



Universidad de San Carlos de Guatemala
Facultad de Ingeniería
Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica

**PROPUESTA DE MEJORA PARA LA AMPLIACIÓN DEL ANCHO DE BANDA POR
INCORPORACIÓN DE UNA RED DE MULTIPLEXACIÓN POR DIVISIÓN DE LONGITUD DE
ONDA DENSA DWDM COMO MEDIO DE TRANSPORTE PARA LA RED SDH EXISTENTE**

Byron Otoniel Ramírez Gutiérrez

Asesorado por la Inga. Ingrid Salomé Rodríguez de Loukota

Guatemala, agosto de 2014

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**PROPUESTA DE MEJORA PARA LA AMPLIACIÓN DEL ANCHO DE BANDA POR
INCORPORACIÓN DE UNA RED DE MULTIPLEXACIÓN POR DIVISIÓN DE LONGITUD DE
ONDA DENSA DWDM COMO MEDIO DE TRANSPORTE PARA LA RED SDH EXISTENTE**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA
POR

BYRON OTONIEL RAMÍREZ GUTIÉRREZ

ASESORADO POR LA INGA. INGRID SALOMÉ RODRÍGUEZ DE LOUKOTA

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERO EN ELECTRÓNICA

GUATEMALA, AGOSTO DE 2014

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO	Ing. Murphy Olympto Paiz Recinos
VOCAL I	Ing. Alfredo Enrique Beber Aceituno
VOCAL II	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
VOCAL III	Inga. Elvia Miriam Ruballos Samayoa
VOCAL IV	Br. Narda Lucía Pacay Barrientos
VOCAL V	Br. Walter Rafael Véliz Muñoz
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

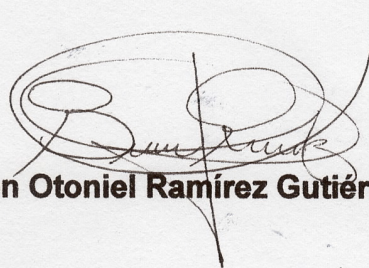
DECANO	Ing. Murphy Olympto Paiz Recinos
EXAMINADOR	Ing. Francisco Javier González López
EXAMINADOR	Ing. José Aníbal Silva De los Ángeles
EXAMINADOR	Ing. Julio César Solares Peñate
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

En cumplimiento con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

PROPUESTA DE MEJORA PARA LA AMPLIACIÓN DEL ANCHO DE BANDA POR INCORPORACIÓN DE UNA RED DE MULTIPLEXACIÓN POR DIVISIÓN DE LONGITUD DE ONDA Densa DWDM COMO MEDIO DE TRANSPORTE PARA LA RED SDH EXISTENTE

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica, con fecha 25 de noviembre de 2010.



Byron Otoniel Ramírez Gutiérrez

Guatemala 29 de mayo de 2014

Ingeniero
Carlos Eduardo Guzmán Salazar
Coordinador del Área de Electrónica
Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica
Facultad de Ingeniería, USAC.


Estimado Ingeniero Guzmán.

Me permito dar aprobación a trabajo de graduación titulado: **PROPUESTA DE MEJORA PARA LA AMPLIACIÓN DEL ANCHO DE BANDA POR INCORPORACIÓN DE UNA RED DE MULTIPLEXACIÓN POR DIVISIÓN DE LONGITUD DE ONDA Densa DWDM COMO MEDIO DE TRANSPORTE PARA LA RED SDH EXISTENTE**, del señor **Byron Otoniel Ramírez Gutiérrez**, por considerar que cumple con los requisitos establecidos.

Por tanto, el autor de este trabajo de graduación y, yo, como su asesora, nos hacemos responsables por el contenido y conclusiones del mismo.

Sin otro particular, me es grato saludarle.

Atentamente,



Inga. Ingrid Rodríguez de Loukota
Colegiada 5,356
Asesora

Ingrid Rodríguez de Loukota
Ingeniera en Electrónica
colegiado 5356 .



FACULTAD DE INGENIERIA


Señor Director
Ing. Guillermo Antonio Puente Romero
Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica
Facultad de Ingeniería, USAC.

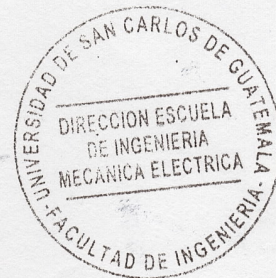
Señor Director:

Me permito dar aprobación al trabajo de Graduación titulado: PROPUESTA DE MEJORA PARA LA AMPLIACIÓN DEL ANCHO DE BANDA POR INCORPORACIÓN DE UNA RED DE MULTIPLEXACIÓN POR DIVISIÓN DE LONGITUD DE ONDA DENSA DWDM COMO MEDIO DE TRANSPORTE PARA LA RED SDH EXISTENTE, del estudiante Byron Otoniel Ramírez Gutiérrez, que cumple con los requisitos establecidos para tal fin.

Sin otro particular, aprovecho la oportunidad para saludarle.

Atentamente,
ID Y ENSEÑAD A TODOS


Ing. Carlos Eduardo Guzmán Salazar
Coordinador Área Electrónica



STO

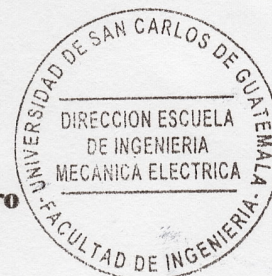


FACULTAD DE INGENIERIA

REF. EIME 29. 2014.

El Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica, después de conocer el dictamen del Asesor, con el Visto Bueno del Coordinador de Área, al trabajo de Graduación del estudiante; BYRON OTONIEL RAMÍREZ GUTIÉRREZ titulado: PROPUESTA DE MEJORA PARA LA AMPLIACIÓN DEL ANCHO DE BANDA POR INCORPORACIÓN DE UNA RED DE MULTIPLEXACIÓN POR DIVISIÓN DE LONGITUD DE ONDA Densa DWDM COMO MEDIO DE TRANSPORTE PARA LA RED SDH EXISTENTE, procede a la autorización del mismo.


Ing. Guillermo Antonio Puente Romero



GUATEMALA, 26 DE JUNIO 2,014.

Universidad de San Carlos
de Guatemala



Facultad de Ingeniería
Decanato

DTG. 422.2014

El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica, al Trabajo de Graduación titulado: **PROPUESTA DE MEJORA PARA LA AMPLIACIÓN DEL ANCHO DE BANDA POR INCORPORACIÓN DE UNA RED DE MULTIPLEXACIÓN POR DIVISIÓN DE LONGITUD DE ONDA DENSA DWDM COMO MEDIO DE TRANSPORTE PARA LA RED SDH EXISTENTE**, presentado por el estudiante universitario **Byron Otoniel Ramírez Gutiérrez**, y después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, se autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE:

Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
Decano

Guatemala, 25 de agosto de 2014

/gdech



ACTO QUE DEDICO A:

Dios	Por brindarme la sabiduría y fortaleza para seguir adelante día con día.
Mis padres	Marco Ramírez y Albertina Gutiérrez, por su amor, apoyo y esfuerzo incondicional.
Mi novia	Marta Celada, por su compañía y amor en todos los momentos.
Mis hermanos	Marco Aurelio y Marco Vinicio (q.e.p.d.), por compartir tantos bellos momentos.
Mis abuelos	Daniel Ramírez, Lorenza Vásquez, Fermín Gutiérrez y María Flores, por su cariño sincero.
Mis tíos	En especial a Laura Flores (q.e.p.d.) y Silvia Ramírez (q.e.p.d.), por ser una importante influencia en mi vida.
Mis amigos	Yener Chur, Luis García, Rubén Salay, Byron Hernández, Byron Mendez, Orlando Ramírez, Gabriel Montúfar, e Immer Collado, por su amistad sincera.

AGRADECIMIENTOS A:

La Universidad de San Carlos de Guatemala	Por brindarme la oportunidad de ser un profesional.
Facultad de Ingeniería	Por brindarme los conocimientos que me permiten desarrollarme en la vida profesional.
Mis amigos de la Facultad	Karla Morataya, Carlos López, por su apoyo y amistad.
Mi asesora	Ingeniera Ingrid de Loukota, por sus consejos, apoyo y paciencia a lo largo de la carrera.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	V
GLOSARIO	IX
RESUMEN.....	XIII
OBJETIVOS.....	XV
INTRODUCCIÓN	XVII
1. JERARQUÍA DIGITAL SÍNCRONA.....	1
1.1. Características del SDH	3
1.2. Estructura de la multiplexación.....	4
1.3. Tipos de cross-conexión.....	6
1.3.1. Cross-conexiones de alto orden	8
1.3.2. Cross-conexiones de bajo orden	9
1.4. Parámetros ópticos.....	10
1.4.1. Objetivo de calidad	10
1.4.2. Potencia umbral del receptor.....	11
1.4.3. Incremento de la ganancia.....	11
1.4.4. Ancho de banda necesario	12
1.4.5. Penalidades	12
1.4.6. Código de línea.....	13
1.4.7. Conector de salida.....	13
1.4.8. Margen del equipo	13
1.5. Parámetros del sistema	13
1.5.1. Acceso al encabezado de la sección SOH.....	14
1.5.2. Conmutación de protección	14
1.5.3. Canal de servicio <i>Orderwire</i>	15

1.5.4.	Control de errores	15
1.5.5.	Sistemas de operaciones	15
1.5.6.	Corte automático del láser.....	16
1.5.7.	Alimentación.....	16
1.5.8.	Interfaz óptica.....	16
1.6.	Sincronía de la red	17
1.6.1.	Primary Reference Clock (PRC).....	17
1.6.2.	Transit Node Clock (TNC)	18
1.6.3.	Local Node Clock (LNC).....	18
1.6.4.	Synchronous Equipment Timing Source (SETS).....	18
1.6.5.	Jerarquía en SDH.....	19
1.6.6.	Alternativas de sincronismo en el SETS	19
1.6.7.	<i>Loopback</i> de sincronía	20
1.7.	Gestión de la red SDH	21
1.7.1.	Unidad de control	21
1.7.2.	Terminal local	21
1.7.3.	Unidad de gestión	22
1.7.4.	Comunicación entre estaciones	22
1.7.5.	Comunicación entre equipos.....	22
1.7.6.	Interfaz Q1/Q2/Q3.....	22
1.7.7.	Lan ethernet	23
1.7.8.	Direccionamiento.....	23
2.	MULTIPLEXACIÓN POR LONGITUD DE ONDA DENSA (DWDM)	25
2.1.	Componentes de un sistema DWDM	27
2.1.1.	Elementos que conforman un transmisor en un sistema DWDM	28
2.1.2.	Elementos que conforman un sitio de amplificación.....	32

2.1.3.	Elementos que conforman un receptor en un sistema DWDM.....	33
2.2.	Estructura de la multiplexación en DWDM	36
2.3.	Modos de transmisión.....	39
2.3.1.	Sistemas unidireccionales	39
2.3.2.	Sistemas bidireccionales	40
2.4.	Topología para un sistema DWDM.....	41
2.4.1.	Topología punto a punto.....	42
2.4.2.	Topología de anillo	44
2.4.3.	Topología de malla	47
2.5.	Modos de aplicación en tecnología DWDM	50
2.5.1.	Sistema abierto.....	50
2.5.2.	Sistema integrado.....	51
3.	RED DE TRANSPORTE SOBRE TECNOLOGÍA SDH.....	53
3.1.	Anillo occidental.....	54
3.2.	Anillo oriental	55
3.3.	Troncales físicas.....	58
3.3.1.	Trace Trial Identifier (TTI)	59
3.3.2.	Sensibilidad	60
3.3.3.	Niveles de potencia óptica.....	60
3.3.4.	Automatic láser shutdown (ALS).....	61
3.3.5.	Automatic láser restart (ALR).....	62
3.3.6.	Sincronización	63
3.4.	Troncales lógicas.....	65
3.4.1.	Trace Trial Identifier (TTI)	65
3.4.2.	Troncales para telefonía móvil.....	65
3.4.3.	Troncales para tráfico de internet	68
3.4.4.	Troncales para tráfico de datos	68

3.5.	Circuitos de servicio	69
3.5.1.	Circuitos de telefonía.....	70
3.5.2.	Circuitos para tráfico de internet.....	72
3.5.3.	Circuito para servicio de datos	73
4.	PROPUESTA DE MEJORA DE LA RED DE TRANSPORTE POR INCORPORACIÓN DE TECNOLOGÍA DWDM	77
4.1.	Diagrama de red	78
4.2.	Descripción de los nodos	82
4.3.	Caracterización de la fibra óptica	82
4.3.1.	Pruebas con OTDR	83
4.3.2.	Prueba de dispersión cromática	85
4.3.3.	Pruebas de PMD	88
4.3.4.	Pruebas de aceptación.....	90
4.4.	Certificación de conectores ópticos.....	96
4.5.	Bit Error Rate Test (BERT).....	98
4.6.	Pruebas de OSA	104
4.7.	Proceso de migración.....	107
4.8.	Cronograma de actividades	110
	CONCLUSIONES.....	111
	RECOMENDACIONES	113
	BIBLIOGRAFÍA.....	115

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	Estructura de multiplexación SHD.....	5
2.	Estructura SHD según Norma ITU-T.....	6
3.	Configuración básica del módulo de transmisión en DWDM.....	29
4.	Forma de onda a la salida de un multiplexador óptico dentro de un sistema de transmisión DWDM	30
5.	Amplificador con canal de gestión unidireccional	32
6.	Amplificador con canal de gestión bidireccional	33
7.	Demultiplexor simplificado en un sistema DWDM.....	34
8.	Proceso de la demultiplexación en la ODU	35
9.	Utilización de una matriz de fibras AWGs	36
10.	Estructura de la multiplexación DWDM	37
11.	Estructura de multiplexación y mapeo de la OTM.....	38
12.	Sistema de transmisión DWDM unidireccional.....	40
13.	Sistema de transmisión DWDM bidireccional.....	41
14.	Topología de red DWDM punto a punto.....	42
15.	Topología de red DWDM punto a punto con OADM intermedio.....	43
16.	Topología de red DWDM configuración anillo	45
17.	Topología de red DWDM configuración anillo con protección de línea	47
18.	Topología de red DWDM configuración malla.....	49
19.	Sistema abierto para tecnología DWDM	50
20.	Sistema integrado para tecnología DWDM	51
21.	Anillo occidental	55

22.	Anillo oriental	57
23.	Interconexión de anillos regionales.....	58
24.	Selector de sincronía	64
25.	Anillo occidental DWDM con protección de línea.....	79
26.	Anillo oriental DWDM con protección de línea	80
27.	Esquema add drop de un equipo DWDM	81
28.	Reporte de medición con OTDR sobre tramo Cerro Alux – Chimaltenango.....	84
29.	Eventos reportados durante la medición con OTDR sobre tramo Cerro Alux – Chimaltenango.....	85
30.	Dispersión cromática total.....	87
31.	Medición de dispersión cromática.....	88
32.	Medición de PMD.....	89
33.	Interfaces ópticas sin uso con protector contra polvo	93
34.	Imagen del listado de verificaciones a validar en una instalación de equipo	95
35.	Vista con microscopio de un conector con partículas de suciedad	97
36.	Vista con microscopio de un conector limpio	98
37.	Circuito para ejecutar BERT	100
38.	Equipo de medición al final del periodo de prueba	104
39.	Resultado de la medición con analizador de espectro óptico	106
40.	Resultado correspondiente al canal 3.....	107
41.	Cronograma de actividades	110

TABLAS

I.	Tabla comparativa SDH SONET.....	2
II.	Frecuencia y longitud de onda según ITU-T para canales DWDM	26
III.	Control de potencia óptica para reparación de corte de fibra óptica	61

IV.	Ruta de una troncal virtual	66
V.	Circuito de celda San Marcos	71
VI.	Circuito de servicio de internet corporativo San Marcos - Aguilar Bátres.....	72
VII.	Circuito corporativo Mazatenango-Puerto Barrios.....	74
VIII.	Zonas de un conector LC según IEC – 61300-3-35	97
IX.	Configuración utilizada en el medidor para la ejecución de la prueba....	101
X.	Resultados obtenidos al finalizar la prueba	102
XI.	Tabla resumen de la prueba	103
XII.	Programa de migración de servicios	108

GLOSARIO

ATM	(Asynchronous Transfer Mode). Modo de transferencia asíncrono.
BER	(Bit Error Rate). Tasa de error de bit. Número de bits recibidos de forma errada en relación al número total de bit transmitidos en un intervalo de tiempo definido.
BIT	(Binary Digit). Dígito binario. Unidad mínima de información que se puede emplear en la transmisión de datos, pertenece al sistema de numeración binario.
BNC	(Bayonet Neill-Concelman). Conector para rápida conexión y desconexión utilizado para cable coaxial.
Demultiplexor	Proceso de separar dos o más señales transmitidas por un canal común, obteniendo al final señales en canales individuales pudiendo ser estas ópticas o eléctricas.
DWDM	(Dense Wavelength Division Multiplexing). Multiplexación por Longitud de Onda Densa. Técnica en la cual se mezclan varias fuentes de luz sobre un solo canal para su transmisión.

Ethernet	Estándar para redes de área local con acceso al medio por detección de la onda portadora con detección de colisiones, se tomó como base para la redacción del estándar internacional IEEE 802.3.
IP	(Internet Protocol). Conjunto de normas que regulan la transmisión de datos en bloques conocidos como paquetes o datagramas.
KLM	Estándar dentro de SDH utilizado para llevar el control y administración de los contenedores virtuales de bajo orden.
Lamda	Longitud de onda, a la cual se le asigna una frecuencia específica para su posterior multiplexación.
Multiplexor	Combinación de dos o más señales de comunicación provenientes de fuentes distintas, que se mezclan y son enviadas por un solo canal común, estas pueden ser señales ópticas o señales eléctricas.
OADM	(Optical Add Drop Multiplexor). Configuración para equipos DWDM utilizadas para tributar y agregar servicios.
ODF	(Optical Distribution Frame). Panel de conexiones ópticas para la distribución de enrutamiento de cableados de fibra óptica.

OLA	(Optical Line Amplifier). Sitios de amplificación compuestos de una sola unidad óptica de amplificación y un canal de supervisión.
OTDR	(Optical Time Domain Reflectometer). Dispositivo óptico electrónico utilizado para caracterización y detección de corte de fibra óptica, mide la atenuación distribuida a lo largo del tramo y los eventos puntuales donde se presenta atenuación en una fibra óptica.
PDH	(Plesiochronous Digital Hierarchy). Jerarquía digital plesiócrona. Conjunto de protocolos para la transmisión de datos, tradicionalmente utilizada para telefonía.
Router	Dispositivo perteneciente a la tecnología ethernet que permite la comunicación entre distintas redes para la transmisión de paquetes de datos.
SDH	(Synchronous Digital Hierarchy). Jerarquía digital síncrona. Estándar europeo que define una serie de tasas y formatos normalizados, que tiene por base la capacidad de 155,52 Mbps, compatible con SONET.
SONET	(Synchronous Optical Network). Red óptica síncrona. Estándar estadounidense desarrollado por Bellcore, para el transporte de señales digitales sincronizadas

por medio de fibra óptica, tiene por base la capacidad de 51,84 Mbps, compatible con SDH.

STM (Synchronous Transport Module). Módulo de transporte síncrono. Es la unidad de transmisión de SDH.

Sumarización Acción que permite anunciar a un operador de telecomunicaciones de forma eficiente las redes que forman parte de una LAN o WAN.

Transceiver Dispositivo que puede realizar la acción de transmitir y recibir información de forma simultánea, específicamente señales ópticas las cuales procesa, existe una gran variedad para cubrir necesidades específicas.

Troncal Canal de comunicación entre dos nodos o centros de conmutación utilizado para la interconexión de equipos de telecomunicaciones, para dar paso a la formación de redes.

TTI (Trace Trial Identifier). Prueba de identificador de traza. Etiqueta que puede enviarse dentro del encabezado de la trama SDH, se utiliza para identificar a otro equipo SDH el emisor de la transmisión, el mensaje puede ser enviado en formato hexadecimal o ascii.

RESUMEN

En el presente trabajo de graduación se propone la ampliación del ancho de banda por incorporación de una red de multiplexación por longitud de onda densa (DWDM), como medio de transporte para la red de jerarquía digital síncrona (SDH) existente.

En el capítulo I se presenta los fundamentos de la jerarquía digital síncrona (SDH), tales como: sus características, estructura, parámetros, sincronía y gestión. Esta red es la encargada del transporte de voz para telefonía móvil y fija, además, también efectúa el transporte de datos realizando un proceso de empaquetamiento en donde se desaprovecha ancho de banda durante la conversión de los protocolos.

En el capítulo II se muestran las ventajas de la multiplexación por longitud de onda densa (DWDM) y sus ventajas sobre la tecnología SDH, detallando sus componentes, estructura, topología de red, además de sus modos de aplicación.

El capítulo III detalla la red de transporte con tecnología SDH ya existente, mostrando con diagramas de red las regiones correspondientes a occidente y oriente, además cuenta con la descripción de las troncales tanto físicas como lógicas; los circuitos de servicios, tales como: telefonía, tráfico de internet y servicio de datos son ejemplificados para una mejor comprensión.

Finalmente, el capítulo IV propone una forma en la cual se incrementaría el ancho de banda, con la incorporación de una red de multiplexación por

longitud de onda densa (DWDM) como medio de transporte para la ya existente red SDH; la propuesta consta de la topología a emplear en cada una de las regiones involucradas, describe la configuración a emplear en cada sitio que forma parte del sistema y las pruebas necesarias para la aceptación y migración al sistema DWDM.

OBJETIVOS

General

Proponer mejora para la ampliación del ancho de banda por incorporación de una red de multiplexación por división de longitud de onda densa (DWDM), como medio de transporte para la red de jerarquía digital síncrona (SDH).

Específicos

1. Describir los aspectos fundamentales de la red de transporte sobre jerarquía digital síncrona (SDH), construcción de la misma, topología de red y descripción de los circuitos utilizados para prestar los servicios a clientes.
2. Presentar los fundamentos de multiplexación por longitud de onda densa (DWDM), como una solución a la red de transporte.
3. Describir la red de transporte sobre tecnología de jerarquía digital síncrona (SDH).
4. Presentar la propuesta de mejora para el incremento del ancho de banda por incorporación de una red de multiplexación por longitud de onda densa como transporte.

INTRODUCCIÓN

La propuesta de mejora para la ampliación del ancho de banda por incorporación de una red de multiplexación por división de longitud de onda densa, como medio de transporte para la red SDH existente, surge como resultado del incremento en la demanda de datos para el uso de telefonía móvil; los sistemas de transmisión se han visto en la necesidad de ampliar las redes de transporte; para cubrir dicha demanda, las empresas operantes han considerado el incremento de equipos para la tecnología actual, lo que conlleva a crecer también en infraestructura, lo cual sería muy costoso.

Por la confidencialidad con que las empresas manejan sus estrategias de ampliación, se encontraron muchas restricciones para la obtención de información y el desarrollo de este trabajo de graduación, pero se sabe que el Departamento de Construcción de Red de una empresa de telecomunicaciones que opera en Guatemala, luego de numerosos y exhaustivos estudios determinó que la solución que presenta la mayor cantidad de ventajas técnicas y económicas es incluir equipos de clasificación *carrier*, donde la utilización de tecnología DWDM para satisfacer la demanda de ancho de banda, presenta la mejor solución al poder montarla sobre la infraestructura, que ya existe.

Primeramente se presenta de manera simplificada la infraestructura de una red SDH utilizada como sistema de transporte CORE, con una descripción del funcionamiento de esta tecnología y la infraestructura instalada, describiendo la estructura física, ya que sobre esta misma se instalará la nueva tecnología DWDM.

La tecnología propuesta no es nueva, está ya operando en muchos países, incluso la ITU-T creó la Norma G.709 para estandarizarla y garantizar la interoperabilidad entre equipos; además debe cumplir con los protocolos de aceptación establecidos, los cuales incluyen una serie de pruebas que garantizan la operación continua y sin errores de los servicios prestados.

Simultáneo a la instalación de equipos DWDM se debe llevar a cabo la certificación de los hilos de fibra óptica que llevarán la señal multiplexada, realizando diversas pruebas y mediciones para los hilos ya presentes para su posterior utilización, pues si no están en buenas condiciones de uso no hay alguna manera de contrarrestar los efectos no deseados de estas cuando ya se encuentre instalada la nueva tecnología. De igual forma hay que realizar las validaciones de la instalación mecánica de las cajas y la instalación eléctrica, para evitar períodos de interrupción prolongados originados por fallas en la infraestructura.

DWDM procesa señales ópticas, en su mayoría emplea *patchcord* de fibra óptica en la crossconexión, agregación, extracción, procesamiento, multiplexación, demultiplexación, amplificación y transporte de la señal. Por ser una tecnología tan compleja, debe evitarse que haya partículas de polvo en las superficies, pues puede provocar errores, o, en el peor de los casos, pérdida total de señal, por lo que toda conexión óptica realizada debe inspeccionarse con microscopio y realizar limpieza de los conectores y *patchcord* cuando exista suciedad en los mismos. Para certificar que no existe contaminación por grasa o polvo se genera un reporte con fotografías de las superficies examinadas. Para verificar que los servicios a migrar a la nueva red CORE posean la misma calidad que en la red existen se utilizará un equipo de medición BERT y un analizador de espectro OSA.

1. JERARQUÍA DIGITAL SÍNCRONA

La jerarquía digital síncrona (SDH) y las redes ópticas síncronas (SONET) se refieren a un grupo de sistemas de transmisión por fibra óptica que puede trasladar señales digitales con diferentes capacidades.

El nuevo estándar apareció, primeramente como SONET, preparado por Bellcore en los Estados Unidos y luego, pasando por revisiones previas, emergió como una nueva forma compatible con los estándares internacionales conocido como SDH.

El estándar SDH original definió el transporte de 1,5/2/6/34/45/140 Mbps dentro de una tasa de transmisión de 155,52 Mbps. Actualmente, puede soportar otros tipos de tráfico como ATM e IP asynchronous transfer mode e Internet protocol respectivamente. Utilizando un apropiado conjunto de opciones, algunas capacidades de SDH son compatibles con SONET, por lo que se hace posible la interoperabilidad de tráfico (interconexión de sistemas).

Lo que se hace complicado para la mayoría de sistemas es la interoperabilidad de alarmas y manejo de desempeño entre redes SDH y SONET, por lo que al realizarse interconexiones de sistemas de normas distintas se dejan las tareas de monitoreo a cada plataforma por separado. SDH define interfaces que son independientes del fabricante. A 155 Mbps se definen interfaces ópticas y eléctricas, mientras que para capacidades mayores, se tienen únicamente ópticas. Estas capacidades están definidas como múltiplos enteros de 155,52 Mbps. En la actualidad, Guatemala tiene redes

SDH operando a capacidades hasta de 10 Gbps (STM-64); en algunos países de Europa ya se tienen implementadas redes de hasta 40 Gbps (STM-256).

Cada interfaz cuenta con una sección de encabezados cuyo fin es tolerar un rango de facilidades específicas y una sección de carga de capacidad del tráfico en sí. Cada sección (encabezados y tráfico) puede llenarse completa o parcialmente, dependiendo de las necesidades de transmisión y cantidad de tráfico existente en la red; la multiplexación de diversas señales de nivel 1 (STM-1) son las de nivel más alto, creando una familia de señales STM-N, siendo N quien indica el número de señales de nivel 1 que la componen, en la tabla I se pueden ver las señales eléctricas y portadoras ópticas, además de sus velocidades y los puntos donde coincide con los datos de la jerarquía digital síncrona.

Tabla I. **Tabla comparativa SDH SONET**

Señal de transporte Síncrona STS-N	Módulo de transporte síncrono STM-N	Velocidad (Mbit/s)	Denominación Abreviada
STS-1	STM-0	51,840	51 Mbps
STS-3	STM-1	155,520	155 Mbps
STS-12	STM-4	622,080	622 Mbps
STS-48	STM-16	2 488,280	2,5 Gbps
STS-192	STM-64	9 953,280	10 Gbps
STS-768	STM-256	39 813,120	40 Gbps

Fuente: <http://redesycom.wikispaces.com>. Consulta: febrero de 2014.

1.1. Características del SDH

SDH es una de las tecnologías más utilizadas en el mundo de las telecomunicaciones para el transporte de voz, y se han incorporado nuevas técnicas para el transporte de datos, por lo cual es necesario tener presente las características de dicha tecnología.

- Estructuras de transporte síncronas, con multiplexación basada en octetos.
- Transporte de señales de las jerarquías plesiócronicas de 1,5 y 2 Mbit/s.
- Transporte de señales con información de otras tecnologías (células ATM, datagramas IP, tramas ethernet, etc.).
- Acceso a los tributarios sin necesidad de demultiplexar la trama síncrona.
- Mayor capacidad de gestión de las estructuras de transporte.
- Normalización de interfaces de línea (eléctricos y ópticos).
- Diferentes topologías de red: punto a punto, bus, anillo.
- Inclusión de mecanismos de protección por conmutación automática.
- Protección para recuperación de circuitos en tiempos del orden de milisegundos.
- Aprovisionamiento de ubicación de capacidades de acuerdo a criterios de rutas preferidas.
- Consolidación de tráfico desde portadoras parcialmente llenas, para obtener menor número de estas y así reducir el desperdicio de capacidad de tráfico.
- Separación de distintos tipos de tráfico desde capacidades mezcladas hacia destinos separados para cada tipo de tráfico (*grooming*).
- Aunque la tecnología SDH fue concebida originalmente para redes de fibra óptica, debido a su flexibilidad, actualmente se utiliza también en sistemas de radiocomunicaciones.

- Algunas de las categorías de equipos que se construyen en la actualidad para SDH son las siguientes:
 - Sistemas de línea óptica
 - Sistemas de radio-*relay*
 - Multiplexores terminales
 - Multiplexores *add and drop* (ADM)
 - Multiplexores de concentración de tráfico (*hub multiplexers*)
 - *Switches* digitales de cross conexión

1.2. Estructura de la multiplexación

La correspondencia consiste en acomodar las señales afluentes (PDH, ATM, IP, RAL o MAN) en los contenedores-n (C-n) apropiados, mediante un mecanismo de justificación. Un contenedor-n (C-n) al que se añade un encabezado del trayecto (información de gestión de la capa de trayecto) forma un contenedor virtual-n (VC-n).

El alineamiento consiste en añadir a un contenedor virtual-n (VC-n) un puntero, que indica la ubicación del primer octeto del contenedor virtual-n en la unidad de mayor nivel, obteniendo:

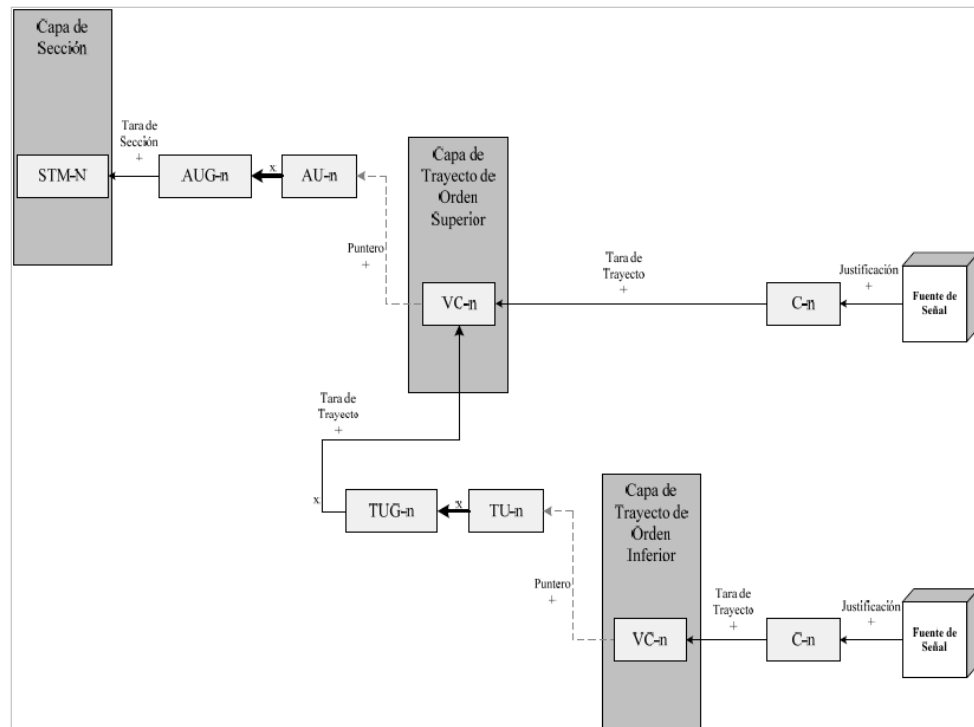
- Una unidad tributaria-n (TU-n) puntero de TU-n + contenedor virtual de orden inferior.
- Una unidad administrativa-n (AU-n) puntero de AU-n + contenedor virtual de orden superior.

La multiplexación se basa en el entrelazado de octetos de los diferentes elementos a multiplexar:

- Varias unidades tributarias-n (TU-n): para formar un grupo de unidades tributarias-n (TUG-n).
- Varias unidades administrativas-n (AU-n): para formar un grupo de unidades administrativas-n (AUG-n).

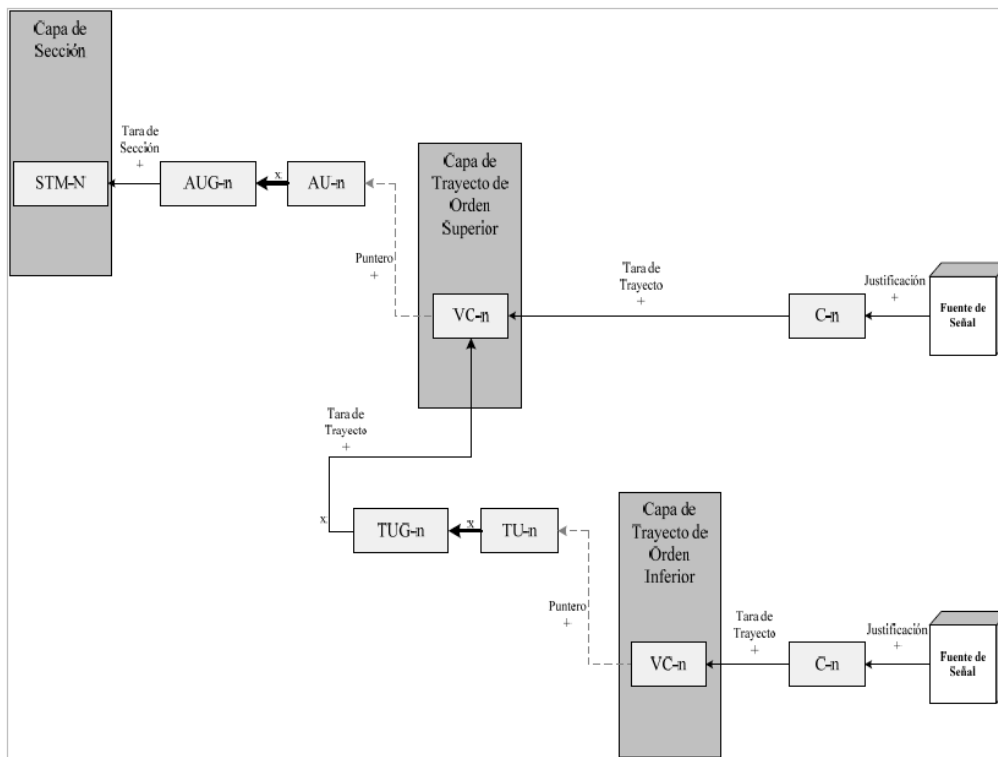
Una unidad administrativa-n (AU-n) a la que se añade el encabezado de sección (información de gestión de la capa de sección) forma un módulo de transporte síncrono de nivel N (STM-N). La concatenación es el procedimiento de asociación de varios contenedores virtuales, como muestran las figuras 1 y 2, de modo que su capacidad combinada puede utilizarse como un único contenedor sencillo, en el que se mantiene la integridad de la secuencia de bits.

Figura 1. Estructura de multiplexación SHD



Fuente: Unión Internacional de Telecomunicaciones. Recomendación ITU-R F.750-4.

Figura 2. Estructura SHD según Norma ITU-T



Fuente: Unión Internacional de Telecomunicaciones. ITU-T G.707.

1.3. Tipos de cross-conexión

Las cross-conexiones en una red síncrona suponen el establecer interconexiones semipermanentes entre diferentes canales en un elemento de red. Esto permite que el tráfico sea enviado a nivel de contenedor virtual; si el operador necesita cambiar los circuitos de tráfico en la red, el encaminamiento puede conseguirse cambiando conexiones.

Esta descripción podría sugerir que una cross-conexión es similar a una conmutación de circuito, pero hay diferencias fundamentales entre ellas. La

principal diferencia es que una conmutación trabaja como una conexión temporal la cual se realiza bajo el control de un usuario final, mientras que una cross-conexión es una técnica de transmisión usada para establecer conexiones semipermanentes bajo el control del operador, a través de su sistema de gestión de red. El operador cambiará esta conexión semipermanente según cambie el patrón del tráfico.

La función de cross-conexión no significa que exista necesidad de bloques de equipamiento independientes; la funcionalidad de cross-conexión SDH por ejemplo, puede residir en casi cualquier elemento de red siendo el más obvio el multiplexor *add and drop*. Otros términos empleados en las funcionalidades de los elementos de red SDH son la consolidación y la agregación; la consolidación se produce cuando el tráfico en rutas parcialmente ocupadas puede ser reorganizado en un simple camino con mayor carga de densidad de tráfico.

El *grooming* se produce cuando el tráfico incidente, el cual es dirigido hacia diversos destinos es reorganizado. El tráfico para destinos específicos es reordenado en caminos junto con otro tráfico para ese destino. Por ejemplo, el tráfico de un tipo específico como el ATM o tráfico de datos con diferentes destinos puede ser separado del tráfico de red telefónica conmutada, public switching telephone network (PSTN) y ser transportado por una ruta diferente.

En un sistema SDH se puede establecer diferentes tipos de conexiones entre elementos, como son las siguientes:

- Unidireccional: conexión de una vía a través de los elementos de red SDH, por ejemplo, enviar tráfico únicamente.

- Bidireccional: conexión de dos vías a través de los elementos de red, teniendo funciones de envío y de recepción de información.
- Extrae y continúa (*Drop & Continue*): conexión donde la señal es bajada a un tributario del elemento de red pero esta también continúa por la señal de agregado hacia otro elemento de red. Este tipo de conexiones puede ser usado para difusiones y mecanismos de protección.
- Adiciona y extrae (*Add & Drop*): conexión donde la señal baja a un tributario del mismo elemento de la red, pero para utilizarlo en ese nodo, ese mismo contenedor es utilizado por otro servicio tributario para ser transportado hacia otro punto, con lo cual la capacidad no se desaprovecha, únicamente cambia de servicio.
- Difusión (*Broadcast*): conexión donde un contenedor virtual entrante es llevado a más de un contenedor virtual de salida. En esencia, una señal entrante al elemento de red puede ser transmitida a varios lugares desde el contenedor virtual. Este tipo de conexión puede ser empleado para difusiones de video, por ejemplo.

Las cross-conexiones son clasificadas como DXC p/q, en donde: p es el orden jerárquico de la tasa de bits del puerto y q es el orden jerárquico del componente del tráfico que es conmutado dentro de aquella tasa de bits de puerto.

1.3.1. Cross-conexiones de alto orden

DXC puede ocurrir en dos tipos principales. Cross-conexiones de alto orden son usadas generalmente para enrutar el flujo de tráfico en bloques

nominales de 155 Mbps para aprovisionamiento de red o restauración (incluyendo recuperación en caso de desastres). Dichas cross-conexiones se designan como DXC 4/4. El primer 4 se refiere a los puertos de transmisión de 155 Mbps en la cross-conexión y el segundo 4 indica que todo el encabezado dentro de los 155 Mbps están conmutados como una sola entidad.

1.3.2. Cross-conexiones de bajo orden

Las cross-conexiones de bajo orden (DXC 4/1 o 1/1, el 1 denotando que la tasa primaria está definida a 1,5 o 2 Mbps) son utilizadas para conmutación en el tiempo de líneas dedicadas, consolidación y restauración de servicios. Estas conmutan componentes de tráfico hacia debajo de su tasa primaria, usualmente teniendo la opción de conmutar alternativamente en las tasas intermedias de 34 o 45 Mbps. Las capacidades y aplicaciones de estas dos familias de cross-conexiones pueden traslaparse, con algunos diseños capaces de soportar su operación en paralelo, por ejemplo: en 4/4, 4/1 y 1/1.

Aquellos ADMs y multiplexores de concentración que incluyen intercambio de *time slots*, también pueden ser utilizados como pequeños DCSs sin bloqueo. Un anillo de varios ADMs puede ser manejado como si sus cross-conexiones estuvieran distribuidas, pero típicamente se experimentará algún bloqueo, el cual debe ser anticipado en la planificación de red.

Algunos diseños de cross-conexión permiten que todas las interfaces de tráfico se encuentren en formato PDH para compatibilidad con el equipamiento existente. En particular, estos diseños pueden permitir que el nivel jerárquico p en una cross-conexión DXC p/q sea bien 34 o 140 Mbps en formato PDH como una alternativa a los 155 Mbps, para que haya disponibilidad de flexibilidad en la red donde aún no exista infraestructura SDH. Un puerto de 34 o 140 Mbps

para este tipo de cross-conexiones puede incluir un dispositivo de multiplexación PDH para conversión interna desde y hacia 2 Mbps, el cual provee una función de transmultiplexación entre las áreas PDH y SDH de la red.

Los equipos ADM, convencionalmente permiten que el tráfico esté en forma PDH, como 2 o 34 Mbps en sus puertos tributarios y también pueden proveer la función de transmultiplexión. Los puertos asociados al tráfico en tránsito están en formato SDH.

1.4. Parámetros ópticos

La potencia de emisión del transmisor: se denomina así a la potencia en dBm inyectada a la FO por el emisor de luz led o láser, medida luego del conector de salida del equipo. Este punto es definido como interfaz S por ITU-T G.957. En los sistemas SDH se usa el láser cuyos valores se encuentran entre +2 y -3 dBm para 1,3 μm y entre 0 a -5 dBm para 1,55 μm .

Ancho espectral de la fuente: se denomina así al ancho del espectro de emisión RMS (-3 dB) para láser multimodo y a -20 dB respecto del valor máximo en el espectro de emisión de láser monomodo. Para el emisor láser los valores se encuentran comprendidos entre 0,1 a 1 nanómetros para 1,3 o 1,55 μm . Se disponen de emisores láser multimodo (1 a 5 nm) y monomodo (0,1 a 1 nm).

1.4.1. Objetivo de calidad

El ITU-T G.821 indica para una conexión hipotética de referencia de 27 500 kilómetros que el canal de 64 kb/s debe tener una tasa de error BER inferior a 10^{-6} durante el 90 por ciento del tiempo de disponibilidad, con un

tiempo de integración de un minuto. Para enlaces entre repetidoras o entre transmisor y receptor que están en el orden de los 50 a 100 kilómetros, la BER será mejor a 10^{-10} . Este umbral de BER será el objetivo de calidad deseado de BER. Las normas actuales de medición de performance son G.821/826 y M.2100. La Norma G.826 permite la medición de performance con la información de paridad BIP inmersa en la trama STM-n.

1.4.2. Potencia umbral del receptor

Se denomina así al mínimo valor de potencia de ingreso al receptor, medida antes del conector de entrada (denominada interfaz R en ITU-T G.957), que asegura el objetivo de calidad $BER = 10^{-10}$. El valor de potencia umbral depende del tipo de detector, la velocidad de transmisión y la longitud de onda.

Para la jerarquía sincrónica SDH se usa detector del tipo fotodiodo avalancha APD de Ge en $1,3 \mu\text{m}$ y de InGaAs en $1,55 \mu\text{m}$. La velocidad de transmisión de $2,5 \text{ Gb/s}$ fue el estándar a la mitad de la década de los noventa. En la actualidad se trabaja con sistemas de 10 Gb/s (STM-64) y en algunos casos con sistemas de 40 Gb/s .

1.4.3. Incremento de la ganancia

La aplicación de amplificadores con FO dopadas con Erbio Er^{+3} permite una ganancia adicional (cerca de 15 dB) usados como amplificadores de potencia en transmisión o de entrada en recepción. Los sistemas heterodinos modulados en PSK requieren de -50 dBm como potencia de recepción para una velocidad de $2,5 \text{ Gb/s}$. Ambas posibilidades son desde un punto de vista de balance de potencia, equivalentes; pero solo los amplificadores se encuentran ya disponibles comercialmente.

1.4.4. Ancho de banda necesario

Es la banda ocupada por el sistema a transmitir y para los sistemas digitales corresponde a:

$$AB_n = \left(\frac{V_{tx}}{2}\right) \left(\frac{m}{n}\right) (1 + \beta)$$

Siendo V_{tx} la velocidad de transmisión de Mb/s, m/n el incremento de velocidad debido al código de transmisión (si es usado) y β el coeficiente *roll off* del filtrado coseno realzado. El AB_n resulta en MHz. En los sistemas SDH el código es NRZ ($m/n=1$) con aleatorización 27^{-1} y el coeficiente puede adoptarse en el caso más desfavorable ($\beta =1$).

1.4.5. Penalidades

La potencia de umbral se mide para ruido cuántico y térmico, considerando nula la interferencia intersímbolo y la fluctuación de fase. La ISI es producida por la reducción del ancho de banda de la FO; cuando se acerca al ancho de banda necesario AB_n se produce una ISI que incrementa la BER. Se define así una penalidad de potencia por ISI (Pisi) que se encuentra en valores inferiores a 1 dB para ABL mayores a AB_n . Una penalidad adicional se puede considerar por fluctuación de fase (*jitter*), dispersión, reflexión en los conectores ópticos, variación de la temperatura. Dicha penalidad se encuentra entre 2 y 4 dB.

1.4.6. Código de línea

No existe uniformidad en la elección de tal código, algunas veces se han usado los códigos del tipo mBnB (típicamente 1B2B o 5B6B) en sistemas PDH; siendo el NRZ el usado para sistemas SDH. En cambio el uso de la aleatorización (27^{-1}) de la señal es generalizado debido a que facilita la recuperación del reloj. En los sistemas SDH la ITU-T prevé la aleatorización de la trama STM-1 y el conjunto de trama STM-4 o STM-16.

1.4.7. Conector de salida

La salida del equipo generalmente se realiza mediante un conector desmontable que une al emisor (mediante un *pig tail*) con el cable monofibra al distribuidor de fibras ópticas. La atenuación del conector se puede considerar inferior a 0,3 dB, los tipos más comunes de conectores son FC, SC, ST, LC.

1.4.8. Margen del equipo

Para tener en cuenta las degradaciones sobre el equipo transreceptor se considera un margen de equipo. Este valor se suma al considerado para el cable. El valor apropiado de margen del equipo se encuentra entre 1 y 2 dB.

1.5. Parámetros del sistema

Los sistemas SDH contienen parámetros que permiten la gestión y el monitoreo de los ser los servicios creados.

1.5.1. Acceso al encabezado de la sección SOH

El terminal de línea permite el acceso a los bytes de la SOH en la red SDH, los bytes A1 y A2 permiten el alineamiento de la trama STM-1 mientras que el byte C1 identifica al STM-1 dentro del STM-N. Los bytes B1 y B2 permiten la verificación de paridad (detección de errores). Los bytes E1 y E2 permiten el acceso a canales de servicio orderwire. El byte F1 es un canal para el operador de la red. Los bytes D1 al D12 permiten la gestión del sistema (interfaz F y Q). El byte S1 lleva información de sincronismo. Los K1, K2 y M1 llevan información de alarmas remotas.

1.5.2. Conmutación de protección

El enlace puede contener un sistema de conmutación que incrementará la disponibilidad del sistema completo; en los sistemas SDH una protección adicional se logra mediante el uso de los equipos *Cross-Connect* o *Add-Drop* mediante el direccionamiento por caminos alternativos dentro de una estructura en anillo. Los criterios de conmutación tienen tres grados de prioridad:

- Conmutación forzada mediante el terminal de operaciones
- Falta de señal, recepción de AIS o $BER > 10^{-3}$
- Señal degradada $BER > 10^{-6}$

El canal de comunicación para el sistema de conmutación automática de varios canales M+N se obtiene de la sección SOH del STM-1. Se trata de los bytes K1 y K2. Debe tenerse en cuenta que debido a los altos valores de MTBF (tiempo medio entre fallas) de los equipos, y que el MTTR (tiempo medio de reparación) del cable es muy superior al de los regeneradores (parte

electrónica), puede ser útil adoptar solo un sistema 1+0 sin protección dentro de una red en anillo.

1.5.3. Canal de servicio *Orderwire*

El sistema incluirá canales de servicio a frecuencia vocal para el mantenimiento y reparación, esta información está contenida en la trama digital (tal el caso de STM-1 en la SDH). El byte E1 de la SOH permite un canal de servicio de hablar tipo ómnibus presente en todas las estaciones regeneradoras, mientras que el byte E2 corresponde a un canal expreso entre terminales. Se trata de canales de 64 kb/s con codificación PCM.

1.5.4. Control de errores

El control de errores se efectúa mediante los bytes de la sección SOH. El byte B1 permite el control de BER entre repetidoras mientras que el byte B2 lo hace entre terminales. Se puede obtener de esta forma una evaluación actual e histórica del desempeño (calidad G.821/826) de la transmisión.

1.5.5. Sistemas de operaciones

El sistema de operaciones dispone de accesos al terminal de línea con las interfaces F (mediante una PC) y Q (red de gestión TMN). Desde un equipo se puede operar sobre cualquier otro de la red ya que se encuentran conectados mediante los canales de datos D1 a D12. Los bytes D1 a D3 permiten un canal de comunicación de datos entre regeneradores DCCR y los bytes D4 a D12 permiten un canal entre multiplexores DCCM. Cuando se trata de un sistema STM-4 o STM-16 los bytes de servicio (errores, *orderwire*, canal de datos) se envían solo en un STM-1 del conjunto total. El canal de comunicaciones

mediante la interfaz Q se normaliza para la red de gestión de telecomunicaciones TMN.

1.5.6. Corte automático del láser

(ITU-T G.958). Cuando se produce un corte en el cable de fibras ópticas se dispone de un circuito que detecta la pérdida de recepción por más de 500 ± 50 milisegundos y corta la emisión del láser como prevención de accidentes. En forma periódica, con retardo entre 60 y 300 segundos se restablece la transmisión (durante $2 \pm 0,2$ segundos) como prueba de enlace; cuando se recibe señal normalmente se retorna a la emisión normal del láser. Para efectuar pruebas se puede realizar el encendido manual durante 90 ± 10 segundos (medición) o $2 \pm 0,2$ segundos (verificación de continuidad). Asimismo, puede apagarse el láser temporalmente mientras se efectúan las reparaciones para evitar el encendido automático de revisión que efectúa el equipo periódicamente.

1.5.7. Alimentación

La alimentación para los equipos será local siempre que se pueda. En cables interurbanos con repetidores ubicados en lugares despoblados puede usarse la telealimentación o disponer de alimentación no convencional como celdas solares. La alimentación de amplificadores ópticos de Erblio puede ser mucho más económica que los regeneradores.

1.5.8. Interfaz óptica

(ITU-T G.957). Se determina una interfaz típica con la secuencia aplicación-nivel-sufijo. La aplicación será: I-intercentral; S-corta distancia; L-

larga distancia. El nivel se refiere a STM-N. El sufijo será 1 para 1 310 nanómetros G.652; 2 para 1 550 nanómetros G.652/4; 3 para 1 550 nanómetros G.653.

1.6. Sincronía de la red

El plan de sincronismo de una red involucra estratos de temporización, localmente la temporización del estrato 1, o reloj de referencia primario PRC, puede obtenerse desde relojes atómicos de Cesio, en condiciones ideales se pueden obtener estabilidades mucho mejores a 10^{-11} equivalente a 1 segundo de error cada 30 mil años. Sin embargo, se requieren dos o más unidades localizadas en el mismo lugar a fin de dar suficiente redundancia y confiabilidad, pueden ser subordinados a un receptor de temporización satelital GPS. Los relojes de estrato 2 y 3, denominados de tránsito y local TNC-LNC se realizan mediante Rubidio o cuarzo (doble cámara térmica). Los relojes distribuidos en los equipos de transmisión son realizados mediante VCO de cuarzo.

SSU es un reloj de tipo PRC, TNC o LNC. Con SSU el sincronismo pasa a formar parte de la estación de comunicaciones, este concepto facilita la operación del sincronismo y su gestión. Se sincroniza desde una o dos entradas externas, en este caso por distinto camino. Todos los equipos de la estación adoptan la temporización desde el SSU. La central de conmutación también es dependiente del SSU.

1.6.1. Primary Reference Clock (PRC)

Es un reloj de Cs o Rb (subordinado o no al GPS) con estabilidad 1×10^{-11} . PRC debe cumplir con la Norma ITU-T G.811.

1.6.2. Transit Node Clock (TNC)

En el estrato 2 se adopta un concepto SSU con estabilidad 1×10^{-9} . Se realiza mediante relojes de cuarzo en doble cámara térmica o mediante Rb. Debe cumplir la Norma ITU-T G.812. El número máximo de relojes TNC debe ser diez. El TNC se encuentra ubicado en un extremo de la línea de sincronismo. Puede recibir también sincronismo desde dos líneas distintas (provenientes desde el PRC). Puede disponer de un receptor GPS para subordinar al TNC en caso de falla. En ausencia total de subordinación se auto configura en la función *hold-over*. Debe evitarse una larga cadena en cascada de relojes LNC entre TNC (máximo de dos). LNC recibe temporización desde ambos extremos (TNC).

1.6.3. Local Node Clock (LNC)

Es el estrato 3 con estabilidad de 2×10^{-8} . Se realiza mediante relojes de cuarzo compensado en temperatura. En este caso se dispone de dos alternativas un *voltage control cristal oscillator* (VCXO) o con control numérico y filtrado digital (OCXO). Debe cumplir con G.812.

1.6.4. Synchronous Equipment Timing Source (SETS)

Los equipos de transmisión SDH llevan una fuente de reloj interno que determina una estabilidad de 4.6 ppm. La Norma es ITUT G.813. El número máximo de SETS entre SSU debe ser 20 (G.803). En G.813 se determinan las características de retardo y comparación de un reloj de equipo SDH (SETS).

El plan de distribución de la sincronía en una red parte desde los relojes primarios y mediante enlaces o anillos PDH/SDH se propaga hacia el exterior.

Sin embargo, por razones de redundancia, se requieren relojes distribuidos y la reconfiguración en caso de corte. El plan de sincronía toma en cuenta:

- El sincronismo dentro de una oficina de comunicaciones
- La programación del sincronismo de los equipos de transmisión
- La propagación de la temporización y reconfiguración de la red

1.6.5. Jerarquía en SDH

En tanto, en PDH lo normal es la sincronía interna, los equipos SDH se configuran para recibir la temporización desde el exterior en condiciones normales de funcionamiento. Solo en caso de falla se pasa a sincronía interna. Una particularidad de gran importancia en SDH es que todos los equipos multiplexores y de transmisión se encuentran sincronizados desde la misma fuente.

1.6.6. Alternativas de sincronismo en el SETS

- Sistema de sincronía: fuente externa desde una entrada de 2 048 kHz
 - Desde un SSU de estrato 1/2/3
 - Desde la salida externa de otros equipos
 - Sincronismo desde las entradas tributarias
 - Desde 2 Mbps para el multiplexor STM-1
 - Desde STM-1 para el mutiplexor STM-n
 - Sincronismo desde la señal de recepción (STM-n)
 - Sincronismo en loop (transversal hacia atrás)

- Sincronismo longitudinal hacia adelante (en repetidores)
- Sincronismo desde el demodulador (enlaces de radio STM-1)
- Sincronía de salida: conexión hacia otro equipo o al SSU. Las alternativas son: reloj de sistema, entrada de tributario o *scquelch* (silenciamiento de la señal de salida).
- Sincronía interna, *hold over*: para el caso de falla de las distintas fuentes de entrada. Promedio de los últimos estados de frecuencia memorizados. Entrega una estabilidad de $\pm 4,6$ ppm por 24 horas.
- *Free running*: para el caso de falla del estado *hold over*. Es un reloj interno de cristal con estabilidad de ± 15 ppm o mejor.

1.6.7. Loopback de sincronía

Al desarrollar el Plan de Sincronía hay que evitar los posibles *loopbacks* cerrados de temporización. Se destacan las particularidades:

- Los *loopbacks* de sincronismo producen regiones aisladas de temporización con inestabilidades causadas por la realimentación.
- Para evitar el *loopbacks* de sincronismo pueden usarse los mensajes de gestión (byte S1) y relojes TNC con *hold over*.
- En una estructura en anillo deben existir al menos dos nodos con relojes TNC. Las vías de acceso a ellos deben ser distintas.
- La subordinación a GPS permite disponer de varias referencias primarias distribuidas.

1.7. Gestión de la red SDH

Los elementos que constituyen la red de gestión SDH son los siguientes:

- Unidad de control y unidad de gestión del equipo
- Canal de comunicación hacia la PC que oficia de terminal local
- Canal de comunicación entre equipos de la misma red
- Red de comunicación entre distintos equipos en una misma estación
- Red de comunicación en el centro de gestión

1.7.1. Unidad de control

Un equipo de la red SDH (multiplexor *add-drop*, terminal de línea óptica o radioenlace, *cross-connect*, etc) puede visualizarse como una serie de unidades con distintas misiones y funciones. La unidad de control mantiene actualizada la base de datos del equipo y permite la comunicación con el operador del terminal local.

1.7.2. Terminal local

La interfaz F permite comunicar al equipo con una PC (*notebook* o *laptop*) exterior de forma tal que pueden realizarse funciones de programación local. Esta función es necesaria en la configuración inicial del equipo cuando aún no se han ingresado los parámetros de comunicación de red (direcciones MAC, NSAP e IP) que permiten la conexión remota.

1.7.3. Unidad de gestión

Para efectuar las funciones de gestión remota TMN se requiere de una unidad de gestión que procesa los protocolos de comunicación apropiados (normas ISO para la TMN). Esta unidad puede ser la misma o distinta a la unidad de control.

1.7.4. Comunicación entre estaciones

La comunicación entre los equipos que forman un enlace SDH ubicados en distintas estaciones se realiza mediante un canal de comunicaciones dedicado en la trama STM-1. Dicho canal se llama *data communication channel* (DCC).

1.7.5. Comunicación entre equipos

En una estación pueden coexistir distintos tipos de equipos SDH (multiplexores, terminales de FO, radioenlaces, etc) y distintos enlaces que conforman la red. Para efectuar la interconexión de los mismos se requiere de la interfaz Q desde la unidad de gestión.

1.7.6. Interfaz Q1/Q2/Q3

Q1/Q2 se indican en la Norma ITU-T G.771 y Q3 en Q.513. Q3 se encuentra en la Norma ITU-T G.773 que identifica las capas del modelo OSI. Existen 5 variantes para Q3 propuestas y denominadas A1/A2/B1/B2/B3. La variante Q3/B2 se usa para comunicación con protocolo X.25 mientras que la variante Q3/B3 se usa para una salida LAN ethernet (la LAN pertenece al sistema de operación).

1.7.7. Lan ethernet

Normalmente los equipos SDH disponen de una interfaz física de conexión AUI que permite acceder al equipo mediante una LAN (10 Base-T o 10 Base-2 para equipos antiguos). En esta interfaz se conecta un transreceptor ethernet con conexión coaxial BNC (10 Base-2) o RJ45 (10 Base-T). Todos los equipos a ser gestionados por la TMN deben ser interconectados mediante esta LAN. El protocolo de capa 2 es el definido en IEEE 802.3 (MAC y LLC). Para configurar correctamente la LAN se debe programar a cada equipo con una dirección MAC distinta.

1.7.8. Direccionamiento

La configuración inicial de la red de gestión involucra la programación de los parámetros de comunicación. Se trata de las capas 2/3/4. Se disponen de tres estructuras de suite de protocolos: LAN, ISO y UNIX.

2. MULTIPLEXACIÓN POR LONGITUD DE ONDA DENSA (DWDM)

La multiplexación por longitud de onda densa (DWDM) es una tecnología que introduce varias señales provenientes de distintas fuentes de información en una única fibra óptica, utilizando distintas longitudes de onda de un haz láser cada una de ellas. Cada una de estas señales se conoce como canal y se maneja de forma independiente una de otra, incluso el tipo de tráfico puede ser distinto para cada longitud de onda asignada.

La tecnología DWDM es la evolución del multiplexación por longitud de onda, en la cual se tiene como límite el transporte de 8 longitudes de onda de forma simultánea, el aprovechamiento de la capacidad de la fibra óptica para transportar gran cantidad de información da la posibilidad de manejar hasta 160 canales, para esto se utiliza la banda C. Actualmente, los sistemas de transporte se están diseñando para manejar 44 portadoras con una separación 100 GHz y los sistemas de 88 canales utilizan un diferencia entre cada longitud de onda de 50 GHz, tabla II.

Tabla II. **Frecuencia y longitud de onda según ITU-T para canales DWDM**

Canal	Frecuencia (THz)	Longitud de onda (nm)	Canal	Frecuencia (THz)	Longitud de onda (nm)
1	191,700	1563,45	45	193,950	1545,72
2	191,750	1563,05	46	194,000	1545,32
3	191,800	1562,64	47	194,050	1544,92
4	191,850	1562,23	48	194,100	1544,53
5	191,900	1561,83	49	194,150	1544,13
6	191,950	1563,86	50	193,900	1546,12
7	192,000	1561,42	51	194,200	1543,73
8	192,050	1561,01	52	194,250	1543,33
9	192,100	1560,61	53	194,300	1542,94
10	192,150	1560,20	54	194,350	1542,54
11	192,200	1559,79	55	194,400	1542,14
12	192,250	1559,39	56	194,450	1541,75
13	192,300	1558,98	57	194,500	1541,35
14	192,350	1558,58	58	194,550	1540,95
15	192,400	1558,17	59	194,600	1540,56
16	192,450	1557,77	60	194,650	1540,16
17	192,500	1557,36	61	194,700	1539,77
18	192,550	1556,96	62	194,750	1539,37
19	192,600	1556,55	63	194,800	1538,98
20	192,650	1556,15	64	194,850	1538,58
21	192,700	1555,75	65	194,900	1538,19
22	192,750	1555,34	66	194,950	1537,79
23	192,800	1554,94	67	195,000	1537,40
24	192,850	1554,54	68	195,050	1537,00
25	192,900	1554,13	69	195,100	1536,61
26	192,950	1553,73	70	195,150	1536,22

Continuación de la tabla.

Canal	Frecuencia (THz)	Longitud de onda (nm)	Canal	Frecuencia (THz)	Longitud de onda (nm)
27	193,000	1553,33	71	195,200	1535,82
28	193,050	1552,93	72	195,250	1535,43
29	193,100	1552,52	73	195,300	1535,04
30	193,150	1552,12	74	195,350	1534,64
31	193,200	1551,72	75	195,400	1534,25
32	193,250	1551,32	76	195,450	1533,86
33	193,300	1550,92	77	195,500	1533,47
34	193,350	1550,52	78	195,550	1533,07
35	193,400	1550,12	79	195,600	1532,68
36	193,450	1549,72	80	195,650	1532,29
37	193,500	1549,32	81	195,700	1531,90
38	193,550	1548,91	82	195,750	1531,51
39	193,600	1548,51	83	195,800	1531,12
40	193,650	1548,11	84	195,850	1530,72
41	193,700	1547,72	85	195,900	1530,33
42	193,750	1547,32	86	195,950	1529,94
43	193,800	1546,92	87	196,000	1529,55
44	193,850	1546,52	88	196,050	1529,16

Fuente: ITU-T G.694.1.

2.1. Componentes de un sistema DWDM

Como en todo sistema de comunicación es necesaria la presencia de tres elementos fundamentales, en la transmisión emisores láser con longitudes de onda precisas y estables, para el canal de comunicación es indispensable hacer mención de la fibra óptica la cual debe cumplir con requerimientos especiales,

para la parte de la recepción se cuenta con foto-detectores conjuntamente con demultiplexores ópticos y por último es necesario realizar mención de los elementos de cross-conexión, multiplexadores para la adición y extracción de señal óptica.

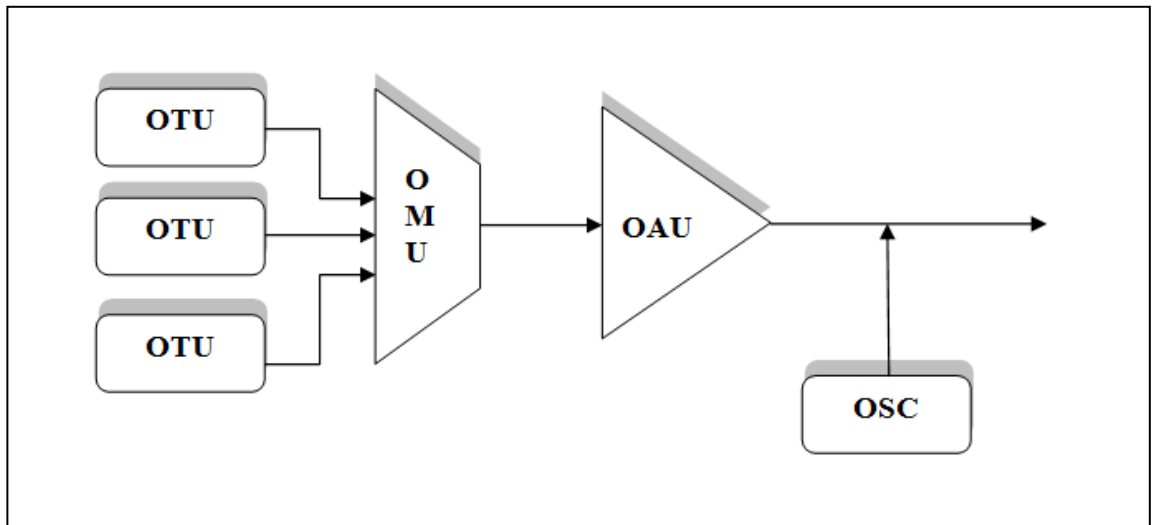
2.1.1. Elementos que conforman un transmisor en un sistema DWDM

Es necesario poseer un equipo con la habilidad de enviar la información que se desea, dicho elemento del sistema de comunicación tiene la responsabilidad de proporcionar una señal de alta calidad y alta potencia para compensar las pérdidas inherentes al medio, para este caso en específico la atenuación que posee la fibra óptica.

Un transmisor se encuentra compuesto de los siguientes elementos:

- Unidad óptica *transponder*, *optical transponder unit* (OTU)
- Unidad óptica de multiplexación, *optical multiplexer unit* (OMU)
- Unidad óptica de amplificación, *optical amplifier unit* (OAU)
- Canal óptico de supervisión, *optical supervisory channel* (OSC)

Figura 3. Configuración básica del módulo de transmisión en DWDM



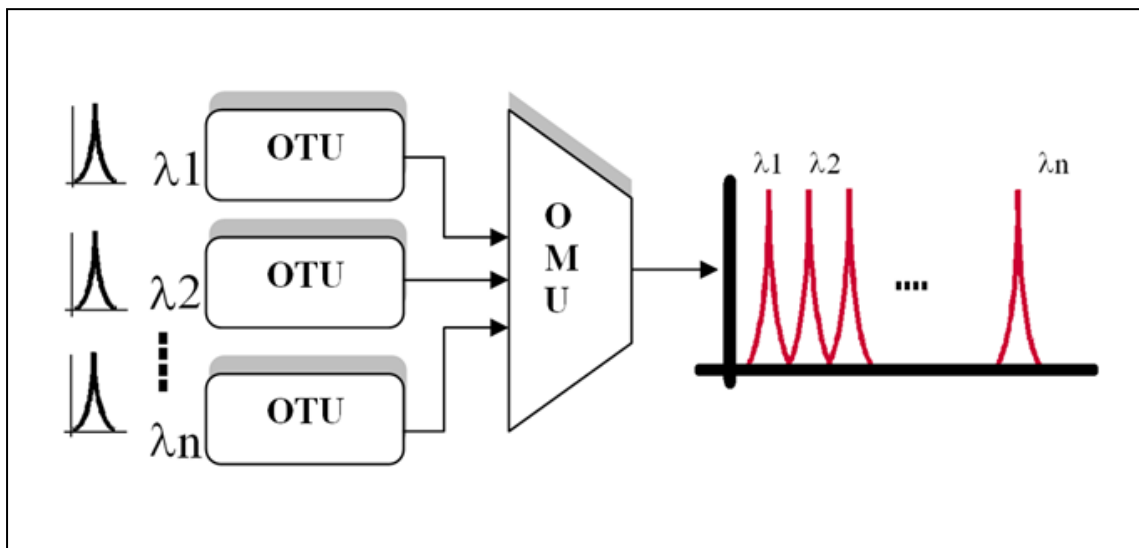
Fuente: elaboración propia.

Los elementos que conforman la figura 3 se describen a continuación:

- Unidad óptica *transponder*: es la unidad que forma parte del sistema DWDM encargada de recibir la señal óptica de un servicio tipo cliente la cual será transmitido sobre la fibra, los servicios que pueden ser enviados son: SDH/SONET, ATM, IP, Giga *Ethernet*, video, etc. Este tipo de información se convierte a una señal con una longitud de onda que cumpla con el estándar ITU, es decir se le asigna una frecuencia específica según el arreglo que se haya establecido desde el inicio, este tipo de servicios se conoce comúnmente como una señal coloreada.
- Unidad óptica de multiplexación: esta es la parte del sistema DWDM que recibe todas las portadoras que se encuentran dentro del estándar ITU o señales coloreadas para combinarlas en una sola señal óptica que

transporta todas las otras señales, la multiplexación de estas formas de onda es posible por la utilización de un prisma el cual recibe todas y cada una de las señales coloreadas de los clientes, generando una única portadora que contiene toda la información que se desea enviar, tal como se puede observar en la figura 4.

Figura 4. **Forma de onda a la salida de un multiplexador óptico dentro de un sistema de transmisión DWDM**



Fuente: elaboración propia.

- Unidad óptica de amplificación: debido al hecho que la señal óptica a la salida del multiplexador es de poca potencia, no es posible enviar por fibra óptica esta señal debido a la atenuación que este medio presenta, el objetivo principal de los sistema DWDM es el transporte de grandes volúmenes de información a gran distancia, para cumplir con este se utilizan amplificadores ópticos los cuales se encargan de incrementar la potencia que sale del multiplexador, en esta fase no se afecta ninguna

característica de la señal modulada únicamente se cambia su amplitud para compensar las pérdidas del medio.

La ganancia que se aplica en el amplificador óptico depende de la configuración del sistema, básicamente es función de la cantidad de señales de servicio que se estén transportando, debido a que cada una de ellas utiliza una porción de la potencia. De tal forma que la potencia necesaria a la salida de un amplificador se puede calcularla con la fórmula:

$$P_{out} = P_{standard} 40\lambda + 10 \log \#\lambda$$

Donde:

- P_{out} = potencia combinada de salida
- $P_{standard}$ = potencia de una lambda
- $\#\lambda$ = número de lambdas utilizadas para transporte

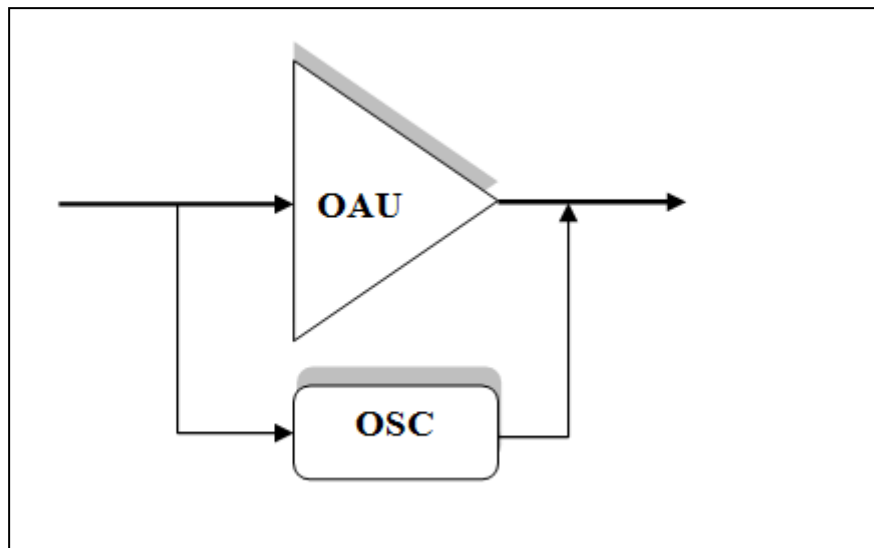
La potencia estándar depende del arreglo establecido en la configuración original para este caso en particular se trabaja con un arreglo de 40 portadoras, el segundo término hace referencia a la cantidad de portadoras que se tiene en producción.

- Canal óptico de supervisión: medio del cual se valen los sistemas DWDM para comunicarse entre dos equipos adyacentes, se suma a la señal proveniente del multiplexador, suponiendo un escenario donde se produce una interrupción del medio es decir una desconexión física o un corte de la fibra óptica entre dos equipos, se produce una interrupción de servicios y el canal de supervisión es el encargado de disparar las alarmas en el sistema de gestión.

2.1.2. Elementos que conforman un sitio de amplificación

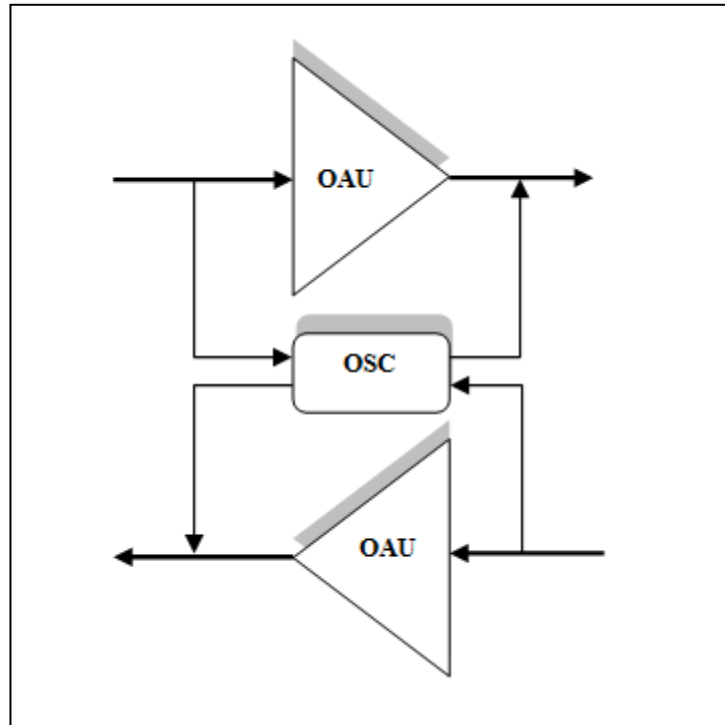
Teniendo en cuenta que los sistemas de comunicación DWDM se utilizan para el transporte de datos a muy largas distancias, la atenuación del medio o pérdidas en la fibra óptica provoca la utilización de sitios de amplificación; dichos sitios se conocen con el nombre de Optical line amplifier (OLA), y se componen únicamente de una unidad óptica de amplificación y uno o dos canales de supervisión mostrados respectivamente en la figuras 5 y 6, dicho canal puede estar compuesto de dos unidades individuales apuntando hacia cada uno de los vecinos del sitio de amplificación o de una unidad con gestión bidireccional.

Figura 5. **Amplificador con canal de gestión unidireccional**



Fuente: elaboración propia.

Figura 6. **Amplificador con canal de gestión bidireccional**



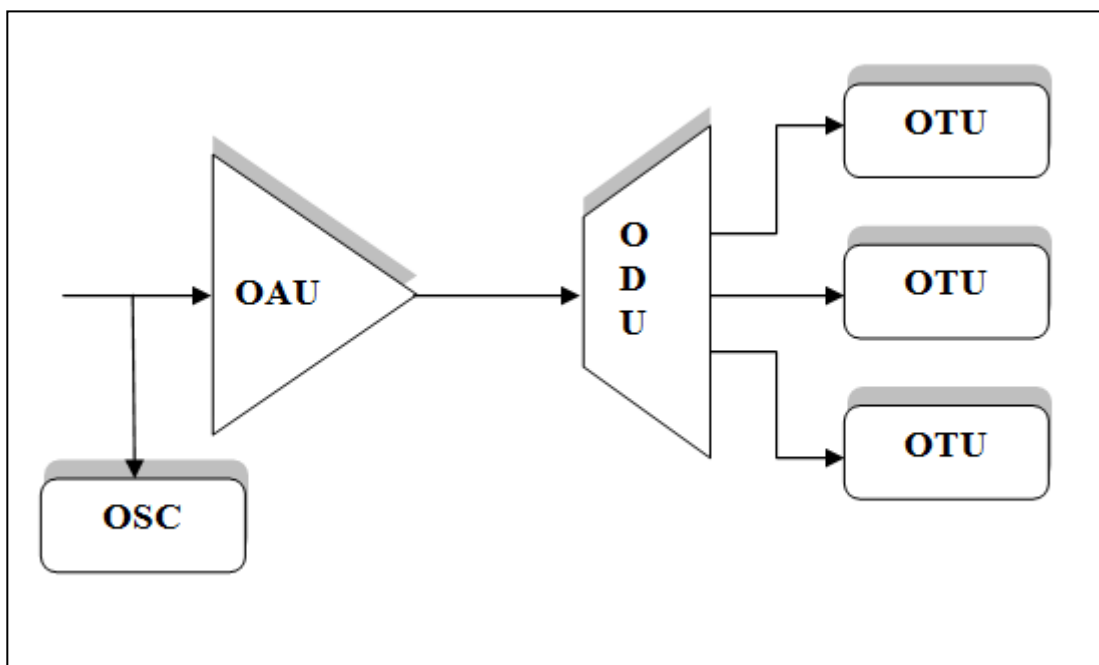
Fuente: elaboración propia.

2.1.3. Elementos que conforman un receptor en un sistema DWDM

Un receptor en el sistema de comunicaciones DWDM, es el encargado de separar la señal multiplexada y asignarle una frecuencia específica según la longitud de onda que se le asignó en el extremo emisor, para esto se utiliza un demultiplexador óptico, mostrado en la figura 7, este es el elemento principal del extremo receptor, pero no puede funcionar exclusivamente, necesita estar acompañado de otros elementos con lo cual un receptor básico está compuesto de los siguientes elementos.

- Unidad óptica transponder, *optical transponder unit* (OTU)
- Unidad óptica de demultiplexación, *optical demultiplexer unit* (ODU)
- Unidad óptica de amplificación, *optical amplifier unit* (OAU)
- Canal óptico de supervisión, *optical supervisory channel* (OSC)

Figura 7. **Demultiplexor simplificado en un sistema DWDM**

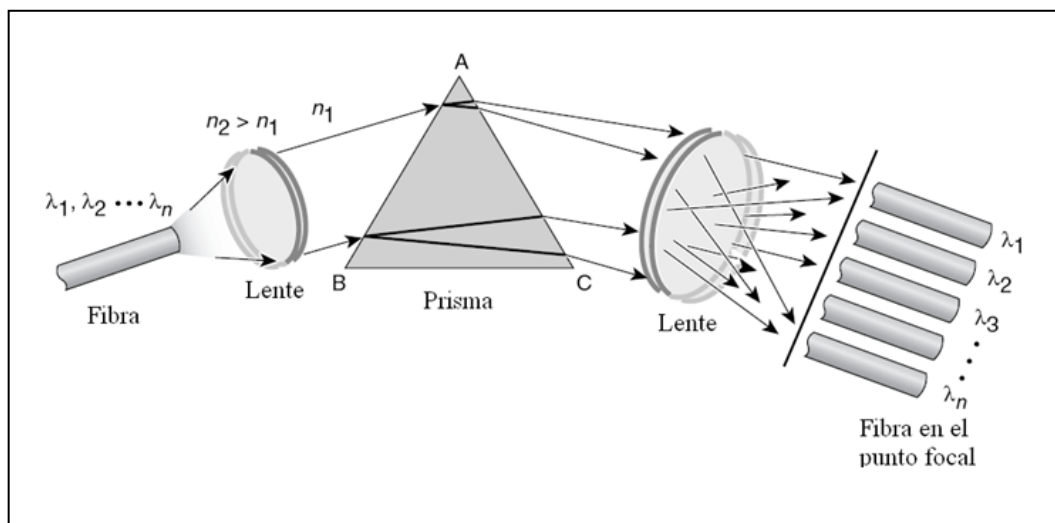


Fuente: elaboración propia.

De estos, el único elemento distinto a la sección de transmisión es la unidad óptica de demultiplexación, esta es la encargada de separar los espectros contenidos en la fibra que transporta el canal DWDM, para esto se valen de la utilización de un prisma, con lo cual el haz de luz policromática proveniente del amplificador incide sobre una de las superficies del prisma provocando que cada longitud de onda se refracte de una forma diferente, este se conoce como el efecto arcoíris, en la salida del prisma cada longitud de

onda se separa de la siguiente por un ángulo, un lente enfoca ahora a cada una de portadoras con su respectiva frecuencia hacia un punto donde esta necesita ingresar a una fibra, el proceso descrito anteriormente se puede ver en la figura 8.

Figura 8. **Proceso de la demultiplexación en la ODU**

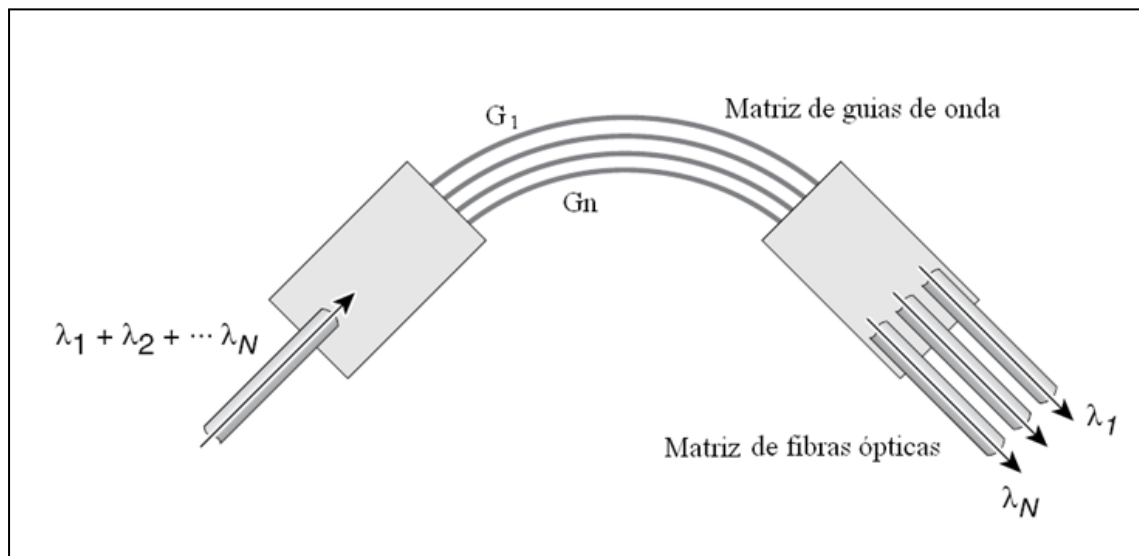


Fuente: Prism Refraction Demultiplexing de <http://www.cisco.com/web/AT/assets/docs/dwdm.pdf>. Consulta: marzo de 2013.

Otra técnica para separar cada longitud de onda es el uso de las guías ópticas o tipo rejilla, arrayed waveguide gratings (AWGs), que utiliza el principio de difracción, se compone de un conjunto de canales curvos que funcionan como guía de onda óptica con separación constante en toda su trayectoria produciendo distintas longitudes en los canales, estos están conectados a unos lentes en la entrada y salida, cuando la luz entra a estos lentes se difracta e ingresa a la matriz de guías de onda, debido a la diferencia en los tamaños de los canales se produce un retardo a la salida de cada una de ellas. El proceso

da lugar a distintas longitudes de onda que corresponden a los puertos de salida, en otro punto presentan máxima interferencia. Ver figura 9.

Figura 9. **Utilización de una matriz de fibras AWGs**



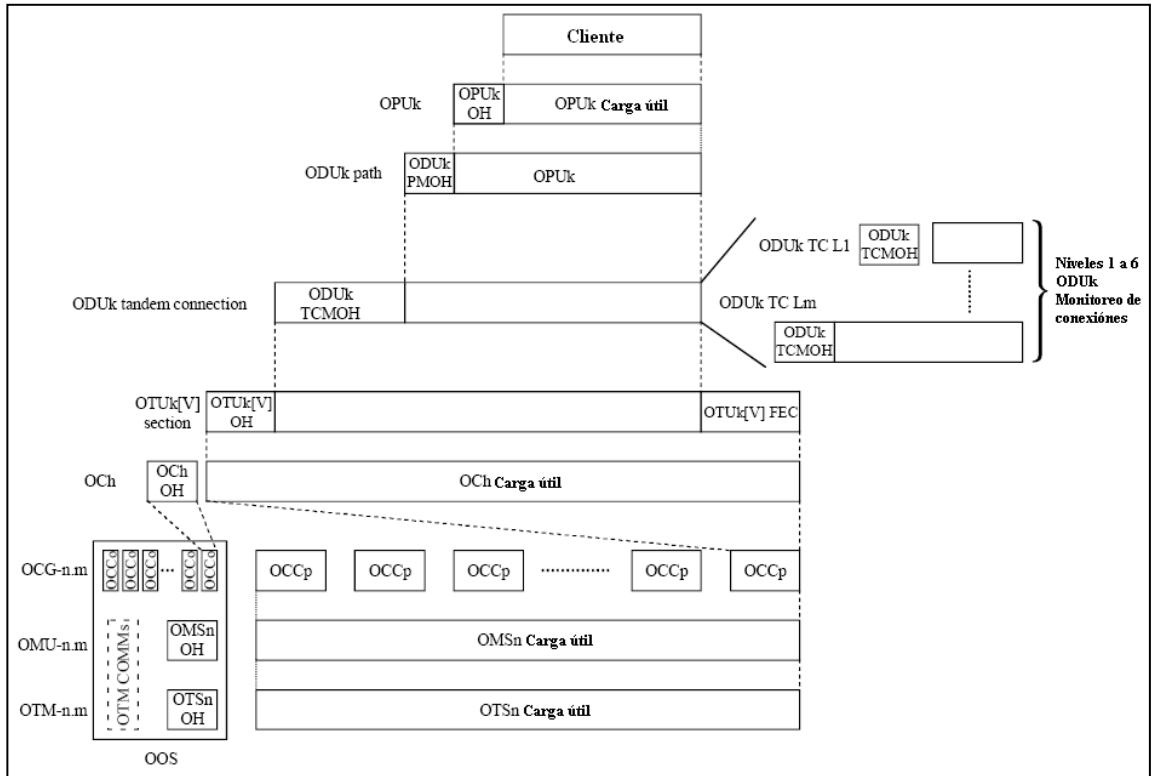
Fuente: *arrayed waveguide grating* de

<http://www.cisco.com/web/AT/assets/docs/dwdm.pdf>. Consulta: marzo de 2013.

2.2. Estructura de la multiplexación en DWDM

Al igual que trama de SDH/SONET, los sistemas de comunicación DWDM, utilizan el principio de añadir encabezados para la multiplexación de la información, añadiendo encabezados para identificar cada una de las etapas por las cuales pasan la información del cliente o la carga útil dentro de la trama, tal y como se ve en la figura 10.

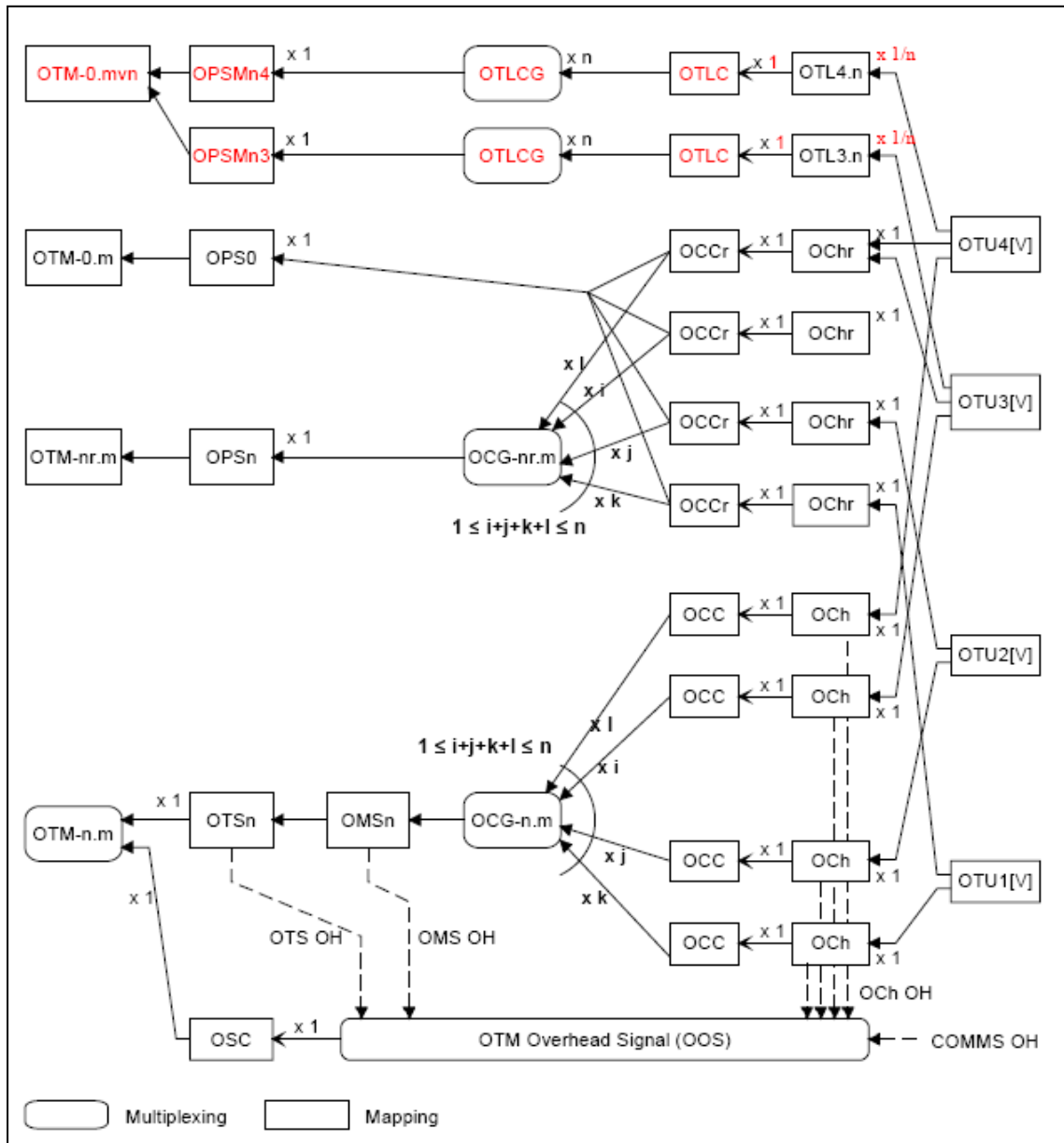
Figura 10. Estructura de la multiplexación DWDM



Fuente: ITU. G.709/Y.1331 de <http://www.itu.int/es/Pages/default.aspx>. Consulta: marzo de 2013.

La OTU 1 fue el primer tamaño establecido para el transporte de servicios y corresponde a una capacidad de 2,5 Gbps como se observa en la figura 11.

Figura 11. Estructura de multiplexación y mapeo de la OTM



Fuente: ITU. G.709/Y.1331 de <http://www.itu.int/es/Pages/default.aspx>. Consulta: marzo de 2013.

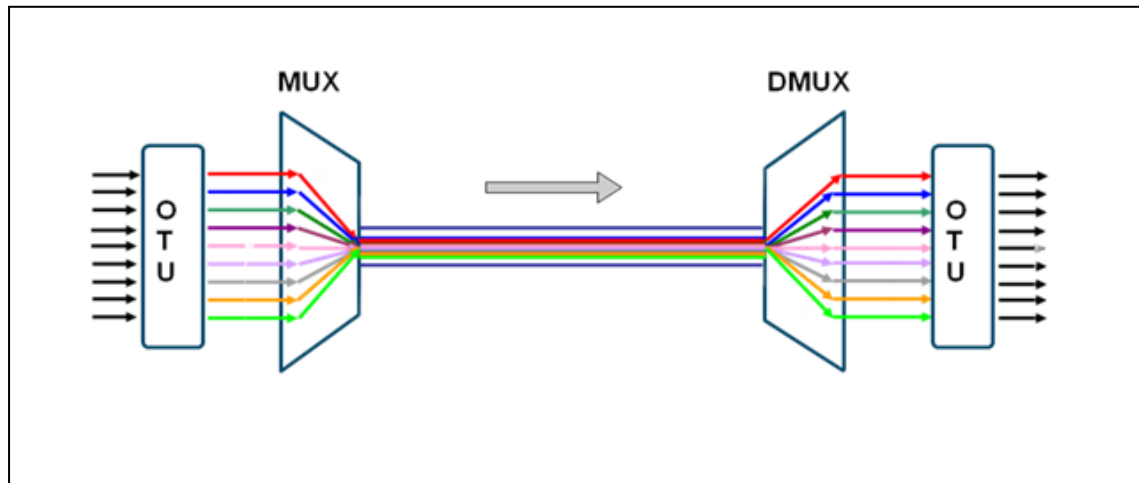
2.3. Modos de transmisión

El desarrollo de la tecnología DWDM ha permitido el transporte de grandes cantidades de información de datos, voz y video; en un esquema tradicional se utiliza para dicho propósito un canal de transmisión y uno de recepción, si el enlace entre dos nodos se realiza a través de medios ópticos es necesario emplear dos hilos de fibra óptica, DWDM ofrece una alternativa para este método convencional, en la cual un solo medio físico se utiliza para el transporte de datos.

2.3.1. Sistemas unidireccionales

Este tipo de transmisión se implementa con la utilización de dos hilos de fibra óptica, y es la forma que más ampliamente se utiliza en todo el mundo. Para implementar la transmisión de señal en uno de los sentidos se utiliza únicamente una fibra óptica, el otro se utiliza para la recepción de la señal en ese mismo nodo, el sistema de transmisión unidireccional presenta características muy importantes las cuales determinan que sea la forma de comunicación más utilizada, puede transportar grandes cantidades de información a lo largo de grandes distancias utilizando amplificadores ópticos durante su recorrido. En la figura 12 se muestra la transmisión unidireccional.

Figura 12. **Sistema de transmisión DWDM unidireccional**



Fuente: http://www.oocities.org/es/emibel_porta/redes_telecom/actividad_2.htm. Consulta: abril de 2013.

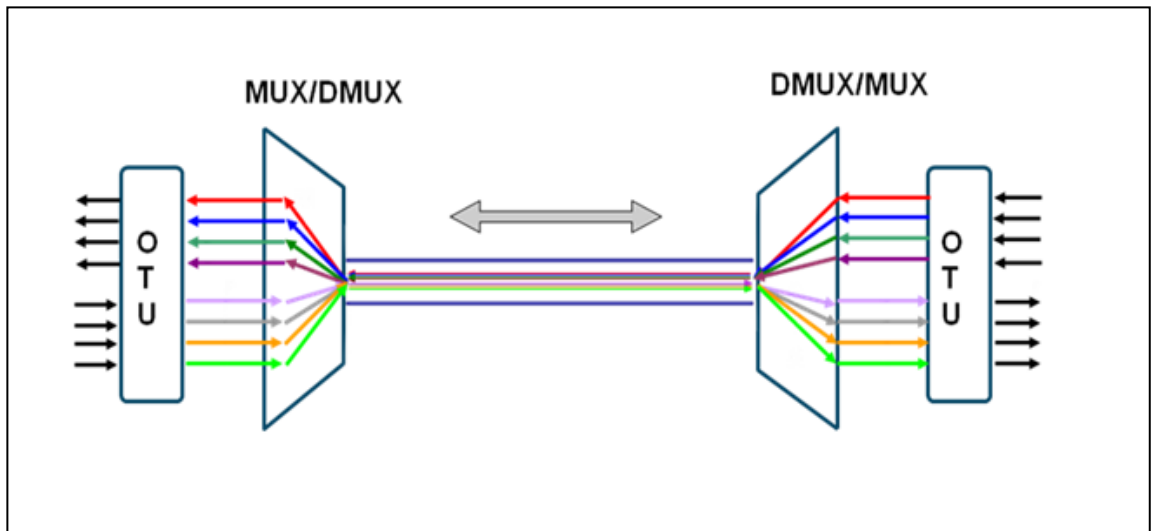
2.3.2. **Sistemas bidireccionales**

Únicamente hace uso de un hilo de fibra óptica, el cual transmite la señal óptica en ambas direcciones simultáneamente, asignando distintas frecuencias para las señales que viajan en direcciones opuestas; se recomienda la multiplexación y demultiplexación en una misma fibra.

La característica principal de este sistema es su bajo costo de implementación por utilizar una sola fibra, presenta baja capacidad de transporte de información en comparación con el sistema unidireccional y no es apta para largas distancias a causa de la pérdida en la fibra a raíz de la utilización de frecuencias no adyacentes la transmisión en direcciones opuestas, este tipo de sistema es implementado en áreas urbanas para poder

interconectar la mayor cantidad de sitios utilizando menos recursos físicos, la figura 13 es una representación gráfica de este sistema de transmisión.

Figura 13. **Sistema de transmisión DWDM bidireccional**



Fuente: http://www.oocities.org/es/emibel_porta/redes_telecom/actividad_2.htm.

Consulta: abril de 2013.

2.4. Topología para un sistema DWDM

La configuración o topología de una red depende de diversos factores, dentro de los cuales se puede mencionar la aplicación, distancia, protocolos a utilizar, forma de acceso a los sitios y que sean compatibles con redes tradicionales. En la actualidad los tipos más comunes de configuración son: punto a punto, el cual conecta dos distintos lugares generalmente grandes instalaciones de una empresa y otro tipo es la conexión en anillo, esta tiene como principal aplicación brindar una redundancia y recolectar tráfico a lo largo de distintas ubicaciones, adicionalmente se puede mencionar la configuración

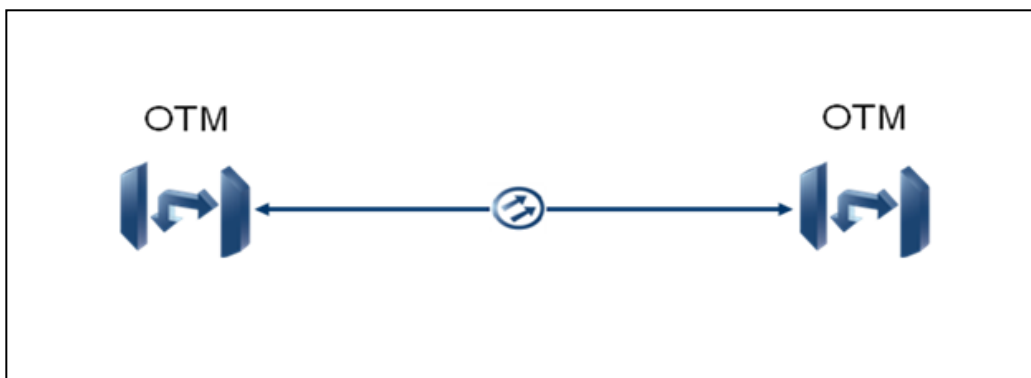
de malla o *mesh* la cual ofrece una protección contra corte de línea de transmisión y se utiliza conectar nodos principales.

Una conexión punto a punto es comúnmente utilizada por grandes empresas que buscan confidencialidad en su sistema, razón por la cual utilizan una red propia para la comunicación entre dos sitios, o bien, para aquellas empresas que necesitan transportar información con poca inversión solicitando a un proveedor una configuración sin protección o redundancia. Los proveedores o *carriers* utilizan la configuración de anillo o RING, la cual permite proteger los servicios que prestan y resulta de bajo costo comparada con una topología de malla que ofrece varias formas de protección pero con un costo muy elevado.

2.4.1. Topología punto a punto

Una conexión punto a punto básicamente en un enlace, el cual se encarga de comunicar dos sitios distintos. Ver figura 14.

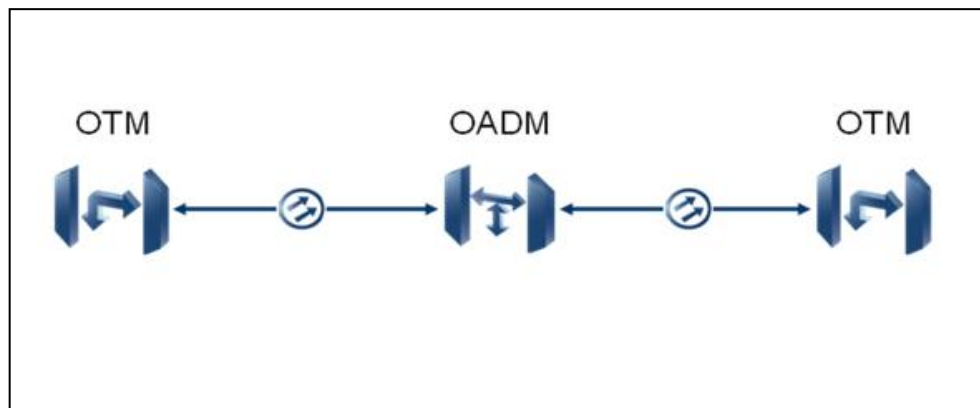
Figura 14. Topología de red DWDM punto a punto



Fuente: elaboración propia.

Los sistemas de topología punto a punto se caracteriza por utilizar alto ancho de banda, alta calidad en la señal transmitida y un tiempo corto de respuesta ante falla, se puede implementar con equipos multiplexores ópticos de adición o extracción OADM, para subir o bajar tráfico en un punto intermedio, ver figura 15.

Figura 15. **Topología de red DWDM punto a punto con OADM intermedio**



Fuente: elaboración propia.

Para enlaces de larga distancia es necesaria la utilización de amplificadores ópticos en donde se debe cuidar que no se exceda el número máximo para evitar la degradación de la señal, típicamente este número no debe ser mayor de 10. En la redes de áreas interurbanas no es necesaria la utilización de dichos amplificadores porque la distancia entre los punto no suele ser muy grande.

Este tipo de topología ofrece dos tipos de protección, ambas utilizan un medio alternativo de transmisión de datos sobre otro par de fibras ópticas, dicha protección recibe en nombre de 1 + 1, en la cual un par de fibra se encuentra

trabajando de forma permanente mientras que el otro está sin uso y a la espera de un evento, el primer tipo de protección ocurre cuando el equipo tipo cliente realiza la conmutación de la línea de transmisión, estos equipos pueden ser *routers*, *switch*, multiplexores SDH, etc; el otro tipo de protección lo proporciona el equipo DWDM el que decide cual la es la ruta con la mejor respuesta en tiempo y potencia estableciendo este camino como ruta de trabajo, quedando la otra ruta como respaldo ante un evento recibiendo el nombre de protección o respaldo.

2.4.2. Topología de anillo

Esta configuración es la más común encontrada en aéreas metropolitanas y en grandes distancias debido a que ofrece una forma de protección a bajo costo. Una topología anillada puede contener desde unas pocas longitudes de onda hasta varias decenas, siendo esta la mejor alternativa para justificar los gastos realizados; la cantidad de nodos es independiente de los canales transmitidos, los nodos a utilizar son determinados por la distribución geográfica y las distancias entre los mismos. La capacidad que puede transportar un sistema DWDM es independiente de la configuración y puede variar desde capacidades de STM-4 hasta STM-256 para SDH y en la parte Ethernet desde enlaces de 1 Gbps hasta 100 Gbps, dependiendo del tipo de *transponder* utilizado en la interface del cliente.

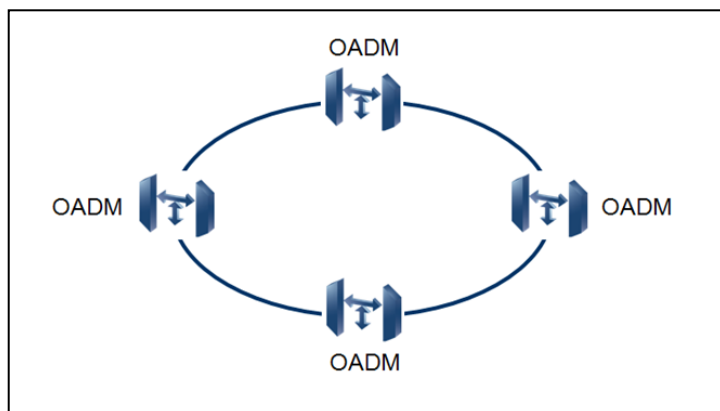
La configuración de anillo puede desarrollarse con uno o más sistemas de comunicación DWDM con la capacidad de soportar cualquier tipo tráfico y ancho de banda, esta topología se encuentra compuesta de al menos dos nodos en configuración OADM, los cuales realizan la función general de colectores, es decir se sube y baja una gran cantidad de longitudes de onda

asignadas para un servicio específico, en uno de estos nodos se genera el tráfico y se transporta al otro punto.

En una configuración más compleja se puede encontrar más de un nodo en configuración OADM, los nodos principales de donde se genera el tráfico y hacia donde se transporta siguen estando presentes, los nuevos elementos son encargados de recolectar menor cantidad de información en puntos específicos, aquí únicamente se sube y baja unas pocas longitudes de onda mientras que las otras continúan de modo transparente (*pass through*), esto permite la interconexión con otro tipo de redes ya sea SDH, Ethernet, redes de video, etc.

Es muy importante tener en cuenta que con el incremento del número de nodos en configuración OADM, se presenta una degradación y pérdida de la potencia del canal DWDM, por lo que se hace necesaria la utilización de amplificadores en cada uno de estos nodos y utilizar nodos en configuración OLA para subir el nivel de potencia y evitar que se generen errores en la transmisión.

Figura 16. **Topología de red DWDM configuración anillo**



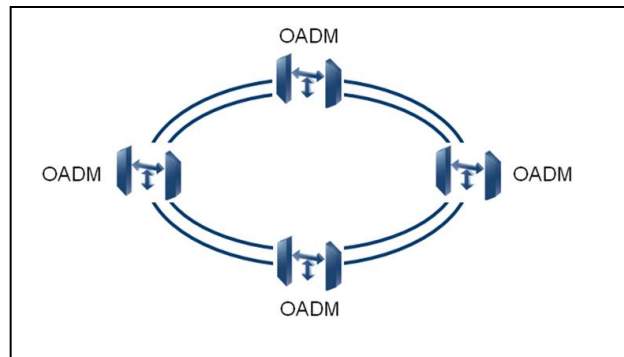
Fuente: elaboración propia.

La protección de anillo en la figura 16, es la forma más simple de protección que existe, ante la presencia de un corte en cualquiera de los segmentos el tráfico que circula por el dicho tramo conmuta hacia la otra dirección y no se tiene afectación del servicio, tan solo una intermitencia durante el periodo de conmutación; debido a la característica de los sistemas DWDM de transportar grandes cantidades de información, se utiliza para interconectar puntos donde se genera mucho flujo de datos entre ciudades o para alcanzar una interconexión con un operador de salida internacional.

En Guatemala se utiliza el sistema de fibras aéreas por parte de la mayoría de operadores locales, este es un punto de falla durante toda la ruta que utiliza para los cableados de fibras ópticas, ya que son afectados por muchas causas como accidentes automovilísticos, disparos en la fibra óptica, robo de fibra que es confundida comúnmente con cableado de cobre, derrumbes, o bien, durante el mantenimiento que las empresas de electrificación realizan a sus líneas de transmisión muchas veces cortan por accidente la fibra y otras causas.

Como consecuencia de tales eventos, se genera corte de los segmentos en la configuración de anillo, en algunas ocasiones de manera simultánea dejando aisladas regiones que conforman la red del proveedor; para evitar dicho problema se utiliza una configuración llamada anillo bidireccional de línea conmutada, *bidirectional line switched ring* (BLSR) cuya característica es la utilización de 2 pares de fibra óptica, mostrados en la figura 17, de las cuales un par se utiliza para la transmisión de datos y el otro en la recepción de los mismos, esta configuración es heredada de las redes SDH y SONET, debido a que ofrece una redundancia completa.

Figura 17. **Topología de red DWDM configuración anillo con protección de línea**



Fuente: elaboración propia.

El éxito para esta configuración depende de la ruta física elegida para realizar el tendido de fibra óptica, ya que es necesario utilizar, para un mismo tramo de fibra que interconecta los mismos equipos, dos rutas geográficas diferentes pues no se cumpliría con la protección si los pares de fibra óptica utilizan la misma infraestructura.

2.4.3. Topología de malla

Esta es la más robusta de las topologías ofreciendo protección redundante completa pues siempre se tiene más de una ruta disponible entre dos nodos, no presenta problema de cuellos de botella en uno de los nodos, debido a esas mismas rutas alternativas, adicionalmente garantiza la continuidad de los enlaces cuando se presenta falla en alguno de los equipos.

Esta es la evolución de las redes punto a punto y la configuración de anillo, teniendo como una de sus principales características la flexibilidad y escalabilidad, ya que si en algún momento se desea realizar una modificación a

la red tal como una expansión de la misma, no es necesario interrumpir los servicios ni afectar el tráfico de red como sucedería con una topología de anillo en la cual es necesario abrir las fibras entre los equipos si se quiere insertar un nuevo elemento lo que hace necesario cambiar o modificar la configuración lógica que posee la red en ese momento.

Las redes DWDM malladas consisten en la interconexión de todos los nodos ópticos, o en su defecto, en la conexión de al menos dos equipos vecinos; los esquemas de protección anteriores consisten en la redundancia a nivel físico utilizando tarjetas en *Stand by* o sistema de fibra redundante pero con la configuración de redes malladas el sistema de protección se realiza haciendo una conmutación de servicios a nivel de longitud de onda.

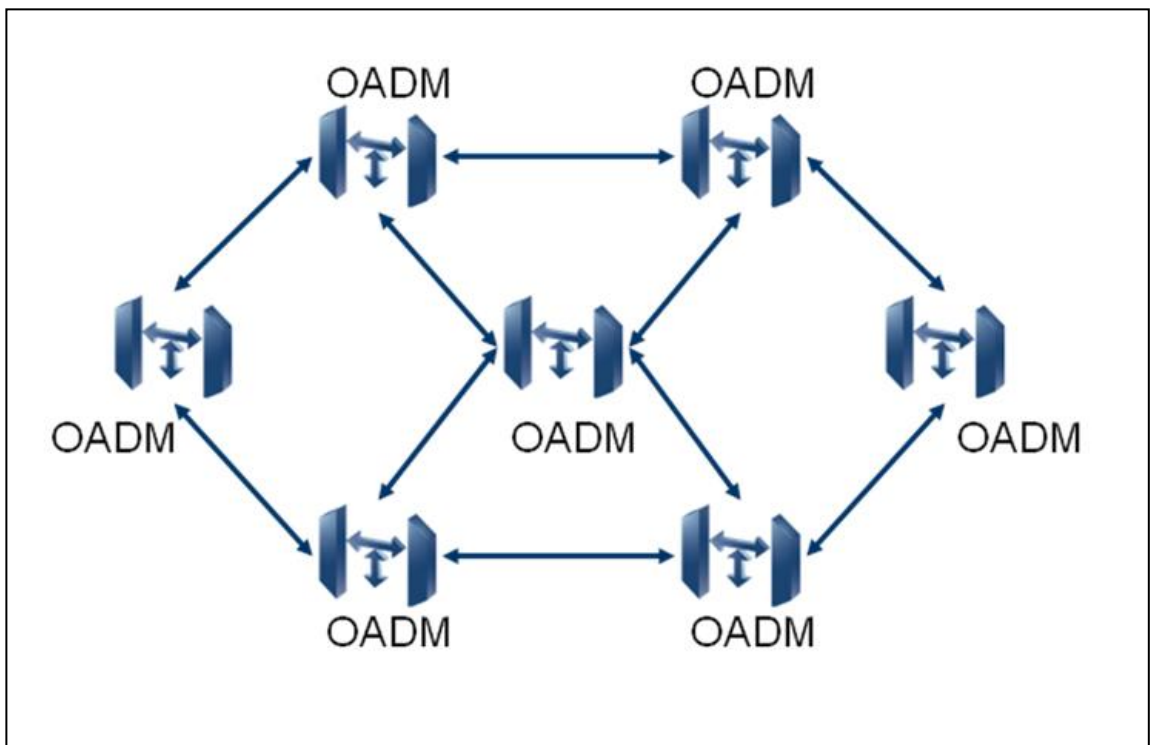
Entre otras ventajas que se presentan, es que un canal de datos puede cambiar de longitud de onda, cuando un servicio viaja a través de la red por una ruta determinada puede cambiar a otro camino manteniendo la misma longitud de onda, si esta presenta un problema por un evento o falla en la red los equipos ópticos realizan la migración de forma automática hacia una nueva λ , la cual a su vez puede seleccionar la mejor de las rutas. La situación es análoga a un sistema de comunicación ATM en la cual los circuitos presentan cambios en su identificador de ruta virtual y en el identificador de canal virtual, en las redes ópticas este concepto recibe el nombre de *light path*.

Este tipo de topología requiere un alto grado de inteligencia para desarrollar las funciones de gestión y protección del ancho de banda, incluyendo la conmutación de las fibras ópticas y longitudes de onda. Presenta grandes beneficios tales como flexibilidad y eficiencia. Se puede mejorar el uso de fibra óptica empleada en configuraciones de anillo con la utilización de una topología de malla en la cual se diseñan tramos compartidos, lo que requiere

menos pares de fibra para la misma cantidad de tráfico y no se desperdician longitudes de onda que no se utilicen.

Las redes mallas son altamente dependiente del software para la gestión de los equipos que forman parte de la red, como se ve en la figura 18, dicha gestión requiere de un canal para llevar los mensajes entre los elementos del sistema que aún no se encuentran estandarizados.

Figura 18. **Topología de red DWDM configuración malla**



Fuente: elaboración propia.

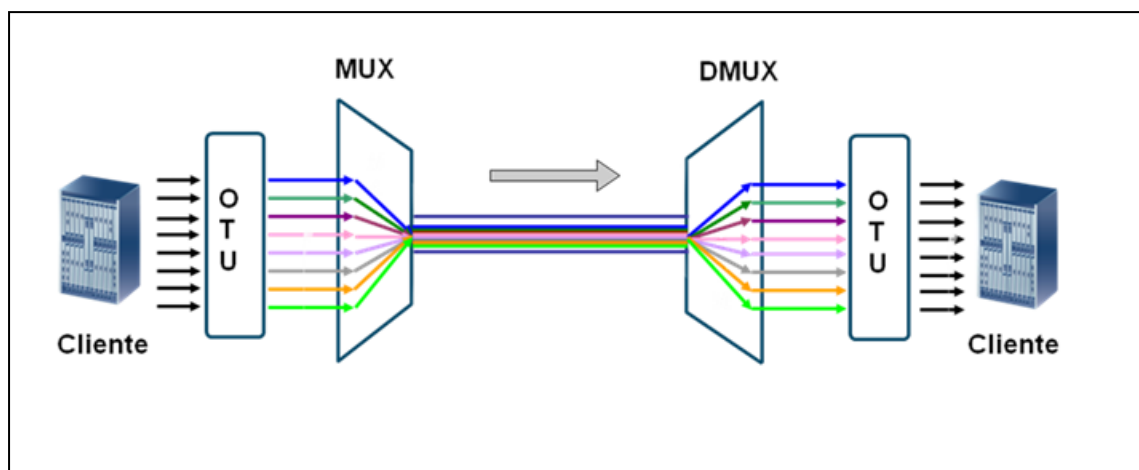
2.5. Modos de aplicación en tecnología DWDM

Dadas las características del sistema de comunicación DWDM se pueden tener dos formas distintas en la interface de los servicios tipo clientes: en sistema abierto o sistemas integrados.

2.5.1. Sistema abierto

Este tipo de arreglo no necesita requerimientos especiales en la interface óptica del multiplexor, solo debe cumplir con el estándar establecido por la ITU-T. La figura 19 muestra como los servicios externos ingresan a un transponder el cual se encarga de asignarle una frecuencia específica para determinar la lambda, la señal coloreada ingresa al multiplexor cumpliendo los requerimientos necesarios, en el otro extremo se hace necesario el uso de un elemento con la capacidad de quitar la portadora de la señal transmitida y convertirla a su protocolo original.

Figura 19. Sistema abierto para tecnología DWDM

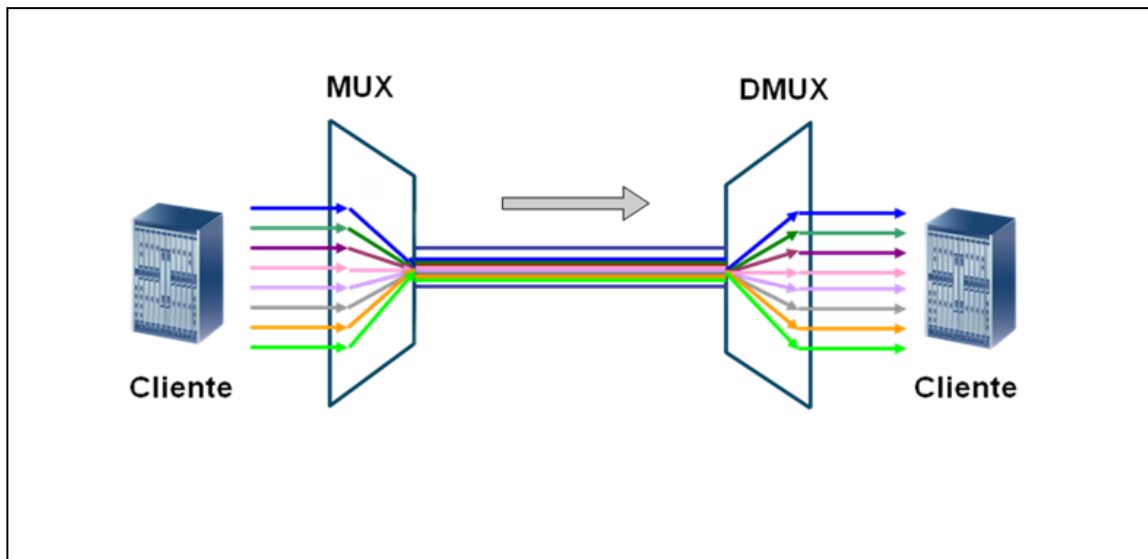


Fuente: elaboración propia.

2.5.2. Sistema integrado

Este tipo de arreglo no adopta la convención tecnológica de la longitud de onda, necesitando que la señal óptica a la entrada del multiplexor se ajuste a las especificaciones del DWDM, las interfaces del equipo del cliente deben de proporcionar la lambda estándar que reciben el nombre de señal coloreada mostrado en la figura 20, es el equipo del cliente que quien asigna la frecuencia de la portadora, para este tipo de arreglo los equipos tipo cliente deben de tener la misma configuración en los dos extremos, ya que si se tiene una frecuencia distinta no se puede establecer un canal de comunicación, también recibe el nombre de lambda *Alien*.

Figura 20. Sistema integrado para tecnología DWDM



Fuente: elaboración propia.

3. RED DE TRANSPORTE SOBRE TECNOLOGÍA SDH

Se presenta la topología de red al igual que la tecnología sobre la cual se realiza el transporte y distribución de la información, la cual se encuentra conformada por 4 distintos circuitos con troncales STM-16 en la tecnología SDH las cuales se llevan sobre fibras oscuras arrendadas a un proveedor; para brindar protección a las troncales se tiene configurada una protección en anillo, se tiene interconectados dos anillos regionales para proporcionar salida al tráfico de internet al anillo occidental por medio de la conexión al anillo oriental y este a su vez se interconecta con el nodo del proveedor internacional ubicado en Puerto Barrios.

Cada uno de los anillos SDH con troncales STM-16 tienen distinta asignación para el tráfico, estas se encuentran distribuidas en datos, voz e internet. La información correspondiente a datos y voz en su mayoría tienen como punto común la ciudad de Guatemala, debido a que es donde se encuentran las centrales de telefonía inalámbrica y fija, adicionalmente los datos corporativos hacen consulta hacia sus centrales ubicadas en la ciudad capital.

El tráfico de internet del anillo occidente y central viene para Guatemala donde se sube a los router para sumarizar todas las rutas y sacarlo hacia el proveedor de salida internacional, el tráfico de internet de la región de oriente se lleva hacia el nodo de Puerto Barrios para sumarizar las rutas y de esa forma proporcionar la salida a internet desde este punto.

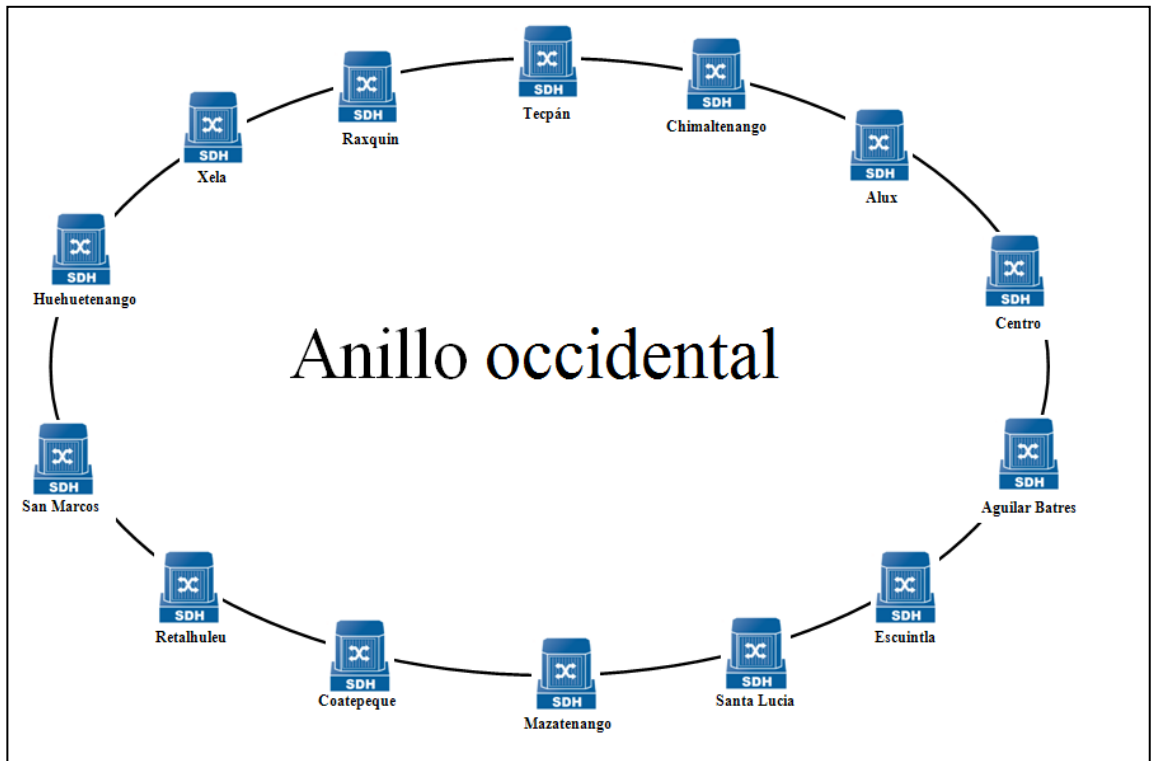
3.1. Anillo occidental

El anillo occidental se encuentra conformado por un conjunto de nodos ubicados en las principales ciudades de la región central y occidental donde se canaliza el tráfico que se recolecta por anillos de distribución, los nodos que forman dicho anillo se describen a continuación.

- Aguilar Bártres
- Escuintla
- Santa Lucía
- Mazatenango
- Coatepeque
- Retalhuleu
- San Marcos
- Huehuetenango
- Xela
- Raxquin
- Tecpán
- Chimaltenango
- Alux
- Centro

El punto de interconexión entre los anillos de occidente y oriente se lleva a cabo en los nodos de Centro y Aguilar Bártres, el anillo se nombra en sentido de las agujas del reloj iniciando desde el último sitio mencionado, como en la figura 21; entre cada par de nodos se encuentran conectados anillos de menor capacidad que hacen la función de recolectar los datos para poder tener una mayor cobertura.

Figura 21. **Anillo occidental**



Fuente: elaboración propia.

3.2. **Anillo oriental**

El anillo de la región de oriente al igual que su homónimo del occidente está compuesto por una serie de nodos ubicados en las principales ciudades de la zona central y la región del este de la república, se mantiene la misma forma de nombrar los sitios, los cuales son:

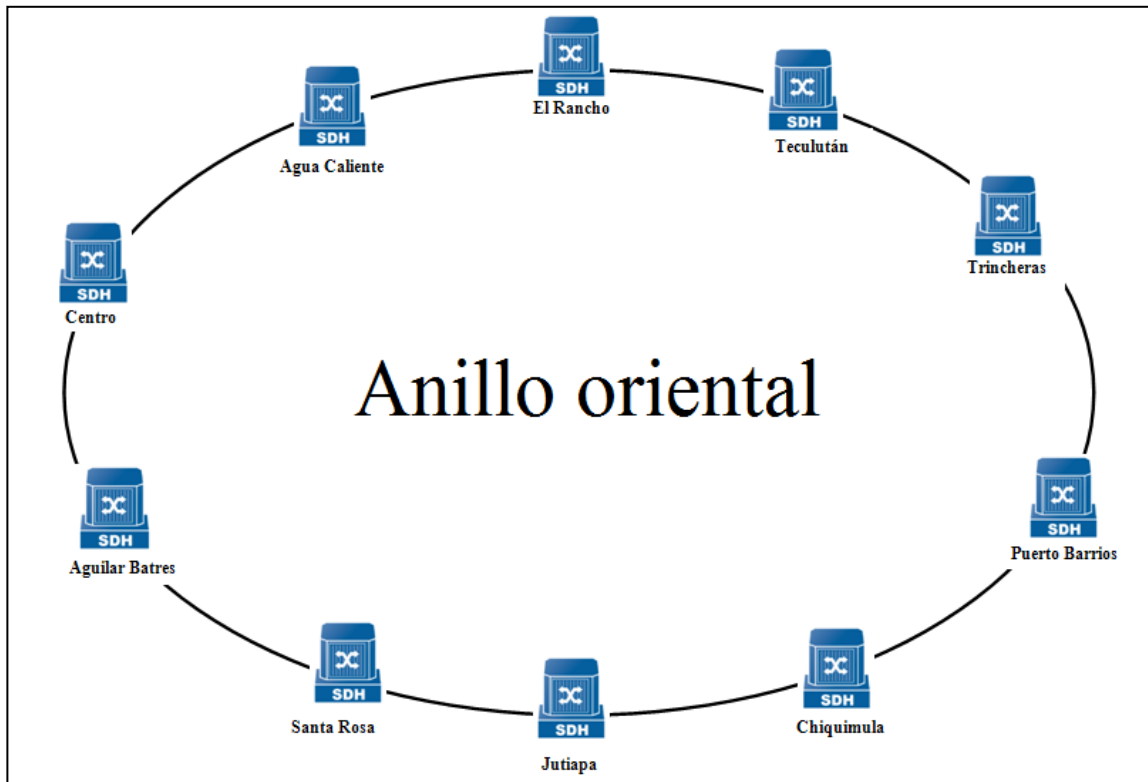
- Centro
- Aguas Calientes
- El Rancho

- Teculután
- Trincheras
- Puerto Barrios
- Yupiltepeque
- Concepción las Minas
- Chiquimula
- Jutiapa
- Santa Rosa
- Aguilar Bártres

Este anillo, a su vez tiene colgados del mismo, subanillos. Los cuales interconectan a regiones remotas que no se encuentran en la ruta de éste. A diferencia del anillo occidental, este tiene dos funciones básicas una de las cuales corresponde a ser un anillo recolector de voz y datos esto con la finalidad de interconectar las centrales de conmutación para el caso de la voz y la conexión de agencias remotas con sus respectivas casas matrices o centrales que se ubican en el departamento de Guatemala para el caso de datos.

La segunda función de gran importancia es transportar el tráfico de internet que se genera en la región central que es una de las que presenta alto ancho de banda sumado al toda la demanda de la región del occidente del país, esta misma red, también se encarga del ancho de banda de internet de sus localidades proporcionando una salida para los proveedores internacionales que se ubican en el departamento de Izabal específicamente en la ciudad de Puerto Barrios. Los sitios involucrados en el anillo oriental se muestran en la figura 22.

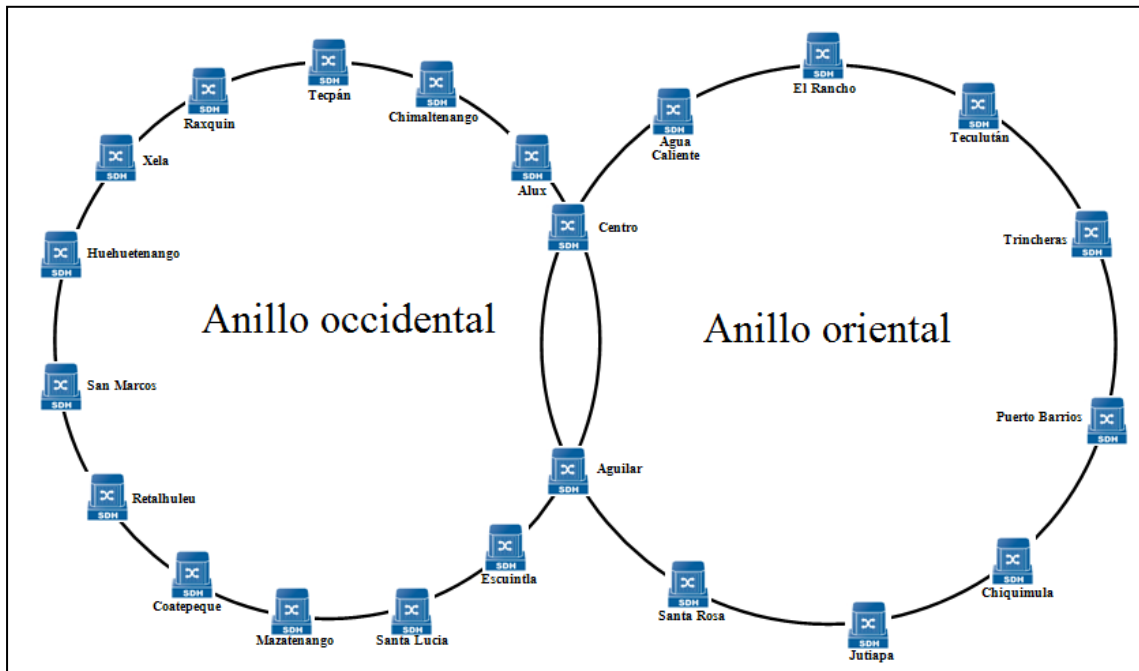
Figura 22. Anillo oriental



Fuente: elaboración propia.

La interconexión de anillos regionales se muestra en la figura 23 donde se observa que los puntos de unión son Centro y Aguilar Bártres.

Figura 23. Interconexión de anillos regionales



Fuente: elaboración propia.

3.3. Troncales físicas

Se construyen para cada servicio en el que se tienen troncales del orden de los STM-16 para poder realizar la interconexión entre cada uno de los equipos implicados. Estas troncales son las encargadas de dar continuidad a cada uno de los servicios que se transportan por cualquiera de los dos anillos regionales o por la interconexión entre los nodos locales de la ciudad de Guatemala.

Las características de estas troncales dependerá del segmento dentro del anillo que se desea conectar, ya que es necesario tomar en cuenta la distancia que existe entre los equipos de los cuales formará parte la conexión, la

atenuación que está en función de la distancia y determinar la pérdida de potencia que se genera en este tramo, siendo necesario compensar el bajo nivel de potencia óptica que se recibe en el otro extremo del enlace, por la cual la selección de los *transceiver* toma gran importancia; este debe satisfacer los requerimientos técnicos de los equipos, proporcionando la potencia óptica necesaria para no insertar errores a lo largo de la ruta de fibra y estar dentro del rango de sensibilidad del equipo de recepción.

Los *transceivers* existen en gran variedad y son construidos para cumplir con características muy específicas, una rápida clasificación de los mismos es agruparlos por la capacidad de tráfico que pueden manejar y la otra es la distancia para la que son construidos. Los más conocidos son para larga distancia (*Long Haul*) y los de corta distancia (*Short Haul*). Se consideran de corta distancia aquellos tramos medidos sobre la longitud del cable de fibra óptica no sobrepase los 20 kilómetros, superiores a estas distancias es necesaria la utilización de los *transceivers* para larga distancia.

Para cada una de las troncales físicas es necesario realizar una configuración que cumpla con las características de la red la cual consiste de los siguientes parámetros.

3.3.1. Trace Trial Identifier (TTI)

Estas son etiquetas que se colocan en la unidad física para la identificar el puerto de origen, se suele configurar como información el nombre del equipo, la unidad y puerto donde tiene origen esta troncal, adicionalmente se pueden configurar que esta unidad física espere una etiqueta específica, es decir una que contenga el nombre del equipo vecino, la unidad y la interface de donde se

conecta, esta práctica facilita la detección de cruce de hilos de fibras ópticas al momento de presentarse un corte en el segmento.

3.3.2. Sensibilidad

Este parámetro indica la cantidad de errores que se puede permitir durante un segundo, se utiliza para determinar la activación de una alarma que indique la degradación del medio de transmisión, en este caso la fibra óptica, el valor para este parámetro depende del criterio técnico que se utilice, siendo el valor más común $1 \text{ E-}10$, el cual indica que de cada 10 000 millones de bit transmitidos únicamente se permite que 1 esté erróneo.

3.3.3. Niveles de potencia óptica

Estos son los valores que indican la cantidad de potencia óptica que envía el *transceiver* desde el equipo emisor y la magnitud de potencia que recibe el otro punto, la diferencia de estos valores indica la atenuación que posee el tramo; se tiene en cuenta para este parámetro la distancia que existe entre ambos nodos, el tipo de fibra óptica que se utiliza para el enlace, la cantidad de empalmes o fusiones ópticas en los hilos de fibra, los conectores ópticos o pasamuros y los *patchcord* utilizados para la conexión adentro del sitio donde se ubican los equipos de comunicación, la suma de todas las pérdidas que se generan sobre el trayecto deben de ser compensadas por el dispositivo emisor laser, y en el extremo de la recepción el valor de la potencia óptica debe de encontrarse dentro del rango de sensibilidad especificada por el fabricante del *transceiver*. Las unidades de medición utilizadas en los equipos de telecomunicaciones son los decibeles relacionados con 1 mW (dBm).

Como política dentro del departamento de operación y mantenimiento de la red se toma una línea base o referencia para cada una de los segmentos que conforman los distintos anillos, dado que al momento de presentarse un evento sobre cualquiera de los tramos no se debe incrementar la atenuación en un máximo de 0,2 dBm, valor correspondiente a la sustitución de un tramo de fibra óptica con sus respectivos empalmes o fusiones, al momento de una reparación e instalación de dos mufas.

En la tabla III se realiza la descripción del enlace entre los nodos de Centro y Aguas Calientes el valor de Tx no se modifica dado que el equipo se encuentra transmitiendo siempre a ese mismo valor, para Rx se tiene el valor actual. Después de realizar la reparación de un corte de fibra en este segmento se observa que la potencia disminuyó en 0.1dBm en referencia al último evento con fecha 27 de octubre de 2011.

Tabla III. **Control de potencia óptica para reparación de corte de fibra óptica**

Nodo	Tx	Rx	Referencia (Rx)	Fecha
Centro S1/P1	4,2 dBm	-10,2 dBm	-10,1 dBm	27/10/2013
Aguas Calientes S2/P1	4,0 dBm	-10,4 dBm	-10,3 dBm	27/10/2013

Fuente: sistema de gestión SDH. Consulta: 27 de octubre de 2013.

3.3.4. Automatic láser shutdown (ALS)

Es el parámetro encargado de apagar el láser que se utiliza para la transmisión de datos al momento de presentarse un corte de fibra o evento que interrumpa la comunicación entre los equipos, la finalidad es evitar el daño en

la vista del personal que se encuentra trabajando en la reparación del enlace afectado y de igual forma para proteger el equipos utilizado para la reparación de los hilos de fibra que se encuentran cortados y prolongar la vida útil del mismo al permanecer en funcionamiento únicamente cuando el enlace es establecido.

La forma en que funciona esta protección es muy simple: el *transceiver* está conformado por un elemento de transmisión y otro de recepción, cuando se presenta una interrupción en el haz proveniente del otro equipo, la parte receptora percibe una disminución de la potencia óptica la cual sale del rango de sensibilidad, esta diferencia activa el procedimiento mediante el cual se apaga el láser que se encuentra en la sección de transmisión de datos del *transceiver*.

3.3.5. Automatic láser restart (ALR)

Trabaja conjuntamente con la configuración ALS, este parámetro permite restablecer la comunicación entre los nodos afectados después que la reparación al tramo de fibra óptica se ha realizado; es necesario realizar la configuración de 2 elementos dentro del parámetro.

El primero de ellos es el time between restart; después de un evento sobre el hilo de fibra óptica transcurre un intervalo de tiempo configurado predeterminadamente para que el transceiver encienda su láser e intente establecer la comunicación con el equipo vecino, al no obtener la respuesta se activa la protección ALS e inicia de nuevo el conteo para realizar un nuevo intento de establecer conexión de esa forma continua hasta que se restablece el enlace, este parámetro se configura con una cantidad determinada de segundos.

El otro elemento que necesita estar presente en la configuración es *laser pulse length*, el que determina el periodo de tiempo durante el cual el láser emisor permanece encendido para intentar enlazarse con el equipo vecino, cuando no se presenta ninguna respuesta proveniente del equipo vecino se apaga nuevamente el láser emisor.

3.3.6. Sincronización

La sincronización para la red SDH es proporcionada por 2 equipos de cesio que se encuentran en una configuración de protección 1+1. Es decir que uno de ellos se encuentra en actividad y el otro en estado de espera; ante la falla del otro equipo, los equipos de sincronización reciben comúnmente el nombre de reloj de sincronización, se utiliza una señal a nivel de E1 como fuente de reloj primario o *primary reference clock* (PRC).

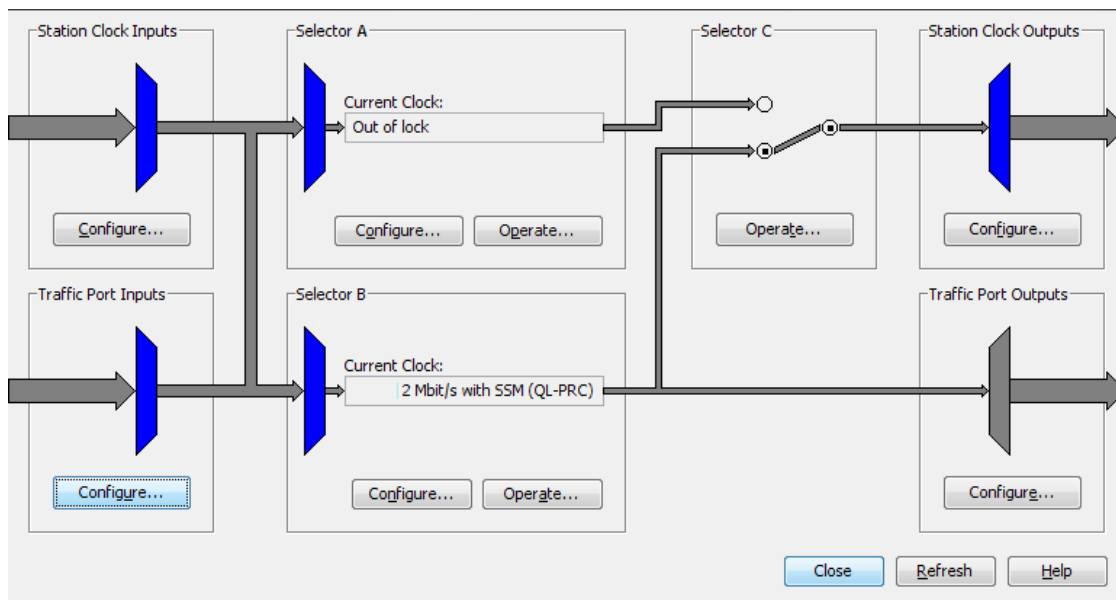
La referencia de sincronía ingresa a la red SDH por medio de los equipos ubicados en el nodo Centro y Aguilar Bártres, en donde la señal se distribuye desde estos equipos por medio de las troncales físicas, se selecciona el primer STM-16 como referencia primaria para los equipos vecinos al nodo Centro y su referencia secundaria es proporcionada por el otro equipo vecino, este reloj de sincronización es la señal que se genera en el nodo de Aguilar Bártres.

Los equipos SDH utilizados en esta red tienen la capacidad de utilizar varias fuentes de sincronización, entre las cuales están las troncales de alto orden o a nivel de STM-n o una señal del tipo E1 con frecuencia de 2.048 Mbps y cuando se tiene una pérdida completa de la señal de sincronización entran en estado de hold on, periodo durante el cual el propio equipo genera una señal de sincronización con la misma calidad que su referencia primaria durante un

intervalo de 24 horas, pasado este periodo se tiene una caída en la calidad de la señal de reloj.

Es importante seleccionar la sincronía como indica la figura 24 pues únicamente se debe de utilizar una señal a nivel de E1 cuando es proveniente de una fuente primaria de referencia para brindar la sincronización de la red, para distribuir sobre la red SDH esta señal se debe utilizar troncales de alto orden, y no se debe utilizar una capacidad de E1 dado que esta viaja sobre la parte de carga útil de la trama SDH donde ocurren ajustes para justificar el tamaño, lo cual produce errores de temporización sobre la señal de sincronización y este mismo error se propaga a la largo de toda la red.

Figura 24. **Selector de sincronía**



Fuente: Sistema de gestión SDH. Consulta: octubre 2013.

3.4. Troncales lógicas

Entre este grupo de troncales se encuentran troncales muy específicas las cuales tienen asignaciones únicas, se describe con detalle las utilizadas para la interconexión de las radio bases con las centrales de conmutación de telefonía móvil y fija, adicionalmente se utilizan troncales para la transmisión de datos las cuales tiene interconexión con los equipos que conforman la red de transporte, de igual forma las troncales utilizadas para el transporte del tráfico de internet tiene comunicación hacia los *router* de salida internacional para la sumarización de redes.

3.4.1. Trace Trial Identifier (TTI)

Al igual que en las troncales físicas se utilizan estas etiquetas para poder identificar el punto de origen y destino de la troncal lógica permitiendo tener control de los contenedores virtuales utilizados para cada uno de ellos, se utiliza como identificador el nombre del equipo de origen y el nombre de la troncal lógica.

3.4.2. Troncales para telefonía móvil

Debido a la estructura con la que trabaja la telefonía móvil se utiliza un diseño de red donde cada uno de los nodos de transporte tiene asignada al menos una troncal virtual con una capacidad de 155 Mbps que corresponde a un contenedor VC-4, el circuito que se utiliza para la construcción de este tipo de troncal tiene por origen uno de los dos nodos ubicados en cada central telefónica y su punto de destino el equipo multiplexor SDH ubicado en cualquiera de los nodos que conforma el anillo regional.

Se toma, por ejemplo, una de las troncales utilizadas para la interconexión entre los elementos de red ubicados en la localidad de San Marcos y el equipo del nodo Centro, dicha troncal hace uso de la llamada ruta norte pasando por las troncales físicas entre San Marcos–Huehuetenango, Huehuetenango–Xela, Xela–Cerro Raxquin, Cerro Raxquin–Tecpán, Tecpán–Chimaltenango, Chimaltenango–Cerro Alux y por último el segmento de Cerro Alux–nodo Centro. En la tabla IV se muestra la construcción de una troncal virtual.

Tabla IV. **Ruta de una troncal virtual**

Referencia	Descripción
End1	Trunk: Log-Centro-San Marcos
End1	Interface: Slot6/Port1
End1	NE: Centro
Seg1	Interface: Slot7/Port1
Seg1	Trunk: Fis-Centro-Tecpán
Seg1	Interface: Slot11/Port1
Seg2	NE: Alux
Seg2	Interface: Slot7/Port1
Seg2	Trunk: Fis-Alux-Chimaltenango
Seg2	Interface: Slot11/Port1
Seg3	NE: Chimaltenango
Seg3	Interface: Slot7/Port1
Seg3	Trunk: Fis-Chimaltenango-Tecpán
Seg3	Interface: Slot11/Port1
Seg4	NE: Tecpán
Seg4	Interface: Slot7/Port1
Seg4	Trunk: Fis-Tecpán-Raxquin

Continuación de la tabla.

Referencia	Descripción
Seg4	Interface: Slot7/Port1
Seg4	Trunk: Fis-Tecpán-Raxquin
Seg4	Interface: Slot11/Port1
Seg5	NE: Raxquin
Seg5	Interface: Slot7/Port1
Seg5	Trunk: Fis-Raxquin-Xela
Seg5	Interface: Slot11/Port1
Seg6	NE: Xela
Seg6	Interface: Slot7/Port1
Seg6	Trunk: Fis-Xela-Huehuetenango
Seg6	Interface: Slot11/Port1
Seg7	NE: Huehuetenango
Seg7	Interface: Slot7/Port1
Seg7	Trunk: Fis-Huehuetenango-San Marcos
Seg7	Interface: Slot11/Port1
End2	NE: San Marcos
End2	Interface: Slot12/Port1
End2	Trunk: Log-Centro-San Marcos

Fuente: elaboración propia.

3.4.3. Troncales para tráfico de internet

Estas troncales tienen por finalidad realizar la interconexión con los router de salida internacional de internet, son construidas de la misma forma que las utilizadas para el manejo de telefonía móvil, proporcionando un punto de acceso a los principales nodos que conforman la red de transporte, la región occidente del país tiene como puntos interconexión los routers ubicados físicamente en los nodos de Centro y Aguilar Bártres dado que estos equipos tienen conexión hacia la salida internacional ubicada en el nodo de Puerto Barrios.

Existen troncales dedicadas para la interconexión de equipos de ruteo entre la ciudad capital y el punto de interconexión de proveedores de salida internacional, las cuales tiene una alta ocupación debido a que se transporta el tráfico de internet de la región central, donde la demanda de la misma es muy alta, y el tráfico que se genera sobre toda la región occidente del país.

3.4.4. Troncales para tráfico de datos

Existe en Guatemala múltiples empresas con tiendas departamentales o sucursales a lo largo de todo el país, con una casa matriz o central ubicada por lo general en la ciudad capital de Guatemala o en las principales ciudades comerciales como es el caso de Quetzaltenango, Escuintla, San Pedro San Marcos y Zacapa, entre otros.

Debido a hecho que las troncales pueden o no tener como destino final la Ciudad de Guatemala, fueron construidas de manera semejante a las troncales físicas, es decir, las troncales existen entre cada uno de los equipos que conforman los anillos regionales.

Con la anterior disposición se brindan servicios que no pueden ir entre distintas ciudades que pertenecen a un mismo anillo, maximizando el recurso al evitar la utilización de doble ancho de banda al traer un servicio hasta las nodos de Centro o Aguilar Bártres y retornarlo al punto final, se minimiza el uso de la capacidad de cross-conexión en los equipos que se encuentre a lo largo del tramo hacia los nodos de la región central y su retorno, los servicios que se prestan entre elementos de red ubicados fuera de su anillo de transporte debe forzosamente pasar por los nodos centrales.

Se puede ver como una desventaja utilizar este tipo de configuración para los servicios porque la capacidad a lo largo de todo es anillo de transporte no es la misma, dado que en segmentos particulares se ve disminuida por la utilización de circuitos entre áreas muy comerciales, siendo este un caso muy común sobre la región de Quetzaltenango–San Marcos y también en Quetzaltenango–Mazatenango, el resto de los segmentos tiene poca demanda en comparación a estos por lo cual la capacidad no se puede aprovechar de la mejor manera.

3.5. Circuitos de servicio

Capacidad más baja que se puede transportar por una trama SDH, en el sistema europeo corresponde a una velocidad de 2,048 Mbps y recibe el nombre de E1, su principal aplicación es brindar la conexión entre centrales telefónicas y punto de acceso a la red de telefonía, se divide en 32 *time slot* o divisiones de tiempo la cual permite realizar este mismo número de llamadas telefónicas de manera simultánea, con el desarrollo de la tecnología IP y la demanda de servicios de internet y datos fue necesario adaptar los servicios E1's para poder satisfacer estas necesidades en los puntos remotos donde instalar una nueva tecnología IP resultaría en exceso costoso.

La versatilidad de la tecnología SDH permite utilizar los E1's como medio de transporte para enlaces de datos de baja capacidad variando la velocidad del servicio desde los 64 Kbps hasta su valor máximo de 2 048 Kbps o 2 Mbps, siendo esta la forma en la cual se presta los servicios corporativos y servicios de internet dedicados, es necesario auxiliarse de router y equipos de última milla para brindar los servicios a los clientes finales.

3.5.1. Circuitos de telefonía

Estos son los circuitos que realizan la conexión desde cualquiera de las centrales telefónicas hacia cada radio-base o celda ubicada a lo largo de la región, el factor económico es de mucha importancia dentro del campo de las telecomunicaciones, razón por la cual la disponibilidad de los servicios es de gran trascendencia; para poder garantizar que los servicios prestados estén siempre en uso se utiliza una configuración de protección o redundancia sobre los circuitos de telefonía, es decir, que constan de dos rutas, una de las cuales brinda la conexión hacia la central telefonía del nodo Centro y la otra hacia el nodo Aguilar Bártres, de esta forma un corte de fibra sobre uno de los tramos no deja fuera de funcionamiento la radio base conectada a este circuito.

La interconexión en los nodos donde se encuentra ubicadas las centrales telefónicas se realiza a nivel de alto orden, es decir, utilizando para la misma conexión contenedores virtuales canalizados, cada uno de los correspondientes KLM del contenedor virtual corresponde a un servicio de celda o una telefonía; en el otro extremo del servicio se utilizan comúnmente una bajada a nivel eléctrico, es decir, un circuito E1 en conector coaxial BNC; la otra opción es finalizar los servicios a nivel de alto orden al igual que las centrales telefónicas esto permite la interconexión con un anillo de distribución de igual o menor

capacidad. La tabla V presenta la construcción de un circuito para una celda ubicada en San Marcos.

Tabla V. **Circuito de celda San Marcos**

Ruta principal	
Referencia	Descripción
End1	Interface: Slot1/VC4:0 (1,1,2)
End1	Nodo: Centro
Seg1	Trunk: Interface: Slot6/VC4:0
Seg1	Trunk: Log-Centro-San Marcos
Seg1	Trunk: Interface: Slot11/VC4:0
End2	Nodo: San Marcos
End2	Interface: Slot2/VC4:0 (1,1,2)
Ruta de protección	
Referencia	Descripción
SNC Branch – End4	Nodo: San Marcos
Seg1	Trunk: Interface: Slot12/VC4:0
Seg1	Trunk: Log-Aguilar Bآتres-San Marcos
Seg1	Trunk: Interface: Slot6/VC4:0
SNC Protecting – End3	Nodo: Aguilar Bآتres
SNC Protecting – End3	Interface: Slot4/VC4:0 (1,1,2)

Fuente: elaboración propia.

3.5.2. Circuitos para tráfico de internet

Dada la configuración de la red y su rápido crecimiento se construyeron circuitos en los cuales se tiene un punto de inicio común, se utiliza para este propósito routers de muy alta capacidad instalados en tres nodos básicos, siendo estos el nodo de Centro y Aguilar Bártres en la ciudad de Guatemala, Puerto Barrios 1 y Puerto Barrios 2, ubicados en el nodo con el mismo nombre; los circuitos de la región de occidente tiene por punto final uno de los dos routers ubicados en la ciudad de Guatemala, los circuitos de la región de oriente se finalizan en cualquiera de los equipos de ruteo de Puerto Barrios.

Los circuitos de internet pueden finalizar en el nodo de transporte de alta capacidad en donde tendrán una bajada eléctrica a través de una interface eléctrica o por medio de una interface óptica sobre un KLM específico para dar continuidad a su circuito a través de la red de distribución, en cualquiera de los distintos fabricantes de tecnología. La tabla VI muestra la ruta lógica para un servicio corporativo.

Tabla VI. **Circuito de servicio de internet corporativo San Marcos - Aguilar Bártres**

Ruta principal	
Referencia	Descripción
End1	Interface: Slot2/VC4:0 (3,1,2)
End1	Nodo: Aguilar Bártres
Seg1	Trunk: Interface: Slot6/VC4:14
Seg1	Trunk: Log-Internet-Aguilar Bártres-San Marcos
Seg1	Trunk: Interface: Slot11/VC4:14
End2	Nodo: San Marcos

Continuación de la tabla.

Referencia	Descripción
End2	Interface: Slot3/VC4:0 (3,1,2)
Ruta de protección	
Referencia	Descripción
End1	Interface: Slot2/VC4:0 (3,1,2)
End1	Nodo: Aguilar Bártres
Seg1	Trunk: Interface: Slot5/VC4:24
Seg1	Trunk: Log-Internet-Centro-Aguilar Bártres
Seg1	Trunk: Interface: Slot4/VC4:24
Seg2	Nodo: Centro
Seg2	Trunk: Interface: Slot6/VC4:10
Seg2	Trunk: Log-Internet-Centro-San Marcos
Seg2	Trunk: Interface: Slot7/VC4:12
End2	Nodo: San Marcos
End2	Interface: Slot3/VC4: 0 (3,1,2)

Fuente: elaboración propia.

3.5.3. Circuito para servicio de datos

Este tipo de circuitos fue construido pensando en servicios corporativos para la interconexión de agencias ubicadas en distintos lugares, ya sea una casa matriz y sus distintas sucursales o la comunicación entre un punto de venta y la fábrica de un producto específico. Un alto porcentaje de servicios tiene con punto común una localidad en la ciudad de Guatemala siendo este el caso de empresas bancarias, empresas dedicadas a la venta de productos, empresas de servicios, entre otras, pero existe un número significativo de

circuitos los cuales se conectan entre los puntos de producción y la oficinas administrativas que no se ubican en la ciudad de Guatemala.

Existe dentro de este tipo de servicios la clasificación en base a la disponibilidad de servicio ya sea servicio VIP o servicio normal, cada uno ubicado dentro de un valor económico distinto; para un servicio VIP se utiliza un circuito de protección para garantizar que la conexión entre los distintos puntos de ubicación del cliente esté disponible cuando lo necesite, la estructura de estos servicios es la misma que se utiliza en los circuitos para el tráfico de internet.

Los servicios que están clasificados como normales son susceptibles a las fallas ocasionadas por corte de fibra o fallas en los equipos, período durante el cual se puede interrumpir la conexión del cliente; la cantidad de tiempo que el usuario final acepta como tolerable se establece en el documento de contratación de servicio. La tabla VII muestra el circuito de un servicio corporativo ubicado en distintos puntos de la república.

Tabla VII. **Circuito corporativo Mazatenango-Puerto Barrios**

Referencia	Descripción
End1	Interface: Slot14/E1:20
End1	Nodo: Mazatenango
Seg1	Trunk: Interface: Slot6/VC4:30
Seg1	Trunk: Log-Datos-Mazatenango-Santa Lucía
Seg1	Trunk: Interface: Slot7/VC4:25
Seg2	Nodo: Santa Lucía
Seg2	Trunk: Interface: Slot6/VC4:26

Continuación de la tabla.

Seg2	Trunk: Log-Datos-Santa Lucía-Escuintla
Seg2	Trunk: Interface: Slot7/VC4:28
Seg3	Nodo: Escuintla
Seg3	Trunk: Interface: Slot6/VC4:27
Seg3	Trunk: Log-Datos-Escuintla-Aguilar Bártres Bártres
Seg3	Trunk: Interface: Slot7/VC4:25
Seg4	Nodo: Aguilar Bártres
Seg4	Trunk: Interface: Slot8/VC4:32
Seg4	Trunk: Log-Datos-Aguilar Bártres-Santa Rosa
Seg4	Trunk: Interface: Slot6/VC4:33
Seg5	Nodo: Santa Rosa
Seg5	Trunk: Interface: Slot7/VC4:27
Seg5	Trunk: Log-Datos-Santa Rosa-Jutiapa
Seg5	Trunk: Interface: Slot6/VC4:26
Seg6	Nodo: Jutiapa
Seg6	Trunk: Interface: Slot7/VC4:34
Seg6	Trunk: Log-Datos-Jutiapa-Chiquimula
Seg6	Trunk: Interface: Slot6/VC4:29
Seg7	Nodo: Chiquimula
Seg7	Trunk: Interface: Slot7/VC4:24
Seg7	Trunk: Log-Datos-Chiquimula-Puerto Barrios
Seg7	Trunk: Interface: Slot6/VC4:36
End2	Nodo: Puerto Barrios
End2	Interface: Slot15/E1:16

Fuente: elaboración propia.

4. PROPUESTA DE MEJORA DE LA RED DE TRANSPORTE POR INCORPORACIÓN DE TECNOLOGÍA DWDM

Debido a la necesidad de mantener la disponibilidad de la red en un alto de valor de SLA la solución planteada por el proveedor de los equipos es implementar una protección de línea 1 + 1, es decir, tener un par de hilos de fibra óptica como la ruta de trabajo y el otro par como un respaldo sobre el mismo segmento de la red, pero con una ruta física completamente distinta a la ruta empleada por los hilos de fibra utilizados como ruta de trabajo.

Como parte del proyecto, la implementación de una tecnología DWDM permite que el transporte del tráfico, que actualmente conforma la red SDH, continúe sin ninguna variante en su esquema, adicionalmente permite un amplio crecimiento en capacidad de transporte y crecer con otras tecnologías siendo una de alta demanda la IP y la red de transporte de video.

La protección de línea, necesita la utilización de dos rutas distintas de fibra óptica siendo esta la razón de contratar a un nuevo proveedor que cumpla con el requerimiento; al implementarse la nueva red DWDM se tendrá un ahorro en la operación de la red dado que se reducirá de ocho a dos el número de hilos de fibra arrendados al primer proveedor de fibra, hecho que justifica la implementación en primera instancia de la nueva red.

Para implementar la protección, se utiliza una tarjeta *optical line protection* (OLP) cuya función básica es actuar como un divisor de señal óptica para transmitir por las dos rutas de fibra la información; ya que la tarjeta realiza la conmutación hacia la ruta de protección cuando observa un corte de fibra

sobre una de sus líneas o bien el valor absoluto de la diferencia de la potencia óptica entre líneas es mayor a 5 dBm presenta una desventaja al recibir la señal desde el nodo vecino.

Para cumplir con la protección 1 + 1 se contratará a otro proveedor, una ruta distinta, que no cuente con el mismo tipo de fibra que el proveedor actual, esto ocasiona que la atenuación de potencia óptica sea diferente en cada una de las líneas, para compensar la diferencia que existe para cada tramo se utiliza una tarjeta amplificadora distinta en la recepción de cada una de las líneas, permitiendo compensar los valores de potencia que se encuentran presentes en los puertos de recepción de la tarjeta OLP, de tal forma que el valor de la diferencia de potencia se mantenga lo más cercano posible a cero.

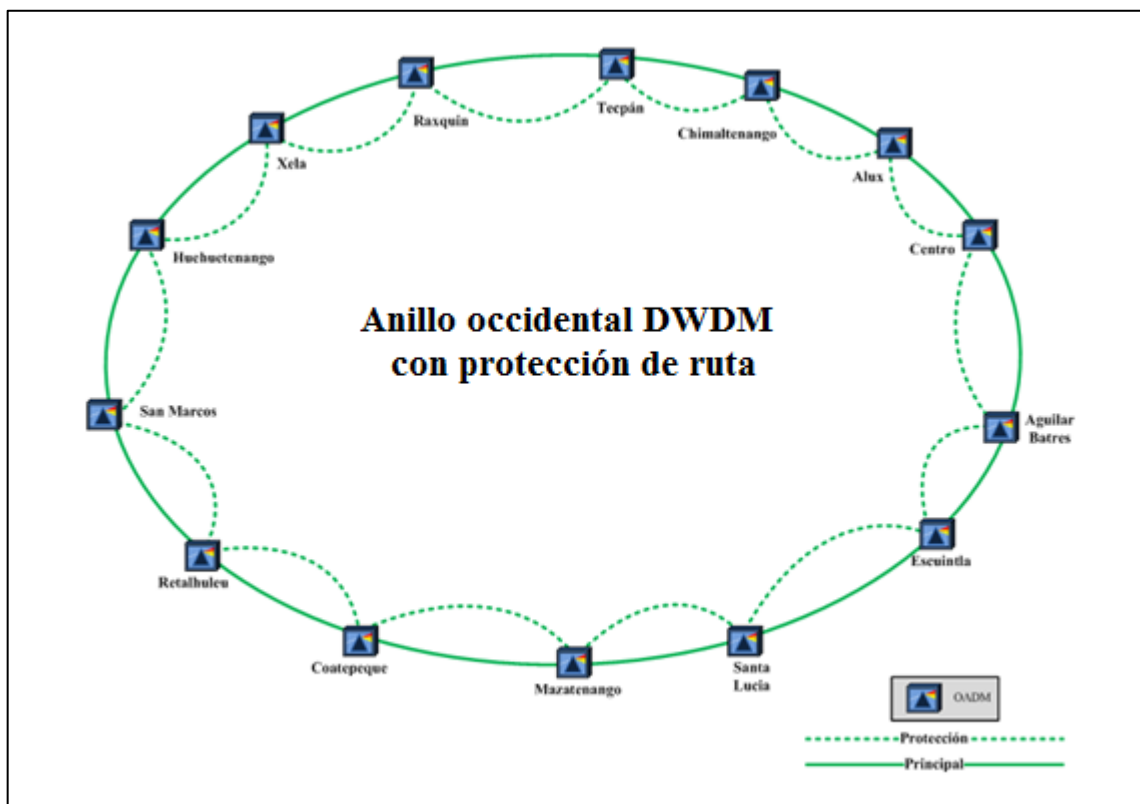
Es un requisito indispensable utilizar amplificación a la señal de salida en cada una de las líneas que conforman el tramo, el tipo de tarjeta a utilizar depende en gran parte del conocimiento previo de las características de la fibra instalada sobre el mismo; se utiliza de forma eficiente y con un razonable precio una amplificador de ganancia fija y según el valor de atenuación que se tiene en el tramo se debe seleccionar la tarjeta de amplificación que proporcione una ganancia adecuada, dicho valor no podrá ser modificado durante la operación del sistema, siendo necesario sustituir la tarjeta y utilizar otro modelo para poder modificar la ganancia.

4.1. Diagrama de red

La estructura de la red es, en esencia, la misma, debido a que el sistema DWDM no realiza ningún cambio significativo sobre la red existente, la modificación de la red consiste en cambiar el medio de transporte de la red SDH, utilizándose para ello una de las frecuencias del espectro DWDM. En la

figura 25 se muestra el diagrama final de la topología de red del anillo occidental, se utilizan las mismas instalaciones físicas y se instala uno o varios equipos para cumplir con las especificaciones establecidas, dependiendo del nodo.

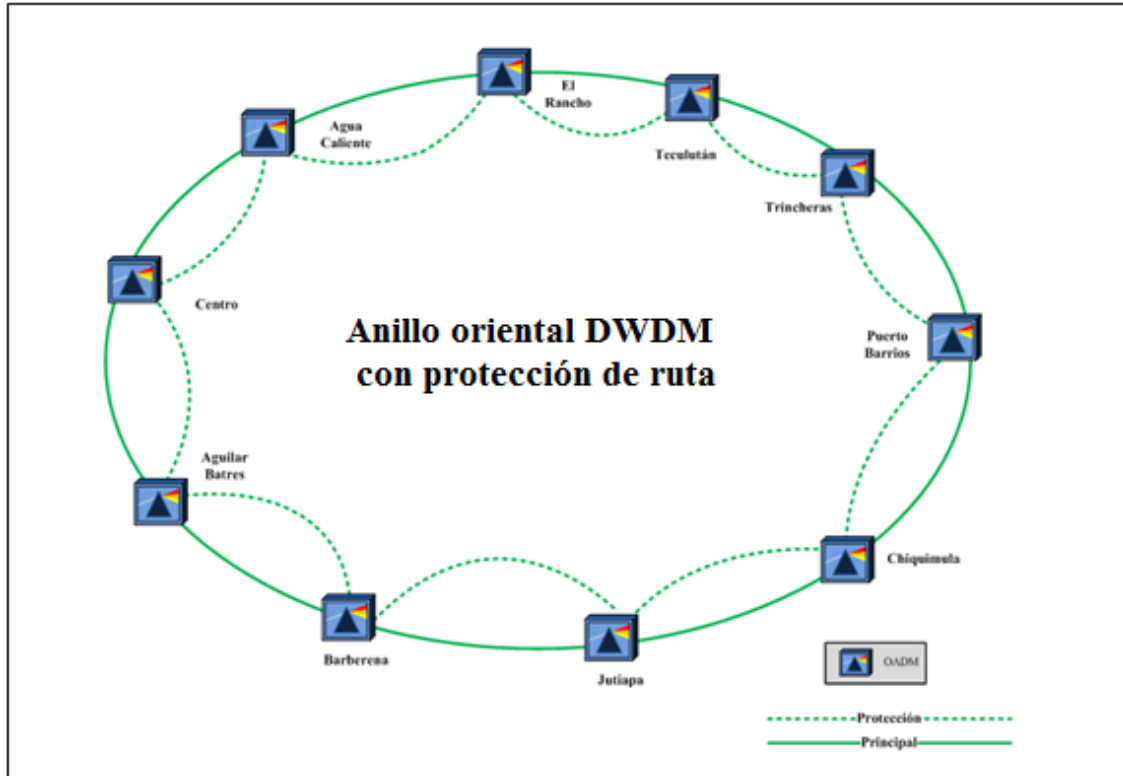
Figura 25. **Anillo occidental DWDM con protección de línea**



Fuente: elaboración propia.

El diagrama final de la topología de red DWDM usada sobre la red SDH en el anillo oriental, figura 26, donde, al igual que en el anillo occidental se emplean las mismas instalaciones físicas.

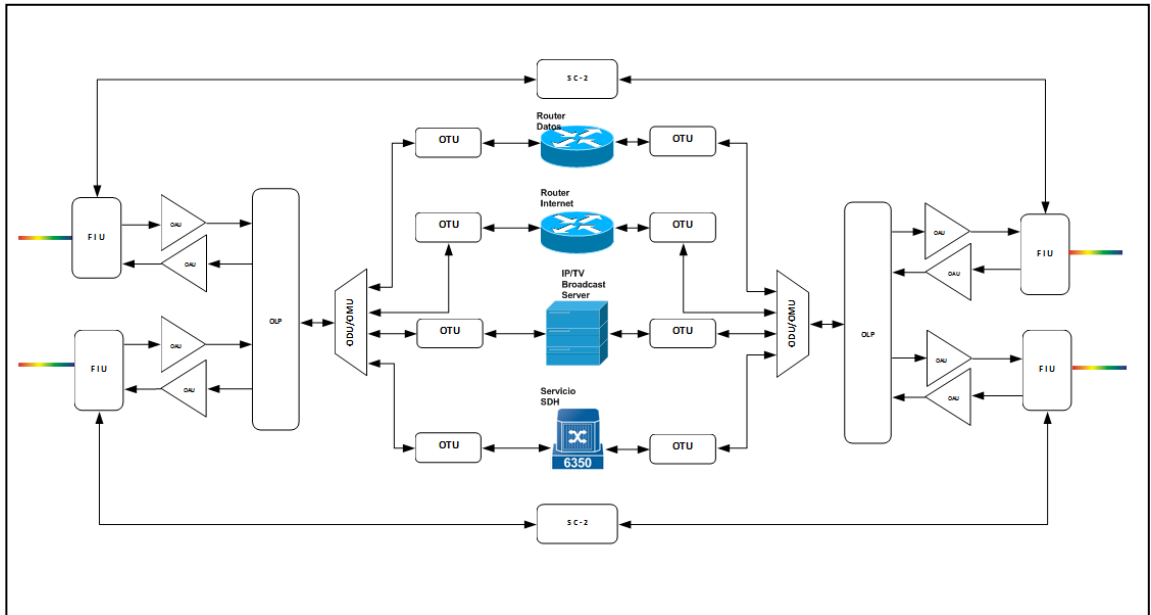
Figura 26. Anillo oriental DWDM con protección de línea



Fuente: elaboración propia.

Para cada uno de los sitios donde se instale un equipo DWDM se utilizará una configuración conocida como Add-drop, figura 27, en la cual es posible tener bajadas y agregación de nuevos servicios sin importar el tipo de tráfico que el servicio contenga.

Figura 27. Esquema add drop de un equipo DWDM



Fuente: elaboración propia.

Para cubrir la demanda del tráfico SDH que constituye la red CORE se emplearán tarjetas tipo *transponder* las cuales son encargadas de asignar una frecuencia que será la portadora del tráfico; la señal que se obtiene como resultado de la modulación entre la portadora y el servicio cliente recibe el nombre de coloreada. Se seleccionarán tarjetas tipos *transponder* que tengan la capacidad de variar la frecuencia portadora o del tipo tuneables, siendo esto una característica que permite una reconfiguración de las frecuencias asignadas para cada uno de los servicios. Dado que los servicios a transportar son del tipo SDH STM-16 se han seleccionado las tarjetas con capacidad de línea de 2.5 Gbps correspondientes a una capacidad OTU1 en la trama DWDM según la Norma G709.

4.2. Descripción de los nodos

Dada la característica del anillo DWDM es posible catalogarlo como una red CORE con la funcionalidad de recolector, es decir subiendo servicios en cada uno de los nodos, todos los elementos de red están compuestos de amplificadores, multiplexadores/demultiplexores, *transponder* y elementos de gestión, la configuración es la misma para todos los elementos de red, siendo la única variante la cantidad de *transponder* utilizados para subir o bajar servicios según la demanda de tráfico solicitado.

Para utilizar la protección de línea sobre los segmentos del anillo, es necesario contar con gestión en ambos tramos para no perder la comunicación y gestión hacia los equipos de red cuando se presente un corte de fibra sobre alguno de los segmentos, para mantener activa la comunicación se utiliza una tarjeta de gestión SC2 que permite la comunicación hacia ambos lados del elemento de red, se utiliza una frecuencia portadora fuera del espectro DWDM o banda C para dicha gestión. Se hace necesario la utilización de un nuevo multiplexor/demultiplexor para mezclar las señales de gestión y DWDM, esta función la cumple la tarjeta fiber interface unit (FIU), siendo esta tarjeta la interface para la conexión de fibra óptica externa.

4.3. Caracterización de la fibra óptica

El objetivo principal para llevar a cabo la caracterización de la fibra óptica es garantizar el desempeño de la misma durante la operación, para esto se realizan pruebas de carácter físico a los hilos de fibra óptica que se utilizarán para el transporte de la señal DWDM, la caracterización está compuesta por el conjunto de pruebas que se menciona a continuación.

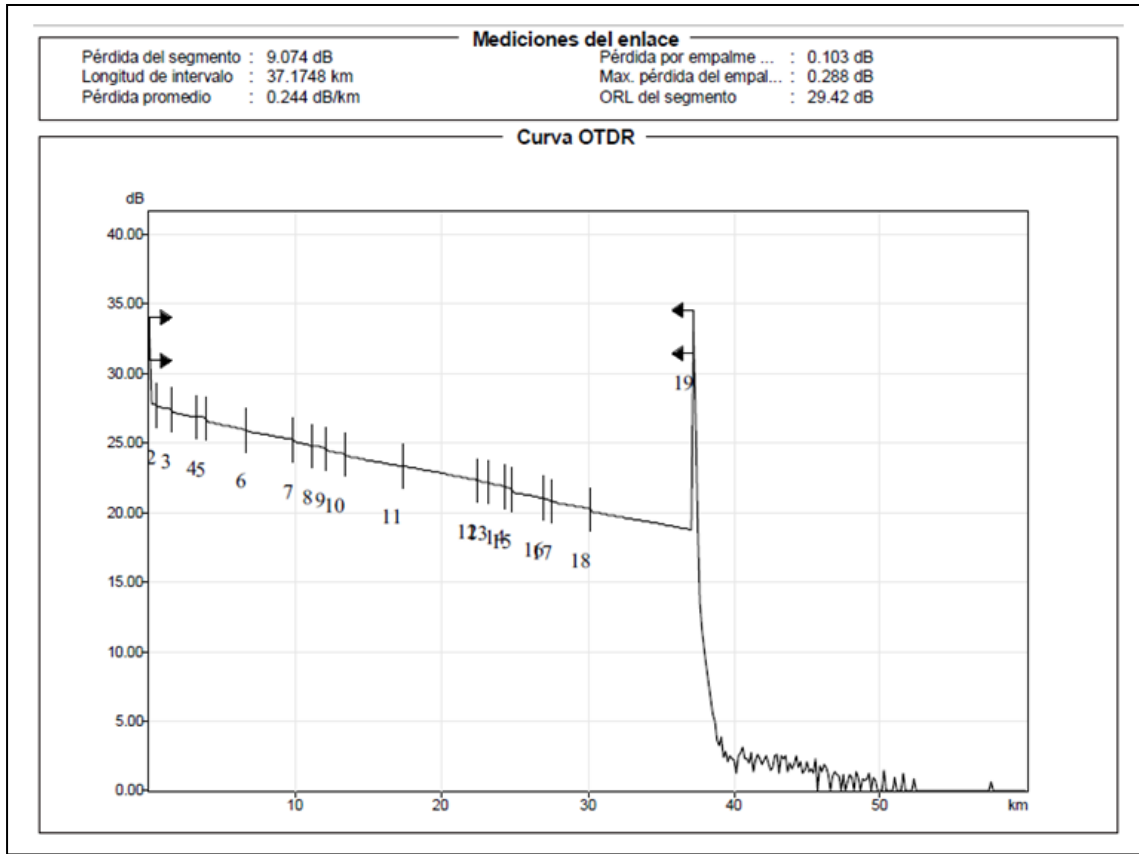
4.3.1. Pruebas con OTDR

Este tipo de prueba hace referencia a la utilización del reflectómetro de dominio de tiempo óptico OTDR, el cual genera una firma gráfica de la atenuación de la fibra óptica en toda su longitud, muestra el funcionamiento de los componentes del enlace de fibra, la atenuación propia del cable, empalmes (fusiones de fibra) y conectores, pone en evidencia la calidad de la instalación examinando la falta de uniformidad en la señal. En este punto se determina si la implementación realizada cumple con las especificaciones del diseño, permitiendo la utilización inmediata o futura de este nuevo enlace.

Un OTDR inyecta en el hilo de fibra óptica que se encuentra certificando una serie de pulsos ópticos a una determinada longitud de onda, para luego medir el tiempo que tarda una reflexión producida a lo largo de la fibra óptica desde puntos de la fibra con un cambio en el índice de refracción, la intensidad del pulso devuelto se integra en función del tiempo y este resultado representa la longitud de la fibra óptica en donde se observa un evento, esta información se muestra en la pantalla del equipo de medición.

En la figura 28 se observa la gráfica obtenida de la medición del tramo comprendido entre los nodos Cerro Alux y Chimaltenango, se observa una atenuación total del tramo 9,074 dB correspondientes a una distancia de 37,17 kilómetros, se presenta el detalle de las atenuaciones en cada uno de los segmentos que comprenden el tramo de fibra óptica, para comparar la gráfica con los eventos reportados al momento de realizar la medición, se detalla un listado de los mismos en la figura 29.

Figura 28. **Reporte de medición con OTDR sobre tramo Cerro Alux – Chimaltenango**



Fuente: equipo de medición de reflectometría OTDR.

Figura 29. **Eventos reportados durante la medición con OTDR sobre tramo Cerro Alux – Chimaltenango**

Tabla de eventos						
Nº	Ubicación (km)	Tipo de evento	Pérdida (dB)	Ref. (dB)	Atenuación (dB/km)	Cumulativo (dB)
1	0.0000	Nivel de inyección	---	-39.1		0.000
		Tramo de fibra (0.5104 km)	0.099		0.194	0.099
2	0.5104	Falla no reflexiva	0.088			0.188
		Tramo de fibra (1.0821 km)	0.238		0.220	0.426
3	1.5926	Falla no reflexiva	0.219			0.644
		Tramo de fibra (1.7151 km)	0.371		0.216	1.015
4	3.3076	Falla positiva	-0.127			0.888
		Tramo de fibra (0.5309 km)	0.098		0.185	0.986
5	3.8385	Falla no reflexiva	0.288			1.274
		Tramo de fibra (2.8788 km)	0.628		0.218	1.902
6	6.7173	Falla no reflexiva	0.096			1.998
		Tramo de fibra (3.1902 km)	0.604		0.189	2.602
7	9.9075	Falla no reflexiva	0.160			2.762
		Tramo de fibra (1.3424 km)	0.282		0.210	3.043
8	11.2499	Falla positiva	-0.040			3.003
		Tramo de fibra (0.7912 km)	0.145		0.183	3.148
9	12.0411	Falla no reflexiva	0.230			3.379
		Tramo de fibra (1.3220 km)	0.256		0.194	3.635
10	13.3631	Falla no reflexiva	0.113			3.748
		Tramo de fibra (3.9456 km)	0.764		0.194	4.512
11	17.3088	Falla positiva	-0.043			4.470
		Tramo de fibra (5.1298 km)	1.030		0.201	5.499
12	22.4386	Falla no reflexiva	0.038			5.537
		Tramo de fibra (0.8014 km)	0.155		0.193	5.692
13	23.2400	Falla no reflexiva	0.046			5.739
		Tramo de fibra (1.1587 km)	0.220		0.190	5.959
14	24.3987	Falla no reflexiva	0.044			6.003
		Tramo de fibra (0.3369 km)	0.086		0.256	6.089
15	24.7356	Falla no reflexiva	0.265			6.354
		Tramo de fibra (2.2714 km)	0.446		0.196	6.800
16	27.0070	Falla no reflexiva	0.065			6.865
		Tramo de fibra (0.6125 km)	0.110		0.180	6.975
17	27.6195	Falla no reflexiva	0.111			7.087
		Tramo de fibra (2.5828 km)	0.490		0.190	7.576
18	30.2023	Falla no reflexiva	0.192			7.769
		Tramo de fibra (6.9725 km)	1.305		0.187	9.074
19	37.1748	Falla reflexiva	---	-14.7		9.074

Fuente: equipo de medición de reflectometría OTDR.

4.3.2. Prueba de dispersión cromática

La dispersión cromática es el retardo que sufre un pulso óptico conforme se propaga sobre la fibra óptica. La fibra óptica convencional posee un coeficiente de dispersión positivo, lo cual indica que a mayores longitudes de onda se tienen tiempos mayores para el traslado de las señales, ocasionando que los pulsos se deformen.

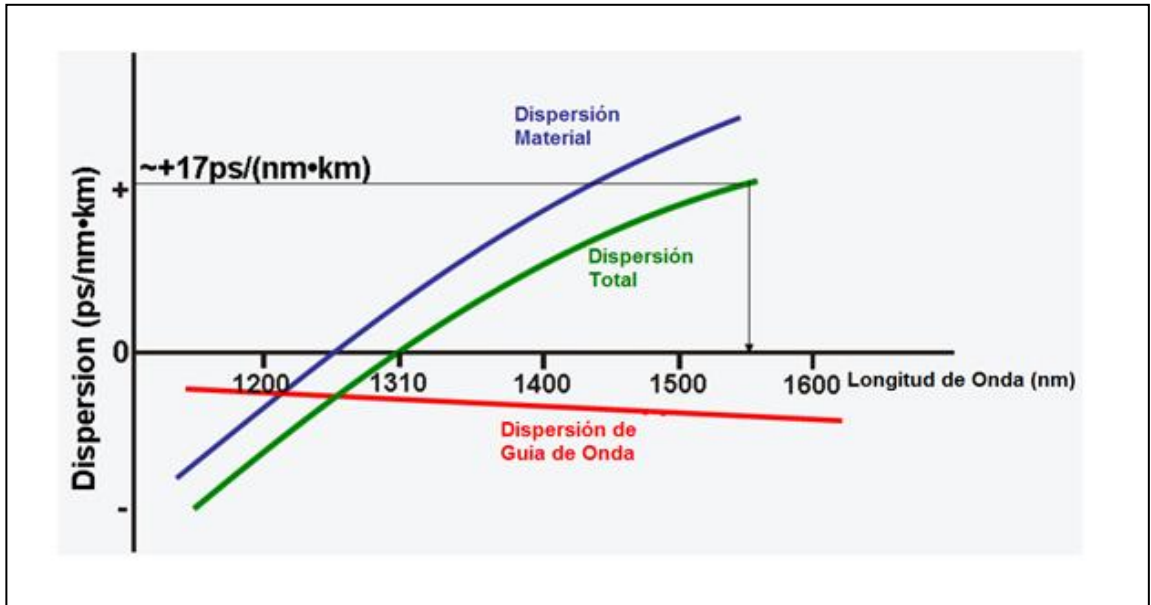
Las causas de la dispersión cromática son dos, siendo la primera de ellas la dispersión ocasionada por el material y la otra la dispersión por guía de onda.

La dispersión del material es la principal de las causantes y consiste en que el índice de refracción del silicio, material utilizado para fabricar las fibras ópticas, depende de la frecuencia, por ello las componentes de distintas frecuencias viajan a velocidades diferentes por el silicio.

Para la dispersión por guía de onda es necesario recordar que la potencia óptica en un modo se propaga parcialmente por el núcleo y el revestimiento. El índice efectivo de un modo se sitúa entre el índice de refracción del núcleo y del revestimiento, acercándose más a uno u otro dependiendo de cuál sea el porcentaje de la potencia que se propaga por ellos (si la mayor parte de la potencia está contenida en el núcleo, el índice efectivo estará más cerca del índice de refracción del mismo).

Como la distribución de la potencia de un modo entre el núcleo y el revestimiento depende de la longitud de onda, si ésta cambia, la distribución de potencia también lo hace, provocando una alteración en el índice efectivo o constante de propagación del modo, la figura 30 muestra la variación de dispersión cromática a causa del material y la guía de onda en función de la longitud de onda.

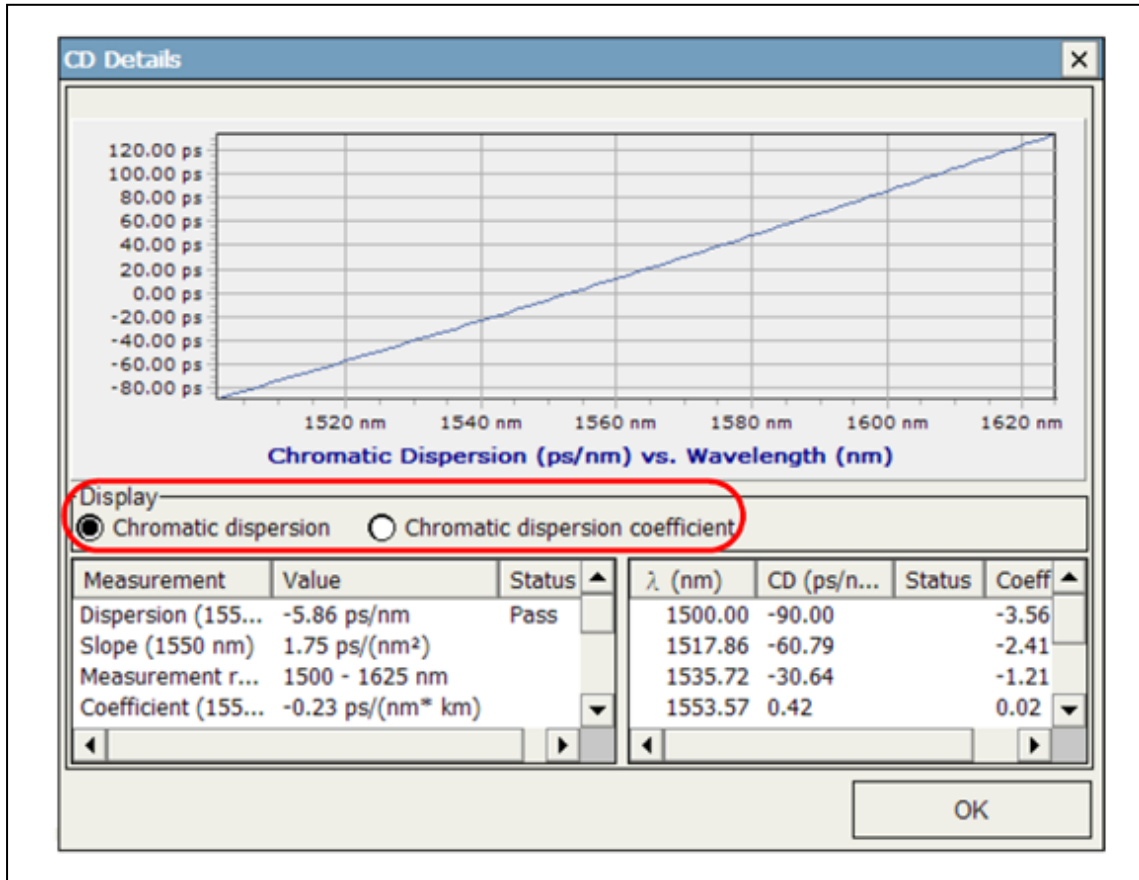
Figura 30. **Dispersión cromática total**



Fuente: <http://www.exfo.com/es/productos/pruebas-red-campo/optical/analisis-dispersion/ftb-5800#ressources>. Consulta: octubre de 2013.

Es importante poder medir la dispersión cromática para poder corregir el retraso o adelanto de las señales portadoras y evitar efectos indeseables como la mezcla de cuatro ondas, en especial sobre señales mayores a los 10Gbps y distancias mayores a 20 kilómetros, se tiene especial cuidado en la banda C que inicia en 1 530 nanómetros hasta 1 564 nanómetros. En la figura 31 se muestra un ejemplo del resultado de la medición de dispersión cromática.

Figura 31. **Medición de dispersión cromática**



Fuente: analizador de dispersión cromática CD.

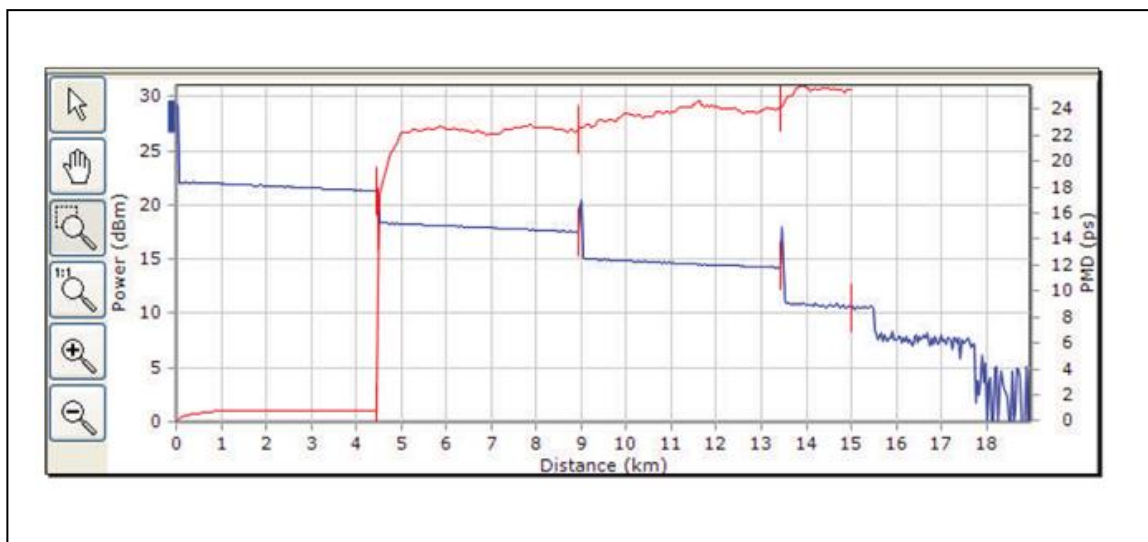
4.3.3. Pruebas de PMD

La dispersión por modo de polarización es un efecto de dispersión óptico que limita la calidad de la transmisión de datos en los enlaces de fibra óptica. Su control está convirtiéndose en esencial, ya que limita fuertemente la capacidad de transmisión a altas velocidades, especialmente en aquellos por encima de los 10 Gbps. Resulta difícil de medirlo y compensarlo debido a su

naturaleza, depende en su mayoría de las condiciones físicas del cable de fibra óptica, tanto ambientales como mecánicas.

La luz puede sufrir modificaciones en un trayecto de fibra óptica debido a que está compuesta por paquetes y un campo electromagnético que consta de un campo eléctrico y uno magnético que viaja en forma perpendicular; los componentes de la luz no llegan al mismo tiempo al final de la fibra óptica debido a los desperfectos en las características físicas de la fibra, el retardo que se produce entre ambas componentes de la luz se conoce con el nombre de retardo de grupo diferencial delay group difference (DGD). PMD es la representación del valor RMS de DGD, en la figura 32.

Figura 32. **Medición de PMD**



Fuente: analizador de dispersión por modo de polarización PMD.

4.3.4. Pruebas de aceptación

Las pruebas de aceptación están compuestas por un conjunto de validaciones referentes al montaje mecánico de los equipos de transmisión de datos DWDM, se revisa la instalación eléctrica para la alimentación de las unidades de poder, verificación del uso correcto de los cableados de interoperabilidad, es decir *patchcord* de fibra óptica, cableados UTPs, cableados de energía, puesta a tierra física de los equipos, además de verificar la instalación de etiquetas para identificar cada uno de los cableados y equipos que forman parte de la instalación.

Los parámetros que se evalúan en la prueba de aceptación los definen previamente el proveedor antes de finalizar la contratación de la compra de los equipos de telecomunicación para DWDM y los servicios de implementación, el proveedor se compromete a cumplir con las especificaciones solicitadas y se acuerda que no se finalizarán los pagos hasta que se cumpla con este conjunto de especificaciones técnicas.

Una de las pruebas más importantes que debe realizarse durante el protocolo de aceptación es la conmutación entre fuentes de alimentación de energía, esto implica que cada uno de los equipos instalados debe tener al menos dos fuentes de alimentación de energía, por norma los equipos utilizados para telecomunicaciones utilizan voltaje en corriente directa en -24 ó -48 voltios, para los equipos DWDM se solicita utilizar dos tarjetas de poder en -48 voltios, por lo cual el equipo debe tener una operación continua cuando una de las fuentes falla, para simular esta prueba el equipo debe estar operando con normalidad y una de las fuentes debe apagarse y el equipo no debe presentar intermitencias.

Adicional a la prueba de conmutación de fuentes de poder es necesario verificar el tipo de conductor eléctrico instalado, el calibre del mismo y el valor de *breaker* para que se accione cuando se necesite, es decir, que pueda limitar la corriente eléctrica adecuadamente ante un corto circuito. El tema de la tierra física es de vital importancia para los equipos de telecomunicaciones debido a que evita corrientes parásitas en los equipos que puedan llegar a dañarlos u ocasionar errores en los canales de transmisión de datos de alta capacidad.

Cuando se enciende por primera vez cada uno de los equipos de telecomunicaciones es necesario dejar un registro del voltaje DC con el cual se encendió el equipo y la corriente nominal de funcionamiento, esto con la finalidad de tener una referencia que sirva de comparación a implementaciones posteriores en los equipos.

La instalación mecánica del equipo es otro de los puntos que se revisan durante el protocolo de aceptación de pruebas, ya que Guatemala es un país sísmico, se debe poner atención a esta actividad de verificación, es de suma importancia.

Verificar que la instalación del *rack*, equipo y accesorios se encuentren en la posición asignada por el departamento de planificación, el *rack* debe de contar con soporte antisísmico para evitar movimientos bruscos en caso de temblores.

La instalación de los tornillos según la especificación del manual de instalación.

El equipo instalado debe contar con una unidad de ventilación que funcione adecuadamente.

En los accesorios necesarios para el funcionamiento adecuado del equipo de transmisión deben estar instalados todos los tornillos que indique el manual de instalación.

El chasis del equipo al igual que todos los componentes instalados deben estar en perfecto estado, es decir sin golpes, rasguños o polvo.

Las bandejas o escalerilla que se utilicen para ampliar los cableados correspondientes a la instalación mecánica del equipo, deben ser verificadas para evitar que se caigan a causa del peso de los cableados de fibra óptica, energía o cableados de cobre para datos.

Verificar que el equipo posea un filtro en los ventiladores para evitar partículas de polvo en los circuitos electrónicos en caso lo indique el manual de instalación, todas los puertos de conexión para fibra óptica que no se encuentren en uso deben contar con su respectivo protector para evitar que se introduzcan partículas de polvo hacia las fuentes láser de los transceiver, figura 33.

Figura 33. Interfaces ópticas sin uso con protector contra polvo



Fuente: nodo Aguilar Bártres.

La parte final del protocolo de aceptación de pruebas, consiste en certificar la instalación de los cableados que forman parte del nuevo proyecto, estos son cableados de fibra óptica, energía y cableados de cobre para transporte de datos, se debe poner especial atención con los cableados de fibra óptica debido al hecho que la geometría de la instalación incrementa el nivel de atenuación de los mismos.




Se deben evitar situaciones como estrangulamiento, debido a los medios de sujeción, dobleces muy cerrados, bajadas de escalerilla a 90 grados, aplastamiento por cableados de energía o cableados de cobre. Todos los cableados mencionados deben viajar de forma separada, dado que estos se

afectan de una u otra forma al momento de colocarlos todos dentro de una misma bandeja o escalerilla.

En el caso de los cableados para datos, se debe tener el cuidado de no colocarlos con los conductores eléctricos que proporcionan el voltaje y corriente a las fuentes de alimentación de energía, ya que pueden generar errores en la transmisión debido al fenómeno de inducción electromagnética, razón por la cual se utiliza voltaje DC para minimizar este efecto, al utilizar este tipo de voltaje se incrementa el diámetro de los conductores y por consiguiente su peso, obligando a colocar los cableados por una ruta distinta a la fibra óptica que es un cableado mucho más frágil.

Todos los cableados ya sean de fibra óptica, cables de energía eléctrica o cableados para datos, deben contar con un etiqueta que identifique su origen y el destino del mismo, la finalidad de este procedimiento es minimizar el tiempo de solución de una falla originada por algún cable dañado, de igual forma que los cableados, los equipos instalados deben contar con un nombre, código de equipo, en su defecto, con una dirección IP pegada en una parte visible para poder identificar el equipo con facilidad. El proveedor debe proporcionar un manual como el de la figura 34 que facilita realizar las verificaciones en la instalación del equipo.

Figura 34. Imagen del listado de verificaciones a validar en una instalación de equipo

CHECK LIST DE INSTALACIÓN		CUMPLIMIENTO	
SITIO: CENTRO	EQUIPO: 18 S32	C (Cumple)	
PROYECTO: DWDM	RACK: 1	NC (No Cumple)	
FECHA: 29 de octubre 2,011		NA (No Aplica)	
INSTALACIÓN DE HARDWARE (adjuntar fotos)		OBSERVACIONES	
		REPISA 1	REPISA 2
A.1	El equipo deberá estar instalado en la posición solicitada en Ingeniería	C	C
A.2	Correcta instalación de accesorios de repisa (guías de fibras, acomodadores de fibras, etc)	C	C
A.3	El equipo deberá estar limpio en toda su superficie	C	C
A.4	El chassis debe encontrarse en perfecto estado (sin rasguño alguno)	C	C
A.5	Correcta fijación de las repisas (shelves) en el rack (revisión tornillería)	C	C
A.6	Correcta fijación de cables de energía y tierra dentro del gabinete (amarres)	C	C
A.7	Las interfaces ópticas deben estar libres del equipo deben tener capuchón de polvo	C	C
A.8	El chassis del equipo se encuentra debidamente aterrizado a la barra de tierras	C	C
A.9	El rack deberá estar instalado con firmeza y deberá estar alineado en su fila	C	C
A.10	El PDU o TRU deberá tener sus terminales eléctricas designadas correctamente	NA	NA
INSTALACIÓN ENERGÍA, FIBRAS, UTP, TIERRA (adjuntar fotos)		OBSERVACIONES	
		REPISA 1	REPISA 2
B.1	Los fusibles y breaker del rack tienen el dimensionamiento adecuado.	C	C
B.2	Los cableados cumplen con el estándar (A=azul,rojo)(B=negro,rojo). Rojo RTN (+)	C	C
B.3	Los cableados de alimentación del equipo se encuentra instalados según diseño	C	C
B.4	Los cableados no deben afectar el crecimiento futuro (lado fuente)	C	C
B.5	Los cableados ópticos, utp y energía no deberán exceder en su longitud	C	C
B.6	Las etiquetas colocadas en el equipo y en cables en ambos extremos deben ser legibles	C	C
B.7	El cableado de energía en la escalerilla lleva un orden específico sin cruce de líneas	C	C
B.8	Los cables no deben estar pelados o dañados en su estructura	C	C
B.9	El exceso de fibra deberá estar protegida (dentro de fiber storage)	C	C
B.10	Los cables de energía encuentran sujetos fuertemente en cada extremo	C	C
B.11	Los cableados siguen la ruta estipulada en la Ingeniería	C	C
B.12	Correcta instalación de cables UTP (ordenados, etiquetados y con capuchón)	C	C
B.13	Las fibras ópticas deberán estar protegidas en su recorrido (tubo corrugado amarillo)	C	C
B.14	El conectorizado de cables de energía deberá ser el adecuado (ambos extremos)	C	C
B.15	Correcta instalación de guías de fibras en el rack y equipos	C	C
POWER (adjuntar fotos)		OBSERVACIONES	
		REPISA 1	REPISA 2
C.1	El conector de alimentación de energía del equipo se encuentra fijo	C	C
C.2	El equipo deberá tener dos módulos de alimentación uno primario uno secundario 1+1	C	C
C.3	Al desconectar el módulo primario de alimentación el equipo debe funcionar con normalidad	C	C
C.4	Al desconectar el módulo primario de alimentación se activa el led de alarma del equipo	C	C
C.5	Al desconectar el módulo secundario de alimentación el equipo funciona con normalidad	C	C
C.6	Al desconectar el módulo secundario de alimentación se activa el led de alarma del equipo	C	C
C.7	Los módulos ventiladores funcionan correctamente	C	C
C.8	Los módulos ventiladores poseen filtro contra polvo y se encuentra limpios	C	C
C.9	Las fuentes deberán tener sistema de protección de alimentación 1+1 (A y B)	C	C
	Medir la corriente IDC de cada una de las repisas	C	C
	repisa 1A= 4.43 Amp repisa 1B= 3.0 Amp repisa 2A= 2.58Amp repisa 2B= 1.51Amp	C	C
C.10	Los cables de alimentación del equipo deberán estar dimensionados adecuadamente	C	C
C.11	Voltaje fuente A VDC= -54.14 Volts	C	C
C.12	Voltaje fuente B VDC= -54.18 Volts	C	C

Fuente: Manual de instalaciones proveedor.

4.4. Certificación de conectores ópticos

Los sistemas de transporte de tecnología DWDM tienen todas la interconexiones internas por medio de patchcord de fibra óptica debido a que la mayoría de las señales están en el espectro óptico, los transponder son los únicos elementos capaces de realizar un procesamiento óptico a eléctrico y nuevamente a óptico de la señal a transmitir, al trabajar en el rango correspondiente a la banda C.

Las partículas de polvo pueden llegar a causar atenuación en una de las portadoras al estar presentes en el conector tanto del patchcord como en el *transceiver*, adicional al problema de atenuación puede presentarse el caso del daño mecánico de los conectores debido a la presencia de partículas en la unión, si el nivel de potencia es elevado las partículas son quemadas por el láser hasta llegar al punto de la carbonización dañando de esta forma la unión mecánica.

La certificación de los conectores se realiza en base a la recomendación IEC-61300-3-35, la cual define varias zonas sobre la superficie circular del conector tal como se muestra en la tabla VIII; estas áreas deben estar libres de cualquier partícula de polvo.

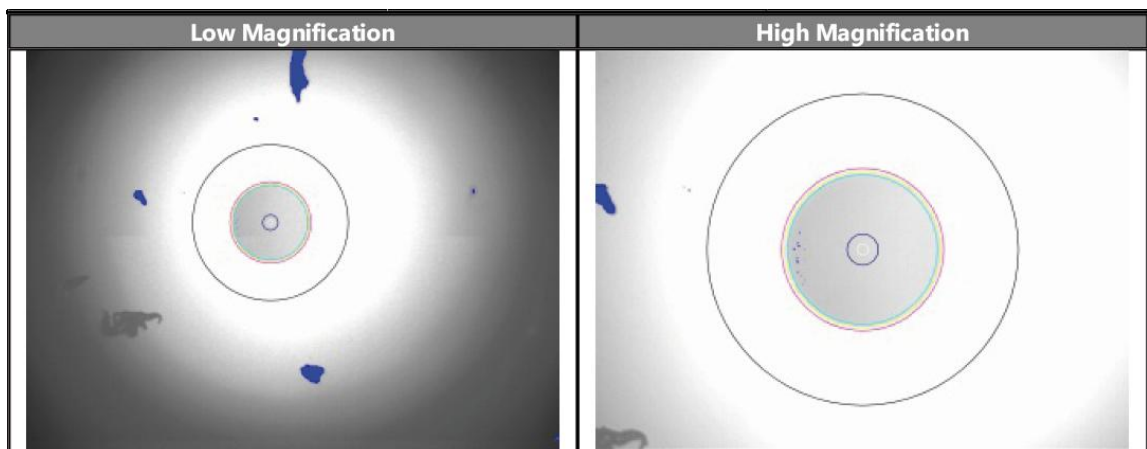
Tabla VIII. **Zonas de un conector LC según IEC – 61300-3-35**

Zona	Área (μm)
Zona A	0 - 25
Zona B	25 - 120
Zona C	120 - 130
Zona D	130 - 250

Fuente: recomendación IEC – 61300-3-35.

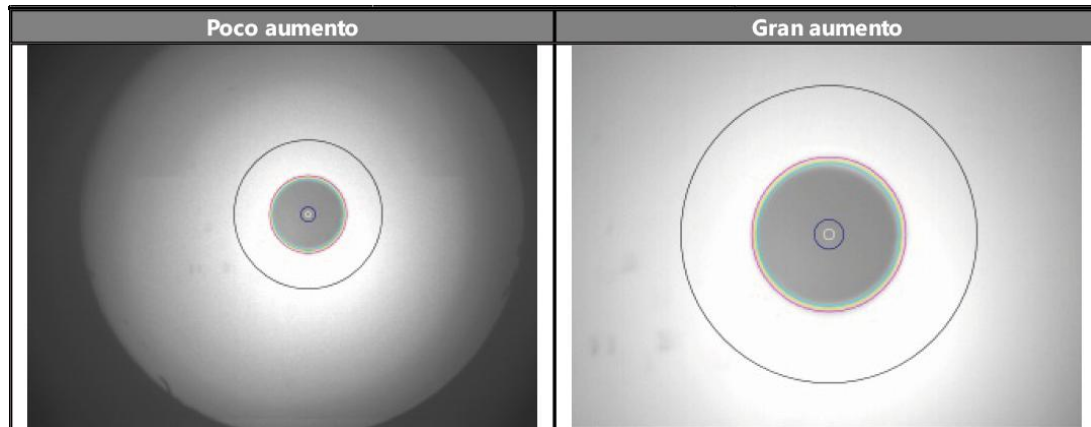
Se ha mencionado insistentemente que los conectores deben encontrarse libres de partículas de polvo y de toda suciedad, las figuras 35 y 36 muestran la diferencia entre unos conectores con polvo y unos limpios.

Figura 35. **Vista con microscopio de un conector con partículas de suciedad**



Fuente: nodo Aguilar Bártres.

Figura 36. Vista con microscopio de un conector limpio



Fuente: nodo Aguilar Bártres.

4.5. Bit Error Rate Test (BERT)

Para la certificación de los servicios nuevos SDH con capacidad de 2,5 Gbps, que se crearon sobre la red de transporte DWDM, se realiza una prueba de tasa de error de bit BERT.

La prueba de BERT es un parámetro clave para la certificación de una transmisión digital de un punto a otro, se aplica sobre cualquier sistema de telecomunicaciones que sea susceptible al ruido, interferencias electromagnéticas, retrasos en los bit de información o degradación de la señal, como son los sistemas de radio enlaces, redes de fibra óptica, sistemas ethernet, o cualquier sistema que utilice señales digitales para el transporte de la información.

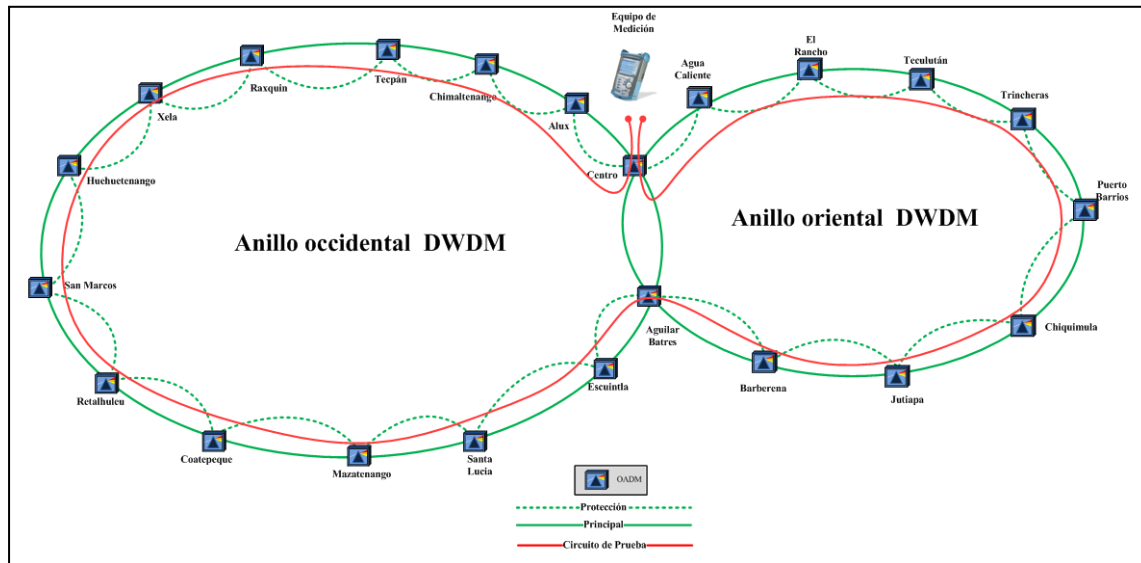
Esta prueba utiliza una secuencia binaria pseudo-aleatoria, *pseudo-random binary sequence* (PRBS), que se encuentra encapsulada en una trama

del tipo ethernet, por lo cual es posible pasar de una medición de errores basada en trama, a una medición de tasa de error de bit. Esto proporciona la exactitud de recuento de errores bit por bit, necesario para la aceptación de la prueba realizada al medio físico de transporte.

Para realizar el BERT de aceptación se prueban en conjunto todos los segmentos de fibra óptica que conforman cada uno de los anillos de transporte, se incluyen dentro de las pruebas las interfaces físicas en las cuales se realizará la agregación y bajada de los servicios, por lo cual resulta necesario interconectar las tarjetas utilizadas en cada uno de los sitios utilizando un patchcord de fibra óptica con atenuadores de potencia para evitar el daño a las interfaces, el equipo de medición se instalará en uno de los puntos de interconexión de los anillos siendo el sitio seleccionado Centro, según lo indica el diagrama de conexión.

Debido a la configuración propia del anillo de transporte DWDM la prueba se debe ejecutar dos veces, siendo la primera de las misma por todos los segmentos principales y la segunda prueba se debe realizar sobre la rutas de protección, mostrados ambos en la figura 37, esto garantiza que los servicios no serán afectados por cualquier evento que ocurra en alguno de los segmentos de fibra óptica.

Figura 37. Circuito para ejecutar BERT



Fuente: elaboración propia.

Dado que este anillo DWDM será utilizado como red de transporte, la prueba que se desea ejecutar debe cumplir con los siguientes parámetros:

- Duración de 72 horas
- PRBS de 31

La ejecución de la prueba en el medidor debe configurarse según la referencia de cada parámetro indicado en la tabla IX.

Tabla IX. **Configuración utilizada en el medidor para la ejecución de la prueba**

Parámetro	Referencia
Interface	STM-16 (2488,32 MHz) 1550,000 nm
Mapping	AU-4-16c Bulk Fill
AU-4-64c Dropped	1
Payload Pattern	PRBS 31
Trigger Out	None
Scramble	Enable
PLM Alarm Reporting	Disable
Expected HP Label	11111110
TIM Alarm Reporting	Disable
Expected J0	All Ones
Expected J1	Factory Default J1 Trace
SS Bits Alarm Reporting	Disable
Expected SS Bits	10 (SDH)
TC Error/Alarm Processing	Disable
Expected TC Trace	FactoryN1Trace
Power Low Threshold	-100,0 dBm (Disable)
Out of Frequency Threshold	0 ppm (Disable)
Orderwire Drop	None
Datacom Channel Drop	None

Fuente: equipo de medición de BERT.

En la Tabla X se muestran los resultados más relevantes del informe total y el resumen en la tabla XI

- Elapsed Time 003:00:06:51
- Error Analysis

Tabla X. **Resultados obtenidos al finalizar la prueba**

	Err Free Sec (EFS)	Err Sec (ES)	Sev Err Sec (SES)	Unavail Sec (UAS)	Count	Cur Rate	Avg Rate
Frame	259 611	0	0	0	0	0,00e+0	0,00e+0
B1	259 611	0	0	0	0	0,00e+0	0,00e+0
B2	259 611	0	0	0	0	0,00e+0	0,00e+0
MS-REI	259 611	0	0	0	0	0,00e+0	0,00e+0
B3	259 611	0	0	0	0	0,00e+0	0,00e+0
HP-REI	259 611	0	0	0	0	0,00e+0	0,00e+0
BIT	259 611	0	0	0	0	0,00e+0	0,00e+0
AU-NDF	259 611	0	0	0	0	0,00e+0	0,00e+0

Fuente: equipo de medición de BERT.

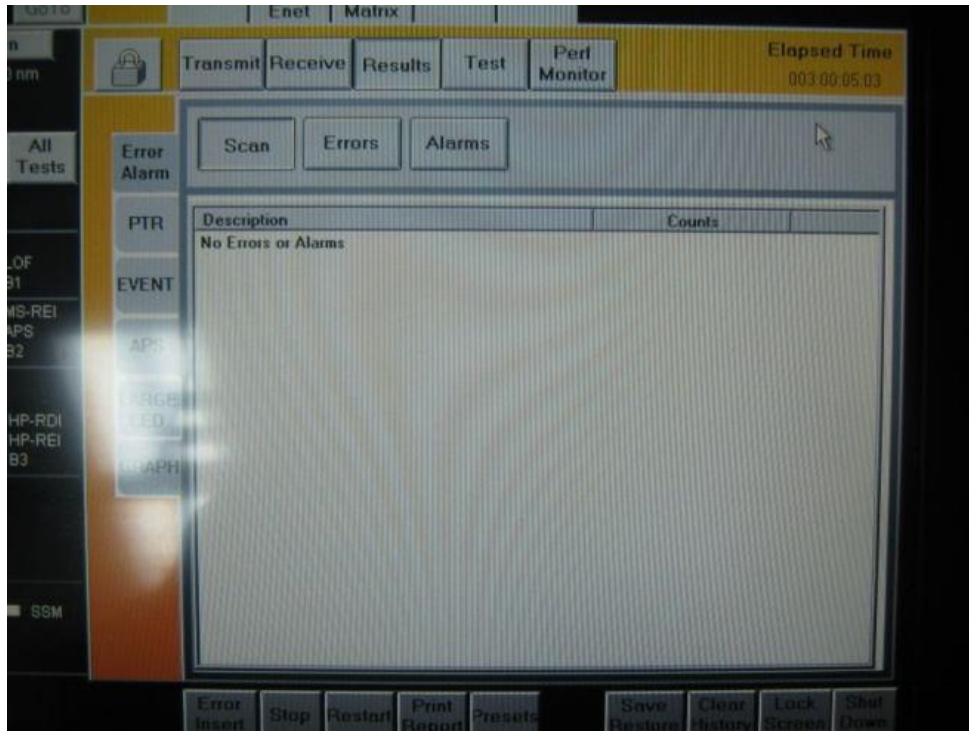
Tabla XI. **Tabla resumen de la prueba**

G.826	
B1 Status:	PASSED
B2 Status:	PASSED
MS-REI Status:	PASSED
B3 Status:	PASSED
HP-REI Status:	PASSED
BIT Status:	PASSED
G.828	
B3 Status:	PASSED
HP-REI Status:	PASSED
BIT Status:	PASSED

Fuente: equipo de medición de BERT.

Al finalizar una prueba BERT el equipo de medición se debe ver igual o similar al de la figura 38.

Figura 38. Equipo de medición al final del periodo de prueba



Fuente: nodo Aguilar Bártres.

4.6. Pruebas de OSA

Para el caso de los sistemas de comunicación basados en multiplexación de ondas densas resulta imperativo mantener una ecualización adecuada de todas las longitudes de onda presentes en el espectro óptico comprendido en la banda C.

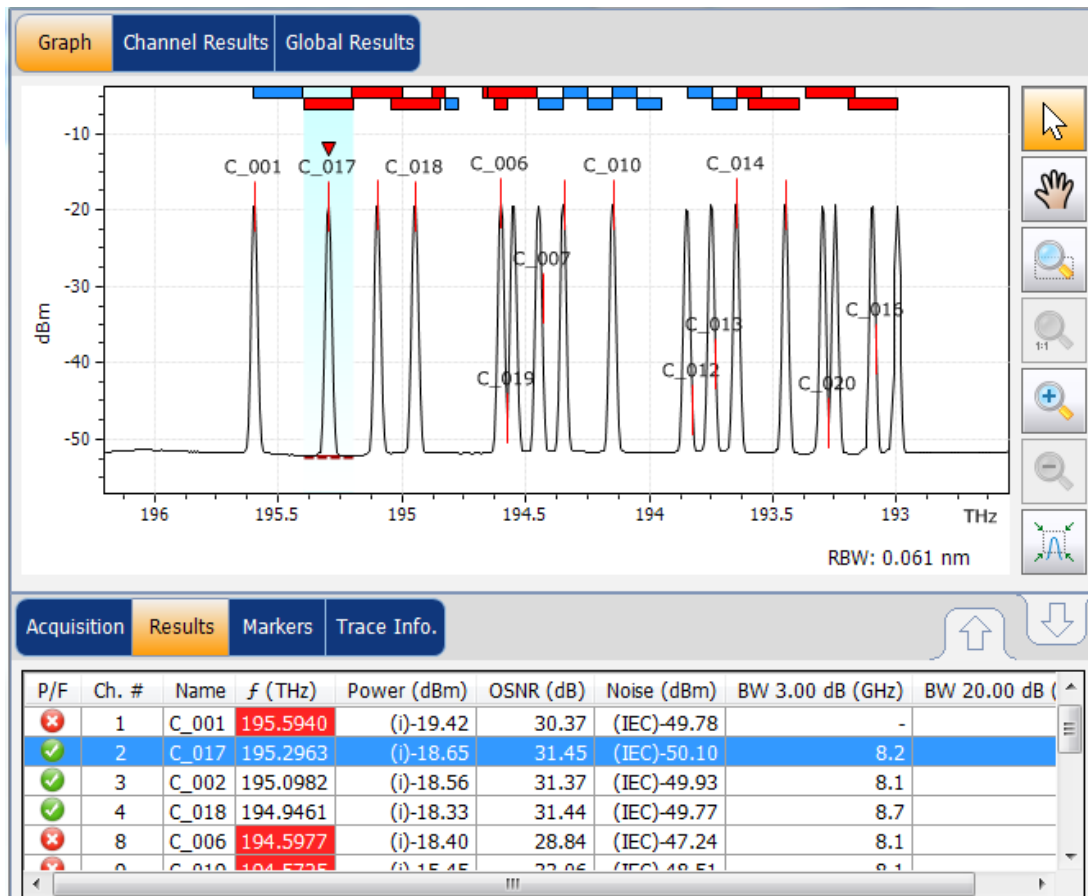
Algunos sistemas de comunicaciones en DWDM cuentan con hardware y software que permiten tomar mediciones aproximadas de cada una de las portadoras presentes en la transmisión y recepción de datos. Para garantizar el éxito de un sistema implementado se debe hacer uso de un analizador de

espectro óptico, optical spectrum analyser (OSA). Este equipo de certificación tiene la capacidad de tomar la medición de potencia de cada una de las señales portadoras que se encuentran especificadas en la banda C, verifica la frecuencia central de la misma, el desplazamiento en frecuencia que tiene en relación a las especificaciones de la ITU-T, además de obtener relaciones entre potencia y ruido.

Durante la realización de esta prueba es necesario verificar la relación señal a ruido óptica, optical signal to noise ratio (OSNR), en la cual se observa la diferencia de potencia óptica entre el pico de cada señal portadora y el nivel de ruido que se transmite en el espectro, para aprobar esta prueba se ha establecido un valor de 20 dB. El valor de la potencia que se debe de recibir en cada una de las tarjetas amplificadoras que interconecten dos distintos sitios por señal portadora debe ser mayor a -20 dBm, valor que garantiza el correcto procesamiento de la señal por parte de los transponder. Se asigna un valor máximo permitido para el desplazamiento de la señal portadora en el espectro de la frecuencia de 5GHz.

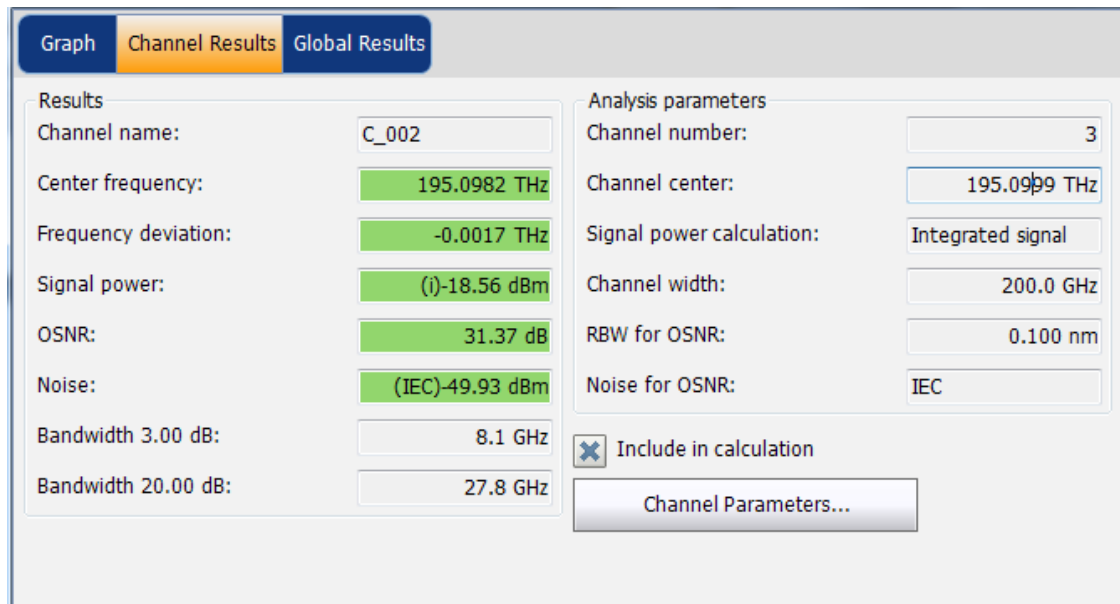
En las líneas de transmisión de datos, es necesario verificar que todas las longitudes de onda se encuentren ecualizadas, es decir la potencia de cada una debe ser la misma siendo el caso ideal que todas posean el mismo valor, la aceptación de este parámetro se obtiene cuando la diferencia en la potencia entre la mayor y la menor de las longitudes de onda sea menor a 2 dB tal como muestran las figuras 39 y 40.

Figura 39. Resultado de la medición con analizador de espectro óptico



Fuente: equipo analizador de espectro óptico.

Figura 40. Resultado correspondiente al canal 3



Fuente: equipo analizador de espectro óptico.

4.7. Proceso de migración

Al finalizar las pruebas de certificación de los enlaces se debe solicitar al Network Operation Center (NOC) una ventana de mantenimiento para poder realizar la migración de servicios del sistema de transmisión SDH hacia la red DWDM.

Dicha solicitud debe contener información básica de los servicios que se afectarán, la duración de la ventana de mantenimiento, la hora de inicio, hora de finalización, hora de rollback o regreso a la configuración anterior, además de establecer un plan de contingencia. Un ejemplo de programa de migración de servicios se observa en la tabla XII.

Tabla XII. Programa de migración de servicios

Hora Inicio	Hora de Fin	actividad	Hora Rollback
22:50	22:55	Notificación a NOC de inicio de actividades	
22:55	23:00	Recepción de confirmación por parte de NOC para inicio de actividades.	
23:00	23:20	Inicio de ventana de mantenimiento, desconexión de patchcord de fibra desde el transceiver del equipo SDH, ambos nodos del tramo a migrar, limpieza de puerto LC del transceiver y verificación del puerto con el microscopio, limpieza y certificación de los patchcord provenientes del equipo DWDM, conexión de los patchcord hacia el equipo SDH para interconexión con equipo DWDM.	01:00
23:20	00:00	Verificación por parte del NOC de niveles de potencia, etiquetas entre equipos SDH, verificación de conteo de errores, conmutación de fibra entre segmento de ruta principal y protección, limpieza de alarma en las plataformas de gestión.	01:20
00:00	00:20	Ejecución de BERT sobre circuito de prueba creado en el segmento migrado a tecnología DWDM, duración de 15 minutos sobre la ruta principal.	02:00
00:20	00:40	Ejecución de BERT sobre circuito de prueba creado en el segmento migrado a tecnología DWDM, duración de 15 minutos sobre la ruta de protección.	02:20
00:40	01:00	Desconexión de patchcord de fibra desde el transceiver del equipo SDH, ambos nodos del tramo a migrar, limpieza de puerto LC del transceiver y verificación del puerto con el microscopio, limpieza y certificación de los patchcord provenientes del equipo DWDM, conexión de los patchcord hacia el equipo SDH para interconexión con equipo DWDM.	02:40

Continuación de la tabla.

Hora Inicio	Hora de Fin	Actividad	Hora Rollback
01:00	01:40	Verificación por parte del NOC de niveles de potencia, etiquetas entre equipos SDH, verificación de conteo de errores, conmutación de fibra entre segmentos de ruta principal y protección, limpieza de alarma en las plataformas de gestión.	03:00
01:40	02:00	Ejecución de BERT sobre circuito de prueba creado en el segmentos migrado a tecnología DWDM, duración de 15 minutos sobre la ruta principal.	03:40
02:00	02:20	Ejecución de BERT sobre circuito de prueba creado en el segmento migrado a tecnología DWDM, duración de 15 minutos sobre la ruta de protección.	04:00
02:20	02:40	Desconexión de patchcord de fibra desde el transceiver del equipo SDH, ambos nodos del tramo a migrar, limpieza de puerto LC del transceiver y verificación del puerto con el microscopio, limpieza y certificación de los patchcord provenientes del equipo DWDM, conexión de los patchcord hacia el equipo SDH para interconexión con equipo DWDM.	04:20
02:40	03:20	Verificación por parte del NOC de niveles de potencia, etiquetas entre equipos SDH, verificación de conteo de errores, conmutación de fibra entre segmentos de ruta principal y protección, limpieza de alarma en las plataformas de gestión.	04:40
03:20	03:40	Ejecución de BERT sobre circuito de prueba creado en el segmento migrado a tecnología DWDM, duración de 15 minutos sobre la ruta principal.	04:40
03:40	04:00	Ejecución de BERT sobre circuito de prueba creado en el segmento migrado a tecnología DWDM, duración de 15 minutos sobre la ruta de protección.	04:40

Continuación de la tabla.

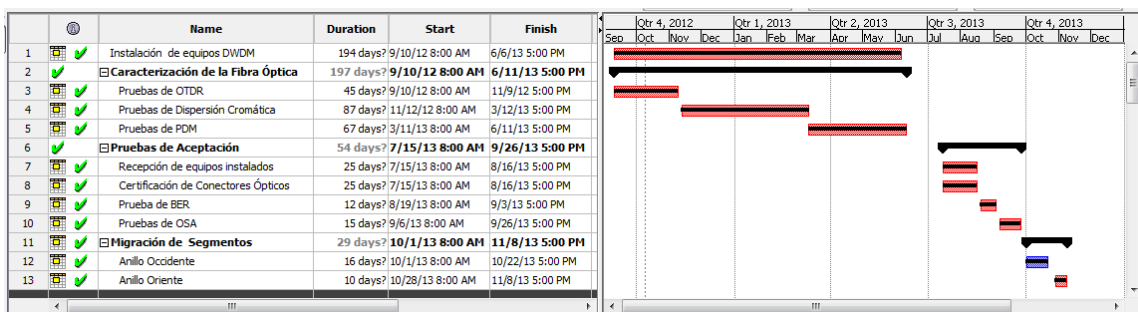
Hora Inicio	Hora de Fin	Actividad	Hora Rollback
04:00	04:05	Fin de ventana, confirmación por parte del NOC que no existen alarmas presentes ni servicios afectados.	04:40
		Se declara ventana de mantenimiento fallida y se abre ticket para darle seguimiento en estatus de falla.	05:00

Fuente: elaboración propia.

4.8. Cronograma de actividades

Se realizará el control del avance del proyecto con la utilización de un software para el manejo de proyecto de licencia abierta, como se muestra en la figura 41.

Figura 41. Cronograma de actividades



Fuente: elaboración propia.

CONCLUSIONES

1. Los sistemas de telecomunicaciones construidos con tecnología DWDM son capaces de transportar grandes cantidades de datos optimizando la utilización del ancho de banda al transportar los mismos servicios de la red SDH y otros servicios como video, telefonía y transmisión de datos sin necesidad de empaquetarlos.
2. La tecnología propuesta DWDM puede utilizar la misma infraestructura de cableado de fibra óptica actual para incrementar el ancho de banda con el que se cuenta actualmente.
3. En la incorporación de sistemas de transporte DWDM sobre redes SDH, ethernet u otras, no se ve afectada la topología de la misma, la red DWDM se convierte en un medio que es transparente a los equipos que interconecta.
4. La recepción de la red de transporte DWDM se debe validar mediante un protocolo de pruebas pactado al inicio del proyecto, además de verificar que se cumpla con la Norma G.709 establecida por la ITU-T para asegurar que no exista inoperabilidad entre los equipos con los que ya se cuenta y los equipos que se puedan instalar en el futuro.
5. El proceso de migración de los servicios SDH, ethernet y de video debe realizarse posterior a la ejecución de pruebas de desempeño que simulen los servicios que se desean migrar, para esta prueba se emplean equipos especializados y con una duración mínima de 24 horas.

RECOMENDACIONES

1. La recepción de las pruebas de aceptación deben de estar a cargo del personal del Departamento de Operación y Mantenimiento de la Red, pues son ellos los encargados a partir de la implementación de la misma, que ésta nueva tecnología funcione adecuadamente.
2. La presencia del proveedor de equipos en las pruebas de aceptación puede ayudar a corregir los problemas que el personal que realiza la recepción encuentre según el listado de validaciones, para evitar así posibles retrasos en la puesta en operación de la nueva red.
3. Toda manipulación de elementos ópticos que formen parte del sistema DWDM que se realice posterior a la instalación debe de pasar por el proceso de certificación óptica, garantizando con ello que no exista atenuación en una portadora o daño mecánico en alguno de los conectores.
4. Presentar un informe de los elementos ópticos instalados junto con la red DWDM y garantizar que estén certificados según el cumplimiento de la Norma IEC-61300-3-35 autenticando así, que los niveles de potencia sean los adecuados y las zonas de todos los conectores se encuentren en el rango adecuado que satisfaga las exigencias requeridas.

5. Dado que la disponibilidad de los servicios que hacen uso de la red de transporte DWDM es de suma importancia, es aconsejable utilizar un esquema de red en anillo con protección de línea, este tipo de protección permite mantener la operación ante eventos como un corte simultáneo en segmentos distintos de la red.

6. Por la naturaleza de la tecnología DWDM se debe observar en especial el cuidado de los elementos ópticos, enfatizando en la limpieza de los mismos, ya que si no se encuentran en condiciones óptimas, los resultados no serían los adecuados, haciendo que el objetivo de la implementación de la red DWDM que es optimizar el ancho de banda, no se cumpla.

BIBLIOGRAFÍA

1. Corporate Headquarters. *Techniques for Multiplexing and Demultiplexing [en línea]*. En: Cisco Systems, Inc. Introduction to DWDM Technology. San Jose, CA USA, 2000 de <http://www.cisco.com/web/AT/assets/docs/dwdm.pdf>. [Consulta septiembre 2013].
2. DIÓGENES Marcano. *Redes DWDM, Análisis y Diseño [en línea]*. En: Facultad de Ingeniería Pontificia Universidad Católica del Perú. Lima, agosto 2012 de http://departamento.pucp.edu.pe/ingenieria/images/documentos/Capitulo_7_Analisis_y_Diseño.pdf. [Consulta noviembre 2013].
3. INTERNATIONAL TELECOMMUNICATION UNION. *Architectures and Functional Aspect of Radio-Relay Systems for Synchronous Digital Hierarchy (SDH)-Based Network*. F.750-4. Ginebra, 2000. 60 p.
4. _____. *Characteristics of a single-mode optical fibre and cable*. G.952. Ginebra, 2009. 45 p.
5. _____. *Digital line systems based on the synchronous digital hierarchy for use on optical fibre cables*. G.958. Ginebra, 1994. 90 p.

6. _____. *End-to-end error performance parameters and objectives for international, constant bit-rate digital paths and connections.* G.826. Ginebra, 2002. 32 p.
7. _____. *Error performance of an international digital connection operating at a bit rate below the primary rate and forming part of a integrated service digital network.* G.821. Ginebra, 1996. 78 p.
8. _____. *Fiber optic interconnecting device component – Basic test and measurement procedures – Part 3-35 Examinations and measurement – Fiber optic connector endface visual and automated inspection.* IEC-61300-3-35. Ginebra, 2009. 50 p.
9. _____. *Interfaces for the Optical Transport Network.* G709/Y1331. Ginebra, 2009. 22 p.
10. _____. *Network node interface for the synchronous digital hierarchy (SDH).* G.707/Y.1322. Ginebra, 2007. 34 p.
11. _____. *Optical interface for equipments and systems relating to the synchronous digital hierarchy.* G.957. Ginebra, 2006. 44 p.
12. _____. *Optical interfaces for single channel STM-64 and other SDH systems with optical amplifiers.* G.691. Ginebra, 2006. 87 p.
13. _____. *Timing characteristics of primary reference clocks.* G.811. Ginebra, 1997. 25 p.

14. _____. *Timing requirements of slave clocks suitable for use as node clocks in synchronization networks*. G.812. Ginebra, 2004. 90 p.
15. RYU, Shiro. *Coherent Lightwave Communication Systems*. London: Artech House Publishers, 1994. 302 p. ISBN: 089006612-4.
16. STERLING, Donald J. *Technician's Guide to Fiber Optics*. New York: Delmar Cengage Learning, 2003. 384 p. ISBN: 140181270-8.
17. STREMLER, Ferel G. *Sistemas de comunicación*. Ballester, Ruy Renau (trad.). México: Fondo Educativo Interamericano, 1985. 611 p. ISBN: 968500009-3.

