



UNIVERSIDAD CENTRAL "MARTA ABREU" DE LAS VILLAS
VERITATE SOLA NOBIS IMPONETUR VIRILISTOGA, 1948

Facultad de Ingeniería Eléctrica

Departamento de Telecomunicaciones y Electrónica

TRABAJO DE DIPLOMA

MEDICIONES EN PARES DE COBRE CON EL DYNATEL 965 AMS

Autor: Yadian Molina Perdomo

Tutor: Ing. Frank Pérez Díaz

Consultante: MSc. Erick Ortiz Guerra

Santa Clara

2014

“Año 56 de la Revolución”

CON SU ENTENEDORABLE TRANSPARENCIA



Universidad Central “Marta Abreu” de Las Villas
Facultad de Ingeniería Eléctrica
Departamento de Telecomunicaciones y Electrónica



MEDICIONES EN PARES DE COBRE CON EL DYNATEL 965 AMS

Tesis presentada en opción al Título Académico

Autor: Yadian Molina Perdomo

E-mail: ymperdomo@uclv.edu.cu

Tutor: Ing. Frank Pérez Díaz

E-mail: frank.perez@vcl.sertod.cu

Consultante: MSc. Erick Ortiz Guerra

E-mail: erick@uclv.edu.cu

Santa Clara

2014

“Año 56 de la Revolución”



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

Firma del Autor

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

Firma del Tutor

Firma del Jefe de Departamento
donde se defiende el trabajo

Firma del Responsable de
Información Científico-Técnica

PENSAMIENTO

“La diferencia entre lo posible y lo imposible está en la determinación de la persona”.

Tom Lasorda.

DEDICATORIA

A mi familia en general por su apoyo incondicional en todas las etapas de mi vida.

A mis padres por ser la guía en mi vida y señalarme el sendero correcto a seguir.

A mi hermana por todo su cariño.

A mis abuelos paternos Cuca y el Luisi por su dedicación y comprensión durante todos estos años de estudio.

A mis abuelos maternos Cira y Félix que aunque no se encuentran físicamente conmigo son parte importante en todos mis logros.

A mis tíos Pavel y Lourdes, por sacarme de los apuros y preocuparse siempre por mí a pesar de la lejanía.

AGRADECIMIENTOS

A mi tutor Frank por su apoyo, dedicación y ayuda en todas las dudas surgidas durante la realización de este trabajo.

A Erik por los excelentes consejos brindados que sirvieron de guía en la elaboración de este proyecto.

A todos mis amigos del pre José, Roberto, Amaury, Alejandro, Yuniet, Josema, Parrilla y el Luiso por los buenos y malos momentos que vivimos junto.

A mis amigos de la universidad Nadier y Yuri quienes me acompañaron durante estos cinco años de carrera.

Gracias infinitamente.

TAREA TÉCNICA

Para confeccionar el presente trabajo y alcanzar los resultados esperados, fue necesario seguir tareas técnicas que constituyen una guía para llegar al informe final. Ellas fueron:

- ✓ Revisión bibliográfica de las características generales del par de cobre como medio de transmisión.
- ✓ Descripción de las mediciones que se implementan para calificar un par de cobre para los servicios de telefonía tradicional y HDSL.
- ✓ Identificación de las mediciones descritas previamente que posee en su repertorio el instrumento de medición Dynatel 965 AMS.
- ✓ Ejecución de mediciones a un grupo de pares de cobre en la empresa SERTOD con el empleo del Dynatel 965 AMS.
- ✓ Análisis de los resultados a partir de los valores obtenidos en las mediciones.

Firma del Autor

Firma del Tutor

RESUMEN

La empresa SERTOD (Servicios de Telecomunicaciones a los Órganos de la Defensa) está representada en todo el territorio nacional y tiene como función primaria la prestación de servicios de telefonía tradicional y HDSL a sus clientes mediante una extensa red de cobre. Con la realización de este trabajo se describen las características generales de los pares de cobre, siendo el medio físico por el que se implementan los servicios antes mencionados. Se definen un conjunto de mediciones y los valores óptimos a alcanzar en cada una ellas con el objetivo de elegir los pares aptos para soportar los servicios de telefonía tradicional y HDSL. Se realiza una descripción general del instrumento de medición Dynatel 965 AMS adquirido recientemente por la empresa SERTOD, destacándose las pruebas que son realizables con este dispositivo. Se analizan una serie de mediciones implementadas a 30 pares de reserva pertenecientes al cliente principal de la empresa SERTOD seleccionando los pares de cobre aptos para soportar los servicios de telefonía tradicional y HDSL.

TABLA DE CONTENIDOS

PENSAMIENTO.....	i
DEDICATORIA.....	ii
TAREA TÉCNICA.....	iv
RESUMEN.....	v
INTRODUCCIÓN.....	1
CAPÍTULO 1. CARACTERÍSTICAS GENERALES DE LOS PARES DE COBRE.....	5
1.1 Ventajas y desventajas del par de cobre.....	6
1.2 Constitución física de los cables telefónicos multipares.....	7
1.2.1 Conductores	7
1.2.2 Aislante	8
1.2.3 Cubierta del cable	8
1.3 Parámetros primarios del par de cobre.....	9
1.4 Parámetros secundarios del par de cobre.....	13
1.4.1 Constante de propagación.....	13
1.4.2 Impedancia característica.....	14
1.5 Condición de Heaviside.....	15
1.6 Parámetros que afectan la transmisión en el par de cobre	16
1.6.1 Ruidos	16

1.6.2 Diafonía	17
1.7 Conclusiones Parciales	18
CAPÍTULO 2. MEDICIONES EN PARES DE COBRE.....	20
2.1 Servicio de telefonía tradicional	20
2.2 Mediciones para el soporte de servicio de telefonía tradicional	22
2.2.1 Voltaje DC	22
2.2.2 Voltaje AC	22
2.2.3 Capacitancia.....	23
2.2.4 Resistencia de aislamiento	23
2.2.5 Balance longitudinal de impedancias	24
2.3 Familia xDSL.....	24
2.4 Mediciones para el soporte de servicio HDSL	26
2.4.1 Detección de bobinas de carga.....	28
2.4.2 Resistencia de lazo.....	29
2.4.3 Detección de derivaciones en puente.....	30
2.4.4 Paradiafonía	31
2.4.5 Balance longitudinal de impedancias	32
2.4.6 Ruido impulsivo.....	32
2.4.7 Ruido de fondo.....	32
2.4.8 Atenuación a 150 KHz.....	33
2.4.9 Tasa de error de bits (BER)	34
2.5 Conclusiones Parciales	34
CAPÍTULO 3. IMPLEMENTACIÓN DE MEDICIONES CON EL DYNATEL 965	
AMS.....	36
3.1 Instrumentos de medición integrados	36

3.2 Descripción del Dynatel 965 AMS	38
3.3 Mediciones para servicio de telefonía tradicional con el Dynatel 965 AMS	39
3.4 Mediciones para servicio HDSL con el Dynatel 965 AMS	40
3.5 Pruebas complementarias	42
3.6 Pruebas a implementar con el Dynatel 965 AMS	43
3.7 Mediciones Prácticas	44
3.8 Conclusiones Parciales	48
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	49
Conclusiones	49
Recomendaciones	50
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	51
ANEXOS	54
Anexo I Código de colores	54
Anexo II Coeficientes para el cálculo de resistencia y conductancia	55
Anexo III Dynatel 965 AMS	56

INTRODUCCIÓN

El primer medio empleado para la transmisión de señales eléctricas en líneas telefónicas por la compañía *Western Union* en 1876, utilizaba un solo hilo de cobre por el que se enviaba tanto la señalización como el audio, mientras la tierra cumplía la función de retorno de corriente.

Posteriormente es creado el par de cobre por Alexander Graham Bell en 1881 con el uso de 2 hilos en líneas aéreas. El creciente uso de la electricidad trajo como consecuencia un aumento en la interferencia, por lo que se ideó un método denominado transposición de conductores mediante el cual los dos hilos cambiaban de posición con el objetivo de recibir similares interferencias electromagnéticas y cancelarlas. De esta manera surge el par de cobre trenzado. En 1887 es creado el primer cable telefónico multipar por la compañía estadounidense *Western Electric Corp* que transportaba en su núcleo varios pares trenzados (Orellana, 2008).

Dado el creciente auge de la transmisión de señales a frecuencias superiores emerge con este fin en la década de 1930 a 1940 el cable coaxial y posteriormente la fibra óptica superando al coaxial en distancias y la transmisión de señales a frecuencias superiores. Actualmente a pesar del empleo de estos medios de transmisión con mayores prestaciones que el par de cobre en cuanto a ancho de banda y velocidad de transmisión, este último es aún muy utilizado a nivel mundial en la transmisión de señales analógicas (servicio de telefonía tradicional) y digitales a partir de la inserción de la familia de tecnologías xDSL (Línea de abonado digital).

La técnica DSL toma la ventaja que un par de cobre en buen estado presenta una respuesta de frecuencia tal que le permite transmitir a frecuencias superiores en el orden de las unidades de MHz, para emplearlas en servicios de datos (Grassi, 2011). No obstante, todos

los pares no pueden ser empleados para el soporte de tecnologías xDSL, ni incluso para la implementación del servicio tradicional telefónico. La selección de los pares está condicionada por pruebas que permiten caracterizar a los mismos atendiendo a una serie de parámetros preestablecidos que definen su funcionamiento de forma óptima (Tenorio, 2004).

En nuestro país existen empresas nacionales que brindan servicios de telefonía tradicional y xDSL, específicamente HDSL la cual constituye la variante DSL de mayor penetración en Cuba. Una de estas entidades es la empresa SERTOD (Servicios de Telecomunicaciones a los Órganos de la Defensa) que está representada en todas las regiones del país y sus acciones principales están encaminadas al mantenimiento y explotación de una extensa red de cobre existente en todo el territorio nacional. Desde su fundación en 2003 la empresa dirige sus esfuerzos a mejorar la estabilidad de su red de cobre, para esto provee a su personal técnico con las herramientas necesarias con el propósito de ganar en profesionalidad en sus actividades. Con este fin la empresa adquirió un moderno instrumento de medición denominado Dynatel 965 AMS.

Sin embargo, el personal técnico de la entidad no cuenta con la experiencia ni los conocimientos necesarios para lograr el máximo aprovechamiento de todas las potencialidades que brinda este dispositivo en las mediciones de redes de cobre. Además no existe bibliografía especializada acerca del tema que posibilite establecer los parámetros a medir en los pares de cobre para garantizar el soporte de los servicios de telefonía tradicional y HDSL.

Por las razones mostradas se expone como **problema científico**: ¿Cuáles son los parámetros medibles en pares de cobre para soportar servicios de telefonía tradicional y HDSL que pueden implementarse con el Dynatel 965 AMS?

Esta investigación tiene como **objeto de estudio** los pares de cobre y las mediciones que se implementan en los mismos. El **campo de acción** lo constituye la realización de mediciones para servicios de telefonía tradicional y HDSL con el empleo del instrumento de medición Dynatel 965 AMS.

Por tanto se propone como **objetivo general**: Definir los parámetros a medir en pares de cobre con el Dynatel 965 AMS para el soporte de los servicios de telefonía tradicional y HDSL.

A partir del objetivo general se derivan los siguientes **objetivos específicos**:

1. Describir las características generales de los pares de cobre.
2. Identificar qué parámetros son empleados con el propósito de evaluar la calidad en los pares de cobre para los servicios de telefonía tradicional y HDSL.
3. Especificar los valores óptimos de los parámetros establecidos para garantizar el soporte por parte de los pares de cobre de los servicios de telefonía tradicional y HDSL.
4. Identificar qué parámetros establecidos pueden ser medidos con el instrumento de medición Dynatel 965 AMS.
5. Seleccionar los pares aptos para soportar los servicios de telefonía tradicional y HDSL a partir de mediciones realizadas a un grupo de pares de reserva.

De los objetivos específicos se derivan las interrogantes científicas siguientes:

1. ¿Cuáles son las características generales que describen a los pares de cobre?
2. ¿Qué parámetros son establecidos para garantizar un correcto funcionamiento en el par de cobre de los servicios de telefonía tradicional y HDSL?
3. ¿Cuáles son los valores óptimos que deben poseer los parámetros establecidos en los pares de cobre para soportar los servicios de telefonía tradicional y HDSL?
4. ¿Qué mediciones pueden ser realizadas con el Dynatel 965 AMS?
5. ¿Qué pares de reserva resultaron aptos para soportar los servicios de telefonía tradicional y HDSL?

El trabajo diploma está estructurado de la forma siguiente: introducción, desarrollo con tres capítulos, conclusiones, recomendaciones, referencias bibliográficas y anexos.

El primer capítulo se dedica a establecer las características generales de los pares de cobre. Se abordan los parámetros primarios y secundarios que caracterizan el par de cobre como

línea de transmisión, así como se caracterizan los fenómenos que degradan las transmisiones en los pares de cobre.

El segundo capítulo está dedicado a definir las mediciones que se implementan en los pares de cobre para garantizar el soporte de los servicios de telefonía tradicional y HDSL. Se establecen los valores óptimos que deben obtenerse en cada una de estas mediciones.

En el tercer capítulo se dedica de manera general al estudio de las mediciones en pares de cobre con el instrumento de medición Dynatel 965 AMS. Se mencionan algunas peculiaridades de instrumentos empleados a nivel mundial para las mediciones en redes de cobre. Se realiza un análisis de mediciones efectuadas a un grupo de 30 pares de reserva con el objetivo de seleccionar los pares aptos para soportar servicios de telefonía tradicional y HDSL.

CAPÍTULO 1. CARACTERÍSTICAS GENERALES DE LOS PARES DE COBRE

Los sistemas de telecomunicaciones tienen como principal objetivo llevar a cabo la comunicación entre la fuente donde se genera el mensaje y el destino del mismo. Todo esto hace necesario la existencia de un medio por el cual pueda transmitirse y conectarse a ambos extremos. Los medios de transmisión se clasifican en (Karakash, 1950, Pozar, 2004):

- **Guiados:** Cuando existe una línea de transmisión que comunica a ambos elementos. Las ondas son forzadas a seguir a lo largo de superficies conductoras o dieléctricas.
- **No Guiados:** Medio libre que permite la propagación de la onda electromagnética en todas las direcciones.

Las líneas de transmisión son estructuras capaces de confinar energía electromagnética en una determinada región del espacio limitada por el medio físico que constituye la propia línea, a diferencia de las ondas que se propagan en el aire, sin otra barrera que los obstáculos que encuentran en su camino (Vega, 2013). En función del medio empleado las líneas de transmisión se pueden distinguir en (Karakash, 1950, Jiménez, 2010) :

- **Líneas de transmisión metálicas:** Formadas por dos conductores que están aislados a través de un dieléctrico (par de cobre, cable coaxial).
- **Líneas de transmisión dieléctricas:** Formadas por dos dieléctricos diferentes pero con un mismo eje (fibra óptica).

Las líneas de transmisión metálicas formadas por dos conductores aislados a través de un dieléctrico se clasifican en (Sanders, 1978, Magnusson, 1970):

- **Líneas balanceadas:** Son aquellas en que los voltajes de los conductores son simétricos respecto a tierra, por ejemplo los pares de cobre.

- **Líneas no balanceadas:** En este tipo de líneas, uno de los conductores está conectado a tierra, el ejemplo más predominante es el cable coaxial.

En las siguientes secciones se hará un estudio de las principales características de los sistemas balanceados, en este caso el par de cobre, donde se mencionan ventajas y desventajas con respecto a la fibra óptica, se enfatiza en sus parámetros primarios, secundarios, así como los fenómenos que degradan su funcionamiento. Además se destacan los principales componentes que conforman los cables multipares de cobre.

1.1 Ventajas y desventajas del par de cobre

La red telefónica básica fue creada con el propósito de establecer las comunicaciones de voz a distancia. Esta se divide en dos partes fundamentales de acuerdo a los puntos que interconecta (Grassi, 2011, Joskowicz, 2013):

- **Red de interconexión:** establece la conexión entre dos centrales telefónicas.
- **Red de acceso:** interconecta la central local con el abonado.

La red de acceso proporciona el medio físico (par de cobre, fibra óptica, radioenlace) que conecta el terminal telefónico del usuario con la Central Local de la cual recibe el servicio telefónico. En la actualidad a pesar de la penetración de otros medios de transmisión con mayores prestaciones en cuanto al ancho de banda como la fibra óptica utilizada fundamentalmente en la transmisión de datos, el par de cobre aún es el medio de transmisión de mayor uso para la transmisión de señales en la banda de voz (Pérez, 2010). En los últimos años, el par de cobre ha cobrado gran importancia a partir de la inserción de la familia de tecnologías xDSL (*Digital Subscriber Line*).

Estas tecnologías presentan la ventaja de utilizar pares de cobre para la transmisión de datos con el objetivo de satisfacer la creciente demanda de velocidad por parte de los usuarios y reducir los costos y tiempos de instalación. Esto convierte al par de cobre en una opción de última milla muy utilizada a nivel mundial desplazando a la costosa fibra óptica. Sus desventajas con respecto a la fibra óptica radican en un ancho de banda inferior, además de presentar una mayor atenuación por unidad de longitud.

1.2 Constitución física de los cables telefónicos multipares

Los cables telefónicos multipares constituyen una parte fundamental en la red de acceso pues contienen en su núcleo al medio físico (par de cobre) por el cual se establece la transmisión de las señales eléctricas. Conocer su estructura y los elementos que lo componen es una tarea básica que todo técnico e ingeniero vinculado a las labores de mantenimiento y reparación en la red de acceso debe dominar.

Los cables telefónicos están constituidos por tres elementos fundamentales (Inzirillo, 2012):

- Conductores.
- Aislante.
- Cubierta del cable.

Los cables están conformados por un núcleo, el cual está compuesto por el conjunto de pares de cobre, los cuales incluyen dos de los tres elementos del cable previamente establecidos: los conductores y el aislante. La cantidad de pares en el núcleo puede variar desde 10 hasta 2400 pares. De ahí que sea de suma importancia la identificación de cada uno de los pares para la instalación, mantenimiento y localización de fallas en los mismos. Esto se lleva a cabo a través de un código de colores establecido internacionalmente. El anexo 1 describe cómo se conforma el código de colores para identificar cada uno de los pares.

1.2.1 Conductores

Tienen como objetivo fundamental la transmisión de las señales eléctricas. Los conductores son de cobre recocido, redondo, homogéneo, sólido y de diversos diámetros que varían desde 0.4 mm a 0.9 mm. Los conductores deben poseer la menor resistencia posible al paso de la corriente, además de ser inmune a la corrosión, la exposición al aire y la humedad. El par de cobre está conformado por dos conductores o hilos, A y B denominados Tip y Ring respectivamente.

1.2.2 Aislante

Cada conductor es aislado eléctricamente del resto mediante algún tipo de material aislante. Para tal fin se emplean el papel, el polietileno (PE) y el policloruro de vinilo (PVC).

El papel como aislante posee buenas propiedades dieléctricas, es resistente, flexible y plegable. Presenta como principal desventaja que al establecer contacto con el agua reduce su capacidad aislante. El polietileno posee excelentes características aislantes, además de ser muy resistente a la humedad, su principal desventaja estriba en que propaga el fuego. Las características del policloruro de vinilo son muy similares a la del polietileno, con la marcada diferencia que posee excelentes propiedades ignífugas y es ligeramente más sensible a la humedad que el polietileno.

1.2.3 Cubierta del cable

La cubierta del cable varía su composición de acuerdo al fabricante y a las condiciones propias del entorno donde será instalado el cable. La cubierta del cable está compuesta por tres elementos fundamentales (Inzirillo, 2012):

1. Envoltura del núcleo
2. Blindaje o pantalla
3. Cubierta

La Figura 1.1 ilustra la conformación de la cubierta de un cable telefónico en sus diferentes capas.

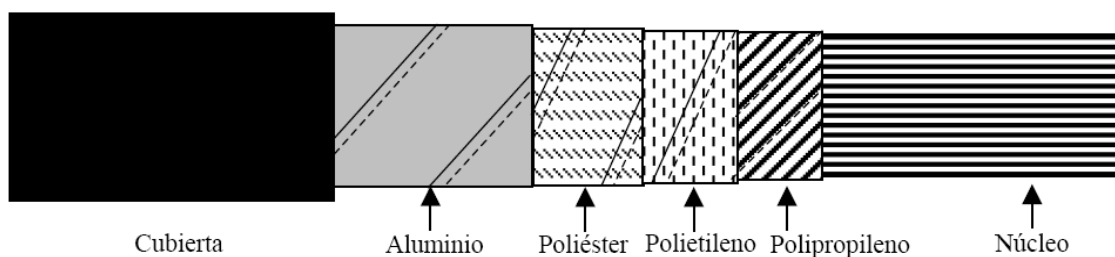


Figura 1.1 Cubierta del cable telefónico (Inzirillo, 2012)

Envoltura del núcleo

Se encarga de proveer rigidez dieléctrica y aislamiento térmico entre el núcleo (conjunto de pares de cobre) y el blindaje metálico. Está compuesto de material no higroscópico. Lo

común es disponer de una primera cinta de polipropileno que actúa como barrera de calor, luego una cinta de polietileno que suministra buen aislamiento y sobre esta una cinta de poliéster que asegura rigidez dieléctrica. Aunque esto puede variar en dependencia del fabricante.

Blindaje o pantalla

Cumple la función de tierra. Constituye un revestimiento metálico sobre la envoltura del núcleo generalmente de aluminio que provee una pantalla electrostática. Para que sea efectiva debe ser ininterrumpida en toda la longitud del cable.

Cubierta

Existen cubiertas metálicas de plomo, aluminio y acero pero debido a su alto costo se encuentran en desuso, siendo utilizadas las plásticas. Estas últimas ofrecen ventajas respecto a las metálicas debido a su peso y son insensibles a la mayoría de los corrosivos. Los materiales de más amplio uso para estos fines son el polietileno y el policloruro de vinilo.

1.3 Parámetros primarios del par de cobre

En una línea de transmisión como el par de cobre las características eléctricas fundamentales o parámetros primarios que determinan su funcionamiento son los siguientes:

- Resistencia (R), dada en unidades de ohmios por kilómetro (Ω/Km)
- Capacitancia (C), dada en faradios por kilómetro (F/Km)
- Inductancia (L), expresada en henrios por kilómetro (H/Km)
- Conductancia (G), dada en siemens por kilómetro (S/Km)

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

Resistencia

La resistencia es la propiedad que determina la oposición que ejerce un determinado cuerpo al paso de la corriente eléctrica (Robert Resnick, 2003, Sears Zemansky, 2008). En conductores cilíndricos como son los hilos que conforman el par de cobre la resistencia depende del diámetro, de la longitud del conductor y de una constante denominada

resistividad (ρ) que depende del material del conductor, en este caso para el cobre $\rho=17.4 \Omega \cdot \text{mm}^2/\text{Km}$ (Jiménez, 2010). La medida de la resistencia por unidad de longitud para el par de cobre está dada por la siguiente expresión:

$$R = \frac{2\rho}{S} \quad (1.1)$$

Donde $S=\pi r^2$ es el área de la sección transversal del conductor en mm^2 , ρ la resistividad del material en $\Omega \cdot \text{mm}^2/\text{Km}$, 2 es el número de conductores del par y R la resistencia en Ω/Km .

Factores que influyen en la resistencia del par de cobre

Existen dos factores que afectan la resistencia en el par de cobre independientemente de sus características físicas: temperatura y frecuencia.

Los materiales conductores varían su composición molecular debido a cambios en la temperatura ofreciendo una mayor o menor resistencia al paso de la corriente, de manera que los fabricantes de cables especifican los valores de resistencia en función del calibre para una temperatura estándar de 20 grados centígrados.

La Tabla 2.1 muestra una relación entre la resistencia, diámetro y el calibre AWG (*American Wire Gauge*). La norma AWG fue creada en el año 1857 por la compañía norteamericana J.R. Brown & Sharpe. Esta norma clasifica el diámetro de los conductores mediante la asignación de números enteros en dependencia del grosor del diámetro (Jay, 2009).

Tabla 2.1 Resistencia en el par de cobre a 20⁰C (Orellana, 2008)

Calibre AWG	Diámetro[mm]	Resistencia[Ω/Km]
26	0.4	277
24	0.5	170
22	0.65	108
19	0.9	53.5

El otro factor mencionado que provoca variaciones en la resistencia de los pares es la frecuencia de transmisión a través del llamado “efecto piel” que sufren los conductores (Jiménez, 2010). Dicho efecto pelicular consiste en una disminución de la corriente circulante en el centro del conductor a medida que aumenta la frecuencia debido al

incremento de la resistencia en el centro del mismo, de manera que en un instante determinado solo circulará corriente en el exterior del conductor. La resistencia en el par de cobre varía con la frecuencia de acuerdo a la siguiente expresión (UIT-T, 1999):

$$R(f) = (r_{oc}^4 + a_c * f^2)^{1/4} [\Omega/m] \quad (1.2)$$

Donde f es la frecuencia en hertz, r_{oc} la resistencia de corriente continua y a_c es la constante característica llamada “efecto piel”. El anexo 2 muestra los valores de los coeficientes r_{oc} y a_c en función del calibre del hilo y del material utilizado como aislante en el par cobre.

Capacitancia

La cercanía de dos placas paralelas conductoras o simplemente dos conductores eléctricamente aislados entre sí determina la existencia de la propiedad eléctrica conocida como capacitancia (Robert Resnick, 2003).

Los pares de cobre como consecuencia de la cercanía entre sus dos hilos conductores y entre cada hilo y la pantalla se comportan como capacitores a lo largo de toda su extensión, almacenando cargas a medida que aumenta la longitud del par. Existe una capacitancia entre hilos debido a la existencia de dieléctrico entre ellos y también entre los hilos y la pantalla. La figura 1.2 muestra este efecto entre ambos hilos y entre cada hilo y la pantalla.

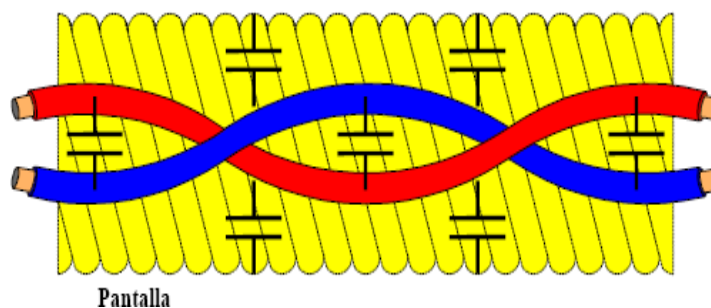


Figura 1.2 Capacitancia en el par de cobre (Orellana, 2008)

Estos capacitores se encuentran en paralelo, de ahí que la capacitancia mutua, o sea la capacitancia existente entre hilos y la capacitancia existente entre cada hilo y la pantalla aumente a medida que se incrementa la longitud del par.

La capacitancia mutua de los pares es igual para todos los calibres utilizados en las telecomunicaciones y según normas internacionales (UIT-T, 1999) posee un valor estándar

de 50 nf/km para diámetros que van desde 0.4 a 0.90 mm. La capacitancia entre cada hilo y la pantalla varía de acuerdo a los materiales utilizados en la fabricación del cable.

La capacitancia en el par de cobre está determinada por:

$$C = \frac{0.43\pi\epsilon}{\log\left(\frac{2S}{d}\right)} \quad [\text{F/Km}] \quad (1.3)$$

Donde ϵ es la constante dieléctrica que depende del material aislante del par (3.29 para papel, 3 a 4 para polietileno y 4 a 6 para PVC), S distancia entre ejes conductores en mm y d diámetro de los conductores en mm.

La expresión 1.3 permite establecer que la capacitancia en los pares de cobre depende de tres factores fundamentales:

- Diámetro de los conductores.
- Distancia entre los conductores.
- Constante dieléctrica del material que los separa.

Inductancia

Otra propiedad eléctrica que caracteriza a los pares de cobre es la inductancia. La inductancia en el par de cobre viene dada como consecuencia que el par está conformado por dos conductores y todo conductor por el que circula una corriente variable tiene asociado una inductancia (Vega, 2013). En el par de cobre la inductancia está determinada por:

$$L = 0.1 + 0.9\log\left(\frac{2S}{d}\right) \quad (1.4)$$

Donde S es la distancia interaxial entre centro de conductores en mm, d diámetro del conductor en mm y L inductancia en mH/Km.

Un valor típico para la inductancia distribuida en el par de cobre es de 0.7 mH/Km, esta apenas varía con la frecuencia en la banda de voz.

Conductancia

La conductancia se define como la propiedad inversa de la resistencia eléctrica (Robert Resnick, 2003, Sears Zemansky, 2008). En los pares de cobre la conductancia es

consecuencia de que el dieléctrico del material aislante que cubre los conductores no es perfecto y tiene resistividad finita por lo que una parte de la corriente se “fuga” entre los conductores (Vega, 2013). La Recomendación G.996.1 de la UIT (Unión Internacional de Telecomunicaciones) establece la conductancia en función de la frecuencia de transmisión como:

$$G(f) = \omega * C * \tan\delta \text{ [Mho/m]} \quad (1.5)$$

Donde C es la capacitancia del par de cobre, $\omega = 2\pi f$ constituye la velocidad angular y $\tan\delta$ es la tangente de pérdidas que depende del material aislante.

1.4 Parámetros secundarios del par de cobre

En una línea de transmisión como el par de cobre los parámetros secundarios son aquellos que muestran las características del medio de transmisión únicamente al ser atravesados por señales alternas, es decir caracterizan a la línea desde el punto de vista de transmisión. Los parámetros secundarios en una línea de transmisión son los siguientes (Balmain, 1978, Karakash, 1950):

- Constante de propagación (γ).
- Impedancia característica (Z_0).

1.4.1 Constante de propagación

En una línea de transmisión homogénea, o sea del mismo material en toda su extensión e infinitamente larga la tensión decrece a partir del origen según la siguiente ley exponencial:

$$V(x) = V_0 e^{-\gamma x} \quad (1.6)$$

Donde γ es la llamada constante de propagación, x es la distancia con respecto al origen y V_0 la tensión en el origen.

La constante de propagación varía con la frecuencia así como los parámetros en los que se descompone, denominados constante de atenuación y constante de fase. La constante de propagación es compleja y viene dada por la siguiente expresión:

$$\gamma = \sqrt{(R + j\omega L)(G + j\omega C)} = \alpha + j\beta \quad (1.7)$$

Donde α es la constante de atenuación en Np/m y β es la constante de fase en rad/m.

Constante de atenuación

En una línea de transmisión la constante de atenuación o pérdida de inserción como también se le denomina, determina la pérdida de amplitud que sufre la señal según progresa por la propia línea. Estas pérdidas se deben a diferentes causas: energía disipada en la resistencia de la línea, energía radiada al espacio como ondas electromagnéticas, energía reflejada hacia el origen como consecuencia de irregularidades en los hilos de la línea (Balmain, 1978). La constante de atenuación en función de los parámetros primarios viene dada por:

$$\alpha = \sqrt{\frac{1}{2} [\sqrt{(R^2 + \omega^2 L^2)(G^2 + \omega^2 C^2)} + (RG - \omega^2 LC)]} \quad (1.8)$$

La expresión 1.8 establece la dependencia de la atenuación en una línea de transmisión con respecto a la frecuencia y los parámetros primarios de la misma (R, C, L y G).

Constante de fase

La constante de fase describe el retardo que adquiere la señal según progresa por la línea de transmisión. Es decir la diferencia de fase de la tensión o la corriente en un punto de la línea respecto al origen. La constante de fase en función de los parámetros primarios viene dada por (Karakash, 1950):

$$\beta = \sqrt{\frac{1}{2} [\sqrt{(R^2 + \omega^2 L^2)(G^2 + \omega^2 C^2)} - (RG + \omega^2 LC)]} \quad (1.9)$$

Como se aprecia, de manera similar a la constante de atenuación, también depende de los parámetros primarios y la frecuencia.

1.4.2 Impedancia característica

En una línea de transmisión la impedancia característica está definida como la relación entre la tensión aplicada y la corriente alterna que circula en cualquier punto de la línea (Magnusson, 1970). Está compuesta por todos aquellos parámetros que se oponen al paso de una señal alterna. La siguiente expresión determina la impedancia característica en una línea de transmisión:

$$Z_o = \sqrt{\frac{R+j\omega L}{G+j\omega C}} \quad (1.10)$$

La expresión 1.10 denota que la impedancia característica en general es compleja, sin embargo para altas frecuencias se convierte en real debido a que el término $j\omega$ se vuelve tan grande con respecto a R y G que Z_o depende prácticamente de L y C . El valor de este parámetro tiende a ser constante con el aumento de la frecuencia y posee un valor de 135Ω en muchos países del mundo (Rábanos, 1990).

1.5 Condición de Heaviside

De manera general en los sistemas de transmisión se busca aumentar las distancias que estos cubren sin exceder los límites de calidad y las pérdidas permisibles. Esto es alcanzable mediante el empleo de amplificadores cada cierta distancia, sin embargo esta opción presenta como inconveniente el incremento del costo de manera notable en el sistema de transmisión.

Otra posibilidad es transmitir en condiciones de atenuación mínima, para ello es necesario minimizar las pérdidas entre la potencia transmitida y la recibida (Vega, 2013). Esto se consigue al derivar α en la expresión (1.8) con respecto a L o C y posteriormente igualar la expresión resultante a cero, de cualquiera de las dos maneras el resultado obtenido coincide:

$$CR = LG \quad (\text{CONDICIÓN DE HEAVISIDE})$$

Para cumplir esta condición en la práctica se incrementa la inductancia de la línea de manera artificial mediante bobinas de carga. El principal inconveniente de este método es que introduce una frecuencia de corte cercana a los 4 KHz, equivalente a un filtro paso bajo, por lo que solo se emplea en bajas frecuencias.

Con la carga de los pares de cobre se logra aumentar el aprovechamiento del medio de transmisión. La condición de Heaviside permite lograr:

- Atenuación por unidad de longitud mínima.
- Una respuesta de frecuencia plana en la banda de voz.

En la práctica, con los valores usuales de diseño y construcción de las líneas no es posible conseguir que se cumpla la condición de Heaviside, pero es viable lograr un acercamiento con la implementación de las bobinas de carga.

1.6 Parámetros que afectan la transmisión en el par de cobre

La red telefónica opera en medio de un ambiente hostil, con múltiples fuentes internas y agentes externos que influyen en la estabilidad para la cual fue creada, problemas como la humedad, altas y bajas temperaturas, influencias eléctricas y electromagnéticas de todo tipo, limitan las transmisiones en el par de cobre. Los fenómenos fundamentales que afectan la transmisión en el par de cobre son los diversos tipos de ruidos y la diafonía (Briceño, 2005).

1.6.1 Ruidos

Los ruidos que interfieren los pares de cobre se encuentran entre los problemas más complejos y difíciles de determinar en las redes de telecomunicaciones. De manera general la UIT define dos categorías de ruido (UIT-T, 1998):

- Ruido impulsivo.
- Ruido de fondo.

A continuación se establecen las principales características de cada una de las categorías de ruidos mencionadas.

Ruido impulsivo

Son ráfagas de gran amplitud de ruido, con duración variable desde unidades hasta cientos de microsegundos. El ruido impulsivo puede proceder de diversas fuentes como: corriente de llamada, cambios de polaridad en la línea y tormentas eléctricas. Se define como un pulso aleatorio de corta duración cuya amplitud es mucho mayor que la del ruido de fondo (Rábanos, 1990). La Figura 1.3 muestra una señal afectada por ruido impulsivo.

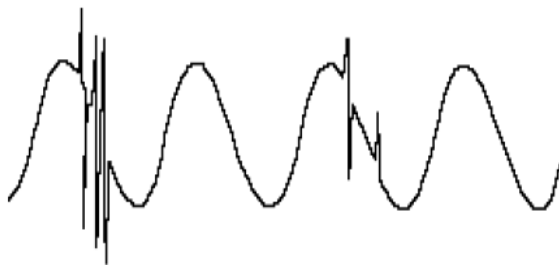


Figura 1.3 Señal afectada por ruido impulsivo (Tenorio, 2004)

Ruido de fondo o banda ancha

El ruido externo o la presencia de otro tipo de transmisión en un mismo cable conformado por un grupo de pares afectan de manera considerable las transmisiones xDSL. Existen tres categorías de ruido bien definidas (Fitts, 2002):

- Ruido de 200 KHz: afecta el desempeño de las transmisiones xDSL que utilizan codificación 2B1Q (HDSL).
- Ruido de 1.1 MHz: Degrada en gran medida las transmisiones de los servicios ADSL.
- Presencia de T1: Interfiere de forma significativa las transmisiones de algunas variantes de ADSL.

Sin embargo la experiencia ha demostrado que el ruido más dañino se produce debido a las largas acometidas aéreas existentes, donde el ruido inducido por las emisoras de AM alcanza niveles muy altos, con el agravante en las transmisiones digitales debido a que la señal xDSL que viene de la central ha sido atenuada y los valores de señal a ruido se presentan muy bajos. Sin embargo esto no es un problema para sistemas HDSL porque es una tecnología que utiliza para la transmisión frecuencias más bajas con relación a las empleadas para la difusión de radioemisoras de AM comercial (Tenorio, 2004).

1.6.2 Diafonía

En la familia xDSL, el factor primordial que define el alcance de un circuito que ofrece un servicio a un abonado, es la pérdida de potencia de señal, debido al factor de la atenuación. De igual forma, otro factor determinante es la diafonía (crosstalk), o sea intermodulaciones de otros servicios de transmisión digital que viajan en un grupo de pares cercanos o adyacentes en un mismo cable telefónico. Existen dos tipos de diafonía de acuerdo a la

posición relativa que ocupa la fuente perturbadora con relación al receptor de la misma (Rábanos, 1990):

- **Paradiafonía o NEXT (*Near End Crosstalk*):** Cuando la fuente de la señal perturbadora está colocada en el mismo extremo que el receptor perturbado.
- **Telediafonía o FEXT (*Far End Crosstalk*):** Cuando el receptor perturbado está colocado en el extremo remoto de la fuente que produce la señal perturbadora.

La Figura 1.4 ilustra cómo se producen los dos fenómenos previamente mencionados, la telediafonía y paradiafonía.

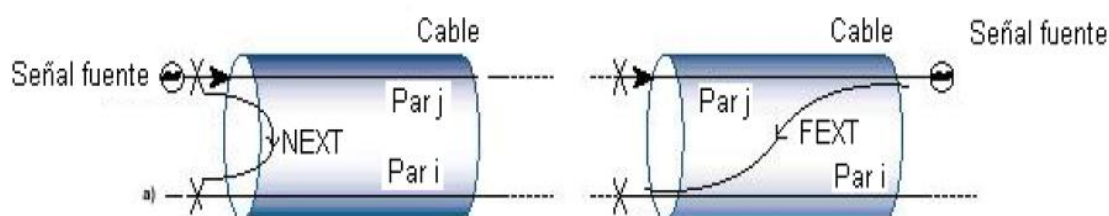


Figura 1.4 a) Paradiafonía

b) Telediafonía (Orellana, 2008)

La paradiafonía es definitivamente un parámetro que afecta los servicios xDSL en general, pues 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, aunque el interferente puede reflejarse con un alto nivel de ruido, la señal a transmitir también será transmitida con una potencia relativamente alta, esto hace que el efecto no sea tan grave, con el fin de lograr una buena relación señal a ruido (S/N) (Pérez, 2010).

1.7 Conclusiones Parciales

Con la culminación de este capítulo se arribaron a las siguientes conclusiones:

1. Los parámetros primarios que caracterizan el funcionamiento del par de cobre como línea de transmisión son la resistencia, capacitancia, inductancia y conductancia.
2. La presencia de un código de colores es un elemento de suma importancia para la identificación de cada uno de los pares en un mismo cable con el objetivo de llevar a cabo la instalación, mantenimiento, localización de fallas y la realización de

pruebas que garanticen la calidad requerida para la implementación de diferentes servicios.

3. La instalación de bobinas de carga en el lazo de abonado constituye una opción económica para aumentar el aprovechamiento del medio de transmisión debido a que reduce la atenuación por unidad de longitud y aplanan la respuesta de frecuencia, con el inconveniente de obtener estos beneficios solamente en la banda de voz.
4. Los ruidos contribuyen a degradar la calidad de las transmisiones de los diferentes servicios en los pares de cobre por lo que se deben implementar pruebas que permitan identificar la fuente generadora de los mismos y determinar sus valores cuantitativamente.

CAPÍTULO 2. MEDICIONES EN PARES DE COBRE

El buen estado del par telefónico constituye una tarea de primer orden por parte de todo ingeniero y técnico vinculado a las labores de mantenimiento en la red de acceso de una central telefónica para garantizar la continuidad del servicio brindado al usuario.

Debido a esto se realizan un grupo de mediciones que determinan el correcto funcionamiento del medio físico (par de cobre) encargado de transportar las señales en la banda de voz. Estas pruebas están encaminadas fundamentalmente a localizar los problemas que pueden causar el deterioro o la pérdida total del servicio brindado, confirmar el buen funcionamiento de la línea física que existe entre el abonado y la central telefónica, así como determinar la calidad de servicio en el enlace desde el cliente hasta la central.

En este capítulo se describe brevemente el servicio de telefonía tradicional y se destacan las mediciones fundamentales que se implementan para ofrecerlo de manera ininterrumpido. Posteriormente se mencionan las principales variantes de la familia xDSL en el mundo donde se resalta la de mayor penetración en nuestro país, en este caso HDSL. Se abordan las pruebas fundamentales establecidas por recomendaciones internacionales que deben efectuarse en un par de cobre para brindar el servicio HDSL con la calidad adecuada.

2.1 Servicio de telefonía tradicional

La Red Telefónica Básica (RTB) se creó para transmitir comunicaciones de voz a distancia. En un primer momento los enlaces eran punto a punto por medio de los pares de cobre. Esto dió lugar a una topología de red telefónica completamente mallada la cual resultaba ineficiente dado la cantidad de enlaces que requería. Por esta razón se evolucionó hacia el modelo denominado conexión en estrella en el que cada usuario se conecta a un punto de interconexión (Central Local) que le permite la comunicación con el resto.

En sus inicios la Red Telefónica Básica se había diseñado para permitir las comunicaciones de voz entre usuarios caracterizándose por un ancho de banda muy pequeño, de los 300 a los 3400 Hz. Dada la naturaleza de la información a transmitir la tecnología de la RTB era de tipo analógico. Sin embargo en los años 60 las centrales telefónicas analógicas comenzaron a transformar su tecnología a digital. Del mismo modo la intención fue también hacer uso de tecnología digital en la red de acceso pero por problemas económicos esta continuó siendo analógica. La situación actual para el servicio de telefonía tradicional puede clasificarse como híbrido o sea la transmisión del mismo entre centrales es digital y en la red de acceso es analógico (Rodríguez, 2010).

En la actualidad se produce una caída de la telefonía tradicional (fija) desplazada por los servicios móviles (telefonía móvil) siendo estos últimos el principal motor del mercado mundial de las telecomunicaciones. La Figura 2.1 muestra una comparación entre la cantidad de suscriptores (en millones) en el mundo de servicios móviles y telefonía fija desde el año 2002 hasta el 2014 (Rodríguez, 2014).

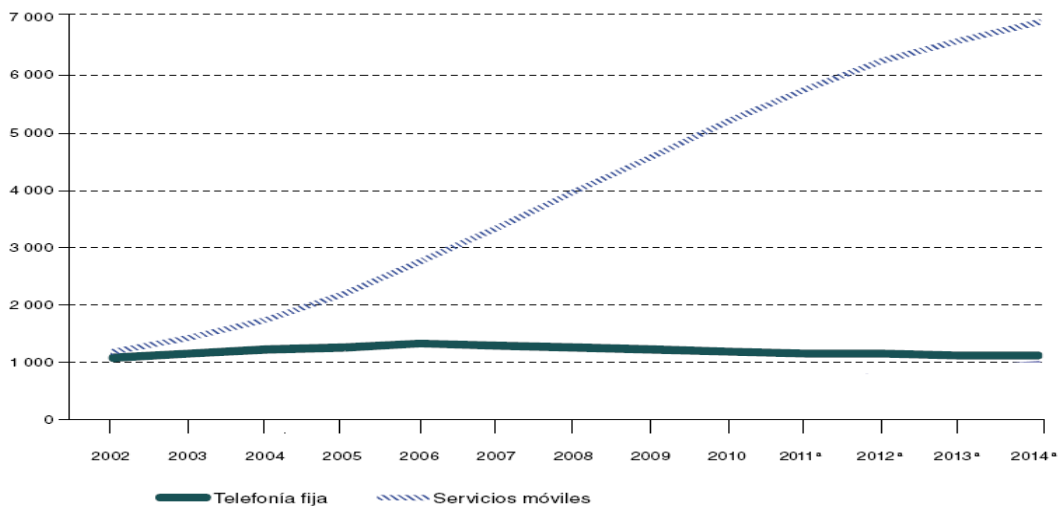


Figura 2.1 Comparación entre suscriptores de telefonía fija y móvil (Rodríguez, 2014)

La reducción de la telefonía fija es especialmente acentuada en las economías avanzadas. En los países desarrollados se encuentra cerca del 75 % de los usuarios de telefonía móvil en el mundo (Rodríguez, 2014). En Cuba se ha producido un incremento de la telefonía móvil en los últimos años, no obstante la telefonía tradicional (fija) aún es muy utilizada en nuestro país. Debido a esto es necesario mantener en perfecto estado la red de acceso y en especial los pares de cobre por los que se brinda servicio a los abonados.

2.2 Mediciones para el soporte de servicio de telefonía tradicional

El par de cobre encargado del transporte de señales en el espectro de 300 Hz a 3400 Hz, requiere de una serie de pruebas encaminadas a detectar posibles fallas como pueden ser abiertos, cortos, cruces y la presencia de interferencias producto de la cercanía de las líneas de distribución eléctrica.

Las mediciones a realizar para la implementación del servicio telefónico tradicional que serán detalladas a continuación fueron recogidas a partir de manuales de instrumentos de medición (Trendcommunication, 2000, Omnicor, 2002, Limited, 2003) y la experiencia en el tema de especialistas de ETECSA debido a que no se encontró ninguna recomendación internacional que las estableciera. A continuación se muestra una selección de las mismas: Voltaje DC, Voltaje AC, Capacitancia, Resistencia de aislamiento y Balance longitudinal de impedancias.

2.2.1 Voltaje DC

La medición del voltaje DC permite determinar si existen pares cruzados dentro de un mismo cable. Existen tres valores de voltaje DC en el par: Tip (A)-Ring (B), Tip (A)-Ground (tierra) y Ring (B)-Ground (tierra). Los pares de cobre se pueden clasificar en activos e inactivos en dependencia si brindan o no, servicio a los usuarios.

Los pares activos o pares en servicio son alimentados desde la central telefónica con 48 VDC. El voltaje entre el hilo A y B, debe oscilar entre 48 y 55 VDC, entre A y tierra debe ser menor que 3 VDC y entre B y tierra debe estar en el rango de -48 a -55 VDC. Un cambio de polaridad en los voltajes presentes entre los hilos A-B y B-Tierra implicará la presencia de un par cruzado con otro. En el caso de los pares inactivos o pares de reserva estos no son alimentados desde la Central por lo que los tres valores de voltaje DC deben estar cercanos a 0 VDC. En un par de reserva un voltaje cercano modularmente a 48 VDC indicará cruce con un par activo.

2.2.2 Voltaje AC

La medición se realiza con el objetivo de verificar la presencia de voltajes no deseados. Estos niveles de voltaje se deben a inducciones que ocurren entre los hilos del par y tierra, (Tip-Ground y Ring-Ground) debido a la cercanía de las líneas eléctricas. Los tres valores a

obtener deben ser inferiores a 5 VAC para garantizar que no sea afectada la señal de voz (Telecom, 2001a).

2.2.3 Capacitancia

Las mediciones de capacitancia permiten la estimación de algunas de las principales fallas en el desempeño del par. Entre ellas se encuentran par abierto, abierto parcial y cortos.

Para realizar estas mediciones es necesario el uso de un multímetro digital de planta externa. Debe medirse la capacitancia entre los hilos del par (Tip (A), Ring (B)) y entre cada hilo y tierra (Tip (A)-GND, Ring (B)-GND). Si el valor de capacitancia presente en cualquiera de los tres casos es superior a $2\mu\text{F}$, esto indicará la presencia de un corto en el par (Telecom, 2001a).

Otro de los beneficios que presenta esta medición es la determinación aproximada de la longitud del lazo de abonado (L_C), o sea la distancia entre el usuario y la central. Para ello se mide la capacitancia mutua entre los hilos del par (Tip (A)-Ring (B)). La distancia se calcula a partir de la estimación de un valor estándar de capacitancia mutua establecido en 50 nF/Km . Con el objetivo de estimar la longitud se aplica la siguiente expresión:

$$L_C(\text{Km}) = \frac{\text{Capacitancia medida (nF)}}{50 \text{ nF/Km}} \quad (2.1)$$

Este cálculo puede verse afectado por la presencia de alguna derivación puenteada, las cuales serán tratadas posteriormente.

2.2.4 Resistencia de aislamiento

La resistencia de aislamiento establece el valor de la resistencia eléctrica del material con que están revestidos los conductores eléctricos. Como la resistencia eléctrica es la oposición que presentan los materiales al paso de la corriente eléctrica, este valor debe ser lo más alto posible, en el rango de las unidades de $\text{M}\Omega$ para que las corrientes de fuga sean mínimas. Se mide el aislamiento entre cada hilo del par con respecto a tierra y entre ambos hilos: Tip-Ring, Tip-Ground y Ring-Ground (Telecom, 2001a). El valor normado debe superar los $3 \text{ M}\Omega$ (Dynatel, 2007).

2.2.5 Balance longitudinal de impedancias

Este parámetro indica la susceptibilidad del cable al ruido. La mayoría de los instrumentos de campo que realizan esta medida lo hacen para la banda de voz. En la práctica, el ruido está presente de manera permanente en el par como consecuencia de diversos factores, debido a esto los instrumentos modernos se enfocan a la medida e identificación del mismo, por medio de analizadores de densidad espectral de potencia (Polo, 2000). La medición se implementa inyectando una señal sinusoidal balanceada entre los hilos A y B (Tip y Ring) utilizando un generador de señales. La Figura 2.2 establece el esquema de conexión para llevar a cabo la medición de este parámetro.

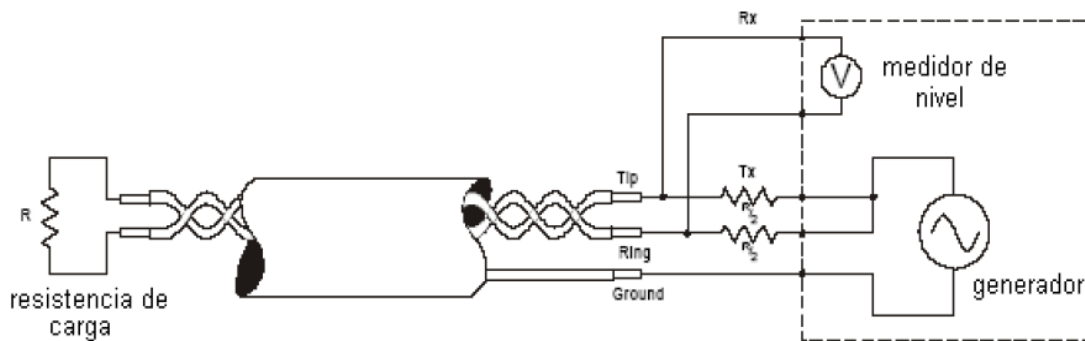


Figura 2.2 Medición de balance longitudinal (Tenorio, 2004)

El generador es conectado a tierra en uno de sus extremos y el otro se conecta a los hilos del par bajo prueba a través de dos resistores (deben poseer un valor igual a la mitad de la impedancia característica del par). Como consecuencia, se desarrollará una señal diferencial en el par proporcional al desbalance existente en el mismo. El balance longitudinal constituye la razón entre la señal en modo común y la señal diferencial. El resultado se expresa en dB. Este método presenta como desventaja la utilización de una resistencia de carga al final de la línea. El balance longitudinal de impedancias debe superar los 50 dB (Dynatel, 2007).

2.3 Familia xDSL

La Línea Digital de Abonado es una familia de tecnologías de transmisión de datos a alta velocidad por pares de cobre que interconecta al usuario final con un nodo de red. La tecnología DSL soporta un ancho de banda superior al utilizado en telefonía tradicional con

costos de inversión relativamente bajos, pues trabaja sobre la red telefónica existente convirtiendo la línea analógica en una línea digital de alta velocidad. Estas tecnologías requieren de la utilización de dos módems, uno ubicado en el extremo del abonado y el otro en la central telefónica, además de la utilización de un dispositivo denominado “splitter” que se comporta como dos filtros: uno paso alto y el otro paso bajo. Su función es separar las señales de baja frecuencia (telefonía tradicional) de las de alta frecuencia (xDSL) (Grassi, 2011). La Figura 2.3 muestra el comportamiento del “splitter”.

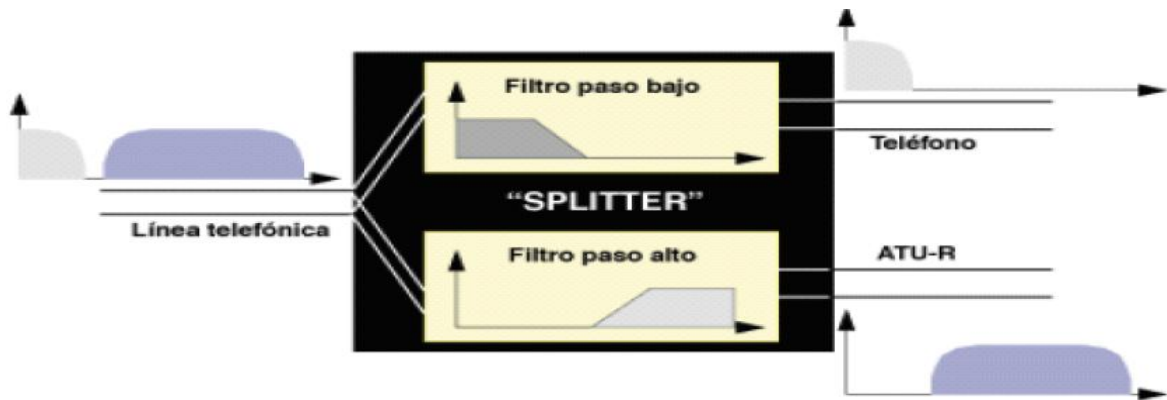


Figura 2.3 Funcionamiento del splitter (Grassi, 2011)

Las tecnologías xDSL se clasifican en (Telecom, 1997):

- **Simétricas:** Indica que la velocidad de subida es igual a la de bajada, es decir el ancho de banda se reparte simétricamente en ambas direcciones, para acomodar el flujo de datos.
- **Asimétricas:** Se refiere cuando el abonado recibe datos a una velocidad superior y transmite a una velocidad más baja, con el fin de aprovechar el ancho de banda en el sentido que más se necesita (bajada). Esto se debe a que los usuarios reciben mucha mayor información de la que generan

En la actualidad coexisten diversas modalidades xDSL. La Tabla 2.1 muestra las velocidades de cada una de estas tecnologías.

Tabla 2.1 Familia xDSL (Grassi, 2011)

Nombre	Significado (DSL)	Velocidad	Modo
HDSL	Alta velocidad	2.048Mbps	Simétrico
SDSL	Simple Par	768 Kbps	Simétrico
ADSL	Asimétrico	(1.5 a 8Mbps)	Descendente
		(16 a 640 Kbps)	Ascendente
RADSL	Velocidad adaptable	(1.5 a 8 Mbps)	Descendente
		(16 a 640 Kbps)	Ascendente
ISDL	ISDN sobre DSL	(144 Kbps)	Simétrico
VDSL	Muy alta velocidad	(52 Mbps)	Descendente
		(12 Mbps)	Ascendente

De todas las tecnologías mencionadas las más conocidas a nivel mundial son HDSL y ADSL (Línea de Abonado Digital Asimétrica). En Cuba el mayor impacto de las tecnologías xDSL se ha producido en el sector empresarial donde HDSL ha sido la tecnología con mayor penetración dado que permite el intercambio de información de manera simétrica. Como ADSL es una tecnología asimétrica sus principales beneficios se obtienen en el sector residencial el cual no ha tenido mucha penetración en nuestro país (Pérez, 2010).

2.4 Mediciones para el soporte de servicio HDSL

Constituye una necesidad de primer orden llevar a cabo pruebas en los pares de cobre que conforman la red de acceso de forma tal que cumplan con los requisitos establecidos internacionalmente para soportar la implementación de servicios xDSL. El conjunto de mediciones a realizar que se establecen para determinar si un par de cobre está apto o no para soportar dichas tecnologías se le denomina precalificación (Technology, 2000). Este proceso es necesario debido a que muchos pares fueron instalados hace muchos años para transmitir señales en la banda de voz y no señales digitales que trabajan a frecuencias superiores donde el comportamiento del par difiere ostensiblemente con respecto a la banda de frecuencia utilizada en telefonía tradicional.

En la Recomendación G 991.1 de la UIT “Transceptores de línea digital de abonado de alta velocidad binaria” se establecen las mediciones a realizar, así como los valores óptimos que deben obtenerse (UIT-T, 1998).

Esta recomendación específica una línea digital de abonado de alta velocidad binaria (HDSL) que constituye un sistema de transmisión bidireccional y simétrico que permite transportar señales por los pares trenzados de cobre sobre una red de acceso.

Las pruebas establecidas para efectuar una completa precalificación del par son las siguientes: Detección de bobinas de carga, Resistencia de lazo, Detección de derivaciones de puente, Paradiafonía (NEXT), Balance longitudinal de impedancias, Ruido impulsivo, Ruido de fondo, Atenuación 150 KHz y Tasa de errores de bits (BER).

La implementación de algunas pruebas mencionadas en la sección 2.2 para el servicio de telefonía tradicional se hace imprescindible realizarlas con anterioridad a las que se mencionan en este acápite con el propósito de verificar que el enlace cumpla con los requisitos mínimos para establecer la comunicación entre el usuario y la central. Entre las mismas se destacan el Voltaje DC, Voltaje AC, Capacitancia y Resistencia de aislamiento.

Existen dos métodos bien definidos para la realización de pruebas de precalificación en el lazo de abonado (Technology, 2000):

- **Pruebas de simple-terminación (single-ended test):** requieren solo de un equipo de prueba en uno de los extremos. Pertenecen a esta clasificación: Detección de bobina de carga, Resistencia de aislamiento, Detección de derivaciones puenteadas, Paradiafonía, Balance longitudinal de impedancias, Ruido impulsivo y Ruido de fondo. Además de las previamente mencionadas voltaje DC, AC, Capacitancia y Resistencia de aislamiento.
- **Pruebas de doble-terminación (double-ended test):** necesitan equipos de pruebas en ambos extremos del par. Este método requiere del envío de un técnico al domicilio del abonado, constituyendo la principal desventaja con respecto a las pruebas de simple terminación debido a que estas últimas pueden implementarse desde la misma central. Entre las pruebas de doble terminación mencionadas se encuentran: Atenuación a 150 KHz y Tasa de error de bits (BER).

A continuación se brinda una relación de las pruebas de simple terminación y doble terminación establecidas por recomendaciones internacionales.

2.4.1 Detección de bobinas de carga

La Recomendación G.991.1 de la UIT establece en su acápite 5.2.2 “Requisitos mínimos de la línea local (DLL) para aplicaciones HDSL”, la no presencia de bobinas de carga en el lazo de abonado.

Las bobinas de carga fueron muy utilizadas para compensar el efecto capacitivo, en líneas muy largas, así como lograr una respuesta plana y atenuación mínima en la banda de voz. Dependiendo de la longitud del cable, en el lazo de abonado puede existir más de una bobina de carga. En la actualidad constituyen un problema para los servicios de banda ancha debido a que poseen un comportamiento similar a un filtro paso bajo para la banda de voz, dejando fuera de banda a las frecuencias que utilizan las tecnologías xDSL para la transmisión de datos (Palancar, 2003).

Para determinar la posición y cantidad de bobinas de carga que existen en el lazo de abonado se emplea una herramienta de gran utilidad denominada contador de bobinas. El contador muestra los resultados en forma numérica. Otra variante utilizada para detectar la posición de la primera bobina de carga en el lazo de abonado es mediante el uso de un instrumento de medición denominado Ecómetro o Reflectómetro en el dominio del tiempo (*TDR*).

El ecómetro se encarga de enviar pulsos de energía a la línea y a partir de cambios en la impedancia del par (pueden ser debido a bobinas de carga, derivaciones, cortos, abiertos) determina la distancia desde donde se realizó la medición hasta donde se detectó la anomalía. Para ello el TDR mide el tiempo que tomó el pulso en hacer todo el recorrido (desde que fue generado, hasta que se reflejó hacia la fuente producto de la variación en la impedancia de la línea) y con la velocidad de propagación del par, calcula la distancia a la que se encuentra la anomalía (Fitts, 2002).

Es necesario conocer el calibre y el material aislante del par en prueba pues la velocidad de propagación depende de ambos. La Tabla 2.2 muestra la relación entre el calibre, el aislamiento y la velocidad de propagación del par. Los instrumentos modernos que utilizan

esta técnica exigen previamente el calibre y el material aislante con que está constituido el par, precisamente para poder determinar la velocidad de propagación a la que viajará el pulso por el par.

Tabla 2.2 Relación entre calibre, aislamiento y velocidad de propagación (Dynatel, 2007)

Aislamiento	Calibre		Velocidad de propagación	
Papel	0.6 mm	22 AWG	103 m/μs	0.69C
	0.5 mm	24 AWG	102 m/μs	0.68C
	0.4 mm	26 AWG	100 m/μs	0.67C
Polietileno	0.9 mm	19 AWG	102 m/μs	0.68C
	0.6 mm	22 AWG	97 m/μs	0.65C
	0.5 mm	24 AWG	96 m/μs	0.64C
	0.4 mm	26 AWG	94 m/μs	0.63C

C: Velocidad de la luz, $3 \cdot 10^8$ m/s.

En la actualidad gran parte de los instrumentos de medición suelen incluir un contador de bobinas, un TDR y un software que interpreta los resultados para facilitar y agilizar su uso (Palancar, 2003).

2.4.2 Resistencia de lazo

La resistencia de lazo o bucle es la suma de las resistencias de los hilos A y B con un cortocircuito en el extremo opuesto de la línea. A partir de la resistencia de lazo es posible determinar la longitud del lazo de abonado (L_R) en función del calibre de los hilos del par (Telecom, 2002). Este método permite determinar la distancia del bucle de abonado con una mayor exactitud que el anteriormente mencionado a partir de la capacitancia mutua con la desventaja del cortocircuito en el extremo lejano. El valor de resistencia de lazo se ha normado para diferentes tecnologías xDSL, por lo que el objetivo de la medición es verificar que el valor medido está dentro de los límites normados (Telecom, 2002). El máximo valor normado para HDSL es de 900Ω (ANSI, 1998).

2.4.3 Detección de derivaciones en puente

Una derivación es un segmento de cable conectado en paralelo a la línea principal, que degrada la respuesta de frecuencia del par. Estas derivaciones pueden haber sido creadas durante el diseño, construcción o mantenimiento de la red. Las líneas paralelas causan un efecto de filtro de rechazo que produce la cancelación de ciertas frecuencias. Este efecto es más notorio en la frecuencia central (resonancia), aunque afecta un rango más amplio de frecuencias adyacentes. La longitud de las líneas paralelas juega un papel crítico debido a que define el rango de frecuencias afectadas (Goralski, 2002).

Una derivación crea un segundo camino para la señal digital que recorre el par. La señal viaja además por la derivación puenteada presente en la línea y se refleja producto de la alta impedancia presente en el extremo opuesto (Palancar, 2003).

Existen dos factores que deben tenerse en cuenta con el objetivo de analizar el efecto de una derivación puenteada en los servicios xDSL (Tenorio, 2004):

- **Longitud de la derivación puenteada:** Derivaciones muy cortas son más dañinas que las largas, pues la señal reflejada encuentra menor atenuación en su recorrido y debido a esto, es más potente. Con derivaciones largas, la reflexión puede llegar a ser tan atenuada que tiene poco efecto en el desempeño del servicio.
- **Distancia de la derivación al módem:** Nuevamente, la atenuación es el problema principal. Cuando la fuente de ruido está más cerca del receptor, existe mayor daño que el que produciría una fuente distante que ya ha sido atenuada durante su recorrido.

Como consecuencia de estos dos factores el objetivo fundamental de detectar una derivación en puente consiste en determinar la distancia a la que se encuentra de la central, así como su longitud. Para llevar a cabo la medición es necesario el uso de un TDR.

Una manera más subvalorada para determinar la posible existencia de derivaciones es mediante los valores de longitud del par (L_C y L_R) obtenidos a partir de la capacitancia mutua y la resistencia de lazo respectivamente. Como se planteó anteriormente los valores de L_C y L_R deben ser aproximadamente comparables, en caso de que L_C sea

significativamente superior a la longitud obtenida con la resistencia de lazo, es muy probable la existencia de derivaciones (múltiples) en la línea. La longitud del múltiple o suma de múltiplos en caso de ser más de una derivación se obtiene por la diferencia entre las dos distancias ($L_C - L_R$) (Pérez, 2010).

La Recomendación G.991.1 plantea que cuando estén presentes derivaciones de puente en lazo de abonado para HDSL el número máximo se limite a 2 y la longitud de cada una a 500 metros.

2.4.4 Paradiafonía

Esta medida permite identificar posibles fuentes internas de ruido, o sea saber si hay pares dentro del mismo cable que por transportar determinados servicios HDSL, ADSL, E1 (Sistema de transmisión a 2.048 Mbps) pueden afectar la transmisión de un par en específico. La Figura 2.4 muestra la intermodulación provocada por un flujo E1.

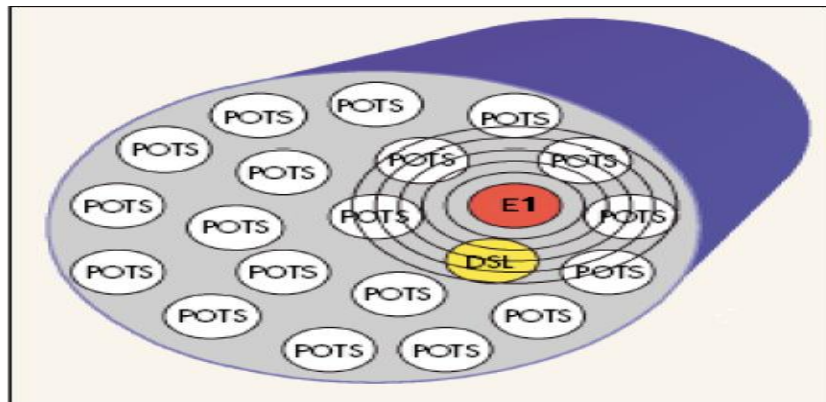


Figura 2.4 Paradiafonía (Pérez, 2010)

Para medir este parámetro se utilizan dos pares de un mismo cable, que se encuentren preferiblemente adyacentes o cercanos. Se inyecta una señal de 150 KHz y se mide la amplitud de la señal inducida en el otro par en el mismo extremo desde donde se ha inyectado la señal debido a que se analiza el comportamiento de la paradiafonía. Con este valor medido y la amplitud del voltaje de entrada, se calculan las pérdidas sufridas por la señal de entrada al acoplarse al par adyacente (Orellana, 2008). El valor de estas pérdidas se expresa en dB. Los valores especificados de paradiafonía para servicios HDSL están en el rango de 40 a 70 dB en 150 KHz (UIT-T, 1998).

2.4.5 Balance longitudinal de impedancias

El balance longitudinal de impedancias se estableció previamente en la sección 2.2.6 para mediciones en el servicio de telefonía tradicional, sin embargo esta prueba posee vital importancia en la precalificación del par de cobre puesto que en la familia de tecnologías xDSL la velocidad de transmisión constituye un parámetro fundamental que se ve afectado por la diafonía y el ruido aleatorio. Para lograr que el ruido aleatorio presente en ambos hilos sea idéntico se produce el trenzado de los pares, denominándose Ruido de Modo Común. Como en la práctica, el balance presente entre ambas líneas no permanece constante debido a la humedad e irregularidades en el trenzado, el ruido de Modo Común se convierte en Ruido Diferencial provocando errores en la recepción de datos que disminuyen la velocidad de transmisión. El valor mínimo recomendado para HDSL a la frecuencia de 150 KHz es de 42.5 dB (UIT-T, 1998).

2.4.6 Ruido impulsivo

El ruido impulsivo se definió en el subepígrafe 1.6.1 como ráfagas aleatorias de gran amplitud y duración variable en períodos cortos de tiempo. La medición de este fenómeno requiere de un contador de ruido impulsivo para identificar problemas que surgen de manera aleatoria e intermitente y que afectan en gran medida el desempeño de las transmisiones xDSL (Polo, 2000). A la hora de realizar la medición es necesario tomar en cuenta dos aspectos fundamentales:

- Número de impulsos en un tiempo determinado.
- Nivel de los impulsos.

El intervalo de medida se fija en 15 minutos y no deberá sobrepasar más de 18 impulsos de picos superiores a un umbral de -21dBm (UIT-T, 1993).

2.4.7 Ruido de fondo

Uno de los parámetros claves para detectar problemas en la línea de transmisión es el análisis de ruido de fondo. De esta forma es posible identificar interferentes internos (*crosstalk*) y externos (*AM*).

Los dispositivos que se encargan de la medición de ruido de fondo para un servicio específico, limitan la banda en estudio, con el objetivo de eliminar la banda de ruido que no afecta el servicio. La IEEE-743/1995 define los filtros E, F y G con el objetivo de lograr un análisis más detallado acerca del comportamiento del ruido en los lazos ISDN, HDSL y ADSL respectivamente (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.

Otra variante para medir el ruido de fondo es definida por la Recomendación G.991.1 mediante la utilización de un analizador de espectro. El rango de evaluación está comprendido entre +27 dB y -5 dB, donde el rango de 0 a -5 dB indica el margen para el cual se espera una tasa de error de bits de 10^{-7} en el par (UIT-T, 1998).

2.4.8 Atenuación a 150 KHz

La característica de atenuación en todo el ancho de banda es una medida excelente, porque resume o contiene los efectos causados por cada uno de los parámetros individuales. Es decir, conociendo la curva de atenuación es posible identificar muchos de los problemas del par. Sin embargo para sistemas xDSL es muy común relacionar un valor de atenuación por kilómetro a una frecuencia específica, como medio de verificación de la respuesta de frecuencia.

En el caso específico de HDSL la medición se lleva a cabo inyectando una señal a 150 KHz y se mide la amplitud de la misma en la carga. La línea de transmisión (par de cobre) debe poseer como carga una impedancia igual al valor de la impedancia característica de la línea. Cumpliendo estos requerimientos se utiliza la expresión 2.2 para el cálculo del valor de la atenuación.

$$\alpha = 20 \log \frac{V_{sal}}{V_{ent}} \quad (2.2)$$

Donde V_{ent} es la amplitud del voltaje aplicado a la entrada de la línea de transmisión y V_{sal} amplitud del voltaje medido en la carga.

Para HDSL se ha normado una atenuación máxima 31 dB a 150 KHz (UIT-T, 1998).

2.4.9 Tasa de error de bits (BER)

Se define como la relación entre el número de bits errados que se reciben en el extremo receptor y el número de bits totales transmitidos por la fuente, en un determinado intervalo de tiempo. La tasa de error de bits (BER) constituye una de las mediciones más frecuentes en sistemas de transmisión digital como consecuencia de la degradación que sufren dichas transmisiones a causa de errores (Tropeano, 2002).

La medición consiste en aplicar a la línea y a la velocidad requerida, una señal de prueba denominada PRBS (*Pseudo-Random Bit Sequence*). Este patrón es generado por un registro de desplazamiento de longitud L y entrega secuencias de longitud 2^{L-1} . Para el caso de HDSL, $L=15$. El receptor se alimenta con el mismo patrón pseudo aleatorio para verificar que el patrón que llega desde el transmisor coincida con este último, de no ser así se procede al conteo de bits errados. La BER se debe medir después de haber transmitido por lo menos 10^9 bits. El valor normado para HDSL no debe superar la probabilidad de 10^{-7} (UIT-T, 1998).

2.5 Conclusiones Parciales

Con la culminación de este capítulo se arribaron a las siguientes conclusiones:

1. El conjunto de mediciones implementadas para el servicio HDSL deben garantizar una mayor rigurosidad con respecto a las realizadas para el servicio telefónico tradicional, dadas las mayores exigencias del primero.
2. El primer requisito que debe cumplir un lazo de abonado para soportar servicios xDSL es la no presencia de bobinas de carga, constituyendo la principal diferencia con respecto a los bucles utilizados solamente en telefonía tradicional.
3. Un TDR o ecómetro constituye una herramienta muy completa que permite determinar muchos de los efectos que se producen en un par de cobre. A partir del mismo es posible determinar la longitud del lazo de abonado, así como la presencia de bobinas de carga y derivaciones.

4. Existen diferentes métodos para determinar la longitud de una derivación: a partir de la diferencia entre las longitudes L_C y L_R y a través de un TDR siendo este último el más implementado debido a su sencillez y mayor exactitud.

CAPÍTULO 3. IMPLEMENTACIÓN DE MEDICIONES CON EL DYNATEL 965 AMS

En este capítulo se abordan brevemente algunas particularidades de un conjunto de instrumentos de medición utilizados en redes de cobre. Posteriormente se procede a una descripción general del Dynatel 965 AMS. Se exponen las pruebas permisibles por el Dynatel 965 AMS que fueron establecidas para servicios de telefonía tradicional y HDSL en el capítulo anterior. Se realiza un análisis a partir de los resultados prácticos obtenidos de las mediciones a un grupo de 30 pares de reserva.

3.1 Instrumentos de medición integrados

En la actualidad los instrumentos de medición tradicionales diseñados para mediciones sobre líneas de cobre como el multímetro de planta externa, reflectómetro en el dominio del tiempo, analizador de espectro, vienen integrados en un solo dispositivo de medición convirtiéndose en herramientas con gran cantidad de prestaciones. A continuación se presenta una muestra de estos instrumentos utilizados a nivel mundial destacando algunas de sus peculiaridades:

1. **SunSet xDSL:** Brinda la posibilidad de hacer un diagnóstico excelente al par de cobre, con el fin de utilizarlo para el despliegue de tecnologías xDSL (HDSL). Contiene tres módulos de medición fundamentales: multímetro digital, TDR y contador de bobinas de carga. Permite medir la razón de transmisión del enlace (Omnigor, 2002).
2. **Cable Shark:** Posee 2 MHz de ancho de banda. Es capaz de hacer diferentes pruebas al lazo de abonado con el fin de analizar el desempeño de gran variedad de servicios DSL (ADSL, SDSL, HDSL). Con este equipo pueden realizarse pruebas

de doble terminación. Todos los resultados obtenidos pueden guardarse en la memoria interna del equipo y descargarse en una PC mediante el software Visi-Shark (Limited, 2003).

3. **ALT 2000:** Instrumento de medición muy completo que permite comprobar la calidad del par de cobre tanto para la transmisión analógica como digital. Realiza gran cantidad de pruebas a una amplia gama de servicios xDSL (ADSL, HDSL, SDSL). Permite realizar pruebas de doble terminación. Contiene varios módulos entre los que se incluyen: multímetro digital, analizador de espectro, TDR, analizador de red (Trendcommunication, 2000).
4. **Dynatel 965 AMS:** Combina los instrumentos de medición más comunes de uso en redes de cobre para voz y banda ancha. Presenta varios módulos de prueba entre los que se destacan: TDR, multímetro digital, módem ADSL, analizador de espectro. Realiza pruebas a los siguientes servicios de banda ancha: HDSL, ADSL, ISDL (Dynatel, 2007).

En la Tabla 3.1 se muestra una relación de las pruebas analizadas en el capítulo 2 para los servicios de telefonía tradicional y HDSL que pueden ser implementadas por cada uno de estos dispositivos.

Tabla 3.1 Pruebas por instrumento de medición

Instrumentos/Pruebas	Sunset xDSL	Cable Shark	ALT 2000	Dynatel 965 AMS
Voltaje DC	X	X	X	X
Voltaje AC	X	X	X	X
Capacitancia	X	X	X	
Resistencia de aislamiento	X	X	X	X
Balance longitudinal (voz)		X		X
Detección(Bobinas de carga)	X	X	X	X
Resistencia de lazo	X		X	X
Detección (derivaciones)	X	X	X	X
Paradiafonía			X	
Balance longitudinal (xDSL)			X	X
Ruido impulsivo		X	X	X
Ruido de fondo		X	X	X
Atenuación a 150 Khz			X	X
Tasa de error de bits	X		X	

La Tabla 3.1 muestra al ALT 2000 como el dispositivo de medición más completo de los cuatro analizados en cuanto a la cantidad de pruebas que realiza. No obstante el Dynatel 965 AMS, adquirido recientemente por la empresa SERTOD posee gran parte de las pruebas establecidas para garantizar un correcto funcionamiento de los servicios de telefonía tradicional y HDSL.

3.2 Descripción del Dynatel 965 AMS

El Dynatel 965 AMS es un dispositivo que posee diversas pruebas, sin embargo no todas las mediciones mostradas en la Tabla 3.1 son realizables con un solo instrumento. Por ejemplo la atenuación a 150 KHz es una prueba de doble terminación que requiere de dos unidades, una en cada uno de los extremos. El anexo 3 describe las opciones de teclado que posee este instrumento de medición.

El Dynatel 965 AMS presenta un módulo adicional denominado FED II 1342 (*Far End Device*), o sea dispositivo de extremo lejano. El FED es un instrumento que se conecta en el extremo opuesto del Dynatel 965 AMS con el propósito de realizar una serie de pruebas en conjunto, mediante la opción de teclado Autoprueba. Estas pruebas son mostradas en forma de tabla en la pantalla del instrumento siendo realizables tanto para pares activos en banda de voz como inactivos en banda de voz y banda ancha. El esquema de conexión que se muestra en la Figura 3.1 posibilita efectuar las siguientes pruebas: Voltaje DC, Voltaje AC, Resistencia de aislamiento, Bobinas de carga, Balance longitudinal en banda de voz y banda ancha, Resistencia de lazo, Atenuación en banda de voz, Balance resistivo y Longitud de abiertos.

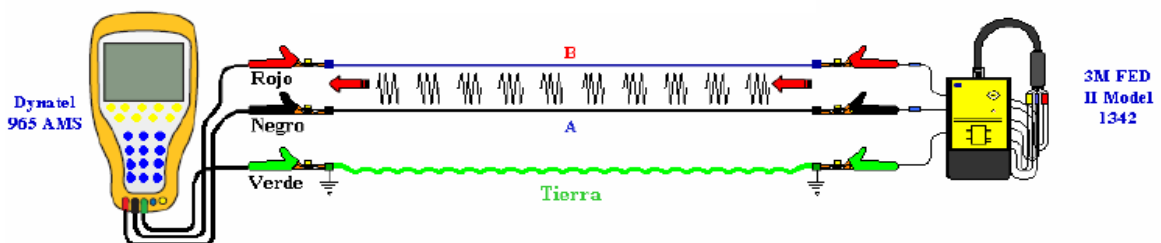


Figura 3.1 Esquema de conexión empleando FED II 1342

Otra variante que posibilita efectuar estas mediciones con excepción del balance longitudinal en banda ancha es mediante el uso de las diferentes opciones de teclado del

instrumento, presentando como inconveniente una demora superior a la hora de ejecutarlas en su conjunto sobre el par. Precisamente ahí radica la ventaja del FED, en la rapidez para efectuar un gran conjunto de pruebas.

3.3 Mediciones para servicio de telefonía tradicional con el Dynatel 965 AMS

En el capítulo anterior se mostraron las mediciones a realizar en un par de cobre para implementar servicios de telefonía tradicional, el Dynatel 965 AMS exhibe las siguientes: Voltaje DC, Voltaje AC, Resistencia de aislamiento y Balance longitudinal de impedancias. Prescinde de la medición de Capacitancia. El esquema de conexión para llevar a cabo estas pruebas se muestra en la Figura 3.2, esta describe la conexión de las puntas de prueba con los hilos del par y la pantalla (tierra): punta negra-hilo A (Tip), punta roja-hilo B (Ring) y punta verde-pantalla del cable (Ground).

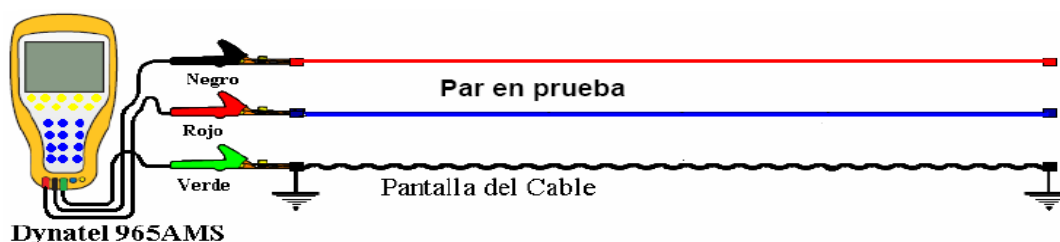


Figura 3.2 Esquema de conexión

Voltaje DC

En la pantalla del instrumento se visualizan los tres posibles valores (A-B), (A-Tierra) y (B-Tierra). El rango de voltaje DC medible por el instrumento varía de 0 a 300 volts.

Voltaje AC

De manera similar al voltaje DC presenta tres valores posibles. El rango de medición oscila entre 0 y 250 volts. El instrumento presenta un mecanismo de protección cuando detecta un voltaje igual o superior a 120 volt AC que opera un relé para desconectar automáticamente las puntas de prueba.

Resistencia de aislamiento

Posee tres posibles valores de manera similar a las anteriores pruebas. El máximo valor medible por el instrumento es 999 M Ω .

Balance longitudinal de impedancias

La función de medición balance longitudinal tiene como objetivo medir el balance longitudinal activo de un par telefónico. La prueba da una indicación de la susceptibilidad de los hilos A y B de un par para rechazar el ruido.

3.4 Mediciones para servicio HDSL con el Dynatel 965 AMS

A continuación se presentan las mediciones establecidas internacionalmente para servicios HDSL que pueden ser implementadas con el Dynatel 965 AMS. Entre ellas se destacan: Detección de bobinas de carga, Resistencia de lazo, Detección de derivaciones punteadas, Ruido impulsivo y Ruido de fondo. El esquema de conexión en estas pruebas a excepción de la resistencia de lazo es similar al empleado en las mediciones para telefonía tradicional. No se incluyen las mediciones de Voltaje DC, AC y Resistencia de aislamiento por ser expuestas en el epígrafe anterior, pero es necesario efectuarlas previamente al proceso de precalificación para HDSL. La Atenuación a 150 KHz al ser una prueba de doble terminación es excluida debido a que la empresa SERTOD solo adquirió un Dynatel 965 AMS y es necesaria la utilización de dos instrumentos de medición para su implementación.

Detección de bobinas de carga

La detección de bobinas de carga se efectúa en el Dynatel 965 AMS mediante un contador de bobinas de carga. Esta función cuenta la cantidad de bobinas de carga del lazo de abonado y determina la distancia hasta la primera de ellas. Otra variante para detectar la presencia de bobinas de carga es mediante el uso del TDR con el propósito de determinar la distancia a la primera bobina. Una bobina de carga se visualiza en la pantalla de instrumento como una abolladura hacia arriba. La Figura 3.3 describe este evento reflectivo, el círculo en rojo denota el comienzo de la bobina.

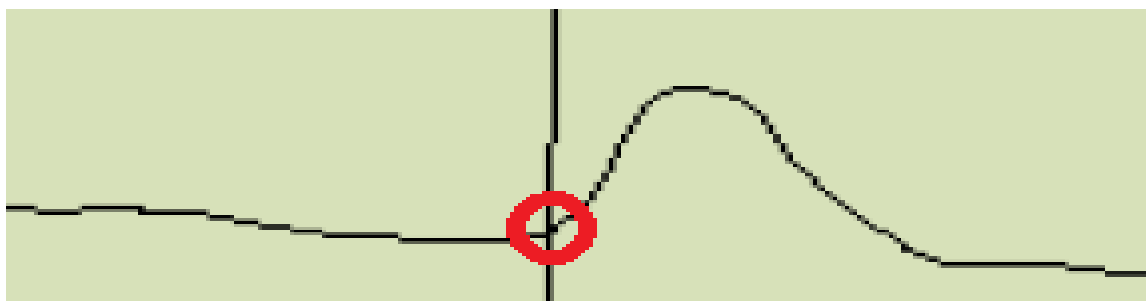


Figura 3.3 Bobina de carga

El rango de medición del TDR del Dynatel 965 AMS posee un valor de longitud mínimo de 30 metros y un máximo de 10000 metros. La ganancia del pulso es configurable y posee valores por defecto entre 0 y 198 dB. Otra de las características permisibles desde el punto de vista de configuración es el ancho del pulso, el cual presenta cuatro valores posibles: 5, 34, 235 y 1600 ns.

Resistencia de lazo

La prueba Resistencia de lazo presenta la peculiaridad que la conexión para realizar la medición requiere de un corto en el extremo final del par en prueba. La Figura 3.4 muestra el esquema de conexión para realizar esta medición.

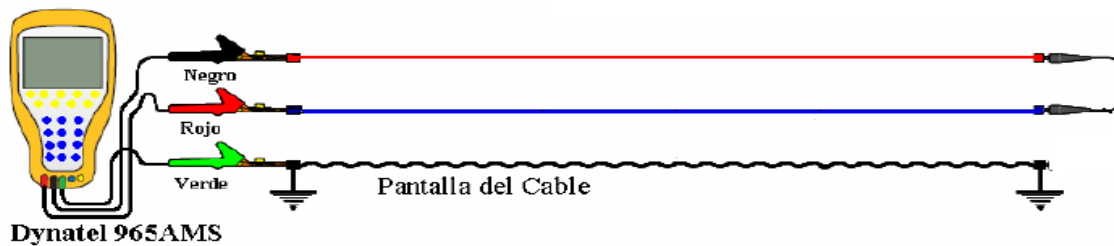


Figura 3.4 Esquema de conexión para Resistencia de lazo

Detección de derivaciones puenteadas

La prueba Detección de derivaciones puenteadas en el Dynatel 965 AMS se implementa con el TDR. Una derivación se identifica en la pantalla del instrumento como un pico hacia abajo seguido de una abolladura hacia arriba que implica el final del cable. El comienzo del pico hacia abajo denota la distancia a la que se encuentra la derivación puenteadada del punto de medición. El TDR brinda la posibilidad de determinar la longitud de la línea en paralelo a partir del uso de marcadores. Para ello se traslada el marcador hasta donde comienza la abolladura hacia arriba, la distancia visualizada en la pantalla entre el comienzo de la misma y el inicio de la derivación (pico hacia abajo) constituye la longitud de la derivación (Telecom, 2001a). La Figura 3.5 describe este fenómeno reflectivo, los círculos en azul y rojo denotan el comienzo y final de la derivación respectivamente.

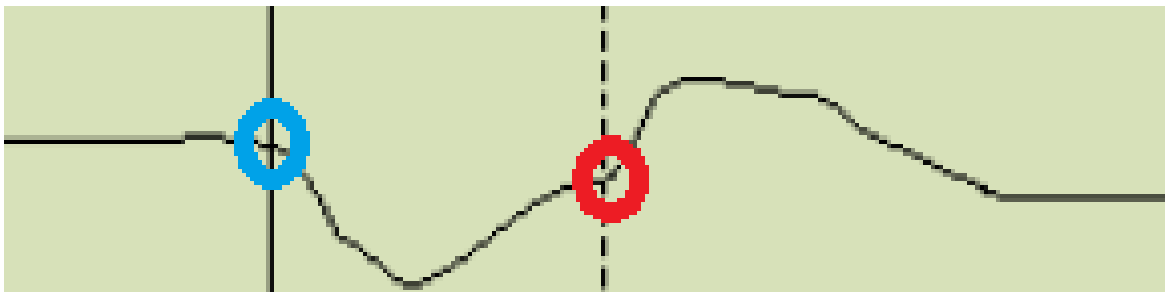


Figura 3.5 Derivación puenteada

Ruido impulsivo

El ruido impulsivo se emplea para monitorear los ruidos aleatorios que se estén induciendo en el cable y realizar el conteo del número de impulsos de ruido que se producen en el período de tiempo definido. Para establecer la medición es imprescindible configurar el umbral de conteo y el tiempo en minutos.

Ruido de fondo

En el Dynatel 965 AMS la medición de ruido de fondo se efectúa mediante el analizador de espectro. El analizador de espectro proporciona un despliegue gráfico del ruido en una línea sobre un rango de frecuencias desde 1 KHz a 2 MHz. Para ello cuenta con un cursor que le permite desplegar simultáneamente el valor de la frecuencia y el nivel promedio de ruido en la posición que indica el cursor.

3.5 Pruebas complementarias

El Dynatel 965 AMS posee pruebas adicionales que complementan su repertorio de mediciones dadas las prestaciones que presentan. El Balance resistivo y la Medición de abiertos constituyen dos ejemplos que sugieren ampliar el repertorio de mediciones establecidas en el capítulo 2. A continuación se especifican algunas de sus peculiaridades.

Balance resistivo

Constituye la razón entre la diferencia de las resistencias de los hilos del par (A y B) con respecto a la referencia (tierra) y el valor mínimo de resistencia perteneciente a uno de los hilos. El balance resistivo presenta 5 valores de medición visualizados por el instrumento: Resistencia de lazo, Resistencias de los hilos A y B con respecto a tierra, la diferencia entre ambas y el balance resistivo en %. El valor recomendado por el fabricante para el servicio telefónico tradicional no debe superar el 3%, mientras que para servicios xDSL debe ser inferior al 1%. El esquema de conexión se muestra en la Figura 3.6.

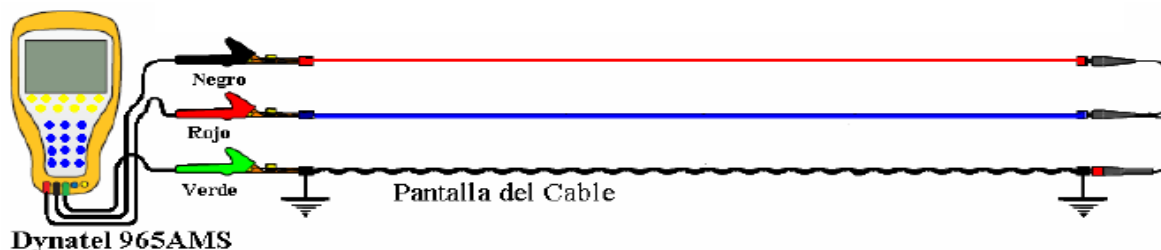


Figura 3.6 Esquema de conexión para Balance resistivo

Medición de abiertos

Empleado para localizar fallas capacitivas ya sean abiertos totales o parciales. Posee tres valores posibles A-Tierra, A-B y B-Tierra. Determina la distancia desde el punto donde se realiza la medición hasta donde se encuentra el abierto. Por ejemplo en caso de producirse un abierto parcial en el hilo A, el valor en metros entre A-Tierra visualizado por el instrumento en su pantalla será inferior a los otros valores (A-B y B-Tierra), determinando la existencia de la falla. El esquema de conexión es similar al implementado en las mediciones para el servicio de telefonía tradicional.

3.6 Pruebas a implementar con el Dynatel 965 AMS

Los parámetros a medir con el Dynatel 965 AMS para servicios de telefonía tradicional y HDSL, se muestran en la Tabla 3.2. En la misma se exponen los valores óptimos para telefonía tradicional predefinidos a partir de la experiencia de especialistas de empresas nacionales (ETECSA) y manuales de diferentes instrumentos de medición. También se presentan las mediciones fundamentales para HDSL que pueden ser implementadas con el Dynatel 965 AMS y se destacan los valores establecidos por recomendaciones internacionales como la G.991.1, ANSI T1.413 y M.1020, como se describió en el capítulo anterior. Es preciso destacar la inclusión de la medición Balance resistivo tanto para telefonía tradicional como para HDSL, así como el valor óptimo en ambos servicios que impone el fabricante del Dynatel 965 AMS. Esta prueba es de vital importancia producto que un valor elevado indicará diferencias significativas en las resistencias de cada hilo con respecto a tierra, lo que implicará corrientes diferentes en cada hilo provocando que los campos electromagnéticos generados por las mismas no se anulen completamente y se produzca un incremento del ruido en el par.

Tabla 3.2 Pruebas establecidas para los servicios de telefonía tradicional y HDSL

Mediciones	Valores óptimos
Telefonía tradicional	
Voltaje DC	*
Voltaje AC	< 5V AC
Resistencia de aislamiento	>3MΩ
Balance longitudinal de impedancias (B.L)	>50 dB
Balance Resistivo (B.R)	< 3%
HDSL	
Detección de bobinas de carga	0
Resistencia de lazo	< 900Ω
Detección de derivaciones puenteadas	Máximo 2 derivaciones menores de 500 m
Ruido impulsivo	Menos de 18 impulsos en 15 minutos
Ruido de fondo	≤ 0 dB
Balance resistivo (B.R)	< 1%

*Remitirse al subepígrafe 2.2.1 Voltaje DC donde se exponen los valores de voltaje DC para pares activos e inactivos.

3.7 Mediciones Prácticas

Los valores de las mediciones mostrados en este epígrafe pertenecen a un cable telefónico de 100 pares de la zona 30-2 donde existen un gran número de pares en servicio. Este enlace constituye uno de los más importantes de la empresa SERTOD debido a que enlaza a su principal cliente con dicha entidad. De un total de 100 pares, 70 se encuentran brindando servicio, o sea son pares activos por lo que serán analizados los 30 pares de reserva o inactivos con el propósito de verificar si cumplen las condiciones para soportar los servicios de telefonía tradicional y HDSL.

En el proceso de precalificación de los pares para servicio HDSL se efectúan previamente un grupo de pruebas como Voltaje DC, AC y Resistencia de aislamiento con el objetivo de comprobar el perfecto estado del medio físico (par de cobre) que transporta las señales. Como estas pruebas son implementadas también para el servicio telefónico tradicional, los pares que no cumplan con estas condiciones, serán descartados en el proceso de precalificación para HDSL. La Tabla 3.3 muestra el conjunto de mediciones realizadas a los 30 pares en reserva para el servicio de telefonía tradicional.

Tabla 3.3 Mediciones para servicio de telefonía tradicional

Par	Voltaje DC (V)			Voltaje AC (V)			Resistencia de aislamiento (MΩ)			B.R (%)	B.L (dB)
	A-B	A-T	B-T	A-B	A-T	B-T	A-B	A-T	B-T		
2	0.3	-0.7	-1.7	0	2.5	2.4	3.87	6.27	(0.635)	0.8	53.7
3	-0.1	-0.2	-0.3	0	2.7	2.7	5.98	8.99	5.32	0.2	60.3
4	0	-0.3	-0.2	0	2.7	2.7	7.11	11.41	6.88	0.3	58.9
5	-0.4	-0.3	-0.6	0	2.7	2.8	(2.54)	(1.99)	(0.708)	0.2	70.4
8	-0.1	-0.2	-0.2	0	3.2	3.2	10.46	19.95	9.1	0.8	64.9
10	-0.1	-0.3	-0.2	0	3	3	6.28	18.42	9.39	0.4	(19.2)
61	0.5	-0.1	0	0	0	0	6.62	23.21	15.68	0.1	(48.1)
62	1.0	-0.7	-0.3	0	1.3	0	9.42	26.38	7.56	0.1	68.5
63	-0.4	0	-1.0	0	2.2	2.2	31.96	29.64	7.6	0.5	55.6
64	0.2	-0.9	-0.4	1	3	3.1	15.65	20.1	6.25	0.2	55.5
65	0.4	-1.4	-0.7	0	2.6	2.6	6.42	20.3	7.96	0.1	(49.7)
66	0.4	-1.5	-0.7	0	2.8	2.8	3.16	14.47	13.41	0.3	51.7
67	0.2	-0.2	0.1	0	2.5	2.5	(0.136)	(0.149)	(0.240)	0.4	62.2
68	0.3	-1.4	-0.6	0	2.2	2.2	(1.67)	5.45	5.27	0.9	59.5
69	0.6	-1.8	-0.8	0	2.5	2.6	(0.736)	(1.21)	(0.282)	0.9	61.6
70	-0.5	-0.8	-1.2	0	1.4	1.4	(2.39)	4.14	(2.6)	0.4	54.5
76	0.2	-0.6	-0.4	0	1.5	1.6	5.63	7.31	(0.239)	0.1	54.8
77	0	-0.1	0.0	0	2	1.4	11.43	12.97	(1.83)	0.2	58.9
78	0.1	-0.1	-0.3	0	1.5	0	12.88	29.21	13.52	0.6	53.9
79	0.2	-0.5	-0.3	0	0	0.9	8.12	23.74	14.16	0.2	(47.8)
80	-0.4	-0.4	-1.0	0	1.4	1.4	7.91	13.26	6.27	0.6	55.1
81	0	-0.9	-0.9	0	1	1.1	(1.36)	(2.32)	(2.11)	0.2	(49.5)
83	0.6	-0.1	-0.2	0	0	0	8.29	11.07	17.52	0.4	56.9
84	0	-0.1	-0.3	0	0	1.2	23.07	54.33	16.22	0.5	59.1
85	0.1	-0.4	-0.2	0	2.2	2.3	6.44	14.26	4.67	0.3	-49
86	0.2	-1.4	-0.9	0	2.3	2.3	3.32	9.66	6.5	0.6	65.6
87	0.3	-1.9	-0.8	2	2	1.2	6.07	(1.2)	(4.1)	0.3	57.9
88	0.7	-2.0	-0.7	0	2.2	2.3	(2.69)	10.32	9.32	0.2	-17
89	-0.5	-0.2	0	0	2.1	2.1	10.6	17.68	6.29	0	62.4
90	0	-0.1	-0.1	0	2.1	2.4	6.22	9.24	(2.8)	0.3	(16.7)

() Los valores no satisfacen las condiciones establecidas previamente para soportar servicio de telefonía tradicional.

Las tres columnas de la Tabla 3.3 donde se exponen los valores de voltaje DC demuestran que todos los pares cumplieron con los requisitos establecidos pues los valores cercanos a 0 VDC manifiestan la no presencia de cruces con ningún par activo. Anteriormente se abordó que los pares inactivos no son alimentados desde la central con 48 VDC por lo que usualmente deben presentar valores cercanos a 0 VDC, cuando algunos de sus tres valores presenta un voltaje modular cercano a 48 VDC indica la presencia de cruce con algún par activo.

Las siguientes tres columnas donde se muestran los valores de voltaje AC arrojaron resultados satisfactorios debido a que todos los valores estuvieron por debajo de 5 VAC, lo que indica una pobre presencia de voltajes interferentes. La columna perteneciente al balance resistivo demostró que todos los pares presentaron valores óptimos, en este caso inferiores al 3 %.

A partir del análisis de las tres columnas donde se exponen los valores de resistencia de aislamiento se comprobó la existencia de bajo aislamiento en algunos pares como consecuencia de presentar valores inferiores a 3 MΩ. Por ejemplo la columna donde se exhibe el valor de resistencia de aislamiento entre los hilos A y B (A-B) muestra algunos pares donde este valor es inferior a los 3MΩ, un ejemplo es el par número 5 que presentó un valor de 2.54 MΩ.

La siguiente columna indica el valor de resistencia de aislamiento entre el hilo A y tierra, aquí se aprecian varios pares con bajo aislamiento, muestra de ello es el par número 67 con 0.149 MΩ. La tercera columna representa el valor de resistencia de aislamiento entre el hilo B y tierra (B-T), el par número 76 no cumple con los requerimientos impuestos pues presenta un valor de 0.239 MΩ.

Gran parte de los pares en prueba exhibieron excelentes valores de balance longitudinal de impedancias, sin embargo algunos mostraron valores inferiores a 50 dB, un ejemplo es el par número 10 con un valor de 19.2 dB.

Muchos de los pares medidos no cumplieron con los requisitos impuestos para soportar el servicio telefónico tradicional fundamentalmente por mostrar valores de resistencia de aislamiento inferiores a los 3 MΩ como es el caso del par 5, 67 y 81 etc. Otros no

cumplieron los requisitos por exhibir un balance longitudinal inferior a 50 dB, muestra de ello son el 61,79 y 85.

La Tabla 3.4 muestra los pares con las condiciones óptimas para soportar el servicio de telefonía tradicional. Se aprecia que de un total de 30 pares medidos solo 14 resultaron aptos para soportar el servicio de telefonía tradicional.

Tabla 3.4 Pares aptos para soportar servicio de telefonía tradicional

# Par	2	3	4	8	62	63	64	66	78	80	83	84	86	89
-------	---	---	---	---	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----

Los pares que resultaron no aptos para el servicio de telefonía tradicional serán descartados en el proceso de precalificación para HDSL, o sea solo serán tomados en cuenta los 14 pares expuestos en la Tabla 3.4. La Tabla 3.5 ilustra las pruebas realizadas a los pares para soportar HDSL.

Tabla 3.5 Mediciones para servicio HDSL

Par	Detección de bobinas	Resistencia de lazo (Ω)	Detección de derivaciones	Ruido impulsivo (# de impulsos)	Ruido de fondo (dB)	Balance resistivo (%)
2	0	690	0	0	-2.1	0.8
3	0	692	0	3	-3.1	0.2
4	0	689	0	1	-1.5	0.3
8	0	695	0	0	-1.5	0.8
62	0	696	0	2	-1.2	0.1
63	0	695	0	2	-3.1	0.5
64	0	692	0	0	(2.3)	0.2
66	0	689	0	0	(5.1)	0.3
78	0	688	0	1	(1.2)	0.6
80	0	694	0	2	-1.7	0.6
83	0	696	0	0	(1.5)	0.4
84	0	688	0	2	(3.1)	0.5
86	0	689	0	0	-4.1	0.6
89	0	692	0	1	-3.4	0

() Los valores no satisfacen las condiciones establecidas previamente para soportar HDSL.

La Tabla 3.5 muestra la no presencia de bobinas de carga en los pares analizados. Los valores de resistencia de aislamiento en todos los pares cumplieron con el valor normado para HDSL, en este caso resultaron inferiores a los 900Ω . No se detectó la presencia de derivaciones. Todos los pares que se le realizó la medición de ruido impulsivo estuvieron por debajo de los 18 impulsos en un período de 15 minutos para el umbral configurado de -21dBm . El balance resistivo presentó valores inferiores al 1% establecido para servicio de banda ancha. La principal limitación radicó en el ruido de fondo donde algunos pares mostraron valores por encima de 0 dB, muestra de ello es el par número 64, con un valor de 2.3 dB.

La Tabla 3.6 expone los pares que cumplieron las condiciones para soportar HDSL, como se aprecia de un total de 14 pares analizados 9 de ellos resultaron aptos para el soporte de HDSL.

Tabla 3.6. Pares aptos para soportar servicio HDSL

# Par	2	3	4	8	62	63	80	86	89
-------	---	---	---	---	----	----	----	----	----

3.8 Conclusiones Parciales

A partir de los resultados alcanzados en las mediciones se pueden llegar a las siguientes conclusiones:

1. El Dynatel 965 AMS constituye un instrumento de medición modular y versátil que permite implementar un gran por ciento de las pruebas establecidas sin la necesidad del empleo de otras unidades en el extremo opuesto del par. Sin embargo con el uso de un FED se agiliza el proceso de medición al efectuar simultáneamente un conjunto de mediciones en un corto período de tiempo.
2. Se comprobó que solo el 46.7 % de los pares en reserva cumplen los requerimientos para soportar el servicio de telefonía tradicional, o sea más de la mitad de los pares en reserva no poseen las condiciones mínimas para un servicio básico como es la telefonía tradicional. El 64,3 % de los pares aptos para soportar servicio de telefonía tradicional cumplen las condiciones para implementar el servicio HDSL.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Conclusiones

En el presente trabajo se definieron las mediciones que pueden ser implementadas por el instrumento de medición Dynatel 965 AMS adquirido recientemente por la empresa SERTOD. Durante su realización se arribaron a las siguientes conclusiones:

1. Las características físicas del par de cobre como el calibre, el aislante que recubre a los conductores y la longitud de los hilos determinan las características eléctricas o parámetros primarios del par de cobre. Los parámetros primarios a su vez y la frecuencia de transmisión determinan los parámetros secundarios que describen al par de cobre desde el punto de vista de transmisión. La inserción de bobinas de carga en el lazo de abonado constituye una opción viable desde el punto de vista económico para mejorar la respuesta de frecuencia en aquellos pares destinados a transportar señales en la banda de voz.
2. Las mediciones para posibilitar un correcto funcionamiento del servicio de telefonía tradicional están orientadas a garantizar que el par no presente ningún tipo de falla, así como la mínima presencia de interferencias. Las pruebas establecidas en el proceso de precalificación del par de cobre para soportar servicio HDSL poseen mayor rigurosidad debido a que se transmite señales digitales a frecuencias superiores a la banda de voz donde el comportamiento del par difiere ostensiblemente.
3. Los valores óptimos determinados en las mediciones para el servicio de telefonía tradicional fueron establecidos a partir de la experiencia de especialistas en el tema de otras empresas como ETECSA y la recopilación de manuales de varios instrumentos de medición. No obstante existen recomendaciones internacionales

como la G.991.1, la M.1020 y la T1-413 que preestablecen los valores óptimos para HDSL.

4. El Dynatel 965 AMS constituye una excelente herramienta para la empresa SERTOD pues permite realizar gran parte de las mediciones establecidas e incluir otras como el Balance resistivo tomando como criterio los valores establecidos por el fabricante.
5. Las mediciones realizadas a un grupo de 30 pares de reserva pertenecientes al principal cliente de la empresa SERTOD arrojaron que del total de pares en prueba solo 14, el 46.7% cumplieron los requisitos para soportar el servicio telefónico tradicional, mientras de estos 14 solo 9, el 64.3 % resultaron óptimos para implementar HDSL.

Recomendaciones

Adquirir un módulo adicional FED en la empresa SERTOD (dispositivo de extremo lejano) con el propósito incluir el Balance longitudinal en banda ancha. La utilización del módulo adicional facilitará el proceso para calificar los pares al no tener que variar el esquema de conexión en el extremo opuesto.

Debido a la gran diversidad de tecnologías xDSL existentes se recomienda desarrollar futuros trabajos donde se investiguen las principales pruebas y valores normados en el proceso de calificar los pares para otras tecnologías xDSL previendo una posible inserción de las mismas en nuestro país.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ANSI 1998. Recomendación ANSI T1-413 "Network and Costumer Instalation Interfaces Asymmetric Digital Subscriber Line".
- BALMAIN, K. G. 1978. *Ondas electromagnéticas y Sistemas radiantes*, Madrid, Paraninfo.
- BRICEÑO, J. E. 2005. *Transmisión de datos, Universidad de los Andes, Facultad de Ingeniería Eléctrica, Departamento de Publicaciones* .Mérida.
- DYNATEL, M. 2007. Dynatel Advanced Modular System 965 AMS. Available: <http://www.3MTelecommunications.com>.
- FITTS, R. 2002. xDSL Service Testing. Available: www.consultronics.com.
- GORALSKI, W. M. 2002. *Tecnologies ADSL and xdSL*, Mac Graw-Hill.
- GRASSI, P. 2011. Monografía xDSL. Available: <http://www.dsi.fceia.unr.edu.ar/downloads/distribuidos/material/monografía/xDSL.pdf>.
- INZIRILLO, R. L. 2012. Sistemas de telefonía. Available: <http://www.um.edu.ar>.
- JAY, J. 2009. *The Facts of the American Wire Gauge* [Online]. Available: <http://www.cableorganizer.com/articles/awg-facts.html> [Accessed 2/2/2014].
- JIMÉNEZ, S. 2010. Medios de transmisión. Available: <http://agamenon.tsc.uah.es/Asignaturas/ittst/sistel/apuntes/2008-09/tema3.pdf>.
- JOSKOWICZ, J. 2013. Conceptos Básicos de telefonía. Available: <http://iie.fing.edu.uy/ense/asign/ccu/material/docs/Conceptos%20Basicos%20de%20Telefonia.pdf>.
- KARAKASH, J. J. 1950. *Transmission Lines and Filters Networks*, New York, Mc Graw Hill.
- LIMITED, C. 2003. Cable Sharkplus. A complete testing solution. Available: <http://www.consultronics.com/cablesharkdetaisl.htm>.
- MAGNUSSON, P. C. 1970. *Transmission Lines and Wave Propagation*, Boston, Allyn and Bacon.
- OMNICOR. 2002. Test and Measurements Systems: Sunset xDSL Analyzer. Available: <http://omnicor.com/docs/SunsetxDSLFull.pdf>.

- ORELLANA, J. M. P. 2008. *Diseño e implementación de un prototipo de sistema de monitoreo de parámetros en líneas XDSL de la red de etapa para el control y gestión*. Universidad Politécnica Salesiana.
- PALANCAR, F. G. 2003. Pruebas en xDSL. Available: <http://www.coitt.es/antena/pdf>.
- PÉREZ, O. R. 2010. El par de cobre para tecnologías xDSL. *Revista técnica de la empresa de Telecomunicaciones de Cuba*.
- POLO, I. M. 2000. Pruebas en xDSL desde un punto de vista práctico. Available: <http://www.sunrisetelecom.com/espanol/presentacionpruebasxdsl.pdf>
- POZAR, D. M. 2004. *Microwave Engineering*, Jhon Wiley & Sons.
- RÁBANOS, J. M. H. 1990. *Sistemas de Telecomunicación. Transmisión en Línea (Volumen 1)*, Ciudad de la Habana, Publicaciones ETSI Telecomunicación.
- ROBERT RESNICK, D. H., KENNETH KRANE 2003. *Física*, La Habana, Félix Varela.
- RODRÍGUEZ, C. R. 2014. La transición hacia la convergencia, la banda ancha de los operadores de Telecomunicaciones. Available: http://www.eclac.cl/publicaciones/xml/9/43289/Capitulo_IV_IED_2014_WEB_FIN_AL.pdf.
- RODRÍGUEZ, J. C. 2010. Introducción a la telefonía. Available: http://www.adminso.es/images/f/f8/PFC_Jesus_Camacho_Rodriguez_Capitulo_1.pdf.
- SANDERS, K. F. 1978. *Transmission and Propagation of Electromagnetic Waves*, Cambridge University Press, Prentice Hall.
- SEARS ZEMANSKY, Y. F. 2008. *Física Universitaria*, Ciudad Habana, Félix Varela.
- TECNOLOGY, C. 2000. Digital Subscriber Line (DSL) Testing. The international Engineering Consortium (IEC), Web ProForum Tutorials. Available: <http://www.iec.org>.
- TELECOM, S. 1997. Pruebas en xDSL. Available: <http://www.sunrisetelecom.com>.
- TELECOM, S. 2001a. Sunset xDSL: Prequalifying the Copper Plant for DSL. Available: <http://www.sunrisetelecom.com>.
- TELECOM, S. 2002. Sunset xDSL. Guía de referencia rápida. Available: <http://www.sunrisetelecom.com>.
- TENORIO, R. V. 2004. *Procedimiento de precalificación de la red de acceso para el soporte de tecnologías xDSL*. Universidad Central Martha Abreu de Las Villas.
- TRENDCOMMUNICATION. 2000. ALT 2000 Instrumento de línea avanzado. Manual de usuario. Available: <http://www.trencomms.com>.
- TROPEANO, F. C. 2002. Mediciones sobre redes de comunicaciones de datos. Available: <http://www.valletecnológico.com.ar/documentos/medicionesobreredesdedatos.pdf>.
- UIT-T 1993. Recomendación M.1020 "Características de los circuitos internacionales arrendados de calidad especial con acondicionamiento en la anchura de banda".

- UIT-T 1998. Recomendación G.991.1 " Transceptores de línea digital de abonado de alta velocidad binaria".
- UIT-T 1999. Recomendación G.996.1 "Procedimientos de prueba para transceptores de línea de abonado digital".
- VEGA, C. L. 2013. Líneas de transmisión. Available:
http://personales.unican.es/perezvr/pdf/CH9ST_Web.pdf.

ANEXOS

Anexo I Código de colores

Dentro del cable los conductores se agrupan en pares y estos, a su vez, en capas anulares concéntricas. Con el fin de facilitar la identificación de los pares existe un código internacional de colores que define 25 pares, combinando 10 colores, siendo 5 colores para los hilos A (tip), denominados colores básicos, y 5 colores para los hilos B (ring), denominados colores secundarios o acompañantes. En principio estas combinaciones sirven para identificar hasta 25 pares. Los cables de mayor capacidad son divididos en grupos de 25 pares que se identifican por medio de cintas de colores ubicadas alrededor del conjunto siguiendo el mismo patrón de colores empleado para los hilos acompañantes. La tabla 1 muestra el conjunto de colores primarios y secundarios.

Tabla 1. Colores primarios y secundarios.

Número	Colores Primarios	Colores Secundarios
1	Blanco	Azul
2	Rojo	Naranja
3	Negro	Verde
4	Amarillo	Café
5	Violeta	Gris

Anexo II Coeficientes para el cálculo de resistencia y conductancia

A continuación se muestran dos tablas que contienen los coeficientes para el cálculo de R y G según la recomendación G.996.1 de la UIT.

Tabla 1. Coeficientes para el cálculo de R (a 20 °C)

Aislante	Calibre (AWG)	r_{oc}	a_c
Papel	0.40 mm	$2.688 \cdot 10^{-1}$	$2.267 \cdot 10^{-13}$
	0.50 mm	$1.724 \cdot 10^{-1}$	$9.374 \cdot 10^{-14}$
	0.65 mm	$1.041 \cdot 10^{-1}$	$2.787 \cdot 10^{-14}$
	0.90 mm	$5.589 \cdot 10^{-2}$	$7.180 \cdot 10^{-15}$
Polietileno	0.40 mm	$2.714 \cdot 10^{-1}$	$1.705 \cdot 10^{-7}$
	0.50 mm	$1.742 \cdot 10^{-1}$	$7.346 \cdot 10^{-14}$
	0.65 mm	$1.048 \cdot 10^{-1}$	$2.436 \cdot 10^{-14}$
	0.90 mm	$5.630 \cdot 10^{-2}$	$6.486 \cdot 10^{-15}$

Tabla 2. Tangente de pérdidas para el cálculo de G (a 20°C).

Coefficiente	Papel	Polietileno
Tan δ	$2.5 \cdot 10^{-2}$	$5.0 \cdot 10^{-4}$

Anexo III Dynatel 965 AMS

El instrumento de medición Dynatel 965 AMS (figura 1) se utiliza para realizar pruebas en redes telefónicas con el objetivo de precalificarlas para servicios POTS (telefonía tradicional) y servicios de banda ancha (xDSL), además de detectar posibles fallas presentes en el lazo de abonado. Al encender el equipo se presenta una pantalla de bienvenida que muestra el nombre del modelo, opciones instaladas, número de serie, año de derechos de autor, versión de software y país seleccionado.



Figura 1. Dynatel 965 AMS.

Cuenta con un conjunto de teclas llamadas de “control” las cuales son de color amarillo, excepto la que se encarga del encendido y apagado del equipo en color rojo, además de otras llamadas teclas de “función” de color azul. La figura 2 muestra el teclado de control.

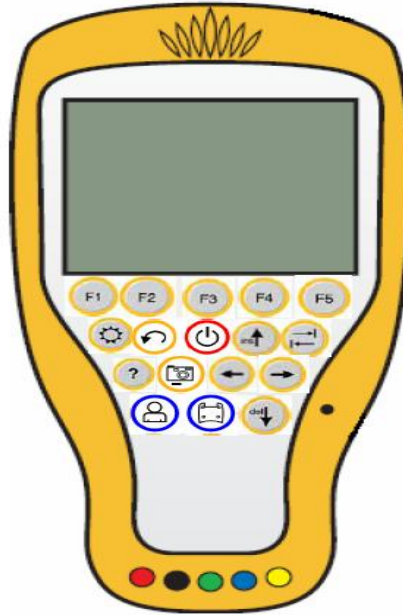


Figura 2. Teclado de control.

Entre las teclas de control se encuentran:

- **Teclas F1 a F5:** Las teclas de la F1 a la F5 se usan con las diferentes opciones de medición del Dynatel 965 AMS para efectuar medidas o procesos alternos o aplicar submenús incluidos en las funciones principales.
- **Contraste:** Se utiliza para ajustar el contraste y para encender o apagar la luz de fondo de la pantalla.
- **Retorno:** Se usa para devolverse al paso anterior de una función o proceso.
- **Salvar o guardar:** Permite guardar los resultados de Autoprueba e imágenes de TDR en memoria e identificarlos con hora y fecha. Se usa también para poner 'Guión' o signo 'menos' cuando se editan números.
- **Tabulador:** Cuando este icono aparezca en pantalla, se usará para seleccionar opciones al ejecutar una prueba.
- **Ayuda:** Se usa para obtener ayuda en pantalla de cómo usar y/o conectar el equipo Dynatel en los pares a probar o medir. Esta ayuda se presenta en idioma español, en cualquiera de las funciones que se este usando.
- **Flechas de desplazamiento Arriba o Abajo:** usadas para acceder a diferentes opciones del menú. Cuando se editan números, [Arriba] se usa para insertar

‘Espacio’ (ins) a la izquierda del cursor y [Abajo] se usa para ‘Borrar’ (del) un numero arriba del cursor.

- **Flechas de desplazamiento a Derecha e Izquierda:** usadas para seleccionar entre diferentes opciones en algunas funciones de medición o desplazar el cursor del Ecómetro en los trazos para hallar la distancia a los diferentes eventos reflectivos.
- **Usuario:** Función de control reservada para aplicaciones especiales que se llevan a cabo en las actualizaciones de software y procesos propios de Configuración interna o mantenimiento del equipo.
- **Módulo:** Mediante esta función se tiene acceso al MODEM que este conectado al equipo Dynatel 965 AMS.

El teclado de función incluye todas las pruebas que presenta el analizador Dynatel 965 AMS. La figura 3 muestra el teclado de control.



Figura 3. Teclado de control

Voltaje 1

Se usa para medir voltajes DC o AC en un par telefónico que se conecte entre las puntas de pruebas de color negro y rojo (A y B) y verde (tierra). Permite detectar fallas como cruce de batería.

Corriente 2

La tecla presenta dos funciones:

- Es utilizada para medir los valores de corriente que suministra la central al par telefónico activo, que circulará al conectar las puntas de prueba de color rojo y negro del equipo, en paralelo con el par (A y B). El rango de medición varía de 0 a 120 mA.
- Mide los valores de resistencia de conexión a tierra de la pantalla del cable telefónico. La prueba se efectúa sobre un par telefónico activo, que tenga conexión a tierra a través del hilo A. En la pantalla se mostrará el valor de la resistencia. La resistencia a tierra debe presentar un valor inferior a 25 Ω .

Resistencia $\Omega/3$

Presenta tres funcionalidades: se utiliza para medir la resistencia de lazo del par, la resistencia de aislamiento e implementa la prueba de humedad.

Caja de Herramientas 4

La función es utilizada para acceder a cuatro funciones adicionales: Resultados guardados, Autocalibración, Conversión y Descarga de archivos guardados a una PC.

- **Resultados Guardados (Mediciones en Memoria):** Esta función permite ver en la pantalla del equipo el listado de archivos en la memoria del 965AMS, visualizarlos o borrar los archivos de mediciones guardadas que se deseen eliminar.
- **AutoCalibración del Dynatel 965AMS:** El equipo Dynatel 965AMS lleva a cabo una prueba de todos sus circuitos y funciones de operación. Se requiere hacer la autocalibración del equipo, después que se haya retirado la batería del equipo o cuando hay un cambio de temperatura mayor a 20°C. Para ello se hace necesario poner en corto las 5 puntas de pruebas del equipo. El proceso toma alrededor de 2 minutos y termina cuando la pantalla muestra: Calibración Completa.
- **Convertir Ohmios a Distancia o distancia a ohmios:** Convierte de ohmios a distancia y de distancia a ohmios. Para ello en la pantalla se muestran cuatro

opciones donde se introduce el valor de temperatura, el calibre y la distancia o resistencia en dependencia de la conversión. De esta forma se obtiene el valor del cuarto parámetro.

Medición de pares abiertos 5

Se usa para localizar fallas de continuidad o Capacitivas (Hilos o pares Abiertos, Abierto Parcial). Posee un menú que permite elegir el aislamiento del par en prueba. La función abierto mide la distancia a un hilo o par abierto. Con esto se garantiza la existencia o no de posibles fallas capacitivas, conociendo la distancia total del hilo o par medido. El analizador Dynatel 965 AMS está capacitado para localizar fallas capacitivas hasta 30000 metros de distancia.

Generador de tonos 6

Envía tonos para la medición de pérdidas de señal en un par telefónico. Posee dos tipos de tonos: intermitente para identificar pares en los cables y el continuo (sinusoidal) para medir pérdidas de señal tanto en banda ancha como en la banda de voz. Esta opción brinda la posibilidad de programar el tono de acuerdo a las características deseadas por el usuario.

RFL (Localización de fallas resistivas) 7

Utilizado para localizar fallas resistivas (cortos, tierra, cruce de batería) en cables telefónicos. El rango de longitud varía de 0 a 30000 metros.

DSL (Pruebas de abonado DSL) 8

La opción DSL presenta varias pruebas con el objetivo de medir algunos de los parámetros fundamentales que se requieren a la hora de precalificar una línea telefónica para servicios de banda ancha. Esta opción presenta un menú que incluye las siguientes pruebas: Atenuación en DSL, Balance resistivo, Analizador de espectro y Ruido impulsivo.

TDR o Ecómetro 9.

Se usa para desplegar un trazo de eventos reflectivos que se presentan en un par telefónico, donde se pueden observar por la forma de onda, las distancias a los diferentes tipos de fallas o eventos en el cable. Brinda la posibilidad de guardar las imágenes obtenidas en memoria. El TDR despliega un menú donde se presentan varias opciones: un trazo, doble trazo, modo pico, diafonía y diferencial.

POTS*

Las pruebas que brinda la opción POTS son: Pérdidas, Ruido, Balance Longitudinal, Conteo de bobinas de pupinización y conteo de timbres.

Auto Prueba 0

Presenta tres pruebas: POTS inactivo, POTS activo y banda ancha inactiva.

- **POTS inactivo:** Se utiliza para llevar a cabo una secuencia automática de pruebas sobre un par POTS inactivo o vacante. Para implementar esta medición se usa el equipo auxiliar de pruebas FED II 1342.
- **POTS activo y Banda ancha inactiva:** De manera análoga realizan la misma secuencia de pruebas que para POTS inactivo.