

“MANUAL PARA LA CARACTERIZACIÓN DE LA FIBRA ÓPTICA EN
DWDM (DENSE WAVELENGTH DIVISION MULTIPLEXING)”

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA

SEDE CUENCA

CARRERA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA

Tesis previa a la obtención del Título de

Ingeniero Electrónico

TÍTULO

“MANUAL PARA LA CARACTERIZACIÓN DE LA FIBRA ÓPTICA EN
DWDM (DENSE WAVELENGTH DIVISION MULTIPLEXING)”

AUTORES

Juan José Astudillo Rivera

Edgar Yamid Ramírez Obando

DIRECTOR

Ing. Johnatan Coronel

Cuenca, Abril del 2014

Ing. Johnatan Coronel

Director de Tesis.

CERTIFICA

Que el trabajo intitulado “*Manual para la Caracterización de la Fibra Óptica en DWDM (Dense Wavelength Division Multiplexing).*”, realizado por Juan José Astudillo Rivera y Edgar Yamid Ramírez Obando, cumple con todos los objetivos trazados.

Cuenca, Julio del 2014



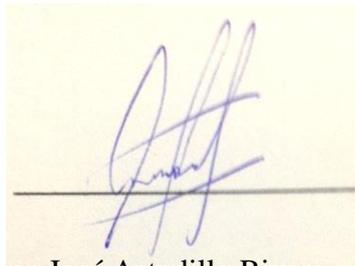
Ing. Johnatan Coronel,
DIRECTOR DE TESIS

DECLARATORIA DE RESPONSABILIDAD

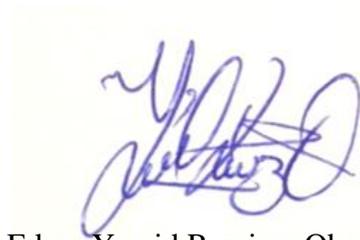
Nosotros, Juan José Astudillo Rivera y Edgar Yamid Ramírez Obando, autores del presente Trabajo de Tesis intitulado, “MANUAL PARA LA CARACTERIZACIÓN DE LA FIBRA ÓPTICA EN DWDM (DENSE WAVELENGTH DIVISION MULTIPLEXING)”, declaramos que:

Los conceptos desarrollados, análisis realizados y las conclusiones del presente trabajo, son de exclusiva responsabilidad de los Autores y autorizamos a la Universidad Politécnica Salesiana el uso de la misma con fines académicos.

Cuenca, Julio del 2013



Juan José Astudillo Rivera.



Edgar Yamid Ramirez Obando.

AGRADECIMIENTO

A Dios en primera instancia luego a mis padres, hermanos y tíos que junto con mi esposa y mi hijo me han brindado el apoyo incondicional para la culminación de este trabajo.

Juan José

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios porque ha estado conmigo en cada paso que doy, cuidándome y dándome fuerzas para continuar, a mi familia quien a lo largo de mi vida ha velado por mi bienestar y educación siendo mi apoyo en todo momento, depositando su entera confianza en cada reto que se me presentaba sin dudar ni un solo momento de mi inteligencia y capacidad. Es por ellos que soy lo que soy ahora.

A la familia Méndez Dueñas por haberme acogido como uno más de su familia en el proceso de mi carrera universitaria, gracias por su paciencia y amabilidad.

A mi tutor de tesis el Ing. Johnatan Coronel quien con sus conocimientos, su experiencia, su paciencia y motivación me ha guiado durante todo el trabajo de la tesis.

Son muchas las personas que han formado parte de mi carrera universitaria a las que me encantaría agradecerles por su amistad, consejos, apoyo, ánimo y compañía en los momentos más difíciles de mi vida. Algunas están aquí conmigo y otras en mis recuerdos y en mi corazón, sin importar en donde estén quiero darles las gracias por formar parte de mí, por todo lo que me han brindado y por todas sus bendiciones.

Para ellos: Muchas gracias y que Dios los bendiga.

Yamid Ramírez

DEDICATORIA

A toda mi familia y amigos por darme el apoyo y motivación, para poder alcanzar este logro.

Juan José

A Dios por haberme permitido llegar a este punto y protegerme en todo mi camino, a mi Padre Edgar, mi madre Mercedes, mis hermanas Alejandra y Angélica, y no menos importante mi sobrinita María José, les dedico este trabajo y todo lo que hago en mi diario vivir, todo es por ustedes, los amo con todo mi ser.

También dedico este trabajo a mi novia, Andrea, compañera inseparable de cada jornada, ella represento gran esfuerzo y tesón en momentos de decline y cansancio, este proyecto va por usted mi vida, el primero de muchos.

Yamid Ramírez

ÍNDICE

CAPÍTULO I	13
ASPECTOS GENERALES DE LA FIBRA OPTICA.....	13
1.1 TRASMISION DE DATOS POR FIBRA OPTICA.....	13
1.2 ANTECEDENTES Y MARCO DE DESARROLLO	14
1.3 FIBRA OPTICA	16
1.3.1 Sensores de fibra óptica.	16
1.3.2 Características más importantes.....	17
1.4 ESTRUCTURA	18
CAPÍTULO II	23
ESTUDIO DWDM	23
2.1 TDM.....	23
2.2 DWDM	26
2.3 WDM y TDM	31
2.4 SONET CON DWDM	34
2.4.1 Fibra óptica en DWDM.....	34
2.5 MULTIPLEXADORES Y DEMULTIPLEXADORES	36
2.5.1 Optical Add Drop Multiplexer (OADM).....	38
2.6 INTERFACES A DWDM	38
2.7 PARAMETROS DE TRANSMISION EN SISTEMAS DWDM.....	39
2.8 CALCULO A NIVEL DE POTENCIA.....	42
2.8.1 CALCULO A NIVEL DE ANCHO DE BANDA.....	43
2.8.2 DISEÑO A NIVEL DE RUIDO	44
CAPÍTULO III	46
ESTÁNDARIZACIÓN	46
3.1 Estándares	46
3.1.1 Redes SDH/SONET.....	46
3.1.2 Jerarquía Digital Síncrona (SDH).....	46
3.1.3 Componentes de una red SDH.....	48
3.1.4 Red Óptica Síncrona(SONET).....	53
3.1.5 Elementos de la Red SONET.....	55
3.2 Aplicabilidad de la norma SONET/SDH en el Ecuador	57

3.2.1 Arquitectura de red SONET/SDH.....	57
CAPÍTULO IV.....	64
CARACTERIZACION Y MANUAL	64
4.1. Caracterización de la Fibra óptica Monomodo Para una red DWDM	64
4.2 MANUAL.....	65
4.3 Dispersión cromática (CD)	67
4.3.1 Medición de CD.....	68
4.3.2 Análisis de resultados para mediciones de CD	69
4.4 Dispersión por modo polarización (PMD).....	70
4.4.1 Medición de (PMD).....	71
4.4.2 Análisis de resultados para mediciones de PMD	72
4.5 La atenuación en los diferentes puntos (empalmes, conectores.) (OTDR).....	74
4.5.1 Atenuación por empalmes:.....	74
4.5.2 Medición de (OTDR).....	75
4.5.3 Análisis de Resultados	77
4.6 Perdidas por Retorno óptico (ORL).....	77
4.7 Insertion Loss (OLTS)	80
4.7.1 Medición del OLTS.	81
4.7.2 Pruebas de conectores	81
4.7.3 Prueba de OLTS.....	82
4.8 Análisis de canales DWDM (OSA)	83
4.8.1Análisis de Resultados OSA	85
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	87
REFERENCIAS.....	89

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1 Transmisión de datos por fibra óptica.	13
Figura 1.3 Construcción de la fibra Óptica.	18
Figura 1.4 Estructura de la Fibra óptica.	18
Figura 1.5 Conector ST.	20
Figura 1.6 Conector SC.	20
Figura 1.7 Conector FDDI.	21
Figura 1.8 Conector MTP.	21
Figura 1.9 Conector LC.	22
Figura 2.1.1 Generación de tramas en TDM.	23
Figura 2.1.2 TDM síncrona.	24
Figura 2.2.1 Arquitectura DWDM.	29
Figura 2.2.3.1 Esquema de un EDFA.	31
Figura 2. 3.1 Representación de transmisión de datos en DWM y TDM.	33
Figura 2. 3.2 Representación del envío de paquetes por TDM [10].	33
Figura 2. 3.3 Representación del envío de paquetes por DWDM.	33
Figura 2.4.1 Atenuación de la señal DWDM en función de la longitud de onda.	36
Figura 2.4.1 Atenuación de la señal DWDM en función de la longitud de onda.	36
Figura 2.5.1 Funcionamiento de los MUX y DeMUX.	37
Figura 2.5.2 Función de un OADM.	38
Figura 2.6.1 Tendencia a futuro de DWDM.	39
Figura 2.7 Figura de Rudo del sistema.	45
Figura 3.1.1 Estructura de una red PHD punto a punto.	47
Figura 3.1.2 Diagrama de comunicación en una red Híbrida.	49
Figura 3.1.3 Transconector Digital DXC.	50
Figura 3.2.1 Topología Malla y Anillo en SONET/SDH.	58
Figura 3.2.2 Arquitectura de una red SONET/SDH.	59
Figura 3.2.3 Esquema UPSR.	60
Figura 3.2.4 Esquema BLSR/2.	61
Figura 3.2.5 Esquema BLSR/4.	62
Figura 4.1 Plataforma modular T-BERD®/MTS-8000	65
Figura 4.3 Traza CD con equipo JDSU MTS 8000	68

Figura 4.4 Modulo de Dispersión CromáticaT-BERD	69
Figura4.5 T-BERD/MTS-800 Optical Dispersion Measurement Modules for T-BERD	69
Figura 4.6 PMD enFibra de Modo Simple cuya asimetría es uniforme a lo largo de su longitud	71
Figura 4.7 Representación de la medición del PMD con el equipo JDSU MTS 8000	72
Figura 4.8 Modulo de E81PMD(PMD)	73
Figura 4.9 Traza medida enlace Paute-Bulan	75
Figura 4.10 Traza medida enlace Simbala – Girón.....	76
Figura 4.11 Traza medida ORL 34.73dB.....	78
Figura 4.12 Traza medida ORL 34.81dB.....	79
Figura 4.13 Traza medida ORL 35.03 dB.....	79
Figura 4.14 Traza medida ORL 48.05 dB.....	80
Figura 4.15 Power meter JDSU OLT-55	81
Figura 4.16 Prueba OLTS con Power meter OLT-55	82
Figura 4.17 Medición de OSNR	84
Figura 4.18 Medición de OSNR	84
Figura 4.19 Resultado de medición de OSNR con JDSU OSA-500R.....	85

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.1.4 Características TDH.	25
Tabla 2.2.1 Bandas de frecuencias en WDM.	27
Tabla 3.1.1 Ventajas con SDH.	48
Tabla 3.1.2 Característica principales de SDH.	51
Tabla 3.1.3 Funciones de medida de equipos en SDH.....	52
Tabla 3.1.4 Principales características y ventajas de SONET.....	53
Tabla 3.1.5 Tasa de bits en SONET/SDH.	57
Tabla 4.1 Características de CD para la fibra. G.655.	70
Tabla 4.2 Características de PMD para una distancia de 100 Km.....	73

CAPÍTULO I

ASPECTOS GENERALES DE LA FIBRA OPTICA

1.1 TRASMISION DE DATOS POR FIBRA OPTICA

La transmisión de datos, es un mecanismo de envío de información; para que la transmisión de datos por medio de fibra óptica exista es necesario un transmisor, que se encarga de transformar ondas electromagnéticas en energía óptica o luminosa, por lo cual se considera este elemento como activo, luego de que la señal luminosa es transmitida por el medio óptico, en el otro extremo de la comunicación tenemos el receptor, cuya principal función es transformar la señal luminosa que llega en energía electromagnética similar o igual a la señal original.

La información convertida en haz de luz soporta sucesivas reflexiones que la mantienen dentro de sí para salir por el otro extremo. Es decir, es una guía de onda de luz.

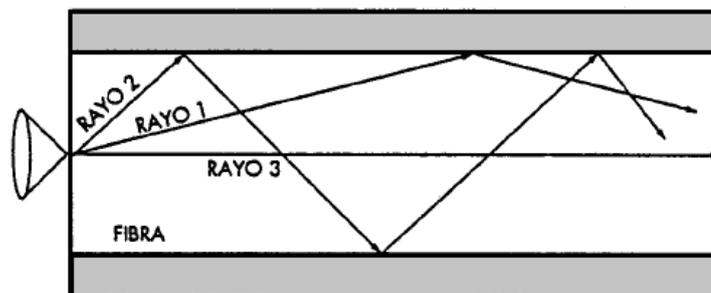


Figura 1.1 Transmisión de datos por fibra óptica.

Fuente: Una breve cronología histórica de la fibra óptica
URL: <http://www.slideshare.net/ingenia-t/fibraopticacapitulo01>

El sistema básico de transmisión de datos por medio de fibra óptica se compone de: la señal de entrada, amplificador, fuente de luz, corrector óptico, línea de fibra óptica (primer tramo), empalme, línea de fibra óptica (segundo tramo), corrector óptico, receptor, amplificador y señal de salida.

La velocidad de la transmisión depende del tipo de fibra óptica que puede ser:

- Fibra óptica ultra pura las cuales son muy difíciles de fabricar y de alto costo.
- Fibra óptica de cristal multicomponente, que tiene la característica de poseer mayor grado de pérdidas, pero más económicas.
- Fibra óptica de plástico poseen un costo menor y se emplean para enlaces en distancias pequeñas.

Para transmisiones interurbanas su material es de vidrio, por la baja atenuación que tienen. Para los diferentes tipos de comunicación se emplean fibra multimodo y monomodo, usando las multimodo para distancias cortas de hasta 5000 m y las monomodo para acoplamientos de larga distancia. Debido a que la fibra monomodo es más sensible a los empalmes, soldaduras y conectores, esta y sus componentes son de mayor costo que los de la fibra multimodo¹.

1.2 ANTECEDENTES Y MARCO DE DESARROLLO

El Dr. Charles K. Kao de Standard Telecommunications Laboratories (STL); investigó la atenuación en la fibra óptica cuyos resultados arrojaron que la alta pérdida de la primera fibra óptica se debía a las impurezas, y no al silicio del vidrio, en medio de esta investigación, en 1964, Kao trabajó en una propuesta de comunicaciones de larga distancia con fibra monomodo. Convencido que las pérdidas de la fibra podían ser reducidas por debajo de los 20 decibeles por kilómetro².

El 1 de Abril de 1966 el Instituto de Ingeniería Electrónica IEE publicó la propuesta notable de Kao con estas palabras:

"En el encuentro IEE en Londres el mes pasado, el Dr. C.K. Kao ha demostrado que las guías de ondas ópticas, desarrolladas por (STL), tienen una capacidad de

¹ Una breve cronología histórica de la fibra óptica. URL: <http://www.slideshare.net/ingenia-t/fibraopticapitulo01>

² ¿Qué es la Fibra Óptica? URL: <http://fibrasopticaplus.wordpress.com/>

información de 1GHz, equivalente de alrededor de 200 canales de televisión o más de 200,000 líneas telefónicas”.

Él describió el dispositivo de STL, como un núcleo de vidrio aproximadamente de tres o cuatro micras de diámetro, revestido con una capa coaxial de otro vidrio que tiene un índice refractivo aproximadamente de 1% menor que el núcleo. El diámetro total de la guía de onda está entre 300 y 400 micras, y las ondas ópticas superficiales se propagan a lo largo de la interfaz entre los dos tipos de vidrio.

La superficie de la guía es protegida de influencias externas y para su protección. Según el Dr. Kao, la fibra es lo suficientemente fuerte, para poder manipularla sin romperla y puede manejarse fácilmente por su tamaño y menor peso al cable de cobre, la guía de onda al ser tan delgada, tiene un radio mecánico de curvatura máximo, que es la medida del radio máximo en el cual la fibra se puede curvar, sin que se quiebre, lo que la convierte en casi completamente flexible para curvarse.

En 1977, fue probada la primera generación de fibra óptica en el campo de la telefonía, se usaron fibras para transmitir luz a 850 nanómetros (nm) con diodos laser de Aluminio, Galio y Arsénico. Estas primeras generaciones de sistemas podían transmitir luz a varios kilómetros sin repetidor, pero estaban limitados por pérdidas de aproximadamente 2 dB/km.

Una segunda generación pronto apareció, usando nuevos láser de Indio, Galio, Arsénico y Fósforo que emitieron a 1.3 micrómetros (um), donde la atenuación de la fibra era tan baja como 0.5 dB/km, y la dispersión del pulso reducida a 850 nm³.

En 1983 MCI, una de las grandes compañías de telefonía a larga distancia en los Estados Unidos fue la primera en tender una Red Nacional de Fibra óptica en ese país, un salto significativo hacia adelante en las comunicaciones usando guías de ondas ópticas, con dispositivos que buscan integrar componentes ópticos tales como conmutadores, ruteadores, moduladores, todos ópticos e integrados juntos o por separado en un circuito de guía de onda, dando lugar a la nueva tecnología

³¿Qué es la Fibra Óptica?URL:<http://fibrasopticaplus.wordpress.com/>

integrando lo que será la chispa para una nueva revolución a nivel mundial de la fibra óptica convirtiéndose en el medio de comunicación a usarse .

En la actualidad existen grandes empresas renombradas a nivel mundial como Gycom, ASIMTELEC CIA LTDA, I&OPLANT, QuimiNet.com, AT&T, NTT, Tmobil, Verizon, Telefónica, Telmex, entre otras que cuentan con su red compuesta por fibra óptica lo cual ha generado grandes capacidades de transmisión para llegar a sus abonados con mejores servicios.

La fibra óptica se utiliza ampliamente en telecomunicaciones, ya que permite enviar gran cantidad de datos a gran velocidad, más rápido que en las comunicaciones de radio y de cable, también se utilizan para redes locales ya que son un medio de transmisión inmune a las interferencias y de acuerdo a las aplicaciones, su precio y longitud pueden variar.

1.3 FIBRA OPTICA

1.3.1 Sensores de fibra óptica.

La fibra óptica se puede utilizar como sensores para medir la tensión, la temperatura, la presión y otros parámetros, por su tamaño pequeño y la propiedad de que por ellas no circula corriente eléctrica le da algunas ventajas respecto a los sensores eléctricos.

En la actualidad se ha desarrollado mediante la fibra óptica sistemas hidrofónicos de sensores los cuales son usados por la industria petrolera, ya que se pueden trabajar a mayores temperaturas que los sensores de semiconductores, otro uso que se le ha dado a la fibra óptica como un sensor es en el giroscopio óptico usado en aviones y por ultimo para microsensors del hidrógeno.

1.3.2 Características más importantes.

- La fibra óptica es una guía de onda dieléctrica que opera a frecuencias ópticas
- Cada filamento en la fibra óptica consta de un núcleo central de plástico o cristal (óxido de silicio y germanio) con un alto índice de refracción, rodeado de una capa de un material similar con un índice de refracción menor. Cuando la luz llega a una superficie que limita con un índice de refracción menor, se refleja en gran parte, cuanto mayor sea la diferencia de índices y mayor el ángulo de incidencia, se habla entonces de reflexión interna total.
- En el interior de una fibra óptica, la luz se va reflejando contra las paredes en ángulos muy abiertos, de tal forma que prácticamente avanza por su centro. De este modo, se pueden guiar las señales luminosas sin pérdidas por largas distancias.

A lo largo del desarrollo de la fibra óptica, algunas de sus características han ido cambiando para mejorarla. Las características más destacables de la fibra óptica en la actualidad son:

- Cobertura más resistente: La cubierta contiene un 25% más material que las cubiertas convencionales.
- Uso dual (interior y exterior): La resistencia al agua y emisiones ultravioleta, la cubierta resistente y el funcionamiento ambiental extendido de la fibra óptica contribuyen a una mayor confiabilidad durante el tiempo de vida de la fibra.
- Mayor protección en lugares húmedos: Por sus múltiples capas de protección, lo que proporciona a la fibra, una mayor vida útil y una mayor confiabilidad en lugares húmedos.
- Empaquetado de alta densidad: Es decir máximo número de fibra en el menor diámetro posible que facilita una rápida y fácil instalación.

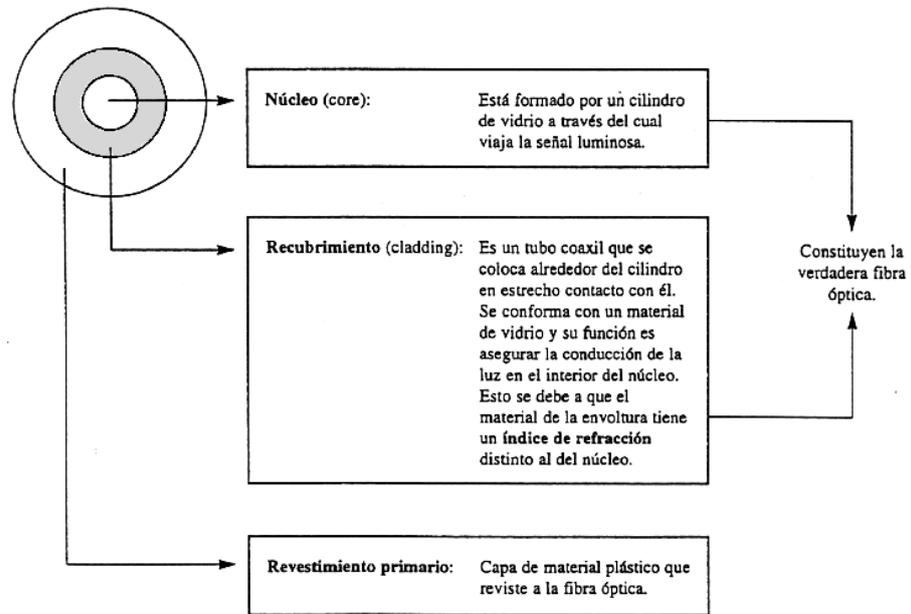


Figura 1.3 Construcción de la fibra Óptica.

Fuente: ¿Qué es la Fibra Óptica?

URL: <http://fibrasopticaplus.wordpress.com/>

1.4 ESTRUCTURA

Dentro de la estructura se tiene algunos tipos, los cuales varían de acuerdo a la aplicación que necesitemos, en la figura se presenta diferentes componentes como son: núcleo, revestimiento, recubrimientos, fibras de refuerzo, entre otros, los cuales son parte de una fibra óptica.

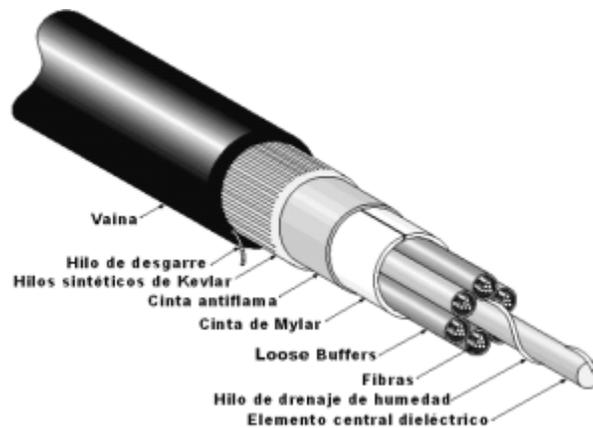


Figura 1.4 Estructura de la Fibra óptica.

Fuente: ¿Qué es la Fibra Óptica?

URL: <http://fibrasopticaplus.wordpress.com/>

El núcleo: Es el encargado de transportar señales ópticas; por medio de transductores la información es convertida en señales de luz y enviada por este medio, se puede considerar como el punto más importante debido a que es el encargado de transportar los datos. En el núcleo se tiene una sola fibra de vidrio ultra-pura de cuarzo o de dióxido de silicio de diámetros muy pequeños como por ejemplo 10-300 micrones, en cuanto más grande es el diámetro mayor será la cantidad de luz que el cable soporta. Existen tres tipos de valores utilizados a nivel mundial: 50m, 65.2m y 100m.

El revestimiento: Rodea al núcleo y su principal función es evitar que las ondas de luz escapen, para que sean reflejadas y retenidas por el núcleo.

Cubierta o recubrimiento: Posee varias capas de plástico con la finalidad de proporcionar una protección extra contra las curvaturas excesivas del cable, es decir, para preservar la fuerza de la fibra. Este recubrimiento también se mide en micrones (μm) y su diámetro puede estar entre 250 μm y los 900 μm .

Según los estándares internacionales, para cables de fibra, deben ir identificados a lo largo de su extensión cada 1 metro. Los cables también son identificados por un código de colores. Por ejemplo, las fibras de 62.5 m pueden ser de color gris-pizarra o naranja, las de 50 m son naranjas y los de 9 m son de color amarillo.

En los componentes ópticos se debe considerar protecciones de los peligros mecánicos, de calor, los contaminantes, así como de los movimientos axiales y laterales. La regla del pulgar aplicable en este caso es que el radio de curvatura debe ser mayor a 10 veces el diámetro exterior del cable, por otra parte, no deberían colocarse objetos pesados, como un cable de cobre, encima del cable de fibra pues podría causar deformaciones en la fibra, todos estos elementos o acciones pueden reducir la cantidad de luz que pasa a través de una conexión, produciendo una incorrecta operación del mismo⁴.

⁴Optical Networking. URL: <http://www.eogogics.com/talkgogics/infocenter/optical-networking>

1.4.1 CONECTORES DE FIBRA OPTICA

Un conector de fibra óptica es un elemento que permite una conexión y desconexión fácil entre componentes, acopla mecánicamente los núcleos de las fibras para que la luz pueda pasar a través de las mismas.

Un conector apropiado no tiene espacios con aire entre los acoples, sus características más importantes incluyen el tipo de conexión (de jale o empuje) y el tamaño, entre los cuales diferencian de la siguiente manera:

Conector ST (de punta recta): El conector ST, fue originalmente desarrollado por AT&T, usa una contera⁵ de 2,5 mm con un cuerpo redondo de plástico o metal. Este conector posee un puerto y un conector que se aseguran en su lugar con un medio giro al mecanismo tipo bayoneta. Este es el conector más popular para redes con fibra multimodo.⁶



Figura 1.5 Conector ST.

Fuente: URL:http://www.ehowenespanol.com/tipos-conectores-cables-fibra-optica-lista_318732/

Conector SC (de suscriptor o estándar): Este conector diseñado en Japón tiene una contera de 2,5 mm que sostiene una sola fibra. El método de conexión es de empuje/jale. El cuerpo del conector es cuadrado y tiene dos conectores unidos con un sujetador plástico (conexión dúplex). El diseñador original del conector SC fue NTT, una compañía de telecomunicaciones japonesa. Este conector se usa ampliamente en sistemas de modo único.⁷

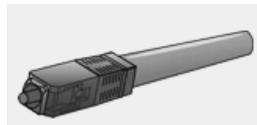


Figura 1.6 Conector SC.

Fuente: URL:http://www.ehowenespanol.com/tipos-conectores-cables-fibra-optica-lista_318732/

⁵Pieza de metal que se pone en el extremo del conector.

⁶URL:http://www.ehowenespanol.com/tipos-conectores-cables-fibra-optica-lista_318732/

⁷URL:http://www.ehowenespanol.com/tipos-conectores-cables-fibra-optica-lista_318732/

Conector FDDI (Interfaz de datos distribuidos por fibra): La FDDI por sus siglas en inglés "Fiber Distributed Date Interface" se refiere a la red de área local estándar como Ethernet o Token Ring. La terminación del cable de fibra óptica, conocida como MIC o "Conector de interfaz de medios" contiene dos conteras posicionadas en una cubierta plástica, y este conector usa un mecanismo de pestañas presionadas.⁸

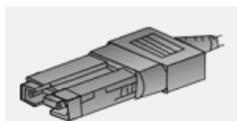


Figura 1.7 Conector FDDI.

Fuente: URL:http://www.ehowenespanol.com/tipos-conectores-cables-fibra-optica-lista_318732/

Conector MTP (multifibra de empuje): El conector MTP es un tipo especial de conector de fibra óptica que une hasta 12 fibras en una sola contera. El MTP es una mejora del conector MPO. Las conexiones son sostenidas en su lugar por un pestillo de jale/empuje. Los pines duales de guía sobresalen del frente del conector. El MTP es usado primariamente para aplicaciones de respaldo, interconexión y otras.⁹

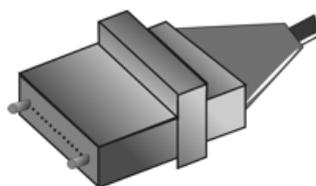


Figura 1.8 Conector MTP.

Fuente: URL:http://www.ehowenespanol.com/tipos-conectores-cables-fibra-optica-lista_318732/

LC (conector Lucent): Un conector Lucent tiene un mecanismo de jale/empuje con el cuerpo del conector diseñado como un cuadrado. Desarrollado por Lucent Technologies es una unidad pequeña, los dos conectores que forman al LC están en una configuración dúplex, unidos con un sujetador plástico. La contera es pequeña,

⁸URL:http://www.ehowenespanol.com/tipos-conectores-cables-fibra-optica-lista_318732/

⁹URL:http://www.ehowenespanol.com/tipos-conectores-cables-fibra-optica-lista_318732/

de 1,25 mm, diseñada para adaptarse a requerimientos de espacios pequeños, el LC provee buen desempeño y es recomendable en conexiones de modo único.¹⁰

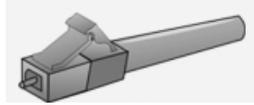


Figura 1.9 Conector LC.

Fuente: URL:http://www.ehowenespanol.com/tipos-conectores-cables-fibra-optica-lista_318732/

¹⁰URL:http://www.ehowenespanol.com/tipos-conectores-cables-fibra-optica-lista_318732/

CAPÍTULO II

ESTUDIO DWDM

2.1 TDM

Las técnicas de Multiplexación por división de tiempo TDM pretenden conseguir un mayor rendimiento en los sistemas de transmisión debido a que se permite enviar por una misma línea de transmisión varias comunicaciones simultáneas.

En la telefonía digital, es un proceso básico, ya que permite combinar diferentes señales de voz y enviarlas por un mismo canal de transmisión. De esta manera las señales digitales PCM, (señales por pulsos codificados en forma discreta en tiempo y amplitud) se multiplexan formando lo que se conoce como tramas PCM.

En la figura 2.1.1 se observa como el emisor toma muestras periódicas de los 3 canales que una vez codificados se envían por la línea formando una trama. En el receptor, las muestras se entregan a sus respectivos canales, por lo que es necesario que ambos estén perfectamente sincronizados.

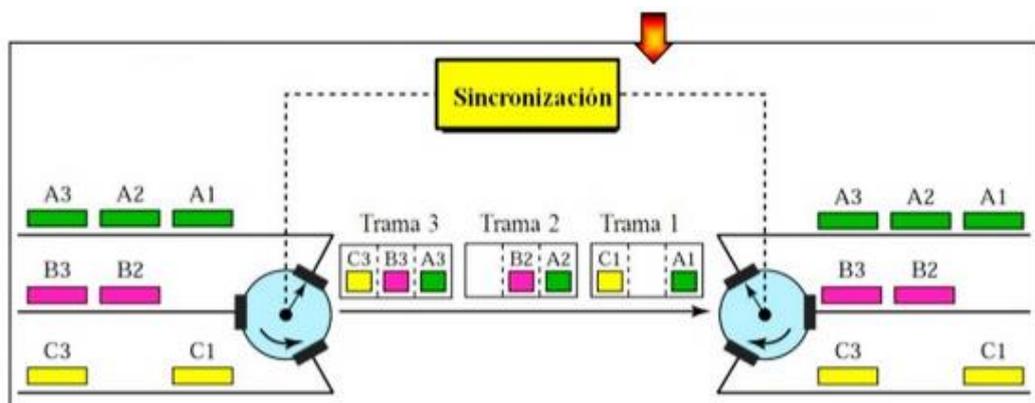


Figura 2.1.1 Generación de tramas en TDM.

Fuente: URL: <http://www.slideshare.net/ioliassa/redes-de-fibra-optica>

Dentro de TDM, el flujo de datos de cada conexión de entrada se divide en unidades, el mismo que cada unidad ocupa un slot o ranura de tiempo de entrada, es muy importante aclarar que cada unidad puede ser un bit, un byte (una muestra en telefonía) o un bloque de datos.

Cada unidad de entrada se convierte en una unidad de salida y ocupa una ranura de tiempo en la salida, y a esto se le conoce o se denomina como canal. La duración de una ranura de tiempo de salida es n veces más corta que la de entrada. Es por eso que la unidad en la conexión de salida viaja más rápido. Todas las ranuras de tiempo se agrupan en tramas. Una trama consta de ciclo completo de ranuras de tiempo, con una ranura (canal) dedicada a cada dispositivos emisor; es por esto que se denomina TDM síncrona como se observa en la figura 2.1.2.

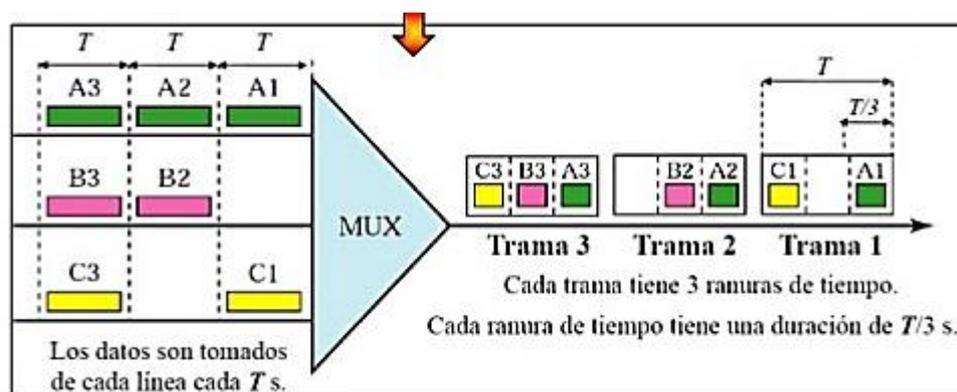


Figura 2.1.2 TDM síncrona.

Fuente: URL: <http://www.slideshare.net/ioliassa/redes-de-fibra-optica>

Esta técnica consiste en dividir el tiempo de transmisión de un canal de comunicación, en subcanales independientes entre sí, de tal forma que cada subcanal se le asigne un intervalo de tiempo, dentro del tiempo de transmisión total, durante el cual la única información que se transmite por el medio pertenece a este subcanal. Se asigna toda la capacidad a transmitir un subcanal determinado durante el intervalo de tiempo reservado para él.

Una de las ventajas es que se puede aprovechar el tiempo existente entre la transmisión de dos muestras consecutivas del mismo subcanal¹¹.

¹¹ URL: <http://www.slideshare.net/ioliassa/redes-de-fibra-optica>

2.1.1 Entrelazado o entramado de bits (dígitos)

Cada uno de los intervalos de tiempo se ajusta para que transporte un solo bits de cada terminal. Además se utiliza especialmente cuando se combinan flujos de datos provenientes de terminales semejantes.

2.1.2 Entramado o entrelazado de octetos (caracteres)

Es usado cuando las señales están compuestas por un grupo de octetos o caracteres que, por razones operativas, es conveniente preservar su integridad, si los datos llegan continuamente será necesario algún tipo de almacenamiento local para poder acumular las señales mientras se espera la siguiente transferencia, se debe tomar en cuenta que la multiplexión por división de tiempo facilita la multiplexión de subcanales con las distintas capacidades.

2.1.3 Normalización

Se rige a la norma ITU-T la cual estandariza la forma de realizar esta multiplexación, la más antigua por así llamarlo es la jerarquía digital plesiócrona (PDH) y la actual es la jerarquía digital síncrona (SDH)¹².

2.1.4 Características de TDH.

Las características TDH se pueden ver en la tabla 2.1.4:

Cada muestreo está compuesto por 8 bits y una trama contiene 256 bits	El grupo básico contiene 30 canales telefónicos numerados del 1 al 30 y 2 de señalización y sincronización, el 16 y 0 respectivamente.
La velocidad de transmisión del grupo básico es de 2048Kbps, 32 canales a 64 Kbps cada uno.	La duración de trama es de 125µs.
Por tanto el tiempo asignado a cada canal dentro de una trama es 3.9 µs durante los que transmitirán los 8 bits correspondientes a la muestra de ese canal.	En cada trama se tiene 32 intervalos de tiempo.

Tabla 2.1.4 Características TDH.

¹²URL: <http://arantxa.ii.uam.es/~jms/pfcsteleco/lecturas/20080723JuanManuelCastrejo.pdf>

2.2 DWDM

Antecedentes

En un sistema WDM, cada una de las longitudes de onda es lanzada dentro de la fibra, y la señal es demultiplexada en la parte final del receptor. Así como TDM, la capacidad resultante es una suma de las señales de entrada, pero WDM transporta cada una de las señales de entrada independientemente de las demás. Esto significa que cada canal tiene su propio ancho de banda dedicado; todas las señales llegan al mismo tiempo, preferible a que estén divididas y transportadas en time slots.

WDM incrementó la capacidad del medio físico (fibra) usando un método completamente diferente de TDM, este asigna las señales ópticas entrantes a frecuencias específicas de luz o lambdas dentro de una cierta banda de frecuencias, es bastante similar a la manera de transmisión de estaciones de radio en diferentes longitudes de onda sin interferir con las demás.

En la actualidad estamos viviendo una revolución en las telecomunicaciones, que se derivada principalmente de la liberalización del sector, el crecimiento de los usuarios de Internet, los servicios de datos y la telefonía móvil y las soluciones que tienen la mayoría de los proveedores de telecomunicaciones para satisfacer este aumento de la demanda de tráfico son diversas.

El principal problema al que se enfrentan los proveedores de servicio es el relacionado con el salto a una capacidad mayor, la mejor alternativa hoy en día que tienen los operadores consiste en DWDM (Dense Wavelength Division Multiplexing), que permite aumentar de una forma económica la capacidad de transporte de las redes existentes.

La diferencia entre WDM y la multiplexación por División de Longitud de Onda Densa (DWDM) radica en que este último coloca las longitudes de onda más cercanas entre sí que WDM, y por lo tanto, tiene una capacidad total más grande, los límites de este espaciamiento no son conocidos precisamente, y probablemente no se alcance a conocer. Sin embargo los sistemas están disponibles desde mitades del año

2000 con una capacidad de 128 lambdas por fibra, otra de las características que posee la red DWDM es la habilidad para amplificar todas las longitudes de onda de una sola vez sin convertirlas primero en señales eléctricas, y la habilidad para transportar señales de diferentes velocidades y simultáneamente tipos de protocolos y transferencia de bits independientes.

Hay que tomar en cuenta ciertas condiciones, WDM y DWDM usan fibra monomodo para transporte de múltiples longitudes de onda a diferentes frecuencias. Esto no debe ser confundido con la transmisión sobre fibra multimodo, en la cual la luz es lanzada dentro de la fibra en diferentes ángulos resultando en diferentes modos de luz. Una sola longitud de onda es usada en la transmisión multimodo.

WDM está localizada en bandas de frecuencia como se puede ver en la tabla 2.2.1 y específicamente para DWDM se utilizan las bandas S, C y L¹³.

BANDA	DENOMINACIÓN	LONGITUD DE ONDA
Banda O	Original	1260-1360 nm
Banda E	Extendida	1360-1460 nm
Banda S	Corta	1460-1530 nm
Banda C	Convencional	1530-1565 nm
Banda L	Larga	1565-1625 nm
Banda U	Ultra larga	1625-1675 nm

Tabla 2.2.1 Bandas de frecuencias en WDM.

¹³URL: <http://arantxa.ii.uam.es/~jms/pfcsteleco/lecturas/20080723JuanManuelCastrejo.pdf>

Ventajas de DWDM:

- Permite superar el problema del agotamiento de la fibra, lo que resulta en un incremento de capacidad.
- Ahorro de espacio y energía en estaciones intermedias.
- Mayor facilidad para añadir nuevos nodos a la red.
- Transmisión de bajo costo.
- No tiene retardos de conversión óptico-eléctrico-óptico.
- Ofrece mayor flexibilidad al ser sus equipos puramente ópticos.
- Utilización de longitud de onda en vez de ancho de banda
- Provee transparencia de red, independencia de razón de datos, formato y protocolos.

Desventajas de DWDM:

- Fallo de múltiples canales en caso de falla de la línea. (Muy necesario contar con redundancia de canal)
- Requerimientos mayores de diseño para manejo de dispersión, debido al mayor rango de longitudes de onda a ser manejadas.

2.2.1 Arquitectura de DWDM

Si aplicamos el modelo OSI en DWDM, podemos definir que trabaja a nivel de la capa Física, es decir que, permite el intercambio de las unidades básicas de información o bits sobre canales de transmisión, además es importante señalar que la capa 1 define las conexiones mecánicas requeridas para la activación, mantención o desarticulación. Se puede ver un diagrama de esta arquitectura en la figura 2.2.1 la cual se compone de:

- Transmisor (Transponder de transmisión)
- Multiplexor/demultiplexor
- Amplificadores
- Fibra óptica

- Receptor (Transpondedor de recepción)

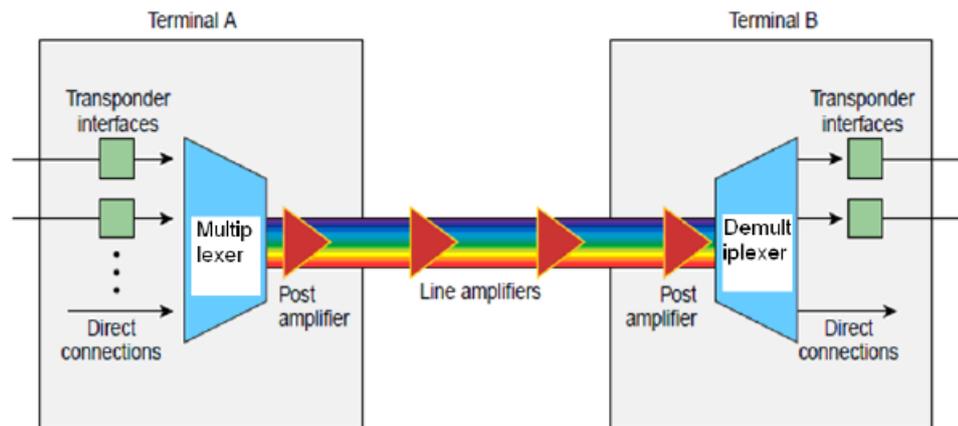


Figura 2.2.1 Arquitectura DWDM.

Fuente: URL: <http://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/1764/1/CD-2763.pdf>

2.2.2 Fuentes de emisión y detectores de luz

Tanto los emisores y los detectores son dispositivos que representan a los puntos finales de un sistema de transmisión de carácter óptico, ahora los emisores de luz tienen la particularidad de ser conversores de señal eléctrica a señal óptica, en contraste con los detectores de luz, que estos convierten las señales ópticas en señales eléctricas, dentro de los emisores existen dos categorías de dispositivos, los LED y los laser¹⁴.

Los LED se utilizan frecuentemente en fibra multimodo y su ancho de banda es relativamente bajo, sobre el orden de los Gb/s. Además la luz que viaja a lo largo de la fibra es bastante ancho en el espectro, para ser utilizada por la tecnología DWDM. El láser tiene la particularidad de adaptarse mejor a la fibra monomodo, de manera que, el haz que emite es de carácter monocromático, lo que implica que su espectro es ancho y así su ancho de banda es mayor¹⁵.

El láser se comporta de mejor manera que el led, pero dentro de los laser existe dos tipos frecuentemente utilizados por DWDM, que son “Monolithic Fabry- Perot

¹⁴URL: <http://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/1764/1/CD-2763.pdf>

¹⁵URL: <http://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/1764/1/CD-2763.pdf>

Laser” y “Distributed Feedback Laser”, este último es más usado ya que emite luz¹⁶ que presenta características monocromáticas, por ello, presenta un mayor ancho de banda con muy buena relación señal a ruido, además este tipo de laser maneja longitudes de onda cercanas a los 1310nm y 1520 nm hasta 1565 nm, es importante destacar que el espectro es bastante ancho, entre 100 y 200 GHz.

Por otro lado en el receptor, los detectores de luz deben recuperar la señal transmitida a diferentes longitudes de onda, Debido a que los fotodetectores son dispositivos de ancho de banda de carácter óptico las señales deben ser multiplexadas antes de llegar al detector de luz, que principalmente son dos, los “Positive-Intrinsic-Negative” (PIN) y “Avalanche Photodiode” (APD) .

2.2.3 Amplificadores ópticos

Una diferencia entre un sistema convencional y DWDM, es que este último utiliza amplificadores ópticos que directamente trabajan con la señal de luz. Así se evita la necesidad de transformarla a una señal eléctrica para realizar la amplificación y luego volver a transformarla en una señal óptica, lo cual puede ser fuente de distorsión de la señal y requiere de más recursos. Existen algunos tipos de amplificadores ópticos, los cuales pueden ser¹⁷:

- Amplificador de fibra
 - o Amplificador de fibra dopado Pr (PDFA; región 1310nm)
 - o Amplificador de fibra dopado Th (TDFA, Banda S en región 1500nm, ganancia 20dB)
 - o Amplificador de fibra dopado Er (EDFA; Banda C o L en región 1550nm, ganancia 30-40dB)
- Amplificador de guía de onda dopado Er (ganancia 14dB)
- Amplificador óptico de semiconductor (SOA)
 - o Puede operar en región 1310nm o 1550nm, ganancia BW 30nm
 - o No es apropiado para transmisión DWDM

¹⁶URL: <http://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/1764/1/CD-2763.pdf>

¹⁷ URL: <http://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/1764/1/CD-2763.pdf>

- Amplificador Raman
 - o Puede proveer ganancia desde 1300 hasta 1550nm o más, ganancia 20dB

Amplificador de fibra dopado de Erblio (EDFA)

Amplificador de fibra dopado de Erblio está compuesto por un elemento muy raro en la tierra, cuando es excitado, emite luz de alrededor de 1.54 micrómetros, y una longitud de onda de baja pérdida para las fibra óptica utilizadas en DWDM. Una señal débil entra la fibra dopada de erblio, dentro de la cual la luz a 980nm o 1480nm es inyectada usando una bomba laser. Esta luz inyectada estimula los átomos de erblio para liberar su energía guardada como luz adicional de 1550nm. Como resultado a lo largo de la fibra la fuerza de la señal aumenta¹⁸.

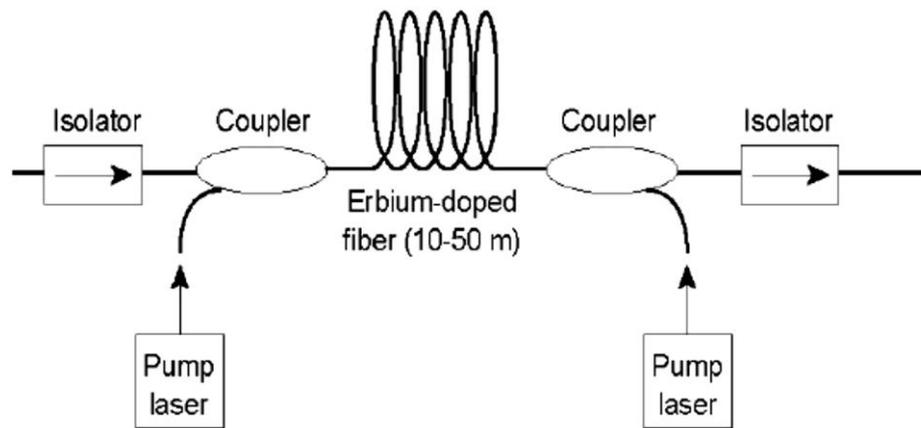


Figura 2.2.3.1 Esquema de un EDFA.

Fuente: USACH “TECNOLOGIA DWDM”. URL: <http://www.slideshare.net/gersonchavarriavera/redes-dwdm>

2.3 WDM y TDM

SONET TDM toma señales síncronas y asíncronas y las multiplexa a una tasa de transferencia única más alta para la transmisión de una sola longitud de onda sobre fibra óptica. La fuente de señales debe ser convertida de eléctrica a óptica o de óptica a eléctrica y regresar a óptica antes de ser multiplexada. WDM toma múltiples señales ópticas, las mapea como longitudes de onda individuales, y multiplexa las longitudes de onda sobre una fibra única. Una diferencia fundamental entre las 2

¹⁸USACH “TECNOLOGIA DWDM”. URL: <http://www.slideshare.net/gersonchavarriavera/redes-dwdm>

tecnologías es que WDM puede transportar múltiples protocolos sin un formato de señal común, mientras que SONET no puede.

WDM está basado en un concepto bien conocido llamado multiplexación por división de frecuencia o FDM. Con esta tecnología, el ancho de banda de un canal (su dominio de la frecuencia) se divide en múltiples canales, y cada canal ocupa una parte del espectro de frecuencias más grande. En las redes WDM, cada canal se llama una longitud de onda. Este nombre se utiliza debido a que cada canal funciona a una frecuencia diferente y en una longitud de onda óptica diferente. Una notación abreviada común para la longitud de onda es la lambda símbolo griego, se muestra como λ .

Las longitudes de onda en la fibra están separadas por espectro no utilizado. Esta práctica ayuda a prevenir que se interfieran entre sí. Esta idea se llama separación de canales, o simplemente espaciamiento. Es similar a las bandas de guarda utilizadas en sistemas eléctricos. En la Figura 2.3.1 los pequeños espacios entre cada canal representan el espacio.

La multiplexación por división de tiempo (TDM) proporciona al usuario la capacidad de canal completo, pero divide el uso del canal en intervalos de tiempo. Cada usuario tiene una ranura y las ranuras se hacen girar entre los usuarios. Un sistema TDM puro explora cíclicamente las señales de entrada (tráfico entrante) de las múltiples fuentes de datos entrantes (enlaces de comunicaciones, por ejemplo). Luego Bits, bytes, o bloques de datos se separan y se intercalan juntos en las ranuras en una única línea de comunicaciones de alta velocidad.

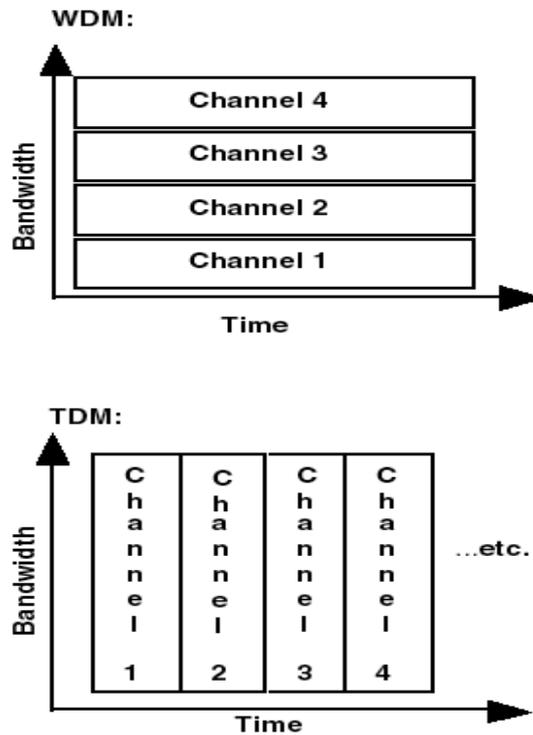


Figura 2. 3.1 Representación de transmisión de datos en DWDM y TDM.

Fuente: USACH “TECNOLOGIA DWDM”. URL:
<http://www.slideshare.net/gersonchavarriavera/redes-dwdm>

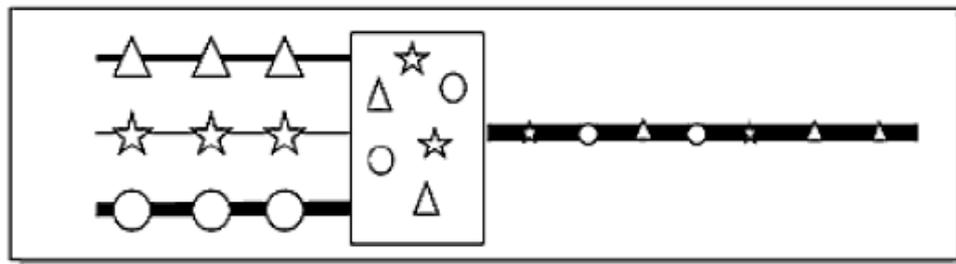


Figura 2. 3.2 Representación del envío de paquetes por TDM [10].

Fuente: USACH “TECNOLOGIA DWDM”. URL:
<http://www.slideshare.net/gersonchavarriavera/redes-dwdm>

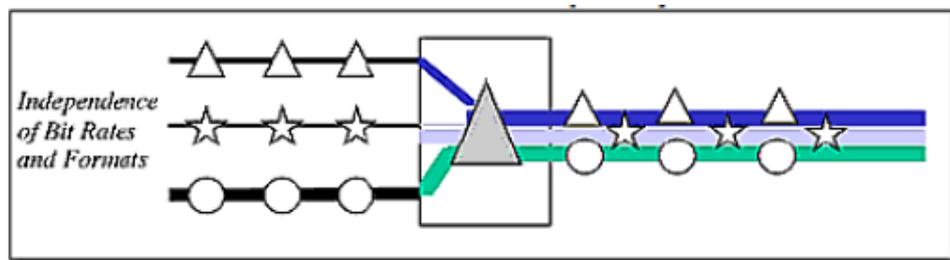


Figura 2. 3.3 Representación del envío de paquetes por DWDM.

Fuente: USACH “TECNOLOGIA DWDM”. URL:
<http://www.slideshare.net/gersonchavarriavera/redes-dwdm>

2.4 SONET CON DWDM

Usando DWDM como transporte para TDM, las inversiones de equipo existentes de SONET pueden ser válidas. A menudo las nuevas puestas en práctica pueden eliminar capas de equipo. Por ejemplo, El equipo de multiplexación de SONET puede ser evitado en conjunto interconectando directamente al equipo de DWDM de los interruptores de la atmósfera y de paquete, donde son comunes las interfaces. Además, las mejoras no tienen que conformarse con las interfaces específicas de la velocidad de transferencia, como con SONET, donde está bloqueada la agregación de los tributarios en valores específicos.

Las señales ópticas se atenúan mientras viajan a través de la fibra y deben ser regeneradas periódicamente en el núcleo de la redes. En SONET/Redes ópticas antes de la introducción de DWDM, cada fibra separada lleva una sola señal óptica, típicamente en 2.5 Gbps, se requiere un regenerador eléctrico separado cada 60 a 100 kilómetros (37 a 62 millas aproximadamente).

Los amplificadores ópticos se podían utilizar en el caso de SONET para ampliar la distancia de longitudes antes de tener que alzar la energía de la señal, podrían aun tener la necesidad de ser amplificados para cada fibra. Con DWDM las cuatro señales se pueden transportar en un solo par de la fibra (contra cuatro), pocas piezas de equipo se requieren. La eliminación del costo de los regeneradores requeridos para cada fibra da lugar a ahorros considerables¹⁹.

2.4.1 Fibra óptica en DWDM

La fibra óptica multimodo no son altamente utilizadas para DWDM ya que limitan el desempeño del sistema debido a que proveen insuficiente ancho de banda y distancia de transmisión, tienen mayor pérdida que la fibra monomodo, y tienen ruido modal inducido por interferencia o degradación de la relación señal a ruido.

¹⁹USACH “TECNOLOGIA DWDM”. URL: <http://www.slideshare.net/gersonchavarriavera/redes-dwdm>

Existen tres tipos de fibra monomodo utilizados mayoritariamente²⁰:

- G652, Fibra no desplazada por dispersión (NDSF)
 - o Se implementa en más del 95% de las plantas, pero tiene serios problemas de dispersión.
 - o Es adecuada para uso en TDM con un solo canal en 1310nm o para DWDM en 1550nm con compensadores de dispersión
- G653, Fibra desplazada por dispersión (DSF)
 - o Exhibe un problema serio de no linealidad de fibra
 - o Es adecuado para TDM a 1550nm pero no para DWDM
- G655, Fibra desplazada por dispersión no cero (NZ-DSF)
 - o Cumple con todos los requerimientos de DWDM

Existen algunos fenómenos físicos que producen problemas de transmisión en las fibras ópticas. Estos pueden ser:

- Efectos Lineales: pueden ser compensados
 - o Atenuación
 - o Dispersión
- Efectos no lineales: se acumulan pero no son críticos en una red de corto recorrido
 - o Dispersión de modo de polarización
 - o Esparcimiento estimulado de Brillouin
 - o Esparcimiento estimulado de Raman
 - o Modulación de auto-fase
 - o Mezcla de cuatro ondas

Atenuación

La atenuación es el decaimiento de la fuerza de la señal, o en otras palabras, la pérdida de potencia de luz a medida que la señal se propaga por la fibra. La

²⁰USACH “TECNOLOGIA DWDM”. URL: <http://www.slideshare.net/gersonchavarriavera/redes-dwdm>

atenuación depende de la longitud de onda a la que se trabaja. Esta dependencia se encuentra ilustrada en la figura 2.4.1.

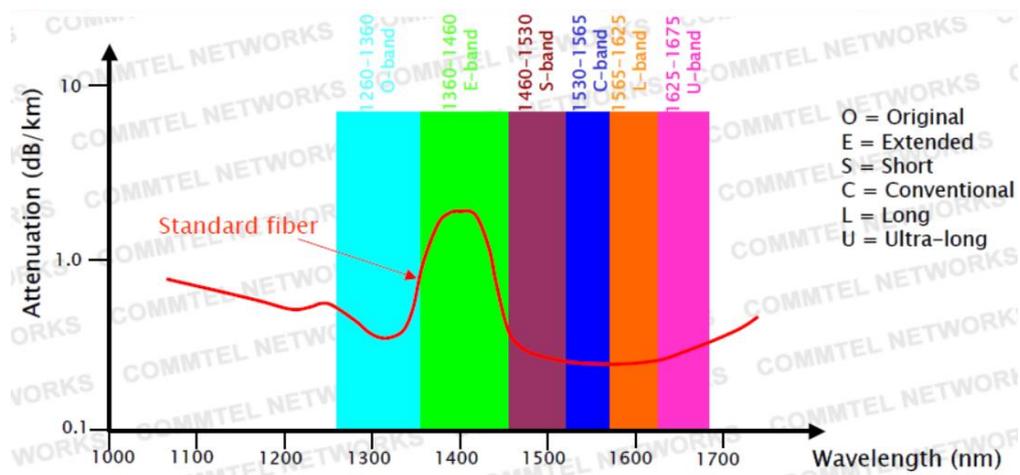


Figura 2.4.1 Atenuación de la señal DWDM en función de la longitud de onda.

Fuente: The Fiber Optic Association, Inc. (FOA).

URL: <http://www.thefoa.org/ESP/Sistemas.htm>

Dispersión

La dispersión es el esparcimiento de los pulsos de luz cuando estos viajan a lo largo de la fibra óptica, esto produce que los mismos se sobrelapen unos con otros lo que resulta más difícil su detección individual²¹.

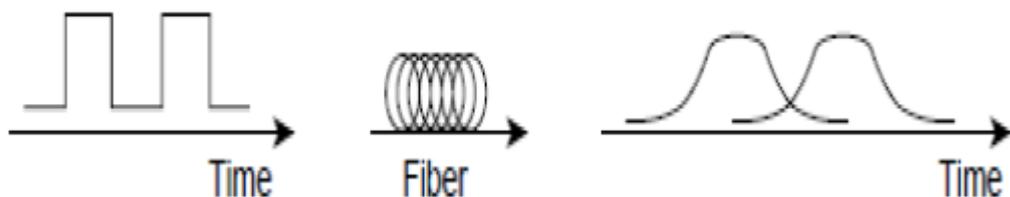


Figura 2.4.1 Atenuación de la señal DWDM en función de la longitud de onda.

Fuente: The Fiber Optic Association, Inc. (FOA).

URL: <http://www.thefoa.org/ESP/Sistemas.htm>

2.5 MULTIPLEXADORES Y DEMULTIPLEXADORES

²¹The Fiber Optic Association, Inc. (FOA). URL: <http://www.thefoa.org/ESP/Sistemas.htm>

Como las señales de los sistemas DWDM viene de varias fuentes y van hacia una fibra, es necesario un mecanismo que permita combinar las señales. Esto es hecho por el multiplexador quien agarra las señales ópticas por así llamarlo de diferentes fuentes y las junta en una sola señal. En el lado del receptor el sistema debe ser capaz de descomponer la señal en sus componentes originales para que cada señal inicial pueda ser detectada.

El proceso de demultiplexar debe ser realizado antes de que la señal sea detectada ya que la foto detectora son dispositivos de banda ancha y no pueden seleccionar una longitud específica de una señal multiplexada.

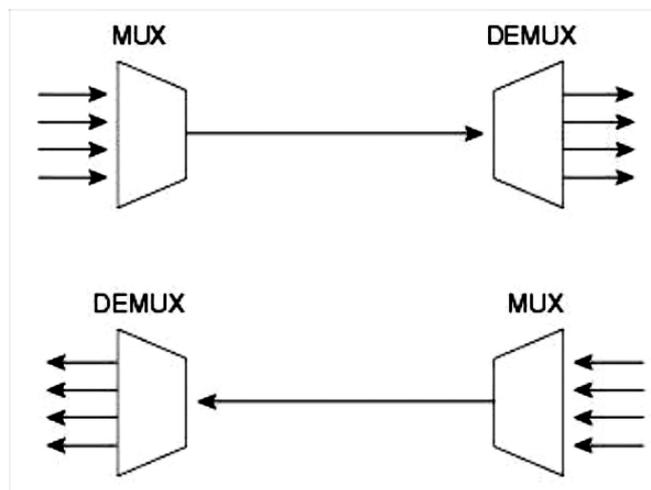


Figura 2.5.1 Funcionamiento de los MUX y DeMUX.

Fuente: The Fiber Optic Association, Inc. (FOA).

URL: <http://www.thefoa.org/ESP/Sistemas.htm>

Además dentro de los MUX y los DeMUX se presentan algunas técnicas:

- **Demultiplexaje por prisma**

No es más que hacer pasar un rayo de luz por el prisma y las diferentes longitudes de onda son refractadas en ángulos diferentes. Estos rayos luego son enfocados por un lente hasta el punto de entrada a una nueva fibra. El mismo proceso puede ser usado a la inversa para multiplexor.

- **Demultiplexaje por difracción.**

Por otra parte esta técnica se basa en el principio de difracción de la luz y lo que se hace es que se hace incidir un rayo policromático de luz sobre un arreglo de líneas finas que reflejan o transmiten la luz, cada longitud de onda se difracta de manera diferente en la rejilla lo que hace que salga hacia sitios diferentes en el espacio. Después se enfocan con un lente hasta la fibra correspondiente.

- **Demultiplexaje por filtrado.**

La idea de esta técnica consiste en sobreponer filtros hasta que solo quede la longitud de onda deseada. Su uso no es práctico cuando hay muchas longitudes de onda multiplexadas ya que se requieren muchos filtros puestos en cascada.

2.5.1 Optical Add Drop Multiplexer (OADM)

Un OADM da de baja o inserta una o más longitudes de onda en algún punto de la línea de transmisión. El OADM no combina o separa todas las longitudes de onda, sino que puede dar de baja unas, inserta otras, y las demás las deja pasar simplemente. Tiene una o más fibra óptica de entrada y sus salidas correspondientes, con múltiples longitudes de onda multiplexada en cada fibra. Las señales que se insertan o separan provienen o tienen como destino a los usuarios. Para entender de mejor manera el concepto de un OADM ver la figura 2.5.2.

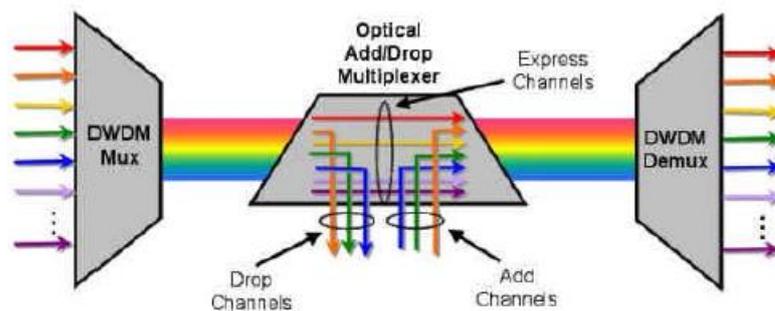


Figura 2.5.2 Función de un OADM.

Fuente: The Fiber Optic Association, Inc. (FOA).
URL: <http://www.thefoa.org/ESP/Sistemas.htm>

2.6 INTERFACES A DWDM

Dentro de una red DWDM los transpondedores son actualmente un determinante clave de la apertura de los sistemas DWDM. Estos convierten las señales entrantes a

señales ópticas de longitud de onda precisa especificada en el estándar ITU. Esta señal eléctrica es, por consiguiente, usada para dirigir un láser WDM. Cada transpondedor dentro de un sistema WDM, convierte esta señal “cliente” en una longitud de onda levemente diferente. Las longitudes de onda provenientes desde todos los transpondedores de un sistema son entonces multiplexadas ópticamente.

En la dirección del receptor se efectúa el proceso inverso. Las longitudes de onda individuales son filtradas desde la fibra multiplexada y alimentan a un transpondedor individual, el cual convierte la señal óptica en eléctrica y conduce una interfaz estándar hacia el “cliente”.

DWDM soporta protocolos como SDH/SONET, IP, señales ATM. Sin embargo, la tendencia hacia futuro es tratar de eliminar protocolos intermedios y transportar paquetes IP directamente a través de DWDM. Esto se puede ver ilustrado en la figura 2.6.1²².

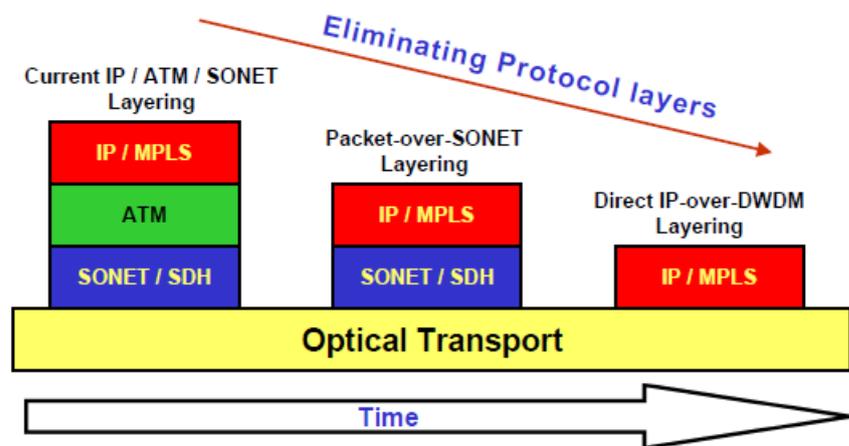


Figura 2.6.1 Tendencia a futuro de DWDM.
Fuente: The Fiber Optic Association, Inc. (FOA).
 URL: <http://www.thefoa.org/ESP/Sistemas.htm>

2.7 PARAMETROS DE TRANSMISION EN SISTEMAS DWDM

²²The Fiber Optic Association, Inc. (FOA). URL: <http://www.thefoa.org/ESP/Sistemas.htm>

Los sistemas DWDM tienen una gran importancia en la capa óptica, la cual es responsable del transporte de las señales a través de la red. Algunos parámetros básicos concernientes a la transmisión óptica son explicados a continuación.

- **Espaciamiento del Canal**

El espaciamiento del canal es la mínima frecuencia de separación entre las diferentes señales multiplexadas en la fibra que puede ser de 200, 100, 50, 25 o 12,5 GHz; los espaciamientos que actualmente estén estandarizados por la ITU son los de 50 y 100 GHz, y constan en la recomendación G.694.1.29.²³

Cuanto menor sea el espaciado, mayor será la diafonía; además, el impacto de algunas no linealidades de la fibra, tales como FWM (mezclado de cuatro ondas), las incrementa. Y dependiendo de los equipos, a medida que el espaciado disminuye también se limita la máxima velocidad de datos por longitud de onda que se desea transmitir.

- **Dirección de la Señal**

Los sistemas DWDM pueden ser implementados de dos formas: unidireccional y bidireccional. En los sistemas unidireccionales todas las longitudes de onda viajan en una misma dirección en la fibra y se necesitan dos de estas para la transmisión en ambos sentidos. Por otro lado, en los sistemas bidireccionales el canal es subdividido en dos bandas, una para cada dirección. Esto quita la necesidad de una segunda fibra, pero se reduce la capacidad del ancho de banda a transmitirse.

- **Ancho de Banda de la Señal**

Los sistemas DWDM son capaces de transportar señales ópticas con grandes anchos de banda. Los típicos sistemas DWDM usan láser que tienen una velocidad de bit de 10 Gbps (OC-192/STM-64) y pueden multiplexar a 240 longitudes de onda.

Esto provee un máximo de 2,4 Tbps sobre una sola fibra óptica. Los nuevos sistemas DWDM serán capaces de soportar velocidades de 40 Gbps (OC-768/STM-

²³URL:<http://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:fyR9GlyowQEJ:dialnet.unirioja.es/de-scarga/articulo/4169349.pdf+&cd=1&hl=es&ct=clnk&gl=ec>

256) por cada longitud de onda con 300 canales multiplexados. A raíz de esto se podrán transmitir 12 Tbps de ancho de banda sobre una misma fibra. Todo esto está condicionado a la posibilidad de transmisión de la fibra óptica y a los sistemas de conmutación.

- **Potencia de la Señal**

La potencia de la señal en los sistemas ópticos decrece exponencialmente con la distancia. La potencia de entrada es proporcionada directamente por el láser emisor y la potencia de salida es el resultado de una amplia gama de sucesos que se presentan a lo largo del enlace óptico, como son: atenuación, dispersión, efectos no lineales en la fibra óptica, aplicación óptica, conversión optoelectrónica, etc.

- **Codificación**

Las señales eléctricas que llevan las diferentes portadoras de información son codificadas cuando son convertidas a señales ópticas para su transmisión y son decodificadas en el receptor óptico, donde serán nuevamente convertidas a señales eléctricas. Los tipos de codificación más utilizados en el dominio óptico son: no retorno a cero (NRZ) y retorno a cero (RZ).

- **Tasa de Bit errado (BER)**

La tasa de bits errados (BER) es igual a la tasa de bits errados en un total de bits transmitidos, los valores de BER de 10^{12} son característicos de la Red Óptica Síncrona (Sonet) y 10^{15} para redes DWDM, especialmente en redes longhaul. El valor de 10^{15} quiere decir 1 bit errado en 10^{15} bits transmitidos.

- **Ruido**

El ruido se presenta en sistemas ópticos que incluyen procesos de aplicación. El OSNR (relación señal a ruido óptico) especifica la razón entre la potencia neta de la señal y la potencia neta del ruido.

2.8 CALCULO A NIVEL DE POTENCIA

El estudio del balance de potencia en un sistema de comunicaciones óptica no es muy diferente del que podría realizarse para cualquier otro sistema de telecomunicaciones, elaborado a través de cualquier otro medio. La diferencia que puede presentarse es en los componentes que se utilizan. El punto de partida son los elementos básicos en los que se puede perder parte de la energía transmitida. Estos son esencialmente en la fibra óptica, los conectores y los empalmes realizados.²⁴

Además de lo anterior es preciso considerar un margen de seguridad, considerando todos los factores anteriores, la expresión general que habrá de calcularse será de la forma:

$$PT_X = PR_{XLimite} + Perdidas + Ms(dB)$$

Donde PT_X es la potencia de salida del transmisor; $PR_{XLimite}$ es la sensibilidad del receptor y M_s , el margen de seguridad. El PowerBudget (ΔP) se calcula como la diferencia entre la potencia de salida del transmisor y la sensibilidad del receptor, que representa el máximo valor de pérdidas que puede tolerar el sistema para asegurar una recepción óptima de nivel de potencia. Si es negativo, indica que el sistema requiere amplificación; si es positivo, indica que el sistema puede funcionar sin necesidad de amplificar la señal.

La atenuación de la fibra es un factor que también se debe tener en cuenta para el diseño a nivel de potencia. Esta atenuación depende directamente del tipo de fibra y de la distancia entre nodos, existen tres métodos para conocerla, y la elección de cada uno depende de la información que tengamos. Se presentan a continuación:

Método 1: Distancia (km) x Atenuación + Margen de diseño + Pérdidas por conectores.

Método 2: Distancia (km) x 0,275 dB / km.

²⁴URL:<http://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:fyR9GlyowQEJ:dialnet.unirioja.es/de-scarga/articulo/4169349.pdf+&cd=1&hl=es&ct=clnk&gl=ec>

Los métodos 1 y 2 son de carácter teórico y se aproximan al valor real de atenuación, pero no tienen en cuenta los problemas que existen en la fibra y que le generan atenuación.²⁵

Método 3: Pérdidas reales + 3dB de margen de diseño.

El método recomendado y que se debe utilizar para un diseño real es el tercero; para ello se debe medir la atenuación de la fibra ya tendida y sumarle un margen de diseño de 3 dB.

2.8.1 CALCULO A NIVEL DE ANCHO DE BANDA

A nivel de ancho de banda (BW) la fibra óptica se comporta como un filtro, El ancho de banda depende de la dispersión temporal que la fibra produce sobre la señal óptica:

$$\Delta T_d = \text{Dispersión temporal total}$$

ΔT_d se compone de dos tipos de dispersiones: dispersión temporal modal (ΔT_m), que se da entre los modos solo de la fibra multimodo; y dispersión temporal cromática, que se da por la dispersión de la señal en el transcurso de la fibra. Esta dispersión se da en los dos tipos de fibra, multimodo y monomodo. Como los sistemas DWDM son de larga distancia, se usa fibra monomodo por su baja atenuación y alcance.²⁶

La dispersión cromática (ΔT_c) está dada por el coeficiente de dispersión cromática (Θ_c), que es una característica de la fibra óptica y determina cuantos nanosegundos (ns) se dispersa en el tiempo la señal óptica por nanómetros (nm) de ancho espectral de la fuente óptica y por kilómetro(km) de la longitud recorrida de dicha señal:

$$\Theta_c = [\text{ns/nm} \cdot \text{km}]$$

²⁵URL:<http://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:fyR9GlyowQEJ:dialnet.unirioja.es/de-scarga/articulo/4169349.pdf+&cd=1&hl=es&ct=clnk&gl=ec>

²⁶URL:<http://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:fyR9GlyowQEJ:dialnet.unirioja.es/de-scarga/articulo/4169349.pdf+&cd=1&hl=es&ct=clnk&gl=ec>

El ancho espectral de la portadora óptica $\Delta\lambda$ [nm] es una característica del equipo, junto con la distancia (L) recorrida por la señal. Entonces, tenemos:

$$\Delta T_c = \Theta_c * \Delta\lambda * L$$

Si por definición se tiene que el ancho de banda en la fibra óptica (BW_{fo}) es igual a:

$$BW_{fo} = 0.44 / \Delta T_d$$

$$\Delta T_d = (\Delta T_m^2 + \Delta T_c^2)^{1/2}$$

Como no hay dispersión modal por tratarse de fibra óptica monomodo, el ancho de banda se puede expresar de la siguiente forma:

$$BW_{fo} = 0.44 / (\Theta_c * \Delta\lambda * L)$$

Se puede observar que el BW de la fibra óptica depende de la distancia recorrida, así que se debe saber el ancho de banda utilizado por la señal a transmitir para saber a qué distancia hay que ubicar un corrector de dispersión cromática.

2.8.2 DISEÑO A NIVEL DE RUIDO

La relación señal a ruido es un factor importante que se debe tener en cuenta para el diseño de estas redes ópticas y es una característica de cualquier sistema de comunicación. En un sistema de comunicación óptico, la relación señal a ruido óptico (OSNR) es la medida del nivel de potencia óptica en (dB) de una señal transmitida, por el nivel de potencia del ruido existente en el sistema (dB). La relación señal a ruido es una medida de cómo una buena señal óptica sobresale a cualquier luz que penetre por accidente en el sistema. La señal debe ser considerablemente más potente que el ruido subyacente.²⁷

La señal reduce su potencia con la distancia en una fibra óptica y debe ser necesariamente elevada en forma periódica, por medio de amplificadores ópticos. No

²⁷URL:<http://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:fyR9GlyowQEJ:dialnet.unirioja.es/de-scarga/articulo/4169349.pdf+&cd=1&hl=es&ct=clnk&gl=ec>

obstante, la ganancia óptica asociada a esos amplificadores debe balancearse contra el ruido adicional que cada amplificador introduce. Los amplificadores ópticos amplían la señal, pero también el ruido indeseado. Mientras menor sea el nivel de la señal y mayor el nivel de ruido, menor será el OSNR. Los receptores aceptan sólo un determinado nivel de OSNR para distinguir las señales del ruido del sistema, lo que se puede expresar de la siguiente manera:²⁸

$$\text{OSNR} = 10 \log(P_s/P_n)$$

Donde P_s es la potencia de la señal y P_n es la potencia del ruido, la figura de ruido está dada por el fabricante para cada elemento del sistema como se observa en la figura 2.7

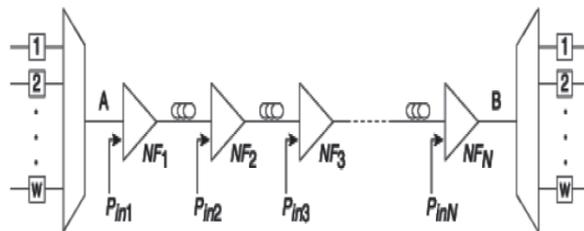


Figura 2.7Figura de Rudo del sistema.

Fuente:URL:<http://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:fyR9GlyowQEJ:dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/4169349.pdf+&cd=1&hl=es&ct=clnk&gl=ec>

²⁸URL:<http://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:fyR9GlyowQEJ:dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/4169349.pdf+&cd=1&hl=es&ct=clnk&gl=ec>

CAPÍTULO III

ESTÁNDARIZACIÓN

3.1 Estándares

3.1.1 Redes SDH/SONET

Son estándares usados para la transmisión o transporte de datos síncronos a través de redes de fibra óptica, SONET (Red óptica Síncrona); SDH (Jerarquía Síncrona Digital), la demanda de conectividad y velocidades de red más rápidas dieron como nacimiento estándares como SONET utilizada en Estados Unidos, Canadá, Corea, Taiwán y Hong Kong y SDH en el resto del mundo, los cuales continúan hoy día creciendo y evolucionando²⁹.

3.1.2 Jerarquía Digital Síncrona (SDH)

Este estándar se aplica en redes de telecomunicaciones de "alta velocidad, y alta capacidad". Más específicamente es una jerarquía digital sincrónica, con un sistema de transporte digital realizado para proveer una infraestructura de redes de telecomunicaciones más simple, económica y flexible³⁰.

Las viejas redes fueron desarrolladas en el tiempo en que las transmisiones punto a punto eran la principal aplicación de la red. Hoy en día los operadores de redes

requieren una flexibilidad mucho mayor. El siguiente gráfico muestra la distribución de trama de un nodo de conexión cruzada plesiocrono³¹.

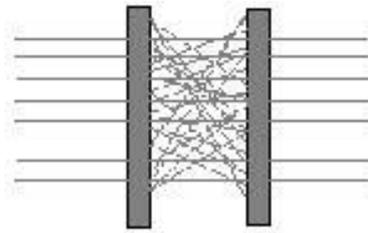


Figura 3.1.1 Estructura de una red PHD punto a punto.

Fuente: Implementación de un Sistema DWDM en la Red Interurbana.

URL: <http://saber.ucv.ve/jspui/bitstream/123456789/2035/1/Implementaci%C3%B3n%20y%20Evaluaci%C3%B3n%20de%20un%20Sistema%20DWDM%20en%20Telcel%20Bel.pdf>

El objetivo de la jerarquía SDH, nacida en los años 80's, era subsanar estas desventajas inherentes a los sistemas PDH, así como también normalizar las velocidades superiores a 140Mb/s que hasta el momento eran propietarias de cada compañía. La tecnología SDH, ofrece a los proveedores de redes las siguientes ventajas ver tabla 3.1.1.

Además con SDH es mucho más fácil crear pasarelas entre los distintos proveedores de redes y hacia los sistemas SONET. Las interfaces SDH están normalizadas, lo que simplifica las combinaciones de elementos de redes de diferentes fabricantes. La consecuencia inmediata es que los gastos en equipamiento son menores en los sistemas SDH que en los sistemas PDH. El motor que genera toda esta evolución es la creciente demanda de más ancho de banda, mejor calidad de servicio y mayor fiabilidad, junto a la necesidad de reducir costos manteniendo la competitividad³².

<i>Altas velocidades de transmisión</i>	<i>Los modernos sistemas SDH logran velocidades de 10 Gbit/s.</i>
---	---

^{28 29 30}Implementación de un Sistema DWDM en la Red Interurbana.

URL: <http://saber.ucv.ve/jspui/bitstream/123456789/2035/1/Implementaci%C3%B3n%20y%20Evaluaci%C3%B3n%20de%20un%20Sistema%20DWDM%20en%20Telcel%20Bel.pdf>

³²Implementación de un Sistema DWDM en la Red Interurbana.

URL: <http://saber.ucv.ve/jspui/bitstream/123456789/2035/1/Implementaci%C3%B3n%20y%20Evaluaci%C3%B3n%20de%20un%20Sistema%20DWDM%20en%20Telcel%20Bel.pdf>

<i>Función simplificada de inserción/extracción</i>	<i>No es necesario demultiplexar y volver a multiplexar la estructura plesiócrona, procedimiento que en el mejor de los casos era complejo y costoso. Esto se debe a que en la jerarquía SDH todos los canales están perfectamente identificados por medio de etiquetas que hacen posible conocer exactamente la posición de los canales individuales.</i>
<i>Alta disponibilidad y grandes posibilidades de ampliación</i>	<i>La tecnología SDH permite a los proveedores de redes reaccionar rápida y fácilmente frente a las demandas de sus clientes, empleando un sistema de gestión de redes de telecomunicaciones, el proveedor de la red puede usar elementos de redes estándar controlados y monitorizados desde un lugar centralizado.</i>
<i>Fiabilidad</i>	<i>Incluyen mecanismos automáticos de protección y recuperación ante posibles fallos del sistema, es decir un problema en un enlace o en un elemento de la red no provoca el colapso de toda la red.</i>
<i>Plataforma a prueba de futuro</i>	<i>Es la plataforma ideal para multitud de servicios, desde la telefonía tradicional, las redes RDSI o la telefonía móvil hasta las comunicaciones de datos (LAN, WAN, etc.) y es igualmente adecuada para los servicios más recientes, como el video bajo demanda (VOD) o la transmisión de video digital vía ATM.</i>
<i>Interconexión</i>	<i>Tendencia hacia velocidades mayores, tal como en el sistema STM-64, pero los costos de los elementos de ese tipo son aún muy elevados, lo que está retrasando el proceso. La alternativa es una técnica DWDM que mejora el aprovechamiento de la fibra óptica monomodo, utilizando varias longitudes de onda como portadoras de las señales digitales y transmitiéndolas simultáneamente por la fibra.</i>

Tabla 3.1.1 Ventajas con SDH.

3.1.3 Componentes de una red SDH

La siguiente figura 3.1.2 es unos diagramas esquemáticos de una estructura SDH en anillo con varias señales tributarias. La mezcla de varias aplicaciones diferentes es típica de los datos transportados por la red SDH. Las redes síncronas deben ser capaces de transmitir las señales plesiócronas y, al mismo tiempo, ser capaces de soportar servicios futuros como ATM. Todo ello requiere el empleo de distintos tipos de elementos de red³³.

³³Implementación de un Sistema DWDM en la Red Interurbana.

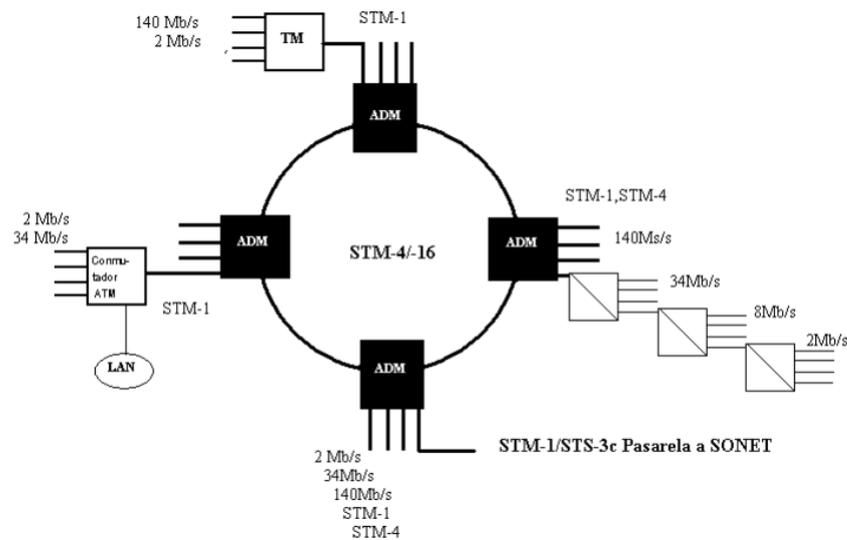


Figura 3.1.2 Diagrama de comunicación en una red Híbrida.

Fuente: Implementación de un Sistema DWDM en la Red Interurbana.

URL:<http://saber.ucv.ve/jspui/bitstream/123456789/2035/1/Implementaci%C3%B3n%20y%20Evaluaci%C3%B3n%20de%20un%20Sistema%20DWDM%20en%20Telcel%20Bel.pdf>

Las redes SDH actuales están formadas básicamente por cuatro tipos de elementos, y la topología de red depende del proveedor de la red y se las conoce como híbridas³⁴.

Regeneradores

Los regeneradores se encargan de regenerar el reloj y la amplitud de las señales de datos entrantes que han sido atenuadas y distorsionadas por la dispersión y otros factores. Obtienen sus señales de reloj del propio flujo de datos entrante. Los mensajes se reciben extrayendo varios canales de 64 kbit/s RSOH. También es posible enviar mensajes utilizando esos canales.

Multiplexores

Se emplean para combinar las señales de entrada plesiócronas y terminales: síncronas en señales STM-N de mayor velocidad.

URL: <http://saber.ucv.ve/jspui/bitstream/123456789/2035/1/Implementaci%C3%B3n%20y%20Evaluaci%C3%B3n%20de%20un%20Sistema%20DWDM%20en%20Telcel%20Bel.pdf>

³⁴Implementación de un Sistema DWDM en la Red Interurbana.

URL: <http://saber.ucv.ve/jspui/bitstream/123456789/2035/1/Implementaci%C3%B3n%20y%20Evaluaci%C3%B3n%20de%20un%20Sistema%20DWDM%20en%20Telcel%20Bel.pdf>

Multiplexores add/drop (ADM)

Permiten insertar o extraer señales plesiócronas y síncronas de menor velocidad binaria en el flujo de datos SDH de alta velocidad. Gracias a esta característica es posible configurar estructuras en anillo, que ofrecen la posibilidad de conmutar automáticamente a un trayecto de reserva en caso de fallo de alguno de los elementos del trayecto.

Transconectores digitales (DXC)

Este elemento de la red es el que más funciones tiene. Permite mapear las señales tributarias PDH en contenedores virtuales, así como conmutar múltiples contenedores, hasta VC-4 inclusive ver figura 3.1.3.

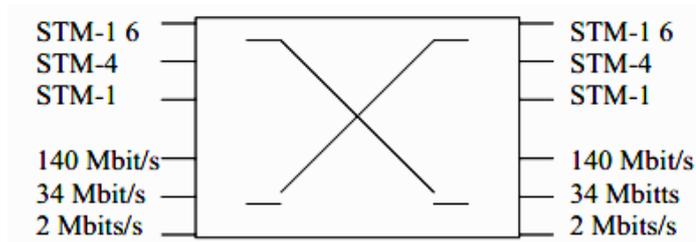


Figura 3.1.3 Transconector Digital DXC.

Fuente: Implementación de un Sistema DWDM en la Red Interurbana.

URL:<http://saber.ucv.ve/jspui/bitstream/123456789/2035/1/Implementaci%C3%B3n%20y%20Evaluaci%C3%B3n%20de%20un%20Sistema%20DWDM%20en%20Telcel%20Bel.pdf>

Gestión de los elementos de la red

La red de gestión de las telecomunicaciones (TMN) se considera un elemento más de la red síncrona. Todos los elementos SDH mencionados hasta ahora se controlan por software, lo que significa que pueden monitorizarse y controlarse desde un lugar remoto, la fibra óptica es el medio físico más habitual en las redes

SDH. La ventaja de la fibra óptica es que no son susceptibles a las interferencias y que pueden transportar las señales a velocidades muy elevadas³⁵.

Velocidad básica 155Mb/s (STM-1)

Técnica de multiplexado a través de punteros

Estructura modular: A partir de la velocidad básica se obtienen velocidades superiores multiplexando byte por byte varias señales STM-1. Las velocidades multiplexadas, a diferencia de PDH, son múltiplos enteros de la velocidad básica.

A través del puntero, se puede acceder a cualquier canal de 2Mb/s.

Posee gran cantidad de canales de overhead que son utilizados para supervisión, gestión, y control de la red.

Tabla 3.1.2 Característica principales de SDH.

Medidas para la Normalización en las redes SDH

La normalización efectuada por distintos organismos (UIT, ETSI, ANSI, Bellcore) debe garantizar el funcionamiento sin errores de todos los elementos de la red, surgen problemas al combinar elementos de redes de distintos fabricantes. Tampoco son infrecuentes los problemas de transmisión en las pasarelas que conectan redes de operadores diferentes. Las funciones de medida integradas en el sistema proporcionan una idea sobre el origen del problema, por ello es mejor emplear equipos de medida independientes, y más aún cuando se trata de monitorizar canales individuales, ya que proporcionan mucha más información de interés para solucionar el problema³⁶.

En términos generales, los equipos de medida SDH deben ofrecer las funciones siguientes como se indica en la tabla 3.1.3:

^{31 32}Implementación de un Sistema DWDM en la Red Interurbana.

URL: <http://saber.ucv.ve/jspui/bitstream/123456789/2035/1/Implementaci%C3%B3n%20y%20Evaluaci%C3%B3n%20de%20un%20Sistema%20DWDM%20en%20Telcel%20Bel.pdf>

Análisis de mapeado	Análisis de alarmas
Alineamiento de interfaces de puertos	Monitorización de identificadores de tramo
Medidas con señales de prueba estructuradas	Análisis de punteros
Medidas en multiplexores add/drop	Comprobación de los sensores integrados en el sistema inserción y extracción de canales
Medidas de retardo	Comprobación de la sincronización de la red
Prueba de los dispositivos de conmutación automática de protección (APS)	Medidas en la interfaz TMN M.21 00
Simulación de la actividad de los punteros	Control de calidad según G.821, G.826 y
Medidas SDH durante, el servicio	Análisis de jitter y wander

Tabla 3.1.3 Funciones de medida de equipos en SDH.

Pruebas de sensores:

Estas medidas se realizan para comprobar la reacción de los componentes del sistema frente a defectos que causan la interrupción del servicio y las anomalías como los errores de paridad y los procedimientos de medida son los análisis a largo plazo y la monitorización del sistema³⁷.

Medida del tiempo de respuesta APS

Cuando se produce un fallo en las redes SDH se activa un mecanismo especial de protección. El enlace defectuoso se reencamina automáticamente a través de un circuito de reserva. Esta función por ejemplo, se controla mediante los bytes K1 y K2 de la cabecera. La conmutación a la línea de protección debe efectuarse en menos de 50 ms. Para comprobar que la conmutación se efectúa correctamente y no tarda más de lo debido hay que emplear equipos de medida externos. Estos equipos miden el tiempo de respuesta cuando se interrumpe intencionadamente la conexión. La medida es muy importante, ya que un excesivo retardo en la respuesta puede ocasionar una

³⁷²⁹Implementación de un Sistema DWDM en la Red Interurbana.

URL: <http://saber.ucv.ve/jspui/bitstream/123456789/2035/1/Implementaci%C3%B3n%20y%20Evaluaci%C3%B3n%20de%20un%20Sistema%20DWDM%20en%20Telcel%20Bel.pdf>

considerable degradación de las prestaciones de la red e incluso el fallo total de ésta con grandes perjuicios económicos para el proveedor de la red³⁸.

3.1.4 Red Óptica Síncrona(SONET)

Es un estándar para el transporte de telecomunicaciones ópticas formulado por la Exchange Carriers Standards Association (ECSA) para la Americana National Standards Institute (ANSI) para las industrias que manejan los estándares de telecomunicaciones y es básicamente una implementación de multiplexado al medio como es la fibra óptica, y forma un estándar norteamericano³⁹.

Reducción en los requerimientos del equipo y un incremento en la fiabilidad de la red.

Establece un estándar de multiplexación usando cualquier número de señales de 51.84 Mbps como piezas constructivas

Soporta la jerarquía CCITT.

Define multiplexado síncrono para llevar señales de menor velocidad. La estructura síncrona facilita grandemente los interfaces con los conmutadores digitales Establece un estándar de señales para la interconexión con equipos de diversos fabricantes.

Define una arquitectura flexible y capaz de adaptarse a las aplicaciones del futuro.

La jerarquía SONET se designa como STS-N donde se combinan N flujos de STS-1 entrelazados a nivel de byte. El correspondiente nivel óptico se denomina OC-N con el mismo significado.

La nomenclatura CCITT no permite es uso de la señal STS-1 de 51.84 Mbps por lo que la mínima velocidad CCITT de SONET es STM-1

En general, SONET define niveles ópticos de carga (OC) y eléctricamente equivalen a señales de transporte síncronas (STSs) para fibra óptica basada en una transmisión jerárquica.

Tabla 3.1.4 Principales características y ventajas de SONET.

³⁹Implementación de un Sistema DWDM en la Red Interurbana.

URL: <http://saber.ucv.ve/jspui/bitstream/123456789/2035/1/Implementaci%C3%B3n%20y%20Evaluaci%C3%B3n%20de%20un%20Sistema%20DWDM%20en%20Telcel%20Bel.pdf>

Sincronización de las señales digitales

En lo que se refiere a señales síncronas, la transición digital de estas señales ocurre exactamente al mismo tiempo, esto permite tener una fase diferente entre la transición de dos señales y esto quedaría dentro de los límites especificados. Esta diferencia de fase puede ser debido a los retrasos de propagación en el tiempo o jitter que se introducen en la transmisión de la red. En una red sincrónica todos los relojes están identificados con una primera referencia de reloj (PRC). Si dos señales digitales son Plesiocronas, sus transiciones ocurren casi a la misma tasa con una variación contenida dentro de los límites⁴⁰.

Aunque estos relojes son extremadamente exactos, esta es la diferencia entre un reloj y otro. En el caso de señales asíncronas, la transición de señales no necesariamente ocurre a la misma tasa. La asincronía en este caso significa que la diferencia entre dos relojes es mucho mayor que una diferencia plesiocrónica, si dos relojes se derivan de dos osciladores diferentes, estos pueden ser descritos como asíncronos⁴¹.

Sincronización Jerárquica

Los interruptores cruzados y los sistemas digitales de conexión cruzada son comúnmente empleados en las redes digitales de sincronización jerárquica, la red está organizada con una relación maestro esclavo entre los nodos de los relojes de más alto nivel y los nodos de reloj de menor nivel. Todos los nodos pueden ser montados a la fuente de referencia primaria, un estrato 1 reloj atómico con una muy alta estabilidad y exactitud. Los relojes menos estables son adecuados para soportar nodos más bajos⁴².

^{36 37 38}Implementación de un Sistema DWDM en la Red Interurbana.

URL: <http://saber.ucv.ve/jspui/bitstream/123456789/2035/1/Implementaci%C3%B3n%20y%20Evaluaci%C3%B3n%20de%20un%20Sistema%20DWDM%20en%20Telcel%20Bel.pdf>

SONET Sincronizado

El reloj interno de una terminal SONET puede derivarse de una señal de tiempo para construir un suministro de tiempo integrado usado para sistemas de interruptores y otros equipos. Así, estas terminales como un maestro para otros nodos SONET proporcionando tiempos sobre las salidas de señales OC-N mientras que otros nodos SONET operarán como el modo de esclavos llamados looptiming con sus propios relojes internos para las entradas de las señales OC-N, otros estándares especifican que las redes SONET deben ser capaces de derivar este tiempo o un reloj más alto.

3.1.5 Elementos de la Red SONET

Multiplexor Terminal

Se necesita cuando, debido a la larga distancia que existe entre los multiplexores el nivel de la señal en la fibra es muy bajo. El regenerador de reloj se apaga al recibir la señal y reemplaza esa sección overhead bytes antes de retransmitir la señal, y la sección overhead, payload y POH no se alteran⁴³.

Multiplexor Add/Drop (ADM)

SONET no tiene restricciones entre los fabricantes para proporcionar un solo tipo de producto. No requiere proporcionarles todos los tipos, es decir si un proveedor puede ofrecer un multiplexor add/drop con acceso a tasas DS-1 y DS-3. Una simple entrada del multiplexor o demultiplexor, puede multiplexar varias entradas en una señal OC-N. En un sitio Add/Drop, solo aquellas señales que necesitan ser accedadas son insertadas o extraídas. El tráfico que permanece continuo a través de la red sin requerimientos especiales pasa a través de unidades u otras señales procesadas.

En aplicaciones rurales, un ADM puede ser desplegado en un sitio terminal o en una locación intermedia para consolidar el tráfico para locaciones ampliamente

³⁹Implementación de un Sistema DWDM en la Red Interurbana.

URL: <http://saber.ucv.ve/jspui/bitstream/123456789/2035/1/Implementaci%C3%B3n%20y%20Evaluaci%C3%B3n%20de%20un%20Sistema%20DWDM%20en%20Telcel%20Bel.pdf>

separadas. Varias ADMs pueden ser configuradas como un anillo. SONET permite dejar caer y repetir, una llave capaz en ambas aplicaciones de TV cable y telefonía.⁴⁴

Con caída y repetición, una señal terminada en un nodo es duplicada y es enviada al siguiente nodo.

ADM proporciona interfaces entre las diferentes señales de redes y señales SONET.

Digital Loop Carrier (DLC)

El lazo de transporte digital (DLC) puede ser considerado como un concentrador de servicios de baja velocidad, esta concentración de suscriptores o líneas que la central local podría utilizar estaría limitado por el número de líneas servidas por la central local. El DLC actualmente es un sistema de multiplexores e interruptores designados a permanecer concentrados en terminales remotas a la comunidad dial de la oficina y para la central local⁴⁵.

Considerando que un multiplexor SONET debe ser desplegable a la del cliente, un DLC está pensado para servicios en la central local o para controlar la bóveda del ambiente que pertenece al transporte.

Tasas de BIT y designaciones

Las tramas y señales de los distintos niveles de la jerarquía SONET se obtienen mediante multiplexado síncrono a nivel de bytes. Estas señales se conocen con el nombre de STS-n (señal de transporte síncrona de nivel n) donde $n = 1, 3, 12, 48, 192$. Por otro lado y en el caso de SDH, las señales se conocen con el nombre de STM-n (módulo de transporte síncrono de nivel n), donde $n = 1, 4, 16, 64$. Los niveles estándar de las jerarquías SONET y SDH se resumen en la tabla 3.1.5.

^{40 41}Implementación de un Sistema DWDM en la Red Interurbana.

URL: <http://saber.ucv.ve/jspui/bitstream/123456789/2035/1/Implementaci%C3%B3n%20y%20Evaluaci%C3%B3n%20de%20un%20Sistema%20DWDM%20en%20Telcel%20Bel.pdf>

SONET	SDH	Señal Óptica	Tasa (Mbps)
STS-1	STM-0	OC-1	51.84
STS-3	STM-1	OC-3	155.52
STS-9	STM-3	OC-9	466.56
STS-12	STM-4	OC-12	622.08
STS-18	STM-6	OC-18	933.12
STS-24	STM-8	OC-24	1244.16
STS-36	STM-12	OC-36	1866.24
STS-48	STM-16	OC-48	2488.32
STS-192	STM-64	OC-192	9953.28
STS-768	STM-254	OC-768	39813.12

Tabla 3.1.5 Tasa de bits en SONET/SDH.

3.2 Aplicabilidad de la norma SONET/SDH en el Ecuador

3.2.1 Arquitectura de red SONET/SDH

Los elementos básicos de una red óptica SONET/SDH son: sistemas ópticos de línea, multiplexores terminales, add-drop multiplexers (ADMs) y digital crossconnects (DXCs). Los sistemas ópticos de línea están formados por fibras ópticas, amplificadores y regeneradores, entre otros, que proporcionan la capacidad de transmisión de la red SONET/SDH⁴⁶.

La forma de conectar entre sí los anteriores elementos de red proporciona la topología de la red SONET/SDH, la cual puede ser muy variada. De este modo, se pueden tener topologías en anillo, malla, estrella o árbol-rama. De entre todas ellas, las más comunes son el anillo y la malla como se puede ver en la figura 3.2.1.

En el caso de la malla, cada nodo de red puede conectarse con cualquier otro por medio de DXCs. Esta topología permite gran número de rutas alternativas en caso de caída de algún elemento de red o de corte de alguna fibra. Suele utilizarse en el

⁴⁶Redes ópticas basadas en el estándar SONET/SDH.

URL:http://moodle.unid.edu.mx/dts_cursos_md/maestria_en_tecnologias_de_informacion/tem_sel_r edes/sesion7/actividades/RedesSONET.pdf

núcleo de la red. Por otro lado, el anillo consiste en una concatenación de ADMs, cada uno de los cuales se encarga de insertar y extraer tráfico del anillo desde y hacia una determinada área⁴⁷.

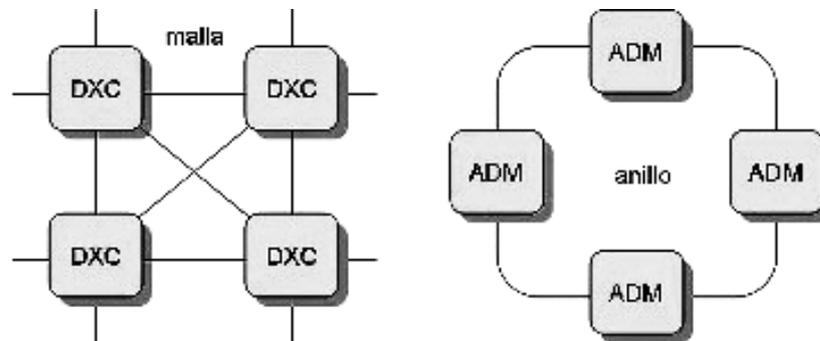


Figura 3.2.1 Topología Malla y Anillo en SONET/SDH.

Fuente: Redes ópticas basadas en el estándar SONET/SDH.

URL:http://moodle.unid.edu.mx/dts_cursos_md/maestria_en_tecnologias_de_informacion/tem_sel_r edes/sesion7/actividades/RedesSONET.pdf

Todas estas topologías de red pueden combinarse y enlazarse entre sí para formar arquitecturas de red más complejas. Así, por ejemplo, varios anillos pueden enlazarse entre sí por medio de un anillo mayor utilizando DXCs para enrutar el tráfico en los puntos de unión de dos de los anillos.

En la siguiente figura 3.2.2 se muestra una posible arquitectura de red, varios anillos SONET/SDH que se encargan de recoger el tráfico de diferentes usuarios por medio de ADMs y encaminarlo por medio de DXCs hacia una o varias redes metropolitanas, del mismo modo, estas redes metropolitanas disponen de enlaces con redes de largo alcance (backbone) basadas en DWDM y que suelen tener una estructura tipo malla.

⁴⁷Redes ópticas basadas en el estándar SONET/SDH.

URL:http://moodle.unid.edu.mx/dts_cursos_md/maestria_en_tecnologias_de_informacion/tem_sel_r edes/sesion7/actividades/RedesSONET.pdf

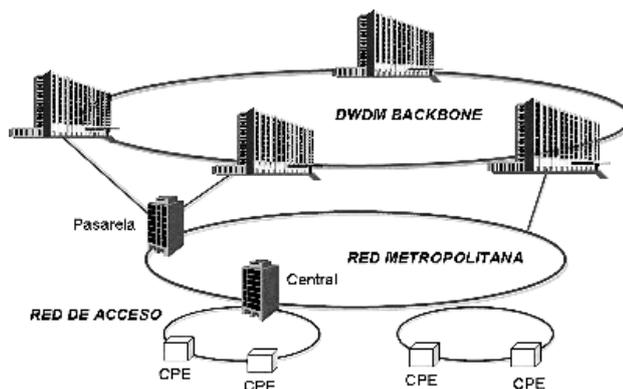


Figura 3.2.2 Arquitectura de una red SONET/SDH.

Fuente: Redes ópticas basadas en el estándar SONET/SDH.

URL:http://moodle.unid.edu.mx/dts_cursos_md/maestria_en_tecnologias_de_informacion/tem_sel_redes/sesion7/actividades/RedesSONET.pdf

Anillos SONET/SDH

Los anillos SONET/SDH son la arquitectura de red más común debido a su implementación por su fácil gestión. El elemento clave para la construcción de anillos SONET/SDH es el ADM (add-dropmultiplexer). Como se comentó anteriormente, un ADM puede insertar o extraer señales STS-1 o VTs individualmente, a la vez que permite el paso del resto del tráfico sin ningún tipo de procesamiento costoso. Adicionalmente, también se encarga de realizar diversas funciones para mantener la supervivencia de la red⁴⁸.

Existen tres tipos de configuraciones de anillos estandarizadas y que se conocen como: anillo unidireccional con conmutación de ruta (UPSR, unidirectional path switched ring), anillo bidireccional de dos fibras con conmutación de línea (BLSR/2, two-fiber bidirectional line-switched ring) y anillo bidireccional de cuatro fibras con conmutación de línea (four-fiber bidirectional line-switched ring).

UPSR

Consiste en dos anillos de fibra que propagan las señales de forma unidireccional y sentidos contrarios, tal y como se muestra en la figura 3.2.3 La protección se consigue enviando simultáneamente dos copias idénticas de la señal sobre los dos

⁴⁸Redes ópticas basadas en el estándar SONET/SDH.

URL:http://moodle.unid.edu.mx/dts_cursos_md/maestria_en_tecnologias_de_informacion/tem_sel_redes/sesion7/actividades/RedesSONET.pdf

anillos, posteriormente, en el destino se selecciona la señal del anillo con mejor calidad, basándose en la monitorización de ciertos parámetros de las señales. Este mecanismo de protección se conoce como conmutación 1+1, y no requiere ningún tipo de comunicación entre los diferentes nodos de la red. Por lo tanto, puede implementarse fácilmente y permite la recuperación de la forma más rápida⁴⁹.

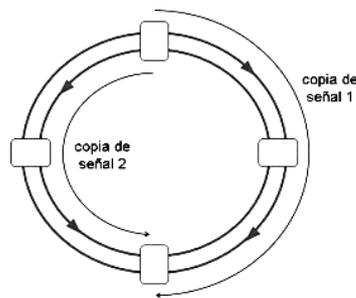


Figura 3.2.3 Esquema UPSR.

Fuente: Redes ópticas basadas en el estándar SONET/SDH.

URL:http://moodle.unid.edu.mx/dts_cursos_md/maestria_en_tecnologias_de_informacion/tem_sel_r edes/sesion7/actividades/RedesSONET.pdf

No obstante, el UPSR no utiliza el ancho de banda eficientemente. El requisito de ancho de banda del UPSR sobre un tramo de fibra situado entre dos nodos es el máximo, ya que no es posible reutilizar el ancho de banda de ninguna forma.

Resulta imposible transmitir tráfico extra porque la capacidad destinada a la protección se encuentra siempre reservada para una posible conmutación. La arquitectura UPSR alcanza su máxima eficiencia cuando todo el tráfico del anillo se encamina entre un nodo concentrador y otros nodos remotos, es decir, un modelo de tráfico centralizado. Esta arquitectura es pues adecuada para redes de acceso⁵⁰.

BLSR/2

Consiste en dos anillos, las señales de cada uno de los anillos viajan en sentido contrario, tal y como se representa en la figura 3.2.4. Al mismo tiempo, la mitad de la capacidad de cada anillo se utiliza para transportar el tráfico de la red se le conoce

⁴⁹Redes ópticas basadas en el estándar SONET/SDH.

URL:http://moodle.unid.edu.mx/dts_cursos_md/maestria_en_tecnologias_de_informacion/tem_sel_r edes/sesion7/actividades/RedesSONET.pdf

como capacidad de trabajo, mientras que la otra mitad se reserva como protección o capacidad de protección⁵¹.

Así, los canales operativos de un anillo se protegen con los canales de protección del otro anillo. Evidentemente, como todavía no se está hablando de WDM, estos canales se identifican desde un punto de vista temporal (Multiplexación TDM). Por ejemplo, en un anillo OC-n el tráfico a transmitir se coloca en las primeras $n/2$ ranuras temporales STS-1, sirviendo de protección las restantes $n/2$ ranuras temporales STS-1. A diferencia de la protección 1+1, aquí en un determinado instante de tiempo sólo se transmite una copia de las señales.

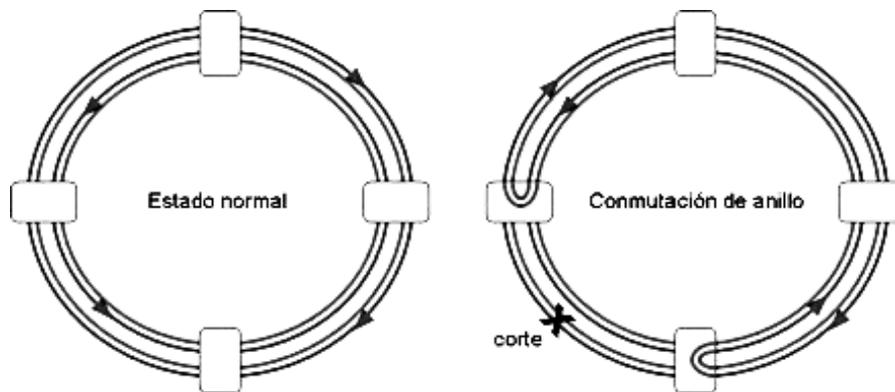


Figura 3.2.4 Esquema BLSR/2.

Fuente: Redes ópticas basadas en el estándar SONET/SDH.

URL:http://moodle.unid.edu.mx/dts_cursos_md/maestria_en_tecnologias_de_informacion/tem_sel_redes/sesion7/actividades/RedesSONET.pdf

En una situación normal, las señales se transmiten utilizando únicamente la capacidad de trabajo, mientras que la capacidad de protección puede utilizarse para transportar tráfico extra de baja prioridad (acceso de protección). En caso de fallo en algún enlace, la situación se restaura por medio de la conmutación del anillo. La detección de posibles fallos se realiza mediante la monitorización de ciertos parámetros a nivel físico que determinan la calidad o la pérdida del canal de señal⁵².

³⁸ ³⁹Redes ópticas basadas en el estándar SONET/SDH.

URL:http://moodle.unid.edu.mx/dts_cursos_md/maestria_en_tecnologias_de_informacion/tem_sel_redes/sesion7/actividades/RedesSONET.pdf

⁵²Redes ópticas basadas en el estándar SONET/SDH.

URL:http://moodle.unid.edu.mx/dts_cursos_md/maestria_en_tecnologias_de_informacion/tem_sel_redes/sesion7/actividades/RedesSONET.pdf

BLSR/4

Utiliza cuatro anillos de fibra tal y como se muestra en la figura 3.2.5 dos de los anillos de fibra con diferentes sentidos de propagación se dedican a la capacidad de trabajo, mientras que los otros dos se destinan al tráfico de protección. El tráfico se envía normalmente a través de los anillos de trabajo hasta la utilización máxima de estas fibras. Se permite además acceso de protección como en BLSR/2. Debido a la separación entre los anillos de trabajo y de protección, BLSR/4 soporta tanto conmutación de tramo (directamente entre dos nodos) como conmutación de anillo (a lo largo de la ruta más larga entre dos 7/9 nodos). Ambos esquemas de protección se muestran en la figura 3. Su funcionamiento es muy similar al caso de BLSR/2, existiendo un protocolo de intercambio de mensajes APS. El entorno más apropiado para la utilización de BLSR/4 es en el caso de redes metropolitanas de largo alcance, ya que duplica el ancho de banda de utilización y posee un grado mayor de protección.

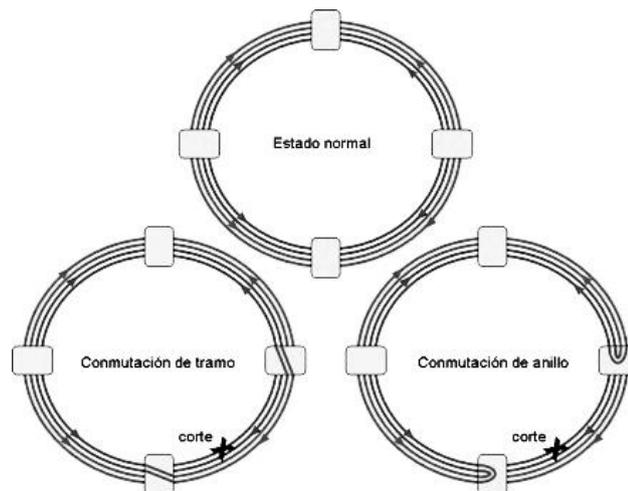


Figura 3.2.5 Esquema BLSR/4.

Fuente: Redes ópticas basadas en el estándar SONET/SDH.

URL:http://moodle.unid.edu.mx/dts_cursos_md/maestria_en_tecnologias_de_informacion/tem_sel_redes/sesion7/actividades/RedesSONET.pdf

Redes SONET/SDH en malla

La topología del núcleo de las redes de transporte ópticas ha sido históricamente en malla, interconectando entre sí los DXCs por medio de enlaces de fibra punto a punto, en las redes SONET/SDH en malla se proporcionan mecanismos de

protección y restauración más económicos que en el caso de los de anillos. Cuando ocurre algún corte, el DXC conmuta las conexiones de los enlaces fallidos y las enruta hacia otros enlaces con capacidad disponible. La topología en malla proporciona flexibilidad en el uso de la capacidad de la fibra, además, la mayor conectividad que brinda la topología en malla le confiere una mayor supervivencia que en el caso de la red en configuración anillos, los cuales en general pueden restaurar solamente un único fallo en un nodo o un enlace.

En la práctica, se han propuesto multitud de mecanismos de restauración para redes en malla genéricas. Estos mecanismos pueden clasificarse desde diversos puntos de vista: en función de los métodos de cálculo y ejecución de la ruta (centralizado frente a distribuido), en función del tipo de enrutado (basado en enlace o ruta) y en función del tiempo de cálculo (precalculado o en tiempo real) después de que se ha producido el fallo⁵³.

⁵³Redes ópticas basadas en el estándar SONET/SDH.

URL:http://moodle.unid.edu.mx/dts_cursos_md/maestria_en_tecnologias_de_informacion/tem_sel_redes/sesion7/actividades/RedesSONET.pdf

CAPÍTULO IV

CARACTERIZACION Y MANUAL

4.1. Caracterización de la Fibra óptica Monomodo Para una red DWDM

La tecnología DWDM ofrece una solución para hacer un uso más eficiente y flexible en redes de fibra óptica. Conforme aumenta la demanda de ancho de banda de los usuarios, las redes ópticas DWDM se convierten en la mejor opción debido a las altas tasas de velocidad que maneja, por tal razón su infraestructura necesita un tratamiento diferente en comparación a tecnologías anteriores de fibra óptica.

Para proporcionar servicios de calidad es indispensable comprobar periódicamente que los equipos y la infraestructura de fibra óptica de la red cumplen las especificaciones y están operando de manera fiable. La integración de servicios de Caracterización de fibra óptica en DWDM ayuda a los usuarios a entender los problemas y a optimizar el performance de la red, identificando limitaciones en cada fibra, para luego tomar acciones correctivas necesarias.

Al mismo tiempo, los dispositivos empleados en dichas redes deben caracterizarse con precisión durante y tras el proceso de instalación.

El proceso de caracterización de la fibra se basa en las normas internacionales ITUG652 e ITU G650.30, los parámetros más relevantes descritos en dichas recomendaciones son:

- La dispersión cromática. (CD)
- Dispersión por modo de polarización (PMD)
- La atenuación en los diferentes puntos (empalmes, conectores) (OTDR)
- Perdidas por Retorno óptico (ORL)
- Insertion Loss (OLTS)
- Análisis de canales DWDM (OSA)

4.2 MANUAL

A continuación se describirá los parámetros requeridos para realizar una caracterización de fibra óptica en DWDM, cuales son los equipos de medición necesarios para cada parámetro y un análisis de los resultados contrastando los valores obtenidos con estándares dados por normas ITU y fabricantes de fibra óptica para determinar el rendimiento y el performance de una red, con el fin de asegurar la funcionalidad y disponibilidad del medio óptico de transmisión.

Para realizar el proceso de caracterización en el presente manual se propone utilizar la plataforma modular JDSU MTS 8000, la cual nos permite intercalar módulos ópticos de acuerdo al parámetro que se necesite encontrar.



Figura 4.1 Plataforma modular T-BERD®/MTS-8000

Fuente:JDSU manual “Test-and-Measurement” T-BERD®/MTS-8000. URL:
<http://www.jdsu.com/en-us/Test-and-Measurement/Products/a-z-product-list/Pages/mts-8000.aspx?rcode=mts-8000>

De acuerdo al módulo instalado, el equipo nos muestra en su pantalla una gráfica con los resultados de las mediciones para poder realizar un análisis o correcciones en el enlace; adicionalmente se pueden guardar todas estas mediciones para luego ser descargadas en una computadora lo cual nos permite visualizarlas y guardarlas mediante el software **Optical_Fiber_Trace_Viewer** para la PC el cual viene incluido con el equipo JDSU MTS 8000, con esto se puede realizar un análisis más detallado de la medición ya que nos permite exportar la imagen en diferentes formatos como jpg, pdf, doc, xls para poder generar un informe con todas las mediciones tomadas.

Este software puede ser utilizado para plataformas Windows, MacOS, Linux

Las trazas obtenidas se muestran en una ventana que provee las funciones y comandos requeridos para el análisis de trazas.

La siguiente gráfica presenta una imagen de un ejemplo de medición en la cual se explica las principales características.

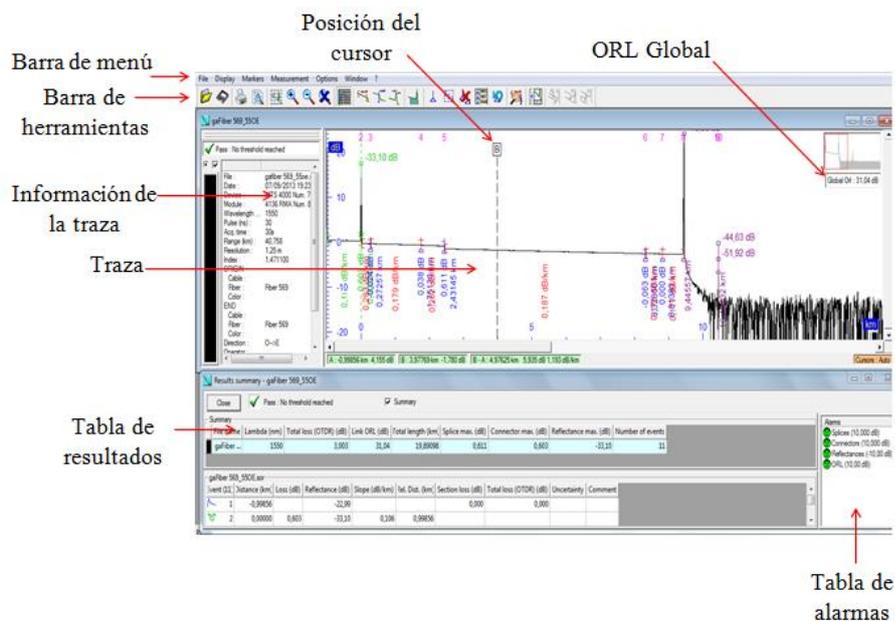


Figura. 4.2 Muestra de traza (ejemplo con OTDR)
Fuente: Software Optical_Fiber_Trace_Viewer

- **Barra de Menú:** Muestra las configuraciones generales del software, como abrir, exportar, visualizar diferentes parámetros, marcar entre otras.
- **Barra de Herramientas:** Brinda opciones para la traza tales como zoom, grillas, etiquetas, cursor, entre otras.
- **Información de la traza:** Indica las propiedades de la gráfica tales como nombre, fecha de medición, ventana de trabajo, resolución, velocidad de pulsos.
- **Traza:** Muestra la imagen con las características del enlace.
- **Tabla de resultados:** Muestra los valores resultados de la traza tales como distancia, perdidas, reflectancias, número de eventos.

- **Posición del cursor:** Presenta dos cursores los cuales permiten limitar el análisis a una distancia determinada para realizar subdivisiones para cada evento que se presente.
- **ORL Global:** Muestra el valor final de la medición, para el ejemplo es el resultado de las pérdidas de retorno óptico en el enlace.
- **Tabla de alarmas:** Muestra las alarmas en caso de que los eventos superen los límites establecidos.

Simbologías en el OTDR



CONECTOR



ODF



EMPALME DE FUSION



BOBINA DE LANZAMIENTO

A continuación se detallan los procesos planteados para realizar una caracterización de fibra óptica en DWDM.

4.3 Dispersión cromática (CD)

Determina la dispersión total del enlace óptico y la máxima velocidad que puede soportar la fibra actual. La Dispersión Cromática (CD) limita la tasa de transferencia y distancia máxima de transmisión. Esta prueba se realiza de manera Unidireccional (SingleShoot).

La Dispersión Cromática de una fibra se expresa en $\text{ps} / (\text{nm} \cdot \text{km})$, representando el retraso, o incremento de tiempo (en ps), para una fuente con una anchura espectral de 1 nm que viaja en 1 kilómetro de fibra.

El ensanchamiento que sufren los pulsos de luz, denominados dispersión, son consecuencia de las propiedades físicas del medio de transmisión. Las fibras monomodo, usadas en redes ópticas rápidas, están sujetas a la Dispersión Cromática (CD) que causa un ensanchamiento de los pulsos de luz según la longitud de onda.

Un ensanchamiento excesivo provocará una superposición de los pulsos y errores en la decodificación.

4.3.1 Medición de CD

Para obtener los valores CD en una red de fibra óptica se propone utilizar la plataforma modular **JDSU MTS 8000- Modulo CD**, en la figura 4.2 representa el resultado de una medición de CD con el equipo descrito anteriormente.

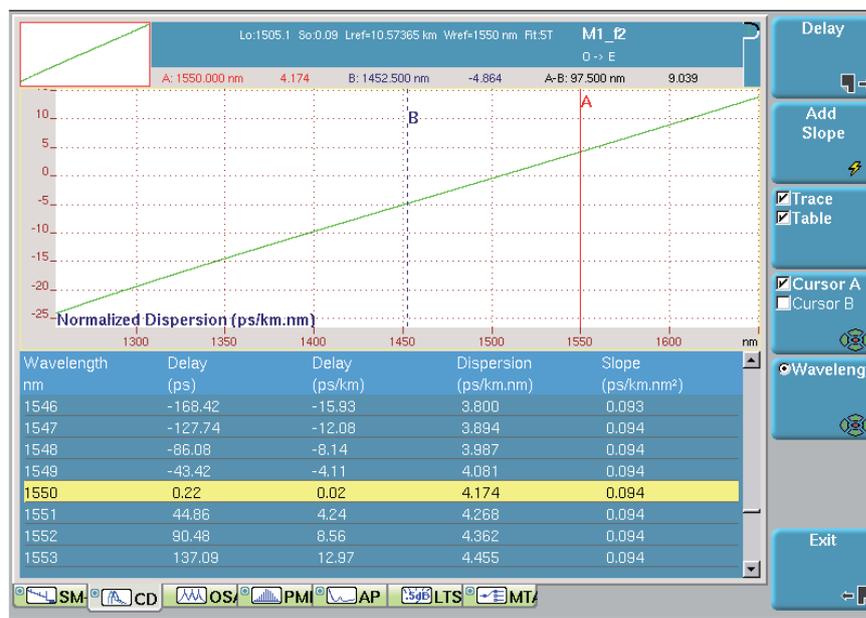


Figura 4.3 Traza CD con equipo JDSU MTS 8000

Fuente: JDSU Test-and-Measurement/.URL: <http://www.jdsu.com/en-us/Test-and-Measurement/products/a-z-product-list/Pages/i-pmd-for-t-berd-mts-8000.aspx>

En la figura 4.2 se muestra el coeficiente de dispersión cromática en función de la longitud de onda, para el ejemplo se observa que para una longitud DWDM de 1550nm corresponde un coeficiente de dispersión cromática de 4.174 ps/nm*Km.



Figura 4.4Modulo de Dispersión CromáticaT-BERD

Fuente: URL: <http://www.jdsu.com/en-us/Test-and-Measurement/Products/a-z-product-list/Pages/ODM.aspx>



T-BERD/MTS-8000

Figura4.5T-BERD/MTS-800 Optical Dispersion Measurement Modules for T-BERD
Fuente: URL:<http://www.jdsu.com/en-us/Test-and-Measurement/Products/a-z-product-list/Pages/ODM.aspx>

4.3.2 Análisis de resultados para mediciones de CD

En algunos parámetros se varía la tolerancia para ajustar los estándares a las nuevas necesidades de mayor distancia y velocidad de transmisión así como unos valores máximos y mínimos para limitar la CD entre 1530 y 1565 nm, como se muestra en la tabla 4.1.

Coeficiente de dispersión cromática de 1530-1565nm	λ min y max	1530- 1565nm
	Dmin	0,1 ps/nm*Km
	Dmax	6,0 ps/nm*km

Tabla 4.1 Características de CD para la fibra. G.655.

La CD varía de unos tipos de fibra a otras, como valores típicos de referencia se pueden tomar estos:

- G.652 16.5 ps / (nm*km)
- G.655 4.2 ps / (nm*km)

Cuando el coeficiente CD supere los 6,0 ps/nm*km se debe considerar compensación de CD (CDFM). Estos equipos permiten eliminar la limitación por CD en las redes ópticas.

4.4 Dispersión por modo polarización (PMD)

La Dispersión por Modo de Polarización, PMD es un efecto de dispersión óptico que limita la capacidad de transmisión a altas velocidades, especialmente en aquellas velocidades por encima de los 10 Gbps, que son características para una red DWDM. Este es un parámetro difícil de medir y compensar dada su naturaleza estadística, depende fuertemente de las condiciones físicas del cable (ambientales y mecánicas), y además de todas las características técnicas de su fabricación, produciendo un ensanchamiento y distorsión de los pulsos en el medio de transmisión.

El origen físico de la PMD es fundamentalmente la birrefringencia de la fibra, que se produce por las diferencias en las constantes de propagación en los ejes ortogonales.

Estas diferencias se presentan por imperfecciones en el proceso de fabricación de la fibra o como resultado de fuerzas externas que producen doblados y tensiones en la

fibra, la birrefringencia tiene un carácter aleatorio en función de la distancia y del tiempo.

Si la fibra fuera perfecta, con una geometría uniforme, homogeneidad en el material y sin efectos de tensión, ambos modos (componente horizontal y vertical) del campo eléctrico, se propagarían exactamente a la misma velocidad y no existiría degradación sobre los bits transmitidos.

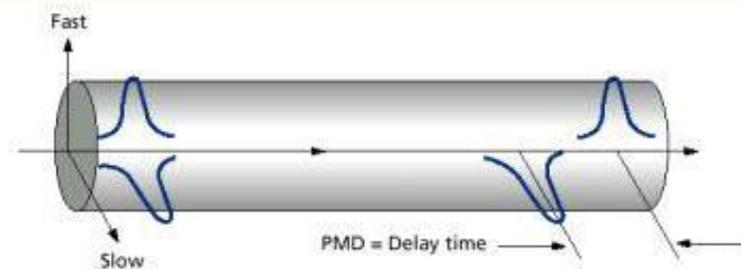


Figura 4.6 PMD en Fibra de Modo Simple cuya asimetría es uniforme a lo largo de su longitud
Fuente: Rojas Luis, Matheus Jhon, Marín Javier, “ESTUDIO DEL FENÓMENO DE DISPERSIÓN POR EL MODO DE POLARIZACIÓN DE ONDA”

4.4.1 Medición de (PMD)

Para obtener los valores PMD en una red de fibra óptica se propone utilizar la plataforma modular **JDSU MTS 8000- Modulo PMD** utilizando dicho equipo para una medición de una red DWDM se tiene una gráfica como se presenta a continuación como ejemplo:

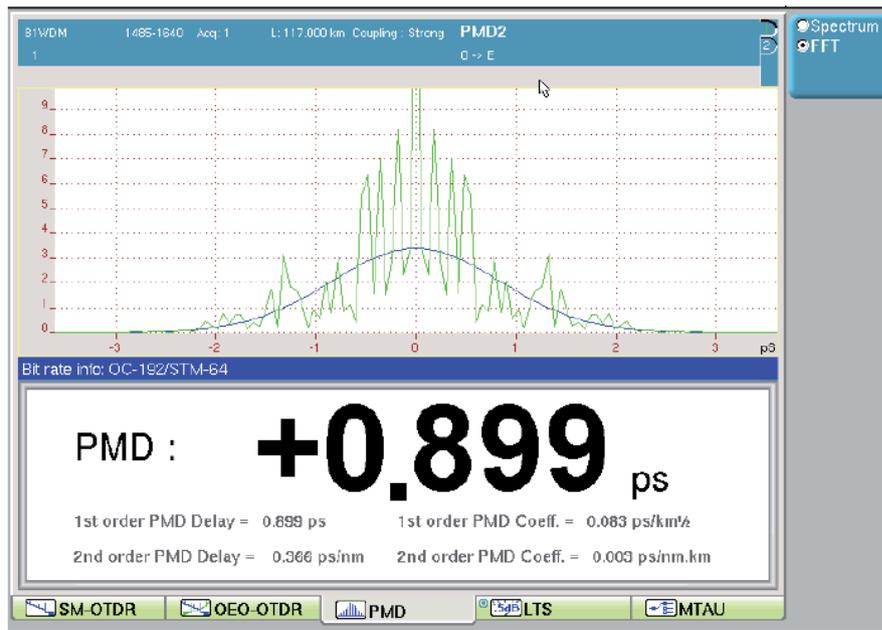


Figura 4.7 Representación de la medición del PMD con el equipo JDSU MTS 8000
Fuente: JDSU_MTS-8000_Optical_Test_Platform

4.4.2 Análisis de resultados para mediciones de PMD

En esta imagen se representa la gráfica del PMD, la cual está en función del parámetro DGD que es el retardo de grupo diferencial, este dato es entregado por los fabricantes; la gráfica se representa en su eje vertical por la intensidad normalizada en picos de energía, y el eje horizontal en picosegundos, mientras mayor es el DGD mayor será el ensanchamiento y deformación del ancho de pulso, dentro de la dispersión del PMD la probabilidad cumple un papel fundamental para el retardo de grupo diferencial para una sección de fibra, entonces para este ejemplo tenemos un retardo PMD de 0.899 *ps* con lo cual se tiene un coeficiente de PMD de 0.083 *ps/√km*, si tenemos coeficientes $>0.5 \text{ ps}/\sqrt{\text{km}}$ según las normas ITU-T G655, produciendo afectación para los datos transmitidos, como distorsiones de audio y videos.



Figura 4.8Modulo de E81PMD (PMD)
Fuente: JDSU_MTS-8000_Optical_Test_Platform

En la tabla 4.2 se tiene valores de retardo y coeficiente de PMD entregados por el fabricante de fibra óptica FURUKAWA para diferentes velocidades y una distancia de 100Km utilizando el tipo de fibra G.655; se observa que a mayor tasa de bits los parámetros de PMD son más exigentes para garantizar una transmisión.

Tasa de bit	Max. Retardo del PMD	Coefic. Max. PMD para 100 Km
1.2 Gbps	80 ps	$8 \text{ ps}/\sqrt{\text{km}}$
2.5 Gbps	40 ps	$4 \text{ ps}/\sqrt{\text{km}}$
10 Gbps	10 ps	$1 \text{ ps}/\sqrt{\text{km}}$
40Gbps	2.2 ps	$0.25 \text{ ps}/\sqrt{\text{km}}$

Tabla 4.2 Características de PMD para una distancia de 100 Km

Estos parámetros de PMD son entregados por cada fabricante de fibra, y pueden variar de uno a otro incluso a distancias iguales debido a que el PMD. Para distancias diferentes a los 10 Km se debe buscar los valores entregados por el fabricante.

Los valores de referencias tomados de la ITU-T para garantizar una transmisión son:

- G.652 max.0,2 ps/ $\sqrt{\text{km}}$
- G.655 el PMD puede cambia de forma aleatoria con el tiempo y la longitud de onda max. 0,5 ps/ $\sqrt{\text{km}}$

- Para una tasa de transmisión de 40 Gbps.

4.5 La atenuación en los diferentes puntos (empalmes, conectores.) (OTDR)

4.5.1 Atenuación por empalmes:

Significa la disminución de potencia de la señal óptica, en proporción inversa a la longitud de fibra. La unidad utilizada para medir la atenuación en una fibra óptica es el decibel (dB).

La atenuación de la fibra se expresa en dB/Km. Este valor significa la pérdida de luz en 1 Km.

Los empalmes son realizados por una soldadura usando equipos especiales por medio de arco eléctrico.

Estos pueden ser empalmes manuales o mecánicos y empalmes por fusión.

➤ Empalmes manuales o mecánicos

Son empalmes rápidos, permanentes o temporales las cuales producen atenuaciones.

Pueden ser con un orificio central, o con bandejas cerradas con dos pequeñas llaves que nos permiten introducir las fibras.

Para realizar un empalme mecánico, a las fibras se les retira 3 cm del coating (color), se limpia con alcohol isopropilico y luego se les practica un corte recto a 5 o 6 mm, con un cortador especial con filo de diamante.

➤ Empalmes por fusión.

Son empalmes permanentes que se realizan con máquinas empalmadoras manuales o automáticas que luego de cárgales la fibra sin coating(chaqueta) son cortadas a 90° realizan un alineamiento de los núcleo de una y otra para luego fusionarlas con el arco eléctrico producido entre dos electrodos, con una corriente de 200mA

Los valores de las atenuaciones para empalmes permitidos por la ITU-T

- **G.652:** 0,20 dB
- **G.655:** 0,30 dB

4.5.2 Medición de (OTDR)

Se presenta dos ejemplos tomados por el OTDR JDSU 4000 medidos para 2 enlaces de CNT EP.

Ejemplo 1

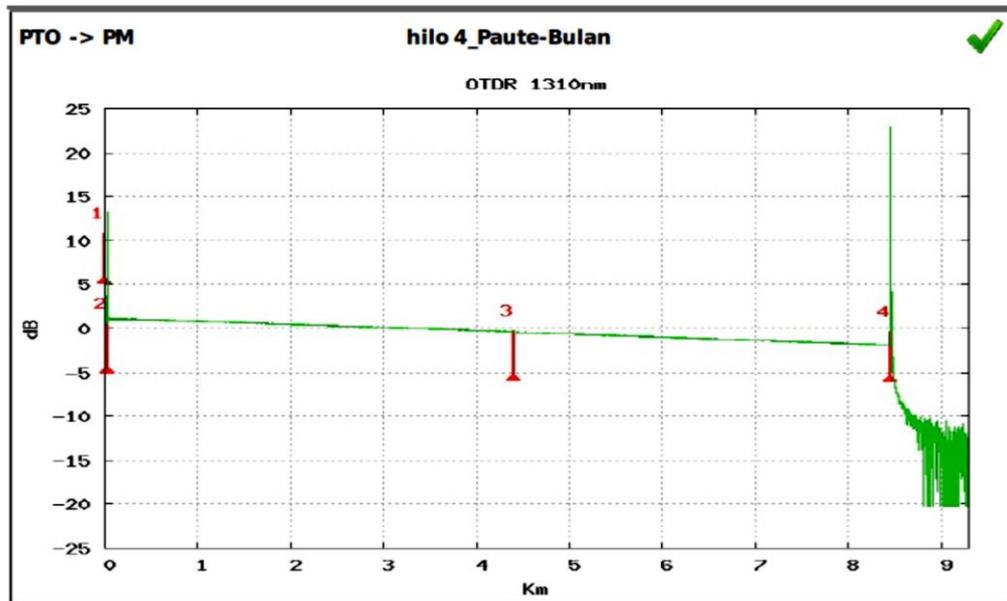


Figura 4.9 Traza medida enlace Paute-Bulan

Esta prueba es realizada para un enlace de CNT EP de Paute- Bulan con un enlace total de **8.45Km**, la cual presenta múltiples eventos; en los eventos 1 se representa el conector la cual está a una distancia de 0.0 Km debido a que no se utiliza una bobina de lanzamiento, como evento número 2 tenemos la conexión física de un pachcord hacia el ODF hilo 4, en el evento número 3 tenemos un empalme de fusión a una distancia de **4.402 Km**, como un 4 evento tenemos el otro conector final del enlace, o fin de fibra.

Evento		Distancia Km	Pérdida dB	Reflect. dB	Pend. dB/km	Sección Km	Pérd. T dB
1		0.000		-25.87		0.000	0.000
2		0.029	-0.557	-40.64		0.029	0.009
3		4.402	0.065		0.343	4.373	0.911
4		8.451		>-16.45	0.354	4.049	2.411

Tabla 4.3 Traza medida enlace Paute-Bulan

Ejemplo 2

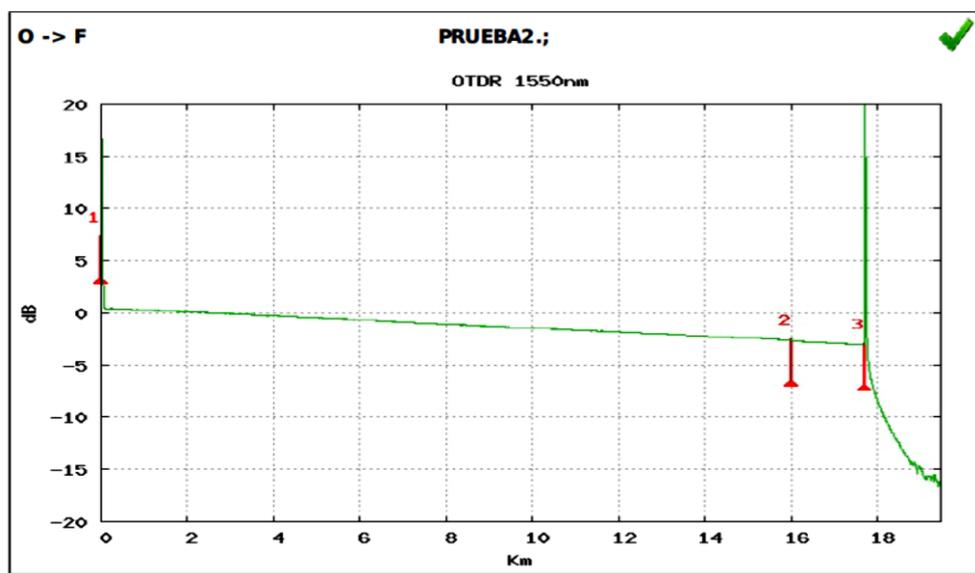


Figura 4.10 Traza medida enlace Simbala – Girón

Esta prueba es realizada para un enlace de CNT EP de Simbala- Girón con un enlace de **17.689Km**, en este ejemplo hemos tomado debido a un corte fibra que tuvimos en el mes de marzo, como se puede apreciar en la gráfica se produce un evento, corte de fibra a los **15.987 Km** con una atenuación por empalme de **0.073 dB**, pérdidas de **0.189 dB/Km** y pérdidas totales de **3.056dB**, reflectancia de **-13.09dB** distancia producida entre el empalme y el ODF **1.702KM** y pérdida tonal entre el evento 2 y 3 es de **3.473dB**, a continuación se presenta tabla con los valores medidos.

Evento		Distancia	Pérdida	Reflect.	Pend.	Sección	Pérd. T
		Km	dB	dB	dB/km	Km	dB
1		0.000		-22.47		0.000	0.000
2		15.987	0.073		0.189	15.987	3.056
3		17.689		-13.09	0.202	1.702	3.473

Tabla 4.4 Valores medidos en el OTDR JDSU MTS 4000

4.5.3 Análisis de Resultados

Las mediciones con el OTDR nos arrojan las pérdidas totales en el enlace de fibra provocadas por conectores, empalmes o cualquier elemento pasivo de la red, estas pérdidas son importantes debido a que si son elevadas nos alejan del umbral de recepción que requiere el equipo para que exista enlace, en caso de tener valores de pérdida elevados se debe tomar correcciones, como aumentar la potencia del equipo transmisor, cambiar el transductor óptico por uno más robusto o revisar los puntos con mayor atenuación en la gráfica del OTDR y corregirlos con esta prueba se garantiza estabilidad en el enlace.

4.6 Perdidas por Retorno óptico (ORL)

Las pérdidas por retorno óptico se definen como la cantidad de energía que retorna al transmisor, esto es ocasionado por la misma fibra conectores, fusiones, y elementos pasivos de la red.

El ORL se calcula con la siguiente fórmula:

$$ORL (dB) = 10 \log \left(\frac{PT}{PR} \right) > 0$$

Ecuación 4.1 Formula del ORL

Donde

PT: es la potencia de salida del emisor de luz

PR: es la suma de las potencias que se reflejan de todos los eventos que se producen dentro de una traza de fibra.

Un nivel mayor de ORL significa que la potencia reflejada es baja en comparación a la transmitida, razón por la cual es mejor tener valores altos en ORL.

La norma **ITU-T G.983.1** da como referencia para ORL valores mínimos aceptables entre **20-32 dB**, un valor inferior a los 20dB significaría que existe mucha señal de retorno lo que conlleva a problemas de transmisión en el enlace, análogamente un valor superior a los 32dB indica que gran parte de la señal transmitida llega al receptor.

Para los siguientes análisis se utiliza el software del equipo JDSU MTS 4000

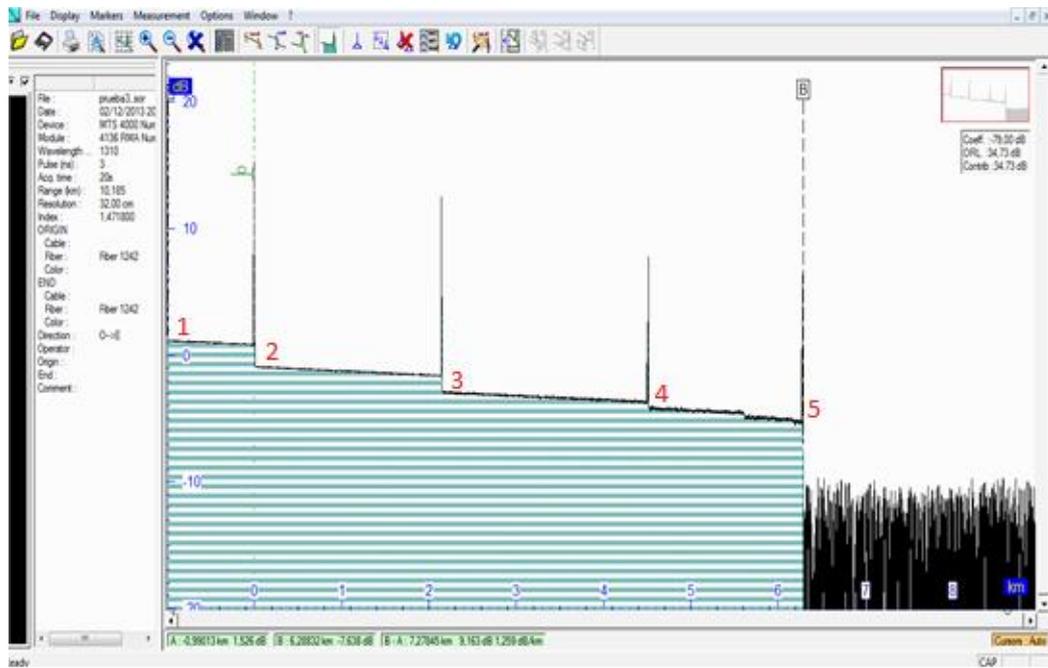


Figura 4.11 Traza medida ORL 34.73dB

En la Figura 4.10 presenta 5 eventos los mismos que corresponde a un primer evento producido por el conector, el segundo se debe a la utilización de una bobina de lanzamiento, en los eventos número 3 y 4 presenta empalmes de fusión y un evento 5 como final de fibra, desde el evento 1 hasta el evento 5 se presenta una medición de ORL de 34.73dB según lo expuesto anteriormente este valor es superior a los valores que nos brinda la ITU-T de referencia.

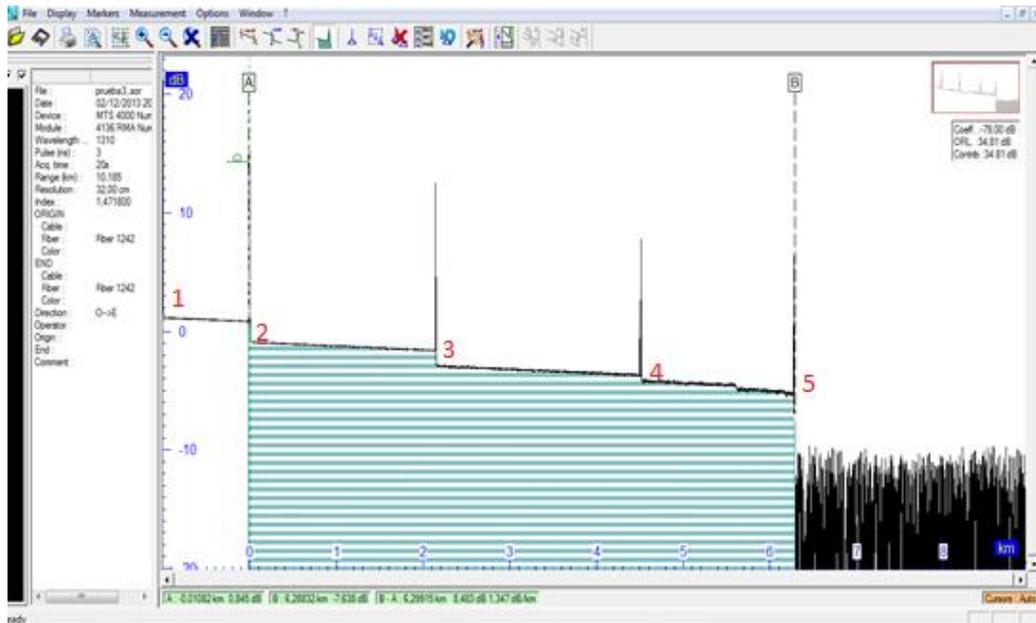


Figura 4.12Traza medida ORL 34.81dB

En la figura anterior se presenta un ORL de 34.81 este valor es muy cercano al valor de la gráfica 4.5 debido a que entre el evento 1 y el evento 2 existe una conexión física entre en conector del ODF y la bobina de lanzamiento para el OTDR por tal motivo se puede ver la diferencia es de 0.8 dB de ORL, como se muestra en los cursores A y B tenemos un valor aceptable de ORL, ya que con esta prueba nos ayuda a realizar un seguimiento por evento de las atenuaciones.

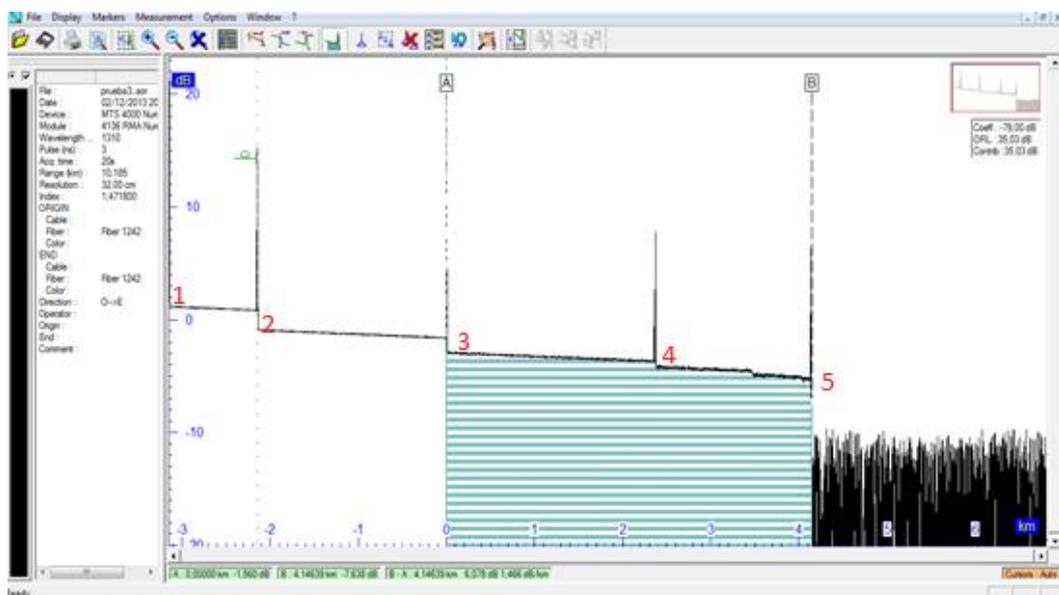


Figura 4.13Traza medida ORL 35.03 dB

En la figura 4.7 es claro un aumento de ORL debido a entre los puntos 3 y 5 solo tenemos 1 evento, por tal motivo las atenuaciones son menores.

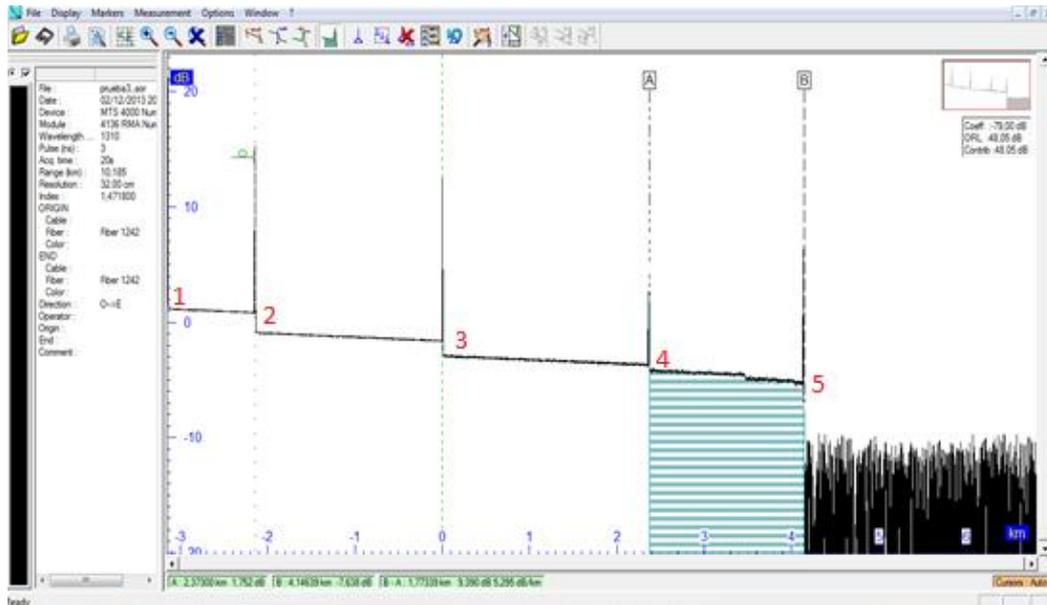


Figura 4.14Traza medida ORL 48.05 dB

Se observa un incremento en los eventos 4 y 5 debido a que en esa trayectoria se tiene un empalme de fusión y un final de fibra, la medición del ORL permite realizar análisis por trazas y eventos para poder corregir por tramos las diferentes atenuaciones.

4.7 Insertion Loss (OLTS)

Un OLTS es una herramienta de alta precisión que cuantifica las pérdidas totales de potencia óptica (atenuación) en un tramo de fibra óptica ayudando a obtener resultados bidireccionales.

La atenuación en las transiciones (acopladores) puede variar considerablemente según el sentido tomado de medición. Como ejemplo, se considera una diferencia excesiva de diámetro entre fibras, la recepción podría ser correcta, pero no así la transmisión. Las imperfecciones en el núcleo de las fibras causan pérdidas cuyo valor cambia notablemente.

La calidad de los conectores puede diferir entre ambos extremos, y al enfrentarse a receptores de área ancha, toda la luz con acceso a ese extremo sería recibida, sin que el defecto fuera señalado. No sería ese el caso al medir en sentido contrario con el mismo conector defectuoso, por tal motivo se recomienda tomar en cuenta las diferentes atenuaciones que brindan los fabricantes.

4.7.1 Medición del OLTS.

Para realizar estas pruebas se utilizará un Power Meter JDSU OLT-55 que tiene implementado un microscopio que permite realizar mediciones de pérdidas en los conectores, y un dispositivo emisor de luz para las pruebas de OLT.



Figura 4.15 Power meter JDSU OLT-55

Fuente: jdsu test-and-measurement. URL: <http://www.jdsu.com/es-es/test-and-measurement/products/a-z-product-list/Paginas/olt-55-smart.aspx>

4.7.2 Pruebas de conectores

Consiste en un análisis de verificación pasa/falla de conectores ópticos, como se presenta en la figura 4.10, las fallas se deben a muchas impurezas, imperfecciones en el núcleo de la fibra las cuales no se pueden percibir fácilmente por el ser humano, que en redes DWDM repercuten mucho debido a las tasas de transmisiones altas y sus largas distancias; estas pruebas se pueden realizar por zonas.

La norma ITU-T G.983 tiene como valor referencial una pérdida por inserción de ≤ 0.5 dB.



Figura 4.16 Prueba OLTS con Power meter OLT-55

Fuente: jdsu test-and-measurement. URL: <http://www.jdsu.com/es-es/test-and-measurement/products/a-z-product-list/Paginas/olt-55-smart.aspx>

4.7.3 Prueba de OLTS.

En uno de los extremos se conecta el emisor de luz el cual emite una señal continua a una potencia determinada por el usuario, en el otro extremo se conecta el medidor JDSU OLT-55 el cual detecta la señal y mide su nivel de potencia óptica, la atenuación de la fibra será la diferencia entre la señal emitida y la recibida. Se debe tener precaución que tanto el emisor como el receptor estén calibrados a una misma longitud de onda.

Una de las ventajas de utilizar OLTS es que se obtiene resultados bidireccionales, ya que cada equipo en los extremos de la fibra cuenta con la opción de emitir y recibir señales, el inconveniente es que es necesario de dos técnicos para realizar la prueba.

4.8 Análisis de canales DWDM (OSA)

OSNR ha sido reconocida durante mucho tiempo como un elemento clave de rendimiento en redes de multiplexación por división de longitud de onda densa (DWDM), ya que provee una evaluación multicanal de la calidad de la señal en un lapso muy pequeño de tiempo. Además, OSNR puede predecir la tasa de errores de bit (BER) en solo unos minutos, mientras que las pruebas BER típicas se deben ejecutar durante horas o días.

Un analizador de espectro óptico (OSA) nos brinda un análisis por cada canal que se transmite en DWDM.

Las especificaciones técnicas que se sugieren para una medición del OSA son las siguientes:

- Selección manual de una longitud de onda específica
- Conectores de entrada intercambiables (FC/SC/LC)

La medición del OSNR en sistemas de transmisiones menores a 10 Gbps viene dado por la norma IEC-61280-2-9 la cual define al OSNR como la relación de potencia de una señal y de un ruido para un determinado canal óptico. Sin embargo en sistemas en los cuales la tasa de transmisión supera los 40Gbps este método puede arrojar resultados incorrectos debido a que los canales se encuentran muy pegados el uno del otro provocando solapamiento espectral, lo que hace imposible la medición.

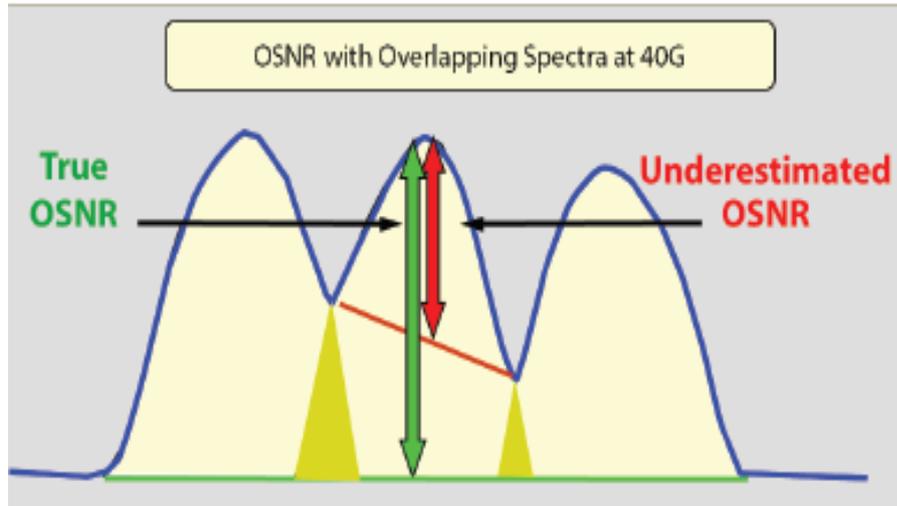


Figura 4.17 Medición de OSNR

Fuente: jdsu OSA500RS URL: www.jdsu.com/.../OSA500RS_pb_fop_tm_ae.pdf

En la actualidad existen equipos que utilizan métodos y algoritmos que permiten superar los inconvenientes antes mencionados como ejemplo se toma el OSA-500R, un analizador de DWDM que se caracteriza por utilizar una nueva técnica para medir la verdadera OSNR dentro de los canales ópticos de una red óptica con filtros ópticos de adición/supresión o multiplexores reconfigurables (ROADM).

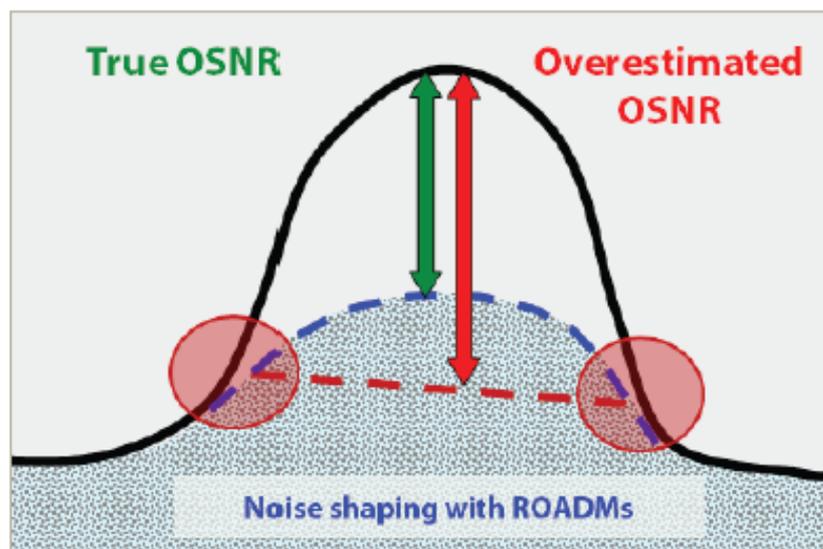


Figura 4.18 Medición de OSNR

Fuente: jdsu OSA500RS URL: www.jdsu.com/.../OSA500RS_pb_fop_tm_ae.pdf

OSA es utilizado para medir OSNR, para el análisis de servicio en el desempeño en la capa óptica. Mediciones OSNR imprecisas pueden dar lugar a un rendimiento estimado de servicio deficiente.

Como muestran en los gráficos 4.17 y 4.18 las redes modernas que transportan grandes informaciones, señales de alta velocidad de datos pueden crear bordes espectrales superpuestas, que hacen que sea imposible medir el ruido de fondo entre las señales y conduce a minimizar el OSNR

OSNR minimizado puede indicar problemas de red en una red perfectamente bien.

El ruido de fondo entre canales ópticos es suprimido por los filtros ópticos dentro del ROADMs. En los sistemas de transmisión de altas velocidades de datos de ultra como 40G/100G con un espaciamiento estrecho canal de 50 GHz, el ancho de banda de modulación es mayor que el ancho de banda de canal que conduce a la superposición de los espectros

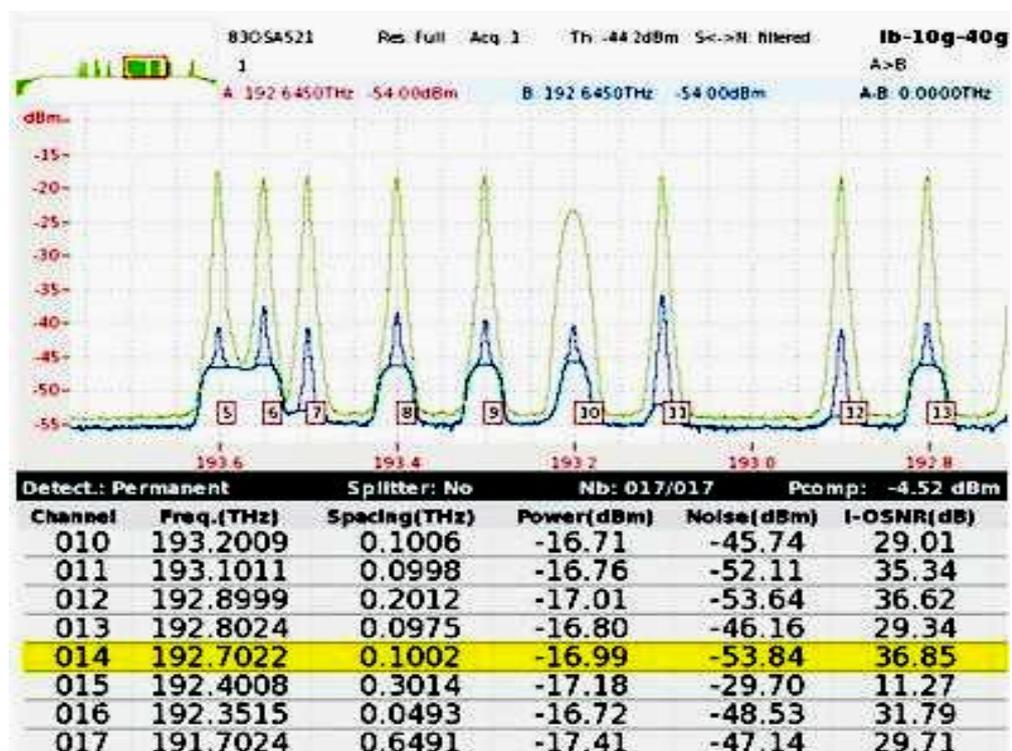


Figura 4.19 Resultado de medición de OSNR con JDSU OSA-500R
Fuente: jdsu OSA500RS URL: www.jdsu.com/.../OSA500RS_pb_fop_tm_ae.pdf

4.8.1 Análisis de Resultados OSA

El análisis de canal DWDM es una prueba exhaustiva y completa que permite analizar a cada canal de una trama DWDM, como se observa en la figura anterior, se muestra como resultado una gráfica en donde se aprecia la frecuencia en donde se

encuentra cada canal, el espaciamiento que existe entre señales, la potencia y el ruido por el cual es atacado dicho canal en cada medición y por último el valor del OSNR.

No se cuenta con parámetros exactos que indiquen cuan buena o mala es una señal solamente con la información del OSNR ya que se depende de cuan alto es el nivel de ruido en comparación a la potencia de un canal, que a su vez son valores que varían entre una y otra transmisión.

Para el presente manual se considera que en una medición de OSNR, en cada canal el nivel de ruido no puede ser superior al 40% de la potencia de ese canal ya que un nivel superior a este porcentaje podría incurrir en errores de la transmisión, de igual manera se debe observar en cada grafica que exista espaciamiento suficiente en cada canal de manera que no existan sobrelapamientos que desencadenarían en corrupción en la información.

Cabe recalcar que la complejidad de tener lecturas efectivas de cada canal hace que el equipo se torne costoso en comparación a otros, razón por la cual hace de esta una de las pruebas de mayor valor económico en un estudio de caracterización de fibra óptica en DWDM.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Un estudio de caracterización de fibra óptica es un proceso muy importante que ayuda a entender y a optimizar el performance de la red, identificando limitaciones en cada fibra, este servicio ayuda a reducir tiempo para acoplarnos a nuevos servicios debido a que identifica problemas, proveyendo así, tiempo para tomar acciones correctivas, entregando un acertado y minucioso reporte a nivel técnico de las características actuales de cada fibra para una futura escalabilidad aprovechando de la mejor manera la infraestructura ya instalada dando las tasas máximas a los cuales se garantiza una transmisión.

DWDM por ser una red multicanal requiere de requisitos de instalación y mantenimiento diferentes a los de sistemas ópticos monocanal, por lo tanto son necesarios procedimientos de medida y caracterización especiales enfocados a este tipo de transmisión.

Para enlaces submarinos el proceso de caracterización se hace indispensable debido a los altos costos de implementación de la red, es necesario optimizar los recursos de tal manera de garantizar la mayor capacidad de transmisión con una buena calidad de servicio.

En la mayoría de países de Sudamérica el proceso de caracterización de fibra óptica no se considera, por lo que se implementa DWDM en redes existentes sin aprovechar la capacidad máxima del enlace debido a que por desconocimiento de los problemas de la red no se aplican métodos de corrección que pudieran garantizar mayores tasas de transmisión y confiabilidad de la red.

Los procesos para caracterizar una red DWDM tiene costos muy elevados debido al alto precio de los equipos empleados, por esta razón estos estudios son mayormente dirigidos a grandes empresas proveedoras de servicios de telecomunicaciones (operadoras de telefonía), ya que estas tienen la capacidad económica para pagar dichas pruebas.

Los valores obtenidos en las diferentes pruebas son contrarrestados con estándares dados por normas ITU y fabricantes de fibra óptica, con esto se puede determinar el rendimiento y el performance de una red con el fin de asegurar la funcionalidad y disponibilidad del medio óptico de transmisión

Como recomendación se debe tener un monitoreo constante de la red, esto es muy importante para el rendimiento de una transmisión DWDM, con equipos como un analizador de espectro óptico y un OTDR, podemos llevar a cabo lecturas tanto de fallos de conexión, atenuación, niveles de OSNR y dispersión, que nos brindan información de que como están respondiendo un canal, previendo así posibles malos funcionamientos y dar periódicamente mantenimientos para tener un sistema totalmente confiable.

REFERENCIAS

[1] Una breve cronología histórica de la fibra óptica. URL:
<http://www.slideshare.net/ingenia-t/fibraopticapitulo01>

[2] ¿Qué es la Fibra Óptica? URL:<http://fibrasopticaplus.wordpress.com/>

[3] ¿Qué es la Fibra Óptica? URL:<http://fibrasopticaplus.wordpress.com/>

[4] Optical Networking. URL: <http://www.eogogics.com/talkgogics/infocenter/optical-networking>

[5] Elementos y Equipos Eléctricos CAPITULO 5.

URL:http://www.efn.uncor.edu/departamentos/electro/cat/eye_archivos/apuntes/a_practico/Cap%205%20Pco.pdf

[6] URL: <http://www.slideshare.net/ioliasa/redes-de-fibra-optica>

[7] URL: <http://arantxa.ii.uam.es/~jms/pfcsteleco/lecturas/20080723JuanManuelCastrejo.pdf>

[8] URL: <http://arantxa.ii.uam.es/~jms/pfcsteleco/lecturas/20080723JuanManuelCastrejo.pdf>

[9] URL: <http://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/1764/1/CD-2763.pdf>

[10] USACH “TECNOLOGIA DWDM”.

URL:<http://www.slideshare.net/gersonchavarriavera/redes-dwdm>

[11] USACH “TECNOLOGIA DWDM”.

URL:<http://www.slideshare.net/gersonchavarriavera/redes-dwdm>

[12] The Fiber Optic Association, Inc. (FOA).

URL:<http://www.thefoa.org/ESP/Sistemas.htm>

[13] The Fiber Optic Association, Inc. (FOA).

URL:<http://www.thefoa.org/ESP/Sistemas.htm>

[14] Implementación de un Sistema DWDM en la Red Interurbana. URL:

<http://saber.ucv.ve/jspui/bitstream/123456789/2035/1/Implementaci%C3%B3n>

%20y%20Evaluaci%C3%B3n%20de%20un%20Sistema%20DWDm%20en%20Telcel%20Bel.pdf

[15] Redes ópticas basadas en el estándar SONET/SDH.

URL:http://moodle.unid.edu.mx/dts_cursos_md/maestria_en_tecnologias_de_informacion/em_sel_redes/sesion7/actividades/RedesSONET.pdf

[16] URL:http://es.wikipedia.org/wiki/Fibra_%C3%B3ptica

[17] URL:<https://www.itu.int/ITU->

[D/finance/Work%20on%20Financing/Telecom_Banda_Ancha_Latinoamerica-sp.pdf](https://www.itu.int/ITU-D/finance/Work%20on%20Financing/Telecom_Banda_Ancha_Latinoamerica-sp.pdf)

[18] URL: http://rd.udb.edu.sv:8080/jspui/bitstream/123456789/412/1/47397_tesis.pdf

[19] URL: <http://www.slideshare.net/NecBalaam/tipos-de-ruido-en-las-telecomunicaciones>

[20] URL:<https://www.itu.int/ITU->

[D/finance/Work%20on%20Financing/Telecom_Banda_Ancha_Latinoamerica-sp.pdf](https://www.itu.int/ITU-D/finance/Work%20on%20Financing/Telecom_Banda_Ancha_Latinoamerica-sp.pdf)

[21] <http://www.exfo.com/es/soluciones/red-metropolitana-nucleo/transporte-optico-paquetes/construccion-redes-fibra-optica>

[22] http://www.jdsu.com/ProductLiterature/foselection_sg_fop_tm_sp.pdf

[23] <http://sascommtech.com.gt/servicios/caracterizacion-de-fibra-optica/>

[24] <http://sascommtech.com.gt/servicios/analisis-de-canales-dwdm/>

[25] http://www.telnet-ri.es/fileadmin/user_upload/preventa/presentaciones/whitepaper%20-Fibra%20optica%20para%20NGN-dispersion%20cromatica%20y%20PMD-Telnet-RI%20-%20ES.pdf

[26] http://www.jdsu.com/productliterature/mts6000_ds_fop_tm_sp.pdf

[27] <http://www.exfo.com/products/field-network-testing/optical/spectral-testing/ftb-5240sbp>

[28] http://www.telnet-ri.es/fileadmin/user_upload/preventa/presentaciones/whitepaper%20-Fibra%20optica%20para%20NGN-dispersion%20cromatica%20y%20PMD-Telnet-RI%20-%20ES.pdf

[29] <http://blogs.jdsu.com/Tendencias/archive/2013/01/31/mediciones-b%C3%A1sicas-en-enlaces-de-fibra-optica-p%C3%A9rdida-por-retorno.aspx>

[30] http://www.jdsu.com/ProductLiterature/odm_mr_module_ds_fop_tm_ae.pdf

[31] http://www.jdsu.com/ProductLiterature/odm_mr_module_ds_fop_tm_ae.pdf

- [32]<http://www.almalaboratorios.com/seccion.php?sec=32>
- [33]<http://blogs.jdsu.com/Tendencias/archive/2013/01/31/mediciones-b%C3%A1sicas-en-enlaces-de-fibra-optica-p%C3%A9rdida-por-retorno.aspx>
- [34]http://www.redeweb.com/_txt/679/60.pdf
- [35][http://www.uru.edu/fondoeditorial/articulos/ESTUDIO%20DEL%20FEN%C3%93MENO%20DE%20DISPERSI%C3%93N%20POR%20EL%20MODO%20DE%20POLARIZACI%C3%93N%20DE%20ONDA\(1\).pdf](http://www.uru.edu/fondoeditorial/articulos/ESTUDIO%20DEL%20FEN%C3%93MENO%20DE%20DISPERSI%C3%93N%20POR%20EL%20MODO%20DE%20POLARIZACI%C3%93N%20DE%20ONDA(1).pdf)
- [36]<http://www.uaeh.edu.mx/docencia/Tesis/icbi/licenciatura/documentos/Topicos%20selecionados%20de%20fibra%20optica.pdf>
- [37]<http://www.telnet-ri.es/soluciones/cable-fibra-optica-y-componentes-pasivos/fibra-optica-para-redes-de-nueva-generacion-ngn/>
- [38]<http://platea.pntic.mec.es/~lmarti2/fibra.htm>
- [39]http://www.spw.cl/08oct06_ra/doc/STANDARD%20ADSL/G983_1.pdf
- [40]<http://www.jdsu.com/en-us/Test-and-Measurement/Products/a-z-product-list/Pages/mts-8000.aspx?rcode=mts-8000>
- [41]<http://www.jdsu.com/en-us/Test-and-Measurement/products/a-z-product-list/Pages/i-pmd-for-t-berd-mts-8000.aspx>
- [42]<http://www.jdsu.com/es-es/test-and-measurement/products/a-z-product-list/Paginas/mts-6000.aspx>
- [43]http://www.google.com.ec/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&frm=1&source=web&cd=2&ved=0CDQQFjAB&url=http%3A%2F%2Fwww.jdsu.com%2FProductLiterature%2F8000v2_pb_tfs_tm_ae.pdf&ei=VK6yU42QEpeQqAbelICYAw&usg=AFQjCNFC4Tr02Iclgv_FRvfjJEo3V9jQUA&sig2=1X66CooBMvBXNqy6vWrvow&bvm=bv.69837884,d.b2k&cad=rja
- [44]<http://www.testequity.com/products/4886/>
- [45]<http://www.jdsu.com/en-us/Test-and-Measurement/Products/a-z-product-list/Pages/osa.aspx>
- [46]http://www.google.com.ec/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&frm=1&source=web&cd=1&ved=0CB0QFjAA&url=http%3A%2F%2Fwww.jdsu.com%2Fproductliterature%2Folt-55_ds_fop_tm_ae.pdf&ei=eK-yU4XAI2Mqgbr9IDgAw&usg=AFQjCNFEXx5g-7HuI6bF3EUKP9zZv5hpbvw&sig2=joPlf8cr63UOnG9BUZfvgw&bvm=bv.69837884,d.b2k
- [47]<http://www.jdsu.com/es-es/test-and-measurement/products/a-z-product-list/Paginas/olt-55-smart.aspx>

[48]<http://www.jdsu.com/en-us/test-and-measurement/products/a-z-product-list/Pages/olt-55-smart.aspx>

[49]www.jdsu.com/.../OSA500RS_pb_fop_tm_ae.pdf