REPÚBLICA DEL ECUADOR
Escuela Politécnica Nacional
"E SCIENTIA HOMINIS SALUS"

La versión digital de esta tesis está protegida por la Ley de Derechos de Autor del Ecuador.

Los derechos de autor han sido entregados a la "ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL" bajo el libre consentimiento del (los) autor(es).

Al consultar esta tesis deberá acatar con las disposiciones de la Ley y las siguientes condiciones de uso:

- Cualquier uso que haga de estos documentos o imágenes deben ser sólo para efectos de investigación o estudio académico, y usted no puede ponerlos a disposición de otra persona.

- Usted deberá reconocer el derecho del autor a ser identificado y citado como el autor de esta tesis.

- No se podrá obtener ningún beneficio comercial y las obras derivadas tienen que estar bajo los mismos términos de licencia que el trabajo original.

El Libre Acceso a la información, promueve el reconocimiento de la originalidad de las ideas de los demás, respetando las normas de presentación y de citación de autores con el fin de no incurrir en actos ilegítimos de copiar y hacer pasar como propias las creaciones de terceras persona

Respeto hacia sí mismo y hacia los demás.

ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

FACULTAD DE INGENIERÍA ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA

PROPUESTA DE UN MANUAL DE PROCEDIMIENTO PARA EL MANTENIMIENTO Y DETECCIÓN DE FALLAS PARA UNA RED METROPOLITANA QUE UTILIZA LA TECNOLOGÍA DWDM (Dense Wavelength Division Multiplexing)

PROYECTO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO EN ELECTRÓNICA Y TELECOMUNICACIONES

FREDDY PATRICIO GARZÓN UTRERAS

Mail: garzonfred29@hotmail.com

DIRECTOR: ING. CARLOS ALFONSO HERRERA MUÑOZ

Mail: carlos.herrera@epn.edu.ec

Quito, Septiembre 2013

DECLARACIÓN

Yo, Freddy Patricio Garzón Utreras, declaro bajo juramento que el trabajo aquí realizado es de mi autoría, que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional; y, que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

A través de la presente declaración, cedo mis derechos de propiedad intelectual correspondientes a éste trabajo, a la Escuela Politécnica Nacional, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su Reglamento y por la normativa institucional vigente.

_____

Freddy Patricio Garzón Utreras

CERTIFICACIÓN

Certifico que el presente trabajo fue desarrollado por Freddy Patricio Garzón Utreras, bajo mi supervisión.

_____

Ing. Carlos Herrera

DIRECTOR DEL PROYECTO DE TITULACIÓN

DEDICATORIA

A Dios.

Por haberme dado la fortaleza y sabiduría para cumplir mis objetivos y por nunca haberme abandonado en los momentos más difíciles.

A mi familia.

A mi madre Ángela Utreras por haber sido el pilar en mi formación personal.
A mi padre Freddy Garzón por su constante motivación y creer en mi.
A mi tío Ramiro por haber estado apoyándonos en todos los momentos.
A mis hermanas Alexandra y Gabriela, por ser parte de este reto.
A mi hija Paula Emilia, por ser la motivación para cumplir mis metas.
A toda la familia que colaboró a que este sueño se haga realidad.

A mis amigos.

Por su apoyo incondicional en todos los ámbitos laborales y personales.

AGRADECIMIENTOS

A mi director Ing. Carlos Herrera, por su imprescindible e invaluable ayuda en la elaboración del presente proyecto.

A la Escuela Politécnica Nacional por haberme dado las herramientas para triunfar en la vida profesional.

A mi familia por haberme dado los estudios.

A Dios y a la Virgen por cumplir todos mis sueños.

Freddy Patricio Garzón Utreras

RESUMEN

El presente proyecto de titulación se enfoca en dar una guía para el mantenimiento de una red metropolitana que utiliza la tecnología DWDM, considerando las principales pruebas, procedimientos, rutinas de mantenimiento y recomendaciones para su correcto funcionamiento.

Basado en la realidad actual y necesidades de cumplir requerimientos cada vez más exigentes en cuanto a la demanda de ancho de banda que genera los servicios actualmente ofertados por los proveedores de servicios de telecomunicaciones, es necesario poner mucho énfasis en el mantenimiento preventivo y correctivo de la red, ya que éste es uno de los principales factores que afectan a la calidad de servicio que se de a los usuarios finales.

En el primer capítulo se presenta los mecanismos de optimización en redes DWDM, también se presenta los principios de funcionamiento de una red metropolitana con tecnología DWDM, detallando los componentes que forman parte de la red, desde la recepción de los servicios hasta la entrega de los mismos, incluyendo toda la ruta de transporte, se presenta también los principales mecanismos de optimización y protección de red que se implementan para minimizar los efectos producidos por fallas dentro de la red.

En el segundo capítulo se presenta las pruebas de mantenimiento preventivo y correctivo para una red metropolitana con tecnología DWDM, aquí se incluyen los conocimientos que debe tener el personal encargado del mantenimiento, los equipos y materiales necesarios para este fin, se presenta las diferentes rutinas de mantenimiento preventivo que se recomiendan realizar periódicamente, también se incluye los mantenimientos correctivos y detección de fallas sobre las principales unidades del sistema DWDM.

En el tercer capítulo se detalla el manual de procedimiento para el mantenimiento y detección de fallas para una red metropolitana que utiliza la tecnología DWDM, aquí se presenta las diferentes pruebas, equipos de medición necesarios, procedimientos involucrados en la realización de las mismas y el manejo de sustancias y equipos peligrosos, que permitirán evaluar y diagnosticar el comportamiento de la red.

En el cuarto capítulo se presentan las conclusiones y recomendaciones para el mantenimiento de una red metropolitana

CONTENIDO

1. MECANISMO DE OPTIMIZACIÓN EN REDES DWDM 1

1.1 Introducción 1

1.2 Principio de Funcionamiento DWDM 2

1.3 Componentes de una red DWDM 5

1.3.1 Transpondedor OTU (Optical Transponder Unit) 7

1.3.2 Multiplexores y Demultiplexores Ópticos OTM (Optical Terminal Multiplexer) 9

1.3.3 Amplificador Óptico (Booster o Preamplificador) 11

1.3.4 Multiplexores de Adición/Extracción (OADM) 13

1.3.5 Cross-Conector Óptico OXCs (Optical Cross Connects) 14

1.3.6 Fibra Óptica 15

1.3.6.1 Fibra Óptica ITU-T G.652 15

1.3.6.2 Fibra Óptica ITU-T G.655 17

1.4 Mecanismos y Esquemas de Protección de Red 18

1.4.1 Topologías de red DWDM. 18

1.4.1.1 Topología punto-a punto. 18

1.4.1.2 Topología de anillo 19

1.4.1.3 Topología de malla. 21

1.4.2 Esquemas de protección 22

1.4.2.1 Protección a nivel de equipo 23

1.4.2.2 Protección a nivel de red 24

1.4.2.2.1 Protección MSP (Multiplex Section Protection) 24

1.4.2.2.2 Protección SNCP (Sub Network Connection Protection) 25

1.4.2.2.3 Protección de trayecto (Path Protection) 26

1.4.2.2.4 Protección MS-SPRing (Multiplex Section Shared Protection Ring) 26

1.4.2.2.5 OLP (Optical Line Protection) 28

1.4.2.2.6 Protección a nivel de tributarios 29

1.4.2.2.7 Protección a nivel de ASON (Automatic Switching Optical Line Protection) 30

2. PRUEBAS DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO Y CORRECTIVO 31

2.1 Conocimientos básicos del personal 31

2.2 Material requerido para el mantenimiento..... 32

2.3 Equipos utilizados en el mantenimiento 34

2.3.1 Equipo probador multiservicios GE y SDH 34

2.3.2 Analizador de espectros óptico (OSA)..... 36

2.3.3 Reflectómetros ópticos en el dominio del tiempo (OTDR)..... 38

2.3.4 Fuente de luz..... 41

2.3.5 Atenuadores ópticos variables 41

2.3.6 Generador de luz sintonizable en la banda C y L..... 42

2.3.7 Medidores de potencia óptica..... 43

2.4 Gestión y Mantenimiento en una red DWDM 43

2.4.1 ALC - Automatic Level Control 44

2.4.2 AGC - Automatic Gain Control..... 45

2.4.3 APE - Automatic Power Equalization..... 46

2.4.4 OSA – Optical Spectrum Analizer..... 47

2.5 Mantenimientos preventivos 49

2.5.1 Rutinas de Mantenimiento diarias 49

2.5.2 Rutinas de Mantenimiento semanales..... 50

2.5.3 Rutinas de Mantenimiento mensuales..... 51

2.5.4 Rutinas de Mantenimiento Trimestrales 52

2.5.5 Rutinas de Mantenimiento Semestrales..... 52

2.6 Mantenimientos Correctivos y detección de fallas..... 53

2.6.1 Mantenimiento Unidades OTU (Optical Transponder Unit) 54

2.6.2 Mantenimiento de Unidades Amplificadoras 55

2.6.3 Mantenimiento Unidades OTM (Optical Terminal Multiplexer) 56

2.6.4 Mantenimiento Multiplexores de Adición/Extracción (OADM) 57

2.6.5 Mantenimiento de unidades controladores 58

3. MANUAL DE PROCEDIMIENTO PARA EL MANTENIMIENTO Y DETECCIÓN DE FALLAS PARA UNA RED METROPOLITANA QUE UTILIZA LA TECNOLOGÍA DWDM 59

3.1 Gestión de la red y requerimientos del sistema de gestión 59

3.1.1 Gestión de Fallas 60
3.1.2 Gestión de Desempeño 61
3.1.3 Gestión de Configuración 63
3.1.4 Gestión de Topología 63
3.1.5 Gestión de Mantenimiento 64
3.1.6 Gestión de Seguridad 65

3.2 Procesos en el manejo y detección de fallas 66

3.2.1 Proceso para el manejo de interrupciones de tráfico en la red 66
3.2.2 Proceso para manejo de bits errados en la red 68

3.3 Procedimientos para la realización de pruebas de mantenimientos preventivos y correctivos 73

3.3.1 Conmutación de Controladoras y Cross-conectoras. 73
3.3.2 Conmutación de tarjetas de energía 75
3.3.3 Limpieza de la fibra y puertos ópticos 76
3.3.4 Medición de potencia de los puertos ópticos 79
3.3.5 Pruebas mediante bucles 81
3.3.6 Prueba de sensibilidad del receptor del lado tributario 83
3.3.7 Prueba de sensibilidad del transponder del lado DWDM 85
3.3.8 Prueba de sintonización de los transponders OTU 86
3.3.9 Verificación de los rangos de amplificación. 88
3.3.10 Verificación de la funcionalidad multirate de las unidades OTU 90
3.3.11 Verificación de la operatividad ROADM. 91
3.3.12 Verificación del esquema de protección OLP (Optical Line Protection) 93
3.3.13 Verificación de alarmas 95
3.3.14 Medición en el espectro de todas las longitudes de onda. 96

3.3.15 Medición del OSNR 98
3.3.16 Verificación del canal de servicio..... 100
3.3.17 Prueba de la funcionalidad ALC 101
3.3.18 Prueba de la funcionalidad APE..... 103
3.3.19 Pruebas de BER..... 105
3.3.20 Pruebas sobre servicios Ethernet..... 107

3.4 Protocolo de seguridad en el mantenimiento de redes DWDM 110
3.4.1 Manejo de sustancias peligrosas..... 110
3.4.2 Manejo de equipos peligrosos. 115

4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES 118

4.1 Conclusiones 118

4.2 Recomendaciones 121

BIBLIOGRAFÍA

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1 Multiplexación por división en longitud de onda 3
Figura 1.2 Componentes de un sistema DWDM 6
Figura 1.3 Funcionalidad 3R 8
Figura 1.4 Sistema Transpondedor (OTU) 9
Figura 1.5 Multiplexado y Demultiplexado en un sistema Unidireccional. 10
Figura 1.6 Multiplexado y Demultiplexado en un sistema Bidireccional. 10
Figura 1.7 Proceso de Demultiplexación Utilizando Prismas 11
Figura 1.8 Diagrama de un Amplificador tipo EDFA 12
Figura 1.9 Localización de amplificadores en la red 13
Figura 1.10 OADM Adicionando y Extrayendo señales ópticas 13
Figura 1.11 Medida de dispersión para una fibra ITU-T G.652 16
Figura 1.12 Topología punto a punto con y sin OADM 19
Figura 1.13 Topología de red tipo anillo 20
Figura 1.14 Topología tipo malla, punto-punto y anillo. 21
Figura 1.15 Esquemas de protección a nivel de equipo 23
Figura 1.16 Protección 4-fiber MS-SPRing a nivel de tramo y a nivel de de anillo27
Figura 1.17 Protección OLP 29
Figura 2.1 Parámetros significativos de un OSA 37
Figura 2.2 Visualización del espectro óptico utilizando OSA 37
Figura 2.3 Visualización de resultados mediante OTDR 40
Figura 2.4 Sistema DWDM sin utilización del ALC 44
Figura 2.5 Sistema DWDM con la funcionalidad ALC activada 45
Figura 2.6 Control Automático de Ganancia 46
Figura 2.7 Pre-equilibrio Automático de Potencia – APE 47
Figura 2.8 Unidad analizadora de Espectros OSA 48
Figura 3.1 Sistema de gestión de fallas de Cisco CTC 60
Figura 3.2 Gestión de desempeño 62
Figura 3.3 Proceso para manejo de afectaciones de tráfico en la red 67

Figura 3.4 Proceso para manejo de bits errados en la red 70
Figura 3.5 Subproceso 1 para rectificación de valores de potencia óptica 72
Figura 3.6 Conexión al equipo mediante gestión local 73
Figura 3.7 Esquema de conexión física para la prueba de conmutación de unidades controladoras y cross-conectoras. 74
Figura 3.8 Unidad de distribución de energía con protección 76
Figura 3.9 Limpieza de la fibra 77
Figura 3.10 Limpieza de los puertos ópticos 78
Figura 3.11 Esquema de conexión para la prueba de Potencia de Salida 79
Figura 3.12 Loop lógico de entrada 82
Figura 3.13 Loop lógico de salida 83
Figura 3.14 Esquema de conexión para la prueba de sensibilidad del receptor. .. 84
Figura 3.15 Esquema de conexión para la prueba de sensibilidad del OTU 86
Figura 3.16 Esquema de conexión para la prueba de sintonización de las OTU .. 87
Figura 3.17 Esquema de conexión para prueba de los amplificadores 88
Figura 3.18 Esquema de conexión para la verificación de la característica multirate 90
Figura 3.19 Esquema de conexión para la verificación de la funcionalidad ROADM 92
Figura 3.20 Esquema de conexión para la verificación de la protección OLP 93
Figura 3.21 Esquema de conexión para análisis de longitudes de onda en la etapa de multiplexación 96
Figura 3.22 Esquema de prueba de relación Señal a Ruido OSNR 99
Figura 3.23 Prueba de canales de servicio 100
Figura 3.24 Esquema de conexión para prueba del ALC 102
Figura 3.25 Esquema de conexión para prueba del APE 104
Figura 3.26 Esquema de conexión para prueba de BER 106
Figura 3.27 Esquema de conexión para prueba de servicios Ethernet 109
Figura 3.28 Elementos de protección para uso de sustancias peligrosas 110
Figura 3.29 Hoja de seguridad MSDS para el alcohol isopropílico 115

Figura 3.30 Etiquetas de advertencia al personal de mantenimiento 117

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.1 Capacidades por canales y distancia entre portadoras DWDM 4
Tabla 1.2 Correspondencia Portador Óptico y SDH 5
Tabla 1.3 Características de la fibra ITU-T G.652 16
Tabla 1.4 Características de la fibra ITU-T G.655 17
Tabla 2.1 Material para mantenimiento de una red DWDM 33
Tabla 2.2 Rutinas de mantenimiento diaria 50
Tabla 2.3 Rutinas de mantenimiento semanales 51
Tabla 2.4 Rutinas de mantenimiento mensuales 52
Tabla 2.5 Rutinas de mantenimiento trimestrales 52
Tabla 2.6 Rutinas de mantenimiento semestrales 53
Tabla 3.1 Eventos de gestión de fallas 61
Tabla 3.2 Operaciones de Mantenimiento 64
Tabla 3.3 Asignación de privilegios en el NMS 65
Tabla 3.4 Resultados de Conmutación de tarjetas Controladoras y Crossconectoras 75
Tabla 3.5 Resultados de Conmutación de tarjetas de energía. 76
Tabla 3.6 Resultados de medición de potencia en los puertos ópticos mediante instrumentos 80
Tabla 3.7 Resultados de medición de potencia en los puertos ópticos mediante sistema de gestión. 80
Tabla 3.8 Prueba de sensibilidad del receptor en el lado tributario 85
Tabla 3.9 Prueba de sensibilidad del transponder del lado DWDM 86
Tabla 3.10 Prueba de sintonización de transpondedores OTU 88

Tabla 3.11 Valores referenciales para amplificadores ópticos 89
Tabla 3.12 Verificación de los rangos de amplificación..... 89
Tabla 3.13 Verificación de la funcionalidad multirate de las unidades OTU..... 91
Tabla 3.14 Verificación de operatividad de la función ROADM..... 93
Tabla 3.15 Verificación del esquema de protección OLP..... 94
Tabla 3.16 Verificación del funcionamiento de alarmas 96
Tabla 3.17 Verificación del espectro de cada una de las longitudes de onda..... 97
Tabla 3.18 Valores de frecuencia y longitud de onda..... 98
Tabla 3.19 Medición del OSNR..... 100
Tabla 3.20 Verificación del Canal de Servicio 101
Tabla 3.21 Prueba de funcionamiento ALC..... 103
Tabla 3.22 Prueba de funcionamiento APE..... 105
Tabla 3.23 Resultados prueba de BER..... 107
Tabla 3.24 Resultados pruebas Ethernet..... 109

CAPÍTULO 1

1. Mecanismo de optimización en redes DWDM

1.1 Introducción

Debido a los requerimientos cada vez más exigentes en cuanto a capacidad en los servicios de voz, datos y video y debido al rápido desarrollo de la ciencia y la tecnología, la transmisión de información en el área de la comunicación se expande a una velocidad acelerada y se implementan redes con tecnología WDM (Wavelength Division Multiplexing) que permiten solventar las altas demandas de capacidad como es el caso de CWDM (Coarse wavelength Division Multiplexing) y DWDM (Dense Wavelength Division Multiplexing) que permiten manejar grandes requerimientos de Ancho de Banda, permitiendo en muchos casos migrar de redes ya implementadas con tecnología SDH (Synchronous Digital Hierarchy) y GE (Gigabit Ethernet) a redes de mayor capacidad, teniendo en cuenta que al no hacer uso de multiplexores SDH el costo del equipamiento necesario para montar una red con tecnología WDM es considerablemente mayor.

El uso de DWDM permite brindar diferentes servicios como correo, video y video sobre IP (Internet Protocol) datos sobre ATM (Asynchronous Transfer Mode) y portadoras de voz sobre SONET/SDH. A pesar de que estos formatos (IP, ATM y SONET/SDH) proporcionan una única gestión de ancho de banda, estos tres formatos pueden ser transportados sobre la capa óptica usando DWDM de una manera transparente. Esta única capacidad permite proporcionar un servicio flexible en respuesta a las demandas de ancho de banda por los clientes.

DWDM combina múltiples señales ópticas que pueden ser amplificadas como un grupo o transportadas sobre una fibra única para incrementar la capacidad, cada

señal portada puede tener diferentes tasas de velocidad (OC-3, OC-12, OC-24, etc.) y en un formato diferente (SONET, ATM, MPLS, datos, etc.).
Una red con una infraestructura DWDM puede cumplir todos estos requerimientos mientras la operatividad del sistema mantiene el rendimiento, confiablidad, y robustez o incluso superar a la infraestructura originalmente instalada.
Siendo así y considerando los altos volúmenes de tráfico que pueden estar cursando la red, es necesaria la identificación pronta de fallas, realización periódica de mantenimientos tanto preventivos como correctivos de la red, para lo cual es necesario entender claramente los conceptos de restauración, protecciones de red y análisis de fallas.
Se describen los mecanismos utilizados como medios de protección en redes DWDM y una introducción a la arquitectura WDM y sus especificaciones de transmisión óptica.

1.2 Principio de Funcionamiento DWDM

[1] [2]

La multiplexación por división en longitud de onda, DWDM (Dense Wavelength Division Multiplexing) tiene su origen en la posibilidad de acoplar la salida de diferentes fuentes emisoras de luz a una longitud de onda diferente, sobre una misma fibra óptica.
Una fibra puede ser considerada como una carretera con varios carriles en la cual el sistema tradicional TDM sólo utiliza uno de los tantos carriles que puede tener esta vía. Para aumentar la tasa de bits enviadas por unidad de tiempo, que es lo que se requiere actualmente, sería similar a aumentar la velocidad de los vehículos que circulan por la vía y aumentando la carga de transporte por unidad de tiempo. Implementando la tecnología DWDM sería similar a utilizar los carriles de la vía que todavía no han sido utilizados.

En la figura 1.1 se muestra el espectro y la multiplexación por división de longitud de onda correspondiente a la tecnología DWDM.

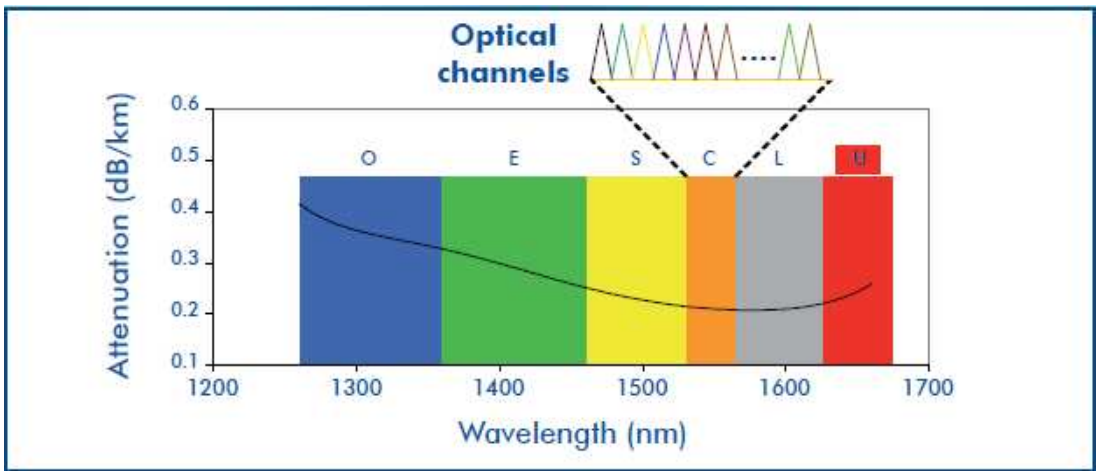


Figura 1.1 Multiplexación por división en longitud de onda[1]

La multiplexación en DWDM utiliza separaciones de longitudes de onda que están en el orden de 200 GHz (1,6nm), 100 GHz (0,8nm) o 50 GHz (0,4nm) en las bandas C y L del espectro óptico, en las cuales se tiene la menor atenuación posible y denominadas también ventanas de operación de las redes con tecnología WDM.

Se denominan ventanas al espectro óptico y corresponden a las siguientes longitudes de onda:

Primera ventana (800 a 900nm), Segunda ventana (1250 a 1350 nm) y Tercera ventana (1500 a 1600 nm).

Las redes DWDM pueden trabajar en la segunda y la tercera ventana, siendo la tercera ventana la más utilizada.

[1] Cisco Systems, Inc., Cisco ONS 15454 DWDM Engineering and Planning Guide, 2007, release 7.

En la tabla 1.1 se muestra la relación de canales, capacidades y distancia entre portadoras.

Tecnología	Canales λ	Capacidad por canal	Distancia entre portadoras
DWDM	40	10 Gbps	0.8-1.6nm
DWDM	80	10 Gbps	0.4-0.8nm
DWDM	160	40 Gbps	0.4-0.8nm

Tabla 1.1 Capacidades por canales y distancia entre portadoras DWDM

De acuerdo a la recomendación UIT-T G.694.1, DWDM soporta espaciamientos de canales que van desde 12,5 GHz a 100 GHz y mayores múltiplos enteros de 100 GHz en las bandas C y L del espectro óptico, incluso se permite distancias desiguales entre los canales.[2]

Cada señal puede tener diferentes tasas de velocidad (OC-3, OC-12, OC-24, etc.) y en un formato diferente como SONET, SDH, ATM, MPLS, datos.

En la tabla 1.2 se puede ver la relación entre los diferentes portadores ópticos y la tecnología SDH.

[2] http://www.itu.int/rec/T-REC-G.694.1-201202-I/en

Portador Óptico	SDH	Tasa (Mbps)
OC1	STM-0	51.84
OC3	STM-1	155.52
OC9	STM-3	466.56
OC12	STM-4	622.08
OC18	STM-6	933.12
OC24	STM-8	1244.16
OC36	STM-12	1866.24
OC48	STM-16	2488.32
OC192	STM-64	9953.28

Tabla 1.2 Correspondencia Portador Óptico y SDH

1.3 Componentes de una red DWDM

[1] [2] [3] [4]

Es importante dentro del mantenimiento y operación de una red con tecnología DWDM conocer los componentes involucrados dentro de la ruta de transmisión, por tanto es necesario revisar brevemente el equipamiento en una red DWDM y sus funciones dentro de la capa óptica.

Dentro de los componentes principales que se pueden encontrar en una transmisión DWDM se pueden identificar cinco tipos de sub-sistemas dependiendo de su función dentro del sistema DWDM:

- Transpondedores OTU (Optical Transponder Unit)
- Multiplexores y Demultiplexores Ópticos OTM (Optical Terminal Multiplexer)
- Amplificadores Ópticos
- Multiplexores de Adición/Extracción OADM (Optical Add Drop Multiplexer)
- Cross-Conectectores Ópticos OXCs (Optical Cross Connects)

Adicional también es necesario considerar otro componente imprescindible para la transmisión de las señales DWDM, la fibra óptica.

En la figura 1.2 se muestra los componentes de un sistema DWDM

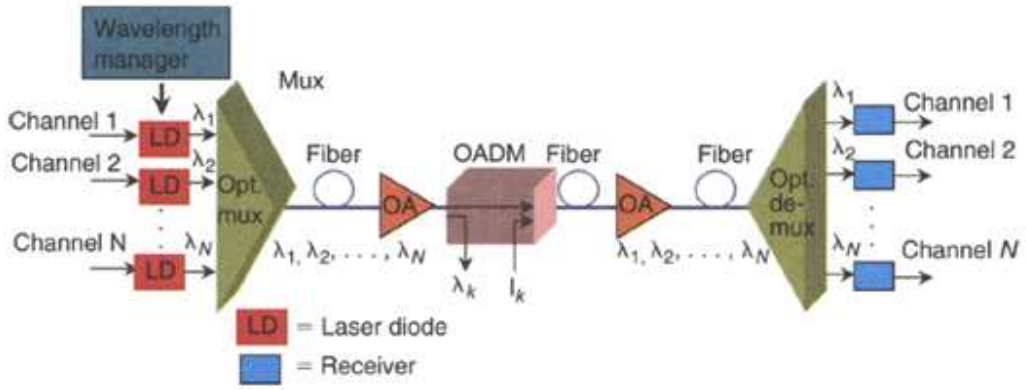


Figura 1.2 Componentes de un sistema DWDM

Se indica el proceso de transmisión de una señal en un sistema DWDM de acuerdo a la figura 1.2:

1. La señales de tributario (SDH, ETH, etc) son recibidas por el transpondedor y convertidas a una longitud de onda DWDM.
2. Las longitudes de onda DWDM provenientes del transpondedor son multiplexadas dentro de una sola señal óptica e insertadas dentro de la fibra.
3. Un amplificador amplifica la potencia de la señal óptica.
4. Amplificadores ópticos son utilizados cada cierta distancia de enlace, de ser necesarios.

5. Si es necesario una pre-amplificación, un pre-amplificador amplifica la señal antes de que ésta entre en el nodo receptor.
6. La señal recibida es demultiplexada obteniendo diferentes longitudes de onda.
7. Las longitudes de onda individuales DWDM son identificadas para el tipo de salida requerido y enviadas a través del transpondedor a su señal original de tributario (SDH, ETH, etc)

Se procede a describir las funciones de cada uno de los componentes del sistema DWDM.

1.3.1 Transpondedor OTU (Optical Transponder Unit)

La función de un sistema transpondedor (OTU) en una red DWDM, es la de adaptar y convertir una señal del lado del cliente o del servicio que necesita ser transportado a una longitud de onda estandarizada por la ITU-T con una potencia óptica determinada, es decir realiza la conversión eléctrico-óptica, para luego enviar dicha señal a la etapa de multiplexación, también realiza la funcionalidad 3R (Recuperación/amplificación – Reacomodo/formación del pulso – Resincronización/alineación del pulso) que no es más que la recuperación de la señal debido a la atenuación, un reacomodo debido a la dispersión y una resincronización debido a variaciones de las señales en sus tiempos de propagación.

En la figura 1.3 se indica la funcionalidad 3R

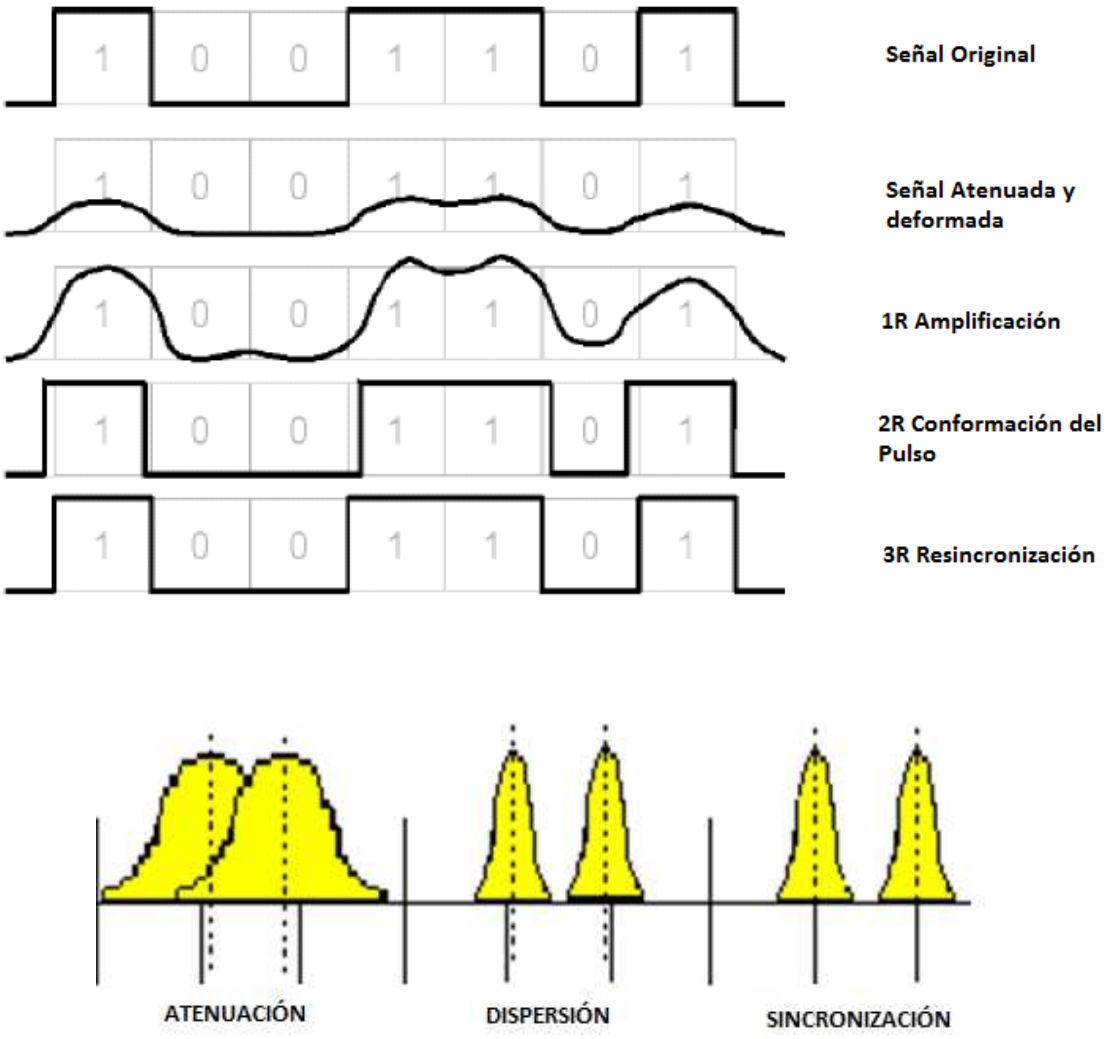


Figura 1.3 Funcionalidad 3R

En el lado destino el transpondedor de recepción recibe el canal óptico correspondiente procedente desde demultiplexor, elimina el ruido óptico, reduce la diafonía entre canales y envía al equipo cliente con niveles de potencia ópticos adecuados para que sean entendidos y recibidos satisfactoriamente.

En la figura 1.4 se indica la funcionalidad del OTU dentro del sistema DWDM.

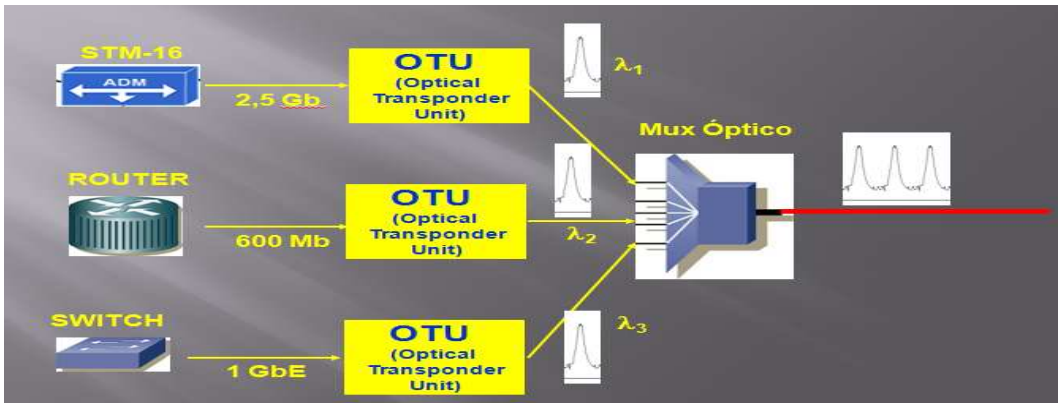


Figura 1.4 Sistema Transpondedor (OTU)

1.3.2 Multiplexores y Demultiplexores Ópticos OTM (Optical Terminal Multiplexer)

Considerando la necesidad de transmitir varias señales ópticas sobre una misma fibra y que las longitudes de onda provenientes desde todos los transpondedores de un sistema necesitan ser multiplexadas ópticamente, es necesario utilizar dentro del sistema DWDM Multiplexores y Demultiplexores para lograr este propósito.

En la figura 1.5 y figura 1.6 se muestra la multiplexación y demultiplexación en un sistema DWDM.[3]

[3] http://sx-de-tx.wikispaces.com/DWDM+y+CWDM

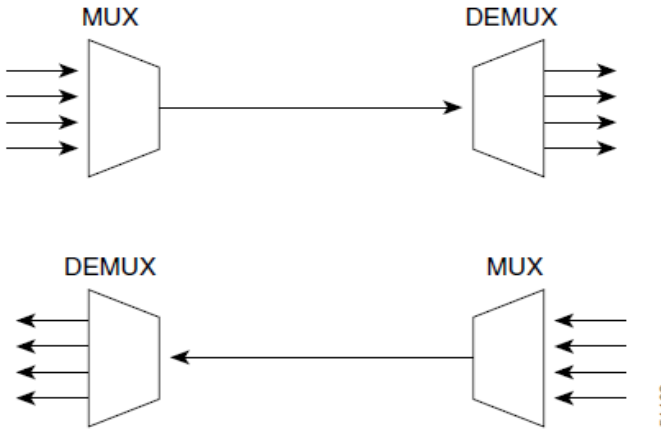


Figura 1.5 Multiplexado y Demultiplexado en un sistema Unidireccional.

Figura 1.6 Multiplexado y Demultiplexado en un sistema Bidireccional.

En el lado del transmisor, el multiplexor se encarga de combinar las señales para que sean transmitidas por una sola fibra, en el lado del receptor se efectúa el proceso inverso, las diferentes longitudes de onda son filtradas desde la fibra multiplexada y enviadas individualmente a sus diferentes puertos de salida.

Los multiplexores y demultiplexores ópticos suelen tener en su interior arreglos de cristales o prismas que permiten separar el espectro tal como lo hace un prisma, de esta manera, el espectro separado es introducido de nuevo en cada fibra con

una portadora estandarizada con longitudes de onda de 1310 nm para segunda ventana o 1550 nm para tercera ventana.

En la figura 1.7 se indica el proceso de demultiplexación mediante la utilización de prismas.

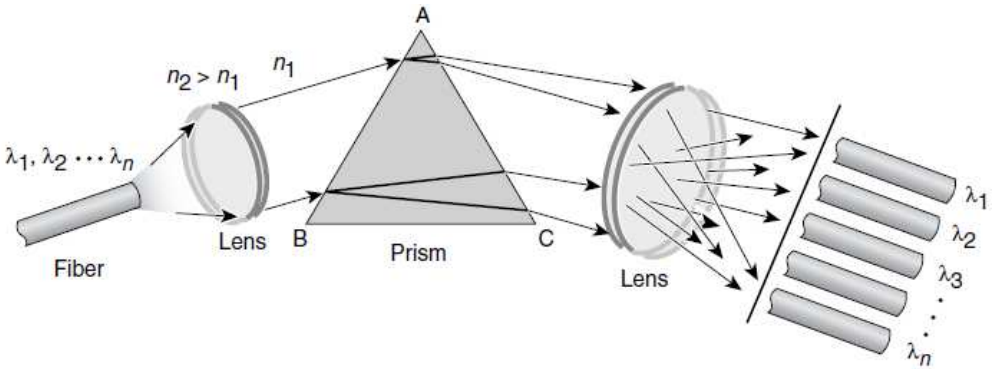


Figura 1.7 Proceso de Demultiplexación Utilizando Prismas

1.3.3 Amplificador Óptico (Booster o Preamplificador)

La función de un Amplificador Óptico es amplificar la señal multiplexada en longitud de onda, es decir, sin ningún tipo de conversión electro-óptica.

Los amplificadores ópticos más utilizados son los amplificadores de fibra dopada con Erbio o EDFA (Erbium Doped Filter Amplifier), el Erbio es un elementos en la naturaleza que, cuando es excitado, emite luz con una longitud de onda de alrededor de 1540 nm, permitiendo amplificar el conjunto de canales ópticos independientemente de su longitud de onda, velocidad de transmisión y protocolos, con unas ganancias muy altas; debiendo trabajar para ello en un determinado ancho espectral y con potencias de entrada de los canales ópticos semejantes para disminuir los efectos no lineales y el ruido óptico que generan en su interior. El hecho de trabajar en distancias más cortas, supone también un menor costo de los láseres utilizados en entornos metropolitanos pues deben

soportar dispersiones menores que los utilizados en largas distancias, generalmente se toma un valor menor a 20 km sin necesidad de considerar los efectos por dispersión cromática.

Un bajo nivel de ruido es un requisito debido a que el ruido se transmite junto con la señal, por lo cual éste también es amplificado conjuntamente. Debido a que este efecto es acumulativo, y no puede ser filtrado, la relación señal-a-ruido (OSNR) es un factor limitante en el número de amplificadores que se pueden concatenar y, por lo tanto limita la longitud de un solo enlace de fibra.

En la práctica, las señales pueden viajar hasta 120 km (74 millas) entre amplificadores. En distancias más largas de 600 a 1000 km (372 a 620 millas), las señales deben ser regeneradas.

En la figura 1.8 se muestra el proceso de amplificación en un amplificador tipo EDFA (Erbium Doped Fiber Amplifier)

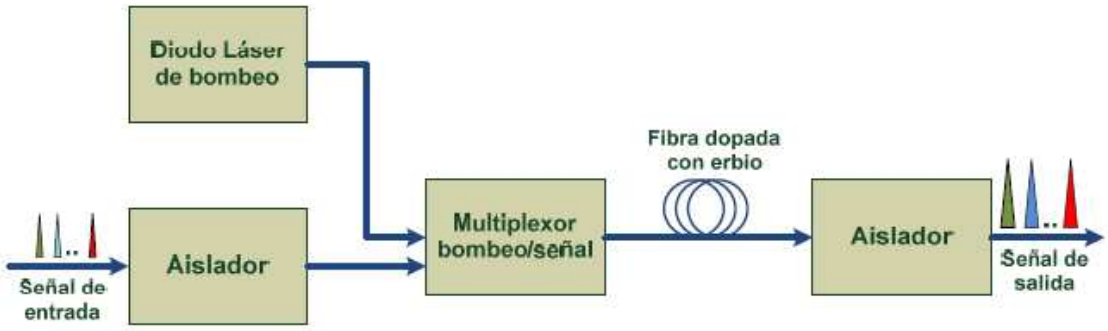


Figura 1.8 Diagrama de un Amplificador tipo EDFA

También se suele denominar a los amplificadores de acuerdo a su localización en la ruta de transmisión DWDM.

En la figura 1.9 se muestra los tipos de amplificadores según su localización en la ruta de transmisión.

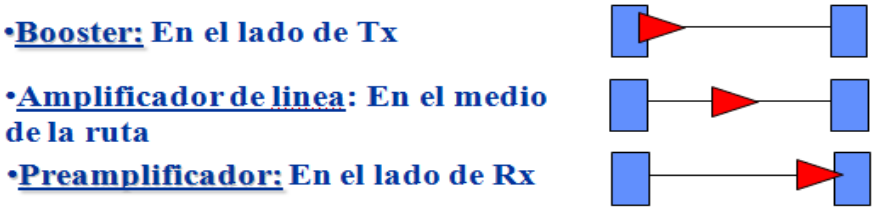


Figura 1.9 Localización de amplificadores en la red

1.3.4 Multiplexores de Adición/Extracción (OADM)

La misión de un OADM es extraer información de un determinado canal óptico, e insertar nueva información sin alterar el resto de canales multiplexados en longitud de onda o DWDM y sin ningún tipo de conversión electro-óptica. Los OADM pueden trabajar reutilizando o no los canales ópticos y; los actualmente disponibles son por lo general semifijos, es decir, no es posible determinar mediante el sistema de gestión asociado si un canal óptico debe continuar a lo largo del sistema de transmisión, ser extraído o ser insertado, (figura 1.10)

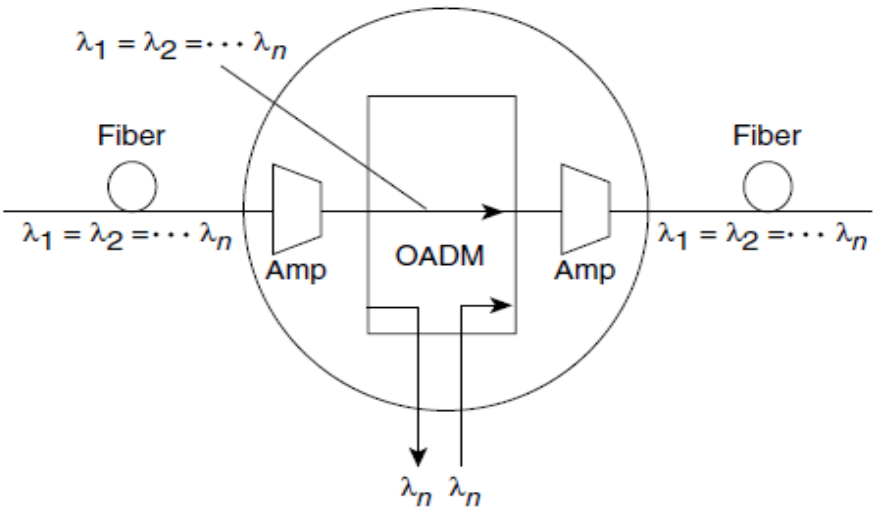


Figura 1.10 OADM Adicionando y Extrayendo señales ópticas

Los OADM, Optical Add&Drop Multiplexer, filtran el canal que se pretende recuperar y se emite en ese mismo canal la información que quiera ser añadida sin alterar los canales restantes. Este funciona de manera totalmente óptica, o lo que es lo mismo, en ningún momento realiza una conversión electro-óptica. Esto lo hace muchísimo más veloz que cualquier otro aparato electrónico, pero a la vez añade complejidad al mantenimiento y gestión de la red, pues no permite un cambio fácil de sus parámetros de configuración, y en algunos casos, el operario debe proceder manualmente si se desea realizar algún cambio en cuanto a canales. Los más modernos, suelen llevar un sistema de control electro-mecánico que regula el paso de la luz entre las fibras y recupera la información del canal requerido, lo que permite una gestión mucho más sencilla pero lo hace mucho más costoso.

Hay dos tipos generales de OADMs. La primera generación es un dispositivo fijo que es físicamente configurado para eliminar y adicionar determinadas longitudes de onda predeterminadas y al mismo tiempo añade otras longitudes de onda que también son fijadas manualmente. La segunda generación es reconfigurable y capaz de seleccionar de manera dinámica que longitudes de onda se añaden y se bajan en determinada estación.

1.3.5 Cross-Conector Óptico OXCs (Optical Cross Connects)

El OXC es un conmutador de canales entre fibras de entrada y fibras de salida, es el elemento que proporciona mayor flexibilidad en la red, dando la posibilidad de conmutar desde cualquiera de sus puertos de entrada a cualquiera de sus puertos de salida.

El Cross Conector Óptico (OXCs) debe tener la capacidad de direccionar una longitud de onda específica dentro de una fibra entrante a diferentes fibras a la salida, de cambiar determinadas longitudes de onda de una fibra entrante a múltiples longitudes de onda en las fibras de salida, de tomar longitudes de onda

entrantes y convertirlas a otra longitud de onda específica sobre el puerto de salida para un mismo canal.

Este tipo de soluciones encarecen e introducen un mayor grado de complejidad a la operación de la red pero permiten implementar soluciones flexibles en cuanto a la integración de nuevos servicios y rutas dentro de la red.

1.3.6 Fibra Óptica

En la implementación de redes ópticas, se utiliza como medio de transporte la fibra óptica, presentándose dos tipos de fibras comúnmente utilizadas para el diseño de redes DWDM y que son normalizadas mediante estándares ITU-T

1.3.6.1 Fibra Óptica ITU-T G.652

[5]
Non-dispersion-Shifted Fiber (NDSF), ITU-T G.652 describe una fibra monomodo cuya característica es presentar una zona de dispersión cero situada en torno a una longitud de onda de 1310 nm, y que puede utilizarse también a longitudes de onda en la región de 1550 nm (en las que la fibra ya no presenta dispersión cero).

En la figura 1.11 se muestra los valores de dispersión en una fibra ITU-T G.652 para diferentes longitudes de onda.

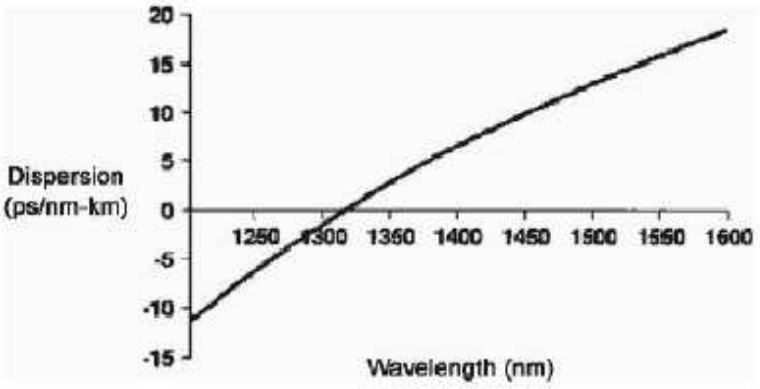


Figura 1.11 Medida de dispersión para una fibra ITU-T G.652

En la tabla 1.3 se muestran las principales características que se deben tener en cuenta en la fibra ITUT G.652.[4]

CARACTERISTICA	UNIIDAD	VALOR
Diámetro del Núcleo	nm	8.6 a 9.5
Diámetro del Revestimiento	nm	125
Diámetro Externo del Recubrimiento	nm	245+/- 2%
Error de no circularidad del Revestimiento	%	<2
Error de concentricidad de Campo Modal	%	<1
Atenuación Máxima en 1310nm	dB/km	0.40
Atenuación Máxima en 1383nm	dB/km	1
Atenuación Máxima en 1550nm	dB/km	0.19-0.22
Atenuación Máxima en 1625nm	dB/km	0.21-0.24
Coeficiente de Atenuación	dB/km	<=0.25
Coeficiente de Dispersión Cromática	ps/nm/km	<= 17
Rango de Dispersión Nula	nm	1300-1324
Coeficiente de Dispersión de PMD para una distancia máxima de 400Km	$(ps/km)^{1/2}$	<0.5

Tabla 1.3 Características de la fibra ITU-T G.652

[4] https://www.itu.int/rec/T-REC-G.652/es

1.3.6.2 Fibra Óptica ITU-T G.655

[6]

Non-zero dispersion-Shifted Fiber(NZ-DSF), ITU-T G.655 describe una fibra monomodo para aplicaciones de multiplexación por división de longitud de onda WDM.

La propiedad fundamental de ésta fibra es que su coeficiente de dispersión cromática es, en valor absoluto, mayor que cero en la gama de longitudes de onda 1530 a 1565 nm. Esta característica de dispersión reduce la aparición de fenómenos no lineales, que pueden ser particularmente perjudiciales en sistemas DWDM.

En la tabla 1.4 se muestran las principales características que se deben tener en cuenta en la fibra ITUT G.655.[5]

CARACTERISTICA	UNIIDAD	VALOR
Atenuación Máxima en 1310nm	dB/km	0.40
Atenuación Máxima en 1450nm	dB/km	0.26
Atenuación Máxima en 1550nm	dB/km	0.22
Atenuación Máxima en 1625nm	dB/km	0.24
Coeficiente de Atenuación	dB/km	<=0.25
Coeficiente de Dispersión Cromática Banda C	ps/nm/km	5.5 -8.9
Coeficiente de Dispersión Cromática Banda L	ps/nm/km	6.9-11.4
Rango de Dispersión Nula	nm	< 1405
Coeficiente de Dispersión de PMD para una distancia máxima de 400Km	$(ps/km)^{1/2}$	<0.1

Tabla 1.4 Características de la fibra ITU-T G.655

[5] https://www.itu.int/rec/T-REC-G.655-200911-I/es

1.4 Mecanismos y Esquemas de Protección de Red

1.4.1 Topologías de red DWDM.

[7]

Dentro de los mecanismos de protección de red, se implementan diferentes tipos de topologías que permiten cubrir ciertos grados de protección a los diversos servicios que cursarán por la red. Las arquitecturas de redes están basadas en muchos factores, incluyendo tipos de aplicaciones, protocolos, distancia, utilización y estructura de acceso. En el mercado metropolitano, por ejemplo, topologías punto-a-punto pueden ser usadas para conectar puntos de empresas, topología de anillo para conectar instalaciones inter-oficinas (IOFs) y para acceso residencial, y topologías de malla pueden ser usadas para conexiones Inter-POP (Inter Punto-a-punto) y en backbones. En efecto, la capa óptica puede ser capaz de soportar muchas topologías y, puesto al desarrollo impredecible en esta área, estas topologías pueden ser flexibles.

Hoy en día, las principales topologías en uso para redes con tecnología WDM son la punto-a-punto y anillo.

1.4.1.1 Topología punto-a punto.

Generalmente en la topología punto a punto se puede implementar sin un mayor número de equipamiento involucrado, es decir su implementación es más sencilla y su operación no conlleva grandes dificultades ya que el análisis de fallas involucrado requiere de un menor conocimiento ante componentes más complejos, como por ejemplo la utilización de OADMs (Optical Add Drop Multiplexers), XCS (Optical Cross Connects), e incluso dependiendo de la distancia se puede obviar la utilización de amplificadores y regeneradores.

Estas redes están caracterizadas por velocidades de canales ultra rápidos (10 a 40 [Gbps]), alta integridad y confiabilidad de la señal, y rápida restauración de trayectoria. En redes long-haul (larga distancia), la distancia entre transmisor y receptor puede ser varios cientos de kilómetros, y el número de amplificadores requeridos entre ambos puntos, es típicamente menor que 10.

La protección en topologías punto a punto puede ser provista implementando caminos alternos de fibra que permitan asegurar la operatividad de los servicios ante cualquier corte en la ruta de transmisión. Se puede implementar protección y redundancia a nivel de tarjeta, comprendiendo protección de transpondedores, multiplexores y tarjetas controladoras redundantes entre sí.

En la figura 1.12 se muestra la topología de red punto a punto utilizando equipamiento OADM y sin utilización del equipo OADM.

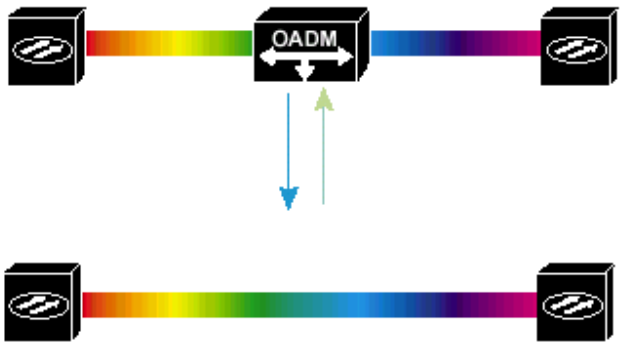


Figura 1.12 Topología punto a punto con y sin OADM

1.4.1.2 Topología de anillo.

Los anillos son las arquitecturas más comunes encontradas en áreas metropolitanas y en tramos de unas pocas decenas de kilómetros. La fibra anillo

puede contener sólo cuatro canales de longitudes de onda, y típicamente menos nodos que canales. La capacidad está en el rango de los 622 [Mbps] a los 10 [Gbps] por canal.

Con el uso de OADMs, se suben y bajan longitudes de onda en forma transparente, es decir que las otras longitudes de onda no se ven afectadas, las arquitecturas de anillo permiten a los nodos tener acceso a los elementos de red, tales como routers, switches y servidores, con la subida y bajada de canales de longitudes de onda en el dominio óptico. Con el incremento en el número de OADMs, la señal está sujeta a pérdidas y se pueden requerir amplificadores.

Para la protección en esta topología se utiliza el esquema 1+1, donde se tiene dos líneas de conexión, la información se envía por una de ellas mientras la otra permanece en espera de que ocurra algún evento de falla y entre en funcionamiento. Si este anillo falla, se conmuta la trayectoria al otro anillo.

Un esquema de esta topología se puede observar en la Figura 1.13

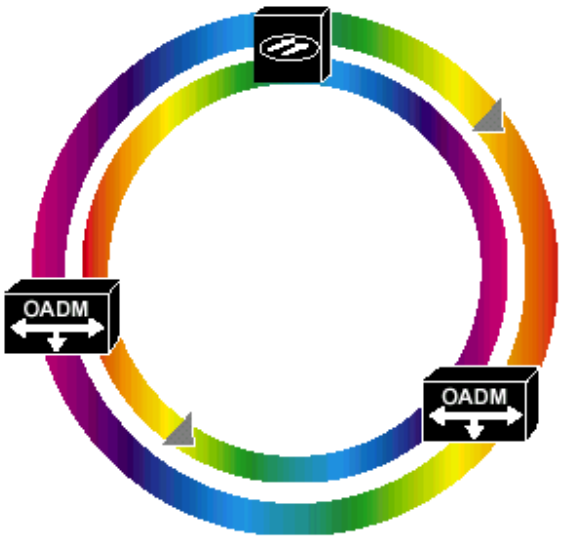


Figura 1.13 Topología de red tipo anillo

1.4.1.3 Topología de malla.

La arquitectura tipo malla está encaminada a ser el futuro de las topologías de redes ópticas, debido a que ésta permite establecer mejores y más robustos mecanismos de protección de red como por ejemplo redes tipo ASON (Automatic Switched Optical Networks, ITU-T G.8080) que permiten realizar conmutación de canales ópticos dando gran flexibilidad en la estructura de la red.

Como las redes evolucionan, las arquitecturas de anillo y punto-a-punto tendrían un lugar, pero la malla sería la topología más robusta ya que las topologías malladas requieren menos recursos de red, le otorgan mayor flexibilidad, facilitan el crecimiento y simplifican la disponibilidad de sus recursos. Este desarrollo sería basado en la utilización de cross-conectores ópticos OXCs (Optical Cross-Connects) y multiplexores ópticos de adición y extracción ROADM, que en algunos casos reemplazarían, y en otros complementarían a los dispositivos DWDM fijos.

A partir del punto de vista del diseño, las redes pueden evolucionar a una topología tipo malla sin un rediseño completo, es decir, las topologías de anillo y malla pueden ser conectadas a enlaces punto-punto e interactuar de una manera adecuada entre ellas.

En la figura 1.14 se muestra un esquema de los tipos de topologías existentes en una red DWDM

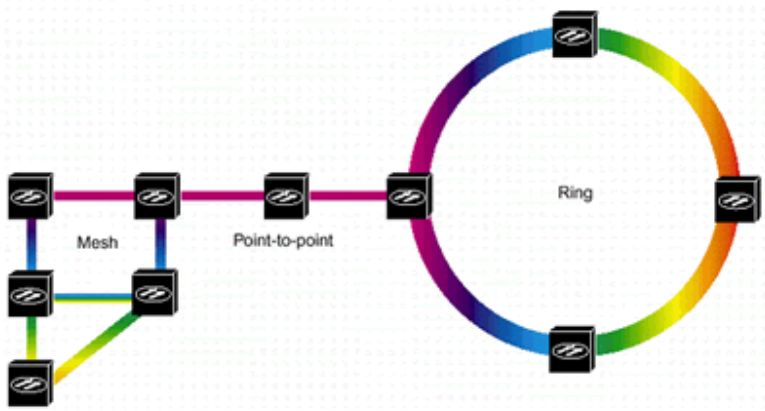


Figura 1.14 Topología tipo malla, punto-punto y anillo.

Las redes DWDM tipo malla, con nodos totalmente ópticos, necesitan de esquemas de protección basados en redundancia del sistema, de tarjeta, o al nivel de fibra, también se utiliza redundancia a nivel de longitud de onda. Lo cual significaría que una señal óptica podría cambiar de longitud de onda a medida que viaja a través de la red.

Las redes tipo malla, por lo tanto, requieren de un alto grado de inteligencia para realizar las funciones de protección, administración de ancho de banda, y conmutaciones a nivel de longitud de onda, reflejándose en los grandes beneficios en flexibilidad y eficiencia de este tipo de redes.

1.4.2 Esquemas de protección

[7] [8] [9] [10]

Dentro de las diferentes topologías de red, se implementan mecanismos y esquemas de protección que permiten mejorar y garantizar el desempeño y confiabilidad de la misma.

Desde el punto de vista de protección del sistema, se suelen implementar topologías de red que permitan manejar mecanismos de protección más eficientes, redundancia de sistemas de energía, redundancia de hardware ya sea del lado del servicio o hardware propiamente del equipo involucrado, protección de la trayectoria de longitud de onda mediante el soporte de topología en anillo y/o malla, donde la misma longitud de onda sea transmitida de origen a destino por dos trayectos distintos dentro de la red, y emitida por transpondedores diferentes, a fin de garantizar la protección de camino y de tarjeta, control y ajuste de potencia óptica de los transpondedores, etc.

Se procede a explicar cada uno de los diferentes mecanismos de protección para redes ópticas DWDM.

1.4.2.1 Protección a nivel de equipo

Las diferentes series de equipos y proveedores existentes en el mercado y que ofrecen soluciones para redes DWDM, suelen poseer protecciones a nivel de equipo como redundancia 1+1 a nivel de unidad de control, matriz de cross-conexión, unidad de sincronismo, fuente de poder y unidad de ventilación. Para ello el dimensionamiento del sistema considera la utilización de dos tarjetas redundantes entre sí para las funciones de control, cross-conexión y sincronismo. También se configuran fuentes de poder internas duplicadas y sistemas de ventilación inteligente duplicados, los cuales generalmente regulan su velocidad de rotación de acuerdo con la temperatura real del equipo. Adicionalmente, todas las tarjetas del sistema soportan intercambio en caliente (hot swap), lo cual facilita el mantenimiento y restauración ante cualquier falla. La figura 1.15 muestra un ejemplo de distribución de tarjetas y como se presenta la protección a nivel de equipamiento en sistemas DWDM.

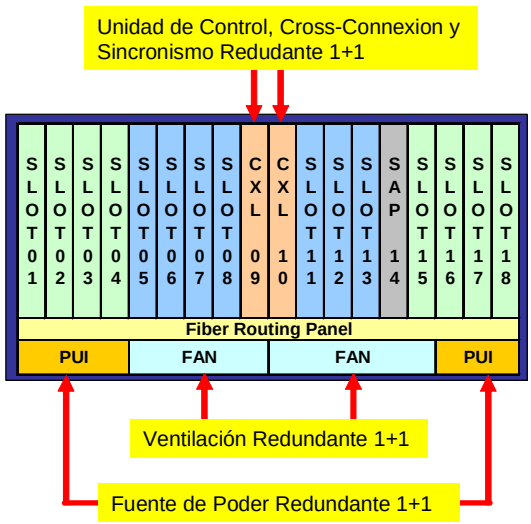


Figura 1.15 Esquemas de protección a nivel de equipo

1.4.2.2 Protección a nivel de red

Las protecciones a nivel de red comprenden todos los mecanismos que se utilizan para dar protección a las servicios en el lado de línea, es decir a la conectividad del nodo con otros nodos de la red. En todos los nodos las tarjetas de interfaz de línea, permiten la implementación de diversos mecanismos de protección a nivel de red, tales como PP (Path Protection), MSP (Multiplex Section Protection) lineal tipo 1+1 ó 1:N, MSP de 2 ó 4 fibras ópticas o MS-SPRing (Multiplex Section – Shared Protection Ring) de 2 ó 4 fibras, SNCP (Sub Network Connection Protection), OLP (Optical Line Protection), protección de tributarios, protección a nivel ASON.

Los principales mecanismos de protección de red soportados por la mayoría de equipos que utilizan la tecnología DWDM se describen a continuación.

1.4.2.2.1 Protección MSP (Multiplex Section Protection)

Este tipo de protección es utilizado en redes con tecnología SDH, en el cual MSP (Multiplex Section Protection) de la sección de múltiplexación MSOH (Multiplex Section OverHead) de línea es utilizada principalmente en la modalidad de operación en red de línea. Los modos de protección están divididos en modos 1+1 y 1:N. Se trata del típico enlace punto a punto 1+1 o N+1, en el cual se protege a todo el tráfico enviado por la fibra. Forma parte del enlace en anillo y conmuta mediante los bytes K1-K2 del MSOH de la trama SDH. En el modo de protección 1+1, cada sistema de trabajo está protegido por un sistema de reserva dedicado. En el modo de protección 1:N, el sistema de protección es compartido por N sistemas de trabajo y cuando se dispara la acción de protección, el tráfico secundario o que estaba siendo transportado por la ruta de protección es desechado.

Se puede configurar la protección de forma Revertiva o No revertiva, dependiendo de las necesidades de la red, si se configura de forma revertiva, terminada la falla se vuelve a la condición original existiendo un tiempo de restauración configurable por el operador, la configuración revertiva es mandatoria en casos de protección 1:N.

En todos los modos de aplicación, el tiempo de conmutación es menor a 50ms cumpliendo a lo indicado en la recomendación ITU-T G.841[6]

1.4.2.2.2 Protección SNCP (Sub Network Connection Protection)

Este tipo de protección es utilizado en redes con tecnología SDH, la protección de conexión de sub-red (SNCP) es la única modalidad de protección de servicio que se puede aplicar a diversas estructuras topológicas de red y presenta una rápida velocidad de conmutación. Esta protección brinda confiabilidad a la conexión entre redes de diferentes jerarquías.

SNCP protege ante fallas de hardware en el camino, para cualquier falla que genere AU/TU-AIS o AU/TU-LOP.

Los recursos de protección se asignan en forma independiente para cada canal de trabajo, de tal forma que la protección actúa ante fallas en el trayecto.

Su implementación es simple y la decisión de conmutación se efectúa solo en cada punto de inserción/extracción del VC (Contenedor Virtual)

[6] https://www.itu.int/rec/T-REC-G.841/es

1.4.2.2.3 Protección de trayecto (Path Protection)

La función de protección de trayecto (Path Protection) permite ingresar un tributario en ambas direcciones del anillo sobre un equipo DWDM y seleccionar en la matriz de conmutación la dirección en mejor estado. En este caso el tráfico de cada tributario ocupa un lugar en ambas ramas del anillo.

El elemento de red que recibe las señales compara la calidad de los dos caminos y la señal de mayor calidad es seleccionada, esta nueva ruta será nombrada como ruta activa y permanecerá en este estado hasta que un evento de fallo en el extremo receptor, se vea obligado a realizar una conmutación hacia la ruta original de transporte.

Este nivel de protección cumple con la Recomendación G.841 de ITU-T, aún en presencia de la protección MSP, y asegura el requerimiento de tiempo de conmutación menor a 50ms.

1.4.2.2.4 Protección MS-SPRing (Multiplex Section Shared Protection Ring)

Este modo puede ser utilizado para transmitir servicios adicionales de niveles más bajos a través del sistema de protección, para lograr una utilización más óptima de los recursos de fibra óptica y un planeamiento flexible de la distribución del servicio en la red.
La figura 1.16 ilustra el mecanismo de protección 4-fiber MS-SPRing, a nivel de tramo y a nivel de anillo:

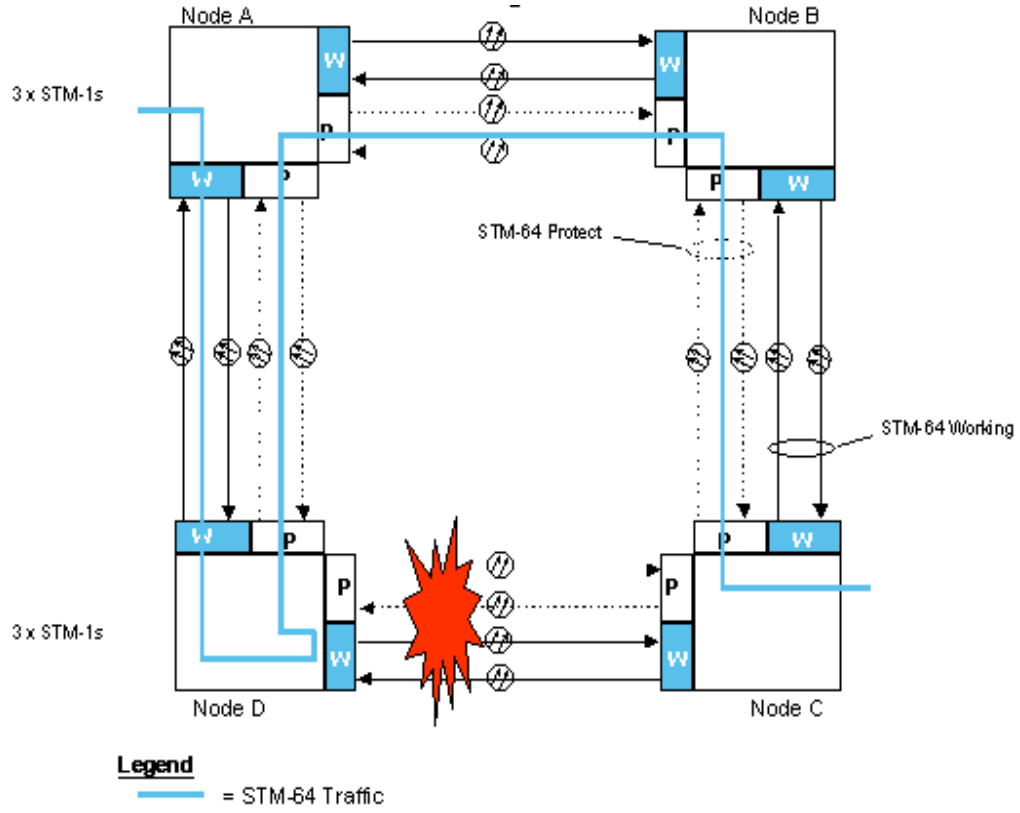


Figura 1.16 Protección 4-fiber MS-SPRing a nivel de tramo y a nivel de de anillo

La protección para tráfico en multiplexores add-drop MS-SPRing de cuatro fibras provee la capacidad de reparar y restaurar el tráfico a través del SPAN switching y el switching de anillos. Existe un período de espera para la restauración (WTR) en el SPAN switching y de anillos que puede ser configurado de acuerdo a los requerimientos de la red.

1.4.2.2.5 OLP (Optical Line Protection)

La protección OLP brinda protección de camino a toda la señal WDM, mediante la transmisión doble de la señal a través de 2 transponders, ésta protección requiere de 2 fibras usadas en el camino normal de trabajo y otras 2 fibras en el camino de protección. En caso de falla, rotura de cable o degradación de la señal óptica, el tráfico será conmutado automáticamente al camino de protección mediante la tarjeta que actúa con la funcionalidad OLP

Los caminos son monitoreados en tiempo real, de modo que el equipo puede detectar la falla y conmutar el tráfico inmediatamente con tiempo de respuesta menor a 50ms. La conmutación de protección puede ser configurada de forma reversiva o no reversiva de acuerdo a las preferencias y requerimientos de la red.

Como se puede observar en la figura 1.17, existe redundancia entre los dos nodos y en cada uno se ha implementado la protección OLP. En caso de que la fibra de trabajo entre los dos sitios se rompa, la tarjeta con protección OLP detectará la degradación de la señal y conmutará a su ruta de protección, sin afectar a los otros elementos que forman parte de la ruta de transmisión, ésta protección OLP está considerada dentro de los modelos denominados OPS (Optical Protection Switching).[7]

En la figura 1.17, se indica una configuración típica con protección OLP.

[7] http://www.iis.sinica.edu.tw/page/jise/2009/200905_05.pdf

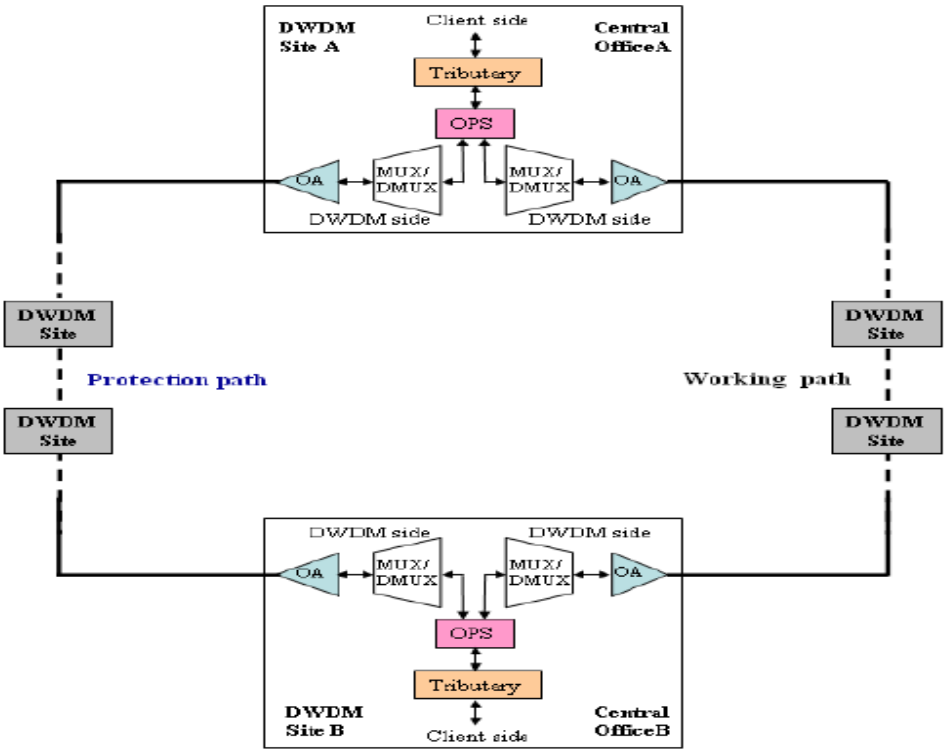


Figura 1.17 Protección OLP

1.4.2.2.6 Protección a nivel de tributarios

Para la protección de los tributario generalmente se considera una tarjeta adicional, la cual provee protección de tipo 1:N a las demás tarjetas de tributarios. De esta forma, la tarjeta de respaldo suple las funciones de cualquier tarjeta activa ante la presencia de fallas.

Para tal propósito se considera redundancia de transponder y de línea en las soluciones DWDM, donde para cada interfaz tributaria se dispone de dos transponders, cada uno orientado hacia una dirección del anillo. De esta forma ante la falla en un transponder o en cualquier tramo del anillo, el tráfico es enrutado hacia el otro transponder que dirige el tráfico a la otra dirección del anillo.

1.4.2.2.7 Protección a nivel de ASON (Automatic Switching Optical Line Protection)

Esta protección considera mecanismos aplicables a redes de topología compleja, tales como redes tipo malla, en la cual los equipos utilizan un algoritmo de enrutamiento para direccionar el tráfico de pendiendo de la situación, de esta forma, los operadores no están limitados a utilizar únicamente las topologías tradicionales de anillo y cadena, sino que pueden realizar de manera flexible la conexión entre equipos. También considera la implementación de diferentes mecanismos de protección considerando básicamente los acuerdos de nivel de servicio (SLA) que sean requeridos por la red, soportando generalmente la clasificación de los servicios en cuatro niveles:

- Servicio Platino: Protección permanente 1+1 (tiempo de conmutación menor a 20ms)
- Servicio Oro: Protección Distribuida (tiempo de conmutación menor a 50ms)
- Servicio Plata: Protección mediante Re-enrutamiento de Tráfico (tiempo de conmutación entre 100ms y 1s, se requiere procesamiento a nivel de capa 2)
- Servicio Bronce: Sin protección
- Servicios de menor importancia: Sin garantía, en caso de congestión de red estos servicios se descartan.

En todos los casos el tiempo de recuperación del sistema es menor a 50ms.[8]

[8] http://www.itu.int/rec/T-REC-G.8080-201202-I/es

CAPÍTULO 2

2. Pruebas de mantenimiento preventivo y correctivo

En éste capítulo se analiza y describe las principales pruebas y equipos utilizados en el mantenimiento preventivo y correctivo de una red metropolitana que utiliza la tecnología DWDM.

2.1 Conocimientos básicos del personal

[12]
El personal encargado del mantenimiento de la red debe estar familiarizado con la estructura básica de la red, comprendiendo la topología, equipamiento y servicios que en ella se está transportando, debe tener a la mano la documentación acorde con el trabajo que va a realizar.
Los siguientes ítems son sugeridos como conocimiento básico para el personal:

- La importancia del equipo en la estructura de la red
- El tipo de equipamiento que se está utilizando
- El tipo de hardware (tarjetas) que contiene el equipo
- Las longitudes de onda utilizadas en la red
- Los servicios que maneja el equipo
- Si el equipo sube y baja servicios o es un equipo de paso
- Las protecciones implementadas en el equipo
- La localización de atenuadores fijos y atenuadores variables
- Como se accede al equipo tanto física como administrativamente
- Las conexiones de fibra entre los diferentes componentes del equipo
- Las conexiones hacia los ODFs del lado cliente

- Las conexiones hacia los ODFs del lado de línea
- El tipo de interfaces ópticas que se manejan
- El tipo de fibras que se están utilizando

La documentación necesaria y que se debe disponer es la siguiente:

- Diagrama completo de la red
- Información de canales de servicio para comunicación entre los diferentes nodos
- Diagrama de distribución de tarjetas en los equipos
- Distribución de las longitudes de onda en la red
- Diagrama de conexión de fibras
- Información de las tarjetas y el hardware del equipo
- Distribución y etiquetado de puertos en los ODFs
- Documentos actualizados periódicamente luego de cada uno de los cambios o ajustes en la red
- Manuales técnicos, descripción de hardware y manuales de instalación

Mientras el personal de mantenimiento se encuentre más familiarizado con la estructura de la red, mejor y más rápido se pueden llevar a cabo tareas correctivas y preventivas.

2.2 Material requerido para el mantenimiento

[12] [13]

Para realizar el mantenimiento de una red DWDM se debe considerar el equipamiento adecuado para poder solventar cualquier inconveniente que se presente, para ello se recomienda que el personal disponga del siguiente material y equipamiento tal y como se muestra en la tabla 2.1.

Equipo / Material	Descripción
Optical power meter	Medición de potencia óptica
Fiber jumper	Reemplazo de fibras ópticas defectuosas
Cintas Velcro	Ajuste y reacomodo de fibras
Ethernet cable	Conexión de servicios o cables de gestión
Optical spectrum analyzer	Análisis de espectro en una línea óptica
Equipo probador multiservicios GE y SDH	Prueba y medición de servicios Ethernet y SDH
Multimeter	Medidas de parámetros eléctricos
ESD pulsera electrostática	Prevenir descargas electrostáticas sobre el personal de mantenimiento
Atenuador Óptico Variable	Atenuación de la señal con fines de pruebas
Light Source	Generación de una fuente de luz externa
OTDR (Optical Time Domain Reflectometer)	Análisis de fallas y cortes en la fibra
Destornilladores	Ajuste de equipamiento y tarjetas
Papel para etiquetas	Identificación de equipos y cables
Kit de limpieza para fibra óptica	Limpieza y mantenimiento de conectores y fibras ópticas

Tabla 2.1 Material para mantenimiento de una red DWDM[9]

En el siguiente capítulo se explica más a detalle los procedimientos y pruebas utilizados para el mantenimiento de una red con tecnología DWDM.

[9] http://www.eettaiwan.com/ARTICLES/2001SEP/PDF/2001SEP13_NTES_AN1696.PDF?SOURCES=DOWNLOAD

2.3 Equipos utilizados en el mantenimiento

[14] [15] [16] [17] [18] [19] [20]

Es de vital importancia el contar con equipos de medición y pruebas para el correcto mantenimiento de la red, un factor muy importante a tomar en cuenta al momento de seleccionar los equipos de medición, es que los equipos van a ser utilizados por personal de mantenimiento, lo cual significa que van a estar sometidos a ambientes de trato rudo.
Se aconseja al momento de seleccionar los equipos de medición, que cumplan ciertos requerimientos, como se indica a continuación:

- Deben incluir maleta de transporte con protección de equipos
- Cables de prueba
- Baterías recargables de larga duración (2 horas de autonomía)
- Fuentes de energía a 110 V
- Adaptadores AC/DC con ingreso de energía de 110v
- Los equipos de medición deben ser portables y a prueba de golpes
- Que tengan un certificado de calibración actualizado que garantice la veracidad de las pruebas.

Se procede a describir los equipos que se utilizan para el mantenimiento de una red con tecnología DWDM.

2.3.1 Equipo probador multiservicios GE y SDH

La función del equipo probador multiservicios GE (Gigabit Ehternet) y SDH (Synchronous Digital Hierarchy), es la de medir, probar y generar servicios

GE/SDH de cualquier nivel o jerarquía, permitiendo evaluar las condiciones del medio de transporte.

Las especificaciones técnicas que se sugieren para un equipo probador multiservicios GE y SDH son las siguientes:

- Manejo de Interfaces ópticas GE y 10 GE
- Manejo de Interfaces Ethernet 10/100/1000 Mb/s.
- Soporte de Interfaces OC-3/STM-1, OC-12/STM-4, OC-48/STM-16/OTU1, OC-192/STM-64/OTU2.
- Manejo de Interfaces PDH 1.5M (DS1), 2M (E1), 8M (E2), 34M (E3),45M (DS3), 140M (E4), STM-0e, STM-1e
- Verificación de conectividad extremo a extremo y medidas de calidad de servicio
- Realización de pruebas acorde a la metodología RFC 2544.
- Manejo de tráfico utilizando tecnologías MPLS/VPLS/VLAN y “Q en Q”.
- Soporte de análisis simultáneos de hasta 8 flujos Ethernet/IP para las pruebas de calidad de servicio.
- Presentación gráfica de resultados, incluyendo el retardo, el throughput y el jitter
- Soporte de las tecnologías OTU2 (10.7G, 11.05G, 11.1G) y OTU1 (2.7G).
- Manejo de las ventanas ópticas 1550 nm y 1310 nm, en todas sus interfaces.
- Generación y análisis de errores FEC corregibles e incorregibles.
- Soporte de tramas SDH con funcionalidad PRBS (Pseudo-Random Binary Sequence) y medición de pruebas acorde con la recomendación G.703
- Manejo de módulos intercambiables XFP/SFP
- Generación de reportes en formatos .html, .csv, .txt, .pdf

2.3.2 Analizador de espectros óptico (OSA)

La función de un analizador de espectro óptico (OSA) es la de realizar medidas de potencia óptica en función de la longitud de onda, es decir es utilizado para la medición de potencias ópticas, visualización de longitudes de onda y medición de la relación señal a ruido OSNR de las señales ópticas.

Las especificaciones técnicas que se sugieren para un OSA son las siguientes:

- Relación de señal óptica a ruido (OSNR) >40dB con espacio entre canales de ±0,4 nm típico para análisis de sistemas DWDM de alta capacidad.
- Precisión de la longitud de onda ≤ ± 0,02 nm
- Rango dinámico de potencia: -65 a +23 dB (Habilidad de medir una señal débil en presencia de una más fuerte)
- Pérdida Óptica por retorno: > 35 dB
- Rango de longitud de onda desde 1250 a 1650 nm
- Selección manual de una longitud de onda específica
- Resolución óptica ≤ 0,07 nm
- Linealidad de potencia ≤ 0.1 dB
- Conectores de entrada intercambiables (FC/SC/LC)

En la figura 2.1 se puede ver la relación de los diferentes parámetros de un equipo OSA.

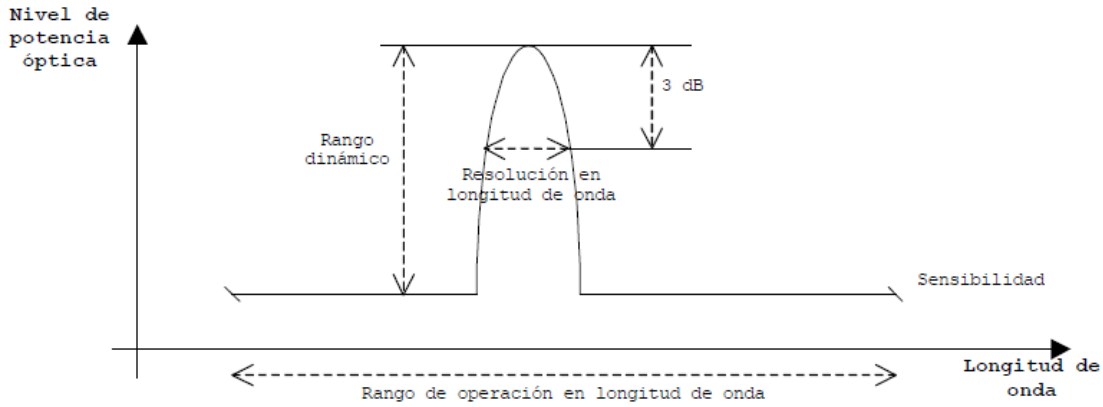


Figura 2.1 Parámetros significativos de un OSA

En la figura 2.2 se muestra un resultado típico mediante la utilización de un OSA

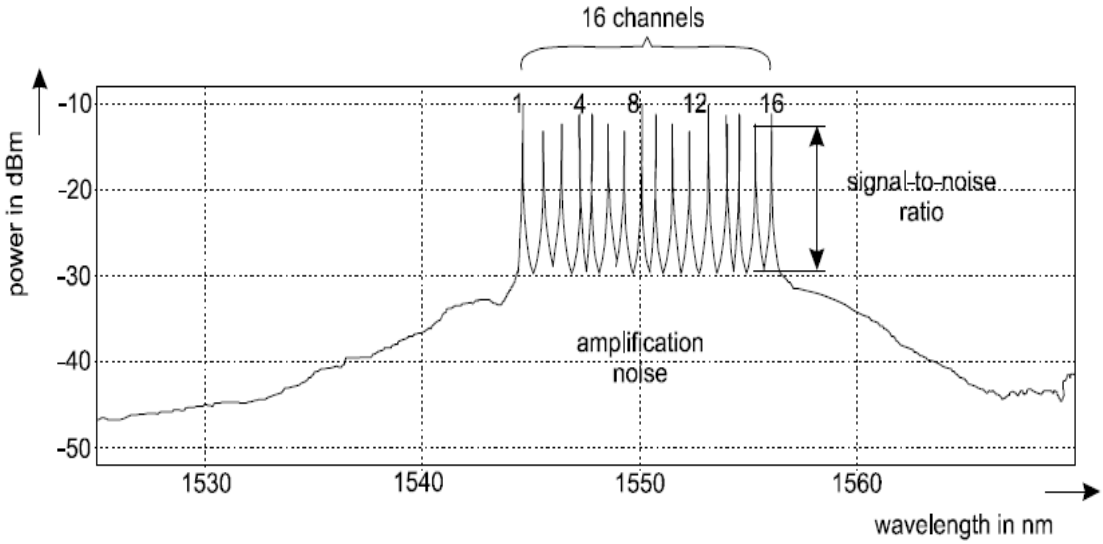


Figura 2.2 Visualización del espectro óptico utilizando OSA[10]

[10] http://documents.exfo.com/appnotes/anote098-ang.pdf

2.3.3 Reflectómetros ópticos en el dominio del tiempo (OTDR)

Un OTDR es un reflectómetro óptico en el dominio tiempo. Es un instrumento de medición que inyecta pulsos de luz a la fibra dentro de una ventana de trabajo determinada, para luego en base a las mediciones de las ondas reflejadas obtiener los valores de nivel de señal en función de la distancia, atenuaciones de los diferentes tramos, atenuación de empalmes y conectores, atenuación entre dos puntos, distancia a la que se produjo un corte de fibra o la distancia total de un enlace.

Las características técnicas que se deben tener en cuenta cuando se utiliza un OTDR son las siguientes:

- Longitud de onda disponible, 1300 nm/ 1310 nm/ 1550 nm ± 20nm
- Fibra óptica a medir: Monomodo y Multimodo
- Conectores ópticos Intercambiables FC/PC, SC, LC.
- Ancho de pulso ≥ 10000ns
- Rango dinámico ≥ 40dB
- Rango de distancia ≥ 300Km
- Zona muerta ≤ 8m
- Puntos de adquisición ≥ 5000 puntos
- Resolución de Muestreo ≤ 4 cm

Rango dinámico

Esta especificación determina la pérdida óptica total que puede analizar el OTDR; es decir, la longitud total del enlace de fibra que puede medir el equipo. Mientras más alto sea el rango dinámico, mayor será la distancia que puede analizar el OTDR.

Zonas muertas

Las zonas muertas se originan a partir de eventos de reflexión (conectores, empalmes mecánicos, etc.) a lo largo del enlace, afectando a la capacidad del OTDR para medir con precisión la atenuación en enlaces. Cuando la reflexión óptica de dicho evento alcanza al OTDR, su circuito de detección se satura durante un periodo de tiempo específico (convertido a distancia en el OTDR) hasta recuperarse y poder volver a medir una vez más de forma precisa.
Lo mejor es disponer de la zona muerta de atenuación más pequeña posible. Los valores estándar que se encuentran en el mercado van desde 3 m a 10 m para esta especificación.

Resolución de muestreo

La resolución de muestreo se define como la distancia mínima entre dos puntos de muestreo consecutivos adquiridos por el instrumento. Este parámetro es fundamental, ya que define la precisión de distancia última y la capacidad de localización de fallos del OTDR, entre menor sea la distancia, mejor será la resolución.

En la figura 2.3 se muestra un resultado típico mediante la utilización de un OTDR

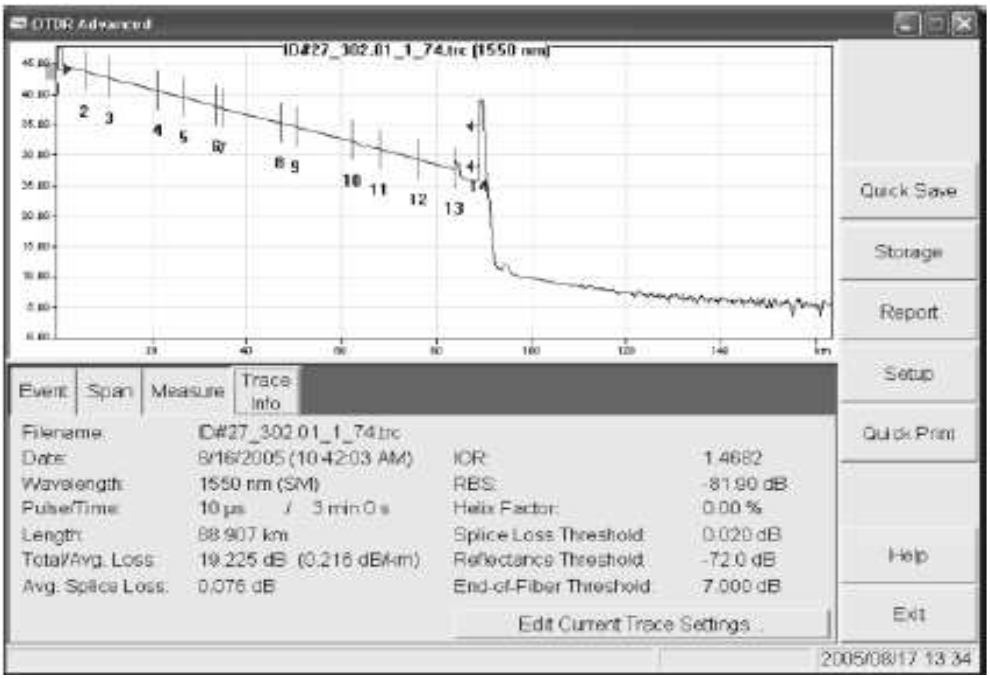


Figura 2.3 Visualización de resultados mediante OTDR

En la figura 2.3 se puede visualizar una prueba para una longitud de onda operando en 1550 nm, para un tramo de 88,9 km de distancia presentando una atenuación de 0,216 dB/Km y una pérdida de 19,22 dB para todo el trayecto, esta prueba muestra eventos del tipo reflectivos y no reflectivos.

Los eventos reflectivos son: conectores y uniones mecánicas.

Los eventos no reflectivos son: empalmes fusionados.[11]

[11] http://www.anritsu.com/en-US/Products-Solutions/Products/MT9090A.aspx

2.3.4 Fuente de luz

Se utiliza una fuente de luz para generar una longitud de onda que se inyectará en una fibra, generalmente con el fin de pruebas y diagnóstico de fallas.
Las características técnicas que se sugieren tener en cuenta cuando se utiliza una fuente de luz son las siguientes:

- Longitud de onda central 1310 ± 20nm, 1550 ± 20 nm
- Ancho espectral ≤ 5 nm
- Potencia de salida ≥ 1 dBm
- Estabilidad de potencia mejor que 8 ± 0.10 horas

2.3.5 Atenuadores ópticos variables

Las funciones de los atenuadores ópticos variables es la de reducir el nivel de potencia óptica en la fibra de forma gradual. Los atenuadores ópticos variables son componentes de muy fácil utilización y permiten ajustar la potencia óptica gracias a un rango muy amplió de atenuación disponible.
Las características técnicas que se deben tener en cuenta cuando se utiliza un atenuador óptico variable son las siguientes:

- Que sea tipo electrónico
- Tipo de fibra 9/125 µm
- Longitudes de onda calibradas 1310 nm, 1490nm, 1550 nm, 1625 nm
- Rango de atenuación 2 a 60 dB
- Pérdida de inserción ≤ 3,0 dB
- Linealidad mejor que ± 0,2
- Exactitud de la atenuación mejor que ± 0,8 dB
- Función Bidireccional

- Valor mostrado: Atenuación absoluta o atenuación relativa
- Conector óptico: Intercambiables por el operador (FC, SC, LC)
- Máximo nivel óptico ≥ 15 dBm.[12]

2.3.6 Generador de luz sintonizable en la banda C y L

Al igual que las fuentes de luz indicadas anteriormente, los generadores de luz sintonizable permiten inyectar una longitud de onda dentro de la fibra, pero con posibilidad de seleccionar diferentes longitudes de onda dentro de la grilla de acuerdo a la recomendación ITU-T G.692.

Las características técnicas que se deben tener en cuenta cuando se utiliza un generador de luz sintonizable son las siguientes:

- Rango de longitudes de onda (ajustable): Banda C (191.7 THz a 196.15 THz) Banda L (186.35 THz a 190.90 THz).
- Separación entre canales: 50GHz y 100 GHz
- Rango de Potencia ajustable mejor que +6dBm a +9 dBm
- Resolución de ajuste de potencia ≤ 0.01dB
- Variación de potencia ≤ ± 0.5 dB
- Ancho de banda 10MHz
- Modo de transmisión: Continua
- Exactitud ≤ ± 2.5 Ghz

[12] http://s3-eu-west-1.amazonaws.com/content.microlease.com/static/Catalogue/Datasheets/Acterna_OLA15.pdf

2.3.7 Medidores de potencia óptica.

Las características técnicas que se deben tener en cuenta cuando se utiliza un medidor de potencia óptica son las siguientes:

- Longitudes de onda calibradas: 1310, 1550 nm
- Márgenes de medida de -60 a +10 dBm
- Unidades de medición: dB / dBm / W/ dB (Relativos), auto-zeroing, data hold.
- Conector óptico: Intercambiables por el operador (FC, SC, LC),
- Máximo nivel óptico permitido mejor que +13 dBm.
- Linealidad mejor que 0,06 dB.

2.4 Gestión y Mantenimiento en una red DWDM

[21] [22]

Los sistemas DWDM poseen herramientas de operación y mantenimiento muy útiles al momento de operar y gestionar una red DWDM, dentro de las opciones que se emplean para la operación y mantenimiento de la red se tienen:

- ALC (Automatic Loss Compensation)
- AGC (Automatic Gain Control)
- APE (Automatic Power Equalization)
- OSA (Optical Spectrum Analizer)

A continuación describiremos cada una estas funciones que son soportadas por la mayoría de soluciones ópticas DWDM.

2.4.1 ALC - Automatic Level Control

ALC es un control automático de la potencia con el objetivo de ayudar a controlar las pérdidas por envejecimiento de la fibra o debido a la atenuación adicional que agregan los empalmes ante un corte de fibra.

Cuando esta función es activada, el efecto de la atenuación anormal de la fibra óptica fruto de su envejecimiento, conectores y manipulación es minimizado.
A medida que la atenuación de un segmento de la red se incrementa, la potencia de entrada al amplificador se reduce, mediante el uso de ALC la potencia de entrada/salida permanecerá constante y el nivel de OSNR no se vera alterado.
Este proceso se realiza de forma automática ajustando el VOA (Variable Optical Attenuator) haciendo que la red tenga un mejor desempeño y mantener ciertas funcionalidades de manera automática.
La función ALC mantiene la señal óptica en un nivel normal e impide que la potencia de ingreso/salida de los láseres de enlaces descendentes decaiga.
A continuación se presenta las figuras 2.4 y 2.5, que indican el efecto del uso del ALC en una red DWDM.

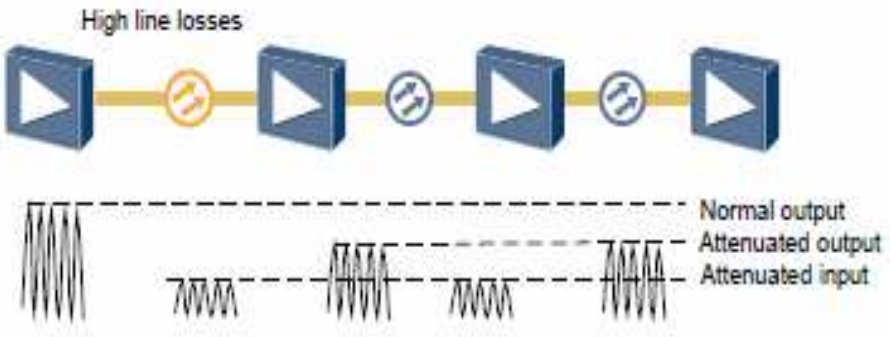


Figura 2.4 Sistema DWDM sin utilización del ALC

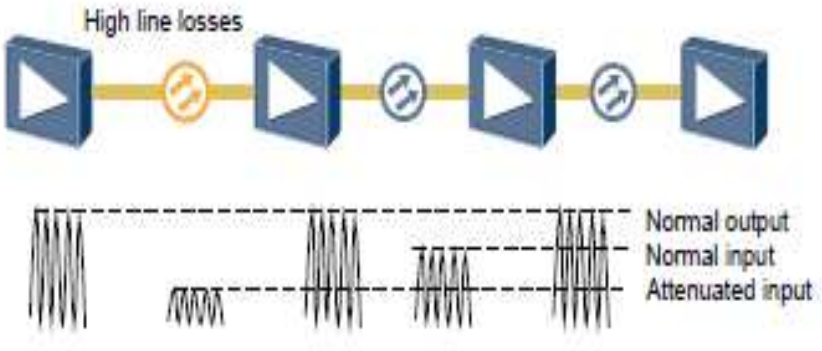


Figura 2.5 Sistema DWDM con la funcionalidad ALC activada

Esta inteligencia del equipo para ajustar el nivel óptico cambia los modelos de operación y mantenimiento existentes, debido a que ahora el ajuste ya no es manual, sino automático. Esto hace que los sistemas DWDM sean más eficientes e inteligentes en términos de operación, administración y mantenimiento.

2.4.2 AGC - Automatic Gain Control

Es un control automático de ganancia en los amplificadores que permite que ante una adición/retiro (ADD/DROP) de longitudes de onda, la potencia recibida en los OTU no se altere, para esto el sistema debe soportar el balanceo de potencia para todos los canales ópticos cada vez que se incrementa o se elimina una longitud de onda, dicho ajuste debe poder realizarse tanto en forma local como remota.

La figura 2.6 ejemplifica el funcionamiento del AGC:

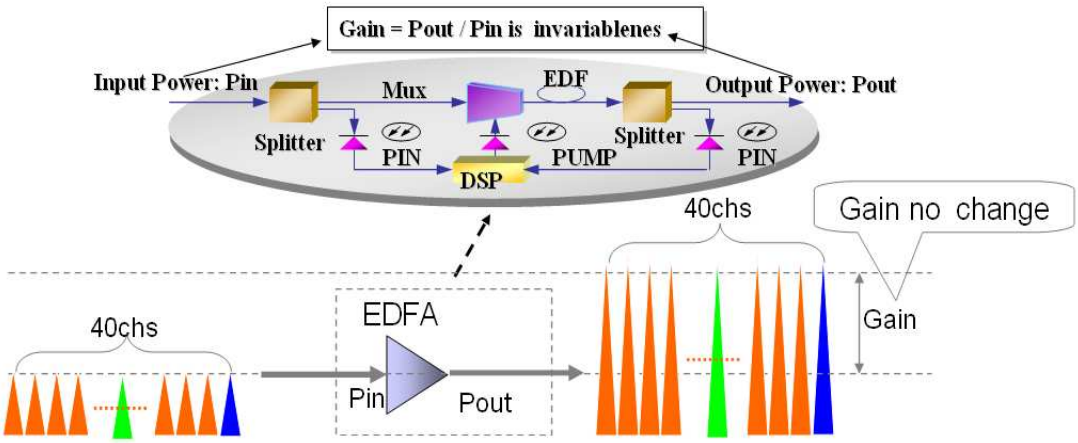


Figura 2.6 Control Automático de Ganancia

2.4.3 APE - Automatic Power Equalization

La tecnología APE permite el ajuste automático de la potencia óptica en el extremo de transmisión para alcanzar el pre-equilibrio entre la estación de transmisión y la estación receptora, por lo tanto mejora la calidad de la señal y aumenta la distancia de transmisión.

Según la potencia óptica detectada de cada canal en el lado de recepción, se ajusta la atenuación del canal de acuerdo a la potencia de referencia configurada en cada tarjeta, a fin de mantener el OSNR de cada canal y mantener el balance (flatness) de la potencia óptica de cada canal.

En la figura 2.7 se indica el funcionamiento del APE:

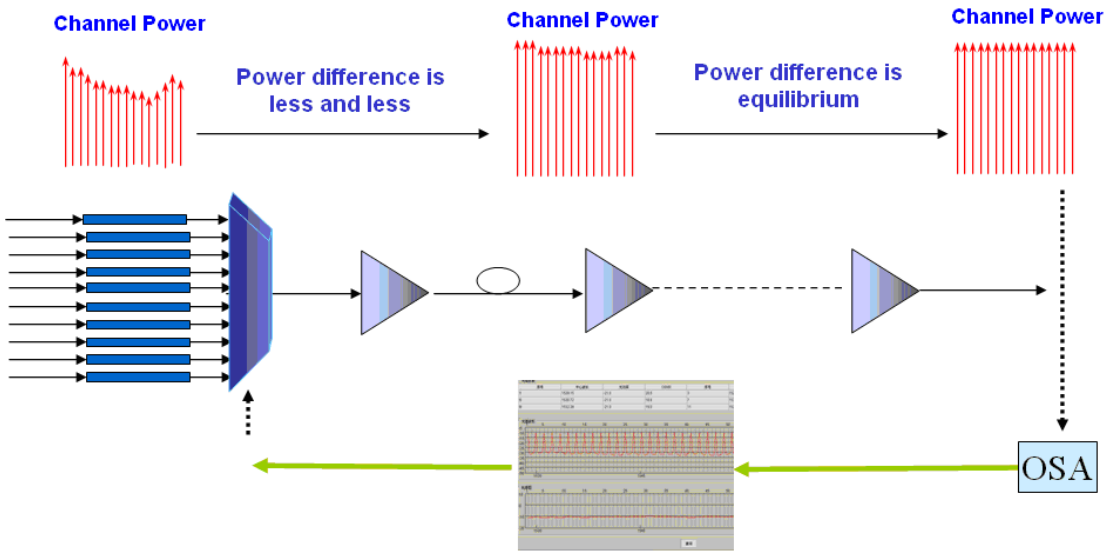


Figura 2.7 Pre-equilibrio Automático de Potencia – APE

2.4.4 OSA – Optical Spectrum Analizer

La unidad analizadora de espectros (OSA) mide la potencia óptica de cada longitud de onda, la longitud de onda central y la relación señal a ruido (OSNR). Es capaz de realizar un análisis completo y monitorear cada longitud de onda de la red.

El analizador de espectro óptico, OSA, resulta imprescindible para discernir la causa de un fallo. Por ejemplo, si falla un único canal, puede ser debido a un fallo en el transmisor, o bien a un salto en la longitud de onda emitida fuera de la banda de paso para ese canal. La única manera de averiguar la causa, consiste en comprobar con un OSA la señal en el transmisor, antes y después del multiplexor.
Pero el analizador de espectros es útil también a la hora de poner en marcha un sistema DWDM, permitiéndonos averiguar si existen malas conexiones.
Luego el OSA nos permite incluso realizar tareas de mantenimiento preventivo, analizando el comportamiento del sistema programando medidas periódicas, con

el fin de detectar degradaciones en la red DWDM (variación de las longitudes de onda emitidas etc).

La potencia óptica se muestra en el eje vertical, y normalmente se expresa en decibelios de potencia óptica, dBm, tal y como se muestra en la figura 2.8

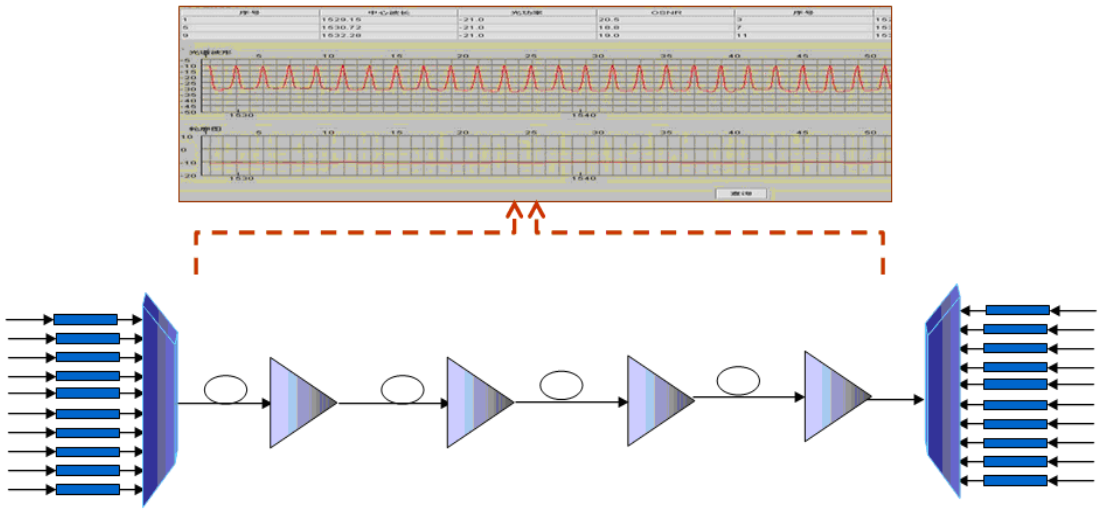


Figura 2.8 Unidad analizadora de Espectros OSA

Los cuatro parámetros más importantes que determinan el rendimiento de un OSA son la precisión absoluta de la longitud de onda (la exactitud con la que se puede medir la longitud de onda), la precisión del nivel de potencia, la resolución de la longitud de onda (la capacidad del instrumento para distinguir picos muy próximos entre sí en el trazo), y los rangos de medida de longitud de onda y de potencia.

La precisión de la longitud de onda es importante, ya que los canales adyacentes pueden estar separados tan sólo 0,4 nm. Debido al alineamiento tan preciso de las bandas de paso del multiplexor y del demultiplexor, cualquier variación mínima de la longitud de onda de un canal (del entorno del 10% del espaciamiento entre canales) puede repercutir en variaciones muy grandes de desempeño del sistema.

La potencia óptica de un canal DWDM puede ir de -30 dBm a 10 dBm y la

potencia varía en función del punto del sistema en que se esté midiendo, alcanzando su máximo valor justo después del amplificador.

2.5 Mantenimientos preventivos

[23] [24]

Se procederá a describir las diferentes rutinas de mantenimiento para redes que contienen equipos con tecnología DWDM y que podrá ser usado como una referencia para el personal encargado del mantenimiento de la red, la periodicidad de estas tareas depende de las necesidades y requerimientos definidos por el operador, las principales tareas que involucran el mantenimiento preventivo son las siguientes:

- Leer acerca de la operación de los equipos
- Descubrir problemas a tiempo y resolverlos
- Guardar reportes de desempeño de la red
- Revisión de alarmas
- Generación de reportes
- Back up de bases de datos

2.5.1 Rutinas de Mantenimiento diarias

Se refiere a las rutinas de mantenimiento que se realizan diariamente con el fin de garantizar la correcta operación de la misma y controlar potenciales riesgos.

En la tabla 2.2 se muestran las diferentes rutinas de mantenimiento diarias.

Actividad	Periodo	Acción
Revisión y análisis de alarmas actuales y almacenamiento de las mismas	Diario	Operación mediante sistema de gestión
Revisión y análisis de desempeño de 24 hrs para niveles de potencia en los puertos de fibra, almacenamiento de las mismas	Diario	Operación mediante sistema de gestión
Revisión y análisis de desempeño de 24 hrs para niveles de errores en los enlaces de fibra	Diario	Operación mediante sistema de gestión
Revisión y análisis de la temperatura en los componentes del sistema	Diario	Operación mediante sistema de gestión
Realización de back up de las bases de datos	Diario	Operación mediante sistema de gestión

Tabla 2.2 Rutinas de mantenimiento diaria

2.5.2 Rutinas de Mantenimiento semanales

Este tipo de rutinas de mantenimiento permiten revisar el comportamiento de la red y prevenir cualquier falla que pueda presentarse.

En la tabla 2.3 se muestran las actividades para las rutinas de mantenimiento semanal

Actividad	Periodo	Acción
Revisión y análisis de desempeño de 24 hrs para niveles de potencia en los puertos de entrada y salida de las fibras, almacenamiento de las mismas	Semanal	Operación mediante sistema de gestión
Revisión y análisis de desempeño de 24 hrs para niveles de potencia en los puertos de entrada y salida de los amplificadores ópticos, almacenamiento de las mismas	Semanal	Operación mediante sistema de gestión
Revisión y análisis de desempeño de 24 hrs para niveles de errores en las interfaces de línea, almacenamiento de las mismas	Semanal	Operación mediante sistema de gestión
Revisión de los parámetros de disponibilidad de los enlaces de fibra	Semanal	Operación mediante sistema de gestión

Tabla 2.3 Rutinas de mantenimiento semanales

2.5.3 Rutinas de Mantenimiento mensuales

En la tabla 2.4 se muestran las actividades para las rutinas de mantenimiento mensual

Actividad	Periodo	Acción
Revisión y análisis de desempeño de 24 hrs para niveles de potencia en los puertos de entrada y salida de los multiplexores, almacenamiento de resultados.	Mensual	Operación mediante sistema de gestión
Revisión y análisis de desempeño de 24 hrs para niveles de potencia en los puertos de entrada y salida de los demultiplexores, almacenamiento de resultados.	Mensual	Operación mediante sistema de gestión
Revisión y análisis de los valores de longitudes de onda, OSNR y valores de potencia óptica mediante el uso de la unidad analizadora de espectros OSA.	Mensual	Operación mediante sistema de gestión
Revisión de los canales de servicio Orderwire y comunicación entre los diferentes nodos de la red	Mensual	Operación realizada localmente

Revisar el sistema de ventilación de los equipos y limpiar los filtros de aire	Mensual	En ambientes de contaminación se sugiere realizarlo semanalmente
Revisar la información de configuración de tarjetas	Mensual	Operación mediante sistema de gestión
Comparar Bases de datos y realizar un back up completo		Operación mediante sistema de gestión

Tabla 2.4 Rutinas de mantenimiento mensuales

2.5.4 Rutinas de Mantenimiento Trimestrales

En la tabla 2.5 se muestran las actividades para las rutinas de mantenimiento trimestral

Actividad	Periodo	Acción
Pruebas de señal a ruido OSNR de las rutas secundarias, guardar resultados	Trimestral	Prueba mediante el uso de un analizador de espectros óptico
Pruebas de señal a ruido OSNR de las rutas primarias, guardar resultados	Trimestral	Prueba mediante el uso de un analizador de espectros óptico
Revisión y actualización de la documentación del equipo	Trimestral	Verificar registros de cambios
Revisión de los parámetros de disponibilidad de los enlaces de fibra	Trimestral	Operación mediante sistema de gestión

Tabla 2.5 Rutinas de mantenimiento trimestrales

2.5.5 Rutinas de Mantenimiento Semestrales

Las rutinas de mantenimiento semestrales requieren de actividades más riesgosas para la red y por tal motivo deben realizarse en ventanas de mantenimiento reduciendo una posible afectación real a los servicios

Se debe tener en cuenta que el mantenimiento adecuado de las partes de repuesto es muy importante para la realización de análisis y solución de fallas, es

por esto que se debe considerar la revisión periódica y verificar que el stock de repuestos se encuentre completo y en condiciones adecuadas para su utilización.

En la tabla 2.6 se muestran las actividades para las rutinas de mantenimiento semestrales.

Actividad	Periodo	Acción
Pruebas de conmutación a rutas de protección	Semestral	Operación mediante sistema de gestión
Pruebas del ALC	Semestral	Operación mediante sistema de gestión
Pruebas al equipamiento de repuesto	Semestral	Operación mediante equipos de pruebas

Tabla 2.6 Rutinas de mantenimiento semestrales

2.6 Mantenimientos Correctivos y detección de fallas

[12] [25]

Los mantenimientos correctivos son enfocados a solucionar problemas en la red que afectan al correcto funcionamiento y operación de la misma y van generalmente ligados a la detección de fallas en los componentes del sistema DWDM.

Se indica cómo realizar un mantenimiento correctivo e identificar fallas en las principales unidades del sistema.

2.6.1 Mantenimiento Unidades OTU (Optical Transponder Unit)

Las unidades OTU son muy importantes e indispensables en la operación del sistema DWDM y dentro de sus funciones están las de monitorear los bytes B1y J0 con el objetivo de facilitar la localización de fallas en la red.

El personal de mantenimiento debe recolectar y respaldar diariamente los valores históricos y actuales de desempeño así como información de alarmas de cada unidad OTU desde el sistema de gestión, si alguna anormalidad es detectada, se la puede solventar con anticipación. Los datos de rendimiento de las unidades OTU incluyen los niveles de transmisión y recepción de potencia óptica, y la tasa de errores.

Generalmente, si la potencia de transmisión óptica no está dentro de los valores de diseño y especificaciones de los transceivers ópticos, el personal de mantenimiento deberá sustituir la tarjeta defectuosa.

Si la potencia de recepción óptica es anormal, el personal de mantenimiento debe pasar a localizar la causa en toda la sección de regeneración. Si existe la presencia de errores, el personal de mantenimiento debe comprobar si es por causa de avería o fallo en el lado DWDM o si la falla se debe al lado del cliente.

Si se detecta que el lado DWDM causa el problema, el personal de mantenimiento tiene que localizar la causa en la sección de regeneración.

Se puede realizar los siguientes pasos antes presencia de errores en las unidades OTU:

- Si los errores son detectados en el terminal de recepción y no en el terminal de transmisión, se puede deducir que los errores están presentes en el lado DWDM, por lo cual el personal de mantenimiento deberá continuar a localizar el problema en el lado de la línea o descartar también problemas con el equipo.

- Si los errores están presentes tanto en el terminal de recepción como en el terminal de transmisión y en la misma cantidad, esto nos indicaría que los errores están presentes en el lado cliente y estos se transmiten transparentemente hacia el lado DWDM, por lo tanto se deberá determinar las causas de los errores en los equipos de acceso.

- Si los errores están presentes tanto en el terminal de recepción como en el terminal de transmisión pero si además la cantidad de errores es mayor en el terminal de recepción que en el terminal de transmisión, esto nos indicaría que los errores están presentes en ambos lados del sistema (Cliente y DWDM), el personal de mantenimiento deberá localizar el origen de los errores tanto en el lado DWDM como en el lado cliente.

2.6.2 Mantenimiento de Unidades Amplificadoras

El mantenimiento de las unidades amplificadoras incluye a los amplificadores Boosters (BA), pre-amplificadores (PA) y amplificadores de línea (LA), generalmente todos tipo EDFA y todos ellos amplifican longitudes de onda combinadas, es decir si un amplificador falla todas las longitudes de onda en la ruta se verán afectadas, es por esto que un amplificador es muy importante en el sistema DWDM y se debe poner mucha atención al mantenimiento que se realiza.
Luego de revisar el histórico de alarmas y desempeño de los amplificadores y si luego de lo cual se detecta cambios en los valores de potencia ópticos, el personal debe localizar la causa siguiendo el siguiente procedimiento:

- Revisar si existe alguna longitud de onda que se esté perdiendo en el camino, si es así, se debe localizar la falla en el terminal de transmisión de la etapa OTU.

- Revisar si la potencia óptica del amplificador en el sentido del flujo de subida ha cambiado, se necesitará revisar de principio a fin los valores de potencia en toda la ruta y observar el primer sitio en el cual cambiaron los valores de potencia para poder hallar la falla.
- Si el valor de potencia de salida en el amplificador de subida es normal, el personal deberá poner mayor atención a deterioros en la línea.

  Si el valor de potencia de salida en el amplificador de subida cambia se deberá seguir el siguiente procedimiento:

  Debido a que el amplificador óptico emplea una tecnología basada en la ganancia, variaciones en la potencia óptica de entrada son directamente observadas en la potencia óptica de salida, el personal de mantenimiento puede localizar fallas basados en los items previamente indicados para el caso de cambios en la potencia óptica de entrada.
- Si la potencia óptica de entrada es constante y la potencia óptica de salida cambia, el personal deberá reemplazar la tarjeta.
- Si se detecta la presencia de errores o interrupción en todas las longitudes de onda de la red DWDM, el personal debe revisar primeramente los valores de desempeño actual e histórico de los amplificadores ópticos mediante el sistema de gestión, esto nos dará rápidamente una idea del comportamiento de la red.

2.6.3 Mantenimiento Unidades OTM (Optical Terminal Multiplexer)

Para las rutinas de mantenimiento sobre multiplexores y demultiplexores, el personal de mantenimiento deberá analizar el histórico de los valores de potencia óptica con el fin de encontrar cualquier comportamiento anormal.

Los eventos de desempeño nos indican los valores de potencia óptica en las interfaces y de acuerdo a esto se pueden seguir los siguientes pasos:

- Si la potencia de entrada óptica de un demultiplexor cambia, el personal debe revisar el comportamiento de los valores ópticos de la etapa de amplificación óptica en el sentido de subida del flujo de la señal, si este cambia el personal deberá resolver de acuerdo a lo indicado en el ítem de mantenimiento de las unidades amplificadoras, si los valores de potencia son constantes en el amplificador, se deberá probar la conexión física entre el amplificador y el demultiplexor, pudiendo darse casos de fibras atenuadas, rotas o simplemente que se encuentren con suciedad en sus conectores.

- Si la potencia de salida óptica de un multiplexor cambia, el personal debe revisar el comportamiento de todas las longitudes de ondas entrantes individualmente, recordar que a la salida del multiplexor se tiene la potencia compuesta de todas las longitudes de onda entrantes, si se constata que existe algún comportamiento anormal se deberá analizar de acuerdo al ítem de mantenimiento de las unidades OTU, si los valores de potencia óptica no cambian, se deberá comprobar la conexión física entre las unidades OTU y las unidades multiplexoras, pudiendo darse casos de fibras atenuadas, rotas o simplemente que se encuentren con suciedad en sus conectores.

2.6.4 Mantenimiento Multiplexores de Adición/Extracción (OADM)

OADM es también conocido como Agregador/Desagregador estático de longitudes de onda y su función es similar al sistema OTM, el personal de mantenimiento debe estar muy familiarizado con la configuración de las longitudes de onda del sistema, valores de las longitudes de onda, diagramas de flujo de la señal y conexiones de fibra internas y externas del equipo.
Debido a que la Agregación y Extracción de longitudes de onda es fijada de forma estática, el soporte a las longitudes de onda específicas de las tarjetas de

repuesto tanto para la parte OTU como para la tarjetería OADM debe ser consistente y pueden ser utilizadas para la localización de fallas y recuperación de servicios.

2.6.5 Mantenimiento de unidades controladores

Generalmente cuando ocurren fallas en las unidades controladoras, la normal operación de la red DWDM no se ve afectada, sin embargo suele ser necesario el reemplazo del hardware con problemas.
Durante las rutinas de mantenimiento el personal debe realizar lo siguiente:

- Sacar un backup de la configuración del equipo mediante el sistema de gestión, antes de realizar el reemplazo de la tarjetería defectuosa.
- Garantizar la consistencia entre las versiones de software de las tarjetas que se están reemplazando, una versión no adecuada o desactualizada puede traer comportamientos inesperados y riesgosos para los servicios.
- Descargar el backup de configuración a la nueva tarjeta.

CAPÍTULO 3

3. Manual de procedimiento para el mantenimiento y detección de fallas para una red metropolitana que utiliza la tecnología DWDM

En este capítulo se presenta un manual de procedimiento que permita realizar el correcto mantenimiento preventivo y correctivo de los diferentes subsistemas que conforman una red metropolitana que utiliza la tecnología DWDM.

3.1 Gestión de la red y requerimientos del sistema de gestión

[26] [27] [28] [29] [30]

Para la gestión y mantenimiento de la red, generalmente los operadores manejan sistemas de gestión que permiten detectar y analizar la presencia de fallas, realización de rutinas de mantenimiento, aprovisionamiento de servicios, realización de cambios en la configuración de la red, obtención de reportes y análisis de desempeño, todas estas actividades son realizadas periódicamente con el objetivo de garantizar al máximo la operatividad de los servicios.
Los sistemas de gestión (NMS) que se requieren para una óptima administración y mantenimiento de la red deben cumplir ciertas funcionalidades que se proceden a enumerar a continuación.

3.1.1 Gestión de Fallas

Esta tarea incluye la recolección y procesamiento de alarmas, reportes y sondeos automáticos, visualización de las alarmas existentes en los mapas de topologías, las cuales se categorizan de acuerdo a su importancia y mediante código de colores para que los operadores puedan rápidamente distinguir los tipos, estado y grado de alarmas, obtención del registro de alarmas actual e histórico, estadísticas y reportes tabulados de las alarmas, resultado de los datos de alarma históricos, sincronización de datos de alarma automáticos, indicación y ubicación de alarmas a nivel de red, subred, elemento de red, tarjeta y puerto, indicación de alarma visual y audible con sonidos personalizables, administración de la alarmas existentes en la red, permitiendo suprimir, categorizar y borrar alarmas de acuerdo a los requerimientos e importancia de ciertos equipos y servicios de la red.

En la figura 3.1 se muestra la pantalla de un sistema de gestión, típico para verificación de fallas.

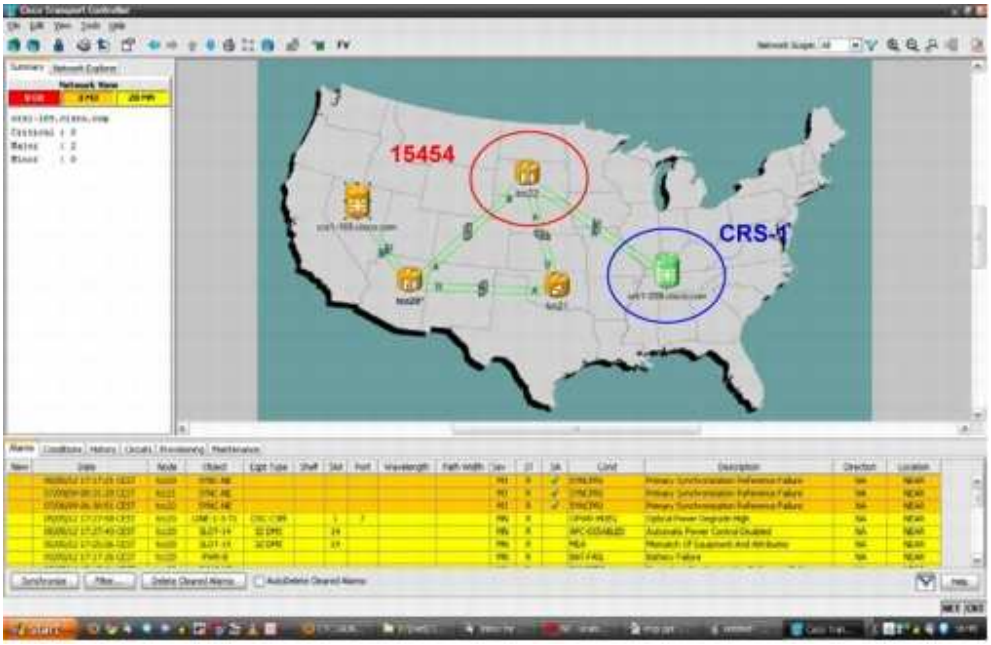


Figura 3.1 Sistema de gestión de fallas de Cisco CTC

En la tabla 3.1 se muestran los eventos utilizados en la gestión de fallas.

Item	Descripción
Revisión de alarmas	Consulta/filtrado/impresión de alarmas presentes o históricas
	Reconocimiento/chequeo/Borrado de alarmas
	Verificación de fallas en hardware, falla de sincronismo, equipos DWDM
	Monitoreo de alarmas de los elementos de red, con colores determinados
	Verificación de estado de las tarjetas, transpondedores, etc
Manejo de alarmas	Sincronización de alarmas de varios o todos los equipos de red (NE)
	Limpiar la indicación de alarma para un equipo de red (NE)
	Verificar existencia de histórico de alarmas

Tabla 3.1 Eventos de gestión de fallas

3.1.2 Gestión de Desempeño

La función de gestión de desempeño en la mayoría de fabricantes, permite determinar los objetos a ser monitoreados, los umbrales de monitoreo, los tiempos de muestreo, etc. De esta manera se recopila información que muestra los datos de desempeño actual del sistema, estadísticas de desempeño histórico, y mediante fórmulas empíricas manejadas por el sistema, se realizan predicciones de desempeño futuro a mediano y largo plazo.

Las funciones de gestión de desempeño incluyen la recolección de datos de desempeño, el establecimiento de atributos de desempeño, la presentación de los resultados de datos desempeño en forma de gráficos y reportes estadísticos, el monitoreo de desempeño las 24 horas del día o en intervalos de tiempo pre-definidos, análisis de eventos de desempeño, presentación de resultados de datos

de desempeño históricos, el pronóstico de desempeño futuro, además de la sincronización de datos automática entre NE (Network Elements) y NMS (Network Managament System) y entre NMS y NMS, etc.

En la figura 3.2 se muestra un ejemplo de presentación de los resultados de un análisis de desempeño por modo grafico.

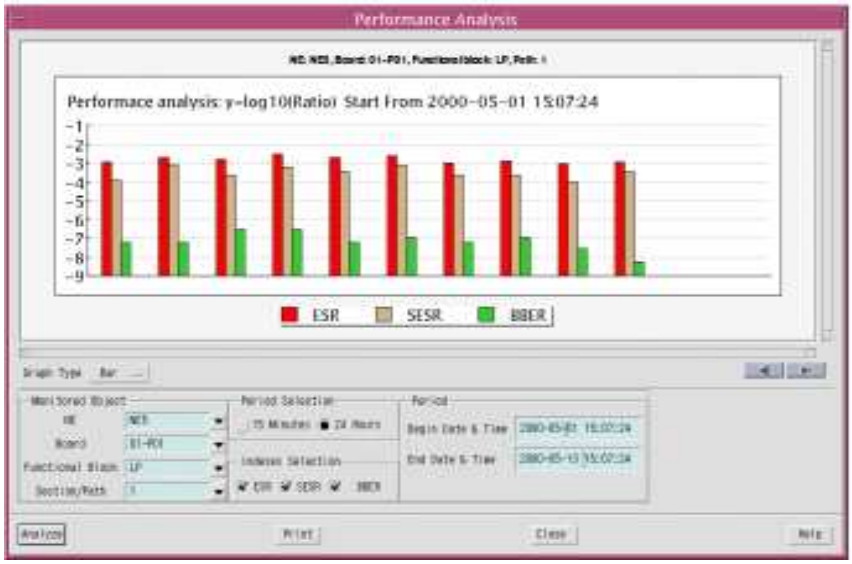


Figura 3.2 Gestión de desempeño

Los sistemas de gestión permiten al operador administrar los umbrales de desempeño para todos los objetos de la red. Si bien las estadísticas detalladas de cada objeto particular son útiles para detectar fallas o analizar el desempeño de un objeto en particular, estas consumen muchos recursos del sistema. Por ello se suele disponer de múltiples mecanismos para seleccionar ciertos objetos dentro de un grupo de numerosos objetos, es posible generar únicamente estadísticas y reportes de objetos o grupos de objetos que registren un comportamiento fuera de lo normal, como es el caso de circuitos cuyo tráfico exceda un umbral máximo o mínimo, rutas que registren niveles de congestión superiores a un umbral predefinido, rutas cuya utilización sea menor a un nivel específico, etc. Esto

facilita significativamente las labores del personal encargado de analizar el comportamiento de la red, y reduce a un nivel manejable la cantidad de datos generados por el sistema.

3.1.3 Gestión de Configuración

Incluye la gestión de los atributos de todos los elementos de red, sub-red y red, fuentes de sincronización y líneas de conexión. Las funciones de gestión de configuración incluyen la configuración de Elemento de Red (NE), la configuración de red SDH, la configuración de red DWDM y la configuración de servicios IP, ATM, entre otros.

La configuración de red SDH y red DWDM incluye las funciones de consulta de atributos de tarjetas de interfaces SDH y DWDM, manipulación de bytes de encabezado, configuración de tarjetas de amplificación óptica, configuración de sincronismo, aprovisionamiento de protección a nivel de tributarios y a nivel de red; activación y desactivación de servicios; configuración de las tarjetas DWDM; aprovisionamiento de protección óptica, etc.

La configuración de servicios IP incluye el aprovisionamiento de tarjetas de servicio e interfaz IP, la configuración de mecanismos de transmisión transparente, la configuración de servicios Ethernet de capa 2 tales como tablas de filtrado de Redes de Área Local Privadas (VLAN), tablas de re-direccionamientos basadas en Control de Acceso de Medios (MAC), tipo de servicio, mecanismos de clasificación de mensajes de acuerdo a prioridades, configuración de otras funciones de Ethernet tales como CAR, IGMP, VPLS, LSP, gestión de clasificación de flujos y calidad de servicio QoS, pruebas a nivel de interface FE y GE.

3.1.4 Gestión de Topología

Incluye el despliegue visual de la topología de la red, visualización en diferentes niveles, organización por grupos de elementos y capas de red, fondos de pantalla,

esto es útil desde el punto de vista de organización y visualización de una red de tal manera que permitan al operador administrar la red fácilmente.

3.1.5 Gestión de Mantenimiento

Dentro de las tareas de mantenimiento se incluyen realizar actualizaciones de software a los diferentes elementos de la red, realizar periódicamente respaldos de las bases de datos de información y recuperación, inserción de alarmas, control de los láser y puertos de los equipos, pruebas de lazos lógicos remotos y locales con el fin de descartar fallas o simplemente para corroborar servicios dentro de una red.

En la tabla 3.2 se muestra las operaciones que usualmente se realizan en el mantenimiento de una red con tecnología DWDM.

Item	Descripción
Operaciones de Mantenimiento	Mirar información de equipos de las red DWDM
	Aprovisionamiento remoto de los equipos
	Visualización de potencias de transmisión, recepción, en equipos ópticos
	Pruebas de bucles
	Obtención de topología como reporte
	Visualizaciones de desempeño
	Visualización de Ancho de Banda de enlaces

Tabla 3.2 Operaciones de Mantenimiento

3.1.6 Gestión de Seguridad

La gestión de seguridad y control de ingreso (login) al sistema de gestión se lo realiza mediante usuario y contraseña, esta autenticación es muy importante con el fin de precautelar la red ante usuarios que puedan afectar o cambiar parámetros de configuración, es importante la gestión de usuarios incluyendo historial de operaciones por fecha, hora y nombre de usuario, estableciendo un dominio y privilegios de administración de los usuarios, etc

En la tabla 3.3 se muestran los requerimientos de acceso y privilegios para el sistema de gestión de red (NMS)

Item	Descripción	Resultado
Asignación de privilegios a usuarios del NMS	Acceso al NMS	☑ Aprobado ☐ Rechazado
	Área que solicita	……
	Razón de la solicitud	……
	Privilegios de operación del usuario	□ Monitoreo nivel 1 □ Monitoreo nivel 2 □ Monitoreo nivel 2 y Configuración □ Administrador
	Periodo de validez	□ 1 año □ 6 meses □ 1 mes □ indefinido
	Pantalla de bloqueo del NMS	□ Requerido □ No Requerido

Tabla 3.3 Asignación de privilegios en el NMS

3.2 Procesos en el manejo y detección de fallas

[12] [21] [28]

Se presentan los procesos sugeridos para el manejo y detección de fallas en la red, generalmente las emergencias que se presentan en una red con tecnología DWDM vienen de la mano de los siguientes casos:

- Errores de operación en la red como por ejemplo la realización de lazos lógicos, borrado de configuraciones, etc.
- Fallas de hardware como daño en el equipamiento de la red
- Cortes en la fibra ya sea en la ruta de fibra o en las conexiones propias de los equipos
- Deterioro de la red que afecta los parámetros de operación ya sea por envejecimiento de la fibra, degradación de los láseres, etc.
- Presencia de bits errados en el medio producidos generalmente por cambios en los valores de diseño de potencia óptica, no linealidades de la fibra, etc.

Se enfatizará en dar soluciones a este tipo de eventos que con más frecuencia se presentan durante la operación de la red.

3.2.1 Proceso para el manejo de interrupciones de tráfico en la red

Se presenta el proceso para el manejo de interrupciones de tráfico, dando una visión general de los pasos a seguir durante una emergencia que se presente en la red.

En la figura 3.3 se muestra el proceso para el manejo de interrupciones de tráfico en la red

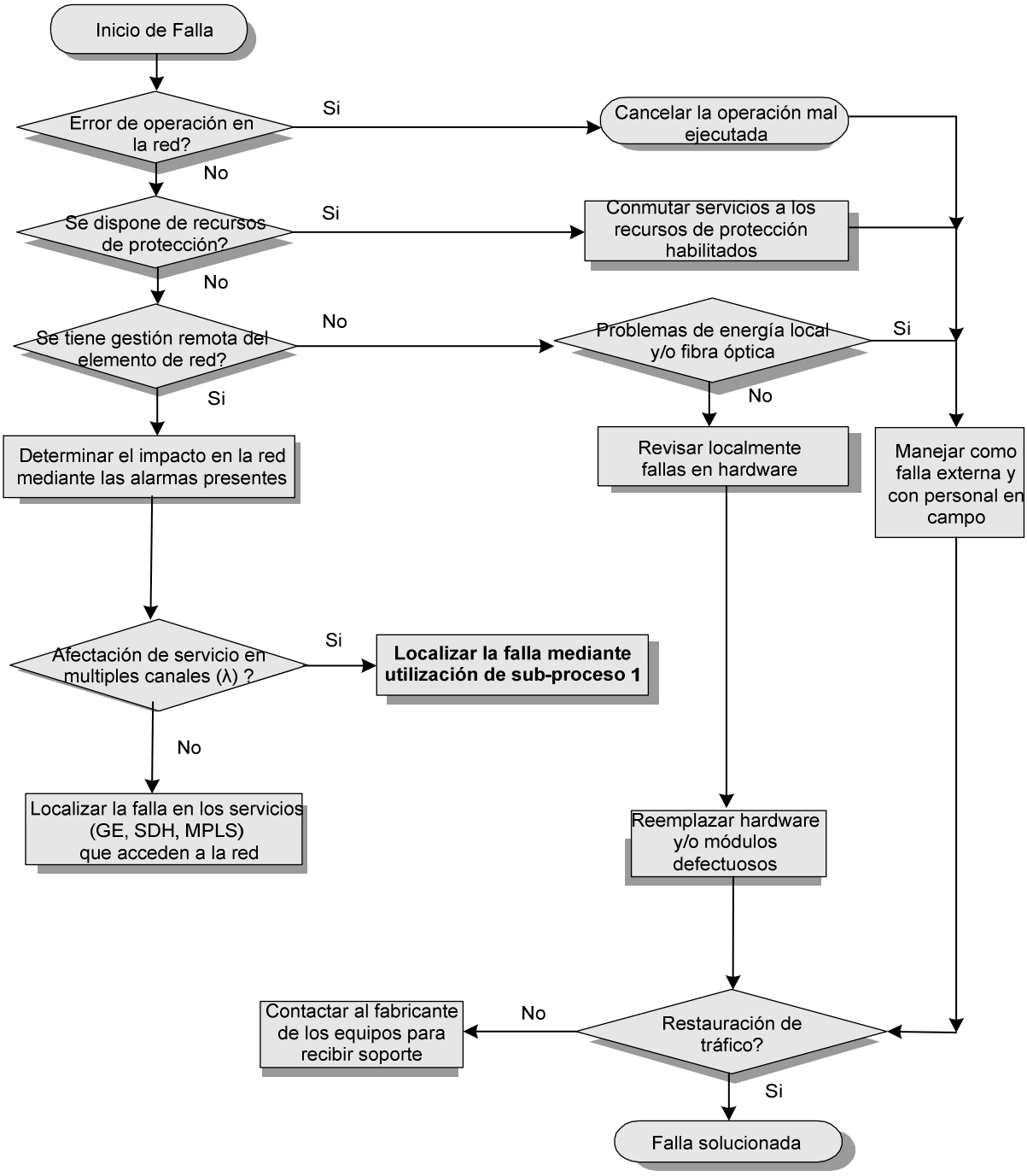


Figura 3.3 Proceso para manejo de afectaciones de tráfico en la red

3.2.2 Proceso para manejo de bits errados en la red

Durante la operación de una red con tecnología DWDM se presenta degradación de la calidad del servicio debido a la presencia de errores en el medio, generalmente los errores están directamente relacionados con valores de potencia no acordes a lo planificado en el diseño de la red, ya sea por fallas de hardware, envejecimiento o daños en la fibra que repercuten directamente y originan la presencia de errores en la red.

Se describen los pasos para la solución y manejo de bits errados complementado con el diagrama de flujo

- **Presencia de bits errados asociados con cortes de tráfico**

  Si se verifica la presencia de bits errados luego de un corte de servicio, es necesario limpiar las fibras y puertos ópticos asociados al corte, se pueden reemplazar las fibras, módulos ópticos o migrar los servicios de una interfaz de una tarjeta a otra interfaz para solucionar el problema, se debe tomar en cuenta que las nuevas fibras que se reemplazan no afecten los parámetros de operación de la red, y que la interfaz que se utilice trabaje en las mismas condiciones que la interfaz de origen.

- **Presencia de bits errados asociados con no-linealidades en la fibra**

  La posibilidad de presencia de bits errados debido a no-linealidades en la fibra es muy escasa y éstas se presentan cuando se trabajan con valores de potencia óptica alta y tasas de transmisión superiores a 10 Gbps, si las no-linealidades son severas, se generan bits errados en cualquier canal (λ) de manera aleatoria, en este caso localizar la no-linealidad bajando y aumentando la potencia óptica en el lado del transmisor, si los bits errados en el lado del receptor aumentan y disminuyen de acuerdo a la variación de la potencia, esto indica que la falla es causada por no-linealidades, en este

caso se sugiere bajar la potencia óptica en el lado de transmisión minimizando los efectos no-lineales.

- **Presencia de bits errados asociados con potencia óptica**

  Si los valores de potencia óptica de entrada y salida de la tarjeta OTU exceden los rangos normales de operación, se producirá la presencia de bits errados relacionados con valores de potencia óptica, en este caso se sugiere manejar la falla de acuerdo a lo indicado en los subprocesos para rectificación de fallas relacionadas con valores de potencia óptica anormales, adicionalmente, se sugiere revisar los datos históricos de desempeño de cada canal antes de proceder a solventar la falla.

- **Presencia de bits errados asociados con fallas de hardware**

  Si el hardware involucrado con la presencia de errores reporta alarmas relacionadas con fallas de hardware, es necesario reemplazar el hardware que reporta éste tipo de alarmas.

En la figura 3.4 se muestra el proceso para el manejo de bits errados en la red.

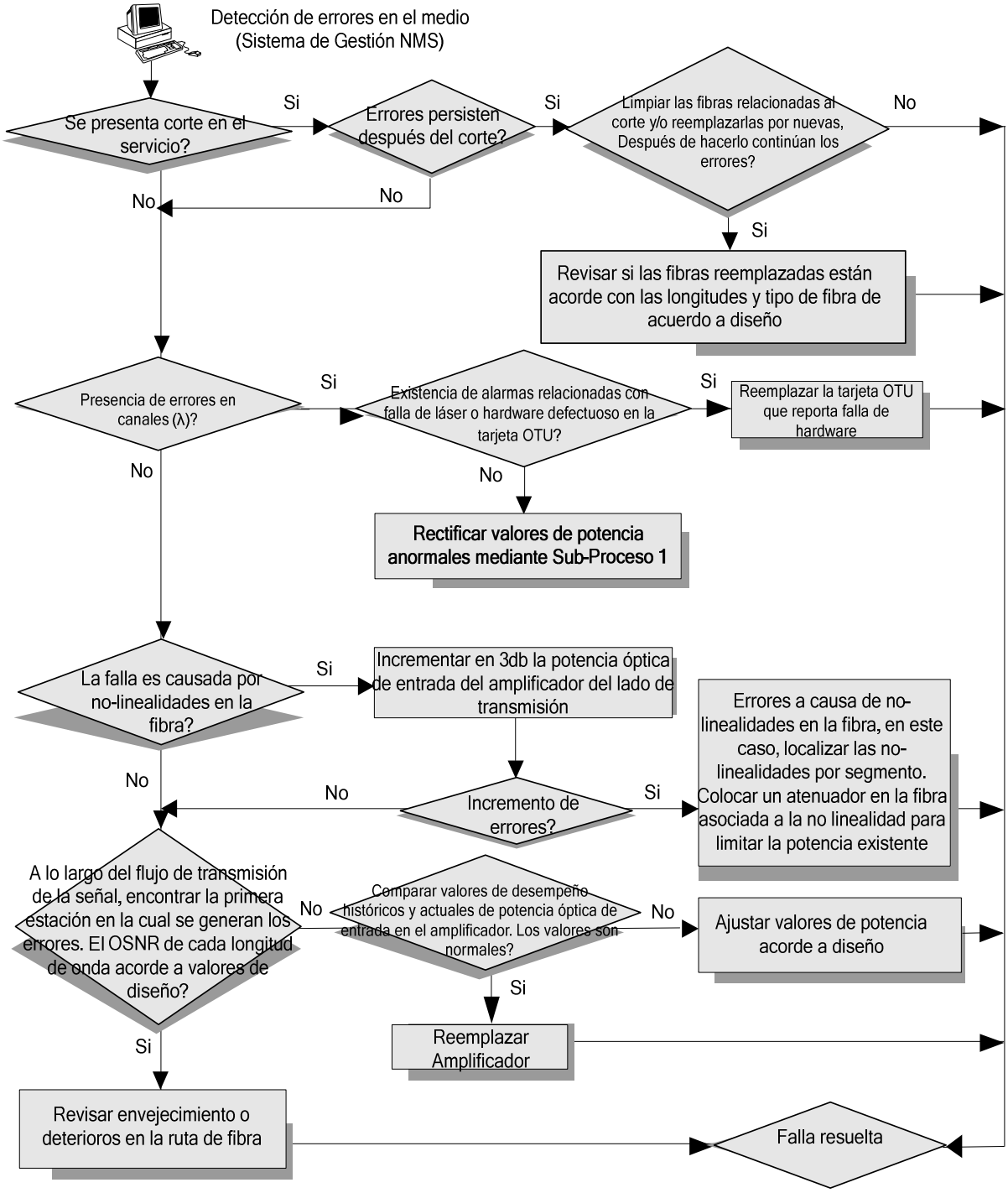


Figura 3.4 Proceso para manejo de bits errados en la red

En la figura 3.5 se muestra el sub-proceso 1 para la rectificación de fallas relacionadas con valores de potencia anormales.

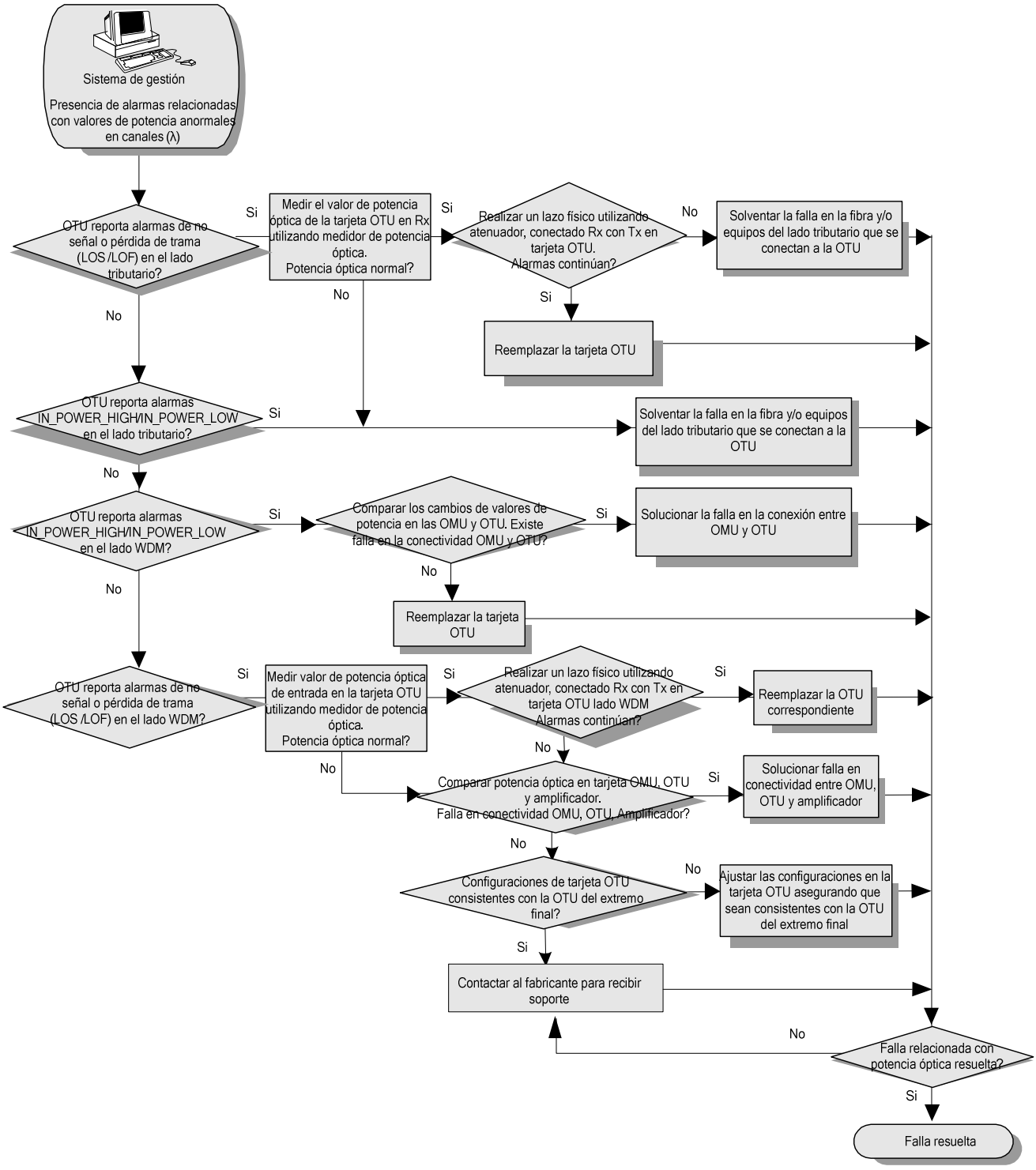


Figura 3.5 Subproceso 1 para rectificación de valores de potencia óptica

3.3 Procedimientos para la realización de pruebas de mantenimientos preventivos y correctivos

[31] [32] [33] [34] [35] [36] [37] [38] [39]

Se describe los procedimientos y mecanismos involucrados en el mantenimiento preventivo y correctivo de una red con tecnología DWDM.

3.3.1 Conmutación de Controladoras y Cross-conectoras.

Objetivo: Verificar el funcionamiento de la protección 1 + 1 para las tarjetas controladoras y cross-conectoras.

Procedimiento de prueba:

- Realizar la conexión como lo muestra la figura 3.6

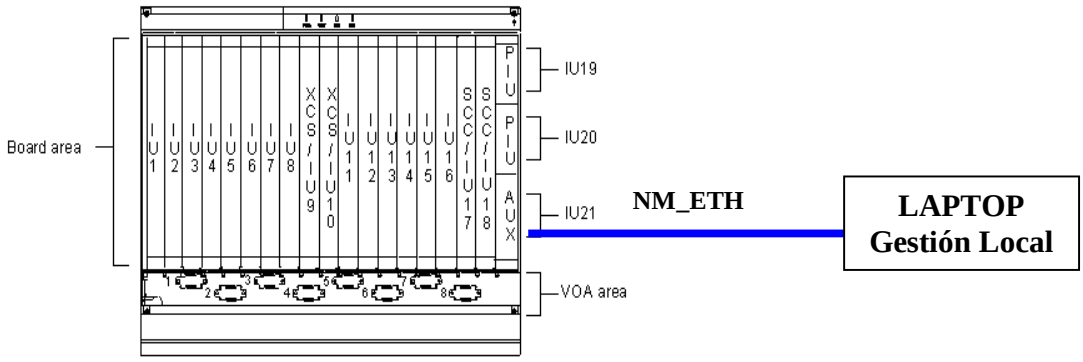


Figura 3.6 Conexión al equipo mediante gestión local

- Retirar del equipo la tarjeta controladora activa.
- Verificar el estado de la conmutación de la tarjeta controladora. El equipo debe tener conectividad con el sistema de gestión local.
- Retirar la tarjeta cross-conectora activa.
- Verificar la conmutación y el estado de la conmutación de la tarjeta cross-conectora desde el sistema de gestión local.
- Realizar la configuración de un servicio y repetir los 4 pasos anteriores de las pruebas de conmutación, realizando la conexión como lo muestra la figura 3.7. No debe haber afectación de servicios por conmutación de unidad controladora o cross-conectora.

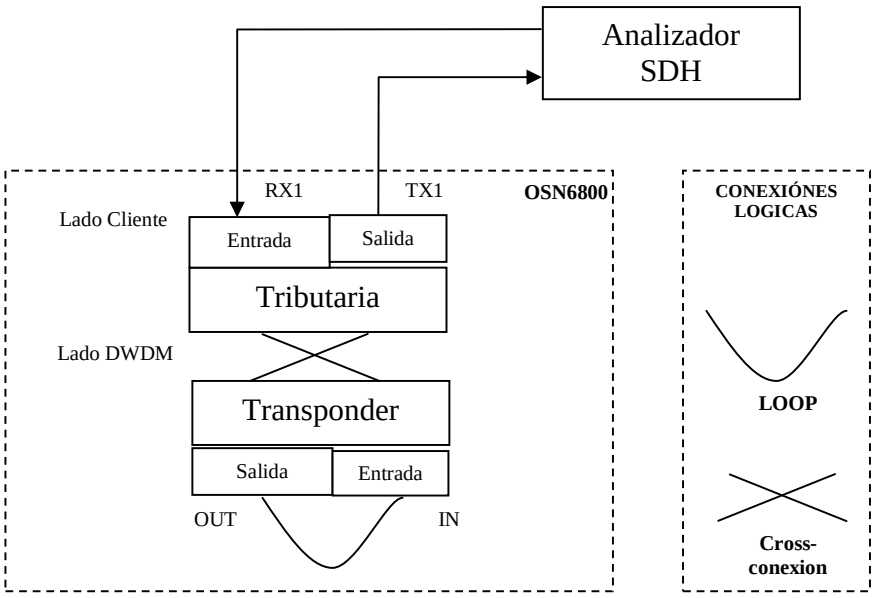


Figura 3.7 Esquema de conexión física para la prueba de conmutación de unidades controladoras y cross-conectoras.

En la tabla 3.4 se deben anotar los resultados obtenidos de la conmutación de tarjetas Controladoras y Crossconectoras

Prueba de Conmutación de unidades (1+1 Hot Stand By)				
Tarjeta Principal	**Slot**	**Tarjeta protección**	**Slot**	**Resultado de la conmutación (OK)**

Tabla 3.4 Resultados de Conmutación de tarjetas Controladoras y Crossconectoras

3.3.2 Conmutación de tarjetas de energía

Objetivo: Verificar el funcionamiento de la protección 1 + 1 para las tarjetas de energía

Procedimiento de prueba:

- Con el equipo energizado y operando, extraiga una de las tarjetas de energía tomando en consideración que en ningún momento el equipo se apaga.
- Tomando en consideración la figura 3.8, apague los switches A, verifique que el equipo se mantiene encendido.
- Luego, vuelva a encenderlos y apague los switches B, el equipo debe mantenerse encendido.

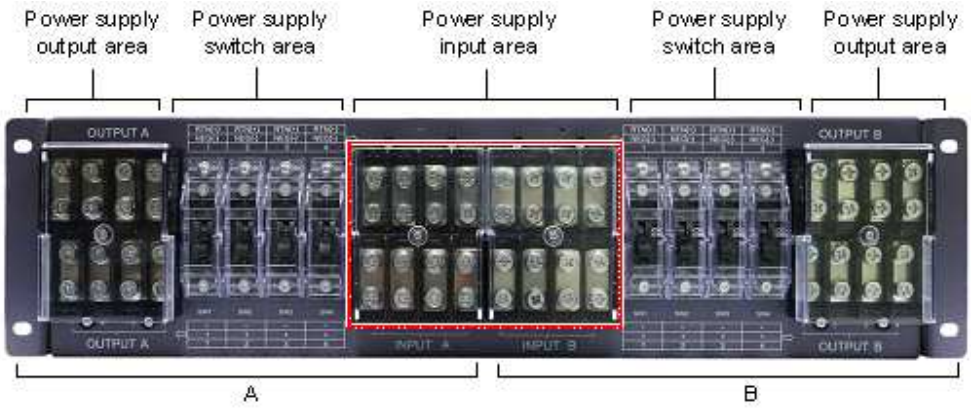


Figura 3.8 Unidad de distribución de energía con protección

En la tabla 3.5 se deben anotar los resultados obtenidos de la Conmutación de tarjetas de energía

Prueba de Conmutación de tarjetas de energía (1+1 Hot Stand By)				
Tarjeta Energía Principal	**Slot**	**Tarjeta Energía protección**	**Slot**	**Resultado de la conmutación**
……..	…….	……..	……..	☑ Ok ☐ No Ok

Tabla 3.5 Resultados de Conmutación de tarjetas de energía.

3.3.3 Limpieza de la fibra y puertos ópticos

Objetivo: Mantener la correcta operatividad de los puertos ópticos y fibras del sistema DWDM.

Para asegurar lecturas reales y pérdidas de inserción mínimas, es importante que los extremos de las fibras y los puertos ópticos estén siempre libres de suciedad e impurezas.

Se debe contar con los accesorios y materiales necesarios para la limpieza:

- Alcohol isopropílico
- Paños de limpieza blandos
- Palillos de algodón
- Aire comprimido
- Microscopio óptico de 400 aumentos, por ej. Tipo EXFO FIP-400, o similar, para comprobar el grado de limpieza y detectar la presencia de roturas en la fibra

La operación de limpieza deberá efectuarse siempre que tenga lugar una desconexión, reconexión o manipulación del conector de cualquier tipo, asegurando la operatividad y mediciones realizadas.

En la figura 3.9 se muestra la limpieza de un conector de fibra

Figura 3.9 Limpieza de la fibra

Para la limpieza de los puertos ópticos se debe de utilizar los accesorios de limpieza adecuados. Los palillos de limpieza suministrados por empresas que se dedican a la fabricación de equipos de limpieza en el mercado resultan muy apropiados para efectuar esta operación de limpieza sin que sea preciso desmontar el equipo.

Pasos a seguir para la limpieza de los puertos ópticos:

- Retire el capuchón protector
- Sople con aire seco y limpio.
- Retire con cuidado un palillo de algodón del paquete
- Humedézcalo con alcohol isopropílico.
- Introduzca con cuidado el bastoncillo en el puerto hasta alcanzar la ventana de protección
- Aplicando una presión moderada, gire el bastoncillo hasta dar una giro completo, cuidando de no dañar el sensor.
- Retire el bastoncillo con sumo cuidado.

En la figura 3.10 se muestra la limpieza de los puertos ópticos de un equipo de pruebas.

Figura 3.10 Limpieza de los puertos ópticos

3.3.4 Medición de potencia de los puertos ópticos

Objetivo: Esta prueba consiste en verificar la potencia de salida óptica de las interfaces de tarjetas tributarias y de línea.

Procedimiento de prueba:

- Realizar la conexión al equipo DWDM como se muestra en la figura 3.11
- Encender el láser de la tarjeta en todos sus puertos ópticos.
- Medir los valores de potencia óptica tanto con instrumentos como con el sistema de gestión en todos los puertos de la tarjeta

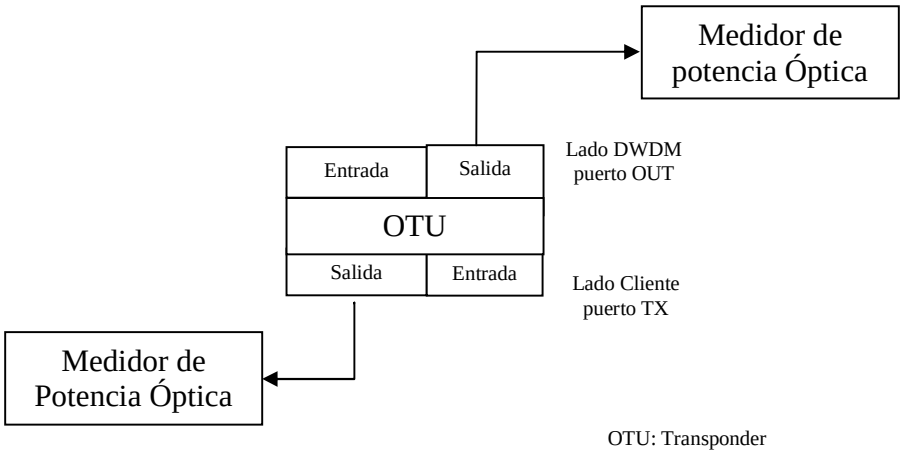


Figura 3.11 Esquema de conexión para la prueba de Potencia de Salida

- La salida de potencia debe cumplir las especificaciones técnicas de la tarjeta en cuanto a valores de potencia
- Registrar el valor medido y compararlo con el valor nominal del fabricante
- Reemplazar la tarjeta o los módulos ópticos de ser necesario

En la tabla 3.6 se deben anotar los resultados obtenidos de la medición de potencia mediante la utilización de un equipo medidor de potencia óptica.

Prueba de Potencia de Salida				
Tarjeta	**Puerto**	**Modulo Óptico**	**Valor Medido (dBm)**	**Rango Teórico Puerto DWDM (dBm)**
Tributaria	1-8	10km		
Línea	1-8	45km		

Tabla 3.6 Resultados de medición de potencia en los puertos ópticos mediante instrumentos

En la tabla 3.7 se deben anotar los resultados obtenidos de la medición de potencia mediante la utilización del sistema de gestión

Prueba de Potencia de Salida				
Tarjeta	**Puerto**	**Modulo Óptico**	**Valor Medido (dBm)**	**Rango Teórico Puerto DWDM (dBm)**
Tributaria	1-8	10km		
Línea	1-8	45km		

Tabla 3.7 Resultados de medición de potencia en los puertos ópticos mediante sistema de gestión.

3.3.5 Pruebas mediante bucles

La utilización de bucles o lazos es el método más común y eficaz para la localización de fallas. Una de las principales características de éste método es la facilidad y rápida localización de fallas sin la necesidad de realizar un análisis profundo de las alarmas y parámetros de rendimiento, esto también dependerá de la experiencia del personal de mantenimiento y su familiaridad con este método.
Los bucles o lazos, generalmente conocidos como “loops” se clasifican en loops lógicos y loops físicos. De éstos, los loops lógicos se clasifican en inloops y outloops.
Una vez que una falla se presenta, la utilización de lazos será de mucha ayuda para la localización y diagnóstico del problema.
Tipos de bucles

Loops físicos.- son realizados mediante la conexión física entre el puerto de entrada (IN) y el puerto de salida (OUT) del elemento de red en prueba, mediante ésta instrucción se comprueba el correcto funcionamiento de los puertos físicos de una tarjeta, ésta acción es recomendada cuando se dispone de personal de mantenimiento en el lugar donde se encuentre el equipo DWDM.

Loops lógicos.- son realizados de manera remota mediante la utilización del software de gestión, es un bucle interno a nivel lógico de la tarjeta en prueba.
Un bucle lógico afecta los servicios que estén cursando por sus puertos físicos, por ello se debe tener la completa seguridad de no afectar servicios al momento de realizar este tipo de operaciones.[13]
Existen dos tipos de bucles lógicos dependiendo del objeto de la prueba y que se describen a continuación:

[13] http://www.juniper.net/techpubs/en_US/junos9.6/information-products/topic-collections/nog-interfaces/fe-ge-loopback-creating.html

Loops de entrada (In-Loop).- Son bucles lógicos que se realizan al interno de la tarjeta, tomando el tráfico que se dirige a los puertos de salida de la tarjeta y retornándolo hacia el lado interno de la tarjeta, también se lo puede definir como una operación que devuelve el tráfico hacia el backplane (plano posterior) del equipo, esta prueba no involucra a los puertos físicos de la tarjeta.

Esta prueba es utilizada para evaluar el flujo de la señal dentro del sistema DWDM.

En la figura 3.12 se muestra el esquema de realización de un loop lógico de entrada.

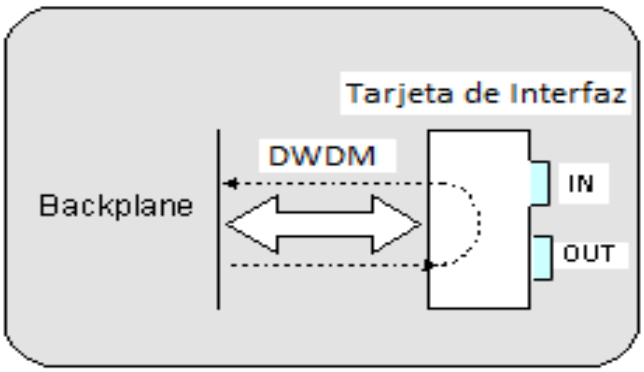


Figura 3.12 Loop lógico de entrada

Loop de salida (Out-Loop).- Son bucles lógicos que se realizan al interno de la tarjeta, tomando el tráfico que se dirige desde el puerto de entrada de la tarjeta y retornándolo por el puerto de salida, también se lo puede definir como una operación que devuelve el tráfico de entrada hacia el lado de las interfaces del equipo.

Esta prueba es generalmente utilizada para evaluar el flujo de la señal fuera del sistema DWDM, permitiendo verificar el estado de las fibras, conectores y la conectividad hacia el ODF (Optical Distribution Frame).

En la figura 3.13 se muestra el esquema de realización de un loop lógico de salida

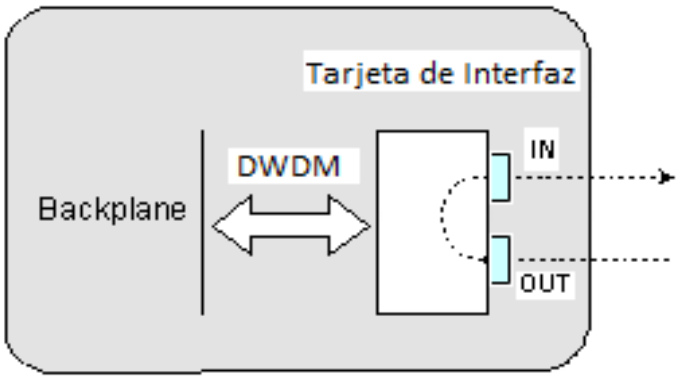


Figura 3.13 Loop lógico de salida

3.3.6 Prueba de sensibilidad del receptor del lado tributario

Objetivo: Medir la sensibilidad de las interfaces ópticas en los puertos de tributario. La sensibilidad del receptor se define como el mínimo valor aceptable de la potencia media recibida en la tarjeta hasta que presente errores.

Procedimiento de prueba:

- Realizar la conexión de la tarjeta óptica del equipo DWDM como se muestra en la figura 3.14
- Configurar un loop lógico en la tarjeta tributaria para el puerto donde se realizará la prueba, no es necesario la creación de un servicio para esta

prueba ya que la medición de la sensibilidad se realiza directamente sobre el transceiver óptico.

- Conectar el extremo libre del atenuador óptico con el puerto de recepción Rx de la tarjeta.
- Variar el atenuador óptico, hasta que el instrumento de medición presente errores (se sugiere una tasa de error de $1x10^{-12}$)
- Desconectar la fibra del puerto RX y conectar la fibra al medidor de potencia óptica. La potencia óptica medida es el valor de sensibilidad del lado cliente.

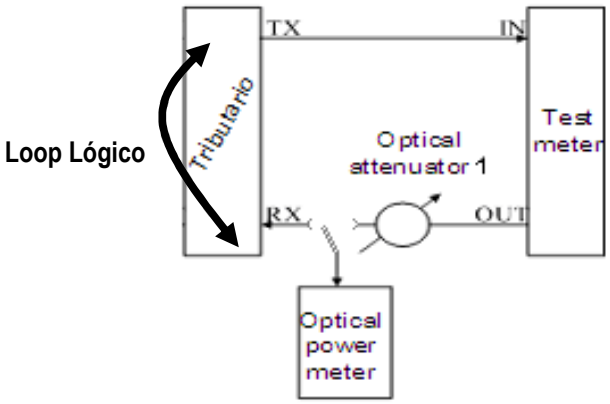


Figura 3.14 Esquema de conexión para la prueba de sensibilidad del receptor.

En la tabla 3.8 se deben anotar los resultados obtenidos de la de prueba de sensibilidad del receptor en el lado tributario

Tarjeta	Slot	Puerto	Modulo Óptico	Valor Teórico (dBm)	Valor Medido (dBm)
Tributaria		1-8	10km	-19	
Tributaria		1-8	45km	-27	
Tributaria		1-2	10km	-11	

Tabla 3.8 Prueba de sensibilidad del receptor en el lado tributario

3.3.7 Prueba de sensibilidad del transponder del lado DWDM

Objetivo: Medir la sensibilidad de las interfaces ópticas en los puertos de las tarjetas transpondedoras, se medirá el valor de potencia óptica del lado DWDM. La sensibilidad del receptor se define como el mínimo valor aceptable de potencia recibida en la tarjeta hasta que presente errores.

Procedimiento de prueba:

- Realizar la conexión de la tarjeta transpondedora óptica del equipo DWDM como se muestra en la figura 3.15
- Conectar el extremo libre del atenuador óptico al puerto de entrada de la tarjeta transpondedora OTU.
- Variar el atenuador óptico hasta que el instrumento de medición presente una tasa de error de $1x10^{-12}$
- Desconectar la fibra del puerto de entrada óptico y conectarla al medidor de potencia óptica. La potencia óptica medida es el valor de sensibilidad del lado DWDM (sistema).

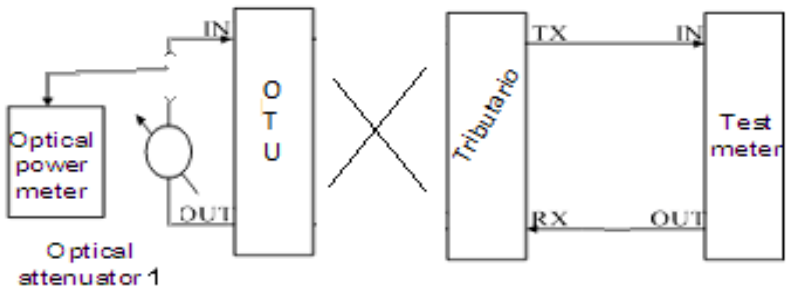


Figura 3.15 Esquema de conexión para la prueba de sensibilidad del OTU

En la tabla 3.9 se deben anotar los resultados obtenidos de la prueba de sensibilidad del transponder del lado DWDM

Tarjeta	Puerto	Modulo Óptico	Valor Teórico (dBm)	Valor Medido (dBm)
Transponder	1		-16	

Tabla 3.9 Prueba de sensibilidad del transponder del lado DWDM

3.3.8 Prueba de sintonización de los transponders OTU

Objetivo: Comprobar que las unidades transpondedoras OTU tienen la capacidad de modificar correctamente los canales de frecuencia configurados.

Procedimiento de prueba:

- Realizar la conexión del equipo analizador de espectro óptico (OSA) como se indicada en la figura 3.16:

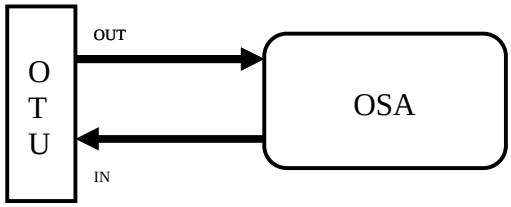


Figura 3.16 Esquema de conexión para la prueba de sintonización de las OTU

- Mediante sistema de gestión configurar la tarjeta OTU para el canal de frecuencia 192.1 Thz
- Realizar la medición con el equipo OSA
- Verificar que el canal configurado es el correcto
- Mediante sistema de gestión configurar la tarjeta OTU para el canal de frecuencia 196.0 Thz
- Realizar la medición con el OSA
- Verificar que el canal configurado es el correcto

En la tabla 3.10 se deben anotar los resultados obtenidos de la prueba de sintonización de transpondedores OTU

Canal de frecuencia configurado (THz)	Canal de frecuencia medido con OSA (THz)
192.1	
196.0	

Tabla 3.10 Prueba de sintonización de transpondedores OTU

3.3.9 Verificación de los rangos de amplificación.

Objetivo: Verificación de la correcta operatividad de los amplificadores de transmisión.

Procedimiento de prueba:

- Realizar la conexión del equipo DWDM como se muestra en la figura 3.17

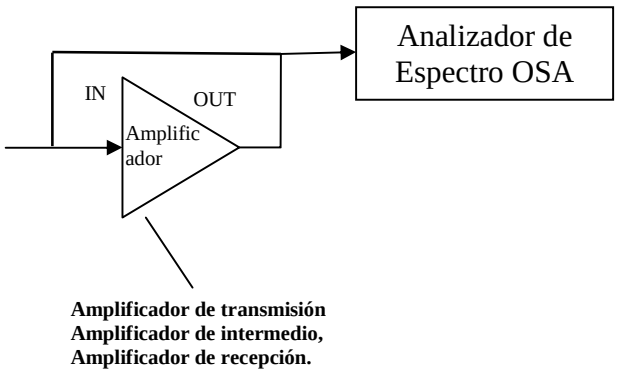


Figura 3.17 Esquema de conexión para prueba de los amplificadores

- Verificar con el analizador de espectro OSA, la potencia y frecuencia de uno de los canales que entran al amplificador.

- Verificar los valores del atenuador variable a la entrada y ganancia de la amplificadora para obtener los niveles adecuados de resultados.

- En la tabla 3.11 se indican valores referenciales para las ganancias de amplificadores ópticos,

Amplificador	Ganancia Nominal (dB)
Booster	17 / 20 / 23
Pre-Amplificador	26 / 31
Amplificador de Línea	26 / 31 / 37

Tabla 3.11 Valores referenciales para amplificadores ópticos

- Verificar con el analizador de espectro OSA, la potencia y frecuencia del canal a la salida del amplificador óptico.

En la tabla 3.12 se deben anotar los resultados obtenidos de la verificación de los rangos de amplificación

PRUEBA DE RANGOS DE AMPLIFICACIÓN				
TARJETA AMPLIFICADORA	**POTENCIA DE ENTRADA (dBm)**	**POTENCIA DE SALIDA (dBm)**	**GANANCIA REAL (dB)**	**GANANCIA NOMINAL (dB)**

Tabla 3.12 Verificación de los rangos de amplificación

3.3.10 Verificación de la funcionalidad multirate de las unidades OTU

Objetivo: Verificar que las tarjetas tributarias pueden manejar diferentes velocidades de servicio, STM-16 (2.5Gb/s), GE (1.25Gb/s), etc.

Procedimiento de prueba:

- Se necesita disponer de módulos ópticos SDH y GE.
- Realizar el esquema de conexión indicado en la figura 3.18
- Realizar un loop lógico en la tarjeta de tributarios.

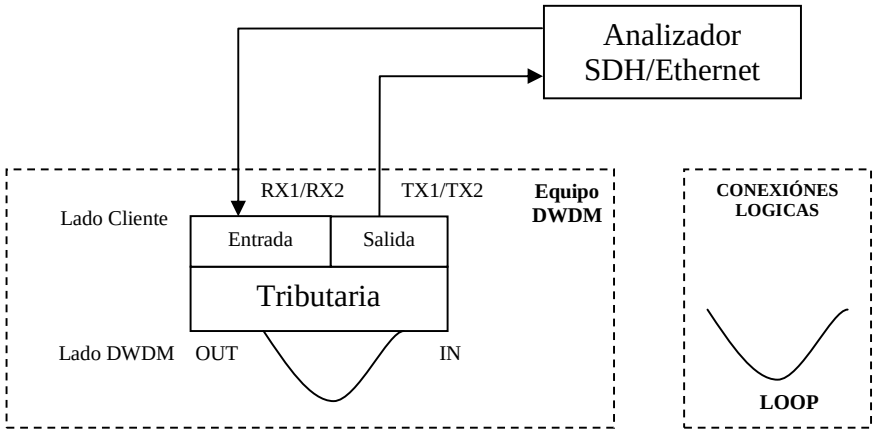


Figura 3.18 Esquema de conexión para la verificación de la característica multirate

- Conecte el Analizador SDH al puerto Tx1/Rx1 con un módulo SFP (Small Form-factor Pluggable) STM-16 (2.5Gb/s) y utilizando el sistema de gestión, configure un servicio a nivel STM-16 para el puerto Rx1/Tx1, manteniendo

el loop lógico en la tarjeta de tributarios, realice una prueba de medición de errores.

- Conecte el Analizador Ethernet al puerto Tx2/Rx2 utilizando un módulo SFP (Small Form-factor Pluggable) GE (1,25 Gbps) y utilizando el sistema de gestión, configure un servicio a nivel GE (Gigabit Ethernet) para el puerto Rx2/Tx2, manteniendo el loop lógico en la tarjeta de tributarios, y realice una prueba de paquetes perdidos.

- En ninguno de los dos casos debe existir errores en la medición.

En la tabla 3.13 se deben anotar los resultados de la verificación de la funcionalidad multirate de las unidades OTU

PRUEBA DE MULTIRATE SOBRE TRIBUTARIOS		
TARJETA TRIBUTARIA	**TIPO DE SERVICIO**	**ESTADO DEL SERVICIO**
	STM-16	Ok / no Ok
	GE	Ok / no Ok

Tabla 3.13 Verificación de la funcionalidad multirate de las unidades OTU

3.3.11 Verificación de la operatividad ROADM.

Objetivo: Comprobar que cualquier longitud de onda puede ser dirigida a cualquier dirección.

Procedimiento de prueba:

- Realizar las conexiones indicadas en la figura 3.19:

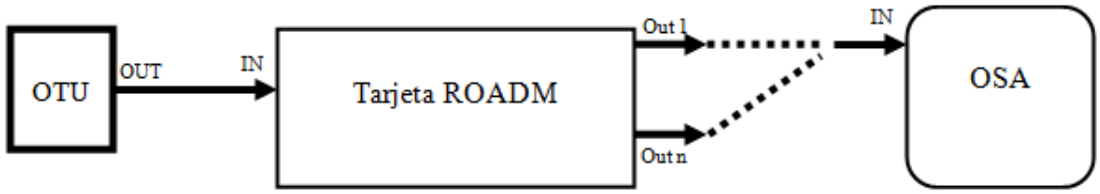


Figura 3.19 Esquema de conexión para la verificación de la funcionalidad ROADM

- Configurar mediante sistema de gestión el canal de frecuencia 192.1 THz (canal 80) y verificar con el equipo OSA que en cada uno de los puertos de salida Out (Out1, Out2,… Out n) se encuentra esa longitud de onda.

- Configurar mediante sistema de gestión el canal de frecuencia 196.0 THz (canal 1) y verificar con el equipo OSA que en cada uno de los puertos de salida Out (Out1, Out2,… Out n) se encuentra esa longitud de onda.

- Anotar los resultados

En la tabla 3.14 se deben anotar los resultados de la verificación de operatividad de la función ROADM

Canales de frecuencia [Puerto IN]	Puerto Out	Canal Verificado [192.1 THz]	Canal Verificado [196.0 THz]
192.1 / 196.0 [THz]	Out 1	*Ok*	*Ok*
192.1 / 196.0 [THz]	Out 2	*Ok*	*Ok*
…..	….	….	….
192.1 / 196.0 [THz]	Out n	*Ok*	*Ok*

Tabla 3.14 Verificación de operatividad de la función ROADM

3.3.12 Verificación del esquema de protección OLP (Optical Line Protection)

Objetivo: Comprobar el funcionamiento del esquema de protección óptica OLP

Procedimiento de prueba:

- Realizar las conexiones indicadas en la figura 3.20

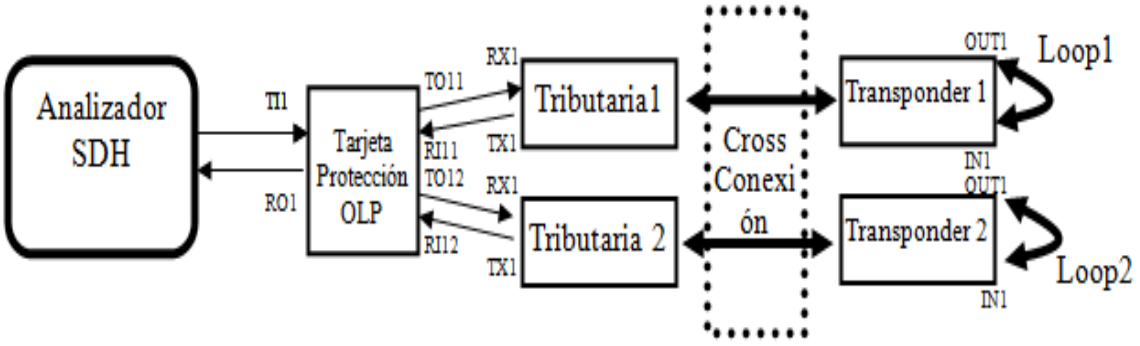


Figura 3.20 Esquema de conexión para la verificación de la protección OLP

- Configurar la tarjeta de tributarios para recibir servicios a nivel STM-16 en los puertos Rx1/Tx1
- Configurar la crossconexión como lo muestra la figura 3.16
- Realizar loops lógicos en las dos tarjetas transpondedoras
- Configurar la protección de tributarios tipo OLP
- Configurar una trama STM-16 en el analizador SDH
- Activar la protección OLP
- Verificar que no hay alarmas del tipo R_LOS, R_LOF en el analizador.
- Desactivar el Loop1 y verificar que el servicio se mantiene operativo, revisar en el analizador el tiempo de conmutación (debe ser inferior a 50 ms)
- Desactivar el Loop2 y verificar que el servicio se pierde
- Anotar los resultados

En la tabla 3.15 se deben anotar los resultados de la verificación del esquema de protección OLP

Prueba de Conmutación OLP				
Tarjeta Principal	**Slot**	**Tarjeta protección**	**Slot**	**Resultado de la conmutación (OK)**
Tributaria 1	……..	Tributaria 2	……..	Ok / no Ok

Tabla 3.15 Verificación del esquema de protección OLP

3.3.13 Verificación de alarmas

Objetivo: Asegurar que el sistema pueda reportar apropiadamente las alarmas en forma visual y auditiva. Asegurar que la comunicación y el funcionamiento del sistema de gestión sean apropiados.

Procedimiento de prueba:

- Configurar el equipo DWDM de acuerdo a los parámetros de comunicación según diseño de la red de gestión.
- Crear el equipo DWDM en el Centro de Gestión de tal manera que sea visualizable.
- Verificar que se pueda reflejar la topología de red en el Centro de Gestión
- Al ocurrir algún evento el sistema lo reportará mediante alarmas visibles y/o sonoras.
- Según la severidad del evento, las alarmas visibles y sonoras serán diferenciadas en color y sonido.
- Anotar los resultados.

En la tabla 3.16 se deben anotar los resultados de la verificación del funcionamiento de alarmas.

PRUEBA DE VERIFICACIÓN DE ALARMAS	
TIPO	**RESULTADO**
Alarmas Sonoras	Ok / no Ok
Alarmas Críticas	Ok / no Ok
Alarmas Mayores	Ok / no Ok
Alarmas Menores	Ok / no Ok

Tabla 3.16 Verificación del funcionamiento de alarmas

3.3.14 Medición en el espectro de todas las longitudes de onda.

Objetivo: El objetivo de esta prueba es verificar la desviación central de la longitud de onda en la etapa de multiplexación OTM, la cual no debe ser mayor a 0.25 nm.

Procedimiento de prueba:

- Realizar la conexión como se indica en la figura 3.21

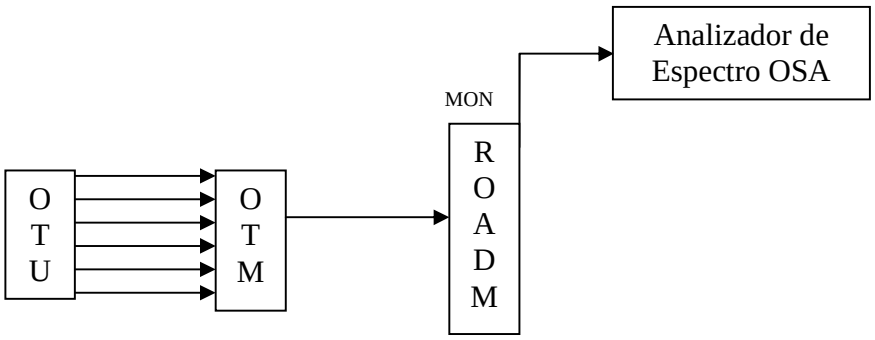


Figura 3.21 Esquema de conexión para análisis de longitudes de onda en la etapa de multiplexación

- Realizar la medición en el punto de monitoreo como muestra la figura 2.13 y anotar los resultados

En la tabla 3.17 se deben anotar los resultados de la verificación del espectro de cada una de las longitudes de onda

Mediante la ecuación **λ = c / f,** donde c = 2.99792458 x 10^8 m/s, se puede obtener la correspondencia entre la longitud de onda central (**λ**) y el canal de frecuencia central (**f**)

Numero de Canal	Frecuencia Central (THz)	λ Central (nm)	Desviación +/- 0,25 nm
1	192.1	1560.61	Ok / no Ok
2	192.2	1559.79	Ok / no Ok
3	192.3	1558.98	Ok / no Ok

Tabla 3.17 Verificación del espectro de cada una de las longitudes de onda

- Los valores de frecuencia y longitud de onda deben estar acorde con lo establecido en la tabla 3.18 que cumple con la recomendación ITU-T G.692[14].

Frecuencia Central (THz) Espaciamiento: 100 GHz	λ Central (nm) espaciamiento: aprox. 0.8nm	Frecuencia Central (THz) Espaciamiento: 100 GHz	λ Central (nm) espaciamiento: aprox. 0.8nm
192.1	1560.61	**194.2**	1543.73
192.2	1559.79	**194.3**	1542.94
192.3	1558.98	**194.4**	1542.14
192.4	1558.17	**194.5**	1541.35
192.5	1557.36	**194.6**	1540.56
192.6	1556.55	**194.7**	1539.77

[14] http://www.itu.int/rec/T-REC-G.692-199810-I/es

Frecuencia Central (THz) Espaciamiento: 100 GHz	λ Central (nm) espaciamiento: aprox. 0.8nm	Frecuencia Central (THz) Espaciamiento: 100 GHz	λ Central (nm) espaciamiento: aprox. 0.8nm
192.7	1555.75	**194.8**	1538.98
192.8	1554.94	**194.9**	1538.19
192.9	1554.13	**195.0**	1537.40
193.0	1553.33	**195.1**	1536.61
193.1	1552.52	**195.2**	1535.82
193.2	1551.72	**195.3**	1535.04
193.3	1550.92	**195.4**	1534.25
193.4	1550.12	**195.5**	1533.47
193.5	1549.32	**195.6**	1532.68
193.6	1548.51	**195.7**	1531.90
193.7	1547.72	**195.8**	1531.12
193.8	1546.92	**195.9**	1530.33
193.9	1546.12	**196.0**	1529.55
194.0	1545.32		
194.1	1544.53		

Tabla 3.18 Valores de frecuencia y longitud de onda

Mediante la ecuación **λ = c / f,** donde c = 2.99792458 x 10^8 m/s, se puede obtener la correspondencia entre la longitud de onda central (**λ**) y el canal de frecuencia central (**f**)

3.3.15 Medición del OSNR

Objetivo: Comprobar los valores de relación señal a ruido OSNR en el sistema.

Los valores recomendados de OSNR dependen de muchos factores como: modulación, velocidad, localización en la red, objetivos de valores de BER, etc. Los valores de OSNR recomendados en el extremo receptor o a la salida de los pre-amplificadores son los siguientes:

- ≥ 17 dB en el extremo de recepción.[15]

Procedimiento de prueba:

- Realizar la conexión como se muestra en la figura 3.22

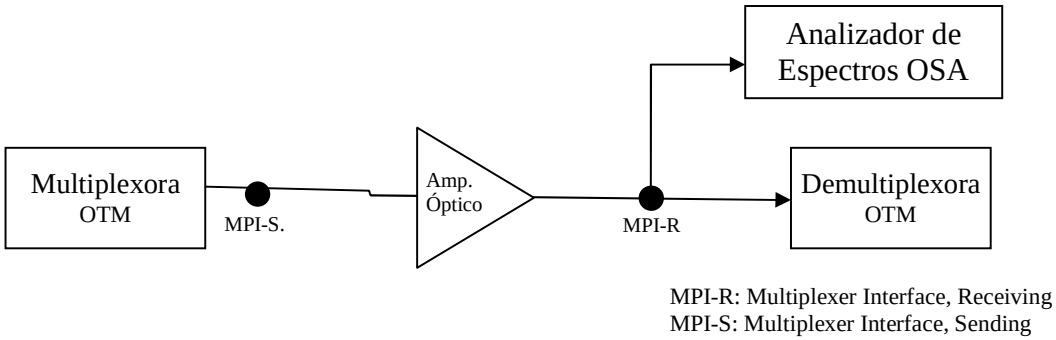


Figura 3.22 Esquema de prueba de relación Señal a Ruido OSNR

- Se debe realizar la medición en la interfaz de monitoreo de la unidad amplificadora y pre amplificadora.
- Conectar el Analizador de Espectros OSA y leer la medición de relación señal a ruido para cada canal.
- La relación Señal a Ruido óptica (OSNR) es definida como la relación entre la potencia de cada canal y la potencia de ruido óptico.
- Esta medición se realiza a la salida de los amplificadores en el lado de recepción de cada sitio.
- Registrar los valores obtenidos.

[15] http://www.exfo.com/en/Corporate/Blog/2012/OSNR-values-DWDM-networks/

En la tabla 3.19 se deben anotar los resultados de la medición de OSNR

SITIO	AMPLIFICADORA	RECIBE DESDE	FRECUENCIA [THz]	OSNR (db)
A	Booster / Pre-Amplificador	B	193.8	25

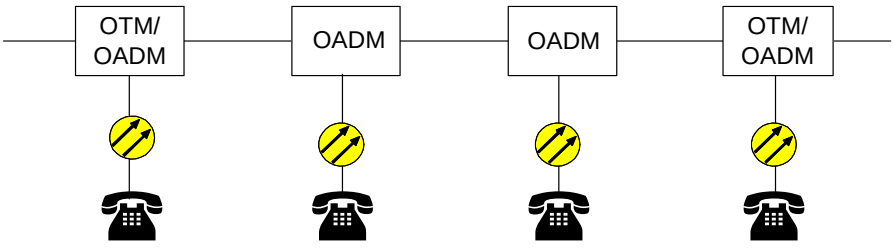
Tabla 3.19 Medición del OSNR

3.3.16 Verificación del canal de servicio

Objetivo: Verificar la funcionalidad de los canales de servicio telefónicos (Orderwire)

Procedimiento de prueba:

- Realizar la conexión como se indica en la Figura 3.23



OTM: Terminal Multiplexor Óptico
OADM: Multiplexor Óptico de Adición – Extracción

Figura 3.23 Prueba de canales de servicio

- Realizar llamadas a un nodo
- Realizar llamadas en conferencia
- Comprobar la calidad del sonido y niveles de recepción adecuados.

En la tabla 3.20 se deben anotar los resultados de la prueba del canal de servicio

SITIO ORIGEN	SITIO DESTINO	RESULTADO
A	B	Ok / No Ok

Tabla 3.20 Verificación del Canal de Servicio

3.3.17 Prueba de la funcionalidad ALC

Objetivo: Verificar la funcionalidad del ALC (Automatic Level Control) ante una atenuación anormal de un tramo.

Procedimiento de prueba:

- Configurar el sistema de acuerdo a la figura 3.24

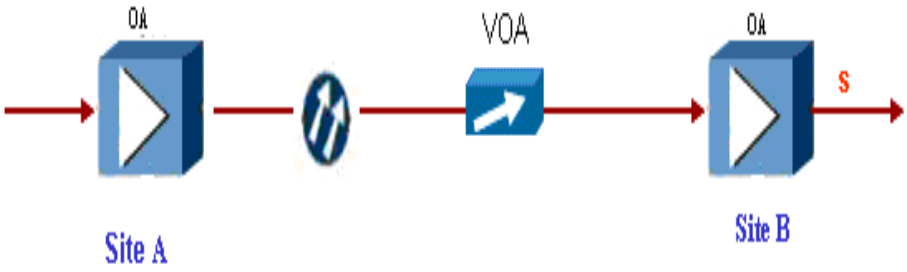


Figura 3.24 Esquema de conexión para prueba del ALC

- En el tramo A-B se insertará una atenuación mayor a 2 db, el sitio B ajustará la potencia óptica de salida del amplificador de recepción, para compensar dicha atenuación.
- La red debe estar calibrada con sus valores de diseño, debe existir un VOA (Atenuador Óptico Variable) en la recepción del sitio B.
- Registrar el valor de potencia de salida en el amplificador de recepción en el sitio B.
- Activar la funcionalidad ALC en ambos extremos.
- Aumentar la atenuación del VOA en la recepción del sitio B (valor mayor a 2 dB), para simular una atenuación del tramo.
- El valor registrado de potencia de salida en el amplificador de recepción en el sitio B, se mantendrá (dentro de un rango de 2 dB) siempre y cuando la atenuación del tramo no afecte el límite mínimo de potencia del receptor.
- Restaurar el valor inicial del valor del VOA.
- Chequear normalidad en las potencias del enlace.
- Anotar los resultados

En la tabla 3.21 se deben anotar los resultados de la prueba de funcionamiento ALC

Valor de Atenuación (db)	Potencia de salida Amplificador de Recepción (dbm)
2	
4	
….	

Tabla 3.21 Prueba de funcionamiento ALC

3.3.18 Prueba de la funcionalidad APE

Objetivo: Verificar el correcto funcionamiento del APE (Automatic Power Equilibrium) ante una atenuación anormal de alguna de las longitudes de onda.
Generalmente ante una diferencia mayor a 1.5 dB con respecto a lo configurado durante la etapa de comisionamiento.
El sistema ajustará automáticamente el balance (flatness) en la transmisión.

Procedimiento de prueba:

- Configurar el sistema de acuerdo a la figura 3.25

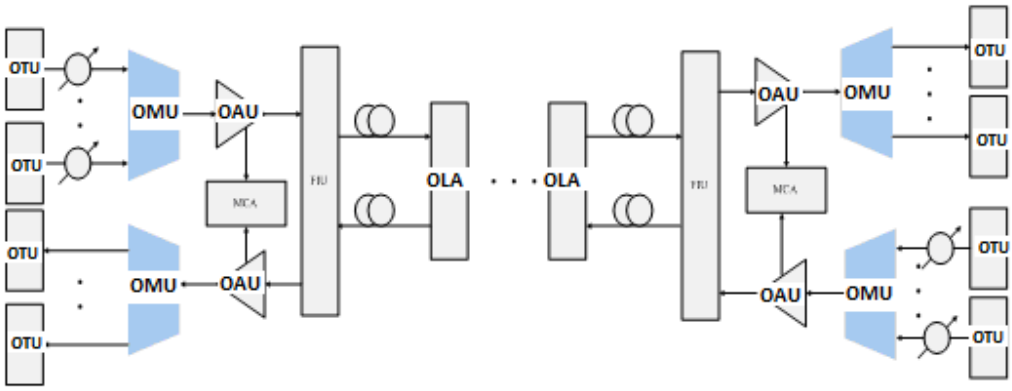


Figura 3.25 Esquema de conexión para prueba del APE

- Se deben disponer de atenuadores variables a la entrada de la tarjeta multiplexora del lado de transmisión.
- Registrar los valores de potencia de las longitudes de onda en recepción
- Atenuar una de las longitudes de onda en un valor superior a 2 dB.
- Activar la función APE.
- Luego del ajuste, revisar los valores de potencia en las longitudes de onda en recepción, se mantendrán los valores registrados inicialmente, siempre y cuando la atenuación de la longitud de onda seleccionada no afecte el límite mínimo de potencia del receptor.
- Restaurar los valores iniciales de los VOA
- Activar nuevamente el APE
- Chequear normalidad en las potencias del enlace.
- Anotar los resultados obtenidos.

En la tabla 3.22 se deben anotar los resultados de la prueba de funcionamiento APE

Canal por atenuar [THz]	Atenuación (db)	Canal [Thz]	Potencia de salida sin funcionalidad APE (dbm)	Potencia de salida con funcionalidad APE (dbm)
192.1	2 / 4 / 6	192.1		
192.1	2 / 4 / 6	192.2		
192.1	2 / 4 / 6	192.3		
192.1	….	…		

Tabla 3.22 Prueba de funcionamiento APE

3.3.19 Pruebas de BER

Objetivo: Comprobar que el medio de transporte se encuentre libre de errores

Descripción: Durante la transmisión de datos mediante un canal óptico, el receptor debería estar en la posibilidad de recibir los datos sin errores, la mayoría de fabricantes incorporan en sus transponders (OTU), mecanismos de detección de errores que reportan al sistema de gestión cuando existe la presencia de errores en el medio, éstos errores ocurren cuando el receptor no puede leer correctamente los bits recibidos, o se ha sobrepasado el nivel de tolerancia a errores, típicamente las redes ópticas manejan una tolerancia para el BER (Bit Error Rate) de 10^{-9} a 10^{-12}, con mecanismos de corrección de errores como el FEC (Forward Error Correction), en otras palabras, por cada 10^{12} bits transmitidos, un bit erróneo es aceptado.

Adicionalmente existe una relación estrecha entre el OSNR y el BER, mientras más alto es la medida del OSNR, menor será los valores de BER.

Las diferentes causas que pueden ocasionar la presencia de errores en la transmisión son generalmente relacionadas con los valores de potencia en la fibra, fallas en el hardware, degradación de la fibra, etc.[16]

Procedimiento de prueba:

- Configurar el sistema de acuerdo a la figura 3.26
- Habilitar un servicio extremo-extremo a nivel STM-16 (2.5 Gbps)
- Conectar el equipo probador de BER a la interfaz de la tarjeta transpondedora donde se ha configurado el servicio STM-16
- Correr la prueba utilizando el equipo probador de BER
- Luego de 24 hrs verificar los resultados obtenidos, se espera un resultado de 0 bits errados.
- Anotar los resultados

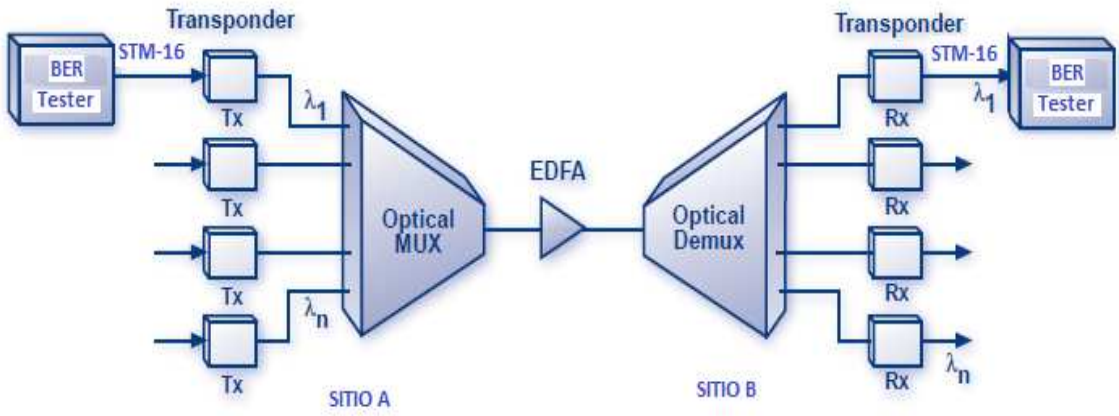


Figura 3.26 Esquema de conexión para prueba de BER

[16] http://www.eettaiwan.com/ARTICLES/2001SEP/PDF/2001SEP13_NTES_AN1696.PDF?SOURCES=DOWNLOAD

En la tabla 3.23 se deben anotar los resultados de la prueba de BER

Nivel del Servicio	Sitio A	Slot / Puerto	Sitio B	Slot / Puerto	Resultados
STM-16	A		B		Ok / No Ok

Tabla 3.23 Resultados prueba de BER

3.3.20 Pruebas sobre servicios Ethernet

Objetivo: Comprobar la calidad y desempeño de los servicios Ethernet

Descripción: Durante los mantenimientos preventivos y correctivos frecuentemente se requiere evaluar la calidad y el desempeño de los servicios Ethernet, las pruebas que generalmente se corren sobre el medio corresponden con la recomendación RFC2544, la cual considera y evalúa los siguientes parámetros: [17]

- Throughput.- La máxima tasa (Mbps) a la cual ninguna de las tramas ofrecidas es descartada por el dispositivo.

[17] http://www.rfc-editor.org/rfc/rfc2544.txt

- Latencia.- El intervalo de tiempo que toma desde que el último bit de una trama abandona el puerto de salida del equipo origen, hasta que éste llega al puerto de entrada del equipo destino, aquí se considera los tiempos de procesamiento de los equipos intermedios y el retardo de propagación.

- Frame loss.- Porcentaje de tramas que fueron transmitidas correctamente desde el equipo origen y que nunca llegaron al equipo destino, generalemte se presenta por falta de capacidad en el canal de transmisión, errores en el medio y excesivo retardo (> 2 sec)

- Back-to-back.- Máximo número de tramas con la mínima separación entre ellas (Gap) para el cual el equipo puede manejarlas sin presentar pérdida de tramas.

De estas pruebas las que interesan generalmente evaluar al personal encargado del mantenimiento de la red son el Throughput, Latencia y el Frame loss.

Procedimiento de prueba:

- Configurar el sistema de acuerdo a la figura 3.27
- Habilitar un servicio Ethernet de 2.5 Gbps extremo-extremo
- Conectar el equipo probador Ethernet a la interfaz de la tarjeta transpondedora donde se ha configurado el servicio.
- Correr la prueba utilizando el equipo probador Ethernet para los diferentes tamaños de trama.
- Anotar los resultados

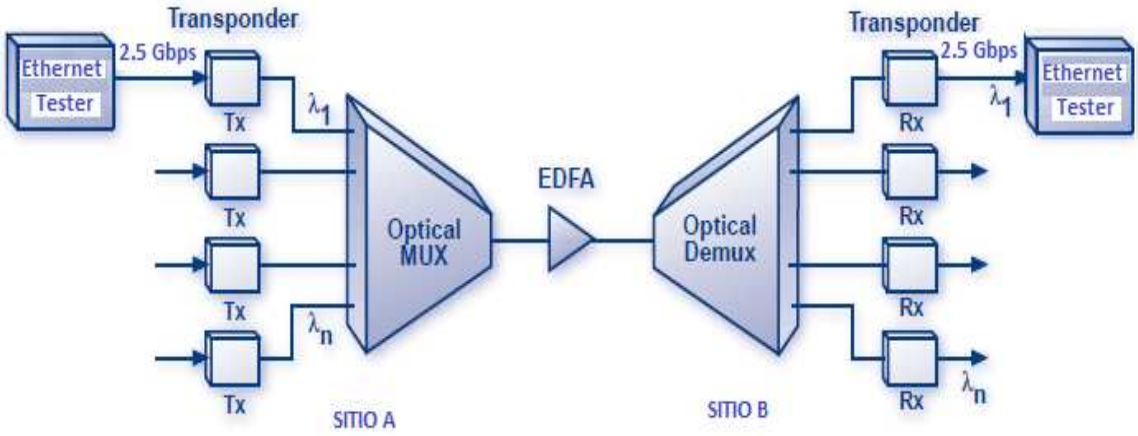


Figura 3.27 Esquema de conexión para prueba de servicios Ethernet

En la tabla 3.24 se deben anotar los resultados de la prueba de servicios Ethernet

Trama (Bytes)	THROUGHPUT		LATENCIA		FRAME LOSS	
	Medición (Mbps)	RESULTADOS	Medición (us)	RESULTADOS	Medición (%)	RESULTADOS
64		Ok / No Ok		Ok / No Ok		Ok / No Ok
128		Ok / No Ok		Ok / No Ok		Ok / No Ok
256		Ok / No Ok		Ok / No Ok		Ok / No Ok
512		Ok / No Ok		Ok / No Ok		Ok / No Ok
1024		Ok / No Ok		Ok / No Ok		Ok / No Ok
1280		Ok / No Ok		Ok / No Ok		Ok / No Ok
1518		Ok / No Ok		Ok / No Ok		Ok / No Ok

Tabla 3.24 Resultados pruebas Ethernet

3.4 Protocolo de seguridad en el mantenimiento de redes DWDM

Durante el mantenimiento y operación de una red con tecnología DWDM, es necesario tener en cuenta ciertos lineamientos relacionados con la seguridad del personal en el manejo de sustancias peligrosas y cuidados en la manipulación de equipos que trabajan con altos niveles de potencia.

Se presentan los lineamientos de seguridad para el personal encargado del mantenimiento de la red.

3.4.1 Manejo de sustancias peligrosas

[40] [41]

Dentro del mantenimiento de la red DWDM, se considera la utilización de sustancias químicas para la limpieza y mantenimiento, los líquidos que se utilizan para limpiar la fibra óptica y las interfaces de los equipos DWDM pueden irritar los ojos y la piel en algunos casos, por lo que es necesario utilizar materiales de protección para el personal que manipula éste tipo de sustancias como por ejemplo, lentes de protección, guantes y mascarillas.

En la figura 3.28 se muestran los elementos que deben utilizarse en el manejo de sustancias peligrosas.

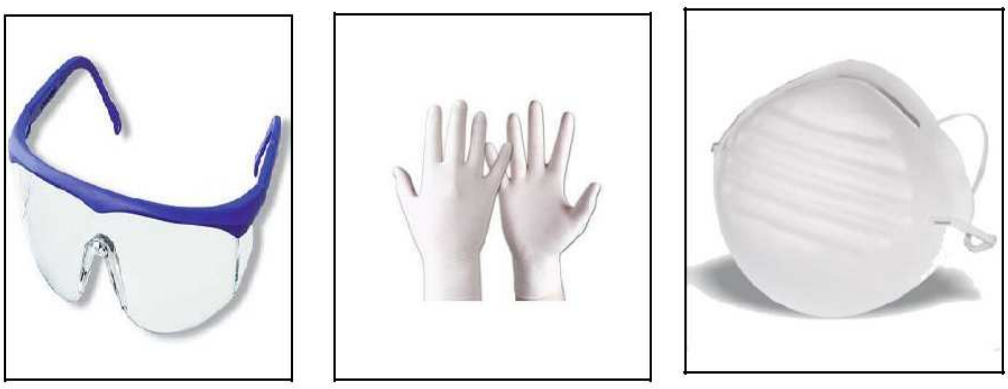


Figura 3.28 Elementos de protección para uso de sustancias peligrosas

Es necesario que el personal conozca y entienda la documentación que facilita y ayuda al correcto manejo de productos químicos.

El alcohol isopropílico es uno de estos productos, por lo cual se debe conocer la documentación para el manejo de sustancias peligrosas o MSDS (material safety data sheet), los MSDS son documentos que indican la prevención y el riesgo en la manipulación de un determinado producto químico y describen específicamente la forma de actuar durante una emergencia producida por el manejo de estas sustancias.

Existen 9 categorías de información que deben estar presentes en cada MSDS. Éstas son:

- Identificación química
- Información sobre el fabricante
- Ingredientes peligrosos
- Características físicas y químicas
- Información sobre riesgos de incendio y explosión
- Información sobre su reactividad
- Información sobre riesgos para la salud
- Precauciones para uso y manejo seguros
- Control de la exposición y protección personal

En la figura 3.29 se muestra la información de la hoja de seguridad para el manejo de sustancias peligrosas del alcohol isopropílico (IPA)

HOJA DE SEGURIDAD
(MSDS)
ALCOHOL ISOPROPILICO (IPA)

Rótulo NFPA

Rótulos UN

TELEFONOS DE EMERGENCIA: Corquiven: +58 (241) 832.73.49 / 832.70.92 / 838.95.68

IDENTIFICACION

Sinónimos: IPA, Isopropanol, 2-Propanol, Dimetil Carbinol, Carbinol dimetílico.

Fórmula: CH3CHOHCH3

Composición: 99 % mínimo de pureza.

Número Interno:

Número CAS: 67-63-0

Número UN: 1219

Clases UN: 3.2

Usos: Manufactura de acetona y sus derivados, acetato de isopropilo y glicerina; disolvente para aceites esenciales, alcaloides, gomas, resinas, derivados de celulosa, de revestimientos; agente anticongelante para combustibles líquidos, productos farmacéuticos, perfumes, lacas, procesos de extracción, agente deshidratante, preservativo.

EFECTOS PARA LA SALUD

Límites de exposición ocupacional:

TWA: 983 mg/m3

STEL: 1230 mg/m3

TECHO (C): N.R.

IPVS: N.R.

Inhalación: El vapor causa irritación leve de la nariz y la garganta. La exposición severa produce somnolencia, náuseas y dolor de cabeza.

Ingestión: Toxicidad leve. Grandes cantidades producen sensación de quemadura en el aparato digestivo, narcosis, inconciencia, calambres estomacales, dolor, vómito, diarrea.

Piel: Irritación..

Ojos: Irritación..

Efectos Crónicos: El contacto prolongado con la piel produce resequedad y agrietamiento. Se han reportado casos de conjuntivitis.

PRIMEROS AUXILIOS

Inhalación: Trasladar al aire fresco. Si no respira administrar respiración artificial. Si respira con dificultad suministrar oxígeno. Mantener la víctima abrigada y en reposo. Buscar atención médica inmediatamente.

Ingestión: Lavar la boca con agua. Si está consciente, suministrar abundante agua. No inducir el vómito. Buscar atención médica inmediatamente.

Piel: Retirar la ropa y calzado contaminados. Lavar la zona afectada con abundante agua y jabón, mínimo durante 15 minutos. Si la irritación persiste repetir el lavado. Buscar atención médica inmediatamente.

Ojos: Lavar con abundante agua, mínimo durante 15 minutos. Levantar y separar los párpados para asegurar la remoción del químico. Si la irritación persiste repetir el lavado. Buscar atención médica.

RIESGOS DE INCENDIO Y/O EXPLOSION

Punto de inflamación (ºC): 12 c.c.

Temperatura de autoignición (ºC): 400

Límites de inflamabilidad (%V/V): 2.3 - 13

Peligros de incendio y/o explosión:

Inflamable. Los vapores son más densos que el aire, pueden viajar hasta la fuente de ignición y regresar con llamas. Los contenedores pueden explotar con el calor.

Productos de la combustión:

Oxidos de carbono.

Precauciones para evitar incendio y/o explosión:

Mantener buena ventilación a nivel del piso. Evitar cualquier fuente de ignición o de calor. Los equipos eléctricos y de iluminación deben ser a prueba de explosión. Conectar a tierra los recipientes para evitar descargas electrostáticas.

Procedimientos en caso de incendio y/o explosión:

Evacuar o aislar el área de peligro. Restringir el acceso a personas innecesarias y sin la debida protección. Ubicarse a favor del viento. Usar equipo de protección personal. Enfriar los contenedores con agua en forma de rocío. Retirar material combustible de los alrededores.

Agentes extintores del fuego:

Espuma para alcohol, dióxido de carbono, polvo químico seco.

ALMACENAMIENTO Y MANIPULACION

Almacenamiento: Lugares ventilados, frescos y secos. Lejos de fuentes de calor e ignición (y de la acción directa de los rayos solares). Separado de materiales incompatibles. Rotular los recipientes adecuadamente. Almacenar en contenedores herméticamente cerrados.

Tipo de recipiente:

Manipulación: Usar siempre protección personal así sea corta la exposición o la actividad que realice con el producto. Mantener estrictas normas de higiene, no fumar, ni comer en el sitio de trabajo. Usar las menores cantidades posibles. Conocer donde está el equipo para la atención de emergencias. Leer las instrucciones de la etiqueta antes de usar el producto. Rotular los recipientes adecuadamente. Al transferirlo coloque polo a tierra en el envase.

PROCEDIMIENTOS EN CASO DE ESCAPE Y/O DERRAME

Evacuar o aislara el área de peligro. Eliminar toda fuente de ignición. Restringir el acceso a personas innecesarias y sin la debida protección. Ubicarse a favor del viento. Usar equipo de protección personal. Ventilar el área. No permitir que caiga en fuentes de agua y alcantarillas. Si es una cantidad pequeña absorber con toallas de papel. Si es grande absorber con tierra, arena u otro material inerte. Recojer y depositar en contenedores con cierre hermético para su posterior

EQUIPO DE PROTECCION PERSONAL/CONTROL EXPOSICION

Uso Normal: Monogafas, overol impermeable, botas, guantes de PVC. Si es necesario use aparato respiratorio con filtro para vapores orgánicos.

Control de Emergencias:

Equipo de respiración autónomo (SCBA) y ropa de protección total que incluya guantes de PVC y botas de caucho.

Controles de Ingeniería:

Ventilación local y general, para asegurar que la concentración no exceda los límites de exposición ocupacional. Debe disponerse de duchas y estaciones lavaojos.

PROPIEDADES FISICAS Y QUIMICAS

Apariencia:	Líquido incoloro de olor característico agradable.
Gravedad Específica (Agua=1):	0.786 / 20°C
Punto de Ebullición (°C):	82
Punto de Fusión (°C):	-82 a -89
Densidad Relativa del Vapor (Aire=1):	2.07
Presión de Vapor (mm Hg):	33.0 / 20°C
Viscosidad (cp):	2.1
pH:	N.A.
Solubilidad:	Soluble en alcohol, éter y cloroformo.

ESTABILIDAD Y REACTIVIDAD

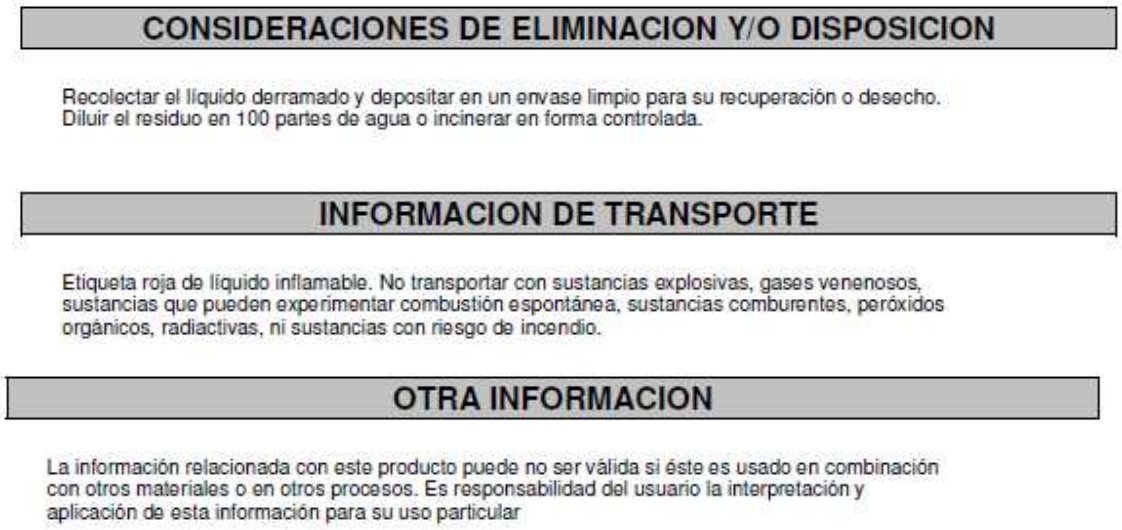
Estabilidad: Estable bajo condiciones normales.

Incompatibilidades o materiales a evitar:

Agua: No **Aire:** No **Otras:** Ácido nítrico concentrado, ácido sulfúrico, agentes oxidantes fuertes, aldehídos, halógenos y compuestos halogenados.

INFORMACION TOXICOLOGICA

Moderadamente tóxico por ingestión. Baja toxicidad por contacto. Se puede absorber a través de la piel.
DL50 (oral, ratas) = 5.84 g/kg.



CONSIDERACIONES DE ELIMINACION Y/O DISPOSICION

Recolectar el líquido derramado y depositar en un envase limpio para su recuperación o desecho.
Diluir el residuo en 100 partes de agua o incinerar en forma controlada.

INFORMACION DE TRANSPORTE

Etiqueta roja de líquido inflamable. No transportar con sustancias explosivas, gases venenosos, sustancias que pueden experimentar combustión espontánea, sustancias comburentes, peróxidos orgánicos, radiactivas, ni sustancias con riesgo de incendio.

OTRA INFORMACION

La información relacionada con este producto puede no ser válida si éste es usado en combinación con otros materiales o en otros procesos. Es responsabilidad del usuario la interpretación y aplicación de esta información para su uso particular

Figura 3.29 Hoja de seguridad MSDS para el alcohol isopropílico

3.4.2 Manejo de equipos peligrosos.

[42] [43]

Para el mantenimiento de redes con tecnología DWDM, se considera equipos peligrosos, a aquellos equipos que manejan altos niveles de potencia para la emisión de las señales ópticas.

Para el caso de las redes con tecnología DWDM, se dispone principalmente de fuentes láser para la emisión de las señales ópticas, éstas fuentes de luz trabajan con altas potencias que pueden dañar seriamente al ojo humano o producir quemaduras en la piel, por lo cual, antes de trabajar con cualquier fibra óptica se recomienda apagar todas las fuentes de luz, no se debe mirar al extremo de una fibra óptica, ya que pudiera estar acoplada a un láser, no apuntar a otra persona con una fuente de luz láser.

La capacidad de un láser para producir un daño depende principalmente de tres factores: longitud de onda, tiempo de exposición y potencia o energía del haz.

La clasificación de los láseres viene dada por la norma IEC-60825 para seguridad de productos láser, enfatizando sus respectivos riesgos.

- Clase 1: Productos láser que son seguros en todas las condiciones de utilización razonablemente previsibles, incluyendo el uso de instrumentos ópticos en visión directa.
- Clase 1M: Como la Clase 1, pero no seguros cuando se miran a través de instrumentos ópticos como prismáticos binoculares, telescopios, microscopios o lupas.
- Clase 2: Láseres visibles (400 a 700 nm). Los reflejos de aversión (parpadeos) protegen el ojo aunque se utilicen con instrumentos ópticos.
- Clase 2M: Como la Clase 2, pero no seguros cuando se utilizan instrumentos ópticos.
- Clase 3R: láseres cuya visión directa es potencialmente peligrosa pero el riesgo es menor y necesitan menos requisitos de fabricación y medidas de control que la Clase 3B
- Clase 3B: Productos láser cuya visión directa en el haz es siempre peligrosa. La visión de reflexiones difusas es normalmente segura.
- Clase 4: Son productos láser de gran potencia, susceptibles de producir reflexiones difusas peligrosas, la visión directa siempre es peligrosa. Pueden causar daños sobre la piel y pueden constituir, también, un peligro de incendio. Su utilización precisa extrema precaución.

Los equipos con tecnología DWDM utilizan láseres clase 1 y 1M dependiendo de su función y dentro de la red.

Los fabricantes colocan etiquetas en los productos indicando al personal los riesgos existentes en la manipulación de estos equipos, utilizando símbolos de advertencia de peligro por radiación láser.

Cada equipo lleva en un lugar visible otras etiquetas con frases de advertencia que permiten al personal conocer el potencial riesgo en la manipulación de los mismos.

En la figura 3.30 se muestran las etiquetas de advertencia en la manipulación de equipos que presentan riesgos para el personal.

PRECAUCIÓN:

Cuando manipule la tarjeta, no toque los circuitos, componentes, conectores y ranuras dentro de la misma, existe peligro de corto circuito.

Figura 3.30 Etiquetas de advertencia al personal de mantenimiento

CAPÍTULO 4

4. Conclusiones y Recomendaciones

En este capítulo se presentan las conclusiones y recomendaciones concernientes a la propuesta de un manual de procedimiento para el mantenimiento y detección de fallas para una red metropolitana que utiliza la tecnología DWDM (Dense Wavelength Division Multiplex)

4.1 Conclusiones

- DWDM (Dense Wavelength Division Multiplexing) es una tecnología de transmisión por fibra óptica, la cual es una óptima solución a la actual demanda de consumo de ancho de banda y se ha convertido en una crucial opción de las redes ópticas que resuelve el problema de capacidad, provee flexibilidad para expansiones y ayuda a integrar varias tecnologías dentro de un solo sistema de transporte.

- Cualquier proveedor de servicios de telecomunicaciones que implemente una infraestructura con tecnología DWDM debe contar con los instrumentos adecuados para realizar las más sofisticadas pruebas que permitan evaluar el desempeño de su red y enfrentar con rapidez cualquier falla que se pueda presentar.

- Debido a las altas capacidades de transporte y a la utilización de nuevos rangos espectrales, nuevos instrumentos de medición son requeridos para

el mantenimiento, pruebas y diagnóstico de fallas de una red con tecnología DWDM, se requiere de mediciones con nuevos niveles de precisión y estabilidad y se necesita equipos que sean capaces de medir el comportamiento de una y/o de varias longitudes de onda al mismo tiempo.

- Los valores de OSNR son unos de los principales indicadores del desempeño y operación de un sistema DWDM, un valor de OSNR demasiado bajo puede indicarnos que los niveles de potencia no están acorde a los valores idóneos para la operación o se puede intuir la presencia de errores en el medio ya que el OSNR está ligado íntimamente a los valores de BER en la red.

- En la operación de una red DWDM es de suma importancia trabajar con todos los implementos necesarios para la manipulación y limpieza de la fibra y puerto ópticos, un mal manejo de la fibra o de los puertos ópticos puede traer graves consecuencias en la operación de la misma.

- En una red con tecnología DWDM es necesario que se tenga un correcto diseño y planificación del crecimiento de la red, ya que los parámetros de operación dependen de la cantidad de canales (longitudes de onda) que se configuren en la red, dependiendo de lo mencionado anteriormente, el añadir un canal más al sistema puede traer problemas que se verán reflejados en el desempeño de la red de no tener la correcta planificación y diseño.

- Durante el mantenimiento de la red, se debe tener total cuidado con la manipulación de los haces de luz que viajan dentro de la fibra o a la salida de los puertos ópticos, sobre todo en los amplificadores; generalmente los fabricantes advierten que la exposición a los altos niveles de potencia en los haces de luz puede provocar serios daños en el ser humano.

- El incremento de equipamiento para etapas que automatizan ciertos procesos de creación y enrutamiento de nuevas longitudes de onda como OADM y ROADM, facilitan la operación y aprovisionamiento de servicios en la red DWDM, pero vuelven más complejo el mantenimiento y detección de fallas, por lo cual es necesario una mejor capacitación del personal encargado.

- La implementación de un esquema de protección va a depender de la topología de red utilizada, niveles de servicio (SLA), tipo de tráfico en cada una de las longitudes de onda y disponibilidad de hardware en cada uno de los equipos de la red.

- Es importante tener el menor número de empalmes y conectores dentro de la red DWDM ya que esto se verá reflejado en atenuaciones y podrían afectar en el tipo de amplificadores a ser implementados en la red.

- Uno de los principales parámetros que afectan al desempeño de una red DWDM es la potencia, gran porcentaje de fallas ocurridas en este tipo de redes se encuentran relacionadas con valores de potencia, los cuales operan fuera de los parámetros de diseño, ya sea por fallas del hardware, envejecimiento de la fibra, etc.

- De los correctos mantenimientos preventivos que se deben realizar periódicamente dependerá el minimizar y prevenir afectaciones en el servicio ya aquí se recolectan datos de los parámetros de operación y se realizan ajustes en la red para que cumpla con los niveles de servicio.

4.2 Recomendaciones

- Para garantizar el correcto funcionamiento de una red con tecnología DWDM, se debe asegurar que el diseño de la red y todo el equipamiento que va a ser utilizado cumpla con todas las recomendaciones de la ITU-T, esto facilitará la conectividad con redes de otros operadores, conectividad con diferentes fabricantes, solución de fallas, etc.

- Se debe trabajar con equipos de medición recientemente calibrados, que cuenten con certificados de calibración emitidos por un proveedor calificado y que garanticen que las mediciones obtenidas sean precisas y reflejen el real desempeño de la red.

- Se debe contar con un stock de repuestos de todo el equipamiento que soporta la red DWDM, como son unidades OTU, OTM, OADM, OXCs, unidades amplificadoras y plataformas de gestión, etc.

- Se debe mantener una estrategia de protección, mantenimiento y desarrollo de red, de manera que la red mantenga siempre un desempeño óptimo y se cumplan los acuerdos de niveles de servicio (SLA) y tiempos de restauración para los diferentes niveles de afectación determinados por el proveedor de los servicios de telecomunicaciones.

- Es necesario llevar un adecuado seguimiento a los mantenimientos preventivos y correctivos que se realicen sobre la red, manteniendo registros y documentando las tareas realizadas, de manera que permitan evaluar y analizar continuamente el comportamiento de la red y sus posibles puntos de afectación.

- El personal de mantenimiento debe mantener una frecuente capacitación acorde a sus roles y responsabilidades dentro de la operación de la red,

como por ejemplo, se deben dar capacitaciones sobre la utilización de los instrumentos de medición, principios de funcionamiento de la tecnología DWDM, descripción de los equipos existentes en la red, descripción de los repuestos existentes, procedimientos de escalamiento dentro del grupo de operaciones y tiempos de solución, etc.

- Durante las rutinas de mantenimiento, no se recomienda abrir o manipular los componentes que se encuentran dentro de los equipos DWDM, éstos manejan altos niveles de potencia que son perjudiciales para el ser humano, causan quemaduras y si el haz de luz es mirado directamente puede causar perdida de la vista.

BIBLIOGRAFÍA

[1] Cisco Systems, Inc., Cisco ONS 15454 DWDM Engineering and Planning Guide, 2007, release 7.

[2] http://www.hitachi.com/rev/1999/revaug99/r4_112.pdf

[3] ITU-T Rec. G.694.1, Spectral grids for WDM applications, 2012.

[4] http://sx-de-tx.wikispaces.com/DWDM+y+CWDM

[5] ITU-T Rec. G.652, Características de fibras y cables ópticos monomodo, 2009.

[6] ITU-T Rec. G.655, Características de fibras y cables ópticos monomodo con dispersión desplazada no nula, 2009.

[7] Cisco Systems, Inc., Introduction to DWDM for Metropolitan Networks, 2000.

[8] Huawei Technologies, DWDM principles guide, 2003

[9] ITU-T Rec. G.841, Tipos y características de las arquitecturas de protección para redes de la jerarquía digital síncrona, 1998.

[10] Journal of Information Science and Engineering, The Multiple Path Protection of DWDM Backbone Optical Networks, 2009.

[11] ITU-T Rec. G.8080, Arquitectura de la red óptica con conmutación automática, 2012.

[12] Huawei Technologies, Routine Maintenance Proposal for DWDM System, 2005

[13] http://www.eettaiwan.com/ARTICLES/2001SEP/PDF/2001SEP13_NTES_AN1696.PDF?SOURCES=DOWNLOAD

[14] http://documents.exfo.com/appnotes/anote098-ang.pdf

[15] http://www.anritsu.com/en-US/Products-Solutions/Products/MT9090A.aspx

[16] http://www.conectronica.com/Instrumentos-para-Fibra-Optica/Medidas-de-test-en-dispositivos-y-sistemas-DWDM-parte-I.html

[17] JDSU, key features for Smart Optical Tunable Laser Source, 2007.

[18] http://www.jdsu.com/en-us/Test-and-Measurement/Products/a-z-product-list/Pages/occ-56.aspx

[19] http://tmi.yokogawa.com/products/optical-measuring-instruments/

[20] Acterna, Datasheet for variable optical attenuator,2009.

[21] Cisco Systems, Inc., Cisco ONS 15454 DWDM Procedure Guide, 2007, release 9.1

[22] http://ieeexplore.ieee.org/xpl/login.jsp?tp=&arnumber=275516&url=http%3A%2F%2Fieeexplore.ieee.org%2Fxpls%2Fabs_all.jsp%3Farnumber%3D275516

[23] Huawei Technologies, Optical Network Maintenance Bible – DWDM, 2010

[24] Stamatios V. Kartalopoulus, Fault Detectability in DWDM, 2001

[25] B. Mukherjee, Optical Communication Networks, McGraw-Hill, 1997

[26] ITU-T Rec. M.15, Consideraciones relativas al mantenimiento de nuevos sistemas, 1993

[27] ITU-T Rec. M.20, Filosofía de mantenimiento de las redes de telecomunicaciones, 1992

[28] Huawei Technologies, Routine Maintenance Proposal for DWDM System, 2005

[29] ITU-T Rec. M.3030, Principios para una red de gestión de las telecomunicaciones, 2000

[30] ITU-T Rec. M.730, Métodos de Mantenimiento, 1993

[31] http://www.exfo.com/en/Corporate/Blog/2012/OSNR-values-DWDM-networks/

[32] http://www.juniper.net/techpubs/en_US/junos9.6/information-products/topic-collections/nog-interfaces/fe-ge-loopback-creating.html

[33] http://www.eettaiwan.com/ARTICLES/2001SEP/PDF/2001SEP13_NTES_AN1696.PDF?SOURCES=DOWNLOAD

[34] Ashwin Gumaste, DWDM network Designs and Engineering Solutions, Cisco Systems, 2003

[35] http://www.rfc-editor.org/rfc/rfc2544.txt

[36] Agilent Technologies, Agilent Measurement Journal, 2007

[37] Agilent Technologies, Introduction to BER testing of WDM systems, Application note 1299

[38] Exfo, Tutorial for Dense Wavelength Division Multiplexing Testing

[39] http://www.exfo.com/en/Products/Field-Network-Testing/Optical/

[40] http://www.seguridadydefensa.com/libros/msds-hoja-de-seguridad-49.html

[41] http://www.corquiven.com.ve/esp/MSDS%5CMSDS-ALCOHOL_ISOPROPILICO.pdf

[42] International Standard IEC 60825-1, Edition 1.2, 2001-08

[43] Cisco Systems, Inc., DWDM Configuration Guide, 2012