

**UNIVERSIDAD DO BOSCO  
FACULTAD DE INGENIERÍA**



**"RECOMENDACIONES PARA EL DISEÑO, IMPLEMENTACION Y PUESTA  
EN SERVICIO DE RED DWDM PARA EMPRESA DE  
TELECOMUNICACIONES  
EN EL SALVADOR"**

**TRABAJO DE GRADUACIÓN PARA OPTAR AL TÍTULO DE  
INGENIERO EN TELECOMUNICACIONES.**

**PRESENTADO POR:  
OSCAR RENÉ ALVARADO AMAYA**

**LECTOR:  
ING. OSCAR WENCESLAO RIVAS**

**ASESOR:  
ING. RAFAEL MARIO JUÁREZ CORNEJO**

**ADMINISTRADOR  
ING. MARÍA CELIA PARADA**

**OCTUBRE DE 2009  
SAN SALVADOR, EL SALVADOR C.A.**

**UNIVERSIDAD DON BOSCO  
FACULTAD DE INGENIERÍA**



**"RECOMENDACIONES PARA EL DISEÑO, IMPLEMENTACION Y PUESTA  
EN SERVICIO DE RED DWDM PARA EMPRESA DE  
TELECOMUNICACIONES  
EN EL SALVADOR"**

**Ing. Federico Miguel Huguet Rivera**  
RECTOR

**Pbro. Víctor Manuel Bermúdez Yáñez**  
VICERRECTOR ACADÉMICO

**Ing. Yesenia Xiomara Martínez Oviedo**  
SECRETARIO GENERAL

**Ing. Ernesto Godofredo Girón**  
DECANO DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA

**CIUDADELA DON BOSCO, OCTUBRE 2009  
UNIVERSIDAD DON BOSCO**

**FACULTAD DE INGENIERÍA**



**"RECOMENDACIONES PARA EL DISEÑO, IMPLEMENTACION Y PUESTA  
EN SERVICIO DE RED DWDM PARA EMPRESA DE  
TELECOMUNICACIONES  
EN EL SALVADOR"**

---

**Ing. Rafael Mario Juárez**  
ASESOR

---

**Ing. Oscar Wenceslao Rivas**  
LECTOR

---

**Ing. María Celia Parada**  
ADMINISTRADOR

**CIUDADELA DON BOSCO, OCTUBRE 2009**

# *Dedicatoria*

*Al Señor Dios Todopoderoso creador del cielo y de la tierra,  
Quien me escogió desde antes que yo naciera para ser hecho  
Justo delante de Él. A mi papá Oscar René Ortiz quien fue la  
Persona que Dios usó para que yo alcanzaré la Salvación y  
La vida Eterna y a mi mamá Miriam Amaya de Alvarado  
Quien fue mi mano derecha durante toda mi formación  
Profesional.*

*Oscar René Alvarado Amaya.*

# INDICE

|                                                                                                       |    |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Introducción</b>                                                                                   | 07 |
| <b>Capítulo I: Conceptos básicos de un sistema WDM, Plan de canalización y descripción Del Equipo</b> |    |
| 1.0 Conceptos Básicos                                                                                 | 09 |
| 1.1 Componentes de un sistema DWDM                                                                    | 10 |
| 1.2 Trama DWDM                                                                                        | 11 |
| 1.2.1 El canal óptico (OCh)                                                                           | 11 |
| 1.2.2 Capa OUT (Optical Transport Unit)                                                               | 12 |
| 1.2.3 Capa OPU (Optical Physical Unit)                                                                | 13 |
| 1.2.4 Capa ODU (Optical Data Unit)                                                                    | 13 |
| 1.3 Descripción General del Diseño de la Red                                                          | 13 |
| 1.4 Plan de canalización de Lambdas                                                                   | 14 |
| 1.5 Ventana de Trabajo DWDM                                                                           | 16 |
| 1.6 Descripción del equipo                                                                            | 19 |
| 1.6.1 Estructura interna del equipo                                                                   | 19 |
| 1.6.2 Interfaces del Equipo                                                                           | 20 |
| 1.6.3 Especificaciones Técnicas del Equipo                                                            | 25 |
| 1.7 Modalidades de trabajo del DW4200                                                                 | 26 |
| 1.7.1 ADD/DROP                                                                                        | 26 |
| 1.7.2 THRU                                                                                            | 27 |
| 1.8 Configuraciones del equipo                                                                        | 27 |
| 1.8.1 POADM (Passive OADM)                                                                            | 28 |
| 1.8.2 Terminal                                                                                        | 28 |
| 1.8.3 ROADM (Reconfigurable OADM)                                                                     | 28 |
| 1.8.4 ILA (Interline Amplifier)                                                                       | 29 |
| 1.9 Mecanismos de Protección                                                                          | 30 |
| 1.9.1 SNCP (Subnetwork Connection Protection)                                                         | 30 |
| 1.9.2 MS-Spring (Multiplex Section-Shared Protection Ring)                                            | 31 |
| <b>Capítulo II: Caracterización de la fibra óptica monomodo para una red DWDM</b>                     |    |
| 2.0 Introducción Teórica                                                                              | 33 |
| 2.1 Alcances del proceso de certificación                                                             | 34 |
| 2.2 pasos para el proceso de caracterización de la F.O.                                               | 35 |
| 2.2.1 Paso 1: Mediciones de Atenuación con OTDR                                                       | 35 |
| 2.2.2 Definición de atenuación                                                                        | 37 |
| 2.2.3 Paso 2: Mediciones con analizador espectral                                                     | 39 |
| 2.2.4 Dispersión Cromática (CD)                                                                       | 40 |
| 2.2.5 Dispersión por modo de Polarización                                                             | 40 |
| 2.3 Parámetros de Diseño                                                                              | 41 |
| 2.4 Topología de la Red DWDM                                                                          | 43 |
| 2.5 Medidas tomadas con OTDR                                                                          | 45 |
| 2.6 Mediciones de CD                                                                                  | 46 |
| 2.7 Mediciones de PMD                                                                                 | 49 |
| 2.8 Criterios de decisión para la selección de las fibras                                             | 50 |
| 2.9 Fibras recomendadas para el proyecto                                                              | 52 |

### **Capítulo III: Configuración de anillos y pruebas de aceptación del DW4200**

|                                                                  |    |
|------------------------------------------------------------------|----|
| 3.0 Introducción teórica                                         | 53 |
| 3.1 Configuración de lambdas                                     | 53 |
| 3.2 Configuración de Anillos                                     | 54 |
| 3.3 Pruebas de Aceptación                                        | 58 |
| 3.4 Nociones preliminares a las mediciones                       | 60 |
| 3.5 Resultados de las Mediciones                                 | 61 |
| 3.5.1 Mediciones en estación 6 y estaciones vecinas 5, 7 y 12    | 62 |
| 3.5.2 Mediciones en estación 7 y estaciones vecinas 6 y 8        | 63 |
| 3.5.3 Mediciones en estación 8 y estaciones vecinas 7 y 9        | 64 |
| 3.5.4 Mediciones en estación 9 y estaciones vecinas 8 y 10       | 65 |
| 3.5.5 Mediciones en estación 10 y estaciones vecinas 9 y 11      | 66 |
| 3.5.6 Mediciones en estación 11 y estaciones vecinas 10 y 12     | 67 |
| 3.5.7 Mediciones en estación 12 y estaciones vecinas 6, 11 y 13  | 68 |
| 3.5.8 Mediciones en estación 13 y estaciones vecinas 12 y 14     | 70 |
| 3.5.9 Mediciones en estación 14 y estaciones vecinas 3, 13 y 115 | 71 |
| 3.5.10 Mediciones en estación 15 y estaciones vecinas 1 y 14     | 72 |
| 3.5.11 Mediciones en estación 1 y estaciones vecinas 2 y 15      | 73 |
| 3.5.12 Mediciones en estación 2 y estaciones vecinas 1 y 3       | 74 |
| 3.5.13 Mediciones en estación 3 y estaciones vecinas 2 y 4       | 75 |
| 3.5.14 Mediciones en estación 4 y estaciones vecinas 3 y 5       | 76 |
| 3.5.15 Mediciones en estación 5 y estaciones vecinas 4 y 6       | 77 |
| 3.6 Análisis e Interpretación de Resultados                      | 78 |
| <b>Conclusiones</b>                                              | 79 |
| <b>Referencias Bibliográficas</b>                                | 81 |
| <b>ANEXOS</b>                                                    | 82 |

# INTRODUCCIÓN

En El salvador, durante la década de 1960 se contaba con una red de telecomunicaciones analógica, la cual se caracterizaba por tener un ancho de banda para canales de voz (4 KHz) y a la vez muy poca capacidad en la red de transporte. Sin embargo más tarde se trabajó en la digitalización de la red, lo que aumentó el ancho de banda efectivo y por consiguiente la capacidad de transporte, con lo cual se introduce el termino ISDN (Red Digital de Servicios Integrados).

Con esta tecnología aparecieron nuevos servicios de telecomunicaciones, los cuales debían ser manejados por los operadores con mucha más delicadeza para garantizar la disponibilidad del medio de transmisión y a la vez abrir paso a una nueva gama de servicios.

En los años recientes se ha requerido un mayor ancho de banda por parte de los usuarios, debido a esto surgen las redes celulares de tercera generación (3G), las cuales son un buen soporte para los nuevos servicios que se han integrado, estos se conocen como servicios de valor agregado. Estos servicios son: Identificación de llamadas, audio conferencia, video llamada, envío de mensajes multimedia y mensajes cortos, voz sobre IP, Internet Inalámbrico, Televisión de alta definición, etc.

Como hemos podido ver, hoy en día la tendencia va hacia el aumento de los servicios de valor agregado, de manera que cada cliente debe tener servicio de Voz, Video y Datos, así como la tendencia a las redes de cuarta generación LTE (Long Term Evolution) lo que influye en la necesidad de crear Backhaul (backbone o red de transporte) que soporte estas tecnologías y nuevos elementos de red que nos garanticen al menos una disponibilidad de un 99.99% y que a la vez se incremente el ancho de banda en la red de transporte.

Para solventar esto, inicialmente se crearon técnicas de multiplexación síncrona y casi síncrona como son las tecnologías PDH (Plesiochronous Digital Hierarchy) y SDH (Synchronous Digital Hierarchy).

Posterior a esto se empezó a idear una nueva forma de multiplexar la información que viaja en un medio de Fibra Óptica, que a la vez pueda optimizar el cable de fibra para poder transmitir señales ópticas de más de 10Gbits por segundo.

Debido a la demanda y a la necesidad de incrementar el ancho de banda en las redes de transmisión óptica es que surge una nueva técnica de multiplexación óptica conocida como DWDM (Dense Wavelength División Multiplexing). Esta tecnología es capaz de optimizar el ancho de banda del medio de transmisión óptica mediante el uso de canales conocidos como "Lambdas". Cada canal o lambda representa un ancho de banda de 10Gbits por segundo, permitiendo en algunos casos 40 lambdas o más, lo que permite un uso óptimo del ancho de banda incrementando la capacidad de la fibra óptica.

A continuación se hará una explicación más detallada de esta técnica de multiplexación, tomando en cuenta criterios y recomendaciones basadas en normas internacionales que ayudará al lector a comprender los requerimientos técnicos para la implementación y diseño de esta tecnología en una red de transporte óptico conocida como DWDM.

# CAPITULO I

## Conceptos Básicos de un Sistema WDM, Plan de Canalización y Descripción del Equipo

### 1.0 Conceptos Básicos

En este capítulo se estudiará aspectos principales de un sistema DWDM, así como también se realizará la primera consideración de diseño para la realización del proyecto, la cual consiste en determinar los equipos que cumplan con las exigencias requeridas y el tipo de interfaces a utilizar. Para esto es necesario conocer el funcionamiento de la tecnología DWDM, determinar la ventana de operación en la cual exista las mejores condiciones de operación y conocer el funcionamiento de los equipos.

WDM (*Wavelength Division Multiplexing*) es una tecnología que permitió la multiplexación de longitudes de onda, que por cierto fueron pocos canales ( $\lambda$ ) los cuales se encontraban bien separados en el dominio de la frecuencia, reduciendo así la eficiencia de la fibra óptica.

Esto obligó a que se buscara otra alternativa capaz de optimizar la capacidad de las fibras ópticas, con lo cual surge CWDM (*Coarse Wavelength Division Multiplexing*), dicha tecnología se conoce como Multiplexación por longitud de onda dispersa, la cual presenta una ventaja económica frente a la tecnología DWDM, debido al bajo costo de implementación de ésta.

Luego surge la tecnología DWDM la cual tiene mayor capacidad que CWDM. DWDM se basa en la propiedad de la fibra óptica de transmitir simultáneamente varias longitudes de onda<sup>1</sup>, denominados canales, sin interferirse, las cuales se agrupan en una sola señal óptica multicanal.

---

<sup>1</sup> Varias portadoras individuales.

Cada longitud de onda [ $\lambda$ ] representa un canal óptico, sobre el cual se transporta un servicio.

Sin embargo a pesar que DWDM presenta un alto costo de implementación, DWDM realiza una mejor optimización de los cables de fibra óptica. A continuación se describirá con más detalle, el funcionamiento y los componentes principales de un sistema DWDM.

### 1.1 Componentes de un Sistema DWDM

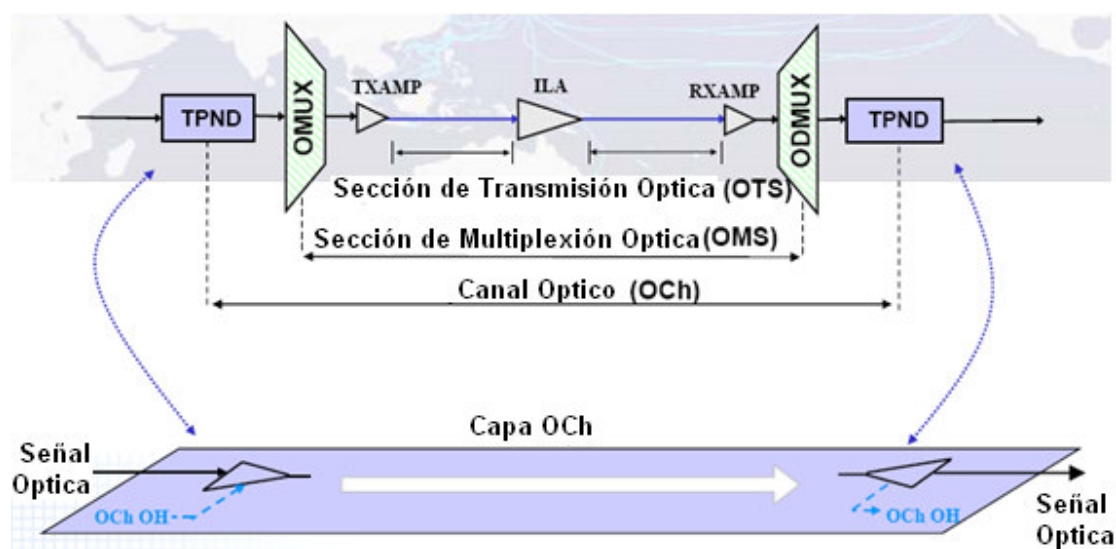


Figura 1.1: componentes de un sistema DWDM y el canal óptico

El sistema DWDM visto en la figura 1.1, está compuesto de los siguientes componentes: Transpondedor (TPND), Multiplexor óptico (OMUX), Demultiplexor óptico (ODMUX) y Amplificador óptico (TXAMP y RXAMP)<sup>2</sup>.

Transpondedor: Es un dispositivo óptico, el cual adapta la señal proveniente del lado del cliente, al conjunto de frecuencias o lambdas, además este dispositivo disminuye el ancho espectral, mejora la tolerancia a la dispersión

<sup>2</sup> Esta terminología es utilizada por NEC, puede existir otro tipo de acrónimos que podría variar su significado.

cromática, efectúa corrección de errores (FEC) y en recepción efectúa la regeneración 3R<sup>3</sup>.

Multiplexor óptico: Se encarga de utilizar “n” canales con diferentes lambdas, para asignarle diferentes sentidos.

Demultiplexor óptico: Es un dispositivo totalmente pasivo, el cual se encarga de diferenciar y/o separar los canales provenientes del multiplexor.

Amplificador óptico: Se encarga de amplificar la señal óptica durante la transmisión y como pre-amplificador en la recepción.

## **1.2 Trama DWDM**

De igual forma como otras tecnologías de transmisión de datos como Ethernet, Fast Ethernet, Gigabit Ethernet, SDH, etc. Poseen una trama, la cual transporta información relevante a cerca de rutas de acceso, el tráfico útil, encabezados; así también DWDM tiene una trama con un formato establecido, el cual se va a describir a continuación.

### **1.2.1 El Canal óptico (OCh)**

Esta sección describe el Canal óptico, el cual forma parte del sistema DWDM y es la señal que ya está procesando el transpondedor. Además se describirá, el canal óptico empleando el modelo jerárquico de capas.

A continuación vamos a definir las funciones de las capas digitales que componen el canal óptico, las cuales a su vez sirven para formar la trama DWDM.

---

<sup>3</sup> Este tipo de regeneración se conoce como Re-Timing, Re-Shapping y Re-Generation.

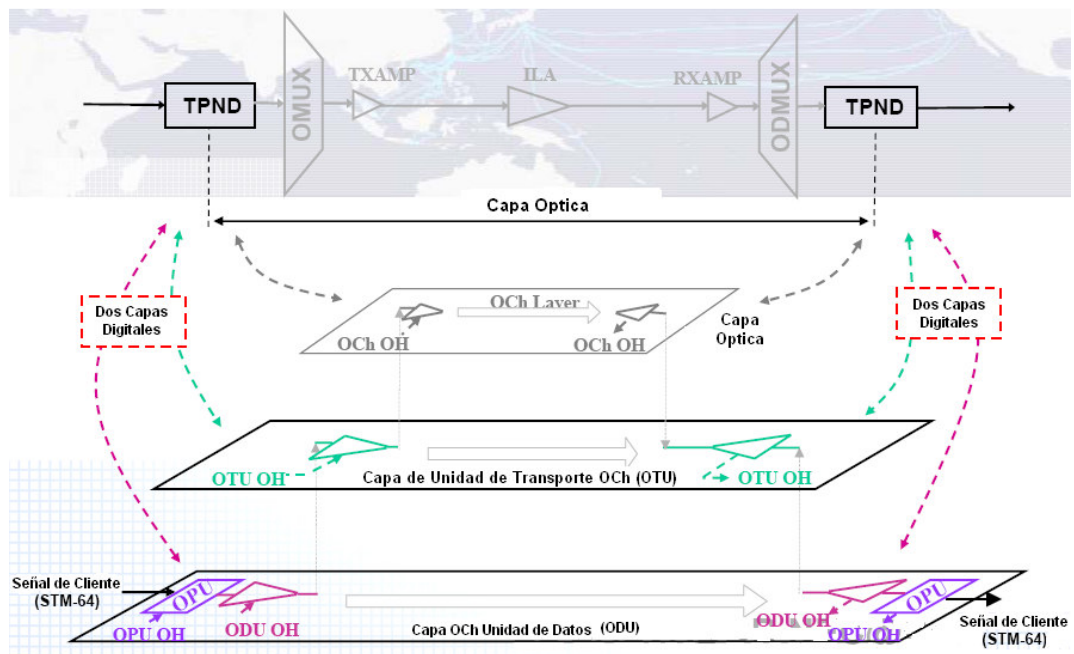


Figura 1.2: El canal óptico y sus componentes

### 1.2.2 Capa OTU (Optical Transport Unit)

Esta capa tiene el cuidado de llevar la información de la mejor manera, es decir, que sea segura mediante FEC (Forward Error Correction) y monitoreo de las secciones entre los puntos donde se da la regeneración 3R, tal como se muestra en la figura 1.3

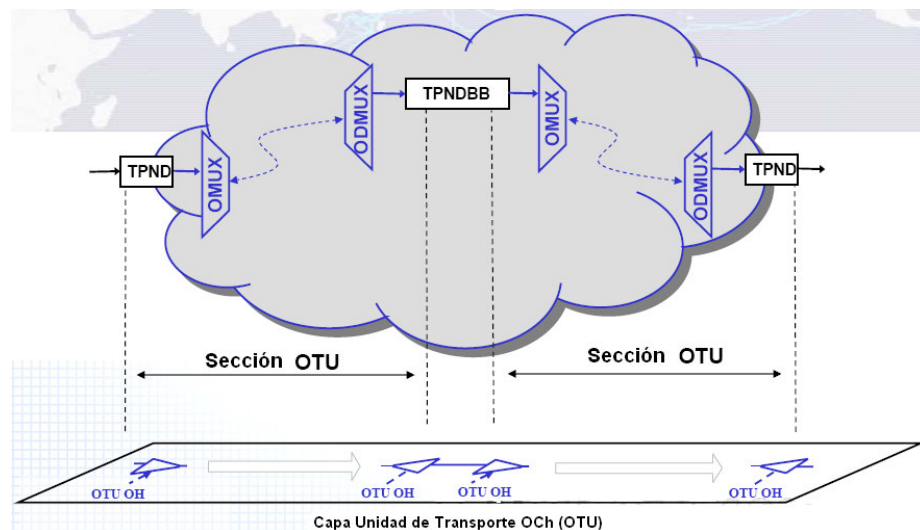


Figura 1.3: Sección OTU

### 1.2.3 Capa OPU (Optical Physical Unit)

Contiene todos los espacios de tiempo en el marco del canal óptico, y se caracteriza por llevar la carga útil dentro de la trama del canal óptico (OCh), se compone de 3808 bytes, tal como se muestra en la figura 1.4, con respecto al encabezamiento OPU<sub>k</sub>, es el que se encarga de adaptar la señal del cliente. El subíndice "k" representa la tasa de bit de la señal del cliente<sup>4</sup>.

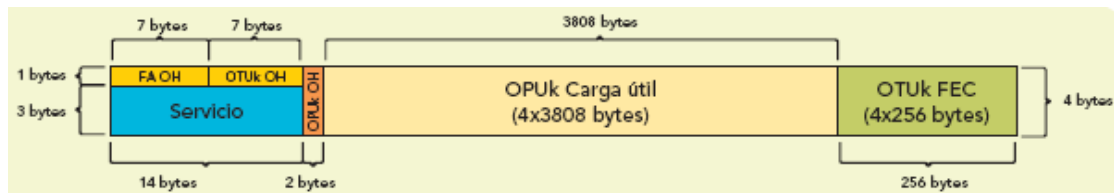


Figura 1.4: Estructura de trama DWDM

### 1.2.4 Capa ODU (Optical Data Unit)

Proporciona las funciones de transporte a nivel de una vía de acceso del OPU, procesa la señal del cliente para amplificarla y proporciona supervisión de trayectoria de extremo a extremo (Monitoreo de trayecto en conexiones Tandem).

## 1.3 Descripción general del diseño de la red

Consiste básicamente en 5 puntos que ayudarán al lector a identificar las consideraciones que se hicieron en este trabajo, pues cada uno de estos puntos requiere de mucha atención en el desarrollo del proyecto. A continuación se explica cada uno de los puntos.

- 1) Este consiste en establecer un plan de asignación de lambdas, el cual está basado en el tipo y norma de la fibra óptica, en este caso debe ser del tipo Monomodo y norma G652. Esto servirá para establecer la distribución espectral y separación de los canales ópticos que transportarán el tráfico de la red.

<sup>4</sup> Para k=1, 2.5G; para k=2, 10G y para k=3, 40G

- 2) El segundo consiste en establecer la ventana de trabajo DWDM banda C con el fin de identificar dónde existe la menor cantidad de atenuación posible, tomando en cuenta la capacidad de tráfico a transportar en la red (10 Gbps) y la norma de la fibra óptica existente.
- 3) Establecer los parámetros y especificaciones técnicas de los equipos DWDM que cumplan con los estándares de desempeño y calidad de servicio en la red así como las características de la fibra óptica para posteriormente determinar su funcionamiento en base a protocolos de prueba emitidos por el fabricante.
- 4) Posteriormente a la selección de los equipos DWDM, es necesario determinar la topología de la red ya sea anillo o malla y el mecanismo de protección que sea capaz de proporcionar seguridad y rutas alternas en caso falle un enlace por corte en la fibra óptica.
- 5) Finalmente es necesario determinar las condiciones en que se encuentra la fibra óptica seleccionada para el desarrollo del proyecto, esto a través de un proceso de caracterización de la Fibra, el cual determinará las velocidades máximas de transmisión, niveles de potencia óptica del enlace y la distancia máxima entre las estaciones.

#### **1.4 Plan de Canalización de Lambdas**

Este plan de canalización se ha elaborado en base a la recomendación UTI G694, la cual es la primera consideración que ha de tomarse en cuenta para el diseño de la red. Dicha recomendación establece un plan de canalización de lambdas [ $\lambda$ ] para aplicaciones en DWDM. Para esto se toman en cuenta dos parámetros, tales como: *La frecuencia central y el espaciamiento entre frecuencias.*

A continuación se explicará la forma de cómo se establecen estos dos parámetros: Primero vamos a establecer la frecuencia central, la cual será 193100GHz, la cual equivale a 1552.52 nanómetros [nm]. La conversión se hace así:

$$f_0 = 193100GHz \xrightarrow{\text{conversion}} \lambda = \frac{c}{f_0} = \frac{2,99792458 \times 10^8}{193100 \times 10^9} = 1552.52nm \quad \text{Ec 1.1}$$

Luego se establece el espaciamiento entre frecuencias, el cual viene dado por el diferencial  $\Delta f$ , el cual puede ser de 2.5GHz, 25GHz, 50GHz ó bien de 100GHz. Este parámetro define la cantidad de canales ó  $\lambda$ 's con que se contará para la implementación del proyecto. A continuación se define la fórmula para determinarlo:

$$f_{n+1} - f_n = \Delta f \quad \text{Ec 1.2}$$

Donde  $f_n$  es la frecuencia central  $f_0$  más el desplazamiento multiplicado por un número entero n, que puede ser positivo, negativo o cero. Tal como se muestra en la siguiente ecuación:

$$f_n = f_0 + n\Delta f \quad \text{Ec 1.3}$$

Finalmente el espaciamiento entre canales utilizado para el proyecto es de 100GHz, que equivale a 0.8nm, el cual fue calculado según la ecuación 1.1, estableciendo como variables fijas a  $f_n=1552.52nm$ , 0.8nm y  $n=0$ .

$$\Delta\lambda = |\lambda_{n+1} - \lambda_n| = 0.8nm = c \left( \frac{1}{f_{n+1}} - \frac{1}{f_n} \right) \quad \text{Ec 1.4}$$

Como podemos ver, se ha establecido los parámetros más importantes, con los cuales podemos obtener 40 lambdas para trasportar el tráfico deseado. Dichos parámetros servirán de apoyo para determinar la grilla (grupo) de lambdas, según lo establecido por la recomendación UIT G.964. En la tabla 1.1 veremos la grilla a utilizar para la realización del proyecto.

El canal que se encuentra en negrita, que corresponde a 1546.12nm es el que se encuentra apartado para la gestión de la red, según lo establecido por la recomendación G694.1

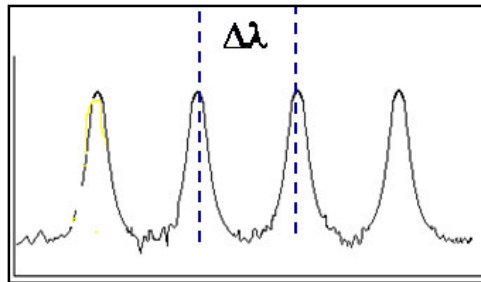


Figura 1.5: Distribución espectral de lambdas

### 1.5 Ventana de trabajo DWDM

Hasta ahora hemos determinado el grupo de lambdas que se utilizará para el proyecto, tomamos de referencia una lambda central [ $\lambda_0$ ] para determinar las demás, además se escogió un valor de 0.8nm que es la separación entre canales, sin embargo no se ha explicado el por qué se tomaron valores que estén en el rango de 1530.33nm – 1562.23nm.

La explicación radica en lo siguiente: Uno de los factores más importantes a tomar en cuenta para el diseño de la red utilizando tecnología DWDM es la Atenuación que se da en el medio de transmisión óptico, para ello se investigó acerca de la región o ventana, en la cual existan la menor cantidad de pérdida por Kilómetro. Es por esto que UIT G694.1 recomienda utilizar la tercera ventana<sup>5</sup> para DWDM, tal como lo muestra la figura 1.6

---

<sup>5</sup> A la tercera ventana se le conoce también como banda C.

| Frecuencia [GHz] | No. Canal      | Long. de onda [nm] | Frecuencia [GHz] | No. Canal      | Long. de onda [nm] |
|------------------|----------------|--------------------|------------------|----------------|--------------------|
| 191900           | $\lambda_1$    | 1562.23            | 194000           | $\lambda_{21}$ | 1545.32            |
| 192000           | $\lambda_2$    | 1561.42            | 194100           | $\lambda_{22}$ | 1544.53            |
| 192100           | $\lambda_3$    | 1560.61            | 194200           | $\lambda_{23}$ | 1543.73            |
| 192200           | $\lambda_4$    | 1559.79            | 194300           | $\lambda_{24}$ | 1542.94            |
| 192300           | $\lambda_5$    | 1558.98            | 194500           | $\lambda_{25}$ | 1542.14            |
| 192400           | $\lambda_6$    | 1558.17            | 194600           | $\lambda_{26}$ | 1541.35            |
| 192500           | $\lambda_7$    | 1557.36            | 194700           | $\lambda_{27}$ | 1540.56            |
| 192600           | $\lambda_8$    | 1556.56            | 194800           | $\lambda_{28}$ | 1539.77            |
| 192700           | $\lambda_9$    | 1555.75            | 194900           | $\lambda_{29}$ | 1538.98            |
| 192800           | $\lambda_{10}$ | 1554.94            | 195000           | $\lambda_{30}$ | 1538.19            |
| 192900           | $\lambda_{11}$ | 1554.13            | 195100           | $\lambda_{31}$ | 1537.40            |
| 193000           | $\lambda_{12}$ | 1553.33            | 195200           | $\lambda_{32}$ | 1536.61            |
| 193100           | $\lambda_{13}$ | 1552.52            | 195300           | $\lambda_{33}$ | 1535.82            |
| 193200           | $\lambda_{14}$ | 1551.72            | 195400           | $\lambda_{34}$ | 1535.04            |
| 193300           | $\lambda_{15}$ | 1550.92            | 195500           | $\lambda_{35}$ | 1534.25            |
| 193400           | $\lambda_{16}$ | 1550.12            | 195600           | $\lambda_{36}$ | 1533.47            |
| 193500           | $\lambda_{17}$ | 1549.32            | 195700           | $\lambda_{37}$ | 1532.68            |
| 193600           | $\lambda_{18}$ | 1548.52            | 195800           | $\lambda_{38}$ | 1531.90            |
| 193700           | $\lambda_{19}$ | 1547.72            | 195900           | $\lambda_{39}$ | 1531.12            |
| 193800           | $\lambda_{20}$ | 1546.92            | 196000           | $\lambda_{40}$ | 1530.33            |
| <b>193900</b>    | $\lambda_A$    | <b>1546.12</b>     | -                | -              | -                  |

Tabla 1.1: Grilla de lambdas  $\lambda_1 - \lambda_{40}$

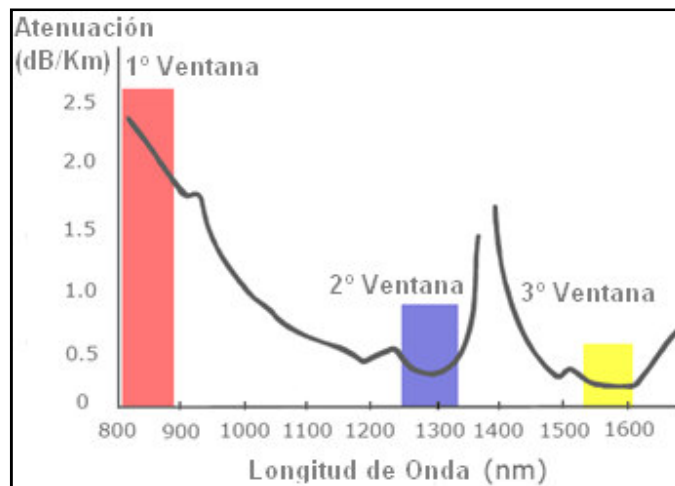


Figura 1.6: Región de operación DWDM

Fue así como se determinó la región en la cual opera el grupo de lambdas que llevarán el tráfico a través de toda la red óptica de telecomunicaciones.

Sin embargo existen diseños de redes DWDM que se han desarrollado en otra ventana pero debido a que el tipo de fibra óptica que se utilizará para la red es del tipo Monomodo G652, se recomienda trabajar en la tercera ventana, ya que de no hacerlo así la fibra óptica comienza a presentar mayor atenuación por kilómetro, el efecto causado por la dispersión se vuelve significativo, etc. Es así como este principio básico del diseño se fundamenta en la recomendación UIT G.652

Es necesario mencionar que se pretende incrementar el ancho de banda para tres tipos de tráfico, que son: Voz, video y datos; ya que actualmente este tipo de tráfico se está enviando a través de unidades<sup>6</sup> de capacidad media, tales como: STM-16, STM-64 y 10Gbit Ethernet. Debido al incremento en la demanda de los tipos de tráfico mencionados anteriormente es que se pretende optimizar la capacidad de los cables de fibra óptica monomodo G652.

Este dato se toma como referencia para determinar las características de los equipos de telecomunicaciones que se van a utilizar para el proyecto, ya que actualmente el tráfico de datos se está enviando a través de una red compuesta por tecnología SDH.

Para hacer más precisa la información, el Módulo de transporte STM-16, se utiliza para transportar tráfico de telefonía fija, el módulo de transporte STM-64 se utiliza para transportar tráfico de telefonía fija y celular y finalmente los 10Gigabit Ethernet se utilizan para transportar video y datos.

Con esta información ya se puede definir qué tipo de dispositivo se necesita, el tipo de interfaces con que debe contar el dispositivo, y la

---

<sup>6</sup> A las unidades STM-X se conocen como Módulos de Transporte Síncrono, las cuales forman parte de la red SDH, en donde se transporta el tráfico para dicha tecnología.

configuración que debe tener, en cuanto a la comunicación con otros dispositivos.

## 1.6 Descripción del Equipo.

Para poder optimizar el tráfico en los cables de fibra óptica monomodo G652 se requiere un dispositivo multiplexor, de alta capacidad, capaz de procesar el tráfico proveniente de una red SDH, y tráfico de 10Gigabit Ethernet, para poder establecer acceso rápido bajo demanda.

El dispositivo multiplexor de alta capacidad que se ha seleccionado para este proyecto es el de la figura 1.7 denominado: SpectralWave DW4200 del fabricante NEC.



Figura 1.7: SpectralWave DW4200

Este dispositivo es un sistema de nueva generación, el cual ofrece capacidad completa como ROADM<sup>7</sup>, flexible para transporte hasta 40 longitudes de onda en la banda C o en la banda L.

### 1.6.1 Estructura interna del Equipo

A continuación en la figura 1.8 se encuentra el diagrama interno del ROADM, en el cual se pueden observar las conexiones internas de las tarjetas de control, los amplificadores, los multiplexores y demultiplexores.

---

<sup>7</sup> ROADM significa que el dispositivo es reconfigurable (Reconfigurable Optical Add Drop Multiplexer)

Como se observa, el amplificador es uno de los elementos más importantes del equipo, ya que con el amplificador es que se comunican mayormente las tarjetas de control OSC y OCM, a las cuales se les describirá su funcionamiento más adelante.

Además, dentro del equipo se tiene un DWS (Dynamic Wave Selector), el cual identifica que longitudes de onda se deben seleccionar, extraer o insertar en el tráfico y como podemos observar, también posee conexión directa con el amplificador.

### **1.6.2 Interfaces del Equipo**

A continuación vamos a describir las interfaces con las que cuenta el equipo, se hará una descripción específica de cada una ya que anteriormente se mencionaron algunas funciones de partes que componen al multiplexor DW4200, sin embargo no se profundizó en el tema.

Para comenzar, se iniciará con la etapa de control y supervisión del sistema SpectralWave DW4200.

- ✓ *OCM (Optical Controller Master)*, o controlador maestro óptico, es el que se encarga de sensar los niveles de la señal óptica a la entrada para mantenerlos constantes para los 40 canales. Tal como se ve en la figura 1.8
- ✓ *OSC (Optical Supervisory Channel)*, o canal de supervisión, se encarga de supervisar lo que se recibe y su función principal es establecer la comunicación de datos para el control y gestión del equipo. Además trabaja en forma conjunta con el OCM, tal como se muestra en la figura 1.9
- ✓ *SCIF (System Controller Interface)*, establece la comunicación entre el SCRM y el EXBUS2.

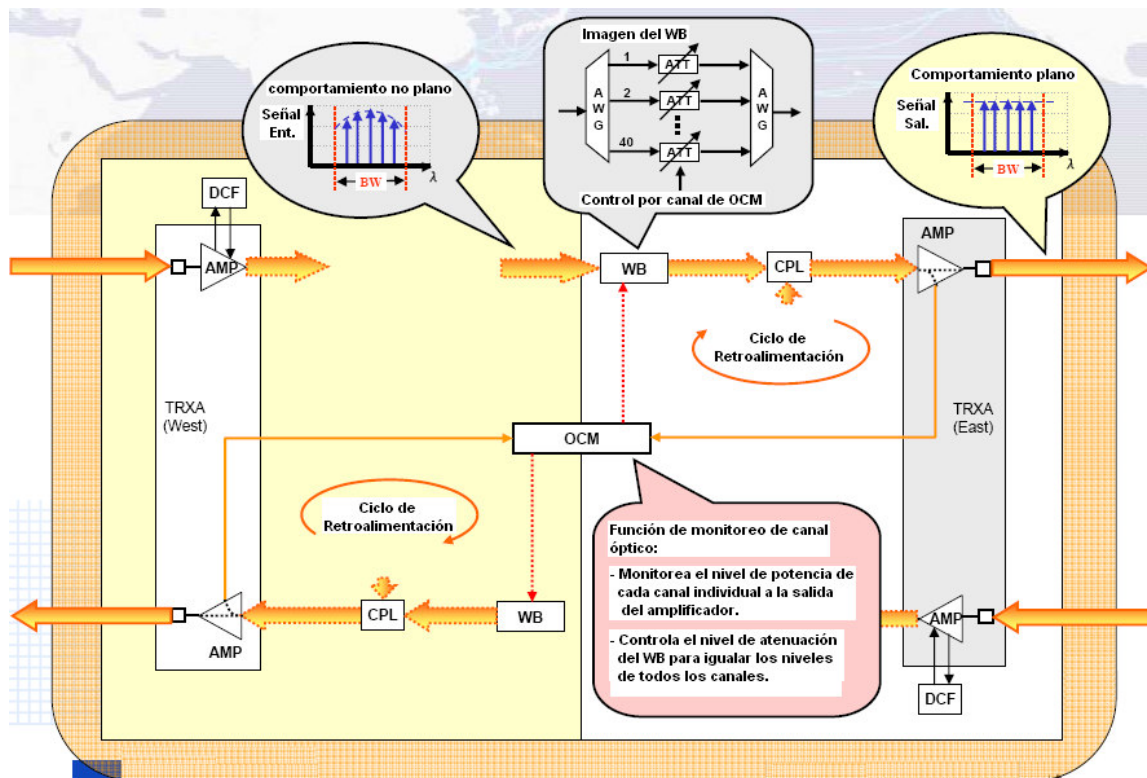


Figura 1.8: Funcionamiento del OCM

- ✓ *EXBUS2 (Extension Bus)*, conduce la comunicación con el SCRM y el SCIF. Esto se lleva cabo a un nivel de conversión para el bus serial pues monitorea la energía primaria, los ventiladores y recolecta las alarmas para notificarlas al SCRM.
- ✓ *SCRM (System Controller ROADM)*, se comunica con estaciones vecinas a través de los canales de comunicación (empotrados), con la longitud de onda dedicada a la administración que posee el OSC.

En segundo lugar se va a describir la etapa de amplificación y compensación, la cual es la más importante en el funcionamiento del equipo.

- ✓ *TRXA*: Este es el amplificador, el cual se encarga de amplificar la señal óptica durante la transmisión y como pre-amplificador en la recepción.

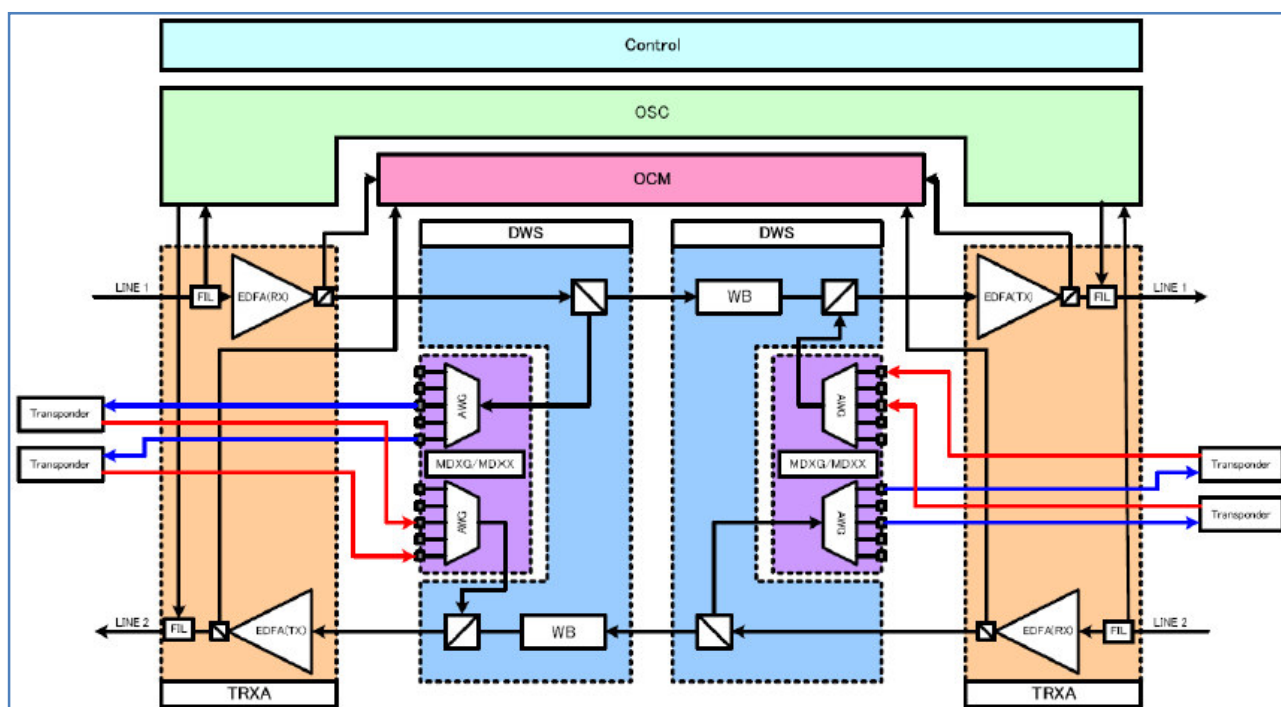


Figura 1.9: Diagrama interno del DW4200

- ✓ *DCF (Dispersion Compensation Fiber)*, esta interfaz es un compensador de dispersión de fibra, la cual reduce el efecto de la dispersión positiva<sup>8</sup>. Esta interface internamente posee fibra óptica caracterizada por tener dispersión negativa para reducir el ensanchamiento del pulso óptico.

Posterior a la etapa de amplificación y compensación sigue la etapa de multiplexación, la cual se compone del Muldex, el cual a la vez trabaja de forma conjunta con el selector longitud de onda dinámico DWS.

- ✓ *MDXF (MulDex)*, o bien multiplexor/demultiplexor, se encarga de multiplexar las señales ópticas que entran y salen a través del TRXA para las 40 longitudes de onda, ya que internamente posee un DWS (Selector de onda dinámico), el cual selecciona las longitudes de onda que van de paso (THRU), las de inserción (ADD) y las de extracción (DROP).

Finalmente se describe la etapa de transponders, la cual es la que adapta la señal del lado del cliente a la red DWDM.

- ✓ *TPDF16*: Esta interface es un transpondedor, el cual convierte un OC-48 (STM-16)<sup>9</sup> en una señal de longitud de onda WDM y viceversa. Este tipo de transpondedor posee una característica principal que no es sintonizable, es decir se encuentra destinado para una longitud de onda ya establecida por el fabricante NEC y que no se puede cambiar o modificar, sin embargo se puede dar el caso que para otro fabricante, este tipo de transponder si sea sintonizable. Esto es así porque las interfaces TPDF16 serán utilizadas para transporte de tráfico intra-office<sup>10</sup>.

---

<sup>8</sup> La dispersión positiva consiste en generar un ensanchamiento del pulso óptico debido a la distancia recorrida a través del medio óptico y la dispersión negativa consiste en reducir el ensanchamiento.

<sup>9</sup> OC-X Es simbología ANSI (Estadounidense) y STM-X es simbología establecida por UIT.

<sup>10</sup> Se le llama Intra-Office ya que esas interfaces están destinadas para comunicación a corta distancia dentro de edificios.

- ✓ *XGBERF*: Convierte 10GbE a una señal de longitud de onda WDM y viceversa. Se utilizará para introducir tráfico de video y datos a la red WDM y viceversa.
- ✓ *TPF64N*: Esta interface también es un transpondedor que convierte un OC-192 (STM-64) en una señal de longitud de onda WDM y viceversa. Se utilizará para trasportar tráfico de TDM, IP y Video.

En la tabla 1.2 se describen algunas especificaciones técnicas de los transponder, las cuales se tomaron en cuenta para determinar el tipo de transponder a utilizar y para tomar las precauciones del caso en cuanto a los niveles ópticos en los receptores, ya que de lo contrario se corre el riesgo de dañar los laser en los receptores.

En las especificaciones de la tabla 1.2 para las interfaces SR1/I-64.1, SR2/I-64.2, IR2/S-64.2b y PIL1-2D2, cada una de las letras nos indica información preliminar del tipo de interface, por ejemplo:

La letra I indica que la interface se utiliza para trafico Intra-office, la letra S significa corto alcance (Short), la letra L largo alcance (Long). Los números que se encuentran como I-64 significan que reciben información del lado cliente para un STM-64 y los números que se encuentran después del punto significa que el .1 trabaja en la ventana de 1330nm y el .2 trabaja en la ventana de 1550nm.

| Item                                  | Parámetro                | Especificaciones                                                               |              |              |              |
|---------------------------------------|--------------------------|--------------------------------------------------------------------------------|--------------|--------------|--------------|
| Interface óptica del lado del cliente | Tipo de Cliente          | SR1/I-64.1                                                                     | SR2/I-64.2   | IR2/S-64.2b  | PIL1-2D2     |
|                                       | Tasa de Línea            | 9.95328Gbps                                                                    |              |              |              |
|                                       | Codificación de Línea    | Binario NRZ                                                                    |              |              |              |
|                                       | Tipo de Conector         | OPT IN: SC (del lado del cliente)<br>OPT OUT: SC (hacia el equipo del cliente) |              |              |              |
|                                       | Cable de Fibra Aplicable | SMF (Monomodo)                                                                 |              |              |              |
|                                       | IN                       | Longitud de onda                                                               | 1290-1330nm  | 1530-1565nm  | 1530-1565nm  |
|                                       |                          | Nivel de potencia                                                              | -11 a -1 dBm | -14 a -1 dBm | -14 a -1 dBm |
|                                       | OUT                      | Longitud de onda                                                               | 1290-1330nm  | 1530-1565nm  | 1530-1565nm  |
|                                       |                          | Potencia de sal.                                                               | -6 a -1 dBm  | -5 a -1 dBm  | -1 a 2 dBm   |
|                                       |                          | Nivel mínimo                                                                   | ≥6dB         | ≥8.2dB       | ≥8.2dB       |
| Lado WDM                              | Tasa de Línea            | 10.70923Gbps                                                                   |              |              |              |
|                                       | Codificación de Línea    | Binario NRZ                                                                    |              |              |              |
|                                       | Tipo de Conector         | λ IN: MU (hacia el muldex)<br>λ OUT: MU (al muldex)                            |              |              |              |
|                                       | Cable de Fibra Aplicable | SMF (Monomodo)                                                                 |              |              |              |

Tabla 1.2: Características técnicas de las interfaces a utilizar

### 1.6.3 Especificaciones Técnicas del Equipo

- a) Transporte óptico en la capa de núcleo y de distribución
  - ✓ Número de longitudes de onda: 40 hasta 80 lambdas
  - ✓ Tasa de Bit: STM16 (2.5Gbits), STM64 (10Gbits) y 10GbE.
  - ✓ Operación de las longitudes de onda: Banda C y Banda L
- b) Flexibilidad y Desempeño en ROADM
  - ✓ Acción inserción/extracción en un 100% de las longitudes de onda
  - ✓ Control Remoto de acción inserción/extracción
- C) Topología de configuración
  - ✓ Anillo, Punto a Punto, Cadena lineal y malla.

## 1.7 Modalidades de Trabajo del DW4200

El DW4200 tiene tres Configuraciones de trabajo que son: ADD/DROP (inserción y extracción), THRU (Acción de paso) las cuales se describen a continuación.

### 1.7.1 ADD/DROP

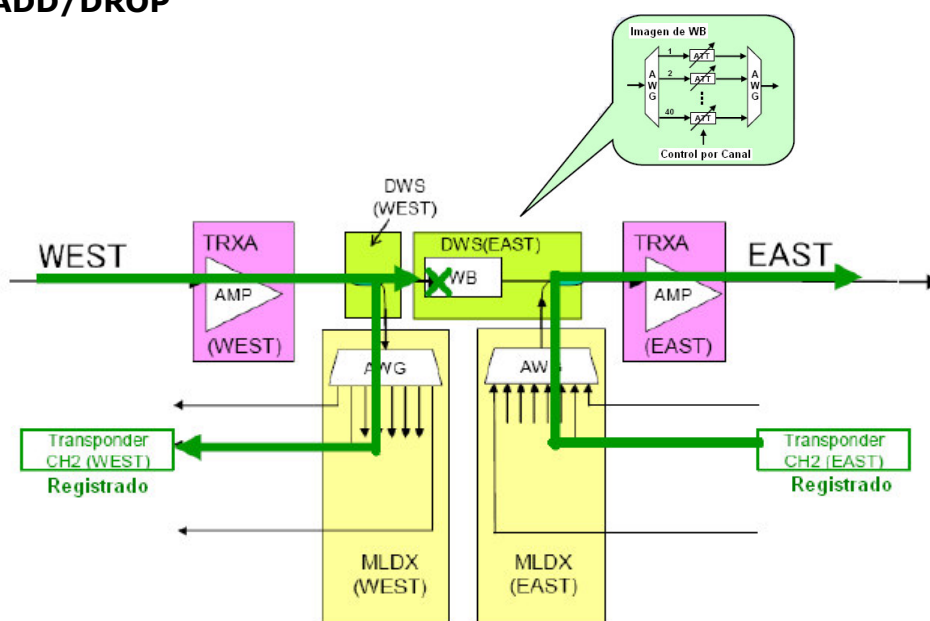


Figura 1.10: Acción Inserción/Extracción

En esta configuración, el canal 2<sup>11</sup> proveniente de la dirección Oeste (West) puede ser terminado en esta estación siempre y cuando se registre<sup>12</sup> el transponder.

Además para este caso, el WB (Wave Blocker) debe configurarse para bloquear el canal 2 (CH2) para evitar que pase del Oeste al Este en la misma estación. Debido a que el canal 2 ha sido bloqueado, el CH2 puede ser utilizado por otro servicio de transporte por medio del registro de otro transponder hacia la dirección Este.

El mismo registro para el WB se aplica en la dirección opuesta del tráfico (Este a Oeste).

<sup>11</sup> Ver canal 2 en tabla 1.1, en la sección de plan de canalización de lambdas.

<sup>12</sup> Registrar significa habilitar el transponder ingresando al sistema operativo del DW4200.

### 1.7.2 THRU

En esta configuración, el canal 2, proveniente del lado Oeste (West), tiene que irse de paso a través de la estación representada en la figura 1.11 para terminar en una estación remota.

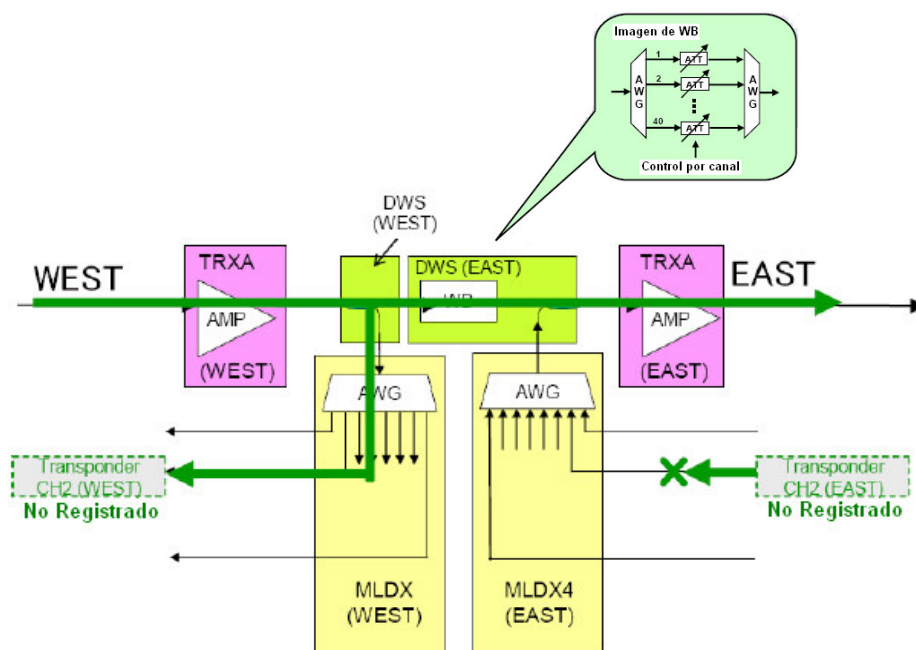


Figura 1.11: Acción de paso

En este caso el WB debería de permitir el acceso al canal 2 para que pueda pasar del Oeste al Este. Debido a que el canal 2 pasa de extremo a extremo, los transponder para este canal no pueden ser registrados excepto en dirección del Oeste, tal como se muestra en la figura 1.11; El WB se registra de igual forma que la configuración anterior y aplica de Oeste a Este y viceversa.

## 1.8 Configuraciones del Equipo

Las formas en que se puede configurar el equipo son las siguientes: POADM<sup>13</sup> (Passive Optical Add/Drop Multiplexer), Terminal (Solo un lado),

<sup>13</sup> Esta terminología es únicamente utilizada por NEC, por lo tanto su significado puede variar según el fabricante.

ROADM (Reconfigurable OADM), y finalmente la configuración ILA (Interline Amplifier).

### 1.8.1 POADM (Passive OADM)

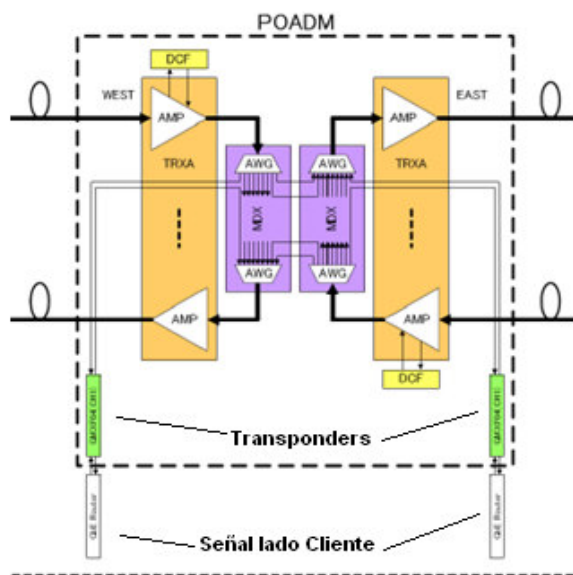


Figura 1.12: Configuración POADM

Esta configuración se caracteriza por no causar ningún efecto de bloqueo de la señal, ya que carece de un bloqueador de onda WB de ahí es que recibe el nombre de pasivo, tal como se muestra en la figura 1.12

Además se puede observar que esta configuración proporciona acceso en dos direcciones, hacia el Este y Oeste.

### 1.8.2 Terminal

Esta configuración es similar a la anterior, con la diferencia que solamente proporciona acceso a un lado del cliente.

### 1.8.3 ROADM (Reconfigurable OADM)

Reconfigurable quiere decir dos cosas: La primera es que el usuario puede establecer a que longitud de onda trabajará el Transponder, entonces se puede decir que es sintonizable.

La segunda es que los canales que se envían se pueden enviar de paso, se pueden extraer e insertar. A esta última se le conoce como modalidad ADD/DROP, descrita anteriormente.

Esta configuración permite la habilidad de conmutar remotamente el tráfico proveniente de un sistema WDM a la capa de longitudes de onda. Esto permite transportar los datos de los canales de individuales o múltiples longitudes de onda para ser insertados o extraídos de la fibra de transporte sin la necesidad de convertir las señales WDM a señales eléctricas y viceversa.

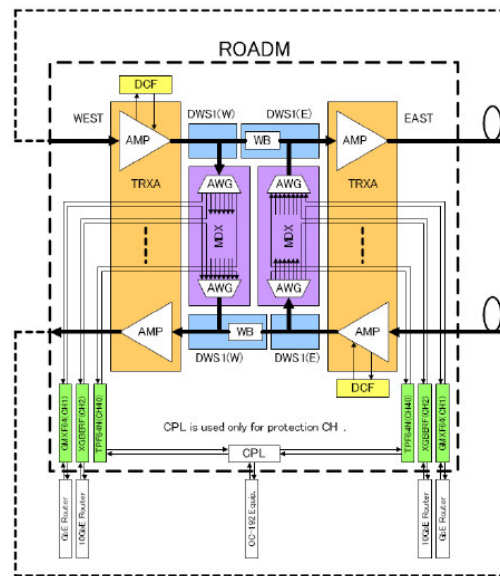


Figura 1.13: Configuración ROADM

ROADM posee muchas ventajas, entre ellas: La planeación completa de la asignación del ancho de banda puede llevarse a cabo durante la disposición inicial del sistema, es decir que la configuración puede hacerse cuando esta sea requerida sin afectar el tráfico ya existente en el ROADM. Otra ventaja de esta configuración es que permite la configuración remota y la reconfiguración del equipo.

#### 1.8.4 ILA (Interline Amplifier)

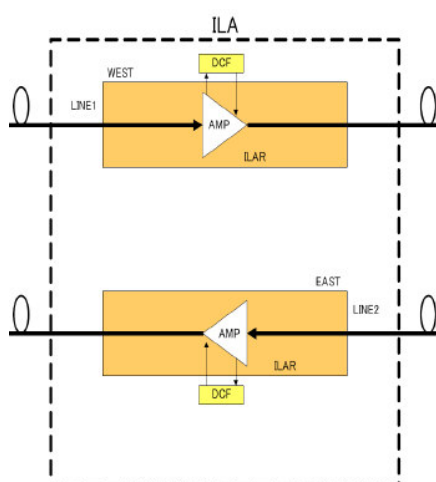


Figura 1.14 Configuración ILA

En esta configuración el DW4200 se utiliza como regenerador de señal, ya que posee un amplificador que trabaja de forma conjunta con el DCF, el cual corrige la señal, reduce la dispersión del pulso óptico a través de fibra óptica con dispersión negativa que posee internamente y amplifica la señal atenuada debido a la longitud del cable de fibra.

## 1.9 Mecanismos de Protección

Para comenzar es necesario mencionar que en redes ópticas, diseñadas estratégicamente, siempre existen dos caminos o trayectorias, los cuales están compuestos por dos cables de fibra óptica, uno para transmisión y otro para recepción. Dichos trayectos se dividen en dos modalidades: Un trayecto de trabajo y uno de protección. El primero es el que transporta el tráfico de la red en condiciones normales y el segundo es el que proporciona un camino alternativo al tráfico de la red en caso de fallo.

### 1.9.1 SNCP (Subnetwork Connection Protection)

El mecanismo de protección empleado para esto es SNCP (*Subnetwork Connection Protection*), el cual posee su equivalente en SONET que es UPSR (*Unidirectional Path-Switched Ring*). Este mecanismo se forma en una topología de anillos concéntricos, los cuales están unidos por una fibra de trabajo y otra de protección, tal como se muestra en la figura 1.15

El tráfico de A-B se manda simultáneamente por la fibra de trabajo en sentido horario y por la fibra protección en sentido anti horario. La protección se realiza a nivel de camino o sección de canal de la siguiente manera: El nodo B monitorea de forma continua el estado de las conexiones de la fibra de trabajo y de la fibra de protección. Si se produce un fallo, por ejemplo de A-B, entonces B conmuta a la fibra de protección y continúa recibiendo tráfico.

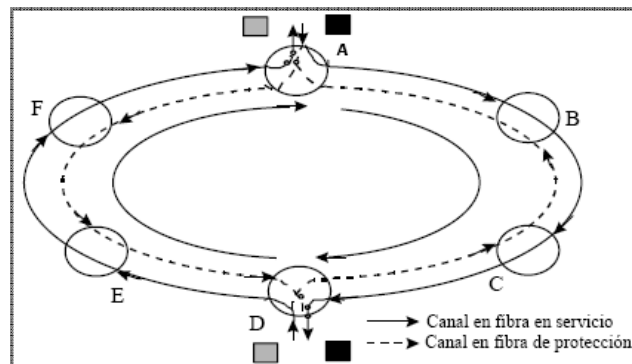


Figura 1.15: Mecanismo de Protección SNCP

### 1.9.2 MS-SPRing/2 (Multiplex Section-Shared Protections Ring)

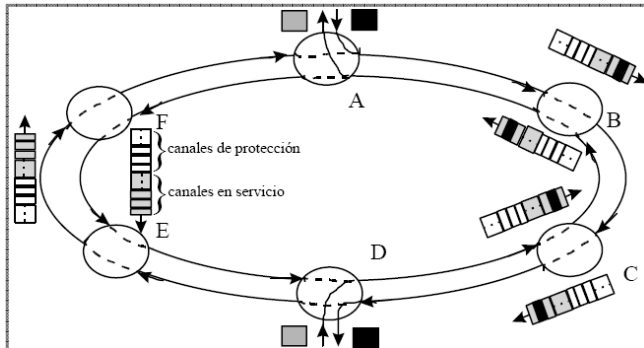


Figura 1.16: Protección Bidireccional

Su equivalente en redes SONET es BLSR (*Bidirectional Line Switched Ring*) de 2 fibras. En esta modalidad, las fibras de trabajo y de protección no se diferencian entre sí, es decir se encuentran embebidas en las mismas fibras de trabajo.

La forma de operar es la siguiente: La capacidad de cada

fibra se divide en dos mitades, una mitad para el tráfico y la otra para la protección. En la figura 1.16 puede observarse que no es posible la realización de la conmutación de enlace como medida de protección, sin embargo la protección en anillo si se puede llevar a cabo.

Una ventaja que posee este mecanismo de protección es que el ancho de banda de protección puede emplearse en ausencia de fallos para tráfico de baja prioridad. Este tráfico se corta en caso de fallo.

En términos generales, MS-SPRing es más eficiente que SNCP para soportar tráfico distribuido ya que la capacidad de protección se comparte entre todas las conexiones.

A continuación se presenta un cuadro comparativo para reconocer las diferencias y similitudes entre los mecanismos de protección.

El mecanismo de protección que se utilizará para la red WDM será SNCP (Subnetwork Connection Protection), debido a que WDM es un sistema que trabaja en topologías punto a punto, por lo tanto se necesita una conmutación de camino y no de anillo, en el caso que se presente un fallo en la red.

| Parámetro               | SNCP (UPSR)           | MSPRing/2 (BLSR/2)    |
|-------------------------|-----------------------|-----------------------|
| Pares de fibra          | 1                     | 1                     |
| Pares Tx/Rx/nodo        | 2                     | 2                     |
| Tipo de Protección      | Dedicada              | Compartida            |
| Capacidad de protección | =Capacidad de trabajo | =Capacidad de trabajo |
| Fallo de Enlace         | Conmutación de camino | Conmutación de anillo |
| Fallo de Nodo           | Conmutación de camino | Conmutación de anillo |
| Velocidad de Restaurac. | Rápida                | Lenta                 |
| Implementación          | Simple                | Compleja              |

Tabla 1.3: Cuadro comparativo entre mecanismos de protección de trayecto

## **CAPITULO II**

### **Caracterización de la Fibra óptica Monomodo**

#### **Para una red DWDM**

### **2.0 Introducción Teórica**

Este capítulo contiene información acerca de las características y el tipo de fibra óptica utilizada para la realización del proyecto el cual está basado en normas internacionales UIT G652. Dicha recomendación está descrita a lo largo de este capítulo para una mejor comprensión del tema.

Además en esta etapa de la investigación se ha considerado ciertas condiciones de diseño como por ejemplo: Los parámetros significativos de la fibra óptica (G652) utilizada en el proyecto como son: la dispersión cromática, la dispersión por modo de polarización y la atenuación en los diferentes puntos (empalmes, conectores, núcleo de la fibra, etc.)

Todos estos aspectos mencionados anteriormente, están involucrados directamente en el proceso de certificación de fibra óptica ya que se considerará las fibras que presenten menor nivel de atenuación, dispersión cromática y dispersión por modo de polarización. Dicho proceso de certificación engloba una serie de actividades, las cuales implica hacer mediciones, pruebas, consideraciones especiales, y más, con el fin de asegurar la funcionalidad del proyecto y la disponibilidad del medio óptico de transmisión.

## **2.1 Alcances del Proceso de certificación**

Para el proceso de caracterización de la fibra óptica que se utilizará como medio de transmisión para la realización del proyecto, se deben tener en cuenta los siguientes aspectos de normalización.

- La descripción y el ensayo de la fibra monomodo que se utilizará para el proyecto, con cuadros de parámetros en los que se describirá las variaciones de estos y el comportamiento que tienen frente al medio de transmisión.
- La definición de los parámetros y los métodos de prueba para determinar las características de fiabilidad geométrica, de transmisión y mecánicas.

En el marco de esta cuestión se han de considerar las siguientes recomendaciones:

- G650: Definición y métodos de prueba de los parámetros pertinentes de las fibras monomodo.
- G652: Características de un cable de fibra óptica monomodo.

Estas dos recomendaciones están básicamente encaminadas a resolver los siguientes interrogantes que deben ser parte de las premisas de diseño de la red de transporte basada en fibra óptica:

- ¿Qué características deben tener las fibras para admitir velocidades binarias de 10 Gbits/s y superiores con multiplexación por división de tiempo (TDM) e IP?
- ¿Qué características deben tener las fibras para admitir sistemas que combinan formatos de modulación analógicos y digitales?
- ¿Qué características deben tener las fibras para abrir nuevas regiones de transmisión espectral a medida que aumenta la banda de paso de los amplificadores ópticos y el número de canales multiplexados por división de longitud de onda?

- ¿Qué características concretas deben tener las fibras para admitir sistemas en las redes metropolitanas?
- ¿Cómo se pueden caracterizar y controlar los efectos ópticos no lineales que acompañan la reducción del esparcimiento entre canales?

En cuanto a la selección de las características físicas y mecánicas:

- Propiedades geométricas, mecánicas y ópticas del vidrio y el revestimiento para aplicaciones monofibra.
- Determinación del modo según el cual la atenuación, la dispersión cromática y la pérdida por reflexión de las fibras afectan su utilización en torno a 1500nm.

## **2.2 Pasos para el Proceso de Caracterización de la F.O.**

A continuación se explicarán los pasos para determinar los parámetros que se medirán para establecer las condiciones de la fibra óptica y determinar cuáles hilos de fibra se utilizarán para la realización de este proyecto. En primer lugar se medirá la atenuación en la fibra óptica, para ello se empleará el OTDR.

### **2.2.1 Paso 1: Mediciones de Atenuación con OTDR**

El OTDR<sup>14</sup> es un instrumento de medición (reflectómetro óptico digital en el dominio del tiempo) que envía pulsos de luz, a la longitud de onda seleccionada, entorno de la tercera ventana de 1550nm, para luego medir sus "ecos"<sup>15</sup>. Los datos obtenidos con el OTDR<sup>16</sup>, son promediados y luego se grafican en una pantalla donde se muestra el nivel de señal en función de la distancia (atenuación).

Luego de medir los ecos se podrá medir atenuaciones de los diferentes tramos de fibra, atenuación de empalmes y conectores, atenuación entre dos

---

<sup>14</sup> Este tipo de dispositivos se comercializan para diferentes rangos de longitudes de onda.

<sup>15</sup> Tiempo que tarda en recibir una reflexión producida a lo largo de la fibra óptica.

<sup>16</sup> El OTDR únicamente puede medir la atenuación, los demás parámetros se miden con un analizador espectral.

puntos, etc. Como podemos ver el OTDR es una herramienta que juega un papel muy importante en la localización, análisis de empalmes, detección de roturas y conectores mal enroscados.



Figura 2.1: OTDR

La clave del funcionamiento del dispositivo consiste en inyectar un pulso en un extremo de la fibra y capturar la energía reflejada que se recibe en ese mismo extremo en función del tiempo, de tal forma que la variable del tiempo pueda relacionarse directamente con la variable distancia de propagación. El equipo procesa esta información y representa la medida de pérdidas en dB en función de la distancia, junto con los cálculos de los principales parámetros del enlace.

En síntesis el OTDR aprovecha los fenómenos presentes en la F.O. para analizar y entregar un resumen detallado de la situación. El OTDR aprovecha dos cualidades de la fibra óptica, que son: El esparcimiento de Rayleigh y Reflexión de Fresnel.

*Esparcimiento de Rayleigh:* Es la dispersión de la luz o cualquier otra radiación electromagnética por partículas mucho menores que la longitud de onda de los fotones dispersados, tal como se muestra en la figura 2.2, esto se da debido a que el material de la fibra posee pequeñas imperfecciones las cuales se producen durante el proceso de fabricación, es decir que el material no es homogéneo en su totalidad.

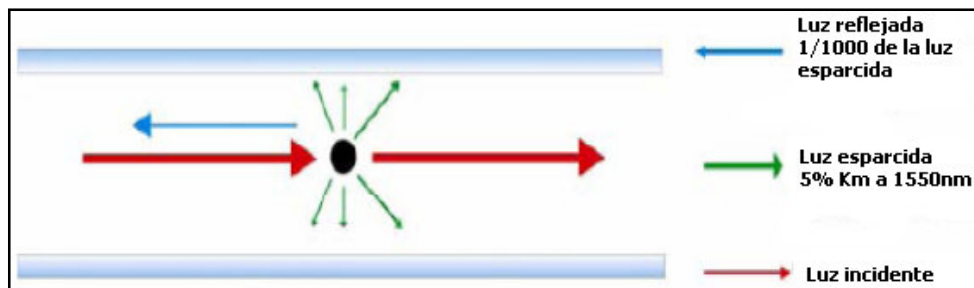


Figura 2.2: Esparcimiento de Rayleigh en el medio óptico

**Reflexión de Fresnel:** Ocurre cuando hay un cambio en el índice de refracción de la fibra, es decir que este fenómeno se da debido a la variación de índice de refracción en los puntos de unión como por ejemplo: Conectores y empalmes. Para comprenderlo observemos la figura 2.3, la cual describe gráficamente este fenómeno.

El OTDR construye un gráfico como el de la figura 2.4, el cual muestra los diferentes puntos donde puede haber atenuación. Como podemos ver la atenuación ocurre en los diferentes puntos de un sistema de transmisión óptica, por ejemplo en el par de conectores, en los empalmes, en los dobleces de la fibra o en el final de la fibra.

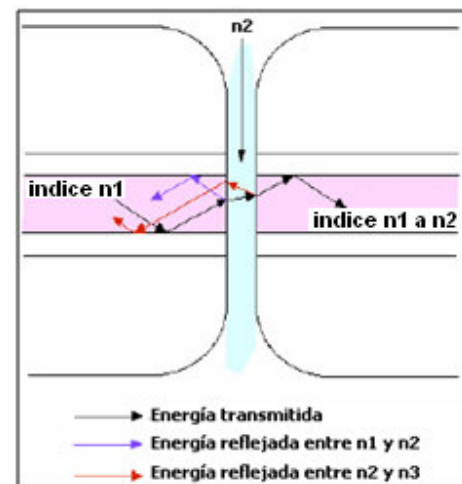


Figura 2.3: Reflexión de Fresnel

### 2.2.2 Definición de Atenuación

Para que un material sea considerado como posible material de fibra óptica, este tiene que ser altamente transparente a la radiación electromagnética de las longitudes de onda en la región de  $1\mu\text{m}$ .

El parámetro de atenuación podría ser clasificado ampliamente en dos principales grupos:

- a) Absorción: Consiste en la absorción de la luz, transformándola en calor. Esto significa que parte de la luz se irá perdiendo a lo largo del trayecto y por lo tanto la señal óptica se encontrará atenuada al final del tramo de F.O.

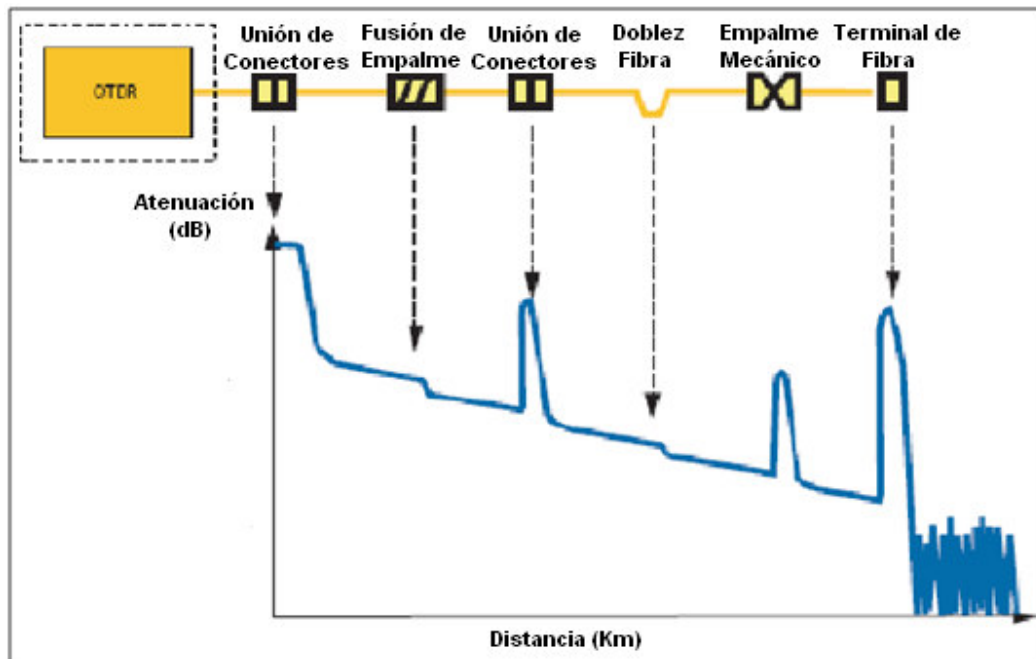


Figura 2.4: Gráfico de Lectura del OTDR

- b) Esparcimiento de Rayleigh: Podría ser parcialmente, una propiedad del material pero también es causado por las imperfecciones en la geometría de la fibra, impurezas o cambios en el índice de refracción de la fibra. Esto ocurre cuando el modo de propagación de la luz es cambiado por las propiedades moleculares de la fibra, lo que da como resultado una fuga de la señal dentro del revestimiento.

La atenuación, influye directamente en la potencia óptica de la señal, la cual tiene un comportamiento exponencial conforme avanza en la dirección positiva  $x$ , al igual que en los demás tipos de líneas. Si consideramos sólo la intensidad de la señal, en función de la distancia  $x$ , de la potencia inicial  $P_0$  y de su coeficiente de atenuación  $\alpha$ , la potencia óptica está dada por la siguiente ecuación:

$$P(x) = P_0 \cdot e^{-\alpha x}$$

Ec 2.1

Con base en lo mencionado en el párrafo anterior, el coeficiente de atenuación  $\alpha$ , depende de varias variables y de la frecuencia.

El material de la fibra, sus impurezas y las tolerancias de manufactura determinan finalmente la curva exacta de atenuación; tal como se muestra en la figura 1.6, las pérdidas se redujeron significativamente cerca de los 1550nm.

En resumen, el límite teórico para el coeficiente de atenuación  $\alpha$  depende de la frecuencia de operación y es menor conforme aumenta la longitud de onda.

Finalmente, la atenuación exacta depende de varios factores como perdidas por absorción debidas a impurezas en el material de la fibra; pérdidas por esparcimiento de Rayleigh, debidas a imperfecciones en el proceso de fabricación; pérdidas por dispersión cromática o modal, debidas a que las fuentes ópticas no son monocromáticas; pérdidas por radiación causadas por irregularidades en la fibra y pequeños dobleces que se convierten en discontinuidades; y finalmente pérdidas por acoplamiento.

La atenuación por definición, se compone de varios factores, según la norma G652 tal como se muestra en la ecuación 2.2

$$A = \alpha L + \alpha_s x + \alpha_c y$$

Ec. 2.2

Donde  $\alpha$  es el coeficiente típico de atenuación de un cable de fibra,  $\alpha_s$  es la pérdida en los empalmes, "x" es el número de empalmes en el enlace,  $\alpha_c$  es la pérdida en los conectores de línea, "y" es el número de conectores en el enlace y finalmente "L" es la longitud del enlace.

### 2.2.3 Paso 2: Mediciones con Analizador espectral

Con el objetivo de realizar una caracterización de los tramos de fibra solicitados se requiere que para cada tramo se midan los siguientes parámetros:

- Medición de dispersión por Modo de Polarización (PMD)
- Mediciones de Dispersión Cromática (CD)

#### **2.2.4 Dispersión Cromática (CD)**

Se define como el ensanchamiento del pulso óptico en la fibra óptica y es causada por la variación del índice de la fibra óptica en relación con la longitud de onda. Además la dispersión cromática genera un retardo entre las diferentes longitudes de onda, incrementa la distorsión y aumenta la tasa de bits errados BER (Bit error rate).

Debido al ensanchamiento del pulso óptico, es necesario reducir la velocidad de transmisión en el medio óptico y reducir la distancia entre las estaciones, lo que implicaría colocar repetidores.

El proceso de medición de CD se realiza con un analizador espectral de dispersión, el cual proporciona los valores de retardo de grupo en función de la longitud de onda. A partir de este retardo se determina el coeficiente de dispersión.

#### **2.2.5 Dispersión de los Modos de Polarización (PMD)**

Se define como el resultado de la diferencia de velocidades de grupo de los modos de distinta polarización. Esto produce una combinación aleatoria de modos de distinta polarización en la fibra óptica y empieza a ser notorio cuando las velocidades de transmisión se acercan o superan los 2.5Gbps.

El valor de PMD podría aumentar debido a la mala disposición de la fibra, debido al aplastamiento durante la instalación, micro fisuras en el núcleo de la fibra, tensión excesiva, etc.

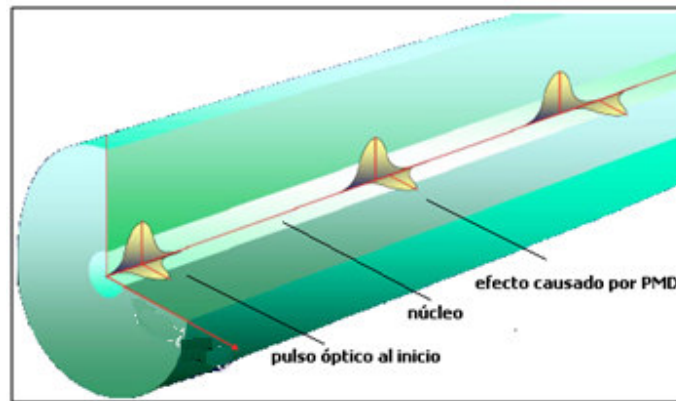


Figura 2.5: Polarización por modo de dispersión

En síntesis, la causa principal de PMD es la asimetría de la fibra, cuando ésta no es completamente circular. Como regla la máxima DGD instantánea es aproximadamente 3.2 veces la DGD<sup>17</sup> promedio de la fibra.

La solución para evitar este tipo de fenómeno, es disminuir la distancia del sistema de transmisión hasta que el retardo se encuentre dentro de los límites del equipo, es decir, que la dispersión de la sección sea menor a la permisible por el receptor. En caso contrario será necesario utilizar repetidores en configuración ILA (Interline Amplifier).

### 2.3 Parámetros de Diseño

Uno de los parámetros importantes en el diseño de una red DWDM es encontrar el valor de PMD, tomando en cuenta el valor típico establecido por UIT G.652 y otros factores que podrían hacer variar los datos obtenidos en las mediciones.

Establecer el valor PMD en un cable de fibra óptica, nos sirve para determinar la distancia máxima que puede existir entre dos estaciones, con el fin de regenerar la señal para obtener un valor de relación señal a ruido aceptable. La dispersión de modos de polarización se define de la siguiente manera:

<sup>17</sup> (Promedio de retardo de grupo diferencial), es la separación en el tiempo o retardo entre dos principales modos de distinta polarización en el receptor.

$$PMD = \sqrt{Distancia} \cdot PMD_Q \quad \text{Ec 2.3}$$

Donde  $PMD_Q$  es el coeficiente de PMD de la fibra, el cual puede obtenerse a través de una serie de pruebas y mediciones en los enlaces de fibra óptica. Por definición este coeficiente es de la siguiente manera:

$$PMD_Q = \frac{Xps}{\sqrt{Km}} \rightarrow \text{donde } PMD < 1 \quad \text{Ec 2.4}$$

Donde "x" es un valor cualquiera de  $PMD_Q$ , para un PMD menor que uno.

| Tasa de Bit por canal | SDH      | SONET  | Límite de retraso PMD |
|-----------------------|----------|--------|-----------------------|
| 55Mb/s                | N/A      | OC-1   | 2ns                   |
| 155Mb/s               | STM-1    | OC-3   | 640ps                 |
| 622Mb/s               | STM-4    | OC-12  | 160ps                 |
| 1.2Gb/s               | N/A      | OC-24  | 80ps                  |
| 2.5Gb/s               | STM-16   | OC-48  | 40ps                  |
| 10Gb/s                | STM-64   | OC-192 | 10ps                  |
| 40Gb/s                | STM-256  | OC-768 | 2.5ps                 |
| 10Gb/s                | Ethernet | -      | 5ps                   |

Tabla 2.1: Valores máximos de PMD definidos por la tasa de bit

En caso de que la señal óptica proveniente del lado del cliente sea de un STM-64, el valor de PMD (ps) debe ser menor a 10ps de terminal a terminal, de lo contrario el tráfico podría verse afectado. Por otra parte, si el tráfico proveniente del lado del cliente sea de un STM-16, el valor de PMD (ps) debe ser menor a 40ps entre terminales, de modo que si el valor de PMD sobrepasa los 40ps el tráfico se verá afectado (Ver tabla 2.1).

Por ejemplo supongamos que tenemos dos estaciones llamadas A y B, las cuales se encuentran a una distancia de 120Km y su coeficiente de PMD obtenido a través de mediciones fue de  $6.3ps/\sqrt{Km}$  y necesitamos conocer el valor de PMD existente en la F.O. para determinar cuál es la distancia máxima permisible entre las dos estaciones. El problema se resuelve de la siguiente manera:

Utilizando la ecuación 2.1 se obtiene el primer resultado.

$$PMD = \sqrt{120Km} \cdot \frac{6.3ps}{\sqrt{Km}} = 69.01ps \quad \text{Ec 2.5}$$

Como podemos ver el resultado es mucho mayor que lo establecido por la recomendación UIT G.650 de manera que este resultado afectaría el tráfico proveniente tanto de una señal de cliente de STM-16 ó de STM-64.

Al hacer el cálculo inverso utilizando un PMD de 10ps encontramos la distancia máxima que debe existir entre las estaciones A y B.

$$Distancia_{MAX} = \left( \frac{10ps}{6.3ps/\sqrt{Km}} \right)^2 = 2.5Km \quad \text{Ec 2.6}$$

Es decir que la distancia máxima entre estaciones es de 2.5Km, esto significa que para un valor de PMD de 6.3ps en una F.O. que se utilizará para la transmisión de 10Gbps, será necesaria la instalación de un repetidor por cada 2.5Km, Lo que hace un total de 47 repetidores para una distancia de 120Km.

## 2.4 Topología de la Red DWDM

Ahora que se han definido los parámetros más importantes que podrían afectar el tráfico, es necesario determinar la topología de la red, tomando en cuenta las recomendaciones establecidas con anterioridad en la sección 2.3, la topología estará formada por tres anillos de fibra óptica, uno a continuación del otro y se les identificará con el nombre de A<sub>CENTRO</sub>, A<sub>ORIENTE</sub>, A<sub>OCCIDENTE</sub>.

A continuación en la figura 2.7 se presenta el esquema de la topología de la red DWDM.

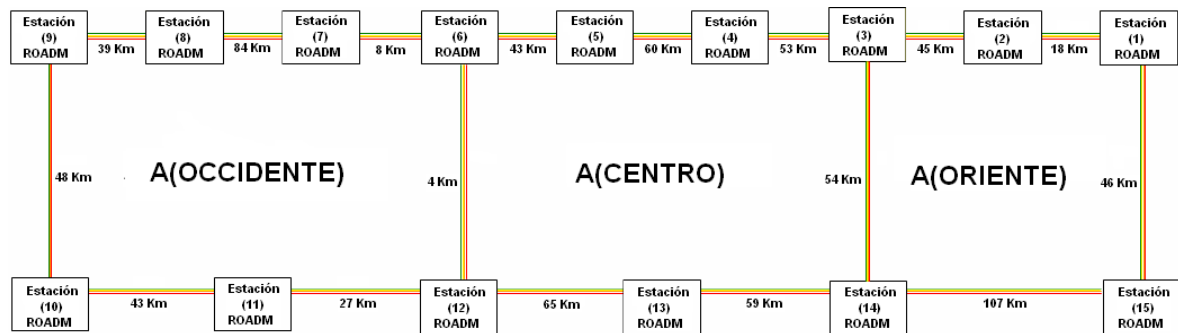


Figura 2.6: Topología de la Red DWDM

Ahora que ya están definidos los tramos en los que se harán las mediciones, el próximo paso es determinar el estado de las fibras y para ello se harán las mediciones de atenuación, Dispersión Cromática y Dispersión por Modo de Polarización.

## 2.5 Medidas Tomadas con OTDR

En la siguiente tabla se muestran los valores obtenidos de Atenuación en dB, así como también cada uno de los tramos en donde se realizó la medición.

| F.O de Origen |       | Estado<br>Fibras | F.O de Destino |       | Medición OTDR     |                     |                        |
|---------------|-------|------------------|----------------|-------|-------------------|---------------------|------------------------|
| Origen        | Fibra |                  | Destino        | Fibra | Distancia<br>(Km) | Atenuación<br>dB*Km | Atenuación<br>Total dB |
| Estación 11   | 1     | Libre            | Estación 10    | 1     | 51.8038           | 0.220               | 11.445                 |
| Estación 11   | 2     | Libre            | Estación 10    | 2     | 51.8038           | 0.225               | 11.660                 |
| Estación 11   | 3     | Libre            | Estación 10    | 3     | 51.8038           | 0.218               | 9.565                  |
| Estación 11   | 4     | Libre            | Estación 10    | 4     | 51.8038           | 0.215               | 9.444                  |
| Estación 9    | 5     | Libre            | Estación 8     | 5     | 39.7780           | 0.246               | 9.799                  |
| Estación 9    | 6     | Libre            | Estación 8     | 6     | 39.7755           | 0.269               | 10.706                 |
| Estación 9    | 11    | Libre            | Estación 8     | 11    | 39.7780           | 0.285               | 11.351                 |
| Estación 9    | 12    | Libre            | Estación 8     | 12    | 39.7729           | 0.260               | 10.366                 |
| Estación 9    | 17    | Libre            | Estación 8     | 17    | 39.7806           | 0.251               | 10.000                 |
| Estación 9    | 18    | Libre            | Estación 8     | 18    | 39.7780           | 0.258               | 10.270                 |
| Estación 9    | 3     | Libre            | Estación 10    | 3     | 48.2027           | 0.277               | 13.394                 |
| Estación 9    | 4     | Libre            | Estación 10    | 4     | 48.2053           | 0.277               | 13.382                 |
| Estación 9    | 14    | Libre            | Estación 10    | 14    | 48.2002           | 0.285               | 13.748                 |
| Estación 9    | 15    | Libre            | Estación 10    | 15    | 48.2027           | 0.209               | 13.991                 |
| Estación 9    | 17    | Libre            | Estación 10    | 17    | 48.2053           | 0.303               | 14.645                 |
| Estación 9    | 18    | Libre            | Estación 10    | 18    | 48.2027           | 0.281               | 13.563                 |
| Estación 12   | 29    | Libre            | Estación 6     | 29    | 4.1600            | 0.669               | 2.744                  |
| Estación 12   | 30    | Libre            | Estación 6     | 30    | 4.2443            | 0.535               | 2.271                  |
| Estación 12   | 31    | Libre            | Estación 6     | 31    | 4.2443            | 0.605               | 2.572                  |
| Estación 12   | 32    | Libre            | Estación 6     | 32    | 4.1562            | 0.481               | 2.001                  |
| Estación 12   | 69    | Libre            | Estación 11    | 69    | 26.9426           | 0.279               | 7.537                  |
| Estación 12   | 70    | Libre            | Estación 11    | 70    | 26.9426           | 0.261               | 7.035                  |
| Estación 12   | 71    | Libre            | Estación 11    | 71    | 26.9209           | 0.283               | 7.639                  |
| Estación 12   | 72    | Libre            | Estación 11    | 72    | 26.9209           | 0.294               | 7.927                  |
| Estación 7    | 17    | Libre            | Estación 8     | 17    | 83.9815           | 0.287               | 24.108                 |
| Estación 7    | 18    | Libre            | Estación 8     | 18    | 83.9815           | 0.300               | 25.210                 |
| Estación 7    | 3     | Libre            | Estación 8     | 3     | 83.9815           | 0.275               | 22.602                 |
| Estación 7    | 4     | Libre            | Estación 8     | 4     | 83.9815           | 0.274               | 22.500                 |
| Estación 7    | 10    | Libre            | Estación 6     | 10    | 8.7922            | 0.446               | 2.703                  |
| Estación 7    | 21    | Libre            | Estación 6     | 21    | 8.7922            | 0.322               | 2.833                  |
| Estación 7    | 22    | Libre            | Estación 6     | 22    | 8.7284            | 0.254               | 2.223                  |
| Estación 5    | 7     | Libre            | Estación 6     | 7     | 43.263            | 0.488               | 13.351                 |
| Estación 5    | 8     | Libre            | Estación 6     | 8     | 43.263            | 0.327               | 14.138                 |
| Estación 5    | 3     | Libre            | Estación 4     | 3     | 60.5590           | 0.241               | 14.621                 |
| Estación 5    | 4     | Libre            | Estación 4     | 4     | 60.5526           | 0.234               | 14.192                 |
| Estación 5    | 9     | Libre            | Estación 4     | 9     | 60.6679           | 0.224               | 13.550                 |
| Estación 5    | 10    | Libre            | Estación 4     | 10    | 60.5641           | 0.236               | 14.315                 |
| Estación 4    | 7     | Libre            | Estación 3     | 7     | 53.6876           | 0.218               | 11.720                 |
| Estación 4    | 8     | Libre            | Estación 3     | 8     | 53.6876           | 0.213               | 11.454                 |
| Estación 4    | 31    | Libre            | Estación 3     | 31    | 53.6720           | 0.215               | 11.575                 |
| Estación 4    | 32    | Libre            | Estación 3     | 32    | 53.6720           | 0.214               | 11.530                 |
| Estación 3    | 11    | Libre            | Estación 2     | 11    | 44.7905           | 0.228               | 10.245                 |
| Estación 3    | 12    | Libre            | Estación 2     | 12    | 44.7905           | 0.236               | 10.571                 |
| Estación 3    | 2     | Libre            | Estación 2     | 2     | 44.7956           | 0.247               | 11.068                 |
| Estación 3    | 5     | Libre            | Estación 2     | 5     | 44.7905           | 0.239               | 10.709                 |

|             |    |       |             |    |          |       |        |
|-------------|----|-------|-------------|----|----------|-------|--------|
| Estación 2  | 11 | Libre | Estación 1  | 11 | 18.8248  | 0.212 | 3.992  |
| Estación 2  | 12 | Libre | Estación 1  | 12 | 18.8248  | 0.200 | 3.780  |
| Estación 1  | 3  | Libre | Estación 15 | 3  | 46.3983  | 0.244 | 11.354 |
| Estación 1  | 4  | Libre | Estación 15 | 4  | 46.4034  | 0.246 | 11.465 |
| Estación 1  | 9  | Libre | Estación 15 | 9  | 46.3932  | 0.267 | 12.399 |
| Estación 1  | 10 | Libre | Estación 15 | 10 | 46.4034  | 0.271 | 12.620 |
| Estación 14 | 13 | Libre | Estación 15 | 13 | 107.1960 | 0.233 | 24.547 |
| Estación 14 | 14 | Libre | Estación 15 | 14 | 107.1960 | 0.234 | 25.101 |
| Estación 14 | 16 | Libre | Estación 15 | 16 | 107.1709 | 0.249 | 26.697 |
| Estación 14 | 3  | Libre | Estación 3  | 3  | 54.3917  | 0.312 | 17.010 |
| Estación 14 | 4  | Libre | Estación 3  | 4  | 54.3917  | 0.264 | 14.377 |
| Estación 14 | 5  | Libre | Estación 3  | 5  | 59.3868  | 0.304 | 15.566 |
| Estación 14 | 11 | Libre | Estación 3  | 11 | 54.3968  | 0.295 | 16.081 |
| Estación 13 | 3  | Libre | Estación 14 | 3  | 59.3537  | 0.262 | 15.604 |
| Estación 13 | 4  | Libre | Estación 14 | 4  | 59.3786  | 0.253 | 15.028 |
| Estación 13 | 11 | Libre | Estación 12 | 11 | 64.8913  | 0.211 | 20.177 |
| Estación 13 | 12 | Libre | Estación 12 | 12 | 64.8913  | 0.211 | 20.169 |

Tabla 2.2: Mediciones con OTDR

Estas mediciones y las posteriores, se realizaron con una fuente de LED laser de 1550nm. Este método de prueba fue aprobado en Abril de 1999 por TIA en la norma EIA/TIA 455-124 y adoptado por la UIT-T en la recomendación G650.

Como podemos ver, la mayoría de los enlaces posee un nivel promedio de atenuación por Kilómetro de 0.25, lo cual coincide con las especificaciones emitidas por UIT en la recomendación G652, tal como se muestra en la tabla 2.3:

| Coeficiente de Atenuación | Región de Longitud de Onda | Valor Típico |
|---------------------------|----------------------------|--------------|
|                           | 1260nm – 1360nm            | 0.50 dB/Km   |
|                           | 1530nm – 1565nm            | 0.28 dB/Km   |
|                           | 1565nm – 16xxnm            | 0.35 dB/Km   |

Tabla 2.3: Valores Típicos de coeficiente de atenuación

## 2.6 Mediciones de CD

En la tabla 2.3 se presentan los resultados de las mediciones hechas con un analizador espectral, el cual muestra los valores de dispersión cromática obtenidos en la F.O. con el objetivo de analizar el fenómeno conocido como FWM (Four Wave Mixing) para la posible implementación sobre la infraestructura actual de fibra.

| F.O de Origen |       | Estado<br>Fibras | F.O de Destino |       | Medición CD           |                                                     |                           |
|---------------|-------|------------------|----------------|-------|-----------------------|-----------------------------------------------------|---------------------------|
| Origen        | Fibra |                  | Destino        | Fibra | Dispersión<br>(ps/nm) | Pendiente <sup>18</sup><br>ps/(nm <sup>2</sup> *Km) | Coeficiente<br>ps/(nm*Km) |
| Estación 11   | 1     | Libre            | Estación 10    | 1     | 850.25                | 0.0596                                              | 16.41                     |
| Estación 11   | 2     | Libre            | Estación 10    | 2     | 850.87                | 0.0696                                              | 16.42                     |
| Estación 11   | 3     | Libre            | Estación 10    | 3     | 718.52                | 0.0586                                              | 16.40                     |
| Estación 11   | 4     | Libre            | Estación 10    | 4     | 716.01                | 0.0571                                              | 16.34                     |
| Estación 9    | 5     | Libre            | Estación 8     | 5     | 549.43                | 0.0574                                              | 16.32                     |
| Estación 9    | 6     | Libre            | Estación 8     | 6     | 650.15                | 0.0589                                              | 16.34                     |
| Estación 9    | 11    | Libre            | Estación 8     | 11    | 650.18                | 0.0580                                              | 16.34                     |
| Estación 9    | 12    | Libre            | Estación 8     | 12    | 653.07                | 0.0590                                              | 16.42                     |
| Estación 9    | 17    | Libre            | Estación 8     | 17    | 649.75                | 0.0585                                              | 16.33                     |
| Estación 9    | 18    | Libre            | Estación 8     | 18    | 653.26                | 0.0576                                              | 16.42                     |
| Estación 9    | 3     | Libre            | Estación 10    | 3     | 796.33                | 0.0588                                              | 16.52                     |
| Estación 9    | 4     | Libre            | Estación 10    | 4     | 791.99                | 0.0580                                              | 16.43                     |
| Estación 9    | 14    | Libre            | Estación 10    | 14    | 790.41                | 0.0576                                              | 16.4                      |
| Estación 9    | 15    | Libre            | Estación 10    | 15    | 788.89                | 0.0597                                              | 16.36                     |
| Estación 9    | 17    | Libre            | Estación 10    | 17    | 785.59                | 0.0577                                              | 16.30                     |
| Estación 9    | 18    | Libre            | Estación 10    | 18    | 789.72                | 0.0594                                              | 16.38                     |
| Estación 12   | 29    | Libre            | Estación 6     | 29    | 72.49                 | 0.0568                                              | 17.44                     |
| Estación 12   | 30    | Libre            | Estación 6     | 30    | 71.31                 | 0.0708                                              | 17.16                     |
| Estación 12   | 31    | Libre            | Estación 6     | 31    | 72.18                 | 0.0547                                              | 17.39                     |
| Estación 12   | 32    | Libre            | Estación 6     | 32    | 68.43                 | 0.0569                                              | 16.72                     |
| Estación 12   | 69    | Libre            | Estación 11    | 69    | 449.55                | 0.0593                                              | 16.88                     |
| Estación 12   | 70    | Libre            | Estación 11    | 70    | 454.31                | 0.0584                                              | 16.86                     |
| Estación 12   | 71    | Libre            | Estación 11    | 71    | 455.38                | 0.0592                                              | 16.90                     |
| Estación 12   | 72    | Libre            | Estación 11    | 72    | 440.20                | 0.0590                                              | 16.70                     |
| Estación 7    | 17    | Libre            | Estación 8     | 17    | 1396.53               | 0.0584                                              | 16.53                     |
| Estación 7    | 18    | Libre            | Estación 8     | 18    | 1392.19               | 0.0594                                              | 16.58                     |
| Estación 7    | 3     | Libre            | Estación 8     | 3     | 1057.96               | 0.0581                                              | 16.59                     |
| Estación 7    | 4     | Libre            | Estación 8     | 4     | 1357.43               | 0.0592                                              | 16.57                     |
| Estación 7    | 10    | Libre            | Estación 6     | 10    | 150.250               | 0.0541                                              | 16.78                     |
| Estación 7    | 21    | Libre            | Estación 6     | 21    | 146.510               | 0.061                                               | 16.68                     |
| Estación 7    | 22    | Libre            | Estación 6     | 22    | 145.940               | 0.0559                                              | 16.73                     |
| Estación 5    | 7     | Libre            | Estación 6     | 7     | 718.360               | 0.0579                                              | 16.6                      |
| Estación 5    | 8     | Libre            | Estación 6     | 8     | 722.460               | 0.059                                               | 16.7                      |
| Estación 5    | 3     | Libre            | Estación 4     | 3     | 998.240               | 0.0599                                              | 16.5                      |
| Estación 5    | 4     | Libre            | Estación 4     | 4     | 987.810               | 0.0603                                              | 16.31                     |
| Estación 5    | 9     | Libre            | Estación 4     | 9     | 1011.780              | 0.0593                                              | 16.7                      |
| Estación 5    | 10    | Libre            | Estación 4     | 10    | 1004.43               | 0.0593                                              | 16.58                     |
| Estación 4    | 7     | Libre            | Estación 3     | 7     | 883.44                | 0.0593                                              | 16.45                     |
| Estación 4    | 8     | Libre            | Estación 3     | 8     | 884.28                | 0.0571                                              | 16.47                     |
| Estación 4    | 31    | Libre            | Estación 3     | 31    | 884.93                | 0.0587                                              | 16.48                     |
| Estación 4    | 32    | Libre            | Estación 3     | 32    | 880.9                 | 0.0583                                              | 16.41                     |
| Estación 3    | 11    | Libre            | Estación 2     | 11    | 744.79                | 0.0585                                              | 16.63                     |
| Estación 3    | 12    | Libre            | Estación 2     | 12    | 733.58                | 0.0688                                              | 16.37                     |
| Estación 3    | 2     | Libre            | Estación 2     | 2     | 735.79                | 0.0572                                              | 16.42                     |
| Estación 3    | 5     | Libre            | Estación 2     | 5     | 744.22                | 0.0579                                              | 16.61                     |
| Estación 2    | 11    | Libre            | Estación 1     | 11    | 310.07                | 0.0604                                              | 16.47                     |
| Estación 2    | 12    | Libre            | Estación 1     | 12    | 312.41                | 0.0611                                              | 16.60                     |
| Estación 1    | 3     | Libre            | Estación 15    | 3     | 761.66                | 0.058                                               | 16.4                      |
| Estación 1    | 4     | Libre            | Estación 15    | 4     | 766.05                | 0.0561                                              | 16.50                     |

<sup>18</sup> La pendiente indica que tan homogéneo es el trato de los diferentes canales.

|             |    |       |             |    |         |        |       |
|-------------|----|-------|-------------|----|---------|--------|-------|
| Estación 1  | 9  | Libre | Estación 15 | 9  | 756.66  | 0.058  | 16.53 |
| Estación 1  | 10 | Libre | Estación 15 | 10 | 766.58  | 0.0575 | 16.52 |
| Estación 14 | 13 | Libre | Estación 15 | 13 | 1770.23 | 0.0588 | 16.51 |
| Estación 14 | 14 | Libre | Estación 15 | 14 | 1770.39 | 0.0585 | 16.58 |
| Estación 14 | 16 | Libre | Estación 15 | 16 | 1771.80 | 0.0598 | 16.53 |
| Estación 14 | 3  | Libre | Estación 3  | 3  | 884.19  | 0.0579 | 16.25 |
| Estación 14 | 4  | Libre | Estación 3  | 4  | 895.00  | 0.0573 | 16.45 |
| Estación 14 | 5  | Libre | Estación 3  | 5  | 902.83  | 0.0589 | 16.60 |
| Estación 14 | 11 | Libre | Estación 3  | 11 | 887.33  | 0.0574 | 16.31 |
| Estación 13 | 3  | Libre | Estación 14 | 3  | 979.41  | 0.0595 | 16.49 |
| Estación 13 | 4  | Libre | Estación 14 | 4  | 975.26  | 0.0587 | 16.42 |
| Estación 13 | 11 | Libre | Estación 12 | 11 | 1070.30 | 0.0597 | 16.46 |
| Estación 13 | 12 | Libre | Estación 12 | 12 | 1058.4  | 0.0689 | 16.27 |

Tabla 2.4: Mediciones de Dispersión Cromática

Como hemos podido observar la dispersión varía en cada una de las estaciones, por lo cual se hace más difícil determinar un valor promedio de dispersión. El valor que hay que analizar es el de la sexta columna en la tabla 2.4 ya que es en base a ese dato que se debe tomar una decisión pues que se cuenta con dos opciones: La primera es reducir la velocidad en las fibras que tengan un número elevado de dispersión y la segunda es utilizar compensadores de dispersión con dispersión negativa para corregir el efecto causado por el ensanchamiento del pulso óptico.

La segunda opción es la que mejor resuelve el problema, ya que la fibra óptica G652 presenta este comportamiento cuando se aumenta las velocidades de transmisión, tal como lo muestra la siguiente tabla 2.5 obtenida de la norma UIT G652:

|                                     |            |                             |
|-------------------------------------|------------|-----------------------------|
| Coeficiente de Dispersión Cromática | $D_{1550}$ | 17ps/nm.km                  |
|                                     | $S_{1550}$ | 0.056ps/nm <sup>2</sup> .km |

Tabla 2.5: Coeficiente de dispersión cromática

El primer dato ( $D_{1550}$ ) es el valor del coeficiente, el cual se determinó con un instrumento de medición y se encuentra en la columna ocho de la tabla 2.4, mientras que el segundo valor ( $S_{1550}$ ) es la pendiente (slope) de la gráfica que se construyó con el analizador espectral que se encuentra ubicado en la columna siete de la tabla 2.4

El valor de la dispersión se determinó multiplicando el coeficiente de dispersión por la distancia. Supongamos que se desea conocer el valor de

dispersión cromática entre la estación 1 y 2, con el fin de colocar compensadores de dispersión. Las estaciones se encuentran separadas por una distancia de 18.82Km y a través de las mediciones se determinó un coeficiente de dispersión de 16.47 ps/nm\*Km. ¿Cuánto es el valor de la dispersión cromática?

En primer lugar realizamos la multiplicación de la siguiente manera:

$$Dispersión = \left(16.47 \frac{ps}{nm \cdot Km}\right) \cdot (18.82Km) = 309.9654 \frac{ps}{nm} \quad \text{Ec 2.7}$$

Por lo tanto podemos concluir que se necesita un compensador de dispersión de -310ps/nm para que la transmisión posea un nivel de bits errados aceptable.

## 2.7 Mediciones de PMD

En la siguiente tabla se presentan los valores obtenidos de retardo (delay) en ps y del coeficiente de PMD medido en ps/ $\sqrt{Km}$ .

| F.O de Origen |       | Estado Fibras | F.O de Destino |       | Medición PMD |                                |
|---------------|-------|---------------|----------------|-------|--------------|--------------------------------|
| Origen        | Fibra |               | Destino        | Fibra | PMD (ps)     | COEFICIENTE ps/( $\sqrt{Km}$ ) |
| Estación 11   | 1     | Libre         | Estación 10    | 1     | 1.200        | 0.166                          |
| Estación 11   | 2     | Libre         | Estación 10    | 2     | 1.020        | 0.141                          |
| Estación 11   | 3     | Libre         | Estación 10    | 3     | 0.460        | 0.069                          |
| Estación 11   | 4     | Libre         | Estación 10    | 4     | 0.97         | 0.146                          |
| Estación 9    | 5     | Libre         | Estación 8     | 5     | 0.263        | 0.042                          |
| Estación 9    | 6     | Libre         | Estación 8     | 6     | 0.415        | 0.066                          |
| Estación 9    | 11    | Libre         | Estación 8     | 11    | 0.339        | 0.048                          |
| Estación 9    | 12    | Libre         | Estación 8     | 12    | 0.459        | 0.065                          |
| Estación 9    | 17    | Libre         | Estación 8     | 17    | 0.656        | 0.093                          |
| Estación 9    | 18    | Libre         | Estación 8     | 18    | 0.444        | 0.063                          |
| Estación 9    | 3     | Libre         | Estación 10    | 3     | 0.227        | 0.032                          |
| Estación 9    | 4     | Libre         | Estación 10    | 4     | 0.436        | 0.062                          |
| Estación 9    | 14    | Libre         | Estación 10    | 14    | 0.394        | 0.056                          |
| Estación 9    | 15    | Libre         | Estación 10    | 15    | 0.132        | 0.019                          |
| Estación 9    | 17    | Libre         | Estación 10    | 17    | 0.604        | 0.085                          |
| Estación 9    | 18    | Libre         | Estación 10    | 18    | 0.832        | 0.118                          |
| Estación 12   | 29    | Libre         | Estación 6     | 29    | 3.679        | 1.645                          |
| Estación 12   | 30    | Libre         | Estación 6     | 30    | 0.204        | 0.091                          |
| Estación 12   | 31    | Libre         | Estación 6     | 31    | 0.147        | 0.066                          |
| Estación 12   | 32    | Libre         | Estación 6     | 32    | 3.211        | 1.436                          |
| Estación 12   | 69    | Libre         | Estación 11    | 69    | 0.090        | 0.016                          |
| Estación 12   | 70    | Libre         | Estación 11    | 70    | 0.108        | 0.020                          |
| Estación 12   | 71    | Libre         | Estación 11    | 71    | 0.167        | 0.030                          |

|             |    |       |             |    |       |        |
|-------------|----|-------|-------------|----|-------|--------|
| Estación 12 | 72 | Libre | Estación 11 | 72 | 0.178 | 0.016  |
| Estación 7  | 17 | Libre | Estación 8  | 17 | 0.647 | 0.065  |
| Estación 7  | 18 | Libre | Estación 8  | 18 | 3.404 | 0.340  |
| Estación 7  | 3  | Libre | Estación 8  | 3  | 1.440 | 0.012  |
| Estación 7  | 4  | Libre | Estación 8  | 4  | 0.729 | 0.060  |
| Estación 7  | 10 | Libre | Estación 6  | 10 | 0.107 | 0.044  |
| Estación 7  | 21 | Libre | Estación 6  | 21 | 0.078 | 0.032  |
| Estación 7  | 22 | Libre | Estación 6  | 22 | 0.074 | 0.030  |
| Estación 5  | 7  | Libre | Estación 6  | 7  | 0.180 | 0.027  |
| Estación 5  | 8  | Libre | Estación 6  | 8  | 0.144 | 0.022  |
| Estación 5  | 3  | Libre | Estación 4  | 3  | 0.298 | 0.038  |
| Estación 5  | 4  | Libre | Estación 4  | 4  | 0.701 | 0.090  |
| Estación 5  | 9  | Libre | Estación 4  | 9  | 0.567 | 0.073  |
| Estación 5  | 10 | Libre | Estación 4  | 10 | 2.970 | 0.3813 |
| Estación 4  | 7  | Libre | Estación 3  | 7  | 0.199 | 0.026  |
| Estación 4  | 8  | Libre | Estación 3  | 8  | 0.180 | 0.023  |
| Estación 4  | 31 | Libre | Estación 3  | 31 | 0.231 | 0.030  |
| Estación 4  | 32 | Libre | Estación 3  | 32 | 1.189 | 0.154  |
| Estación 3  | 11 | Libre | Estación 2  | 11 | 0.357 | 0.050  |
| Estación 3  | 12 | Libre | Estación 2  | 12 | 0.211 | 0.030  |
| Estación 3  | 2  | Libre | Estación 2  | 2  | 1.072 | 0.152  |
| Estación 3  | 5  | Libre | Estación 2  | 5  | 0.115 | 0.016  |
| Estación 2  | 11 | Libre | Estación 1  | 11 | 0.418 | 0.096  |
| Estación 2  | 12 | Libre | Estación 1  | 12 | 0.148 | 0.034  |
| Estación 1  | 3  | Libre | Estación 15 | 3  | 0.312 | 0.045  |
| Estación 1  | 4  | Libre | Estación 15 | 4  | 0.244 | 0.036  |
| Estación 1  | 9  | Libre | Estación 15 | 9  | 0.315 | 0.046  |
| Estación 1  | 10 | Libre | Estación 15 | 10 | 0.205 | 0.023  |
| Estación 14 | 13 | Libre | Estación 15 | 13 | 0.278 | 0.027  |
| Estación 14 | 14 | Libre | Estación 15 | 14 | 0.333 | 0.032  |
| Estación 14 | 16 | Libre | Estación 15 | 16 | 0.223 | 0.021  |
| Estación 14 | 3  | Libre | Estación 3  | 3  | 0.717 | 0.096  |
| Estación 14 | 4  | Libre | Estación 3  | 4  | 0.317 | 0.043  |
| Estación 14 | 5  | Libre | Estación 3  | 5  | 0.394 | 0.054  |
| Estación 14 | 11 | Libre | Estación 3  | 11 | 0.326 | 0.044  |
| Estación 13 | 3  | Libre | Estación 14 | 3  | 0.484 | 0.060  |
| Estación 13 | 4  | Libre | Estación 14 | 4  | 0.170 | 0.021  |
| Estación 13 | 11 | Libre | Estación 12 | 11 | 2.800 | 0.346  |
| Estación 13 | 12 | Libre | Estación 12 | 12 | 3.920 | 0.4858 |

Tabla 2.6: Mediciones de Dispersión por modo de polarización PMD.

## 2.8 Criterios de Decisión para la selección de las fibras

En la fibra monomodo G652 el coeficiente de PMD suele ser  $0.1\text{ps}/\sqrt{\text{Km}}$ . El criterio de decisión utilizado para certificar la fibra óptica es que se considerará valores normales, los que sean iguales o menores de  $0.3\text{ps}/\sqrt{\text{Km}}$ ; valores iguales o superiores a  $1\text{ps}/\sqrt{\text{Km}}$  se considerarán no aceptables.

De acuerdo con los valores obtenidos de las mediciones, teniendo en cuenta el PMD acumulado en el tramo, la mayoría de las fibras ópticas podrían soportar sistemas de 40G estas son, las fibras 29 y 32 entre la estación 6 y 12 y la fibra 18 entre las estaciones 7 y 8, las que poseen valores de PMD no aceptables.

Salvo en los casos mencionados anteriormente todas las fibras tienen un coeficiente de dispersión por modo de polarización inferior a  $0.31\text{ps}/\sqrt{\text{Km}}$  lo cual indica que las fibras están en su gran mayoría en muy buenas condiciones.

Además, es necesario mencionar que los coeficientes de atenuación y las atenuaciones de las fibras medidas resultan dentro de los valores normales.

Para el caso de la dispersión cromática, la mayoría de las fibras analizadas posee un valor de coeficiente de dispersión cercano al valor típico establecido por la norma UIT G652, por lo tanto se considera que las fibras si están en la capacidad de trabajar a altas velocidades, sin embargo para un mejor desempeño de la red, se colocará compensadores de dispersión en los tramos más largos.

## 2.9 Fibras Recomendadas para el proyecto

En la tabla 2.7 se muestra las fibras que pasaron las pruebas de caracterización y que por lo tanto se encuentran disponibles para soportar velocidades de 10Gbits/s.

| Ubicación fibras de origen |       | Estado    | Ubicación fibras de destino |             |    | Sugerencia de Fibra a utilizar |
|----------------------------|-------|-----------|-----------------------------|-------------|----|--------------------------------|
| Origen                     | Fibra | De Fibras | Fibra                       | Destino     |    |                                |
| Estación 11                | 3     | Libre     | 3                           | Estación 10 | 1  | Recomendada                    |
| Estación 11                | 4     | Libre     | 4                           | Estación 10 |    | Recomendada                    |
| Estación 9                 | 5     | Libre     | 5                           | Estación 8  | 2  | Recomendada                    |
| Estación 9                 | 6     | Libre     | 6                           | Estación 8  |    | Recomendada                    |
| Estación 9                 | 3     | Libre     | 3                           | Estación 10 | 3  | Recomendada                    |
| Estación 9                 | 4     | Libre     | 4                           | Estación 10 |    | Recomendada                    |
| Estación 12                | 29    | Libre     | 29                          | Estación 6  | 4  | Recomendada                    |
| Estación 12                | 30    | Libre     | 30                          | Estación 6  |    | Recomendada                    |
| Estación 12                | 69    | Libre     | 69                          | Estación 11 | 5  | Recomendada                    |
| Estación 12                | 70    | Libre     | 70                          | Estación 11 |    | Recomendada                    |
| Estación 7                 | 17    | Libre     | 17                          | Estación 8  | 6  | Recomendada                    |
| Estación 7                 | 18    | Libre     | 18                          | Estación 8  |    | Recomendada                    |
| Estación 7                 | 21    | Libre     | 21                          | Estación 6  | 7  | Recomendada                    |
| Estación 7                 | 22    | Libre     | 22                          | Estación 6  |    | Recomendada                    |
| Estación 5                 | 7     | Libre     | 7                           | Estación 6  | 8  | Recomendada                    |
| Estación 5                 | 8     | Libre     | 8                           | Estación 6  |    | Recomendada                    |
| Estación 5                 | 3     | Libre     | 3                           | Estación 4  | 9  | Recomendada                    |
| Estación 5                 | 4     | Libre     | 4                           | Estación 4  |    | Recomendada                    |
| Estación 4                 | 7     | Libre     | 7                           | Estación 3  | 10 | Recomendada                    |
| Estación 4                 | 8     | Libre     | 8                           | Estación 3  |    | Recomendada                    |
| Estación 3                 | 11    | Libre     | 11                          | Estación 2  | 11 | Recomendada                    |
| Estación 3                 | 12    | Libre     | 12                          | Estación 2  |    | Recomendada                    |
| Estación 2                 | 11    | Libre     | 11                          | Estación 1  | 12 | Recomendada                    |
| Estación 2                 | 12    | Libre     | 12                          | Estación 1  |    | Recomendada                    |
| Estación 1                 | 9     | Libre     | 9                           | Estación 15 | 13 | Recomendada                    |
| Estación 1                 | 10    | Libre     | 10                          | Estación 15 |    | Recomendada                    |
| Estación 14                | 13    | Libre     | 13                          | Estación 15 | 14 | Recomendada                    |
| Estación 14                | 14    | Libre     | 14                          | Estación 15 |    | Recomendada                    |
| Estación 14                | 3     | Libre     | 3                           | Estación 3  | 15 | Recomendada                    |
| Estación 14                | 4     | Libre     | 4                           | Estación 3  |    | Recomendada                    |
| Estación 13                | 3     | Libre     | 3                           | Estación 14 | 16 | Recomendada                    |
| Estación 13                | 4     | Libre     | 4                           | Estación 14 |    | Recomendada                    |
| Estación 13                | 11    | Libre     | 11                          | Estación 12 | 17 | Recomendada                    |
| Estación 13                | 12    | Libre     | 12                          | Estación 12 |    | Recomendada                    |

Tabla 2.7: Fibras recomendadas como medio de transporte para la red DWDM

## **CAPITULO III**

### **Configuración de Anillos y Pruebas de Aceptación del DW4200**

#### **3.0 Introducción Teórica**

En este capítulo se estudiará primeramente la configuración que tendrán los anillos  $A_{OCCIDENTE}$ ,  $A_{CENTRO}$  y  $A_{ORIENTE}$ ; dicha configuración consiste en determinar y ordenar las longitudes de onda que se van a utilizar para transportar el tráfico en la red DWDM. Dichas longitudes de onda se tomarán de la tabla 1.1, la cual contiene el plan de canalización de Lambdas.

En segundo lugar se hará las Pruebas de Aceptación de los equipos, esto consiste en determinar el buen funcionamiento de las interfaces tanto del lado del cliente como del lado WDM y estará reglamentada por el Protocolo de prueba, el cual es un documento elaborado por el fabricante. Para esto se realiza las mediciones de los niveles de potencia óptica con la ayuda de un analizador espectral, en tres interfaces principales de la red DWDM, las cuales son: El Amplificador (TRXA); los Transponder I-16, I-64.2 y las interfaces Giga bit Ethernet (XGERF).

#### **3.1 Configuración de Lambdas**

Antes de establecer la configuración es necesario hacer un esquema y una tabla que nos ayude a comprender la configuración de la red, para ello se utilizó un color para cada longitud de onda que nos ayudará a identificar la velocidad y el tipo de tráfico que se transportará en cada color, tal como se muestra en la tabla 3.1, sustentando esta información con las figuras 3.1, 3.2 y 3.3

| Lambda         | Long. de onda | No. Canal | Tráfico              | Capacidad | Color   |
|----------------|---------------|-----------|----------------------|-----------|---------|
| $\lambda_1$    | 1562,23       | 1         | 10GBit Internacional | 10GBit    | Rojo    |
| $\lambda_2$    | 1561,42       | 2         | 10GBit Local (HFC)   | 10GBit    | Morado  |
| $\lambda_3$    | 1560,61       | 3         | 10GBit Local (MPLS)  | 10GBit    | Gris    |
| $\lambda_4$    | 1559,79       | 4         | STM-16               | 2.5GBit   | Verde   |
| $\lambda_5$    | 1558.98       | 5         | STM-16               | 2.5GBit   | Verde   |
| $\lambda_6$    | 1558,17       | 6         | STM-64               | 10GBit    | Naranja |
| $\lambda_7$    | 1557,36       | 7         | STM-64               | 10GBit    | Naranja |
| $\lambda_{19}$ | 1547,72       | 19        | STM-64               | 10GBit    | Naranja |

Tabla 3.1: Longitudes de onda empleadas en la red DWDM

Esta distribución se hizo pensando en las características técnicas de algunos dispositivos como por ejemplo los transponder TPND16, los cuales ya están sintonizados a la longitud de onda  $\lambda_4$ . Además se tuvo que acoplar esta distribución a los dispositivos que pudo proveer el fabricante, según el modelo y las especificaciones que se configuraron de fábrica.

### 3.2 Configuración de Anillos

A continuación se verá la topología de la red con sus respectivos compensadores de dispersión, obtenidos en cada tramo, con el fin de que el pulso óptico no se vea ensanchado a través de la distancia recorrida.

Además se puede apreciar la distribución de lambdas con sus respectivos colores, basados en la tabla 3.1; observemos que en algunas estaciones se encuentra escrita la palabra "*Through*" lo cual significa "*de paso*", es decir que en la estación donde se encuentra esta palabra, no se está realizando ninguna acción add/drop sino que solo actúa como regenerador y deja pasar el pulso óptico correspondiente a la longitud de onda que se encuentra como "*Through*".



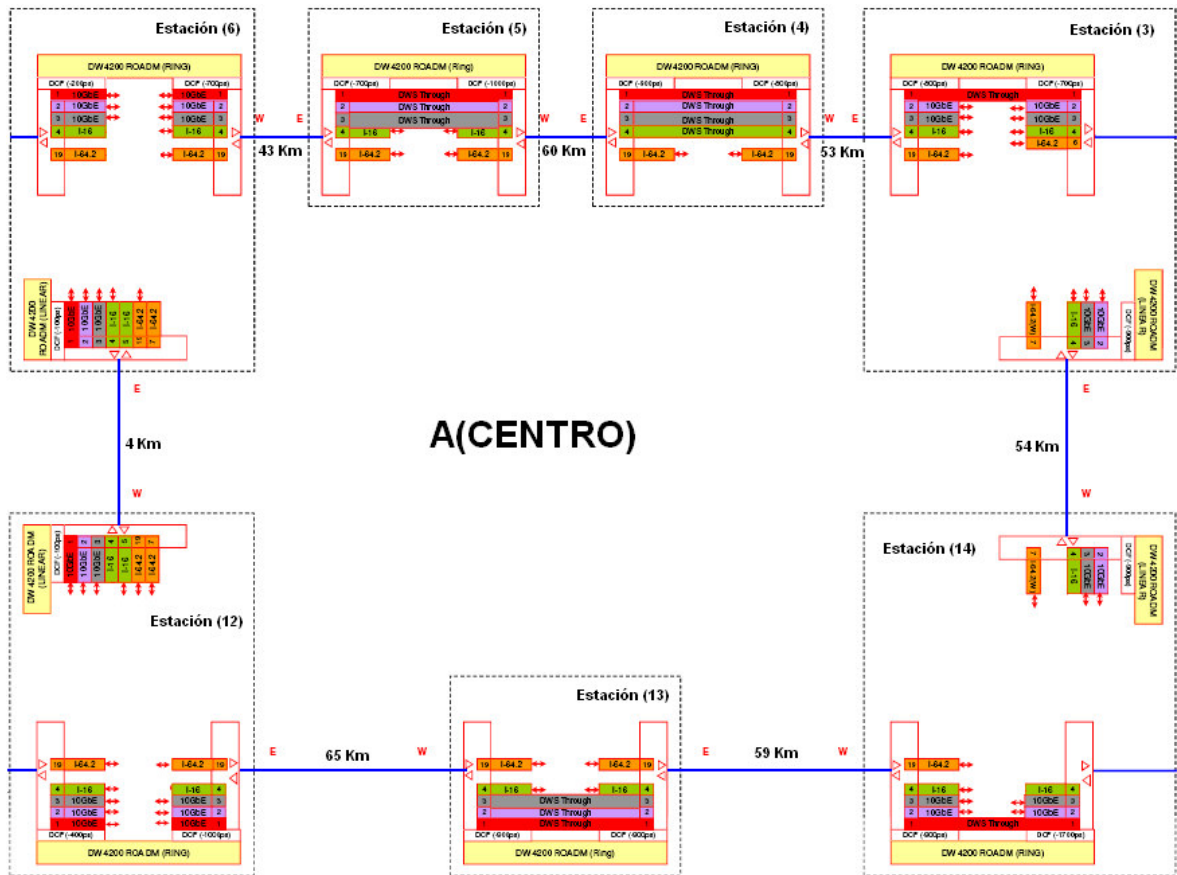


Figura 3.2: Topología y configuración de Lambdas de Anillo central

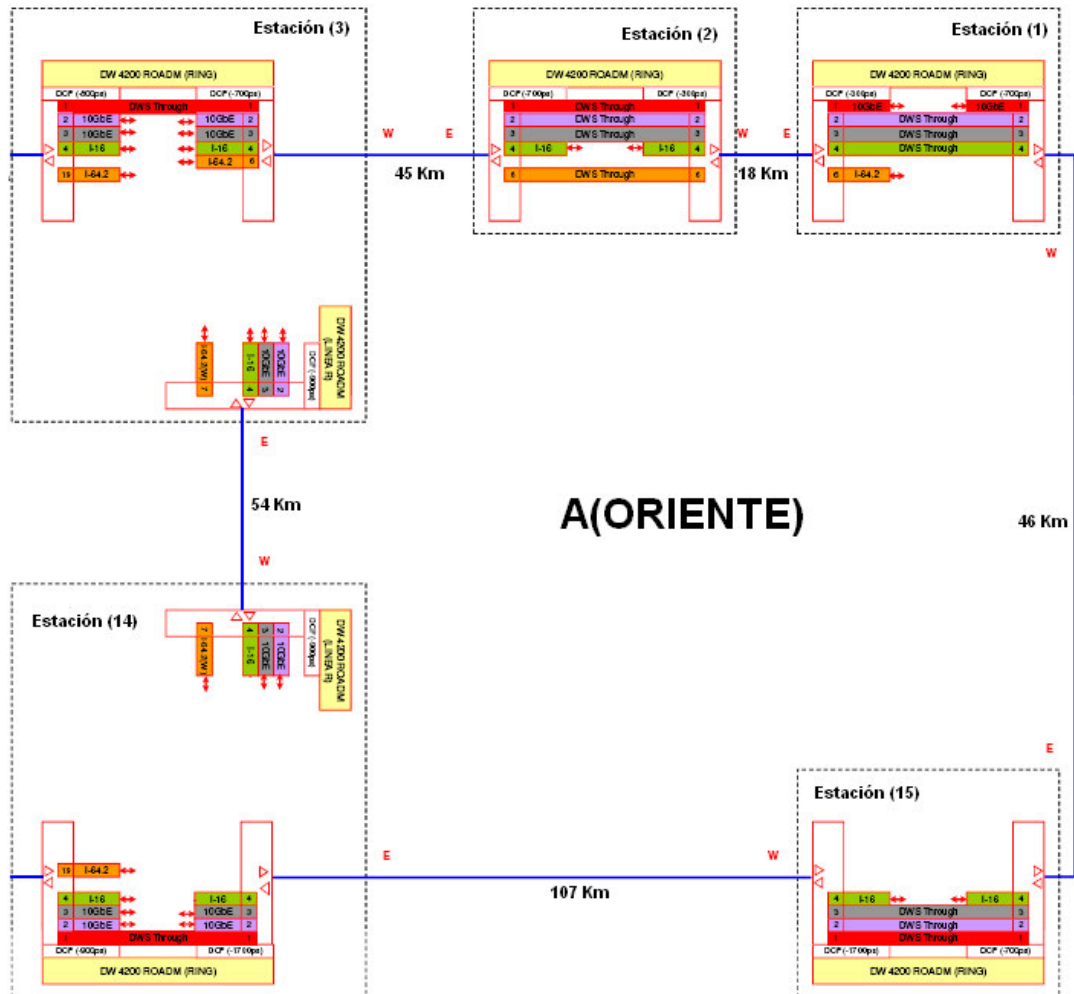


Figura 3.3: Topología y configuración de Lambdas de Anillo Oriente

Vale aclarar que en las figuras 3.1, 3.2 y 3.3 se encuentra la distribución del tráfico de la red DWDM, donde el color rojo, morado y gris se le atribuye a datos (IP) y se transmite a una velocidad de 10GBits, entre ellos se encuentra el MPLS (Multiprotocol Label Switching), el cual es un protocolo utilizado para la transmisión de paquetes a través de una red de acceso WAN, usando información contenida en etiquetas añadidas a los paquetes IP.

En segundo plano están las longitudes de onda de color verde y naranja a las cuales se les atribuye el tráfico proveniente de TDM, las cuales pueden transportar tráfico de una red PSTN<sup>19</sup> y/o de una red de telefonía celular.

### 3.3 Pruebas de Aceptación

El proceso de las pruebas de aceptación consiste en determinar el buen funcionamiento de los equipo a través pruebas y mediciones realizadas, las cuales pretenden satisfacer los requerimientos técnicos de cada interface como por ejemplo los niveles ópticos de Transmisión y recepción, potencia óptica de las longitudes de onda, niveles máximos y mínimos de potencia óptica en los laser, etc.

Para comenzar, es necesario establecer los requerimientos técnicos de los transponder TPF64N para el lado del cliente y del lado WDM, tal como se muestra en la tabla 3.2

| Interf. de Cliente |             | Lado WDM        | Potencia de Salida |
|--------------------|-------------|-----------------|--------------------|
| OC-48/STM-16       | SR/I-16     | -3.0 a -1.0 dBm | -10.0 a -3 dBm     |
|                    | LR-1/L-16.1 | -3.0 a -1.0 dBm | -2.0 a +3.0 dBm    |
|                    | LR-2/L-16.2 | -3.0 a -1.0 dBm | -2.0 a +3.0 dBm    |
| OC-192/STM-64      | SR-1/I-64.1 | -3.0 a -1.0 dBm | -6.0 a -1.0 dBm    |
|                    | SR-2/I-64.2 | -3.0 a -1.0 dBm | -5.0 a -1.0 dBm    |
| 10GbE              | 10GbE-LR    | -3.0 a -1.0 dBm | -8.2 a +5.0 dBm    |
|                    | 10GbE-LR    | -3.0 a -1.0 dBm | -4.7 a +4.0 dBm    |

Tabla 3.2: Características ópticas de las interfaces TPF16, TPF64N y XGBE

<sup>19</sup> Public Switching Telephone Network

Seguidamente es necesario analizar los niveles ópticos de potencia requeridos en los amplificadores de Ganancia normal (NG) y de alta Ganancia (HG). Esto se encuentra en las tablas 3.3 y 3.4, las cuales establecen el valor requerido de potencia óptica para las longitudes de onda que se van a utilizar tanto para recepción como para transmisión.

| Número de canales | Tx Input Monitor | Tx Output Monitor <sup>20</sup> |
|-------------------|------------------|---------------------------------|
|                   | MIN – MAX [dBm]  | MIN – MAX [dBm]                 |
| $\lambda_3$       | -11.2 a -6.2     | 4.3 a 12.3                      |
| $\lambda_4$       | -10.0 a -5.0     | 5.5 a 13.5                      |
| $\lambda_5$       | -9.0 a -4.0      | 6.5 a 14.5                      |
| $\lambda_7$       | -7.5 a -2.5      | 8.0 a 16.0                      |

Tabla 3.3: Niveles ópticos de transmisión para amplificador TRXA40C2

| Número de canales | Rx Input Monitor | Rx Output Monitor |
|-------------------|------------------|-------------------|
|                   | MIN – MAX [dBm]  | MIN – MAX [dBm]   |
| $\lambda_3$       | -26.2 a -13.2    | 5.8 a 8.8         |
| $\lambda_4$       | -25.0 a -12.0    | 7.0 a 10.0        |
| $\lambda_5$       | -24.0 a -11.0    | 8.0 a 11.0        |
| $\lambda_7$       | -22.5 a -9.5     | 9.5 a 12.5        |

Tabla 3.4: Niveles ópticos de Recepción para amplificador TRXA40C2

| Número de canales | Rx Input Monitor | Rx Output Monitor |
|-------------------|------------------|-------------------|
|                   | MIN – MAX [dBm]  | MIN – MAX [dBm]   |
| $\lambda_3$       | -16.0 a -6.5     | 5.8 a 8.8         |
| $\lambda_4$       | -19.0 a -9.0     | 7.0 a 10.0        |
| $\lambda_5$       | -18.0 a -8.0     | 8.0 a 11.0        |
| $\lambda_7$       | -16.5 a -6.5     | 9.5 a 12.5        |

Tabla 3.5: Niveles ópticos de Recepción para amplificador TRXA40C1

Estos serán los niveles de potencia óptica de entrada y salida que se espera que tengan las interfaces que se van a analizar, las cuales son: Transponder TPND-16 y TPND-64; los amplificadores TRXA40C1 y TRXA40C2.

<sup>20</sup> La salida de Tx del Monitor depende de la entrada de Tx debido a que posee un control de ganancia automático (AGC)

### 3.4 Nociones Preliminares a las mediciones

Antes de presentar las mediciones vamos a establecer gráficamente cuáles serán los puntos de las mediciones para tener claro de donde provienen los datos y comprender el flujo del tráfico desde el origen hasta su destino. A continuación se presentará en la figura 3.4 los puntos clave donde se realizará las mediciones, tanto del lado cliente como del lado WDM.

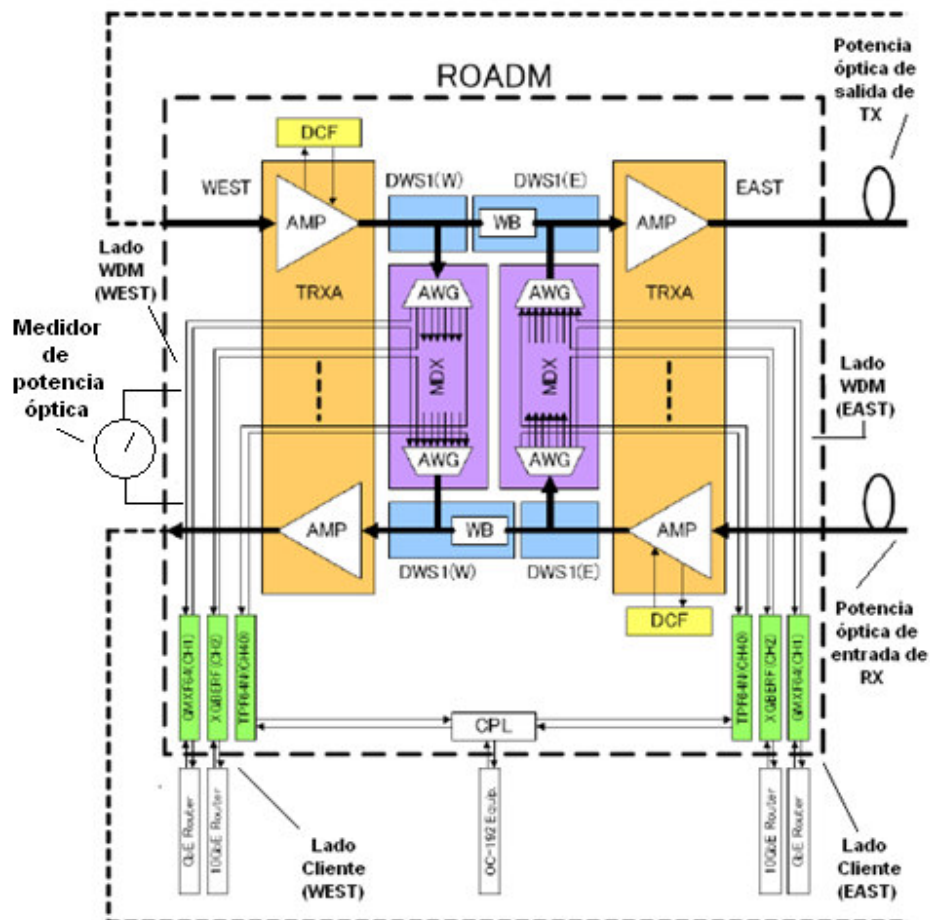


Figura 3.4: Puntos de medición durante las pruebas de aceptación

En estos puntos que muestra la figura 3.4 se espera tener un valor dentro del rango establecido por el fabricante en las tablas 3.2, 3.3, 3.4 y 3.5, de no ser así las interfaces podrían resultar con daños o bien con errores de transmisión en caso de que la señal sea de muy baja potencia.

### 3.5 Resultados de las mediciones

A continuación se observará el resultado de una medición realizada en cuatro estaciones interconectadas entre sí. Para un mejor entendimiento se ilustrará el proceso de medición solamente para 4 estaciones vecinas ya que el proceso es el mismo para las demás estaciones, observemos la figura 3.5 donde se muestra la interconexión de las estaciones.

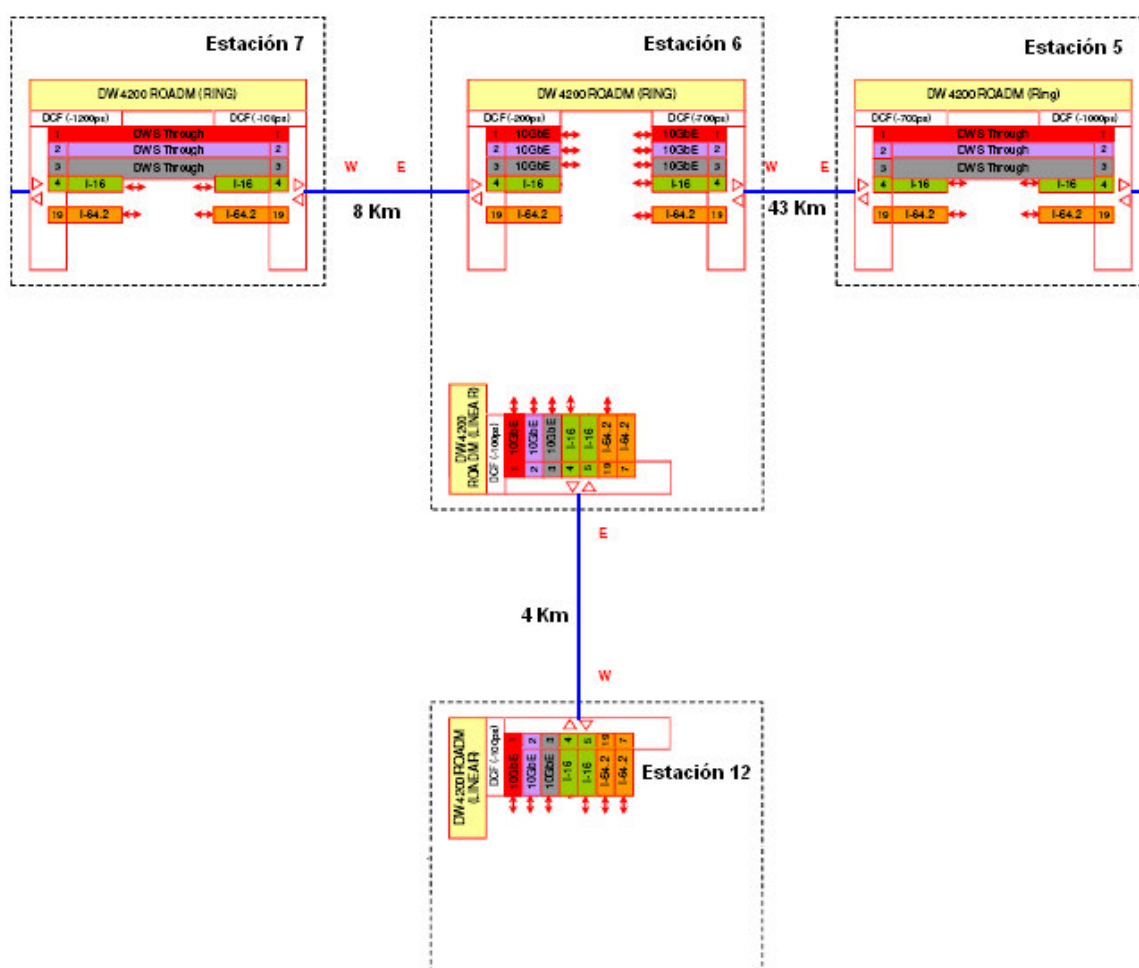


Figura 3.5: Estación 6 y estaciones vecinas 5, 7 y 12

### 3.5.1 Mediciones en Estación 6 y estaciones vecinas 5, 7 y 12

Medición de potencia óptica de salida del transponder de lado WDM

| No. Canal | Tipo de Int. | Especificación | Resultado [dBm] | Estado |
|-----------|--------------|----------------|-----------------|--------|
| 1         | 10GbE-LR     | -3 a -1 dBm    | -1.9            | OK     |
| 2         | 10GbE-LR     | -3 a -1 dBm    | -1.9            | OK     |
| 3         | 10GbE-LR     | -3 a -1 dBm    | -2.1            | OK     |
| 4         | I-16         | -3 a -1 dBm    | -2.0            | OK     |
| 19        | I-64.2       | -3 a -1 dBm    | -1.9            | OK     |

Tabla 3.6: niveles ópticos obtenidos de lado west, estación 5

| No. Canal | Tipo de Int. | Especificación | Resultado [dBm] | Estado |
|-----------|--------------|----------------|-----------------|--------|
| 1         | 10GbE-LR     | -3 a -1 dBm    | -2.1            | OK     |
| 2         | 10GbE-LR     | -3 a -1 dBm    | -1.9            | OK     |
| 3         | 10GbE-LR     | -3 a -1 dBm    | -1.8            | OK     |
| 4         | I-16         | -3 a -1 dBm    | -2.0            | OK     |
| 19        | I-64.2       | -3 a -1 dBm    | -1.8            | OK     |

Tabla 3.7: niveles ópticos obtenidos de lado east, estación 7

| No. Canal | Tipo de Int. | Especificación | Resultado [dBm] | Estado |
|-----------|--------------|----------------|-----------------|--------|
| 1         | 10GbE-LR     | -3 a -1 dBm    | -2.1            | OK     |
| 2         | 10GbE-LR     | -3 a -1 dBm    | -2.1            | OK     |
| 3         | 10GbE-LR     | -3 a -1 dBm    | -2.2            | OK     |
| 4         | I-16         | -3 a -1 dBm    | -2.0            | OK     |
| 5         | I-16         | -3 a -1 dBm    | -2.1            | OK     |
| 7         | I-64.2       | -3 a -1 dBm    | -2.0            | OK     |
| 19        | I-64.2       | -3 a -1 dBm    | -2.1            | OK     |

Tabla 3.8: niveles ópticos obtenidos de lado east, estación 12

Medición de potencia óptica de salida del transponder de lado CLIENTE

| No. Canal | Tipo de Int. | Especificación   | Resultado [dBm] | Estado |
|-----------|--------------|------------------|-----------------|--------|
| 1         | 10GbE-LR     | -8.2 a +5.0 dBm  | -4.2            | OK     |
| 2         | 10GbE-LR     | -8.2 a +5.0 dBm  | -4.2            | OK     |
| 3         | 10GbE-LR     | -8.2 a +5.0 dBm  | -4.2            | OK     |
| 4         | I-16         | -10.0 a -3.0 dBm | -5.4            | OK     |
| 19        | I-64.2       | -5.0 a -1.0 dBm  | -3.2            | OK     |

Tabla 3.9: niveles ópticos obtenidos de lado west, estación 5

| No. Canal | Tipo de Int. | Especificación   | Resultado [dBm] | Estado |
|-----------|--------------|------------------|-----------------|--------|
| 1         | 10GbE-LR     | -8.2 a +5.0 dBm  | -4.4            | OK     |
| 2         | 10GbE-LR     | -8.2 a +5.0 dBm  | -4.4            | OK     |
| 3         | 10GbE-LR     | -8.2 a +5.0 dBm  | -4.5            | OK     |
| 4         | I-16         | -10.0 a -3.0 dBm | -5.2            | OK     |
| 19        | I-64.2       | -5.0 a -1.0 dBm  | -3.2            | OK     |

Tabla 3.10: niveles ópticos obtenidos de lado east, estación 7

| No. Canal | Tipo de Int. | Especificación   | Resultado [dBm] | Estado |
|-----------|--------------|------------------|-----------------|--------|
| 1         | 10GbE-LR     | -8.2 a +5.0 dBm  | -4.0            | OK     |
| 2         | 10GbE-LR     | -8.2 a +5.0 dBm  | -4.5            | OK     |
| 3         | 10GbE-LR     | -8.2 a +5.0 dBm  | -4.5            | OK     |
| 4         | I-16         | -10.0 a -3.0 dBm | -5.5            | OK     |
| 5         | I-16         | -10.0 a -3.0 dBm | -5.9            | OK     |
| 7         | I-64.2       | -5.0 a -1.0 dBm  | -3.1            | OK     |
| 19        | I-64.2       | -5.0 a -1.0 dBm  | -3.1            | OK     |

Tabla 3.11: niveles ópticos obtenidos de lado east, estación 12

### Medición de potencia óptica de salida del amplificador de lado Tx

| No. de Onda | Tipo de Int. | Especificación | Resultado [dBm] | Estado |
|-------------|--------------|----------------|-----------------|--------|
| 5           | TRXA40C2     | 6.5 a 14.5 dBm | 9.8             | OK     |

Tabla 3.12: niveles ópticos obtenidos del lado west, estación 5

| No. de Onda | Tipo de Int. | Especificación | Resultado [dBm] | Estado |
|-------------|--------------|----------------|-----------------|--------|
| 4           | TRXA40C2     | 5.5 a 13.5 dBm | 9.9             | OK     |

Tabla 3.13: niveles ópticos obtenidos del lado east, estación 7

| No. de Onda | Tipo de Int. | Especificación | Resultado [dBm] | Estado |
|-------------|--------------|----------------|-----------------|--------|
| 7           | TRXA40C2     | 8 a 16 dBm     | 10.9            | OK     |

Tabla 3.14: niveles ópticos obtenidos del lado east, estación 12

### Medición de potencia óptica de entrada del amplificador de lado Rx

| No. de Onda | Tipo de Int. | Especificación | Resultado [dBm] | Estado |
|-------------|--------------|----------------|-----------------|--------|
| 5           | TRXA40C1     | -18 a -8.0 dBm | -14             | OK     |

Tabla 3.15: niveles ópticos obtenidos del lado west, Estación 5

| No. de Onda | Tipo de Int. | Especificación | Resultado [dBm] | Estado |
|-------------|--------------|----------------|-----------------|--------|
| 4           | TRXA40C2     | -25 a -12 dBm  | -17.5           | OK     |

Tabla 3.16: niveles ópticos obtenidos del lado east, Estación 7

| No. de Onda | Tipo de Int. | Especificación | Resultado [dBm] | Estado |
|-------------|--------------|----------------|-----------------|--------|
| 7           | TRXA40C1     | -16 a -6.5 dBm | -11.5           | OK     |

Tabla 3.17: niveles ópticos obtenidos del lado east, Estación 12

## 3.5.2 Mediciones en Estación 7 y estaciones vecinas 6 y 8

### Medición de potencia óptica de salida del transponder de lado WDM

| No. Canal | Tipo de Int. | Especificación | Resultado [dBm] | Estado |
|-----------|--------------|----------------|-----------------|--------|
| 4         | I-16         | -3 a -1 dBm    | -2.7            | OK     |
| 19        | I-64.2       | -3 a -1 dBm    | -2.0            | OK     |

Tabla 3.18: niveles ópticos obtenidos de lado west, estación 6

| No. Canal | Tipo de Int. | Especificación | Resultado [dBm] | Estado |
|-----------|--------------|----------------|-----------------|--------|
| 4         | I-16         | -3 a -1 dBm    | -2.8            | OK     |
| 19        | I-64.2       | -3 a -1 dBm    | -2.0            | OK     |

Tabla 3.19: niveles ópticos obtenidos de lado east, estación 8

### Medición de potencia óptica de salida del transponder de lado CLIENTE

| No. Canal | Tipo de Int. | Especificación | Resultado [dBm] | Estado |
|-----------|--------------|----------------|-----------------|--------|
| 4         | I-16         | -10 a -3 dBm   | -5.7            | OK     |
| 19        | I-64.2       | -5.0 a -1 dBm  | -3.6            | OK     |

Tabla 3.20: niveles ópticos obtenidos de lado west, estación 6

| No. Canal | Tipo de Int. | Especificación | Resultado [dBm] | Estado |
|-----------|--------------|----------------|-----------------|--------|
| 4         | I-16         | -10 a -3 dBm   | -5.5            | OK     |
| 19        | I-64.2       | -5.0 a -1 dBm  | -3.8            | OK     |

Tabla 3.21: niveles ópticos obtenidos de lado east, estación 8

### Medición de potencia óptica de salida del amplificador de lado Tx

| No. de Onda | Tipo de Int. | Especificación | Resultado [dBm] | Estado |
|-------------|--------------|----------------|-----------------|--------|
| 4           | TRXA40C2     | 5.5 a 13.5 dBm | 9.2             | OK     |

Tabla 3.22: niveles ópticos obtenidos del lado west, estación 6

| No. de Onda | Tipo de Int. | Especificación | Resultado [dBm] | Estado |
|-------------|--------------|----------------|-----------------|--------|
| 5           | TRXA40C2     | 6.5 a 14.5 dBm | 10.1            | OK     |

Tabla 3.23: niveles ópticos obtenidos del lado east, estación 8

### Medición de potencia óptica de salida del amplificador de lado Rx

| No. de Onda | Tipo de Int. | Especificación | Resultado [dBm] | Estado |
|-------------|--------------|----------------|-----------------|--------|
| 4           | TRXA40C1     | -19 a -9 dBm   | -10.5           | OK     |

Tabla 3.24: niveles ópticos obtenidos del lado west, Estación 6

| No. de Onda | Tipo de Int. | Especificación | Resultado [dBm] | Estado |
|-------------|--------------|----------------|-----------------|--------|
| 5           | TRXA40C2     | -24 a -11 dBm  | -17             | OK     |

Tabla 3.25: niveles ópticos obtenidos del lado east, Estación 8

## 3.5.3 Mediciones en Estación 8 y estaciones vecinas 7 y 9

### Medición de potencia óptica de salida del transponder de lado WDM

| No. Canal | Tipo de Int. | Especificación | Resultado [dBm] | Estado |
|-----------|--------------|----------------|-----------------|--------|
| 1         | 10GbE-LR     | -3 a -1 dBm    | -2.7            | OK     |
| 2         | 10GbE-LR     | -3 a -1 dBm    | -2.8            | OK     |
| 3         | 10GbE-LR     | -3 a -1 dBm    | -2.0            | OK     |
| 4         | I-16         | -3 a -1 dBm    | -2.0            | OK     |
| 19        | I-64.2       | -3 a -1 dBm    | -2.0            | OK     |

Tabla 3.26: niveles ópticos obtenidos de lado west, estación 7

| No. Canal | Tipo de Int. | Especificación | Resultado [dBm] | Estado |
|-----------|--------------|----------------|-----------------|--------|
| 2         | 10GbE-LR     | -3 a -1 dBm    | -2.2            | OK     |
| 4         | I-16         | -3 a -1 dBm    | -2.0            | OK     |
| 19        | I-64.2       | -3 a -1 dBm    | -2.1            | OK     |

Tabla 3.27: niveles ópticos obtenidos de lado east, estación 9

### Medición de potencia óptica de salida del transponder de lado CLIENTE

| No. Canal | Tipo de Int. | Especificación  | Resultado [dBm] | Estado |
|-----------|--------------|-----------------|-----------------|--------|
| 1         | 10GbE-LR     | -8.2 a +5.0 dBm | -4.2            | OK     |
| 2         | 10GbE-LR     | -8.2 a +5.0 dBm | -4.2            | OK     |
| 3         | 10GbE-LR     | -8.2 a +5.0 dBm | -4.4            | OK     |
| 4         | I-16         | -10 a -3.0 dBm  | -5.7            | OK     |
| 19        | I-64.2       | -5.0 a -1.0 dBm | -7.2            | OK     |

Tabla 3.28: niveles ópticos obtenidos de lado west, estación 7

| No. Canal | Tipo de Int. | Especificación  | Resultado [dBm] | Estado |
|-----------|--------------|-----------------|-----------------|--------|
| 2         | 10GbE-LR     | -8.2 a +0.5 dBm | -4.2            | OK     |
| 4         | I-16         | -10 a -3.0 dBm  | -5.2            | OK     |
| 19        | I-64.2       | -5.0 a -1.0 dBm | -7.2            | OK     |

Tabla 3.29: niveles ópticos obtenidos de lado east, estación 9

### Medición de potencia óptica de salida del amplificador de lado Tx

| No. de Onda | Tipo de Int. | Especificación | Resultado [dBm] | Estado |
|-------------|--------------|----------------|-----------------|--------|
| 5           | TRXA40C2     | 6.5 a 14.5 dBm | 9.8             | OK     |

Tabla 3.30: niveles ópticos obtenidos del lado west, estación 7

| No. de Onda | Tipo de Int. | Especificación | Resultado [dBm] | Estado |
|-------------|--------------|----------------|-----------------|--------|
| 3           | TRXA40C2     | 4.3 a 12.3 dBm | 7.6             | OK     |

Tabla 3.31: niveles ópticos obtenidos del lado east, estación 9

### Medición de potencia óptica de salida del amplificador de lado Rx

| No. de Onda | Tipo de Int. | Especificación | Resultado [dBm] | Estado |
|-------------|--------------|----------------|-----------------|--------|
| 5           | TRXA40C2     | -24 a -11 dBm  | -18.1           | OK     |

Tabla 3.32: niveles ópticos obtenidos del lado west, Estación 7

| No. de Onda | Tipo de Int. | Especificación    | Resultado [dBm] | Estado |
|-------------|--------------|-------------------|-----------------|--------|
| 3           | TRXA40C2     | -26.2 a -13.2 dBm | -15.2           | OK     |

Tabla 3.33: niveles ópticos obtenidos del lado east, Estación 9

## 3.5.4 Mediciones en Estación 9 y estaciones vecinas 8 y 10

### Medición de potencia óptica de salida del transponder de lado WDM

| No. Canal | Tipo de Int. | Especificación | Resultado [dBm] | Estado |
|-----------|--------------|----------------|-----------------|--------|
| 19        | I-64.2       | -3 a -1 dBm    | -1.8            | OK     |

Tabla 3.34: niveles ópticos obtenidos de lado west, estación 8

| No. Canal | Tipo de Int. | Especificación | Resultado [dBm] | Estado |
|-----------|--------------|----------------|-----------------|--------|
| 1         | 10GbE-LR     | -3 a -1 dBm    | -2.1            | OK     |
| 3         | 10GbE-LR     | -3 a -1 dBm    | -2.1            | OK     |
| 19        | I-64.2       | -3 a -1 dBm    | -1.8            | OK     |

Tabla 3.35: niveles ópticos obtenidos de lado east, estación 10

### Medición de potencia óptica de salida del transponder de lado CLIENTE

| No. Canal | Tipo de Int. | Especificación  | Resultado [dBm] | Estado |
|-----------|--------------|-----------------|-----------------|--------|
| 19        | I-64.2       | -5.0 a -1.0 dBm | -7.7            | OK     |

Tabla 3.36: niveles ópticos obtenidos de lado west, estación 8

| No. Canal | Tipo de Int. | Especificación  | Resultado [dBm] | Estado |
|-----------|--------------|-----------------|-----------------|--------|
| 1         | 10GbE-LR     | -8.2 a +5.0 dBm | -4.6            | OK     |
| 3         | 10GbE-LR     | -8.2 a +5.0 dBm | -4.2            | OK     |
| 19        | I-64.2       | -5.0 a -1.0 dBm | -4.7            | OK     |

Tabla 3.37: niveles ópticos obtenidos de lado east, estación 10

### Medición de potencia óptica de salida del amplificador de lado Tx

| No. de Onda | Tipo de Int. | Especificación | Resultado [dBm] | Estado |
|-------------|--------------|----------------|-----------------|--------|
| 3           | TRXA40C2     | 4.3 a 12.3 dBm | 7.5             | OK     |

Tabla 3.38: niveles ópticos obtenidos del lado west, estación 8

| No. de Onda | Tipo de Int. | Especificación | Resultado [dBm] | Estado |
|-------------|--------------|----------------|-----------------|--------|
| 5           | TRXA40C2     | 6.5 a 14.5 dBm | 9.5             | OK     |

Tabla 3.39: niveles ópticos obtenidos del lado east, estación 10

### Medición de potencia óptica de salida del amplificador de lado Rx

| No. de Onda | Tipo de Int. | Especificación    | Resultado [dBm] | Estado |
|-------------|--------------|-------------------|-----------------|--------|
| 3           | TRXA40C2     | -26.2 a -13.2 dBm | -15.1           | OK     |

Tabla 3.40: niveles ópticos obtenidos del lado west, Estación 8

| No. de Onda | Tipo de Int. | Especificación | Resultado [dBm] | Estado |
|-------------|--------------|----------------|-----------------|--------|
| 5           | TRXA40C1     | -18 a -8.0 dBm | -14.2           | OK     |

Tabla 3.41: niveles ópticos obtenidos del lado east, Estación 10

## 3.5.5 Mediciones en Estación 10 y estaciones vecinas 9 y 11

### Medición de potencia óptica de salida del transponder de lado WDM

| No. Canal | Tipo de Int. | Especificación | Resultado [dBm] | Estado |
|-----------|--------------|----------------|-----------------|--------|
| 2         | 10GbE-LR     | -3 a -1 dBm    | -2.1            | OK     |
| 3         | 10GbE-LR     | -3 a -1 dBm    | -2.0            | OK     |
| 4         | I-16         | -3 a -1 dBm    | -1.8            | OK     |
| 19        | I-64.2       | -3 a -1 dBm    | -1.9            | OK     |

Tabla 3.42: niveles ópticos obtenidos del lado west, Estación 9

| No. Canal | Tipo de Int. | Especificación | Resultado [dBm] | Estado |
|-----------|--------------|----------------|-----------------|--------|
| 2         | 10GbE-LR     | -3 a -1 dBm    | -2.1            | OK     |
| 3         | 10GbE-LR     | -3 a -1 dBm    | -2.0            | OK     |
| 4         | I-16         | -3 a -1 dBm    | -2.0            | OK     |
| 19        | I-64.2       | -3 a -1 dBm    | -1.8            | OK     |

Tabla 3.43: niveles ópticos obtenidos del lado east, Estación 11

### Medición de potencia óptica de salida del transponder de lado CLIENTE

| No. Canal | Tipo de Int. | Especificación  | Resultado [dBm] | Estado |
|-----------|--------------|-----------------|-----------------|--------|
| 2         | 10GbE-LR     | -8.2 a +5.0 dBm | -4.2            | OK     |
| 3         | 10GbE-LR     | -8.2 a +5.0 dBm | -4.4            | OK     |
| 4         | I-16         | -10 a -3.0 dBm  | -5.6            | OK     |
| 19        | I-64.2       | -5.0 a -1.0 dBm | -3.2            | OK     |

Tabla 3.44: niveles ópticos obtenidos del lado west, Estación 9

| No. Canal | Tipo de Int. | Especificación  | Resultado [dBm] | Estado |
|-----------|--------------|-----------------|-----------------|--------|
| 2         | 10GbE-LR     | -8.2 a +5.0 dBm | -4.2            | OK     |
| 3         | 10GbE-LR     | -8.2 a +5.0 dBm | -4.5            | OK     |
| 4         | I-16         | -10 a -3.0 dBm  | -5.1            | OK     |
| 19        | I-64.2       | -5.0 a -1.0 dBm | -3.2            | OK     |

Tabla 3.45: niveles ópticos obtenidos del lado east, Estación 11

### Medición de potencia óptica de salida del amplificador de lado Tx

| No. de Onda | Tipo de Int. | Especificación | Resultado [dBm] | Estado |
|-------------|--------------|----------------|-----------------|--------|
| 5           | TRXA40C2     | 6.5 a 14.5 dBm | 10.1            | OK     |

Tabla 3.46: niveles ópticos obtenidos del lado west, estación 9

| No. de Onda | Tipo de Int. | Especificación | Resultado [dBm] | Estado |
|-------------|--------------|----------------|-----------------|--------|
| 5           | TRXA40C2     | 6.5 a 14.5 dBm | 10.3            | OK     |

Tabla 3.47: niveles ópticos obtenidos del lado east, estación 11

### Medición de potencia óptica de salida del amplificador de lado Rx

| No. de Onda | Tipo de Int. | Especificación | Resultado [dBm] | Estado |
|-------------|--------------|----------------|-----------------|--------|
| 5           | TRXA40C1     | -18 a -8.0 dBm | -12.1           | OK     |

Tabla 3.48: niveles ópticos obtenidos del lado west, Estación 9

| No. de Onda | Tipo de Int. | Especificación | Resultado [dBm] | Estado |
|-------------|--------------|----------------|-----------------|--------|
| 5           | TRXA40C1     | -18 a -8.0 dBm | -12.5           | OK     |

Tabla 3.49: niveles ópticos obtenidos del lado east, Estación 11

## 3.5.6 Mediciones en Estación 11 y estaciones vecinas 10 y 12

### Medición de potencia óptica de salida del transponder de lado WDM

| No. de Onda | Tipo de Int. | Especificación | Resultado [dBm] | Estado |
|-------------|--------------|----------------|-----------------|--------|
| 19          | I-64.2       | -3 a -1 dBm    | -1.9            | OK     |

Tabla 3.50: niveles ópticos obtenidos del lado west, Estación 10

| No. de Onda | Tipo de Int. | Especificación | Resultado [dBm] | Estado |
|-------------|--------------|----------------|-----------------|--------|
| 19          | I-64.2       | -3 a -1 dBm    | -2.0            | OK     |

Tabla 3.51: niveles ópticos obtenidos del lado east, Estación 12

### Medición de potencia óptica de salida del transponder de lado CLIENTE

| No. de Onda | Tipo de Int. | Especificación  | Resultado [dBm] | Estado |
|-------------|--------------|-----------------|-----------------|--------|
| 19          | I-64.2       | -5.0 a -1.0 dBm | -3.2            | OK     |

Tabla 3.52: niveles ópticos obtenidos del lado west, Estación 10

| No. de Onda | Tipo de Int. | Especificación  | Resultado [dBm] | Estado |
|-------------|--------------|-----------------|-----------------|--------|
| 19          | I-64.2       | -5.0 a -1.0 dBm | -3.0            | OK     |

Tabla 3.53: niveles ópticos obtenidos del lado east, Estación 12

### Medición de potencia óptica de salida del amplificador de lado Tx

| No. de Onda | Tipo de Int. | Especificación | Resultado [dBm] | Estado |
|-------------|--------------|----------------|-----------------|--------|
| 5           | TRXA40C2     | 6.5 a 14.5 dBm | 9.6             | OK     |

Tabla 3.54 niveles ópticos obtenidos del lado west, estación 10

| No. de Onda | Tipo de Int. | Especificación | Resultado [dBm] | Estado |
|-------------|--------------|----------------|-----------------|--------|
| 5           | TRXA40C2     | 6.5 a 14.5 dBm | 9.5             | OK     |

Tabla 3.55: niveles ópticos obtenidos del lado east, estación 12

### Medición de potencia óptica de salida del amplificador de lado Rx

| No. de Onda | Tipo de Int. | Especificación | Resultado [dBm] | Estado |
|-------------|--------------|----------------|-----------------|--------|
| 5           | TRXA40C1     | -18 a -8.0 dBm | -17             | OK     |

Tabla 3.56: niveles ópticos obtenidos del lado west, estación 10

| No. de Onda | Tipo de Int. | Especificación | Resultado [dBm] | Estado |
|-------------|--------------|----------------|-----------------|--------|
| 5           | TRXA40C1     | -18 a -8.0 dBm | -12.5           | OK     |

Tabla 3.57: niveles ópticos obtenidos del lado east, estación 12

## 3.5.7 Mediciones en Estación 12 y estaciones vecinas 6, 11 y 13

### Medición de potencia óptica de salida del transponder de lado WDM

| No. Canal | Tipo de Int. | Especificación | Resultado [dBm] | Estado |
|-----------|--------------|----------------|-----------------|--------|
| 1         | 10GbE-LR     | -3 a -1 dBm    | -2.0            | OK     |
| 2         | 10GbE-LR     | -3 a -1 dBm    | -2.2            | OK     |
| 3         | 10GbE-LR     | -3 a -1 dBm    | -2.1            | OK     |
| 4         | I-16         | -3 a -1 dBm    | -2.0            | OK     |
| 5         | I-16         | -3 a -1 dBm    | -2.0            | OK     |
| 7         | I-64.2       | -3 a -1 dBm    | -2.0            | OK     |
| 19        | I-64.2       | -3 a -1 dBm    | -2.1            | OK     |

Tabla 3.58: niveles ópticos obtenidos del lado west, Estación 6

| No. Canal | Tipo de Int. | Especificación | Resultado [dBm] | Estado |
|-----------|--------------|----------------|-----------------|--------|
| 1         | 10GbE-LR     | -3 a -1 dBm    | -2.1            | OK     |
| 2         | 10GbE-LR     | -3 a -1 dBm    | -1.8            | OK     |
| 3         | 10GbE-LR     | -3 a -1 dBm    | -2.1            | OK     |
| 4         | I-16         | -3 a -1 dBm    | -2.0            | OK     |
| 19        | I-64.2       | -3 a -1 dBm    | -1.8            | OK     |

Tabla 3.59: niveles ópticos obtenidos del lado west, Estación 11

| No. Canal | Tipo de Int. | Especificación | Resultado [dBm] | Estado |
|-----------|--------------|----------------|-----------------|--------|
| 1         | 10GbE-LR     | -3 a -1 dBm    | -2.2            | OK     |
| 2         | 10GbE-LR     | -3 a -1 dBm    | -2.7            | OK     |
| 3         | 10GbE-LR     | -3 a -1 dBm    | -2.0            | OK     |
| 4         | I-16         | -3 a -1 dBm    | -2.1            | OK     |
| 19        | I-64.2       | -3 a -1 dBm    | -2.0            | OK     |

Tabla 3.60: niveles ópticos obtenidos del lado east, Estación 13

### Medición de potencia óptica de salida del transponder de lado CLIENTE

| No. Canal | Tipo de Int. | Especificación  | Resultado [dBm] | Estado |
|-----------|--------------|-----------------|-----------------|--------|
| 1         | 10GbE-LR     | -8.2 a +5.0 dBm | -4.5            | OK     |
| 2         | 10GbE-LR     | -8.2 a +5.0 dBm | -4.5            | OK     |
| 3         | 10GbE-LR     | -8.2 a +5.0 dBm | -4.2            | OK     |
| 4         | I-16         | -10 a -3.0 dBm  | -5.2            | OK     |
| 5         | I-16         | -10 a -3.0 dBm  | -5.5            | OK     |
| 7         | I-64.2       | -5.0 a -1.0 dBm | -3.5            | OK     |
| 19        | I-64.2       | -5.0 a -1.0 dBm | -3.2            | OK     |

Tabla 3.61: niveles ópticos obtenidos del lado west, Estación 6

| No. Canal | Tipo de Int. | Especificación  | Resultado [dBm] | Estado |
|-----------|--------------|-----------------|-----------------|--------|
| 1         | 10GbE-LR     | -8.2 a +5.0 dBm | -4.2            | OK     |
| 2         | 10GbE-LR     | -8.2 a +5.0 dBm | -4.2            | OK     |
| 3         | 10GbE-LR     | -8.2 a +5.0 dBm | -4.4            | OK     |
| 4         | I-16         | -10 a -3.0 dBm  | -5.1            | OK     |
| 19        | I-64.2       | -5.0 a -1.0 dBm | -3.7            | OK     |

Tabla 3.62: niveles ópticos obtenidos del lado west, Estación 11

| No. Canal | Tipo de Int. | Especificación  | Resultado [dBm] | Estado |
|-----------|--------------|-----------------|-----------------|--------|
| 1         | 10GbE-LR     | -8.2 a +5.0 dBm | -4.4            | OK     |
| 2         | 10GbE-LR     | -8.2 a +5.0 dBm | -4.5            | OK     |
| 3         | 10GbE-LR     | -8.2 a +5.0 dBm | -4.2            | OK     |
| 4         | I-16         | -10 a -3.0 dBm  | -6.0            | OK     |
| 19        | I-64.2       | -5.0 a -1.0 dBm | -3.2            | OK     |

Tabla 3.63: niveles ópticos obtenidos del lado east, Estación 13

### Medición de potencia óptica de salida del amplificador de lado Tx

| No. de Onda | Tipo de Int. | Especificación | Resultado [dBm] | Estado |
|-------------|--------------|----------------|-----------------|--------|
| 7           | TRXA40C2     | 8.0 a 16.0 dBm | 10.5            | OK     |

Tabla 3.64: niveles ópticos obtenidos del lado west, estación 6

| No. de Onda | Tipo de Int. | Especificación | Resultado [dBm] | Estado |
|-------------|--------------|----------------|-----------------|--------|
| 5           | TRXA40C2     | 6.5 a 14.5 dBm | 9.8             | OK     |

Tabla 3.65: niveles ópticos obtenidos del lado west, estación 11

| No. de Onda | Tipo de Int. | Especificación | Resultado [dBm] | Estado |
|-------------|--------------|----------------|-----------------|--------|
| 5           | TRXA40C2     | 6.5 a 14.5 dBm | 9.7             | OK     |

Tabla 3.66: niveles ópticos obtenidos del lado east, estación 13

### Medición de potencia óptica de salida del amplificador de lado Rx

| No. de Onda | Tipo de Int. | Especificación   | Resultado [dBm] | Estado |
|-------------|--------------|------------------|-----------------|--------|
| 7           | TRXA40C1     | -16.5 a -6.5 dBm | -10.7           | OK     |

Tabla 3.67: niveles ópticos obtenidos del lado west, estación 6

| No. de Onda | Tipo de Int. | Especificación   | Resultado [dBm] | Estado |
|-------------|--------------|------------------|-----------------|--------|
| 5           | TRXA40C1     | -18.0 a -8.0 dBm | -12.8           | OK     |

Tabla 3.68: niveles ópticos obtenidos del lado west, estación 11

| No. de Onda | Tipo de Int. | Especificación    | Resultado [dBm] | Estado |
|-------------|--------------|-------------------|-----------------|--------|
| 5           | TRXA40C2     | -24.0 a -11.0 dBm | -17.0           | OK     |

Tabla 3.69: niveles ópticos obtenidos del lado east, estación 13

### 3.5.8 Mediciones en Estación 13 y estaciones vecinas 12 y 14

#### Medición de potencia óptica de salida del transponder de lado WDM

| No. de Onda | Tipo de Int. | Especificación | Resultado [dBm] | Estado |
|-------------|--------------|----------------|-----------------|--------|
| 4           | I-16         | -3 a -1 dBm    | -2.1            | OK     |
| 19          | I-64.2       | -3 a -1 dBm    | -1.9            | OK     |

Tabla 3.70: niveles ópticos obtenidos del lado west, estación 12

| No. de Onda | Tipo de Int. | Especificación | Resultado [dBm] | Estado |
|-------------|--------------|----------------|-----------------|--------|
| 4           | I-16         | -3 a -1 dBm    | -2.0            | OK     |
| 19          | I-64.2       | -3 a -1 dBm    | -1.9            | OK     |

Tabla 3.71: niveles ópticos obtenidos del lado west, estación 14

#### Medición de potencia óptica de salida del transponder de lado CLIENTE

| No. de Onda | Tipo de Int. | Especificación   | Resultado [dBm] | Estado |
|-------------|--------------|------------------|-----------------|--------|
| 4           | I-16         | -10.0 a -3.0 dBm | -5.5            | OK     |
| 19          | I-64.2       | -5.0 a -1.0 dBm  | -3.1            | OK     |

Tabla 3.72: niveles ópticos obtenidos del lado west, estación 12

| No. de Onda | Tipo de Int. | Especificación   | Resultado [dBm] | Estado |
|-------------|--------------|------------------|-----------------|--------|
| 4           | I-16         | -10.0 a -3.0 dBm | -5.4            | OK     |
| 19          | I-64.2       | -5.0 a -1.0 dBm  | -3.1            | OK     |

Tabla 3.73: niveles ópticos obtenidos del lado east, estación 14

#### Medición de potencia óptica de salida del amplificador de lado Tx

| No. de Onda | Tipo de Int. | Especificación | Resultado [dBm] | Estado |
|-------------|--------------|----------------|-----------------|--------|
| 5           | TRXA40C2     | 6.5 a 14.5 dBm | 9.5             | OK     |

Tabla 3.74: niveles ópticos obtenidos del lado west, estación 12

| No. de Onda | Tipo de Int. | Especificación | Resultado [dBm] | Estado |
|-------------|--------------|----------------|-----------------|--------|
| 5           | TRXA40C2     | 6.5 a 14.5 dBm | 9.9             | OK     |

Tabla 3.75: niveles ópticos obtenidos del lado east, estación 14

### Medición de potencia óptica de salida del amplificador de lado Rx

| No. de Onda | Tipo de Int. | Especificación    | Resultado [dBm] | Estado |
|-------------|--------------|-------------------|-----------------|--------|
| 5           | TRXA40C2     | -24.0 a -11.0 dBm | -17.0           | OK     |

Tabla 3.76: niveles ópticos obtenidos del lado west, estación 12

| No. de Onda | Tipo de Int. | Especificación    | Resultado [dBm] | Estado |
|-------------|--------------|-------------------|-----------------|--------|
| 5           | TRXA40C2     | -24.0 a -11.0 dBm | -16.6           | OK     |

Tabla 3.77: niveles ópticos obtenidos del lado east, estación 14

### 3.5.9 Mediciones en Estación 14 y estaciones vecinas 3, 13 y 15

#### Medición de potencia óptica de salida del transponder de lado WDM

| No. Canal | Tipo de Int. | Especificación | Resultado [dBm] | Estado |
|-----------|--------------|----------------|-----------------|--------|
| 2         | 10GbE-LR     | -3 a -1 dBm    | -1.8            | OK     |
| 3         | 10GbE-LR     | -3 a -1 dBm    | -2.2            | OK     |
| 4         | I-16         | -3 a -1 dBm    | -2.1            | OK     |
| 19        | I-64.2       | -3 a -1 dBm    | -1.8            | OK     |

Tabla 3.78: niveles ópticos obtenidos del lado west, estación 3

| No. Canal | Tipo de Int. | Especificación | Resultado [dBm] | Estado |
|-----------|--------------|----------------|-----------------|--------|
| 2         | 10GbE-LR     | -3 a -1 dBm    | -2.1            | OK     |
| 3         | 10GbE-LR     | -3 a -1 dBm    | -2.0            | OK     |
| 4         | I-16         | -3 a -1 dBm    | -2.1            | OK     |
| 19        | I-64.2       | -3 a -1 dBm    | -2.1            | OK     |

Tabla 3.79: niveles ópticos obtenidos del lado west, estación 13

| No. Canal | Tipo de Int. | Especificación | Resultado [dBm] | Estado |
|-----------|--------------|----------------|-----------------|--------|
| 2         | 10GbE-LR     | -3 a -1 dBm    | -2.1            | OK     |
| 3         | 10GbE-LR     | -3 a -1 dBm    | -2.1            | OK     |
| 4         | I-16         | -3 a -1 dBm    | -2.1            | OK     |

Tabla 3.80: niveles ópticos obtenidos del lado east, estación 15

#### Medición de potencia óptica de salida del transponder de lado CLIENTE

| No. Canal | Tipo de Int. | Especificación  | Resultado [dBm] | Estado |
|-----------|--------------|-----------------|-----------------|--------|
| 2         | 10GbE-LR     | -8.2 a +5.0 dBm | -4.5            | OK     |
| 3         | 10GbE-LR     | -8.2 a +5.0 dBm | -4.7            | OK     |
| 4         | I-16         | -10 a -3.0 dBm  | -5.4            | OK     |
| 19        | I-64.2       | -5.0 a -1.0 dBm | -3.1            | OK     |

Tabla 3.81: niveles ópticos obtenidos del lado west, estación 3

| No. Canal | Tipo de Int. | Especificación  | Resultado [dBm] | Estado |
|-----------|--------------|-----------------|-----------------|--------|
| 2         | 10GbE-LR     | -8.2 a +5.0 dBm | -4.5            | OK     |
| 3         | 10GbE-LR     | -8.2 a +5.0 dBm | -4.9            | OK     |
| 4         | I-16         | -10 a -3.0 dBm  | -5.6            | OK     |
| 19        | I-64.2       | -5.0 a -1.0 dBm | -3.2            | OK     |

Tabla 3.82: niveles ópticos obtenidos del lado west, estación 13

| No. Canal | Tipo de Int. | Especificación  | Resultado [dBm] | Estado |
|-----------|--------------|-----------------|-----------------|--------|
| 2         | 10GbE-LR     | -8.2 a +5.0 dBm | -4.3            | OK     |
| 3         | 10GbE-LR     | -8.2 a +5.0 dBm | -4.2            | OK     |
| 4         | I-16         | -10 a -3.0 dBm  | -5.5            | OK     |

Tabla 3.83: niveles ópticos obtenidos del lado east, estación 15

#### Medición de potencia óptica de salida del amplificador de lado Tx

| No. de Onda | Tipo de Int. | Especificación | Resultado [dBm] | Estado |
|-------------|--------------|----------------|-----------------|--------|
| 4           | TRXA40C2     | 5.5 a 13.5 dBm | 8.4             | OK     |

Tabla 3.84: niveles ópticos obtenidos del lado west, estación 3

| No. de Onda | Tipo de Int. | Especificación | Resultado [dBm] | Estado |
|-------------|--------------|----------------|-----------------|--------|
| 5           | TRXA40C2     | 6.5 a 14.5 dBm | 9.6             | OK     |

Tabla 3.85: niveles ópticos obtenidos del lado west, estación 13

| No. de Onda | Tipo de Int. | Especificación | Resultado [dBm] | Estado |
|-------------|--------------|----------------|-----------------|--------|
| 4           | TRXA40C2     | 5.5 a 13.5 dBm | 8.4             | OK     |

Tabla 3.86: niveles ópticos obtenidos del lado east, estación 15

#### Medición de potencia óptica de salida del amplificador de lado Rx

| No. de Onda | Tipo de Int. | Especificación | Resultado [dBm] | Estado |
|-------------|--------------|----------------|-----------------|--------|
| 4           | TRXA40C2     | -25 a -12 dBm  | -18.5           | OK     |

Tabla 3.87: niveles ópticos obtenidos del lado west, estación 3

| No. de Onda | Tipo de Int. | Especificación  | Resultado [dBm] | Estado |
|-------------|--------------|-----------------|-----------------|--------|
| 5           | TRXA40C2     | -24 a -11.0 dBm | -16.9           | OK     |

Tabla 3.88: niveles ópticos obtenidos del lado west, estación 13

| No. de Onda | Tipo de Int. | Especificación | Resultado [dBm] | Estado |
|-------------|--------------|----------------|-----------------|--------|
| 4           | TRXA40C2     | -25 a -12 dBm  | -18.4           | OK     |

Tabla 3.89: niveles ópticos obtenidos del lado east, estación 15

### 3.5.10 Mediciones en Estación 15 y estaciones vecinas 1 y 14

#### Medición de potencia óptica de salida del transponder de lado WDM

| No. de Onda | Tipo de Int. | Especificación | Resultado [dBm] | Estado |
|-------------|--------------|----------------|-----------------|--------|
| 4           | I-16         | -3 a -1.0 dBm  | -2.0            | OK     |

Tabla 3.90: niveles ópticos obtenidos del lado west, estación 14

| No. de Onda | Tipo de Int. | Especificación | Resultado [dBm] | Estado |
|-------------|--------------|----------------|-----------------|--------|
| 4           | I-16         | -3 a -1.0 dBm  | -2.0            | OK     |

Tabla 3.91: niveles ópticos obtenidos del lado east, estación 1

#### Medición de potencia óptica de salida del transponder de lado CLIENTE

| No. de Onda | Tipo de Int. | Especificación | Resultado [dBm] | Estado |
|-------------|--------------|----------------|-----------------|--------|
| 4           | I-16         | -10 a -3.0 dBm | -5.7            | OK     |

Tabla 3.92: niveles ópticos obtenidos del lado west, estación 14

| No. de Onda | Tipo de Int. | Especificación | Resultado [dBm] | Estado |
|-------------|--------------|----------------|-----------------|--------|
| 4           | I-16         | -10 a -3.0 dBm | -5.6            | OK     |

Tabla 3.93: niveles ópticos obtenidos del lado east, estación 1

#### Medición de potencia óptica de salida del amplificador de lado Tx

| No. de Onda | Tipo de Int. | Especificación | Resultado [dBm] | Estado |
|-------------|--------------|----------------|-----------------|--------|
| 4           | TRXA40C2     | 5.5 a 13.5 dBm | 8.7             | OK     |

Tabla 3.94: niveles ópticos obtenidos del lado west, estación 14

| No. de Onda | Tipo de Int. | Especificación | Resultado [dBm] | Estado |
|-------------|--------------|----------------|-----------------|--------|
| 4           | TRXA40C2     | 5.5 a 13.5 dBm | 8.4             | OK     |

Tabla 3.95: niveles ópticos obtenidos del lado east, estación 1

#### Medición de potencia óptica de salida del amplificador de lado Rx

| No. de Onda | Tipo de Int. | Especificación | Resultado [dBm] | Estado |
|-------------|--------------|----------------|-----------------|--------|
| 4           | TRXA40C2     | -25 a -12 dBm  | -17.8           | OK     |

Tabla 3.96: niveles ópticos obtenidos del lado west, estación 14

| No. de Onda | Tipo de Int. | Especificación | Resultado [dBm] | Estado |
|-------------|--------------|----------------|-----------------|--------|
| 4           | TRXA40C1     | -19 a -9.0 dBm | -15.1           | OK     |

Tabla 3.97: niveles ópticos obtenidos del lado east, estación 1

### 3.5.11 Mediciones en Estación 1 y estaciones vecinas 2 y 15

#### Medición de potencia óptica de salida del transponder de lado WDM

| No. de Onda | Tipo de Int. | Especificación | Resultado [dBm] | Estado |
|-------------|--------------|----------------|-----------------|--------|
| 1           | 10GbE-LR     | -3 a -1.0 dBm  | -2.7            | OK     |

Tabla 3.98: niveles ópticos obtenidos del lado west, estación 15

| No. de Onda | Tipo de Int. | Especificación | Resultado [dBm] | Estado |
|-------------|--------------|----------------|-----------------|--------|
| 1           | 10GbE-LR     | -3 a -1 dBm    | -2.1            | OK     |
| 6           | I-64.2       | -3 a -1 dBm    | -2.1            | OK     |

Tabla 3.99: niveles ópticos obtenidos del lado east, estación 2

#### Medición de potencia óptica de salida del transponder de lado CLIENTE

| No. de Onda | Tipo de Int. | Especificación  | Resultado [dBm] | Estado |
|-------------|--------------|-----------------|-----------------|--------|
| 1           | 10GbE-LR     | -8.2 a +5.0 dBm | -4.2            | OK     |

Tabla 3.100: niveles ópticos obtenidos del lado west, estación 15

| No. de Onda | Tipo de Int. | Especificación  | Resultado [dBm] | Estado |
|-------------|--------------|-----------------|-----------------|--------|
| 1           | 10GbE-LR     | -8.2 a +5.0 dBm | -4.4            | OK     |
| 6           | I-64.2       | -5.0 a -1.0 dBm | -3.2            | OK     |

Tabla 3.101: niveles ópticos obtenidos del lado east, estación 2

#### Medición de potencia óptica de salida del amplificador de lado Tx

| No. de Onda | Tipo de Int. | Especificación | Resultado [dBm] | Estado |
|-------------|--------------|----------------|-----------------|--------|
| 4           | TRXA40C2     | 5.5 a 13.5 dBm | 8.8             | OK     |

Tabla 3.102: niveles ópticos obtenidos del lado west, estación 15

| No. de Onda | Tipo de Int. | Especificación | Resultado [dBm] | Estado |
|-------------|--------------|----------------|-----------------|--------|
| 5           | TRXA40C2     | 6.5 a 14.5 dBm | 9.7             | OK     |

Tabla 3.103: niveles ópticos obtenidos del lado east, estación 2

### Medición de potencia óptica de salida del amplificador de lado Rx

| No. de Onda | Tipo de Int. | Especificación | Resultado [dBm] | Estado |
|-------------|--------------|----------------|-----------------|--------|
| 4           | TRXA40C1     | -19 a -9.0 dBm | -17.7           | OK     |

Tabla 3.104: niveles ópticos obtenidos del lado west, estación 15

| No. de Onda | Tipo de Int. | Especificación | Resultado [dBm] | Estado |
|-------------|--------------|----------------|-----------------|--------|
| 5           | TRXA40C1     | -18 a -8.0 dBm | -12.1           | OK     |

Tabla 3.105: niveles ópticos obtenidos del lado east, estación 2

## 3.5.12 Mediciones en Estación 2 y estaciones vecinas 1 y 3

### Medición de potencia óptica de salida del transponder de lado WDM

| No. de Onda | Tipo de Int. | Especificación | Resultado [dBm] | Estado |
|-------------|--------------|----------------|-----------------|--------|
| 4           | I-16         | -3 a -1.0 dBm  | -2.0            | OK     |

Tabla 3.106: niveles ópticos obtenidos del lado west, estación 1

| No. de Onda | Tipo de Int. | Especificación | Resultado [dBm] | Estado |
|-------------|--------------|----------------|-----------------|--------|
| 4           | I-16         | -3 a -1.0 dBm  | -2.0            | OK     |

Tabla 3.107: niveles ópticos obtenidos del lado east, estación 3

### Medición de potencia óptica de salida del transponder de lado CLIENTE

| No. de Onda | Tipo de Int. | Especificación   | Resultado [dBm] | Estado |
|-------------|--------------|------------------|-----------------|--------|
| 4           | I-16         | -10.0 a -3.0 dBm | -5.2            | OK     |

Tabla 3.108: niveles ópticos obtenidos del lado west, estación 1

| No. de Onda | Tipo de Int. | Especificación   | Resultado [dBm] | Estado |
|-------------|--------------|------------------|-----------------|--------|
| 4           | I-16         | -10.0 a -3.0 dBm | -5.7            | OK     |

Tabla 3.109: niveles ópticos obtenidos del lado east, estación 3

### Medición de potencia óptica de salida del amplificador de lado Tx

| No. de Onda | Tipo de Int. | Especificación | Resultado [dBm] | Estado |
|-------------|--------------|----------------|-----------------|--------|
| 5           | TRXA40C2     | 6.5 a 14.5 dBm | 9.5             | OK     |

Tabla 3.110: niveles ópticos obtenidos del lado west, estación 1

| No. de Onda | Tipo de Int. | Especificación | Resultado [dBm] | Estado |
|-------------|--------------|----------------|-----------------|--------|
| 5           | TRXA40C2     | 6.5 a 14.5 dBm | 9.7             | OK     |

Tabla 3.111: niveles ópticos obtenidos del lado east, estación 3

### Medición de potencia óptica de salida del amplificador de lado Rx

| No. de Onda | Tipo de Int. | Especificación | Resultado [dBm] | Estado |
|-------------|--------------|----------------|-----------------|--------|
| 5           | TRXA40C1     | -18 a -8.0 dBm | -12.1           | OK     |

Tabla 3.112: niveles ópticos obtenidos del lado west, estación 1

| No. de Onda | Tipo de Int. | Especificación | Resultado [dBm] | Estado |
|-------------|--------------|----------------|-----------------|--------|
| 5           | TRXA40C1     | -18 a -8.0 dBm | -17.7           | OK     |

Tabla 3.113: niveles ópticos obtenidos del lado east, estación 3

### 3.5.13 Mediciones en Estación 3 y estaciones vecinas 4 y 2

Medición de potencia óptica de salida del transponder de lado WDM

| No. de Onda | Tipo de Int. | Especificación | Resultado [dBm] | Estado |
|-------------|--------------|----------------|-----------------|--------|
| 2           | 10GbE-LR     | -3 a -1 dBm    | -2.0            | OK     |
| 3           | 10GbE-LR     | -3 a -1 dBm    | -2.0            | OK     |
| 4           | I-16         | -3 a -1 dBm    | -2.0            | OK     |
| 6           | I-16.2       | -3 a -1 dBm    | -1.8            | OK     |

Tabla 3.114: niveles ópticos obtenidos del lado west, estación 2

| No. de Onda | Tipo de Int. | Especificación | Resultado [dBm] | Estado |
|-------------|--------------|----------------|-----------------|--------|
| 2           | 10GbE-LR     | -3 a -1 dBm    | -2.0            | OK     |
| 3           | 10GbE-LR     | -3 a -1 dBm    | -2.2            | OK     |
| 4           | I-16         | -3 a -1 dBm    | -2.0            | OK     |
| 19          | I-16.2       | -3 a -1 dBm    | -2.0            | OK     |

Tabla 3.115: niveles ópticos obtenidos del lado east, estación 4

| No. de Onda | Tipo de Int. | Especificación | Resultado [dBm] | Estado |
|-------------|--------------|----------------|-----------------|--------|
| 2           | 10GbE-LR     | -3 a -1 dBm    | -2.1            | OK     |
| 3           | 10GbE-LR     | -3 a -1 dBm    | -2.2            | OK     |
| 4           | I-16         | -3 a -1 dBm    | -2.0            | OK     |
| 19          | I-16.2       | -3 a -1 dBm    | -2.7            | OK     |

Tabla 3.116: niveles ópticos obtenidos del lado east, estación 14

Medición de potencia óptica de salida del transponder de lado CLIENTE

| No. de Onda | Tipo de Int. | Especificación   | Resultado [dBm] | Estado |
|-------------|--------------|------------------|-----------------|--------|
| 2           | 10GbE-LR     | -8.2 a +5.0 dBm  | -4.2            | OK     |
| 3           | 10GbE-LR     | -8.2 a +5.0 dBm  | -4.5            | OK     |
| 4           | I-16         | -10.0 a -3.0 dBm | -5.5            | OK     |
| 6           | I-16.2       | -5.0 a -1.0 dBm  | -3.5            | OK     |

Tabla 3.117: niveles ópticos obtenidos del lado west, estación 2

| No. de Onda | Tipo de Int. | Especificación   | Resultado [dBm] | Estado |
|-------------|--------------|------------------|-----------------|--------|
| 2           | 10GbE-LR     | -8.2 a +5.0 dBm  | -4.5            | OK     |
| 3           | 10GbE-LR     | -8.2 a +5.0 dBm  | -4.4            | OK     |
| 4           | I-16         | -10.0 a -3.0 dBm | -5.4            | OK     |
| 19          | I-16.2       | -5.0 a -1.0 dBm  | -3.2            | OK     |

Tabla 3.118: niveles ópticos obtenidos del lado east, estación 4

| No. de Onda | Tipo de Int. | Especificación   | Resultado [dBm] | Estado |
|-------------|--------------|------------------|-----------------|--------|
| 2           | 10GbE-LR     | -8.2 a +5.0 dBm  | -4.4            | OK     |
| 3           | 10GbE-LR     | -8.2 a +5.0 dBm  | -4.5            | OK     |
| 4           | I-16         | -10.0 a -3.0 dBm | -5.7            | OK     |
| 19          | I-16.2       | -5.0 a -1.0 dBm  | -3.2            | OK     |

Tabla 3.119: niveles ópticos obtenidos del lado east, estación 14

#### Medición de potencia óptica de salida del amplificador de lado Tx

| No. de Onda | Tipo de Int. | Especificación | Resultado [dBm] | Estado |
|-------------|--------------|----------------|-----------------|--------|
| 5           | TRXA40C2     | 6.5 a 14.5 dBm | 9.8             | OK     |

Tabla 3.120: niveles ópticos obtenidos del lado west, estación 2

| No. de Onda | Tipo de Int. | Especificación | Resultado [dBm] | Estado |
|-------------|--------------|----------------|-----------------|--------|
| 5           | TRXA40C2     | 6.5 a 14.5 dBm | 9.5             | OK     |

Tabla 3.121: niveles ópticos obtenidos del lado east, estación 4

| No. de Onda | Tipo de Int. | Especificación | Resultado [dBm] | Estado |
|-------------|--------------|----------------|-----------------|--------|
| 4           | TRXA40C2     | 5.5 a 13.5 dBm | 8.7             | OK     |

Tabla 3.122: niveles ópticos obtenidos del lado east, estación 14

#### Medición de potencia óptica de salida del amplificador de lado Rx

| No. de Onda | Tipo de Int. | Especificación | Resultado [dBm] | Estado |
|-------------|--------------|----------------|-----------------|--------|
| 5           | TRXA40C1     | -18 a -8.0 dBm | -17.2           | OK     |

Tabla 3.123: niveles ópticos obtenidos del lado west, estación 2

| No. de Onda | Tipo de Int. | Especificación  | Resultado [dBm] | Estado |
|-------------|--------------|-----------------|-----------------|--------|
| 5           | TRXA40C2     | -24 a -11.0 dBm | -17.2           | OK     |

Tabla 3.124: niveles ópticos obtenidos del lado east, estación 4

| No. de Onda | Tipo de Int. | Especificación  | Resultado [dBm] | Estado |
|-------------|--------------|-----------------|-----------------|--------|
| 4           | TRXA40C2     | -25 a -12.0 dBm | -17.9           | OK     |

Tabla 3.125: niveles ópticos obtenidos del lado east, estación 14

### 3.5.14 Mediciones en Estación 4 y estaciones vecinas 3 y 5

#### Medición de potencia óptica de salida del transponder de lado WDM

| No. de Onda | Tipo de Int. | Especificación | Resultado [dBm] | Estado |
|-------------|--------------|----------------|-----------------|--------|
| 19          | I-64.2       | -3 a -1.0 dBm  | -2.2            | OK     |

Tabla 3.126: niveles ópticos obtenidos del lado west, estación 3

| No. de Onda | Tipo de Int. | Especificación | Resultado [dBm] | Estado |
|-------------|--------------|----------------|-----------------|--------|
| 19          | I-64.2       | -3 a -1.0 dBm  | -2.0            | OK     |

Tabla 3.127: niveles ópticos obtenidos del lado east, estación 5

#### Medición de potencia óptica de salida del transponder de lado CLIENTE

| No. de Onda | Tipo de Int. | Especificación   | Resultado [dBm] | Estado |
|-------------|--------------|------------------|-----------------|--------|
| 4           | I-16         | -10.0 a -3.0 dBm | -7.5            | OK     |

Tabla 3.128: niveles ópticos obtenidos del lado west, estación 3

| No. de Onda | Tipo de Int. | Especificación   | Resultado [dBm] | Estado |
|-------------|--------------|------------------|-----------------|--------|
| 4           | I-16         | -10.0 a -3.0 dBm | -7.0            | OK     |

Tabla 3.129: niveles ópticos obtenidos del lado east, estación 5

### Medición de potencia óptica de salida del amplificador de lado Tx

| No. de Onda | Tipo de Int. | Especificación | Resultado [dBm] | Estado |
|-------------|--------------|----------------|-----------------|--------|
| 5           | TRXA40C2     | 6.5 a 14.5 dBm | 9.0             | OK     |

Tabla 3.130: niveles ópticos obtenidos del lado west, estación 3

| No. de Onda | Tipo de Int. | Especificación | Resultado [dBm] | Estado |
|-------------|--------------|----------------|-----------------|--------|
| 5           | TRXA40C2     | 6.5 a 14.5 dBm | 9.7             | OK     |

Tabla 3.131: niveles ópticos obtenidos del lado east, estación 5

### Medición de potencia óptica de salida del amplificador de lado Rx

| No. de Onda | Tipo de Int. | Especificación | Resultado [dBm] | Estado |
|-------------|--------------|----------------|-----------------|--------|
| 5           | TRXA40C1     | -18 a -8.0 dBm | -17.6           | OK     |

Tabla 3.132: niveles ópticos obtenidos del lado west, estación 3

| No. de Onda | Tipo de Int. | Especificación | Resultado [dBm] | Estado |
|-------------|--------------|----------------|-----------------|--------|
| 5           | TRXA40C1     | -18 a -8.0 dBm | -17.0           | OK     |

Tabla 3.133: niveles ópticos obtenidos del lado east, estación 5

## 3.5.15 Mediciones en Estación 5 y estaciones vecinas 4 y 6

### Medición de potencia óptica de salida del transponder de lado WDM (ver

| No. de Onda | Tipo de Int. | Especificación | Resultado [dBm] | Estado |
|-------------|--------------|----------------|-----------------|--------|
| 4           | I-16         | -3 a -1 dBm    | -2.0            | OK     |
| 19          | I-64.2       | -3 a -1 dBm    | -1.9            | OK     |

Tabla 3.134: niveles ópticos obtenidos del lado west, estación 4

| No. de Onda | Tipo de Int. | Especificación | Resultado [dBm] | Estado |
|-------------|--------------|----------------|-----------------|--------|
| 4           | I-16         | -3 a -1 dBm    | -2.0            | OK     |
| 19          | I-64.2       | -3 a -1 dBm    | -1.8            | OK     |

Tabla 3.135: niveles ópticos obtenidos del lado east, estación 6

### Medición de potencia óptica de salida del transponder de lado CLIENTE

| No. de Onda | Tipo de Int. | Especificación  | Resultado [dBm] | Estado |
|-------------|--------------|-----------------|-----------------|--------|
| 4           | I-16         | -10 a -3.0 dBm  | -5.0            | OK     |
| 19          | I-64.2       | -5.0 a -1.0 dBm | -3.0            | OK     |

Tabla 3.136: niveles ópticos obtenidos del lado west, estación 4

| No. de Onda | Tipo de Int. | Especificación  | Resultado [dBm] | Estado |
|-------------|--------------|-----------------|-----------------|--------|
| 4           | I-16         | -10 a -3.0 dBm  | -5.6            | OK     |
| 19          | I-64.2       | -5.0 a -1.0 dBm | -1.8            | OK     |

Tabla 3.137: niveles ópticos obtenidos del lado east, estación 6

### Medición de potencia óptica de salida del amplificador de lado Tx

| No. de Onda | Tipo de Int. | Especificación | Resultado [dBm] | Estado |
|-------------|--------------|----------------|-----------------|--------|
| 5           | TRXA40C2     | 6.5 a 14.5 dBm | 9.4             | OK     |

Tabla 3.138: niveles ópticos obtenidos del lado west, estación 4

| No. de Onda | Tipo de Int. | Especificación | Resultado [dBm] | Estado |
|-------------|--------------|----------------|-----------------|--------|
| 5           | TRXA40C2     | 6.5 a 14.5 dBm | 9.4             | OK     |

Tabla 3.139: niveles ópticos obtenidos del lado east, estación 6

#### Medición de potencia óptica de salida del amplificador de lado Rx

| No. de Onda | Tipo de Int. | Especificación | Resultado [dBm] | Estado |
|-------------|--------------|----------------|-----------------|--------|
| 5           | TRXA40C1     | -18 a -8.0 dBm | -14.0           | OK     |

Tabla 3.140: niveles ópticos obtenidos del lado west, estación 4

| No. de Onda | Tipo de Int. | Especificación | Resultado [dBm] | Estado |
|-------------|--------------|----------------|-----------------|--------|
| 5           | TRXA40C1     | -18 a -8.0 dBm | -12.5           | OK     |

Tabla 3.141: niveles ópticos obtenidos del lado east, estación 6

### 3.6 Análisis e Interpretación de Resultados

Para interpretar los valores obtenidos de las mediciones, vamos a observar en primer lugar que las longitudes de onda que se han sometido a medición son las longitudes de onda que se les realiza acción ADD/DROP (ver figuras 3.1, 3.2 y 3.3), es decir que solo estas lambdas son las que se encuentran en la tabla correspondiente a cada lado y estación.

Se puede observar que las longitudes que no fueron sometidas a medición, para una determinada estación, fueron las lambdas que van de paso "through", ya que no se realiza ninguna acción ADD/DROP. Es por eso que en algunas estaciones se tiene varias longitudes de onda que están en funcionamiento pero solo se han sometido a medición unas pocas debido a lo mencionado anteriormente.

En segundo lugar es necesario mencionar que para dar el visto bueno con respecto al funcionamiento de una interface se tiene que cumplir que los niveles de potencia óptica se mantengan dentro del rango de potencia establecido por el fabricante, el cual se encuentra en las tablas 3.2, 3.3, 3.4 y 3.5

## CONCLUSIONES

- 1) La tecnología DWDM a la fecha presenta un alto costo de implementación, sin embargo este costo se compensa por la capacidad y ancho de banda instalado en la red. Esto si comparamos el costo de implementación de esta tecnología reutilizando la fibra existente, ya que utiliza únicamente 2 fibras ópticas para transmitir hasta 40 longitudes de onda, es decir que un operador de telecomunicaciones se beneficia mucho más pagando el costo de DWDM que la instalación de un nuevo enlace óptico.
- 2) Cuando se incrementan las velocidades de transmisión en una fibra óptica, aumenta simultáneamente los efectos que causan el ensanchamiento del pulso óptico, como son la Dispersión por modo de Polarización (PMD) y la dispersión cromática (CD). Esto es una desventaja que limita el incremento de la tasa de transferencia en una red de transporte óptico.
- 3) Los operadores de telefonía con más de 10 años de operar en El Salvador, cuentan con cables de fibra óptica no muy modernos, lo que hace que este tipo de fibras presente problemas de atenuación, CD y PMD, debido a las técnicas de fabricación antiguas. Estos factores deben ser tomados en cuenta en el diseño de la red ya que eso servirá para determinar las velocidades máximas que puede transmitir una fibra de este tipo. Algunos modelos de fibra modernos ya presentan correcciones en el método y la técnica de fabricación para solventar estos problemas a velocidades de 10Gbit por segundo ó más.
- 4) DWDM es una red transparente a cada servicio que se transporta a través de ella, tales como SDH con capacidad STM-16, STM-4, IP (de 10Gbits y 40Gbits). Lo que quiere decir que a la red le es indiferente lo que se está transmitiendo, sea voz, video o datos. Por lo tanto esta es

una ventaja para los operadores, ya que esto abre nuevas posibilidades de integración de nuevos servicios de valor agregado.

- 5) La tecnología DWDM se puede implementar para sistemas Punto a punto (end-to-end) pues está diseñada para redes tipo malla y no en anillo, lo que pone de manifiesto una desventaja a la hora de proteger la información en caso de pérdida de un enlace pues solo se puede proteger con la técnica SNCP de conmutación de camino.
- 6) Debido a que la fibra óptica tiene límite muy alto de ancho de banda, la capacidad en un sistema DWDM con 40 longitudes de onda y 10Gbps por cada canal ( $\lambda$ ) tiene la capacidad de transmitir  $10\text{Gbps} \times 40\lambda = 400\text{Gbps}$ . Esto se logra gracias a la técnica de multiplexación de longitud de onda, la cual tiene como principio básico la reutilización del ancho de banda efectivo en un par de cables de fibra óptica.
- 7) DWDM no es una tecnología para sistemas de baja y media capacidad, debido a que cada canal ( $\lambda$ ) es capaz de transmitir velocidades de 2.5, 10, 40 y 100Gbps, por lo tanto es necesario demultiplexar los tributarios para lograr baja capacidad, lo que incrementa el costo y la complejidad del sistema, disminuyendo el valor de OSNR (Optical Signal to Noise Ratio) lo que incrementa la tasa de errores en la transmisión.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Solé, Richard "Redes ópticas DWDM" Revista Latinoamericana de Radiocomunicaciones y fibra óptica , edición de internet, sección tutoriales 1998 -2008 <http://www.radioptica.com/Fibra/dwdm.asp>
- Ortiz, F. "Dispersión de modo de polarización" Artículo en internet, La fibra óptica y conceptos básicos, Junio de 2002  
<http://orbita.starmedia.com/fortiz/Tema11.html>
- Herrera Pérez, Enrique, *Comunicaciones II, Comunicación Digital y Ruido* México, Limusa S.A de C.V 2008
- ALCATEL, Fundamentos Teóricos PDH SDH, Documento de Consulta, University of México 2006
- Rosas Fernández, José Bernardo/ CEJA, Joaquín San Juan NEC DE MEXICO S.A de C.V, Subdirección de multiplexores y sistemas de fibra óptica/ D. GARCIA Maikel, Centro Internacional de ingeniería de negocios/ Sistemas de transmisión SDH, Centro internacional de de Entrenamiento (ITR) 2002.
- Autor desconocido, Multiplexor óptico reconfigurable de Extracción/ Inserción ROADM, Documentos de consulta, Noviembre de 2008, NEC Corporation.
- Asoshina Fredy, Fundamentals on SDH and NG-SDH, NESIC Japón, NEC Corporation 2007.
- NEC Corporation, Spectral Wave DW4200 MAITENANCE, Tokyo-Japón, Julio de 2008.

- NEC Corporation, Spectral Wave DW4200 TURN-UP AND OPERATION, Tokyo-Japón, Julio de 2008.

# ANEXOS