



UNIVERSIDAD TÉCNICA ESTATAL DE QUEVEDO

FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA

ESCUELA DE ELÉCTRICA

**Carrera
INGENIERÍA EN TELEMÁTICA**

**Tema de la Tesis
“PRECALIFICACIÓN DEL CABLEADO EN LAS TECNOLOGÍAS XDSL”**

**Previo a la obtención del título de:
INGENIERO EN TELEMÁTICA**

**Autor:
HOMERO MAXIMILIANO SALAZAR GUANO**

**Director de Tesis
PhD. Amilkar Puris Cáceres**

Quevedo – Ecuador.

2014 - 2015



UNIVERSIDAD TÉCNICA ESTATAL DE QUEVEDO
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA
ESCUELA DE ELÉCTRICA
CARRERA INGENIERIA EN TELEMÁTICA

DECLARACIÓN DE AUTORÍA Y CESIÓN DE DERECHOS

Yo, **Homero Maximiliano Salazar Guano**, declaro que el trabajo aquí descrito es de mi autoría; que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional; y, que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

La Universidad Técnica Estatal de Quevedo, puede hacer uso de los derechos correspondientes a este trabajo, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su Reglamento y por la normatividad institucional vigente.

f. _____

Homero Maximiliano Salazar Guano



UNIVERSIDAD TÉCNICA ESTATAL DE QUEVEDO

FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA

ESCUELA DE ELÉCTRICA

CARRERA INGENIERIA EN TELEMÁTICA

CERTIFICACIÓN DEL DIRECTOR DE TESIS

El suscrito, PhD. **Amilkar Puris Cáceres**, Docente de la Universidad Técnica Estatal de Quevedo, certifica que el egresado Homero Maximiliano Salazar Guano, realizó la tesis de grado previo a la obtención del título de Ingeniero en Telemática titulado “**PRECALIFICACIÓN DEL CABLEADO EN LAS TECNOLOGÍAS XDSL**”, bajo mi dirección, habiendo cumplido con las disposiciones reglamentarias establecidas para el efecto.

f. _____

PhD. Amilkar Puris Cáceres

DIRECTOR DE TESIS



UNIVERSIDAD TÉCNICA ESTATAL DE QUEVEDO

FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERIA

ESCUELA DE ELÉCTRICA

CARRERA INGENIERIA EN TELEMÁTICA

CERTIFICACIÓN DE REDACCIÓN

Yo, **TEDDY ELIZABETH DE LA CRUZ** con CI N° **0910481522**, Docente de la Facultad Ciencias de la Ingeniería de la Universidad Técnica Estatal de Quevedo, certifico que he revisado la tesis de grado del egresado **SALAZAR GUANO HOMERO MAXIMILIANO**, CI N° **1205239187**, previo a la obtención del título de Ingeniero en Telemática, titulado “**PRECALIFICACIÓN DEL CABLEADO EN LAS TECNOLOGÍAS XDSL**”, habiendo cumplido con la redacción y corrección ortográfica.

f. _____

Socióloga. Teddy Elizabeth de la Cruz

DIRECTORA DE REDACCIÓN



UNIVERSIDAD TÉCNICA ESTATAL DE QUEVEDO

FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA

ESCUELA DE ELÉCTRICA

Carrera

INGENIERÍA EN TELEMÁTICA

Presentado al Consejo Directivo como requisito previo a la obtención del título de INGENIERO EN TELEMÁTICA

Aprobado:

PRESIDENTE DEL TRIBUNAL DE TESIS
Ing. Byron Oviedo Bayas Msc.

MIEMBRO DEL TRIBUNAL DE TESIS
Ing. José Luis Tubay Msc.

MIEMBRO DEL TRIBUNAL DE TESIS
Ing. Emilio Zhuma Mera

DEDICATORIA

A mi adorada madre

Mi adorada esposa y mi hija preciosa

AGRADECIMIENTOS

Doy gracias a Dios por la perseverancia que me ha regalado día a día para poder cumplir con mis objetivos y a todas las personas que han apoyado a la realización de esta responsabilidad:

A mi madre por su amor, apoyo y dedicación incondicional, nunca me has dejado desfallecer.

A mi esposa y mi hija adorada, que con su amor me anima cada día a seguir adelante y no parar por nada.

A mi tutor de tesis, el Dr. Amilkar Puris Cáceres y por ser un amigo más y por compartir sus conocimientos, su experiencia, y su motivación para la realización de este trabajo investigativo.

Para todos ellos: Muchas gracias y que Dios los bendiga

ÍNDICE

Portada	i
Declaración de autoría y cesión de derechos	ii
Certificación del director de tesis	iii
Certificación de redacción.....	iv
Dedicatoria.....	vi
Agradecimientos	vii
Índice	viii
Índice de tablas.....	xi
Índice de ilustraciones	xii
Resumen ejecutivo	xiv
Abstract.....	xv
CAPÍTULO I MARCO CONTEXTUAL DE LA INVESTIGACIÓN	1
1.1 Introducción	2
1.2 Justificación	4
1.3 Problematización	5
1.3.1 Formulación	6
1.3.2 Sistematización	6
1.4 Objetivos.....	6
1.4.1 Generales.....	6
1.4.2 Específicos.....	6
1.5 Hipótesis.....	7
1.5.1 Planteamiento	7
1.5.2 Matriz De Conceptualización.....	7
CAPÍTULO II MARCO TEÓRICO DE LA INVESTIGACIÓN	8
2.1 Fundamentación Conceptual.....	9
2.1.1 Red de Acceso xDSL	9
2.1.2 Parámetros de una línea de transmisión.....	9
2.2 Fundamentación Teórica	10
2.2.1 Precalificación de la Red de Acceso	10

2.2.2	Precalificación del lazo xDSL	11
2.2.3	Objetivos de las pruebas xDSL	12
2.2.4	Importancia de las pruebas en xDSL	13
2.2.5	Instrumentos disponibles de medición	14
2.2.6	Parámetros xDSL que miden la calidad	16
2.2.6.1	Balance longitudinal de impedancias	16
2.2.6.2	Criterios de verificación metálica	17
2.2.6.3	Longitud del lazo de abonado	21
2.2.6.4	Detección de bobinas de carga y taps puenteados	23
2.2.6.5	Detección de cortos y abiertos.....	30
2.2.6.6	Pérdidas de retorno.	31
2.2.6.7	Pérdidas de inserción (respuesta de frecuencias)	32
2.2.6.8	Atenuación a 40, 120 ó 150 kHz	33
2.2.6.9	Retardo de transferencia de señal.....	34
2.2.6.10	Retardo de grupo	35
2.2.6.11	Diafonía (NEXT).....	35
2.2.6.12	Ruido de fondo y ruido impulsivo	36
2.2.6.13	Medición de la tasa de error de bit (BER)	39
2.2.7	Fourier en el procesamiento digital de señales	40
2.2.7.1	Análisis de Fourier de Tiempo Corto.....	41
2.2.8	Wavelet en el procesamiento digital de señales	42
2.2.8.1	¿Qué nos permite el análisis Wavelet?.....	42
2.2.8.2	Especificaciones de Wavelet	43
2.2.8.3	Detención de discontinuidad utilizando Wavelet.....	44
2.2.8.4	Wavelet de Haar. Consideraciones teóricas	44
CAPÍTULO III METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN		46
3.1.	Materiales y métodos	47
3.1.1.	Equipos Y Materiales	47
3.1.1.1.	Hardware	47
3.1.1.2.	Software.....	48
3.1.1.3.	Suministros	48
3.1.1.4.	Personal.....	49

3.1.1.5. Presupuesto.....	49
3.2. Métodos y técnicas utilizados en la investigación.....	49
3.2.1. Técnica de investigación	50
3.2.2. Diseño de Investigación	51
3.3. Población y Muestra	51
CAPÍTULO IV RESULTADOS Y DISCUSIÓN	52
4.1 Metodología integrada para medir el par de cobre	53
4.1.1 Pruebas de laboratorio	54
4.2 Procesamiento digital de señales de prueba utilizando la transformada de Wavelet	58
4.2.1 Ejemplo para la detección de discontinuidad utilizando la Wavelet de Haar.....	58
4.2.2 Procesamiento de señales de prueba utilizando la función Wavelet de Haar62	
CAPÍTULO V CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	67
5.1 Conclusiones.....	68
5.2 Recomendaciones.....	68
CAPÍTULO VI BIBLIOGRAFÍA.....	70
6.1 Literatura Citada	71
CAPÍTULO VII ANEXOS.....	74
GLOSARIO DE TERMINOS	87

ÍNDICE DE TABLAS

1 Valores de resistencia distribuida en función del diámetro del hilo	23
2 Materiales Hardware	47
3 Materiales Software	48
4 Suministros	48
5 Personal.....	49
6 Presupuesto.....	49
7 Respuesta de frecuencia (pérdidas de inserción) de uno de los pares del cable.	55
8 Parámetros primarios del cable.	77
9 Resultados obtenidos a partir de mediciones reales.....	82

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

1 Uso De La Planta Exterior (Lazo Local) En Una Conexión DSL	11
2 Medición Del Balance Longitudinal	17
3 Medición Voltaje DC	18
4 Medición Voltaje AC.....	18
5 Medición De Resistencia De Lazo.	19
6 Medición De Resistencia De Aislamiento.	20
7 Medición De La Capacitancia	21
8 Respuesta De Frecuencias De Pares De Cobre (Cargado / No Cargado). ..	25
9 Detección De 1 Bobina De Carga.	26
10 Detección de 2 bobinas de carga.....	26
11 Localización de la 1ra bobina de carga.....	27
12 Ausencia de bobina de carga.....	28
13 Detección de tap punteado.	29
14 Longitud del tap punteado	29
15 Detección de cortos.	30
16 Detección de abiertos.	31
17 Medición de pérdidas de retorno.....	32
18 Ruido de fondo.....	38
19 Señal afectada por ruido impulsivo	38
20 Funciones para el análisis unidimensional.....	45
21 Respuesta de frecuencia de un par de cobre	56
22 Señal de prueba (s) para el análisis con wavelet de haar	58
23 Procesamiento de la señal utilizando Wavelet de Haar	59
24 Procesamiento de la señal utilizando Wavelet de Haar	60
25 Discontinuidad presente en la señal de prueba (s).	60
26 Primer nivel de descomposición (d1) utilizando Daubechies (db2).....	61
27 Primer nivel de descomposición (d1) utilizando Daubechies (db3).....	61
28 Detección de bobina de carga	62
29 Detección de tap puenteado	63
30 Detección de corto	63

31 Detección de tap puentado	64
32 Detección de corto	65
33 Impedancia característica en pares de cobre	77
34 Esquema del balun	78
35 Diseño del balun 50/135 Ω	79
36 Esquema del circuito utilizado en la simulación	80
37 Impedancia de entrada vs frecuencia.	80
38 Amplitud del voltaje de entrada vs. Frecuencia.....	81
39 Amplitud del voltaje de salida vs. Frecuencia.	81
40 Amplitud del voltaje de entrada vs frecuencia.....	83

RESUMEN EJECUTIVO

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 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 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

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 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.

CAPÍTULO I

MARCO CONTEXTUAL DE LA INVESTIGACIÓN

1.1 Introducción

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, 2400 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 9600 y 14400 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 28800 y 33600 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 aún 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 cómo 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.

1.2 Justificación

Con esta investigación se crea 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 XDSL, 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 esta investigación dará solución a una problemática que existe actualmente en la Empresa de Telecomunicaciones CNT vinculada a una no correcta precalificación de la red de acceso a la hora de ofrecer servicios

XDSL. 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.

1.3 Problematización

Las pruebas que se hacen en estos momentos, no son suficientes para realizar una correcta precalificación del par de cobre, 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.

En estos momentos, la Corporación Nacional de Telecomunicaciones (CNT) 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.

1.3.1 Formulación

¿Cómo lograr, a través de la aplicación de una metodología elaborada, la integración de procedimientos de medición para precalificar el cableado que soporta el servicio XDSL?

1.3.2 Sistematización

- ¿Qué parámetros definen la calidad de los servicios XDSL?
- ¿Cómo identificar problemas en los servicios XDSL sin el uso de instrumentos de medición?
- ¿De qué forma validar los resultados obtenidos en laboratorio para comprobar su efectividad?

1.4 Objetivos

1.4.1 Generales

Desarrollar un método que Integre diferentes procedimientos de medición del par de cobre con técnicas novedosas de procesamiento digital de señales.

1.4.2 Específicos

- Identificar los parámetros que se tienen que medir a la hora de precalificar el par de cobre.
- Proponer una metodología integrada para obtener los valores de los parámetros que afecta la calidad de los servicios xDSL.

- Aplicar técnicas del procesamiento digital de señales (transformada Wavelet), para obtener los valores de algunos de los parámetros más importantes.

1.5 Hipótesis

1.5.1 Planteamiento

Las técnicas del procesamiento de señales digitales identifican de manera eficiente algunos de los parámetros del par de cobre en redes xDSL.

1.5.2 Matriz De Conceptualización

Variables	Definición Conceptual	Dimensiones	Indicadores
INDEPENDIENTE			
Técnicas del procesamiento de señales digitales	Métodos matemáticos de funciones lineales.	Análisis de señales	• Identificación de parámetros.
DEPENDIENTE			
Identificación de algunos parámetros del par de cobre	Parámetros que influyen en la calidad de los servicios.	Calidad de las Redes de datos	• Resultados similares a las mediciones reales.

Elaborado por: Salazar, H. (2015)

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO DE LA INVESTIGACIÓN

2.1 Fundamentación Conceptual

2.1.1 Red de Acceso xDSL

XDSL se refiere a la suma total de las tecnologías (DSL) de línea de abonado digital para el acceso a internet. Limitaciones de longitud en las transmisiones de señal DSL de las velocidades de centrales telefónicas han dado lugar a los muchos tipos de DSL. La principal ventaja de esta tecnología es la reutilización de la infraestructura ya existente por lo que los costos de implantación se abaratan. (Sunrise Telecom INC, 1997)

2.1.2 Parámetros de una línea de transmisión

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.

2.2 Fundamentación Teórica

2.2.1 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.

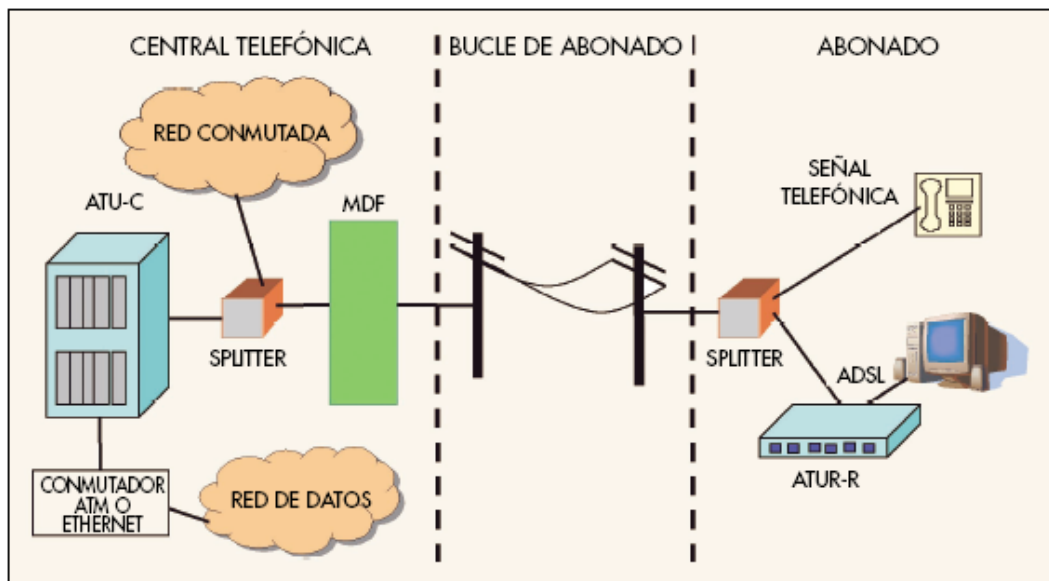
Simétrico (HDSL, SDSL): Indica que la velocidad hacia y desde el usuario es la misma, es decir, es necesario que el ancho de banda se reparta simétricamente en ambas direcciones, para acomodar el flujo de datos. Es muy utilizado en interconexión de redes LAN y redes telefónicas.

Asimétrico (ADSL, VDSL): Se refiere a que el subscriptor 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), 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, 2000)

Figura 1 Uso De La Planta Exterior (Lazo Local) En Una Conexión DSL



Elaborado por: Salazar, H. (2015)

2.2.2 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 subscriber 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. (Coronet Technology, 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.

2.2.3 Objetivos de las pruebas xDSL

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

- Confirmar el buen funcionamiento de la línea física que existe entre el suscriptor 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.

2.2.4 Importancia de las pruebas en xDSL

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).

2.2.5 Instrumentos disponibles de medición

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, 2003a; Consultronics Limited, 2003b; Consultronics Limited, 2003c; Consultronics Limited, 2003d; Triohmtec S.A., 2003a; Triohmtec S.A., 2003b; 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.

2.2.6 Parámetros xDSL que miden la calidad

2.2.6.1 Balance longitudinal de impedancias

Esta magnitud representa la forma 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).

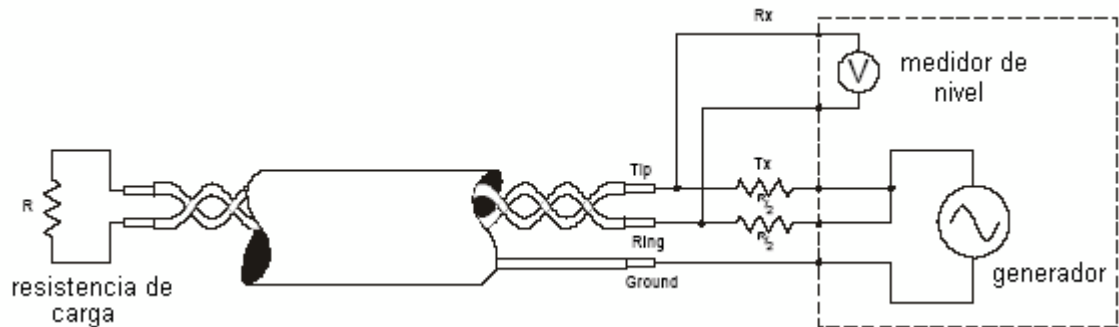
Un pobre balance longitudinal puede causar corrientes longitudinales no balanceadas que produzcan ruido y causen errores que limiten la velocidad de transmisión del xDSL.

¿Cómo se realiza la medición?

Se introduce una señal sinusoidal totalmente balanceada entre los pares (Tip y Ring) y tierra (Ground), luego 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 2). Estos resistores tienen un valor igual a la mitad del valor de la impedancia característica del cable. La señal diferencial del par es directamente proporcional al desbalance existente en el mismo. EL resultado final del balance longitudinal en el par será la razón entre el nivel de la señal medido y la de modo común transmitido. 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 Medición Del Balance Longitudinal



Elaborado por: Salazar, H. (2015)

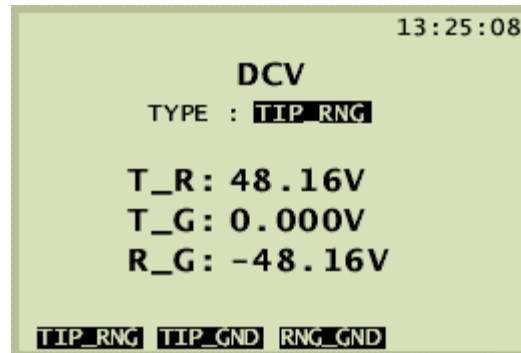
Fuente: <http://dSPACE.upse.edu.ec/bitstream/123456789/153/2/Capitulo%201.pdf>

2.2.6.2 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.

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 3, 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 3 Medición Voltaje DC

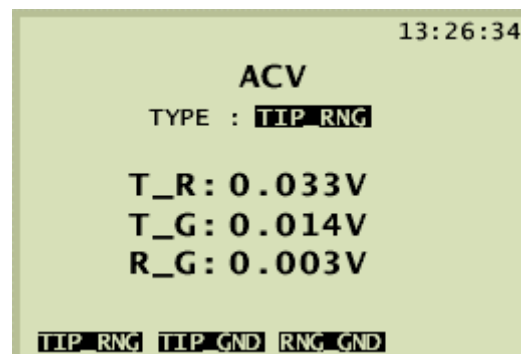


Elaborado por: Salazar, H. (2015)

Fuente: Equipo TDR

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 4 Medición Voltaje AC.



Elaborado por: Salazar, H. (2015)

Fuente: Equipo TDR

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

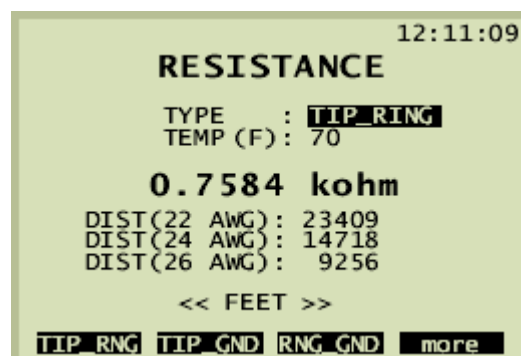
medición puede hacerse en un solo extremo, cortocircuitando manualmente el extremo lejano, o utilizando otro equipo de medición ubicado en el extremo opuesto (Sunrise Telecom INC, 2002).

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 5 Medición De Resistencia De Lazo.



Elaborado por: Salazar, H. (2015)

Fuente: Equipo TDR

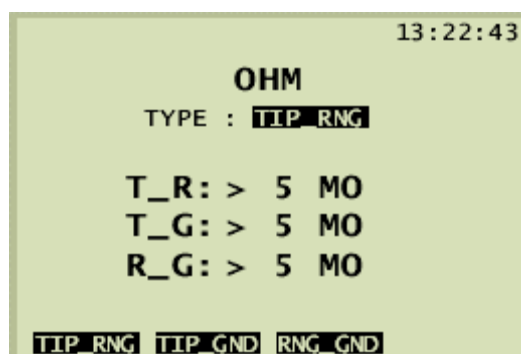
Aislamiento entre pares

Para obtener el valor de la resistencia de aislamiento entre los hilos del par (Tip (A), Ring (B)) y cada hilo y tierra (SIP-GND, Ring-GND), en todos los casos el valor obtenido debe ser mayor de 5M Ω , 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)

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 está 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 6 Medición De Resistencia De Aislamiento.



Elaborado por: Salazar, H. (2015)

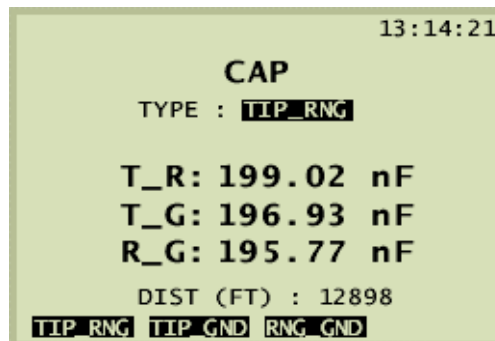
Fuente: Equipo TDR

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).

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 al medirse la capacitancia si el valor medido es mayor que 2 μF, representa que existe un corto en algún lugar del par. Se utilizará un equipo TDR para localizarlo. (Sunrise Telecom INC, 2001a)

Figura 7 Medición De La Capacitancia



Elaborado por: Salazar, H. (2015)

Fuente: Equipo TDR

Voltaje DC y AC inducido en la línea

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, donde por la cercanía a las líneas de distribución todos los valores deberán ser muy pequeños (inferiores a 5 ACV). (Sunrise Telecom INC, 2001a)

2.2.6.3 Longitud del lazo de abonado

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

incide de manera directa sobre las tasas de transmisión de los servicios xDSL. (Cornet Technology, 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)

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. Para calcular la longitud del lazo se utiliza el valor de la capacitancia a través del valor constante de 83 nF/milla (52 nF/Km). Este parámetro aparece estable en la mayoría de las mediciones aunque puede presentar variaciones que dependen

específicamente del par de cobre utilizado, variando entre 78 y 86 nF/milla (con valor nominal de 83 nF/milla).

2) Resistencia de lazo

Este parámetro representa la mejor forma de medir longitud total del lazo, con la desventaja de que requiere de un cortocircuito en el extremo final. A partir de este parámetro, se calculan las distancias (para varios calibres) según la norma representada en la Tabla 1. Esta conversión está basada en el diámetro del cable y en la temperatura.

Tabla 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

Elaborado por: Salazar, H. (2015)

Fuente: <http://www.electronicafacil.net/tutoriales/Valores-normalizados-cables-AWG.php>

2.2.6.4 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

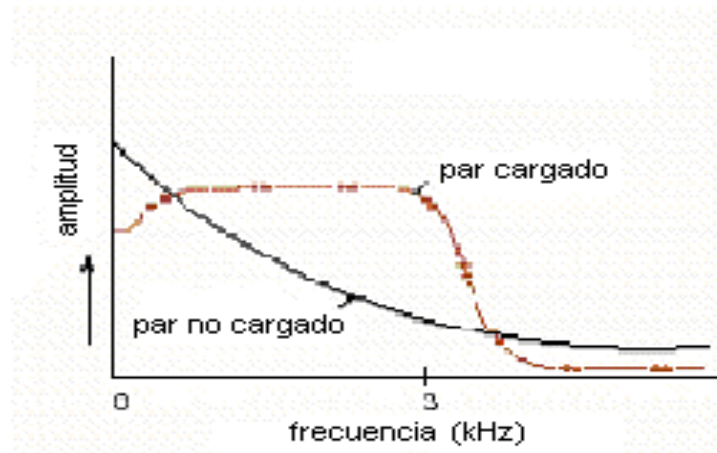
tecnología xDSL. Para detectar anomalías en el par se inyecta impulsos en la línea para reflejar cambios de impedancia. (Dunford C, Robert Fitts, 2002)

1) Detección de bobinas de carga

Este parámetro ha sido muy utilizado 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 subcriptor 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 subcriptor 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 8) (Sunrise Telecom INC, 2001a)

Figura 8 Respuesta De Frecuencias De Pares De Cobre (Cargado / No Cargado).



Elaborado por: Salazar, H. (2015)
Fuente: MatLab

¿Cómo se realiza la medición?

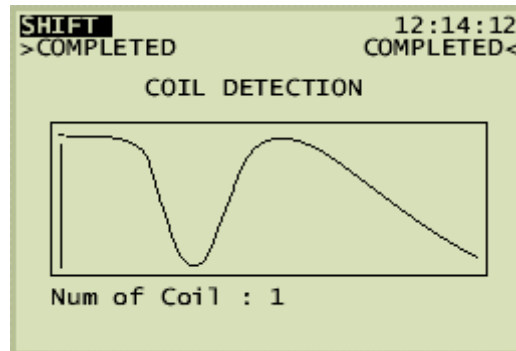
La técnica de Reflectometría en el Dominio del Tiempo (TDR), es la que se utiliza para localizar los puntos de instalación de dichas bobinas de carga, es decir, la distancia exacta a la que se encuentran del punto de medición.

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)

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 9 Detección De 1 Bobina De Carga.

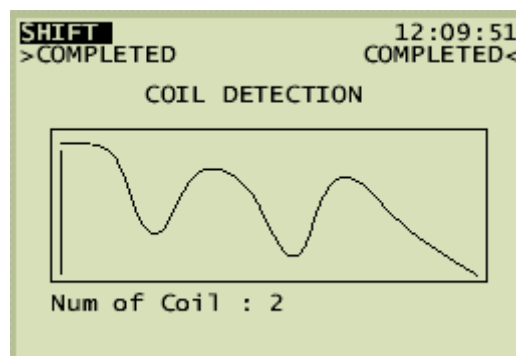


Elaborado por: Salazar, H. (2015)

Fuente: Equipo TDR

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.

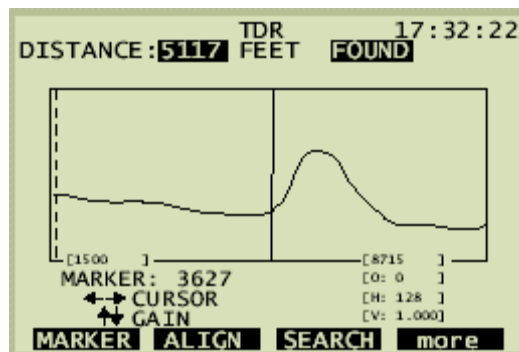
Figura 10 Detección de 2 bobinas de carga.



Elaborado por: Salazar, H. (2015)

Fuente: Equipo TDR

Figura 11 Localización de la 1ra bobina de carga



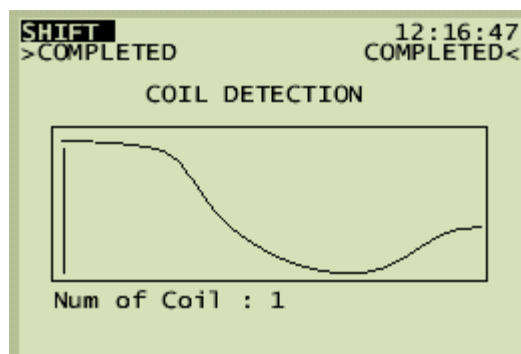
Elaborado por: Salazar, H. (2015)

Fuente: Equipo TDR

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 se puede localizar la primera que se encuentre en la línea. Entonces se elimina la bobina detectada y se vuelve a repetir la medición (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)

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.

Figura 12 Ausencia de bobina de carga.



Elaborado por: Salazar, H. (2015)

Fuente: Equipo TDR

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. Representan un tramo no terminado del lazo que no se encuentra directamente en la línea que la central con el 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)

¿Cómo se realiza la medición?

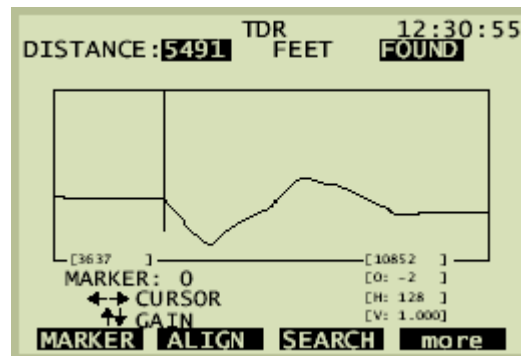
La técnica de Reflectometría en el Dominio del Tiempo (TDR), es la que se utiliza para detectar los taps puenteados, la distancia a la que se encuentran del punto de medición, así como la longitud de los mismos.

Resultados en el equipo de medición:

El TDR es el dispositivo que se utiliza para la detección y localización de tap puenteados. Estos aparecen en pantalla como un pico hacia abajo identificando la ubicación del tap punteado, seguido de una abolladura hacia arriba que

determina el final del tap. El marcador del equipo brinda la localización exacta (para este caso, 5491 pies desde donde se hace la medición). (Sunrise Telecom INC, 2001a)

Figura 13 Detección de tap punteado.

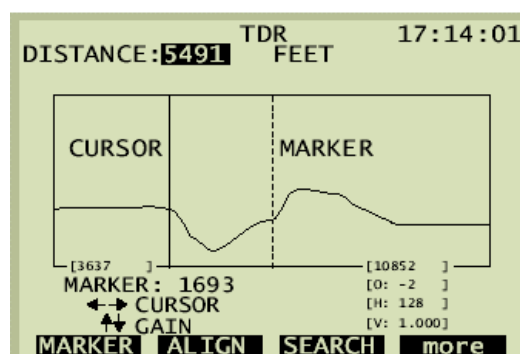


Elaborado por: Salazar, H. (2015)

Fuente: Equipo TDR

Además, con el TDR se puede medir la longitud del tap punteado trasladando el marcador hasta el punto de inicio de la abolladura que significa el final abierto del tap. La longitud del mismo se puede obtener a través de la diferencia entre el valor de distancia identificado por el TDR y la distancia real en la que se ubica el tap punteado. (Sunrise Telecom INC, 2001a)

Figura 14 Longitud del tap punteado



Elaborado por: Salazar, H. (2015)

Fuente: Equipo TDR

2.2.6.5 Detección de cortos y abiertos.

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.

El abierto representa una rotura en el par que impide transite energía a través de él. Un abierto interrumpe del todo las transmisiones xDSL. (Sunrise Telecom INC, 2001a) (Sunrise Telecom INC, 2002)

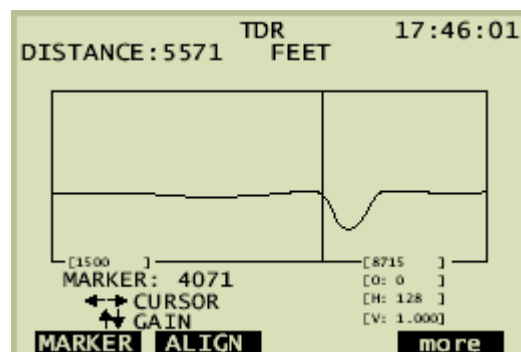
¿Cómo se realiza la medición?

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:

El TDR identifica un corto a partir de una disminución brusca de la señal, donde el punto de inicio indica la posición del corto. También el marker identifica la posición exacta del problema (para este caso, 5571 pies desde donde se hace la medición).

Figura 15 Detección de cortos.

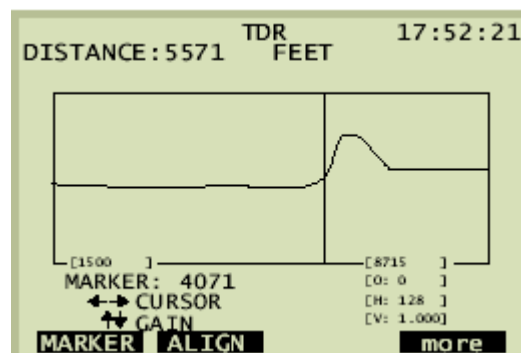


Elaborado por: Salazar, H. (2015)

Fuente: Equipo TDR

La figura 16 presenta un ejemplo de cómo identificar abiertos, se puede apreciar que este aparece como una abolladura hacia arriba identificando el lugar exacto donde ocurrió el abierto. El marker del equipo brinda la localización exacta (para este caso, 5571 pies desde donde se hace la medición). (Sunrise Telecom INC, 2001a)

Figura 16 Detección de abiertos.



Elaborado por: Salazar, H. (2015)

Fuente: Equipo TDR

2.2.6.6 Pérdidas de retorno.

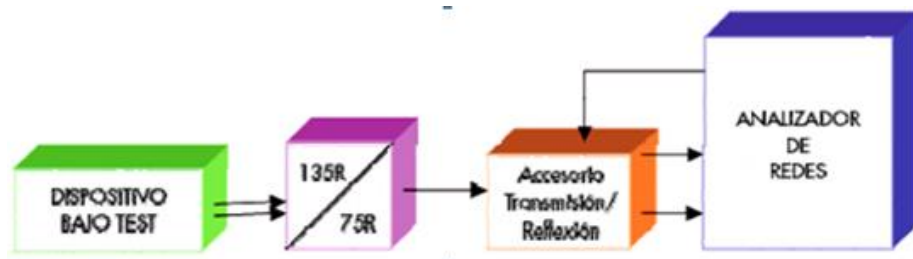
Las pérdidas de retorno son una medida de la variación de impedancia de la línea con respecto a una impedancia tomada de referencia. Las pérdidas de retorno en la interfaz del bucle HDSL se miden para una impedancia de referencia de 135Ω. Esta medida es posible hacerla con un analizador de redes, un 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). (Garcia, 2003)

¿Cómo se realiza la medición?

Cada cambio de la impedancia genera una reflexión de energía hacia el transmisor donde se requiere equipo y técnicas especiales para realizar la

medición. Para ello se debe usar un Analizador de Red, un Transformador de RF (balun) y un acoplador direccional. (Ver Figura 17)

Figura 17 Medición de pérdidas de retorno



Elaborado por: Salazar, H. (2015)

Fuente: Investigación

El valor de 16 dB es el mínimo recomendado respecto a 135 Ω para HDSL. 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, por lo que se hace necesario realizar ajustes. Esta es la causa por la cual esta medición es difícil de hacer con instrumentos de mediciones de campo.

2.2.6.7 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

¿Cómo se realiza la medición?

Para realizar la medición de respuesta de frecuencias en el lazo de abonado, puede hacerse utilizando dos unidades (equipo que implementa este tipo de medición) ubicada en los extremos del par de cobre, una unidad mide la amplitud del tono con la frecuencia preseleccionada y la otra mide la potencia de los todos. Con estos valores se construye una gráfica (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 C, Robert Fitts, 2002)

2.2.6.8 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.

¿Cómo se realiza la medición?

Se pone la línea de transmisión en régimen de onda viajera (valor de impedancia igual al valor característico Z_0), luego se introduce en la línea una señal a 150 kHz. Y utilizando la siguiente ecuación:

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

Dónde:

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.

2.2.6.9 Retardo de transferencia de señal

Este parámetro mide el tiempo que demora una señal desde la central hasta el receptor.

¿Cómo se realiza la medición?

Para medir este parámetro se utilizarán dos pares en la realización de las pruebas, se provoca un cortocircuito que una ambos pares en el extremo final. Luego se le introduce una señal por cualquiera de los dos pares y se mide el tiempo que se demora en salir la señal por el otro par. El mismo proceso se aplica en sentido contrario y luego se calcula el valor medio.

2.2.6.10 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.

¿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 μ s.

2.2.6.11 Diafonía (NEXT)

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)

¿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.

2.2.6.12 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, MDLS, 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 C, Robert 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.

¿Cómo se realiza la medición?

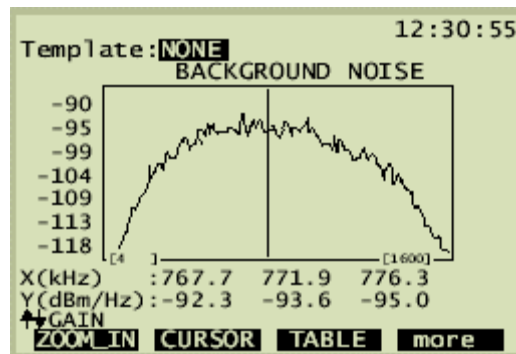
La medición de este parámetro se realiza con un analizador de espectros (PSA).

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 18 Ruido de fondo



Elaborado por: Salazar, H. (2015)

Fuente: Equipo TDR

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 19) (Dunford C, Robert Fitts, 2002) (Sunrise Telecom INC, 2001a)

Figura 19 Señal afectada por ruido impulsivo



Elaborado por: Salazar, H. (2015)

Fuente: MatLab

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

¿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.

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

Representa 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)

¿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.

2.2.7 Fourier en el procesamiento digital de señales

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 qué 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 qué 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)

2.2.7.1 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)

2.2.8 Wavelet en el procesamiento digital de señales

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. (Sweeney, 1996) (The Math Works INC., 2000)

2.2.8.1 ¿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.

2.2.8.2 Especificaciones de Wavelet

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.

2.2.8.3 Detención de discontinuidad utilizando Wavelet

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).

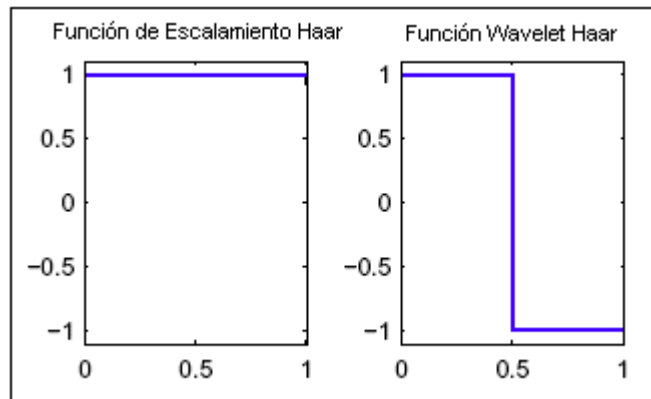
2.2.8.4 Wavelet de Haar. Consideraciones teóricas

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 20). 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 20 Funciones para el análisis unidimensional



Elaborado por: Salazar, H. (2015)

Fuente: MatLab

Dónde:

$$\phi(x) = \begin{cases} 1 & 0 \leq x \leq 0,5 \\ 0 & \text{en el resto} \end{cases} \quad \psi(x) = \begin{cases} 1 & 0 \leq x \leq 0,5 \\ -1 & 0,5 \leq x \leq 1 \\ 0 & \text{en el resto} \end{cases}$$

Es importante destacar como un análisis Wavelet, utilizando la función Wavelet de Haar, es capaz de detectar discontinuidades o cambios bruscos de nivel, aun 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.

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

3.1. Materiales y métodos

3.1.1. Equipos Y Materiales

Los recursos materiales necesarios para la investigación son los siguientes:

3.1.1.1. Hardware

Tabla 2 Materiales Hardware

CANTIDAD	MATERIAL	DESCRIPCIÓN
1	LAPTOP	Utilizado en la investigación, desarrollo y pruebas. - Sony VAIO vpceg35fl Características: - Intel Core TM i5-2450M - Tarjeta de video NVIDIA Geforce - 6 Gb. RAM o superior - 580 Gb Disco Duro - DVD RW
1	IMPRESORA	EPSON L355 SERIES

Elaborado por: Salazar, H. (2015)

3.1.1.2. Software.

Tabla 3 Materiales Software

CANTIDAD	MATERIAL	DESCRIPCIÓN
1	SISTEMA OPERATIVO	Microsoft Windows: version Windows 7 Home Premium
1	PROCESADOR DE TEXTO.	Microsoft Office 2010 Word Power Point
1	SISTEMA DE PROCESAMIENTO MATEMÁTICO	MatLab 2013

Elaborado por: Salazar, H. (2015)

3.1.1.3. Suministros

Tabla 4 Suministros

CANTIDAD	MATERIAL	DESCRIPCIÓN
6 meses	INTERNET	- Plan Internet Banda Ancha De Telconet.
	MATERIALES DE OFICINA	- 1 Caja Lápices y 1 Caja Lapiceros - 1 Resma Hojas A4 - 3 CDSRw - 2DVD R - 1 Perforadora - 1 Grapadora y 1 caja de grapas

Elaborado por: Salazar, H. (2015)

3.1.1.4. Personal

Tabla 5 Personal

PERSONAL	DESCRIPCIÓN
Desarrollador:	Homero Maximiliano Salazar Guano
Director de Tesis:	PhD. Amilkar Yudier Puris Cáceres
Asesor:	Ing. Roberto Narváez (Jefe Área Técnica CNT)

Elaborado por: Salazar, H. (2015)

3.1.1.5. Presupuesto

Tabla 6 Presupuesto

DETALLE	VALOR
Suministros de oficina:	\$15
Cable Multipar Telefónico	\$ 10
Internet:	\$120
Impresiones:	\$75
Libros:	\$80
Movilización:	\$100
Imprevistos:	\$60
Total	\$460

Elaborado por: Salazar, H. (2015)

3.2. Métodos y técnicas utilizados en la investigación

La presente investigación se sustenta siguiendo un método analítico con el cual se identifican y estudian los diferentes parámetros físicos del par de cobre utilizado en los servicios XDSL que brinda CNT. En el estudio realizado se

propone además el uso de un método numérico utilizado en el procesamiento digital de señales y se prueba la aplicabilidad de este en el contexto de los pares de cobre.

3.2.1. Técnica de investigación

En esta investigación se utilizó la entrevista como técnica para detectar la situación problemática, donde se pudo conocer que la empresa CNT realiza solo algunas pruebas para preseleccionar un determinado par de cobre para usarlo como soporte de tecnologías xDSL. También se pudo apreciar que dicha empresa no cuenta en su haber con equipos modernos que le faciliten la precalificación de pares de cobre para su posterior uso en enlaces XDSL 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 mediciones que se realizan en el departamento de servicios de CNT:

- Voltaje DC y AC inducido en la línea.
- Aislamiento entre pares
- Detección de cortos y abiertos
- Detección de bobinas de carga
- Medición de nivel
- Ruido impulsivo
- Relación señal a ruido (S/N)
- Jitter
- Atenuación

3.2.2. Diseño de Investigación

La investigación utilizada en el presente trabajo responde a un diseño cuasi experimental, ya que luego de definir los parámetros más importantes que identifican la calidad del cableado de cobre utilizado en el servicio XDL, se procede a realizar las diferentes mediciones en un ambiente simulado. Seguidamente se evalúa un método matemático del procesamiento digital de señales (transformada de Wavelet) en el mismo escenario y se demuestra que puede ser una técnica eficiente. La técnica de comparación utilizada se basa en los errores absolutos cometidos o desviaciones de las gráficas obtenidas con cada método.

3.3. Población y Muestra

Para realizar las mediciones de los parámetros identificados en la presente investigación se utilizó un escenario simulado con un cable multipar telefónico de 2.0 m de longitud, formado por diez pares trenzados de cobre de alambre 26 AWG (0.4 mm). Los parámetros medidos son: balance longitudinal de impedancias, desequilibrio resistivo, voltaje DC y AC inducido en la línea, capacitancia, aislamiento entre pares y resistencia de lazo, longitud del enlace, detección de bobinas de carga y taps puenteados, detección de cortos y abiertos, pérdidas de retorno, retardo de grupo y retardo de transferencia de señal, NEXT (Near End CrossTalk), ruido de fondo e impulsivo, pérdidas por inserción, atenuación y medición de la tasa de error (BER) del enlace XDSL. Los resultados obtenidos en este experimento sirvieron con patrón de comparación con los resultados obtenidos por una de las transformadas de Wavelet, específicamente para la detención de bobina de carga, tap puenteado y detención de corto.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Metodología integrada para medir el par de cobre

A continuación se propone la realización de un conjunto de pruebas que permitirán obtener datos reales, que brinda suficiente información acerca del comportamiento y las características propias del par de cobre, con el objetivo fundamental de realizar una preselección adecuada del mismo, garantizándose un correcto desempeño al utilizarlo como soporte para tecnologías XDSL.

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)

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, 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.

4.1.1 Pruebas de laboratorio

A continuación se muestran los resultados obtenidos a partir de realizar algunas pruebas de laboratorio utilizando 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

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

Resistencia de aislamiento

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

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

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

Capacitancia

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

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

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

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 7 Respuesta de frecuencia (pérdidas de inserción) de uno de los pares del cable.

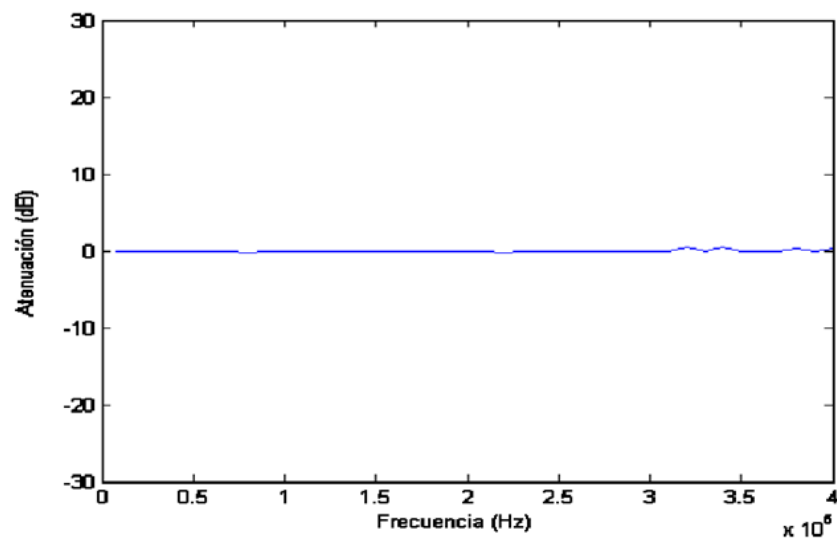
Frecuencia (kHz)	Vgen (V)	Vlínea	Vsal
8	0.72	0.7	0.7
9	0.72	0.7	0.7
10	0.72	0.62	0.61
20	0.72	0.58	0.58
30	0.72	0.55	0.55
40	0.71	0.52	0.52
50	0.70	0.48	0.47
60	0.69	0.42	0.42
70	0.67	0.37	0.37
80	0.66	0.36	0.36
90	0.64	0.30	0.30
100	0.62	0.25	0.25
110	0.58	0.19	0.19
120	0.58	0.13	0.13
130	0.57	0.09	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

Elaborado por: Salazar, H. (2015)

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

Figura 21 Respuesta de frecuencia de un par de cobre



Elaborado por: Salazar, H. (2015)

Fuente: MatLab

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.

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

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.

El despliegue de tecnologías XDSL, 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 XDSL deberá considerarse dentro del gran contexto de las pruebas de precalificación de la red de acceso. Sin olvidar que otras tecnologías XDSL (ADSL, VDSL, HDSL, 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.

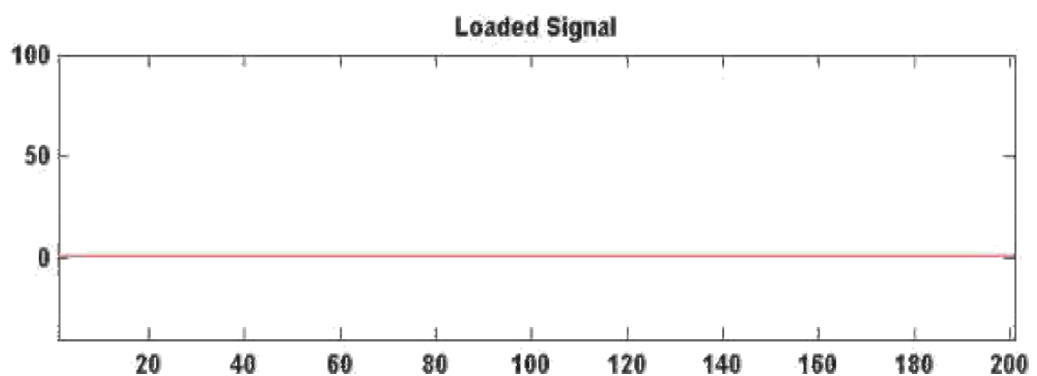
4.2 Procesamiento digital de señales de prueba utilizando la transformada de Wavelet

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.

4.2.1 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 22).

Figura 22 Señal de prueba (s) para el análisis con wavelet de haar

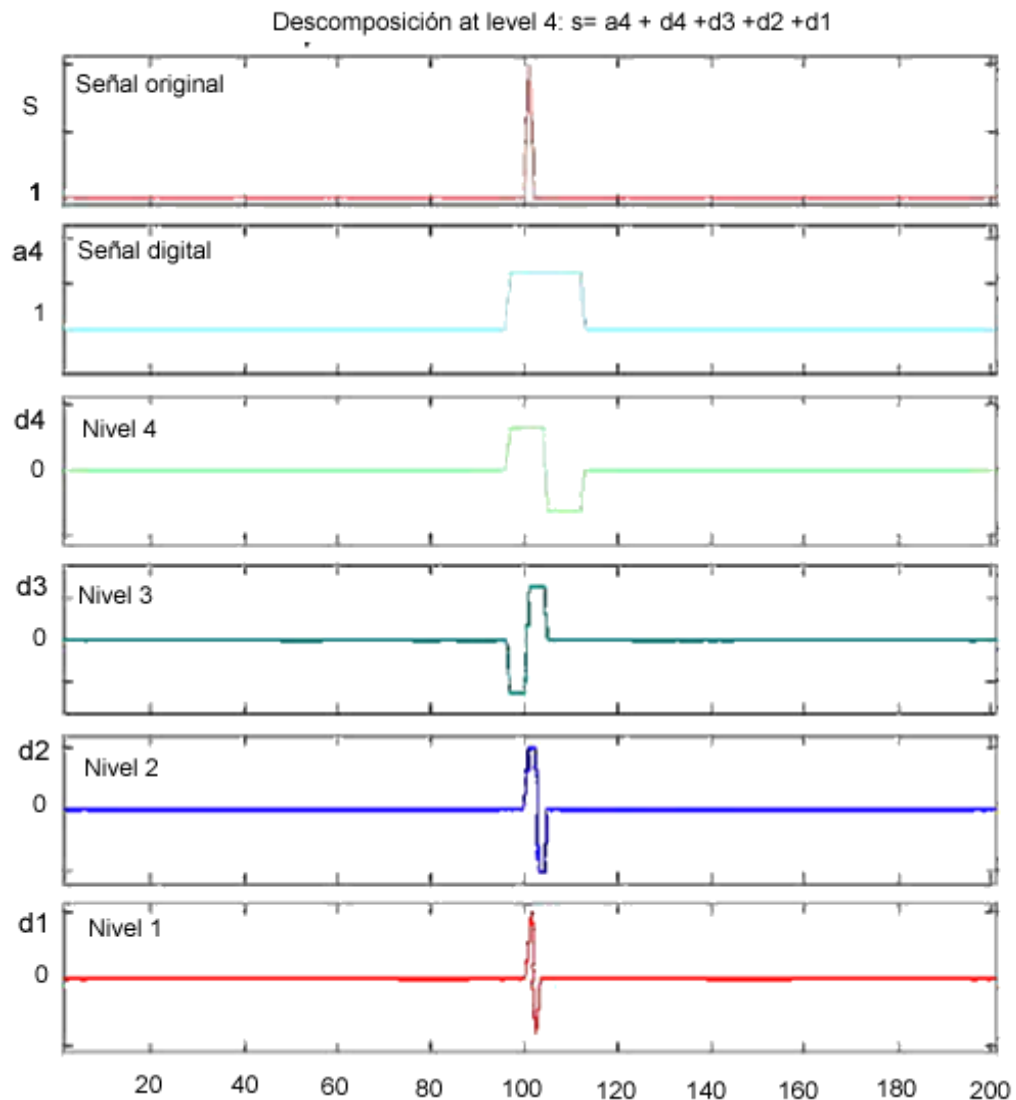


Elaborado por: Salazar, H. (2015)
Fuente: MatLab

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 23)

Figura 23 Procesamiento de la señal utilizando Wavelet de Haar



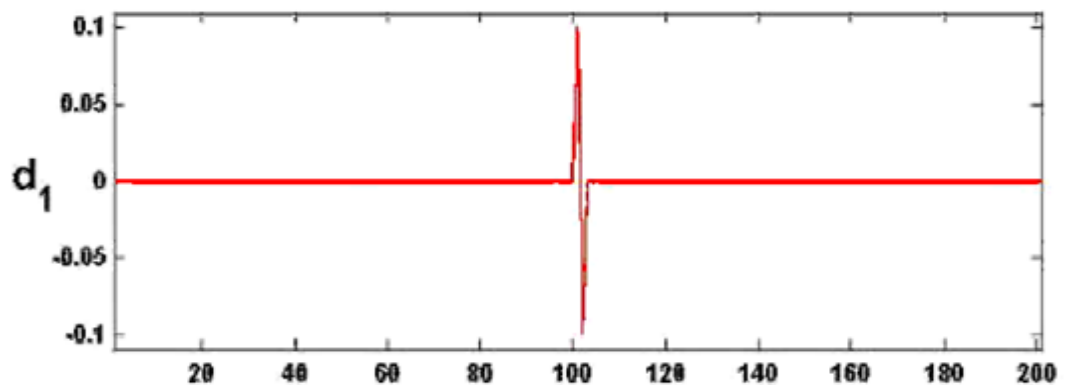
Elaborado por: Salazar, H. (2015)

Fuente: MatLab

Para el análisis basta con observar el resultado obtenido en el nivel de descomposición número uno (d1) ya que, de cierta forma, brinda toda la información se busca. 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 24)

Figura 24 Procesamiento de la señal utilizando Wavelet de Haar

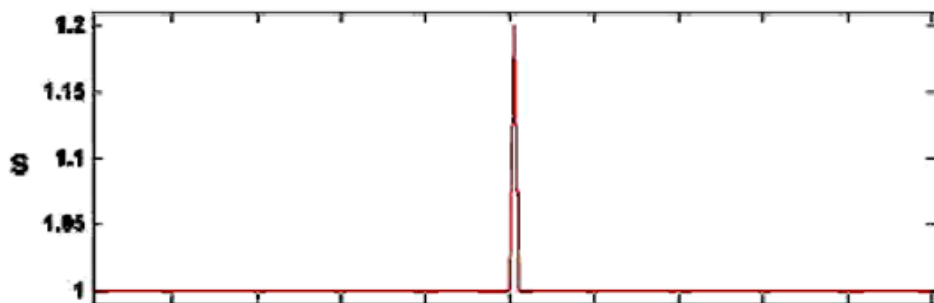


Elaborado por: Salazar, H. (2015)

Fuente: MatLab

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 25)

Figura 25 Discontinuidad presente en la señal de prueba (s).

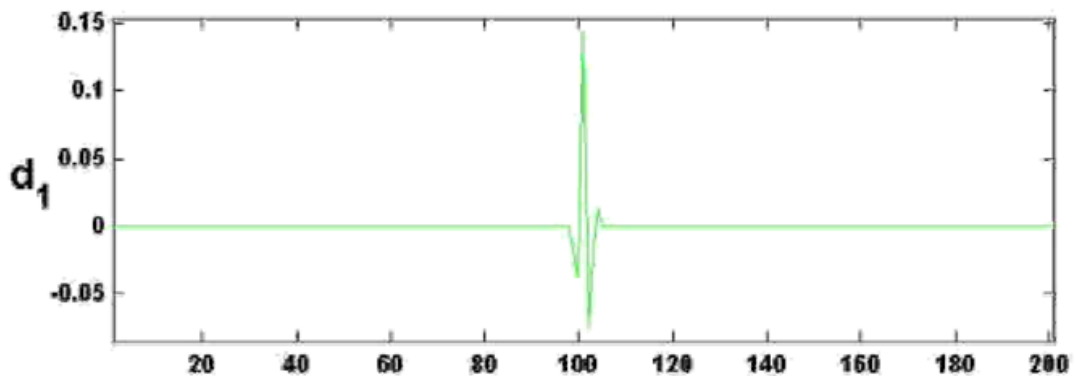


Elaborado por: Salazar, H. (2015)

Fuente: MatLab

Si se realiza 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 26 y 27)

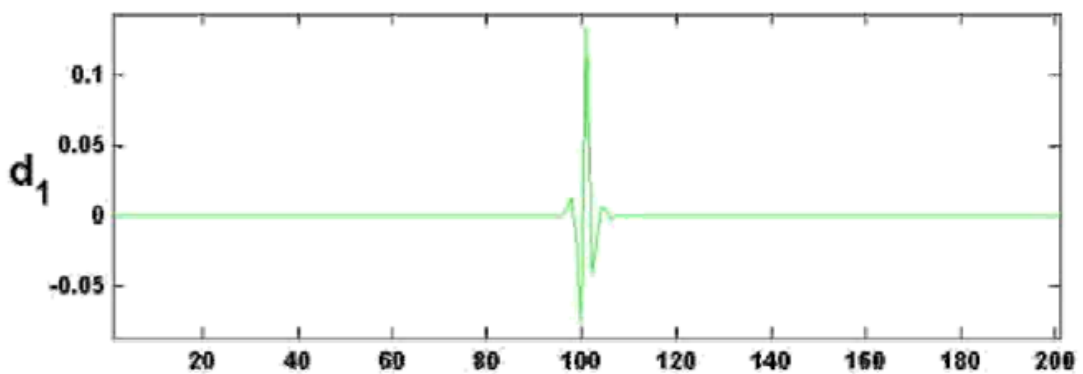
Figura 26 Primer nivel de descomposición (d_1) utilizando Daubechies (db2)



Elaborado por: Salazar, H. (2015)

Fuente: MatLab

Figura 27 Primer nivel de descomposición (d_1) utilizando Daubechies (db3)



Elaborado por: Salazar, H. (2015)

Fuente: MatLab

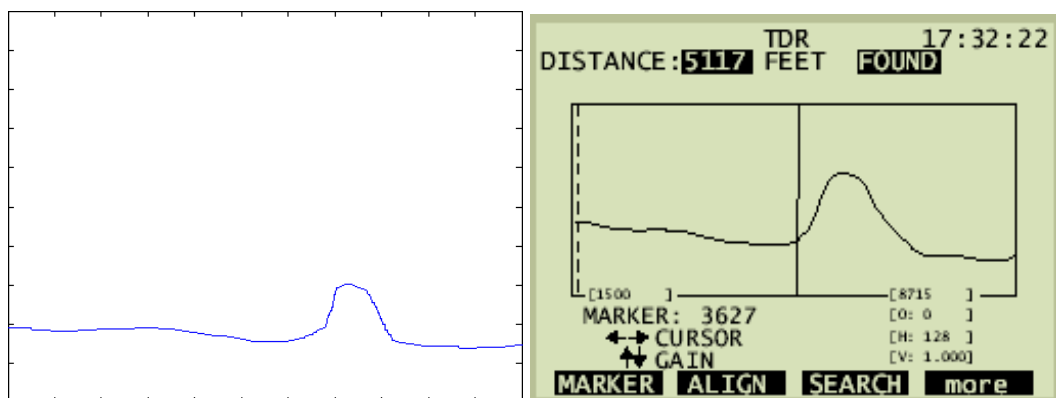
A partir de observar los resultados obtenidos puede concluirse que, en efecto, la función Wavelet de Daubechies también detecta la discontinuidad presente en la señal de prueba (S). Nótese que la función Wavelet de Haar comienza justo donde se encuentra el punto de cambio de nivel en la señal, exactamente en el instante de tiempo 100 (ver Figura 24), 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.

4.2.2 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 28; 29; 30) 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.

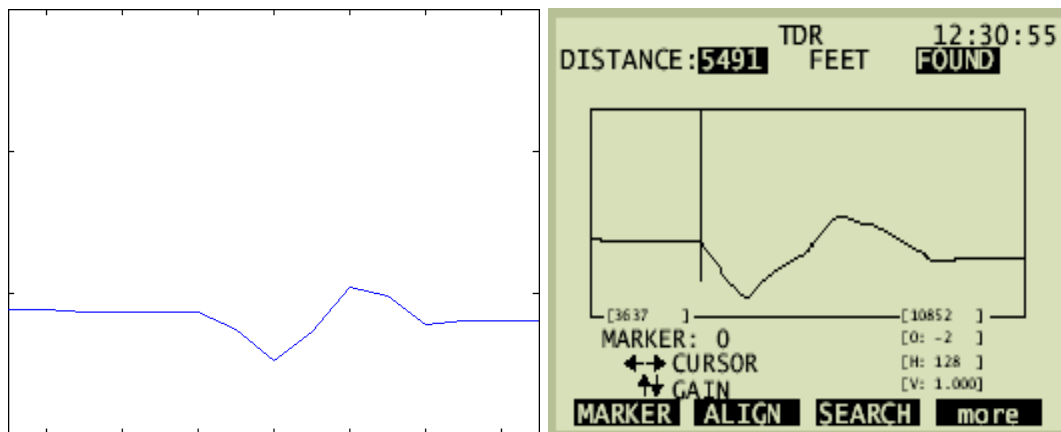
Figura 28 Detección de bobina de carga



Elaborado por: Salazar, H. (2015)

Fuente: MatLab y Equipo TDR

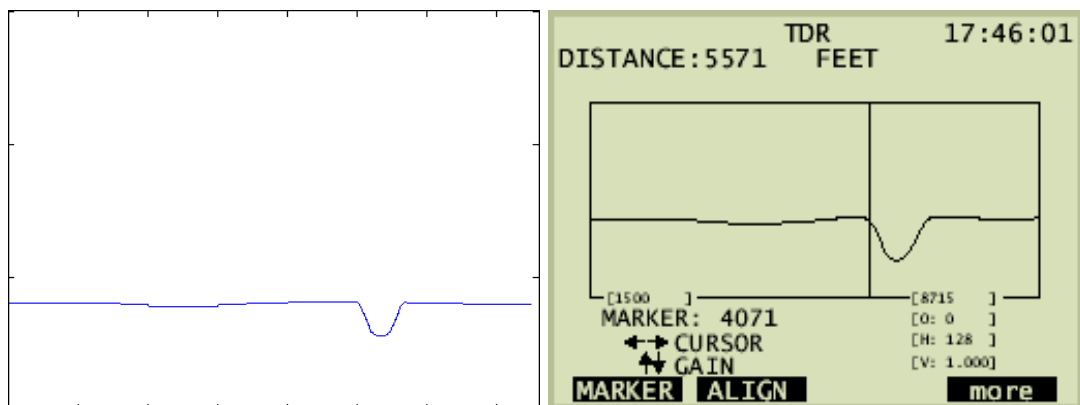
Figura 29 Detección de tap puentado



Elaborado por: Salazar, H. (2015)

Fuente: MatLab y Equipo TDR

Figura 30 Detección de corto



Elaborado por: Salazar, H. (2015)

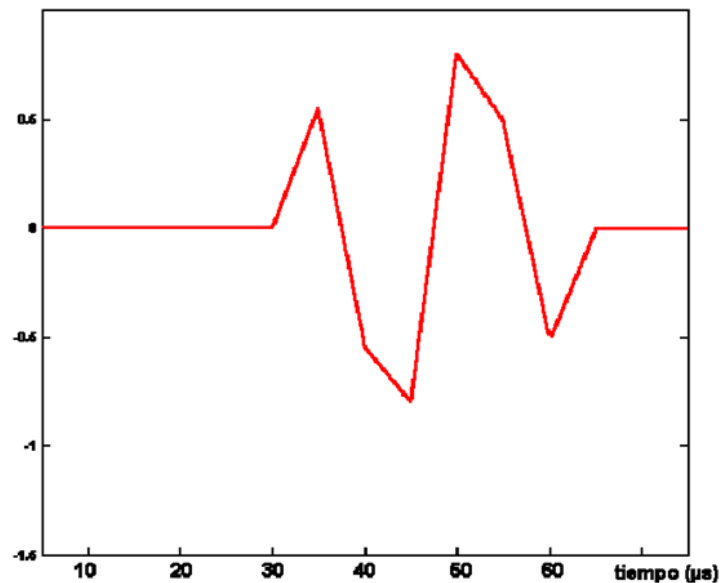
Fuente: MatLab y Equipo TDR

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 31)

Figura 31 Detección de tap puentado



Elaborado por: Salazar, H. (2015)

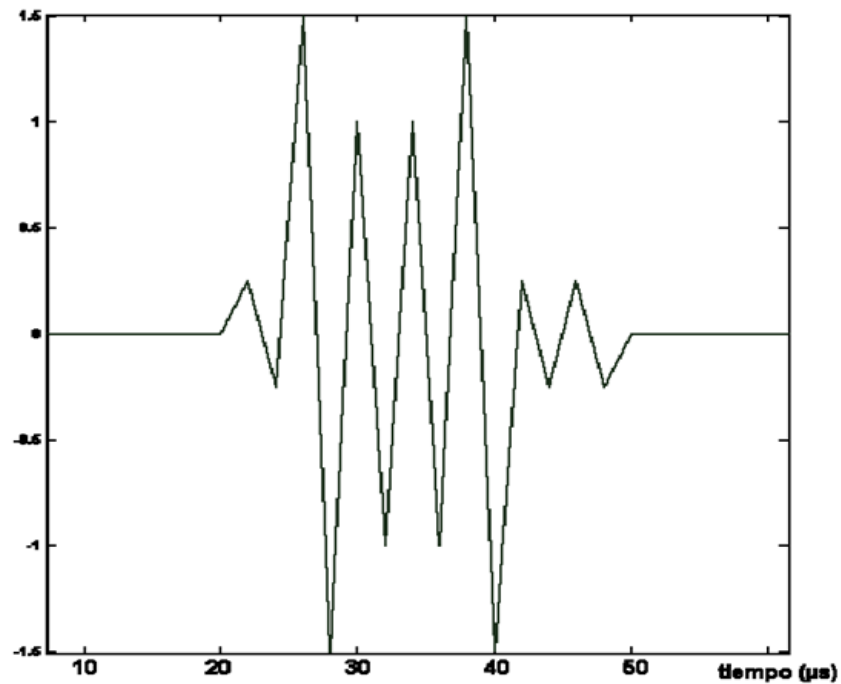
Fuente: MatLab

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 32)

Figura 32 Detección de corto



Elaborado por: Salazar, H. (2015)

Fuente: MatLab

Aquí se observa cómo se detecta el punto de discontinuidad exactamente a los $20 \mu s$, 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 puenteado.

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

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

$$D = ?$$

Dónde:

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

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

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

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

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

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

De manera generar se puede apreciar con la función de Wavelet Haar es capaz de obtener resultados similares en cuanto a los puntos de discontinuidad a los que se obtiene utilizando medidores especializados.

De esta forma queda validada la hipótesis de la presente investigación que se sustenta sobre el hecho de que las técnicas del procesamiento digital de señales identifican de manera eficiente algunos de los parámetros del par de cobre.

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 Conclusiones

Con la realización de este trabajo ha quedado cumplido de forma íntegra el objetivo fundamental: “Desarrollar un método que Integre diferentes procedimientos de medición del par de cobre con técnicas novedosas de procesamiento digital de señales”, 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.

Se identificaron los parámetros que mayor influencia tienen a la hora de pre clasificar los pares de cobre, dentro de estos esta: Voltaje DC y AC inducido en la línea, resistencia del lazo de abonado, capacitancia y aislamiento entre pares, longitud del enlace, pérdidas por inserción (a 135Ω), atenuación a 150 kHz (a 135Ω).

Se presentó una metodología de medición en función de todos los parámetros que deber de ser medidos para garantizar un mejor servicio, además se probó dicha metodología en un escenario de laboratorio y se pudo apreciar la calidad de las mediciones.

Se obtuvo un modelo basado en la función Wavelet de Haar para el procesamiento digital de señales que logra obtener resultados similares a los resultados reales para los parámetros probados. Esta función encuentra los puntos de discontinuidad de manera exacta, obteniéndose errores muy pequeños.

5.2 Recomendaciones

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.

CAPÍTULO VI

BIBLIOGRAFÍA

6.1 Literatura Citada

- Bernal, C. A. (2010). Metodología de la investigación. Colombia: PEARSON EDUCACION.
- Consultronics Limited. (2003a). DSL Service Verification Test Set (Colt-450).
Obtenido de http://www.consultronics.com/brochure/colt_450.pdf
- Consultronics Limited. (2003b). SHDSL Service Verification Test Set (Colt-250s). Obtenido de
<http://www.consultronics.com/brochure/CLTS6312.pdf>
- Consultronics Limited. (2003c). CableSHARKplus. A complete testing solution.
Obtenido de http://www.consultronics.com/cableshark_details.htm
- Consultronics Limited. (2003d). Auto-TIMS III. Automatic Dataline Analyzer.
Obtenido de http://www.consultronics.com/at3_details.htm
- Cornet Technology, I. (2000). Digital Subscriber Line(DSL) Testing. Obtenido de
<http://www.iec.org>
- Dunford C, R. F. (2002). Consultronics Limited. Obtenido de xDSL service testing: <https://www.consultronics.com>
- Garcia, F. (2003). Alcatel. Pruebas en xDSL. España. Obtenido de
http://www.coitt.es/antena/pdf/152/09_Internet.pdf
- Graps, A. (1995). "An introduction to Wavelets", IEEE Computational Science and Engineering. Obtenido de
<http://vosvrdaweb.utia.cas.cz/cykly/IEEEwavelet.pdf>
- Hernando, J. M. (1990). Sistemas de Telecomunicación. Transmision en línea. Publicaciones ETSI Telecomunicación.
- Minnesota Mining & Manufacturing Company (3M). (1993). Dynatel 900 Series Test Set. Operators Manual. Obtenido de
https://solutions.3m.com/3MContentRetrievalAPI/BlobServlet?locale=en_US&Imd=1145510120000&assetId=1114289522828&assetType=MMM_image&blobAttribute=ImageFile
- Namakforoosh, M. N. (2005). Metodología de la Investigacion. En Namkforoosh, Metodología de la Investigacion (pág. 598). Mexico: Limusa.

- Omnigor. (2002). Test & Measurements Systems: Sunsent xDSL Analyzer. Obtenido de http://www.omnigor.com/docs/Sunset_xDSL_Full.pdf
- Polo, I. M. (2000). Sunrise Telecom INC. Obtenido de Pruebas en XDSL desde un punto de vista práctico: http://www.sunrisetelecom.com/espanol/presentacion_pruebas_en_xdsl.pdf
- Sunrise Telecom INC. (1997). Pruebas en xDSL. Obtenido de <http://www.sunrisetelecom.com>
- Sunrise Telecom INC. (2001a). Sunset xDSL. Prequalifying the Cooper Plant for DSL. Obtenido de <http://www.sunrisetelecom.com>
- Sunrise Telecom INC. (2001b). SunSet xDSL/MTT. Obtenido de <http://www.sunrisetelecom.com/xdsl/xdslhome.shtml>
- Sunrise Telecom INC. (2002). SunSet xDSL. Guía de referencia rápida. Obtenido de <http://sunrisetelecom.com>
- Sweeney, N. (1996).). "Wavelet transform represent signal in terms of both time and scale",. Obtenido de http://personal.ce.umn.edu/~foufoula/papers/efg_022.pdf
- The Math Works INC. (2000). Wavelet Toolbox (for use with Matlab). User's Guide. Obtenido de www.mathworks.com/help/pdf_doc/wavelet/wavelet_ug.pdf
- Triohmtec S.A. (2003a). Catálogo General de Productos. Obtenido de <http://www.triohmtec.com/index.shtml/catalogo>
- Triohmtec S.A. (2003b). PUMA 4000. Analizador de redes de datos y telecomunicaciones. Obtenido de <http://www.triohmtec.com/medicion.shtml>
- Tropeano, F. (2002). Mediciones sobre redes de comunicaciones de datos. Obtenido de <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. Obtenido de <http://www.itu.int/rec/T-REC-M.1020-198811-S/es>

- UIT-T. (1998). Recomendación G.991.1 Transceptores de línea de abonado digital de alta velocidad binaria (HDSL). Obtenido de <https://www.itu.int/rec/T-REC-G.991.1-199810-I/es>
- UIT-T. (1999a). Recomendación G.995.1 Visión de conjunto de las Recomendaciones sobre línea de abonado digital (DSL). Obtenido de <http://www.itu.int/rec/T-REC-G.995.1/es>
- UIT-T. (1999b). Recomendación G.996.1 Procedimientos de prueba para transceptores de línea de abonado digital (DSL). Obtenido de <http://www.itu.int/rec/T-REC-G.996.1/es>
- UIT-T. (2001a). Recomendación G.991.2 Transceptores de línea de abonado digital de alta velocidad, de un solo par (SHDSL). Obtenido de <http://www.itu.int/rec/T-REC-G.991.2/es>
- UIT-T. (2001b). Comisión de Estudios 2: Informe sobre los sistemas xDSL. Obtenido de https://www.itu.int/ITU-D/study_groups/SGP.../082R2V2S1.doc

CAPÍTULO VII

ANEXOS

Anexo 1 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.

Dónde:

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)

Dónde:

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 (fine, 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 8), se obtienen los siguientes resultados:

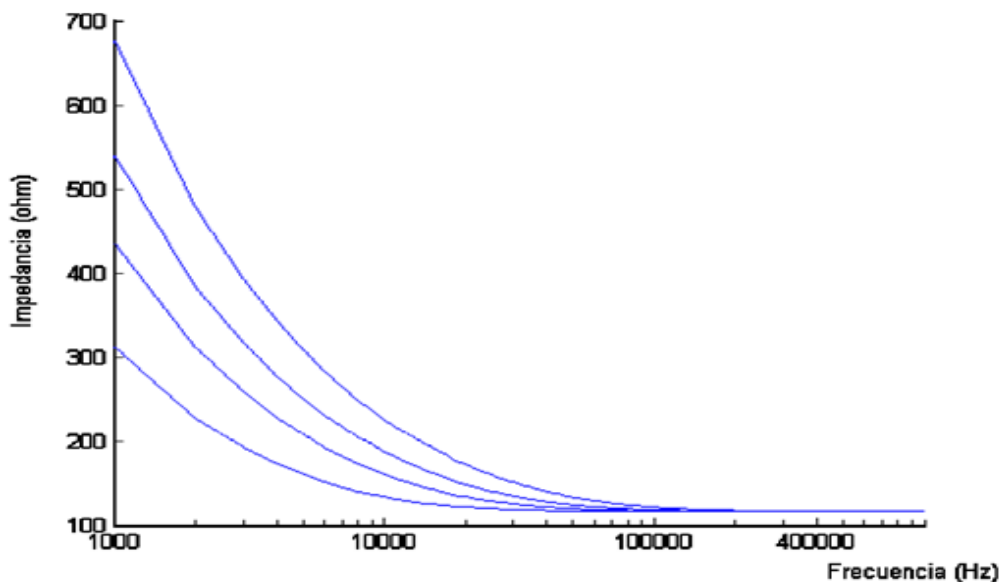
Tabla 8 Parámetros primarios del cable.

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

Elaborado por: Salazar, H. (2015)

Fuente: La Investigación

Figura 33 Impedancia característica en pares de cobre



Elaborado por: Salazar, H. (2015)

Fuente: MatLab

En la gráfica se observa el comportamiento del valor de la impedancia característica (Z_0) en función de la frecuencia, para cables de diferentes

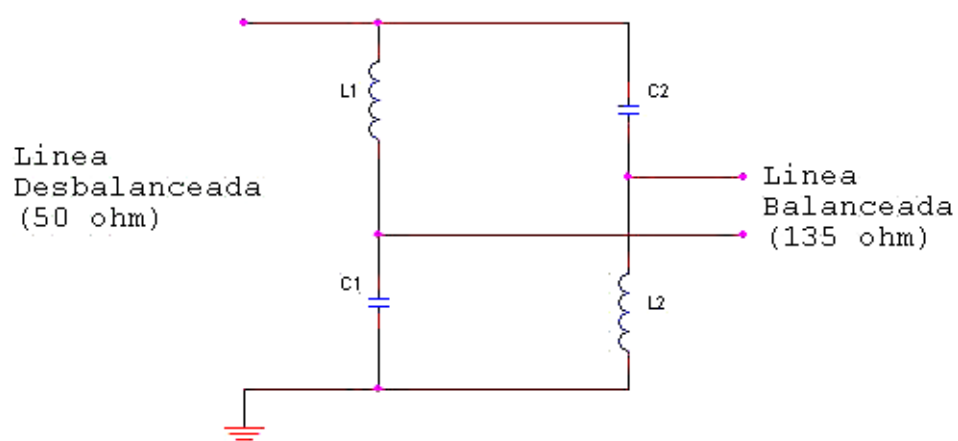
calibres. Se ha realizado un barrido en todo el ancho de banda de trabajo de HDSL (hasta 400 kHz). Puede apreciarse como para las altas frecuencias, este valor tiende a hacerse constante e igual a 120Ω .

Anexo 2 Diseño del Balun 50/135 Ω

Variados 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 34)

Figura 34 Esquema del balun



Elaborado por: Salazar, H. (2015)

Fuente: MatLab

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

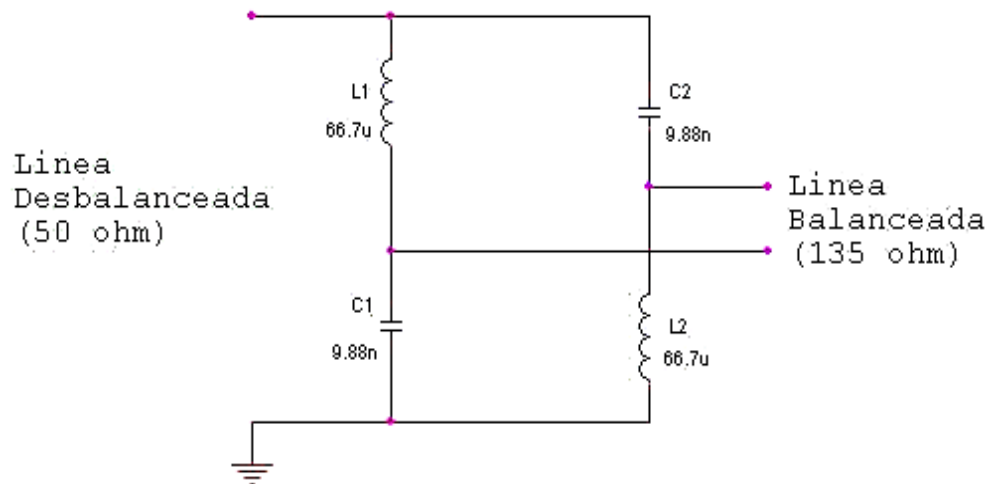
$$L = \frac{\sqrt{R \cdot Z_0}}{2\pi f} \qquad C = \frac{1}{2\pi f \sqrt{R \cdot Z_0}}$$

A continuación se presenta el diseño de un balun 50/135 Ω (ver Figura 35) 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 35 Diseño del balun 50/135 Ω



Elaborado por: Salazar, H. (2015)

Fuente: MatLab

Simulación del balun 50/135 Ω

Datos utilizados:

$$R1 = 50 \Omega$$

$$R2 = 135 \Omega$$

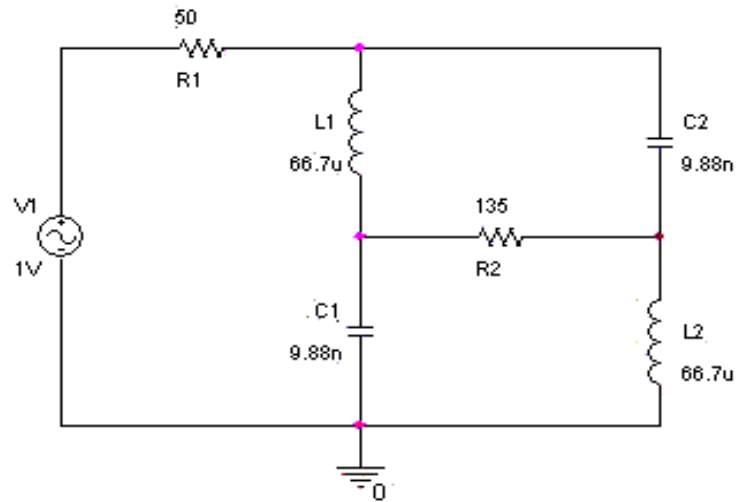
$$L = 66.7 \mu\text{H}$$

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

$V1 = 1V$ (p-p)

Frec = 196 kHz

Figura 36 Esquema del circuito utilizado en la simulación

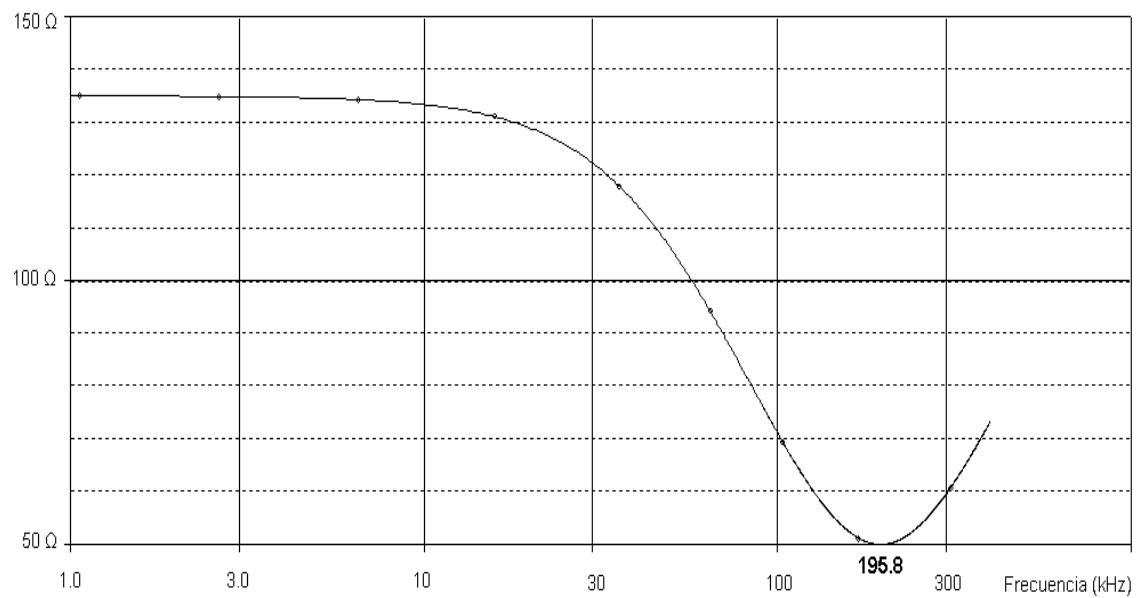


Elaborado por: Salazar, H. (2015)

Fuente: MatLab

Resultados obtenidos en la simulación

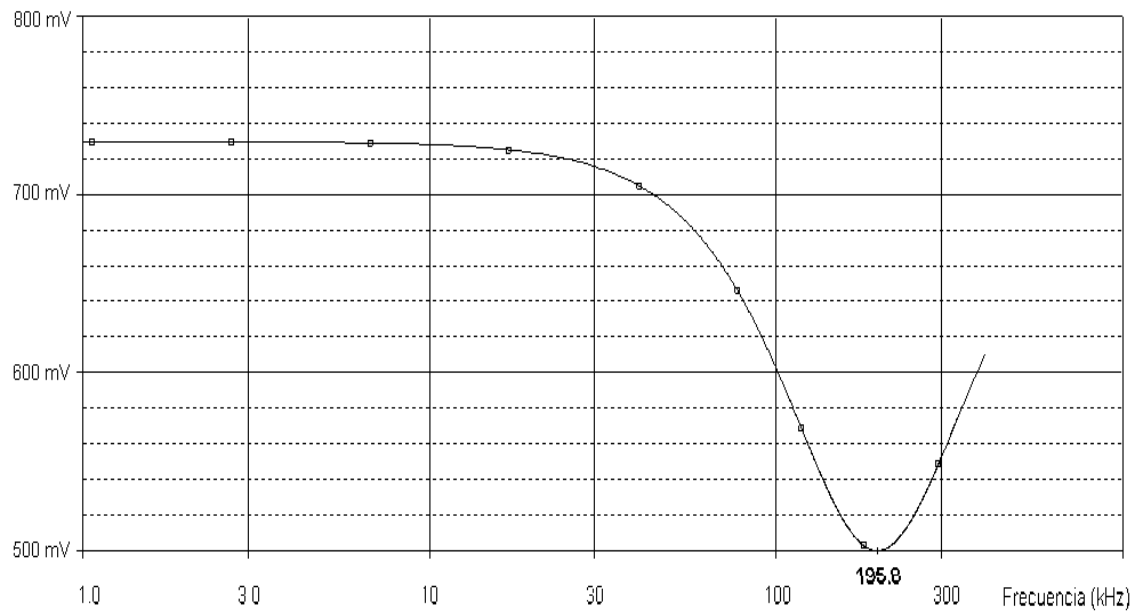
Figura 37 Impedancia de entrada vs frecuencia.



Elaborado por: Salazar, H. (2015)

Fuente: MatLab

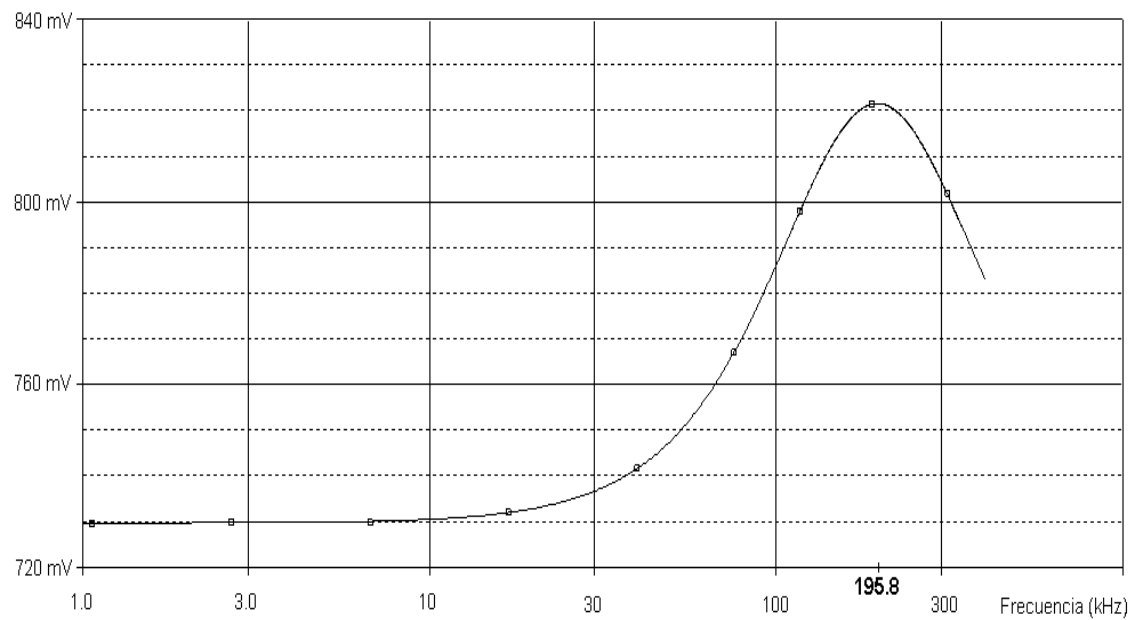
Figura 38 Amplitud del voltaje de entrada vs. Frecuencia.



Elaborado por: Salazar, H. (2015)

Fuente: MatLab

Figura 39 Amplitud del voltaje de salida vs. Frecuencia.



Elaborado por: Salazar, H. (2015)

Fuente: MatLab

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 μ H

C = 10 nF (valor comercial)

V1 = 1V (p-p)

Frec = 196 kHz

Nota: El montaje real fue realizado según Figura 35

Resultados obtenidos a partir del montaje real

Tabla 9 Resultados obtenidos a partir de mediciones reales.

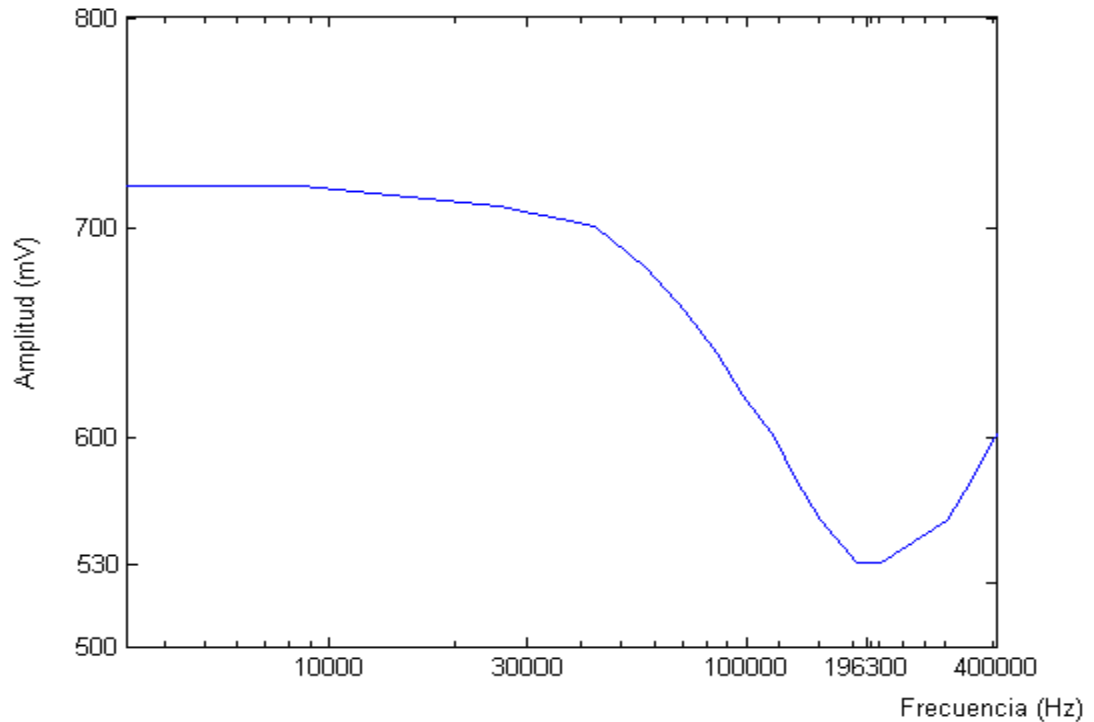
Amplitud (V)	Frecuencia (kHz)	Amplitud (V)	Frecuencia (kHz)
0.74	3.25	0.58	131.2
0.74	8.56	0.56	151.6
0.72	25.5	0.54	184.3
0.70	43.2	0.53	196.3
0.68	57.9	0.54	212.3
0.66	70.9	0.56	303.2
0.64	85.0	0.58	351.2
0.62	98.6	0.60	397.2
0.60	116.7	0.62	451.4

Elaborado por: Salazar, H. (2015)

Fuente: La Investigación

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

Figura 40 Amplitud del voltaje de entrada vs frecuencia.

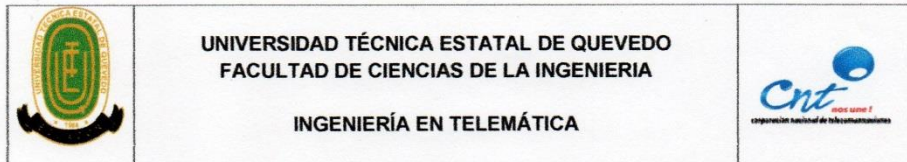


Elaborado por: Salazar, H. (2015)

Fuente: MatLab

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 38), 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 de cobre.

Anexo 3 Visita técnica a la Corporación Nacional de Telecomunicaciones



AGENDA DE VISITA

Nombre de Tutor: PhD. Amilkar Puris Cáceres

Nombre del Formador: Ing. Roberto Narváez

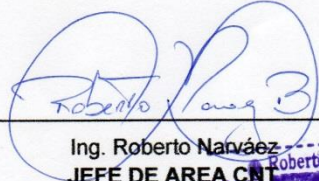
Visitante: Homero Maximiliano Salazar Guano

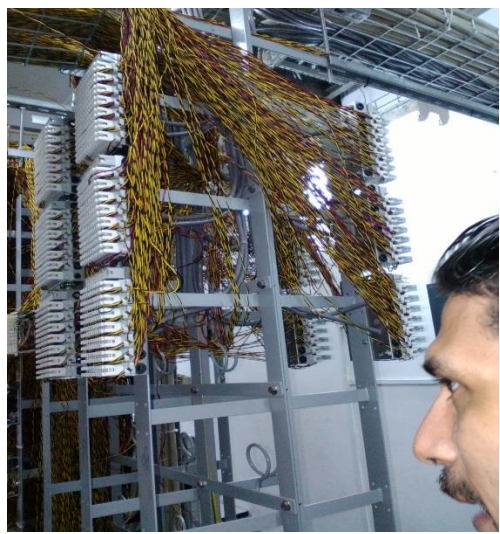
Empresa: Corporación Nacional de Telecomunicaciones CNT

Fecha de visita: 18 - 19/ 02/ 2015

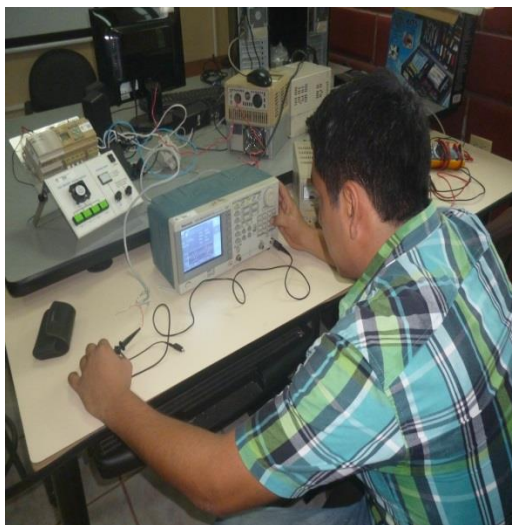
OBJETIVOS PREVISTOS PARA LA VISITA:

1. Dinamizar los procesos de instalación del cableado de la Red Telefónica en la Corporación Nacional de Telecomunicaciones con las estrategias que contribuya al mejoramiento de la calidad del bucle de abonado.
2. Fortalecer los conocimientos sobre la precalificación del cableado en las tecnologías XDSL que tiene la empresa CNT, evidenciar la articulación de las estrategias, materiales y equipos que se utilizan.
3. Identificar los parámetros de medición sobre el par de cobre que se realiza en la empresa con el fin de determinar cuáles son los más relevantes y su grado de importancia, que garanticen los niveles requeridos para ofrecer servicios de tecnologías XDSL.


Ing. Roberto Narváez
JEFE DE AREA CNT
Roberto Narvaez B.
QUEVEDO
TEL: 2755-390 086473132



Anexo 4 Mediciones realizadas en laboratorio de la UTEQ.



GLOSARIO DE TÉRMINOS

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)

CNT: Corporación Nacional de Telecomunicaciones

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)

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

FEXT: Teldiafonía 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)