



UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL

SISTEMA DE POSGRADO

MAESTRÍA EN TELECOMUNICACIONES

TÍTULO DE LA TESIS:

“Despliegue de las técnicas VDSL2. Evaluación preliminar”

Previa la obtención del Grado Académico de
Magíster en Telecomunicaciones

ELABORADO POR:

JUAN GABRIEL VALAREZO TINOCO

Guayaquil, 24 de Junio del 2013



UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL

SISTEMA DE POSGRADO

CERTIFICACIÓN

Certificamos que el presente trabajo fue realizado en su totalidad por el Magíster JUAN GABRIEL VALAREZO TINOCO como requerimiento parcial para la obtención del Grado Académico de Magíster en Telecomunicaciones.

Guayaquil, 24 de Junio del 2013

DIRECTOR DE TESIS

MSc. María Luzmila Ruilova Aguirre

REVISORES:

MSc. Edwin Fernando Palacios Meléndez

MSc. Luís Córdova Rivadeneira

DIRECTOR DEL PROGRAMA

MSc. Manuel Romero Paz



UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL

SISTEMA DE POSGRADO

DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD

YO, JUAN GABRIEL VALAREZO TINOCO

DECLARO QUE:

La tesis “Despliegue de las técnicas VDSL2. Evaluación preliminar”, previa a la obtención del grado Académico de Magíster, ha sido desarrollada en base a una investigación exhaustiva, respetando derechos intelectuales de terceros conforme las citas que constan al pie de las páginas correspondientes. Consecuentemente este trabajo es de mi total autoría.

En virtud de esta declaración, me responsabilizo del contenido, veracidad y alcance científico de la tesis del Grado Académico en mención.

Guayaquil, 24 de Junio del 2013

EL AUTOR

JUAN GABRIEL VALAREZO TINOCO



UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL

SISTEMA DE POSGRADO

AUTORIZACIÓN

YO, JUAN GABRIEL VALAREZO TINOCO

Autorizo a la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil, la publicación, en la biblioteca de la institución de la Tesis de Maestría titulada: “Despliegue de las técnicas VDSL2. Evaluación preliminar”, cuyo contenido, ideas y criterios son de mi exclusiva responsabilidad y total autoría.

Guayaquil, 24 de Junio del 2013

EL AUTOR

JUAN GABRIEL VALAREZO TINOCO

Nunca consideres el estudio como una obligación, sino como una oportunidad para penetrar en el bello y maravilloso mundo del saber.

Albert Einstein

AGRADECIMIENTO.

Doy un agradecimiento especial a todas las personas que contribuyeron con la presente tesis, en primer lugar a Dios por haberme permitido culminar mis propósitos, haberme dado salud y Fe para lograr mis objetivos, además de su infinita bondad y amor, a mi madre quien con su apoyo emocional y económico ha hecho posible la realización de esta tesis y por ende esto la llena de orgullo y satisfacción que por su esfuerzo eh terminado una de mis metas. Quiero extender un agradecimiento a las autoridades y docentes de la Facultad Técnica de Desarrollo y de manera especial a los docentes de la Universidad de Santiago de Cuba, a los miembros del tribunal de revisión por su valioso aporte, de igual manera, expreso un agradecimiento efusivo a la MSc. María Luzmila Ruilova, Directora de tesis, por su colaboración en la culminación de este proyecto al igual que al MSc. Manuel Romero Paz, Director del Programa quien con su apoyo incondicional estuvo siempre pendiente de nuestro trabajo. Finalmente, pero no menos importantes, a cada uno de los integrantes de esta maestría quienes han sido un excelente equipo de trabajo y más que nada grandes amigos, Muchas Gracias.

DEDICATORIA.

Antes que nada le doy gracias a dios quien ha sido el amigo que nunca me ha fallado ha estado en las buenas y las malas, en las alegrías y las tristezas quien me ha guiado por el camino del bien y quien no me ha dejado perder la fe gracias Dios.

A mi madre Falconery Tinoco, quien con sus sacrificios y valores me formo en una persona de bien, aunque el destino nos tuvo que separar en busca de un mejor futuro le doy gracias por los concejos, las llamadas de atención, sus rezos, su apoyo incondicional para salir adelante y por ser la persona que soy se lo debo a mi madre me va a faltar la vida para agradecerle todo lo que ha hecho por nosotros.

A mis hermanas: Paola Valarezo quien ha sido como mi segunda madre quien nos cuidó desde pequeño, me ha sabido aconsejar y sobre todo tenerme mucha paciencia por el genio que tengo le doy las gracias te quiero mucho, a mi hermana Stephania Valarezo con la que viví mucho tiempo y quien también entre peleas y disgustos siempre estuvo apoyándome en toda mi carrera mis hermanas y mi madre han sido los pilares fundamentales en mi vida para llegar hasta donde estoy le doy muchas gracias a dios por haberme dado la familia que tengo las amo mucho.

A mi esposa Anita Triviño quien forma parte de mi familia y la que ha estado siempre apoyándome y dándome las fuerzas para seguir adelante, quien me da su amor incondicional para seguir adelante en cada logro de mi vida y a quien amo mucho, a mi hija María Emilia Valarezo quien es porque me esfuerzo en salir adelante y a quien le debo dar un buen futuro tal como lo hizo mi madre, ahora entiendo la precaución de los padres hacia los hijos y el esfuerzo que hacen por nosotros, “Es que hay que vivirlo para darse cuenta del amor incondicional de los padres”.

A mis suegros quien de una u otra forma apoyaron a que terminara mis estudios y quienes aprecio mucho por todo lo que han hecho muchas gracias siempre voy a estar agradecido con ustedes.

A mi amigo Rolando Lapo quien me dio la confianza y la oportunidad de trabajar y estudiar a la vez y me apoyo en toda mi carrera, más como un jefe un amigo siempre voy a estar agradecido por todo lo que ha hecho.

A mis tíos, tías y familia en general quien de una u otra forma me dieron fuerzas para seguir adelante y así ser el orgullo de ellos muchas gracias por esas palabras de aliento los quiero mucho.

RESUMEN

El estándar ITU-T G.993.2 VDSL2 es el más reciente y avanzado de las comunicaciones DSL; es una tecnología de acceso que explota la infraestructura existente de pares de cobre. Puede ser desplegado en las centrales telefónicas, a partir de fibra alimentada en armarios ubicados cerca de las instalaciones del cliente, o dentro de edificios, alcanzando velocidades de hasta 100 Mbit/s en acceso de corto alcance, con una nueva arquitectura de las tecnologías de red de acceso y nueva tecnología de modulación.

En el presente trabajo se ofrece una panorámica general de los fundamentos teóricos y técnicos de la tecnología VDSL2, así como los requerimientos de despliegue de esta técnica. Fue realizada una evaluación preliminar en un escenario típico para la implementación de esta tecnología, realizando mediciones en el par de cobre y fibra óptica. Se realiza una descripción del equipamiento necesario para su implementación. Empleando el programa de simulación de redes ópticas OptiSystem se realiza una simulación de un enlace VDSL2 típico, analizándose los resultados obtenidos.

PALABRAS CLAVES: tecnologías de acceso, xDSL, VDSL2.

ABSTRACT

ITU-T G.993.2 VDSL2 standard is the newest and most advanced DSL product, is an access technology that exploits the existing infrastructure of telephone copper pairs. It can be deployed at the plants, from fiber-fed cabinets located near customer premises, or inside buildings, reaching speeds of up to 100 Mbit/s in short-range access with a new architecture of network technologies access and new modulation technology.

This paper offers an overview of theoretical and technical aspects of VDSL2 technology as well as requirements for their deployment. A preliminary assessment was conducted in Santiago de Cuba to implement this technology. Measurements were made on telephone copper pairs and optics fiber spans. The necessary equipment for an implementation is described.

Using the simulation program for optical networks OptiSystem is performed a simulation of a VDSL2 link. Results of this simulation were analyzed.

KEYWORDS: access technologies, xDSL, VDSL2.

ÍNDICE GENERAL

INTRODUCCIÓN.....	1
Definición del Problema.....	1
Hipótesis	1
Objetivo General:	2
Objetivos específicos:.....	2
Metodología de Investigación:	2
CAPÍTULO 1. ASPECTOS TEÓRICOS Y TÉCNICOS DE LA TECNOLOGÍA DE BANDA ANCHA VDSL2	3
1.1 Servicios ofrecidos	6
1.2 Servicios “Triple Play”	7
1.3 Características de los servicios ofrecidos por VDSL2	8
1.4 Convergencia de los servicios	9
1.5 Calidad de servicios.....	10
1.6 Modulación DMT	10
1.6.1 Modulación de Amplitud en Cuadratura (QAM)	15
1.6.2 Sistema DMT con prefijo cíclico	15
1.7 Asignación de espectro en VDSL2.....	16
1.8 Planes de banda	17
1.9 Perfiles de los diferentes modos de implementación.....	19
1.10 Régimen dúplex.....	20
1.11 Evolución de la red para introducir VDSL2	22
1.12 Arquitectura FTTN	22
1.13 Arquitectura FTTB	23
1.14 Modo de Transferencia de Paquetes.....	24
1.15 Latencia dual.....	25
1.16 Ajuste de potencia en el enlace ascendente	27
1.17 Compatibilidad con versiones anteriores.....	28
CAPÍTULO 2. REQUERIMIENTOS DE DESPLIEGUE DE LAS TÉCNICAS VDSL2	29
2.1 Enlace de cobre.....	29
2.2 Requerimientos eléctricos(Resolución:13/97).....	30
2.2.1 Resistencia de lazo	30

2.2.2 Desequilibrios resistivos.....	31
2.2.3 Capacitancia mutua	32
2.2.4 Desbalance de capacitancia	32
2.2.5 Rigidez dieléctrica	33
2.2.6 Resistencia de aislamiento.....	33
2.2.7 Atenuación.....	33
2.2 Instrumento de medición	34
2.3 Mediciones reales en enlace de cobre.....	35
2.4 Enlace de fibra óptica	39
2.4.1 Cálculo por atenuación. Análisis a partir del balance de potencia (Izquierdo, 1996).....	40
2.4.2 Cálculo de la atenuación total máxima permisible para el enlace.....	41
2.4.3 Cálculo del sistema a partir de los tiempos de levantamiento.....	44
2.5 Instrumento de medición	45
2.6 Mediciones reales en enlace de fibra con el OTDR	46
2.7 Equipamiento.....	47
2.7.1 Terminal de red.....	48
2.7.2 Separador (<i>splitter</i>).....	50
2.7.3 Terminal de línea.....	50
CAPÍTULO 3. ANÁLISIS Y SIMULACIÓN DE ENLACE VDSL2.....	53
3.1 Descripción del software OptiSystem (OptiSystem).....	53
3.1.1 Entorno de trabajo	54
3.2 Descripción del sistema	55
3.2.1 Descripción del módulo OLT.....	56
3.2.2 Enlace de fibra óptica.....	60
3.2.3 Descripción del módulo ONT	64
3.3 Simulación del enlace VDSL2	67
3.4 Resultados de la simulación	68
CONCLUSIONES.....	74
RECOMENDACIONES	76
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	77
GLOSARIO DE TÉRMINOS	88
ANEXO A	92

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1 Tasa de transmisión vs distancia en las principales tecnologías xDSL...	4
Figura 1.2 Relación señal a ruido para cada tono de la modulación DMT.....	11
Figura 1.3 Ejemplos de cómo un sistema de modulación multitono se adapta a las características de la línea.....	12
Figura 1.4 Transmisor y receptor DMT	13
Figura 1.5 Asignación de espectro en VDSL2.....	17
Figura 1.6 Planes de banda de VDSL y VDSL2.....	18
Figura 1.7 Escenarios de implementación.....	19
Figura 1.8 Técnica “Zipper”	21
Figura 1.9 Técnica de extensión cíclica (<i>Cyclicextension</i>).....	21
Figura 1.10 Diagrama de xDSL conectado a la red Ethernet con capa ATM.....	24
Figura 1.11 Diagrama de xDSL conectado a la red Ethernet sin capa ATM.....	25
Figura 1.12 Modelo de referencial del transceptor VDSL2	26
Figura 1.13 Fenómeno “near-far”.....	27
Figura 2.1 Enlace de cobre típico.....	30
Figura 2.2 Dynatel 965 DSP.....	35
Figura 2.3 ALT2000.....	35
Figura 2.4 Medición en el enlace de cobre con el ALT2000, par 1.....	38
Fig. 2.5 Mediciones en el enlace de cobre con el ALT2000, par 2.....	39
Figura 2.6 Enlace de fibra óptica con tecnología VDSL2.....	40
Figura 2.7 OTDR.....	46
Figura 2.8 Medición real del enlace de FO Central Telefónica – Escenario Típico.	47
Figura 2.9 Enlace VDSL.....	48
Figura 2.10 Módem-router HG520V.....	50
Figura 2.11 Funcionamiento de un separador.....	51
Figura 2.12 Modelo funcional del DSLAM.....	52
Figura 2.13 DSLAM SmartAX MA5300 de Huawei.....	52
Figura 3.1 Entorno de trabajo del <i>OptiSystem</i>	54
Figura 3.2 Esquema básico de un enlace entre el OLT y el ONT.....	55
Figura 3.3 Enlace VDSL2 (central telefónica – escenario típico).....	56
Figura 3.4 Bloque OLT. DSLAM situado en la Central telefónica.....	57
Figura 3.5 Parámetros del transmisor WDM para los 1490nm.....	57

Figura 3.6 Parámetros del transmisor WDM para los 1550 nm.....	58
Figura 3.7 Parámetros del sumador WDM.....	58
Figura 3.8 Potencia óptica en la salida del bloque WDM Add.....	59
Figura 3.9 a) Bloque circulador óptico bidireccional.....	59
Figura 3.9 b) Parámetros del circulador.....	59
Figura3.10 Medidor de potencia a la salida del circulador óptico.....	60
Figura 3.11 Enlace de FO (central telefónica – escenario típico).....	61
Figura 3.12 Parámetros para el enlace de FO.....	61
Figura 3.13 Medidor de potencia a la salida del cable de FO.....	62
Figura 3.14 Parámetros del separador óptico.....	62
Figura 3.15 Medidor de potencia a la salida del separador.....	63
Figura 3.16 Redes de distribución.....	65
Figura 3.17 Bloque ONT. Módem a ubicar en el escenario típico.....	66
Figura 3.18 Parámetros del receptor óptico.....	66
Figura 3.19 Definición de la simulación.....	67
Figura3.20 Ventana de cálculo del enlace.....	68
Figura 3.21 Valor del BER en el ONT1.....	69
Figura 3.22 Valor del BER en el ONT2.....	70
Figura 3.23 Valor del BER mínimo para la recepción de la señal upstream en el OLT.....	71
Figura 3.24 Valor del BER en cada punto del diagrama de ojos en el ONT1.....	71
Figura 3.25 Valor del BER en cada punto del diagrama de ojos en el ONT2.....	72
Figura 3.26 Valor del BER en cada punto del diagrama de ojos en el OLT.....	72

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.1 Definición de planes de banda.....	18
Tabla 1.2 Perfiles de VDSL2.....	20
Tabla 1.3 Bandas necesarias para los servicios IPTV.....	23
Tabla 2.1 Calibre contra resistencia de lazo.....	31
Tabla 2.2 Calibre contra desequilibrios resistivos en %.....	31
Tabla 2.3 Atenuación del calibre del conductor a 1000 Hz, a 150 KHz y a 772 KHz.....	34
Tabla 2.4 Mediciones en el par de cobre con el Dynatel965DSP.....	36
Tabla 2.5 Tiempos de levantamiento para diferentes códigos de líneas.....	44
Tabla 3.1 Valores de potencia medidos.....	64

INTRODUCCIÓN

Las conexiones de alta velocidad, son una necesidad de primer orden, las cuales tienen vital importancia para quienes hacen uso de medios digitales para el envío y recepción de información. Los nuevos servicios y las nuevas aplicaciones en la Sociedad de la Información, que es un espacio en el que convergen telecomunicaciones, servicios audiovisuales, informática y electrónica de consumo, demandan mayores velocidades de transmisión, que a su vez van a generar nuevas aplicaciones y nuevas necesidades. Sin embargo, la mayor demanda prevista indica que las redes deben dar otro salto cualitativo para que sean capaces de ofrecer velocidades superiores a las actuales. La tecnología ADSL (*Asymmetric Digital Subscriber Line*, Línea de Suscripción Digital Asimétrica) ha sido uno de los artífices del desarrollo del acceso a alta velocidad, pero sus capacidades son limitadas para la extensión de los nuevos servicios.

El salto en este campo debe venir de la mano de nuevas tecnologías como el VDSL2 (*Very-High-Bit-Rate Digital Subscriber Line 2*, Línea Digital de Abonado de muy Alta Tasa de Transferencia 2), capaces de ofrecer tasas de transferencia de hasta 100 Mbps. VDSL2 ofrece elevadas velocidades de transferencia para aplicaciones que consumen banda ancha, como voz, video y servicios IPTV (*Internet Protocol Television*, Televisión sobre el Protocolo IP). Debido a las características de tasas más rápidas, es una solución perfecta y rentable para usar líneas de fibra óptica y aprovechar la actual infraestructura telefónica de pares de cobre, pero en distancias cortas.

Definición del Problema

Falta de dominio de los requerimientos de despliegue de las tecnologías VDSL, particularmente VDSL2, para una posible implementación de la misma en nuestro país, con la consiguiente prestación de servicios avanzados de banda ancha.

Hipótesis

El dominio de las condiciones para el despliegue de las tecnologías VDSL2, pondría a nuestra Universidad en condiciones de conducir investigaciones en este campo, para una adecuada implementación de las mismas, así como en el mejor uso de los servicios ofrecidos.

Objetivo General:

Fundamentar el despliegue de las tecnologías VDSL2 y su potencial introducción en nuestro país, basándose en aspectos teóricos y experimentales (mediciones).

Objetivos específicos:

1. Determinar los fundamentos teóricos y técnicos de la tecnología de banda ancha VDSL2, los mecanismos utilizados para mejorar el rendimiento y los servicios Triple Play y sus principales características.
2. Analizar los principales requerimientos para el despliegue de la técnica VDSL2, evaluando la propuesta de equipamiento de Huawei.
3. Realizar mediciones en el enlace de cobre y fibra óptica, central telefónica y un escenario típico, para el correcto desempeño del sistema.
4. Empleando el software de simulación *OptiSystem* comprobar el funcionamiento del enlace propuesto.

Para cumplir con los objetivos propuestos, este trabajo se desarrolla en tres capítulos. En el primer capítulo se presentan los fundamentos teóricos y técnicos de la tecnología de banda ancha VDSL2. Es de vital significación asegurar que los pares de cobre y cables de fibra óptica reúnan los requisitos técnicos indispensables para el correcto funcionamiento de un enlace VDSL2, reconociendo su importancia se dedicará el segundo capítulo a exponer las mediciones realizadas en el par de cobre y fibra óptica, así como los requerimientos para el despliegue de la tecnología. En el tercer capítulo se describe la simulación realizada en el *OptiSystem* de un enlace VDSL2, analizándose los resultados obtenidos.

Metodología de Investigación:

Para el presente trabajo de titulación se emplea la investigación cuantitativa cuyo alcance es de dos tipos: exploratorio y explicativo. Exploratorio porque se investiga temas poco estudiados, indagando desde una perspectiva innovadora, considerando al fenómeno en mención que es la tecnología VDSL2 y sus componentes que preparan el terreno para nuevos estudios. Es explicativo porque determina las causas del fenómeno estudiado, lo cual genera un sentido de entendimiento.

CAPÍTULO 1. ASPECTOS TEÓRICOS Y TÉCNICOS DE LA TECNOLOGÍA DE BANDA ANCHA VDSL2

La tecnología VDSL2 fue aprobada por la UIT (Unión Internacional de Telecomunicaciones) el 17 de mayo del 2006 y está diseñada para aumentar la velocidad de transmisión, logrando velocidades de más de 25 Mbps a través de largos bucles y la transmisión de tipos de datos simétricos a 100 Mbps en bucles cortos, aprovechando la actual infraestructura telefónica de pares de cobre (ITU-T Recommendation G.993.2, 2006). El estándar VDSL2 presenta muchas de las características y funcionalidades contenidas en la Recomendación G.992.5 (ADSL2+) (G.992.5., 2005), incluyendo un avanzado diagnóstico, un interfaz de administración común y la capacidad de maximizar con él un uso del ancho de banda y velocidad de bits, por lo que es una tecnología de acceso ideal para la entrega de video.

VDSL2 (G.993.2) (ITU-T Recommendation G.993.2, 2006), es uno de los estándares más complejos, con numerosos perfiles y detallados planes de banda de todo tipo, desde requisitos específicos a las variaciones de alcance de determinadas zonas geográficas y tasas de transmisión elevadas. La fuerza principal detrás del éxito de VDSL2 es el video, pero ésta no es una idea nueva. Cuando ADSL se desarrolló a finales del año 1980, su función original era la entrega de video a través de pares de cobre.

Sin embargo, la tasa de transmisión requerida era mayor que las primeras generaciones que podía ofrecer ADSL (G.992.1) (G.992.1., 1999), por lo que se hizo hincapié en la comunicación de datos sobre DSL. La realidad es que la competencia en servicios, a través de cables y vía satélite, están desplegando avanzados paquetes de video, como: video bajo demanda (VoD, *Video on Demand*) y televisión de alta definición (HDTV, *High Definition Television*) a los abonados y están ofreciendo enormes beneficios fuera de los nuevos servicios ofrecidos.

VDSL2 está diseñado para apoyar el amplio despliegue de servicios *TriplePlay* como voz, video, datos, televisión de alta definición (HDTV) y juegos interactivos, VDSL2 permite a los operadores y proveedores de forma gradual, flexible y rentable modernizar

las actuales infraestructuras de xDSL. VDSL2 no solo satisface las necesidades actuales de las redes de telecomunicaciones de alta velocidad, sino que ofrece una tecnología a prueba de futuro que va a permitir a las compañías de telecomunicaciones ofrecer más servicios a un número creciente de suscriptores en los próximos años.

Para ofrecer velocidades que realmente supongan una diferenciación respecto a ADSL2+ es necesario que el DSLAM (*Digital Subscriber Line Access Multiplexer*, Multiplexor de Línea de Acceso Digital del Abonado), el cual es un multiplexor localizado en la central telefónica que proporciona a los abonados acceso a los servicios DSL sobre el par trenzado de cobre, esté muy cerca del abonado (tramos inferiores a 1500 metros), siendo también necesario que el tendido de cable cumpla unos requisitos mínimos de calidad. No obstante, la tasa de transmisión no es una de sus únicas mejoras respecto al resto de las tecnologías xDSL, como se muestra en la Figura 1.1.

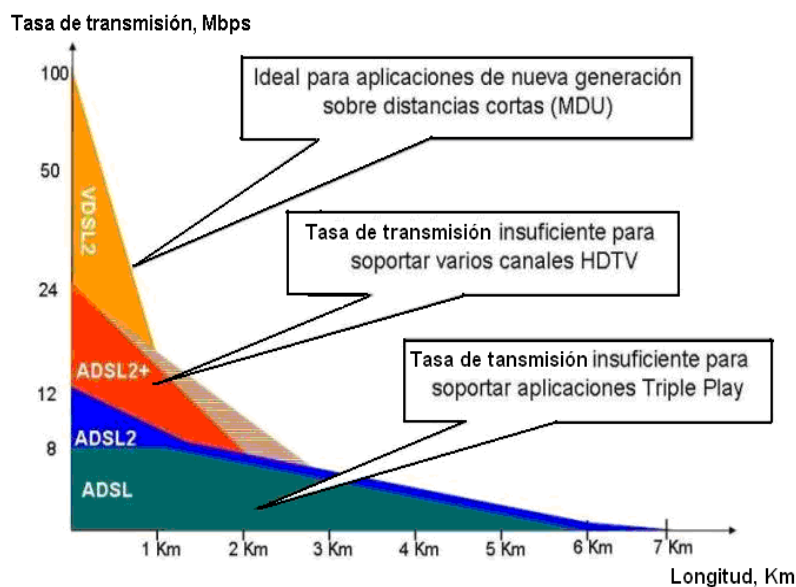


Figura 1.1 Tasa de transmisión vs distancia en las principales tecnologías xDSL.

Fuente:(Millán, FTTB & VDSL2...el cobre tiene vida para rato, [en línea], 2009)

Otros aspectos importantes son (Millán, FTTB & VDSL2...el cobre tiene vida para rato, [en línea], 2009):

1. Reduce los problemas de interoperabilidad de VDSL1, donde los retrasos en la estandarización dieron lugar a varias implementaciones propietarias.
2. Aumenta la flexibilidad en la configuración de velocidades ascendente/descendente. Mientras ADSL es un sistema de dos bandas, donde

- una parte del espectro se asigna al tráfico descendente y la otra al ascendente, VDSL2 emplea múltiples bandas (extendidas de 25 KHz – 30 MHz), incrementando la flexibilidad para establecer diferentes configuraciones de tasa de transmisión e incluso soportando anchos de banda simétricos. Del mismo modo que en ADSL, la parte baja del espectro se emplea para el transporte de las frecuencias RTB o RDS, aunque también se contempla un modo completamente digital, donde todo el espectro es empleado para tráfico VDSL2.
3. Emplea Ethernet como tecnología de multiplexación en la primera milla. Aunque existen los DSLAM IP desde hace tiempo, desde el DSLAM hasta el módem del abonado las tecnologías xDSL solo soportaban ATM (*Asynchronous Transfer Mode*, Modo de Transferencia Asíncrona) como medio de transporte. Con VDSL2 se consigue de este modo una red Ethernet extremo a extremo, con la reducción de complejidad y sobrecarga que esto supone.
 4. Es compatible espectralmente con ADSL2/ADSL2+ y soporta ATM, permitiendo así la compatibilidad hacia atrás con dispositivos ADSL2/ADSL2+. De este modo, el proceso de migración a VDSL2 es mucho más sencillo: se puede actualizar el DSLAM y posteriormente actualizar el módem ADSL2/ADSL2+ del abonado.
 5. Tiene un mecanismo de diagnóstico de fallos similar al definido para ADSL2/ADSL2+, pudiendo medir el ruido de la línea, atenuación, relación señal a ruido, etc., incluso en las peores condiciones de conexión. Esto facilita la prevención y subsanación de fallos.

La combinación de video / HDTV, datos y voz en un solo canal, requiere una mejor calidad de servicios. Los servicios de Triple Play, con un mínimo de tres canales de televisión, varias conexiones de VoIP, y la velocidad suficiente para acceder a Internet, requieren altas velocidades de datos, de al menos, 30 a 40 Mbit/s, aproximadamente el doble de lo que puede lograrse en condiciones reales de campo con ADSL2+ en las soluciones de hoy en día.

Por lo que VDSL2 ha sido desarrollado y estandarizado en un tiempo récord para solucionar las deficiencias de las tecnologías de acceso existentes. Además de ser la tecnología xDSL ideal para eliminar los cuellos de botella de la última milla y para

permitir el despliegue global masivo de servicios avanzados de Triple Play. Los impulsores claves para los usuarios finales para aplicar VDSL2 para servicios de banda ancha son: disponibilidad de video multi-canal, HDTV educativos y servicios de entretenimiento; tasas reducidas de telefonía mediante el uso de VoIP, mayor velocidad de acceso de base de datos en Internet, y precios competitivos en las regiones donde los servicios VDSL2, se venden por el mismo precio de ADSL con una mayor tasa de transmisión (principalmente en Corea y Japón).

Las compañías de telecomunicaciones se beneficiarán de la oferta de servicios agrupados que puedan competir exitosamente con operadores de cable que no tienen nada que ofrecer. VDSL2 resuelve notablemente el problema de la última milla, con eficiencia de costos en las redes híbridas FTTH (*Fiber-to-the-Home*, Fibra Hasta el Hogar): para llevar una conexión de fibra lo más cerca posible al hogar, al DSLAM o DLC a través de los ductos existentes desplegados en las bases y mediante la conexión a alta velocidad del puente VDSL2 sobre los últimos cientos de metros.

Al igual que con el ADSL2+, la modulación en la norma VDSL2 es DMT. VDSL2 se basa en las recomendaciones VDSL1-DMT y ADSL2/ADSL2+.

1.1 Servicios ofrecidos

Actualmente existe una significativa evolución en el sector de las telecomunicaciones impulsada principalmente por los exigentes requerimientos de los clientes. Esta implica que los operadores deben innovar continuamente su oferta de servicios y redes con el fin de satisfacer las necesidades de sus usuarios. La convergencia de servicios, aplicaciones y dispositivos impulsa esta tendencia, donde el cliente espera cada vez más y mejores servicios a un costo competitivo. Las tecnologías de acceso VDSL2 son un factor fundamental que permite avanzar hacia la obtención de este objetivo. Llegando a la siguiente fase de banda ancha: los servicios “*TriplePlay*”.

“*TriplePlay*” identifica la prestación de los servicios de voz, datos y video, sobre una infraestructura común de transmisión de datos o IP. La necesidad de desplegar estos servicios sobre líneas de cobre hace necesario el uso de tecnologías que puedan

implementarse de manera efectiva y que entreguen flujos de videos de alta calidad. La recomendación ITU-T G.993.2 (VDSL2) (ITU-T Recommendation G.993.2, 2006), establece un número de elementos claves para proporcionar estos servicios, especialmente video de alta calidad, considerando la entrega de varios canales de televisión de alta definición (HDTV) (RubyTech, 2008)

Los operadores de todo el mundo están teniendo un gran éxito con los servicios ofrecidos por VDSL2. Como resultado, la mayoría de estos operadores están planeando añadir servicios nuevos o mejorados que puedan generar ventas adicionales, potencialmente como una actualización a los servicios dados existentes.

1.2 Servicios “Triple Play”

Los servicios “*Triple Play*”, designan una nueva forma de entregar un servicio combinado de video, voz y datos en una misma línea DSL. Se trata de llevar un conjunto de servicios de acceso a Internet de alta velocidad, televisión clásica o de alta definición, televisión por satélite, telefonía de voz sobre IP (VoIP, *Voice Over Internet Protocol*) y servicio de video a la carta, todo ello a través de un par de hilos, y utilizando un único decodificador.

La arquitectura “*Triple Play*” ofrece principalmente:

IPTV (*Internet Protocol TV*): Mediante esta tecnología no es necesario tener varios aparatos decodificadores; un único dispositivo es suficiente para distribuir la televisión convencional, los canales satelitales, la televisión digital terrestre, televisión de alta definición, canales de radio con calidad digital, y en general cualquier contenido audiovisual susceptible de ser empaquetado en IP. La integración de la televisión con un enlace a Internet de alta velocidad permite acceder a aplicaciones multimedia. El cambio de un canal a otro se realiza casi instantáneo en comparación con las emisiones por cable o por satélite, gracias a una utilización 'inteligente' del protocolo IP multicast.

Telefonía sobre IP (VoIP): Se transmiten llamadas de voz de manera similar al envío de datos electrónicos (Internet), convirtiendo la voz en paquetes de datos, que viajan a través de redes multiservicios IP de las operadoras. El “*Softswitch*” es un

servidor que controla las comunicaciones de voz a través de las redes de conmutación de circuitos en convergencia con redes de paquetes, este soporta nuevos servicios gracias a una interfaz abierta de programación de aplicaciones.

Las redes IP/MPLS (*Multiprotocol Label Switching*) sobre Gigabit Ethernet constituyen la tecnología para dar soporte a los servicios Triple Play. Entre sus ventajas figuran la uniformidad de la tecnología de transmisión (Ethernet), que abarca desde el nodo de acceso hasta el proveedor de contenidos, y la capacidad de asegurar la calidad de servicio. Básicamente, esto último significa que se distinguen los flujos de voz, video y datos, y se les da un trato diferenciado, y sobre todo consistente.

Por tanto, la arquitectura de la red (VDSL2) puede garantizar que el transporte empaquetado de la voz entre los hogares y el proveedor de telefonía cumplirá unos requisitos de retardo y “*jitter*” comparables a los de la telefonía clásica o de línea dedicada, sin verse afectados por posibles variaciones en los flujos de video y datos.

HSIA (*High Speed Internet Access*): Por la priorización de unos flujos IP sobre otros, la tasa de transmisión no utilizada por la transmisión de voz o de video se puede aprovechar para el acceso a Internet de alta velocidad, sin que la calidad de la imagen o del audio se vea afectada. Los accesos VDSL permitirán a los usuarios conectarse con tasas de transmisión reales cercanas a los 20 Mbps. Las nuevas aplicaciones multimedia aprovecharán la conectividad a Internet para enriquecer los contenidos audiovisuales en tiempo real (RubyTech, 2008).

1.3 Características de los servicios ofrecidos por VDSL2

Los servicios de datos, video y voz tienen requisitos de alta calidad y características distintas entre ellos, las cuales se pueden resumir en:

Servicios de datos: Se caracteriza por requerir elevadas velocidades de transmisión. La pérdida de paquetes los afecta, pero es capaz de recuperarse ante estos efectos, y es totalmente inmune ante retardos o “*jitter*”. Si alguien se conecta a una página Web (típico servicio de datos), si esa página tarda en cargarse 5 o 6 segundos, que es algo

que puede desesperar al usuario, en realidad la información se va a poder recibir correctamente y se va a poder interactuar con ella.

Servicios de videos: Se transmiten grandes volúmenes de datos y además, suele presentar ciertos requisitos sobre el “*jitter*” y los retardos. Por ejemplo las pantallas se pueden refrescar adecuadamente. Tradicionalmente este servicio suele ir acompañado de audio o de voz, con lo que además se necesita cierta sincronización entre el audio y el video.

Servicios de voz: Se suele caracterizar por requerir velocidades reducidas. Desde el punto de vista de pérdidas de paquetes, eso supone pérdidas de información y eso puede afectar severamente a la calidad de la información, pudiendo escucharse “*clicks*” o pérdidas de sílabas. Pero el factor que más puede afectar a la calidad del servicio es el retraso y el “*jitter*”. Se ha de tener en cuenta que las palabras se forman en función de la separación temporal de las distintas sílabas, con lo que algunos retardos pueden hacer que se escuchen las palabras mal o que la comunicación sea bastante difícil. Normalmente para el servicio telefónico se recomiendan retardos inferiores a los 400 ms.

1.4 Convergencia de los servicios

El objetivo técnico es que estos servicios y cualquier otro que pudiera surgir en el futuro puedan funcionar sobre una única infraestructura y a su vez todos funcionen dentro de unos parámetros de calidad aceptables. De esta forma solo es necesario invertir en una única infraestructura para disfrutar de varios servicios distintos que hasta ahora solían tener infraestructuras propias.

Si se analiza detenidamente la caracterización del servicio de datos y del servicio de voz, se comprueba que sus necesidades y comportamientos son diametralmente opuestos. En el caso de la voz, las velocidades de transmisión son muy reducidas pero ese tráfico es muy sensible a retardos y en el caso de los datos es necesario velocidades elevadas, pero es bastante robusto ante retardos o “*jitter*”. Por lo tanto, lo que se debe

conseguir es que el tráfico de voz sea tratado de tal forma que sea priorizado respecto a cualquier otro tipo de tráfico.

Además está el tráfico de video que a su vez puede ser de dos tipos distintos: televisión en vivo o programas que se emiten a una hora concreta y que pueden recibirlo muchos usuarios al mismo tiempo, y televisión a la carta o programas que pueden ser visualizados en cualquier momento por los usuarios. La televisión en vivo se caracteriza porque hay un emisor y múltiples receptores simultáneamente, mientras que la televisión a la carta tiene un emisor y un único receptor en cada momento.

La infraestructura común sobre la que se van a prestar todos estos servicios va a ser una red IP (*Internet Protocol*). Para forzar que cierto tipo de tráfico sea tratado de una forma determinada y que otros tipos de tráficos reciban un tratamiento distinto, existen las técnicas de QoS (*Quality of Service*).

1.5 Calidad de servicios

La calidad de servicio (QoS) es de particular importancia para la transmisión continua de video y voz. Para cumplir efectivamente con los requerimientos de estos servicios, las disposiciones de calidad de servicio deben ser construidas en los niveles del 1 al 3 (L1-3) (Infante & Babún, 2006). La tecnología VDSL2 provee una operación de doble latencia que permite la adaptabilidad a servicios con diferentes requerimientos de la calidad de servicio como, por ejemplo, el video (alta INP) y la voz (muy baja latencia) (Abab, 2005) y un mecanismo preventivo que da mayor prioridad a la demora de voz y a los paquetes de video sobre otros paquetes de datos como mensajes de correo electrónico, páginas web, etc.

Este mecanismo consiste esencialmente en que un paquete de alta prioridad (como la voz) siempre tendrá "derecho de paso" sobre los paquetes de menor prioridad (Infante & Babún, 2006).

1.6 Modulación DMT

La modulación DMT (*Discrete Multitone Modulation*, Modulación por Multitono Discreto) utiliza el mismo principio que la Multiplexación por División de Frecuencia

Ortogonal (OFDM, *Orthogonal Frequency Division Multiplexing*). Es decir, se divide el espectro útil de frecuencias en canales paralelos, donde el centro de cada canal se representa por una subportadora modulada en QAM (*Quadrature Amplitude Modulation*, Modulación de Amplitud en Cuadratura), tal como se muestra en la Figura 1.2. En DMT, una modulación multitono o multiportadora divide el ancho de banda disponible en un amplio número de subcanales idealmente independientes y aislados espectralmente. En la práctica se realiza mediante implementaciones ortogonales sobre bloques de datos, en un proceso llamado subcanalización. Cada subcanal confina la potencia dentro de una banda estrecha, superponiéndose a los canales inmediatamente adyacentes. En una aplicación real el proceso de subcanalización no consigue un aislamiento espectral perfecto entre sub-bandas.

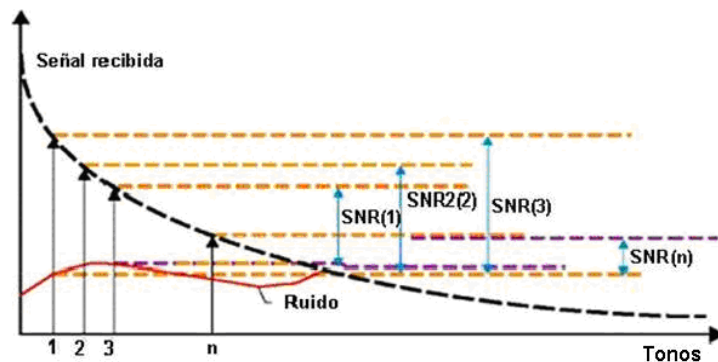


Figura 1.2 Relación señal a ruido para cada tono de la modulación DMT.

Fuente: (Infante & Babún, 2006)

Cuando una señal se transmite sobre un par de cobre, las componentes de mayor frecuencia se atenúan significativamente más que las de menor frecuencia. Por otro lado, las interferencias de banda estrecha (AM) pueden afectar la transmisión destruyendo la señal en tramos del espectro.

La modulación DMT puede resolver estos inconvenientes ya que es capaz de adaptarse a las condiciones del canal, asignando un mayor número de bits/s a aquellos subcanales con mayor relación S/N (*Signal/Noise*, Señal/Ruido), y menos número de bits/s a aquellos con menor relación S/N. Es posible eliminar las interferencias de banda estrecha anulando las sub-bandas afectadas, optimizando así el uso del ancho de banda del canal.

El sistema puede modificar dinámicamente el número de bits asignados a una subportadora o cambiar su energía de transmisión sin cambiar el flujo de datos de modo que el rendimiento para cada subcanal sea máximo. Este mecanismo se denomina intercambio de bits (*Bits-Swapping*) (Villanueva, 2007). La Figura 1.3 muestra ejemplos de cómo se adapta la transmisión a las características de la línea.

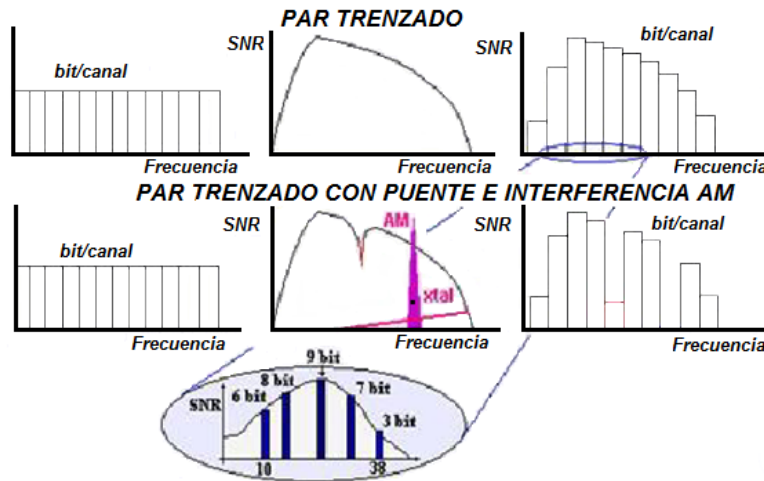


Figura 1.3 Ejemplos de cómo un sistema de modulación multitono se adapta a las características de la línea

Fuente:(Villanueva, 2007)

En el primer caso se describe un segmento de par trenzado de línea telefónica calibre 24 AGW (0,5 mm). A altas frecuencias es mayor la atenuación y la misma depende de la longitud de la línea telefónica. El segundo caso incluye una atenuación profunda (*notch*) en el espectro junto a una eventual interferencia de radio en la banda de AM (Amplitud Modulada), que puede ser contrarrestado con la distribución de bits por subcanal que se muestra, donde incluso se bloquea la transmisión del subcanal afectado por la interferencia.

Con anticipación a la transmisión de datos, el sistema analiza las características de la línea asignando inicialmente igual número de bits por canal lo que representa la capacidad de transmisión teórica y realiza una transmisión de diagnóstico. Basándose en los resultados de relación S/N obtenidos en cada subcanal, por el transceptor se reasigna el número de bits a un número óptimo. El sistema ya está preparado para la transmisión de datos. El transceptor continuará adaptándose a las características de la línea en las

transmisiones siguientes. La estructura del transmisor y el receptor DMT se muestra en la Figura 1.4.

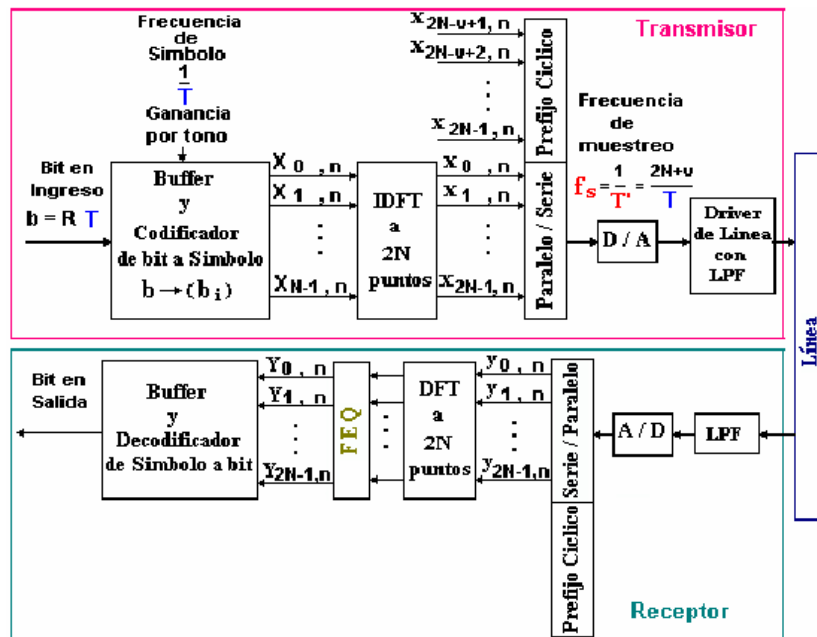


Figura 1.4 Transmisor y receptor DMT

Fuente:(Villanueva, 2007)

El hecho de transmitir y recibir información usando el mismo espectro de frecuencias crea una interferencia dentro del propio lazo. Debido a la reflexión hacia atrás de la señal transmitida se produce un eco, tanto en el extremo cercano como en el extremo lejano. Esta interferencia difiere de la diafonía ya que la onda perturbadora transmitida, es conocida por el receptor y puede ser sustraída de la señal recibida. A este proceso de eliminar los efectos del transmisor se le conoce como cancelación de ecos. Esta técnica se usa en el esquema de transmisor-receptor conectado al mismo dispositivo (híbrida).

El objetivo de la inicialización es maximizar el rendimiento y fiabilidad de la conexión. Este proceso es independiente del método elegido para separar los flujos de subida (*upstream*) y bajada (*downstream*), es decir de las técnicas de Multiplexación por División de Frecuencia (FDM, *Frequency División Multiplexing*) o cancelación de ecos. Los atributos del canal determinados por el procedimiento de inicialización incluyen el número de bits y los niveles relativos de potencia a emplear en cada subportadora.

A cada subcanal le serán asignados diferentes números de bits, dependiendo de sus características de relación S/N. Los bits asignados a cada subcanal son codificados al símbolo correspondiente en la constelación QAM en términos de sus características espectrales. En VDSL2 el número de bits que puede transportar cada subcanal varía entre 0 y 15 bits. El número total de bits que pueden transmitirse a través del canal se determina con la siguiente ecuación:

$$b_{total} = \sum_{i=n_1}^{n_2} b_i \quad (1-1)$$

Donde b_i es el número de bits en el i -ésimo subcanal, n_1 y n_2 son números de bits determinados para el canal de subida y para el de bajada. Con la ecuación (1-1) se puede determinar la capacidad del canal según las fórmulas de Shannon:

$$C = \sum_{n_1}^{n_2} \Delta f x b_i = 4,3125 x b_{total} \quad (1-2)$$

Donde Δf es el ancho de banda de cada subcanal, que para el caso de VDSL2 es igual a 4,3125 KHz y para el perfil 30a se utiliza 8,6125 KHz. Una vez que el transceptor se ha inicializado, cada subcanal o subportadora conteniendo los bits determinados por la tabla de asignación se modula utilizando la técnica de modulación digital QAM.

La colección de N símbolos QAM (información en el dominio de la frecuencia, correspondiente a los N tonos, con su correspondiente fase y amplitud en formato digital) en el segundo bloque del transmisor, son procesados en paralelo mediante la Transformada Rápida Inversa de Fourier (IFFT, *Inverse Fast Fourier Transform*) y a su salida se entregan muestras en el tiempo de señales reales, que cada una tiene un aporte de todas las componentes frecuenciales a la entrada del bloque de IFFT que salen en paralelo, por tanto se hacen pasar por un conversor paralelo/serie, para entregarse en serie a un conversor D/A (Digital/Analógico), el cual devuelve la señal analógica que finalmente se hará pasar por un filtro pasa bajo para ser transmitida por la línea.

1.6.1 Modulación de Amplitud en Cuadratura (QAM)

La modulación QAM es una modulación digital en la que el mensaje está contenido tanto en la amplitud como en la fase de la señal transmitida. Se basa en la transmisión de dos mensajes independientes por un mismo y único camino. Esto se consigue modulando la misma portadora, desfasada entre uno y otro mensaje. Esto supone la formación de dos canales ortogonales en el mismo ancho de banda, con lo cual se mejora en eficiencia del ancho de banda.

En el transmisor, el modulador QAM mapea una serie de bits de entrada a un punto (x, y) del mapa de constelaciones. Estas variables x e y especifican la amplitud de las ondas coseno y seno respectivamente, que serán transmitidas por el canal. Por lo tanto, la expresión de la onda enviada es:

$$V(t) = X \cos(\omega t) + Y \sin(\omega t) \quad (1-3)$$

En el receptor, el demodulador QAM trata de recuperar la amplitud de cada componente. El tamaño de cada constelación QAM depende del número de bits que cada subportadora transporta, es decir, b bits resulta en una constelación con 2^b puntos. Por ejemplo, una constelación QAM de 4 puntos corresponde a la agrupación de 2 bits (00, 01, 10, 11), una constelación QAM de 16 puntos corresponde a 4 bits y así sucesivamente.

1.6.2 Sistema DMT con prefijo cíclico

Para asegurar que los diferentes símbolos DMT no interfieren entre ellos cuando son transmitidos por el canal, los sistemas DMT hacen uso de un intervalo de guarda, denominado prefijo cíclico (CP), al inicio de cada símbolo. Gracias a su especial estructura, el CP hace que los diferentes subcanales sean ortogonales. En consecuencia, la utilización del CP evita tanto la interferencia intersímbolos (ISI) como entre subcanales (ICI). Como contrapartida, la longitud del CP debe ser al menos igual al orden de la repuesta impulsiva del canal (CIR), condición que restringe la eficiencia espectral. Concretamente, el ancho de banda ocupado se incrementa si se mantiene la tasa binaria o, para un ancho de banda fijo, la tasa debe ser más baja.

Para disminuir este problema, es común el uso de un ecualizador en el dominio del tiempo (TEQ) para acortar, implícita o explícitamente, la longitud efectiva de la CIR. Otras investigaciones se han centrado en ecualizadores en el dominio de la frecuencia (FEQ). Sin embargo, ninguno de ellos elimina completamente la necesidad de un tiempo de guarda, así que sigue siendo necesaria cierta redundancia. Otro trabajo propone un ecualizador que alcanza unos beneficios perfectos (es decir, elimina tanto la ISI como la ICI incluso sin ningún tipo de redundancia en el transmisor). Sin embargo, requiere otra condición: la existencia de cierto número de subcanales no usados, tantos al menos como la longitud de la CIR.

Cuando se usa CP, no existe ICI, puesto que se puede reconstruir perfectamente el vector complejo inicial en ausencia de ruido. Dos símbolos DMT contiguos no se pueden solapar entre sí, puesto que la longitud del intervalo de guarda se escoge para que sea al menos igual al orden de la CIR. Por tanto, la ISI es también eliminada.

Desafortunadamente, puesto que la utilización del CP implica la introducción de L muestras redundantes en el dominio del tiempo, la tasa de bits de información se reduce en un factor $(2N+L)/(2N)$. Si, por otra parte, se pudiera mantener la tasa binaria en R , el ancho de banda ocupado se incrementaría en la misma proporción. En cualquier caso, esto implicaría que la eficiencia espectral se reduce. Esta es la principal desventaja del uso del CP.

1.7 Asignación de espectro en VDSL2

Esta tecnología permite la transmisión simétrica o asimétrica de datos, llegando a velocidades superiores a 200 Mbit/s, utilizando un ancho de banda de hasta 30 MHz. Esta velocidad depende de la distancia a la central, reduciéndose a 100 Mbit/s a los 0,5 Km. y a 50 Mbit/s a 1 Km. de distancia (ITU-T Recommendation G.993.2, 2006).

La Figura 1.5 esquematiza el espectro utilizado en VDSL2 hasta los 12 MHz. En la gama de frecuencias entre 12 MHz y 30 MHz, la norma VDSL2 especifica como mínimo una banda adicional en sentido ascendente o descendente. Las bandas por encima de 12 MHz se especifican mediante frecuencias de separación de bandas adicionales. El número de

frecuencias de separación de banda adicionales depende del número de bandas definidas entre 12 MHz y 30 MHz. El plan detallado de las bandas de frecuencia utilizadas depende de la región, y está especificado en la recomendación para Europa, Japón y Estados Unidos.

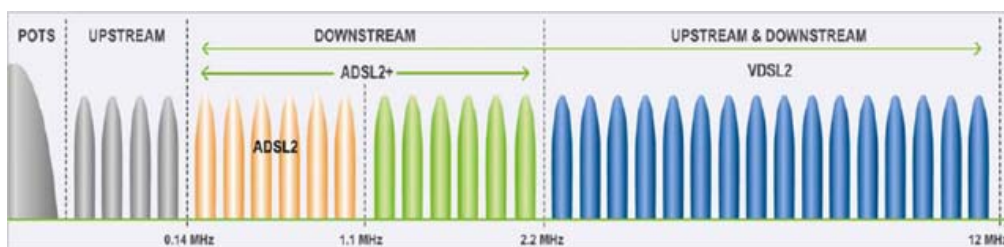


Figura 1.5 Asignación de espectro en VDSL2.

Fuente:(Millán, FTTB & VDSL2...el cobre tiene vida para rato, [en línea], 2009)

1.8 Planes de banda

ADSL puede ser descrito como un sistema de dos bandas, donde una parte del espectro de frecuencias se utiliza para transmisión descendente (de la central al usuario) y la otra parte es utilizada para transmisión ascendente (del usuario a la central). VDSL2, por otro lado, utiliza diversas bandas para transmisiones descendente y ascendente a fin de permitir un mayor grado de flexibilidad en cuanto a configuraciones de tasas de datos (ITU-T Recommendation G.993.2, 2006). Los equipos VDSL2 al igual que los equipos ADSL, utilizan división en el dominio frecuencial (FDD, *Frequency Division Duplexing*) para separar los dos sentidos de la transmisión, red-usuario (DS, *descendente*) y usuario-red (US, *ascendente*).

La división del espectro en bandas de frecuencia no solapadas y su asignación para la transmisión en cada sentido se define por el plan de bandas. El estándar VDSL2 define varios planes de banda, distinguiéndose dos tipos fundamentales en la asignación de las bandas asignadas para la comunicación en cada sentido, tal como se muestra en la Figura 1.6, denominados plan de bandas 997 y 998. La principal diferencia entre ambos radica en la asimetría entre los dos sentidos de transmisión en cuanto a velocidades disponibles. Los planes tipo 997 son más simétricos, o sea la velocidad en ambos sentidos es más parecida, mientras que en los planes tipo 998 son más asimétricos, dando más capacidad en el sentido red-usuario (descendente) que en el sentido usuario-red (ascendente) (ITU-T Recommendation G.993.2, 2006).

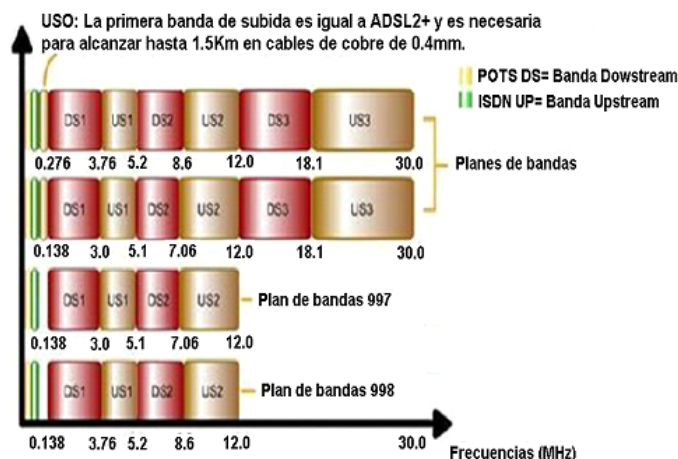


Figura 1.6 Planes de banda de VDSL y VDSL2.

Fuente:(RubyTech, 2008)

Dentro de los dos tipos fundamentales de planes de banda definidos, se establecen varias variantes en función de las frecuencias límite de cada una de las bandas y de la frecuencia máxima hasta la que se extiende el plan (hasta 12 MHz, 17 MHz y 30 MHz). La última versión europea del Anexo B aprobada define los planes de banda para el desarrollo de sistemas VDSL2, tal como se muestra en la Tabla 1.1.

Tabla 1.1 Definición de planes de banda

Fuente: (ITU-T Recommendation G.993.2, 2006)

Plan 997:	Plan hasta los 12 MHz.
Plan 997E17:	Plan 997 extendido directamente hasta los 17,664 MHz.
Plan 997E30:	Plan 997 extendido directamente hasta los 30 MHz.
Plan 998:	Plan hasta los 12 MHz.
Plan 998E17:	Plan 998 extendido directamente hasta los 17,664 MHz.
Plan 998E30:	Plan 998 extendido directamente hasta los 30 MHz.
Plan 998ADE17:	Plan 998 extendido hasta 17,664 MHz utilizando la banda superior a 12 MHz. sólo para transmisión en el sentido red-usuario.
Plan 998ADE30:	Plan 998 extendido hasta los 30 MHz utilizando la banda superior a los 12 MHz. sólo para la transmisión en el sentido red-usuario.
Plan HPE17:	Plan que opera sólo en las bandas entre 7,05 y 17,664 MHz.
Plan HPE30:	Plan que opera sólo en las bandas entre 7,05 y 30 MHz.

Por último, de los planes 997, 998, 998ADE17, 998E17 y 998E30 existen diferentes variantes en cuanto a las frecuencias de corte de la US0 y para acomodar los servicios ISDN o POTS (ITU-T Recommendation G.993.2, 2006).

El VDSL1 soporta un ancho de banda de hasta 12 MHz, mientras que en VDSL2 está banda puede ser extendida hasta 30MHz. Para ser espectralmente compatible con VDSL1, VDSL2 utiliza los mismos planes de banda por debajo de 12MHz. El VDSL2 puede utilizar hasta 4096 subportadoras. Dependiendo del plan de banda en uso, una subportadora puede ser designada para transmisión descendente o ascendente. Tal como en ADSL, la parte inferior del espectro se asigna para los servicios de voz (POTS) y de datos (ISDN) y un filtro divisor se usa para separar la frecuencia de los servicios deseados de la banda de VDSL2. Una opción “modo digital total” también existe, donde prácticamente todas las bandas pueden ser empleadas para VDSL2.

1.9 Perfiles de los diferentes modos de implementación

La norma de VDSL2 se define a través de un conjunto de perfiles, donde cada perfil está diseñado para una implementación particular. La Figura 1.7 muestra los distintos escenarios de implementación previstos para VDSL2.

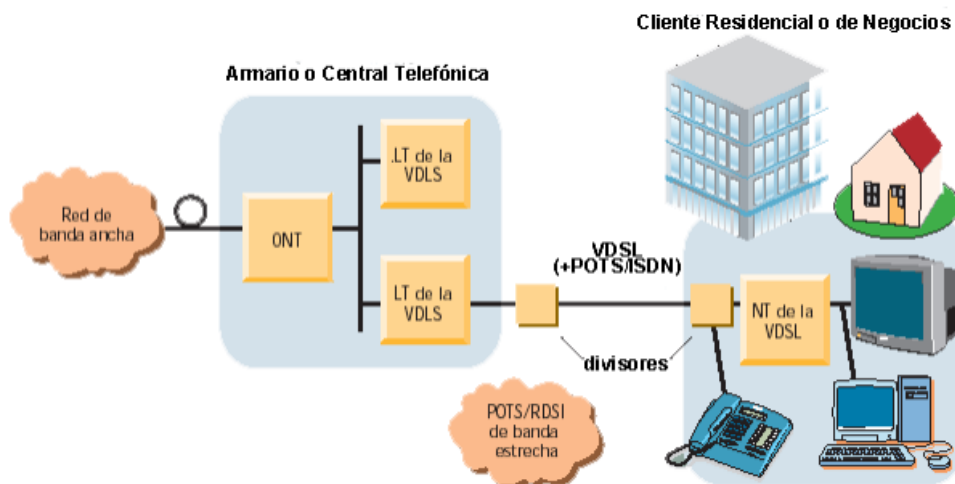


Figura 1.7 Escenarios de implementación.

Fuente: (Infante & Babún, 2006)

Estos escenarios incluyen:

1. Fibra hasta la central de conmutación (*Fiber To The Exchange - FTTE*x): el módem VDSL2 está situado en la central telefónica.
2. Fibra hasta el gabinete (*Fiber To The Cabinet - FTTC*ab): las oficinas exteriores se alimentan de la fibra cerca de las instalaciones del cliente.
3. Fibra hasta el hogar (*Fiber To The Building - FTTB*): se coloca el módem VDSL2, por ejemplo, en el sótano de un edificio.

Teniendo en cuenta el gran número de parámetros configurables disponibles en VDSL2 y el amplio rango de valores que pueden adoptar, para minimizar la complejidad en la implementación de los sistemas VDSL2, se ha acordado un conjunto de combinaciones con los valores de cada parámetro que pueden soportar los sistemas para cumplir igualmente con el estándar, sin perjuicio de que los fabricantes puedan permitir en sus equipos cualquier otra combinación de parámetros y valores. Estas combinaciones se denominan Perfiles y en la actualidad se han definido 8 perfiles: 8a, 8b, 8c, 12a, 12b, 17a y 30a. Tal como se muestra en la Tabla 1.2:

Tabla 1.2 Perfiles de VDSL2.

Fuente:(ITU-T Recommendation G.993.2, 2006)

Perfiles	8a	8b	8c	8d	12a	12b	17a	30a
Ancho de Banda (MHz).	8,832	8,832	8,5	8,832	12	12	17,664	30
Tonos	2048	2048	1972	2048	2783	2783	4095	3479
Espaciamiento de tono (KHz).	4,3125	4,3125	4,3125	4,3125	4,3125	4,3125	4,3125	8,625
Potencia (dB)	+17,5	+20,5	+11,5	+14,5	+14,5	+14,5	+14,5	+14,5

1.10 Régimen *dúplex*

En la actualidad, las implementaciones de ADSL2/2+ usan tecnología de régimen FDD (*Frequency-Division Duplex*) para separar la banda de transmisión ascendente (*upstream*) de la banda de transmisión descendente (*downstream*). Teniendo en cuenta las propiedades físicas, sin embargo, no se puede crear una banda de guarda (*“brickwall”*). Es decir, siempre hay algo

de fuga espectral entre los anchos de banda. VDSL2 utiliza una técnica basada en la tecnología dúplex digital “Zipper” inventado por *TeliaResearch* que se muestra en la Figura 1.8.

Con esta técnica, subportadoras adyacentes pueden transportar datos en direcciones opuestas. Sin embargo, los requisitos de compatibilidad con el espectro de las tecnologías DSL existentes requieren que varios tonos sean agrupados en bandas de transmisión. Puede mantener la ortogonalidad entre la señal recibida y la señal transmitida de vuelta al receptor, extendiendo cíclicamente los símbolos DMT transmitidos a través del uso de un prefijo y un sufijo cíclico y la sincronización de los transmisores en cada extremo para empezar a transmitir al mismo tiempo (técnica llamada *Timing Advance*). La extensión cíclica (*CyclicExtension*), que elimina la interferencia intersimbolo (*IntersymbolInterference*, ISI) causada por el canal, reduce la velocidad de datos en el 7,8%. El “enventanamiento” (*windowing*), una técnica de supresión de lóbulos laterales, reduce aún más la fuga espectral entre las bandas de transmisión. Esta técnica que se muestra en la Figura 1.9 también se utiliza en OFDM(ITU-T Recommendation G.993.2, 2006), (Infante & Babún, 2006)

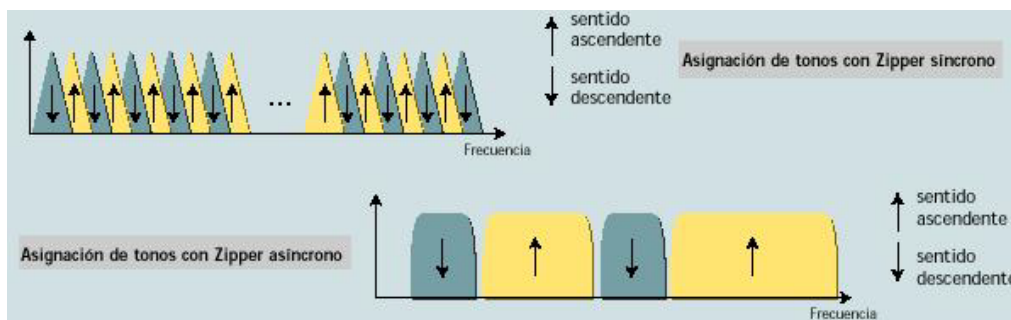


Figura 1.8 Técnica “Zipper”

Fuente:(Infante & Babún, 2006)

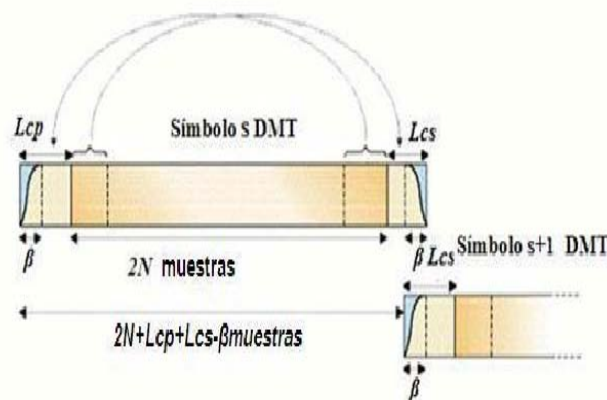


Figura 1.9 Técnica de extensión cíclica (*Cyclicextension*)

Fuente:(Infante & Babún, 2006)

1.11 Evolución de la red para introducir VDSL2

La introducción de VDSL2 será responsable de sólo una pequeña parte de los cambios fundamentales que afectan la arquitectura de red. Actualmente, el mayor costo de las líneas de acceso instaladas está en el entorno de la central telefónica. Del mismo modo, la distancia promedio de acceso del par trenzado de cobre existente va mucho más allá de la distancia ideal para el valor añadido de VDSL2. Muchos operadores, por tanto, empezaron a considerar el uso de la fibra en la red de acceso, por ejemplo, la fibra hasta el nodo de la red (*Fiber To The Node* - FTTN) y fibra hasta la puerta de la casa (*Fiber to the Curb* - FTTC) reduciendo la longitud de la red de acceso de cobre a menos de 1500 metros.

El segundo gran cambio es la introducción de la tecnología Ethernet como tecnología de paquetes de datos en todo el camino hasta el usuario final. ADSL2 / 2 + utiliza ATM en la primera milla (acceso), pero el DSLAM basado en IP / Ethernet emplea Ethernet en la segunda milla (*backhaul*). El cambio hacia la utilización de Ethernet y acceso de fibra del tipo FTTN / FTTC, y la introducción de servicios adicionales, dará lugar a un cambio en la selección del punto de servicio en la red, que actualmente es el Servidor de Acceso Remoto de Banda Ancha (BRAS, *Broadband Remote Access Server*).

1.12 Arquitectura FTTN

El impulso de una arquitectura FTTN para VDSL2 fue iniciado por los operadores en América del Norte, donde el acceso muy largo y la introducción de la televisión de alta definición (HDTV) necesitan un aumento acentuado en la capacidad de las tasas de transmisión. En la Tabla 1.3 se muestran las bandas necesarias para los servicios IPTV.

Mediante la implantación de nodos de la red de VDSL2 cerca de los abonados, los operadores pueden incrementar la capacidad suficiente para soportar múltiples canales de HDTV sin tener que reemplazar toda la infraestructura de cobre por fibra. La capacidad de entrega a cada hogar está dada por un par trenzado de cobre junto con una arquitectura de fibra compartida, por ejemplo, un tipo alternativo de red óptica pasiva (PON, *Passive Optical Network*) y de redes de datos híbrida HFC (*Hybrid Fiber Copper*).

La arquitectura FTTN (*Fiber to the Node*) es también utilizada para dar cabida a un menor número de abonados por cada sitio cuando el DSLAM se encuentra cerca de los usuarios finales. Un gran número de nodos distribuidos de la red necesita un proceso de activación automática de los clientes que permite a los operadores activar un nuevo abonado, sin tener que viajar a un sitio FTTN. Muchos operadores ven la arquitectura FTTN como una herramienta estratégica para competir eficazmente con las alternativas de redes de acceso de cable y fibra.

Tabla 1.3 Bandas necesarias para los servicios IPTV.

Fuente:Autor

Servicios	Banda necesaria
1-2 canales HDTV	12 Mbit/s
2-4 canales de TV	3 Mbit/s
Internet de alta velocidad	8 Mbit/s
VoIP	100 Kbit/s

1.13 Arquitectura FTTB

FTTB (*Fiber To The Building*) en vez de una ONT (*Optical Network Terminator*) en casa del abonado emplea una MDU (*Multi-Dwelling Unit*) en el edificio de los abonados. En ambos casos, la conexión con el equipo OLT (*Optical Line Terminal*) en la central se realiza por fibra óptica, pero cambian las interfaces hacia el abonado, siendo generalmente VDSL2.

VDSL2 es una tecnología idónea para ofrecer FTTB/N, pues permite reutilizar el par de cobre para ofrecer elevadas velocidades de hasta 100 Mbps por usuario en tramos de menos de 500 metros o de hasta 50 Mbps en tramos de 1 km. La MDU en este caso es un mini-DSLAM con un puerto GPON hacia la central del operador y puertos VDSL2 hacia los usuarios. La voz puede seguirse cursando por conmutación de circuitos o ser transformada a VoIP en el módem VDSL2 del abonado o en la propia MDU (G.652., 2005).

1.14 Modo de Transferencia de Paquetes

El empleo de VDSL2, disminuyó el uso de ATM en la primera milla, reemplazándolo con Ethernet (encapsulación 64/65). Actualmente, la solución más común para el transporte de tramas Ethernet sobre DSL es el puente de configuración de DSLAM IP, donde las tramas Ethernet sobre DSL es el puente de configuración de DSLAM IP, donde las tramas (*frames*) Ethernet se montan en la capa de ATM Adaptation Layer 5 (AAL5) y son encapsuladas en celdas ATM antes de ser enviadas para la conexión física DSL, como se muestra en la Figura 1.10.

La segmentación por categorías y montaje (*Segmentation and Reassembly - SAR*) procesa las tramas de Ethernet. Las celdas ATM son transportadas sobre la interfaz eléctrica UTOPIA (*Universal Test and Operations PHY Interface for ATM*) L2 para una interfaz específica llamada ATM TPS-TC (*Transport Protocol-Specific – Transmission Convergence*). El TSP-TC también a veces se denomina ATM-TC, por ejemplo, en el contexto de la XTU-C (*xDSL transceiverunit – central office*).

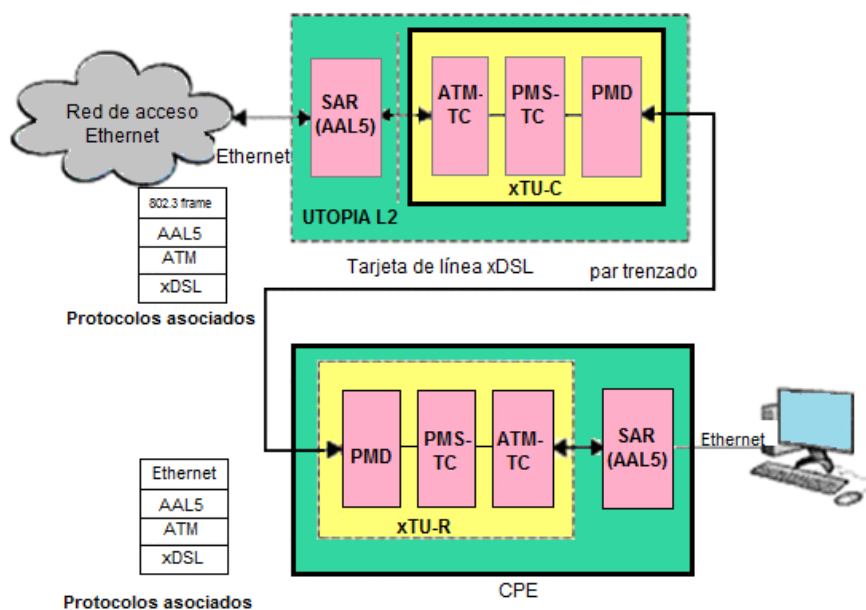


Figura 1.10 Diagrama de xDSL conectado a una red Ethernet en la capa ATM

Fuente: (Infante & Babún, 2006)

Un inconveniente de la encapsulación de trama Ethernet a través de las celdas ATM (*Ethernet-to-AAL5-to- ATM cells*), es que la trama de Ethernet de 64 bytes debe ocupar dos celdas ATM. Esto es porque el tamaño de la información de carga útil de la celda ATM de 53 bytes es de sólo 48 bytes. Por lo tanto, una célula ATM lleva 48 bytes y las otras celdas llevan sólo 16 bytes.

Dado el tamaño máximo de una trama de Ethernet de 1518 bytes, la sobrecarga de ATM es de 160 bytes, o casi el 10% de la capacidad de transmisión (ITU-T Recommendation G.993.2, 2006).

El IEEE 802.3ah ha definido una Ethernet TPS-TC que especifica, utilizar una encapsulación 64/65 para aplicaciones Ethernet sin ATM. Para VDSL1, el UIT-T especifica un diferente Modo de Transferencia de Paquetes (PTM) genérico. En la especificación de la ITU-T, el TPS-TC se llama PTM-TC. La norma VDSL2 apoya plenamente el PTM basada en la encapsulación 64/65. El grupo de trabajo IEEE 802.3ah definió el PTM para encapsular tramas (*frames*) de Ethernet antes de que sea modulado en el transceptor DSL.

La UIT- SG15/Q4 define PTM para VDSL2, así como para el ADSL2 / 2 + y el SHDSL (*Symmetrical High-Bit- Rate DSL*). Además de reforzar la técnica de encapsulación 64/65 usando un método preventivo y adicionando soporte para los paquetes Ethernet que tienen un tamaño menor de 64 bytes. PTM permite eliminar ATM como portadora de capa 2 en la capa física como se muestra en la Figura 1.11.

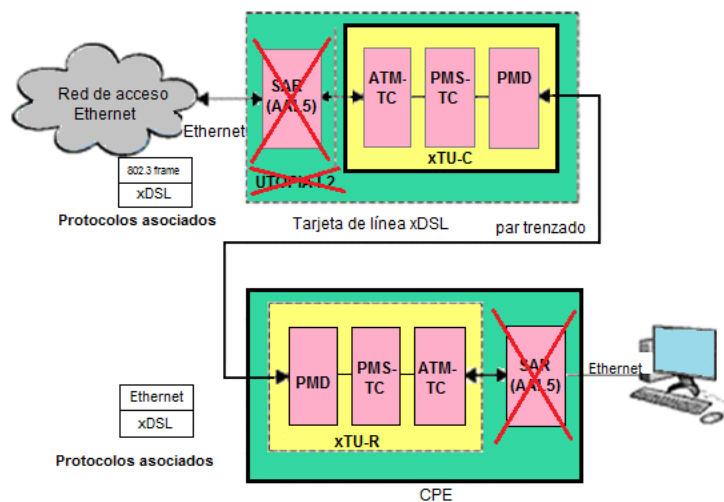


Figura 1.11 Diagrama de xDSL conectado a la red Ethernet sin capa ATM

Fuente:(Infante & Babún, 2006)

1.15 Latencia dual

La Figura 1.12 muestra un modelo de referencia del transceptor VDSL2. El TPS-TC sirve como una capa de adaptación entre los protocolos de transporte y la línea de abonado digital. Las tramas Ethernet o celdas ATM se introducen en el TPS-TC. La

capa TPS-TC proporciona un mecanismo de transporte, encapsula tramas o las celdas, y desactiva las tasas de entrada y salida.

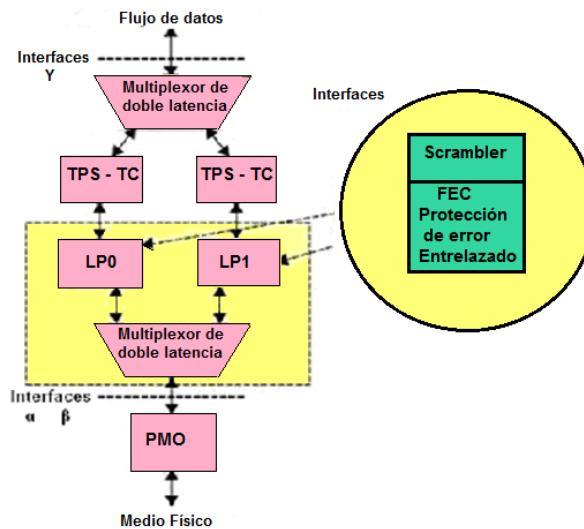


Figura 1.12 ModelodereferenciadeltransceptorVDSL2

Fuente:(Infante & Babún, 2006)

La capa PMS TC (*Physical Media-Specific – Transmission Convergence*), proporciona funciones de camino de latencia. Estas funciones determinan la capacidad de protección de error (en conjunto con la codificación Trellis) y la latencia. La preparación de las tramas también ocurre en PMS-TC (ITU-T Recommendation G.993.2, 2006).

Normalmente, sólo se ejecuta un modo de latencia en ADSL2 / 2 +. Esto no es una limitación de la norma. El examen de la ruta de latencia muestra que un mecanismo de entrelazamiento (*interleaver*) utilizado en conjunto con el código Reed-Solomon, crea un mecanismo de protección de error de alto desempeño. Sin embargo, el mecanismo de entrelazamiento introduce un retardo proporcional a su profundidad, es decir, si sólo hay una manera de latencia el mecanismo de entrelazamiento se utiliza, entonces todos los servicios experimentan un mismo atraso.

Una solución de doble latencia proporciona una segunda ruta de latencia en PMS-TC. Los datos que deben ser protegidos usan la ruta de entrelazado, mientras que los datos que son sensibles a la demora pueden utilizar la ruta sin entrelazado con sólo un mínimo de entrelazado. Finalmente, los datos de cada camino de latencia se multiplexan en un único conjunto de bits que se envían a la capa de PMD (*Physical Media*

DependentLayer) para el proceso de modulación. El número de bits seleccionados de cada ruta de latencia se coloca dentro de un número de cuadro DMT y se determina durante la inicialización. La salida de la capa de PMD es la señal analógica entregada a la parte delantera analógica. Los operadores afirmaron que querían presentar la latencia dual en VDSL2 con el fin de proporcionar la calidad de servicio requerida por los servicios Triple-Play.

1.16 Ajuste de potencia en el enlace ascendente

Cuando diferentes grupos de equipos de usuario (CPE) con servicios VDSL2 se encuentran a diferentes distancias de la central telefónica o del gabinete externo, la transmisión de los usuarios que se encuentran más cerca de la central telefónica o del gabinete externo perturba la transmisión ascendente de otros usuarios (fenómeno cerca-lejos o “*near-far*”) (RubyTech, 2008), como se observa en la Figura 1.13.

Una solución sencilla para este problema consiste en ajustar (reducir) la potencia del enlace ascendente de los usuarios cerca de la central telefónica o del gabinete externo. Este algoritmo por tanto se utiliza para dar a cada usuario dentro de un determinado radio alrededor de la central telefónica o gabinete externo la misma capacidad de subida (*upstream*).

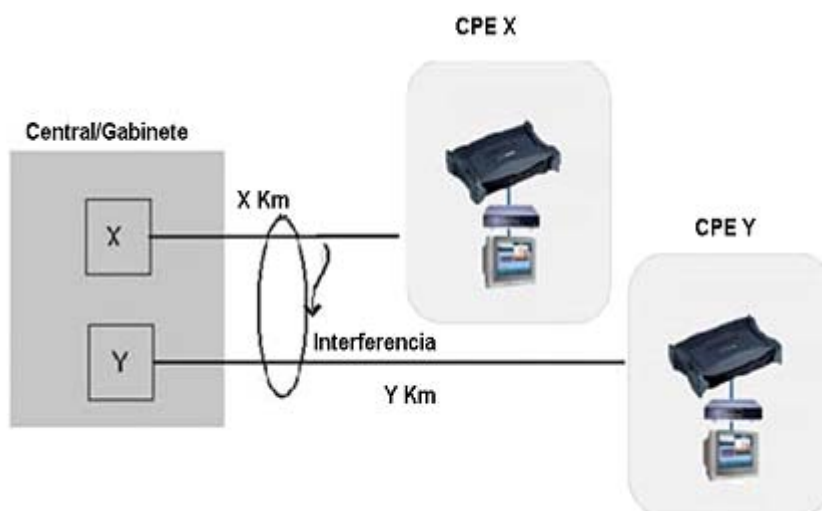


Figura 1.13 Fenómeno “near-far”.

Fuente:(RubyTech, 2008)

1.17 Compatibilidad con versiones anteriores

La decisión de mantener ATM como sistema de multiplexación ha ayudado a hacer la migración de ADSL1 a ADSL2+ relativamente simple, porque los nuevos DSLAM IP son compatibles con la base instalada de CPE's ADSL1. Por lo tanto, la migración en la línea digital no afecta a la parte del CPE. La migración de ADSL2 + a VDSL2, sin embargo, requiere una mayor planificación en la etapa inicial. Todos los ADSL/2/2 + utilizan siempre el ATM para el cobre, pero el VDSL2 se llevará a cabo principalmente mediante la tecnología Ethernet.

Sin embargo, los *chipsets* VDSL2 suelen permitir la configuración de ATM o IP por puerto, garantizando así la compatibilidad con versiones anteriores con una base instalada de ADSL y ADSL2 +. Esta característica entra en juego automáticamente durante la fase de inicialización entre el CPE y el DSLAM.

Luego de conocer los elementos más importantes de esta nueva tecnología de acceso y su funcionalidad, diseñada para mejorar los servicios ofrecidos por el resto de las tecnologías xDSL, el rendimiento, el alcance, la compatibilidad espectral y el modo de diagnóstico de bucle, es importante conocer y analizar los requerimientos para su implementación. El próximo capítulo se dedicará a exponer los principales requerimientos para el despliegue de la técnica VDSL2, mediciones realizadas en el par trenzado de cobre y enlace de FO, así como el equipamiento necesario para una posible implementación de la misma en nuestro país.

CAPÍTULO 2. REQUERIMIENTOS DE DESPLIEGUE DE LAS TÉCNICAS VDSL2

La tecnología VDSL2, es una tecnología que permite sobrepasar los 40 Mbps de descarga y los 10 Mbps de subida sin muchos inconvenientes y es relativamente económica respecto al resto de las tecnologías xDSL. Para su despliegue, requiere un terminal de red o módem-router, un separador (*Splitter*) en las instalaciones del usuario y un terminal de línea en la central telefónica. Para conseguir conectar los clientes a la red se debe partir de todas las centrales telefónicas (DSLAM) principales del país.

Para suplir los requisitos de este sector son necesarias distancias menores a un kilómetro entre central y usuario. La interconexión de las centrales se debe realizar mediante enlaces punto a punto con fibra óptica y tecnología Metro Ethernet. En el proceso de instalación y puesta en marcha de los cables para el servicio de telecomunicaciones y en la ulterior explotación de los mismos, es preciso realizar una serie de mediciones y verificaciones de los parámetros eléctricos y físicos de los pares de cobre y fibra óptica que asegure que los mismos reúnan los requisitos técnicos indispensables para el correcto funcionamiento del enlace VDSL2.

2.1 Enlace de cobre

Desde el ONT (*Optical Network Termination*, Terminal de Red Óptico) hasta el usuario final se utiliza par trenzado de cobre. El bucle de abonado de cobre no debe superar los 300 – 400 m, tal como se muestra en la Figura 2.1, ya que no se podría ofrecer toda la velocidad de transmisión requerida, debido a que con la distancia a la que se sitúen los ONTs la velocidad de conexión disminuye drásticamente.

El proceso de calificación de líneas para la instalación de módems VDSL2 es de suma importancia para garantizar la estabilidad y confiabilidad de su funcionamiento. Hay que garantizar que los nuevos cables que se instalen, cumplan los parámetros eléctricos de la resolución 13/97 “Especificaciones de requisitos de cables telefónicos locales”(Resolución:13/97).

Estas especificaciones, definen los requerimientos exigidos para los cables telefónicos secos y de planta externa con conductores de cobre, aislamiento sólido, pantalla de aluminio recubierto y cubierta de polietileno, para ser utilizados en redes locales, en instalaciones aéreas o en conductos. Los cables locales tienen varias capas de pares que se cuentan comenzando desde el centro en sentido horario, y se van superponiendo torciéndose sucesivamente. Esta torsión garantizará que el par cumpla con los requisitos de desequilibrio, capacitancia y diafonía.

Los pares serán agrupados en subunidades de 25 pares, que serán atadas con cintas agrupadoras de un color diferente cada una para identificar a la subunidad. En su exterior tienen una cinta aislante de aluminio contra el calor. Los pares del centro tienen mayor apantallamiento que los exteriores y son menos vulnerables a daños físicos, por eso son más recomendables escoger estos pares para el servicio de transmisión de datos.

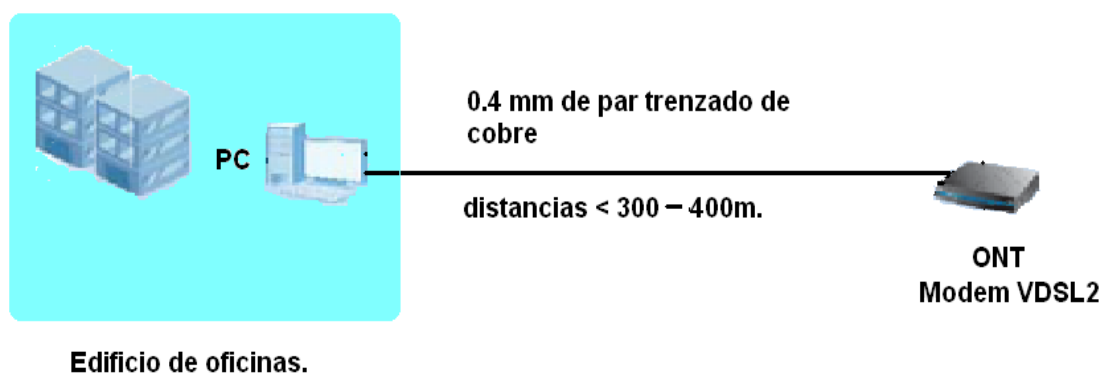


Figura 2.1 Enlace de cobre típico.

Fuente: El autor

2.2 Requerimientos eléctricos(Resolución:13/97)

A continuación se presentarán detalladamente los requerimientos eléctricos de los cables telefónicos de cobre.

2.2.1 Resistencia de lazo

Es un parámetro primario que se mide con corriente directa, es importante para determinar el punto de interrupción de un par, en la Tabla 2.1 se muestra la resistencia de lazo en relación con los diferentes calibres existentes. La resistencia de lazo depende

del material, diámetro del cable, longitud y de la frecuencia. La medición de esta se realiza bajo temperatura de 20°C y con un puente resistivo a DC.

Tabla 2.1 Calibre contra resistencia de lazo.

Fuente:(Resolución:13/97)

Calibre	AWG	Nominal (Ω/Km)
0.4	26	278
0.5	24	178
0.65	22	106
0.9	19	54,8

La variación de la resistencia del alambre con la temperatura se rige por la siguiente formula:

$$R = R_0[1 + \alpha_0(T - 20^\circ\text{C})]$$

Dónde:

T =Temperatura estimada del alambre en el momento de la medición.

R =Medición de la resistencia.

α_0 =0,009331 coeficiente térmico del cobre a 20°C.

R_0 =Resistencia del alambre a 20°C.

2.2.2 Desequilibrios resistivos

Es un parámetro que se mide con corriente directa. Da cuenta de la resistencia lineal entre las bandas de un par y sirve para conocer si el par está en norma. El desequilibrio resistivo a corriente continua entre dos conductores de un par medidos en cualquier longitud del cable a 20 ° C no debe exceder los valores de la Tabla 2.2.

Tabla 2.2 Calibre contra desequilibrios resistivos en %.

Fuente:(Resolución:13/97)

Calibre	AWG	Desequilibrio de Resistencias en %
0,4	26	2,0
0,5	24	1,5
0,65	22	1,5
0,9	19	1,5

Siendo el desequilibrio resistivo (%) = $\frac{R_{m\acute{a}x} - R_{min}}{R_{min}} \times 100$

Dónde:

$R_{m\acute{a}x}$ = Valor máximo de las mediciones realizadas.

R_{min} = Valor mínimo de las mediciones realizadas.

2.2.3 Capacitancia mutua

La capacitancia mutua se debe medir sobre cada par terminado, por medio de un instrumento capaz de medir con una exactitud del 1 % del valor a ser determinado. La medida debe efectuarse con corriente alterna, a una frecuencia entre 500 Hz y 2000 Hz. Para toda la longitud del par terminado, la capacitancia mutua efectiva de los pares, medida a una frecuencia de 1000 Hz, y a 20 ° C es:

- Máximo individual 56 nf/ Km
- Promedio máximo 54 nf/ Km.
- Promedio Mínimo 46 nf/ Km.

Se tomó como referencia promedio el valor de 52 nf/Km para los pares telefónicos.

2.2.4 Desbalance de capacitancia

➤ **Par-Par** Los desbalances de capacitancia par-par no deberá exceder los siguientes valores:

- Máximo individual 260 pf/ Km
- Raíz media cuadrática 45,3 pf/ Km

➤ **Par-Tierra** Los desbalances de capacitancia par a tierra, no deberán exceder los siguientes valores:

- Máximo individual 2625 pf/ Km
- Promedio máximo 45,3 pf/ Km

2.2.5 Rigidez dieléctrica

Con corriente directa: En cada largo del par terminado el aislamiento entre los conductores deberá ser capaz de soportar durante 3 segundos, un potencial de corriente directa cuyo valor no sea menor de:

- Conductor a conductor 1000 volt
- Conductor a tierra 3000 volt

Con corriente alterna: En cada largo del cable terminado el aislamiento entre los conductores deberá ser capaz de soportar durante 3 segundos, un potencial de corriente directa cuyo valor no sea menor de:

- Conductor a conductor 355 volt
- Conductor a tierra 2000 volt

2.2.6 Resistencia de aislamiento

Cada conductor aislado en cada largo del cable, cuando se mide contra todos los demás conductores aislados conectados entre si y a la pantalla aterrada, debe tener una resistencia de aislamiento no menor de 5000 M Ω - Km., a una temperatura de 20 °C.

La medición debe realizarse con una tensión de DC no menor de 100 V y no mayor de 500 V aplicados durante un 1 minuto.

2.2.7 Atenuación

En pares de cables terminados que tengan más de 12 pares, la atenuación promedio no debe exceder los valores mostrados en la Tabla 2.3, cuando se mide de acuerdo con la norma ASTM D 4566. Para cables de 12 pares o menos, la atenuación promedio no debe exceder de un valor incrementado por un 10 % sobre los requisitos de la tabla. Los requisitos deben ser cumplidos a 772 KHz solamente, a menos que los requisitos a 150 KHz sean especificados por el usuario.

Tabla 2.3 Atenuación del calibre del conductor a 1000 Hz, a 150 KHz y a 772 KHz.

Fuente:(Resolución:13/97)

Calibre del Conductor (mm)	Calibre del Conductor AWG	a 1000 Hz		a 150 KHz		a 772 KHz	
		Nominal dB / KM	Max dB/Km	Nominal dB / KM	Max dB/Km	Nominal dB / KM	Max dB/Km
0.4	26	1.8	1.9	11.4	12.00	22.5	23.6
0.5	24	1.42	1.5	8.3	8.73	18.5	19.45
0.65	22	1.12	1.2	6.2	6.51	14.6	15.36
0.9	19	0.78	1.82	4.4	4.62	10.4	10.92

2.2 Instrumento de medición

Los equipos utilizados en la medición del enlace de cobre, fueron: el Dynatel965DSP, que es un analizador y localizador de fallas en pares de cobres, como se muestra en la Figura 2.2 y el ALT2000, el cual es un instrumento de línea portátil de fácil manejo, que permite probar la calidad del par de cobre para la transmisión tanto analógica como digital, tal como se muestra en la Figura 2.3. Permite comprobar si una línea resulta adecuada para ser utilizada en banda base a 160 Kbit/s, 1,5 Mbit/s y 2 Mbit/s, ADSL, HDSL SDSL o G.SHDSL.

El instrumento incluye plantillas para comprobar la disponibilidad de servicios ADSL a velocidades de 5 Mbps y 8 Mbps y GLITE ADSL, también dispone de muchas características que están diseñadas para llevar a cabo un mantenimiento detallado, así como la búsqueda de fallos de la línea.El dispositivo utiliza una gama de impedancias internas que le permite seleccionar los valores adecuados de las pantallas de configuración de las pruebas que se lleven a cabo. Se recomienda utilizar una impedancia en un margen de error de cómo máximo un 10 % respecto a la línea bajo prueba.

Con ALT2000 se comprueba y se mide el nivel de ruido y señal, atenuación, diafonía, pérdida de retorno y equilibrio longitudinal, permitiendo a los usuarios locales y remotos hablar por la línea que se esté comprobando.



Figura 2.2 Dynatel965DSP.
Fuente:El Autor



Figura 2.3 ALT2000.
Fuente:El Autor

2.3 Mediciones reales en enlace de cobre

Con el Dynatel965DSP, versión del software 7.00.9, especificación 3M de Estados Unidos y número de serie 083600 4F, se realizó las mediciones en 20 pares, de la resistencia de aislamiento, resistencia de lazo, balance longitudinal, capacidad, coeficiente capacitivo, ruido y la longitud con ecómetro, en el MDF (módulo de distribución de tramas), ubicado en el escenario escogido. Las mediciones fueron realizadas bajo una temperatura de 25⁰C (ambiente climatizado). La Tabla 2.4 muestra las mediciones realizadas en los pares de cobre.

El punto donde se realizó la medición fueron las regletas de interconexión, en cables internos de 300 pares x 2 hilos x 0,5 mm de calibre. Para la medición de las resistencias,

se aplicó entre los bornes del instrumento un voltaje de 70 Vdc, alternándolo con la presilla, referida a la pantalla (tierra) del par o entre hilos.

Tabla 2.4 Mediciones en el par de cobre con el Dynatel965DSP.

Fuente: Autor

Par	R. de Aislamiento (MΩ)			Rest. Laz.	Balanc Long.	Capacidad (nf)			Coef Cap. (nf/K m)	Ruido (dB _m)	Long con Ecom (m)
	A-B	A-T	B-T			A-B	A-T	B-T			
1	999	999	8,36 KΩ	109	32	23	41,4	32,6	56,9 98	-62	403
2	999	999	999	115	74	20,2	32,3	32,6	50,2 80,1	-90	403
26	999	999	999	112	78	20,3	31,5	32,5	50,2 80,1	-90	403
36	999	999	999	111	285	20	31,5	31,6	50,3 59,4	-90	398
39	999	999	999	110	82	25,3	39,4	39,3	54,2 83,9	-90	469
46	593	245	999	108	285	20,2	32	32,1	50,2 80,3	-90	401
50	999	999	999	110	73	20	31,6	31,9	49,5 79,1	-90	401
52	8,04 KΩ	999	999	109	75	20,2	31,4	31,3	50,1 77,9	-90	403
55	999	358	999	114	285	20	31,1	31,4	50 77,6	-90	401
56	999	999	632	111	75	20	31,1	31,2	50,1 78,3	-90	398
60	45,3	363	602	110	75	20	31,5	31,4	50,3 70,2	-90	398
61	39,6	407	999	112	71	20,2	30,8	30,6	50,8 77,1	-90	398
62	999	999	999	113	77	20,3	30,6	30,5	50,4	-90	403

									75,5		
63	999	378	999	107	76	20,2	30,4	30,5	50,4	-90	401
									76,1		
64	999	999	999	111	77	20	29,8	29,7	50,1	-90	398
									74,9		
65	999	999	999	111	77	20	30,4	30,6	50,3	-90	398
									76,8		
67	999	999	358	109	74	20	31,2	31,2	50,3	-90	398
									78,3		
68	999	999	999	115	285	29,7	45,4	45,3	51,2	-90	583
									77,6		
69	999	999	999	111	80	20	41,4	30,5	50,2	-90	401
									76,7		
70	999	999	999	111	78	20	30,4	30,1	50,1	-90	401
									76,1		

La medición de la resistencia de aislamiento se realizó con los pares abiertos, entre hilos (A y B), y entre cada hiloy la pantalla (A y tierra). El máximo valor medido por el instrumento fue de 999 MΩ, que es el valor nominal de la resistencia de aislamiento para cables locales cuyo recorrido es menor de 6 Km. En el primer par se tuvo una resistencia de aislamiento entre B y tierra de 8.36 KΩ, lo cual indica que la banda A tiene más distancia que la B, ya que la banda B está a tierra, trayendo consigo que el coeficiente capacitivo en el primer par, de acuerdo con la longitud medida con el ecómetro exceda el valor promedio máximo de 54 nf/Km. Todos los demás pares medidos están dentro del rango permisible.

Para la medición de la resistencia de lazo, se puso en cortocircuito las bandas A y B en el extremo, en cada uno de los pares, con estos valores obtenidos en la medición se verificó que ambas bandas de los pares llegan al extremo distante. Al medir el nivel de ruido introducido en la línea en cada uno de los pares, se observó que en el primer par hay una fuerte presencia de ruido (-62dBm), debido a que la banda B está a tierra. El nivel de ruido en los demás pares está por debajo de los límites aceptables para el tipo de línea seleccionada.

Para la medición de la pérdida de retorno se utilizó el ALT2000 (medidor de línea avanzado), número de serie 471100A 10/04126, versión del software Vol. 2.40.

Una vez encendido el instrumento y visualizado el menú principal, se activó la autocalibración, para asegurar que las mediciones fueran exactas. Durante la autocalibración el generador de señales está calibrado a 0,00 dB, los medidores de banda base a 2 KHz y los medidores de banda extendida a 200 KHz.

La pérdida de retorno, es una medida del porcentaje de potencia de señal reflejada respecto a la potencia de la señal transmitida dentro de un sistema. En términos sencillos, es similar a un eco que se refleja por los cambios de impedancia del enlace. Cualquier variación en la impedancia por parte del origen da como resultado una señal devuelta. Los pares 1 y 2 medidos no tienen una estructura de impedancia y una correspondencia perfectas, y por tanto tienen una pérdida de retorno apreciable, tal como se muestra en las figuras 2.4 y 2.5, respectivamente. Para medir la pérdida de retorno de la línea, se conectó una impedancia adecuada al extremo remoto, y el ALT2000 al extremo local de la línea. Además se escogió para la medición, una línea ADSL2+, debido a que el instrumento no permite medir líneas con servicio VDSL2 y ser esta tecnología compatible con tecnologías ADSL2+.

La zona gris dentro de la pantalla de espectro representa la zona de fallos para la medida seleccionada. Cuanto mayor el número (negativo) visualizado para la pérdida de retorno, más adecuada está la impedancia de línea.

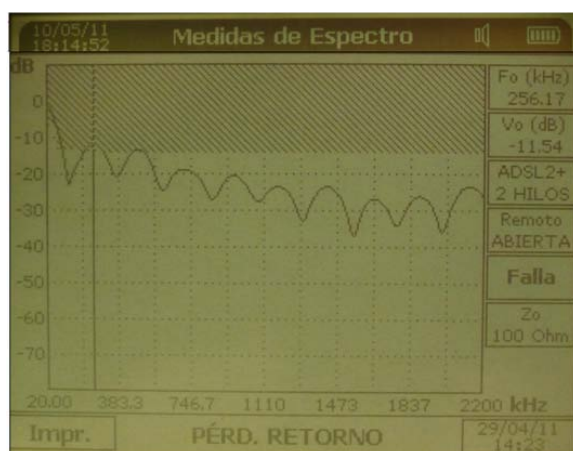


Figura 2.4 Medición en el enlace de cobre con el ALT2000, par 1.

Fuente: Autor



Figura 2.5 Mediciones en el enlace de cobre con el ALT2000, par 2.

Fuente: Autor

Luego de realizar las mediciones en el par trenzado de cobre y verificar la capacidad de estos para permitir ofrecer los diferentes servicios que brinda la tecnología VDSL2, se hace necesario realizar las mediciones en el enlace de fibra óptica. En el siguiente punto se realiza un análisis de los parámetros necesarios a tener en cuenta para la implementación del sistema, así como mediciones realizadas en el enlace de FO entre la central telefónica y un escenario típico.

2.4 Enlace de fibra óptica

Para la planificación del enlace entre el OLT y ONT se escogió la fibra óptica monomodo SMF de la Recomendación de la UIT-T G.652(G.652., 2005), tal como se muestra en la Figura 2.6. Es necesario tener en cuenta para la implementación un gran número de parámetros, que deben cumplir con dos requerimientos fundamentales:

1. El sistema debe operar a una velocidad que satisfaga el ancho de banda disponible tanto para un sistema analógico como para uno digital.
2. La señal que llega al receptor debe tener el nivel mínimo adecuado como para asegurar que la señal recuperada sea exactamente la misma que la emitida en el transmisor.

El proceso de cálculo del sistema se apoya en dos aspectos fundamentales para el cumplimiento de estos requerimientos:

- Cálculo por atenuación o análisis del balance de las potencias (balance energético).
- Cálculo teniendo en cuenta la dispersión del sistema o análisis desde el punto de vista de los tiempos de crecimiento.

Para el diseño del sistema a implementar los parámetros iniciales que se deben conocer son:

1. El tipo de señal a transmitir (video, voz y datos).
2. Velocidad de transmisión.
3. Tasa de error de bit o relación señal a ruido S/R.
4. Longitud del enlace.
5. Condiciones ambientales del tendido.

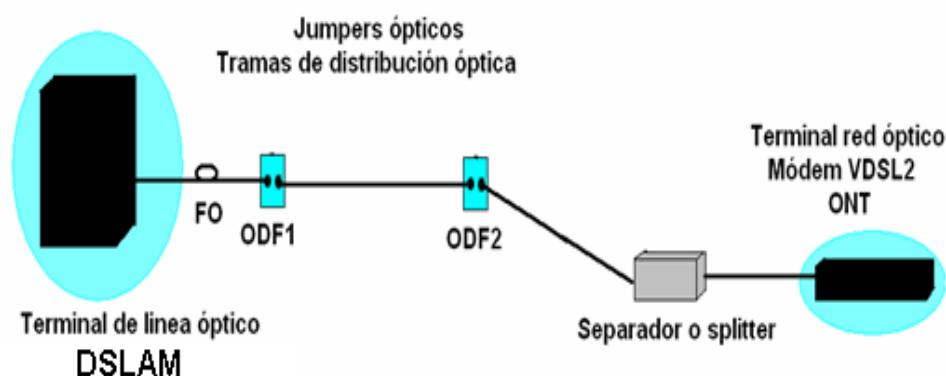


Figura 2.6 Enlace de fibra óptica con tecnología VDSL2.

Fuente:(Millán, FTTB & VDSL2...el cobre tiene vida para rato, [en línea], 2009)

2.4.1 Cálculo por atenuación. Análisis a partir del balance de potencia (Izquierdo, 1996)

Para el análisis del balance de potencia se debe de tener en cuenta la expresión siguiente:

$$P_m = P_t - P_r \geq A_T \quad (2-1)$$

Dónde:

P_m – Margen de potencia en dB.

P_t – Potencia de salida del transmisor en dB_m.

P_r – Sensibilidad del receptor en dB_m.

A_T – Atenuación total máxima permisible del enlace en dB.

El margen de potencia P_m no es más que la diferencia entre la potencia disponible (en dB_m) a la entrada de la fibra en emisión y la sensibilidad del receptor (en dB_m), para una tasa de error de bits requerida en dB. Este define la máxima pérdida de la señal permisible que garantiza la calidad especificada para el sistema.

Al tener en cuenta los factores que pueden causar atenuación en el enlace, la atenuación total máxima permisible del mismo se puede determinar de la siguiente forma:

$$A_T = A_{fo} + A_e + A_c + P_e + M_s [dB] \quad (2-2)$$

A_{fo} –Atenuación provocada por la fibra óptica.

A_e – Atenuación introducida por los empalmes.

A_c – Atenuación en los conectores.

P_e – Valor de penalización por interferencia intersímbolos.

M_s – Margen de seguridad.

2.4.2 Cálculo de la atenuación total máxima permisible para el enlace

Partiendo de la formula (2-2) para analizar los diferentes factores que influyen en el análisis de la atenuación de un sistema de una portadora óptica, se tiene:

a)Atenuación en la fibra

$$A_{fo} = (\alpha_{fo} + \alpha_{env.fo})L [dB] (2-3)$$

Dónde:

α_{fo} – Coeficiente de atenuación de la fibra (dB/Km).

$\alpha_{env.fo}$ – Coeficiente de atenuación por envejecimiento de la fibra = 0.05 dB/Km.

L – Longitud del enlace en Km.

El valor de las pérdidas en las fibras se expresa mediante su coeficiente de atenuación expresado en dB/Km y depende del tipo de fibra óptica y la longitud de onda de trabajo prevista en las recomendaciones de la UIT-T.

b) Atenuación por concepto de los empalmes A_e

Los empalmes tienen valores bajos de atenuación, los cuales no suelen sobrepasar los 0,1 dB por empalme.

Es necesario tener en cuenta los tipos de fibra que se unen. Se debe evitar empalmar fibras monomodo con multimodo, ya que existe una gran diferencia entre sus diámetros de núcleos y aperturas numéricas. Cuando existen estas diferencias geométricas, las pérdidas vienen determinadas por la siguiente expresión:

$$P_{dg} (dB) = 20 \text{ Log } D_1 / D_2 + 20 \text{ Log } NA_1 / NA_2 \quad (2-4)$$

Se debe determinar si el tipo de empalme que se empleará es mecánico o por fusión, ya que dependiendo de esto será el valor máximo permitido a utilizar en el cálculo. Para los empalmes por fusión se supone un máximo de pérdida en cada empalme $\alpha_e = 0,15$ dB. Para los empalmes mecánicos se debe consultar las especificaciones técnicas del modelo de empalme a emplear.

c) Atenuación por concepto de conectores y acopladores

La atenuación por concepto de los conectores y acopladores se define multiplicando el número de conectores por la atenuación de cada uno de ellos:

$$A_c = N_c \alpha_c \quad (2-5)$$

Dónde:

N_c – Números de conectores.

α_c – Pérdidas en los conectores.

El tipo de conector (multimodo o monomodo) que se debe elegir queda determinado principalmente por el tipo de fibra seleccionada. Definido el tipo de fibra, debe seleccionarse el modelo de conector (FC-PC, SC, ST u otro), según los proveedores.

Para el cálculo se debe tomar el valor más crítico de atenuación, dicho valor puede oscilar entre 0,75 y 1 dB como valores críticos.

d) Pérdidas por interferencia íntersímbolos

La pérdida del trayecto es la reducción aparente de la sensibilidad del receptor debido a la dispersión modal y material de la fibra sobre todo en las velocidades de transmisión más altas, a la constante de tiempo del circuito del fotodiodo, y del ancho de banda del preamplificador de la señal durante su transmisión. O sea la señal tiene un carácter integrador por lo que se hace necesaria su derivación (carácter pasa-alto), para lo cual se utiliza un circuito ecualizador. Dicho circuito acentúa la ganancia de estas frecuencias, pero ocasiona un incremento del ruido a la salida. Para neutralizar tal efecto se prevé una potencia óptica adicional a la entrada del receptor, compensándose la pérdida de sensibilidad del fotodetector. Dicha potencia se denomina penalización por ecualización.

Se manifiesta como un desplazamiento de las curvas BER del sistema hacia niveles de potencia de entrada superiores. El valor de dicha penalización se encuentra entre 1 y 2 dB.

e) Margen de seguridad

El margen de seguridad permite garantizar el enlace por atenuación cuando aumenta esta por los siguientes motivos:

- Empalmes de mantenimiento y degradaciones de los conectores.
- Variaciones de los parámetros de transmisión por factores ambientales.
- Envejecimiento de los componentes del sistema en específico, el emisor que puede llegar a ser significativo.
- Nuevos requisitos futuros que no existen en el momento de la planificación inicial.

La atenuación por envejecimiento es un factor de degradación de tiempo, el cual es un valor constante que debe agregarse siempre en el diseño de un sistema para tener en

cuenta la disminución de potencia de salida del emisor, y el aumento de atenuación por envejecimiento de los componentes. Un valor apropiado es **3 dB**.

Con relación al valor del margen de seguridad hay diferentes criterios: un valor usado es de 5 dB para instalaciones en exteriores y 2 dB para instalaciones en interiores. Otras bibliografías dan el margen entre 4 y 10 dB.

2.4.3 Cálculo del sistema a partir de los tiempos de levantamiento

El tiempo de levantamiento requerido para un sistema depende de varios factores, entre los cuales está el tipo de código de modulación empleado. La Tabla 2.5 muestra los tiempos de levantamiento de acuerdo a códigos de línea.

Tabla 2.5 Tiempos de levantamiento para diferentes códigos de líneas.

Fuente: Autor

Código de línea	Tiempo de levantamiento requerido
Miller / NRZ	$T_c = \frac{.70}{tasa\ de\ bits}$
Manchester / Bifase-M / RZ	$T_c = \frac{.35}{tasa\ de\ bits}$

El cálculo del tiempo de levantamiento de la fibra óptica, depende de la dispersión que le ocurrirá a la señal por su paso por la fibra óptica y del tipo de fibra seleccionada. Por ejemplo para una fibra monomodo viene expresado por la siguiente relación:

$$T_c = \frac{D L \Delta\lambda}{2,35} \quad (2-6)$$

Dónde:

D – Coeficiente de dispersión cromática de la fibra en ps/nm Km (solo para fibras monomodo).

L – Longitud del enlace en Km.

$\Delta\lambda$ - Anchura espectral de la fuente en nm.

El coeficiente D se toma de las especificaciones de la fibra seleccionada y su valor depende de la ventana (longitud de onda) de trabajo del sistema. Si no se tiene el ancho

de banda requerido (para sistemas analógicos) o la tasa de bits (para los sistemas digitales), lo mismos pueden calcularse:

$$B_w = \frac{0,44}{T_c} \quad (2-7)$$

$$B_w = \frac{0,187}{D L \Delta\lambda} \quad (2-8)$$

$$\Delta\lambda = \frac{0,70}{T_c} \quad (2-9)$$

Si la fibra es multimodo se tiene que:

$$T_c = \frac{0,70}{B_w} \quad (2-10)$$

Donde el ancho de banda se define, dividiendo el producto ancho de banda por la longitud del enlace, entre la longitud del enlace:

$$B_{wfo} = \frac{MHz \cdot Km}{L} \quad (2-11)$$

2.5 Instrumento de medición

El equipo utilizado en la medición del enlace de fibra es el mini-OTDR ANDO (Reflectómetro óptico en el dominio del tiempo), número de serie 10258458, modelo AQ 7250, fabricado en Japón, el cual se muestra en la figura 2.7. Este instrumento constituye una herramienta fundamental en la caracterización y certificación de enlaces de fibra óptica (LAN/Ethernet multimodo y monomodo). El OTDR es un instrumento de medición que envía pulsos de luz, a la longitud de onda deseada (ejemplo 3ra ventana: 1550nm), para luego medir sus “ecos”, o el tiempo que tarda en recibir una reflexión producida a lo largo de la FO. Estos resultados, luego de ser promediadas las muestras tomadas, se grafican en una pantalla donde se muestra el nivel de señal en función de la distancia.

Se miden además, atenuaciones de los diferentes tramos, atenuación de empalmes y conectores y atenuación entre dos puntos. El OTDR aprovecha los fenómenos presentes en la FO para analizar y entregar un resumen detallado del sistema, utilizando 2

cualidades fundamentales de la FO: el esparcimiento de Rayleigh y la reflexión de Fresnel.



Figura 2.7 OTDR.

Fuente: <http://image.made-in-china.com/2f0j00kswtEaRhOYbv/Yokogawa-Intelligent-OTDR-AQ7275-.jpg>

2.6 Mediciones reales en enlace de fibra con el OTDR

Las mediciones del enlace de fibra se le realizaron a los tramos ubicados desde la central telefónica y el escenario típico, situadas a menos de 1Km de distancia, instalación donde se puede desplegar la tecnología VDSL2, la cual permitiría aumentar la velocidad de transmisión hasta 50 Mb/s, ofreciendo una gran gama de servicios como: entrega de varios canales de televisión de alta definición (HDTV), VoIP, video bajo demanda (VoD) y mayor velocidad de acceso a internet.

Para realizar la medición de la FO, se utilizó una bobina de lanzamiento (prolongador reflectométrico o supresor de pulsos), que es un elemento pasivo de FO empleado en las medidas realizadas con el OTDR. Esta tiene una longitud de 2 km de FO monomodo 9/125, o sea 9 μm de núcleo y 125 μm de revestimiento que permitió eliminar la zona ciega producida a la salida del OTDR, los problemas de las zonas muertas debidos a fuertes reflexiones, obteniéndose de esa manera una imagen más precisa de toda la longitud de FO medida, como se muestra en la Figura 2.8, incluyendo la evaluación del centrador del ODF (trama de distribución óptica) y la medida del primer conector o empalme.

La Figura 2.8 muestra una lista de eventos reflexivos (R^+), ocurridos en los conectores por la separación entre ellos y discontinuidades en la fibra. La pérdida de retorno en cada uno de los conectores, eventos dispersivos (S^+) por la fusión entre los empalmes ocurridos a lo largo de la FO, así como las distancias en Km entre cada evento, atenuaciones producidas y las pérdidas ocurridas en los empalmes.

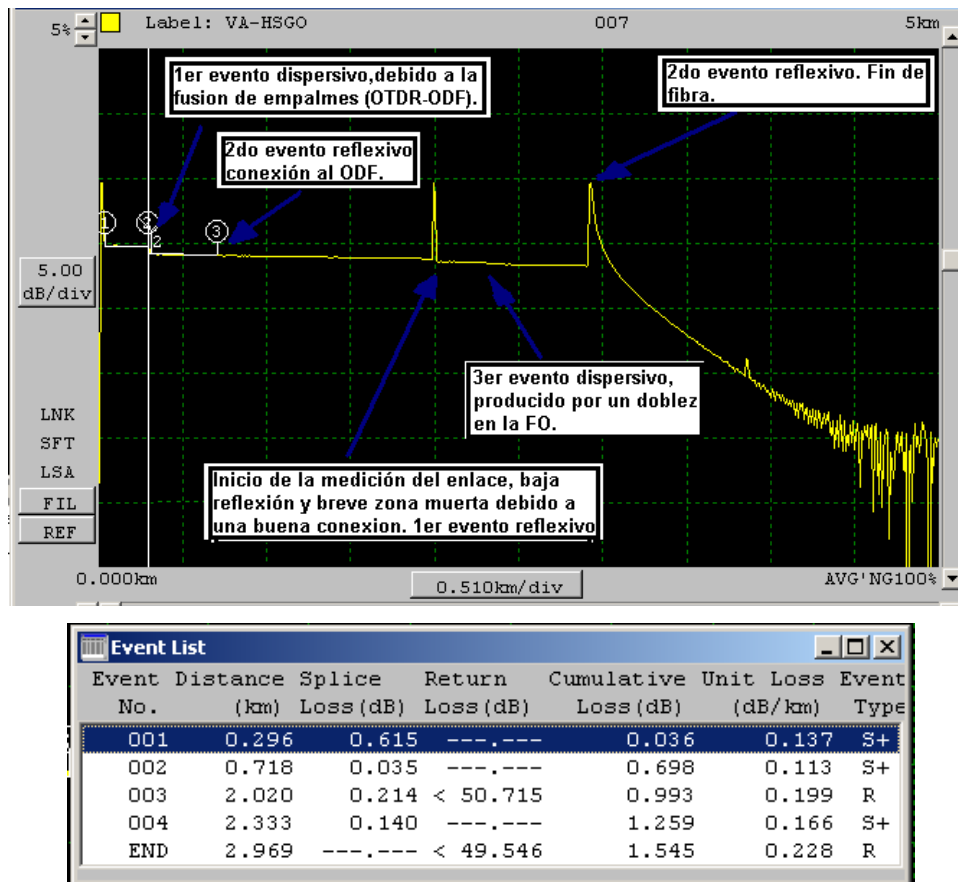


Figura 2.8 Medición real del enlace de FO Central Telefónica – Escenario Típico.

Fuente: Autor

2.7 Equipamiento

La red de acceso para los usuarios residenciales utilizará la tecnología VDSL2, la cual requiere de todo el equipamiento (desde el usuario hasta la central telefónica) necesario para establecer satisfactoriamente una conexión.

La Figura 2.9 muestra un esquema del equipamiento necesario, así como su arquitectura. En la figura se pueden diferenciar dos partes. La primera hace referencia al equipamiento que se necesita en la instalación del usuario y la segunda el destinado a la central telefónica. En el primero de ellos (instalación del usuario) se requiere uno de

los equipos más importantes: el terminal de red, conocido mundialmente como modem-router, adaptado y compatible con la red Triple-Play que se puede implementar gracias a la tecnología VDSL2. A este dispositivo, se le conectan las distintas PC personales, la televisión y los teléfonos VoIP. Los teléfonos y faxes tradicionales se deberán de conectar a través de los separadores (también conocidos como splitter).

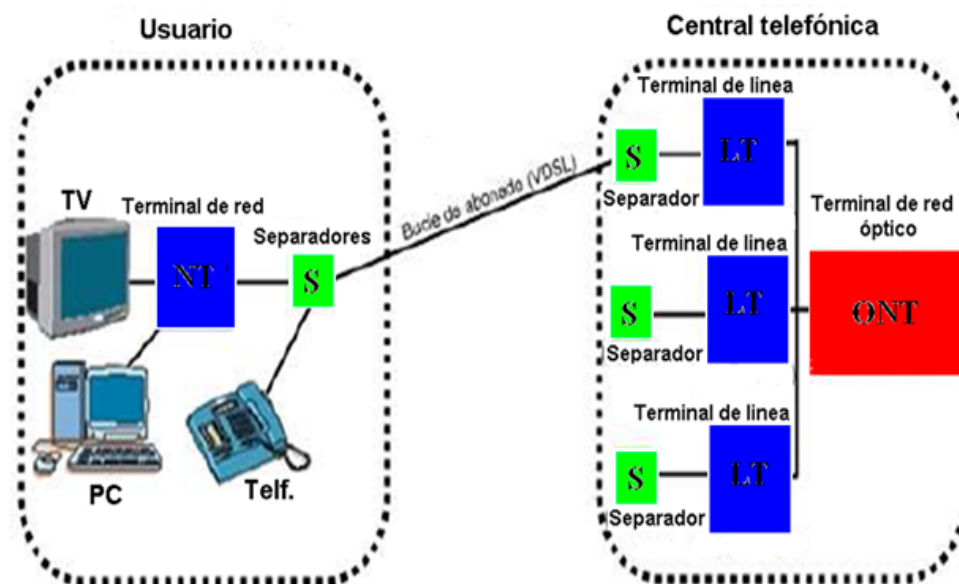


Figura 2.9 Enlace VDSL.

Fuente:(Millán, FTTB & VDSL2...el cobre tiene vida para rato, [en línea], 2009)

En la segunda parte de la Figura 2.9, se aprecia que en la central telefónica también se requiere otro separador para el correcto funcionamiento de la red así como el terminal de línea, dispositivo que se sitúa físicamente en la instalación donde radique el cliente, cuya función principal es la de modular (o adaptar) los datos para que puedan viajar por el bucle de abonado.

2.7.1 Terminal de red

Estos dispositivos son conocidos como módems-routers VDSL2. Estos routers son equipados con la tecnología adecuada para conectar varios equipos a Internet a través de la línea telefónica con servicio de VDSL2. Realmente están compuestos por varios componentes en uno:

1. Pasarela o *Gateway*: proporciona salida al exterior de una LAN.
2. Ruteador o *Router*: tiene la capacidad de enrutar paquetes IP.

3. Módem: modula y demodula señales.
4. Wi-Fi: punto de acceso con tecnología Wi-Fi (opcional) en algunos modelos.

Hay una gran variedad de proveedores de módems con tecnología xDSL en el mercado, pero después de estudiar las diferentes opciones se optó como solución definitiva para el estudio, por la empresa Huawei, principal proveedor de la Corporación Nacional de Telecomunicaciones en la actualidad.

El modelo de Huawei que es compatible con la tecnología de acceso VDSL2, es el HG520V, el cual se muestra en la figura 2.10. Este es un módem inalámbrico VDSL2 diseñado para usuarios de pequeñas oficinas centrales. El HG520V admite el acceso a Internet tanto por cable como por conexión inalámbrica, permitiendo disfrutar de servicios de voz, datos y video de gran calidad a alta velocidad.

El módem lleva integrado un proceso de red de alto rendimiento del encaminador VDSL2, proporcionando una conexión VDSL2 a una velocidad de transmisión superior a la de una conexión ADSL2+. Presenta una calidad de servicio ágil, flexible y eficaz garantizando el suministro sin interrupciones de varios servicios en distintas aplicaciones de red. Esto ayuda a aportar a los usuarios finales experiencias de video y voz de alta calidad.

Proporciona un puerto VDSL (RJ-11), 4 puertos de detección automática 10/100 Base-T LAN (RJ-45), Una antena utilizada para conexión inalámbrica compatible con los estándares 802.11b/g.



Figura 2.10 Módem-router HG520V.

Fuente: <http://www.movistar.es/particulares/ayuda/internet/adsl/equipamiento-adsl/routers/huawei-echolife-hg520v>

2.7.2 Separador (*splitter*)

Para permitir el uso simultáneo de la conexión de datos VDSL2 y el servicio telefónico de voz, es necesario instalar en los teléfonos, faxes y módems analógicos, un pequeño dispositivo que permita discriminar la frecuencia de la banda vocal y VDSL2, o sea prevenir interferencias entre las señales de los dispositivos de baja frecuencia y la línea del suscriptor digital (de alta frecuencia). La Figura 2.11 muestra el funcionamiento de un separador (RubyTech, 2008).

Los filtros separadores, deben colocarse necesariamente en los dos extremos de la línea telefónica, uno en el domicilio del usuario y otro en la central local para desagregar el tráfico de voz del de los datos. Huawei es una de las empresas especializadas en la construcción y distribución de separadores. Toda su gama de productos se basa en una buena relación calidad-precio. De esta manera Huawei presenta una altísima gama de filtros para xDSL que satisfacen las necesidades de los clientes residenciales.

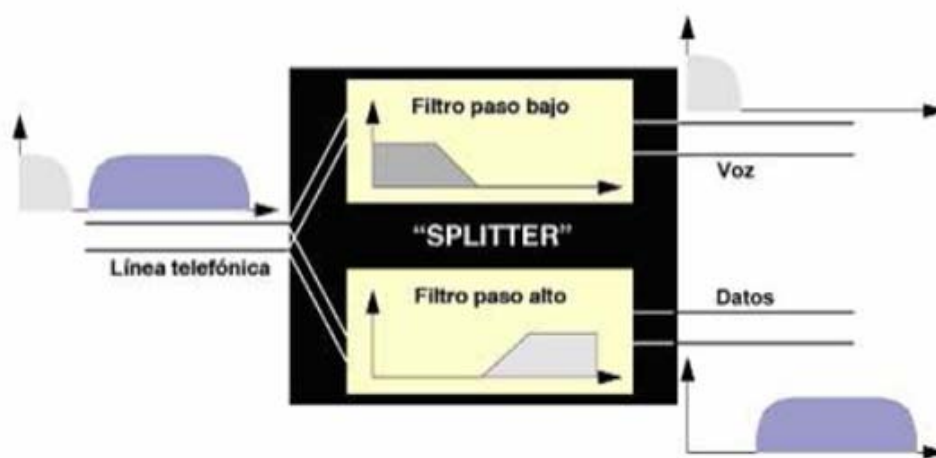


Figura 2.11 Funcionamiento de un separador (RubyTech, 2008)

2.7.3 Terminal de línea

El Terminal de línea consiste en un dispositivo denominado DSLAM, siglas de *Digital Subscriber Line Access Multiplexer* o lo que es lo mismo Multiplexor de Acceso a la Línea de Abonado Digital. Se trata de un multiplexor que se instala en la central

telefónica y proporciona a los usuarios los servicios de acceso VDSL2 sobre el par cruzado de cobre convencional.

Como se ha explicado anteriormente, la tecnología VDSL2 necesita un equipo en la instalación del usuario y otro en la central local. Debido a que las centrales locales (tanto principales como secundarias) deben dar servicio a multitud de clientes, se hace inviable la posibilidad de poner un “módem-router” por usuario. Este problema se soluciona con el DSLAM, que se podría definir como un chasis que agrupa un gran número de tarjetas, cada una de las cuales consta de varios módems que concentran el tráfico de todos los enlaces VDSL2 hacia la red de concentración. En la figura 2.12 se muestra el modelo funcional del DSLAM.

La empresa Huawei es uno de los proveedores de este tipo de equipo, por ejemplo, el sistema de acceso de banda ancha de la serie MA5300 de SmartAX, tal como se muestra en la figura 2.13. La serie MA5300 de Huawei tiene puertos de abonados de alta densidad, interfaces diversas y flexibles modos de conexión de red.

Para usuarios residenciales el SmartAX MA5300 soporta servicios de navegación Web y juegos interactivos en Internet. Para usuarios comerciales, soporta variadas aplicaciones con alta calidad de servicio, como video conferencia, Intranet en las empresas, red privada virtual y transmisión de paquetes de voz. Soporta una Unidad de Servicio Inteligente (ISU) y funciones de dirección centralizadas. Según Huawei el MA5300 es idóneo para soluciones de interconexión de líneas privadas y servicios Triple Play.

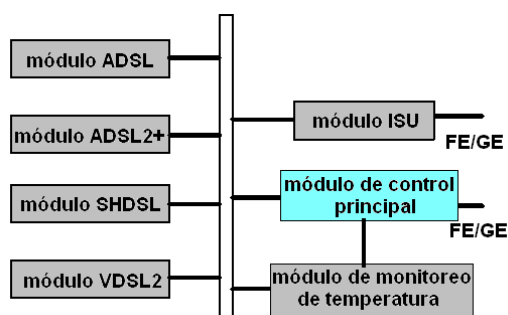


Figura 2.12 Modelo funcional del DSLAM.(RubyTech, 2008)



Figura 2.13 DSLAM SmartAX MA5300 de Huawei.

Fuente: http://www.huatianweiye.com/cp_show.asp?id=656

Luego de conocer los principales requerimientos para el despliegue de la tecnología de banda ancha VDSL2, mediciones en el enlace de cobre y FO, así como el equipamiento necesario para su implementación, sería importante simular un enlace VDSL2 para evaluar su funcionamiento. Actualmente existen herramientas de software muy poderosas que permiten a los diseñadores de sistemas digitales de comunicaciones reducir los tiempos y esfuerzos en la implementación y evaluación de un sistema. En el siguiente capítulo se analiza las potencialidades que brinda el software OptiSystem, en la simulación de un enlace VDSL2.

CAPÍTULO 3. ANÁLISIS Y SIMULACIÓN DE ENLACE VDSL2

La simulación y el análisis son aspectos críticos y de gran importancia en el proceso de diseño, optimización y evaluación de los diferentes sistemas de comunicaciones. Las herramientas computarizadas permiten evaluar y modelar el desempeño de la mayoría de los sistemas más modernos, obteniéndose resultados muy cercanos a la práctica. Con el diseño de estos modelos se pueden recrear las condiciones reales de funcionamiento, y evaluar así la eficiencia del sistema mucho antes de su implementación; permitiendo facilitar el descubrimiento de fallas en el funcionamiento, así como la predicción de determinados comportamientos.

La creciente demanda de software comercial para la simulación y diseño de sistemas de comunicaciones ópticas ha dado lugar a la disponibilidad de un número de soluciones de software.

Uno de los simuladores que se está aplicando actualmente en el campo de las telecomunicaciones es el *OptiSystem*. Este software constituye un poderoso simulador de sistemas ópticos, diseñado para obtener la mayor precisión posible en la simulación de estos tipos de sistemas, permitiendo a los usuarios planificar, probar y simular cualquier tipo de enlace, en la capa de transmisión de las modernas redes ópticas.

3.1 Descripción del software *OptiSystem*(*OptiSystem*)

El *OptiSystem* es un paquete interactivo que forma parte del *Optiwave*, el cual permite la simulación de sistemas de comunicaciones por fibra óptica a nivel de capa física, incorporando una amplia biblioteca de componentes tanto pasivos como activos e instrumentos virtuales, entre los cuales se puede encontrar un estimador de la tasa de bits erróneos (BER), parámetro de calidad básico en los sistemas de transmisión digital.

Presenta otras herramientas disponibles, como simuladores automáticos para diferentes valores de los parámetros o algoritmos de optimización, capaces de encontrar la configuración óptima del sistema, permitiendo comprobar de forma rápida y sencilla, como son afectadas sus prestaciones al modificar los diferentes parámetros de diseño:

componentes, longitud de onda de trabajo, potencia del transmisor y esquema de modulación.

3.1.1 Entorno de trabajo

El entorno de trabajo del *OptiSystem*, no es más que una interfaz gráfica, en la cual se pueden controlar las listas de conexiones, modelos de componentes, gráficos de presentación y el diseño de componentes ópticos, como se muestra en la Figura 3.1. Posee una amplia biblioteca de componentes activos y pasivos que incluye parámetros reales dependientes de la longitud de onda. Los barridos de parámetros permiten que el usuario pueda investigar el efecto de las especificaciones de un dispositivo en particular en el rendimiento del sistema.

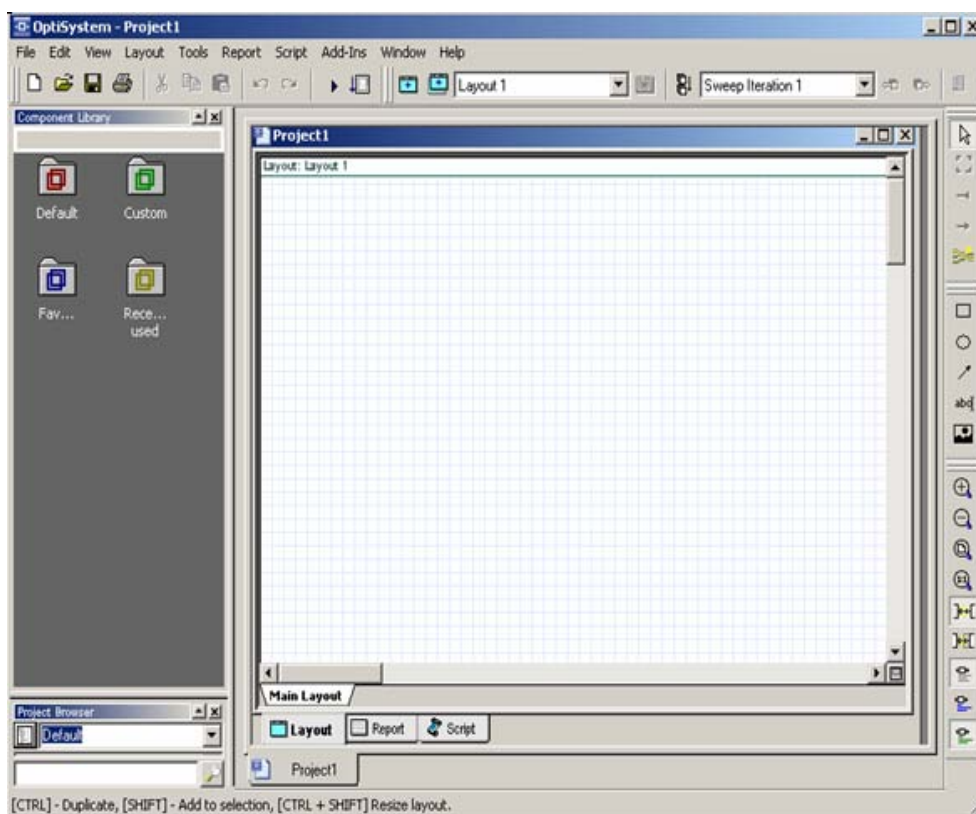


Figura 3.1 Entorno de trabajo del *OptiSystem*

Fuente: (*OptiSystem*)

Este software permite hacer un esquema virtual de cualquier tipo de enlace óptico en la capa física, análisis de una larga gama de redes ópticas, desde los sistemas más simples hasta los sistemas de transmisión de larga distancia. El software puede ser utilizado en las siguientes aplicaciones:

- Diseño de sistemas de comunicación ópticos desde el nivel de componentes hasta el nivel de sistemas en la capa física.
- Diseño de redes CATV o TDM/WDM.
- Redes pasivas ópticas basadas en FTTx.
- Sistemas ópticos en el espacio libre (FSO).
- Sistemas de radio sobre fibra (RFO).
- Diseño de anillos SONET/SDH.
- Diseño de transmisores, canales de transmisión, amplificadores y receptores.
- Diseño de un mapa de dispersión.
- Estimación del BER y pérdidas de los sistemas con modelos de receptores diferentes.

3.2 Descripción del sistema

Cualquier equipamiento óptico destinado para la implementación de un enlace con tecnología VDSL2, entre el OLT y el ONT, contiene un transmisor y un receptor óptico de acuerdo con el esquema de la Figura 3.2.

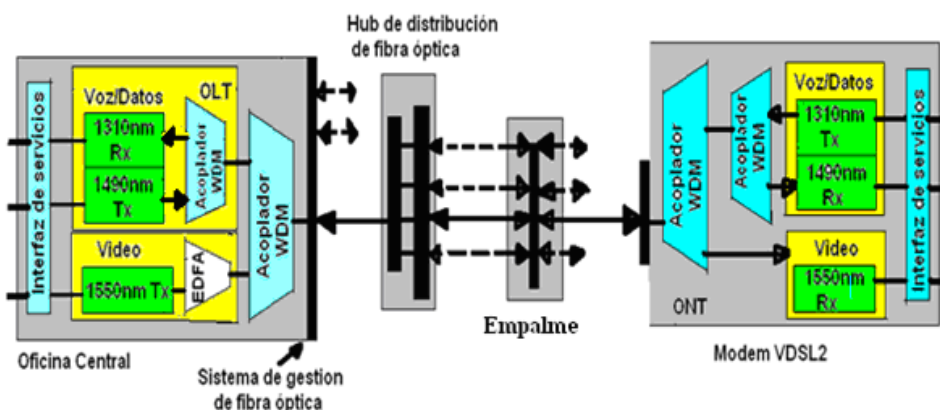


Figura 3.2 Esquema básico de un enlace entre el OLT y el ONT.

Fuente:(Millán, FTTB & VDSL2...el cobre tiene vida para rato, [en línea], 2009)

El diseño del enlace desde la central telefónica situada a una distancia de 1 km del cliente final ubicado en un escenario típico, va a consistir de tres módulos fundamentales: el OLT (DSLAM situado en la Central Telefónica), que está constituido por dos transmisores ópticos, uno para transmitir en la ventana de los 1490 nm, otro para transmitir en la ventana de los 1550 nm y un receptor óptico para recibir la señal ascendente (*upstream*) en la ventana de trabajo de los 1310 nm.

El segundo módulo, está constituido por el propio circuito de fibra óptica, enlace que va desde el OLT hasta el separador óptico (*Splitter*). El tercer módulo consiste en el ONT (módem VDSL2), a ubicar en la residencia del cliente final, siendo constituido por dos receptores ópticos, uno para las ventanas de trabajo de los 1490 nm y 1550 nm, de forma de que puedan recibir las señales ópticas y un transmisor óptico para la transmisión en la longitud de onda de los 1310 nm. La figura 3.3 muestra el diseño del enlace a implementar.

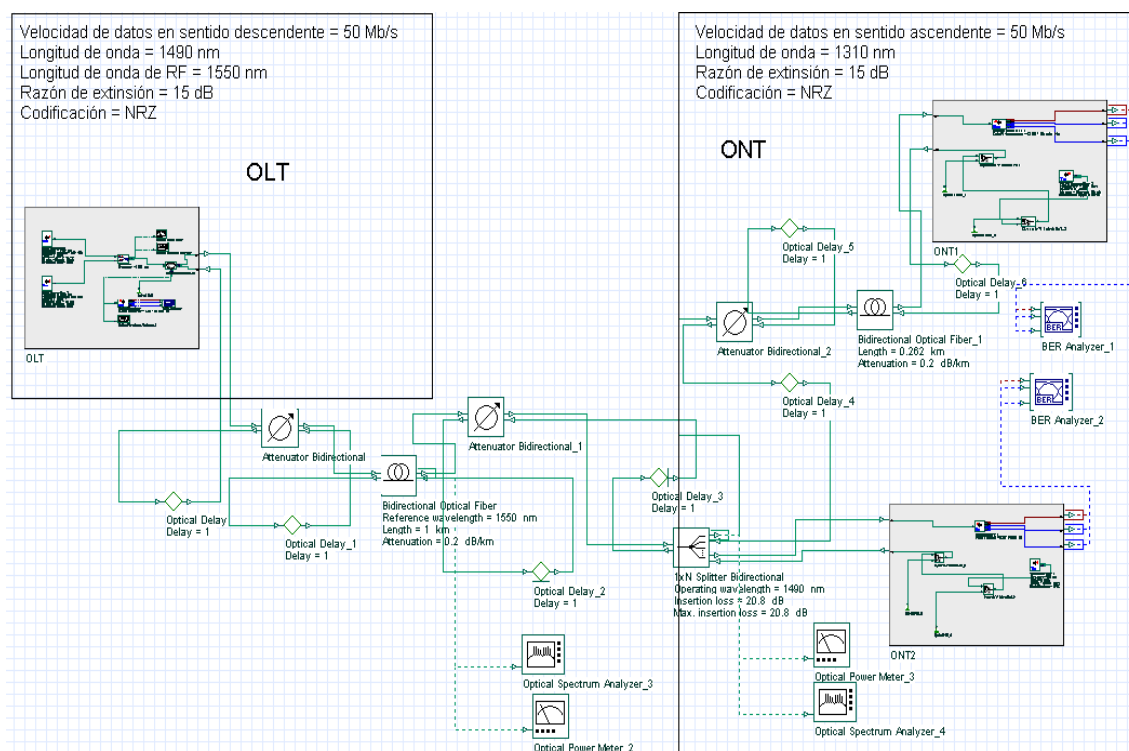


Figura 3.3 Enlace VDSL2 (central telefónica – escenario típico).

Fuente: (OptiSystem)

3.2.1 Descripción del módulo OLT

Para el diseño del OLT, tal como se muestra en la Figura 3.4, fueron colocados dos transmisores ópticos WDM, en los que fueron definidas las longitudes de ondas en las cuales trabajarán, 1490 nm y 1550 nm, ambos con una potencia de la señal óptica de entrada de 2 dB_m, una razón de extinción de 15 dB, que no es más que la razón que existe entre el nivel de potencia de “1” y el nivel de potencia de “0”, una tasa de transmisión de 50Mb/s, con una codificación NRZ, ley que asigna al estado o símbolo “1” la amplitud máxima y al símbolo “0” la amplitud mínima. En las figuras 3.5 y 3.6 se

muestran los parámetros definidos para los transmisores WDM, para ambas longitudes de ondas.

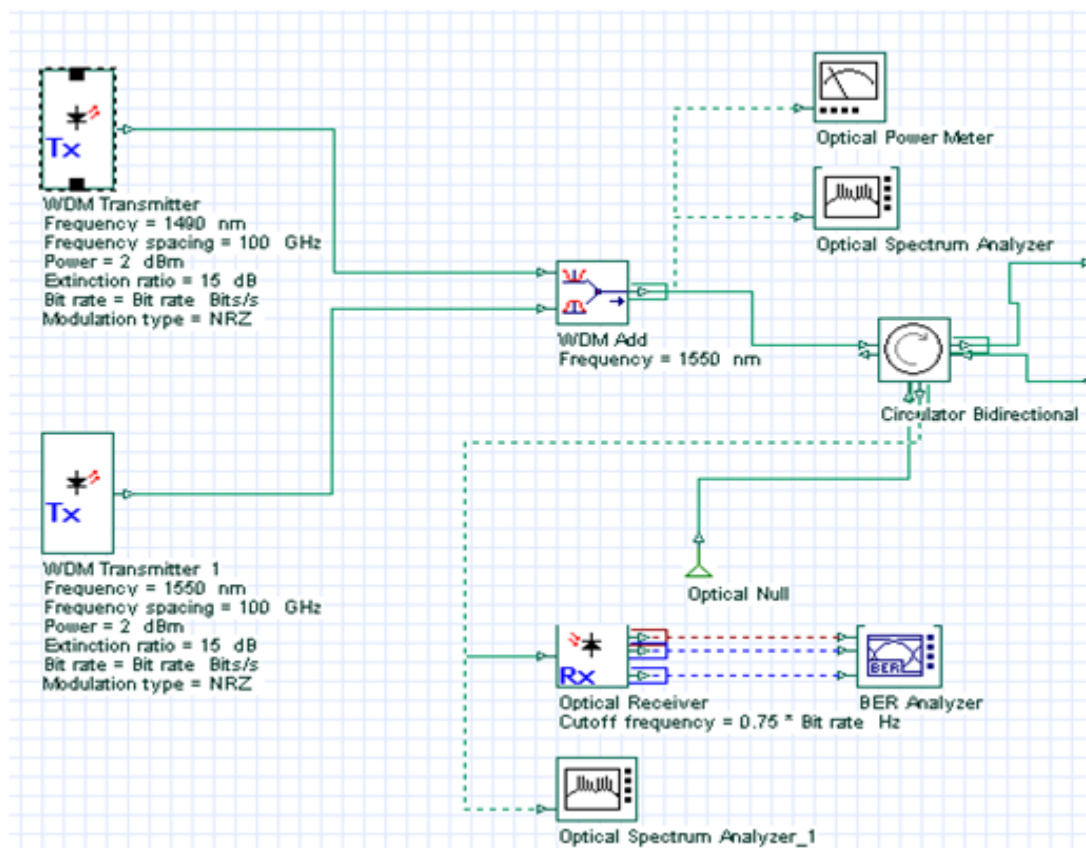


Figura 3.4 Bloque OLT. DSLAM situado en la Central telefónica.

Fuente: (OptiSystem)

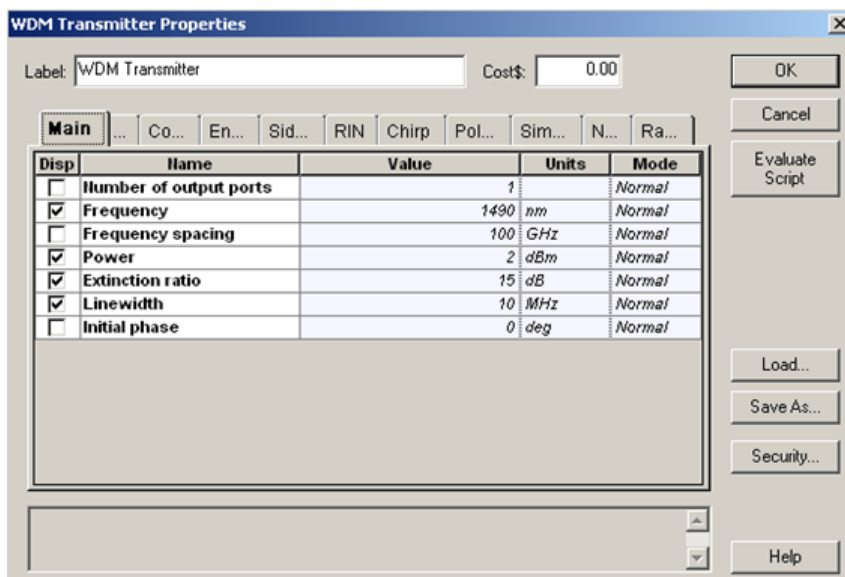


Figura 3.5 Parámetros del transmisor WDM para los 1490nm.

Fuente: (OptiSystem)

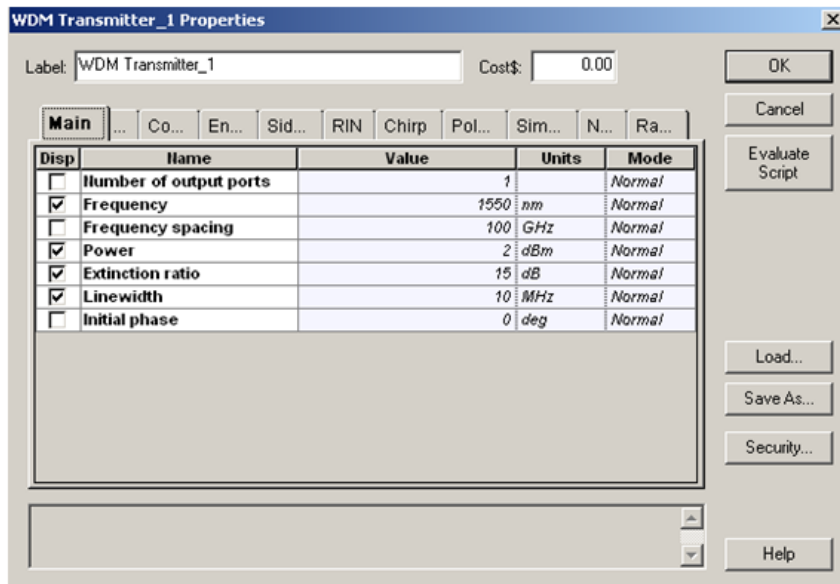


Figura 3.6 Parámetros del transmisor WDM para los 1550 nm.

Fuente: (OptiSystem)

Para unir las dos señales en la misma FO, con longitudes de ondas 1490 nm y 1550 nm respectivamente, fue colocado un sumador de señales WDM (WDM Add). En la figura 3.7 se muestran sus principales parámetros, donde los valores de los mismos fueron tomados por defecto. Este elemento óptico se consideró sin atenuación, ya que el módulo OLT tiene una atenuación global definida.

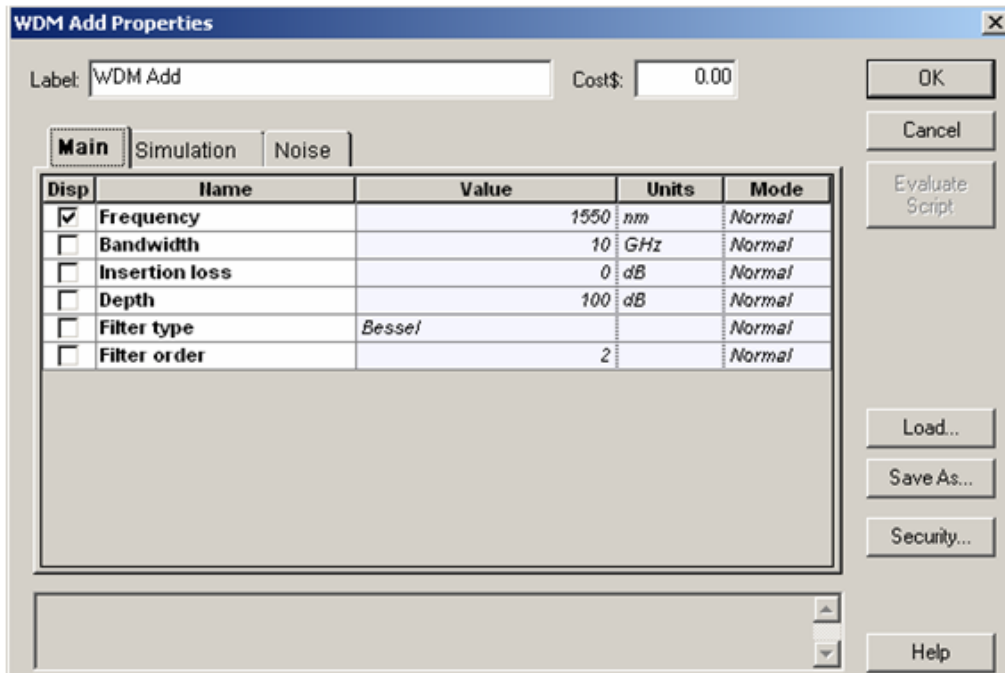


Figura 3.7 Parámetros del sumador WDM.

Fuente: (OptiSystem)

Seguidamente se colocó en la salida del sumador WDM un medidor de potencia óptica, con el objetivo de visualizar la potencia medida, tal como se muestra en la figura 3.8.

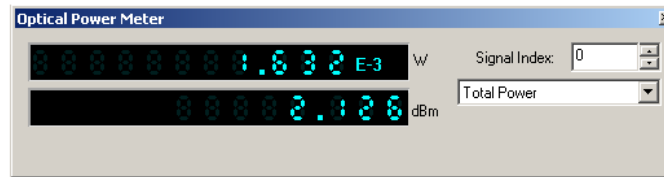


Figura 3.8 Potencia óptica en la salida del bloque WDM Add.

Fuente: (OptiSystem)

El próximo elemento es un circulador óptico bidireccional, como se muestra en la figura 3.9 a, que permite que se realice la transmisión ascendente y descendente en la misma fibra, ya que en caso contrario no sería posible obtenerse la señal ascendente del ONT en la ventana de trabajo de los 1310 nm. El elemento introduce atenuación, la cual fue estimada en 1,5 dB. Los demás parámetros fueron tomados por defecto, tal como se muestra en la Figura 3.9 b.

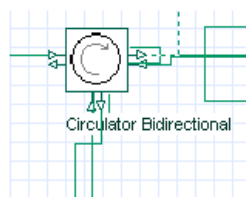


Figura 3.9a) Bloque circulador óptico bidireccional.

Fuente: (OptiSystem)

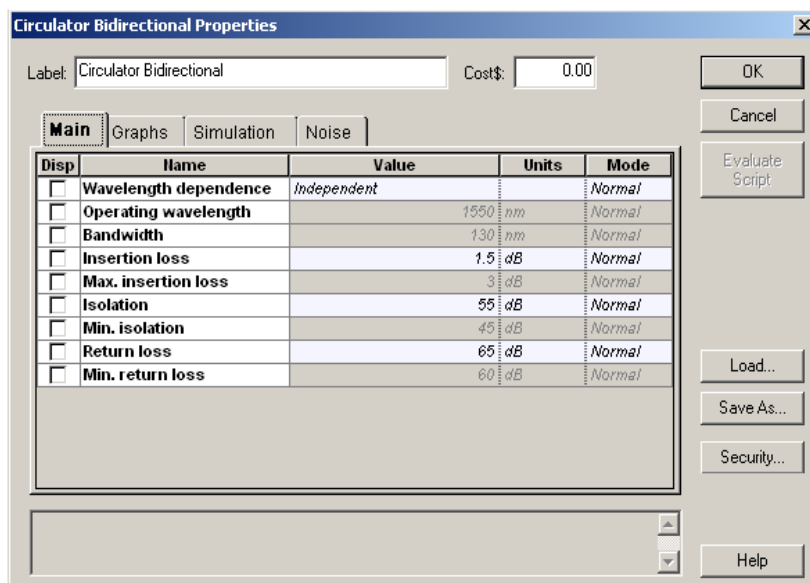


Figura 3.9b) Parámetros del circulador.

Fuente: (OptiSystem)

Se colocó en la salida del circulador, un analizador de espectro óptico y un medidor de potencia óptica de forma que se pudiera visualizar, como se muestra en la figura 3.10, el efecto atenuativo del circulador a la salida del OLT.

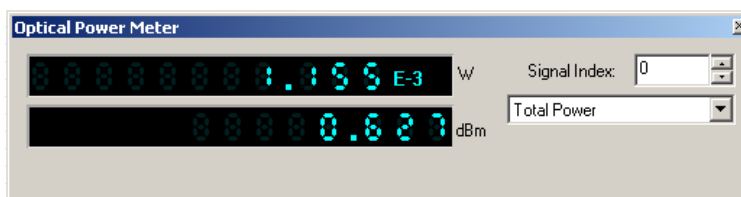


Figura3.10 Medidor de potencia a la salida del circulador óptico.

Fuente: (*OptiSystem*)

Se realizó una diferencia entre los dos medidores de potencia, obteniendo que:

Atenuación del circulador = señal de entrada (salida del WDM Add) – señal de salida (salida del circulador).

Atenuación del circulador = 2.126 dB_m – 0.627 dB_m.

Obteniéndose que la atenuación que provoca el circulador óptico es de 1.499 dBm.

3.2.2 Enlace de fibra óptica

El canal de comunicación para este caso está constituido por cable de fibra óptica, como se muestra en la figura 3.11, con un coeficiente de atenuación cerca de los 0.2 dB/Km, un valor de dispersión (PMD) de 0.05 ps/ $\sqrt{\text{Km}}$ y coeficiente de dispersión cromática de 17 ps/nm*Km, para una fibra monomodo de acuerdo con la norma G.652 (Resolución:13/97), como se muestra en la figura 3.12. El par de conectores tienen una atenuación de 0.3 dB y las fusiones térmicas tienen un valor de atenuación de 0.1dB, obteniéndose una atenuación total de 0.4 dB en cada bloque.

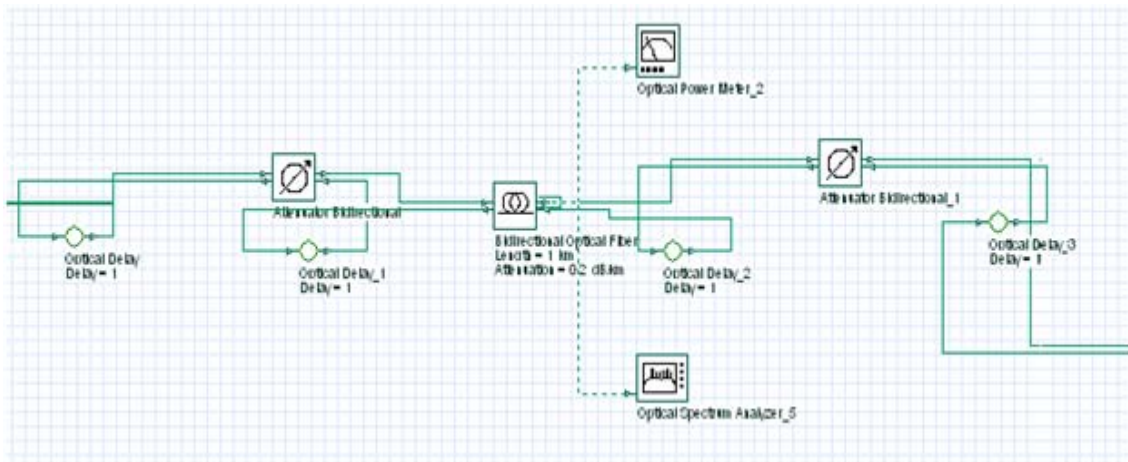


Figura 3.11 Enlace de FO (central telefónica – escenario típico).

Fuente: (OptiSystem)

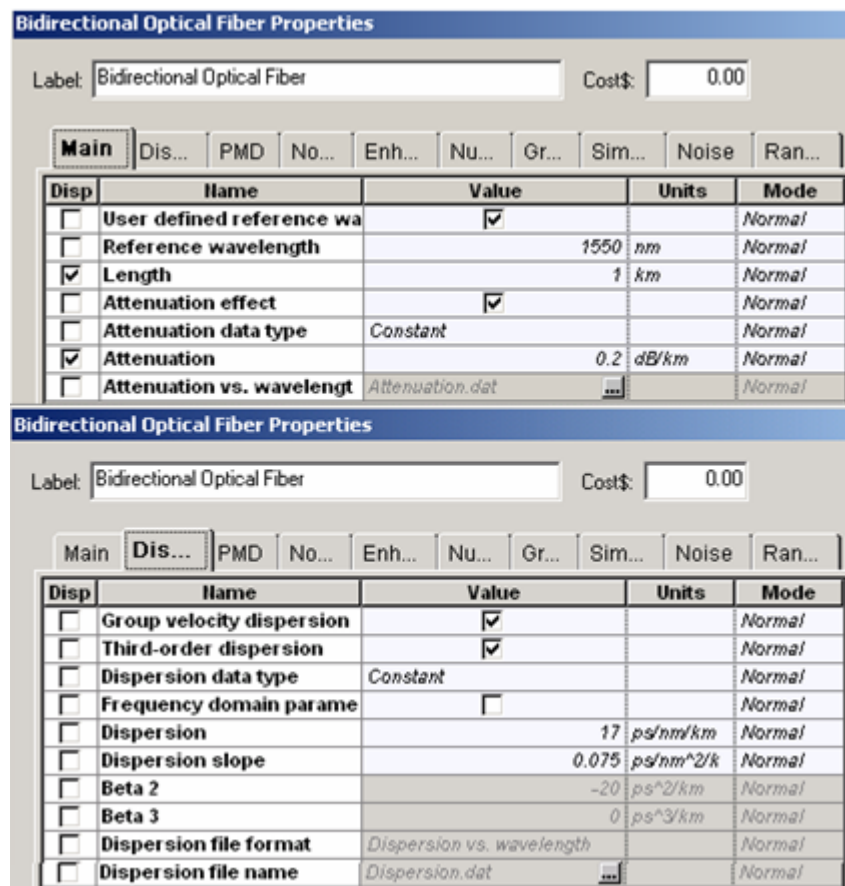


Figura 3.12 Parámetros para el enlace de FO.

Fuente: (OptiSystem)

El enlace considerado, como se expresó anteriormente, está compuesto fundamentalmente por cable de FO, desde el circulator o sea la salida del OLT (Central telefónica) hasta el separador óptico, a ubicar en el escenario típico, con una distancia

de 1Km, cumpliendo con los requerimientos necesarios para el enlace. A la salida del cable de FO se colocó un medidor de potencia, como se muestra en la figura 3.13, pudiéndose comparar y verificar este valor con el medido anteriormente, obteniéndose el valor total de atenuación de la fibra.

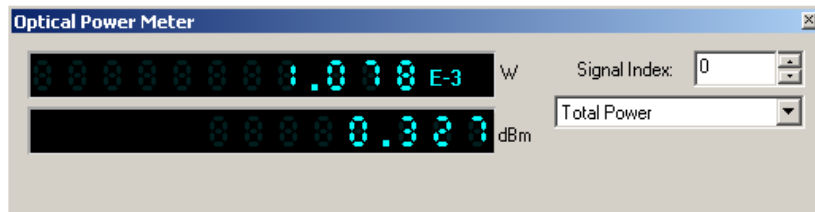


Figura 3.13 Medidor de potencia a la salida del cable de FO.

Fuente: (OptiSystem)

En el separador óptico que se encuentra en el punto terminal, se consideró un valor de 1:64 puertos, sin embargo, en el sentido de simplificar la simulación se insertó un separador óptico de 1:2 con el valor de atenuación de un separador de 1:64. El valor de atenuación propuesto por los fabricantes para un separador de 1:64 es de 20.8 dB, valor que se insertó en el separador escogido de 1:2 puertos, como se puede verificar en la figura 3.14, en el parámetro, pérdida de inserción (*insertionloss*).

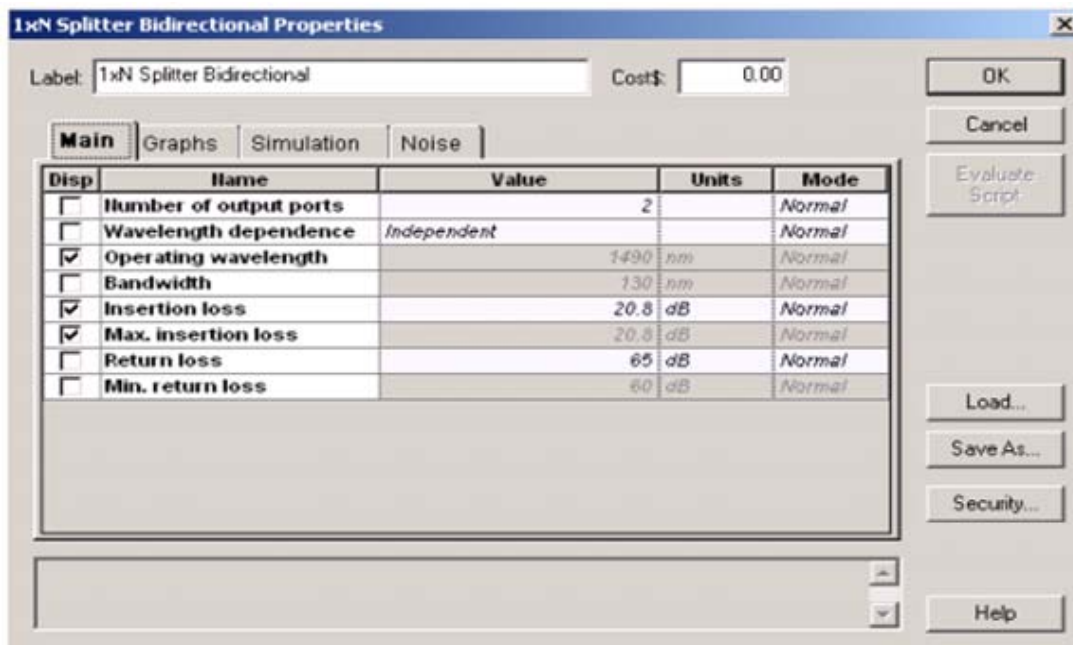


Figura 3.14 Parámetros del separador óptico.

Fuente: (OptiSystem)

A la salida del divisor óptico se colocó un medidor de potencia, con el sentido de visualizar la atenuación ocurrida, tal como se muestra en la figura 3.15.

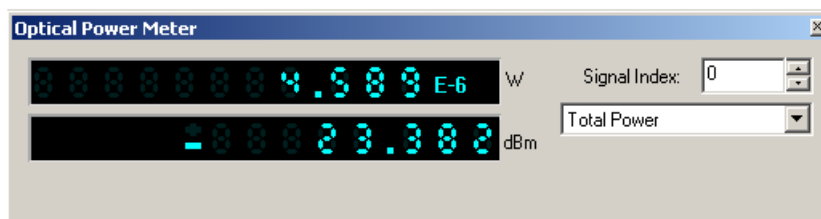


Figura 3.15 Medidor de potencia a la salida del separador.

Fuente: (*OptiSystem*)

Las pérdidas teóricas analizadas, a la salida del separador óptico, fueron calculadas de la siguiente forma:

Pérdidas a la salida del separador = Pérdidas en el circulador + Pérdidas en el enlace de FO + Pérdidas en el par de conectores y fusiones + Pérdidas en el separador óptico.

Tenemos entonces que:

Pérdidas a la salida del separador = 1.499 dB + 1 Km*0.2 dB + 3*0.4 dB + 20.8 dB.

Pérdidas a la salida del separador = 23.699 dB.

Después de efectuarse el cálculo, se tuvo en cuenta los medidores de potencia situados en la salida del cable de FO y salida del separador óptico, respectivamente, para obtener el siguiente valor simulado para las pérdidas:

Pérdidas = Potencia de salida del cable de FO – Potencia de salida del separador óptico.

Pérdidas = 0.327 dB_m – (- 23.382) dB_m.

Pérdidas = 23.709 dB_m.

En este caso, se comprobó, a partir del resultado obtenido de la simulación, la validez del parámetro teórico calculado para las pérdidas.

Tabla 3.1 Valores de potencia medidos.

Fuente: Autor

Potencia a la salida del sumador WDM.	2,126	dB _m
Potencia a la salida del circulador.	0,627	dB _m
Potencia a la salida del cable de fibra óptica.	0,327	dB _m
Potencia a la salida del separador óptico.	-23,382	dB _m

3.2.3 Descripción del módulo ONT

En la parte del circuito designada como red de distribución. Ambas salidas del separador óptico fueron asociadas a dos ONTs, siendo un terminal de red óptico colocado en el punto terminal y otro colocado a una distancia de 212 m, donde fue considerado un margen de 50 m dentro de la ubicación del abonado, como se puede visualizar en la figura 3.16.

Como se puede observar en la figura 3.16, los enlaces contienen tres colores diferentes, los cuales corresponden a tres tipos de conexiones distintas. En los enlaces con color verde se transportan señales ópticas, en los enlaces con color azul se colocan las señales eléctricas y los enlaces con color rojo se utilizan para transportar las señales binarias originadas por un bloque generador de secuencias de bits pseudo-aleatorias.

El ONT (módem a ubicar en el escenario típico), tal como se muestra en la figura 3.16, es un bloque designado como un subsistema, o sea un bloque con componentes en su interior, constituido por más que un elemento, con una entrada y dos salidas, el cual se muestra en la figura 3.17.

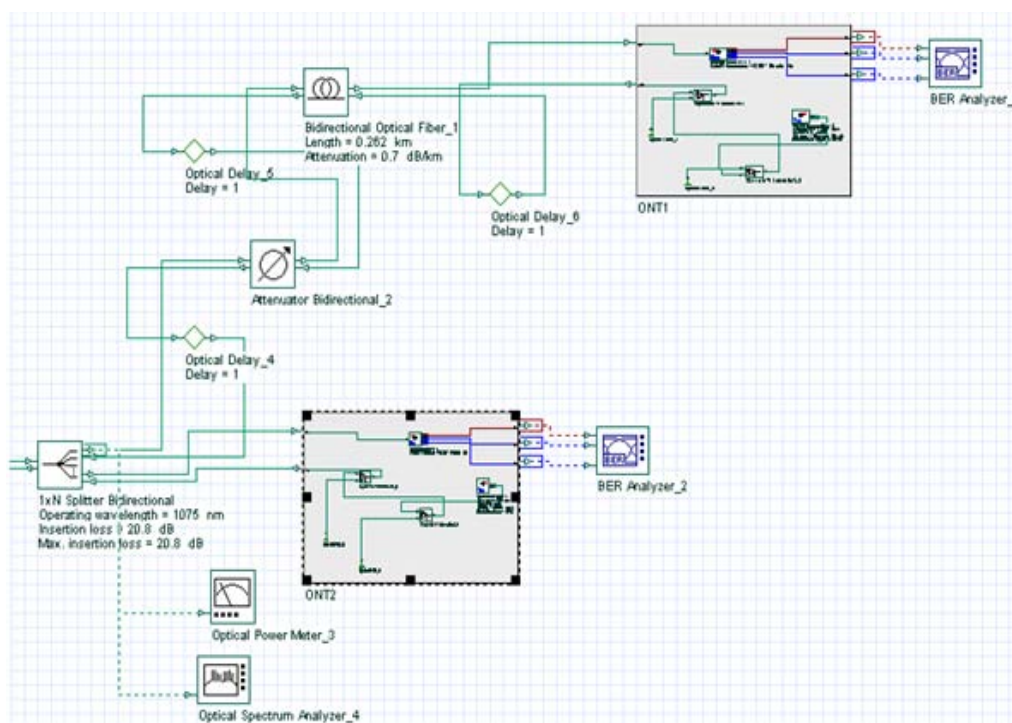


Figura 3.16 Redes de distribución.

Fuente: (*OptiSystem*)

El receptor óptico está compuesto por un puerto de entrada que recibe la señal eléctrica del sistema y tres puertos de salida. En el primer puerto de salida se tiene una secuencia de bits, o sea la señal de datos de sincronismo del sistema, en el segundo puerto se tiene una referencia de la señal eléctrica de la entrada, la cual se compara con la señal eléctrica de salida del sistema inyectada en el tercer puerto del analizador del diagrama de ojos, obteniéndose de esta forma el diagrama de ojos correspondiente, que no es más que la superposición de las distintas combinaciones posibles de unos y ceros en un rango de tiempo o cantidad de bits determinados, además de que la señal útil en el instante de muestreo será la semiapertura del ojo y no el valor real de la señal en ese instante. Este método se utiliza para fijar de forma óptima los umbrales de decisión en el receptor.

El receptor óptico consta de un fotodetector APD, que detecta la señal óptica que después es filtrada por un filtro Bessel pasa bajo de orden 4, con una frecuencia de corte de valor igual $0.75 \cdot \text{tasa de datos} = 1.875 \cdot 10^9$ Hz, como se puede observar en los parámetros definidos en la figura 3.18. El filtro Bessel es el más adecuado para este tipo de sistema, pues elimina gran parte del ruido generado por el fotodetector, en la

conversión de la señal óptica para una señal eléctrica. Los fotodetectores APD fueron escogidos, por tener mayor sensibilidad que los fotodetectores PIN.

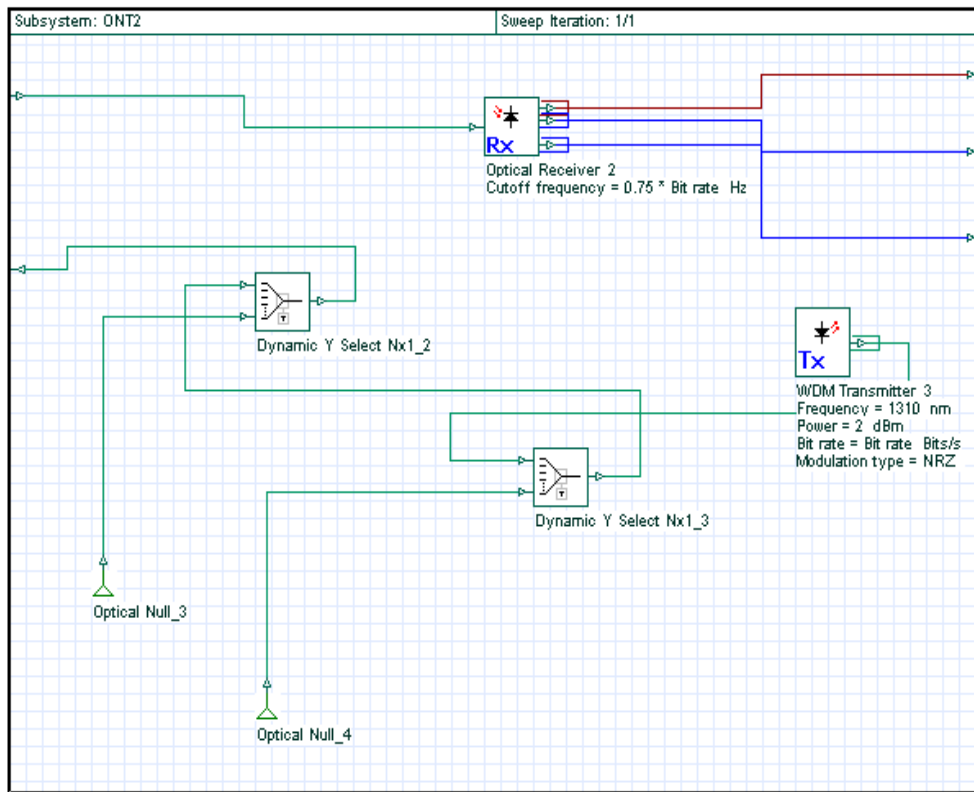


Figura 3.17 Bloque ONT. Módem a ubicar en el escenario típico.

Fuente: (OptiSystem)

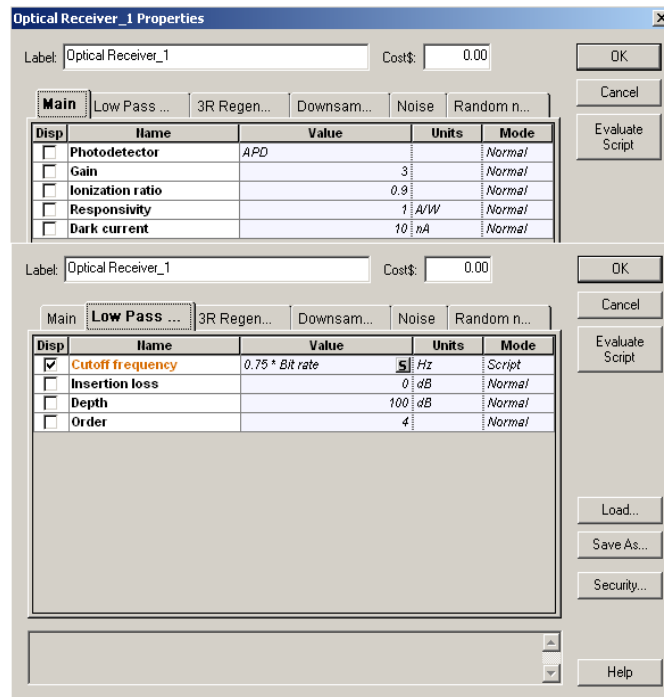


Figura 3.18 Parámetros del receptor óptico.

Fuente: (OptiSystem)

3.3 Simulación del enlace VDSL2

Para la simulación del enlace se definió los principales parámetros, representados en la figura 3.19. La velocidad de transmisión del enlace, de 50Mb/s, o sea la tasa de bit (*Bitrate*) del sistema, una ventana de tiempo (*Time Window*) de 2,04 μ s. Cada secuencia tiene una longitud de 1024 bits y 32 muestras por bit. En la ventana de tiempo de la simulación, se definió el esparcimiento en el dominio de las frecuencias, lo cual implica que la señal va a tener siempre el mismo esparcimiento.

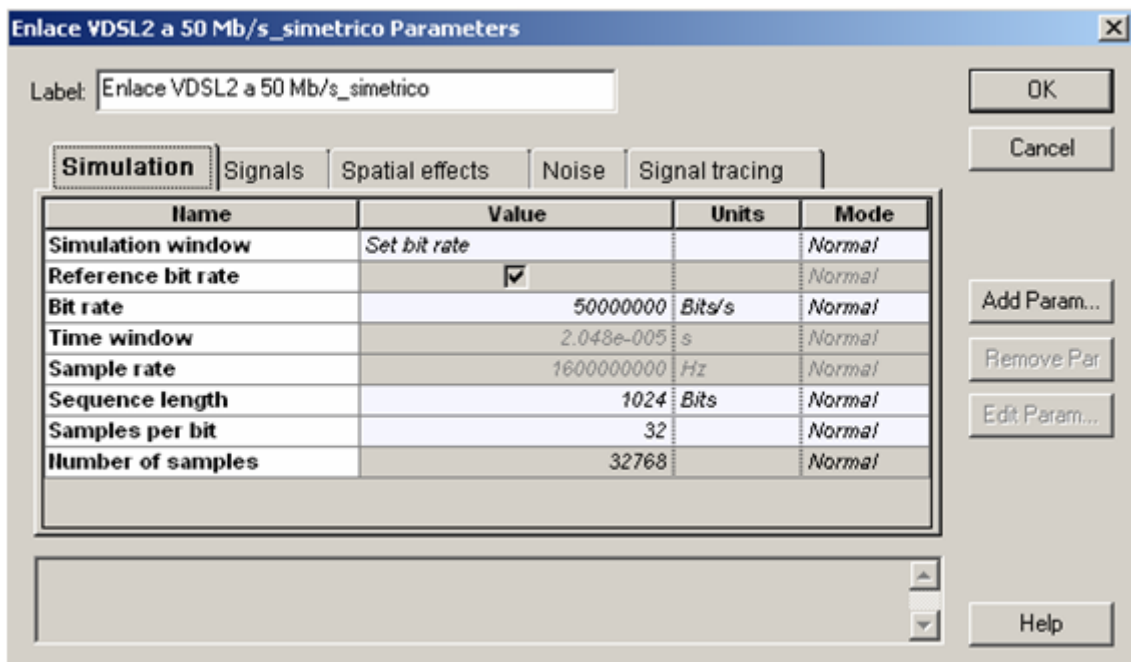


Figura 3.19 Definición de la simulación.

Fuente: (*OptiSystem*)

Durante el cálculo de la simulación se representa una ventana con tres etiquetas, como se muestra en la figura 3.20, en la cual la etiqueta principal “*Calc. Output*”, indica cual es el elemento que está siendo calculado. Sin embargo, al cambiar hacia la etiqueta “*Calc. Schedulers*”, se observa de forma detallada el cálculo del elemento.

Después de realizarse el cálculo de los diversos elementos, se hace una exploración en los bloques de análisis, tales como, medidores de potencia, analizadores de espectro y diagramas de ojos.

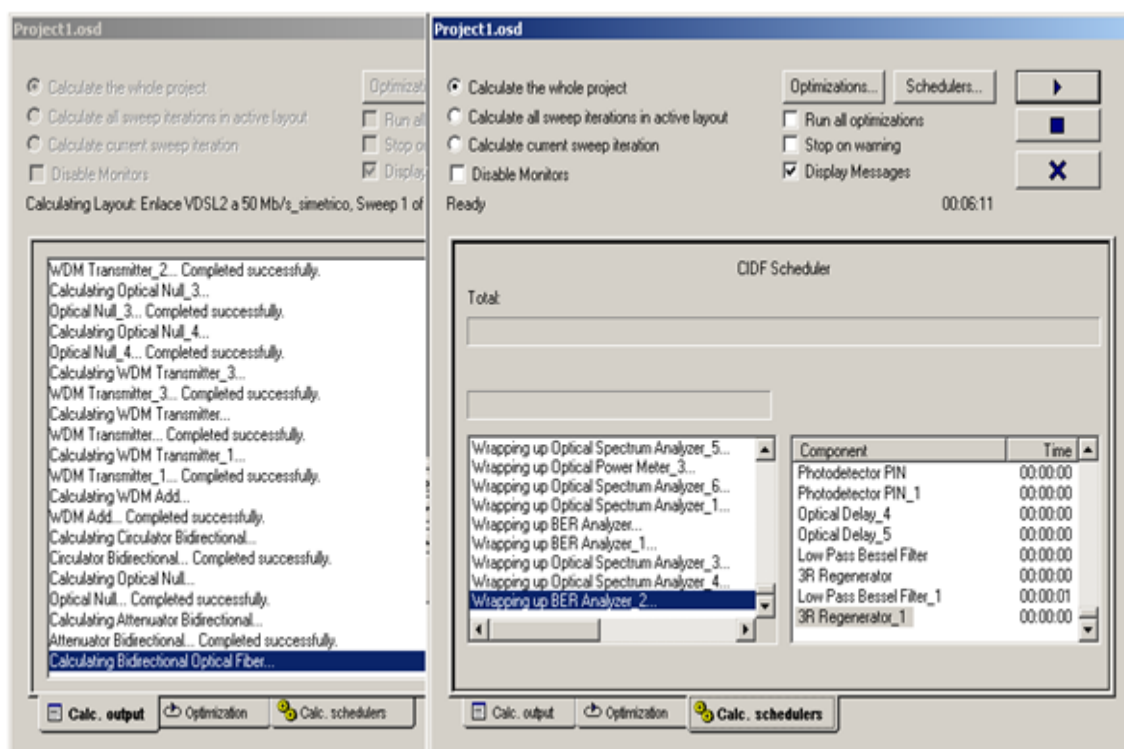


Figura3.20 Ventana de cálculo del enlace.

Fuente: (OptiSystem)

3.4 Resultados de la simulación

Para el análisis del comportamiento del enlace de transmisión y para la medición del desempeño del sistema, se realizó la medición de la tasa de errores en transmisión (*Bit Error Rate*, BER), relación que existe entre la tasa de bits transmitidos y la tasa de bits recibidos en el sistema, utilizándose el analizador del diagrama de ojos. Para la obtención de la atenuación que experimentó la señal entre el transmisor y el receptor, se utilizó el medidor de potencia. En los cuales se obtuvieron importantísimos resultados en cuanto a la forma de ondas de los pulsos que se propagan en el enlace de comunicación, desfases (*jitter*), nivel de ruido y potencia de la señal, verificándose de esta forma la calidad del enlace de transmisión.

La figura 3.21 representa la señal descendente del enlace, en la cual se observa el rendimiento del sistema a través del diagrama de ojos, mostrando el valor del BER mínimo para una tasa de transmisión de 50 Mbps en función del instante de decisión, tomando un valor de $2,06 \times 10^{-11}$ a la salida del ONT1, valor inferior al permitido por la recomendación UIT-T G.993.2 (ITU-T Recommendation G.993.2, 2006), que es de 10^{-10} .

⁷En la figura 3.21, también se muestran los resultados obtenidos en cuanto a factor de calidad máximo (*Max. Q Factor*), altura de los ojos (*EyeHeight*), el valor del umbral de decisión (*Threshold*) que da el máximo Q-Factor, parámetro que mide la relación entre la energía reactiva almacenada y la que disipa durante un ciclo completo de la señal y el BER mínimo y el patrón del BER (*BER Pattern*), el cual muestra las regiones en las que el valor de la tasa de error es inferior a los valores definidos por el usuario. Todos estos resultados medidos en función del instante de decisión.

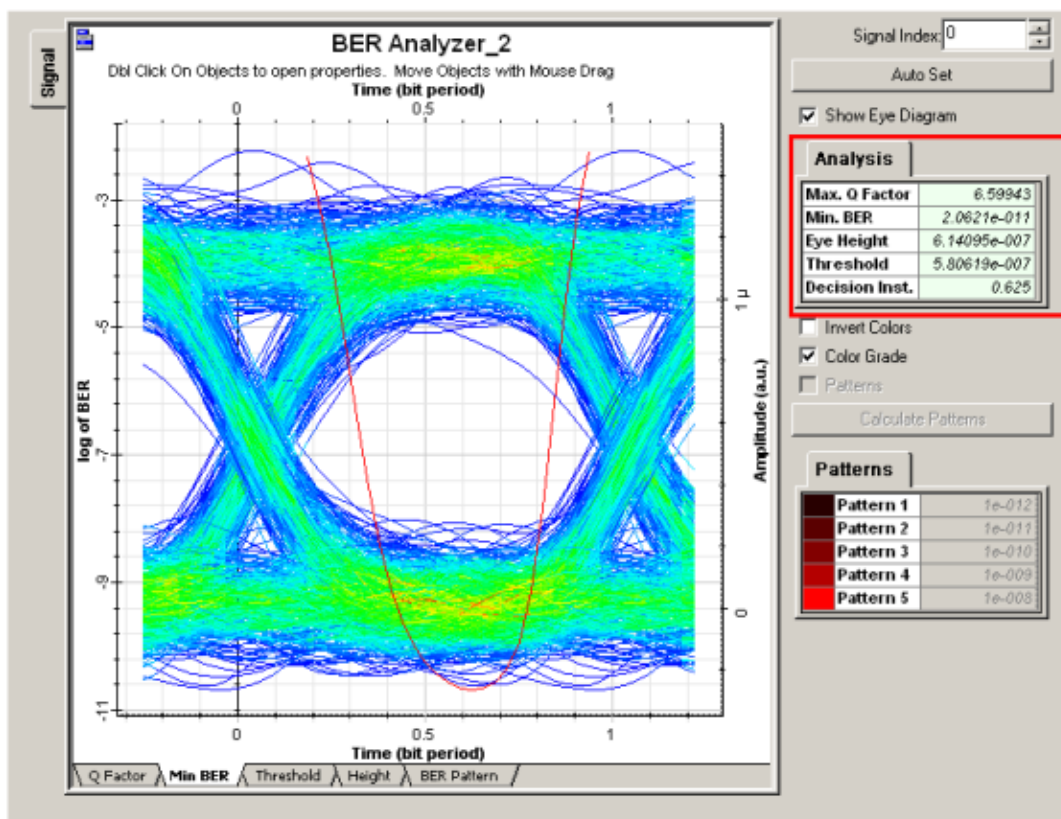


Figura 3.21 Valor del BER en el ONT1.

Fuente: (*OptiSystem*)

En la figura 3.22 se muestra el valor de la BER a la salida del ONT2, observándose un valor mínimo de la BER de 5.21×10^{-11} , siendo este también inferior al permitido por la recomendación. También se muestran los resultados obtenidos en cuanto a factor de calidad máximo, altura del ojo, umbral de decisión y el patrón de la BER.

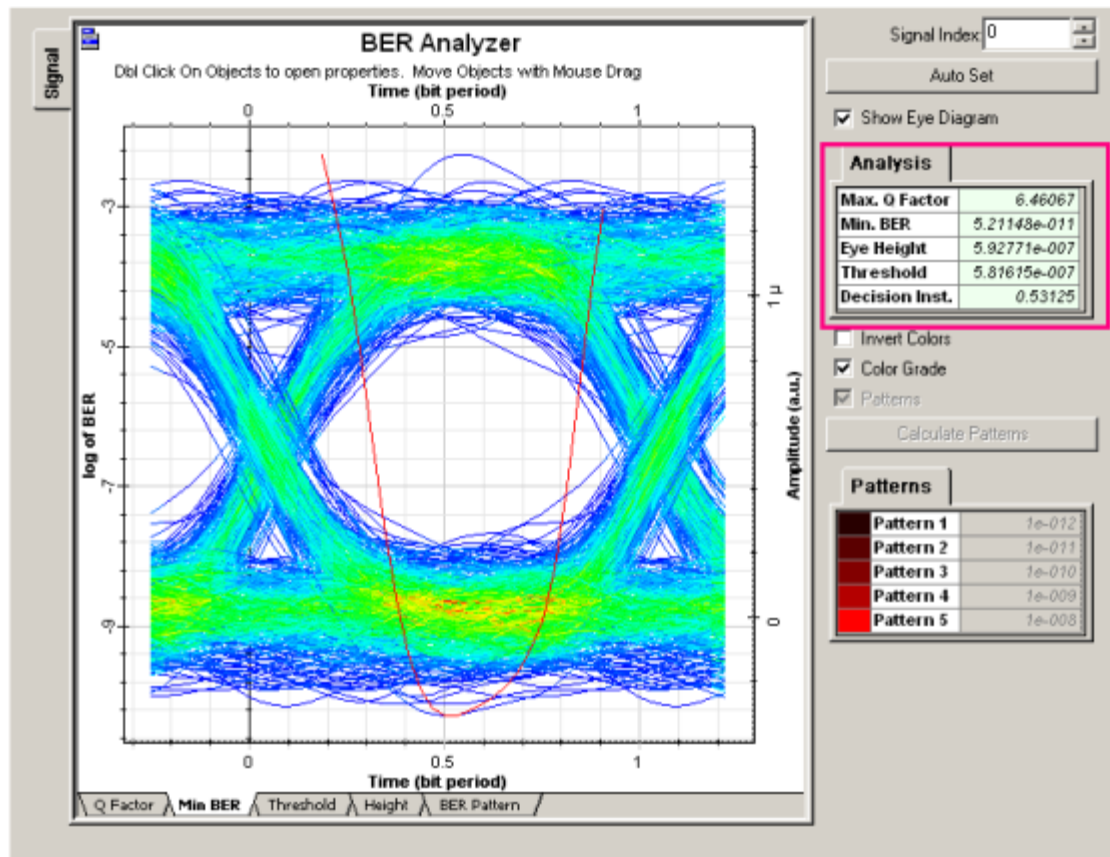


Figura 3.22 Valor del BER en el ONT2.

Fuente: (OptiSystem)

En la figura 3.23 se muestra la señal ascendente obtenida por el OLT, trabajando en la ventana de trabajo de los 1310nm, en la cual se obtuvo los parámetros ubicados dentro del cuadro en rojo.

Con el objetivo de observar los patrones de la BER de una forma más general, en las figuras 3.24, 3.25 y 3.26, se muestran los valores de la BER en cada punto del diagrama de ojos con gráficos 3D, para la señal descendente obtenida por el ONT1 y ONT2 y para la señal ascendente recibida por OLT en la longitud de onda de los 1310 nm.

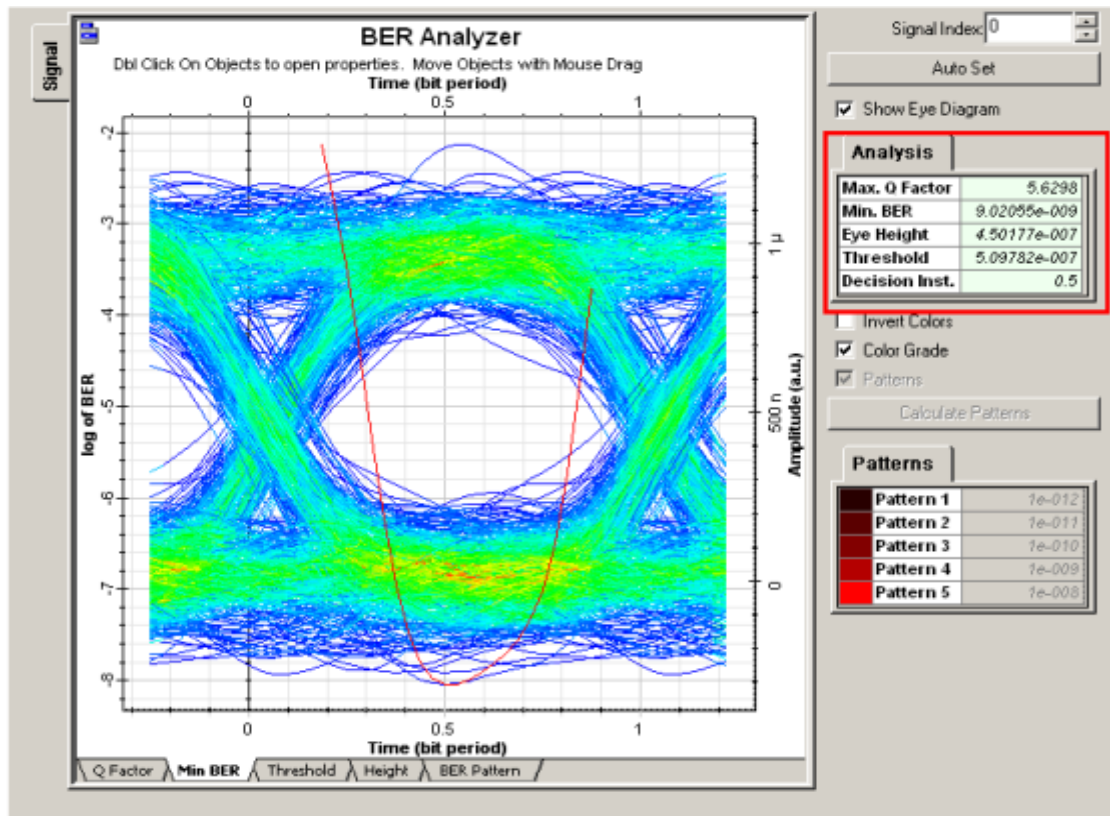


Figura 3.23 Valor del BER mínimo para la recepción de la señal upstream en el OLT.

Fuente: (OptiSystem)

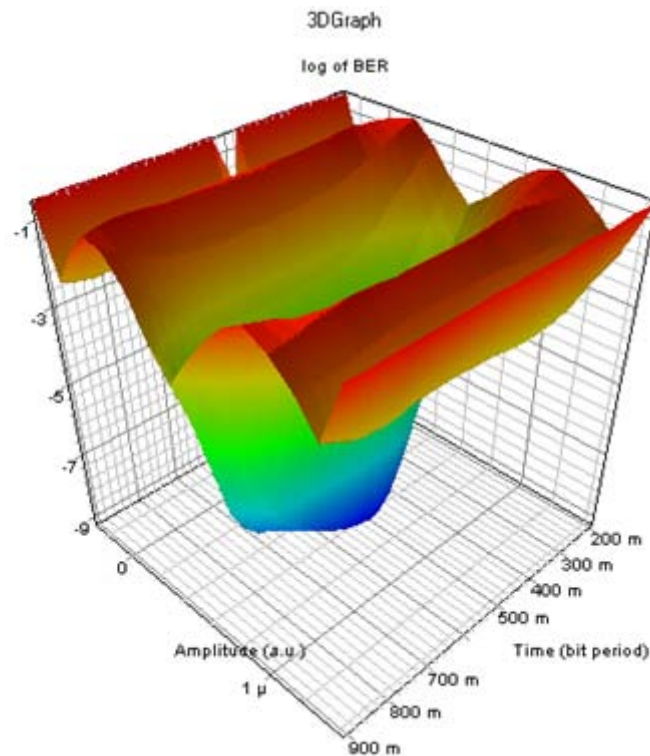


Figura 3.24 Valor del BER en cada punto del diagrama de ojos en el ONT1.

Fuente: (OptiSystem)

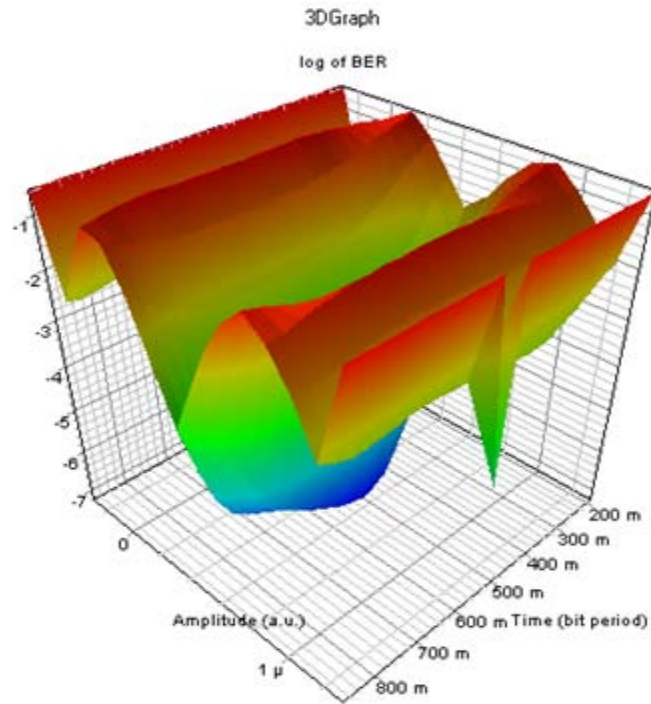


Figura 3.25 Valor del BER en cada punto del diagrama de ojos en el ONT2.

Fuente: (*OptiSystem*)

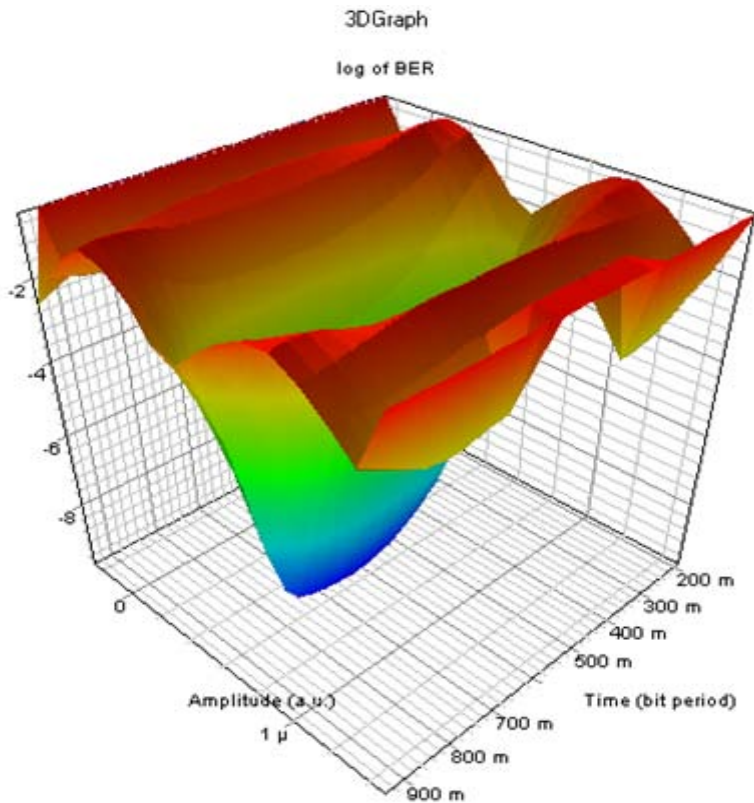


Figura 3.26 Valor del BER en cada punto del diagrama de ojos en el OLT.

Fuente: (*OptiSystem*)

Como la señal transmitida en el enlace es una señal bipolar NRZ, en el eje vertical solo existe un ojo, debido a la siguiente ecuación:

$$\text{Numero de ojos} = L-1$$

Donde L representa el número de estados de la señal, en este caso $L = 2$.

En los diagramas de ojos obtenidos anteriormente se pueden apreciar ojos bien abiertos, tanto en el eje horizontal como en eje vertical, permitiendo realizar una decisión limpia de la señal, donde el ruido y la interferencia intersímbolos no la afectan gravemente y donde cada una de las señales transmitidas inicialmente pueden ser detectadas con calidad en el extremo receptor. Estos diagramas de ojos muestran un amplio margen sobre el ruido, mostrando además un amplio intervalo en el que se pueden muestrear las señales sin errores, poca distorsión en el instante de muestreo y buena sensibilidad a errores de temporización.

En relación con el balance de potencia, se comprobó que los valores simulados, obtenidos de las pérdidas en el enlace de transmisión, cumple con los valores alcanzados durante la medición real del enlace de FO entre la Central Telefónica y el abonado, en cuanto a pérdida de retorno, pérdida acumulativa al final de la FO y coeficiente de atenuación. Garantizando de esta forma la implementación óptima del sistema.

CONCLUSIONES

- Las redes digitales conforman la infraestructura básica de comunicación e interacción en las sociedades contemporáneas y su relevancia se ha incrementado en los últimos años. Uno de los ejemplos más notables es la tecnología de acceso VDSL2. En este informe se especificó los elementos más importantes y su funcionalidad diseñada para mejorar el rendimiento, con respecto a las tecnologías de accesos existentes xDSL, la interoperabilidad, el alcance, y el diagnóstico.
- La modulación DMT es muy eficiente para garantizar un buen desempeño, debido a que en el ambiente de transmisión VDSL2, existen muchos factores negativos, tales como la atenuación en el canal, interferencia intersímbolos, ruido gaussiano blanco adictivo (AWGN) y ruido impulsivo.
- En VDSL2 se provee una operación de doble latencia que permite adaptabilidad a servicios con diferentes requerimientos de calidad de servicios (QoS).
- La inclusión en VDSL2 de un mecanismo preventivo y de un mecanismo de diagnóstico de bucle permite mejorar la gestión de tráfico y medir el ruido en la línea, atenuación, la relación señal a ruido (S/N), respectivamente.
- Las mediciones realizadas en la infraestructura existente del par de cobre destinado a las instalaciones ubicadas dentro de la ubicación del abonado y en el enlace de fibra óptica entre la central telefónica y el abonado, mostraron resultados satisfactorios dentro de los rangos permisibles de los requerimientos eléctricos.
- Dentro del amplio abanico de fabricantes, se seleccionó el equipamiento necesario que más se puede adaptar a las necesidades del país.
- El *software OptiSystem* brinda herramientas poderosas que facilitan la simulación y evaluación de diferentes sistemas, en la capa de transmisión de las modernas redes ópticas.
- Utilizando el *software OptiSystem* se realizó la simulación de un enlace VDSL2 de 1 Km de distancia con fibra monomodo estándar a 50 Mbps con una codificación NRZ, en el cual se obtuvo una decisión limpia de la señal, donde el ruido y la

interferencia intersímbolos no la afectaron grandemente, pudiendo ser detectadas cada una de las señales transmitidas con calidad en el receptor, permitiendo comprobar la capacidad de esta herramienta de simulación óptica y el funcionamiento óptimo del sistema de transmisión. Con los resultados obtenidos en el presente trabajo se crean las condiciones para la ejecución de tareas de investigación y desarrollo conducentes a la implementación de enlaces con tecnología VDSL2.

RECOMENDACIONES

- Profundizar en el estudio de las tecnologías VDSL2, que apoyen la implementación adecuada de las mismas en nuestro país, así como en el mejor uso de los servicios ofrecidos.

- Estudiar a profundidad los protocolos aplicables en la tecnología y las máscaras de densidad espectral de potencia (PSD).

- Investigar sobre varios tipos de funciones de convergencia de transmisión específica del protocolo de transporte (TPS-TC) que se puedan utilizar en los transceptores VDSL2.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Abab, S. (2005). *Tecnología xDSL*. Santiago de Cuba, Cuba.: Dpto. Telecomunicaciones, Facultad de Ingeniería Eléctrica. ISPJAE. .

Bernal, F. (2010). *VDSL e VDSL2: A Evolução dos Padrões xDSL*. Recuperado el 15 de Julio de 2012, de <http://www.teleco.com.br>

Eriksson, P., & Odenhammar, B. (s.f.). *VDSL2: Next important broadband technology*. Recuperado el 30 de Julio de 2012, de <http://broadbandreports.com/ro/download/.../vdsl2.pdf>

G.652., U.-T. R. (2005). *Characteristic of a single-mode optical fibre and cable*.

G.992.1., I.-T. R. (1999). *Asymmetric digital subscriber line (ADSL) transceivers*. .

G.992.3., I.-T. R. (2005). *Asymmetric digital subscriber line transceivers 2(ADSL2)*.

G.992.3., I.-T. R. (2005). *Asymmetric digital subscriber line transceivers 2(ADSL2)*.

G.992.5., I.-T. R. (2005). *Asymmetric digital subscriber line (ADSL) transceivers – Extended bandwidth ADSL2 (ADSL2 plus)*. ITU-T Recommendation G.992.5.

G.993.1., I.-T. R. (2004). *Very high speed digital subscriber line transceivers (VDSL)*. .

G.993.2., I. R. (Mayo de 2005). *Very high speed digital line subscriber line Transceivers 2 (VDSL2)*.

Gähwiler, P. (s.f.). *Tecnología para un futuro de banda ancha*. Recuperado el 1 de Agosto de 2012, de <http://www.conectronica.com/fttx-y-ftth/tecnologia-para-un-futuro-de-banda-ancha>

Herrero, J. (Octubre de 2009). *VDSL2 en entornos Wifi Hotspot*. Recuperado el 30 de Julio de 2012, de http://muycomputerpro.com/Expertos/VDSL2-en-entornos-WiFi-Hotspot/_wE9ERk2XxDCITiI5P0QELvvohTSAIqKDqbMkATSrBZ2wR6vuIMjYZcwz7cstOTKt

Hye-Won, S., & You-Jin, S. (Agosto de 2004). *Technology & Implementation: Broadband Access Network in Korea*. Evaluation Center, KT.

Infante, A., & Babún, L. (12-14 de Julio de 2006). Accesos xDSL: Avances y tendencias en tecnologías, servicios y despliegue. . *Conferencia Internacional FIE 2006*. . Santiago de Cuba, Cuba.

ITU-T Recommendation G.993.2, S. G. (2006). *Transmission systems and media, digital systems and networks. Digital sections and digital line system – Access networks. Very high speed digital subscriber line transceivers 2 (VDSL2)*.

Izquierdo, B. (1996). Telecomunicaciones a través de fibras ópticas. *AHCIET*.

Joskowicz, J. (agosto de 2008,). *Redes de datos*. . Recuperado el 3 de Agosto de 2012, de Instituto de Ingeniería. Facultad de Ingeniería Eléctrica. Universidad de la Republica .Montevideo, Uruguay:
<http://iie.fing.edu.uy/ense/assign/redcorp/.../Redes%20de%20Da>

Leshem, A. (septiembre de 2001). *Multichannel noise models for DSL I: Near end crosstalk. Contribution TIE1.4/2001-227*. . Recuperado el 4 de Agosto de 2012, de <ftp://ftp.t1.org/pub/t1e1/e1.4/DIR2001/200-299/1E142270.zip> [2011

Lindecke, S. (2005). *VDSL2 DSL technology and deployment*. *xDSL Forum*.

Millán, R. (24 de Marzo de 2009). *FTTB & VDSL2...el cobre tiene vida para rato, [en línea]*. Recuperado el 2 de Agosto de 2012, de Boletín DINTEL de Seguridad y Tecnologías de la Información.: <http://www.ramonmillan.com/tutoriales/fttbvdsl2.pdf>

Millán, R. (2010). *Qué es ADSL, ADSL2, ADSL2+ y VDSL2*. Recuperado el 20 de Julio de 2012, de <http://www.ramonmillan.com/tutoriales/vdsl2.php>

OptiSystem. (s.f.). *OptiSystem Getting Started, Optiwave Software*.

Redes Triple Play. . (s.f.). Recuperado el 4 de Agosto de 2012, de International Engineering Consotcium.: <http://www.iec.org/online/tecpreviews/>

Resolución:13/97. (s.f.). *Especificaciones de requisitos de cables telefónicos locales*. Dirección de Investigación y Desarrollo de la Vicepresidenta del Área Técnica de ETECSA y la fábrica de cables ELEKA. Resolución 13/97.

RubyTech. (23 de Enero de 2008). *Future-proof telecom networks with VDSL2* . *RubyTech manufactures a full range of VDSL & VDSL2 Products [en línea]*.Obtenido de http://www.rubytech-brasil.ws/whatsnewtxt/rubytech_vdsl.html

Sekar, R. (s.f.). *VDSL2: Single Worldwide VDSL Standard for Delivery of Triple Play Services over Copper*. *Ikanos Communications, Inc*.

Simmons, P. (2006). *Netopia and the Standardization of VDSL2*.Recuperado el 21 de Julio de 2012, de Netopia Inc.: <http://www.netopia.com/produts/technologies/vdsl2 -technical-brief.pdf>

Simois, F., & Acha, J. (s.f.). *Precodificación lineal en sistemas DMT sin prefijo cíclico*. . Universidad de Sevilla, España.: Departamento de Teoría de la Señal y Comunicaciones.

Sundaresan, V. (s.f.). *Nadar contra corriente: por unas velocidades más altas*. Recuperado el 4 de Agosto de 2012, de <http://www.conelectronica.com/fttx -y-ftth/nadar-contra-corriente-por-unasvelocidades-mas-altas>

VDSL2. (2010). *VDSL2. The Ideal Access Technology for Delivering Video Services*. AWARE INC. / *VDSL2 WHITE PAPER*, vdsl2.10.05 Rev. 1.0. Recuperado el 1 de Agosto de 2012, de <http://www.aware.com>

Villanueva, K. (septiembre de 2007). *Convergencia de la red de telefonía pública conmutada de Bucaramanga y la red de datos usando softswitches y gateways basados en la tecnología NGN: análisis y diseño [en línea]*. Recuperado el 3 de Agosto de 2012, de Revista de la Facultad de Ingeniería Electrónica de la Universidad. El Bosque. Vol. 2, No. 2. : <http://artemisa.unbosque.edu.co/facultades/electronica/revista.htm>

GLOSARIO DE TÉRMINOS

A

ADSL: Asymmetric Digital Subscriber Line - Línea de Abonado Digital Asimétrica. Tecnología de acceso de banda ancha.

ADSL 2: 2ª generación de ADSL (UL: 2Mbps, DL: 12Mbps), ITU G992.3 i ITU G992.4.

ADSL 2+: 2ª generación de ADSL (UL: 2Mbps, DL: 24 Mbps) ITU G992.5.

AAL5: ATM Adaptation Layer 5 - Capa de Adaptación 5 de ATM.

ATM: Asynchronous Transfer Mode – Modo de Transferencia Asíncronico.

ANSI: American National Standards Institute - Instituto Americano de Normas de Telecomunicaciones.

AWG: American Wire Gauge - Calibre de Alambre Estadounidense.

B

BRAS: Broadband Remote Access Server - Servidor de Acceso Remoto de Banda Ancha.

C

CAP: Carrierless Amplitude/Phase Modulation - Modulación de Fase y Amplitud sin Portadora.

CO: Central Office - Oficina Central.

CPE: CustomerPremisesEquipment - Equipamiento básico del consumidor.

D

DSL: Digital Subscriber Line - Línea Digital de Abonado.

DSLAM: (Digital Subscriber Line Access Multiplexer): Multiplexor localizado en la central telefónica que proporciona a los abonados acceso a los servicios xDSL sobre pares de cables cruzados de cobre.

DELT: Double-ended Line Test - Doble Composición de Prueba de Línea.

DMT: Discrete Multi-Tone Modulation - Modulación Multitono Discreta.

DS: Downstream – Descendente.

E

ETSI: European Telecommunications Standards Institute - Instituto Europeo de Normas de Telecomunicaciones.

Ethernet: Tecnología utilizada en las redes de acceso. Una de sus características básicas es que el medio es compartido entre todos los usuarios.

F

FDD: Frequency Division Duplexing – Duplexación por División de Frecuencia.

FDM: Frequency Division Multiplexing - Multiplexación por División de Frecuencia.

FTTCab: Fiber To The Cabinet - Fibra hasta el Gabinete.

FTTEx: Fiber To The Exchange - Fibra hasta la Central de Conmutación.

FTTB: Fiber To The Building – Fibra hasta el hogar.

FTTH: Fiber To The Home – Fibra hasta la casa.

FTTN: Fiber To The Node – Fibra hasta el nodo de la red.

G

GPON: Gigabit Passive Optical Network - Red Óptica Pasiva

H

HDTV: High-definition TV - TV de Alta Definición.

HFC: Hybrid Fiber Copper - Híbrido de Fibra y Coaxial.

I

ITU-T: International Telecommunication Union- Telecommunication Standardization Sector - Sector de Normalización de la Unión Internacional de Telecomunicaciones.

IEEE: Institute of Electrical & Electronics Engineers – Instituto de Ingenieros en Eléctrica y Electrónica.

IDFT: Inverse Discrete Fourier Transform - Transformada Discreta Inversa de Fourier.

IFFT: Inverse Fast Fourier Transform - Transformada Rápida Inversa de Fourier.

INP: Impulse Noise Protection - Protección contra el Ruido Impulsivo.

IPTV: IP Televisión - Televisión IP.

ISDN: Integrated Services Digital Network - Red Digital de Servicios Integrados.

ISI: Interferencia Intersímbolo.

ISP: Internet Service Provider - Proveedores de Servicios de Internet.

INE: Instituto Nacional de Estadística.

IP: Internet Protocol – Protocolo de Internet.

J

Jitter: En una transmisión de datos, variabilidad del retardo entre bits. También ampliable a otras unidades de datos superiores.

L

LAN (Local Area Network): Red de datos que tiene un ámbito de actuación reducido (distancia), típicamente son redes internas, de oficinas, de viviendas, etc.

LR: Long Reach - Alcance Largo.

M

Mbps: Mega bits por segundo.

MAN (Metropolitan Area Network): Red de datos que actúa a nivel metropolitano, cubriendo un área de uno o más municipios, y que en cualquier caso es la evolución de la red LAN, cubriendo una extensión de terreno superior a esta y con un ancho de banda también superior.

MDU: Multi-Dwelling Unit - Unidad Multivivienda.

MPLS: Multi-Protocol Label Switching - Conmutación por Etiquetas Multiprotocolo.

O

OLT (Optical Line Terminal): Es el dispositivo de línea óptico, la OLT se encuentra en la zona del operador y desde este dispositivo se controlan los diferentes dispositivos de usuario (ONT/ONU).

ONT (Optical Network Terminal): Es el terminal de red óptico, este dispositivo es el más cercano al usuario.

P

P2P (Point-to-Point): Servicio de conexión entre dos puntos.

PON (Passive Optical Network): Red óptica pasiva basada en una OLT (Optical Line Termination) por el operador de red y una ONT (Optical Network Termination) por parte del usuario.

POTS (Plain Old Telephone Service): Sistema de telefonía analógica.

PTR: Punto de Terminación de Red.

PMD: Physical Media Dependent - Dependiente del Medio Físico.

PTM: Packet Transfer Mode - Modo de Transferencia de Paquetes.

PTM-C: Packet Transfer Mode Transmission Convergence - Capa de Convergencia de Transmisión Especifica del Protocolo de Transporte.

PVC: Permanent Virtual Connection - Conexiones Virtuales Permanentes.

Q

QoS: Quality of Service – Calidad de Servicio.

S

Splitter: Dispositivo pasivo que distribuye el señal (óptico o eléctrico) por 2 o más caminos para distribuirlo entre varios receptores simultáneamente.

T

T1/E1: Conexión de datos punto a punto, que típicamente se ha utilizado para dar servicios de datos a las empresas. T1 es una conexión de entrada a las redes SONET a 1,5 Mb/s, y E1 es una conexión de entrada a les redes SDH a 2,5 Mb/s.

TDMA: Time Division Multiple Access. Es una tecnología que distribuye un único canal de frecuencia de radio en varias ranuras de tiempo.

Triple-Play: Concepto que engloba a un único usuario una conexión telefónica, televisión e Internet en un mismo paquete.

V

VDSL2: Very-High-Data-Rate Digital Subscriber-Line2 – Línea Digital de Abonado de muy Alta Tasa de Transferencia Versión 2.

VDSL: Very-High-Rate Digital Subscriber Line – Línea de suscripción digital de abonado de muy alta velocidad.

VoIP (Voice over IP): Sistema de enrutamiento de conversaciones de voz mediante paquetes basados en IP por la red Internet.

VLAN (Virtual LAN): Capacidad o servicio que ofrece Ethernet mediante la cual se puede diferenciar a los usuarios de una misma red Ethernet en “subredes” o VLANs, de forma que se aísla el tráfico entre usuarios pertenecientes a diferentes VLANs.

VPN (Virtual Private Network): La VPN es una tecnología a nivel de red que permite una extensión de la LAN sobre una red pública, como por ejemplo Internet.

W

WAN: Wide Area Network – Red de Área Amplia.

WDM: Multiplexación por división de longitud de onda (Wavelength Division Multiplexing) es una tecnología que multiplexa varias señales sobre una sola fibra óptica.

ANEXO A**Dynatel965DSP (Analizador del lazo de abonado)****Versión del software 7****Especificaciones de la hoja de datos****Características generales****Tamaño:** 25 x 11 x 6 cm**Peso:** 1.5 Kgs con batería y bolsa de transporte**Material:** ABS de alta resistencia**Temperatura de operación :** -18 a + 60 °C**Temperatura de almacenamiento:** -40 a + 75 °C**Altitud máxima:** (almacenamiento y operación) 5000m.**Humedad:** 0 - 95%, sin condensación**Pantalla:** LCD, 74 x 74 mm, 192 x 192 pixeles, iluminación posterior**Teclado:** táctil, de membrana, 24 teclas**Robustez:** caída desde 1.5 metros en la bolsa de transporte**Resistencia al agua:** Puede usarse en lluvia.

Estándares: Clase A para equipos digitales en USA. Cumple EN55022 emisiones radiantes, EN55024-2 (descarga electrostática), EN 55024-3 (inmunidad a radiación), EN55024-1 (inmunidad transitoria), y IEC1010 (seguridad de equipos) para Europa. Fabricado con certificación ISO 9001 y Bellcore TSY000078 (procedimientos de fabricación). Cumple UL50 Test de Lluvia. Aceptado por la Comunidad Europea y en disposición de la marca CE.

Funciones básicas

Función	Rango	Resolución	Precisión
Tensión (CC)	0 a 99.9V 100 a 300 V	0.1 V 1V	1% ± 0.5 V 3%
Tensión (CA)	0 a 99.9V 100 a 250 V	0.1 V 1 V	1% ± 0.5 V 3%
Corriente	0 a 59.9 mA 60 a 110 mA	0.1 mA 0.1 mA	1% ± 0.3 mA 2%
Resistencia (CC)	0 a 9999 Ω 0 a 9999 Ω 10K a 99.9kΩ 100K a 99.9kΩ 1M a 9.9MΩ 10M a 99MΩ 100M a 990MΩ	1 Ω 1 Ω 0.1 kΩ 1 kΩ 0.1 MΩ 1 MΩ 10 MΩ	1% ± 5 Ω 1% ± 50 Ω (con CO tensión) 1% 3% 3% 5% 10%
Resistencia del bucle	0 a 99.99 Ω 100 a 999.9 Ω 1kΩ a 7kΩ	0.01 Ω 0.1 Ω 1.0 Ω	0.1% ± 0.01 Ω 0.2% ± 0.1 Ω 1.0% ± 1 Ω
Diferencia resistiva	0 a 99.99 Ω	0.01 Ω	1% de res. Bucle ± 0.01 Ω

Pruebas de transmisión

Función	Rango	Resolución	Precisión
Pérdidas y Frecuencia (Z=600W)	-40 a + 10dBm, 200 a 3000 Hz -40 a + 10dBm, 3000 a 9995 Hz -40 a + 10dBm, 10 k a 19.9 kHz	0.1 dB, 1 Hz 0.1 dB, 5 Hz 1 dB, 10 Hz	0.5 dB, 2 Hz 0.5 dB, 10 Hz 1 dB, 20 Hz
Pérdida de ancho de banda (Z=135W)	-40 a + 10dBm, 20 k a 1.2 MHz	1 dB, 100 Hz	2 dB, 0.1 kHz
Ruido metálico	0 a 50 dBmnc (-90 a -40 dBmOp)	1 dB	2 dB
Ruido a tierra	40 a 100 dBmnc (-50 a 10 dBmOp)	1 dB	2 dB
Balance longitudinal	0 a 62 dB	1 dB	2 dB
Generador de tonos (Z=600W) ID Tono Usuario Usuario	200 a 1000 Hz, Nivel ajustado 200 a 9995 Hz, -20 a + 1 dBm 10k a 19.99 kHz, -20 a + 1 dBm	1 Hz 1 Hz, 0.1 dB 10 Hz, 1 dB	Frequ. 1% 1% 2%
Dial Modo Encendido Digitos max. Directorio	DTMF, pulso bucle, tierra 20 8 entradas	Standard - - -	Standard - - -
RDSI (ISDN)	activo / inactivo	-	-

Localización de fallas

Función		Rango	Resolución	Precisión
Abiertos (sin ruido)		0 a 1000 m 1 km a 3 km 3 km a 15 km 15 km a 30 km	1 m 1 m 10 m 100 m	1% ± 1 m 3% 5% 10%
Fallos resistivos	Tamaño del fallo	0 a 20 M Ω	-	-
	Resistencia al fallo (no ruido)	0 a 99.99 Ω (RTS)	0.01 Ω	0.1% de RTS ± 0.01 Ω
		100 a 999.9 Ω (RTS) 1 k Ω a 7 k Ω (RTS)	0.1 Ω 1.0 Ω	0.2% de RTS ± 0.01 Ω 1.0% de RTS ± 1 Ω
Localización de empalmes		2 secciones diferentes, conocimiento longitud del cable		
Secciones Múltiples		6 secciones diferentes		
Ecómetro	Rango	1- 100 m, 5- 300 m, 15- 1000 m 45- 3000 m, 140- 10000 m	0.5 m	0.6% de rango
	Ancho del pulso	5 nS, 34 nS, 235 nS, 1600 nS	-	-
	Factor de velocidad	0.50 a 0.99 (150 a 299 μ s/m)	-	-
	zoom	x1, x2, x4, x8, x16, x32	-	-
	ganancia vertical	x1, x2, x4, x8, x16, x32, x64	-	-
	modos	Single trace, Dual Trace, Diferencial, Crosstalk, Memoria	-	-
Test de Kumpfmüller	resistencia bucle	0 a 7 k Ω	-	-
	cociente de fallo	(Res. 1 fallo) > (Res. 2 Fallo)	-	-
	Resist al fallo	0 a 99.99 Ω 100 a 999.99 Ω	0.01 Ω 0.1 Ω	5% 5%

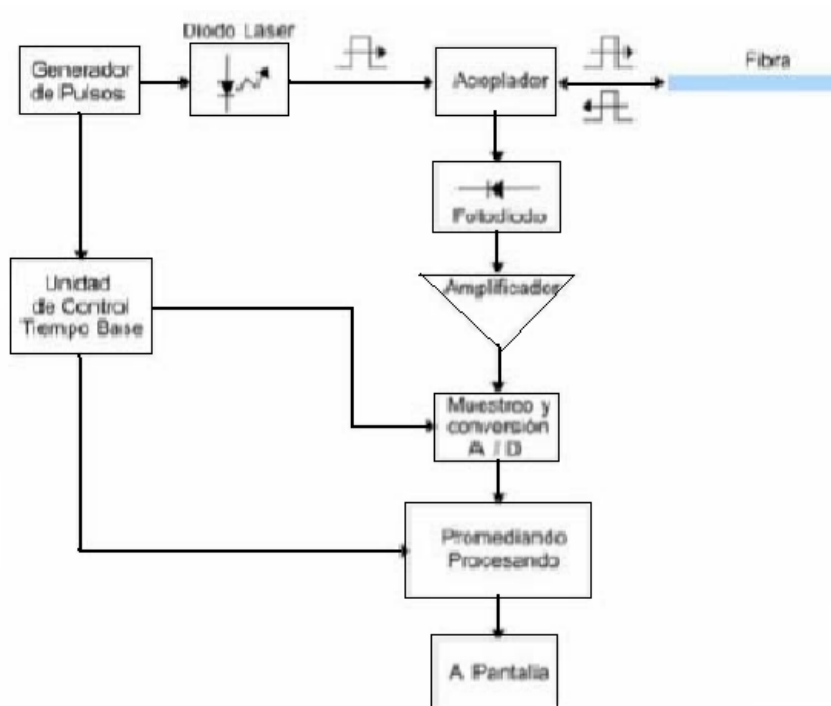
Anexo B

Mini - OTDR AQ7250

Especificaciones de la hoja de datos

Display		7.2-inch color LCD (640 x 480 dots)
Horizontal axis	Full-scale	25m, 50m, 125m, 250m, 500m, 1km, 1.25km, 2km, 2.5km, 5km, 10km, 20km, 40km, 80km, 160km, 240km (Varies according to the unit)
	Shift	0 to distance range
	Resolution	Sampling resolution: 50 cm/min.
	Sample data count	20,000 points max.
	Distance accuracy	± (5.0 x 10 ⁻⁴ x measurement distance in meters + 1m)
	Group refractive index setting	1.00000 to 1.99999, in 0.00001 steps
Vertical axis	Distance measurement	Displays the relative one-way distance between any two given points, in two ranges on the waveform, in eight digits.
	Scale	0.2 dB/div., 0.5 dB/div., 1 dB/div., 2 dB/div., 5 dB/div., and 7.5 dB/div.
	Shift	0 to 68 dB
	Read resolution	Max. 0.001 dB
	Loss measurement	Displays one-way losses in steps of 0.001 dB to a maximum of 5 digits. Displays the relative one-way loss, loss per unit length, and splice loss between any two given points in two ranges on the waveform.
Automatic measurement function		Provided
Return-loss measurement function		Return loss: calculated as the difference between the backscattered and reflected light levels. Total return loss: calculated as the attenuation of total reflected light in relation to total emitted light.
Memory	Floppy disk (3.5-inch, 2HD)	Can store up to 999 screens (screen mode) and measurement conditions.
	Others	Optional: PCMCIA hard disk card, IC memory card
Interface ¹⁾	Serial	9-pin D-sub
	Keyboard/mouse	6-pin DIN (Type PS/2)
	PCMCIA card slot	PCMCIA type II x 2 or type III x 1 for memory, or hard-disk cards
Power requirements	Battery	Ni-MH (Duration: 7 hrs. typ.) ²⁾
	AC adapter	AC100 to 240 V, 50/60 Hz
	External power supply	12 V +20%/-10% (for operation of unit only; not available for battery charging)
Environmental conditions	Temperature	Operating temp.: 0 to +50° C (for floppy-disk drive 5 to 40° C/during charging 5 to 35° C) Storage temp.: -20 to +60° C
	Relative humidity	85% RH or less (no condensation)
Dimensions and mass		Approx. 290 (W) x 194 (H) x 75 (D) mm, approx. 3 kg with AQ7254B mounted
Accessories		Battery pack, AC adapter, shoulder belt, power cord, and instruction manual (one each)

Diagrama en bloque del OTDR.



En el diagrama en bloque del OTDR, mostrado anteriormente.

- El generador de pulsos alimenta el diodo láser, que convierte la señal eléctrica a luz.
- La función del acoplador es separar la señal enviada de la señal devuelta.
- La señal que pasa por el acoplador alimenta al fotodiodo, el cual convierte la señal óptica a eléctrica.
- Posteriormente se realiza la conversión analógica a digital de la señal.
- Finalmente, luego del procesamiento digital el resultado es enviado a la pantalla.