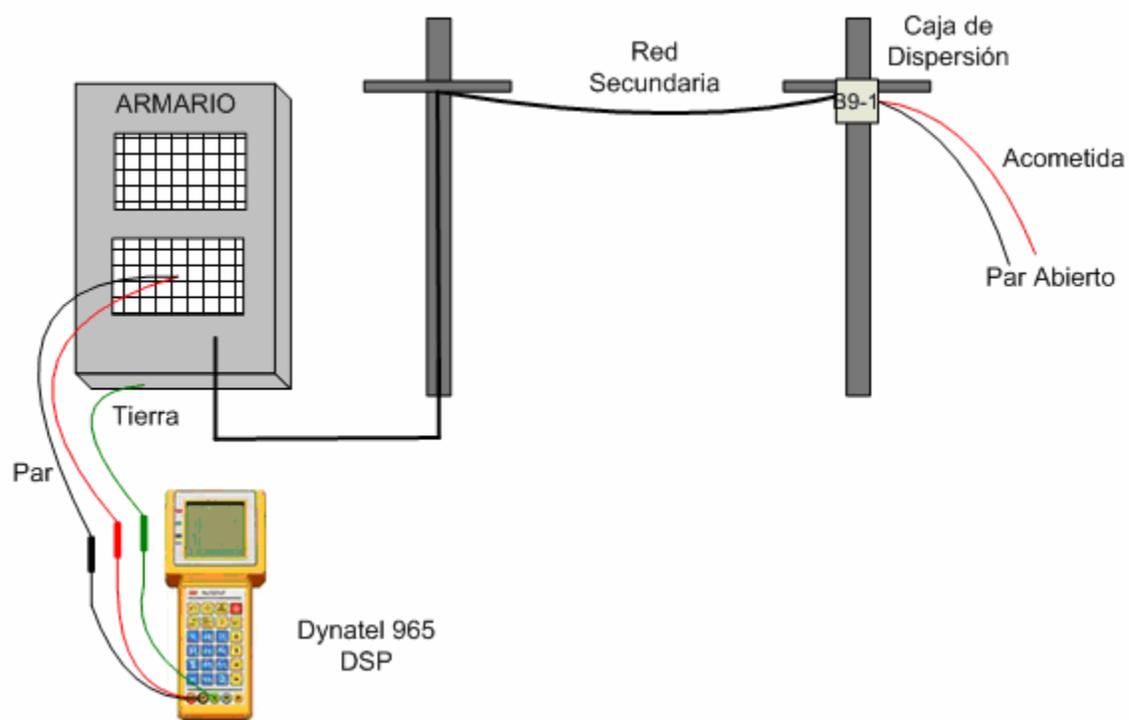


Figura 41. Circuito para la medición de la longitud del par telefónico de cobre.

La medición de la longitud de los hilos de cada par se realizó con el equipo *Dynatel 965 DSP*, de la marca *3M*. El equipo realiza la medición de la distancia del bucle basándose en la técnica de *Time Domain Reflectometer (TDR)*, en español, reflectometría en el dominio del tiempo. Se utilizó el circuito de medición que se muestra en la Figura 41.

Esta técnica opera enviando un pulso por la línea de transmisión hasta el extremo distante y midiendo el tiempo que tarda la señal en regresar, de esta manera calcula la longitud del par telefónico. De esta manera se determina la distancia desde el extremo del par telefónico donde se coloca el equipo hasta el otro extremo del par que se encuentra abierto.

Se realizaron las siguientes mediciones de acuerdo a la referencia utilizada:

- Longitud del hilo A con respecto a Tierra.
- Longitud del hilo B con respecto a Tierra.
- Longitud entre hilos A y B.

6.1.3 Medición de la capacitancia de los pares telefónicos de cobre

El circuito para la medición de la capacitancia de los pares telefónicos de cobre es el que se muestra en la Figura 41, mismo utilizado para la medición de la longitud.

La medición de capacitancia de los pares telefónicos de cobre, se realizó como parte de las pruebas preliminares para verificar el buen estado de estos, con el fin de garantizar que las pruebas de *ADSL2* y *ADSL2+*, se realizarían sobre una línea de transmisión libre de problemas de capa física.

La capacitancia de los hilos de cada par fue medida con el equipo *Dynatel 965 DSP*, de la marca *3M*. Para realizar la medición de la capacitancia se debe dejar en abierto el extremo lejano del par que se encuentra en medición.

Se realizaron las siguientes mediciones de acuerdo a la referencia utilizada:

- Capacitancia del hilo A con respecto a Tierra.
- Capacitancia del hilo B con respecto a Tierra.
- Capacitancia entre hilos A y B.

El propósito de medición de la capacitancia entre hilos, es el de comprobar los valores obtenidos de longitud de bucle, debido a que la capacitancia entre hilos del par está estrechamente relacionada con la longitud de este. El estándar de la G.996.1 de la UIT-T, define la capacitancia distribuida de una línea de transmisión telefónica de cobre con un valor constante de 50 nF/Km . De esta manera, la longitud de bucle puede calcularse, a partir de la capacitancia entre hilos, mediante la siguiente relación:

$$\text{Longitud del bucle} = \frac{C_{AB}}{50 \frac{\text{nF}}{\text{Km}}} \quad (6.1)$$

Por otra parte, la medición de la capacitancia de cada hilo con respecto a tierra nos permite obtener el balance capacitivo de la línea de transmisión, de la siguiente manera:

$$\% \text{ Balance Capacitivo} = \frac{(C_{AG} - C_{BG}) \cdot 100}{C_{AB}} \quad (6.2)$$

Donde, en la ecuación anterior:

C_{AG} : Capacitancia entre el hilo A del par y tierra.

C_{BG} : Capacitancia entre el hilo B del par y tierra.

C_{AB} : Capacitancia entre ambos hilos.

El valor de balance capacitivo aceptado por el ICE para la transmisión de servicios de banda ancha es de un 2% como máximo. Teóricamente entre menor sea el balance capacitivo de una línea de transmisión, mayor será la inmunidad al ruido que presentará el par telefónico. Esto se debe a que un par telefónico completamente balanceado en capacitancia tiene una estructura simétrica que permite que se dé el fenómeno de cancelación de los voltajes de ruido inducidos en el par.

6.1.4 Medición del ruido de fondo de los pares telefónicos de cobre

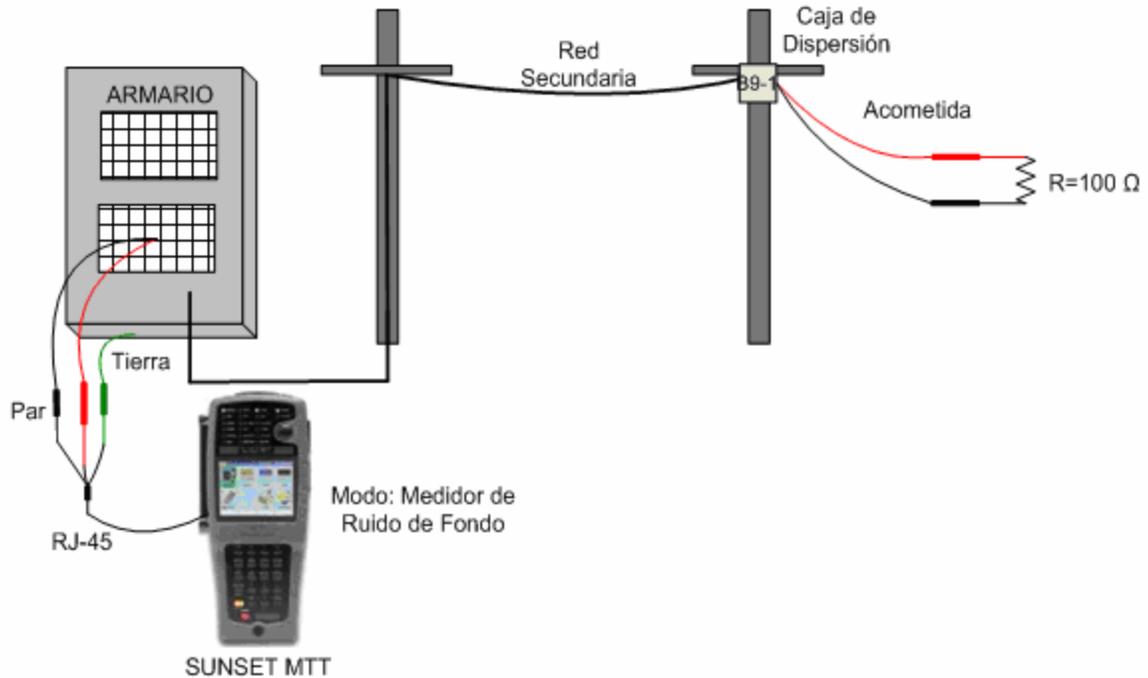


Figura 42. Circuito para la medición del nivel de ruido de fondo en el par telefónico de cobre.

Se realizó la medición del ruido de fondo distribuido en la línea de transmisión, utilizando el circuito de la Figura 42. El ruido considerado es el *AWGN* (*Additive White Gaussian Noise*, en español, Ruido Blanco Aditivo Gaussiano).

La densidad espectral de potencia (*PSD*) de la señal de ruido es una constante, y su gráfica es plana. El ruido es considerado como plano, debido a que la señal posee el mismo nivel de potencia en todas las frecuencias.

La medición del ruido de fondo es utilizada para detectar interferencias de otras fuentes como otros servicios digitales, radiodifusión AM o equipos electrónicos. De esta manera es posible medir el ruido en todo el espectro de frecuencias de ambas tecnologías *ADSL2* y *ADSL2+*, debido a que la medición se realiza mediante el uso de un analizador de espectros que posee una frecuencia límite de 2.208 MHz , suficiente para contemplar todo el ancho de banda de transmisión de la tecnología *ADSL2+*, que es el caso más crítico, ya que posee el mayor ancho de banda.

Esta medición es considerada como una medida de un solo extremo, ya que requiere de un solo equipo *Sunset XDSL* que realiza la toma de datos desde un sólo extremo del cable. El instrumento de medición debe ser configurado en modo medidor de ruido de fondo. Dentro de este modo de operación se debe configurar el equipo con un nivel de recepción en modo terminación (*TERM*). Esta opción se utiliza en conjunto con una resistencia de prueba en el extremo lejano de la línea de transmisión, la prueba se realiza fuera de servicio, sin una señal *DSL* activa.

6.1.5 Medición de la resistencia de aislamiento de los pares telefónicos de cobre

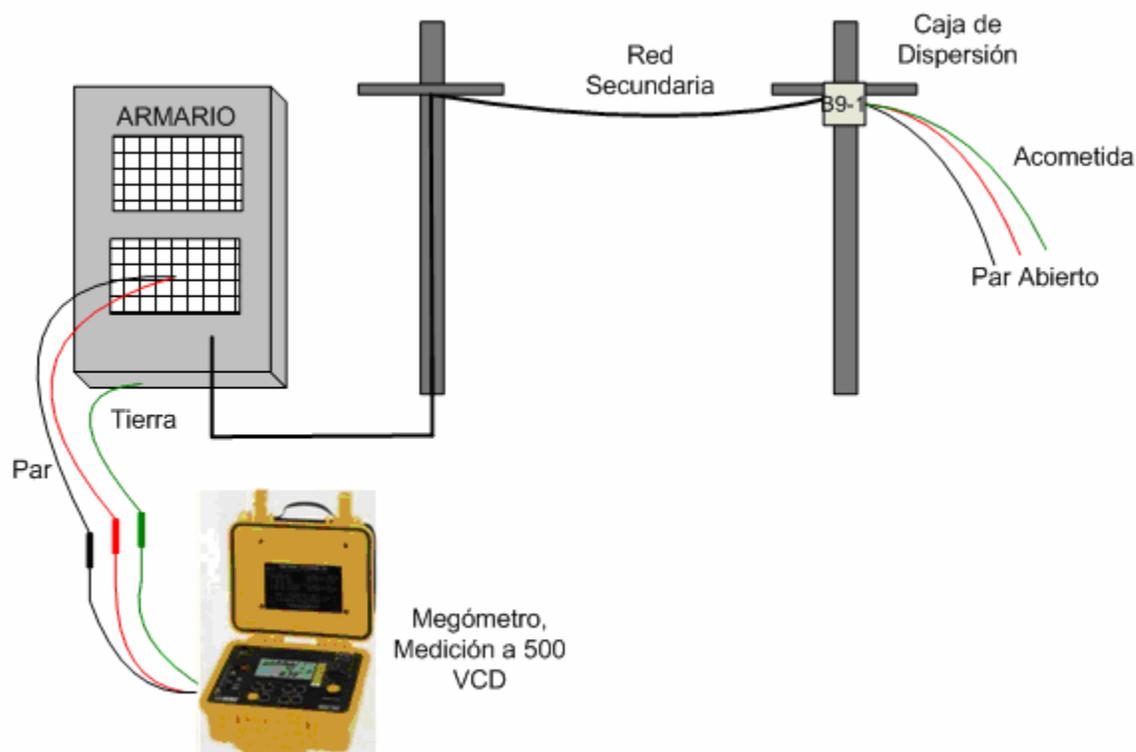


Figura 43. Circuito para realizar mediciones de la resistencia de aislamiento en el par telefónico de cobre.

La resistencia de aislamiento de una línea de transmisión es el inverso de la conductancia distribuida de esta. Las unidades de medición de esta son *Ohmios/Km*. Como norma del ICE, se considera que el valor de la resistencia de aislamiento de un par telefónico de cobre debe ser mayor a $1\text{ G}\Omega/\text{Km}$, para garantizar un buen desempeño de los servicios de banda ancha. Pero en la norma G.992.3, se encuentra que para garantizar eficiencia en los servicios de banda ancha, se permite una resistencia de aislamiento con un valor mayor a $10\text{ M}\Omega/\text{Km}$.

El equipo electrónico del que dispone el ICE y que fue utilizado para la medición de este parámetro eléctrico es el *Megger*, o Megóhmetro. El circuito de referencia para estas mediciones se muestra en la Figura 43. Este parámetro brinda información acerca de la calidad de aislamiento de los conductores de un par telefónico de cobre. La resistencia de aislamiento define la corriente que se pierde en forma de calor y de manera transversal a través del aislamiento de los conductores que constituyen el par telefónico. La causa principal de que suceda este fenómeno, es debido a que el aislamiento entre los conductores no separa a estos de manera ideal.

Para realizar la medición de este parámetro se debe mantener en abierto el extremo lejano del par telefónico que se encuentra en medición, y proporcionar por medio del equipo una tensión de prueba de 500 VCD.

De igual manera, se realizaron las siguientes mediciones de acuerdo a la referencia utilizada:

- Resistencia de aislamiento del hilo A con respecto a Tierra.
- Resistencia de aislamiento del hilo B con respecto a Tierra.
- Resistencia de aislamiento entre hilos A y B.

Se seleccionó la resistencia de aislamiento como parámetro a medir, debido a que es un buen indicador de las condiciones físicas en las que se encuentra la línea de transmisión. Esto debido, a que una línea telefónica que es considerada antigua, presenta valores bajos de resistencia de aislamiento en comparación con un cable o par telefónico instalado recientemente. Con el paso de los años, el material aislante o dieléctrico se degrada, y esto permite que haya una mayor corriente de fuga.

Por otra parte, la baja precisión en los valores de resistencia de aislamiento medidos experimentalmente, se debe a que este parámetro depende de una cantidad considerable de factores; entre ellos condiciones ambientales como por ejemplo la temperatura y humedad.

Teóricamente, el valor de la conductancia, G , en *Siemens/Km*, es normalmente muy bajo, cercano a cero. El valor de este parámetro es utilizado para indicar las pérdidas. El valor de la conductancia aumenta al incrementar la longitud del bucle, y por ende el valor de la resistencia de aislamiento debe disminuir al incrementar la longitud del cable.

6.1.6 Pruebas de factibilidad de los servicios *ADSL2* y *ADSL2+* en el par telefónico de cobre

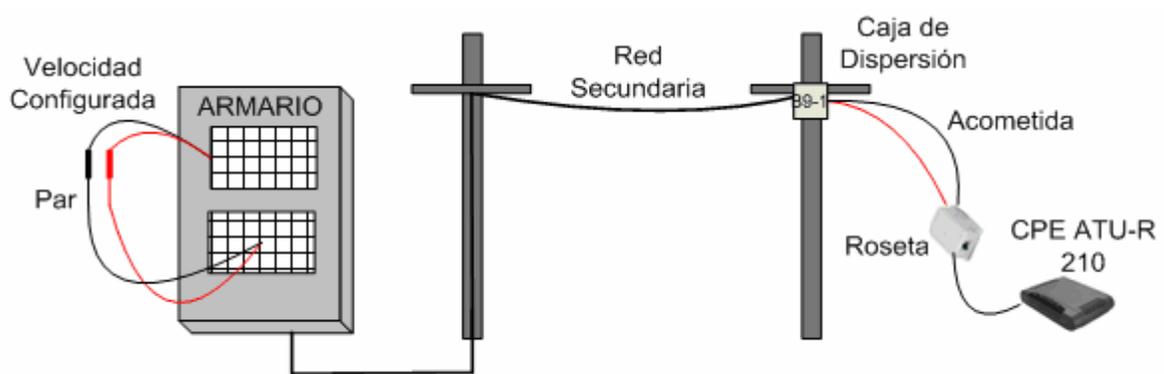


Figura 44. Circuito para realizar pruebas de factibilidad de servicios de banda ancha en el par telefónico de cobre.

Las pruebas de factibilidad se realizaron sin considerar la presencia de servicios perturbadores adyacentes. Se configuró únicamente un módem *CPE* en el extremo del cliente. Bajo estas condiciones la señal de interés se ve afectada solamente por el ruido blanco de la línea telefónica, y el ruido debido al fenómeno de diafonía es despreciable.

Como se puede observar en la Figura 44, se utilizó el módem *ATUR-210* como equipo terminal. El procedimiento y los pasos para la configuración de este equipo se detallan en la sección de anexos.

Las velocidades de conexión que se encuentran disponibles como servicios activos, en el *I-MAP* ó unidad remota (UR), localizado en el extremo del armario; fueron configurados mediante el *software* de monitoreo y administración *Clear Access*.

Una vez que se haya conectado el módem en el extremo del cliente, se debe esperar a que este sincronice a la velocidad configurada. Para esto se debe esperar a que el *LED* rotulado como *Link* en el *CPE*, encienda. Una vez que el servicio haya sincronizado, y se haya configurado la computadora, es posible acceder al sistema de gestión y configuración del *CPE*, mediante un *browser* (buscador) de *Internet*.

Los datos o estadísticas que se pueden obtener acerca de la conexión *ADSL* establecida son:

- Velocidad Entregada (*Kbps*)
- Velocidad Alcanzable (*Kbps*)
- Capacidad (%)
- Atenuación (*dB*)
- Potencia de transmisión (*dBm*)
- Razón señal a ruido (*dB*)

La capacidad es la relación que existe entre la velocidad entregada y la velocidad alcanzable.

Estas mediciones son realizadas tanto para el sentido de subida de datos (*UpStream*), como el de bajada de datos (*DownStream*)

6.1.7 Medición de la *PSD* (*Power Spectral Density*, Densidad Espectral de Potencia) de las señales de los servicios de banda ancha *ADSL2* y *ADSL2+*.

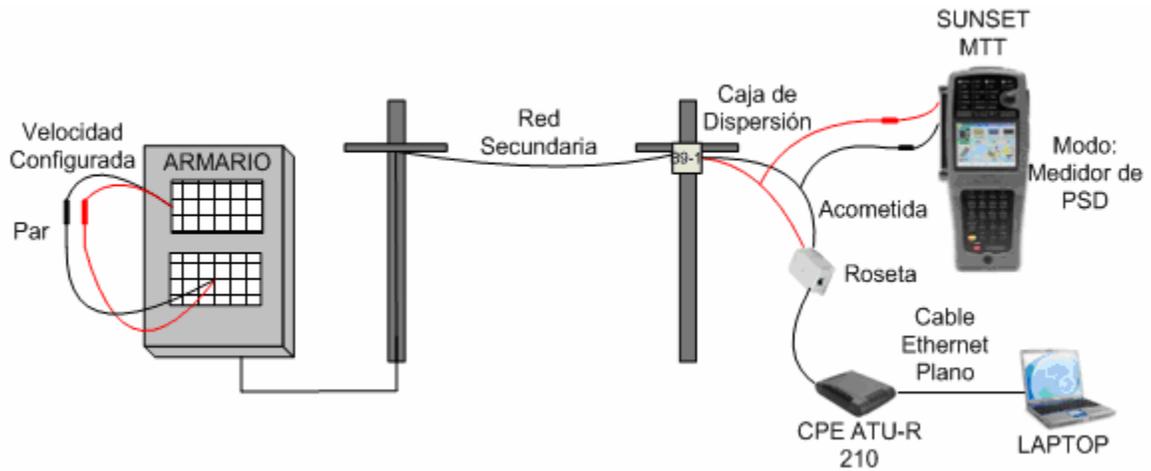


Figura 45. Circuito para realizar las mediciones de la *PSD* de los servicios *ADSL2* y *ADSL2+*.

La *PSD* es una función matemática que brinda información de como está distribuida la potencia de una señal sobre las distintas frecuencias de las que está conformada su espectro.

Para lograr realizar la medición de la densidad espectral de potencia (*PSD*) de ambos servicios, es necesario que la señal de interés se encuentre activa en la línea de transmisión. Es decir, el *CPE* se debe encontrar en funcionamiento y correctamente configurado, al igual que el *host* (el computador). El circuito de medición se muestra en la Figura 45.

Mediante la utilización del equipo *Sunset MTT*, configurado en modo: "Medidor de *PSD*", es posible medir la potencia en *dBm/Hz*, de la señal de interés en todo el espectro de frecuencias de ambas tecnologías *ADSL2* y *ADSL2+*, debido a que la medición se realiza mediante el uso de un analizador de espectros que posee una frecuencia límite de *2.208 MHz*, suficiente para contemplar todo el ancho de banda de transmisión de la tecnología *ADSL2+*, que es el caso más crítico, ya que posee el mayor ancho de banda.

Esta medición es considerada como una medida de un solo extremo, ya que requiere de un solo equipo *Sunset XDSL* que realiza la toma de datos desde un sólo

extremo del cable. El instrumento de medición debe ser configurado en modo medidor de ruido de fondo. Dentro de este modo de operación se debe configurar el equipo con un nivel de recepción en modo puente (*BRIDGE*), para realizar mediciones mientras se encuentra un servicio activo. Esta opción coloca al *Sunset* en un modo de alta impedancia que protege la señal, para que la gráfica obtenida durante la medición sea un resultado confiable.

Una vez configurado el equipo *Sunset MTT*, para realizar la medición de *PSD*, se debe conectar el equipo al par telefónico de cobre, mientras se mantiene la computadora en actividad, ya sea subiendo o bajando datos *Internet*, según se desee observar la gráfica de densidad espectral de potencia de bajada o de subida, respectivamente. Este instrumento de medición realiza la medida de la *PSD*, de manera directa. La Figura 46 muestra como se realiza está medición en el extremo de la unidad remota, para evitar que la señal sea atenuada por la línea de transmisión telefónica.

Si las mediciones son realizadas en el extremo del cliente, entonces, el valor de potencia de la señal de subida (*UpStream*) no se ve atenuada por la línea de transmisión, al contrario de la potencia de la señal de bajada la cual se ve afectada por el fenómeno de atenuación al propagarse a través del cable telefónico de cobre, debido a que la señal viaja desde la unidad remota hasta las instalaciones del abonado.

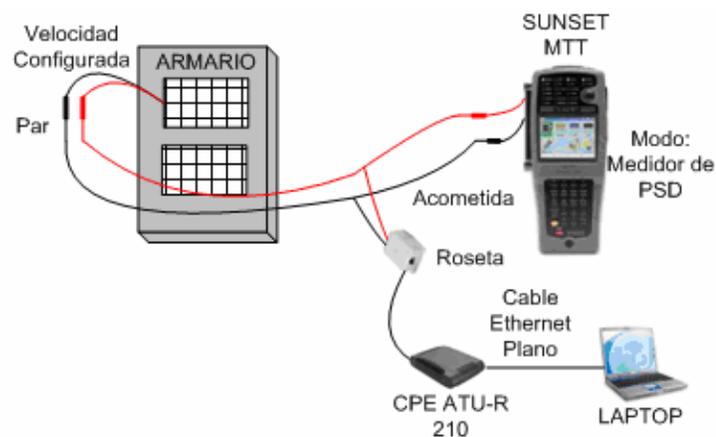


Figura 46. Circuito para realizar las mediciones de la *PSD* de los servicios *ADSL2* y *ADSL2+*, en el extremo de la UR.

6.2 Descripción de los equipos e instrumentos de medición utilizados

La siguiente, es una descripción de las principales características y funciones que soportan los equipos e instrumentos de medición utilizados en las pruebas experimentales realizadas sobre la red secundaria de cobre, con el objetivo de evaluar la capacidad y factibilidad de los servicios de banda ancha *ADSL2* y *ADSL2+*.

6.2.1 *Dynatel 965 DSP*

Este equipo es de la marca *3M*. Se puede ver en la Figura 47. Está en capacidad de realizar mediciones de capa física, como voltajes *AC/DC*, resistencia, y corrientes, así como otros parámetros característicos del bucle de abonado que son resistencia de bucle, desbalance resistivo, longitud del par telefónico.



Figura 47. *Dynatel 965 DSP.*

Por otra parte, posee un generador de tonos que permite enviar tonos de prueba a una frecuencia máxima de *1200 KHz*, para medición de la atenuación de la línea; razón por la cual este equipo no es adecuado para mediciones de evaluación del servicio *ADSL2+*, debido a que esta tecnología utiliza un ancho de banda de *2.208 MHz*.

Además mediante este equipo es posible localizar fallas resistivas, abiertos y corto circuitos. Por medio del ecómetro *TDR (Time Domain Reflectometer)*, es posible determinar la localización de abiertos, paralelos y bobinas de carga.

En cuanto a pruebas para servicios de banda ancha, este equipo posee un modo de “*Auto Test*”, para *ADSL* convencional, estándar *UIT-T G.992.1*. Simula un módem *ADSL* y permite realizar otras pruebas como medición de pérdidas *DSL*, ruido *DSL*. Además cuenta con un analizador de espectros, para mediciones del nivel de potencia a diferentes frecuencias.

En cuanto a sus limitaciones se encuentra el bajo voltaje de 75 VCD, al cual realiza la medición de la resistencia de aislamiento, así como la incapacidad de realizar un barrido de frecuencias hasta 2.2 *MHz* para la medición de la atenuación del servicio *ADSL2+*. Además está en capacidad de realizar pruebas de banda ancha pero solamente para *ADSL* convencional y no para los nuevos estándares *ADSL2* y *ADSL2+*.

6.2.2 Megóhmetro (*Megger*)

El *Megger*, es un instrumento de fácil utilización. Está diseñado para realizar mediciones de resistencia de aislamiento en las líneas de pares telefónicos. Los rangos de medición se pueden seleccionar mediante un control manual; por lo que se pueden realizar pruebas a diferentes voltajes CD. Este equipo de medición se muestra en la Figura 48.



Figura 48. Medidor de resistencia de aislamiento *Megger*.

6.2.3 *Sunset MTT XDSL*

Este equipo de medición es de la marca *Sunrise Telecom*. Es capaz de verificar el funcionamiento de servicios de banda ancha. Dispone de un *DMM (Digital Multimeter)*, para realizar mediciones de capa física como voltajes *AC/DC*, capacitancia, corriente, resistencia.



Figura 49. Instrumento de medición *Sunset MTT*.

Cuenta también con un *TDR (Time Domain Reflectometer)*, para la localización de fallas y estimación de longitud de los pares telefónicos, mediante la ubicación de abiertos. Mediante la utilización de dos equipos, es posible realizar la medición de la atenuación de la línea telefónica. Este instrumento de medición se muestra en la Figura 49.

Por otra parte cuenta con un analizador de espectros con una frecuencia máxima de *2.208 MHz*, para mediciones de ruido de fondo (*Background Noise*), así como para la medición de la densidad espectral de potencia (*PSD, Power Spectral Density*) de las tecnologías de banda ancha.

En el caso de pruebas para caracterización de servicios de banda ancha, cuenta con mediciones de la razón señal a ruido (*SNR, Signal to Noise Ratio*), la determinación de la velocidad ascendente y descendente, capacidad del canal, pruebas de conectividad a *Internet* mediante *PING (Packet Internet Grouper)*. Además realiza la emulación de un módem *ATU-R*, y de un *ATU-C*, o *DSLAM (Digital Subscriber Line Multiplexer)*.

Por último es capaz de realizar pruebas de precalificación del par telefónico de cobre utilizando diferentes estándares de la *ANSI*, y de la *ITU*. Como mejora, se le podría incorporar un módulo que permita realizar pruebas de evaluación de los servicios de banda ancha *ADSL2* y *ADSL2+*.

6.2.4 Módem, CPE ATU-R 210

El *ATU-R* (*ADSL Terminal Unit-Remote*, Unidad Terminal Remota de *ADSL*) es un *modem/router* (módem/enrutador) terminal que permite establecer la conexión *ADSL* con el módem de la central telefónica, el *ATU-C* (*ADSL Terminal Unit-Central*). Se encuentra localizado en el extremo del usuario. Es conocido también bajo el nombre de *CPE* (*Customer Premises Equipment*). El módem se puede observar en la Figura 50.



Figura 50. Módem *ATU-R 210*

Dentro de las características principales se encuentran:

- Soporte de *ADSL*, *ADSL2* y *ADSL2+*. Estándares *ITU G.992.1*, *G.992.3* y *G.992.5*.
- Tasa de transferencia de datos asimétrica, por arriba de *2.5 Mbps*, de subida, y *24 Mbps*, en el sentido de bajada.
- Ambiente de configuración basado en *Internet Browser* (Buscador de Internet).

Además, posee una interfaz física *WAN* (*Wide Area Network*, Red de Área Ancha), para soporte de líneas *ADSL*, por medio de un puerto telefónico *RJ-11*, así como cuatro interfaces o puertos *LAN* (*Local Area Network*, Red de Área Local) Ethernet *10/100 Mbps*, por medio de conectores *RJ-45*.

Capítulo 7. Descripción del software desarrollado

7.1 Software diseñado: Cálculo de la capacidad y factibilidad de las tecnologías de banda ancha: ADSL2 y ADSL2+

El programa de evaluación de la capacidad y factibilidad de los servicios de banda ancha para las tecnologías ADSL2 y ADSL2+, es una herramienta que se desarrollará con el fin de realizar una estimación de la velocidad que pueden alcanzar ambos servicios, a una distancia determinada.

Una vez calculada la velocidad máxima o capacidad del canal para cualquiera de las dos tecnologías, será posible determinar la factibilidad de ofrecer los servicios de banda ancha en una zona o lugar determinado, sin necesidad de realizar una valoración técnica mediante mediciones y pruebas de campo.

Se espera realizar la valoración técnica solo en aquellos casos donde la velocidad solicitada por el usuario sea mayor que la capacidad mínima del canal y menor que la capacidad máxima de este canal.

En otros casos, como por ejemplo cuando se solicite una velocidad de conexión inferior a la capacidad mínima del canal, el servicio será considerado como factible. Por otra parte si la velocidad de conexión solicitada es superior a la capacidad máxima del canal, el servicio será considerado como no factible; debido a que se estaría esperando una velocidad de conexión aún mayor al límite teórico matemáticamente calculado. La Figura 51 muestra un diagrama de nivel 1, donde se pueden observar las variables de entrada y salida del programa, que conforman el algoritmo que permite estimar la capacidad y factibilidad de ambos servicios de banda ancha.



Figura 51. Diagrama de primer nivel del programa a desarrollar.

En la Figura 51, se muestran las variables de entrada del algoritmo de estimación de la capacidad del canal, estas son:

1. El calibre del par telefónico de cobre, ya sea 0.4,0.5,0.65 y 0.9 mm.
2. El tipo de aislante o dieléctrico: polietileno o papel.
3. El tipo de servicio: *ADSL2* ó *ADSL2+*
4. La distancia desde la unidad remota, hasta la residencia del abonado.
5. La velocidad que será solicitada (en caso de que se desee hacer el cálculo de factibilidad de prestación del servicio).

Otras variables, también de consideración son:

1. La potencia del ruido *AWGN* (*Additive White Gaussian Noise*, Ruido Blanco Aditivo Gaussiano), en *dbm/Hz*.
2. La cantidad de servicios perturbadores, del mismo tipo que el servicio perturbado.
3. El índice de rigurosidad de la evaluación, denotado como ρ . El valor predeterminado para este es de 0.6, según la norma ANSI T1.413.

El programa desarrollado deberá estar en capacidad de permitir al usuario ingresar como parámetros todas las variables de entrada descritas anteriormente. Y deberá desplegar como variables de salida las siguientes:

1. La capacidad máxima de subida del canal.
2. La capacidad máxima de bajada del canal.
3. La factibilidad de brindar el servicio considerando las condiciones establecidas por el usuario.
4. Gráficas teóricas de la máscara de densidad espectral de potencia, para ambos servicios y tanto para el sentido de subida, como el de bajada.

El paquete de *software* utilizado para la implementación del algoritmo diseñado para el cálculo de la capacidad y estimación de la factibilidad de ambos servicios, fue el *MATLAB 6.0*. Este paquete es una herramienta matemática muy poderosa, ya que incluye una gran cantidad de funciones matemáticas para realizar diversos cálculos en variadas áreas de ingeniería. Además ofrece un entorno de desarrollo gráfico (*GUI, Graphic User Interface*, en español Interfaz Gráfica de Usuario) en el cual se puede crear un *software* sumamente amigable con el usuario, siendo agradable a la vista y sencillo de utilizar.

El algoritmo debe estar en capacidad de poder realizar el cálculo de la capacidad máxima del canal, utilizando las ecuaciones 5.36, 5.37, 5.38 y 5.39, obtenidas en el Capítulo 5.

Estas ecuaciones tienen como parámetros de entrada, las diferentes densidades espectrales de potencia, tanto para el sentido de subida como para el sentido de bajada, para ambas tecnologías *ADSL2* y *ADSL2+*, que se muestran en la gráficas que se muestran en la Figura 32, Figura 33, Figura 34 y la Figura 35.

Las ecuaciones matemáticas obtenidas para el cálculo de la capacidad máxima de transmisión de datos a través del par telefónico de cobre, requieren del cálculo previo de la función de transferencia del canal, la cual es dependiente de las características de la línea de transmisión; las cuales son el calibre, y el aislamiento del par telefónico de cobre. La función de transferencia del canal, como se observa en la ecuación 5.15, es también dependiente de la frecuencia de transmisión y de la distancia a la que se va desplazar la señal.

Entonces, como primer paso del algoritmo, se programó la función de transferencia del canal, $T(f)$. A su vez, esta función requiere como variables de entrada los parámetros distribuidos de resistencia $R(f)$, capacitancia $C(f)$, inductancia $L(f)$ y conductancia $G(f)$; todos en función de la frecuencia, por lo que cada uno de estos debieron ser programados como funciones mediante el paquete de *software MATLAB*. Estos parámetros distribuidos del modelo matemático de la función de

transferencia de la línea telefónica de cobre se muestran en las ecuaciones 5.16, 5.17, 5.18 y 5.19.

Como se puede ver en la ecuación 5.8, estos parámetros distribuidos se utilizaron para calcular el coeficiente de propagación γ , de esta manera sólo considerando el valor de la frecuencia de transmisión y la distancia a la que se va transmitir la señal de interés, es posible determinar la atenuación que va sufrir la señal al desplazarse a través de la línea de transmisión.

Por otra parte, la capacidad total del canal, independientemente del sentido de transmisión y de la tecnología seleccionada; debe realizarse mediante una sumatoria de las contribuciones de cada uno de los subcanales utilizados en la transmisión de la información. Por esta razón las ecuaciones de la 5.36 a la 5.39, que muestran la expresión matemática utilizada para calcular la capacidad total del canal, según la tecnología y el sentido de transmisión, se desarrollan mediante un ciclo *for* básico, el cual permite realizar la sumatoria de términos desde un límite inferior a uno superior, dependiendo de la naturaleza del cálculo. Esto es equivalente a realizar una integración en un ancho de banda determinado.

Como consideración para el cálculo de la razón señal a ruido (*SNR, Signal to Noise Ratio*), en el algoritmo desarrollado se consideró el efecto del ruido blanco aditivo gaussiano (*AWGN*), con un valor constante de -140 dbm/Hz . También se incluyó el efecto del ruido de diafonía (en inglés *crosstalk*), tanto en el extremo cercano *NEXT (Near End Crosstalk)*, como en el extremo lejano *FEXT (Far End Crosstalk)*. El ruido producido debido al fenómeno de la diafonía, se tomó en cuenta para efectos de futuras aplicaciones. Las mediciones realizadas con el fin de validar el modelo teórico obtenido, no fueron influenciadas por el ruido de diafonía, debido a que sólo se conectó un equipo terminal o *CPE*, al otro lado de la línea de transmisión. Por esta razón las mediciones no se vieron afectadas por el ruido de diafonía ocasionado por la presencia de servicios perturbadores adyacentes.

Para el cálculo del ruido de diafonía de tipo *FEXT*, se empleó la función de transferencia obtenida en el primer paso del algoritmo. La diafonía *FEXT*, debe considerar el efecto de atenuación que sufre la señal, debido a que su medición se

realiza con respecto al extremo lejano. Es por esta razón que para el cálculo de este tipo de diafonía se requiere la función de transferencia del canal. La expresión para el cálculo del ruido FEXT se programó de manera similar, en una función de *MATLAB*. Es importante considerar también que la diafonía *FEXT* considerada en el modelo teórico se conoce como *Self-FEXT* (Misma-*FEXT*), esto debido a que la señal perturbadora es del mismo tipo que la señal perturbada, no se considera el caso en que la señal perturbadora sea otro servicio diferente al servicio perturbado. La expresión para el cálculo de la diafonía de tipo *FEXT*, se muestra en la ecuación número 5.33.

De manera similar, para el cálculo del ruido de diafonía de tipo *NEXT*, que en este caso es considerado también como *Self-NEXT*, se programó también una función en *MATLAB*, con la expresión que permite determinar la potencia de este tipo de ruido de diafonía. El cálculo de este tipo de diafonía no involucra la función de transferencia del canal, debido a que el efecto de esta se toma en cuenta en el extremo cercano de la línea de transmisión. La expresión para el cálculo de la diafonía de tipo *NEXT*, se muestra en la ecuación 5.32.

Ambas ecuaciones de diafonía requieren como variables de entrada, el número de servicios perturbadores, identificado como n ; y el índice de rigurosidad al cual se va someter la evaluación ρ , según el estándar T1.413, de la ANSI. Estos valores son determinados e introducidos por el usuario, mediante una ventana de opciones en la ventana principal del programa.

De igual manera, ambas ecuaciones de diafonía requieren como variable de entrada las densidades espectrales de las señales perturbadoras, que según el caso que se encuentre en análisis, puede ser la señal de densidad espectral de potencia de *ADSL2*, o *ADSL2+*; también en ambos sentidos de transmisión, ya sea ascendente o descendente, según el caso en cuestión.

El ruido total que afecta el canal de transmisión, es obtenido sumando algebraicamente el ruido *Self-NEXT*, el *Self-FEXT* más el ruido *AWGN*.

Una vez calculadas la función de transferencia del canal, y por ende la atenuación que sufre la señal de interés, de acuerdo con el servicio seleccionado; así

como la potencia total de ruido, debida a los efectos de los tres diferentes tipos de ruido considerados en este modelo, se tiene entonces el valor de la razón señal a ruido, que determina directamente la capacidad de un canal de transmisión de información. Una vez obtenido este parámetro se calcula y despliega entonces la capacidad de subida del canal de transmisión; para posteriormente emplear nuevamente el algoritmo, pero para el sentido de bajada de datos, mediante la introducción al algoritmo de las ecuaciones anteriormente descritas.

Otra de las capacidades del programa es la de poder estimar la factibilidad de brindar cualquiera de los dos servicios en estudio, *ADSL2* y *ADSL2+*. Como resultado de esta valoración el programa debe catalogar la prueba de factibilidad solicitada por el usuario bajo alguna de las siguientes tres condiciones: servicio factible, servicio que debe someterse a valoración técnica, o servicio no factible. El servicio factible indica que el cliente está en capacidad de recibir el servicio solicitado a la distancia y velocidad establecidas. El servicio consultado debe someterse a valoración técnica cuando exista duda de si es posible brindar la velocidad solicitada por el usuario a la distancia a la que este se encuentra. Por último, un servicio catalogado como no factible indica que el cliente no está en capacidad de recibir el servicio solicitado a la distancia y velocidad establecidas.

Es necesario entonces, para poder identificar un servicio bajo cualquiera de las tres condiciones anteriormente mencionadas; definir dos límites: un límite que establece la capacidad mínima del canal, y otro que establece la capacidad máxima del canal. El límite máximo para la capacidad del canal, es el establecido por las ecuaciones de la 5.36 a la 5.39. Para obtener el límite mínimo de capacidad del canal es necesario reajustar en estas ecuaciones, el denominado margen de seguridad.

La ecuación para la obtención de la capacidad mínima del canal tiene la misma forma que la utilizada para el cálculo de la capacidad máxima del canal; con la salvedad de que se utiliza en el margen de seguridad σ , un valor de margen de *Shannon* del doble con respecto al utilizado para la capacidad máxima.

La ecuación (5.17] muestra la relación matemática para el cálculo del margen de seguridad, utilizado en el cálculo de la capacidad máxima del canal:

$$\text{Rango de Seguridad } \sigma = (9.8 - 3.8 + 6) = 12 \text{ dB}$$

La expresión para calcular el margen de seguridad, en el caso del cálculo de la capacidad mínima del canal, sería idéntica pero utilizando el doble del valor de la constante del margen de *Shannon*. Es decir:

$$\text{Rango de Seguridad } \sigma = (9.8 - 3.8 + 12) = 18 \text{ dB}$$

Esta consideración es previendo la aparición de diversos fenómenos aleatorios e impredecibles que disminuyan la capacidad del par telefónico de cobre de alcanzar la velocidad máxima, como por ejemplo: el ruido impulsivo, y la interferencia de radio AM.

Considerando que las velocidades solicitadas por el usuario son *CDown* (Bajada) y *CUp* (Subida), y las velocidades máximas teóricas son *CDownMáx* y *CUpMáx*, así como *CDownMín* y *CUpMín* son las velocidades mínimas estimadas, considerando el margen de seguridad; entonces el algoritmo para el cálculo de factibilidad de los servicios de banda ancha se muestra en la Figura 52.

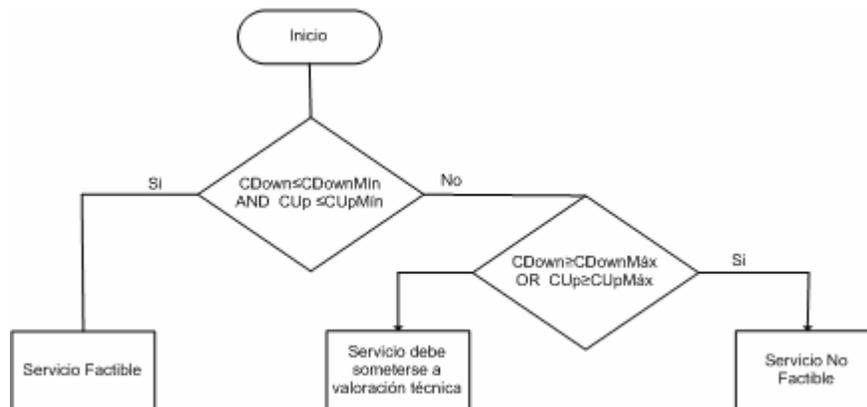


Figura 52. Diagrama de flujo que describe el algoritmo para la evaluación de la factibilidad.

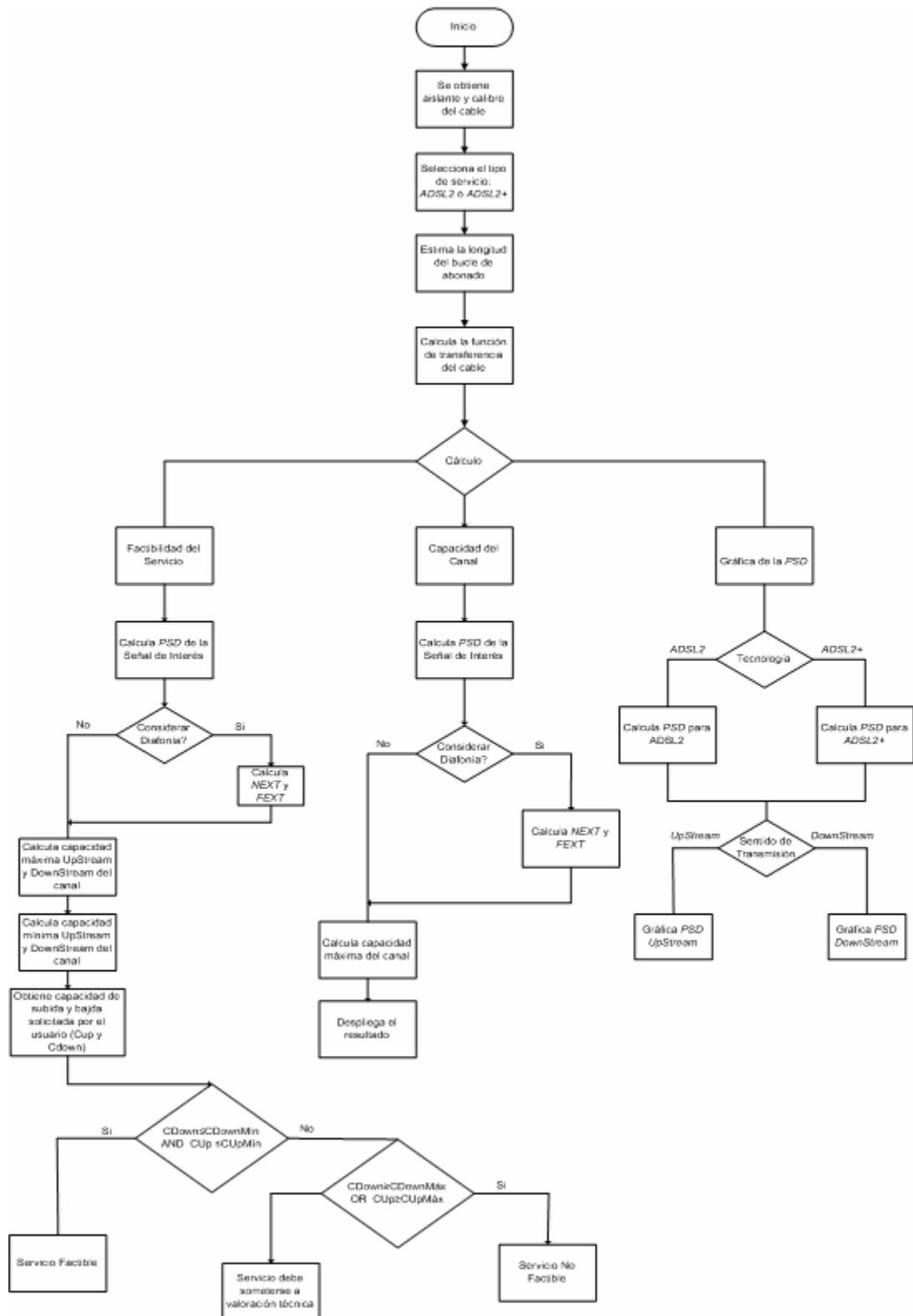


Figura 53. Diagrama de flujo del software desarrollado.

7.2 Manual de utilización del *software* de cálculo de la capacidad del canal y evaluación de la factibilidad de servicios de banda ancha *ADSL2* y *ADSL2+*

El *software* para el cálculo de la capacidad del canal y evaluación de la factibilidad de servicios de banda ancha *ADSL2* y *ADSL2+*, fue diseñado de manera que presente una interfaz amigable al usuario y que a la vez sea una herramienta práctica y de fácil utilización, como se ve en la Figura 54.

The screenshot shows a software window titled "Servicios ADSL2 Y ADSL2+" with a menu bar containing "Opciones", "Acerca de", and "Salir". The main area is organized into several sections:

- Calibre del cable:** Radio buttons for 0.4 mm (selected), 0.5 mm, 0.65 mm, and 0.9 mm.
- Aislante del cable:** Radio buttons for PE (Polietileno) (selected) and Papel, with a "Personalizar" checkbox below.
- Tipo de servicio:** A dropdown menu currently showing "ADSL2".
- Distancia(Km):** A text input field containing the number "0".
- Capacidad del canal (Mbps):** Two text input fields for "Upstream" and "Downstream", both containing "0", with a "Calcular" button below them.
- Grafica de la PSD:** Two buttons labeled "Upstream" and "Downstream".
- Prueba de Factibilidad:** A dropdown menu set to "Velocidad Subida/Baje", a "Factibilidad" text input field, and a "Calcular" button.

Figura 54. Ventana principal para el cálculo de la capacidad del canal y evaluación de la factibilidad de servicios de banda ancha *ADSL2* y *ADSL2+*.

El *software* diseñado permite que el usuario ingrese al programa las principales variables que caracterizan el servicio desde una ventana principal. Estas variables son: el calibre y el aislante del cable; el tipo de servicio y la distancia en Km. De manera predeterminada, se fijaron los parámetros del cable como: calibre de 0.4 mm y aislante polietileno. Estos son los valores más comunes. Estas variables de

entrada son suficientes para lograr caracterizar un servicio en cuanto a la capacidad de transmisión y factibilidad. La idea principal es que este *software* pueda ser utilizado por cualquiera de los funcionarios del departamento de Evaluación de Red y Sistemas, o cualquier otro departamento del ICE, que requiera de la necesidad de utilizar el *software* de predicción de capacidad y factibilidad de los servicios de banda ancha. Es por esta razón que la ventana principal del programa fue diseñada de la manera más sencilla posible.

Por otra parte, en caso de que el *software* se desee utilizar para fines de realizar una evaluación técnica más rigurosa, se diseñó la ventana de opciones. Esta ventana se puede acceder desde la ventana principal, haciendo *click* en el menú *Opciones* y posteriormente en el submenú *Ruido*. En este cuadro de opciones es posible establecer si se desea considerar o no, el efecto del ruido blanco aditivo gaussiano (*AWGN*). Esto se selecciona haciendo *click* en el *checkbox* con la etiqueta “Ruido Blanco”. En caso afirmativo, se puede establecer el nivel de potencia en *dbm/Hz* que se desea considerar. Por *default* (defecto) el modelo teórico considera la presencia de un nivel de ruido *AWGN* de -140 *dbm/Hz*. Para almacenar las opciones seleccionadas se debe hacer *click* en el botón “OK” que aparece al final del cuadro de diálogo de opciones, tal como se muestra en la Figura 55.

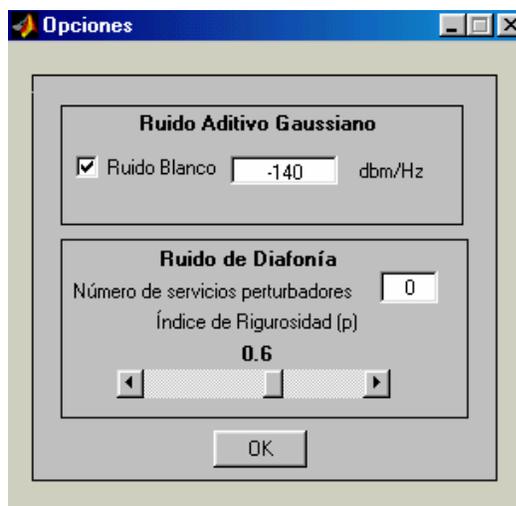


Figura 55. Ventana de opciones de configuración de ruido.

Por otra parte, también desde este mismo cuadro de opciones se puede definir si se desea considerar el fenómeno de ruido de diafonía, en el cual se consideran los efectos del ruido *Self-NEXT* y el *Self-FEXT*. Como opción *default*, el ruido de diafonía no es considerado dentro del modelo teórico, por lo que el número de servicios perturbadores es de cero, definiendo así que no existen servicios adyacentes perturbando el servicio en análisis. Si se desea tomar en cuenta el efecto del ruido de diafonía dentro del modelo teórico, entonces solamente es necesario introducir el número de servicios perturbadores que afectan el servicio en estudio.

Otra de las opciones posibles de manipular es el índice de rigurosidad ρ en el modelo del ruido de diafonía. Este se puede seleccionar haciendo *click* en las flechas de los extremos del panel de la barra de deslizamiento. Haciendo *click* en la flecha de la derecha se aumenta el valor en una magnitud de 0.1, hasta llegar a un máximo de 1.0, lo que indica un máximo de rigurosidad en la evaluación del modelo teórico del ruido de diafonía. De manera similar es posible hacer *click* en la flecha de la izquierda, por lo que se disminuye este valor en intervalos de 0.1 por cada *click*, es posible llegar hasta un mínimo de 0.0, que indica una evaluación no rigurosa. También es posible cambiar este valor posicionándose sobre la barra de control, haciendo *click* y arrastrándola con el *mouse* hacia la derecha o hacia la izquierda según se desee. El valor predeterminado del índice de rigurosidad de la evaluación es de 0.6, por lo que se aconseja no cambiar este valor, ya que es el recomendado por el estándar internacional *ANSI T1.413*. De igual manera para almacenar las opciones seleccionadas se debe hacer *click* en el botón “OK” que aparece al final del cuadro de diálogo de opciones.

Dentro de la ventana principal, en el panel de selección de los parámetros del cable, se incluyó un *checkbox* con la leyenda “Personalizar”. Al hacer *click* en este control se abre una nueva ventana que permite configurar la topología o escenario del bucle del abonado. La ventana de personalización del bucle del abonado se muestra en la Figura 56.

Se decidió incluir esta “personalización” del bucle, debido a que la red secundaria de líneas telefónicas no siempre presenta un mismo calibre a lo largo de todo su trayecto. Por ejemplo, es posible encontrar tramos en los que se tiene una sección de cable con calibre de 0.65 mm, seguido de un cable con un calibre de 0.9 mm; ambas secciones con distancias completamente variables. Por esta razón se decidió incluir la opción de configurar el bucle del abonado.



Figura 56. Ventana de personalización del bucle de abonado.

La ventana de personalización de la línea de transmisión tiene como parámetros de entrada el número de bucle, la longitud en metros de este, el calibre en mm, y el tipo de aislante, que puede ser polietileno o papel. El programa permite incluir hasta un número de cinco bucles diferentes, lo cual se considera suficiente, debido a que el ICE utiliza solamente los cuatro tipos de calibre contemplados dentro de estándares como el UIT-T *G.996.1*, o el *ANSI T1.413*, los cuales son 0.4 mm, 0.5 mm, 0.65 mm y 0.9 mm.

Este cuadro de personalización de la línea de transmisión permite ir observando una gráfica representativa de la topología del bucle de abonado que está siendo seleccionada. Esta gráfica se observa en la parte inferior de este cuadro de diálogo de configuración. Esta nos muestra la ubicación de la UR (unidad remota, ubicada dentro del armario, y es el punto del bucle del abonado donde la distancia es considerada de cero metros), así como la ubicación del *CPE (Customer Premises Equipment)*, que es el módem ubicado en el extremo del abonado). La gráfica entonces, nos va mostrando la cantidad de tramos que se van seleccionando, cada uno con la distancia, el aislante y el calibre correspondiente. Esto le permite al usuario del programa, tener una idea visual de la topología de bucle que se encuentra configurando.

Una vez que se haya configurado la topología o escenario del bucle de abonado, los cambios se aplican e introducen al modelo teórico de predicción haciendo *click* en el botón “Aplicar”, ubicado en la parte inferior de la ventana de personalización de la línea de transmisión.

7.2.1 Cálculo de la capacidad del canal y evaluación de la factibilidad de las tecnologías de banda ancha *ADSL2* y *ADSL2+*

Una vez seleccionadas las características físicas del bucle de línea de abonado, en cuanto a parámetros como longitud del bucle, calibre del cable, aislante; y definido también el tipo de servicio a evaluar, es posible proceder a realizar la capacidad máxima del canal de transmisión, en función de las condiciones establecidas por el usuario.

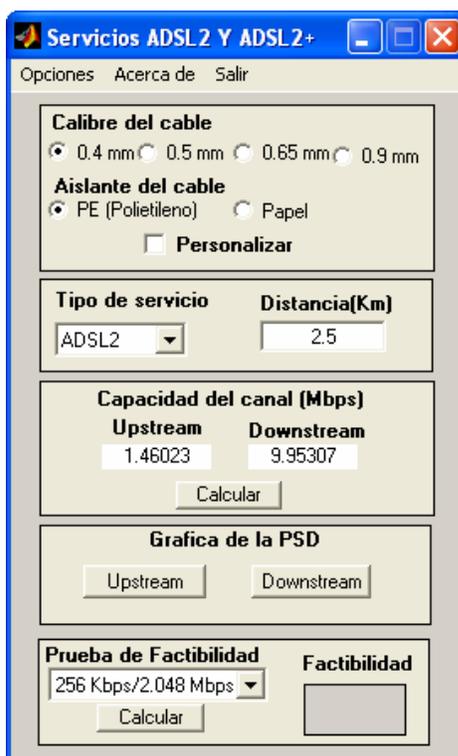


Figura 57. Ventana que muestra el cálculo de la capacidad de la tecnología.

Para realizar el cálculo de la capacidad máxima del canal, se debe realizar *click* en el botón “Calcular”, que se encuentra ubicado en el panel “Capacidad del Canal”. En la etiqueta *UpStream* se muestra la capacidad máxima del canal de transmisión en el sentido de subida, en unidades de *Mbps* (*Mega Bits* por segundo), así como en la etiqueta *DownStream* se muestra la capacidad máxima del canal de transmisión en el sentido de bajada, también en *Mbps*; para el tipo de servicio, distancia y características del cable seleccionadas previamente.

La prueba de evaluación de factibilidad de los servicios de banda ancha es utilizada para determinar si el ICE está en capacidad de brindar cobertura a una distancia determinada, para las condiciones establecidas como parámetros de entrada en el *software* de predicción de factibilidad. Dichas condiciones establecidas, son las mismas que para el cálculo de la capacidad del canal, estas son: las características del cable del bucle de abonado, la distancia, y el tipo de servicio a analizar.

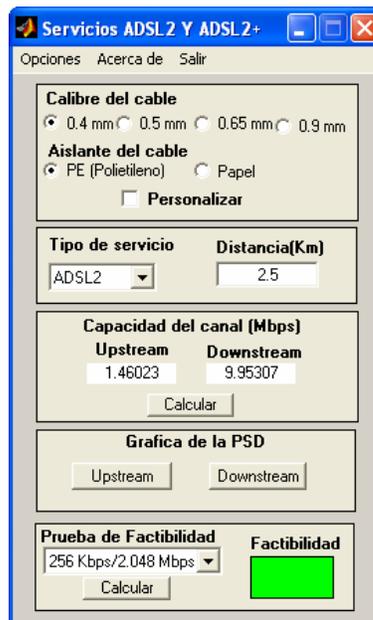


Figura 58. Pantalla que muestra el cálculo de la factibilidad de la tecnología.

Para realizar la evaluación de factibilidad de un servicio determinado, se seleccionan las características del bucle de abonado, ya sea en la ventana principal, o mediante la opción de "Personalizar", estudiada previamente. Además se define el tipo de servicio, ya sea *ADSL2* ó *ADSL2+*. Posteriormente se selecciona en el panel de "Prueba de Factibilidad", el par de velocidades "*UpStream*" y "*Downstream*", que corresponden al servicio al cual el cliente desea disponer. Seguidamente se hace *click* en el botón "Calcular", y el programa se encarga de caracterizar el servicio solicitado, desplegando como resultado cualquiera de las siguientes tres condiciones: servicio factible, servicio que debe someterse a valoración técnica, o servicio no factible; según sea el caso.

7.2.2 Gráfica de la Densidad Espectral de Potencia, “UpStream” y “DownStream”, para “ADSL2” y “ADSL2+”

El programa permite también realizar una gráfica de la máscara de densidad espectral de potencia *PSD* (*Power Spectral Density*), en ambos sentidos de transmisión de datos, ya sea *UpStream* (Subida) o *DownStream* (Bajada). Esta *PSD* puede ser graficada para cualquiera de las dos tecnologías *ADSL2* ó *ADSL2+*.

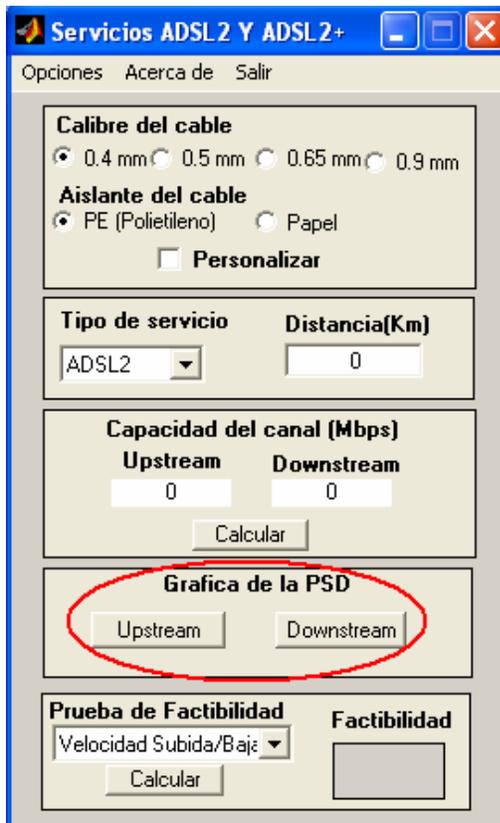


Figura 59. Ventana de gráfica de *PSD*.

La obtención de esta gráfica es sumamente sencillo, debido a que solamente se debe seleccionar la tecnología de banda ancha en la pestaña “Tipo de Servicio”, ubicada en el panel principal del programa, y posteriormente hacer *click*, en alguno de los botones *UpStream* o *DownStream* (según la gráfica que se desee), localizados en el panel “Gráfica de la *PSD*”, como se muestra en la Figura 59.

Las gráficas teóricas obtenidas fueron tomadas de los estándares de la Unión Internacional de Telecomunicaciones UIT-T G.992.3 (ADSL2) y UIT-T G.992.5 (ADSL2+). A continuación se muestran las diferentes gráficas obtenidas mediante el programa diseñado:

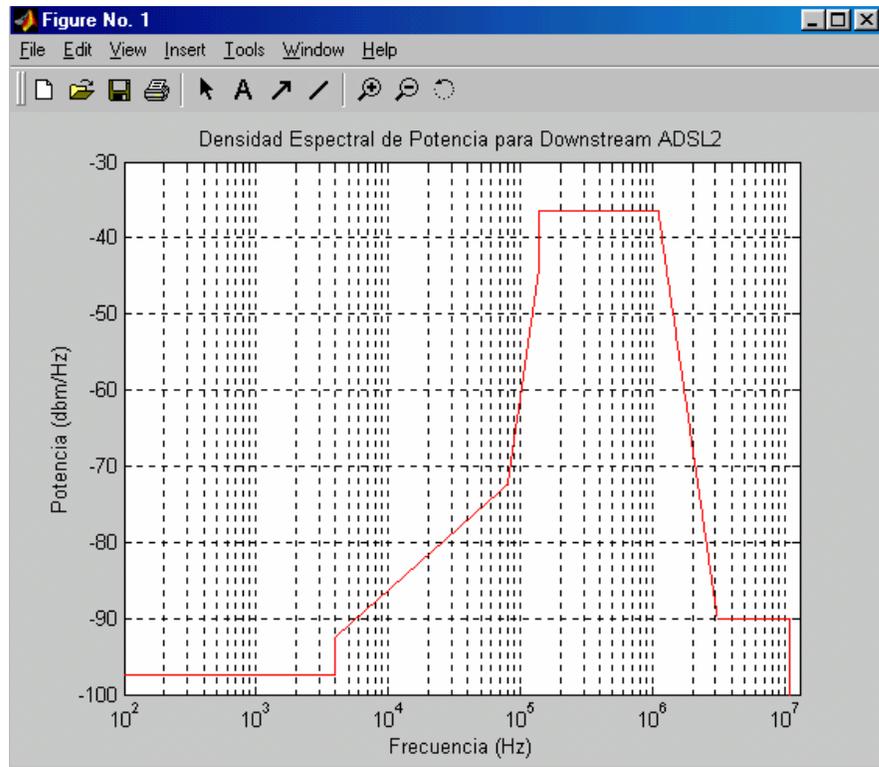


Figura 60. Densidad espectral de potencia en el sentido de bajada para ADSL2.

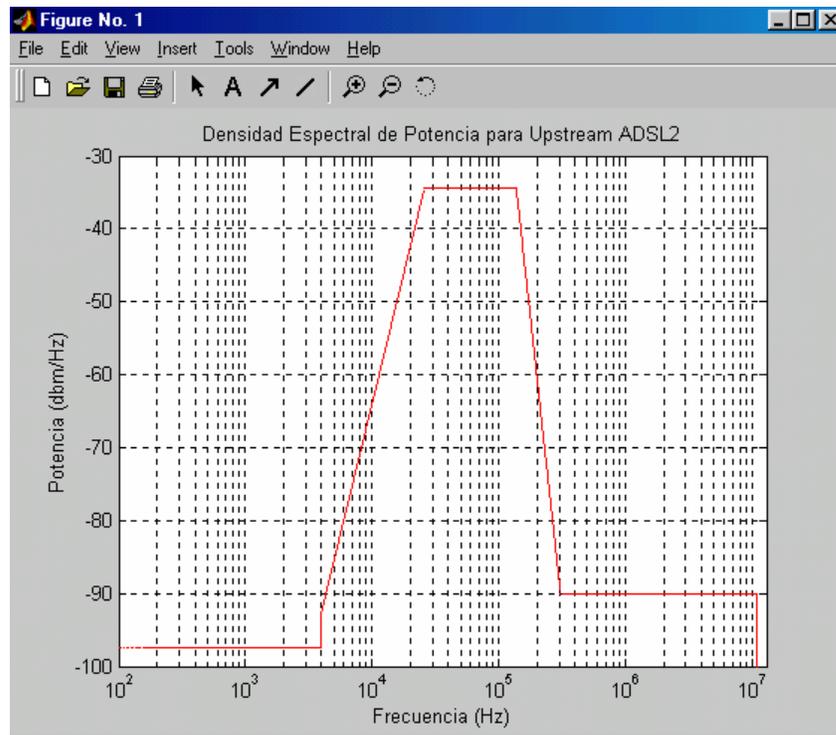


Figura 61. Densidad espectral de potencia en el sentido de subida para ADSL2.

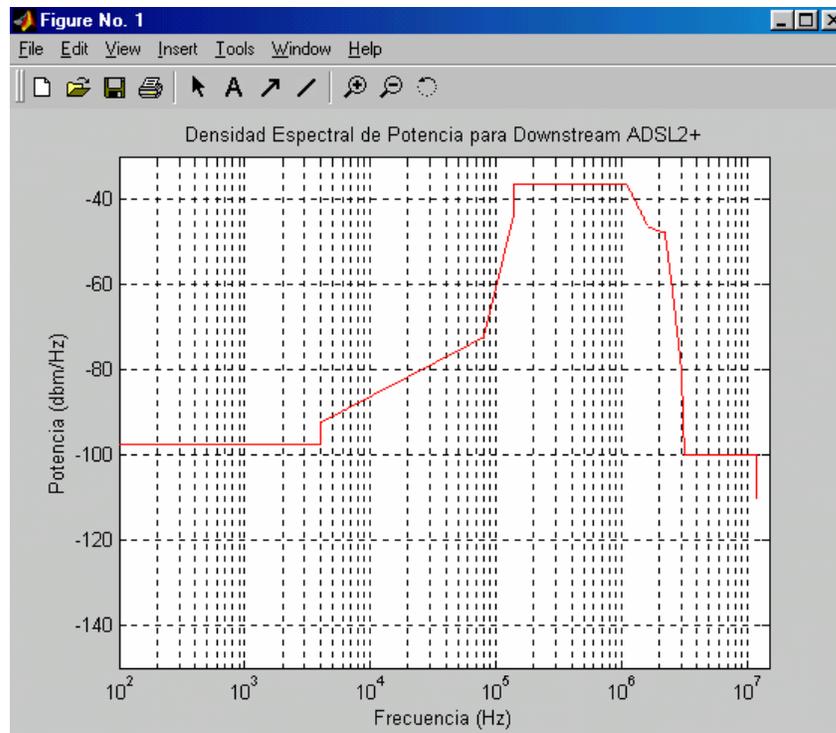


Figura 62. Densidad espectral de potencia en el sentido de bajada para ADSL2+.

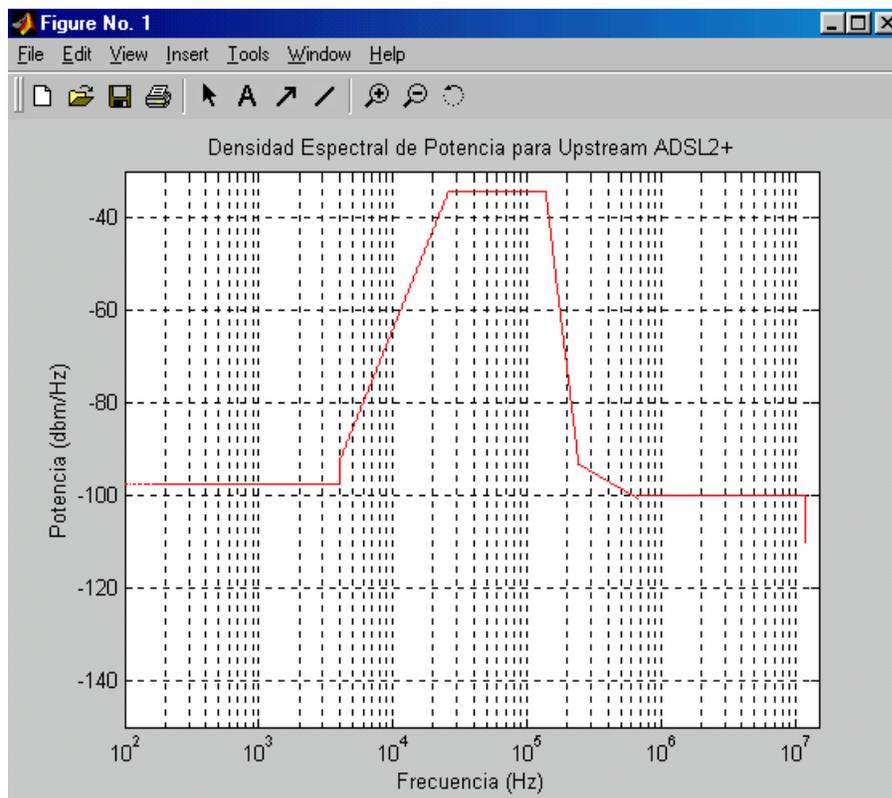


Figura 63. Densidad espectral de potencia en el sentido de subida para ADSL2+.

Las gráficas teóricas obtenidas de la *PSD* para cada una de las tecnologías ADSL2 u ADSL2+, son de gran utilidad en el desarrollo del modelo teórico, porque son utilizadas para contrastarlas con la señal no atenuada, obtenida de mediciones experimentales en el extremo del *I-MAP*, que cumple la función de unidad remota. La *PSD* de la señal de interés, medida experimentalmente, es un parámetro de ajuste del modelo teórico de suma importancia, ya que permite ajustar el modelo de predicción teórico a las condiciones y características de funcionamiento de los equipos de los que dispone el ICE, y que se encuentran instalados en diversos sectores a lo largo del país.

Por último, la siguiente figura muestra la ventana con el cuadro “Acerca de”, donde se indica el departamento del ICE para el cual se desarrolló el *software* para el cálculo de la capacidad del canal y factibilidad de los servicios de banda ancha *ADSL2* y *ADSL2+*, así como el título del proyecto realizado y el nombre del programador.



Figura 64. Ventana Acerca de.

Capítulo 8. Análisis de Resultados

8. Análisis de los resultados de las mediciones

Las mediciones experimentales se realizaron en tres diferentes distritos del cantón de San Ramón de Alajuela, estos son: el distrito 20, Volio; el distrito 36, de San Miguel de Piedades Sur y el distrito 16 de Calle Zamora.

Todos los pares tienen como aislante polietileno. No fue posible encontrar líneas telefónicas con aislante de papel, debido a que la mayoría de cables con este tipo de aislante son los que pertenecen a la red primaria y presentan mayor antigüedad.

8.1 Atenuación del par telefónico de cobre

8.1.1 Atenuación de la línea en el distrito 20, Volio

La siguiente tabla muestra la cantidad de pares seleccionados según criterios de distancia, para el distrito de Volio. En este distrito se tenía en los tramos de longitud corta un calibre de cable de 0.65 mm, y en los pares más largos como el A2-1, A2-2 y el E2-1 se tiene una combinación de calibre 0.65 mm, con 0.9 mm; este último en el extremo cercano al abonado.

Tabla 9. Distancias seleccionadas para la realización de pruebas experimentales en el distrito de Volio.

Número de par	Distancia(m)		
	Hilos A-B	Hilo A-Ground	Hilo B-Ground
B9-1	769	---	---
B9-4	710	728	732
C5-6	2141	2120	2110
C5-7	2150	2187	2183
A8-7	2521	2515	2520
A8-10	2404	2503	2521
A2-1 ¹	5370	5220	5220
A2-2	5270	5260	5250
E2-1 ²	6880	6850	6870

¹ Aproximadamente 4000 m en 0.65 mm y 1370 en 0.9 mm

² Aproximadamente 4000 en 0.65 mm y 2880 en 0.9 mm

En las Figura 65, Figura 66 y en la Figura 67 se contrasta el valor de las mediciones experimentales de atenuación del cable telefónico, con el valor teórico obtenido mediante el modelo matemático desarrollado. En estas gráficas se puede observar la tendencia y la aproximación entre la estimación realizada por el *software* que calcula la función de transferencia del cable, y por ende la atenuación de este.

En la Figura 65, se tiene una gráfica de la atenuación en *dB*, en función de la frecuencia en *KHz*. Esta gráfica compara los valores teóricos y experimentales obtenidos para un par telefónico ubicado a 769 m de la unidad remota. El calibre del cable analizado es de 0.65 mm.

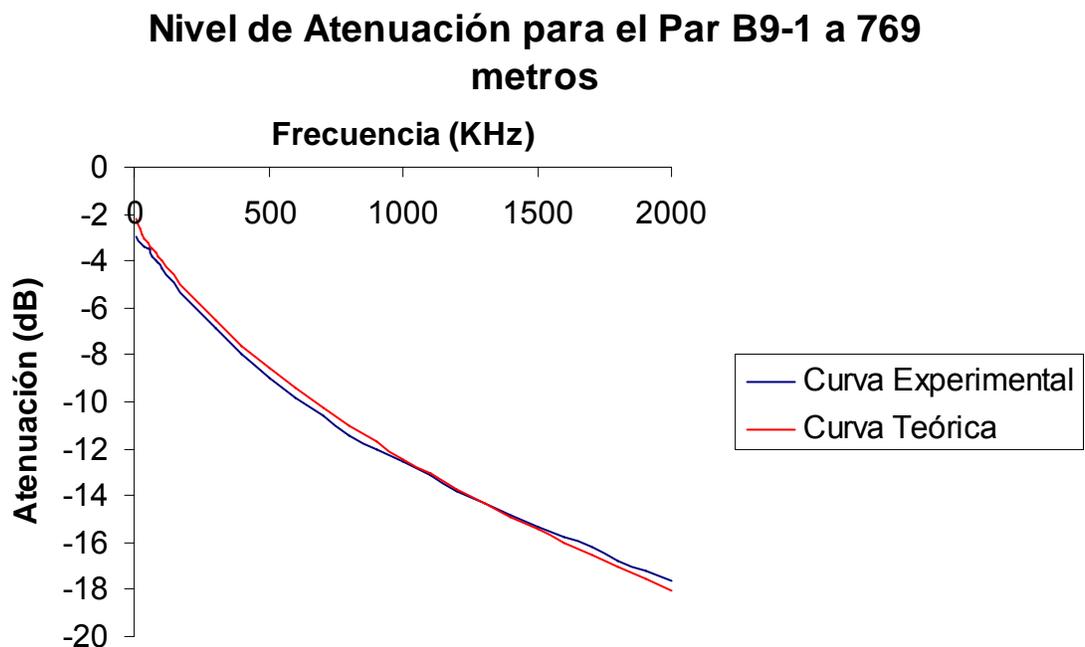


Figura 65. Curvas experimental y teórica para el par B9-1 ubicado a 769 metros de la unidad remota, en el distrito de Volio. El calibre del cable es de 0.65 mm.

En la Figura 66 y en la Figura 67, se muestra la comparación entre las curvas experimental y teórica para un cable telefónico que posee la característica de iniciar con un calibre de 0.65 mm y finalizar con un calibre diferente, de 0.9 mm.

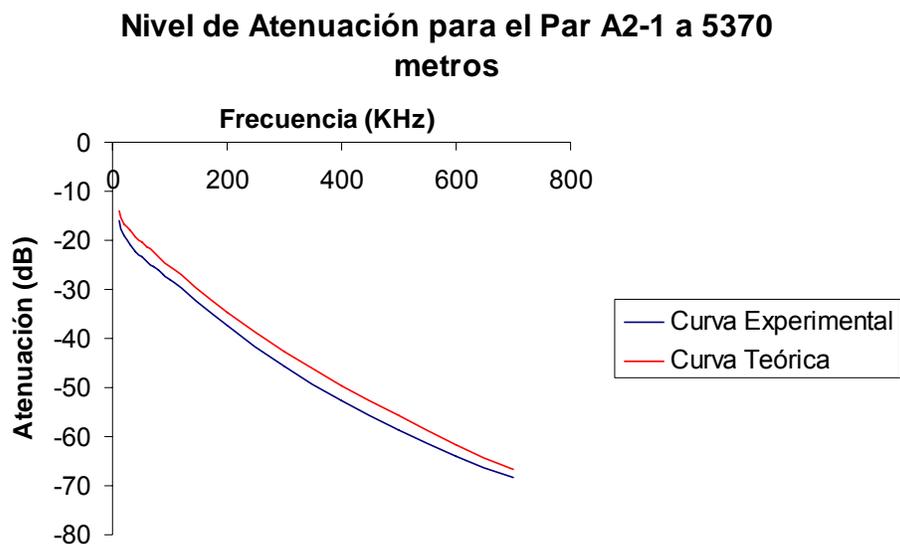


Figura 66. Curvas experimental y teórica para el par A2-1 ubicado a 5370 metros de la unidad remota, en el distrito de Volio. El calibre del cable es de 0.65 mm los primeros 4000 m y de 0.9 mm los restantes 1370 m.

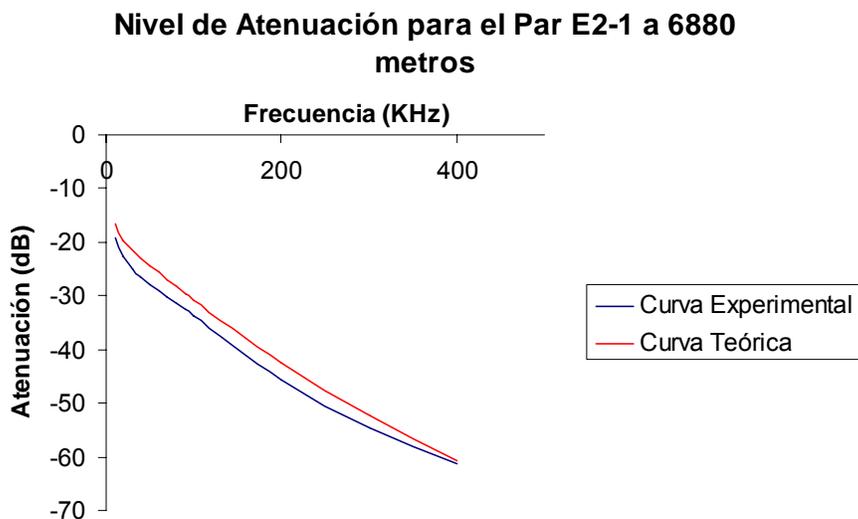


Figura 67. Curvas experimental y teórica para el par E2-1 ubicado a 6880 metros de la unidad remota, en el distrito de Volio. El calibre del cable es de 0.65 mm los primeros 4000 m y de 0.9 mm los restantes 2880 m.

8.1.2 Atenuación de la línea en el distrito 36, San Miguel de Piedades Sur

El distrito de San Miguel de Piedades Sur, cuenta con todos sus pares de cable telefónico con un calibre de 0.4 mm. En la Tabla 10, se muestran los pares seleccionados para la realización de las pruebas experimentales. En color rojo se indican los pares que fueron seleccionados para pruebas de evaluación de la capacidad de los servicios de banda ancha.

Tabla 10. Distancias seleccionadas para la realización de pruebas experimentales en el distrito de San Miguel de Piedades Sur.

Número de par	Distancia(m)		
	Hilos A-B	Hilo A-Ground	Hilo B-Ground
D9-2	223	241	230
D9-3	225	243	232
D5-7	705	804	804
D5-8	704	806	80
B8-2	770	870	872
B8-3	785	894	894
F5-2	861	951	951
F5-3	845	955	958
D4-7	1182	1250	1255
D4-8	1161	1246	1251
C8-6	1440	1499	1501
C8-7	1437	1489	1487
F9-1	1622	1567	1585
F9-2	1623	1604	1607
D2-3	1703	1742	1746
D2-4	1707	1743	1747
D3-5	1784	1866	1867
D3-6	1786	1883	1886
C6-5	2084	2101	2110
C6-6	2049	2115	2117
E5-1	2165	2266	2265
E5-2	2161	2283	2282
A4-6	2547	2636	2640
A4-7	---	---	---
A3-5	2655	2779	---
A3-6	2621	2778	---

En la Figura 68, se tiene otra gráfica de comparación entre los valores teóricos y experimentales obtenidos para un par telefónico ubicado a 2547 m de la unidad remota. El calibre del cable analizado es de 0.4 mm.

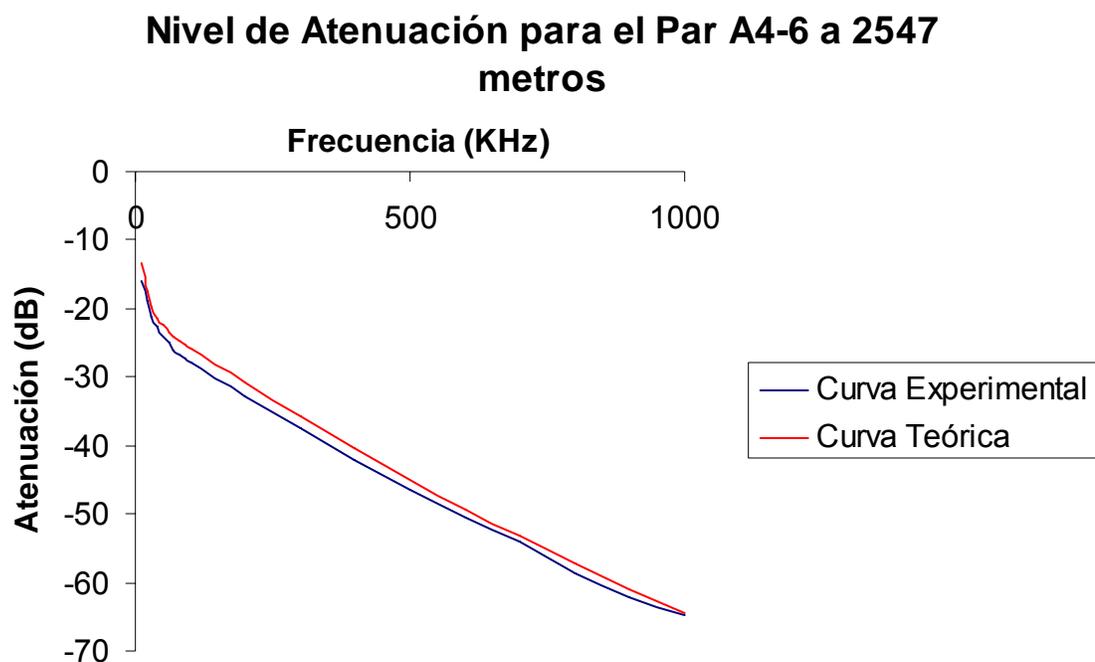


Figura 68. Curvas experimental y teórica para el par A4-6 ubicado a 2547 metros de la unidad remota, en el distrito de San Miguel de Piedades Sur. El calibre del cable es de 0.4 mm.

8.1.3 Atenuación de la línea en el distrito 20, Calle Zamora

Al igual que el distrito de San Miguel de Piedades Sur, el distrito de Calle Zamora cuenta con todos sus pares de cable telefónico con un calibre de 0.4 mm. En la Tabla 11, se muestran los distintos pares telefónicos elegidos para la realización de las pruebas experimentales. De igual manera, en color rojo se indican los pares que fueron seleccionados para las pruebas de evaluación de la capacidad de los servicios de banda ancha.

Tabla 11. Distancias seleccionadas para la realización de pruebas experimentales en el distrito de Calle Zamora.

Número de par	Distancia(m)		
	Hilos A-B	Hilo A-Ground	Hilo B-Ground
H9-3	334	304	290
H9-4	332	303	288
H5-1	883	772	712
H5-2	683	784	782
F9-6	1158	1159	1163
F9-7	1153	1172	1177
F6-7	1386	1357	1360
F6-8	1392	1356	1359
E8-4	1772	1774	1179
E8-5	1779	1769	1775
E2-3	2213	2165	2174
E2-4	2174	2186	2194
B1-2	2715	2750	2793
B1-3	2725	2773	2777
A8-2	3030	3020	3020
A8-3	3050	3030	3060
A5-4	3330	3350	3360
A5-5	3370	3370	3380

La Figura 69, muestra el contraste entre los valores teóricos y experimentales obtenidos para un par telefónico ubicado a 2715 m de la unidad remota. El calibre del cable analizado es de 0.4 mm.

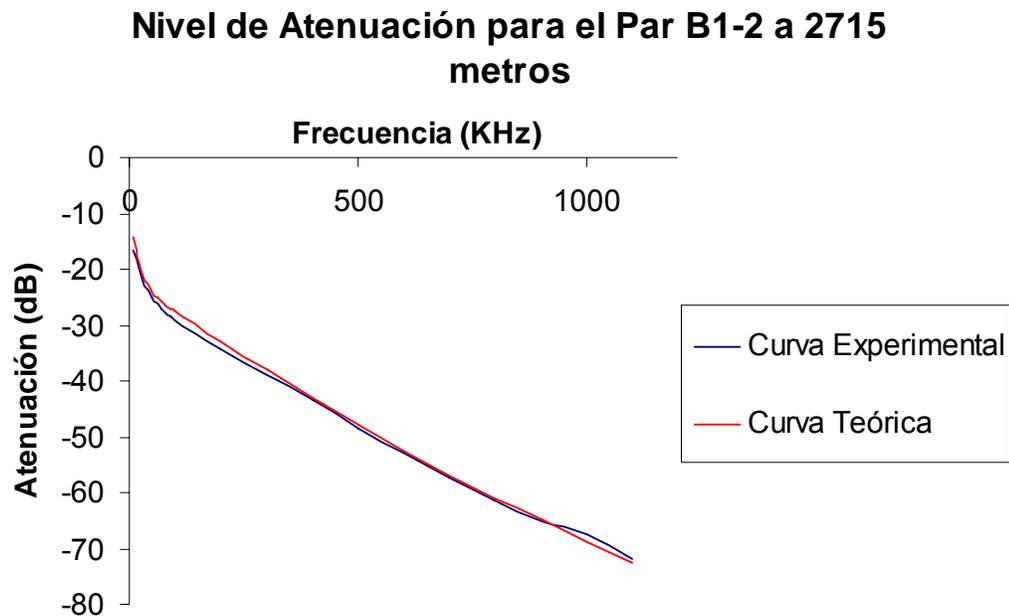


Figura 69. Curvas experimental y teórica para el par B1-2 ubicado a 2715 metros de la unidad remota, en el distrito de Calle Zamora. El calibre del cable es de 0.4 mm.

Todos los gráficos de comparación, muestran como los valores teóricos obtenidos con el programa desarrollado a partir del modelo teórico se aproximan exitosamente y siguen la tendencia de los valores experimentales obtenidos de atenuación. Este valor teórico de atenuación es en la mayoría de los casos menor al valor obtenido experimentalmente por medio de las mediciones de campo realizadas.

Los valores teóricos calculados para el cable telefónico son obtenidos a partir de las ecuaciones mostradas en el Capítulo 5. Estas relaciones matemáticas fueron obtenidas de la recomendación *G.996.1* de la UIT-T. Los valores de atenuación teóricos obtenidos mediante este modelo de función de transferencia del cable, son ideales y serían obtenidos en la realidad en el “mejor de los casos”, razón por la cual los valores experimentales siempre presentan un valor mayor a lo valores teóricos obtenidos mediante el modelo matemático.

El grado de semejanza entre los valores teóricos y experimentales, en los valores de atenuación del par telefónico de cobre, permite utilizar el modelo teórico obtenido como herramienta de cálculo de la atenuación del cable en el algoritmo desarrollado dentro del programa de cálculo de capacidad y factibilidad de los servicios de banda ancha *ADSL2* y *ADSL2+*.

8.2 Capacitancia del par telefónico de cobre

La capacitancia es un parámetro que puede distorsionar la señal en el cable, esto debido a que entre más longitud tenga este, y más delgado sea el espesor del aislante, mayor es la capacitancia, lo que aumenta el fenómeno de distorsión. La capacitancia es la unidad de medida de la energía almacenada en el cable o línea de transmisión.

El valor máximo de balance capacitivo aceptado por el ICE está fijado en un porcentaje de 2%, pero entre menor sea este valor mejor será el rechazo o inmunidad al ruido por parte del cable. Esto es debido a que un cable correctamente balanceado posee una constitución geométrica simétrica, que permite que se cancelen los efectos de ruido generados dentro del cable.

8.2.1 Capacitancia de la línea en el distrito 20, Volio

Tabla 12. Valores experimentales de capacitancia en la línea telefónica para el distrito de Volio.

Número de par	Capacitancia (ηF)			Balance Capacitivo %
	Hilos A-B	Hilo A-Ground	Hilo B-Ground	
B9-1	34.60	---	---	---
B9-4	36.62	56.51	56.80	0,79
A8-7	130.10	195.80	195.70	0,07
A8-10	124.0	194.5	195.8	1,04
A2-1	277.30	405.80	405.10	0,25
A2-2	272.20	408.30	408.00	0,11
E2-1	354.8	533.2	534.1	0,25
C5-6	109.80	163.40	162.90	0,45
C5-7	109.80	163.40	162.90	0,45

8.2.2 Capacitancia de la línea en el distrito 16, Zamora

Tabla 13. Valores experimentales de capacitancia en la línea telefónica para el distrito de Calle Zamora.

Número de par	Capacitancia (ηF)			Balance Capacitivo (%)
	Hilos A-B	Hilo A-Ground	Hilo B-Ground	
A5-4	171.80	260.50	260.90	0,23
A5-5	173.80	262.10	262.50	0,23
A8-2	156.10	234.20	234.30	0,06
A8-3	157.00	235.70	235.90	0,12
B1-2	140.00	213.40	216.90	2,50
B1-3	140.60	215.20	215.80	0,42
E2-3	114.10	168.20	168.80	0,52
E2-4	112.10	169.70	170.40	0,62
E8-4	91.40	137.80	138.20	0,43
E8-5	91.73	137.40	137.80	0,43
F6-7	71.50	105.40	105.70	0,41
F6-8	71.78	105.40	105.50	0,13
F9-6	59.73	90.00	90.30	0,50
F9-7	59.47	91.00	91.40	0,67
H5-1	35.73	59.97	55.28	13,12
H5-2	35.24	60.88	60.77	0,31
H9-3	17.31	23.59	22.56	5,95
H9-4	17.11	23.53	22.35	6,89

8.2.3 Capacitancia de la línea en el distrito de San Miguel de Piedades Sur

Tabla 14. Valores experimentales de capacitancia en la línea telefónica para el distrito de San Miguel de Piedades Sur.

Número de par	Capacitancia (ηF)			Balance Capacitivo (%)
	Hilos A-B	Hilo A-Ground	Hilo B-Ground	
D9-2	11.54	18.64	17.89	6,49
D9-3	11.81	18.90	18.01	7,53
B8-2	40.13	67.56	67.76	0,49
B8-3	40.06	69.40	69.47	0,17
D4-7	60.73	97.01	91.19	9,58
D4-8	59.73	96.76	91.10	9,47
D2-3	87.59	136.50	136.70	0,22
D2-4	87.81	136.80	137.00	0,22
A4-6	131.4	204.70	205.00	0,22

8.3 Resistencia de aislamiento de la línea telefónica

8.3.1 Resistencia de aislamiento de la línea en el distrito 20, Volio

Tabla 15. Valores medidos de la resistencia de aislamiento en la línea telefónica para el distrito 20.

Número de par	Resistencia de Aislamiento (MΩ)		
	Hilos A-B	Hilo A-Ground	Hilo B-Ground
B9-1	1.12	1.3	0.96
B9-4	1.62	2300	1150
A8-7	103	150000	6
A8-10	96	20	1.6
C5-1	930	380	400
C5-2	710	370	410
A2-1	356	120	140
A2-2	244	158	70
E4-3	370	130	360
E4-9	16	165	850
E2-1	500	216	320
E2-4	46	3.86	11
C5-6	3600	600	1000
C5-7	10000	10000	600

8.3.2 Resistencia de aislamiento de la línea en el distrito 16, Calle Zamora

Tabla 16. Valores medidos de la resistencia de aislamiento en la línea telefónica para el distrito 16.

Número de par	Resistencia de Aislamiento (GΩ)		
	Hilos A-B	Hilo A-Ground	Hilo B-Ground
A5-4	80	28	30
A5-5	>2000	10	20
A8-2	>2000	07	08
A8-3	>2000	35	07
B1-2	70	08	08
B1-3	>2000	20	25
E2-3	15	20	01
E2-4	50	09	20
E8-4	40	02	20
E8-5	40	15	30
F6-7	31	20	07
F6-8	16	15	04
F9-6	53	14	18
F9-7	90	50	50
H5-1	>2000	40	23
H5-2	300	23	18
H9-3	123	84	70
H9-4	40	20	50

8.3.3 Resistencia de aislamiento de la línea en el distrito 36, San Miguel de Piedades Sur

Tabla 17. Valores medidos de la resistencia de aislamiento en la línea telefónica para el distrito 36.

Número de par	Resistencia de Aislamiento (GΩ)		
	Hilos A-B	Hilo A-Ground	Hilo B-Ground
D9-2	34	23	10
D9-3	32	9	21
B8-2	7	4	4
B8-3	5	3	1
D4-7	30	20	6
D4-8	6	2	60
D2-3	30	9	9
D2-4	27	10	30
A4-6	85	30	12

La resistencia de aislamiento es la oposición del aislamiento o dieléctrico al paso de la corriente eléctrica y normalmente se expresa en unidades de $M\Omega/Km$. Se expresa en unidades de alto orden debido a que los materiales aislantes son aquellos materiales que bajo la acción de la tensión eléctrica continua no dejan pasar completamente la corriente eléctrica. En otras palabras, la resistividad de los materiales aislantes debe ser infinitamente grande.

Sin embargo prácticamente todos los materiales utilizables dejan pasar una corriente muy insignificante llamada corriente de fuga. Uno de los factores que definen la calidad del aislante es esta corriente de fuga. Cuanto mayor sea la resistividad del material mayor es su calidad. La resistencia de aislamiento es el valor inverso de la conductancia G , del cable telefónico de cobre, parámetro utilizado en el modelo de la función de transferencia del par telefónico de cobre.

En la recomendación UIT-T G.992.3, se establece que la resistencia de aislamiento entre los hilos A y B del par telefónico de cobre, con el extremo final de la línea abierto, debe ser mayor o igual que 10 $M\Omega$. Este valor es el mismo recomendado para el valor de la resistencia de aislamiento a tierra.

Bajo estas consideraciones, según las mediciones realizadas, el único par que presenta condiciones deficientes en cuanto a resistencia de aislamiento es el par B9-1 del distrito 20.

8.4 Ruido de fondo de la línea telefónica

8.4.1 Pruebas de ruido de fondo en el distrito 20, Volio

En la Tabla 18, se observa el valor promedio y el valor de la desviación estándar obtenidos a partir de pruebas de campo del ruido de fondo de diferentes pares telefónicos de cobre ubicados a diferentes distancias de la unidad remota, para el distrito 20.

Tabla 18. Promedio y desviación estándar de los valores obtenidos en las mediciones de ruido de fondo, para diferentes pares en el distrito de Volio.

<i>ID del Par</i>	<i>Promedio (dBm/Hz)</i>	<i>Desviación Estándar</i>
B9-1	-137,38	3,42
A8-7	-132,12	6,97
A2-1	-139,32	2,08
E2-1	-135,10	7,31
C5-6	-135,38	6,01

La Figura 70, muestra una gráfica de la densidad espectral de potencia (*PSD*, *Power Spectral Density*) del ruido de fondo en función de la frecuencia, presente en el par telefónico B9-1 de calibre 0.4 mm, ubicado a 769 metros con referencia a la unidad remota.

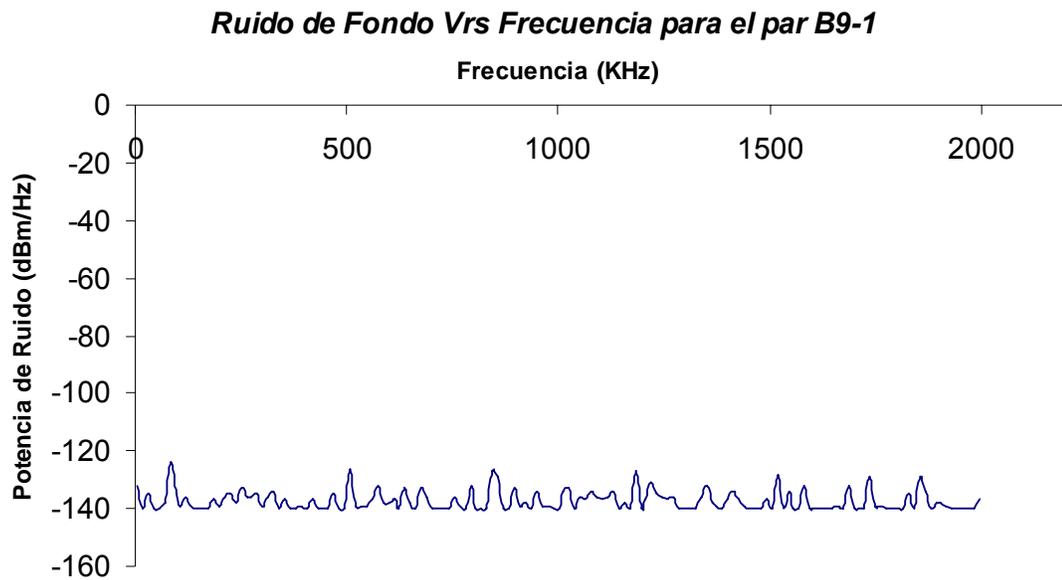


Figura 70. Ruido de fondo para la línea B9-1, ubicada a 769 metros de la unidad remota.

Las figuras Figura 71 y Figura 72, muestran también una gráfica de ruido de fondo, para los pares A2-1 y E2-1, respectivamente, los cuales tienen un calibre mixto de 0.65 mm y de 0.9 mm, y se encuentran a distancias alejadas de la unidad remota.

Las mediciones realizadas en este distrito, permiten determinar como el ruido de fondo, el cual es considerado en el modelo teórico como un ruido de tipo blanco aditivo gaussiano (*AWGN, Additive White Gaussian Noise*) tiene un valor aproximado cercano a los -135.86 dBm/Hz , el cual es un valor promedio total, de los promedios individuales obtenidos en cada uno de los cinco pares telefónicos en análisis.

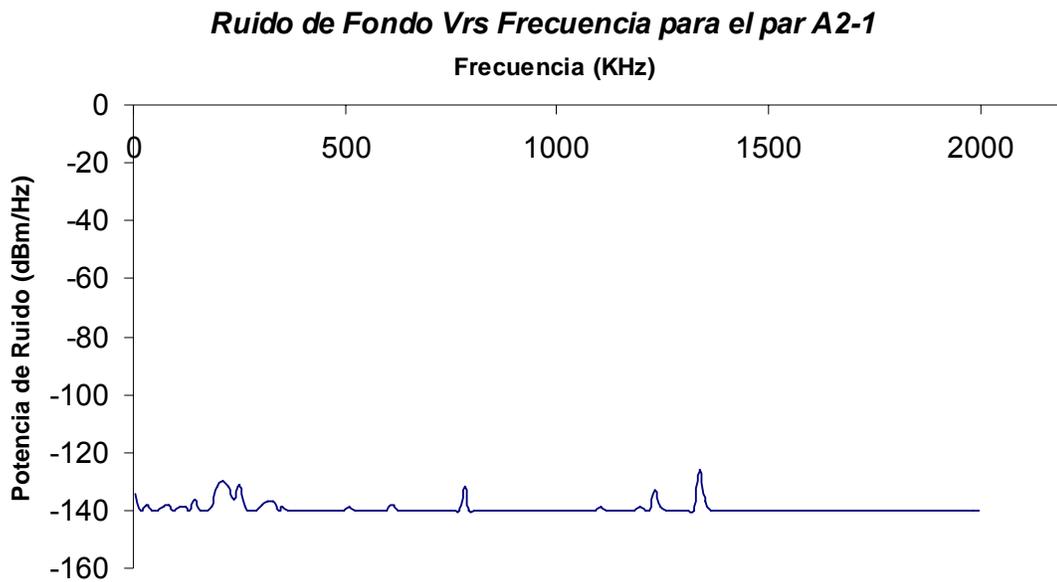


Figura 71. Ruido de fondo para la línea A2-1, ubicada a 5370 metros de la unidad remota.

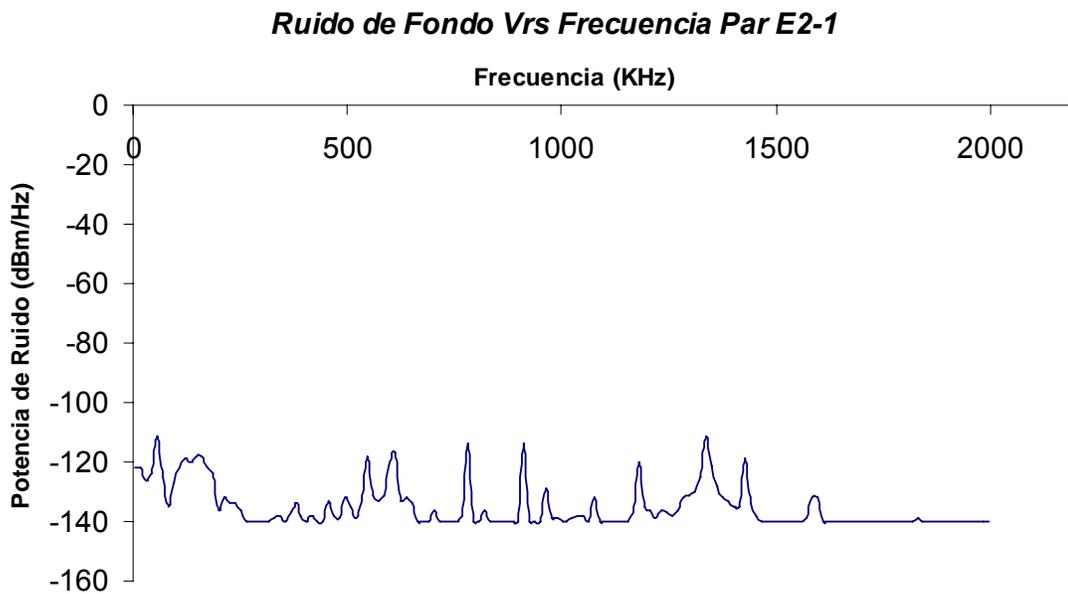


Figura 72. Ruido de fondo para la línea A2-1, ubicada a 5370 metros de la unidad remota.

8.4.2 Pruebas de ruido de fondo en el distrito 36, San Miguel de Piedades Sur

La Tabla 19 muestra el valor promedio y el valor de la desviación estándar obtenidos a partir de pruebas de campo del ruido de fondo de diferentes pares telefónicos de cobre ubicados a diferentes distancias de la unidad remota, para el distrito de San Miguel de Piedades Sur.

Tabla 19. Promedio y desviación estándar de los valores obtenidos en las mediciones de ruido de fondo, para diferentes pares en el distrito de San Miguel de Piedades Sur.

<i>ID del Par</i>	<i>Promedio (dBm/Hz)</i>	<i>Desviación Estándar</i>
D9-2	-136,84	5,01
B8-2	-137,81	4,65
D4-7	-138,83	3,56
D2-3	-137,83	4,31
A4-6	-138,86	3,66

Como una de las tantas consideraciones de ajuste del modelo teórico, se toma en cuenta el valor promedio total de todos los pares en cuestión. El valor promedio total de ruido de fondo es de -138.03 dBm/Hz , para el distrito de Volio, San Ramón.

La Figura 73, muestra como el valor de ruido de fondo obtenido experimentalmente para el par A4-6, ubicado a 2547 m con respecto a la unidad remota, es muy cercano al valor teórico establecido por la *ANSI T1.413*, el cual es de -140 dbm/Hz ; el cual es un valor típico de ruido aditivo gaussiano.

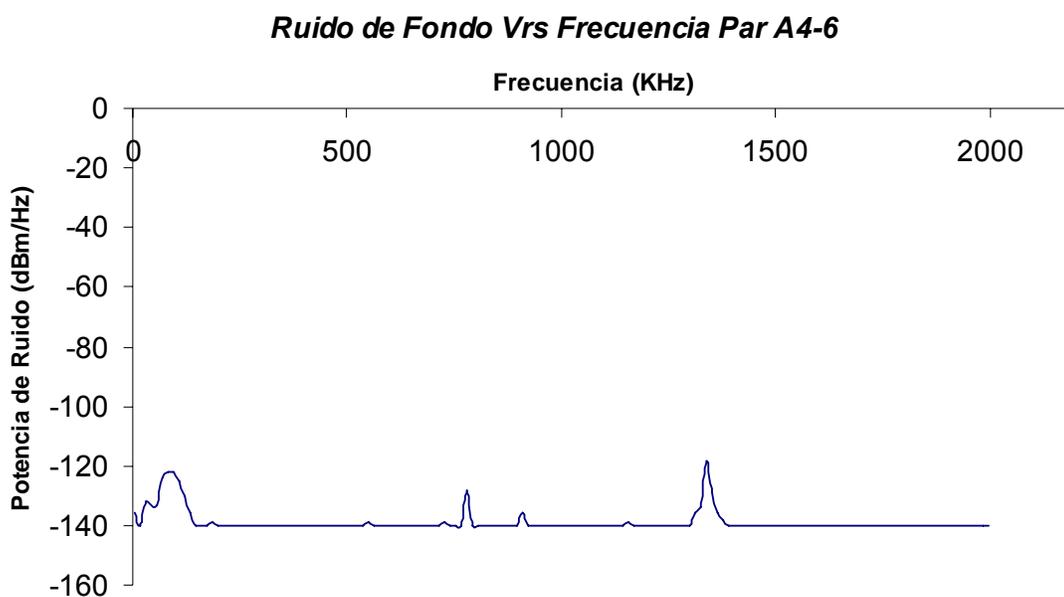


Figura 73. Ruido de fondo para la línea A4-6, ubicada a 2547 metros de la unidad remota.

8.4.3 Pruebas de ruido de fondo en el distrito 20, Calle Zamora

De manera similar, en la Tabla 20 se muestra el valor promedio y el valor de la desviación estándar correspondientes a los valores de potencia del ruido de fondo medidos experimentalmente a partir de pruebas de campo en diferentes pares telefónicos de cobre ubicados a diferentes distancias de la unidad remota, para el distrito de Calle Zamora.

Tabla 20. Promedio y desviación estándar de los valores obtenidos en las mediciones de ruido de fondo, para diferentes pares en el distrito de Calle Zamora.

<i>ID del Par</i>	<i>Promedio (dBm/Hz)</i>	<i>Desviación Estándar</i>
A5-4	-123,64	7,96
A8-2	-134,13	6,82
B1-2	-136,82	5,63
E8-4	-136,09	6,02

El valor promedio total de cada uno de los promedios individuales de cada uno de los pares telefónicos es de -132.67 dBm/Hz .

La Figura 74, muestra una gráfica de la *PSD* del ruido de fondo en función de la frecuencia, presente en el par telefónico B1-2 de calibre 0.4 mm, ubicado a 2715 metros con referencia a la unidad remota.

En la Figura 75, se puede apreciar la interferencia de la portadora de radio AM, de la emisora ramonense Sideral, la cual se encuentra ubicada en la frecuencia central de 1340 *KHz* y genera una potencia pico de ruido de aproximadamente -83 dBm/Hz y es sumamente notable en la gráfica.

Ruido de Fondo Vrs Frecuencia Par B1-2

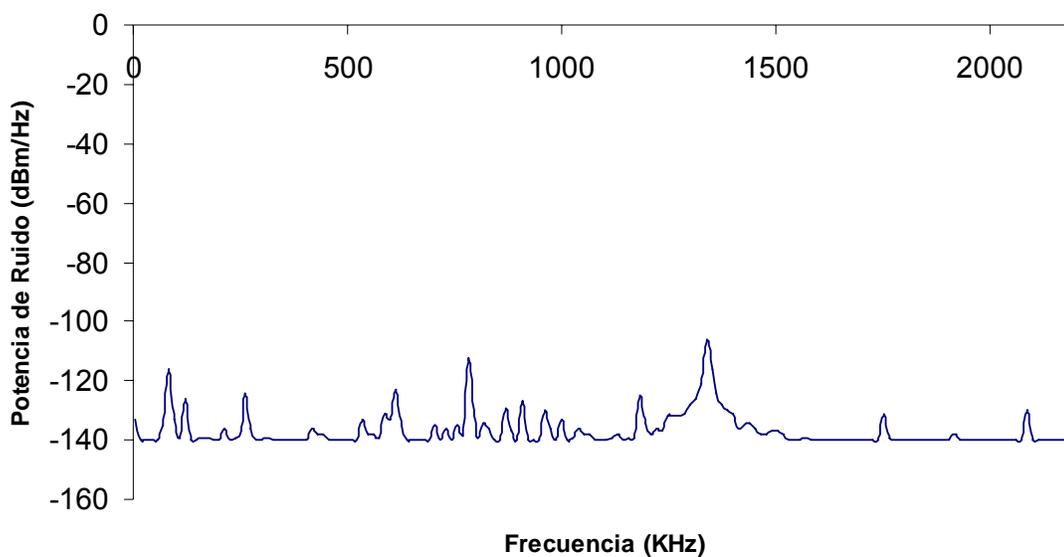


Figura 74. Ruido de fondo para la línea B1-2, ubicada a 2715 metros de la unidad remota.

Ruido de Fondo Vrs Frecuencia Par A5-4

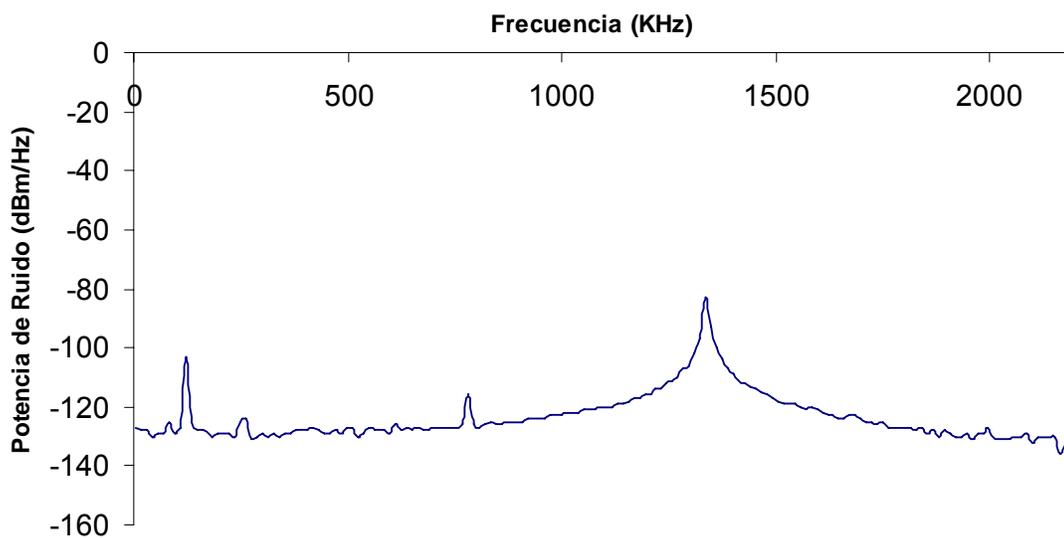


Figura 75. Ruido de fondo para la línea A5-4, ubicada a 3330 metros de la unidad remota.

8.5 Medición de la Densidad Espectral de Potencia (*PSD*) de la señal

La densidad espectral de potencia se obtuvo mediante la conexión de un analizador de espectros en paralelo al par telefónico de cobre. Para que las mediciones sean confiables, el módem *CPE*, o *ATU-C* debe estar conectado al par telefónico y los equipos *ATU-R* y *ATU-C* deben haber realizado el proceso de sincronización. El objetivo de esta medición es la de comparar los niveles experimentales de potencia de transmisión en *dBm/Hz*, de cada uno de los servicios en estudio *ADSL2* y *ADSL2+*, y compararlos con los valores teóricos de potencia de la señal utilizados en el algoritmo de cálculo de la capacidad y factibilidad de los servicios de banda ancha.

Las densidades espectrales de potencia fueron medidas en el extremo de la unidad remota, con el fin de evitar que la señal sea atenuada por la línea de transmisión telefónica.

Si las mediciones son realizadas en el extremo del cliente, entonces, el valor de potencia de la señal de subida (*UpStream*) no se ve atenuada por la línea de transmisión, al contrario de la potencia de la señal de bajada la cual se ve afectada por el fenómeno de atenuación al propagarse a través del cable telefónico de cobre, debido a que la señal viaja desde la unidad remota hasta las instalaciones del abonado.

La Tabla 21 muestra el valor de potencia promedio para la máscara de densidad espectral de ambas tecnologías y para los dos canales de transmisión de datos, *UpStream* y *DownStream*. Las pruebas fueron realizadas desde la unidad remota, por lo que el canal de *UpStream* no se ve atenuado por la línea de transmisión.

Tabla 21. Densidad Espectral de Potencia (*PSD*) experimental, para ambas tecnologías y para ambos sentidos de transmisión de datos, medida directamente desde la unidad remota

Canal de Datos	<i>PSD Promedio</i> (dBm/Hz)	<i>Desviación Estándar</i>
<i>ADSL2 UpStream</i>	-40,33	3,99
<i>ADSL2 DownStream</i>	-54,52	1,97
<i>ADSL2+ UpStream</i>	-40,70	4,11
<i>ADSL2+ DownStream</i>	-53,72	1,77

En las gráficas experimentales de las figuras denominadas Figura 76 y Figura 77, se observa el espectro de subida de ambas tecnologías el cual abarca el rango de frecuencias desde los 25.875 *KHz* hasta los 138 *KHz*.

Además en la Figura 76, es posible apreciar la gráfica de la *PSD* para el canal *DownStream*, de bajada de datos, para la tecnología *ADSL2*. Este comprende desde los 138 *KHz* hasta los 1104 *KHz*. Se compara esta curva con la curva teórica obtenida del estándar de la *UIT-T G.992.3*.

Por otra parte en la Figura 77, se puede observar la curva de *PSD* experimental del canal *DownStream*, para la tecnología *ADSL2+*, este canal duplica el ancho de banda de bajada de datos de *ADSL2*, debido a que este abarca el rango de frecuencias comprendidas entre los 138 *KHz* y los 2208 *KHz*. Se compara también la curva teórica de la *PSD* con la experimental.

Comparación entre la PSD Teórica y Experimental para ADSL2

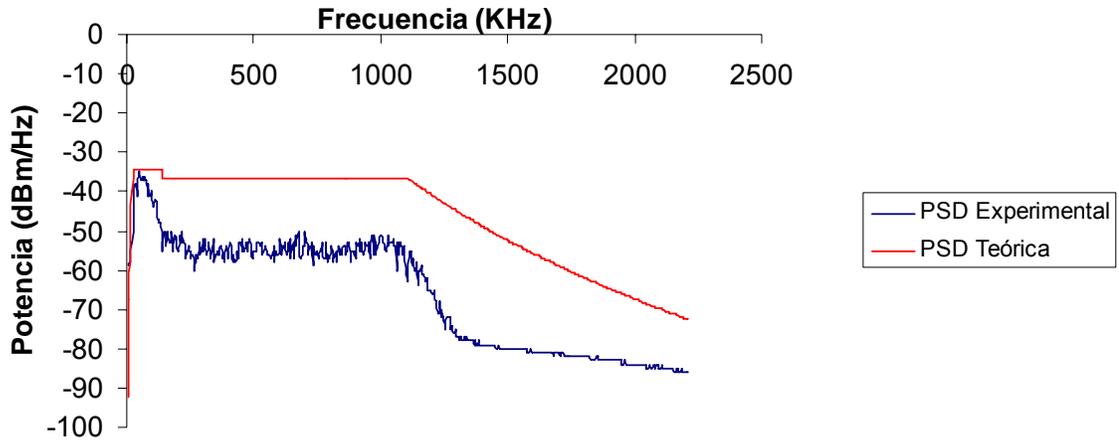


Figura 76. Densidad Espectral de Potencia (PSD) para ADSL2, medida en el extremo de la unidad remota.

Comparación entre la PSD Teórica y Experimental para ADSL2+

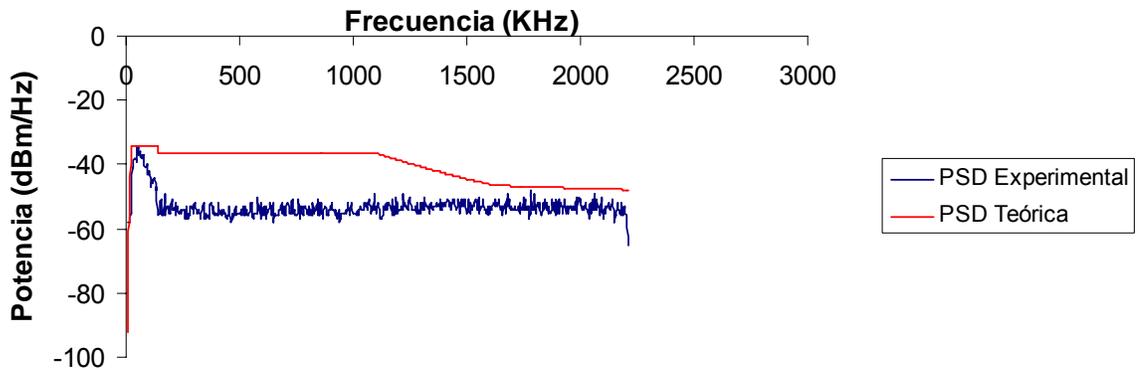


Figura 77. Densidad Espectral de Potencia (PSD) para ADSL2+, medida en el extremo de la unidad remota.

De acuerdo a los valores de potencia promedio de la *PSD*, para ambas tecnologías y en ambos sentidos; obtenidos de las mediciones experimentales, se comprueba como la máscara de densidad espectral de potencia de transmisión medida se ajusta a la curva y a los valores teóricos que se definen en las recomendaciones G.992.3 para *ADSL2* y G.992.5 para *ADSL2+* de la UIT-T, los cuales se muestran en la Tabla 22. Por lo tanto las curvas teóricas pueden utilizarse como esquema de referencia para el desarrollo del modelo teórico.

Tabla 22. Densidad Espectral de Potencia (*PSD*) teórica, para ambas tecnologías y para ambos sentidos de transmisión de datos, según los estándares UIT-T G.992.3 y UIT-T G.992.5.

Canal de Datos	PSD Promedio (dBm/Hz)
<i>ADSL2 UpStream</i>	-34.5
<i>ADSL2 DownStream</i>	-36.5
<i>ADSL2+ UpStream</i>	-34.5
<i>ADSL2+ DownStream</i>	-36.5 para: $25.875 < f < 1108 \text{ KHz}$ $-36.5 - 18 \cdot \log_2(f/1104000)$ para: $1104 < f < 1622 \text{ KHz}$ $-46.5 - 3 \cdot \log_2(f/1622000)$ para: $1104 < f < 2208 \text{ KHz}$

La UIT-T en sus recomendaciones G.992.3 y G.992.5, establece como la *PSD* de los equipos *ATU*, tanto la terminal del lado de la unidad central, como la del extremo de la unidad remota; no puede superar el nivel de potencia establecido por la curva teórica. En los resultados mostrados se cumple esta condición.

PSD DownStream Teórica y Experimental a 3330 m para ADSL2

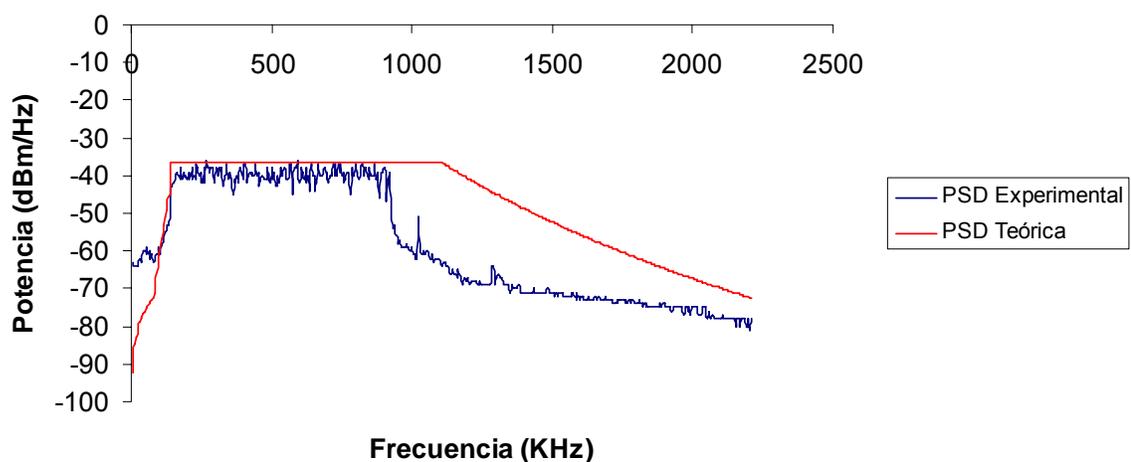


Figura 78. Gráfica de la *PSD* teórica y experimental para *ADSL2* a una distancia de 3330 m.

PSD Downstream Teórica y Experimental a 3330 m para ADSL2+

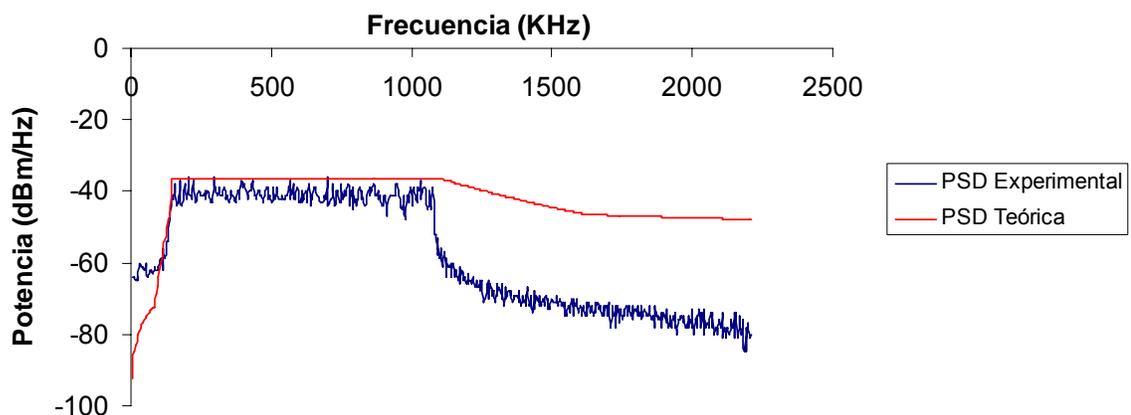


Figura 79. Gráfica de la *PSD* teórica y experimental para *ADSL2+* a una distancia de 3330 m.

Las gráficas que se muestran en la Figura 78 y Figura 79, permiten comparar los valores teóricos y experimentales para la *PSD* de ambas tecnologías para un enlace establecido a 3330 m de la unidad remota. Nótese como aumentó el nivel de potencia, esto debido a que los sistemas *ADSL* son autoadaptables a las condiciones del canal. Esta fue una consideración a tomar para el desarrollo del modelo.

8.6 Pruebas de capacidad y factibilidad de los servicios *ADSL2* y *ADSL2+*

Las pruebas de capacidad y factibilidad para ambas tecnologías fueron realizadas utilizando el circuito de medición de la Figura 44. Es posible visualizar el estado de la conexión *ADSL* del módem por medio de un *browser* de *Internet*. Las estadísticas del enlace *ADSL* que se pueden observar son la velocidad alcanzada de subida (*Rate US*), la velocidad alcanzada de bajada (*Rate DS*), velocidad de subida alcanzable (*Attainable Rate US*), velocidad alcanzable de bajada (*Attainable Rate DS*), capacidad de subida (*Capacity US*), capacidad de bajada (*Capacity DS*), atenuación de subida (*Attenuation US*), atenuación de bajada (*Attenuation DS*), razón señal a ruido de subida (*SNR US*), razón señal a ruido de bajada (*SNR DS*).

Las mediciones fueron realizadas considerando diferentes distancias con respecto a la unidad remota. Estas se efectuaron en los distritos 16, 20 y 36, que corresponden a Calle Zamora, Volio y San Miguel de Piedades Sur, respectivamente.

Con el fin de mostrar el acercamiento entre los valores teóricos de capacidad del canal del modelo de predicción matemático y los resultados experimentales obtenidos, las siguientes gráficas realizan una comparación entre estos. Con una línea roja se muestra el valor máximo teórico de capacidad del algoritmo de predicción. Por medio de una línea verde se muestra el valor mínimo teórico de capacidad de la línea de transmisión, que calcula también el algoritmo de programación. De manera similar la línea azul describe el comportamiento de los valores de capacidad obtenidos experimentalmente.

El valor del límite máximo teórico de capacidad es calculado por medio del algoritmo matemático, haciendo uso de las ecuaciones 5.36 a la 5.39, según corresponda la tecnología y el sentido de transmisión de datos que se esté analizando. Para el cálculo del límite mínimo teórico de capacidad del canal se utilizan estas mismas ecuaciones pero utilizando la constante de margen de *Shannon* con un valor del doble, como se muestra en la ecuación 5.17.

Entonces el margen de *Shannon* utilizado para el cálculo de la capacidad mínima del canal es de 12 dB. Este valor fue ajustado a partir de las mediciones experimentales realizadas. El límite de capacidad mínimo es de suma importancia, debido a que define si es factible brindar un servicio solicitado a una velocidad determinada. Por lo tanto este valor debe seleccionarse de tal manera que la ecuación matemática mantenga un margen de seguridad lo suficientemente amplio para contemplar posibles fenómenos impredecibles y aleatorios, como el caso de la aparición de fuentes generadoras de ruido. De igual manera el límite mínimo de capacidad debe acercarse en la mayor medida posible a las mediciones experimentales, con el fin de que este pueda ser validado y justificado como un parámetro de determinación de factibilidad de los servicios de banda ancha.

Los parámetros principales para evaluar la factibilidad de un servicio son el límite mínimo teórico de capacidad y el límite teórico máximo calculados por el algoritmo. Esto debido a que si la velocidad solicitada por el cliente se encuentra por debajo del límite mínimo teórico de capacidad (color verde en las gráficas), el servicio es completamente factible. Por otra parte, si la velocidad deseada se encuentra por encima del límite teórico máximo de capacidad (color rojo en las gráficas) el servicio no es factible del todo, esto debido a que el servicio no podrá alcanzar la velocidad requerida ni siquiera teóricamente. Si la velocidad solicitada se encuentra dentro del rango que definen ambos límites, será necesaria una valoración técnica para decidir la factibilidad del servicio solicitado.

8.6.1 Pruebas de capacidad y factibilidad de los servicios *ADSL2* y *ADSL2+* en el distrito 20, Volio

8.6.1.1 Pruebas de capacidad y factibilidad de los servicios *ADSL2* y *ADSL2+* en el distrito 20, Volio

8.6.1.1.1 Servicio *ADSL2* configurado a una velocidad de 12/1 *Mbps*

Tabla 23. Resultados de las pruebas de capacidad del servicio *ADSL2*, configurado a una velocidad de 12/1 *Mbps*, en el distrito de Volio.

Número de Par	B9-1	C5-6	C5-7	A8-10	A8-7	A2-1	A2-2	E2-1
Distancia(m)	769	2141	2150	2404	2461	5370	5270	6880
Rate_Up	1023	1023	1023	1023	1023	939	991	755
Rate_Down	11996	11996	11996	11933	10677	6627	7307	3363
Max_Rate_Up	1128	1168	1120	1172	1044	1016	1068	832
Max_Rate_Down	13192	13136	12944	12728	11720	7580	8336	3920
Capacidad_Up(%)	90,69	87,58	91,33	87,28	97,98	92,42	92,79	90,74
Capacidad_Down(%)	90,93	91,32	92,67	93,75	91,1	87,42	87,65	85,79
Att_Up(dB)	2,2	8,8	8,7	9,7	10,4	21,2	20,6	26,9
Att_Down(dB)	8	22,5	23	25	26	46,5	46	54
SNR_Up(dB)	7,1	8,6	6,9	9,3	7,7	6	6,2	7,1
SNR_Down(dB)	10,9	10,6	9	7,8	4,8	6,2	5,6	5,8

Velocidad de Bajada Vrs Distancia para *ADSL2*
(Calibre 0.65 mm)

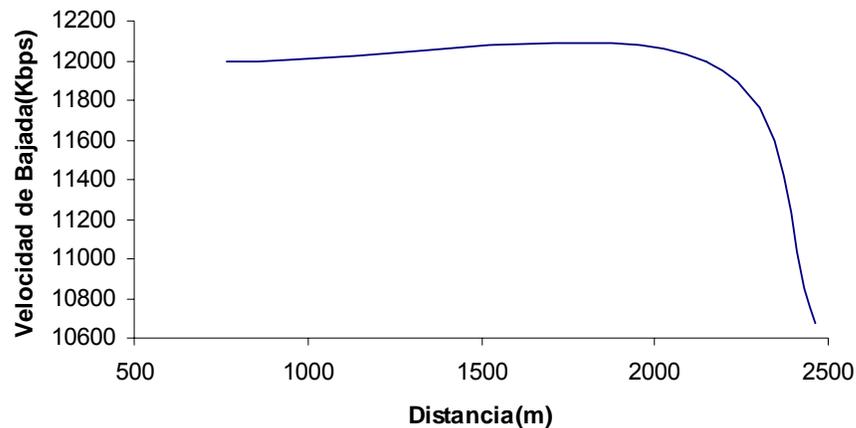


Figura 80. Velocidad de bajada de datos para la tecnología *ADSL2*, en función de la distancia, para un cable de calibre 0.65 mm.

Capacidad *DownStream* ADSL2 , Distrito 20

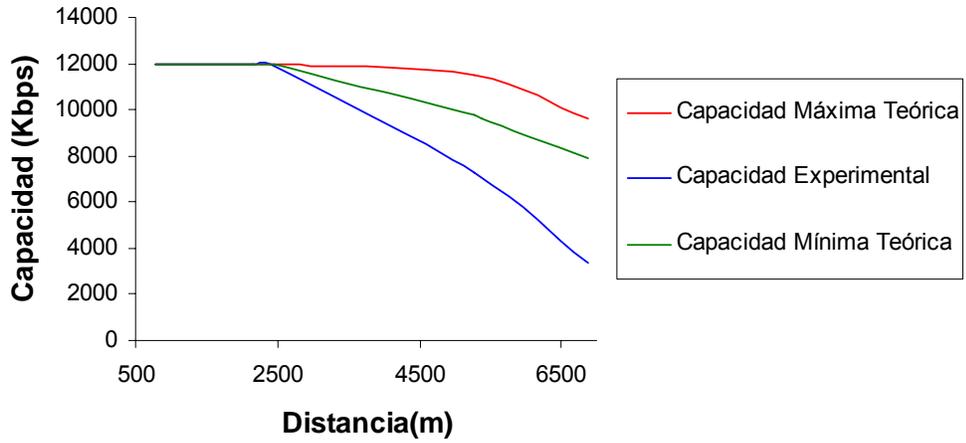


Figura 81. Comparación entre las capacidades teóricas obtenidas con el modelo matemático y la capacidad experimental de las mediciones realizadas, para *ADSL2* en sentido *DownStream*.

Capacidad *UpStream* ADSL2 , Distrito 20

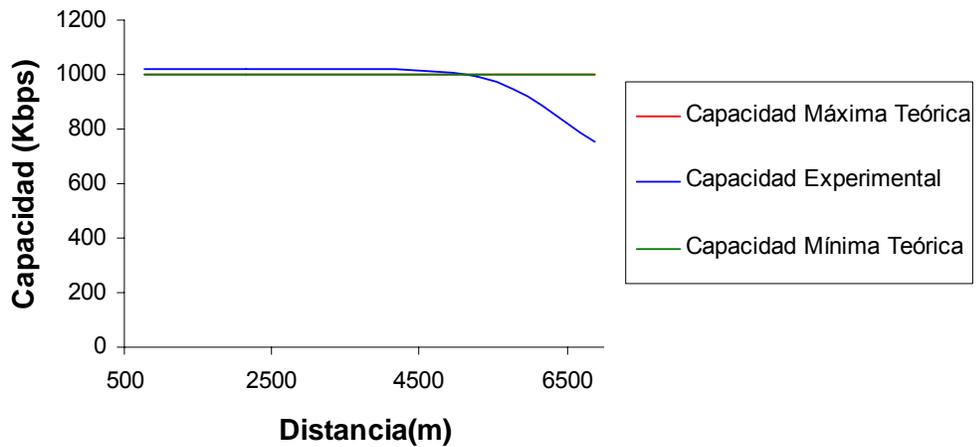


Figura 82. Comparación entre las capacidades teóricas obtenidas con el modelo matemático y la capacidad experimental de las mediciones realizadas, para *ADSL2* en sentido *UpStream*.

Capacidad de Bajada Vrs Distancia para ADSL2 (Calibre 0.65 mm)

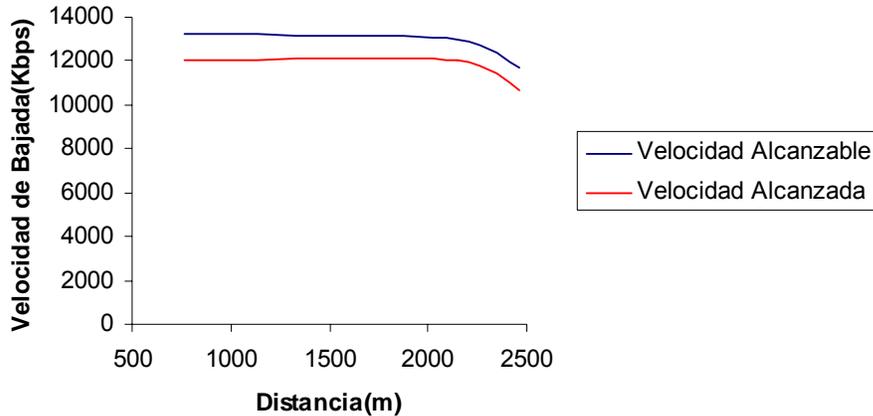


Figura 83. Capacidad de bajada para el servicio *ADSL2*, utilizando una línea de transmisión con un calibre de 0.65 mm.

La Figura 80 muestra una gráfica de velocidad de bajada del servicio *ADSL2*, en función de la distancia. Se puede apreciar como antes de aproximadamente 2 Km, prácticamente se puede alcanzar la velocidad máxima de conexión, de 12 Mbps. A distancias mayores a 2 Km, el servicio comienza a disminuir su capacidad de transmisión, debido principalmente al fenómeno de atenuación.

En las gráficas de la Figura 81 y la Figura 82, está claro como las mediciones experimentales estuvieron por debajo del límite mínimo teórico de capacidad, pero sin alejarse significativamente de la tendencia que presenta este valor.

Por otra parte, en la Figura 83 se puede apreciar el grado en que se acerca la velocidad alcanzada por el módem a la velocidad alcanzable en el mejor de los casos. La relación entre ambas velocidades determina el parámetro de capacidad del canal.

8.6.1.1.2 Servicio ADSL2+ configurado a una velocidad de 24/1 Mbps

La Tabla 24 muestra las estadísticas obtenidas para el establecimiento de una conexión ADSL2+, a diferentes distancias en el distrito de Volio. Todas las mediciones fueron tomadas a una velocidad de conexión de bajada de 24 Mbps y 1 Mbps de subida.

Es importante resaltar como aún a una distancia de 6880 m de la unidad remota hasta el cliente, se logró una velocidad de conexión de 3423/755 Kbps. Esto debido a que las condiciones de ruido y potencia de la señal lograban mantener una buena razón señal a ruido, inclusive a esa distancia de bucle, considerada como una línea de transmisión larga.

Tabla 24. Resultados de las pruebas de capacidad del servicio ADSL2+, configurado a una velocidad de 24/1 Mbps, en el distrito 20, de Volio.

Número de Par	B9-4	C5-6	C5-7	A8-10	A8-7	A2-1	A2-2	E2-1
Distancia(m)	710	2141	2150	2404	2461	5370	5270	6880
Rate_Up	1023	1023	1023	1023	1023	979	1023	755
Rate_Down	23692	21290	20120	17741	19046	5631	7031	3423
Max_Rate_Up	1152	1160	1160	1160	1124	1056	1152	832
Max_Rate_Down	25376	23044	22000	19448	20920	6504	8052	4044
Capacidad_Up(%)	88,8	88,18	88,18	88,18	91,01	92,7	88,8	90,74
Capacidad_Down(%)	93,36	92,38	91,45	91,22	91,04	86,57	87,31	84,64
Att_Up(dB)	2	8,6	8,5	9,6	9,8	20,9	20,5	26,7
Att_Down(dB)	11,5	25,5	26	28,5	28,5	49	49,5	57
SNR_Up(dB)	8,4	8,5	8,6	9	6,1	6,8	8,9	6,7
SNR_Down(dB)	6,8	7,2	7,2	7,1	3,3	4,6	5,6	6,3

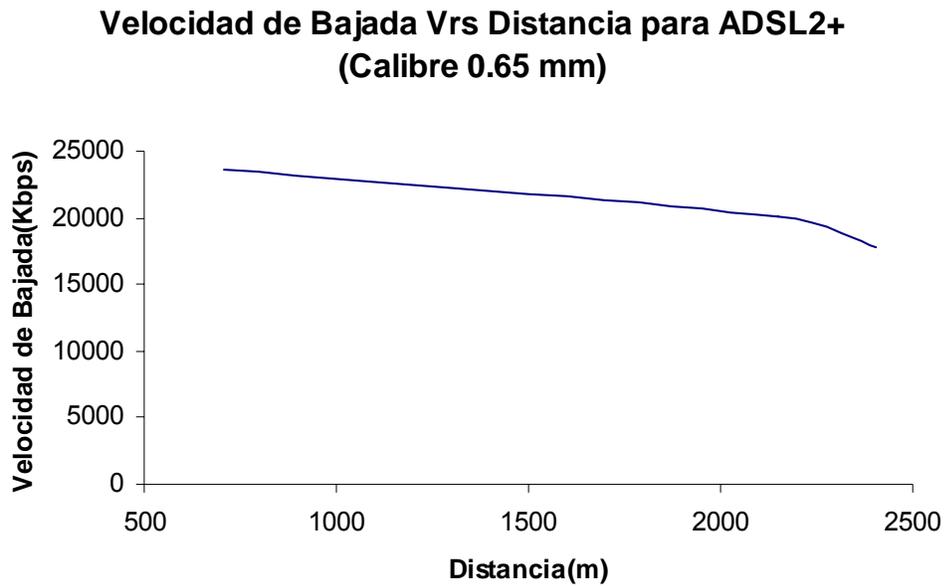


Figura 84. Velocidad de bajada en función de la distancia para *ADSL2+*.

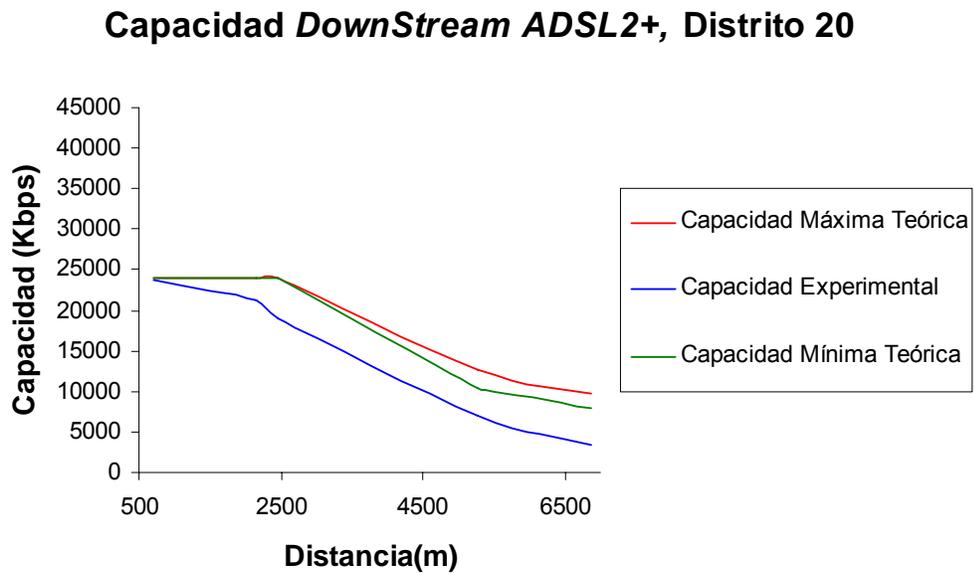


Figura 85. Comparación entre los límites teóricos obtenidos con el modelo matemático y la capacidad experimental de las pruebas realizadas, para *ADSL2+* en sentido *DownStream*.

Capacidad *UpStream* ADSL2+, Distrito 20

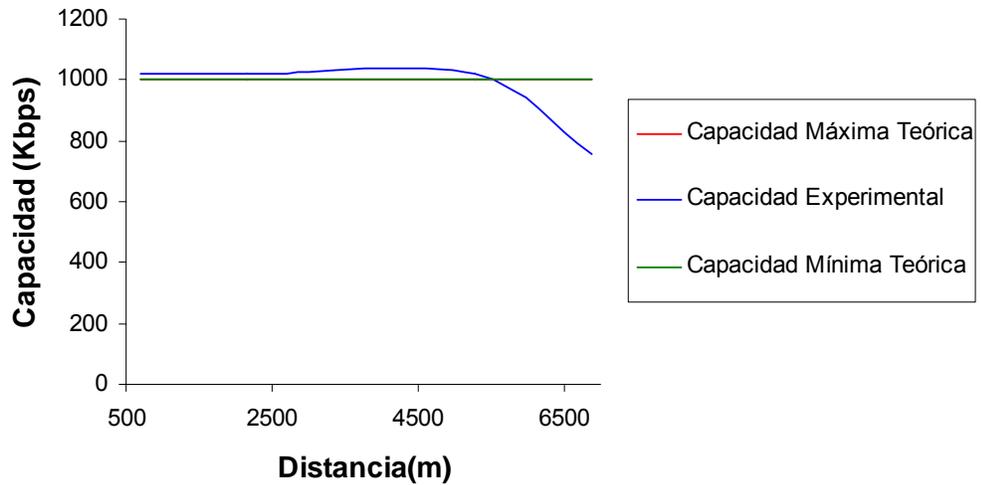


Figura 86. Comparación entre las capacidades teóricas obtenidas con el modelo matemático y la capacidad experimental de las mediciones realizadas, para *ADSL2+* en sentido *UpStream*.

Capacidad de Bajada Vrs Distancia para ADSL2+ (Calibre 0.65 mm)

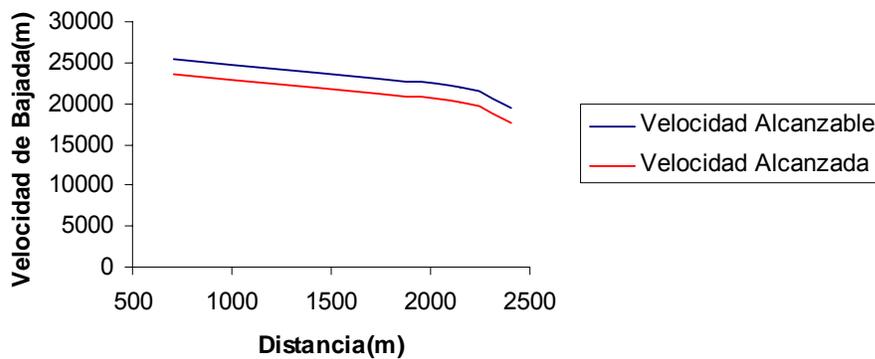


Figura 87. Capacidad de bajada para el servicio *ADSL2+*, utilizando una línea de transmisión con un calibre de 0.65 mm.

8.6.1.2 Pruebas de Capacidad y Factibilidad de los servicios *ADSL2* y *ADSL2+* en el distrito 36, *San Miguel de Piedades Sur*

8.6.1.2.1 Servicio *ADSL2* configurado a una velocidad de 12/1 *Mbps*

La Tabla 25 muestra los resultados obtenidos para las pruebas de capacidad del servicio *ADSL2* en el distrito de San Miguel de Piedades Sur. En esta localidad no fue posible ubicar bucles de abonado con una distancia superior a 2.5 Km, por lo que se evaluó el rendimiento de ambas tecnologías de banda ancha en longitudes de líneas de transmisión consideradas cortas. Se obtuvieron muy buenos resultados de capacidad de conexión. El calibre de todos los pares es de 0.4 mm.

Tabla 25. Resultados de las pruebas de capacidad del servicio *ADSL2*, configurado a una velocidad de 12/1 *Mbps*, en el distrito de San Miguel de Piedades Sur.

Número de Par	D9-2	D9-3	B8-2	B8-3	D4-7	D4-8	D2-3	D2-4	A4-6	A4-7
Distancia(m)	223	225	770	785	1182	1161	1703	1707	2547	2555
Rate_Up	1023	1023	1023	1023	1023	1023	1023	1023	999	991
Rate_Down	11996	11996	11996	11996	11996	11996	10203	11996	10602	10207
Max_Rate_Up	1124	1108	1152	1156	1172	1184	1248	1188	1072	1068
Max_Rate_Down	13104	13060	13132	12908	13124	13152	11124	12832	11444	11044
Capacidad_Up(%)	91,01	92,32	88,8	88,49	87,28	86,4	81,97	86,11	92,84	92,79
Capacidad_Down(%)	91,54	91,85	91,34	92,93	91,4	91,21	91,72	93,48	92,64	92,42
Att_Up(dB)	0,9	0,9	6,8	6,7	9,8	9,6	14,6	14,5	22,6	22,5
Att_Down(dB)	4	3,5	15	14,5	20,5	20	29	28,5	41	41
SNR_Up(dB)	7,1	5,9	7,4	8,2	9	9,2	11	9,5	6,1	5,7
SNR_Down(dB)	10,9	8	11,7	10,2	11,9	12,1	13,5	8,7	7,5	7,1

La Figura 88 muestra la tendencia de las mediciones experimentales en contraste con los valores teóricos calculados por el algoritmo matemático de predicción, en el sentido de bajada de datos. La Figura 89 muestra la misma comparación, pero en el sentido de subida de datos. En ambos gráficos se observa como se ajustó adecuadamente el modelo teórico, con base en las pruebas experimentales realizadas, por lo que se considera confiable aplicar este modelo teórico a otras configuraciones de bucle de características similares en la red externa de cable telefónico de nuestro país.

Capacidad *DownStream* ADSL2, Distrito 36

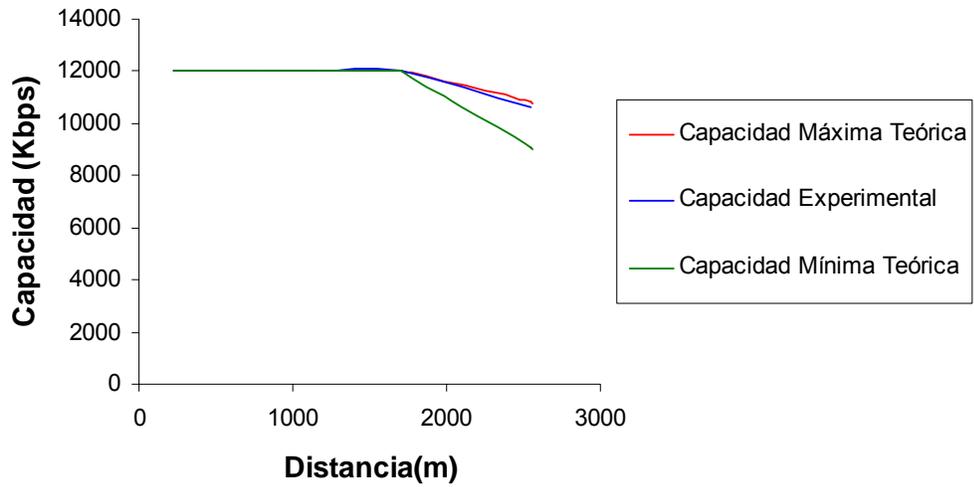


Figura 88. Comparación entre las capacidades teóricas obtenidas con el modelo matemático y la capacidad experimental de las mediciones realizadas, para *ADSL2* en sentido *DownStream*.

Capacidad *UpStream* ADSL2, Distrito 36

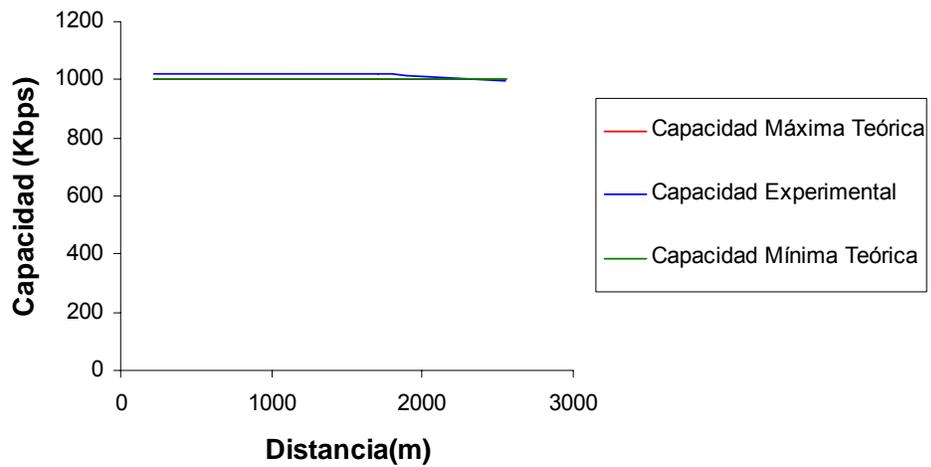


Figura 89. Comparación entre las capacidades teóricas obtenidas con el modelo matemático y la capacidad experimental de las mediciones realizadas, para *ADSL2* en sentido *UpStream*.

8.6.1.2.2 Servicio ADSL2+ configurado a una velocidad de 24/1 Mbps

Tabla 26. Resultados de las pruebas de capacidad del servicio ADSL2+, configurado a una velocidad de 24/1 Mbps, en el distrito de San Miguel de Piedades Sur.

Número de Par	D9-2	D9-3	B8-2	B8-3	D4-7	D4-8	D2-3	D2-4	A4-6	A4-7
Distancia(m)	223	225	770	785	1182	1161	1703	1707	2547	2555
Rate_Up	1023	1023	1023	1023	1023	1023	1023	1023	1008	1004
Rate_Down	23996	23996	23996	23996	23996	23996	18142	18135	11839	11802
Max_Rate_Up	1141	1157	1146	1160	1132	1144	1100	1115	1100	1080
Max_Rate_Down	27844	26584	28196	26200	25440	24372	19367	18794	12864	12852
Capacidad_Up(%)	89,65	88,41	89,26	88,19	90,37	89,42	93,00	91,17	91,63	92,96
Capacidad_Down(%)	86,18	90,26	85,10	91,58	94,32	98,45	93,67	96,49	92,03	91,83
Att_Up(dB)	0,8	0,6	6,9	6,5	10,1	9,8	14,9	14,1	24,6	22,8
Att_Down(dB)	5	4	17	15,2	22,0	21	30	30,5	43	44
SNR_Up(dB)	5,8	6	5,8	6,6	3,6	6,1	5,6	4,9	6,7	5,4
SNR_Down(dB)	5,2	8,5	5,6	5,8	5,8	7,1	5,8	5,8	6	6,2

La Figura 90 ilustra la tendencia de los resultados experimentales obtenidos en las mediciones, con los límites teóricos de capacidad calculados con el algoritmo teórico de predicción. El algoritmo de cálculo de la factibilidad de servicios utiliza la línea de límite mínimo teórico de capacidad, como parámetro para establecer si un servicio es factible. Como se puede observar se establece un margen de seguridad, entre las mediciones realizadas y este límite, con el fin de garantizar una predicción de factibilidad confiable en cualquier otro bucle de abonado con características similares en cuanto a longitud, aislante y calibre.

Por otra parte en la Figura 91 se comparan las capacidades mínimas y máximas teóricas obtenidas por el algoritmo matemático, con las mediciones experimentales, pero esta vez en el sentido de transmisión de datos de subida, *UpStream*. A distancias menores de aproximadamente 2500 m, es posible observar una gran brecha entre el límite mínimo teórico de capacidad del canal y las mediciones experimentales. Esto es debido a que la velocidad configurada en el *I-MAP* es de 1024 Kbps, por lo que este es el valor límite máximo que se puede alcanzar en la práctica, aunque las condiciones del canal y el algoritmo prediga que es posible alcanzar velocidades mayores.

Capacidad DownStream ADSL2+, Distrito 36

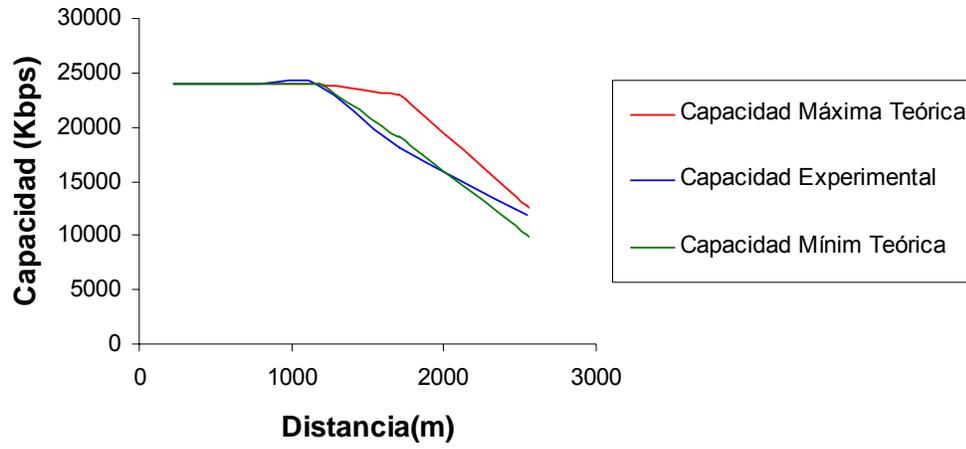


Figura 90. Comparación entre las capacidades teóricas obtenidas con el modelo matemático y la capacidad experimental de las mediciones realizadas, para ADSL2+ en sentido DownStream.

Capacidad UpStream ADSL2+, Distrito 36

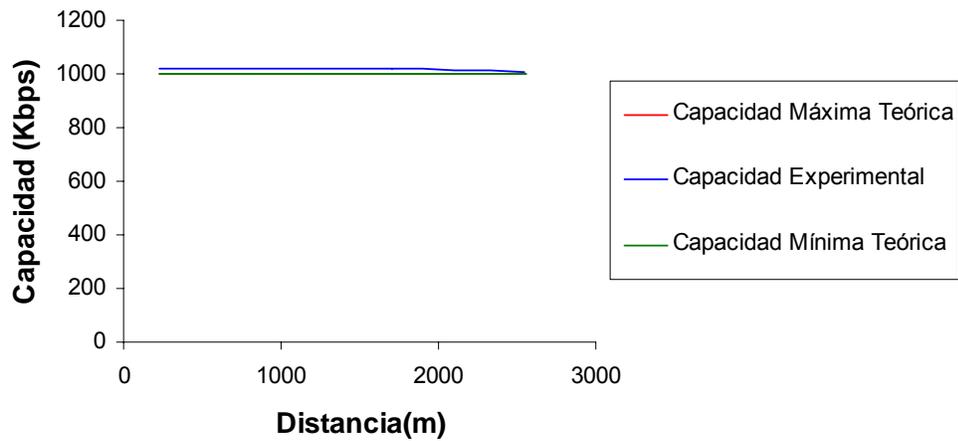


Figura 91. Comparación entre las capacidades teóricas obtenidas con el modelo matemático y la capacidad experimental de las mediciones realizadas, para ADSL2+ en sentido DownStream.

Velocidad de Bajada ADSL2 Vrs ADSL2+

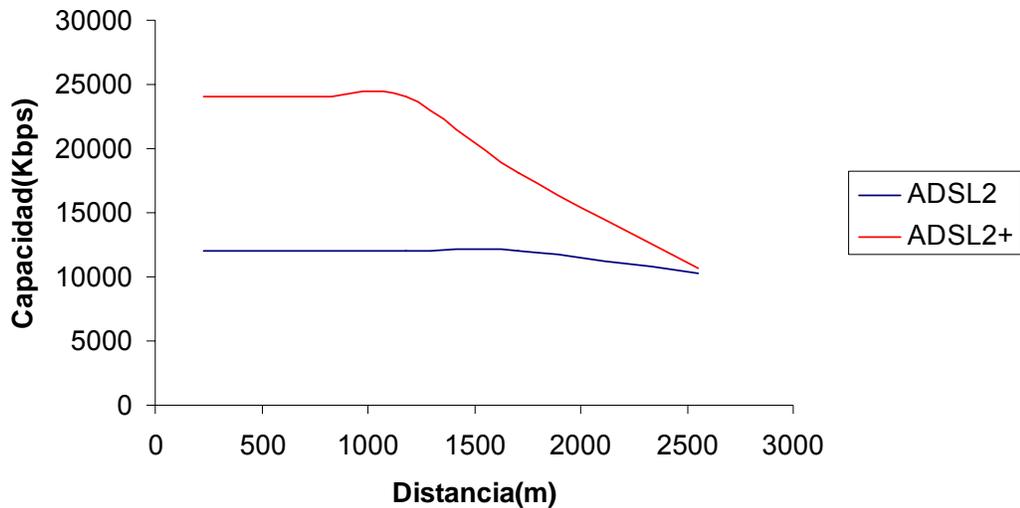


Figura 92. Comparación entre la velocidad de bajada alcanzada por *ADSL2* y *ADSL2+*

La Figura 92 muestra la velocidad de bajada alcanzada por las tecnologías *ADSL2* y *ADSL2+*. Como se puede ver en el gráfico, *ADSL2+* alcanza prácticamente el doble de la velocidad que *ADSL2*, esto debido a que la primera tecnología utiliza el doble de ancho de banda de bajada, el cual llega hasta los 2.208 MHz, y no a 1.104 MHz.

El ancho de banda se aprovecha en distancias pequeñas, en específico, aproximadamente en los primeros 1000 metros. Esto debido a que conforme se incrementa la distancia se incrementa también la atenuación a frecuencias superiores, por lo que las subportadoras a mayores frecuencias son inutilizables. Es por esta razón que la tecnología *ADSL2+* llega a equipararse con el servicio *ADSL2*, a una distancia de aproximadamente 2500 metros.

8.6.1.3 Pruebas de Capacidad y Factibilidad de los servicios *ADSL2* y *ADSL2+* en el distrito 16, *Calle Zamora*

8.6.1.3.1 Servicio *ADSL2* configurado a una velocidad de 12/1 *Mbps*

Tabla 27. Resultados de las pruebas de capacidad del servicio *ADSL2*, configurado a una velocidad de 12/1 *Mbps*, en el distrito de Calle Zamora.

Número de Par	H9-3	F6-7	E8-5	E2-3	B1-2	B1-3	A8-2	A8-3	A5-4	A5-5
Distancia(m)	334	1386	1779	2213	2715	2725	3030	3050	3330	3370
Rate_Up	1023	1023	1023	975	991	995	947	843	856	815
Rate_Down	11996	11446	11996	11399	9275	9247	7479	6955	5639	5931
Max_Rate_Up	1136	1112	1196	1052	1068	1072	1024	920	932	892
Max_Rate_Down	13136	12372	12900	12224	10128	10152	8348	7856	6532	6796
Capacidad_Up(%)	90,05	91,99	85,53	92,68	92,79	98,02	92,48	91,63	91,84	91,36
Capacidad_Down(%)	91,32	92,51	92,99	93,25	91,57	43,88	89,59	88,53	86,32	87,27
Att_Up(dB)	1,4	10,7	14,3	17,9	23,6	23,8	25,8	26	29,5	29,8
Att_Down(dB)	4,5	22	28	34,5	42,5	43	46	46,5	51,5	52
SNR_Up(dB)	7,6	6,9	9,9	6,2	6,5	6,5	6,2	7,3	5,9	6,4
SNR_Down(dB)	12,3	6,1	9,1	6,7	6,9	6,6	5,6	5,9	6,3	6

En las gráficas que se muestran en la Figura 93 y Figura 94, se observa la velocidad de transmisión de datos alcanzada por la tecnología *ADSL2*, en sentido de transmisión de subida y bajada, respectivamente. Estas velocidades disminuyen conforme se incrementa la distancia, debido al fenómeno de atenuación de la línea.

Por otra parte en las gráficas que se pueden observar en la Figura 95 y Figura 96, se muestra la capacidad de transmisión.

De modo similar a lo acontecido en el distrito de San Miguel, en las gráficas de la Figura 97 y Figura 98, se observa como los resultados experimentales se ajustan exitosamente al modelo teórico obtenido.

Velocidad de Subida Vrs Distancia para ADSL2

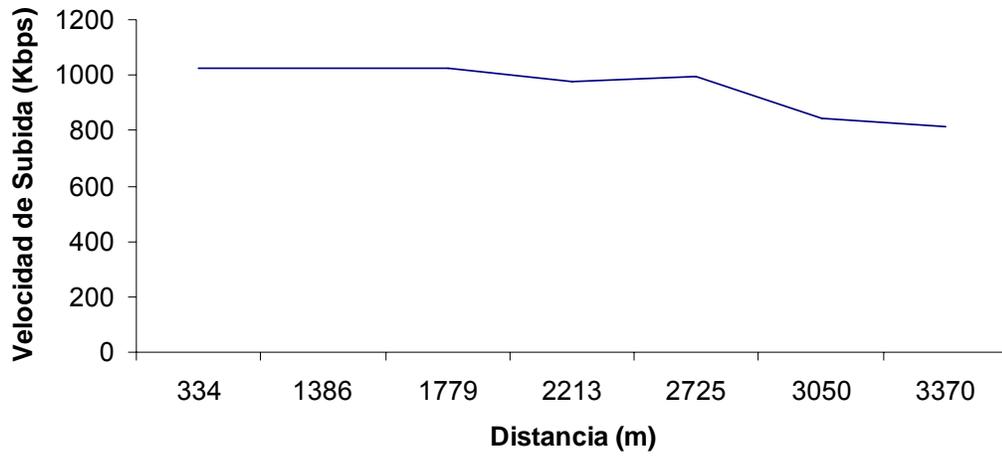


Figura 93. Velocidad de subida en función de la distancia para ADSL2.

Velocidad de Bajada Vrs Distancia para ADSL2

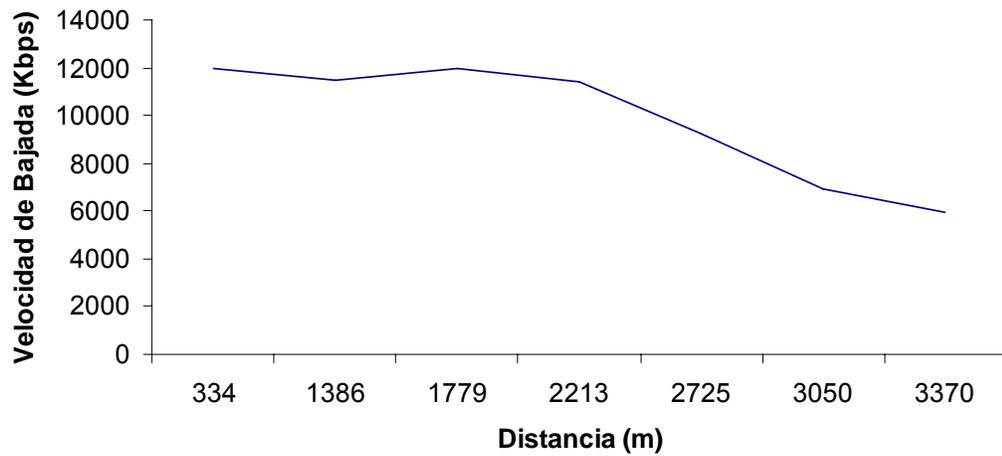


Figura 94. Velocidad de bajada en función de la distancia para ADSL2.

Capacidad de Subida para ADSL2

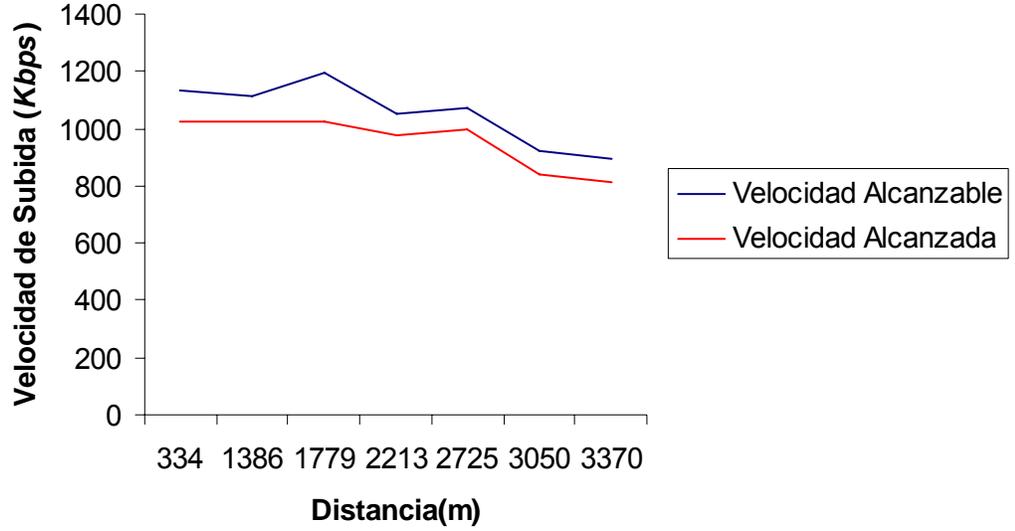


Figura 95. Capacidad de subida en función de la distancia, para ADSL2.

Capacidad de Bajada para ADSL2

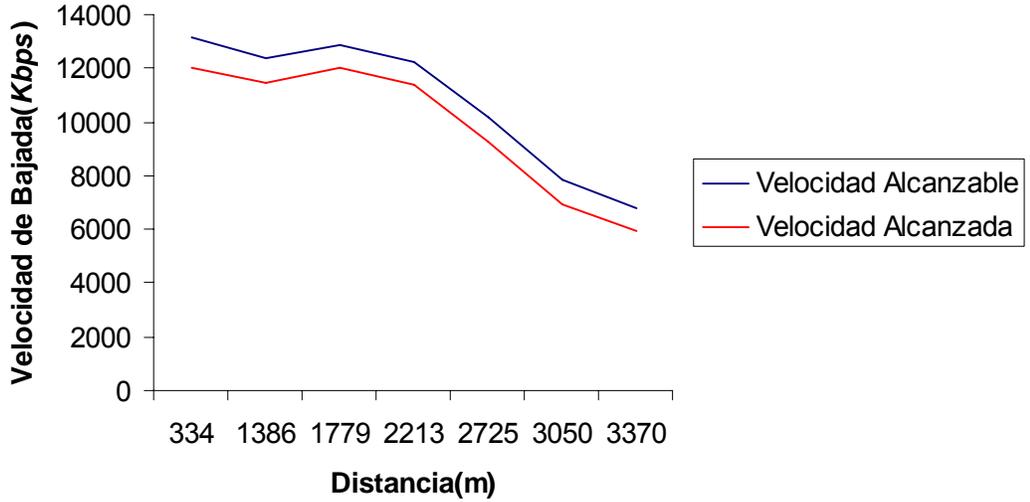


Figura 96. Capacidad de bajada en función de la distancia, para ADSL2.

Capacidad *DownStream* ADSL2, Distrito 16

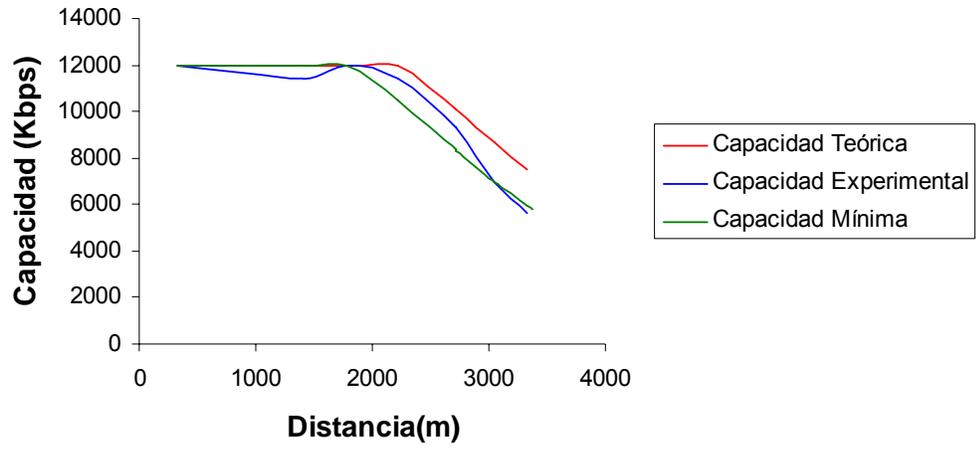


Figura 97. Comparación entre las capacidades teóricas obtenidas con el modelo matemático y la capacidad experimental de las mediciones realizadas, para ADSL2 en sentido *DownStream*.

Capacidad *UpStream* ADSL2, Distrito 16

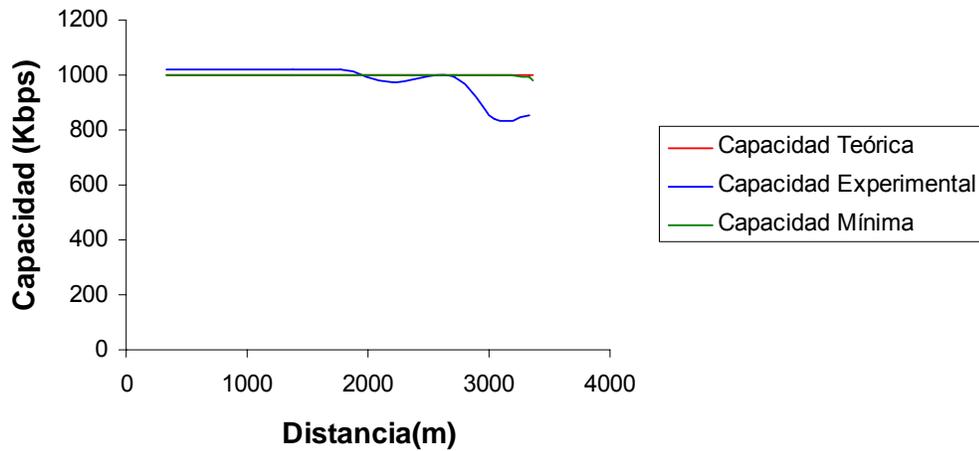


Figura 98. Comparación entre las capacidades teóricas obtenidas con el modelo matemático y la capacidad experimental de las mediciones realizadas, para ADSL2 en sentido *UpStream*.

8.6.1.3.2 Servicio ADSL2+ configurado a una velocidad de 24/1 Mbps

Tabla 28. Resultados de las pruebas de capacidad del servicio ADSL2+, configurado a una velocidad de 24/1 Mbps, en el distrito de Calle Zamora.

Número de Par	H9-4	F6-8	E8-4	E8-5	E2-4	B1-2	B1-3	A8-2	A8-3	A5-4	A5-5
Distancia(m)	332	1392	1772	1779	2174	2715	2725	3030	3050	3330	3370
Rate_Up	1023	1023	1023	1023	1023	1023	1007	971	984	952	843
Rate_Down	23996	22579	17653	18547	13777	9956	9753	7355	6631	5327	6023
Max_Rate_Up	1124	1176	1152	1208	1168	1116	1084	1048	1060	1028	920
Max_Rate_Down	28196	24200	19440	20372	15220	11084	10864	8316	7580	6252	6856
Capacidad_Up(%)	80,9	86,98	88,8	84,68	87,58	91,67	92,89	92,65	92,83	92,6	91,63
Capacidad_Down(%)	85,1	94,17	90,8	91,04	90,51	89,82	89,77	88,44	87,48	85,2	87,85
Att_Up(dB)	1,5	10,8	14,5	14,4	17,7	23,5	23,7	26	26,1	29,7	30
Att_Down(dB)	6,5	25	31,5	31	37,5	45,5	46	49,5	49,5	55	55
SNR_Up(dB)	7,1	8,9	8,3	9,8	8,9	6,8	6,1	7	5,6	6,4	6,5
SNR_Down(dB)	13,8	7,9	7,5	7,3	6,7	6,5	6,3	6,3	5,5	5,9	5,8

En las gráficas que se muestran en la Figura 99 y Figura 100, se observa como la velocidad de transmisión de datos disminuye conforme se incrementa la distancia, debido al fenómeno de atenuación de la línea.

Por otra parte en las gráficas que se pueden observar en la Figura 101 y Figura 102, se muestra la capacidad de transmisión. Se muestra la velocidad alcanzable y la velocidad alcanzada por el módem *CPE*. La velocidad alcanzable es la velocidad de sincronía que se podría obtener si los límites de sincronía en el equipo *I-MAP* fueran removidos. Esta velocidad, es además, un buen indicador de la calidad general del bucle de abonado. La velocidad alcanzada es la velocidad a la cual el *CPE* sincroniza con el *I-MAP*. Ambos parámetros definen el valor de la capacidad de transmisión.

Por último, en las gráficas de la Figura 103 y la Figura 104, se observa como los resultados experimentales se acercan exitosamente a los límites mínimos y máximos de capacidad calculados por el algoritmo de *software* creado en *Matlab*. Estos resultados justifican y validan el modelo teórico como una herramienta confiable para la determinación de la factibilidad de un servicio.

Velocidad de Subida Vrs Distancia para ADSL2+

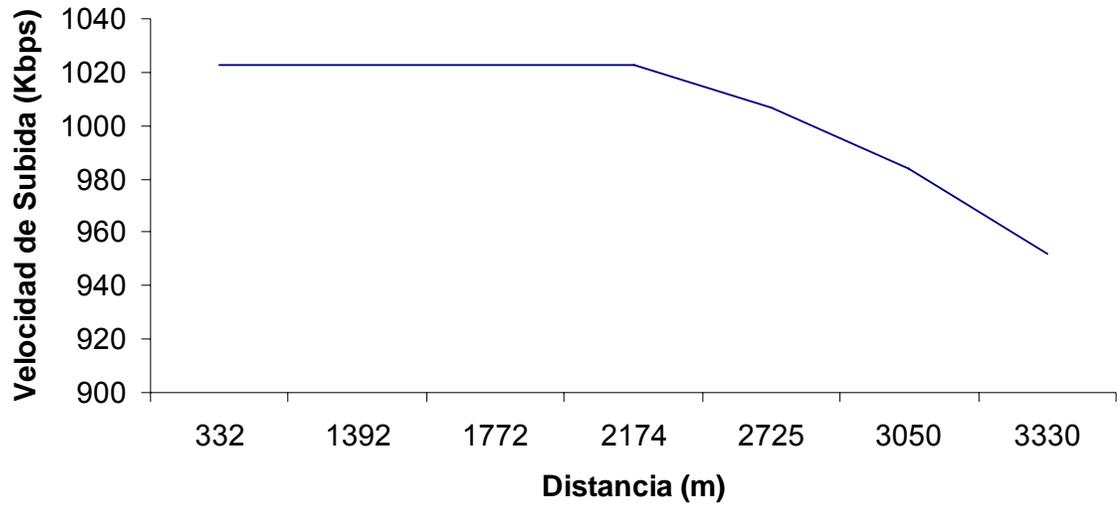


Figura 99. Velocidad de subida en función de la distancia para ADSL2+.

Velocidad de Bajada Vrs Distancia para ADSL2+

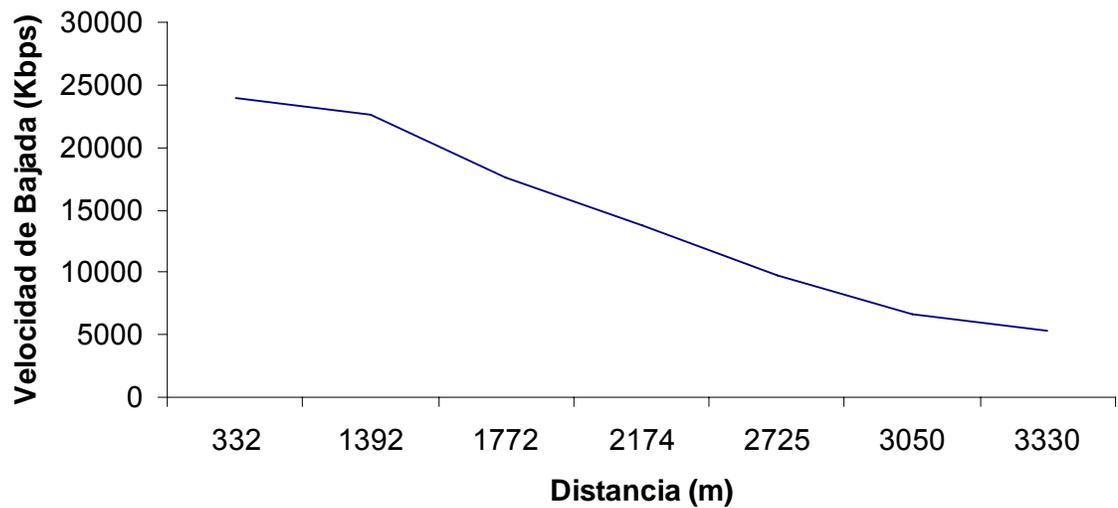


Figura 100. Velocidad de bajada en función de la distancia para ADSL2+.

Capacidad de Subida Vrs Distancia para ADSL2+

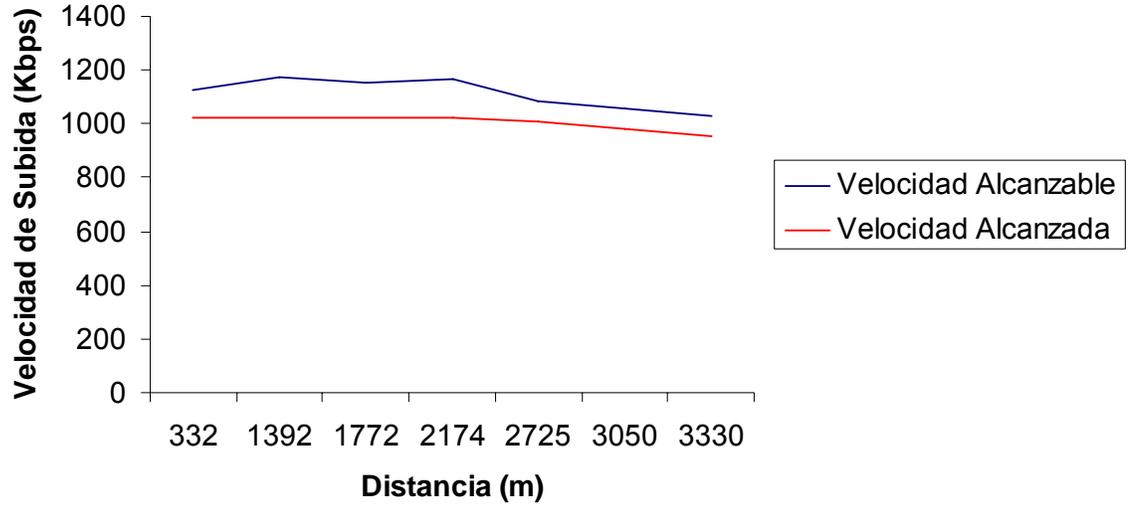


Figura 101. Capacidad de subida en función de la distancia, para ADSL2+.

Capacidad de Bajada Vrs Distancia para ADSL2+

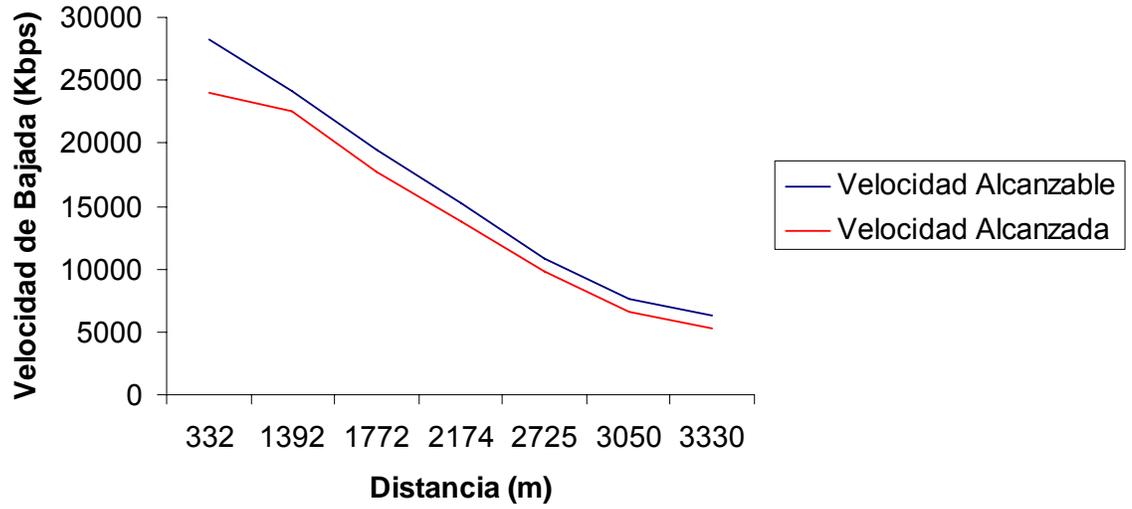


Figura 102. Capacidad de bajada en función de la distancia, para ADSL2+.

Capacidad *DownStream* ADSL2+, Distrito 16

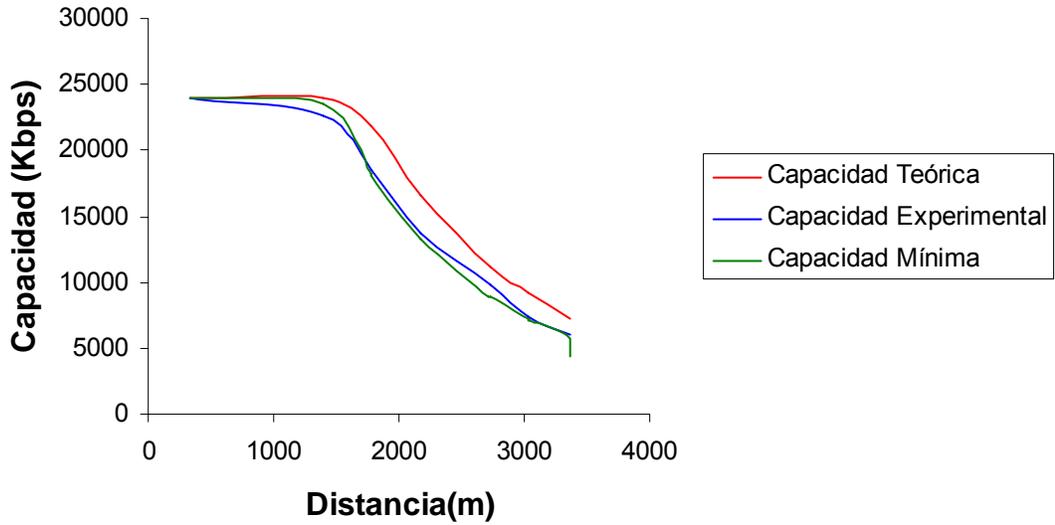


Figura 103. Comparación entre las capacidades teóricas obtenidas con el modelo matemático y la capacidad experimental de las mediciones realizadas, para ADSL2+ en sentido *DownStream*.

Capacidad *UpStream* ADSL2+, Distrito 16

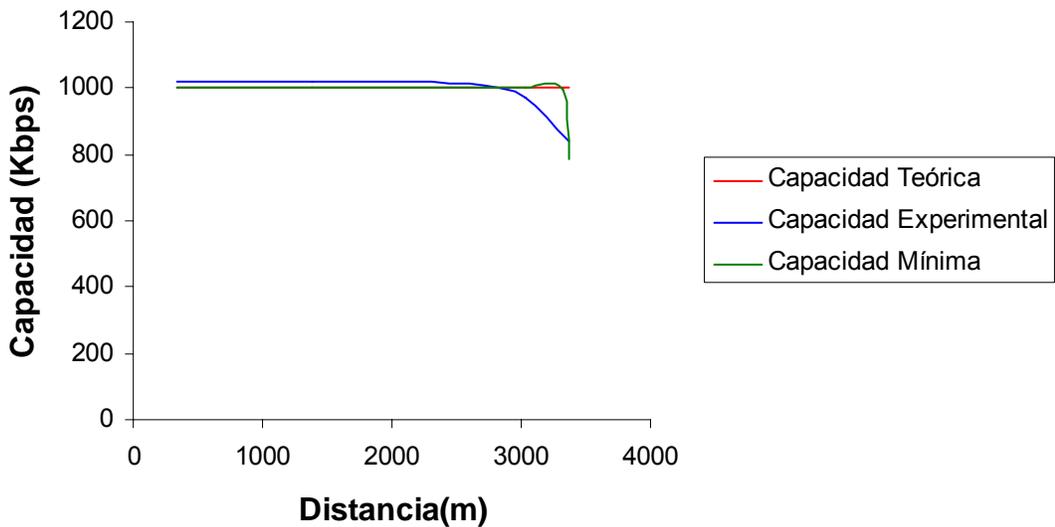


Figura 104. Comparación entre las capacidades teóricas obtenidas con el modelo matemático y la capacidad experimental de las mediciones realizadas, para ADSL2+ en sentido *UpStream*.

Capítulo 9. Conclusiones y Recomendaciones

9.1 Conclusiones

- Se demostró experimentalmente como la atenuación de la línea telefónica de cobre varía de forma exponencial, en función de la frecuencia de transmisión, la longitud del cable y las características físicas de este, como el aislante y calibre, que definen los parámetros distribuidos de la línea de transmisión.
- La capacidad de velocidad de transmisión de los servicios *ADSL2* y *ADSL2+* depende estrictamente de la distancia a la que se encuentra el abonado de la unidad remota, el ruido en la línea de transmisión, y de los parámetros de calibre y dieléctrico del par telefónico de cobre.
- El incremento en el ancho de banda de bajada de la tecnología *ADSL2+* no es provechoso a distancias largas, ya que las portadoras ubicadas a altas frecuencias se ven sumamente afectadas por la atenuación de la línea de transmisión.
- A cortas distancias de transmisión, la tecnología *ADSL2+* consigue prácticamente el doble de velocidad de transferencia de datos que la tecnología *ADSL2*.
- Se ha comprobado experimentalmente la incidencia de la interferencia de radio AM, sobre las líneas telefónicas, las cuales son susceptibles a este fenómeno al ser tendidos aéreos expuestos a las ondas de radiocomunicaciones, debido a que la portadora principal de transmisión de radio AM se ubica en el mismo rango espectral de frecuencia que los servicios en estudio.
- La atenuación de la línea telefónica de cobre es el principal limitante en el alcance de los servicios de banda ancha *ADSL2* y *ADSL2+*.

9.2 Recomendaciones

- Se recomienda la actualización de los equipos de medición que posee el departamento de Evaluación de Red y Sistemas del ICE. Esto debido a que estos equipos están capacitados solamente para realizar la evaluación de la capacidad del par telefónico de cobre para brindar el servicio *ADSL* convencional y no soportan los nuevos estándares de la UIT-T *G.992.3* y *G.992.5*, de *ADSL2* y *ADSL2+* respectivamente.
- Se debe brindar una capacitación al personal del departamento en cuanto al uso y mantenimiento de los equipos de caracterización de la capacidad de los pares telefónicos para brindar servicios de banda ancha.
- Se recomiendan estudios posteriores en cuanto a la capacidad de las líneas telefónicas de cobre de transmitir servicios que requieren de un alto ancho de banda, como servicios de voz, video y datos.
- Utilizar siempre las recomendaciones internacionales de organismos consolidados como la *UIT-T*, *ANSI*, *IEEE*, *ETSI*, ya que definen estándares de telecomunicaciones que aseguran un buen funcionamiento de las tecnologías y equipos.
- Es recomendable realizar mediciones que permitan determinar la calidad de la capa física de los pares telefónicos de cobre, antes de realizar pruebas de servicios de banda ancha, tales como análisis de resistencia de aislamiento, capacitancia, y determinación de cortos o abiertos en la línea; esto para evitar retrasos en la realización de las pruebas de factibilidad.

Bibliografía

- [1] Abadía Digital.com: Noticias, Tecnología e Internet, Versión 4.0. **“¿Qué es ADSL2+?”**. [En línea]. España, 7 de julio del 2006. <www.abadiadigital.com>. [Consulta: 10 marzo del 2007].
- [2] ADC Telecommunications, Inc. **“BroadAccess Descripción del Sistema”**. Minneapolis, Minnesota, 2003.
- [3] Alvarado Jairo y Castro Luis Alonso. **“Rendimiento de las redes de cobre (Planta Externa) en presencia de señales de banda ancha”**. Informe del Proyecto de Graduación para optar por el título de Ingeniería Electrónica. Instituto Costarricense de Electricidad ICE, Cartago, 2004.
- [4] American National Standard for Telecommunications ANSI **“Asymmetric Digital Subscriber Line (ADSL) Metallic Interface”**, T1.413, 1998.
- [5] Bengston Daniel, Landström Daniel. **Coding in a Discrete Multitone Modulation System**. Lulea University of Technology 1996. [En línea]. <http://www.sm.luth.se/~daniel> [Consulta: 11 de julio del 2007].
- [6] Chaves Jiménez Adolfo y Fallas Fallas Glenn. **“Evaluación y parametrización del rendimiento de la red telefónica para soportar los servicios de Banda Ancha”**. Informe del Proyecto de Graduación para optar por el título de Ingeniería Electrónica. Instituto Costarricense de Electricidad ICE, Cartago, Agosto, 2004.
- [7] DSL FORUM. **“ADSL2 AND ADSL2plus-The new ADSL Standards”**. March 25, 2003 [En línea]. <www.dslforum.org/aboutdsl/ADSL2_wp.pdf> [Consulta: 20 abril del 2007].
- [8] Grupo ICE, Internet del ICE. **“@celera Internet del ICE, ADSL”**. [En línea]. Página del Grupo ICE, Costa Rica, 2005. <www.grupoice.com/esp/serv/tele_comp/adsl/> [Consulta: 10 marzo del 2007].

- [9] Hayt William H. **Teoría Electromagnética**. Quinta edición. McGraw-Hill Interamericana, México, 1991.
- [10] Hernández Rioja Inmaculada. **Procesado de señal en comunicaciones. Tema 3. Modulación QAM**. [En línea]. 1995. <bips.bi.ehu.es/~inma/psc/tema3.pdf>. [Consulta: 15 de julio del 2007]
- [11] International Telecommunication Union (ITU). **ITU Web Site**. [En línea].USA.<http://www.itu.int>. [Consulta: 12 marzo del 2007].
- [12] Programa de Red IP. **Subproyecto I-MAP1 (Integrated Multiservice Access Platform)**. [En línea]. Página del Grupo ICE, Costa Rica, 2005. <www.grupoice.com/esp/tele/infraest/icetel/prog_red_ip.htm> [Consulta: 10 marzo del 2007].
- [13] Quesada, Eladio. **Planta Externa**. Unidad Estratégica de Negocios Gestión y Mantenimiento de Red, Instituto Costarricense de Electricidad.2002.
- [14] Rosales Luis Carlos y Valverde Manuel. **Propuesta de evaluación de la capacidad de la red de planta externa del ICE para brindar servicios telemáticos de banda ancha**. Informe del Proyecto de Graduación para optar por el título de Ingeniería Electrónica. Instituto Costarricense de Electricidad ICE, Cartago, 2004.
- [15] Solano A, Randall Ing. **Guía de Culturización del servicio ADSL**. Telecomunicaciones UENDEP, Instituto Costarricense de Electricidad, marzo del 2004.
- [16] Strempler F.G. **Introducción a los Sistemas de Comunicación**. Tercera Edición. Addison-Wesley Iberoamericana. 1993.
- [17] Telecom. **Cross submissions in respect of the Commission's Draft determination on the application for access to and interconnection with Telecom's Fixed PDN Service**. [En línea] New Zealand. 1995.

- [http://www.comcom.govt.nz/.../Telecom<Telecom UBS cross submissions on Commission Draft Public version.pdf](http://www.comcom.govt.nz/.../Telecom%20UBS%20cross%20submissions%20on%20Commission%20Draft%20Public%20version.pdf)>. [Consulta: 16 de julio del 2007].
- [18] Teledata Networks. “**Providing Broadband Services Over IP Networks**”.2004.[Enlínea].<www.teledatanetworks.com/data/SIP_STORAGE/files/4/244.pdf> [Consulta: 20 abril del 2007].
- [19] Teledata Networks. “**Soluciones de Redes de Acceso: Migrando del presente al futuro**” [En línea]. White Paper: Migrating_WP_spanish_new.doc. Julio del 2004. <www.teledata-networks.com>. [Consulta: 10 marzo del 2007].
- [20] UIT-T G.992.1 (1999). “**Sistemas y medios de transmisión. Sistemas y redes digitales. Transceptor de línea de abonado digital asimétrica**”.
- [21] UIT-T G.992.2 (1999). “**Transceptores de línea de abonado digital asimétrica (ADSL) sin divisores**”.
- [22] UIT-T G.992.3 (2002). “**Transceptores de línea de abonado digital asimétrica 2**”.
- [23] UIT-T G.992.4 (2002). “**Transceptores para línea de abonado digital asimétrica 2 sin divisor**”.
- [24] UIT-T G.992.5 (2005). “**Transceptores para línea de abonado digital asimétrica – Línea de abonado digital asimétrica 2 de anchura de banda ampliada (ADSL2+)**”.
- [25] UIT-T G.995.1 (2005). “**Gestión de capa física para transceptores de línea de abonado digital**”.
- [26] UIT-T G.995.1 (2001). “**Visión de conjunto de las Recomendaciones sobre líneas de abonado digitales**”.
- [27] UIT-T G.996.1 (2001). “**Sistemas y medios de transmisión. Sistemas y redes digitales. Procedimientos de prueba para transceptores de líneas de abonado digitales**”.

- [28] Vocal Technologies. **ADSL2**. New York, 2003. [En línea].
<http://www.vocal.com>. [Consulta: 24 de julio del 2007].
- [29] WIKIPEDIA. “**ADSL2**” [En línea]. La enciclopedia libre. 2001.
<<http://es.wikipedia.org/wiki/ADSL> > [Consulta: 10 de marzo del 2007].
- [30] Wong, Ian C et all. **High-Speed Wireline Communication Systems**.
Embedded Signal Processing Laboratory, The University of Texas, USA,
2005.<users.ece.utexas.edu/~bevans/projects/adsl/HighSpeedWirelineReport.pdf> [Consulta: 4 de agosto del 2007].
- [31] Zanatta Filho D et all. **The capacity of binders for MIMO digital subscriber lines**. [En línea]. School of Electrical and Computer Engineering. University of Campinas – UNICAMP, Brasil, 2006.
<www.decom.fee.unicamp.br/~rlopes/conf/dsl_its.pdf>. [Consulta: 26 de julio del 2007].

Apéndices

Apéndice 1. Recomendaciones de la UIT-T para ADSL2

- **Recomendación UIT-T G.961 (1993)**, *Sistema de transmisión digital por líneas locales metálicas para el acceso a velocidad básica de la red digital de servicios integrados.*
- **Recomendación UIT-T G.994.1 (2002)**, *Procedimiento de toma de contacto para transceptores de línea de abonado digital.*
- **Recomendación UIT-T G.996.1 (2001)**, *Procedimientos de prueba para transceptores de líneas de abonado digitales.*
- **Recomendación UIT-T G.997.1 (1999)**, *Gestión de capa física para transceptores de línea de abonado digital.*
- **ISO 8601 (2000)**, *Data elements and interchange formats – Information interchange – Representation of dates and times.*
- **Recomendación UIT-T G.993.1 (2001)**, *Fundamento de la línea de abonado digital de velocidad muy alta.*
- **DSL Forum TR-048 (2002)**, *ADSL Interoperability Test Plan.*
- **ETSI TS 101 388 V1.3.1 (2002)**, *ADSL – European Specific Requirements.*
- **ETSI TS 102 080 V1.3.2 (2000)**, *Transmission and Multiplexing (TM); Integrated Services Digital Network (ISDN) basic rate access; Digital transmission on metallic local lines.*
- **Recomendación UIT-T O.42 (1988)**, *Aparato de medida de la distorsión no lineal utilizando el método de intermodulación de cuatro tonos.*

Apéndice 2. Recomendaciones de la UIT-T para ADSL2+

- **Recomendación UIT-T G.961 (1993)**, *Sistema de transmisión digital por líneas locales metálicas para el acceso a velocidad básica de la red digital de servicios integrados.*
- **Recomendación UIT-T G.994.1 (2003)**, *Procedimientos de toma de contacto para transceptores de línea de abonado digital.*
- **Recomendación UIT-T G.996.1 (2001)**, *Procedimientos de prueba para transceptores de líneas de abonado digitales.*
- **Recomendación UIT-T G.997.1 (2003)**, *Gestión de capa física para transceptores de línea de abonado digital.*
- **Recomendación UIT-T G.992.3 (2005)**, *Transceptores de línea de abonado digital asimétrica 2, más enmienda 1 (2003).*
- **ETSI TS 102 080 V1.3.2 (2000)**, *Transmission and Multiplexing (TM); Integrated Services Digital Network (ISDN) basic rate access; Digital transmission system on metallic local lines.*

Apéndice 3. Configuración del CPE, ATUR-210

El módem utilizado para la realización de las pruebas de factibilidad sobre la línea telefónica de cobre fue el módem *ATUR-210*. Este dispositivo debe conectarse a la línea telefónica mediante un conector RJ-11, mediante el puerto de entrada *ADSL*. La computadora se conecta mediante *Ethernet*, utilizando cualquiera de los cuatro puertos *LAN* disponibles. La alimentación del módem es con un adaptador de 15 VDC y 0.4 A. En la Figura 105 muestra un diagrama de las interfaces de conexión del *ATUR-210*.

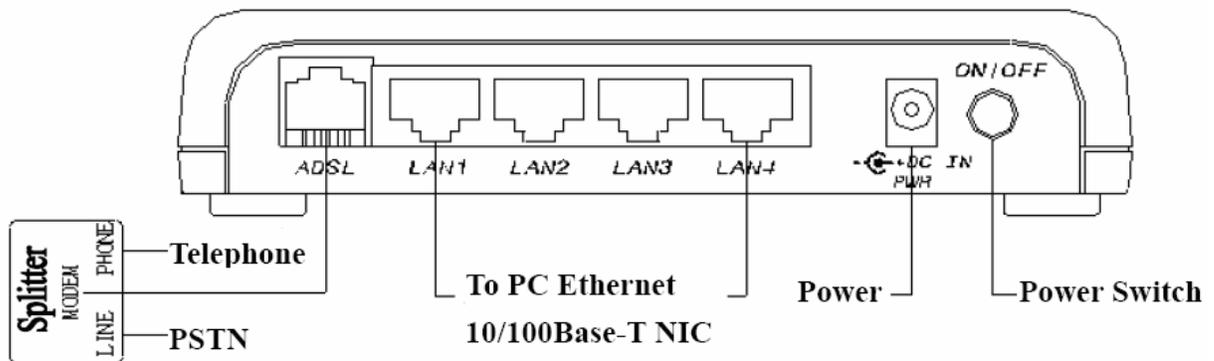


Figura 105. Diagrama de las interfaces de conexión del módem *ATUR-210*.

Los pasos de conexión son los siguientes:

1. Conectar un extremo del cable telefónico al puerto etiquetado como *ADSL*, en el panel trasero del *CPE*. Se conecta el otro extremo al par telefónico que se encuentra en prueba y que tiene un servicio de *ADSL* activo.
2. Conectar el cable *Ethernet*. Al conectar una *LAN* con el *ATU-R210 ADSL/Ethernet Router*, se debe utilizar un cable plano para conectar el puerto *Ethernet* de la *PC* con el puerto *LAN* del *CPE*.
3. Se conecta la alimentación al dispositivo y se enciende mediante el botón de alimentación.
4. Se procede a configurar el módem, como se describe en la siguiente sección.

Para resetear el módem y hacer que este vuelva a su configuración por defecto de fábrica, se siguen los siguientes pasos:

1. Se apaga el *CPE*, pero se deja conectado.
2. Se presiona el botón de reset, que se encuentra junto al puerto de alimentación del dispositivo.
3. Se espera hasta que se encienda el *LED ADSL-ACT*, y se apaga de nuevo el *CPE*.
4. Cuando se encienda el *CPE*, éste tendrá configurados los valores por defecto.

La configuración del módem se realiza mediante una conexión *WEB* con un *browser* de *Internet*, como se detalla en las siguientes indicaciones:

1. Abrir la ventana de “Conexiones de Red”, como se muestra en la Figura 106.

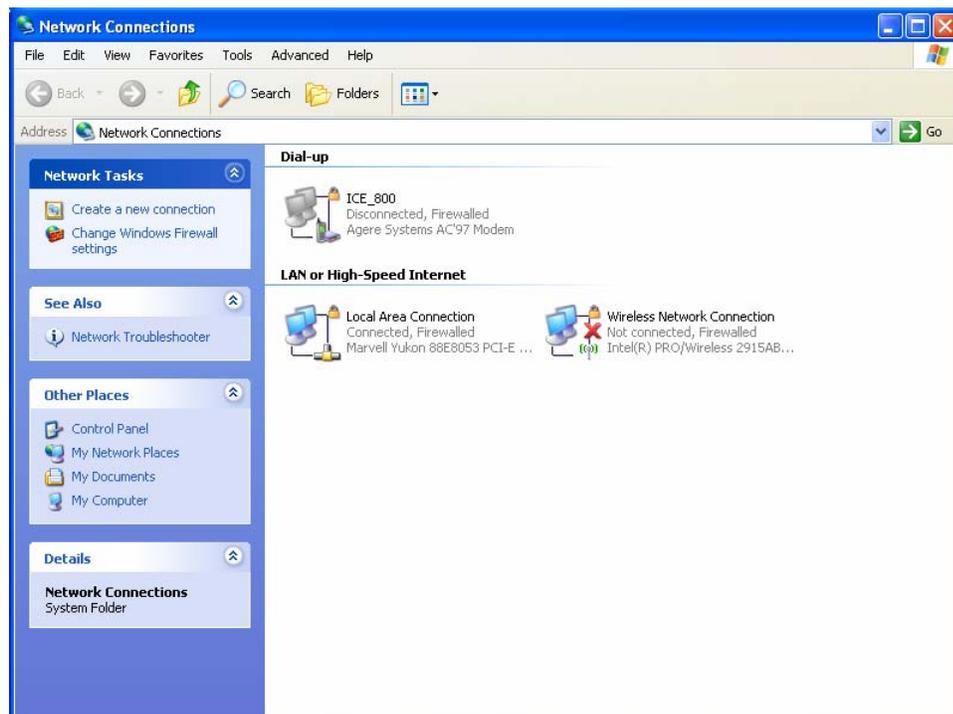


Figura 106. Ventana de conexiones de red.

2. Hacer *click* derecho en “Conexión de Área Local”, y seleccionar propiedades.

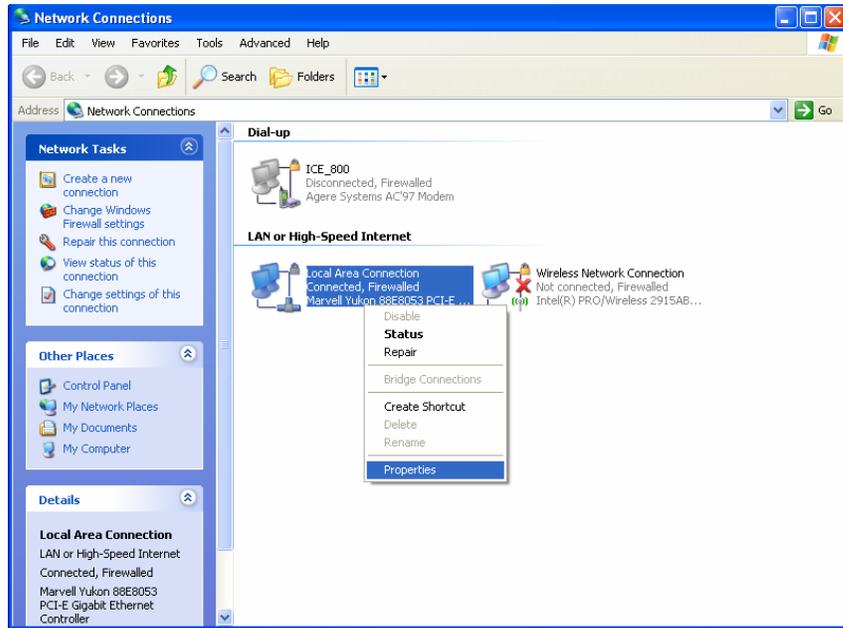


Figura 107. Selección de propiedades en el icono de conexión de área local.

3. Seleccionar “*Internet Protocol TCP/IP*”, y hacer *click* en propiedades.

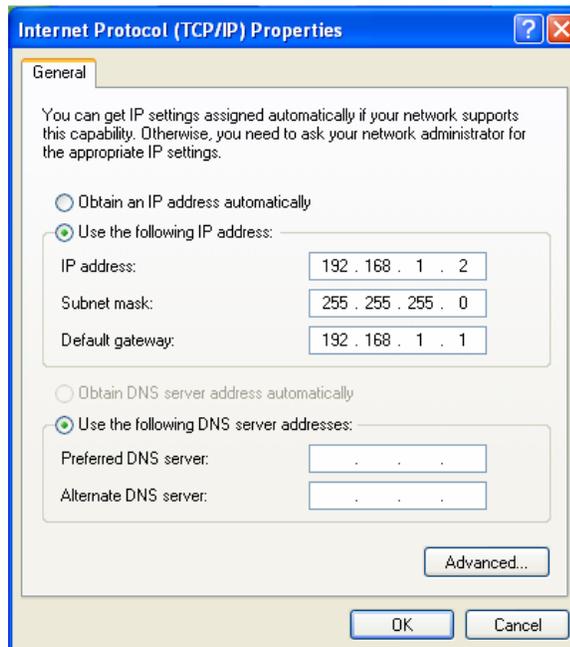
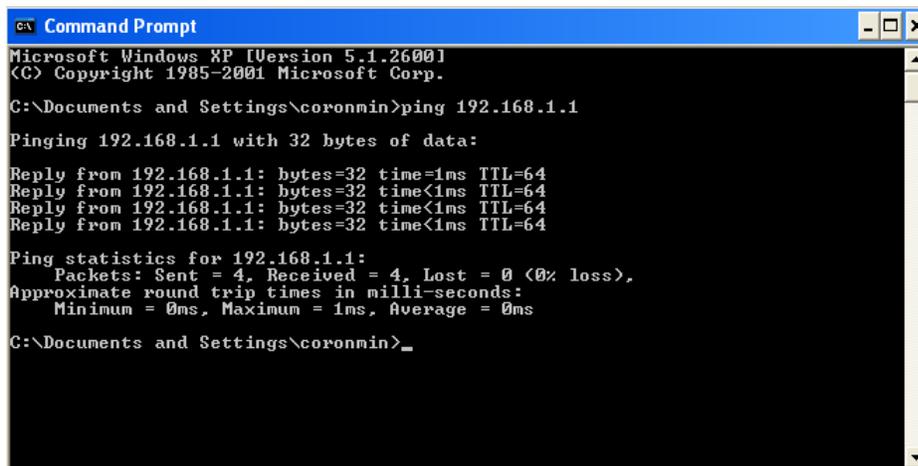


Figura 108. Pantalla de propiedades del protocolo *TCP/IP*.

4. Se utilizan las siguientes direcciones de red:
Dirección *IP*: 192.168.1.2
Máscara de Subred: 255.255.255.0
Puerta de Enlace Predeterminada: 192.168.1.1
5. Hacer un *ping* a la dirección de la puerta de enlace predeterminada, 192.168.1.1, para comprobar la conectividad entre la *PC* y el módem *CPE*, tal como se muestra en la Figura 109.



```
Microsoft Windows XP [Version 5.1.2600]
(C) Copyright 1985-2001 Microsoft Corp.

C:\Documents and Settings\coronmin>ping 192.168.1.1

Pinging 192.168.1.1 with 32 bytes of data:

Reply from 192.168.1.1: bytes=32 time=1ms TTL=64
Reply from 192.168.1.1: bytes=32 time<1ms TTL=64
Reply from 192.168.1.1: bytes=32 time<1ms TTL=64
Reply from 192.168.1.1: bytes=32 time<1ms TTL=64

Ping statistics for 192.168.1.1:
    Packets: Sent = 4, Received = 4, Lost = 0 (0% loss),
    Approximate round trip times in milli-seconds:
        Minimum = 0ms, Maximum = 1ms, Average = 0ms

C:\Documents and Settings\coronmin>_
```

Figura 109. Pantalla de resultados del ping.

6. Abrir el explorador de *Internet*, y conectarse a la dirección <http://192.168.1.1/>

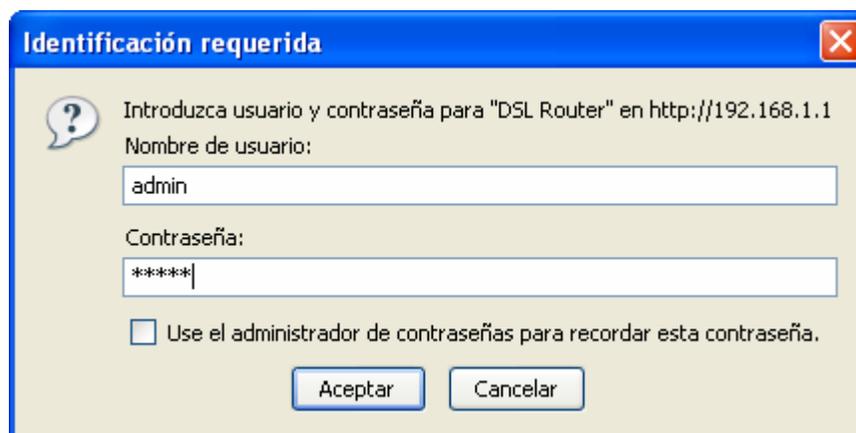


Figura 110. Solicitud de usuario y contraseña al intentar conectarse al módem.

7. Al abrir el explorador de *Internet*, y conectarse a la dirección <http://192.168.1.1/>, se le solicitará un usuario y una contraseña, los cuales son los siguientes:

Usuario: admin

Contraseña: admin

8. Una vez que se ingrese a la pantalla de configuración del módem desde el explorador de *Internet*, se selecciona “*Advanced Setup*” y luego se selecciona el submenú *WAN*, tal como se muestra en la Figura 111.

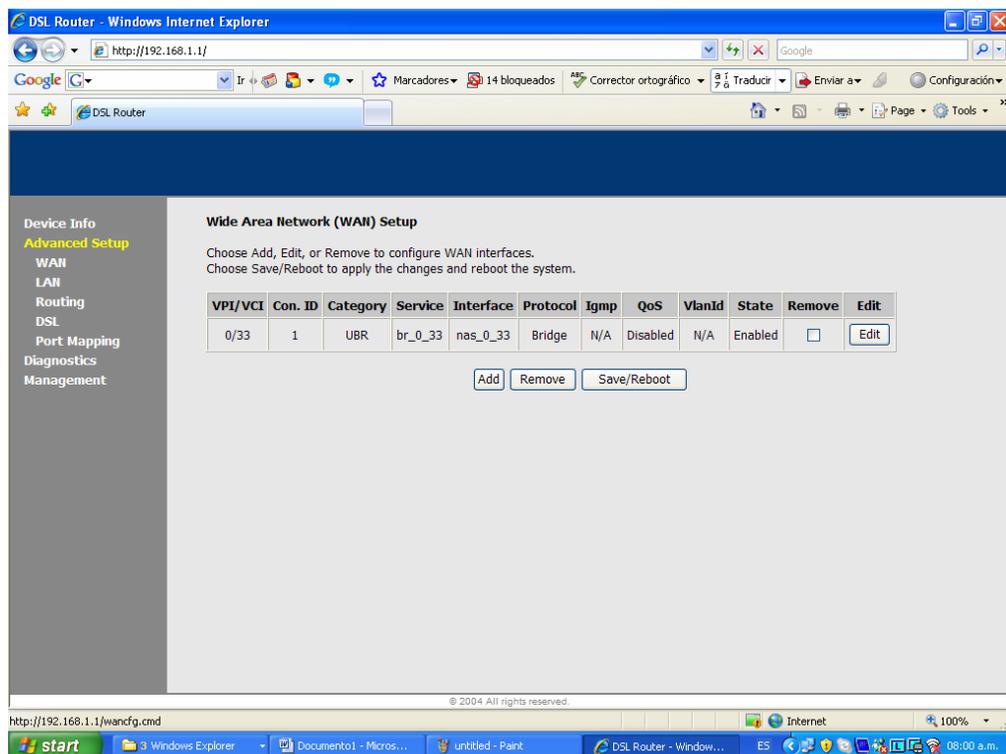


Figura 111. Ventana de configuración avanzada del módem.

9. Para configurar una nueva conexión de red de área ancha (WAN), se hace un *check* en “Remove”. Posteriormente se hace *click* en el botón “Remove”. Ver Figura 112.

Wide Area Network (WAN) Setup

Choose Add, Edit, or Remove to configure WAN interfaces.
Choose Save/Reboot to apply the changes and reboot the system.

VPI/VCI	Con. ID	Category	Service	Interface	Protocol	Igmp	QoS	VlanId	State	Remove	Edit
0/33	1	UBR	br_0_33	nas_0_33	Bridge	N/A	Disabled	N/A	Enabled	<input checked="" type="checkbox"/>	Edit

Figura 112. Configuración de la red de área ancha (WAN)

10. Una vez removida la conexión WAN existente, se hace *click* en el botón “Add”, para agregar una nueva conexión.

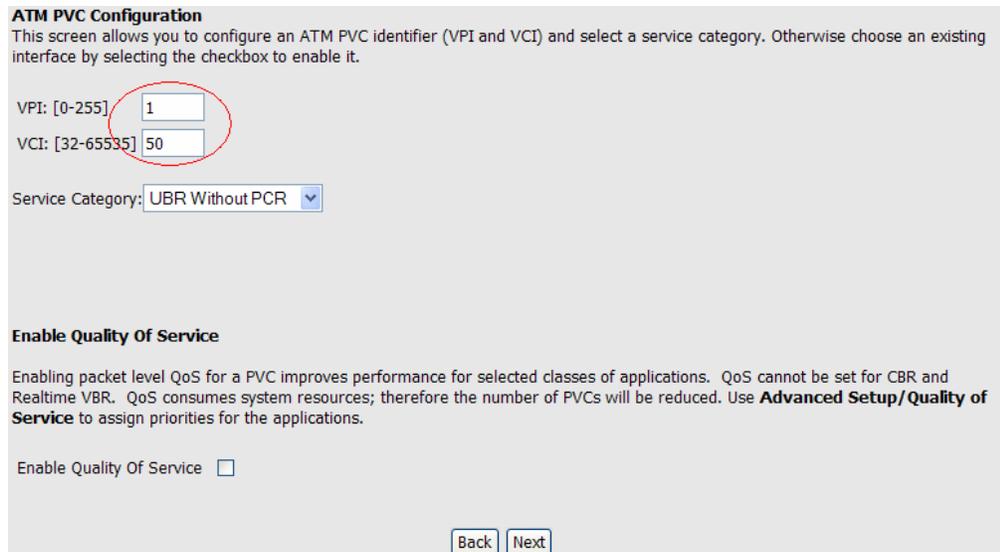
Wide Area Network (WAN) Setup

Choose Add, Edit, or Remove to configure WAN interfaces.
Choose Save/Reboot to apply the changes and reboot the system.

VPI/VCI	Con. ID	Category	Service	Interface	Protocol	Igmp	QoS	VlanId	State	Remove	Edit
0/33	1	UBR	br_0_33	nas_0_33	Bridge	N/A	Disabled	N/A	Enabled	<input checked="" type="checkbox"/>	Edit

Figura 113. Configuración de la interfaz WAN.

11. Seguidamente, se configuran los identificadores para *ATM PVC* (*VPI* y *VCI*), en el extremo del abonado, como se indica en la Figura 114.



ATM PVC Configuration
This screen allows you to configure an ATM PVC identifier (VPI and VCI) and select a service category. Otherwise choose an existing interface by selecting the checkbox to enable it.

VPI: [0-255]

VCI: [32-65535]

Service Category: UBR Without PCR

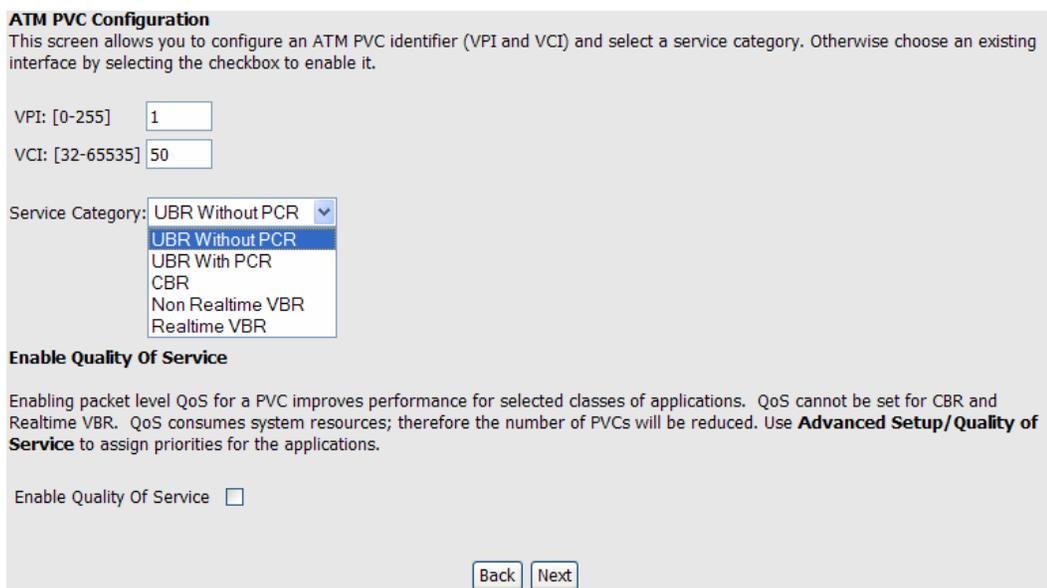
Enable Quality Of Service
Enabling packet level QoS for a PVC improves performance for selected classes of applications. QoS cannot be set for CBR and Realtime VBR. QoS consumes system resources; therefore the number of PVCs will be reduced. Use **Advanced Setup/Quality of Service** to assign priorities for the applications.

Enable Quality Of Service

Back Next

Figura 114. Configuración *ATM*.

12. Seleccione la categoría de servicio “*UBR Without PCR*”



ATM PVC Configuration
This screen allows you to configure an ATM PVC identifier (VPI and VCI) and select a service category. Otherwise choose an existing interface by selecting the checkbox to enable it.

VPI: [0-255]

VCI: [32-65535]

Service Category: UBR Without PCR

- UBR Without PCR
- UBR With PCR
- CBR
- Non Realtime VBR
- Realtime VBR

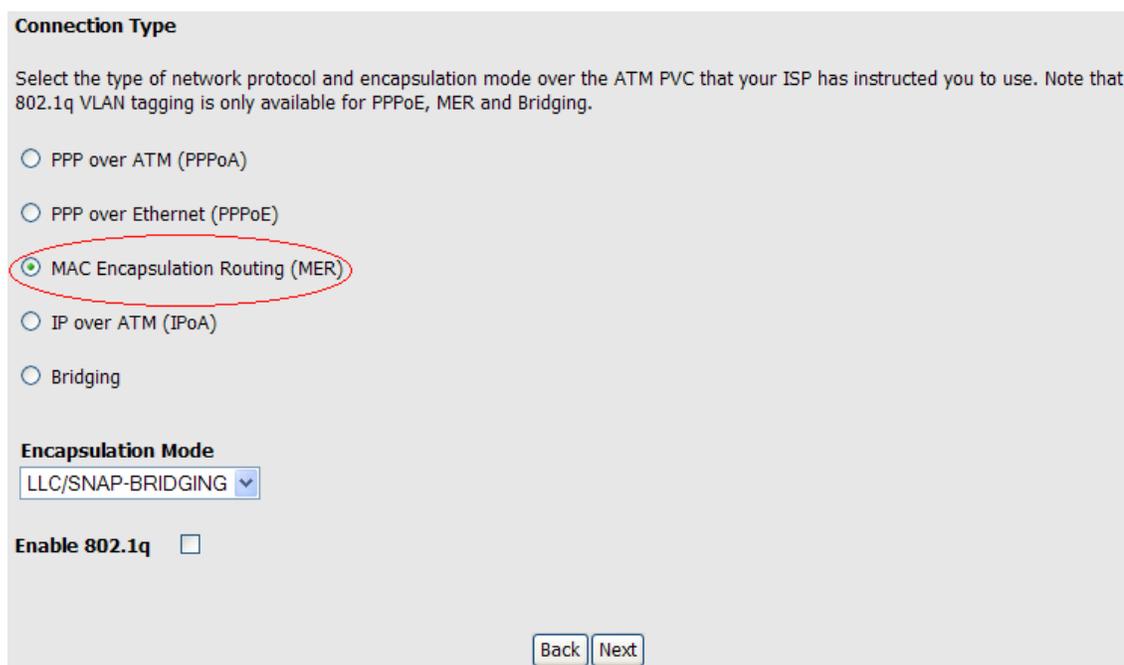
Enable Quality Of Service
Enabling packet level QoS for a PVC improves performance for selected classes of applications. QoS cannot be set for CBR and Realtime VBR. QoS consumes system resources; therefore the number of PVCs will be reduced. Use **Advanced Setup/Quality of Service** to assign priorities for the applications.

Enable Quality Of Service

Back Next

Figura 115. Configuración de la categoría del servicio *ATM*.

13. No habilite “*Quality Of Service*” y posteriormente haga click en el botón “*Next*”, para pasar a la siguiente ventana
14. La ventana actual es la de configuración del tipo de conexión. En esta se selecciona el tipo de protocolo de red y el modo de encapsulación sobre *ATM PVC*, que el proveedor de servicios de Internet (*ISP*), ha recomendado utilizar. Seleccione “*MAC Encapsulation Routing (MER)*”. Ver Figura 116.



Connection Type

Select the type of network protocol and encapsulation mode over the ATM PVC that your ISP has instructed you to use. Note that 802.1q VLAN tagging is only available for PPPoE, MER and Bridging.

PPP over ATM (PPPoA)

PPP over Ethernet (PPPoE)

MAC Encapsulation Routing (MER)

IP over ATM (IPoA)

Bridging

Encapsulation Mode

LLC/SNAP-BRIDGING ▾

Enable 802.1q

Back Next

Figura 116. Selección del tipo de conexión.

15. Posteriormente, seleccione en el modo de encapsulación, la opción “*LLC/SNAP-BRIDGING*”. No seleccione la casilla de “*Enable 802.1q*” y haga *click* en el botón “*Next*”, para pasar a la siguiente ventana de configuración.

Connection Type

Select the type of network protocol and encapsulation mode over the ATM PVC that your ISP has instructed you to use. Note that 802.1q VLAN tagging is only available for PPPoE, MER and Bridging.

PPP over ATM (PPPoA)
 PPP over Ethernet (PPPoE)
 MAC Encapsulation Routing (MER)
 IP over ATM (IPoA)
 Bridging

Encapsulation Mode

Figura 117. Selección del modo de encapsulación.

16. En este punto, se realiza la configuración de las direcciones *IP* para la red *WAN*. Se selecciona la opción “*Use the following IP Address*” y se ingresa la dirección *IP* para la *WAN* y la máscara de subred para esta dirección.

WAN IP Settings

Enter information provided to you by your ISP to configure the WAN IP settings.
 Notice: DHCP can be enabled for PVC in MER mode if "Obtain an IP address automatically" is chosen. Changing the default gateway or the DNS effects the whole system. Configuring them with static values will disable the automatic assignment from DHCP or other WAN connection.
 If you configure static default gateway over this PVC in MER mode, you must enter the IP address of the remote gateway in the "Use IP address". The "Use WAN interface" is optional.

Obtain an IP address automatically
 Use the following IP address:

WAN IP Address:
 WAN Subnet Mask:

Obtain default gateway automatically
 Use the following default gateway:

Use IP Address:
 Use WAN Interface:

Obtain DNS server addresses automatically
 Use the following DNS server addresses:

Primary DNS server:
 Secondary DNS server:

Figura 118. Configuración de las direcciones *IP* para la conexión *WAN*.

En el campo de dirección IP de la WAN, se ingresa la segunda dirección utilizable, a partir de la dirección de red WAN brindada por el ICE, por ejemplo si la dirección proveída es 10.99.255.188/30, entonces la dirección IP para la WAN sería 10.99.255.190, con una máscara de subred de 255.255.255.252.

17. El siguiente paso es ingresar la dirección para la puerta de enlace predeterminada. Esta corresponde a la primera dirección utilizable, a partir de la dirección proveída por el ICE, como se muestra en la Figura 119.

WAN IP Settings

Enter information provided to you by your ISP to configure the WAN IP settings.
Notice: DHCP can be enabled for PVC in MER mode if "Obtain an IP address automatically" is chosen. Changing the default gateway or the DNS effects the whole system. Configuring them with static values will disable the automatic assignment from DHCP or other WAN connection.
If you configure static default gateway over this PVC in MER mode, you must enter the IP address of the remote gateway in the "Use IP address". The "Use WAN interface" is optional.

Obtain an IP address automatically
 Use the following IP address:
WAN IP Address: Segunda dirección utilizable
WAN Subnet Mask:

Obtain default gateway automatically
 Use the following default gateway:
 Use IP Address: Primera dirección utilizable
 Use WAN Interface:

Obtain DNS server addresses automatically
 Use the following DNS server addresses:
Primary DNS server:
Secondary DNS server:

Figura 119. Configuración del host y la puerta de enlace predeterminada.

18. Seguidamente, se selecciona la opción “Use WAN Interface”, y se escoge *mer_1_50/nas_1_50*, como interfaz para la red WAN.

WAN IP Settings

Enter information provided to you by your ISP to configure the WAN IP settings.
Notice: DHCP can be enabled for PVC in MER mode if "Obtain an IP address automatically" is chosen. Changing the default gateway or the DNS effects the whole system. Configuring them with static values will disable the automatic assignment from DHCP or other WAN connection.
If you configure static default gateway over this PVC in MER mode, you must enter the IP address of the remote gateway in the "Use IP address". The "Use WAN interface" is optional.

Obtain an IP address automatically
 Use the following IP address:
WAN IP Address:
WAN Subnet Mask:

Obtain default gateway automatically
 Use the following default gateway:
 Use IP Address:
 Use WAN Interface:

Obtain DNS server addresses automatically
 Use the following DNS server addresses:
Primary DNS server:
Secondary DNS server:

Figura 120. Configuración de la interfaz para la conexión WAN.

19. El último paso de esta ventana de configuración es el de configurar las direcciones de los servidores DNS (Domain Name Server), por lo que se selecciona la opción “Use the following DNS server addresses”.

WAN IP Settings

Enter information provided to you by your ISP to configure the WAN IP settings.
Notice: DHCP can be enabled for PVC in MER mode if "Obtain an IP address automatically" is chosen. Changing the default gateway or the DNS effects the whole system. Configuring them with static values will disable the automatic assignment from DHCP or other WAN connection.
If you configure static default gateway over this PVC in MER mode, you must enter the IP address of the remote gateway in the "Use IP address". The "Use WAN interface" is optional.

Obtain an IP address automatically
 Use the following IP address:
WAN IP Address:
WAN Subnet Mask:

Obtain default gateway automatically
 Use the following default gateway:
 Use IP Address:
 Use WAN Interface:

Obtain DNS server addresses automatically
 Use the following DNS server addresses:
Primary DNS server:
Secondary DNS server:

Figura 121. Configuración de los servidores DNS.

Las direcciones utilizadas para los servidores *DNS* son las siguientes:

- Servidor *DNS* Primario: 200.91.75.5
- Servidor *DNS* Secundario: 208.133.206.44

Por último de un click en el botón *Next*, para avanzar a la siguiente ventana.

20. El *Network Address Translation (NAT)*, permite compartir una dirección de red de área ancha (*WAN*), para múltiples computadoras en una red de área local (*LAN*). En esta ventana no se habilita ni el *NAT*, ni tampoco el *Firewall*.

Network Address Translation Settings

Network Address Translation (NAT) allows you to share one Wide Area Network (WAN) IP address for multiple computers on your Local Area Network (LAN).

Enable NAT

Enable Firewall

Enable IGMP Multicast, and WAN Service

Enable IGMP Multicast

Enable WAN Service

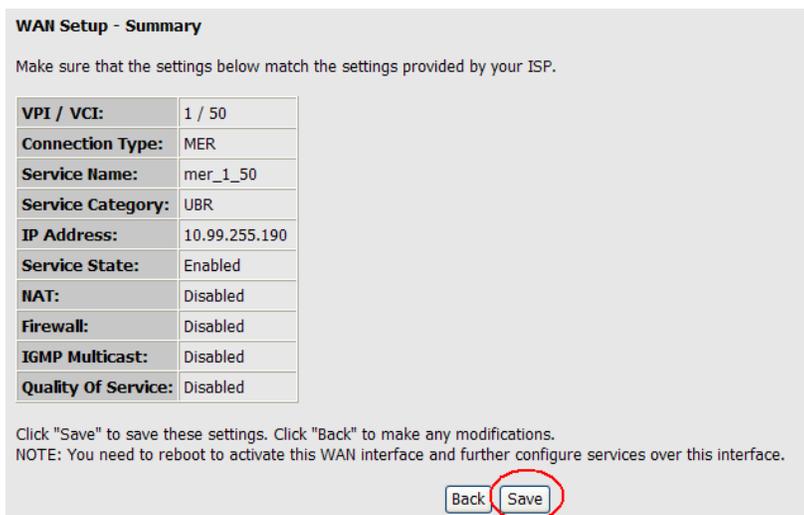
Service Name:

Back Next

Figura 122. Ventana de configuración *NAT*.

Se habilita el servicio *WAN*, haciendo *click* en el *checkbox* que se indica en la figura anterior. El nombre del servicio es: *mer_1_50*. Posteriormente haga *click*, en el botón “*Next*”, para avanzar a la siguiente pantalla de configuración.

21. Por último, se muestra un resumen de la configuración WAN. Aquí se visualizan la configuración ingresada, y para finalizar se hace *click* en el botón “Save”, para guardar el trabajo realizado.



WAN Setup - Summary

Make sure that the settings below match the settings provided by your ISP.

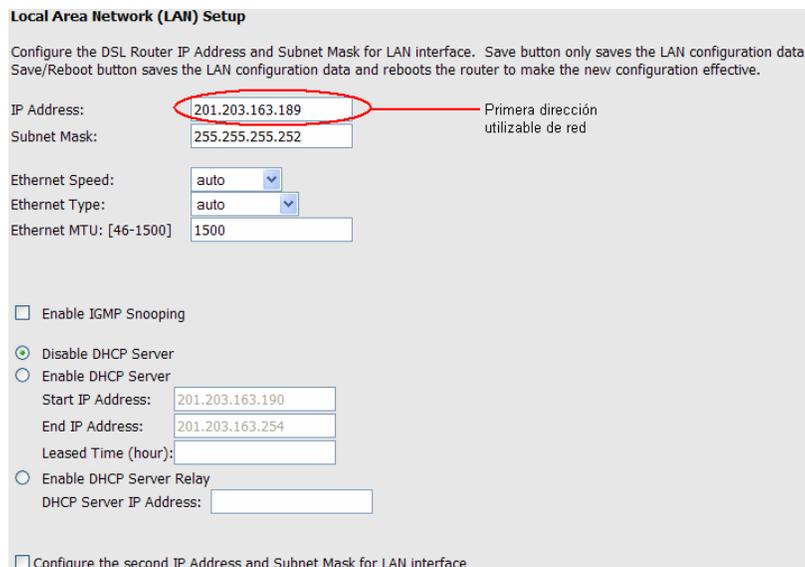
VPI / VCI:	1 / 50
Connection Type:	MER
Service Name:	mer_1_50
Service Category:	UBR
IP Address:	10.99.255.190
Service State:	Enabled
NAT:	Disabled
Firewall:	Disabled
IGMP Multicast:	Disabled
Quality Of Service:	Disabled

Click "Save" to save these settings. Click "Back" to make any modifications.
NOTE: You need to reboot to activate this WAN interface and further configure services over this interface.

Back Save

Figura 123. Resumen de la configuración WAN.

22. Nuevamente se selecciona “Advanced Setup” y luego se selecciona el submenú LAN, para configurar la red de área local. En esta ventana se configura la dirección IP del Router DSL y la máscara de subred para la interfaz LAN.



Local Area Network (LAN) Setup

Configure the DSL Router IP Address and Subnet Mask for LAN interface. Save button only saves the LAN configuration data. Save/Reboot button saves the LAN configuration data and reboots the router to make the new configuration effective.

IP Address: 201.203.163.189 Primera dirección utilizable de red

Subnet Mask: 255.255.255.252

Ethernet Speed: auto

Ethernet Type: auto

Ethernet MTU: [46-1500] 1500

Enable IGMP Snooping

Disable DHCP Server

Enable DHCP Server

Start IP Address: 201.203.163.190

End IP Address: 201.203.163.254

Leased Time (hour):

Enable DHCP Server Relay

DHCP Server IP Address:

Configure the second IP Address and Subnet Mask for LAN interface

Figura 124. Configuración de la red de área local.

En el campo de dirección *IP* de la *LAN*, se ingresa la primera dirección utilizable, a partir de la dirección de red *LAN* brindada por el ICE, por ejemplo si la dirección proveída es 201.203.163.188/30, entonces la dirección *IP* para la *LAN* sería 201.203.163.189, con una máscara de subred de 255.255.255.252.

23. El servidor *DHCP* (*Dynamic Host Control Protocol*), se deshabilita, por lo que se debe hacer *click* en el botón de deshabilitar, como se muestra en la Figura 125.

Local Area Network (LAN) Setup

Configure the DSL Router IP Address and Subnet Mask for LAN interface. Save button only saves the LAN configuration data. Save/Reboot button saves the LAN configuration data and reboots the router to make the new configuration effective.

IP Address: 201.203.163.189
Subnet Mask: 255.255.255.252

Ethernet Speed: auto
Ethernet Type: auto
Ethernet MTU: [46-1500] 1500

Enable IGMP Snooping
 Disable DHCP Server
 Enable DHCP Server
Start IP Address: 201.203.163.190
End IP Address: 201.203.163.254
Leased Time (hour):
 Enable DHCP Server Relay
DHCP Server IP Address:

Configure the second IP Address and Subnet Mask for LAN interface

Figura 125. Configuración del servidor *DHCP*.

24. Como último paso se da *click* en el botón “*Save/Reboot*”, esto con el fin de guardar la información de configuración de la *LAN* y reiniciar el *router*, para que la nueva configuración se haga efectiva.
25. El proceso de reinicio del *CPE*, tarda 2 minutos en realizarse, por lo que se debe esperar este tiempo antes de volver a abrir el navegador de Internet. Una vez, reiniciado el *CPE*, se abre nuevamente la ventana de “Propiedades del Protocolo Internet” (*TCP/IP*), y se configura la computadora con la dirección *IP* del *host* de la *LAN* y de la puerta de enlace predeterminada.

26. En el campo de dirección *IP* se debe ingresar la dirección *IP* del *host*, o PC. Se debe configurar la segunda dirección utilizable, a partir de la dirección de red *LAN* brindada por el ICE, por ejemplo si la dirección proveída es 201.203.163.188/30, entonces la dirección *IP* para el *host* sería 201.203.163.190, con una máscara de subred de 255.255.255.252.

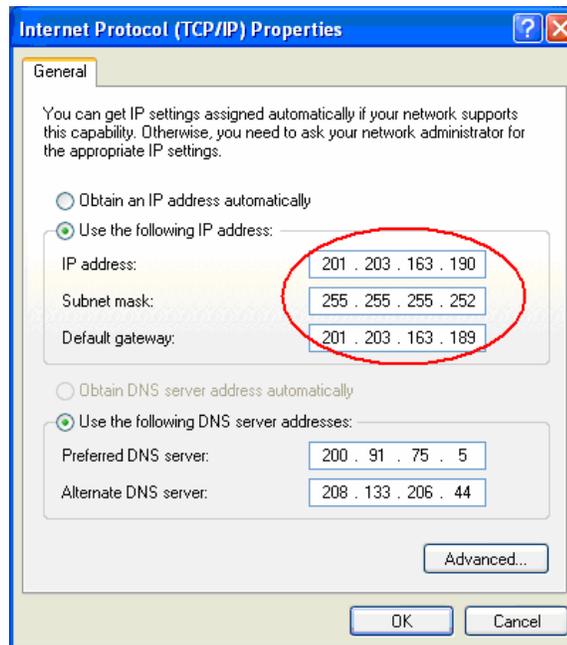


Figura 126. Configuración *TCP/IP* desde el computador.

27. En el campo de dirección de la puerta de enlace predeterminada se debe ingresar la dirección *IP* del *CPE*. Se debe configurar la primera dirección utilizable, a partir de la dirección de red *LAN* brindada por el ICE. Las direcciones del servidor *DNS* son las siguientes:
- Servidor *DNS* Primario: 200.91.75.5
 - Servidor *DNS* Secundario: 208.133.206.44
28. Por último, se puede ingresar al modo de diagnóstico del *CPE*, o se pueden realizar cambios en la configuración de este, ingresando en el navegador de Internet mediante la dirección de la puerta de enlace predeterminada, o sea la dirección *IP* del *CPE*. En este paso, ya el módem está listo para navegar a través de Internet, si fue configurado correctamente.

Apéndice 4. Glosario

AC: *Altern current* o CA (Corriente alterna). Es el flujo de corriente en un circuito que varía periódicamente su sentido de dirección.

ADSL: *Asymmetric Digital Subscriber Line* ("Línea de Abonado Digital Asimétrica"). ADSL es un tipo de línea DSL. Consiste en una línea digital de alta velocidad, apoyada en el par simétrico de cobre que lleva la línea telefónica convencional o línea de abonado. Es *asimétrica* debido a que la velocidad de descarga (desde la red hasta el usuario) y de subida de datos (en sentido inverso) son diferentes.

AM: Amplitud modulada, o modulación de amplitud es un tipo de modulación no lineal que consiste en hacer variar la amplitud de la onda portadora de forma que esta cambie de acuerdo con las variaciones de nivel de la señal moduladora, que es la información que se va a transmitir.

ANSI: Instituto Nacional Estadounidense de Estándares (*ANSI*, por sus siglas en inglés: *American National Standards Institute*)

ATM: *Asynchronous Transfer Mode* o Modo de Transferencia Asíncrona, en español. Es una tecnología de telecomunicación utilizada para la transmisión de datos.

ATU-C: *ADSL Terminal Unit-Central*, Unidad Terminal de ADSL en el lado de la central (por ejemplo, la UR: unidad remota).

ATU-R: *ADSL Terminal Unit-Remote*, Unidad Terminal de ADSL en el lado remoto. Conocido también como *CPE*.

AWGN: *Additive White Gaussian Noise*, Ruido blanco aditivo gaussiano.

BER: *Bit Error Rate*. Es el promedio de *bits* recibidos incorrectamente de un número total de *bits* definidos.

CO: *Central Office*. Es la oficina central, o central telefónica.

CPE: *Customer Premises Equipment*. Equipo teminal del usuario. Se conoce también como *ATU-R*.

DC: *Direct Current*. Corriente directa. Corriente constante que es invariable en el tiempo.

DMT: *Discrete Multi-Tone*. Tipo de modulación utilizada por ADSL.

DSLAM: *Digital Subscriber Line Access Multiplexer*. Multiplexor de acceso de DSL. Concentra un grupo de puertos digitales, cada uno con soporte para un cliente ADSL.

E1: es un formato de transmisión digital, con una velocidad de 2.048 Mbps.

ECG: *Effective Coding Gain*. Ganancia efectiva de codificación.

ETSI : *European Telecommunications Standard Institute*.

FDM: *Frequency Division Multiplexing*. Multiplexación por división de frecuencia.

FEXT: *Far End Crosstalk*. Diafonía en el extremo lejano.

GUI: *Graphic User Interface*. Interfaz gráfica de usuario, utilizada para crear interfaces de software.

I-MAP: *Integrated-Multiple Access Platform*. Plataforma de acceso múltiple integrada.

IP: *Internet Protocol*. Protocolo enrutado para tráfico de datos en las redes.

ITU : *International Telecommunication Union*. Unión Internacional de Telecomunicaciones.

Kbps: *Kilo bits per second*. Unidad de medida de la tasa de transferencia de datos.

LAN: *Local Area Network*. Red de área local.

LED: *Light Emitting Diode*. Diodo emisor de luz.

Mbps: *Mega bits per second*. Unidad de medida de la tasa de transferencia de datos.

MBW: *Measure Bandwidth*. Ancho de banda de medición.

MDF: *Main Frame Distribution*. Armario de distribución principal.

NEXT: *Near End Crosstalk*. Diafonía en el extremo cercano.

NOMPSD: *Nominal Power Spectral Density*. Densidad espectral de potencia nominal.

OFDM: Es la Multiplexación por División de Frecuencias Ortogonales, en inglés *Orthogonal Frequency Division Multiplexing (OFDM)*, también llamada modulación por multitono discreto (*DMT*).

OLR: *Online Reconfiguration*. La re-configuración en línea permite que las terminales ADSL (ATU) se mantengan en operación de manera autónoma dentro de los límites establecidos por diversos parámetros de control

PING: *Packet Internet Grouper*. Utilidad que comprueba el estado de la conexión con uno o varios equipos remotos por medio de los paquetes de solicitud de eco y de respuesta de eco.

POTS: *Plain Old Telephone Service*. Servicio de telefonía convencional.

PSD: *Power Spectral Density*. Distribución de la potencia de una señal sobre las distintas frecuencias de las que está conformada.

QAM: La modulación de amplitud en cuadratura, en inglés *Quadrature Amplitude Modulation (QAM)*, es una modulación digital avanzada que transporta datos cambiando la amplitud de dos ondas portadoras.

QoS: *Quality of Service*, (Calidad de Servicio) garantiza que se transmitirá cierta cantidad de datos en un tiempo dado.

RAI: Red Avanzada de Internet.

RDSI: Red Digital de Servicios Integrados.

REFPSD: *Reference Power Spectral Density*. Densidad espectral de potencia de referencia.

RFI: *Radio Frequency Interference*. Interferencia de radiofrecuencia.

RS: *Reed Solomon*. Codificación utilizada por los estándares *ADSL2* y *ADSL2+*.

S/N: *Signal/Noise*. Relación señal a ruido.

SDH: Jerarquía digital síncrona (*SDH*) (*Synchronous Digital Hierarchy*), es un protocolo de transmisión de información.

SNR: *Signal Noise Ratio*. Relación señal a ruido.

SRA: *Seamless Rate Adaptation*. Adapta la tasa de transferencia de datos de manera “transparente” al usuario.

STM-1: *Synchronous Transport Module* (Módulo de Transporte Síncrono, en español). Unidad de transmisión básica de la Jerarquía Digital Síncrona (*SDH*), correspondiente al primer nivel básico. Transmite a 155 *Mbps*.

STM-4: Unidad de transmisión de la Jerarquía Digital Síncrona (*SDH*), correspondiente al cuarto nivel. Transmite a 622 *Mbps*.

TCM: *Trellis Coded Modulation*. Modulación codificada *Trellis*, utilizada por *ADSL2* y *ADSL2+*.

TDM: Multiplexación por división de tiempo, del inglés *Time Division Multiplexing*.

TDR: *Time Domain Reflectometer* y se basa en la medida del retraso (eco) de una señal eléctrica enviada.

UC: Unidad Central. Se refiere al *I-MAP* del extremo de la central telefónica.

UR: Unidad remota. *I-MAP* ubicada en el extremo remoto.

V5.1: Protocolo de la red de acceso y de intercambio local, recomendados por los estándares de la UIT-T G.964 y de la *ETSI ETS 300 324*.

V5.2: Protocolo de la red de acceso y de intercambio local, recomendados por los estándares de la UIT-T G.965 y de la *ETSI ETS 300 347*.

WAN: *Wide Area Network*. Red de área local.