

Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas

Facultad de Ingeniería Eléctrica

Departamento de Telecomunicaciones y Electrónica

TRABAJO DE DIPLOMA



Procedimiento de precalificación de la red de acceso para el soporte de tecnologías xDSL.

Autor: Rassel Viamonte Tenorio.

Tutor: MSc. Héctor Cruz Enríquez.

Santa Clara

2004

"Año del 45 aniversario del triunfo de la Revolución"



Hago constar que el presente trabajo fue realizado en la Universidad Central “Marta Abreu” de las Villas como parte de la culminación de los estudios de la especialidad de Telecomunicaciones y Electrónica autorizando a que el mismo sea utilizado por la Institución, para los fines que estime conveniente, tanto de forma parcial como total y que además no podrá ser presentado en eventos, ni publicado sin autorización de la Universidad.

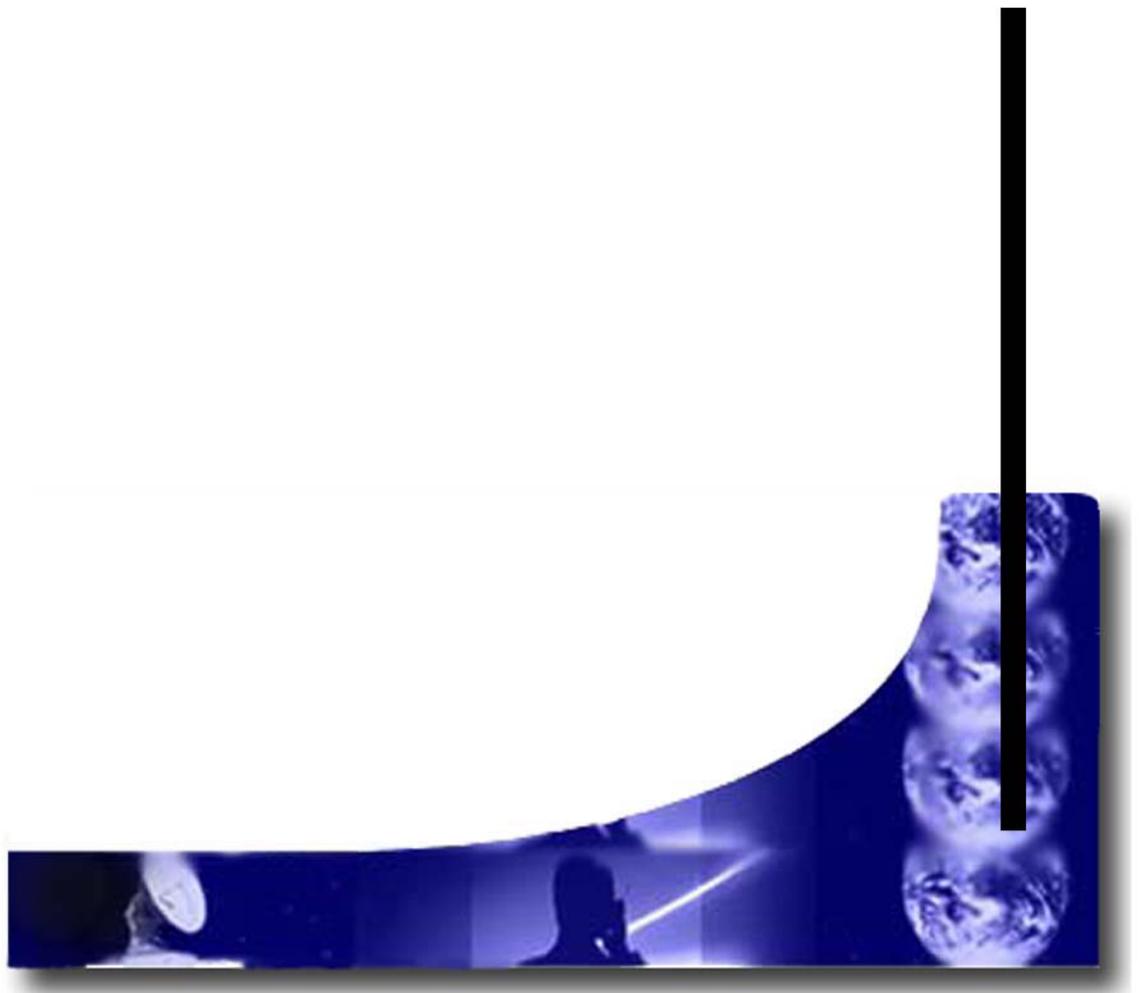
Firma del Autor

Los abajo firmantes, certificamos que el presente trabajo ha sido realizado según acuerdo de la dirección de nuestro centro y el mismo cumple con los requisitos que debe tener un trabajo de esta envergadura referido a la temática señalada.

Firma del Tutor

Firma del Jefe de Dpto.
donde se defiende el trabajo

Firma del Responsable de
Información Científico- Técnica



... En el descubrimiento de las cosas secretas y en la investigación de las causas ocultas, se obtienen razones más poderosas a partir de experimentos seguros que de las conjeturas probables...

William Gilbert (1544 -1603)

Físico Inglés

DEDICATORIA



A mis padres, por el gran apoyo incondicional que me han dado a lo largo
de todos estos años.

A mi hermana, por existir y traer tantas alegrías a mi vida.

A mi novia, por permitirme soñar, y por sobre todas las cosas... creer en mí.

A mi tutor, por su apoyo y colaboración en la realización de esta investigación.

A todos mis amigos, quienes me han entregado siempre su cariño, apoyo y comprensión.

AGRADECIMIENTOS



Un sincero agradecimiento a mi tutor, por haberme ofrecido la grandiosa posibilidad de trabajar en este proyecto.

Quisiera agradecer al grupo de profesores, que han contribuido a mi formación como futuro profesional, especialmente al profesor Hiram del Castillo, por todo el tiempo que me ha dedicado y por la ayuda brindada para que este proyecto se hiciera realidad.

También a Mario, por su experiencia, su colaboración y su confianza.

Un profundo agradecimiento a Eduardo Fierro, por todo el tiempo que me ha dado, por sus sugerencias e ideas de las que tanto provecho he sacado, por su amistad.

No puedo olvidar a mis compañeros y amigos, con los cuales he compartido incontables horas de estudio, trabajo y diversión.

Y todo esto nunca hubiese sido posible sin el respaldo incondicional de mi hermana y mis padres, y sin el amor sin límites de Rosana. Este también es su premio.

A todos ustedes, que han sabido enseñarme que la perseverancia y el esfuerzo son el camino para lograr verdaderos objetivos...GRACIAS, MUCHAS GRACIAS.

RESUMEN



RESUMEN

La Línea de Abonado Digital o DSL (*Digital Subscriber Line*) es una familia de tecnologías de transmisión de datos de alta velocidad que utiliza como medio de transmisión el par de cobre ubicado en la red de acceso, interconectando al usuario final con el nodo de red. Es decir, son soluciones de última milla, cuya ventaja se encuentra en la utilización de líneas telefónicas comunes para aliviar el cuello de botella existente en la red y satisfacer de esta forma, la creciente demanda de velocidad por parte de los usuarios, reduciendo los costos y tiempos de instalación. Esto convierte a DSL en una tecnología prometedora, ya que logra, en algunos casos, prescindir de la costosa fibra óptica en muchas aplicaciones que requieran un ancho de banda considerable para la transmisión.

No todos los pares pueden ser empleados para el soporte de xDSL, ni incluso los ya preseleccionados pueden utilizarse en todas las aplicaciones. La selección de los pares de cobre estará condicionada por pruebas, que nos permitirán caracterizar a los mismos atendiendo a una serie de parámetros preestablecidos y que definen su funcionamiento de forma óptima. Este proceso se conoce como “precalificación del par”. Las pruebas que en el momento se hacen a la hora de precalificar la red de acceso para el uso de tecnologías xDSL, son muy pobres, pues no se cuenta con los instrumentos necesarios para esta aplicación, generalmente por razones de costo. Es por eso que nos hemos propuesto como objetivo fundamental en este trabajo, lograr la integración de muchos de estos procedimientos, incluyendo además el empleo de técnicas novedosas para el procesamiento digital de señales, como es el caso de la transformada Wavelet.

ABSTRACT



ABSTRACT

DSL (*Digital Subscriber Line*) is a family of high-speed data transmission Technologies that uses the twisted pair in the access network, and which connects the user to the network node. That is to say, they are last mile solutions whose advantage lies in the use of common telephone lines to satisfy the increasing demand of speed by users and which reduce costs and installation time. This makes DSL a promising technology since in some cases it helps to do without the costly optical fiber for many applications, which require considerable bandwidth.

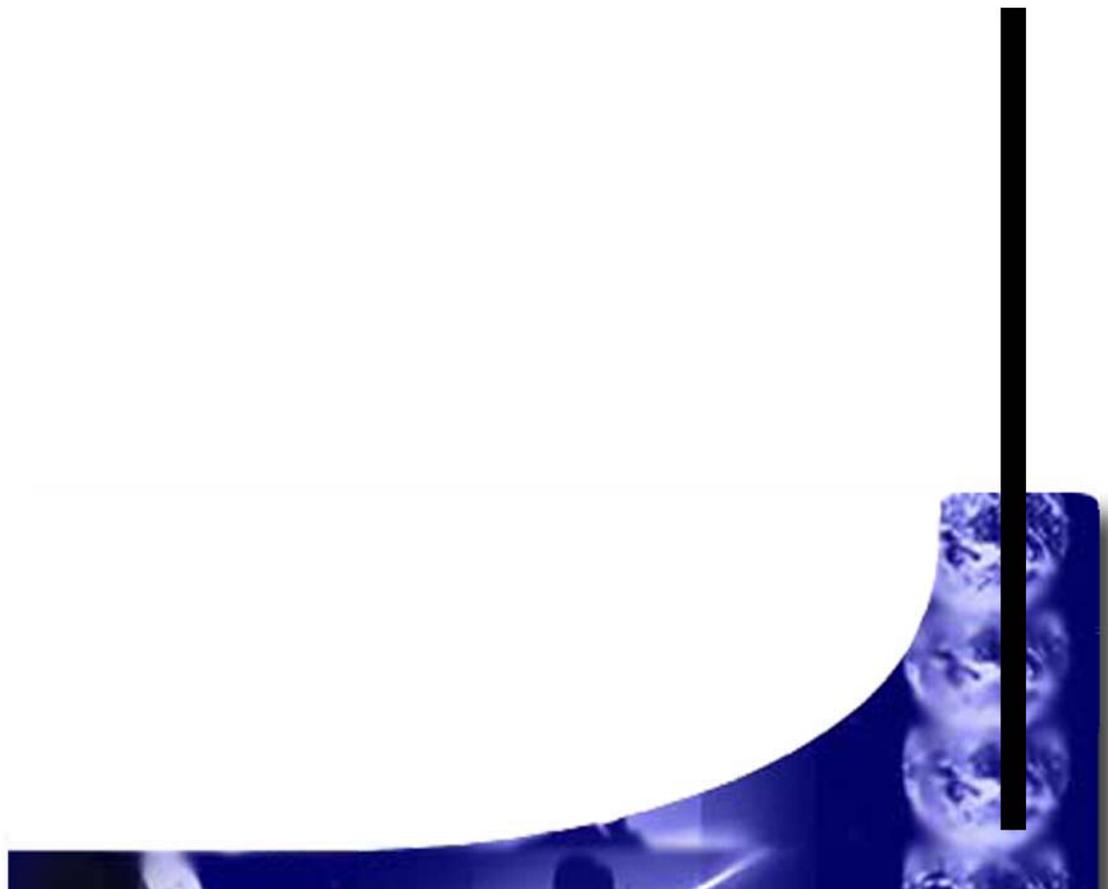
Not all twisted pairs can be employed for xDSL support, not even those already selected can be used for all applications. The selection of the copper twisted pairs will be conditioned by the tests that allow us to characterize them according to a group of pre-established parameters which define their optimal functioning. This process is known as copper pair pre-qualification. Currently applied tests for pre-qualifying networks for xDSL access are rather poor since the necessary instruments are not readily available as a result of their high cost. For this reason the main goal of this work is to integrate many of the available procedures and also include up-to-date techniques for digital signal processing such as the Wavelet transform.

INDICE



INTRODUCCION.....	1
Situación del problema.....	3
Objetivo general.....	3
Objetivos específicos.....	4
Estructura del Trabajo.....	5
METOLOGIA DE LA INVESTIGACIÓN.....	7
CAPITULO 1 Necesidad de precalificación de la Red de Acceso.....	9
1.1 Necesidad de precalificación del lazo xDSL.....	10
1.2 Objetivos de las pruebas xDSL.....	11
1.3 Por qué es importante hacer pruebas en xDSL.....	11
1.4 Tipos de instrumentos disponibles.....	13
Cable Shark.....	13
Colt 450.....	13
Colt 250s.....	14
SunSet xDSL.....	14
AutoTims III.....	14
Puma 4500A.....	15
1.5 Consideraciones teóricas de las pruebas a realizar.....	15
1.5.1 Balance longitudinal de impedancias.....	15
1.5.2 Criterios de verificación metálica.....	156
1.5.3 Longitud del lazo de abonado.....	17
1.5.4 Detección de bobinas de carga y taps puenteados.....	17
1.5.5 Detección de cortos y abiertos.....	21
1.5.6 Pérdidas de retorno.....	21
1.5.7 Pérdidas de inserción (respuesta de frecuencias).....	22
1.5.8 Atenuación a 40, 120 ó 150 kHz.....	22
1.5.9 Retardo de transferencia de señal.....	22
1.5.10 Retardo de grupo.....	22
1.5.11 Diafonía (NEXT).....	23
1.5.12 Ruido de fondo y ruido impulsivo.....	234
1.5.13 Medición de la tasa de error de bit (BER).....	26
1.6 Actualidad nacional.....	26
CAPITULO 2 Procedimiento para la precalificación de la red de acceso para el soporte de tecnologías HDSL.....	30
2.1 Aspectos generales.....	30
2.1.1 Métodos de pruebas.....	30
2.1.2 Impedancia Característica (Z_0).....	31
2.2 Procedimiento para la precalificación del lazo HDSL.....	35
Pruebas de simple-terminación.....	35
Pruebas de doble-terminación.....	35
2.2.1 Balance longitudinal de impedancias. Desequilibrio resistivo.....	36
2.2.2 Voltaje DC y AC inducido en la línea, resistencia de lazo, aislamiento entre pares y capacitancia.....	37
2.2.3 Longitud del lazo de abonado.....	39
2.2.4 Detección de bobinas de carga y taps puenteados.....	41
2.2.5 Detección de cortos y abiertos.....	45
2.2.6 Pérdidas de retorno.....	46
2.2.7 Pérdidas de inserción (respuesta de frecuencias).....	47
2.2.8 Atenuación a 150 kHz (135Ω).....	49
2.2.9 Retardo de transferencia de señal.....	50
2.2.10 Retardo de grupo.....	50
2.2.11 Diafonía NEXT (Near End Crosstalk).....	51
2.2.12 Ruido de fondo.....	52

2.2.13 Ruido impulsivo	52
2.2.14 Medición de la tasa de error de bit (BER) del HDSL.....	53
2.3 Pruebas de laboratorio para la precalificación del lazo HDSL.....	53
2.3.1 Pruebas a realizar	54
CAPITULO 3 Procesamiento digital de señales de prueba utilizando la transformada	
Wavelet.....	57
3.1 Análisis de Fourier	57
3.2 Análisis de Fourier de Tiempo Corto	58
3.3 Análisis Wavelet	58
3.3.1 ¿Qué nos permite el análisis Wavelet?.....	58
3.3.2 Análisis Wavelet ¿en qué consiste?.....	59
3.4 Detección de discontinuidades y puntos de ruptura	59
3.5 Wavelet de Haar. Consideraciones teóricas.	60
3.5.1 Ejemplo para la detección de discontinuidad utilizando la Wevelet de Haar.	61
3.5.2 Procesamiento de señales de prueba utilizando la función Wavelet de Haar	65
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	70
REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS	72
ANEXO 1 Catálogo de diferentes equipos de medición que se utilizan para garantizar un correcto despliegue e instalación de tecnologías xDSL.	76
ANEXO 2 Función para el cálculo de la impedancia característica en pares de cobre. ...	85
ANEXO 3 Diseño del Balun 50/135 Ω	88
ANEXO 4 Resultados reales obtenidos en pruebas de Laboratorio.	94
GLOSARIO DE TERMINOS	99



INTRODUCCIÓN

INTRODUCCION

Entre las nuevas tecnologías de acceso a redes de datos de alta velocidad, encontramos las tecnologías xDSL. Estas tecnologías ofrecen grandes velocidades por el mismo par de cobre que siempre se usó para brindar servicios de telefonía básica.

En comunicaciones, la velocidad es una de esas cosas en las que nunca “mucho” es suficiente. Hace algunos años, 2 400 bps era considerada una velocidad bastante respetable. Luego aparecieron aplicaciones interactivas y las primeras conexiones a redes LAN remotas, lo que trajo consigo un aumento de estas velocidades de transmisión a 9 600 y 14 400 bps para lograr la aceptabilidad de estas aplicaciones. Después aparecieron Internet y la World Wide Web, con sus transferencias de imágenes y sonidos, por lo que la velocidad debió subir a 28 800 y 33 600 bps. Pero estas velocidades no son suficientes para aplicaciones multimedia interactivas o para transmitir video con una buena resolución. Esta nueva necesidad de velocidad llevó al surgimiento de varias tecnologías: módem de 56 Kbps, ISDN, módem de cable y el conjunto de tecnologías llamadas xDSL.

Entre las tecnologías propuestas, la que tuvo mayor aceptación fue la de digitalizar la conexión analógica existente, técnica que se conoció como xDSL (Digital Subscriber Line) o Línea de Abonado Digital.

La ventaja fundamental de la tecnología xDSL, como ya se mencionó anteriormente, es que utiliza la red de cobre ya existente, para la transmisión de los servicios de voz y datos a muy alta velocidad. Sin embargo, la planta exterior u OSP (Outside Plant), también presenta un número significativo de desventajas para los operadores que brindan estos servicios. Por esto, el despliegue de xDSL, depende además, en gran medida, de la calidad y el diseño de la OSP existente. La precalificación del lazo de abonado (red de acceso), es un proceso necesario a la hora de determinar si el lazo es capaz de soportar transmisiones xDSL, con el fin de ofrecer al cliente (tanto residencial como de negocios) la calidad de servicio requerida.

En general, es recomendable medir el desempeño de los sistemas xDSL y no estimarlo. Existen preguntas muy comunes que suelen hacerse: ¿Estará listo el par de cobre para el soporte de tecnologías xDSL? ¿Cuál es la máxima velocidad que podría soportar este par? La respuesta a este tipo de pregunta no debe obtenerse mediante estimación, sino mediante verificación (medición), utilizando instrumentos especializados para este fin. Un

proveedor de servicios no puede prometer una velocidad a sus clientes basado en simples estimaciones, sino que debe analizar detenidamente las características propias de cada par, con el objetivo de dar respuestas precisas a las preguntas anteriormente formuladas, garantizando así la calidad esperada en el servicio ofrecido.

Por esto, constantemente se desarrollan equipos automáticos de pruebas, cada vez más integrados y con mayor cantidad de prestaciones, lo que los hace considerablemente caros en el mercado.

Existen dos razones principales por las cuales las compañías de telecomunicaciones tradicionales están interesadas en estos sistemas automatizados:

- Reducción de los costos de operación
- Calidad del servicio (QoS).

Reducción de costos de operación

Aunque esto se aplica a todo nivel, se hace mucho énfasis en la disminución de los viajes de los técnicos a la hora de hacer pruebas en la planta exterior, para solucionar diversos problemas que se presentan. Esto es, en parte, algo heredado de los países industrializados donde el costo de un técnico es bastante alto. Sin embargo, en aras de disminuir aun más los costos, las compañías de telecomunicaciones contratan personal “técnico” sin experiencia y sin los conocimientos básicos. Además, suprimen o eliminan los planes de entrenamiento, pasando esta responsabilidad a los proveedores de equipos.

Esta nueva generación de “técnicos” sin experiencia ha creado, a su vez, la necesidad de una nueva generación de instrumentos de medición, comúnmente referidos como “medidores pasa / falla”, los que asumen que el usuario posee una capacidad limitada de interpretación de los resultados. Algunos instrumentos de esta nueva generación interactúan con sistemas centralizados de pruebas y los resultados son enviados directamente a la base de datos de la central. El técnico solo debe saber como identificar el par, conectar el instrumento e iniciar la prueba.

Calidad del Servicio (QoS)

Mejorar las capacidades de diagnóstico, tiempo de respuesta y gestión de la red metálica es la clave perfecta para una buena calidad de servicio. Todo esto al alcance tanto del operador como del técnico.

En estos momentos, ETECSA (como muchas otras Operadoras de Telecomunicaciones a escala internacional) no realiza todas las mediciones que deben hacerse con el fin de precalificar correctamente el par de cobre para su uso en tecnologías xDSL, quizás porque no posee una metodología de trabajo bien estructurada para este fin y porque no cuenta con el equipamiento necesario para esta función. Este proyecto pretende resolver estas limitaciones, a partir de la creación de una metodología que integrará todo un conjunto de mediciones y pruebas necesarias para ofrecer un servicio HDSL confiable y de calidad a los usuarios residenciales y de negocios, con la ventaja fundamental de que, a partir de este momento, se contará con una herramienta integrada y de muy bajo costo para estos fines.

Situación del problema

Las pruebas que se hacen en estos momentos, no son suficientes para realizar una correcta precalificación del par, debido a la carencia de los equipos de medición necesarios para este propósito, generalmente por razones del tipo económicas, pues como ya se ha dicho, estos instrumentos se encarecen mucho en el mercado internacional, fundamentalmente por la gran cantidad de prestaciones que brindan. Para realizar estas pruebas, se necesitan muchos instrumentos de medición diferentes y aún no existe una herramienta integrada de bajo costo para esta función.

¿Cómo lograr, a través de la aplicación de una metodología elaborada, la integración de estos procedimientos, con el objetivo fundamental de localizar los problemas que pueden causar anomalías o empobrecimiento en el servicio HDSL brindado?

Para dar respuesta a esta interrogante, en este trabajo nos hemos propuesto el cumplimiento de los siguientes objetivos:

Objetivo general

Crear un método que logre la integración de los diferentes procedimientos de medición que existen en la actualidad, agrupándolos de esta forma en una herramienta

integrada, que nos permitirá realizar todas las mediciones, a partir de una serie de parámetros preestablecidos, que se requieren a la hora de precalificar la red de acceso para el soporte de tecnologías HDSL. Incluir además el empleo de técnicas novedosas para el procesamiento digital de señales, específicamente la transformada Wavelet.

Objetivos específicos

- Realizar una amplia búsqueda de información relacionada con las pruebas que actualmente se realizan a la hora de precalificar el par de cobre para su uso en tecnologías HDSL.
- Desarrollar un procedimiento que permita integrar las pruebas que se realizan al par, con el objetivo de hacer una correcta precalificación del mismo, para su uso como soporte para HDSL.
- Desarrollar técnicas basadas en métodos lineales (en este caso la transformada Wavelet), con el fin de procesar de forma digital señales obtenidas en el laboratorio.
- Evaluar el procedimiento y las técnicas desarrollados para medir su eficacia, en términos de poder determinar si un par de cobre puede o no soportar el uso de tecnología HDSL.

A fin de dar un correcto cumplimiento a los objetivos propuestos para este trabajo, nos hemos planteado un grupo de tareas técnicas y de investigación, las cuáles se enumeran a continuación:

1. Búsqueda bibliográfica y estudio de trabajos relacionados con el tema.
2. Creación de un algoritmo en bloques para llevar a cabo la solución del problema.
3. Realizar diferentes pruebas al par de cobre con el objetivo de crear una base de datos para su posterior procesamiento.
4. Utilización de métodos lineales, a través de la herramienta Matlab, para el procesamiento digital (utilizando la transformada Wavelet) de la base de datos creada a partir de las pruebas realizadas al par de cobre.
5. Escritura del informe del trabajo de diploma.

Con este proyecto se pretende crear una metodología que permita la integración de los diferentes procedimientos de medición que se realizan a la hora de precalificar la red de

acceso para su uso en el despliegue de tecnologías HDSL, con el objetivo final de llegar a determinar si un par puede o no ser utilizado para el uso de dicha tecnología, garantizando mayor calidad, mejores prestaciones y un correcto desempeño a la hora de ofrecer el servicio por parte de las operadoras de Telecomunicaciones. Además, se espera introducir el procesamiento digital como herramienta en el estudio y análisis de señales, con el fin de arribar, de forma eficaz, a los resultados finales.

La ejecución de este proyecto dará solución a una problemática que existe actualmente en la Empresa de Telecomunicaciones de Cuba (ETECSA) vinculada a una no correcta precalificación de la red de acceso a la hora de ofrecer servicios HDSL. Como ya se ha mencionado, el equipamiento necesario para este propósito es de gran complejidad y valor, cuya adquisición no es viable actualmente en nuestro país. La puesta en práctica de este proyecto, permitirá arribar a resultados semejantes a los obtenidos con este equipamiento, brindando una solución factible y a muy bajo costo de implementación.

Los resultados de esta investigación poseen una aplicación práctica y teórica de gran trascendencia para todos los especialistas, investigadores y diseñadores de sistemas de medición en redes de acceso (planta externa), específicamente a los especializados en el uso del lazo de abonado para el soporte de tecnologías xDSL. Además de ofrecer una vía de mejorar la calidad del servicio (QoS) ofrecida a los clientes por parte de las operadoras de Telecomunicaciones.

Estructura del Trabajo

Este trabajo está estructurado de la siguiente forma: introducción, capitulario, conclusiones y recomendaciones, referencias bibliográficas, anexos y glosario de términos.

CAPITULO I

Se dedicará fundamentalmente a explicar las causas del por qué se hace necesaria la precalificación de la red de acceso para el uso de tecnologías xDSL. Además se hace un resumen que agrupa los diferentes tipos de mediciones que se realizan en los momentos actuales en nuestro país y las que recomiendan realizar los organismos de estándares internacionales, así como un conjunto de aspectos teóricos relativos a las mismas. De esta forma, podremos establecer un criterio de comparación entre las mediciones (en pares de cobre) que se realizan en el ámbito internacional y las que se hacen en nuestro país, determinando hasta qué punto y con qué nivel de confiabilidad es ofrecido el

servicio HDSL que brinda ETECSA (operadora nacional) a sus clientes, haciendo uso de la red de acceso.

CAPITULO II

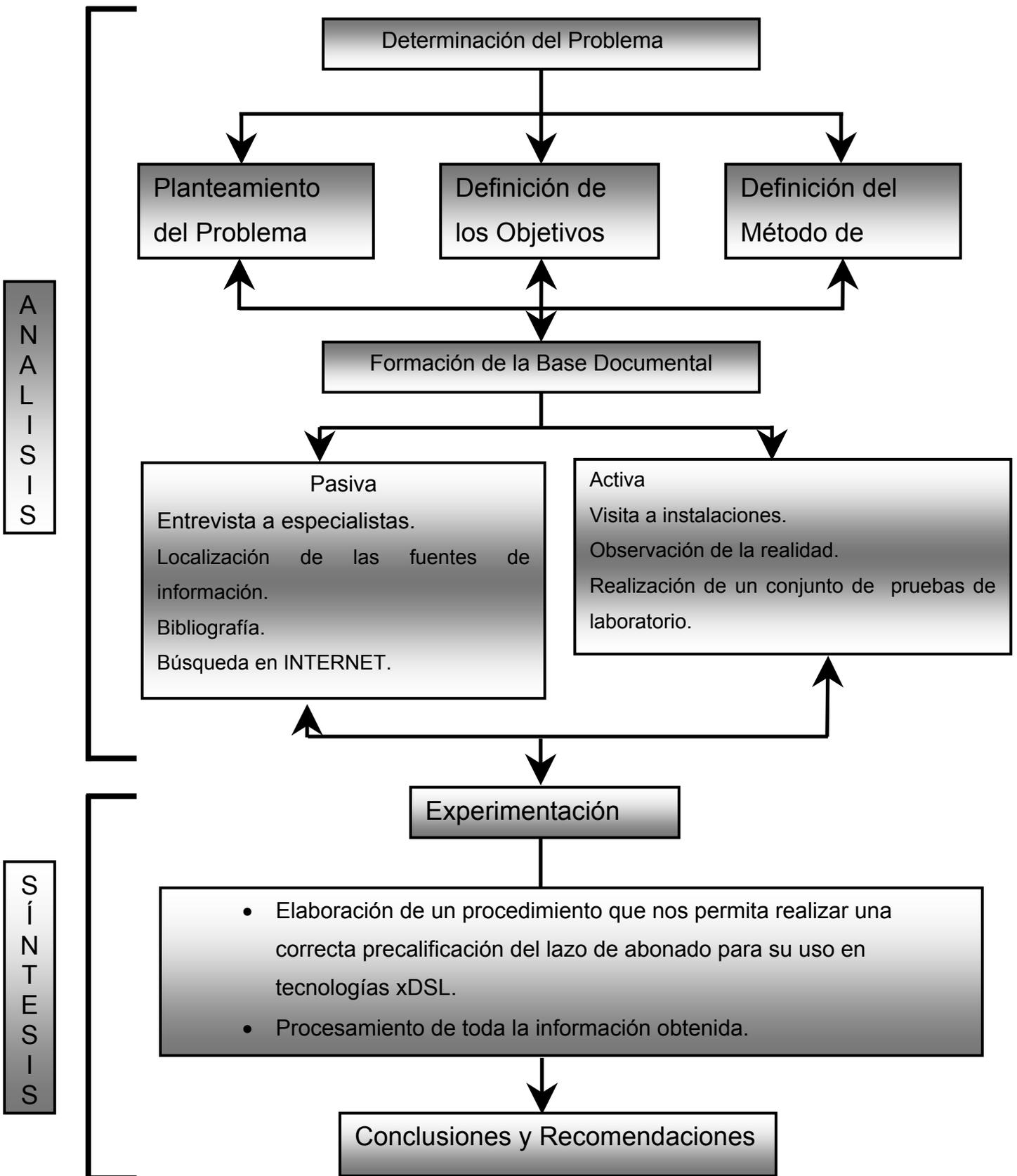
Se dedicará a elaborar una detallada metodología de precalificación de la red de acceso para el uso, específicamente, de tecnologías HDSL, a partir de un análisis exhaustivo de todas y cada una de las pruebas que deben ser realizadas al par de cobre, con el fin de determinar si este cumple con los requisitos mínimos recomendados para el soporte de dicha tecnología. Se escoge HDSL, debido a que es una de las tecnologías más utilizadas y de mayor penetración en nuestro país. Se realizarán además algunas pruebas de laboratorio, que permitirán obtener datos reales relacionados con el comportamiento y las características propias de un par, validando de esta forma la metodología propuesta y permitiendo realizar una preselección adecuada de pares.

CAPITULO III

Se dedicará a desarrollar algunas técnicas para el procesamiento de forma digital, utilizando métodos lineales (en este caso la Transformada Wavelet), de señales de prueba construidas en el laboratorio, con el objetivo de realizar otro conjunto de pruebas que necesitan de un procesamiento digital para su análisis e interpretación. Al final de este capítulo quedará precalificado de forma correcta el lazo de abonado (par de cobre) demostrándose la eficacia de la metodología seguida, en términos de poder determinar si la red de acceso puede o no soportar el uso de técnicas HDSL, garantizándose la confiabilidad y calidad del servicio que el cliente espera.

Los anexos contienen información complementaria, que sirven de base en la profundización de diferentes temáticas tratadas en el informe.

METODOLOGIA DE LA INVESTIGACIÓN



CAPITULO 1



CAPITULO 1 Necesidad de precalificación de la Red de Acceso.

En la actualidad existen diversas modalidades de tecnologías xDSL. Tal vez las más usadas son HDSL (*High-speed DSL*) y ADSL (*Asymmetric DSL*), pero coexisten muchas otras, tales como:

- HDSL2 (*High-speed II*)
- IDSL (*ISDN over DSL*)
- RADSL (*Rate-Adaptive*)
- SDSL (*Single-line*)
- VDSL (*Very high-speed*)

Básicamente, la gran variedad de estas tecnologías depende de la aplicación, tipo de modulación, velocidad y fabricante.

XDSL puede ser simétrico o asimétrico.

Simétrico (HDSL, SDSL): Indica que la velocidad hacia y desde el usuario es la misma, es decir, es necesario que el ancho de banda se reparta simétricamente en ambas direcciones, para acomodar el flujo de datos. Es muy utilizado en interconexión de redes LAN y redes telefónicas.

Asimétrico (ADSL, VDSL): Se refiere a que el suscriptor recibe datos a una velocidad muy alta (downstream) y transmite a una velocidad más baja (upstream), con el fin de aprovechar el ancho de banda en el sentido en que más se necesita. Es decir, este servicio está orientado a usuarios que reciben mucha más información de la que generan. Es el caso de los usuarios de Internet o TV Cable. (Sunrise Telecom INC, 1997)

El uso de las tecnologías xDSL, nos permite el acceso a servicios de transmisión de voz y datos a altas velocidades. Con este fin, se hace uso de la planta exterior ya existente (ver Figura 1.1), ya que su principal ventaja se debe a su ubicación, pues está conectada a cada usuario, ya sea residencial o de negocios. En adición a esto, la utilización de la planta exterior, elimina la necesidad de realizar costosas inversiones en la red de acceso para la instalación de otras tecnologías como cable coaxial o fibra óptica en el lazo de abonado. (Cornet Technology INC, 2000)

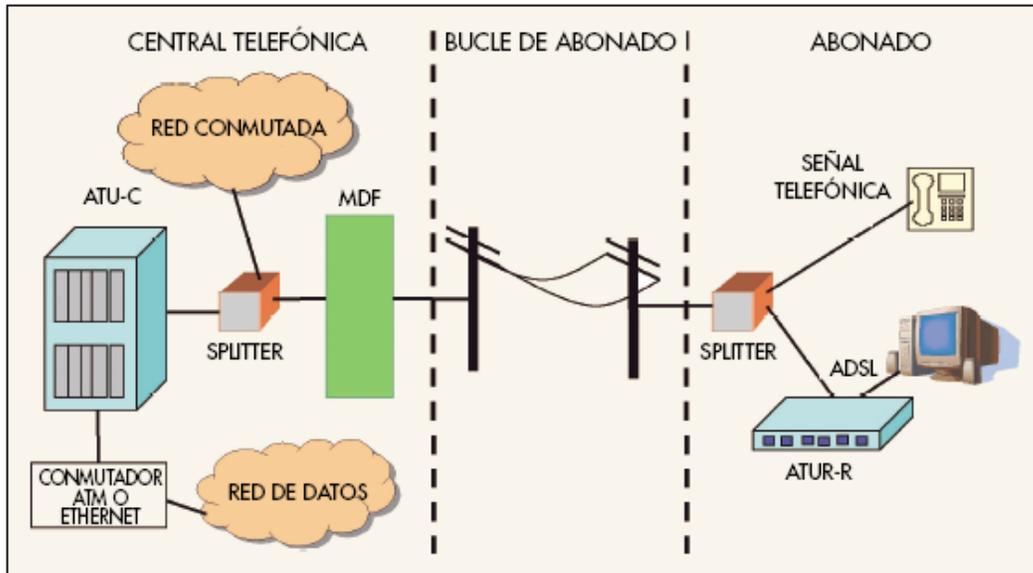


Figura 1.1 Uso de la Planta Exterior (lazo local) en una conexión DSL.

1.1 Necesidad de precalificación del lazo xDSL

El despliegue de los servicios xDSL, depende fundamentalmente de la calidad del par de cobre de la OSP, así como del diseño de la misma, por lo que la precalificación del lazo de subcriptor se hace necesaria para determinar si el par podría o no soportar transmisiones xDSL.

El uso de la planta exterior ya existente para la transmisión de voz y datos a alta velocidad es la principal ventaja de xDSL, pero esto también presenta algunas desventajas. La posibilidad de utilizar xDSL, como ya se ha dicho anteriormente, depende de la calidad y el diseño de la planta externa, la cual en la mayoría de los casos, fue diseñada décadas atrás, tan solo para ser utilizada en servicios de telefonía básica (POTS). El diseño actual de la OSP presenta determinados obstáculos que podrían interferir, y en algunos casos inhabilitar por completo las transmisiones xDSL.

Por ejemplo, las tecnologías xDSL (en general), son bloqueadas debido a la presencia de bobinas de carga en el lazo y su desempeño podría verse afectado por algunos factores, tales como la longitud total del lazo y la presencia de taps puenteados. La imposibilidad de precalificar los lazos de cobre de forma correcta, ha sido un obstáculo significativo para la mayoría de los operadores. La precalificación del par no es más que la "prueba de lazo" que se utiliza para determinar si dicho lazo es capaz de soportar transmisiones xDSL, pero debe hacerse antes de prestar el servicio. (Cornet Technology INC, 2000)

La posibilidad de precalificar el par, sin la necesidad de enviar técnicos, tanto a la Central (Central Office) como a la zona de clientes (ya sean residenciales o de negocios), implicaría un significativo ahorro en costo para los operadores. La gran cantidad de servicios xDSL que se brindan en la actualidad, implican una fuerte necesidad de pruebas automatizadas, que brinden la capacidad de manipular el creciente volumen de líneas ya existentes en el menor tiempo posible.

1.2 Objetivos de las pruebas xDSL

Los principales objetivos por los que debe hacerse una precalificación del par de cobre son los siguientes: (Dunford y Fitts, 2002)

- Confirmar el buen funcionamiento de la línea física que existe entre el subscritor y la Central (MDF).
- Determinar la Calidad de Servicio (QoS) en el enlace desde el cliente hasta la Central.
- Localizar los problemas que pueden causar anomalías o empobrecimiento en el servicio brindado.

1.3 Por qué es importante hacer pruebas en xDSL

Las pruebas que en estos momentos se están haciendo para caracterizar un par de cobre y evaluar su aplicabilidad a xDSL son muy pobres, y no solo en nuestro país, sino también en muchos países de América Latina. Una prueba muy común que se realiza es la conocida como “*prueba y error*”; es decir, se conecta el módem y se verifica si funciona o no. Si no es así, entonces se selecciona otro par de cobre. Algunos van más allá y utilizan un multímetro para medir la resistencia de la línea, continuidad y el voltaje inducido, antes de conectar el módem. Otros utilizan los populares TIMS, con los que pueden hacer un diagnóstico de la línea. Pero la realidad es que, en muy pocos lugares, están siendo realizadas las pruebas que se requieren para precalificar correctamente el par, debido a la carencia de los instrumentos necesarios para estos propósitos. (Sunrise Telecom INC, 1997)

Un problema con los sistemas de “*prueba y error*”, es que la mayoría de los sistemas xDSL tienen la capacidad de ajustarse a las condiciones de la línea, para transmitir a la mayor velocidad posible; es decir, en la mayoría de los casos pueden funcionar, pero

cabe preguntarse: ¿A qué velocidad ocurrirá realmente la transmisión? ¿Cuál será la confiabilidad? ¿Será esta la línea ideal para el soporte de este tipo de tecnología?

La calidad del servicio ofrecido al cliente depende, en gran medida, de la velocidad efectiva del enlace instalado. Con el fin de maximizar la calidad del enlace xDSL, es necesario que se realicen un conjunto de mediciones con el objetivo de evaluar su aplicabilidad al xDSL específico.

Algunos de los parámetros más importantes y que recomiendan medir los organismos de estándares internacionales a la hora de ofrecer un servicio xDSL específico, se enumeran a continuación:

- Balance longitudinal de impedancias. Desequilibrio resistivo
- Voltaje DC y AC inducido en la línea
- Resistencia del lazo de abonado, capacitancia y aislamiento entre pares
- Longitud del enlace
- Detección de bobinas de carga y taps puenteados
- Detección de cortos y abiertos
- Pérdidas de retorno y pérdidas por inserción (a 135Ω)
- Atenuación a 40, 120 ó 150 kHz a 135 Ω (dependiendo de la aplicación)
- Retardo de grupo y retardo de transferencia de señal
- NEXT (Near End Crosstalk)
- Ruido de fondo y ruido impulsivo (según la aplicación)
- Medición de la tasa de error de bit (BER) del enlace xDSL

Es preciso destacar además, que no es tan necesario que todas las mediciones deban ser realizadas, sin embargo, hay que conocer cuál es el impacto que cada uno de estos parámetros tiene para un mejor desempeño del xDSL. Es importante que en el momento de seleccionar las herramientas para realizar pruebas en xDSL, se consideren aquellas que cubran la mayor cantidad de parámetros importantes. (Sunrise Telecom INC, 1997)

Además, se debe tener en cuenta que en la medida en que aumente la velocidad de transmisión de los sistemas xDSL, más crítica será la influencia de algunos de estos parámetros, tales como la longitud del lazo, la capacitancia y la diafonía (NEXT).

El sentido común indica que las instalaciones de planta externa, utilizadas en transmisión de datos, deberían ser probadas más rigurosamente, con el fin de asegurar la calidad del servicio brindado, pues son instalaciones viejas, expuestas a los agentes externos y

normalmente no se hacen las pruebas de caracterización necesarias para seleccionar el mejor par para la transmisión de datos, con la agravante de que estas líneas no fueron diseñadas y/o instaladas para transmitir razones de datos del orden de los Megabits por segundo (Mbps), sino la simple señal de voz (4 kHz).

El gran problema está en que, para este tipo de pruebas, se necesitan muchos instrumentos diferentes y aun no existe una herramienta integrada de bajo costo para el desempeño de esta aplicación. (Sunrise Telecom INC, 1997)

1.4 Tipos de instrumentos disponibles

Existen instrumentos de medición tradicionales como el multímetro de planta exterior, el reflectómetro o el analizador de espectros, sin dejar de mencionar otros equipos especialmente diseñados para las mediciones sobre líneas de cobre destinadas a los servicios xDSL. (Consultronics Limited, 2003 a, b, c, d; Triohmtec S.A., 2003 a, b; Omnicor, 2002)

Estos equipos, de alto nivel de integración, poseen gran cantidad de prestaciones, por lo que se convierten en unidades de elevado costo en el mercado internacional. A continuación se muestra una relación de algunos de estos equipos y de sus características más significativas:

Cable Shark

Pruebas en el cableado para servicios xDSL y servicios T1 e ISDN.

Prestaciones:

- Certificación del cableado.
- Verificación de la calidad del cable.
- Localización de fallas.
- Determinación de la velocidad de transmisión.
- Determinación de la longitud del cable.

Colt 450

Servicios xDSL (G.SHDSL, ADSL y otros)

Prestaciones:

- Pruebas de Interoperabilidad.

- Cableado y conexiones.
- Máxima velocidad soportada.
- Calidad del servicio.
- Análisis de Celdas ATM y conexión IP.

Colt 250s

Servicios xDSL (SHDSL)

Prestaciones:

- Pruebas de Interoperabilidad.
- Cableado y conexiones.
- Máxima velocidad soportada.
- Calidad del servicio.

SunSet xDSL

Servicios xDSL (ADSL, IDSL, SDSL, HDSL) y servicios en banda de voz.

Prestaciones:

- Servicios de Voz.
- Verificación de líneas xDSL.
- Verificación de conexiones IP.
- Servicios ISDN.

AutoTims III

Analizador de líneas de datos (V.90) y servicios xDSL (HDSL, SDSL y ISDN)

Prestaciones:

- Certificación de líneas POTS.
- Servicios de Voz.
- Servicios de Datos vía módem.
- Mediciones en 2 y 4 hilos.
- Verificación líneas xDSL.

Puma 4500A

Analizador de redes de datos hasta 10 Mbps.

Prestaciones:

- Errores y Alarmas.
- G.821, G.826, M.2100
- Frame Relay.
- Jitter.
- XDSL (HDSL, HDSL2 y G.SHDSL) y servicios de datos hasta 10 Mbps.
- ISDN PRI.

Para una información más detallada con relación a las características específicas y prestaciones que brindan estos equipos, ver Anexo 1.

1.5 Consideraciones teóricas de las pruebas a realizar

1.5.1 Balance longitudinal de impedancias

El balance longitudinal es un medio de estimar la susceptibilidad al ruido de un cable, es decir, la posibilidad de que entre ruido al mismo. Desafortunadamente, en la práctica, una vez que el cable está instalado, el ruido deja de ser una posibilidad y se convierte en un hecho, y no hay mucho que podamos hacer. Es por esta razón que los instrumentos modernos se enfocan a la medida e identificación del ruido que existe en el cable, por medio de sofómetros o analizadores de densidad espectral de potencia (PSD). (Polo, 2000)

Un pobre balance longitudinal puede causar corrientes longitudinales no balanceadas que produzcan ruido y causen errores que limiten la velocidad de transmisión del xDSL.

En enlaces xDSL, la calidad y velocidad de la transmisión se ven afectadas por la atenuación que introduce el par de cobre debido a reflexiones causadas por taps puenteados, abiertos y diferencias de calibre; además de un conjunto de anomalías tales como la diafonía (crosstalk), ruido impulsivo y ruido aleatorio proveniente del ambiente. Cuando estos problemas están presentes, entonces es necesario realizar una medición del balance longitudinal del par.

1.5.2 Criterios de verificación metálica

No son más que mediciones que se realizan al par de cobre con el objetivo de realizar un análisis de algunos de sus parámetros físicos, utilizando un multímetro digital. Con este

equipo podemos medir capacitancia y resistencia, así como voltaje DC y AC. Este tipo de pruebas consiste en medir los parámetros tip-ring (T-R), tip-ground (T-G), y ring-ground (R-G) en el par de cobre.

Resistencia del lazo de abonado

La medida de resistencia de lazo nos proporciona una estimación de la longitud del lazo bajo prueba. Se mide con un cortocircuito en el extremo lejano. Esta medición puede hacerse en un solo extremo, cortocircuitando manualmente el extremo lejano, o utilizando otro equipo de medición ubicado en el extremo opuesto. (Sunrise Telecom INC, 2002)

Al realizar esta medición puede obtenerse la resistencia de lazo, y con esta, estimar la distancia de lazo en función del calibre del mismo. El valor de resistencia de lazo se ha normado para diferentes tecnologías xDSL, por lo que el objetivo de la medición es verificar que el valor medido está dentro de los límites normados.

(Sunrise Telecom INC, 2001a)

Aislamiento entre pares

Debe medirse la resistencia de aislamiento entre los hilos del par (Tip (A), Ring (B)) y entre cada hilo y tierra (SIP-GND, Ring-GND). En todos los casos el valor obtenido debe ser mayor de $5M\Omega$, que es el valor recomendado (según ANSI T1.413) para un funcionamiento óptimo del par, garantizándose con este valor elevado, un gran aislamiento entre pares de un mismo cable multipar. (Sunrise Telecom INC, 2001a)

Capacitancia

Después de medir el valor de resistencia de aislamiento, es importante medir la capacitancia existente entre los hilos del par (Tip (A), Ring (B)) y entre cada hilo y tierra (Tip-GND, Ring-GND). Con esto es posible verificar que el cable está abierto y que no presenta cortos en toda su extensión, Las mediciones de capacitancia también pueden brindar al operador una estimación de la longitud del lazo de abonado, a través de un factor de conversión muy estable, definido como estándar. Además, permite la detección de algunos tipos de fallas en el desempeño del par. (Sunrise Telecom INC, 2001a)

Voltaje DC y AC inducido en la línea

Son mediciones que también son realizadas con el multímetro de planta externa.

El lazo de abonado (para servicio POTS) es alimentado desde la Central con un voltaje DC de 48V. La medición de este voltaje DC nos permite determinar si existen pares cruzados dentro de un cable, con tan solo analizar los resultados obtenidos con el multímetro y verificando si estos indican los valores de voltajes correctos para POTS.

Al medir voltaje AC se verifica la presencia de voltajes no deseados. Estos niveles de potencia se deben a inducciones que ocurren entre los hilos (Tip-GND, Ring-GND) que forman el par, debido a la cercanía de líneas de distribución de energía. Todos los valores deberán ser muy pequeños (inferiores a 5 ACV). (Sunrise Telecom INC, 2001a)

1.5.3 Longitud del lazo de abonado

Todas las variantes de xDSL son muy sensibles a la longitud que existe entre la Central y el extremo del subscritor. La razón de transmisión de xDSL es inversamente proporcional a la longitud del lazo de subscritor. Las pruebas de precalificación también deben ser capaces de determinar la longitud total de la línea.

La medición de la longitud de la línea es también un factor importante para determinar si el lazo es capaz de soportar transmisiones xDSL. Si un operador ofrece un servicio a una razón de transmisión determinada y queremos contratar el servicio utilizando tecnología xDSL, es muy importante conocer la longitud del lazo de abonado, pues como ya se dijo anteriormente, la distancia puede ser de gran influencia para las tasas de transmisión del servicio xDSL contratado. (Cornet Technology INC, 2000)

Por otro lado, los valores de capacitancia (C) y resistencia de lazo (R_{Loop}) medidos, se utilizan para estimar la longitud del cable. Estas longitudes (L_C, L_R) deben ser comparables. (Polo, 2000; Sunrise Telecom INC, 2002; Sunrise Telecom INC, 2001a)

1.5.4 Detección de bobinas de carga y taps puenteados

Reflectometría en el dominio del tiempo

La reflectometría en el dominio del tiempo o TDR (por sus siglas en inglés) es una técnica de prueba al cableado, que fue originalmente desarrollada para detectar fallos en líneas de transmisión de energía. Luego esta aplicación comenzó a utilizarse en cables telefónicos (par de cobre). En estos momentos es una de las técnicas de medición más importantes para el despliegue de la tecnología xDSL. Se basa en la detección de anomalías en el par, a partir de inyectar pulsos a la línea, que son reflejados por cambios de impedancia que encuentran durante su trayectoria. (Dunford y Fitts, 2002)

1) Detección de bobinas de carga

Las bobinas de carga fueron muy utilizadas para compensar el efecto capacitivo, en líneas muy largas, y mantener la calidad de la voz. Dependiendo de la longitud del cable, un circuito puede tener más de una bobina de pupinización. Estas bobinas de carga bloquean las transmisiones de todas las variantes de xDSL, ya que limitan el ancho de banda en el par, dejando fuera de banda a las frecuencias que utilizan las tecnologías xDSL para la transmisión de información. Las pruebas de precalificación deben incluir la posibilidad de detectar si existen bobinas de carga a lo largo del par de cobre que se utilizará para brindar el servicio xDSL.

La detección de bobinas de carga es esencial para determinar si el lazo de subscriptor es capaz de soportar servicios xDSL. Ningún servicio xDSL puede ser prestado en lazos de abonado que contengan bobinas de carga. En este sentido, uno de los objetivos fundamentales de las pruebas de precalificación del par consiste en determinar la presencia y localización de las bobinas de carga. En un principio, las bobinas de cargas se adicionaban a los lazos de subscriptor de longitud mayor a 18 000 pies, con el objetivo de mejorar la calidad de la voz (para transmisión telefónica). Cuando las bobinas de carga son adicionadas a la línea, la atenuación en la banda de voz se reduce considerablemente, no sucede así para las altas frecuencias (superiores a 4Khz), para las cuales la atenuación es considerable (la línea se comporta entonces como un filtro paso bajo). (ver Figura 1.2) (Sunrise Telecom INC, 2001a)

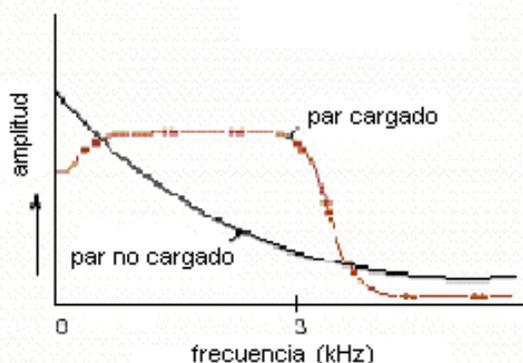


Figura 1.2 Respuesta de frecuencias de pares de cobre (cargado / no cargado).

Como las técnicas de transmisión xDSL utilizan frecuencias por encima de la banda de voz, se hace imposible utilizar un lazo que presente bobinas de carga para brindar servicios xDSL.

Existen reglas que norman la utilización de las bobinas de carga en el lazo local de abonado (RRD - revised resistance design). Estas reglas especifican que una línea de longitud mayor de 18 000 pies debe ser cargada (o sea, deben adicionársele bobinas de carga). Existe un código que se utiliza para definir la distancia que existe entre las bobinas de carga presentes en la línea, así como su valor de inductancia. Por ejemplo, dos de los códigos más utilizados son H88 y D88. El número 88 indica la inductancia en mili-Henrys (mH) de la bobina de carga y las letras indican la distancia a la cual se encuentran espaciadas dichas bobinas (H-6000 pies, D-4500 pies). Es preciso señalar que el código más utilizado es el H88, o sea, bobinas espaciadas a 6000 pies con 88 mH de inductancia. (Cornet Technology INC, 2000; Sunrise Telecom INC, 2000a) (ver Figura 1.3)

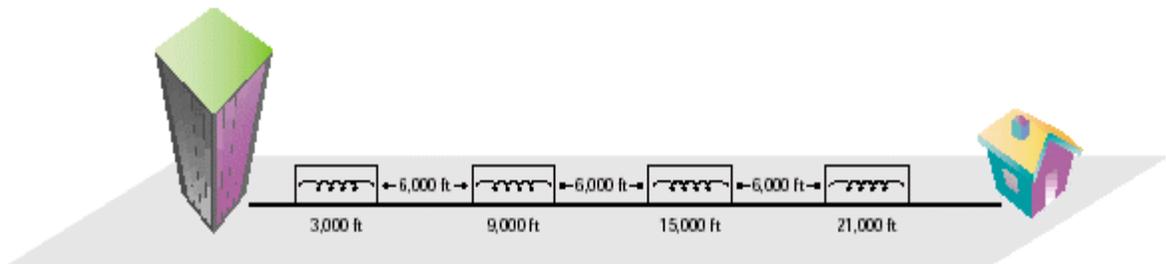


Figura 1.3 Distribución de bobinas de carga.

Pero, si las reglas para la instalación de las bobinas de cargas están bien definidas, entonces ¿por qué se hace tan difícil determinar que el lazo se encuentra cargado? La causa principal es la constante reconfiguración que se hace de la planta exterior como resultado de la instalación de nuevas Centrales, por lo que líneas que ya se encontraban cargadas, disminuyen en longitud y las bobinas de carga no son retiradas del lazo. Por esto, las reglas antes mencionadas para la instalación de bobinas de carga, son inadecuadas para determinar la presencia de estas en el lazo del suscriptor, debido al tiempo que lleva en actividad la planta exterior y los cambios significativos que han ocurrido en años recientes.

En un equipo de medición, una bobina de carga se visualiza como un abierto o fin del cable. Por esta razón no es posible ver más allá de la distancia donde se encuentra la bobina. Es por esto que la primera bobina debe ser retirada antes de poder localizar la siguiente.

2) Detección de taps puenteados

Los tap puenteados o derivaciones (como también se les conoce) han demostrado ser una de las fallas más comunes presentes en pares y que más afectan el despliegue del servicio xDSL en general.

Un tap puentado es cualquier porción no terminada del lazo, pero que no se encuentra directamente ubicado en la línea que conecta a la Central con el equipo terminal de usuario (teléfono o módem), sino que es una derivación del mismo. Un tap puentado puede ser un par conectado en un punto intermedio de la línea o simplemente, una extensión ubicada en la propia línea del usuario. (Sunrise Telecom INC, 2001a)

Por ejemplo, si un par que baja desde uno de los postes (nótese que dicho par provee de una segunda línea a un usuario residencial), se desconecta del dispositivo de interfaz de red o NID (Network Interface Device), esto sería un proceso mucho más fácil que subir al poste a realizar la desconexión. Pero si entonces este par, que ya ha dejado de utilizarse por dicho usuario, es reutilizado para brindar servicios a otro cliente, el tramo de cable que baja del poste hasta la residencia que primero la utilizó (y que ya no lo hace), representaría un tap puentado en la línea. (Cornet Technology INC, 2000). Una derivación crea un segundo camino para la señal digital que viaja por el par. La señal viaja además por el tap puentado presente en la línea y es reflejada debido al abierto que existe en el extremo opuesto. Estas derivaciones son dañinas, pues la señal reflejada produce ruido (interferencia) en el par que enlaza al cliente con la Central. (ver Figura 1.4)

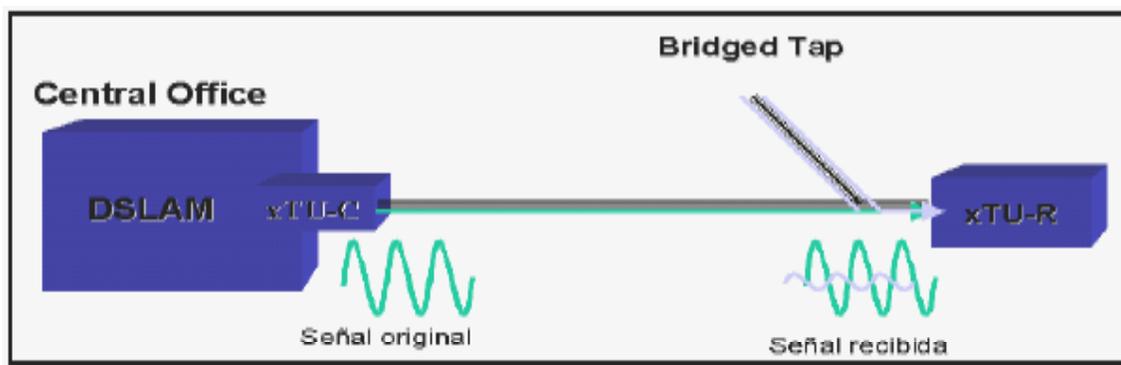


Figura 1.4 Ruido introducido por un tap puentado.

Según estudios realizados se ha reportado que una porción considerable de lazos de abonados presenta taps puentados, pero este no es un hecho que deba preocuparnos. La longitud del tap puentado es el factor fundamental que podría deteriorar las transmisiones xDSL y no solo la presencia de la derivación en la línea.

La longitud del tap puentado afecta el desempeño de cada una de las variantes xDSL de forma diferente. Las transmisiones HDSL, MDSL e ISDL típicamente soportan taps puentados de una longitud determinada. En el caso de ADSL, la presencia de taps puentados no afectará en gran medida el desempeño de los servicios de esta tecnología sobre líneas de cobre, pero sí podrían reducir el ancho de banda y la velocidad de transmisión de este servicio. Con la tendencia actual que existe de brindar servicios de razón adaptada (básicamente RADSL), el efecto de los taps puentados se ha reducido considerablemente.

1.5.5 Detección de cortos y abiertos

Un corto ocurre cuando el hilo tip (A) y el ring (B) entran en contacto. Un corto presente en un par de cobre evita que las transmisiones de servicios xDSL tengan lugar en dicho par. Esta anomalía puede estar causada por empalmes mal realizados.

Por otra parte, el abierto no es más que una rotura en el par, que evita el flujo de energía a través de él. La causa fundamental de este tipo de problema son las excavaciones que se realizan en áreas no autorizadas. Un abierto interrumpe del todo las transmisiones xDSL. (Sunrise Telecom INC, 2002; Sunrise Telecom INC, 2001a)

1.5.6 Pérdidas de retorno

Las pérdidas de retorno son una medida de la variación de impedancia de la línea con respecto a una impedancia tomada de referencia. Las pérdidas de retorno en la interfaz del bucle HDSL se miden para una impedancia de referencia de 135Ω . Esta medida es posible hacerla con un analizador de redes, un accesorio para la medida de pérdidas de retorno (accesorio de transmisión-reflexión) y un transformador BALUN (**BAL**anced/**UN**balanced) para pasar de dos hilos (balanceado) a coaxial (desbalanceado). (García, 2003)

La pérdida de retorno, como se ha mencionado antes, no es más que una medida de la uniformidad de la impedancia del par. El cable no es construido perfectamente uniforme, y esas variaciones producen cambios en la impedancia del mismo. Esos cambios de impedancia producen pérdidas por reflexión, que pueden resultar perjudiciales a los servicios xDSL en general. Las pérdidas de retorno están es función del diseño y fabricación del cable. Su valor es expresado en dB, siendo mejor el cable cuanto mayor sea el valor de este parámetro.

1.5.7 Pérdidas de inserción (respuesta de frecuencias)

Tradicionalmente, las pruebas de pérdidas de inserción han sido utilizadas para precalificar líneas para la transmisión de servicios de telefonía básica (POTS). Esta técnica es también aplicable a frecuencias más altas, tales como las de xDSL.

Las señales en xDSL son muy afectadas, entre otras cosas, por los niveles de atenuación del par utilizado en el enlace. En general, la característica de atenuación en todo el ancho de banda de trabajo es una medida excelente, porque resume o contiene los efectos causados por cada uno de los parámetros propios del par. Es decir, conociendo la curva de atenuación es posible identificar muchos de los problemas del cable, así como determinar la respuesta en frecuencias de dicho par.

A continuación se relacionan algunos valores típicos de respuesta de frecuencia de algunas tecnologías xDSL.

- IDSL - 80 kHz
- HDSL - 392 kHz
- ADSL - 1.5 MHz

1.5.8 Atenuación a 40, 120 ó 150 kHz

Esta es una medición que se realiza utilizando valores típicos de frecuencia, considerados de referencia para cada una de las diferentes tecnologías xDSL. Es común tomar un valor de atenuación por kilómetro, a una frecuencia específica, como medio de verificación de la respuesta del cable.

Estos valores de referencia son seguros, siempre y cuando se conozca el comportamiento del cable (respuesta en frecuencia) alrededor de dicha frecuencia, para descartar la presencia de fallas.

1.5.9 Retardo de transferencia de señal

Está definido como el tiempo medio (demora) que se retrasa la señal en propagarse por el par de cobre desde el transmisor hasta el extremo receptor.

1.5.10 Retardo de grupo

Este parámetro se define como la distorsión que sufre la señal debido a que las frecuencias se propagan con distintas velocidades en el circuito de transmisión. Por esta razón se produce un retardo entre las distintas frecuencias que transportan la información, lo que provoca que la señal llegue distorsionada al extremo receptor.

En caso de que tal retardo sea igual para todas las frecuencias, pues no se considera que exista distorsión en este sentido.

1.5.11 Diafonía (NEXT)

Normalmente, el tipo de ruido que se encuentra en los cables de planta externa no es de tipo externo, aunque podría existir. El principal problema está dado por intermodulaciones (*crosstalk*) de otros servicios de transmisión digital que viajan también en el mismo grupo de cables por los que se transmiten los servicios xDSL. Los más críticos son los producidos por los equipos de la central, que transmiten señales con potencias relativamente altas.

El NEXT (Near End CrossTalk) es definitivamente un parámetro que afecta los servicios xDSL en general, pues como ya se ha mencionado, en el lado de la central se concentran múltiples servicios digitales que transmiten con altos niveles de potencia. Cada servicio que se agrega a un cable, es una fuente potencial de ruido que puede afectar transmisiones xDSL. Sin embargo, hay que tener en cuenta que aunque el interferente puede reflejarse con un alto nivel de ruido, la señal a transmitir también será transmitida con una potencia relativamente alta, haciendo que el efecto no sea tan grave, con el fin de lograr una buena relación señal a ruido (S/N)

Normalmente, el ruido de tipo FEXT (Far End CrossTalk), visto desde el punto de vista del usuario, también puede considerarse un problema, aunque no tan apreciable. Este tipo de ruido, de cierta forma, contribuye a que el NEXT tenga un mayor efecto. Es decir, la señal que llega desde el usuario llega atenuada a la central, donde va a competir con la diafonía (NEXT) generada localmente y la relación señal a ruido (S/N) va a ser más baja. A fin de cuentas, esto no es nuevo y todos los sistemas xDSL han sido desarrollados tomando en consideración estos aspectos. Es por esta razón que las señales que van hacia el operador (upstream) correspondientes a ADSL, se encuentran a bajas frecuencias, donde la atenuación es mucho menor.

Los servicios HDSL, basados en codificaciones simples como 2B1Q, son muy robustos y muy pocas veces son afectados por otros servicios. Si la atenuación y el margen de señal a ruido (S/N) están dentro de las especificaciones recomendadas, el sistema funcionará con un margen de error muy bajo.

1.5.12 Ruido de fondo y ruido impulsivo

Ninguna precalificación de cableado para xDSL estaría completa sin la realización de mediciones de ruido de fondo y ruido impulsivo. Esto le permite al proveedor de servicios

detectar disturbios, ya sean permanentes o intermitentes, que podrían afectar la transmisión de datos entre la central (proveedor de servicios) y el suscriptor. Disturbios del tipo eléctrico pueden surgir a partir de diferentes fuentes, tales como la diafonía proveniente de líneas T1/E1 o pueden ser provocados por el hombre (interferencia de emisoras AM).

1) *Ruido de fondo*

El ruido o la presencia de otro tipo de transmisión en un mismo cable (formado por grupos de pares de cobre) también podrían afectar de forma considerable las transmisiones xDSL. Existen tres categorías de ruido bien definidas:

1. Ruido de 200 kHz: Afecta el desempeño de las transmisiones xDSL que utilizan 2B1Q (ISDN, MDSL, SDSL, HDSL).
2. Ruido de 1.1 MHz: Degrada en gran medida las transmisiones de los servicios ADSL.
3. Presencia de T1: Interfiere de forma significativa las transmisiones de algunas variantes de ADSL.

Es muy importante en los equipos de medición de ruido, el uso de varios filtros. Estos filtros de ruido se usan para reducir el campo de medición solo al ancho de banda de interés. La IEEE-743/1995 define los filtros E, F y G para análisis de ruido en lazos ISDN, HDSL y ADSL respectivamente. (Dunford y Fitts, 2002; Polo, 2000)

Filtro E: Para ISDN (acceso básico), limita el ancho de banda entre 1 y 50 kHz.

Filtro F: Para HDSL, limita el ancho de banda entre 5 y 245 kHz.

Filtro G: Para ADSL, limita el ancho de banda entre 20 kHz y 1.1 MHz.

Estos filtros también son utilizados para condicionar la señal para la evaluación de ruido impulsivo.

Por último, la experiencia ha mostrado que el ruido más dañino no se produce por diafonía (crosstalk) producto a otros servicios presentes en el par, sino debido a las largas acometidas aéreas existentes, donde el ruido inducido por las emisoras de AM alcanza niveles muy altos, siendo agravado por el hecho de estar cerca al suscriptor, donde la señal xDSL que viene de la central ya se ha atenuado, provocando valores de

relación señal a ruido muy bajos. Esto no es un gran problema para sistemas HDSL o ISDN, porque son tecnologías que utilizan para la transmisión frecuencias más bajas con relación a las utilizadas para la difusión de radioemisoras de AM comercial.

2) Ruido impulsivo

Resulta de gran importancia el análisis de este tipo de ruido en transmisiones de datos.

Este ruido se presenta en impulsos de gran amplitud (por encima del valor medio de ruido de fondo), corta duración y de forma aleatoria. (ver Figura 1.5)

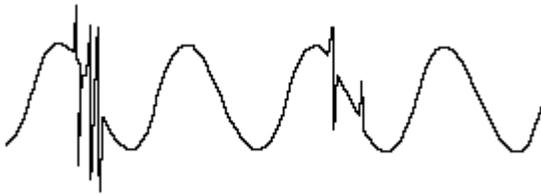


Figura 1.5 Señal afectada por ruido impulsivo.

A la hora de realizar la medición es necesario tomar en cuenta tres aspectos fundamentales:

- ✓ Número de impulsos (en un tiempo determinado)
- ✓ Nivel de los impulsos
- ✓ Duración de los impulsos

NPSD

Otro aspecto importante en este sentido es el análisis de la densidad espectral de potencia de ruido o NPSD (*Noise Power Spectral Density*). Cuando evaluamos una línea que será utilizada para la transmisión de señales de módems dial-up, la valoración del ruido en el canal de 3,4 kHz sería suficiente; no siendo así, por ejemplo, con los módem ADSL, los cuales utilizan técnicas de modulación DMT. En este caso, si alguna parte del ancho de banda de operación del módem ADSL se encuentra afectada en gran medida por el ruido, los tonos DMT podrían existir en algún otro lugar en la banda, permitiendo de esta forma la transmisión de la información.

Un gráfico de la medición de la Densidad Espectral de Potencia de Ruido (NPSD), nos mostrará dónde existe ruido y su amplitud correspondiente. Además, no solo es

importante conocer el nivel de ruido en una línea xDSL, sino también su naturaleza y las frecuencias que afecta. (Dunford y Fitts, 2002; Sunrise Telecom INC, 2001a)

1.5.13 Medición de la tasa de error de bit (BER)

Una de las mediciones más frecuentes y de mayor importancia en sistemas de transmisión digitales es la razón de bits errados o BER (Bit Error Rate). Este parámetro se define como la relación que existe entre el número de bits errados que se reciben en el extremo receptor y el número de bits totales transmitidos en un determinado intervalo de tiempo durante una comunicación. Estos errores pueden degradar en gran medida las transmisiones xDSL y existen fundamentalmente por la presencia de fallas en el par, tales como: desadaptaciones, diafonía, empalmes y superación de las distancias máximas permitidas. (Tropeano, 2002)

1.6 Actualidad nacional

La Empresa de Telecomunicaciones de Cuba S.A (ETECSA) realiza algunas de estas pruebas a la hora de preseleccionar un determinado par de cobre para usarlo como soporte de tecnologías xDSL. En nuestro país, el uso de tecnologías digitales de alta velocidad que utilizan el par de cobre como medio de transmisión se resume a HDSL, puesto que esta ha sido la de mayor penetración a escala nacional en estos últimos años. ETECSA no cuenta en su haber con equipos modernos que le faciliten la precalificación de pares de cobre para su posterior uso en enlaces HDSL debido, fundamentalmente, a los altos costos de dichos dispositivos en el mercado internacional. Por esta causa, los ingenieros y técnicos se ven limitados a la hora de realizar una correcta precalificación de los pares en la red de acceso y esto podría traer terribles consecuencias en lo que a calidad de servicio respecta. A continuación se brindan algunas de las características fundamentales de los equipos de medición con que cuenta ETECSA, además de las mediciones que cada uno de ellos permite realizar.

Dynatel Serie-900 (perteneciente a la unidad de Planta Exterior)

Este es un dispositivo conocido como Localizador de Fallas (Fault Locator) el cual es capaz de brindar un diagnóstico de las características físicas de la línea. Con este equipo se puede realizar la verificación de algunos de los parámetros de carácter metálico del par. A continuación se brinda una relación de dichos parámetros:

- Voltaje DC y AC inducido en la línea.
- Aislamiento entre pares

- Detección de cortos y abiertos
- Detección de bobinas de carga

Existen otras mediciones que también implementa este equipo pero que no se han mencionado, pues no resultan de gran importancia para el caso de xDSL.

(Minnesota Mining & Manufacturing Company (3M), 1993)

DLA -9D (perteneciente al departamento de CUBADATA)

Después de realizar las pruebas pertinentes con el Dynayel, se completa el conjunto de mediciones con el DLA-9D.

El DLA-9D es un dispositivo conocido como Analizador de Líneas de Datos (Data Line Analyzer) y se utiliza para realizar pruebas (a 2 y 4 hilos) en circuitos analógicos.

Es un equipo que cuenta con un ancho de banda de 20 Hz a 300 kHz, rango de frecuencias dentro del cual realiza un conjunto de mediciones que responden a la norma M.1020 de la UIT-T.

Mediciones que realiza ETECSA:

- Medición de nivel
- Ruido impulsivo
- Relación señal a ruido (S/N)
- Jitter
- Atenuación

Como se puede apreciar, según estándares internacionales, existe un número de pruebas que son necesarias a la hora de preseleccionar un par y que no se realizan en su totalidad en nuestro país. Esto ocurre debido a que los equipos antes mencionados no brindan facilidades que permitan su ejecución y puesta a punto, limitados fundamentalmente por el ancho de banda de operación. Con la agravante además, de que son equipos que responden a estándares internacionales para transmisiones de datos en la banda de canal telefónico (Ej. Norma M.1020 para el caso del DLA-9). Hay que tener en cuenta que las tecnologías xDSL en general, utilizan un ancho de banda superior a la banda de voz, por lo que es imprescindible extender el ancho de banda de trabajo a frecuencias más altas (hasta 396 kHz para HDSL), además de considerar otras

recomendaciones más específicas para el caso de las tecnologías HDSL a la hora de la realización de estas pruebas.

CAPITULO 2



CAPITULO 2 Procedimiento para la precalificación de la red de acceso para el soporte de tecnologías HDSL.

El medio por el cual ha de funcionar el sistema de transmisión digital, en nuestro caso, es la red de distribución de línea local (Local Loop). Una red de distribución de línea local emplea cables de pares de cobre para proporcionar servicios a los clientes. En la red de acceso, los clientes están conectados a la central local a través de líneas locales. Una línea local metálica puede transportar simultáneamente información digital bidireccional en el formato HDSL apropiado. (UIT-T, 1998)

Las velocidades que se logran con el uso de esta tecnología, es un factor importante a la hora de contratar un servicio de este tipo. Pero hay que tener en cuenta que, la velocidad final que pueda lograrse realmente, depende en gran medida de la calidad del par de cobre a utilizar.

Es aquí donde surge la necesidad imperiosa de realizar una correcta precalificación del par, con el objetivo fundamental de verificar si cumple con los parámetros mínimos recomendados para el soporte de tecnologías HDSL.

Más adelante se ofrece una metodología bien detallada que agrupará todo un conjunto de mediciones, necesarias a la hora de precalificar el par de cobre, permitiéndonos concluir si el par está apto o no para ser utilizado como soporte físico para este tipo de tecnología.

2.1 Aspectos generales

2.1.1 Métodos de pruebas

Existen dos métodos bien definidos para la realización de pruebas de precalificación del lazo de abonado. (Cornet Technology INC, 2000). Estos métodos son:

- Pruebas de simple-terminación (single-ended test).
- Pruebas de doble-terminación (double-ended test).

Las pruebas de simple-terminación requieren de un equipo de pruebas sólo en uno de los extremos, ya sea en la Central o desde el extremo subscritor; mientras que las pruebas de doble-terminación requieren de equipos terminales en ambos extremos del par de cobre.

En el caso de las pruebas de simple-terminación, el par puede ser analizado desde la Central o desde el extremo del subscriptor, sin la necesidad del envío de técnicos para la realización de esta tarea. La prueba que se haga, desde cualquiera de los dos extremos, brindará como resultado la habilidad del par o no para soportar transmisiones xDSL. Las pruebas de simple-terminación permiten hacer pruebas al lazo de una forma centralizada (un solo extremo) y nos proveen de información necesaria de reparaciones en el lazo de abonado (por ejemplo, eliminación de bobinas de carga). Estas pruebas además, nos brindan un 90% o 95% de confiabilidad con relación a la capacidad del lazo para soportar servicios xDSL. La metodología de simple-terminación, como ya se mencionaba anteriormente, elimina la necesidad de enviar técnicos a realizar este tipo de tareas, lo que la hace más compatible con las pruebas automatizadas, necesarias para procesar un volumen creciente de servicios xDSL.

En el caso de las pruebas de doble-terminación, un técnico es enviado a la localización del usuario, donde instalará un módem o algún equipo de prueba que se comunicará con el módem o equipo de pruebas de referencia ubicado en la Central (CO). Si el servicio no puede ser ofrecido, entonces se intentará reparar las dificultades que existen en el par. Este es un trabajo que debe realizarse en la planta exterior antes de brindar un servicio solicitado por un usuario. Para este tipo de diagnóstico, se recomienda el uso de equipos de pruebas, ya que al utilizar módem de referencia, estos no serán capaces de ofrecer suficiente información con relación al por qué el lazo no es capaz de soportar transmisiones xDSL.

2.1.2 Impedancia Característica (Z_0)

Un aspecto fundamental a la hora de realizar pruebas al par de cobre es conocer su impedancia característica (Z_0), con el objetivo de lograr un perfecto acople entre el dispositivo de medición y la línea de transmisión. Con esto evitaríamos pérdidas por acoplamiento, logrando una máxima transferencia de potencia del generador a la carga, obteniéndose de esta forma resultados más precisos.

Para una mejor comprensión de lo antes expuesto, se da a continuación una somera reseña sobre las características primarias de las líneas de transmisión y su relación con la impedancia característica.

Líneas de Transmisión

Cuando la línea de transmisión es homogénea, es decir, cuando está uniformemente construida, se puede considerar como formada por dos conductores, a lo largo de los cuales están uniformemente repartidos los parámetros primarios (parámetros distribuidos).

Los parámetros primarios por unidad de longitud que definen una línea de transmisión son los siguientes:

- *Resistencia óhmica (R)*: Este valor corresponde a la resistencia en corriente continua. Su valor puede variar en función de varios parámetros.
- *Inductancia (L)*: Debida al flujo originado por la corriente en la línea. La inductancia de un cable es relativamente alta, debido fundamentalmente a la distancia entre hilos, que en este caso, es muy pequeña. Un valor típico es de 0.7 mH/Km.
- *Conductancia (G)*: Es el inverso de la resistencia de pérdidas (R_p) de aislamiento de un hilo con relación a otro. Suele tener un valor elevado y depende del tipo de aislante empleado (papel, polietileno, etc.) en función de la aplicación prevista para el cable. Varía muy poco con la frecuencia.
- *Capacidad (C)*: Valor de capacitancia que existe entre los conductores separados por el dieléctrico. La proximidad de los hilos es la causa de que en un cable la capacidad sea elevada, lo cual unido a la mayor resistencia, implica una atenuación en cables mayor que para líneas aéreas. Este parámetro apenas varía con la frecuencia. Un valor típico es de 52 nF/Km.

Los parámetros primarios dependen del método de construcción utilizado, de la naturaleza de los hilos que constituyen las líneas de transmisión, así como de la frecuencia. (Hernando, 1990)

En una línea de transmisión uniforme sin ondas reflejadas, la relación fasorial V/I se mantiene uniforme en todos los puntos de la línea, ya que los términos e^{-az} y e^{-jbz} son idénticos para ambos. Esta relación es una cantidad compleja determinada por los coeficientes de circuito distribuido de la línea y la frecuencia de la señal; debido a esto y a que la relación V/I tiene dimensiones de impedancia, se le denomina "impedancia característica" de la línea (Z_0) y está dada por:

$$Z_0 = R_0 + jX_0 = \sqrt{\frac{R + jaL}{G + jaC}}$$

La impedancia característica no "existe" en la línea en un sentido simple y obvio, es decir, no se puede medir directamente con un puente de impedancias sobre una longitud única y arbitraria. Se puede calcular a partir de la medición de los coeficientes de circuito distribuidos y sustituyendo valores en la ecuación anterior. También se puede determinar experimentalmente midiendo la impedancia de entrada de la línea bajo dos condiciones: con en el extremo terminal en corto circuito (Z_{sc}) y en circuito abierto (Z_{oc}).

Con estos datos podría calcularse:

$$Z_0 = \sqrt{Z_{sc} Z_{oc}}$$

Esta es una ecuación universal y muy útil para obtener la impedancia característica de cualquier tipo de línea de transmisión a partir de dos medidas de impedancia hechas sobre una muestra de longitud de línea, usando dos terminales de carga que son fácilmente disponibles (abierto y corto circuito). Aunque se deben hacer dos consideraciones:

- El medidor debe poder hacer mediciones de impedancias balanceadas o desbalanceadas. Las primeras se refieren a conductores simétricos (línea de alambres paralelos o cable multipar blindado); las segundas a líneas con un conductor a "tierra" o como blindaje (cable coaxial).
- La longitud de la línea no puede ser completamente arbitraria. Si la línea es muy corta, Z_{sc} puede ser muy pequeña y Z_{oc} demasiado grande para que puedan ser medidas con exactitud por cualquier puente disponible. La longitud de línea especialmente útil para estos casos debe ser comparable con cualquier múltiplo impar de octavos de longitud de onda ($\lambda/8$); para tales longitudes, la impedancia característica, la impedancia en corto y la impedancia en circuito abierto tendrán magnitudes similares. Si la λ se conoce solo con aproximación, las medidas se pueden hacer para diferentes valores de λ , hasta lograr encontrar esta condición.

Algunos de los parámetros primarios de las líneas de transmisión (L , C , G) son invariantes con la frecuencia o, en algunos casos, su variación es despreciable. Sin embargo, la resistencia (R) varía en función de la frecuencia, la temperatura y con la variación del diámetro (calibre) de los conductores. Los valores típicos de estos parámetros dependen del fabricante, pues como se dijo anteriormente, están sujetos a características del tipo constructivas. Por esto se recomienda recurrir a los catálogos de cada fabricante cuando se desea saber con precisión el valor de dichos parámetros. A continuación se muestra una gráfica (ver Figura 2.1) que relaciona los valores de Z_0 en función de la frecuencia, para diferentes cables de diámetros típicos.

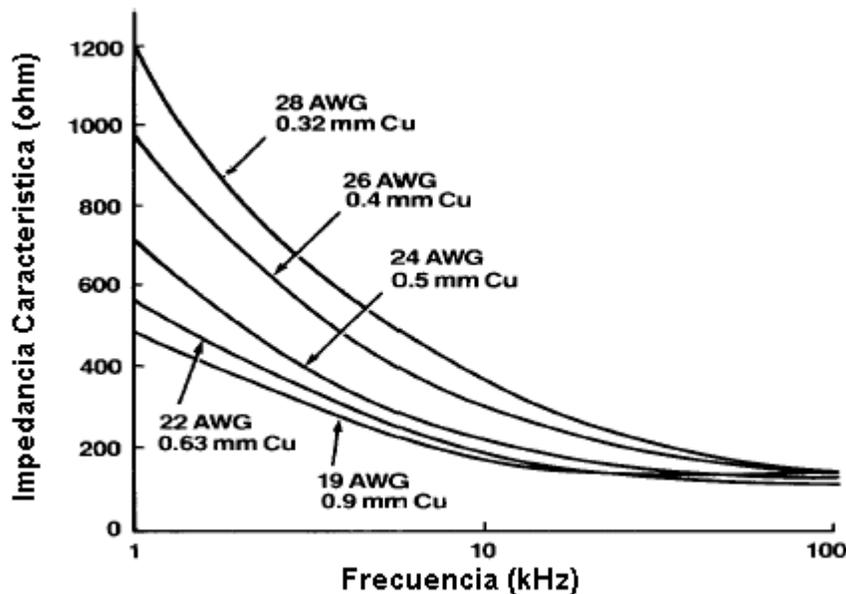


Figura 2.1 Impedancia Característica de cables típicos.

Para las altas frecuencias, el término $j\omega$ se vuelve tan grande que R y G pueden ser despreciables, por lo cual Z_0 depende prácticamente de L y C , haciéndose la impedancia característica real (o sea, $\phi=0$). El valor de este parámetro tiende a ser constante con el aumento de la frecuencia y se encuentra alrededor de los 135Ω (en los Estados Unidos) y 120Ω ó 150Ω (en otros países del mundo). Para la gama de los centenares de kHz se ha normalizado este valor por los organismos de estándares internacionales.

El cálculo de la impedancia característica (Z_0) puede hacerse de forma analítica y gráfica utilizando la herramienta Matlab. A través de una función implementada, podemos calcular y graficar el valor de este parámetro, para un intervalo de frecuencias (ancho de

banda) deseado y utilizando los valores típicos de parámetros primarios brindados por el fabricante para el cable específico a utilizar. Esto nos permite conocer el comportamiento de la impedancia característica a lo largo de todo el ancho de banda de trabajo, analizando además este comportamiento en cables de diferentes calibres. A partir de analizar esta gráfica, podemos determinar con exactitud el valor de la impedancia característica de la línea. Para una información más detallada, ver Anexo (2).

2.2 Procedimiento para la precalificación del lazo HDSL.

A continuación se muestra una relación de las pruebas fundamentales que deben ser realizadas a la hora de la precalificación del lazo de subcriptor, y serán enmarcadas dentro de las dos clasificaciones antes mencionadas. Se hace esta propuesta considerando un orden lógico con respecto a la realización de las mismas. Estas pruebas deben ser capaces de precalificar la red de acceso, ofreciendo resultados con relación al uso de la tecnología HDSL en dicho par.

Pruebas de simple-terminación

1. Balance longitudinal de impedancias. Desequilibrio resistivo
2. Voltaje DC y AC inducido en la línea
3. Capacitancia, aislamiento entre pares y resistencia de lazo
4. Longitud del enlace
5. Detección de bobinas de carga y taps puenteados
6. Detección de cortos y abiertos
7. Pérdidas de retorno
8. Retardo de grupo y retardo de transferencia de señal
9. NEXT (Near End CrossTalk)
10. Ruido de fondo y ruido impulsivo

Pruebas de doble-terminación

1. Pérdidas por inserción (respuesta de frecuencias a 135Ω)
2. Atenuación a 150 kHz (135 Ω)
3. Medición de la tasa de error (BER) del enlace HDSL.
4. Análisis de cada una de las mediciones.

2.2.1 Balance longitudinal de impedancias. Desequilibrio resistivo.

Las mediciones de este parámetro del lazo son muy importantes para determinar si el par es capaz de ofrecer servicios HDSL eficientes. Un circuito desbalanceado, causado por corrientes longitudinales desbalanceadas o por los armónicos de la línea de energía (ruido del tipo externo), puede provocar diafonía, que causa errores de bits, disminuyendo de esta forma la razón de transmisión del sistema.

Existen diferentes frecuencias, según recomendaciones especificadas, para las cuales se realiza este tipo de medición, dependiendo de la aplicación a utilizar:

- ISDN a 40 kHz
- HDSL a 150 kHz

El ruido aleatorio, normalmente presente en el cable, es el mismo en los conductores que forman el par, pues al estar trenzados, se logra que el ruido sea idéntico en ambos. A este ruido que se induce en los conductores por igual se le conoce con el nombre de Ruido de Modo Común. Los circuitos de entrada de los receptores xDSL (módems), están diseñados para rechazar gran parte de este tipo de ruido sin interferir en la transmisión de las señales diferenciales propias de la comunicación.

En pares reales, desafortunadamente, el balance entre ambos conductores que forman el par no permanece constante debido a diferentes causas, tales como la presencia de agua en el par, cambios en el trenzado y a la lenta, pero a veces considerable degradación que sufren los cables con el tiempo.

Debido a esta anomalía en el balance del par, el ruido de Modo Común puede llegar a convertirse en un ruido Diferencial. Bajo estas condiciones, los módems xDSL no podrán diferenciar entre la señal recibida y este tipo de ruido, por lo que podrán ocurrir errores en la recepción de los datos transmitidos. Por esto es muy importante realizar una medición del balance longitudinal del par, con el objetivo de determinar si está apto o no para soportar transmisiones de datos.

¿Cómo se realiza la medición?

Entre los pares (Tip y Ring) y tierra (Ground) se inyecta una señal sinusoidal perfectamente balanceada. Uno de los extremos del generador de señales es conectado a tierra y el otro extremo se conecta a los conductores del par bajo prueba, a través de dos resistores (ver Figura 1). Estos resistores tienen un valor igual a la mitad del valor de la impedancia característica del cable. La señal diferencial que se desarrolle a través del par será proporcional al desbalance existente en el mismo. Se mide el nivel de esta señal

y se compara con el nivel de señal de modo común transmitida y la razón entre estas dos señales nos da como resultado final la medición del balance longitudinal del par. Este es un valor que generalmente se expresa en dB. El inconveniente que tiene este tipo de medición, es que hay que colocar una resistencia de carga en el extremo final de la línea.

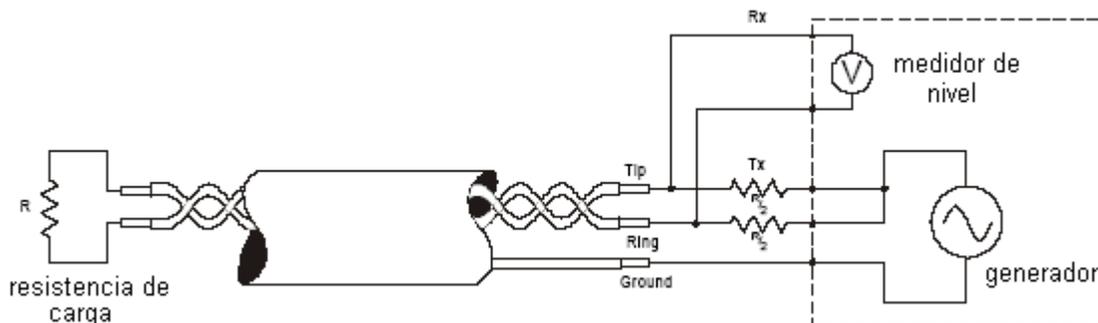


Figura 2.2 Medición del balance longitudinal.

2.2.2 Voltaje DC y AC inducido en la línea, resistencia de lazo, aislamiento entre pares y capacitancia.

Uno de los primeros pasos a la hora de precalificar el par de cobre, es realizar mediciones utilizando el multímetro digital, con el objetivo de verificar fallas serias en los parámetros físicos (resistencia de lazo, aislamiento, capacitancia, voltaje DC y AC) propios de dicho par. La combinación de estas pruebas puede ayudarnos a detectar cortos, abiertos y hasta la longitud real del lazo de abonado.

Es importante aclarar que los multímetros digitales para planta externa son diferentes a los multímetros utilizados para aplicaciones de electrónica. Estos últimos están diseñados para medir resistencias confinadas o concentradas en áreas relativamente pequeñas y para esto, utilizan voltajes muy bajos. En el caso de los cables de planta externa, los parámetros están distribuidos en distancias muy grandes y con voltaje / ruido inducido. Por razón, los multímetros diseñados para planta externa, deben hacer la medida con voltajes relativamente altos (de decenas a cientos de volts, dependiendo de la aplicación). Algunos utilizan voltajes muy altos (más de 250V) para aplicaciones que requieren medir aislamiento.

¿Cómo se realiza la medición?

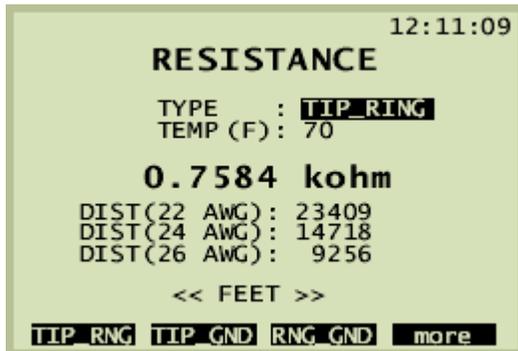


Figura 2.3 Medición de resistencia de lazo.

A través de esta medición, en la que se requiere de un cortocircuito en el extremo lejano, se debe verificar que el valor de resistencia de lazo está dentro de los límites recomendados:

- 900 Ω máx. para el servicio HDSL.

Esta medición nos permite estimar la longitud del lazo con gran exactitud.

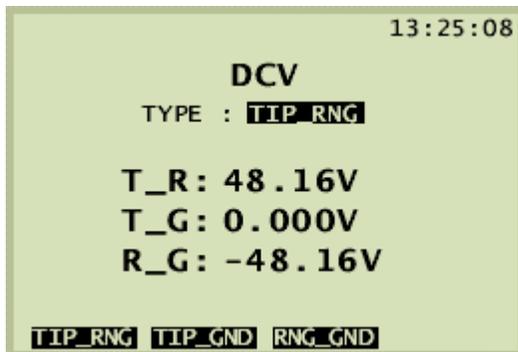


Figura 2.4 Medición voltaje DC.

La medición de voltaje DC nos permite determinar si existen pares cruzados dentro de un cable. Si el resultado obtenido en la medición es el que se muestra en la figura 2.4, entonces no existen pares cruzados en el cable. Si los valores tip-ring y ring-ground se intercambian, es porque el par se encuentra cruzado con otro.

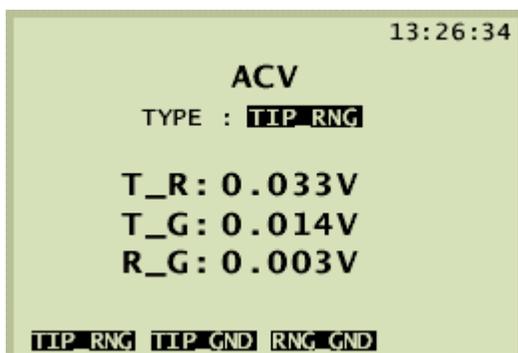


Figura 2.5 Medición voltaje AC.

La medición de voltaje AC, nos da una medida de niveles de potencia no deseados en el par. Estos niveles de potencia aparecen por inducciones que ocurren entre tip-ground y ring-ground, debido a la presencia de líneas de energía cerca de los pares. Estos valores deben de estar siempre por debajo de 5ACV (límite recomendado).



Figura 2.6 Medición de resistencia de aislamiento.

Existen tres formas de medición de la resistencia de aislamiento de un par: tip-ring, tip-ground, ring-ground. Para un perfecto desempeño del par, el valor de estas mediciones debe de estar por encima de los 5 MΩ. Si la medición de resistencia tip-ring esta por debajo de los 5 MΩ, esto indica que podría existir un corto en algún lugar del par. Se utilizará un equipo TDR para localizarlo.

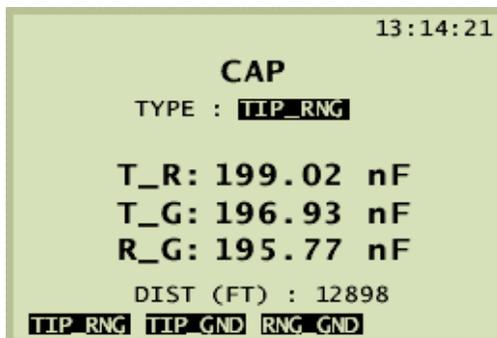


Figura 2.7 Medición de la capacitancia.

Existen tres formas de medición de la capacitancia de un par: tip-ring, tip-ground, ring-ground. Esta medición nos permite determinar si el par termina en circuito abierto y si no existen cortos en él. Si el valor de capacitancia medido es mayor que 2 μF, esto indica que existe un corto en algún lugar del par. Se utilizará un equipo TDR para localizarlo.

(Sunrise Telecom INC, 2001a)

2.2.3 .Longitud del lazo de abonado

Se ha centrado mucho la atención en la distancia de la Central hasta el cliente. La distancia puede ser de gran influencia para las tasas de transmisión en el servicio xDSL. Es debido a esto que resulta de gran importancia verificar la distancia que existe entre el cliente y la Central. Además de esto, al verificar la distancia de lazo y al compararla con un valor ya conocido, pues sería posible determinar un corto en el par o inclusive, un tap puenteado que está agregando mayor distancia a la medición realizada.

Existen dos maneras que nos permiten estimar de forma aproximada y con un cierto margen de error la distancia del lazo:

- a través de la medición de la resistencia de lazo (R_{Loop})
- a partir del valor de capacitancia (C) del par

Ambas mediciones permiten determinar una posible longitud del lazo de abonado, siendo la primera mayormente recomendada, pues brinda un margen de error mucho menor, pero con la desventaja de que se requiere de un cortocircuito en el extremo final del par.

¿Cómo se realiza la medición?

1) Capacitancia

Los sistemas de pruebas miden la longitud del lazo usando la medición de capacitancia tip-to-ring, permitiéndonos estimar la distancia hasta el extremo lejano sin la necesidad de un cortocircuito al final de la línea. Es solo una estimación, ya que algunas fallas como taps puenteados o cables húmedos podrían aparecer incluidas en los resultados finales. La longitud del lazo se calcula a partir del valor de capacitancia ya calculado y utilizando el valor constante de 83 nF/milla (52 nF/Km). Este es un parámetro del par que es muy estable, aunque puede tener variaciones en dependencia del par de cobre utilizado. Estas variaciones oscilan entre 78 y 86 nF/milla (con valor nominal de 83 nF/milla).

2) Resistencia de lazo

Esta medición da un mejor resultado con relación a la longitud total del lazo, con la desventaja de que requiere de un cortocircuito en el extremo final. A partir de obtener el valor de resistencia del lazo, se calcularán las distancias (para varios calibres) según la norma representada en la Tabla 2.1 Esta conversión está basada en el diámetro del cable y en la temperatura.

Tabla 2.1 Valores de resistencia distribuida en función del diámetro del hilo.

Diámetro (mm)	Calibre (AWG)	R (Ω /Km)
0.32	28	214
0.404	26	135
0.511	24	84.2
0.643	22	53.2
0.813	20	33.2
0.912	19	26.4

2.2.4 Detección de bobinas de carga y taps puenteados

Reflectometría en el dominio del tiempo

¿Cómo se realiza la medición?

Consiste fundamentalmente en inyectar un pulso de energía a la línea y temporizar el regreso de alguna reflexión causada por una anomalía presente en el par. El objetivo de medir el tiempo de retorno de alguna reflexión es tan solo, determinar la distancia a la que se encuentra el problema detectado. Por ejemplo, un par terminado en circuito abierto (par no utilizado) reflejará gran parte de la energía del pulso de regreso hacia la fuente. Esto podría permitirnos determinar la longitud de la línea.

Equipo TDR (reflectómetro en el dominio del tiempo)

El TDR transmite un pulso de energía a través de todo el tramo de cable al que se le efectuará la medición. Cuando el pulso transmitido encuentra el final del cable o algún otro cambio de impedancia (ya sea cortocircuito, bobinas de carga o taps puenteados), parte o toda la energía se refleja de vuelta hacia el equipo TDR. Este equipo calcula el tiempo que tomó el pulso en hacer todo el recorrido (desde que fue generado, hasta que detectó el problema, se reflejó y llegó nuevamente a la fuente). Con este tiempo ya calculado y la velocidad de propagación del cable (la cual puede variar en dependencia del calibre, material, etc.) el TDR determina la distancia exacta desde el equipo hasta el problema detectado en el par. Como se mencionó anteriormente, el equipo TDR localiza los cambios de impedancias a lo largo del par. Estos cambios de impedancias pueden estar determinados por: instalación inadecuada, daños en el cable, terminación del par, bobinas de carga y taps puenteados. Tanto como varíe la impedancia, variará la amplitud de la reflexión, determinando de esta forma la gravedad de la anomalía detectada. Un beneficio principal del TDR es su exactitud y habilidad para detectar el lugar exacto de la falla. El ancho y la amplitud del pulso determinan su energía. Pulsos estrechos (de muy baja energía), no lograrán alcanzar grandes distancias a través del par. Por otro lado, si se envían pulsos muy anchos (gran energía) y la longitud del par es relativamente corta, entonces puede suceder que la reflexión del pulso llegue al equipo TDR antes de haberse completado totalmente el envío del pulso. Para evitar esto, es necesario que el equipo permita variar el ancho de pulso a la hora del envío. (Dunford y Fitts, 2002)

Un TDR es una excelente herramienta para la precalificación del par de cobre para un posterior uso de este en tecnologías xDSL.

Detección de bobinas de carga

Existen dos pasos fundamentales en este procedimiento:

- Detección de bobinas de carga a través de un Detector de Bobinas.
- Localización de las bobinas detectadas mediante el TDR.

¿Cómo se realiza la medición?

La técnica de Reflectometría en el Dominio del Tiempo (TDR), es la que se utiliza para localizar los puntos de instalación de dichas bobinas de carga, es decir, la distancia exacta a la que se encuentran del punto de medición.

Resultados en el equipo de medición

(Todas estas mediciones están hechas a partir de ubicar el equipo de medición a 6000 pies de la primera bobina de carga. En caso de existir más bobinas de carga en el par, estas están espaciadas a 6000 pies unas de otras)

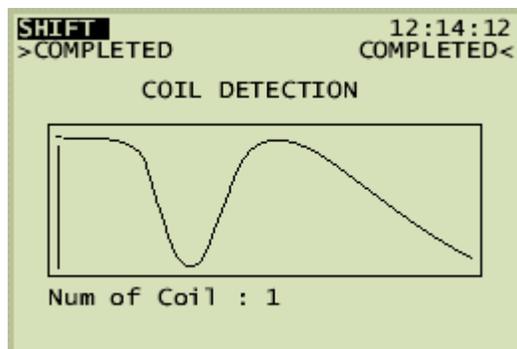


Figura 2.8 Detección de 1 bobina de carga.

En la pantalla del Detector de Bobinas se aprecia una considerable hendidura, provocada por el cambio de impedancia que introduce la bobina de carga. Esta hendidura se ubica hacia el lado izquierdo de la pantalla (esta es la forma más fácil de determinar que, en efecto, se trata de una bobina de carga)

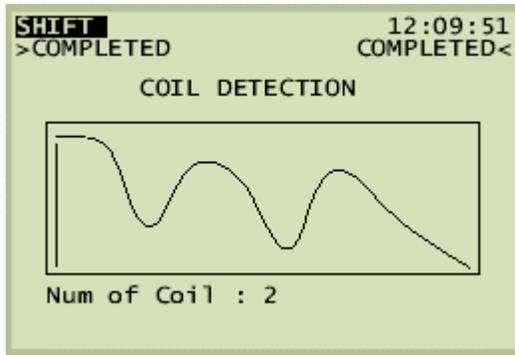


Figura 2.9 Detección de 2 bobinas de carga.

Como en el caso anterior, en la pantalla del Detector de Bobinas se aprecia una considerable hendidura, provocada por el cambio de impedancia que introduce la 1era bobina de carga. Existe además otra hendidura, a continuación de la primera, que representa el cambio de impedancia introducido por la segunda bobina de carga. Estas hendiduras (muy bien pronunciadas) se ubican también hacia el lado izquierdo de la pantalla.

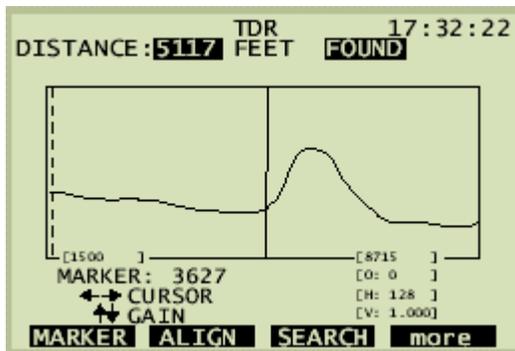


Figura 2.10 Localización de la 1ra bobina de carga.

En el TDR, la bobina de carga aparece como una abolladura hacia arriba (muy semejante a un abierto (open) detectado en el par). La forma de identificarla es midiendo la distancia (a través del marker) a la que se encuentra de la Central (en este caso 5117 pies) y comparar esta distancia con los valores de espaciamiento ya definidos para bobinas de carga.

Hay que señalar que un equipo Detector de Bobinas es capaz de detectar todas las bobinas de carga presentes en el par, mientras que el TDR, sólo puede brindar la localización de la primera de estas bobinas. Así es que hay que eliminar dicha bobina y luego repetir el proceso (tantas veces como bobinas de carga se detecten), para eliminar las demás, hasta no quedar ninguna bobina de carga en toda la extensión del lazo de abonado. (Sunrise Telecom INC, 2001a)

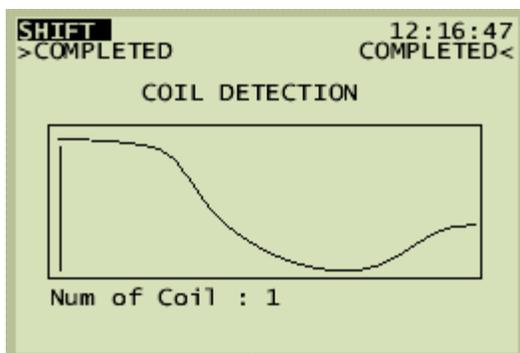


Figura 2.11 Ausencia de bobina de carga.

En la pantalla del Detector de Bobinas se aprecia una hendidura, pero no tan pronunciada (pendiente más suave), provocada por algún cambio de impedancia en el par. Esta hendidura se ubica hacia el lado derecho de la pantalla, por lo que la verdadera causa de su aparición es el cambio de impedancia que introduce el splitter ubicado en la Central (CO) y no la presencia de alguna bobina de carga.

Detección de taps puenteados

La longitud de los taps puenteados afecta (de forma diferente, según la longitud) el desempeño de los servicios HDSL. Las pruebas de precalificación deben permitirnos determinar la longitud de todos los taps puenteados existentes en la línea. Se recomienda que el número máximo de taps puenteados presentes en el par esté limitado a 2 y la longitud de cada uno a 500 metros.

Existen dos factores fundamentales a tener en cuenta a la hora de analizar el efecto de un tap puenteadado en el servicio xDSL. Estos factores se mencionan a continuación.

Longitud del tap puenteadado: Derivaciones muy cortas son más dañinas que las largas, pues la señal reflejada encuentra menor atenuación en su recorrido y debido a esto, es más potente. Con derivaciones largas, la reflexión puede llegar a ser tan atenuada que tiene poco efecto en el desempeño del servicio.

Distancia de la derivación al módem (xTU-C o xTU-R): Nuevamente, la atenuación es el problema principal. Cuando la fuente de ruido está más cerca del receptor, existe mayor daño que el que produciría una fuente distante que ya ha sido atenuada durante su recorrido.

¿Cómo se realiza la medición?

La técnica de Reflectometría en el Dominio del Tiempo (TDR), es la que se utiliza para detectar los taps puenteados, la distancia a la que se encuentran del punto de medición, así como la longitud de los mismos.

Resultados en el equipo de medición:

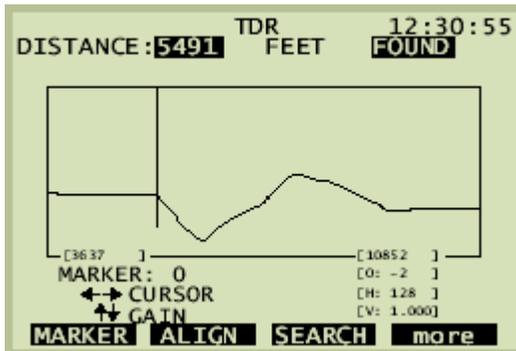


Figura 2.12 Detección de tap punteado.

El TDR es el dispositivo que se utiliza para la detección y localización de tap punteados. Estos aparecen en pantalla como un pico hacia abajo (que representa donde se ubica el tap punteado), seguido de una abolladura hacia arriba (que indica el final (open) del tap punteado). El marcador del equipo brinda la localización exacta (para este caso, 5491 pies desde donde se hace la medición). (Sunrise Telecom INC, 2001a).

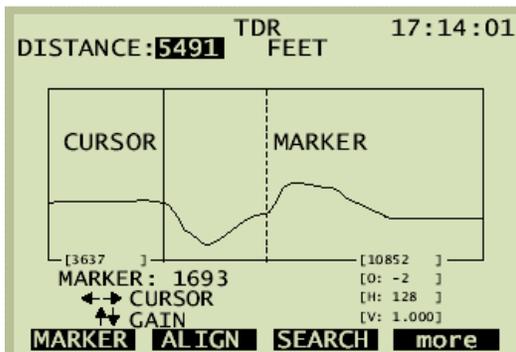


Figura 2.13 Longitud del tap punteado.

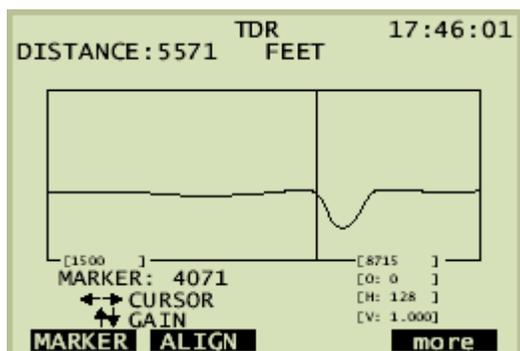
El TDR también nos brinda la posibilidad de poder determinar la longitud del tap punteado. Esto se hace trasladando el marcador del equipo hasta donde comienza la abolladura hacia arriba, que representa el final abierto del tap. Con la diferencia entre el valor de distancia obtenido con el marcador y la distancia a la que se ubica el tap punteado, podremos hallar entonces la longitud del mismo. (Sunrise Telecom INC, 2001a).

2.2.5 Detección de cortos y abiertos

¿Cómo se realiza la medición?

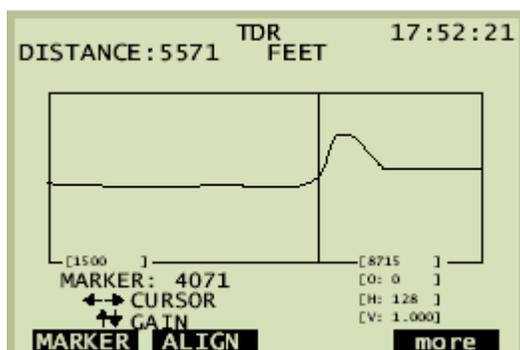
La técnica de Reflectometría en el Dominio del Tiempo (TDR), es la que se utiliza para localizar los puntos en que existen cortos o abiertos, anomalías que pueden afectar el desempeño de los servicios HDSL.

Resultados en el equipo de medición:



En la pantalla del TDR, puede observarse el corto como un pico hacia abajo. El punto, a partir del cual se observa el cambio brusco en el nivel de la señal, indica la posición del corto. El marker del equipo brinda la localización exacta (para este caso, 5571 pies desde donde se hace la medición).

Figura 2.14 Detección de cortos.



En la pantalla del TDR el abierto aparece como una abolladura hacia arriba, que indica el lugar donde existe el abierto en el par de cobre. El marker del equipo brinda la localización exacta (para este caso, 5571 pies desde donde se hace la medición). (Sunrise Telecom INC, 2001a).

Figura 2.15 Detección de abiertos.

2.2.6 Pérdidas de retorno

La pérdida de retorno de un enlace es una medida de las discontinuidades de impedancia que existen en el par, relativas a un valor nominal (normalmente 135Ω para HDSL). Es importante destacar que en el valor de las pérdidas de retorno, también intervienen los conectores y uniones propias del enlace. Las pérdidas de retorno, como se dijo anteriormente, son causadas por la falta de uniformidad en la impedancia del par, la cual puede ser producida por cambios en el trenzado, distancias entre conductores, manipulación del cable, longitud del enlace y variación en el calibre del alambre de cobre.

¿Cómo se realiza la medición?

Cada cambio de la impedancia genera una reflexión de energía hacia el transmisor. Debido a que para medir la pérdida de retorno se deben medir simultáneamente señales que van y vienen sobre el mismo par, se requiere equipo y técnicas especiales para

realizar la medición. Para ello se debe usar un Analizador de Red, un acoplador direccional, y un balun (Transformador de RF adaptador de impedancias) conectados al par en cuestión. (ver Figura 2.16)

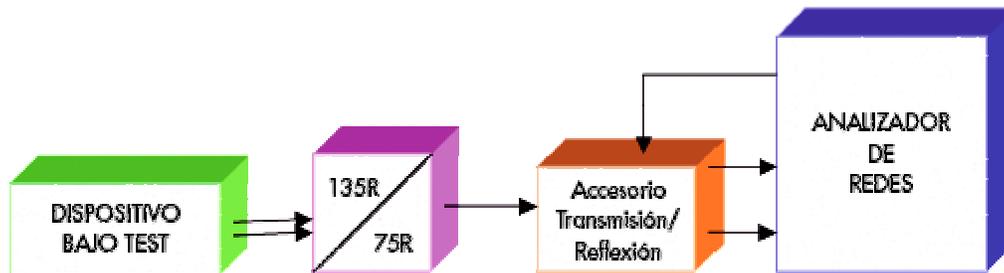


Figura 2.16 Medición de pérdidas de retorno.

El acoplador direccional separa una muestra de las señales transmitidas y recibidas en el extremo del par que pasa por él, en dos puertos separados, los cuales son conectados al analizador. Este mide la energía de la señal transmitida (incidente) y de la reflejada y determina por diferencia la pérdida de retorno. El valor mínimo recomendado para HDSL respecto a 135Ω será de 16 dB. El sistema introduce además algunos errores ya que los acopladores que se utilizan no son perfectos (la directividad no es completa) y los balun tienen pérdidas internas, lo cual hace que los analizadores tengan que hacer correcciones matemáticas para compensar los efectos de los acopladores y el Balun. Esta es la causa por la cual esta medición es difícil de hacer con instrumentos de mediciones de campo.

2.2.7 Pérdidas de inserción (respuesta de frecuencias)

Para varias de las tecnologías xDSL (específicamente IDSL y HDSL), estas pruebas se centran a una sola frecuencia, pues utilizan una sola portadora (196 kHz para HDSL). A pesar de ser tecnologías de una sola portadora, su energía no se concentra en una única frecuencia, pues la modulación-codificación causa que el espectro se amplíe (aproximadamente 392 kHz), ocupando un ancho de banda mayor. Debido a esto, utilizar una señal sinusoidal (de una sola frecuencia) para hacer pruebas de pérdidas de inserción, puede llegar a no ser tan exacto. Por esto es muy recomendable realizar las pruebas a diferentes frecuencias (valores típicos) dentro del ancho de banda de trabajo, incluyendo siempre la frecuencia de la portadora (196 kHz). Al graficar los valores obtenidos, podremos realizar una extrapolación y obtener, de forma aproximada, lo que sería la curva de respuesta de frecuencias del par analizado. Para obtener la respuesta

de frecuencias real del par, con todos sus detalles, el barrido tendría que ser a lo largo de todo el ancho de banda de trabajo y con incrementos pequeños en el valor de la frecuencia. A continuación se muestra una tabla con valores de frecuencias y sus valores de atenuación correspondientes para garantizar un correcto desempeño se sistemas HDSL.

Tabla 2.2 Respuesta de frecuencia.

Frecuencia(kHz)	10	20	40	100	150	200	400
Atenuación(dB)	15.2	19.0	23.4	28.6	31.0	33.3	42.5

Hay que tener en cuenta que al hacer pruebas de pérdida de inserción se puede cometer el error de conectarse a un punto intermedio de la red, haciendo que el cable sobrante hasta el usuario se comporte como una derivación, afectando los resultados. Si no se tiene acceso a una caja de conexión cercana al usuario, el técnico tiene que asegurarse de aislar el resto de la línea, para que el instrumento de medición siempre quede al final de la misma. De esta manera, se asegura que los resultados sean correctos. Esta no es una limitación del instrumento de medición, es una precaución que siempre se debe tomar. El error en la medida se produce debido a que la cola de cable restante se comporta como una derivación y resonará a diferentes frecuencias, que sean múltiplos de su longitud, atenuando fuertemente la señal. Este efecto es más notorio, cuando la cola de cable esta cerca del generador.

¿Cómo se realiza la medición?

Para realizar la medición de respuesta de frecuencias en el lazo de abonado, puede hacerse utilizando una sola unidad (equipo que implementa este tipo de medición) ubicada en unos de los extremos del par de cobre, aunque lo más común es utilizar dos unidades ubicadas cada una en ambos extremos del par. Una de las unidades genera una serie de tonos de amplitud constante y con los valores de frecuencias previamente seleccionados. La unidad ubicada en el otro extremo del par mide la potencia de los tonos que se reciben y los plotea en una gráfica de amplitud vs. frecuencia. Los circuitos que no cumplan con los requerimientos de ancho de banda, no estarán listos para soportar una conexión xDSL o podrían limitar en gran medida la velocidad de transmisión a través del par. (Dunford y Fitts, 2002)

2.2.8 Atenuación a 150 kHz (135 Ω)

Para sistemas HDSL, la frecuencia de referencia para el cálculo de la atenuación es de 150 kHz y los valores de atenuación para los distintos tipos de cable son indicados en la Tabla 2.1 (según fabricante). Esta tabla relaciona los valores correspondientes a la atenuación en función del diámetro del cable a 150 kHz (para cables soterrados / aéreos). El valor de atenuación es otro parámetro del par que nos permite determinar la longitud del lazo de abonado.

Tabla 2.3 Atenuación en pares de cobre.

Calibre (mm)	Atenuación (dB/Km)
0,4	10
0,5	9
0,65	6,3
0,9	4,8

¿Cómo se realiza la medición?

Para medir la atenuación de un par, basta con inyectar una señal a 150 kHz en la línea. Debe garantizarse que la línea de transmisión (par telefónico) se encuentre en régimen de onda viajera, o sea, que tenga como carga una impedancia igual al valor de la impedancia característica (Z_0) de dicha línea. Cumpliendo estos requerimientos podrá utilizarse para el cálculo del valor de atenuación (expresado en dB) la siguiente expresión:

$$\alpha = 20 \log_{10} \frac{V_{sal}}{V_{ent}}$$

donde:

V_{ent} : amplitud del voltaje aplicado a la entrada de la línea de transmisión.

V_{sal} : amplitud del voltaje medido en la carga.

Según la Recomendación G 991.1 de la UIT-T se ha normado para sistemas HDSL una atenuación de hasta 31 dB a 150 kHz, para garantizar un correcto desempeño de este tipo de tecnología.

2.2.9 Retardo de transferencia de señal

Existen recomendaciones que rigen el comportamiento de este parámetro. Se define que el retardo de transferencia de la señal unidireccional, para un sistema HDSL que utilice código de línea 2B1Q, debe cumplir con la siguiente condición:

- Retardo en Línea $\leq 150 \mu\text{s}$

Nota: Se calculará como el retardo medio para ambos sentidos.

Se recomienda que la diferencia de retardo de transferencia de la señal entre cada uno de los pares (2 o 3 según el HDSL utilizado) esté limitada a un máximo de 50 μs en 150 kHz, lo que corresponde a una diferencia de 10 Km en la longitud de la línea que une a la Central (CO) y al abonado que recibe el servicio.

¿Cómo se realiza la medición?

Para medir este parámetro se utilizarán dos pares en la realización de las pruebas. Debe garantizarse un cortocircuito (bucle) que una ambos pares en el extremo final. Se inyecta señal por uno de los pares y se comienza a correr un temporizador hasta que se reciba señal de regreso por el otro par. Con el valor obtenido del temporizador, se determina el valor medio del mismo, teniendo en cuenta el recorrido de la señal en ambos sentidos.

2.2.10 Retardo de grupo

¿Cómo se realiza la medición?

El método de medición de este parámetro se especifica en la Rec. O.81 de la ITU-T y consiste básicamente en utilizar el método de Lissajous utilizando un osciloscopio. El retardo de grupo en sistemas HDSL será aproximadamente de 15 μs .

2.2.11 Diafonía NEXT (Near End Crosstalk)

Esta medida nos permite identificar posibles fuentes internas de ruido, o sea, saber si hay pares dentro del mismo cable que por transportar determinados servicios (E1, HDSL, ISDN, ADSL) provocan intermodulaciones (*crosstalk*) que pueden afectar la transmisión por uno de estos pares (ver Figura 2.17).

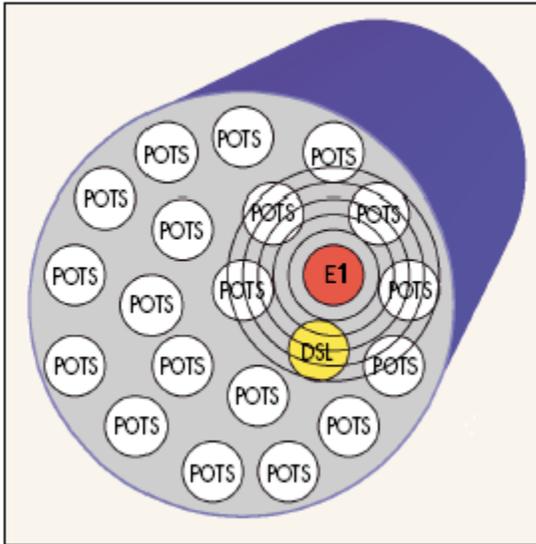


Figura 2.17 Intermodulación provocada por el servicio E1.

Los valores para la atenuación de diafonía (NEXT) para los servicios HDSL varían de 40 dB a 70 dB en 150 kHz, dependiendo esta variación del tipo de cable, del número de perturbaciones y del entorno.

¿Cómo se realiza la medición?

Para medir las pérdidas por diafonía (NEXT) se utilizarán en este caso dos pares de cobre de un mismo cable multipar, preferiblemente adyacentes o relativamente cercanos. Se inyecta una señal a 150 kHz por uno de estos pares y se mide la amplitud de la señal inducida en el otro par, pero en el mismo extremo desde donde se ha inyectado la señal, ya que se está analizando la influencia de la NEXT. Con este valor medido y la amplitud del voltaje de entrada, podrán calcularse las pérdidas sufridas por la señal de entrada al acoplarse al par adyacente. El valor de estas pérdidas se expresa en dB.

2.2.12 Ruido de fondo

Uno de los parámetros claves para detectar problemas en la línea es el análisis de ruido de fondo en banda ancha. De esta forma es posible identificar los posibles interferentes, ya sean internos (*crosstalk*) o externos que puedan existir en el par y que, de cierta forma, degradan la calidad de transmisión del enlace.

¿Cómo se realiza la medición?

La medición de este parámetro se realiza con un analizador de espectros (PSA). Para la evaluación del margen de ruido se supone un ruido gaussiano. El valor de ruido se calcula sobre la base de una muestra tomada cada segundo para cada par separadamente. La gama de evaluación está comprendida entre +27 dB y -5 dB, donde 0 dB indica el margen de ruido para el cual se espera una BER de 10^{-7} para cada par.

Resultados en el equipo de medición:

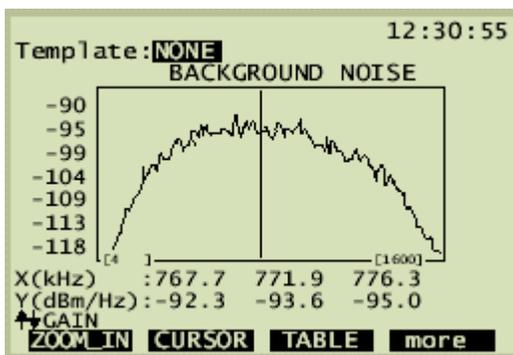


Figura 2.18 Ruido de fondo.

2.2.13 Ruido impulsivo

Tener un contador de eventos de ruido impulsivo, es de gran ayuda para identificar problemas que surgen de forma aleatoria e intermitente que pueden afectar en gran medida el desempeño de las transmisiones de HDSL. (Polo, 2000)

¿Cómo se realiza la medición?

La mayoría de los equipos empleados para medir ruido impulsivo incorporan tres contadores con el fin de contar impulsos que sobrepasen tres umbrales diferentes.

El intervalo de medida se fija en 15 minutos y no se deberá tener más de 18 impulsos, pues los organismos de estándares internacionales fijan como límites 72 impulsos en una hora, teniendo la línea cargada en ambos extremos. De acuerdo a las normas dadas por la UIT-T para los instrumentos que miden este tipo de ruido, éstos deberán medir impulsos cada 125 mseg. De este modo, al aparecer un impulso, el instrumento lo registrará en alguno de sus contadores, el cual no medirá otro impulso hasta pasado este tiempo (125 mseg). El instrumento registrará a lo máximo 8 impulsos por segundo, no contabilizándose los impulsos que puedan aparecer entre estos tiempos. Todo lo anterior debe cumplirse para cada uno de los tres contadores.

2.2.14 Medición de la tasa de error de bit (BER) del HDSL

¿Cómo se realiza la medición?

El conjunto de pruebas de tasa de errores en los bits (BERTS, *bit error ratio test set*) consisten en aplicar a la línea, y a la velocidad binaria requerida por la interfaz de aplicación, una señal de prueba que no es más que una secuencia de bits pseudo aleatoria denominada PRBS (*pseudo-random bit sequence*). Este patrón pseudo aleatorio es generado por un registro de desplazamiento de longitud L y entrega secuencias de longitud $2^L - 1$ ($2^{15} - 1$, para el caso de HDSL). El receptor, en el sentido opuesto, será alimentado con una señal PRBS similar a la generada el transmisor.

El transmisor envía de forma continua el patrón PRBS hacia el receptor y un medidor ubicado en este extremo verifica que el patrón recibido coincida con el que este posee.

La calidad de funcionamiento del enlace estará determinada a partir de comprobar que la tasa de errores en los bits (BER) sea menor que 10^{-7} (dividido por el número de pares utilizado por el HDSL) mientras se transmite la secuencia de bits pseudo aleatoria. La BER se debe medir después de haber transmitido por lo menos 10^9 bits.

Las pruebas se realizan con margen cero, es decir, sin atenuación adicional añadida a los pares de prueba. Cabe esperar que las entidades operadoras de red calcularán sus propios márgenes para fines de planificación basándose en un conocimiento de la relación entre este conjunto de pruebas normalizado y las características de su red.

2.3 Pruebas de laboratorio para la precalificación del lazo HDSL

A partir de la metodología antes mencionada, se propone realizar algunas pruebas de laboratorio que contribuirán, de cierto modo, a demostrar la eficacia de la metodología elaborada. Para esto, se utilizarán equipos de laboratorio (multímetro de planta exterior,

generador de señales, osciloscopio y analizador de espectros), así como 2.0 m de cable multipar telefónico (0.4 mm).

Conociendo la impedancia característica del par ($Z_0 = 135 \Omega$) y la resistencia de salida de los equipos con que se cuenta en el laboratorio ($R = 50 \Omega$), pues se debe utilizar un circuito que sea capaz de realizar una perfecta adaptación de impedancias, con el fin de minimizar las pérdidas por acoplamiento a la hora de inyectar las señales de pruebas en la línea. Además, debe considerarse que las líneas telefónicas son circuitos balanceados, mientras que las salidas de los equipos de laboratorio están diseñadas para trabajar en modo desbalanceado. El circuito debe garantizar además la operación en ambos modos (balanceado / desbalanceado). El dispositivo ideal que cumple con ambos requerimientos es el Balun. Este circuito conecta los dos modos de operación, con bajas pérdidas de inserción y gran adaptación de impedancias. (ver Anexo 3)

Estas pruebas nos permitirán además obtener datos reales, que nos brindarán suficiente información acerca del comportamiento y las características propias del par, con el objetivo fundamental de realizar una preselección adecuada del mismo, garantizándose un correcto desempeño al utilizarlo como soporte para tecnologías HDSL.

2.3.1 Pruebas a realizar

En el laboratorio se realizarán un grupo de pruebas que servirán para validar la metodología antes elaborada. Estas pruebas pueden ser implementadas también en pares reales, es decir, seguir esta metodología para la realización de pruebas de campo en la planta exterior, con el objetivo de lograr una correcta precalificación de la red de acceso para el soporte de tecnologías HDSL.

Las pruebas que se propone realizar se enumeran a continuación:

- Voltaje DC y AC inducido en la línea
- Resistencia del lazo de abonado
- Capacitancia
- Aislamiento entre pares
- Longitud del enlace
- Pérdidas por inserción (a 135Ω)
- Atenuación a 150 kHz (a 135Ω)

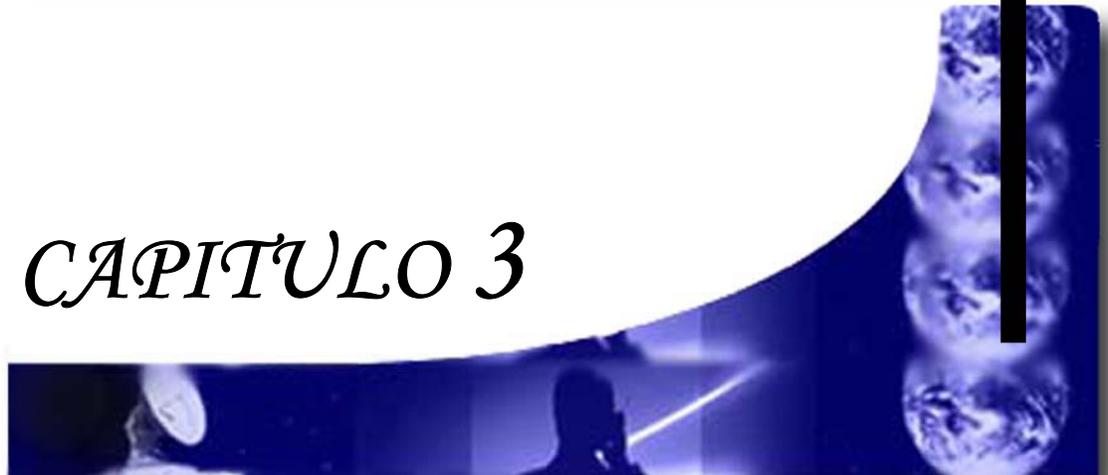
Hay que señalar que, a modo de ejemplo y para brindar una sencilla idea del método de implementación de las pruebas a realizar, solo se han tomado algunas de ellas en esta

oportunidad. Para ver los resultados reales obtenidos en las pruebas realizadas ver Anexo 4.

El despliegue de tecnologías como HDSL, así como los instrumentos utilizados para su instalación, puesta en servicio y mantenimiento, representan nuevos retos para nuestros técnicos e ingenieros. Por esta razón, una metodología de pruebas HDSL deberá considerarse dentro del gran contexto de las pruebas de precalificación de la red de acceso. Sin olvidar que otras tecnologías xDSL (ADSL, VDSL, etc.) ya están siendo instaladas en varios lugares del mundo.

La próxima generación de técnicos de la red de acceso, enfrentará algunas presiones con las nuevas líneas xDSL. Precisarán de conocimiento, entrenamiento e instrumentos de prueba especializados en los requerimientos particulares de estas tecnologías, todavía no suficientemente difundidas, para cubrir todas las aplicaciones de acceso y superar las expectativas de los clientes.

CAPITULO 3



CAPITULO 3 Procesamiento digital de señales de prueba utilizando la transformada Wavelet.

Las funciones Wavelets son una herramienta importante en el procesamiento digital de señales. Sus propiedades pueden ser aprovechadas de forma óptima para el desarrollo de importantes aplicaciones en diversas ramas de la ciencia. En este capítulo se desarrolla un procedimiento que, utilizando las facilidades que brinda Wavelet, nos permitirá arribar a importantes conclusiones a partir de procesar un grupo de señales de prueba construidas en el laboratorio.

3.1 Análisis de Fourier

Los analistas de señales tienen a su disposición en estos momentos un impresionante arsenal de herramientas para el procesamiento de señales.

A pesar de esto, la más conocida de todas es el análisis de Fourier. Este tipo de análisis consiste en descomponer una señal en una serie de sinusoides de diferentes frecuencias. Otra forma de ver el análisis de Fourier es a través de operaciones matemáticas, que nos permiten transformar una señal que se encuentra en el dominio del tiempo hacia el dominio de la frecuencia.

Para muchas señales el análisis de Fourier es aconsejable debido a que el contenido de frecuencias de dichas señales es de gran importancia. ¿Por que entonces se necesita utilizar otras técnicas como el análisis Wavelet?

El análisis de Fourier tiene fundamentalmente una desventaja:

- Cuando se transforma una señal hacia el dominio de la frecuencia la información en el dominio del tiempo se pierde, por lo que al analizar la transformada de Fourier es imposible determinar en que instante (en el tiempo) un evento ha tenido lugar.

Si las propiedades de la señal permanecen invariantes por un espacio de tiempo (señal estacionaria) esta desventaja no es muy apreciable. No obstante hay que señalar que la gran mayoría de las señales que existen poseen características no estacionarias o transitorias. Estas características siempre son la parte más importante de las señales y un análisis de Fourier no es capaz de detectarlas. (The Math Works INC, 2000)

3.2 Análisis de Fourier de Tiempo Corto

En un esfuerzo por corregir la deficiencia antes mencionada, Dennis Gabor (1946) utilizó la transformada de Fourier para analizar solo una pequeña sección de la señal, en un intervalo de tiempo especificado. A este tipo de análisis se le llamó *técnica de ventanas*. A la adaptación realizada por Gabor se le llamó análisis de Fourier de Corto Tiempo o STFT (Short-Time Fourier Transform). Este tipo de análisis transforma la señal representándola en función del tiempo y de la frecuencia.

La STFT nos representa una relación directa entre el tiempo y la frecuencia en una señal, permitiéndonos obtener información con relación a cuándo y a qué frecuencia un evento ha ocurrido en la señal. Hay que destacar que solamente podemos obtener esta información con una exactitud limitada, y esta precisión está determinada por el tamaño de la ventana que se utilice en el análisis.

Mientras que la información (en tiempo y en frecuencia) que nos brinda la STFT puede resultar apreciable, la desventaja consiste en que una vez seleccionado el tamaño de la ventana en el tiempo, esta ventana será la misma para todas las frecuencias. Muchas señales requieren de un procesamiento más flexible que permita un mayor aprovechamiento de las mismas, o sea, donde se nos permita variar el tamaño de la ventana con el fin de detectar un mayor número de características propias de la señal, ya sea en el dominio del tiempo como en el de la frecuencia. (The Math Works INC, 2000)

3.3 Análisis Wavelet

El análisis Wavelet representa el próximo paso en el análisis de señales: aplicar una técnica de ventanas de tamaño variable.

Wavelet nos permite además el análisis de grandes intervalos de tiempo donde queremos precisar información relacionada con el contenido de bajas frecuencias, así como de pequeñas regiones de donde queremos obtener información relativa a las altas frecuencias.

3.3.1 ¿Qué nos permite el análisis Wavelet?

Una de las mayores ventajas que nos permite Wavelet es la posibilidad de realizar análisis locales, o sea, analizar áreas específicas dentro de todo el contenido de la señal. Por ejemplo consideremos una señal sinusoidal con una pequeña discontinuidad (tan pequeña que pueda resultar inapreciable). Si realizamos un análisis de Fourier de esta señal, al plotear los coeficientes, no se mostrará nada particularmente interesante, solo

un espectro ya conocido formado por dos picos que representan la frecuencia de la señal y su imagen. Sin embargo si hacemos un análisis Wavelet y plotamos los coeficientes obtenidos podremos determinar el instante de tiempo exacto en que ocurrió la discontinuidad. Un análisis Wavelet es capaz de revelar detalles importantes en la señal que otras técnicas de procesamiento digital de señales ignoran, tales como: puntos de ruptura y discontinuidades. (Sweeney, 1996; The Math Works INC, 2000)

En fin, dentro del campo del procesamiento de señales, Wavelet ha ganado un lugar meritorio, convirtiéndose en una herramienta indispensable y de gran popularidad para los analistas de señales.

3.3.2 Análisis Wavelet ¿en qué consiste?

Ahora que ya conocemos diferentes situaciones en las que un análisis Wavelet resulta muy útil, es el momento de preguntarnos: ¿Qué es el análisis Wavelet? o más específicamente: ¿Qué es Wavelet?

Una función Wavelet es una forma de onda de duración limitada que tiene a 0 (cero) como valor promedio.

Al comparar a Wavelet con una onda sinusoidal (las cuales son las funciones básicas del análisis de Fourier), podemos observar los siguientes aspectos:

- Wavelet es de duración limitada mientras que una senoide no tiene duración finita, extendiéndose desde $+\infty$ a $-\infty$.
- Donde las sinusoides son lisas y predecibles, Wavelet tiende a ser irregular y asimétrica.

El análisis de Fourier consiste en la descomposición de señales en sinusoides de diferentes frecuencias. Similarmente el análisis Wavelet es la descomposición de una señal en versiones de diferente escala y posición de la función Wavelet original, conocida como Wavelet madre. Solo de mirar las formas de ondas obtenidas a partir de Fourier y Wavelet, podemos percatarnos de que señales que presentan cambios agudos, pueden ser analizadas de forma mucho más óptima con funciones irregulares Wavelet que con funciones sinusoidales.

3.4 Detección de discontinuidades y puntos de ruptura

La detección de discontinuidades y puntos de ruptura es otra de las facilidades que nos brinda Wavelet. La característica principal es que el cambio en la señal puede ser

localizado en tiempo o en espacio (posición). Haciendo un análisis Wavelet, se puede detectar el instante exacto en que ocurre un cambio significativo en una señal.

Las Wavelets de corta duración son más efectivas a la hora de detectar cambios abruptos en las señales. Es por esto que para dicha aplicación se recomienda el uso de la función Wavelet de Haar. Si sólo nos interesa detectar el instante en que ocurre la discontinuidad o punto de ruptura, un análisis utilizando la transformada Wavelet de Haar (db1) sería el más óptimo. (The Math Works INC, 2000)

3.5 Wavelet de Haar. Consideraciones teóricas.

La función Wavelet de Haar es la más antigua de todas las funciones Wavelets. Consiste en un breve impulso positivo seguido de un breve impulso negativo. Es el más simple ejemplo de toda una familia de funciones Wavelets, muy apropiada para el análisis de discontinuidades o cambios bruscos de nivel en señales de todo tipo.

Un análisis unidimensional se basa en una función de escalamiento (Φ) y una función Wavelet (Ψ). (ver Figura 3.1). Haar es una Wavelet unidimensional. Esta es la única función discontinua entre las Wavelet unidimensionales. Dicha función posee tres puntos de discontinuidad bien definidos: 0, 0.5, 1. (The Math Works INC, 2000; Graps, 1995)

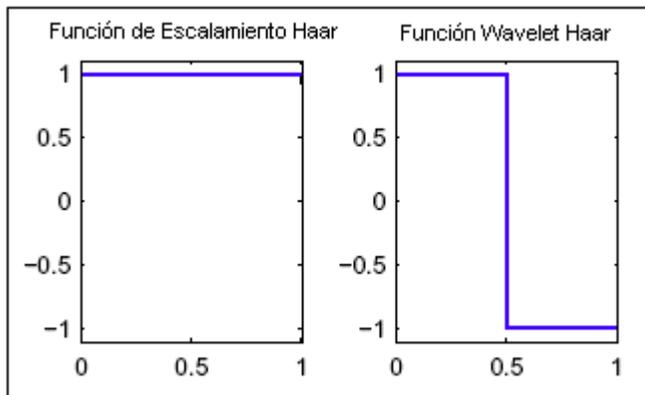


Figura 3.1 Funciones para el análisis unidimensional.

Donde:

$$\phi(x) = \begin{cases} 1 & 0 \leq x \leq 0.5 \\ 0 & \text{en el resto} \end{cases} \quad \psi(x) = \begin{cases} 1 & 0 \leq x \leq 0.5 \\ -1 & 0.5 \leq x \leq 1 \\ 0 & \text{en el resto} \end{cases}$$

Es importante destacar como un análisis Wavelet, utilizando la función Wavelet de Haar, es capaz de detectar discontinuidades o cambios bruscos de nivel, aún cuando estos se presentan de forma imperceptible en la señal analizada. Ilustremos lo antes expuesto mediante un ejemplo y veamos las facilidades que esta función Wavelet nos brinda, las que la convierten en la función Wavelet ideal para este tipo de aplicación.

3.5.1 Ejemplo para la detección de discontinuidad utilizando la Wavelet de Haar.

A continuación se muestra la señal original (S) que se utilizará en el análisis:

(ver Figura 3.2)

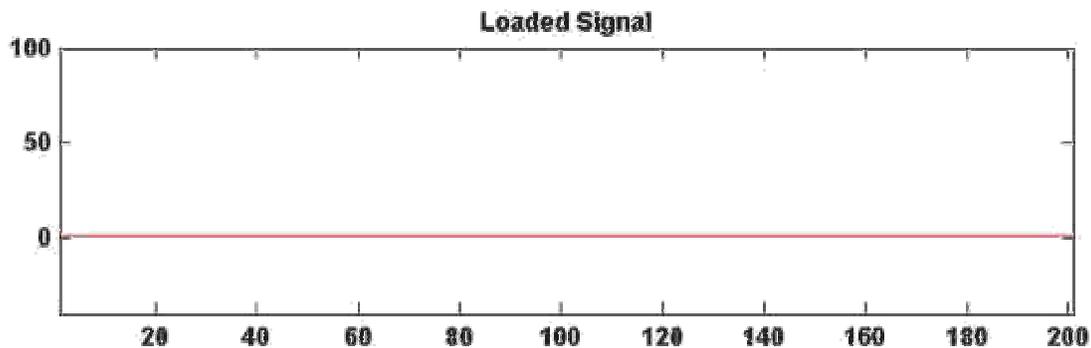


Figura 3.2 Señal de prueba (S) para el análisis con Wavelet de Haar.

Utilizando la interfaz gráfica (para el análisis Wavelet Continuo 1-D) que posee Matlab, se realiza el procesamiento digital de la señal utilizando la transformada Wavelet de Haar. Para esto se ha analizado la señal a nivel 4, o sea, 4 niveles de descomposición (d1, d2, d3, d4). De aquí se han obtenido los siguientes resultados:

(ver Figura 3.3)

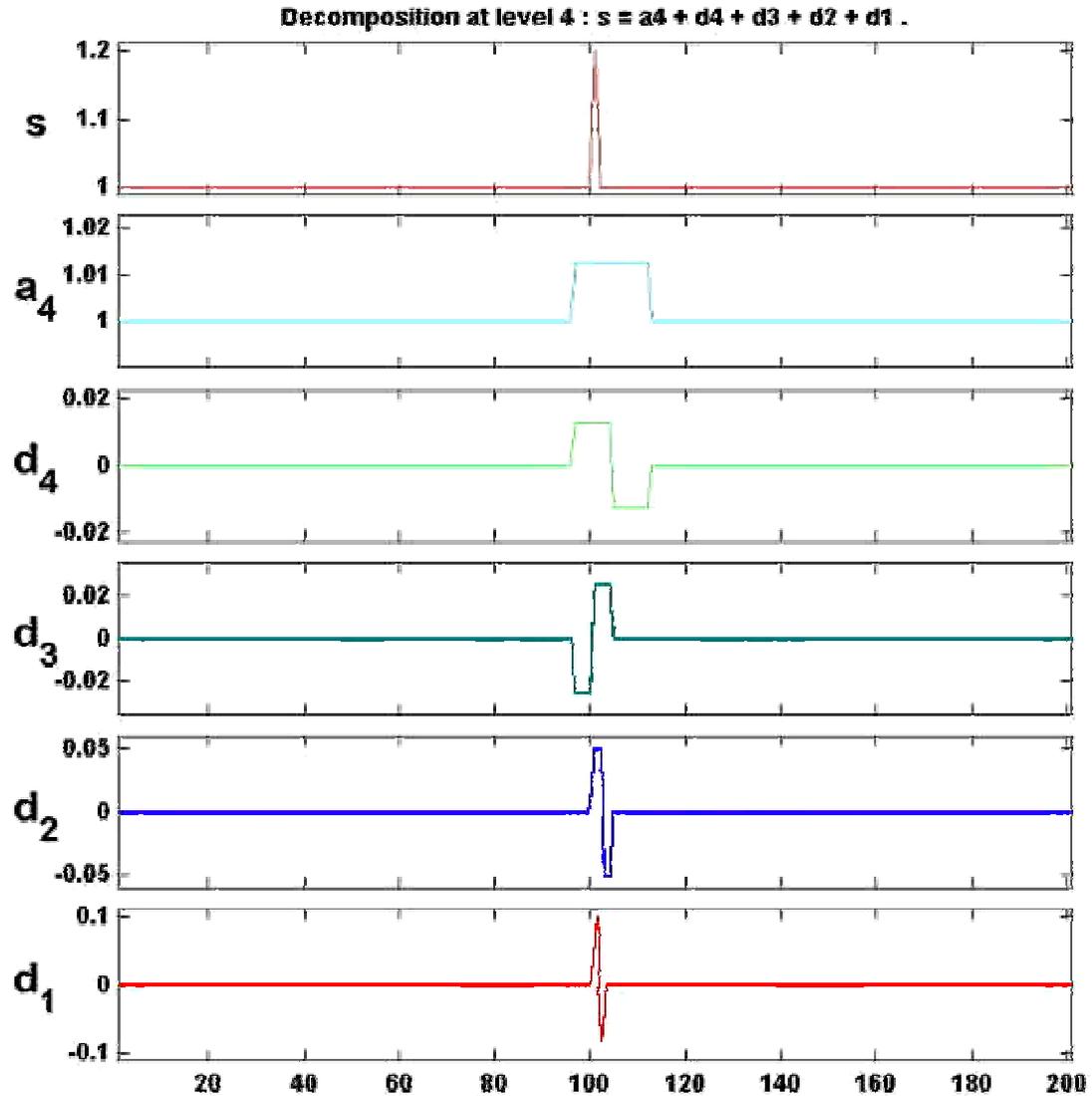


Figura 3.3 Procesamiento de la señal utilizando Wavelet de Haar.

Para nuestro análisis basta con observar el resultado obtenido en el nivel de descomposición número uno (d_1) ya que, de cierta forma, brinda toda la información que buscamos. Nótese que si solo nos interesa detectar la discontinuidad de la señal analizada y el instante exacto en que ha ocurrido dicho evento, la Wavelet de Haar puede ser de gran utilidad para esta aplicación. Aquí puede observarse la discontinuidad detectada por la Wavelet de Haar, exactamente en el instante de tiempo 100. (ver Figura 3.4)

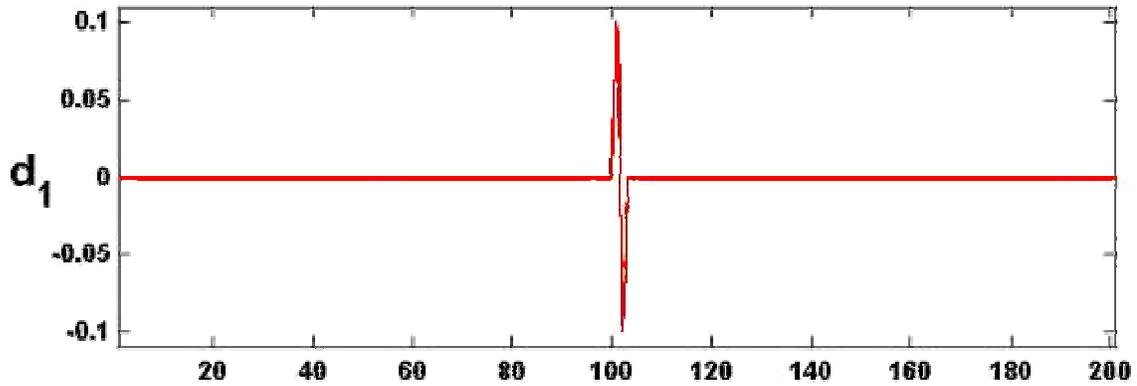


Figura 3.4 Detección de discontinuidad. Primer nivel de descomposición (d1).

Lo que aparentemente parecía ser una señal sin discontinuidades, ha demostrado ser una señal que presenta un cambio brusco de nivel en el instante de tiempo 100. Observando la señal de prueba (S), ahora con un mayor nivel de resolución en el eje Y (amplitud), puede observarse con mayor claridad la discontinuidad detectada por la Wavelet de Haar. (ver Figura 3.5)

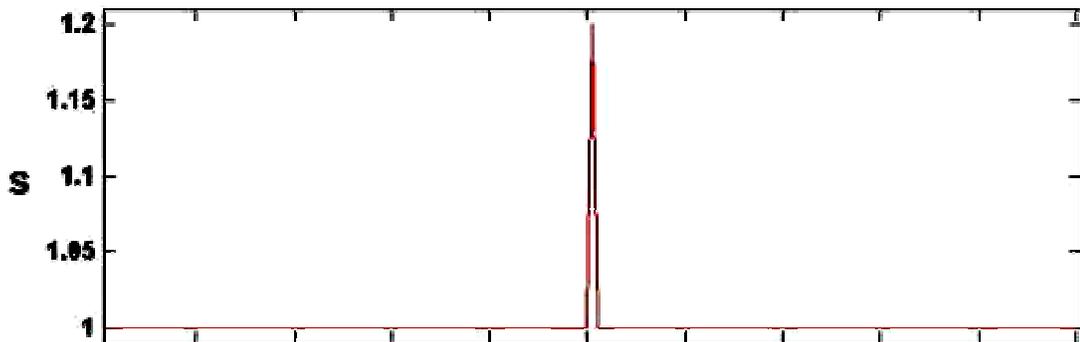


Figura 3.5 Discontinuidad presente en la señal de prueba (S).

Si realizamos nuevamente la prueba anterior, pero ahora utilizando la Wavelet de Daubechies (otra de las funciones que forma parte de la gran familia de Funciones Wavelets) se obtienen los siguientes resultados:

(ver Figuras 3.6 y 3.7)

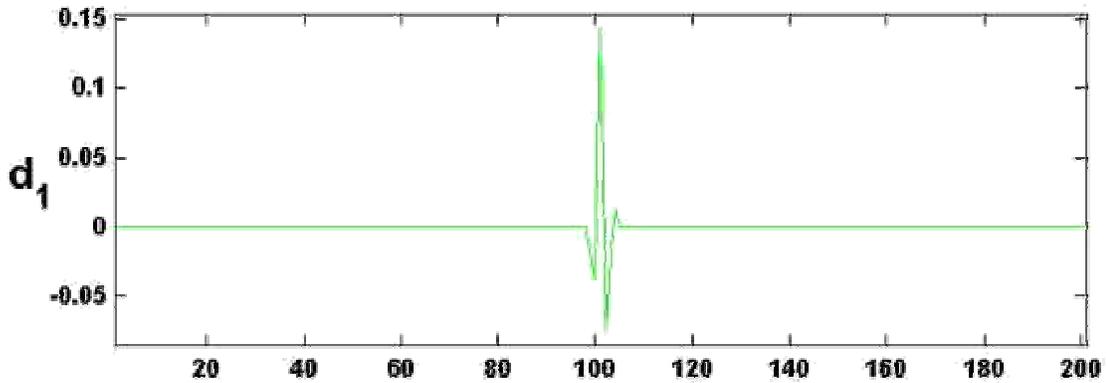


Figura 3.6 Primer nivel de descomposición(d1) utilizando Daubechies(db2)

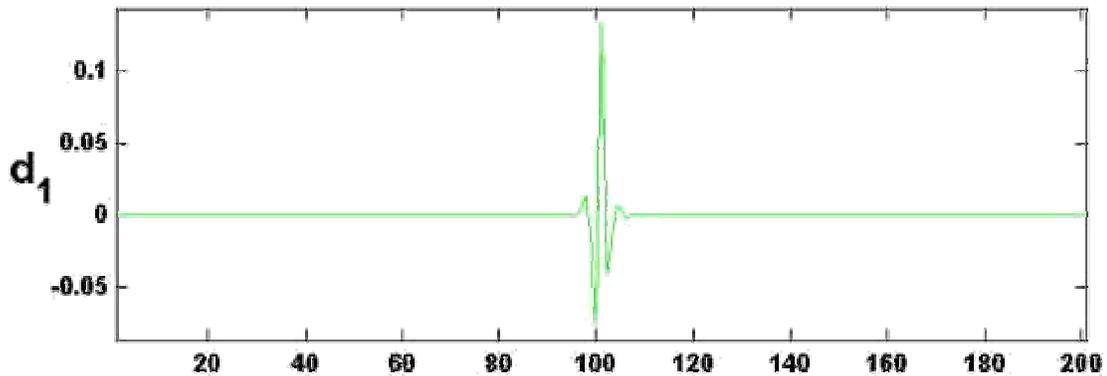


Figura 3.7 Primer nivel de descomposición(d1) utilizando Daubechies(db3)

A partir de observar los resultados obtenidos puede concluirse que, en efecto, la función Wavelet de Daubechies también detecta la discontinuidad presente en la señal de prueba (S). Nótese que la función Wavelet de Haar comienza justo donde se encuentra el punto de cambio de nivel en la señal, exactamente en el instante de tiempo 100 (ver Figura 3.4), no ocurriendo así con este tipo de función (Daubechies), en la que el instante de tiempo 100 (punto de discontinuidad) aparece en un punto intermedio de la función Wavelet, haciendo un tanto más compleja la localización exacta, en tiempo y espacio, de dicho punto de discontinuidad. De esta forma queda demostrada la funcionalidad óptima que tiene la Wavelet de Haar para esta aplicación, convirtiéndose en la función Wavelet ideal para estos propósitos.

3.5.2 *Procesamiento de señales de prueba utilizando la función Wavelet de Haar*

Para la realización de este procesamiento utilizando la función Wavelet de Haar, se cuenta con un grupo de señales que fueron generadas manualmente en el laboratorio con la herramienta Matlab, (ver figuras 3.8, 3.9, 3.10) pero que simulan de forma muy aproximada las gráficas obtenidas en tiempo real por los equipos que realizan este tipo de mediciones. Se recurrió a este método, pues no se contaba con una forma práctica de adquirir e introducir a la computadora las señales reales. El objetivo fundamental es demostrar las facilidades que brinda Wavelet para este tipo de procesamiento, específicamente, en la detección de discontinuidades.

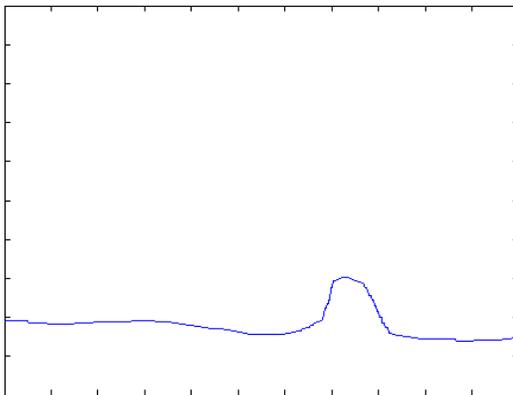


Figura 3.8 Detección de bobina de carga

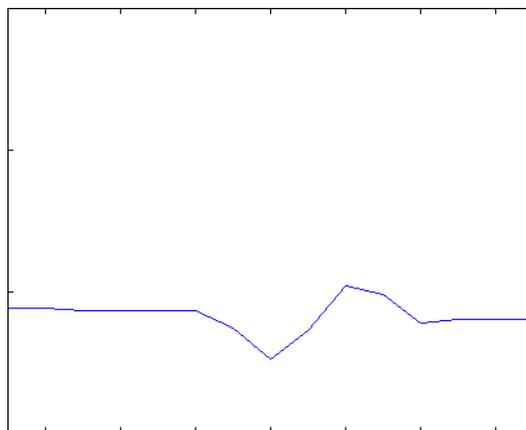
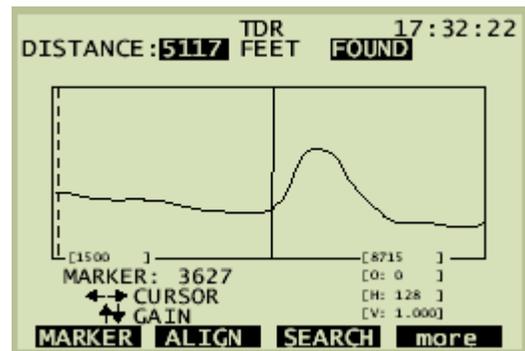
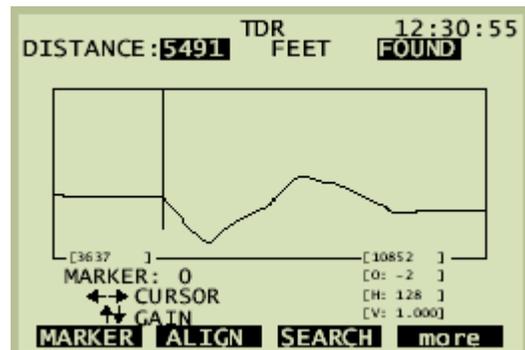


Figura 3.9 Detección de tap puentado



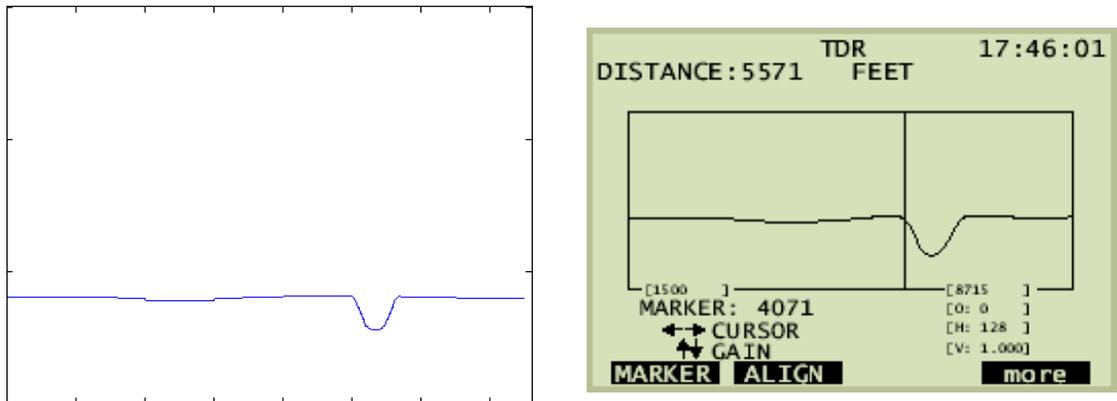


Figura 3.10 Detección de corto.

Resultados obtenidos

- Detección de tap puentado

A partir de procesar la señal de prueba que representa la detección del tap puentado, utilizando la función Wavelet de Haar, se ha obtenido el siguiente resultado correspondiente al primer nivel de descomposición (d1). (ver Figura 3.11)

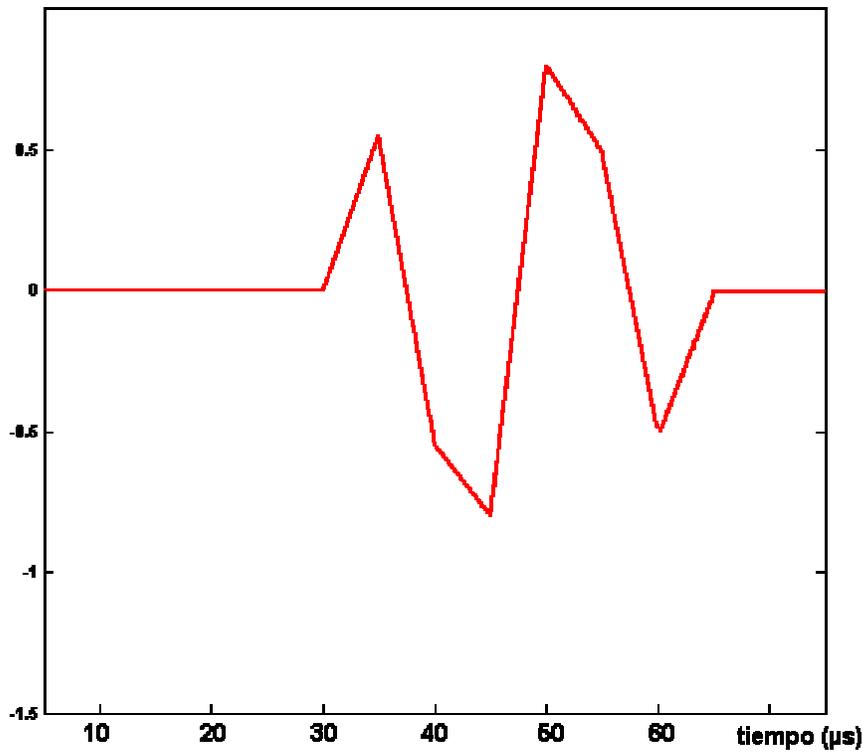


Figura 3.11 Detección de tap puentado.

Aquí se observa cómo se detecta el primer punto de discontinuidad exactamente a los 30 μs , punto que coincide con la posición en que se encuentra el tap puentado en la línea.

- Detección de corto

A partir de procesar la señal de prueba que representa la detección del corto, utilizando la función Wavelet de Haar, se ha obtenido el siguiente resultado correspondiente al primer nivel de descomposición (d1). (ver Figura 3.12)

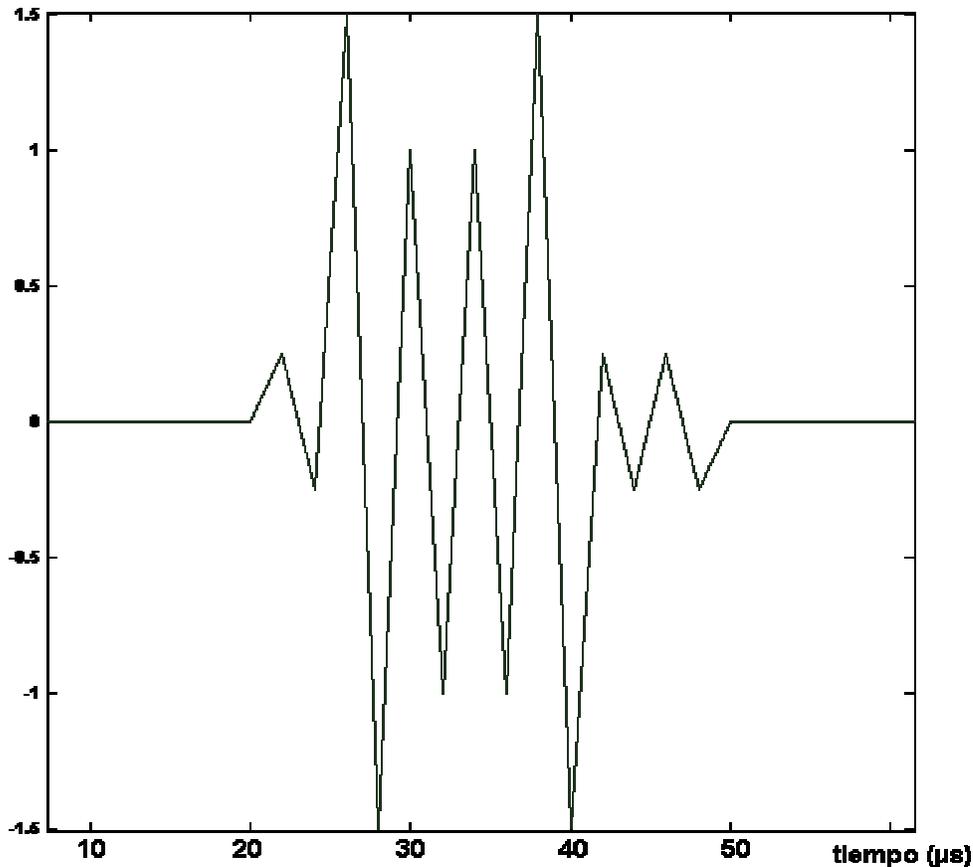


Figura 3.12 Detección de corto.

Aquí se observa cómo se detecta el punto de discontinuidad exactamente a los 20 μs , punto que coincide con la posición en que se encuentra el corto en la línea.

Como se puede apreciar, el procesamiento Wavelet nos brinda el instante de tiempo exacto en que ha ocurrido la discontinuidad, que en nuestro caso coincide con la posición del tap puentado o el corto en el par telefónico. Conociendo el instante de tiempo en que ocurre el cambio de nivel en la señal (debido a la presencia del tap puentado o el corto)

y la velocidad de propagación de la señal en la línea, se podrá determinar la distancia (con cierto margen de error) a la que se encuentran del punto de medición estas anomalías. A continuación se presenta un ejemplo que ilustra lo antes mencionado de forma más explícita.

Ejemplo para el cálculo de la distancia a la que se encuentra el tap puentado.

$$V_{\text{prop}} = 0.65 c = 195 \cdot 10^6 \text{ m/s}$$

$$T = 30 \text{ } \mu\text{s}$$

$$D = ?$$

donde:

$$c = \text{velocidad de la luz } (3 \cdot 10^8 \text{ m/s})$$

$$D = V_{\text{prop}} \cdot T$$

$$D = 195 \cdot 10^6 \text{ m/s} \cdot 30 \text{ } \mu\text{s}$$

$$D = 5\,850 \text{ m}$$

$$D = 5.8 \text{ Km}$$

El tap puentado se encuentra a 5.8 Km del punto de medición.

*CONCLUSIONES Y
RECOMENDACIONES*



CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Con la realización de este Trabajo de Diploma ha quedado cumplido de forma íntegra nuestro objetivo fundamental: presentar un procedimiento de medición que pueda ser utilizado con el objetivo de precalificar la red de acceso para el soporte de tecnologías HDSL, tan importante en los momentos actuales, debido a la carencia de equipamiento especializado en estos fines y al desconocimiento de muchos parámetros básicos y fundamentales relacionados con las mediciones que deben ser realizadas al par de cobre, así como la interpretación y comprensión de los resultados de las mismas.

Además, se aplicaron satisfactoriamente técnicas novedosas, vinculadas con el procesamiento digital de señales, específicamente con las Funciones Wavelets, las cuales demostraron ser eficientes en las aplicaciones en que fueron utilizadas.

Como el objetivo que nos hemos planteado puede llegar a ser un poco extenso, debido a la gran diversidad de tecnologías xDSL que en la actualidad existen, se recomiendan futuros trabajos donde se hagan, de forma semejante, todas las tareas que en este proyecto se han realizado, pero abordando otros grupos de tecnologías xDSL que en este trabajo no se tuvieron en cuenta, debido a que nuestro objetivo fundamental siempre estuvo enmarcado solo en HDSL, tecnología más utilizada y de mayor penetración en nuestro país. Además, las funciones Wavelets poseen un gran número de facilidades que podrían ser utilizadas de forma similar en otras funciones y aplicaciones. Se recomiendan estudios futuros en este sentido, tomando este proyecto como base.

.

*REFERENCIAS
BIBLIOGRAFICAS*



REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

Artiles, L. (2003). *Técnicas DSL como soporte de transmisión. Valoración crítica.*
Tesis de Grado, Universidad Central Marta Abreu de las Villas, Cuba.

Consultronics Limited. (2003a). *DSL Service Verification Test Set (Colt- 450).*
Disponible en: http://www.consultronics.com/brochure/colt_450.pdf

Consultronics Limited. (2003b). *SHDSL Service Verification Test Set (Colt- 250s).*
Disponible en: <http://www.consultronics.com/brochure/CLTS63I2.pdf>

Consultronics Limited. (2003c). *CableSHARKplus. A complete testing solution.*
Disponible en: http://www.consultronics.com/cableshark_details.htm

Consultronics Limited. (2003d). *Auto-TIMS III. Automatic Dataline Analyzer.*
Disponible en: http://www.consultronics.com/at3_details.htm

Cornet Technology INC. (2000). *Digital Subscriber Line (DSL) Testing.*
The International Engineering Consortium (IEC), Web ProForum Tutorials.
Disponible en: <http://www.iec.org>

Del Castillo, H. (2000) *Conferencias de Radioelectrónica II.* Cap. 1 pp. 23
Universidad Central Marta Abreu de las Villas, Cuba.

Dunford, C. y Robert Fitts (2002). Consultronics Limited. *xDSL Service Testing.*
Disponible en: <http://www.consultronics.com>

García, A.J. (2003). *Curso Tecnologías xDSL.* ETECSA, Cuba.

García, A.J. (2004). *Proyección de soluciones xDSL en Cuba.*
Tesis de Maestría, Universidad Central Marta Abreu de las Villas, Cuba.

García, F.M. (2003). Alcatel. *Pruebas en xDSL*. España.

Disponible en: http://www.coitt.es/antena/pdf/152/09_Internet.pdf

Gómez, F. (2003). *Banda ancha. Situación y perspectivas en América Latina*. AHCJET, *Comunicación personal*, ETECSA, Cuba.

Graps, A. (1995). "An introduction to Wavelets", IEEE Computational Science and Engineering, summer 1995, 2 (2).

Hernando, J.M. (1990). *Sistemas de Telecomunicación. Transmisión en línea (Volumen1)*. Publicaciones ETSI Telecomunicación, Capítulo 5, pp. 163-174.

Minnesota Mining & Manufacturing Company (3M). (1993). *Dynatel 900 Series Test Set. Operators Manual*. Texas, U.S

Omnigor. (2002). *Test & Measurements Systems: Sunset xDSL Analyzer*.

Disponible en: http://www.omnicor.com/docs/SunSet_xDSL_Full.pdf

Polo, I.M. (2000). Sunrise Telecom INC. *Pruebas en xDSL desde un punto de vista práctico*. Disponible en:

http://www.sunrisetelecom.com/espanol/presentacion_pruebas_en_xdsl.pdf.

Sunrise Telecom INC. (1997). *Pruebas en xDSL*.

Disponible en: <http://sunrisetelecom.com>

Sunrise Telecom INC. (2001a). *SunSet xDSL: Prequalifying the Copper Plant for DSL*.

Disponible en: <http://sunrisetelecom.com>

Sunrise Telecom INC. (2001b). *SunSet xDSL/MTT*.

Disponible en: <http://www.sunrisetelecom.com/xdsl/xdslhome.shtml>

Sunrise Telecom INC. (2002). *SunSet xDSL. Guía de referencia rápida*.

Sweeney, N. (1996). "Wavelet transform represent signal in terms of both time and scale", Personal Engineering, August 1996: 37-42

The Math Works INC. (2000). *Wavelet Toolbox (for use with Matlab). User's Guide Version 2.* Triohmtec S.A. (2003a). *Catálogo General de Productos.*
Disponible en: <http://www.triohmtec.com/index.shtml/catalogo>

Triohmtec S.A. (2003b). *PUMA 4000. Analizador de redes de datos y telecomunicaciones.*
Disponible en: <http://www.triohmtec.com/medicion.shtml>

Tropeano, F. (2002). *Mediciones sobre redes de comunicaciones de datos.*

Disponible en:

<http://www.valletecnologico.com.ar/documentos/medicionessobreredesdedatos.pdf>

UIT-T (1993). Recomendación M.1020 *Características de los circuitos internacionales arrendados de calidad especial con acondicionamiento especial en la anchura de banda.*

UIT-T (1998). Recomendación G.991.1 *Transceptores de línea de abonado digital de alta velocidad binaria (HDSL).*

UIT-T (1999a). Recomendación G.995.1 *Visión de conjunto de las Recomendaciones sobre línea de abonado digital (DSL).*

UIT-T (1999b). Recomendación G.996.1 *Procedimientos de prueba para transceptores de línea de abonado digital (DSL).*

UIT-T (2001a). Recomendación G.991.2 *Transceptores de línea de abonado digital de alta velocidad, de un solo par (SHDSL).*

UIT-T (2001b). Comisión de Estudios 2: Informe sobre los sistemas xDSL.

Disponible en: http://www.itu.int/ITU-D/study_groups/SGP1998-2002/SG2/Documents/2001/082R2V2S1.doc

ANEXOS



ANEXO 1 Catálogo de diferentes equipos de medición que se utilizan para garantizar un correcto despliegue e instalación de tecnologías xDSL.

1. Cable Shark

El Cable Shark es un dispositivo que se utiliza, para la precalificación del par de cobre en la red de acceso. Con sus 2 MHz de ancho de banda, es capaz de hacer diferentes pruebas al lazo de abonado con el fin de analizar el desempeño de gran variedad de servicios DSL (ADSL, G.Lite, SHDSL, HDSL, HDSL2) así como de otros servicios tales como: T1, BRI ISDN y PRI ISDN.



El Cable Shark incluye un gran número de mediciones de banda ancha que se necesitan para realizar una correcta precalificación de la red de acceso. De forma general podrían mencionarse: respuesta de frecuencia, reflectometría en el dominio del tiempo (TDR), balance longitudinal, detección de bobinas de carga y taps puenteados, densidad espectral de potencia, mediciones de ruido y ruido impulsivo, etc.

Este equipo cuenta además con un multímetro digital o DMM (Digital Multimeter), que permite realizar una serie de mediciones de parámetros físicos del par.

La prueba TDR tiene dos configuraciones posibles: prueba a dos hilos y prueba a cuatro hilos, lo que brinda flexibilidad en el uso del dispositivo ante diferentes tecnologías xDLS.

El Cable Shark también posee facilidades para pruebas DMT (para servicios ADSL y G.Lite), que permite analizar las características de cada subportadora, así como la frecuencia que ocupa, con el objetivo de poder determinar la razón de transmisión, tanto desde el cliente a la Central (upstream), como desde la Central al cliente (downstream), que el lazo de abonado es capaz de soportar sin la necesidad de utilizar DSLAM.

Con este equipo pueden implementarse pruebas tanto de doble terminación (utilizando dos unidades) como de simple terminación (utilizando solo un dispositivo ubicado en uno de los extremos).

Todos los resultados obtenidos a partir de las mediciones realizadas, pueden ser salvados en la memoria interna del equipo y/o ser almacenados en un banco de memoria

externa. Este dispositivo de almacenamiento externo se puede conectar por el puerto USB de la PC (plug and play), y utilizando el software Visi-Shark, los datos almacenados pueden ser descargados hacia el disco duro de la PC. Además, el Cable Shark cuenta con un puerto Ethernet (10BaseT), lo que permite que la unidad pueda ser controlada a través de conexiones Ethernet (conexiones de red). Esto permite además que varios dispositivos puedan ser controlados desde un único punto de conexión Ethernet (con direccionamiento IP y conexiones a cada dispositivo).

Prestaciones del Cable Shark

- Medición de pérdidas de inserción (respuesta de frecuencia hasta 2 MHz)
- Pruebas DMT para predicción de máxima razón de transmisión (ADSL, G.Lite)
- Densidad espectral de potencia (PSD) con analizador de espectro.
- Medición de ruido (bajo el estándar IEEE-743) con filtros E, F y G
- Reflectómetro en el Dominio del Tiempo (TDR) automático. Respuesta gráfica y numérica.
- Reflectómetro en el Dominio del Tiempo (TDR) manual. Respuesta gráfica y numérica.
- Detección de bobinas de carga.
- Detección de taps puenteados.
- Medición de balance longitudinal (con respuesta gráfica)
- Medición de diafonía (NEXT y FEXT) a 2 y 4 hilos.
- Pruebas de servicio telefónico (POTS)
- Multímetro digital (DMM). Incluye mediciones de voltaje y corriente (AC y DC), capacitancia, resistencia de lazo y estimación de la longitud del lazo.

2. Colt-450

El Colt-450 es un avanzado módulo de pruebas integrado, utilizado con el fin de verificar conexiones xDSL tales como G.SHDSL (simétrica) y ADSL (asimétrica). Ideal en la instalación, mantenimiento y detección de fallas en enlaces DSL, se considera la herramienta perfecta para este tipo de trabajo.

Este dispositivo es el encargado de verificar si el lazo de abonado posee las características ideales para soportar el servicio xDSL contratado. Simplemente, se conecta el equipo a la línea, se enciende, y en muy pocos segundos la razón de transmisión, el margen de ruido y otros resultados son mostrados en pantalla. El Colt-450 es muy fácil de usar. Los técnicos de planta exterior pueden ser entrenados con este fin en muy pocos minutos. Una característica importante de este equipo, es que tiene diferentes aplicaciones distribuidas en varios módulos de pruebas. Estos módulos pueden ser cambiados en el dispositivo, con el fin de realizar diferentes tipos de pruebas. Siempre que se cambien un módulo, la memoria interna guardará todos los resultados de las pruebas realizadas con dicho módulo. El ancho de banda, así como los estándares que soporta, están determinados por el módulo que sea utilizado a la hora de realizar la medición. A través de un puerto RS-232 (DB-9), el Colt-450 puede realizar actualizaciones de software a otros más modernos. Esto hace del equipo un instrumento flexible a la introducción de nuevos avances tecnológicos. Posee una memoria RAM interna, que puede almacenar hasta 100 resultados diferentes, obtenidos de pruebas realizadas al par. El Colt-450 es capaz no sólo de determinar si el problema está ubicado en el lazo de abonado, sino también en el DSLAM, en los switch ATM o en el gateway que nos conecta al ISP.



Prestaciones del Colt-450

- Medición de la razón de transmisión.
- Medición de relación señal a ruido.
- Medición de margen de ruido.
- Detección de fallas a nivel IP y ATM en enlaces xDSL.

3. Colt-250s

El Colt-250 es el más económico dispositivo de pruebas, que nos permite de forma inmediata, verificar el funcionamiento de los servicios SHDSL brindados al cliente. Simplemente, se conecta el equipo a la línea, se enciende, y en muy pocos segundos, el dispositivo se sincroniza con el SHDSL DSLAM y muestra en pantalla resultados obtenidos a partir de varias pruebas realizadas. El Colt-250 es muy fácil de usar. El personal de planta exterior puede ser entrenado fácilmente en el uso de este dispositivo y en muy poco tiempo. Este equipo es capaz de confirmar la presencia y la velocidad entregada por un servicio SHDSL presente el lazo de abonado. Posee un ancho de banda que comprende el intervalo desde 192 kbps hasta 2.3 Mbps. El Colt-250s utiliza un módem interno (GlobeSpan SHDSL módem), que utiliza para realizar pruebas de interoperabilidad y conexión. Existen muchos equipos de medición que se utilizan para precalificar el lazo de abonado, con el fin de poder determinar si puede ser empleado en el soporte de tecnologías xDSL, pero ninguno es capaz de brindar información de forma detallada como lo haría el Colt-250s, para el caso específico del servicio SHDSL. Ideal para confirmar el buen funcionamiento de todo enlace SHDSL, además de realizar pruebas que nos permiten verificar las características físicas del par. Este dispositivo permite medir el margen de ruido, así como la atenuación del lazo, con el único objetivo de determinar si el servicio SHDSL ha sido correctamente instalado, brindando la máxima calidad del servicio. Está diseñado para conectarse directamente al par de cobre, con una impedancia terminal de 135Ω. El Colt-250s permite enviar resultados de pruebas, almacenados en una memoria interna, hacia una PC, con el objetivo de ser analizados posteriormente. Además, posee un puerto RS-232 (DB-9), interfaz que se utiliza para actualizar el software interno del equipo. El Colt-250s responde a los estándares G.991.2 y G.994.1 de la UIT-T.



Prestaciones del Colt-250s

- Medición de la razón de transmisión.
- Medición de relación señal a ruido.
- Medición de margen de ruido.
- Módem interno SHDSL (para pruebas de conexión).

4. SunSet xDSL

SunSet xDSL es un dispositivo que nos brinda la posibilidad de hacer un diagnóstico excelente al par de cobre, con el fin de utilizarlo para el despliegue de tecnologías xDSL (HDSL T1, HDSL E1). Contiene fundamentalmente tres módulos de medición:

1-Multímetro Digital (DMM): nos permite realizar mediciones tales como voltaje AC/DC, resistencia de lazo, capacitancia.

2-Reflectómetro en el dominio del tiempo (TDR): nos brinda la posibilidad de detectar taps puenteados, presencia de agua en secciones del cable y otras fallas del cable que puedan afectar el servicio brindado.

3-Pruebas de bobinas de carga (LCT): nos permite detectar la presencia en el par de bobinas de pupinización, así como la distancia a la que están ubicadas a partir del punto de medición.

Este dispositivo, a partir de las prestaciones que nos brinda, nos permite determinar de forma muy fácil si las características del par se encuentran en los límites aceptables para el soporte del servicio deseado.

El Sunset xDSL nos brinda la facilidad de realizar pruebas de precalificación del par, a partir de un emulador de Módem HDSL que posee internamente. Esto nos permite medir la razón de transmisión del enlace, así como el margen de razón de bits que dicho enlace es capaz de soportar. Este equipo de pruebas también nos da la posibilidad de hacer pruebas de diagnóstico a pares que soportan enlaces E1/T1.

Además, tiene sus diferentes aplicaciones distribuidas en varios módulos de pruebas. El dispositivo brinda la posibilidad al operario de poder intercambiar estos módulos, con el fin de realizar diferentes tipos de pruebas, convirtiendo al Sunset xDSL en un sistema de gran flexibilidad.



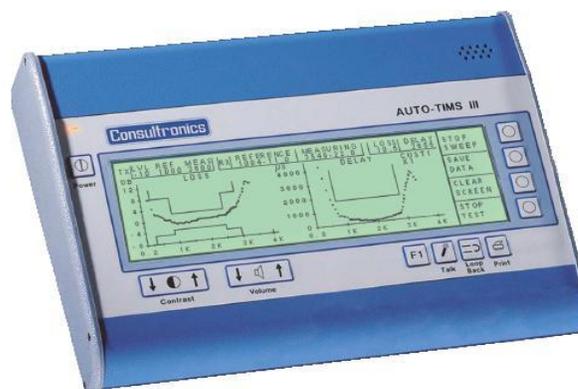
Prestaciones del SunSet xDSL

- Caracterización del enlace (nivel físico).
- Diagnóstico y mantenimiento del cable.
- Identificación de interferencias (ruido) mediante análisis espectral.
- Emulación de ATU-C y ATU-R.
- Verificación de conectividad DSL.
- Monitoreo de errores y alarmas a nivel DSL y ATM.
- Verificación de conectividad IP.
- Medición de atenuación.
- Medición de relación señal a ruido.
- Respuesta de frecuencias y pruebas DMT.
- Medición de razón de error de bits (BER).

5. Auto Tims III

El Auto Tims III es uno de los más populares analizadores de líneas de datos del mercado. Nos permite realizar pruebas de verificación de calidad (a 2 y 4 hilos) en circuitos de voz, circuitos de datos o líneas xDSL.

Es un equipo automático de pruebas, que se basa en la comparación de los resultados obtenidos, a partir de las pruebas realizadas, con un grupo de máscaras (pasa / fallo) que el dispositivo trae internamente por defecto, y que responden a una serie de estándares definidos. El Auto Tims III, con sus 400 kHz de ancho de banda, es una herramienta excelente en la precalificación de líneas para el despliegue de tecnologías xDSL (HDSL, SDSL y HDSL2), además de brindar facilidades para pruebas en enlaces V.34, V.90 e ISDN. El Auto Tims III posee interfaces de comunicación (V.24/RS232), que nos permiten hacer uso del mismo de forma remota. El dispositivo puede ser controlado a través de comandos (los cuales son enviados desde una PC) o utilizando el software WinVisi-TIMS (creado por Consultronics). Este software es capaz de controlar varios módulos Auto Tims III a la vez. El número de módulos a ser controlados, estará condicionado por el número de puertos de comunicación que tenga la PC. Los resultados que se obtienen al precalificar el par, pueden ser almacenados en la memoria interna con que cuenta el equipo, para su posterior análisis. También nos permite hacer pruebas a circuitos de voz (para aplicaciones de telefonía), brindando la posibilidad de hacer pruebas de lazo, discado por pulso y por tonos (DTMF), detección de corriente de timbre y almacenamiento en memoria de números telefónicos.



Prestaciones del Auto Tims III

- Balance longitudinal.
- Demora de Grupo.
- Medición de ruido de fondo.
- Medición de ruido impulsivo.
- Medición de distorsión de atenuación.
- Respuesta de frecuencias.
- Detección de taps puenteados y bobinas de carga.

6. Puma 4500A

Puma 4500A es un potente equipo de medición portátil y modular, utilizado en redes de telecomunicaciones y datos. Este dispositivo es capaz de realizar un gran número de mediciones que, de cierta forma, lo convierten en una herramienta imprescindible a la hora de garantizar la calidad de servicio esperada en diferentes aplicaciones.



Entre sus principales características se encuentran:

- Verificación de calidad de servicio para enlaces xDSL (HDSL, HDSL2 y G.SHDSL).
- Localización de fallas en enlaces a 2.048 Mbit/s.
- Localización de fallas en enlaces de datos hasta 10 Mbit/s.
- Interoperabilidad y calidad de servicio de enlaces Frame Relay.
- Verificación de servicios ISDN PRI.

A diferencia de otros equipos de medición, el Puma 4500A posee muchas de las interfaces (que se utilizan para realizar las diferentes mediciones) incluidas en el propio equipo. Esto nos brinda la facilidad de prescindir del uso de adaptadores especiales externos o de módulos plug-in. Algunas de estas interfaces se mencionan a continuación:

2.048 Mbps (G.703, G.704)	2 puertos Tx/Rx 75 y 120 ohms (Ω)
64 kbps Co-direccional (G.703)	Conector RJ-45
Audio I/O	600 ohms (Ω) 4 hilos
V35 Sync (hasta 10 Mbps) V24/RS232C Sync (hasta 460 kbps) X.21 Sync (hasta 10 Mbps) V.36/RS449 Sync (hasta 10 Mbps) V24/RS232C Async (hasta 460 kbps)	Interfaces integradas en el equipo, configurables a DTE o DCE
RS-530 (hasta 10 Mbps)	Adaptador – configurable a DTE o DCE

Prestaciones del PUMA 4500-A

- Pruebas en servicio y fuera de servicio.
- Errores, alarmas y desempeño (bajo los estándares G.821,G.826 y M.2100)
- Mediciones bi-direccionales o simultáneas.
- Mediciones en redes de datos hasta 10 Mbit/s. (ISDN, xDSL)
- Pruebas de nivel y frecuencia.
- Forma de pulso.
- Mediciones de Jitter.
- Detección de deslizamientos (slips) en la red.
- Retardo de grupo en la red.
- Pruebas en multiplexores/demultiplexores 2.048 Mbits PCM.
- Mediciones de Frame Relay.

ANEXO 2 Función para el cálculo de la impedancia característica en pares de cobre.

A continuación se muestra la función (Zofunction) implementada en Matlab. Esta función realiza el cálculo analítico y la representación gráfica de la impedancia característica (Z_0) en cables de pares de cobre de diferentes calibres. Este tipo de análisis nos permite, a partir de obtener los valores de los parámetros primarios del cable de los catálogos que brinda el fabricante, conocer a ciencia cierta cuál es el valor de Z_0 (teórico) que debemos esperar en un par específico, con el fin de realizar un perfecto acople de impedancias entre la línea y el equipo de medición, evitando de esta forma que ocurran pérdidas por reflexiones, lográndose así máxima transferencia de potencia y resultados óptimos en las mediciones.

Pasos para su uso

- Poseer el paquete Matlab instalado en la PC.
- Copiar la función “Zofunction” en un directorio determinado.
- Redireccionar el Matlab hacia el directorio en que se ha copiado la función.
- Definir una matriz M [...] de 1 fila y n columnas.

donde:

M [...] : matriz conformada por los diferentes valores de resistencia (R) distribuida del par (brindados por el fabricante) correspondientes a diferentes diámetros de cables.

- Invocar la función tecleando la siguiente sintaxis:

Zofunction (fmin, fmax, M)

donde:

fmin: frecuencia mínima del ancho de banda de trabajo.

fmax: frecuencia máxima del ancho de banda de trabajo.

Sintaxis de la función

```

% Zofunction [Cálculo de Impedancia Característica en pares de cobre]
%
% Zofunction (fmin, fmax, M)
%
% Parámetros:
%
%   fmin: frecuencia mínima del ancho de banda de trabajo.
%
%   fmax: frecuencia máxima del ancho de banda de trabajo.
%
%   M: matriz formada por los valores de resistencia (R) correspondientes a diferentes
%       diámetros de cable.
%
% Plots:
%   Zo vs. Frecuencia.

function [Zo] = Zofunction (fmin, fmax, M)
frec = fmin: 1*(10^3): fmax;
long = size (M, 2);
for l = 1: long,
    Zo (l, :) = sqrt ((M (1,l)+j*2*pi.*frec*0.7*(10^-3))./(10*(10^-6)+j*2*pi.*frec*52*(10^-9)));
    figure (1);
    hold on;
    plot (frec, Zo (l, :));
end
end

```

Resultados obtenidos a partir de un ejemplo

Utilizando la función antes mencionada y a partir de datos de cables obtenidos de manuales que brindan los fabricantes (ver Tabla A2.1), se obtienen los siguientes resultados:

Tabla A2.1 Parámetros primarios del cable.

Calibre (mm)	0,4	0,5	0,64	0,91
Resistencia (Ω /Km)	285.9	180.2	115.6	57.2
R. Aislamiento (Mohm/Km)	10.000	10.000	10.000	10.000
Capacidad (nF/Km)	52	52	52	52
Inductancia (mH/Km)	0.7	0.7	0.7	0.7

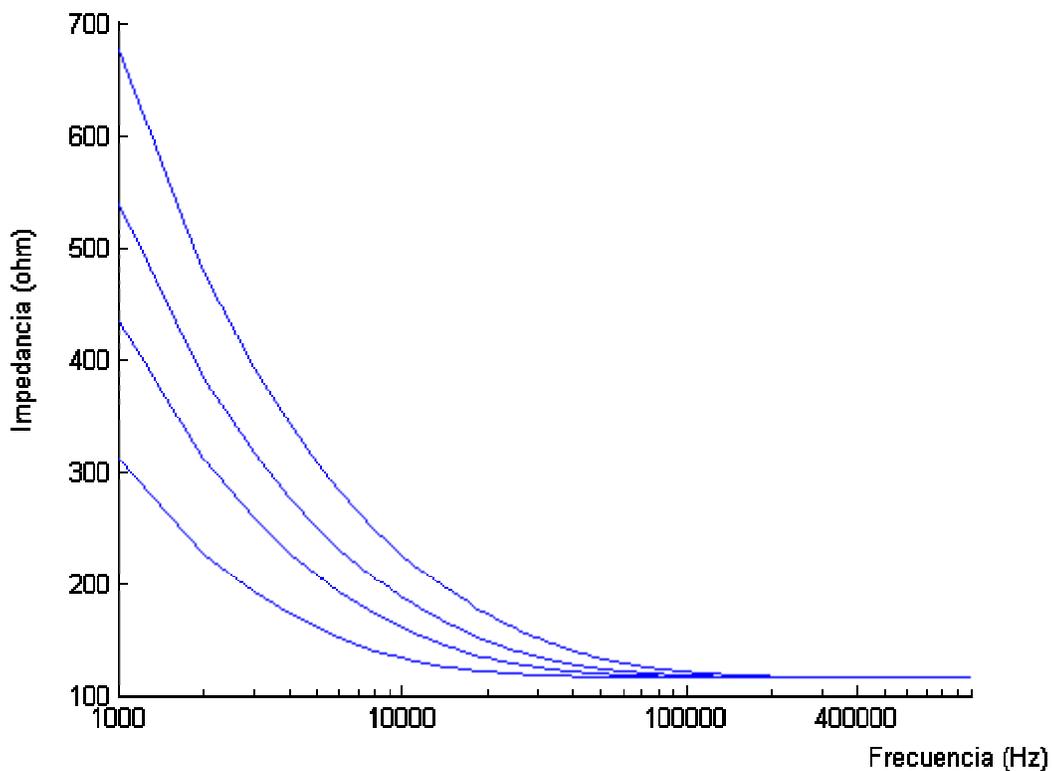


Figura A2.1 Impedancia característica en pares de cobre.

En la gráfica se observa el comportamiento del valor de la impedancia característica (Z_0) en función de la frecuencia, para cables de diferentes calibres. Se ha realizado un barrido en todo el ancho de banda de trabajo de HDSL (hasta 400 kHz). Puede apreciarse como para las altas frecuencias, este valor tiende a hacerse constante e igual a 120Ω .

ANEXO 3 Diseño del Balun 50/135 Ω

Varios circuitos pueden ser diseñados con distintas topologías para operar en uno de dos modos, ya sea balanceado o desbalanceado. Los circuitos balanceados requieren tierra como un voltaje a un potencial equidistante entre sus terminales y esta tierra generalmente no lleva corriente de señal. Los circuitos desbalanceados usan tierra como retorno para la corriente de señal. La línea telefónica es un ejemplo de línea de transmisión balanceada y el cable coaxial es una línea de transmisión desbalanceada.

Cuando se necesita acoplar sistemas que trabajan en modos diferentes, entonces será necesario utilizar un circuito que permita la adaptación de un modo a otro: el balun (**balanced / unbalanced**). (ver Figura A3.1)

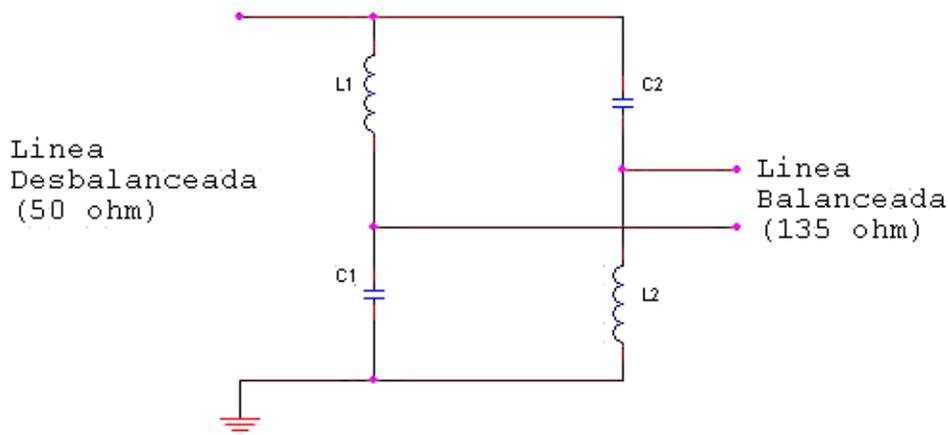


Figura A3.1 Esquema del balun.

Para el diseño de este circuito se dispone de las siguientes ecuaciones:

$$L = \frac{\sqrt{R \cdot Z_0}}{2\pi f} \qquad C = \frac{1}{2\pi f \sqrt{R \cdot Z_0}}$$

A continuación se presenta el diseño de un balun 50/135 Ω (ver Figura A3.2) que permite el acople de equipos de laboratorio (50 Ω) a una línea telefónica de 135 Ω de impedancia característica. Los cálculos se realizaron para una frecuencia de trabajo de 196 kHz (portadora de HDSL). Con esto se obtuvo:

$$L = 66.7 \mu\text{H}$$

$$C = 9.88 \text{ nF}$$

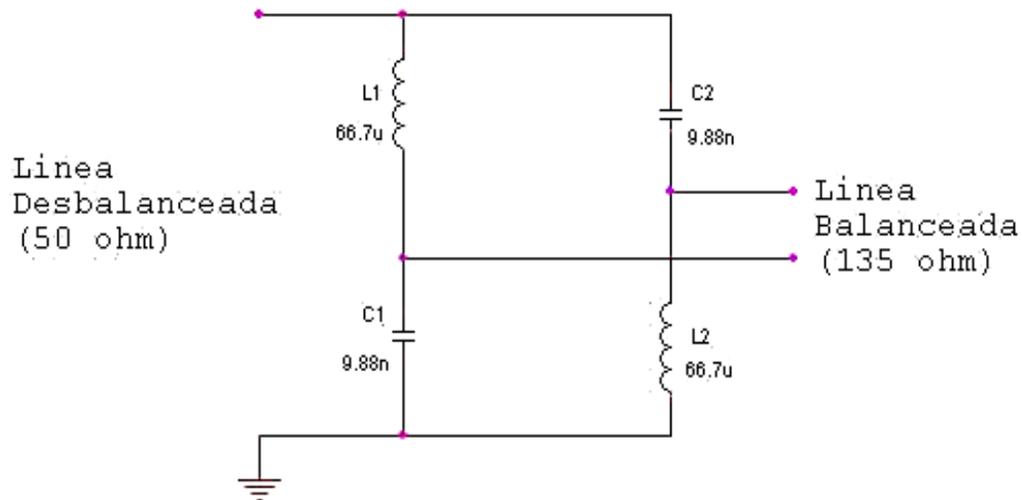


Figura A3.2 Diseño del balun 50/135 Ω

Simulación del balun 50/135 Ω

Datos utilizados:

$$R1 = 50 \Omega$$

$$R2 = 135 \Omega$$

$$L = 66.7 \mu\text{H}$$

$$C = 9.88 \text{ nF}$$

$$V1 = 1\text{V (p-p)}$$

$$\text{Frec} = 196 \text{ kHz}$$

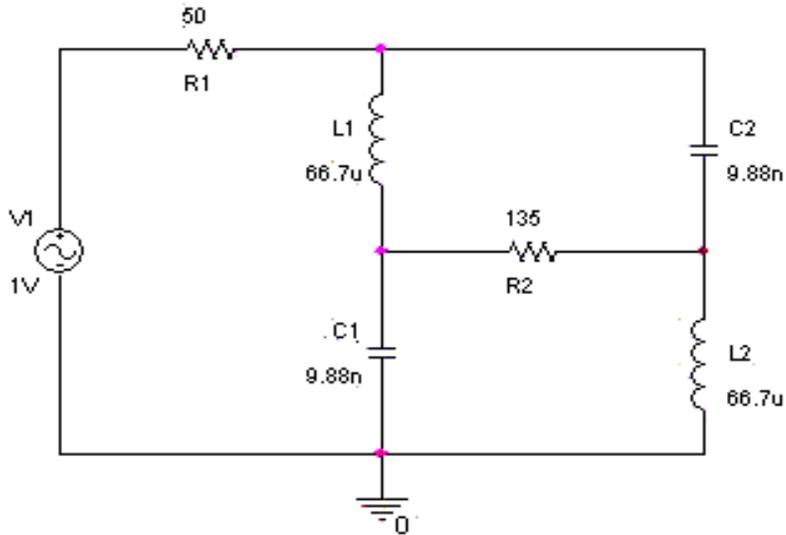


Figura A3.3 Esquema del circuito utilizado en la simulación.

Resultados obtenidos en la simulación

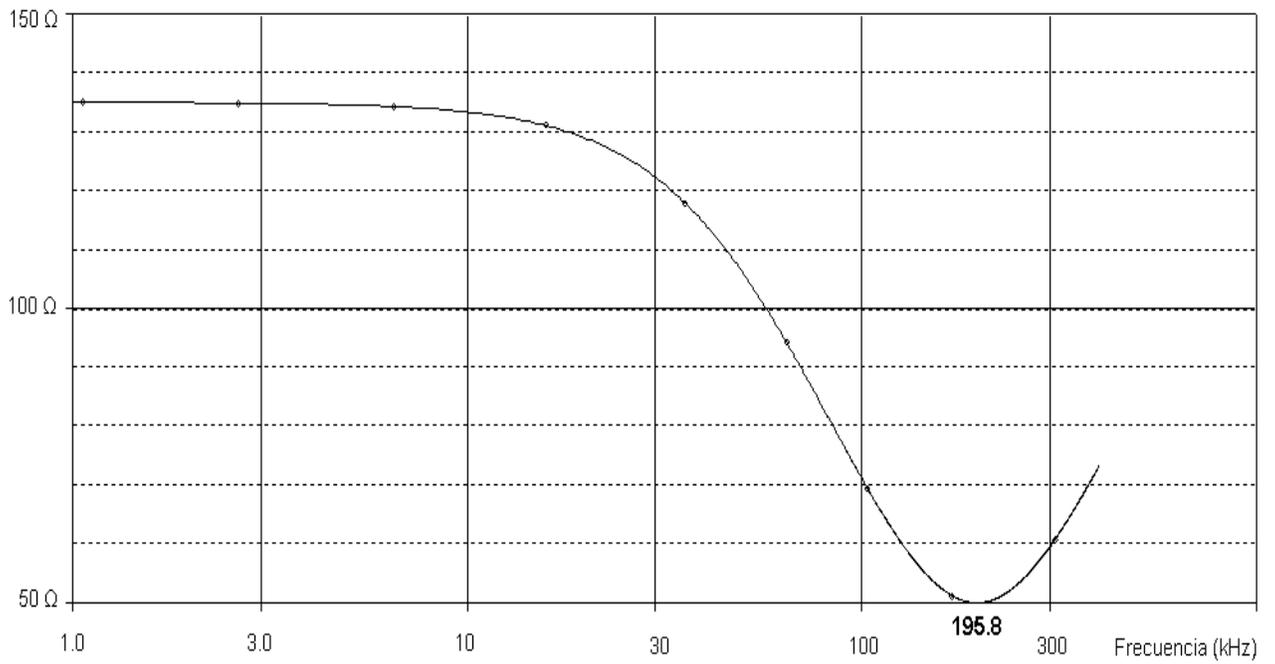


Figura A3.4 Impedancia de entrada vs. Frecuencia.

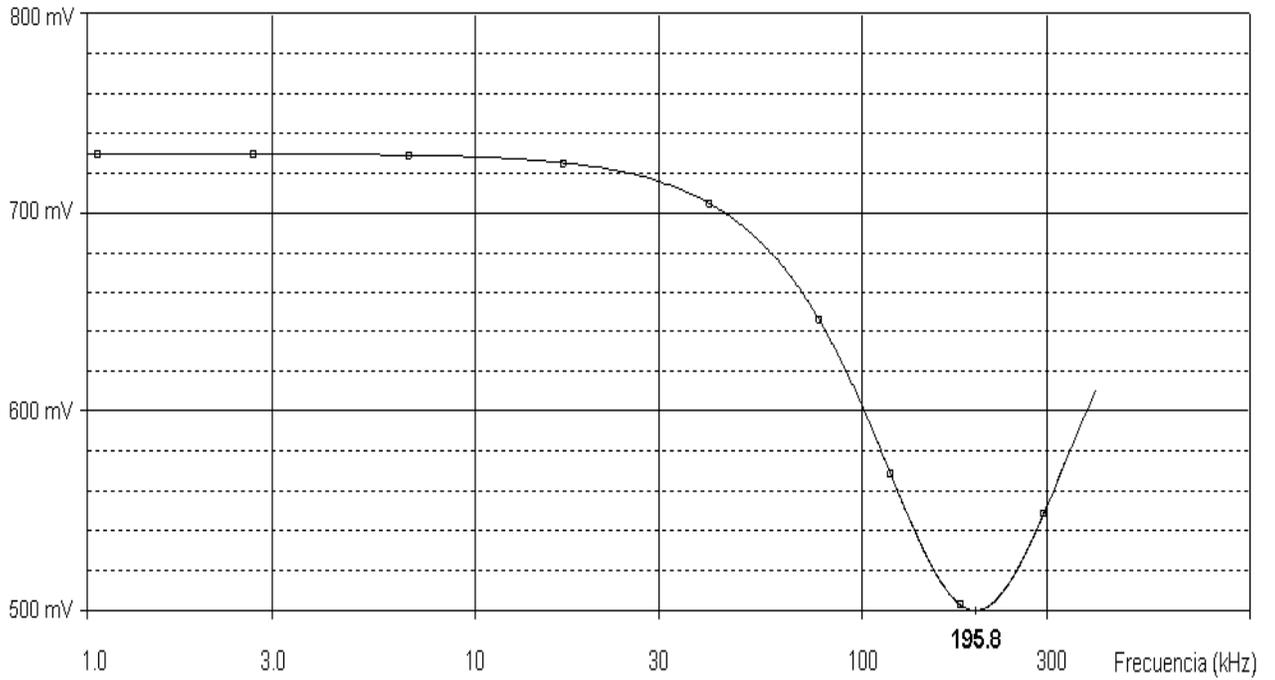


Figura A3.5 Amplitud del voltaje de entrada vs. Frecuencia.

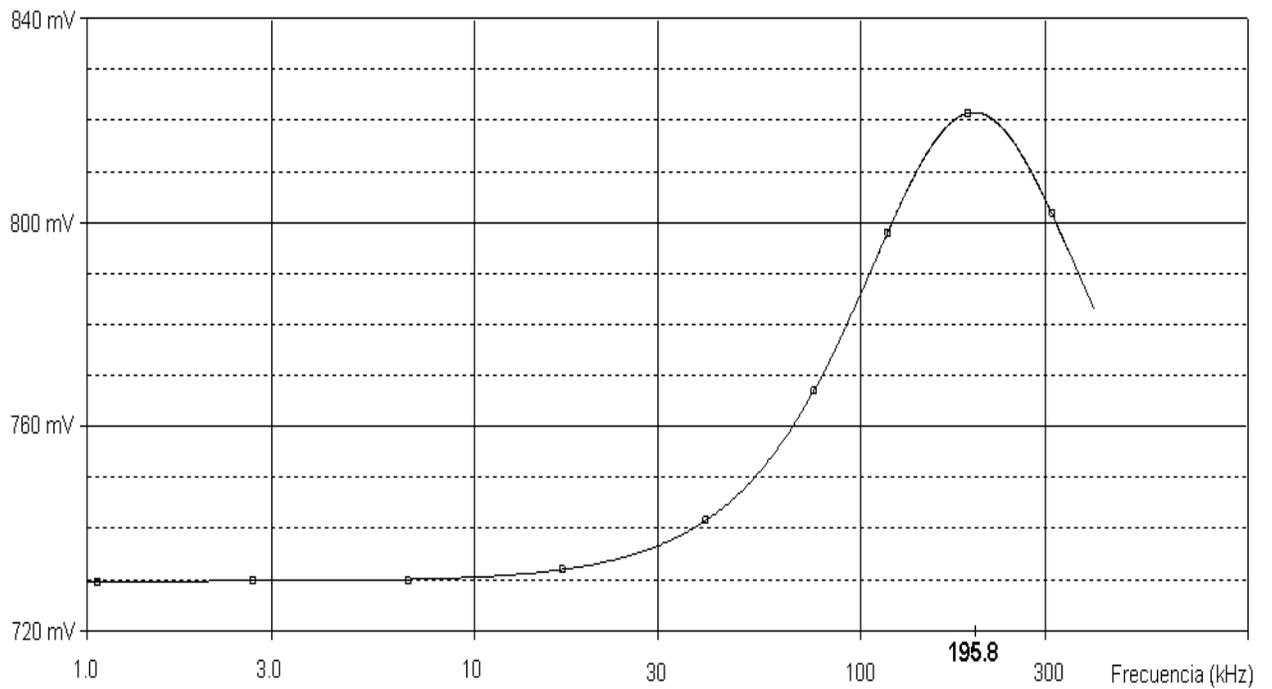


Figura A3.6 Amplitud del voltaje de salida vs. Frecuencia.

Montaje real del balun 50/135 Ω *Datos utilizados:*

R1 = 50 Ω (resistencia de salida de los instrumentos de laboratorio)

R2 = 135 Ω (impedancia característica (Z_0) del par de cobre a la frecuencia de trabajo)

L = 66.8 μH

C = 10 nF (valor comercial)

V1 = 1V (p-p)

Frec = 196 kHz

Nota: El montaje real fue realizado según Figura A3.3

Resultados obtenidos a partir del montaje real

Tabla A3.1 Resultados obtenidos a partir de mediciones reales.

Amplitud (V)	Frecuencia (kHz)	Amplitud (V)	Frecuencia (kHz)
0.74	3.25	0.58	131.2
0.74	8.56	0.56	151.6
0.72	25.5	0.54	184.3
0.70	43.2	0.53	196.3
0.68	57.9	0.54	212.3
0.66	70.9	0.56	303.2
0.64	85.0	0.58	351.2
0.62	98.6	0.60	397.2
0.60	116.7	0.62	451.4

Graficando estos valores obtenidos a partir de las mediciones realizadas tenemos:

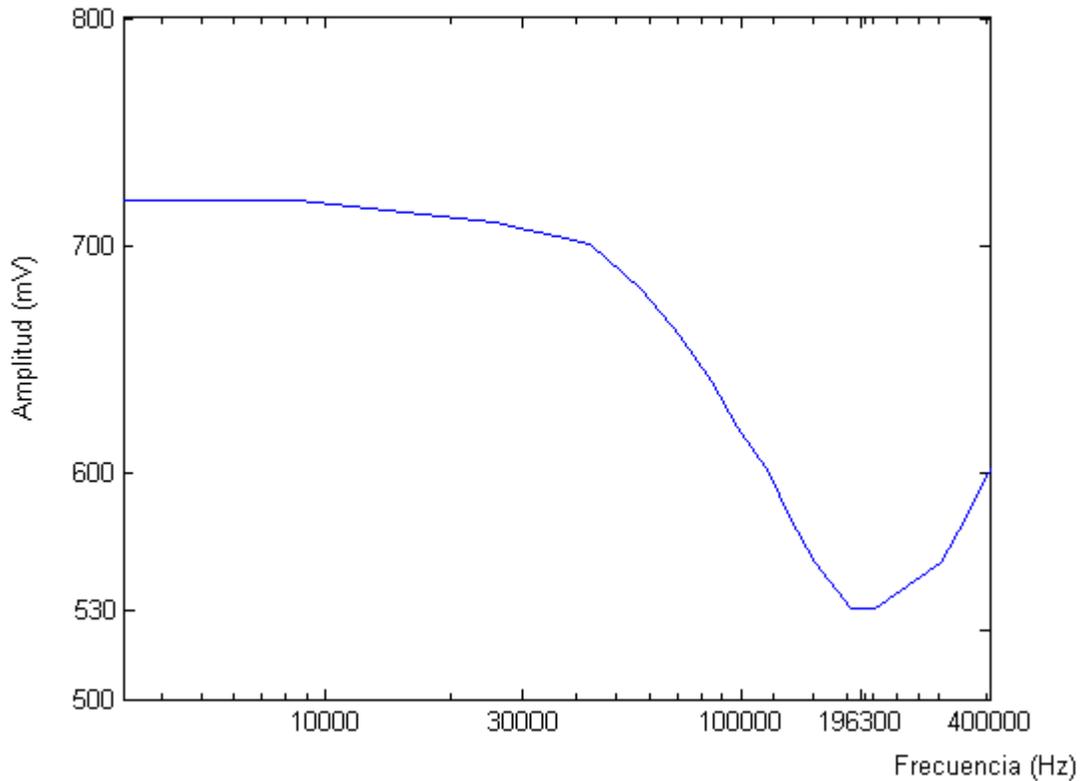


Figura A3.7 Amplitud del voltaje de entrada vs. Frecuencia.

Como se puede apreciar, con este circuito se logra una muy aceptable adaptación de impedancias aproximadamente a 196.3 kHz (muy próxima a la frecuencia de trabajo), así como el acople entre un circuito balanceado (línea telefónica) y equipos con salidas desbalanceadas (instrumentos de medición del laboratorio). Obsérvese que la gráfica resultante es muy semejante a la obtenida en la simulación (ver Figura A3.5), lo que demuestra un funcionamiento óptimo del circuito del balun montado en el laboratorio. Es válido señalar que este circuito introduce pérdidas y se recomienda tenerlas en cuenta a la hora de analizar los resultados obtenidos a partir de las mediciones realizadas al par.

ANEXO 4 Resultados reales obtenidos en pruebas de Laboratorio.

A continuación se muestran los resultados obtenidos a partir de realizar algunas pruebas de laboratorio a un cable multipar telefónico de 2.0 m de longitud, formado por diez pares trenzados de cobre de alambre 26 AWG (0.4 mm).

Voltaje DC y AC inducido en la línea

$$V_{dc} = 0 \text{ V} \quad V_{ac} = 0 \text{ V}$$

Resistencia del lazo de abonado, capacitancia y aislamiento entre pares

Resistencia de lazo

$$R_{\text{Lazo}} = 0.8 \ \Omega$$

Resistencia de aislamiento

$$R_{\text{aislamiento (A-B)}} > 1000 \ \Omega$$

$$R_{\text{aislamiento (A-G)}} > 1000 \ \Omega$$

$$R_{\text{aislamiento (B-G)}} > 1000 \ \Omega$$

Capacitancia

$$C \text{ (A-B)} = 0.8 \text{ nf}$$

$$C \text{ (A-G)} = 0.7 \text{ nf}$$

$$C \text{ (B-G)} = 0.7 \text{ nf}$$

Estimación de la longitud del enlace

- Por el valor de capacitancia: $L = 0.01538 \text{ Km (15.3 m)}$
- Por el valor de resistencia de lazo: $L = 0.00592 \text{ Km (5.9 m)}$

Los valores obtenidos demuestran que el resultado que brinda esta prueba es solo aproximado y dentro de un cierto rango de error. Considerando que el cable utilizado para la realización de las pruebas posee una longitud de 2.0 m, puede comprobarse que en efecto, la estimación de la longitud del lazo de abonado a partir de la resistencia de lazo es mucho más óptima, debido a que introduce un error menor en la estimación de la distancia.

Pérdidas por inserción (a 135Ω)

Tabla A4.1 Respuesta de frecuencia (pérdidas de inserción) de uno de los pares del cable.

Frecuencia (kHz)	Vgen (V)	Vlínea	Vsal
8	0.72	0.7	0.7
9	0.72	0.7	0.7
10	0.72	0.62	0.61
20	0.72	0.58	0.58
30	0.72	0.55	0.55
40	0.71	0.52	0.52
50	0.70	0.48	0.47
60	0.69	0.42	0.42
70	0.67	0.37	0.37
80	0.66	0.36	0.36
90	0.64	0.30	0.30
100	0.62	0.25	0.25
110	0.58	0.19	0.19
120	0.58	0.13	0.13
130	0.57	0.09	0.09
140	0.56	0.01	0.01
150	0.55	-0.08	-0.08
160	0.54	-0.19	-0.19
170	0.54	-0.39	-0.39
180	0.53	-0.40	-0.40
190	0.53	0.29	0.28
200	0.54	0.24	0.24
210	0.58	0.16	0.16
220	0.55	0.08	0.08
230	0.56	0.03	0.03
240	0.56	-0.02	-0.02
250	0.56	-0.06	-0.06
260	0.56	-0.09	-0.09
270	0.57	-0.13	-0.13
280	0.57	-0.15	-0.15
290	0.58	-0.17	-0.18
300	0.58	-0.19	-0.19
310	0.58	-0.21	-0.22
320	0.58	-0.24	-0.24
330	0.59	-0.26	-0.26
340	0.60	-0.27	-0.27
350	0.60	-0.28	-0.29
360	0.61	-0.3	-0.3
370	0.61	-0.31	-0.32
380	0.61	-0.32	-0.32
390	0.62	-0.32	-0.32
400	0.62	-0.32	-0.32

Haciendo una gráfica de atenuación vs. frecuencia a partir de los valores obtenidos tenemos:

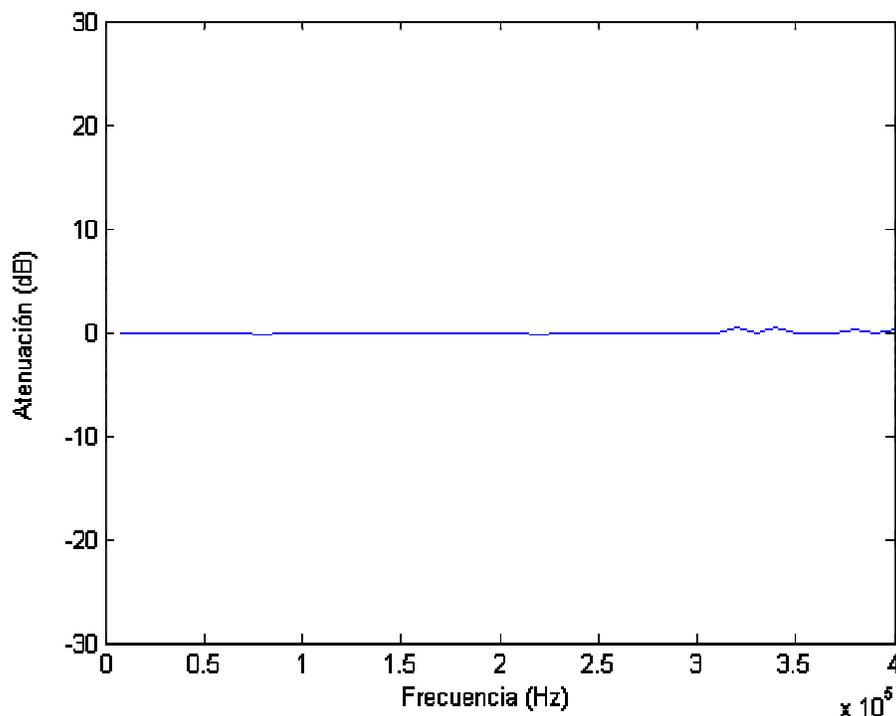


Figura A4.1 Respuesta de frecuencia de un par de cobre.

El resultado obtenido es el esperado, pues debido a la longitud del cable utilizado (2.0 m) para la realización de las pruebas, este no introduce atenuación a ninguna frecuencia en todo el ancho de banda de trabajo.

Atenuación a 150 kHz (a 135 Ω)

Frecuencia = 150 kHz

Vent = -0.08 V

Vsal = -0.08 V

A partir de la siguiente expresión, podrá calcularse el valor de atenuación expresado en dB.

$$\alpha = 20 \log_{10} \frac{V_{\text{sal}}}{V_{\text{ent}}}$$

Evaluando esta expresión con los valores reales obtenidos tenemos que:

$\alpha = 0$ dB

Como en el caso anterior, el resultado obtenido es el esperado, pues debido a la corta longitud del cable utilizado para la realización de las pruebas, este no introduce ninguna atenuación a 150 kHz.

*GLOSARIO DE
TERMINOS*



GLOSARIO DE TERMINOS

2B1Q: Código de línea [2 binario 1 cuaternario] (*Two Binary One Quaternary Line Code*)

ADSL: Línea de abonado digital asimétrica (*Asymmetric Digital Subscriber Line*)

AM: Amplitud modulada

ANSI: Instituto de Normalización de EUA. (*American National Standards Institute*)

ATM: Modo de transferencia asíncrono (*Asynchronous Transfer Mode*)

AWG: Norma Americana para Calibre de Cables (*American Wire Gauge*)

BER: Razón de bits erróneos (*Bit Error Rate*)

BERT: Prueba de Razón de bits erróneos (*Bit Error Rate Test*)

CO: Oficina central (*Central Office*)

DLC: Portadora de Lazo digital (*Digital Loop Carrier*)

DMM: Multímetro Digital (*Digital Multimeter*)

DMT: Multitono discreto (*Discrete Multitone*)

DSL: Línea de abonado digital (*Digital Subscriber Line*)

DSLAM: Multiplexor de acceso a línea DSL (*DSL Access Multiplexer*)

DWMT: Multitono Wavelet discreto (*Discrete Wavelet Multitone*)

E1: Sistema de transmisión a 2 048 Mbit/s (*2.048 Mbit/s Transmission System*)

ETECSA: Empresa de Telecomunicaciones de Cuba S.A.

ETSI: Instituto Europeo de Normalización de las Telecomunicaciones (*European Telecommunication Standards Institute*)

FEXT: Telediafonía o Diafonía en las instalaciones (*Far End Crosstalk*)

HDSL: Línea de abonado digital de alta velocidad (*High Speed Digital Subscriber Line*)

HDSL2: Línea de abonado digital de alta velocidad (*un solo par*)

IDSL: RDSI sobre DSL (*ISDN over DSL*)

IP: Protocolo Internet (*Internet Protocol*)

LAN: Red de área local (*Local Area Network*)

MDF: Distribuidor principal (*Main Distribution Frame*)

NEXT: Paradiafonía o Diafonía en la oficina central (*Near End Crosstalk*)

NID: Dispositivo de Interfaz de Red (*Network Interface Device*)

NPSD: Densidad espectral de potencia de ruido (*Noise Power Spectral Density*)

OSP: Planta exterior (*Outside Plant*)

POTS: Sistema telefónico convencional (*Plain Old Telephone System*)

PRBS: Secuencia de bits pseudo-aleatoria (*Pseudo-Random Bit Sequence*)

PSA: Analizador espectral de potencia (*Power Spectral Analyzer*)

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

QoS: Calidad de servicio (*Quality of Service*)

RADSL: DSL de razón adaptada (*Rate-Adaptive DSL*)

RDSI: Red digital de servicios integrados

RDSI-BA: RDSI de banda ancha

RDSI-BE: RDSI de banda estrecha

SDSL: Línea de abonado digital simétrica (*Symmetrical Digital Subscriber Line*)

SHDSL: Línea de abonado digital de alta velocidad de un solo par (*Single-pair High Speed Digital Subscriber Line*)

S/N: Relación señal / ruido (*Signal / Noise Ratio*)

STFT: Transformada de Fourier de Tiempo Corto (*Short-Time Fourier Transform*)

T1: Sistema de Transmisión a 1 544 Mbit/s (*1.544 Mbit/s Transmission System*)

TDR: Reflectometría en el dominio del tiempo (*Time Domain Reflectometry*)

TIMS: Mediciones de Transmisión (*Transmission Measurements*)

UIT: Unión Internacional de Telecomunicaciones

VDSL: Línea de abonado digital de muy alta velocidad (*veryhigh rate digital subscriber line*)

xTU: Unidad de transceptor xDSL (*xDSL transceiver unit*)

xTU-C: xTU Central (*del lado del operador*)

xTU-R: xTU Remoto (*del lado del cliente*)