



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

## **EXPANSIÓN DE UNA RED SDH CON TECNOLOGÍA DWDM**

**Christian Antonio Orellana López**

Asesorado por el Ing. Jesús Alberto Martínez

Guatemala, enero de 2012

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

## **EXPANSIÓN DE UNA RED SDH CON TECNOLOGÍA DWDM**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA  
FACULTAD DE INGENIERÍA

POR

**CHRISTIAN ANTONIO ORELLANA LÓPEZ**

ASESORADO POR EL ING. JESÚS ALBERTO MARTÍNEZ

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

**INGENIERO ELECTRÓNICO**

GUATEMALA, ENERO DE 2012

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
FACULTAD DE INGENIERÍA



**NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA**

DECANO	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
VOCAL I	Ing. Alfredo Enrique Beber Aceituno
VOCAL II	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
VOCAL III	Ing. Miguel Ángel Dávila Calderón
VOCAL IV	Br. Juan Carlos Molina Jiménez
VOCAL V	Br. Mario Maldonado Muralles
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

**TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO**

DECANO	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
EXAMINADOR	Ing. José Antonio de León Escobar
EXAMINADOR	Ing. Guillermo Antonio Puente Romero
EXAMINADOR	Ing. Marvin Marino Hernández Fernández
SECRETARIA	Inga. Marcia Ivónne Veliz Vargas

## **HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR**

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

### **EXPANSIÓN DE UNA RED SDH CON TECNOLOGÍA DWDM**

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica, con fecha 17 de septiembre de 2008.

---

Christian Antonio Orellana Lopez

## HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

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

### EXPANSIÓN DE UNA RED SDH CON TECNOLOGÍA DWDM

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica, con fecha 17 de septiembre de 2008.



Christian Antonio Orellana Lopez

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS  
DE GUATEMALA



**FACULTAD DE INGENIERIA**  
**Secretaría Académica**

Tels. 2418-9125,  
2418-9104  
2418-8000, Exts. 86204, 86205

SC.2247-2011

CONSTANCIA

El Infrascrito Secretario de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, HACE CONSTAR QUE: El estudiante CHRISTIAN ANTONIO ORELLANA LOPEZ, con carné 200212169, sustentó su EXAMEN GENERAL PRIVADO en la carrera de INGENIERIA ELECTRONICA el 24 DE MARZO DE 2009, siendo APROBADO, según consta en el Acta No. 23,420, de oficinas de Control Académico.

Para el uso que al interesado convenga, se extiende, sella y firma la presente constancia a cinco días del mes de octubre del año dos mil once.

“ID Y ENSEÑAD A TODOS”

Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez  
SECRETARIO ACADEMICO



HHRP/jg

Guatemala 14 de septiembre del 2011

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

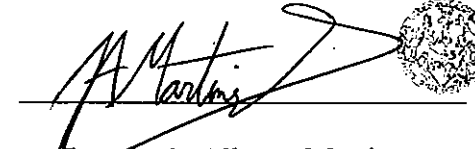

Estimado Ingeniero Guzmán.

Me permito dar aprobación al trabajo de graduación titulado: **“EXPANSION DE UNA RED SDH CON TECNOLOGIA DWDM”**, del señor Christian Antonio Orellana López, con el carnet No 200212169, por considerar que cumple con los requisitos establecidos.

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

Sin otro particular, me es grato saludarle.

Atentamente,

  
  
Ing. Jesús Alberto Martínez  
Colegiado 6,940  
Asesor

Jesús Alberto Martínez Pérez  
Ingeniero Electrónico  
Colegiado No. 6940



Ref. EIME 68. 2011

Guatemala, 4 de OCTUBRE 2011.

FACULTAD DE INGENIERIA

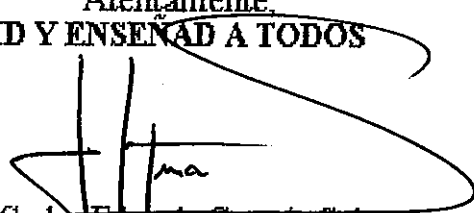
Señor Director  
Ing. Guillermo Antonio Puente Romero  
Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica  
Facultad de Ingeniería, USAC.

Señor Director:

Me permito dar aprobación al trabajo de Graduación titulado:  
"EXPANSIÓN DE UNA RED SDH CON TECNOLOGÍA DWDM",  
del estudiante Christian Antonio Orellana López, que cumple con los  
requisitos establecidos para tal fin.

Sin otro particular, aprovecho la oportunidad para saludarle.

Atentamente,  
ID Y ENSEÑAD A TODOS



Ing. Carlos Eduardo Guzmán Salazar  
Coordinador de Electrónica

CEGS/sro







REF. EIME 69. 2011.

El Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica, después de conocer el dictamen del Asesor, con el Visto Bueno del Coordinador de Área, al trabajo de Graduación del estudiante; CHRISTIAN ANTONIO ORELLANA LÓPEZ titulado: "EXPANSIÓN DE UNA RED SDH CON TECNOLOGÍA DWDM", procede a la autorización del mismo.

A handwritten signature in black ink, appearing to be 'Guillermo Antonio Puentes Romero'.

Ing. Guillermo Antonio Puentes Romero



GUATEMALA, 26 DE OCTUBRE 2,011.



El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica, al trabajo de graduación titulado: **EXPANSIÓN DE UNA RED SDH CON TECNOLOGÍA DWDM**, presentado por el estudiante universitario **Christian Antonio Orellana López**, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE.

  
Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos  
Decano

Guatemala, enero de 2012



/cc

## **ACTO QUE DEDICO A:**

<b>Dios</b>	Por ser la luz de mi vida y estar conmigo en cada pensamiento y meta trazada.
<b>Mis padres</b>	Lic. Francisco Orellana y Licda. Nora de Orellana por ser el ejemplo de vida y brindarme su apoyo incondicional.
<b>Mi esposa</b>	Tania Medal de Orellana. Por el amor, la comprensión y el esfuerzo que me acompaño en todo momento para alcanzar esta meta.
<b>Mi hija</b>	Charlotte Orellana. Por ser la nueva luz de mi vida.
<b>Mi hermano</b>	Ing. Marlon Orellana por ser la ayuda en todo momento.
<b>Mi familia en general</b>	Por ser lo máspreciado que tengo.
<b>Mis amigos y Compañeros</b>	Con los que compartí mis triunfos y conocimientos, a lo largo de mi vida.

**La Universidad  
de San Carlos**

En especial a la Facultad de Ingeniería, por darme la oportunidad de pertenecer a ella y ser un profesional más de tan prestigiosa casa de estudios.

.

## ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES .....	V
LISTA DE SÍMBOLOS .....	VII
GLOSARIO .....	IX
RESUMEN .....	XIII
OBJETIVOS .....	XV
INTRODUCCIÓN .....	XVII
1. REDES DWDM .....	1
1.1. Reseña histórica de las comunicaciones sobre fibra óptica .....	1
1.2. Definición de CWDM y DWDM .....	3
1.2.1. CWDM .....	3
1.2.2. DWDM .....	4
1.3. Breve reseña histórica. ....	6
1.4. Componentes de una red DWDM .....	7
1.4.1. Transmisor .....	7
1.4.2. Multiplexor óptico .....	8
1.4.2.1. Filtrado con película delgada (TFF) .....	9
1.4.2.2. Arreglo de guía de ondas (AWGs). ....	10
1.4.2.3. Redes de difracción Bragg (FBGS) .....	11
1.4.2.4. Filtro de cavidad FP .....	12
1.4.3. Amplificador óptico .....	13
1.4.3.1. Amplificador de potencia (BOOSTER) .....	14
1.4.3.2. Preamplificador .....	15
1.4.3.3. Amplificador de línea .....	16

1.4.3.4.	Amplificador de fibra dopada con ERBIO .....	16
1.4.3.5.	Amplificador RAMAN.....	18
1.4.4.	Compensador de dispersión.....	19
1.4.4.1.	Fibras Compensadoras de dispersión (DCF) .....	20
1.4.4.2.	Compensación con FBG ( <i>Fiber Bragg Griting</i> ) .....	21
2.	DISEÑO DE REDES DWDM.....	23
2.1.	Tipos de fibras utilizados en la práctica .....	23
2.1.1.	Fibra NDSF ITUT G652 .....	23
2.1.2.	Fibra NZ-DSF ITUT G655 .....	24
2.2.	Factores críticos en el diseño .....	25
2.2.1.	Características de los transmisores laser.....	26
2.2.1.1.	Potencia de salida media .....	26
2.2.1.2.	Sensibilidad del receptor .....	26
2.2.1.3.	Rango de atenuación .....	26
2.2.1.4.	Dispersión cromática.....	27
2.2.1.5.	Sobrecarga del receptor.....	27
2.2.2.	Atenuación.....	28
2.2.2.1.	Atenuación en la fibra (Af) .....	29
2.2.2.2.	Atenuación debido a los empalmes (Ae) .....	29
2.2.2.3.	Atenuación total por inserción (Ai) .....	29
2.2.2.4.	Atenuación debido a los conectores (Ac) .....	29
2.2.2.5.	Margen de seguridad .....	30
2.2.2.6.	Atenuación del MUX/DEMUX.....	30
2.2.2.7.	Atenuación del DCM .....	30
2.2.3.	Dispersión cromática de la fibra .....	31
2.2.3.1.	Corrección a través de DCMs .....	32

2.2.4.	Dispersión por modo de polarización (PMD) .....	33
2.3.	Caracterización de fibra .....	34
2.3.1.	Equipo necesario.....	34
2.3.1.1.	Reflectómetro en dominio del tiempo OTDR..	35
2.3.1.2.	Analizador de espectro óptico OSA .....	36
2.3.2.	Pruebas a realizar .....	37
2.3.2.1.	Prueba de atenuación.....	37
2.3.2.2.	Pruebas con OTDR .....	37
2.3.2.3.	Prueba de Dispersión Cromática (CD) .....	38
2.3.2.4.	Prueba de PMD .....	40
2.4.	Caso de aplicación .....	41
3.	EXPANSIÓN DE UNA RED GRIS A DWDM.....	47
3.1.	Definición del problema.....	47
3.2.	Topología .....	48
3.3.	Diseño de red y calculo de sus componentes .....	51
3.3.1.	Selección de la Longitud de Onda ( $\lambda$ ) .....	51
3.3.2.	Estructura del sistema DWDM.....	51
3.3.3.	Presupuesto óptico.....	52
3.3.3.1.	Primer enlace a calcular .....	53
4.	IMPLEMENTACIÓN DE LA RED .....	61
4.1.	Generalidades .....	61
4.2.	Administración del proyecto .....	63
4.2.1.	Implementación .....	64
4.2.1.1.	Estudio de sitio .....	64
4.2.1.2.	Instalación física .....	73
4.2.1.3.	Conexión de fibras.....	75
4.2.1.4.	Limpieza de conectores y puertos ópticos .....	77

4.2.2.	Gestión de los equipos .....	80
5.	PRUEBAS A LA RED .....	83
5.1.	Generalidades .....	83
5.2.	Parámetros importantes de las pruebas .....	84
5.2.1.	Transmisor .....	85
5.2.2.	MUX – DEMUX .....	86
5.2.3.	Amplificador .....	87
5.3.	Pruebas locales .....	87
5.3.1.	Correcta conexión de energía .....	88
5.3.2.	Correcta puesta a tierra del equipo .....	88
5.3.3.	Pruebas de fuente principal y secundaria.....	88
5.4.	Pruebas de red.....	88
5.4.1.	Prueba de BER .....	89
CONCLUSIONES .....		93
RECOMENDACIONES .....		95
BIBLIOGRAFÍA .....		97



## ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

1.	Ventana de operación de las redes CWDM .....	4
2.	Ventana de operación de las redes DWDM .....	5
3.	Evolución de la tecnología DWDM .....	7
4.	Tunable laser .....	8
5.	Diagrama esquemático TFF .....	10
6.	Diagrama de AWGs .....	11
7.	Red de Difracción Bragg .....	12
8.	Filtro de cavidad FP .....	13
9.	Amplificación y Regeneración .....	14
10.	Amplificador configurado como booster.....	15
11.	Amplificador configurado como preamplificador .....	15
12.	Amplificador configurado como amplificador de línea.....	16
13.	Diagrama esquemático del EDFA .....	17
14.	Diagrama Esquemático Amplificador Raman .....	19
15.	Compensador de dispersión con DCF.....	20
16.	Compensador de dispersión FBG .....	21
17.	Dispersión por modo de polarización .....	34
18.	OTDR marca Anritsu .....	35
19.	Ejemplo de Prueba con OTDR.....	38
20.	Medida de dispersión cromática con un OSA.....	39
21.	Pantalla del Medidor de PMD.....	40
22.	Caso de aplicación.....	41
23.	Componentes del enlace.....	43
24.	Detalle de niveles en el sistema .....	45

25.	Sistema DWDM .....	49
26.	Propuesta de red .....	50
27.	Enlace Anillo DWDM.....	53
28.	Enlace Sitio A – Sitio B .....	55
29.	Conector E2000 .....	56
30.	Diseño final de la red .....	59
31.	Organigrama del proyecto .....	62
32.	Planta de caseta de sitio .....	66
33.	Plano de ubicación con dimensiones .....	67
34.	Diagrama de DC de un sitio .....	69
35.	Piso antiestático.....	71
36.	Esclerillas powertray .....	72
37.	Tipos de esclerillas de cables .....	73
38.	Núcleo de una fibra sucia .....	76
39.	Limpieza de conector de FO .....	78
40.	Limpieza de un puerto FC.....	80
41.	Arquitectura de sistema de gestión .....	82
42.	Medición del MUX DWDM .....	86

## **TABLAS**

I.	Características de la fibra Monomodo recomendación G652 .....	24
II.	Características de la fibra Monomodo recomendación G655 .....	25
III.	Parámetros especificados para las interfaces ópticas STM-4 .....	28
IV.	Especificaciones de DCM .....	32
V.	Enlaces con sus respectivas distancias .....	57
VI.	Calculo de enlaces para todos los sitios .....	58
VII.	Norma ITU T G692 .....	85

## LISTA DE SÍMBOLOS

<b>Símbolo</b>	<b>Significado</b>
<b>A/W</b>	Amperios por watt
<b>dB</b>	Decibeles
<b>dBm</b>	Decibeles referenciados a 1 miliwatt
<b>Gb/s</b>	Giga bits por segundo
<b>GHz</b>	Giga hertz
<b>m/s</b>	Metros por segundo
<b>nm</b>	Nanómetros
<b>ps/(nm- km),</b>	Picosegundos por nanómetro kilometro
<b>V</b>	Volts
<b>μm</b>	Micrómetros



## GLOSARIO

<b><i>Add-drop</i></b>	Calificativo para un multiplexor de inserción extracción.
<b>ATM</b>	Acrónimo para modo de transferencia asíncrona.
<b><i>Backbone</i></b>	Principales conexiones troncales a una red primaria.
<b><i>Booster</i></b>	Transmisiones inalámbricas se puede decir reforzador de la señal.
<b><i>Carriers</i></b>	Empresa dedicada al transporte de datos y provisión de servicios
<b><i>Core</i></b>	Núcleo
<b><i>Crosstalk</i></b>	En español diafonía, efecto que se presenta cuando parte de las señales en la transmisión, es considerada perturbadora.
<b>Dispersión de <i>Rayleigh</i></b>	Dispersión de la luz o cualquier otra radiación electromagnética por partículas menores que la longitud de onda de los fotones dispersados.

<b>Ethernet</b>	Tecnología de red con capacidad de velocidad de transmisión de $10 \times 10^6$ bits por segundo.
<b>Fiber Channel</b>	Tecnología de red utilizada principalmente para redes de almacenamiento.
<b>Ganancia Raman</b>	Amplificación resultante de la estimulación de dispersión Raman. Puede ocurrir en los medios de comunicación transparente sólidos, tales como fibras ópticas, bajo la influencia de una bomba de luz intensa.
<b>Grid</b>	Reja o rejilla
<b>ITU</b>	Abreviación de Internacional <i>Telecommunications Union</i> , que es el Organismo de las Naciones Unidas encargado de regular las telecomunicaciones entre las distintas administraciones y empresas operadoras.
<b>Monomodo</b>	Calificativo para fibras ópticas que propagan la luz en una sola dirección dentro de ellas.

<b>Multimodo</b>	Calificativo para fibras ópticas que propagan la luz en varias direcciones dentro de ellas.
<b>SOA</b>	Amplificador óptico semiconductor.
<b><i>Patch cord</i></b>	Cable usado para los conectores RJ45' que se usa en una red para conectar un dispositivo electrónico con otro.
<b>Span</b>	Enlace de fibra entre dos nodos.
<b>10GbE</b>	Tecnología con la capacidad de transmisión de datos a una velocidad de $10 \times 10^9$ bits por segundo.





## RESUMEN

La demanda de ancho de banda por parte de los usuarios y la saturación de tráfico de datos que se genera en redes existentes de una tecnología específica, la cual debido a su infraestructura y diseño no tiene posibilidad de un crecimiento de capacidad, además de poder integrar varios tipos de tecnologías en una misma red. Es la razón por la cual ha surgido la tecnología DWDM.

La técnica de multiplexación DWDM es una tecnología que brinda una optimización a la fibra existente, haciendo está más rentable con lo que respecta al transporte de datos.

Aunque el costo de esta tecnología es elevado, las ventajas que éste presenta nos ayuda a incrementar la capacidad de la red, evitando hacer tendidos de nuevas fibras y evitar hacer grandes cambios a la topología de la red. En la actualidad existen sistemas DWDM, el cual pueden multiplexar varias longitudes de onda en una sola fibra óptica. Actualmente se pueden conseguir equipos de 40, 80 hasta de 160 canales ópticos, logrando transmitir diferentes tasas de velocidad llegando a transportar desde 10Gbits/s hasta 100Gbits/s en una sola longitud de onda.

En una red SDH la cual está llegando al tope de su capacidad y no tiene posibilidad de crecimiento futuro y no es factible poder utilizar nuevos hilos de FO para poder ampliar la capacidad de éste, se ve en la necesidad de utilizar equipos DWDM, con capacidad de transportar 8 longitudes de onda en un sólo hilo, los cuales utilizarán una longitud de onda determinada a la cual se le denomina “lambda” para transportar el trafico existente y los otros 7 canales o lambdas servirán para crecimiento futuro.

La implementación de un anillo con esta tecnología involucra varios factores desde su diseño hasta su puesta en funcionamiento, debiendo de tomar varias consideraciones principalmente físicas.

En los sistemas DWDM para poder construir un enlace es necesario realizar un presupuesto óptico, el cual depende de varios factores y es de gran ayuda los datos que se entregan por la caracterización de la fibra. Ya que éste nos va a entregar información necesaria para determinar los elementos que se deben de instalar en un enlace para que este sea funcional.

La construcción de una red DWDM depende de varios factores para su funcionamiento adecuado desde su puesta en marcha hasta el monitoreo de cada uno de los elementos de la red, los cuales van a ser gestionados por un sistema el cual va ser el encargado de reportar las alarmas que se producen en dicha red.

El uso de sistemas DWDM pueden ser una alternativa de optimización de la red de fibra existente.

# OBJETIVOS

## General

Mostrar los beneficios que conlleva la expansión de una red SDH, mediante el uso de tecnología DWDM con una posibilidad de crecimiento futuro.

## Específicos

1. Mostrar la tecnología DWDM para hacer más eficiente los servicios y aplicaciones de una empresa.
2. Reducir costos de implementación de los nuevos sistemas que permiten la integración de varias tecnologías.
3. Mostrar cómo se diseña una red con tecnología DWDM.
4. Aprender a implementar proyectos con tecnología DWDM.
5. Aumentar la eficiencia de los procesos de operación actuales.



## INTRODUCCIÓN

El tema Expansión de una red SDH, STM-16 standar a STM-16 DWDM, consiste en la documentación de un proyecto que se está llevando a cabo para poder tener un crecimiento de ancho de banda con la infraestructura ya existente.

La migración de un STM-16 estándar surge a causa de una saturación del tráfico de datos que circula por este anillo y para poder tener un crecimiento en ancho de banda. Esto con el fin de que pueda circular más tráfico a través del anillo existente.

Mediante la integración de equipos que manejan tecnología DWDM, se podrá integrar la capacidad a un crecimiento futuro integrando hasta 8 longitudes de onda en este añillo con la finalidad de crecimiento a largo plazo.

Esta tecnología se presenta como una alternativa simple en cuanto se refiere a diseño de red, implementación y operación. Permite el desembolso de capital que sigue la trayectoria de la generación



# 1. REDES DWDM

## 1.1. Reseña histórica de las comunicaciones sobre fibra óptica

La fibra óptica fue introducida primeramente como un reemplazo del cable de cobre para intercambio interno y otras conexiones a larga distancia. El primer sistema de fibra óptica comercial fue puesto a operar en 1973, con una velocidad de 2 Mbps en una conexión de 24 km entre Frankfurt y Oberursel en Alemania, y en 1987 el primer cable comercial de larga distancia submarino entró en servicio a una capacidad de 280 Mbps entre Francia y Córcega, donde la conexión por fibra óptica sobre tierra más larga en el mundo operó a 2,5 Gbps con sistemas SDH ejecutándose en Australia, entre Brisbane–Melbourne–Perth en 1996.

Otras aplicaciones principales de la fibra óptica aparecieron en la red de acceso y la primera gran prueba fue usando la misma en la red de acceso en Japón para 1978 con un servicio de video a doble vía, una segunda prueba mayor de 4 años de duración, se inició en 1986 en Berlín con una red de acceso de fibra óptica operando a una velocidad de 140 Mbps que incluyó intercambios con ATM.

Actualmente, y gracias a la aparición de amplificadores de señales ópticas y láseres de múltiples longitudes de onda, la multiplexación por división en longitud de onda es uno de los temas que más atención suscita dentro del campo de las comunicaciones ópticas, pues estos dispositivos permiten incrementar enormemente la capacidad de los sistemas de transmisión.

Es decir, permiten una evolución flexible y económica de las redes, respondiendo a la creciente demanda de ancho de banda por parte de los nuevos servicios de telecomunicaciones avanzadas.

Cuando las empresas encargadas de satisfacer las necesidades de comunicación por medio de fibra necesitaron mayor capacidad entre dos puntos, pero no disponían de las tecnologías necesarias o de unas fibras que pudieran llevar mayor cantidad de datos, la única opción que les quedaba era instalar más fibras entre estos puntos. Pero para llevar a cabo esta solución había que invertir mucho tiempo y dinero, o bien añadir un mayor número de señales multiplexadas por división en el tiempo en la misma fibra, lo que también tiene un límite.

Mediante las nuevas tecnologías, con elementos de red puramente ópticos, se consiguen los objetivos de aumento de capacidad de transmisión y seguridad. Es en este punto cuando la multiplexación por división de longitud de onda (Wave-length Division Multiplexing) transmite cada señal sobre una portadora óptica con una longitud de onda diferente, de este modo se pueden enviar muchas señales por la misma fibra como si cada una de estas señales viajara en su propia fibra.

Otro de los grandes aspectos económicos de las redes ópticas con tecnología WDM es la capacidad para aprovechar el ancho de banda, algo que no sucedía con las fibras simples. Para maximizar la capacidad posible en una fibra, las empresas de servicios pueden mejorar sus ingresos con la venta de longitudes de onda, independientemente de la tasa de datos (bit rate) que se necesite. Para los clientes, este servicio proporciona ancho de banda mayor en una fibra dedicada.



## **1.2. Definición de CWDM y DWDM**

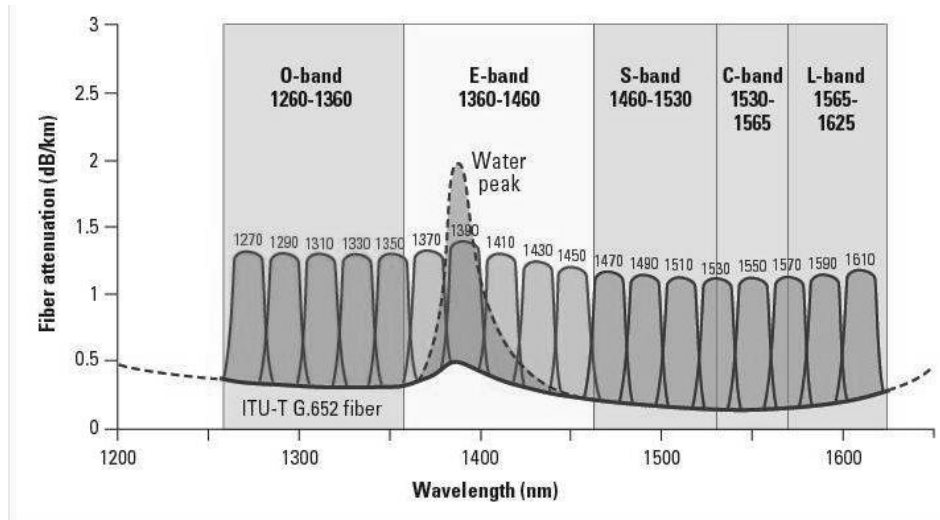
### **1.2.1. CWDM**

Su significado en inglés es *Coarse wavelength Division Multiplexing*, que significa Multiplexación por división en longitudes de onda ligeras. Esta es una técnica de multiplexación por división de longitud de onda (WDM), se empezó a utilizar en los años 80 para transportar señal de video) en conductores de fibra multimodo.

Las longitudes de onda utilizables por los sistemas CWDM fueron estandarizadas por la ITU-T en el 2002. La norma, denominada ITU-T G.694.2, se basa en una rejilla o separación de longitudes de onda de 20 nm (o 2.500 GHz) en el rango de 1.270 a 1.610 nm; pudiendo así transportar hasta 18 longitudes de onda en una única fibra óptica monomodo. De acuerdo con esto, se tienen dos importantes características inherentes a los sistemas CWDM que permiten emplear componentes ópticos más sencillos y, por lo tanto, también más baratos que en los sistemas DWDM.

CWDM es muy sencillo en cuanto a diseño de red, implementación, y operación. Trabaja con pocos parámetros que necesiten la optimización por parte del usuario, y como trabaja hasta tasas de 2,5Ghz es muy limitado mientras que los sistemas DWDM requieren de complejos cálculos de balance de potencias por canal, algo que se complica aún más cuando se añaden y extraen canales, además de trabajar con tasas de velocidad hasta 100Ghz.

Figura 1. Ventana de operación de las redes CWDM



Fuente. Tutorial DWDM Fujitsu

## 1.2.2. DWDM

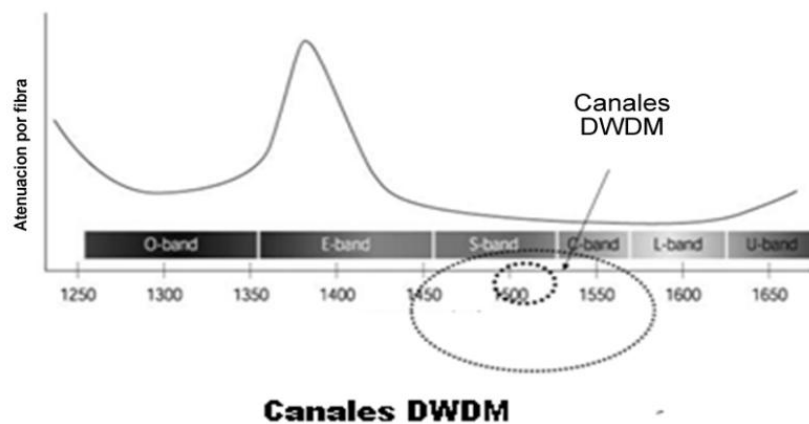
Significa en inglés se *Dense wavelength Division Multiplexing*, que significa Multiplexación por división en longitudes de onda densas. Estas son una evolución de las redes WDM (wavelength división multiplexing), que fue una tecnología desarrollada a partir de la física clásica óptica.

Por otro lado, la demanda de capacidad de transporte en el entorno metropolitano es cada vez mayor, debido a la introducción de servicios y aplicaciones con gran consumo de ancho de banda (Internet de banda ancha, vídeo bajo demanda, redes de almacenamiento, etc.), a partir de tecnologías en la red de acceso como: ADSL, HFC, LMDS, PLC, GbE, GPRS, etc. Esta necesidad de ancho de banda en la red metropolitana suscitó hace unos años un gran interés en los sistemas DWDM, pues además la transparencia inherente a esta tecnología se adapta muy bien a este entorno, caracterizado

por la necesidad de integrar una gran diversidad de clientes, servicios y protocolos.

En la figura que se muestra a continuación se describe el espectro lumínico en el cual se denotan las ventanas en las cuales funcionan los canales de DWDM.

Figura 2. **Ventana de operación de las redes DWDM**



Fuente: Tutorial DWDM Fujitsu

Estas ventanas son como se denominan al espectro lumínico y corresponden a las siguientes longitudes de onda. Primera ventana (800 a 900 nm), segunda ventana (1250 a 1350 nm) y tercera ventana (1500 a 1600 nm). Las redes DWDM trabajan entre la segunda y la tercera ventana.

### **1.3. Breve reseña histórica**

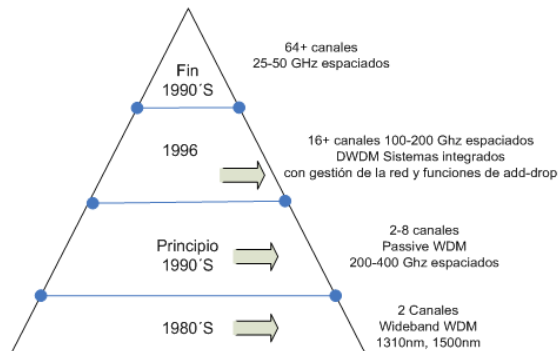
A principios de los años 90 se inició lo que se conoce como transmisión WDM bidireccional de banda ancha, realizando una de las comunicaciones en la región de los 1550 nm (tercera ventana) y el otro sentido de transmisión a 1310 nm (segunda ventana).

Posteriormente, a mediados de los 90 se desarrolló el WDM de banda estrecha, caracterizado por una separación reducida entre canales y por el establecimiento de comunicaciones bidireccionales 2x2 y 4x4 a 2.5Gbit/s y 1550 nm sobre enlaces punto a punto de gran longitud.

Finalmente, la tecnología DWDM apareció a finales de los 90 donde se introdujeron múltiples grupos de servicios y múltiples longitudes de onda por grupo sobre una misma fibra. Así, algunos ejemplos serían la transmisión de 16, 32/40 o 64/80/96 longitudes de onda con multiplexación por división en el tiempo a 2,5 y 10 Gbit/s. Incluso ya se está pensando en UDWDM (Ultra DWDM) con la transmisión de 128 y 256 longitudes de onda transportando cada una de ellas velocidades de 2,5 Gbit/s, 10 Gbit/s, 40 Gbit/s y en la actualidad está en proceso de salir la interfaz de 100 Gbits/s.

El primer sistema DWDM fue diseñado para aplicaciones de intercambio de una red long-haul. Por long-haul nos referimos a distancias arriba de los 100 km. En la figura que a continuación se muestra se denota en una forma gráfica la evolución de esta tecnología.

Figura 3. **Evolución de la tecnología DWDM**



Fuente: *Introduction to DWDM for metropolitan networks CISCO.*

#### 1.4. Componentes de una Red DWDM

Una red óptica que utiliza la tecnología DWDM utiliza 5 componentes básicos, estas son:

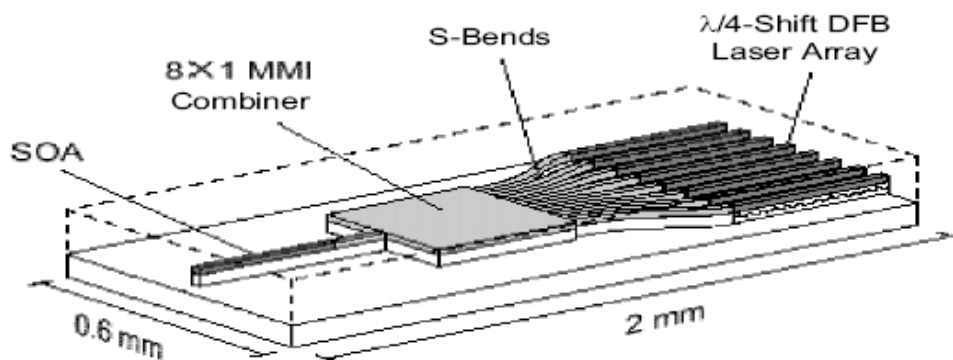
##### 1.4.1. Transmisor

Es el encargado en generar las señales, su fuente es un laser en estado sólido en el caso del transmisor, este provee luz estable con un específico ancho de banda estrecho. Existen dos tipos los transmisores que son sintonizados y los que son de una longitud de onda específica.

Los transmisores utilizan luz laser como señal fuente, las longitudes de onda utilizadas son mayores que la luz visible. Estos transmisores deben de ser exactamente controlados para generar una correcta longitud de onda.

Estos transceivers se construyen con diferentes tipos de láser, que son encendidos a diferentes temperaturas dependiendo de la longitud de onda a utilizar. La guía de onda se alimenta del combinador de señal que toma la entrada de longitud de onda de 1300 nm con la longitud de onda deseada luego la señal es enrutada hacia el amplificador óptico de silicio (SOA), el cual empuja la señal a la salida. La configuración es controlada por el sistema operativo del sistema DWDM.

Figura 4. **Tunable Laser**



Fuente: Tutorial DWDM Fujitsu.

#### 1.4.2. Multiplexor ópticos

En el campo de las telecomunicaciones el multiplexor se utiliza como dispositivo que puede recibir varias entradas y transmitir las por un medio de transmisión compartido. Para ello lo que hace es dividir el medio de transmisión en múltiples canales. Estos dispositivos son los que unen las diferentes longitudes de onda y las combinan en una sola señal compuesta. Modernos

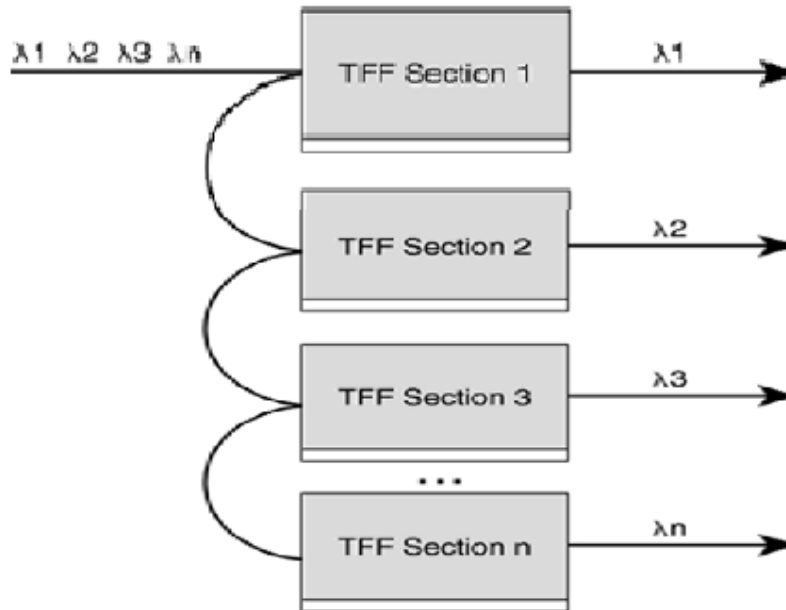
sistemas DWDM utilizan multiplexores para combinar las señales, las tecnologías más utilizadas se mencionan a continuación:

#### **1.4.2.1. Filtrado con película delgada (TFF)**

Es un dispositivo utilizado tanto para multiplexar como para demultiplexar señales ópticas. TFF son similares a los filtros de cavidad en el sentido que la cavidad resonante seleccione la longitud de onda que será la que lo atraviese. La cavidad es formada por películas delgadas que hacen que las interfaces funcionen como reflectores.

Los filtros TFFs usan muchas capas de material dieléctrico ultra delgado sobre un sustrato de vidrio o polímero. Este sustrato se pueden hacer para los fotones atraviesen a una determinada longitud de onda, mientras que los otros son reflejados. Mediante la integración de varios componentes se pueden demultiplexar varias longitudes de ondas.

Figura 5. **Diagrama esquemático TFF**



Fuente: Cisco *optical network design*.

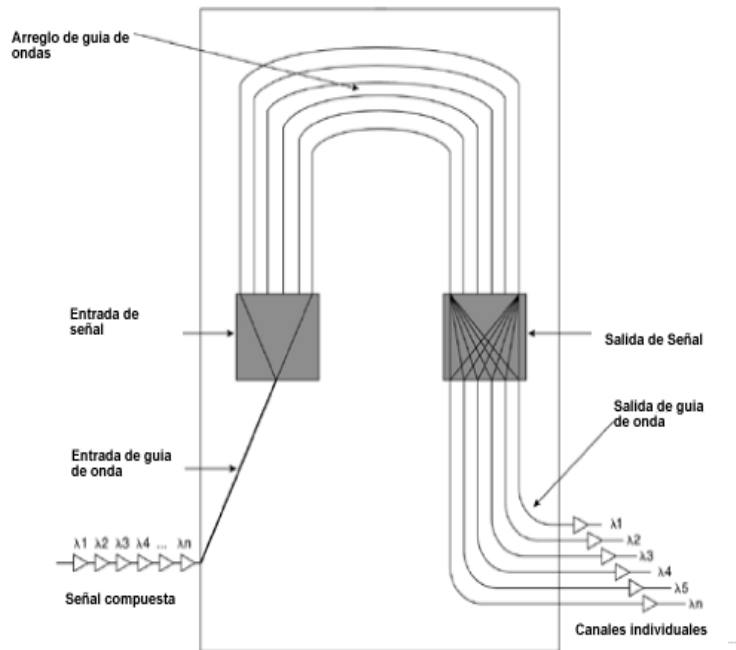
Esto permite la multiplexación y la demultiplexación de las señales, actualmente existen más de 200 capas requeridas para un filtro diseñado para 100GHz que son utilizados en productos DWDM.

#### 1.4.2.2. Arreglo de guía de onda (AWGs)

Este es un dispositivo que consiste de varias guías de onda múltiples que convergen en el mismo punto. Las señales pasan a través de cada uno de estas guías de onda que interfieren con las señales que pasa a través de las guías de onda vecinas en el punto de convergencias. Esta interferencia podría ser constructiva o destructiva en función de la diferencia de fase de la señal.



Figura 6. Diagrama de AWGs



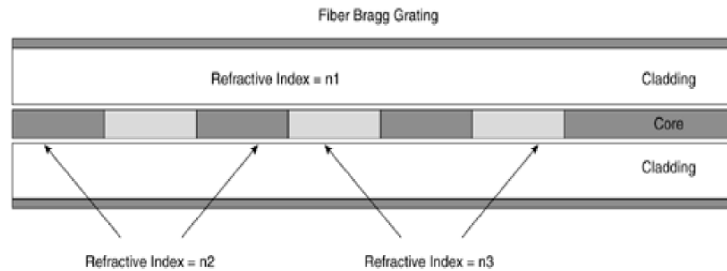
Fuente: Tutorial DWDM Fujitsu

El tiempo de cambio de un filtro AWG es de aproximadamente 10ms, estos filtros utilizan un método termo-óptico para su mecanismo de sintonía o cambio. Esta es la tecnología más utilizada en el mercado.

#### 1.4.2.3. Redes de Difracción Bragg (FBGs)

Una red de difracción se hace de una pequeña sección de la fibra que ha sido modificada por la exposición a la radiación ultravioleta para crear cambios periódicos en el índice de refracción de la fibra. El resultado es la luz viajando a través de una rejilla que refleja y refracta la luz constantemente, usualmente pasa con una particular longitud de onda.

Figura 7. **Red de difracción Bragg**



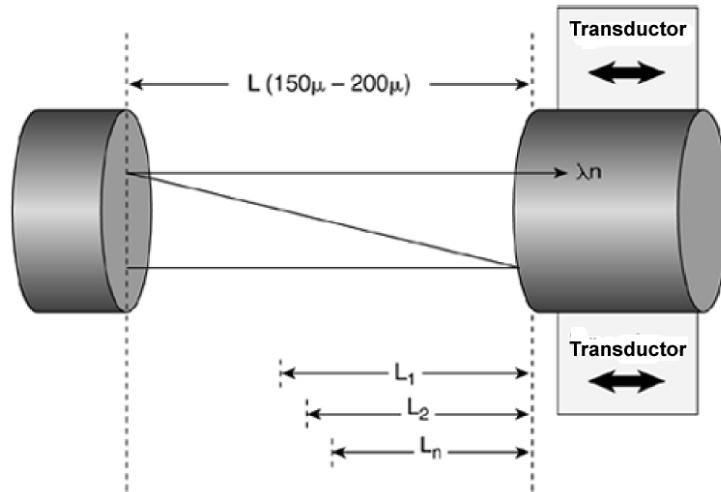
Fuente: *Introduction to DWDM for metropolitan networks* CISCO

FBGs tiene un rango de 10 nm y requiere un tiempo de cambio de 1 a 10 segundos con cambios mecánicos.

#### 1.4.2.4. Filtro de cavidad FP (Fabry Perot)

Son construidos con dos superficies reflectivas separadas por un medio refractivo. Estas superficies tienen una reflectividad que está en función de la longitud de onda. Las superficies reflectivas son conectadas a un transductor electromecánico, y las distancias entre las superficies puede ser cambiada variando la corriente en el transductor.

Figura 8. Filtro de cavidad FP



Fuente: *Introduction to DWDM for metropolitan networks* CISCO.

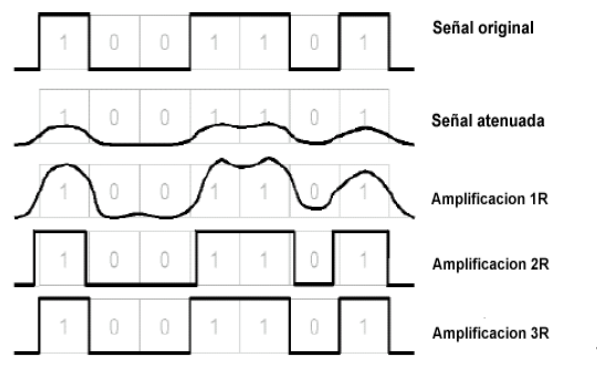
Existen pérdidas asociadas a la multiplexiación y desmultiplicación, esta pérdida es dependiente del número de canales, pero puede ser disminuida con el uso de amplificadores ópticos. Estas pérdidas pueden alcanzar hasta un máximo de 6 dB.

### 1.4.3. Amplificador óptico

Un amplificador óptico duplica los fotones entrantes por medio de un proceso conocido como emisión estimulada. Este es el mismo proceso responsable de la regeneración de luz en los láseres. Un amplificador ideal incrementaría solamente la fuerza de la señal sin ningún efecto secundario desventajoso y funcionaría como un tipo de desajuste de pérdida por distancia y pérdida por componente.

Sin embargo, en realidad, el proceso de emisión espontánea, el cual está enlazado inseparablemente con la emisión estimulada, da lugar a ruido óptico que degrada la señal.

Figura 9. **Amplificación y regeneración**



Fuente: Tutorial DWDM Fujitsu.

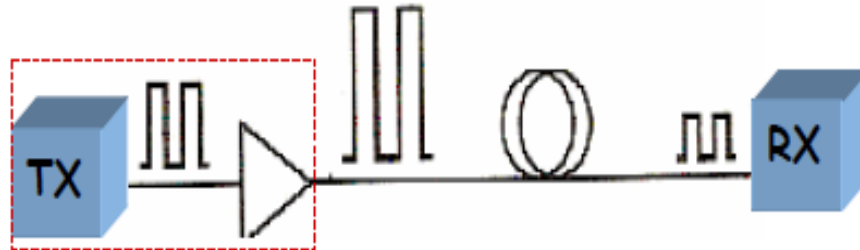
Para sistemas WDM no es suficiente regenerar una única longitud de onda, por lo que es necesario regenerar todas las longitudes de onda en el apropiado punto de la red antes de que esta señal se degenere demasiado. Los amplificadores de la banda C y L son los preferidos para las redes DWDM, pero pueden ser utilizados también para aplicaciones de CWDM.

Los amplificadores se pueden configurar de 3 diferentes formas:

#### 1.4.3.1. Amplificador de potencia (BOOSTER)

Dispositivo de potencia de saturación elevada que se utiliza inmediatamente después del transmisor óptico para aumentar el nivel de potencia de señal.

Figura 10. **Amplificador configurado como booster**

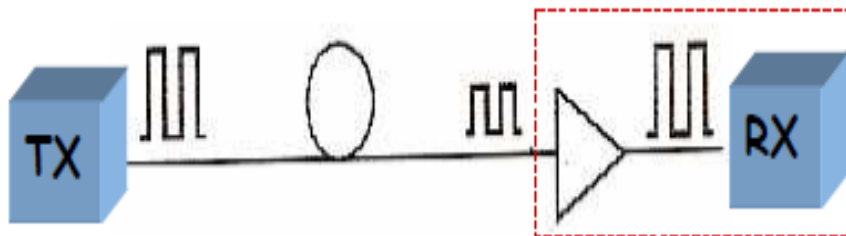


Fuente: Dispositivos pasivos y activos para redes DWDM.

#### 1.4.3.2. Preamplificador

Dispositivo de muy bajo ruido que se utiliza inmediatamente antes del receptor óptico para mejorar su sensibilidad. La principal características del PREAMP es su respuesta a bajas señales.

Figura 11. **Amplificador configurado como preamplificador**

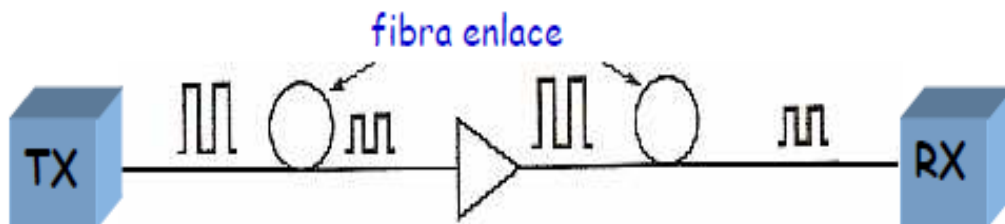


Fuente: Dispositivos pasivos y activos para redes DWDM.

### 1.4.3.3. Amplificador de línea

Dispositivo que se utiliza para compensar las pérdidas sufridas por la señal después de atravesar una cierta longitud de tendido o en correspondencia con una conexión punto a multipunto a fin de compensar las pérdidas de derivación en la red de acceso óptico.

Figura 12. Amplificador configurado como amplificador de línea



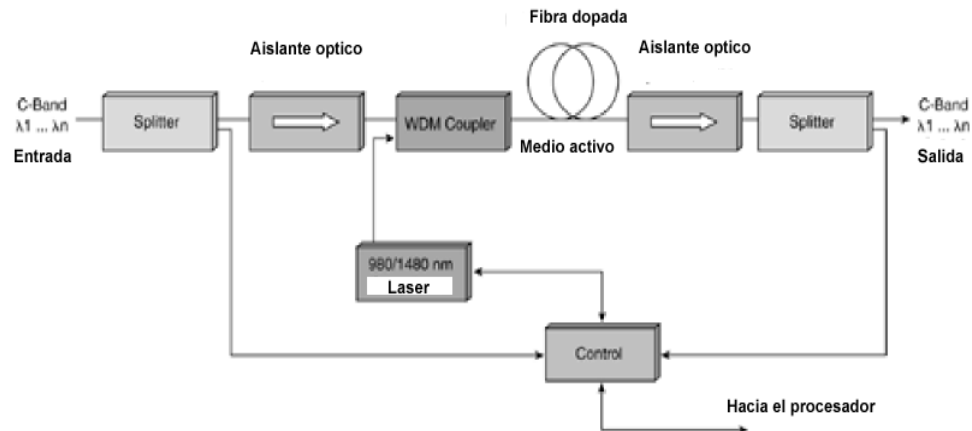
Fuente: Dispositivos pasivos y activos para redes DWDM.

Después de haber conocido las configuraciones las cuales se les puede dar a los amplificadores se procederá a explicar de forma breve los tipos de amplificadores existentes.

### 1.4.3.4. Amplificador de fibra dopada con Erblio (EDFA)

Este es el más común de los amplificadores de fibra dopada, su frecuencia de operación se encuentra en la banda C y L, tienen baja figura de ruido y su ganancia se encuentra entre los 15 y 30 dB.

Figura 13. Diagrama esquemático del EDFA



Fuente: *Introduction to DWDM for metropolitan networks* CISCO.

Los EDFA utilizan un medio activo, que es en donde se intercambia la potencia entre la señal inyectada y la señal transmitida. El proceso de amplificación óptica es intrínsecamente unidireccional. El comportamiento unidireccional es aun mayor por la presencia de los aisladores ópticos que son análogos a un diodo electrónico y solo permiten que las señales fluyan en una sola dirección. Los aisladores ópticos son necesarios para evitar las reflexiones ópticas y perturbar el proceso de amplificación.

Los amplificadores EDFA es el componente activo en un sistema de transmisión DWDM en el lado de la transmisión, en el lado de la recepción se utilizan pre-amplificadores.

Son los más comúnmente utilizados y estos existen del tipo booster, pre amplificadores y amplificadores de línea.

#### **1.4.3.5. Amplificador RAMAN**

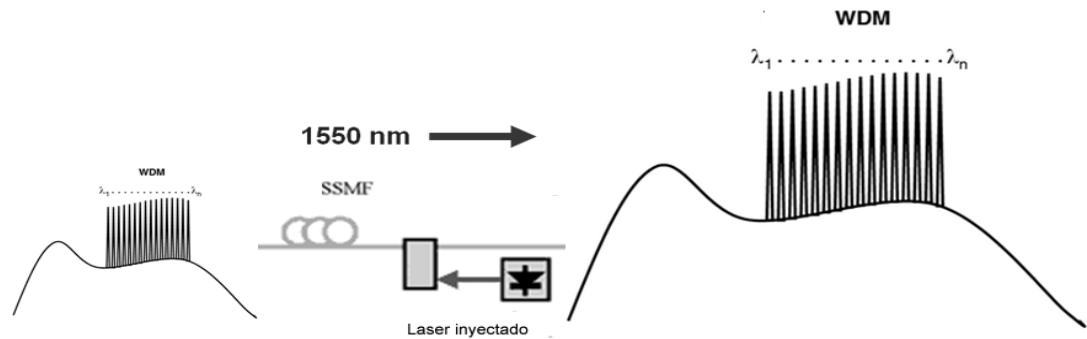
Estos utilizan el efecto de dispersión de RAMAN estimulado (SRS) que es un tipo de difusión no lineal que da lugar a amplificaciones de banda ancha de múltiples canales ópticos. La amplificación Raman se produce cuando una longitud de onda baja es inyectada y es propagada a través de la fibra. La señal inyectada crea una amplia banda de ondas de choque que les transfiere energía y amplifica los canales múltiples en los sistemas WDM. Los espectros de ganancias para los amplificadores Raman es bastante amplio (150 nm a 200 nm) y abarca el operativo por completo de las bandas S-, C-, L- y la banda U.

En los amplificadores Raman la señal es amplificada solo cuando ambas señales son lógicamente bajas, típicamente los amplificadores Raman producen ganancias entre los 20 a 35 dB con potencias entre los 800 mW y 1 W potencia que es inyectada.

La tecnología de estos amplificadores se usan regularmente para aplicaciones de largo alcance utilizando una menor potencia en la transmisión, presentando diferentes beneficios en los sistemas de comunicaciones por fibra óptica, entre ellos, banda espectral ancha, alta potencia de saturación y baja figura de ruido.



Figura 14. Diagrama Esquemático Amplificador Raman



Fuente: *Technology Overview TELLABS*.

La seguridad ocular (eye-safety) es una de las principales preocupaciones asociadas a los amplificadores Raman, ya que típicamente se trata de dispositivos láser de Clase 4 (potencias de salida superiores a los 500 mW).

Para evitar riesgos en el caso de una rotura de la fibra, se instala un monitor de reflexiones en el interior de las unidades.

#### 1.4.4. Compensador de dispersión

Es un dispositivo encargado en minimizar los efectos de la dispersión cromática. Este fenómeno se refiere al retardo (deformación) espectral de un pulso óptico conforme se propaga por la fibra.

La fibra óptica convencional tiene un coeficiente de dispersión positivo; esto quiere decir que a mayores longitudes de ondas se tiene un mayor tiempo de tránsito a través de la fibra comparado con las longitudes de ondas cortas. Este diferencial de retardo hace que el pulso se deforme. La dispersión cromática viene dada de la siguiente manera:

$$\text{Dispersión Cromática} = D \text{ (ps/nm-Km)} \times L \text{ (km)} \times A \text{ (nm)}$$

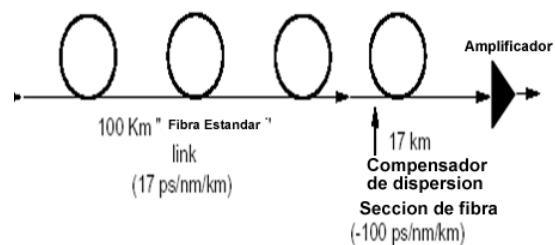
D== dispersión L= distancia A= ancho espectral

Esto quiere decir que la dispersión cromática es una característica de la fibra utilizada. Existen varias formas de compensar la dispersión las más comúnmente utilizadas son:

#### 1.4.4.1. Fibras Compensadoras de dispersión (DCF)

Las fibras compensadoras de dispersión, se caracterizan por poseer un parámetro de dispersión cromática elevado y de signo opuesto al de las fibras convencionales operando en tercera ventana. De este modo colocando una cierta longitud de DCF tras el enlace de fibra óptica que constituye el sistema de comunicaciones es posible compensar la dispersión cromática acumulada durante el primer trayecto.

Figura 15. **Compensador de dispersión con DCF**



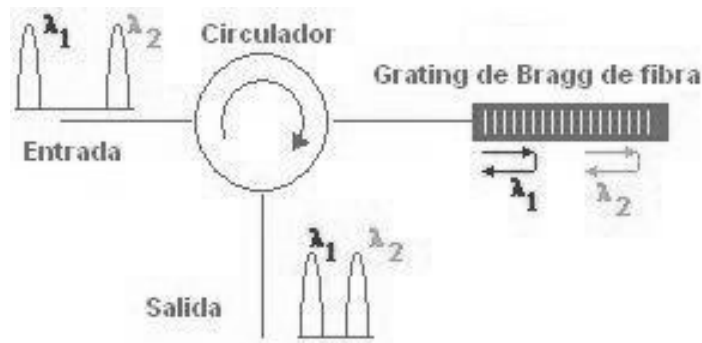
Fuente: Introduction to DWDM for metropolitan networks CISCO.

#### 1.4.4.2. Compensación con FBG (Fiber Bragg Griting)

Es un tipo de reflector construido en un pequeño segmento de la fibra óptica que refleja una longitud de onda en particular y la transmite a todas las demás. Esto se logra mediante la adición de una variación periódica en el índice de refracción del núcleo de la fibra, lo que genera una longitud de onda específica.

El FBG introduce un retardo que depende de la longitud de onda de forma que se compense el retardo sufrido por las diferentes longitudes de onda de la señal transmitida.

Figura 16. Compensador de dispersión FBG



Fuente: Introduction to DWDM for metropolitan networks CISCO.

Existen diferentes tipos de DCM estos depende de su aplicación y el tipo de fibra a utilizar:

DCM para fibra mono modo estándar: esta es la utilizada para la fibra G652.

DCM para fibra con dispersión NON-ZERO: esta es la utilizada por la fibra G655.

DCM para dispersión de fibra trasladada: esta es la utilizada por la fibra G653.

Una de las más utilizadas es el DCM para fibra mono modo estándar: esta es la utilizada para la fibra G652

## **2. DISEÑO DE REDES DWDM**

### **2.1. Tipos de fibras utilizados en la práctica**

Los diseños de redes DWDM involucran 2 tipos de fibras, estas están estandarizadas por ciertas normas y recomendaciones de la ITUT que se nombran a continuación:

- Non-dispersion-Shifted Fiber (NDSF). ITUT G652
- Non-zero dispersion-Shifted Fiber(NZ-DSF) ITUT G655

#### **2.1.1. Fibra NDSF ITUT G652**

La recomendación G652 (NDSF), describe una fibra monomodo cuya longitud de onda de dispersión nula está situada en torno a 1310 nm, optimizada para uso en la región de longitud de onda 1310 nm, y que puede utilizarse también a longitudes de onda en la región de 1550 nm (en las que la fibra no está optimizada).

A continuación se muestra una tabla con todas las características que debe de tener la fibra para que cumpla la recomendación ITUT G652.

Tabla I. **Características de la fibra Monomodo recomendación G652**

CARACTERISTICA	UNIIDAD	VALOR
Diámetro del Núcleo	nm	8.6 a 9.5
Diámetro del Revestimiento	nm	125
Diámetro Externo del Recubrimiento	nm	245+/- 2%
Error de no circularidad del Revestimiento	%	<2
Error de concentricidad de Campo Modal	%	<1
Atenuación Máxima en 1310nm	dB/km	0.40
Atenuación Máxima en 1383nm	dB/km	1
Atenuación Máxima en 1550nm	dB/km	0.19-0.22
Atenuación Máxima en 1625nm	dB/km	0.21-0.24
Coefficiente de Atenuación	dB/km	<=0.25
Coefficiente de Dispersión Cromática	ps/nm/km	<= 17
Rango de Dispersión Nula	nm	1300-1324
Coefficiente de Dispersión de PMD para una distancia máxima de 400Km	(ps/km) <sup>1/2</sup>	<0.5
Incremento de las pérdidas a 1550 nm para 100 vueltas de fibra enrollada a un radio de 37.5mm	dB	<1

Fuente: Hoja de especificaciones fibra Draka G652.

### 2.1.2. Fibra (NZ-DSF) ITUT G655

Esta fue normalizada en 1994 para 1550 nm, es una mejora de la G653 para aplicaciones de multiplexación por división de longitud de onda WDM.

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

La tabla que a continuación se muestra contiene algunas de las características que debe de tener la fibra para que cumpla la recomendación ITUT G655

Tabla II. **Características de la fibra Monomodo recomendación G655**

CARACTERISTICA	UNIIDAD	VALOR
Atenuación Máxima en 1310nm	dB/km	0.40
Atenuación Máxima en 1450nm	dB/km	0.26
Atenuación Máxima en 1550nm	dB/km	0.22
Atenuación Máxima en 1625nm	dB/km	0.24
Coeficiente de Atenuación	dB/km	<=0.25
Coeficiente de Dispersión Cromática Banda C	ps/nm/km	5.5 -8.9
Coeficiente de Dispersión Cromática Banda L	ps/nm/km	6.9- 11.4
Rango de Dispersión Nula	nm	< 1405
Coeficiente de Dispersión de PMD para una distancia máxima de 400Km	(ps/km) <sup>1/2</sup>	<0.1
Incremento de las pérdidas a 1550 nm para 100 vueltas de fibra enrollada a un radio de 37.5mm	dB	<0.5
Tensión de Prueba $\sigma_p$	Gpa	>0.7

Fuente. Hoja de especificaciones fibra Draka G652.

## 2.2. Factores críticos en el diseño

Para poder definir los factores críticos que van a afectar el diseño de la red es necesario documentarse con información de los equipos por los cuales va a estar formada dicha red.

Dentro de los factores críticos a tomar en cuenta a la hora de realizar el diseño están.

## **2.2.1. Características de los transmisores laser**

Estas características se encuentran normadas por la recomendación de la ITU G957 en la cual se especifican los parámetros de las interfaces ópticas para equipos. Todas estas características las proporciona el fabricante en una tabla de especificaciones de los equipos.

### **2.2.1.1. Potencia de salida media**

Se denomina así a la potencia en dBm inyectada a la FO por el emisor de luz Láser, medida luego del conector de salida del equipo. Este punto es definido como interfaz S por ITUT G.957. Este es un dato de rendimiento y se da en intervalos de funcionamiento.

### **2.2.1.2. Sensibilidad del receptor**

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

### **2.2.1.3. Rango de atenuación**

La atenuación para cada aplicación se especifica como una gama, característica de las distancias de aplicación indicadas en términos generales. Se supone que las especificaciones de atenuación son los valores del caso más desfavorable incluidas las pérdidas de los empalmes, los conectores, atenuados ópticos (de ser necesarios) o de otros dispositivos ópticos pasivos, así como todo margen del cable adicional para tener en cuenta.



#### **2.2.1.4. Dispersión cromática**

En esta se especifican los valores máximos de dispersión (ps/nm) para los sistemas que se consideran limitados por este parámetro. Estos valores concuerdan con las penalizaciones de trayecto óptico máximas especificadas

#### **2.2.1.5. Sobrecarga del receptor**

La sobrecarga del receptor es el máximo valor aceptable de la potencia media recibida en el punto R para una BER de  $1 \times 10^{10}$ .

A continuación se presenta una tabla la cual se dan los parámetros explicados anteriormente.

Tabla III. Parámetros especificados para las interfaces ópticas STM-4

	Unidad	Valores						
Señal digital		STM-4 de acuerdo con la Rec. UIT-T G.707/Y.1322						
Velocidad binaria nominal	kbit/s	622 080						
Código de aplicación (cuadro 1)		I-4	S-4.1	S-4.2	L-4.1		L-4.2	L-4.3
Gama de longitudes de onda de funcionamiento	nm	1261 <sup>a)</sup> -1360	1293-1334/ 1274-1356	1430-1580	1300-1325/ 1296-1330	1280-1335	1480-1580	1480-1580
Transmisor en el punto de referencia S								
Tipo de fuente		MLM   LED	MLM	SLM	MLM	SLM	SLM	SLM
Características espectrales:								
- anchura RMS máxima ( $\sigma$ )	nm	14,5   35	4/2,5	-	2,0/1,7	-	-	-
- anchura a -20 dB máxima	nm	-   -	-	1	-	1	<1 <sup>b)</sup>	1
- relación de supresión demodo lateral mínima	dB	-   -	-	30	-	30	30	30
Potencia inyectada media:								
- máxima	dBm	-8	-8	-8	+2	+2	+2	+2
- mínima	dBm	-15	-15	-15	-3	-3	-3	-3
Relación de extinción mínima	dB	8,2	8,2	8,2	10	10	10	10
Trayecto óptico entre S y R								
Gama de atenuación <sup>b)</sup>	dB	0-7	0-12	0-12	10-24	10-24	10-24	10-24
Dispersión máxima	ps/nm	13   14	46/74	NA	92/109   NA	1600	NA	NA
Pérdida de retorno óptico mínima de la planta de cable en el punto S, incluidos todos los conectores	dB	NA	NA	24	20	24	20	20
Reflectancia discreta máxima entre S y R	dB	NA	NA	-27	-25	-27	-25	-25
Receptor en el punto de referencia R								
Sensibilidad mínima <sup>b)</sup>	dBm	-23	-28	-28	-28	-28	-28	-28
Sobrecarga mínima	dBm	-8	-8	-8	-8	-8	-8	-8
Penalización máxima en el trayecto óptico	dB	1	1	1	1	1	1	1
Reflectancia máxima del receptor medida en el punto R	dB	NA	NA	-27	-14	-27	-14	-14

Fuente. Norma ITU G957.

## 2.2.2. Atenuación

Las pérdidas son consideradas el factor fundamental que limita el rendimiento de los sistemas de comunicación por fibra óptica. La distancia de transmisión es una limitante inherente del sistema de fibra óptica, si consideramos que los receptores requieren una cantidad mínima de potencia para reconocer la señal de transmisión.

Con respecto a la atenuación de los enlaces de fibra se deben de tomar en cuenta muchos tipos de atenuaciones entre los que se pueden mencionar:

#### **2.2.2.1. Atenuación en la fibra (Af)**

Los mecanismos que provocan esta atenuación pueden tener su origen en causas intrínsecas a la propia fibra por lo que se refiere a su constitución física además de factores externos a la misma tales como los procesos de fabricación, el envejecimiento, el tendido y la distancia.

#### **2.2.2.2. Atenuación debido a los empalmes (Ae)**

Cuando se empalma una fibra con otra, en la unión se produce una variación del índice de refracción lo cual genera reflexiones y refracciones, y sumándose la presencia de impurezas, todo esto resulta en una atenuación. La pérdida por fusión puede estar en un rango de 0,05 db y 0,15 db.

#### **2.2.2.3. Atenuación total por inserción (AI)**

Las pérdidas por inserción es una medida de atenuación debida a la inserción de un dispositivo en el camino de la señal.

#### **2.2.2.4. Atenuación debido a los conectores (Ac)**

Los conectores ópticos constituyen, quizás, uno de los elementos más importantes dentro de la gama de dispositivos pasivos necesarios para establecer un enlace óptico, siendo su misión, junto con el adaptador, la de permitir el alineamiento y unión temporal y repetitivo, de dos o más fibras ópticas entre sí y en las mejores condiciones ópticas posibles.

Los conectores proporciona unas pérdidas de inserción ( $<0,10$  dB) y retorno  $> 65$  dB, varía un poco dependiendo del tipo de conector y tipo.

#### **2.2.2.5. Margen de seguridad**

El margen de seguridad, permite considerar una reserva de atenuación para empalmes futuros (reparaciones) y la degradación de la fibra en su vida útil. La magnitud de la reserva depende de la importancia del enlace y particularidades de la instalación, se adopta valores entre  $0,1$  dB/Km y  $0,6$  dB/Km.

#### **2.2.2.6. Atenuación del MUX/DEMUX**

Estas son pérdidas asociadas a este dispositivo pasivo y estas se encuentran descritas en las hojas de características del fabricante.

Entre las pérdidas que estos dispositivos pueden insertar se pueden mencionar las siguientes: atenuación por inserción, pérdida de vuelta óptica, pérdida dependiente de la polarización.

#### **2.2.2.7. Atenuación del DCM**

Esta es otro tipo de pérdidas por inserción estos equipos nos ayudan a corregir la dispersión pero también no insertan cierta atenuación a nuestro sistema esto va a depender del tipo de DCM que se esté utilizando.

### **2.2.3. Dispersión cromática de la fibra**

La dispersión cromática de una fibra se expresa en ps / (nm\*km), representando el retraso, o incremento de tiempo (en ps), Esto depende del tipo de fibra, y limita el bit rate o la distancia de transmisión para una buena calidad de servicio. El ensanchamiento que sufren los pulsos de luz, denominados dispersión, es un factor crítico que limita la calidad de la transmisión de señal sobre enlaces ópticos.

La dispersión es una consecuencia de las propiedades físicas del medio de transmisión. Las fibras monomodo, están sujetas a la Dispersión Cromática (CD) que causa un ensanchamiento de los pulsos de luz según la longitud de onda.

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

Una red que transmite a 10 Gbps tiene 16 veces más tolerancia a la dispersión cromática que una que trabaja a 40 Gbps. Este dato permite hacernos una idea de la limitación que supone la CD en sistemas de alta velocidad. Las redes ópticas tienen una CD máxima acumulada hasta la que el sistema funciona correctamente.

Es importante destacar que la contribución de CD es determinante en el funcionamiento del sistema para largas distancias y altas tasas de transmisión. En distancias cortas de pocos kilómetros la contribución al total es pequeña y no afecta gravemente al comportamiento del sistema.

Para mantener la CD dentro de los límites de cada red es necesario utilizar equipos de compensación de CD (DCM).

### 2.2.3.1. Corrección a través de DCMs

Estos equipos permiten eliminar la limitación por CD en las redes ópticas. Básicamente un DCM es un dispositivo que contiene dispersión negativa y opera sobre un amplio rango de longitudes de onda.

Cada DCM es diseñado para compensar una cantidad específica de dispersión, existen compensadores de 20, 40, 60, 80 y 100km cada uno asociado con ciertas características.

A continuación se muestra una tabla en la cual se detalla las especificaciones de diferentes DCMs

Tabla IV. **Especificaciones de DCM**

Module	Description	max. Insertion Loss, dB	Dispersion @ 1550 nm, ps/nm	max. PMD, ps
CM4460-20	DISP. COMP. MODULE FOR G.652- 20 km	2.7	-340 +/- 2 %	0.4
CM4460-40	DISP. COMP. MODULE FOR G.652- 40 km	4.0	-680 +/- 2 %	0.5
CM4460-80	DISP. COMP. MODULE FOR G.655- 60 km	5.7	-1020 +/- 2 %	0.6
CM4460-20	DISP. COMP. MODULE FOR G652 – 80 km	7.4	-1360 +/- 2 %	0.7

Fuente: Tellabs DCM hoja de especificaciones.

#### **2.2.4. Dispersión por modo de polarización (PMD)**

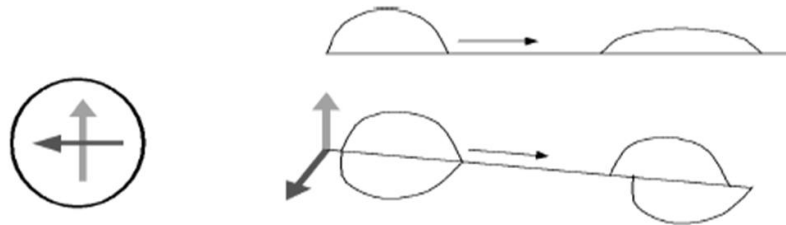
La Dispersión por Modo de Polarización, PMD, es un efecto de dispersión óptico, que limita la calidad de la transmisión en los enlaces de fibra óptica. Su control se está convirtiendo en esencial, ya que limita fuertemente la capacidad de transmisión a altas velocidades, especialmente en aquellos por encima de los 10 Gbps.

Es un parámetro difícil del medir y compensar dada su naturaleza estadística, y depende fuertemente de las condiciones físicas del cable (ambientales y mecánicas).

El origen físico de la PMD es fundamentalmente la birrefringencia de la fibra, que produce por las diferencias en las constantes de propagación en los ejes ortogonales. Estas diferencias se producen por imperfecciones en el proceso de fabricación de la fibra o como resultado de fuerzas externas que producen doblados y tensiones en la fibra.

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

Figura 17. **Dispersión por modo de polarización**



Fuente. Tutorial DWDM Fujitsu.

Los compensadores de PMD tienen que tomar en consideración los siguientes aspectos en sus rangos dinámicos de operación: la tasa de transmisión, la acumulación de ruido, los límites de compensación cromática, en la actualidad los receptores poseen la tecnología para compensar el PMD,

### **2.3. Caracterización de fibra**

La caracterización de la fibra (*Fiber Characterisation Field*), está definida como el conjunto de pruebas que se realizan a un link instalado de fibra, con el fin de evaluar su estado general y su habilidad de soportar una aplicación en particular.

#### **2.3.1. Equipo necesario**

Entre los equipos utilizados para la caracterización de fibra se puede describir los siguientes:



### 2.3.1.1. Reflectómetro en dominio del tiempo OTDR

(Optical Time Domain Reflectometer) es un instrumento óptico-electrónico usado para caracterizar una fibra óptica. Un OTDR inyecta en la fibra bajo análisis una serie de pulsos ópticos. También extrae, del mismo extremo de la fibra, luz que ha sido dispersada y reflejada de vuelta desde puntos de la fibra con un cambio en el índice de refracción.

Este dispositivo es el equivalente en óptica al Reflectómetro en el Dominio del Tiempo (TDR), que mide los cambios producidos en la impedancia de un cable.

La intensidad del pulso devuelto, es integrada como una función del tiempo, y representada en función de la longitud de la fibra.

Un OTDR puede ser utilizado para estimar la longitud de la fibra, y su atenuación, incluyendo pérdidas por empalmes y conectores. También puede ser utilizado para detectar fallos, tales como roturas de la fibra.

Figura 18. OTDR marca Anritsu



Fuente. [www.anritsu.com](http://www.anritsu.com). 23/11/2010

### **2.3.1.2. Analizador de espectro óptico OSA**

Son instrumentos que miden la potencia óptica en función de la longitud de onda o frecuencia. Un espectrómetro divide la luz de espectro en la medida mediante la transmisión de los componentes de éstos, en diferentes ángulos, longitud de onda por longitud de onda usando un dispositivo de dispersión cromática, y detecta la luz lo que espectralmente está dividido por el dispositivo de dispersión cromática, utilizando un detector óptico.

Los OSA utilizan para analizar la salida de los rayos de luz de los láseres, los diodos emisores de luz y otras fuentes de luz, analizadores de espectro óptico que son particularmente útiles para el análisis de fuentes de luz para las telecomunicaciones ópticas, donde es preferible para asegurar que la compañía óptica incluye sólo una sola longitud de onda, espectralmente puras.

Los tres principales espectros ópticos de la resolución de las tecnologías que se han utilizado en los analizadores son el interferómetro de Michelson, armonioso filtros ópticos de Fabry-Perot y rejillas de difracción. Los analizadores de espectro óptico suelen utilizar un filtro sintonizable. Un detector se utiliza para medir la señal filtrada y determinar la potencia óptica en el filtro de banda de paso actual.

En los analizadores de espectro óptico, la intensidad luminosa de un rayo de luz se muestra como una función de longitud de onda en un rango de longitud de onda predeterminada.

### **2.3.2. Pruebas a realizar**

Para realizar una caracterización de la fibra es necesario realizar varias pruebas por tramos o links entre estas están:

- Prueba de Atenuación
- Pruebas con OTDR (Optical Time Domain Reflectometer)
- Prueba de Dispersión Cromática (CD)
- Prueba de PMD

#### **2.3.2.1. Prueba de atenuación**

El propósito de esta prueba de esta prueba es determinar el parámetro de atenuación de referencia para la fibra con una prueba con longitud de onda comprendida en los 1310 nm y los 1550 nm. Los valores derivados de estas mediciones proporcionaran una indicación de la calidad de la fibra en términos de pérdidas por atenuación.

Se debe de tomar en cuenta las pérdidas por empalmes y por conectores. Las reflexiones son causadas comúnmente por cambios abruptos en el span de la fibra, esto puede incluir empalmes en la fibra.

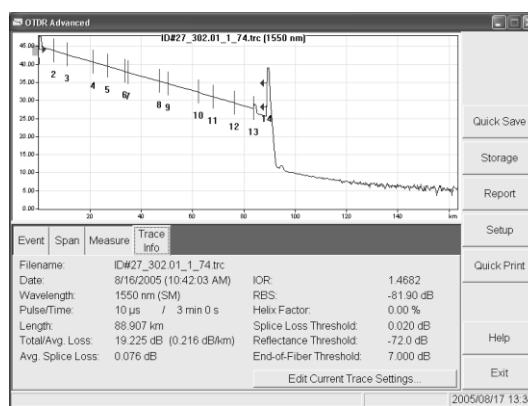
Esta prueba se debe de utilizar un equipo en un extremo el cual inyecta una señal a 0 db y un medidor de potencia en el otro extremo, el cual indica la pérdida del span.

#### **2.3.2.2. Pruebas con OTDR**

El propósito de esta es realizar una prueba de continuidad bidireccional de la fibra, el OTDR es aplicado de la siguiente manera:

- Medición de la longitud de la fibra
- Mediciones de distancias de empalmes, conectores.
- Medición de pérdidas por dB/Km
- Medición de pérdidas por empalmes

Figura 19. Ejemplo de prueba con OTDR



Fuente: Medidor OTDR ANRITSU MT9090A.

En esta figura se puede visualizar una prueba de 88,9 km de distancia con una atenuación de 0,216 dB/Km y una pérdida de 19,22 dB medida, esta prueba muestra eventos del tipo reflectivos y no reflectivos.

- Los eventos reflectivos son: conectores y uniones mecánicas.
- Los eventos no reflectivos son: empalmes fusionados.

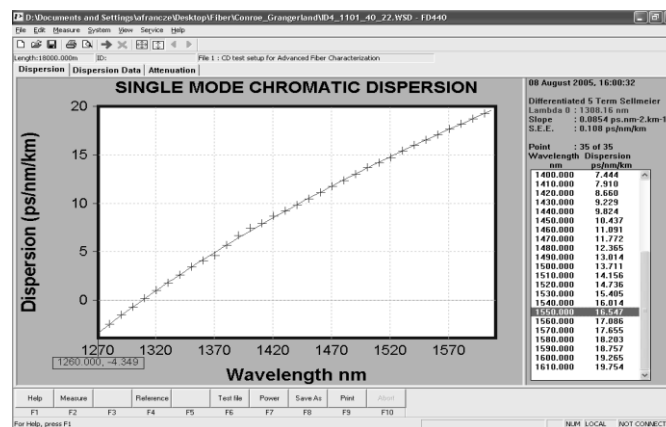
### 2.3.2.3. Prueba de dispersión cromática (CD)

Un analizador de dispersión cromática proporciona los valores del retardo de grupo en función de la longitud de onda. De este retardo se calcula el coeficiente de dispersión, la pendiente de dispersión o un valor específico de

longitud de onda con dispersión cero y la pendiente asociada. Ya existen en el mercado reflectómetros de cuatro longitudes de onda que realizan todas las pruebas convencionales en las tres ventanas de transmisión típicas, y emplean la cuarta longitud de onda (típicamente 1470 nm) para medir la dispersión cromática.

El propósito de esta es para calificar que el link de fibra puede trabajar a alta velocidad de transmisión de datos. La dispersión cromática es una propiedad de la fibra óptica que está limitada por la distancia. Es una propiedad que resulta a partir de las diferentes longitudes de onda que viajan a diferentes velocidades.

Figura 20. **Medida de dispersión cromática con un OSA**



Fuente: Medidor JDSU MTS8000.

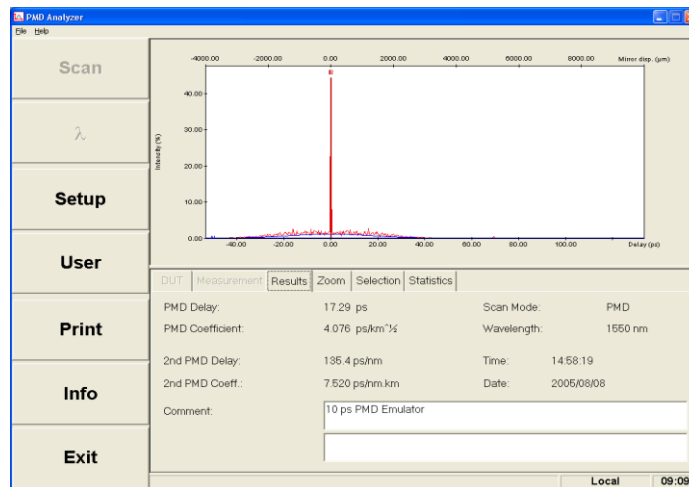
El equipo proporciona medidas de la dispersión total del enlace (ps/nm), del parámetro de dispersión de la fibra (ps/nm/km), de la pendiente de la curva de dispersión (ps/nm<sup>2</sup>/km) para cada uno de los canales.

#### 2.3.2.4. Prueba de PMD

El análisis de PMD resulta algo más complejo que el análisis de dispersión. Para realizar las medidas de PMD existen diversos métodos que pueden clasificarse de forma amplia en dos categorías: dominio temporal y dominio de frecuencia.

Esta prueba completa la caracterización de la fibra, resaltando desordenes físicos. Estos pueden ser por estrés mecánico, vibraciones, doblajes de instalación, radios de curvaturas y cambios abruptos de temperatura en la fibra que puedan afectar las características propias de la fibra.

Figura 21. Pantalla del Medidor de PMD



Fuente: Medidor OTDR ANRITSU MT9090A.

En la figura se muestra la pantalla característica de medida de PMD. En este caso se ha medido con el equipo FTB-5500B de EXFO. La obtención del

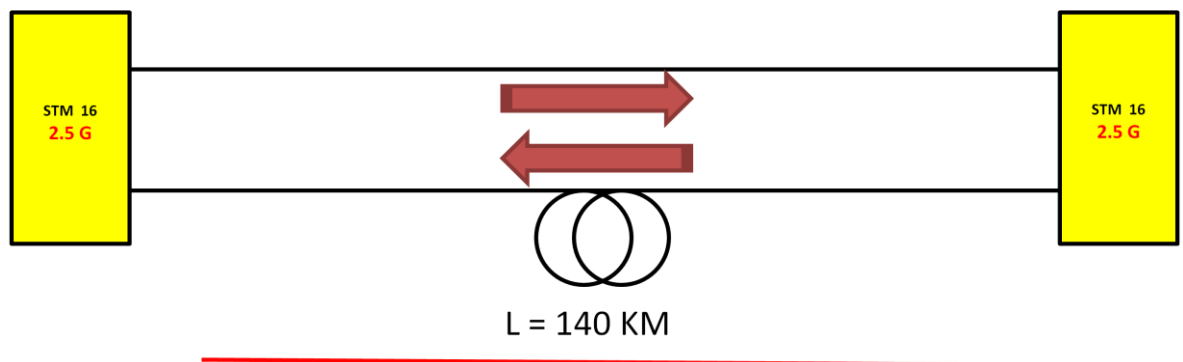
valor de PMD es muy rápida (menos de 5 segundos) y se basa en medidas de trazas de auto correlación y correlación cruzada. Como se puede ver en dicha figura, este equipo proporciona también medidas de la PMD acumulada (ps),

## 2.4. Caso de aplicación

Habiendo visto todas las características que influyen en un enlace, a continuación se demuestra un ejemplo de un caso de aplicación en la cual se notara el uso que se les debe de dar a cada una de las especificaciones que tiene cada elemento que forma parte del enlace.

En la figura se muestra el caso que vamos a estudiar, este es un enlace DWDM con una longitud de 140 Km y con un ancho de banda de 2,5 Gbps.

Figura 22. **Caso de aplicación**



Fuente: elaboración propia.

En el enlace está estructurado con los siguientes componentes:

Tipo de fibra óptica G 652

- Atenuación: 0,21 dB/Km
- Dispersión Cromática: 18 ps.nm/Km

Transmisor: STM 16 DWDM

- Potencia de salida media: 0 a 4 dBm.
- Rango de atenuación : 10 a 26 dB
- Máxima dispersión: -800 a 2400 ps. Nm
- Sensibilidad: -28 dBm.

Con estos datos se procede a calcular las características teóricas del medio:

$$\begin{aligned} \text{Dispersión Cromática: } & 140 \text{ km} \times (18 \text{ ps.nm/km}) \\ & = 2520 \text{ ps.nm} \end{aligned}$$

Tomando en cuenta que el receptor elegido tiene un coeficiente de dispersión máxima = 2400 y la dispersión del medio es de 2520 es necesario utilizar un compensador de dispersión para corregir esto, en este caso el DCM que se puede utilizar es un DCM de 20Km con las siguientes características:

DCM 20 Km

- Atenuación insertada = 2,7 dB
- Dispersión Cromática = -360 ps.nm

Dispersión Cromática del medio será entonces

$$\begin{aligned} & = 2520 \text{ ps.nm} - 360 \text{ ps.nm} \\ & = 2160 \text{ ps.nm} < 2400 \text{ ps.nm} \end{aligned}$$



Los 2160 ps.nm están dentro del rango del coeficiente de dispersión del medio-  
Atenuación de la Fibra, sabiendo que el enlaces es de 140 km y que la  
atenuación de la fibra es 0.21 db/km

$$A_L = 140 \text{ km} \times 0,21 \text{ dB/km}$$

$$A_L = 29,4 \text{ dB}$$

Sabiendo que el transmisor tiene un rango de atenuación de 10 a 26 db y  
la longitud del enlace inserta una atenuación mayor a este rango es necesario  
insertar al enlace un BOOSTER.

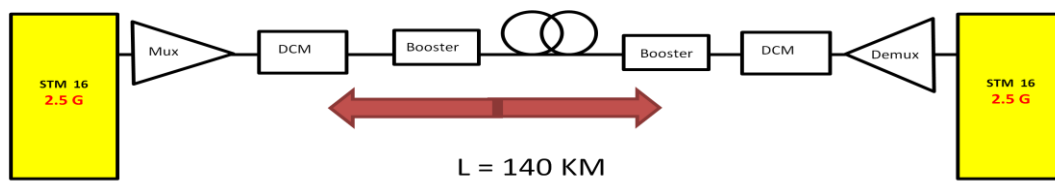
Atenuación por fusiones, cada carrete de fibra contiene 5 km lo cual nos  
lleva a que para lograr un tendido de fibra de 140 km se utilizara una cantidad  
de 28 carretes. Lo cual nos da un total de 27 fusiones, según Transition  
networks cada fusión inserta una pérdida de 0,05 dB.

$$A_s = 27 \times 0,05 \text{ dB}$$

$$A_s = 1,35 \text{ dB}$$

Con estos datos pueden llegar a la conclusión de como quedar el enlace,  
en la figura se muestra todos los componentes que va a tener el sistema.

Figura 23. **Componentes del enlace**



Fuente: elaboración propia.

Con el sistema armado se debe de contemplar la atenuación de ciertos elementos como lo son la atenuación del MUX y la atenuación del DEMUX además de la atenuación de cada conector.

El enlaces cuenta con un total de 10 conectores y cada conector inserta una pérdida de 0,5 dB según Transition Networks. De esto se puede concluir que la atenuación por conectores será:

$$A_c = 10 \times 0,5 \text{ dB}$$

$$A_c = 5 \text{ dB}$$

Con esto se puede calcular la atenuación total del sistema:

$$A_{TOTAL} = A_L + A_C + A_S + A_{DCM} + A_{MUX}$$

Con los datos calculados se tiene:

$$A_L = 29,4 \text{ dB}$$

$$A_S = 2,7 \text{ dB}$$

$$A_c = 5 \text{ dB}$$

$$A_{DCM} = 2,7 \text{ dB}$$

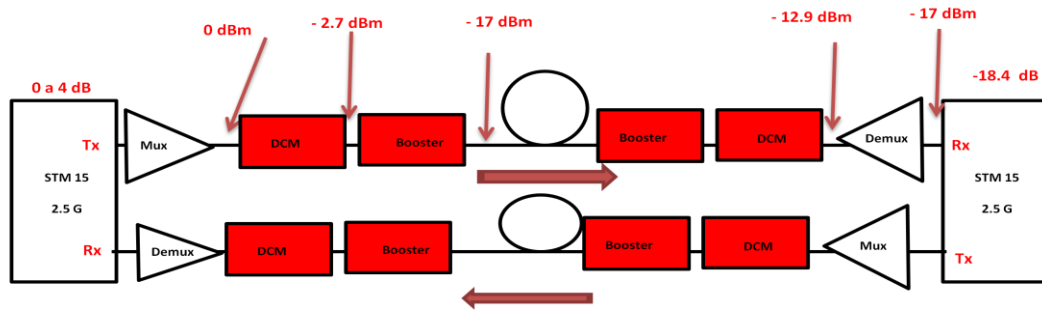
$$A_{Mux} = 6 \text{ dB}$$

De esto se tiene que la  $A_{TOTAL}$ =

$$A_{TOTAL} = 44,45$$

Insertando todos estos datos al sistema se tiene que el receptor recibirá una cantidad -18.4 dB. En forma gráficamente se puede ver la figura

Figura 24. Detalle de niveles en el sistema



Fuente: elaboración propia.



### **3. EXPANSIÓN DE UNA RED GRIS A DWDM**

#### **3.1. Definición del problema**

Actualmente se cuenta con un anillo de STM 16 (2,5Gbps) que usa dos hilos de fibra en el cual existen algunos ramales o anillos recolectores causando que la capacidad de este llegue a su límite.

Con las limitantes de no tener más hilos de fibras disponibles para estos segmentos y de no tener capacidad para crecimiento futuro se ve la necesidad de invertir en equipos con tecnología DWDM, con lo cual se maximizará el uso de la fibra ya existente. En este caso la solución que se plantea utilizará 8 canales, con capacidad de 2,5 Gbps por canal logrando así una capacidad máxima de 20 Gbps por troncal.

Esto debido a la facilidad de poder utilizar la misma infraestructura e instalaciones con la cual ya se cuenta en la red actual además de agregar el beneficio de no realizar una inversión en el tendido de nuevos hilos de fibra. Siendo esta la principal razón.

A efectos de cumplir con todos los requerimientos de ampliar la capacidad en el anillo existente y la posibilidad de tener un crecimiento a largo plazo, se plantea de forma detallada el análisis de la expansión de la red, inicializando con un sistema de transporte que se encuentra en funcionamiento con tecnología SDH y que en un futuro en este anillo va a soportar cualquier tipo de tecnología en cada canal que se le habilite.

Los requerimientos del diseño constituyen una de las partes principales de este, porque representa el punto de partida, el camino y la llegada del proyecto.

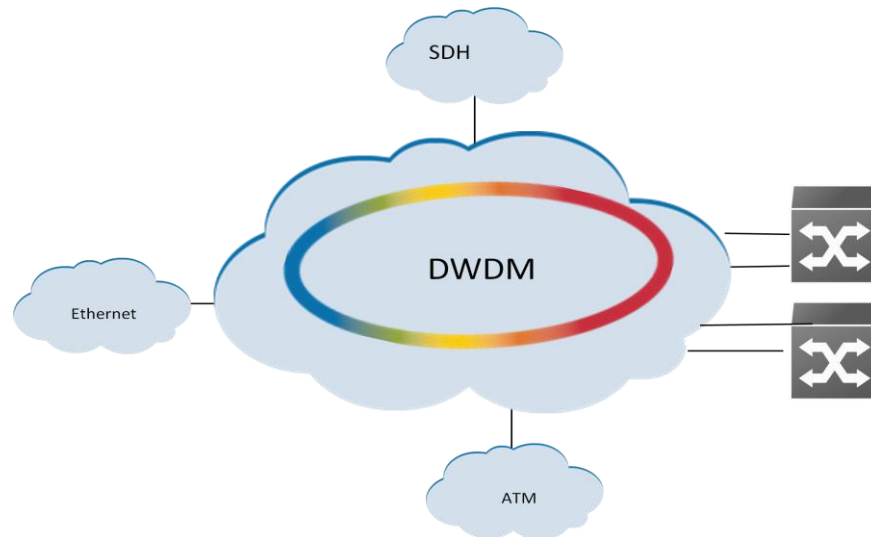
### **3.2. Topología**

La topología que se define para este proyecto en particular es una topología tipo anillo. En esta etapa se debe de definir la función que va a tener cada uno de los equipos instalados en el anillo.

Inicialmente esta red tendrá como tributarios nodos con tecnología SDH.. Teniendo esta consideración se debe de decidir que sitios se van a utilizar equipos con función de ADD and DROP (añadir/botar) y en que sitios van a existir equipos con función de regeneradores del tipo 3R, por ser una red DWDM fija.

De manera más gráfica se puede demostrar la estructura de la red DWDM que tendrá la función de core del sistema y las demás redes que podrán tributar a esta.

Figura 25. **Sistema DWDM**

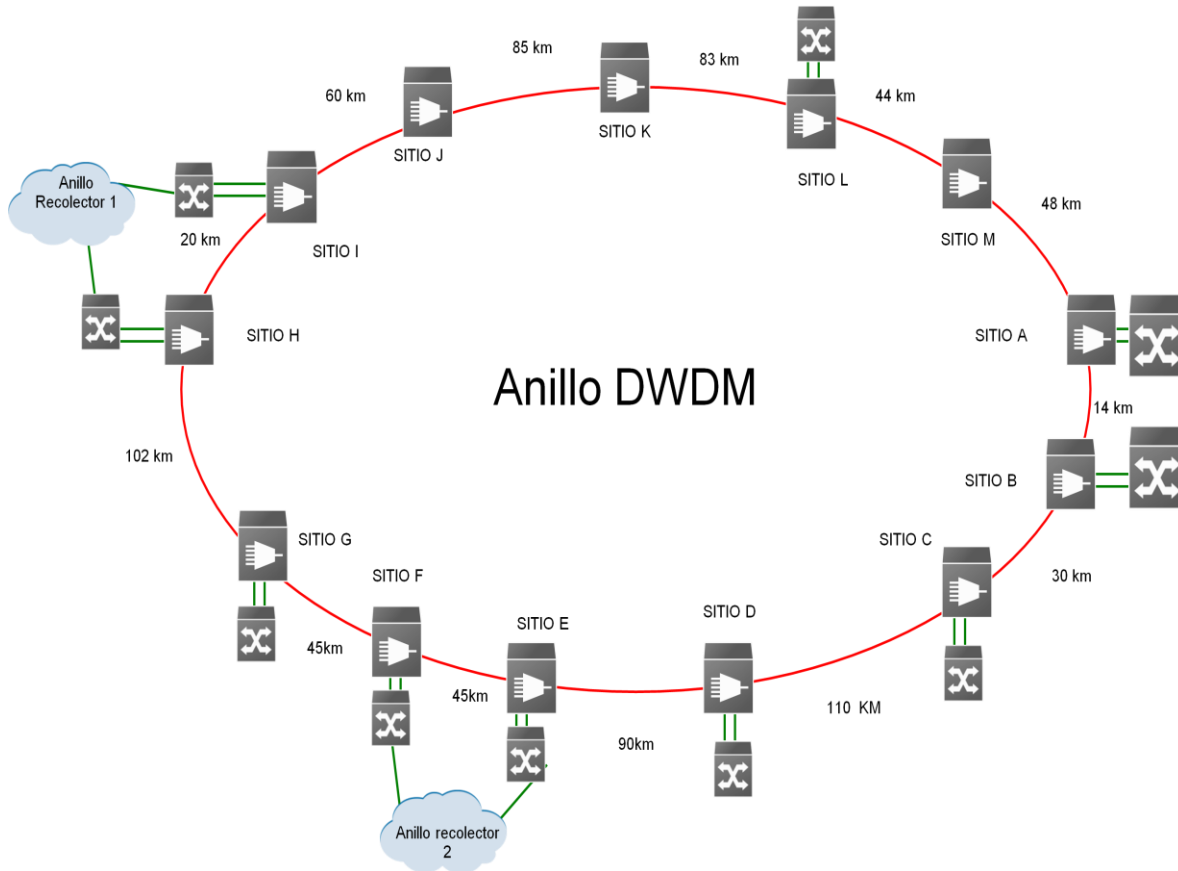


Fuente: elaboración propia.

La figura que se muestra a continuación es un diagrama sencillo lógico que muestra la topología de la red y la distancia entre los nodos, es el punto de partida para desgranar como se irán montando los sistemas de red.

Esta red inicialmente está conformada con tecnología SDH con una capacidad de 2,5Gps o un STM-16, y se convertirá en una red DWDM utilizando los mismos hilos de fibra, los cuales formaran una troncal DWDM de 8 canales siendo el canal numero 1 el encargado de cursar el trafico existente en el anillo STM-16 original.

Figura 26. Propuesta de la red



Fuente: elaboración propia.

En la figura se muestran los equipos y los componentes de las redes DWDM entre los cuales están equipos con tributarios conectados y equipos que son solo regeneradores. Las propuestas presentadas es un sistema DWDM Abierto con terminales SDH.



### **3.3. Diseño de red y cálculo de sus componentes**

A continuación se describirá el desarrollo de la construcción de la red para plantear un procedimiento para la implementación de dicha red, en la cual se determinarán y se calcularán los diferentes elementos que interactúan en dicha red.

#### **3.3.1. Selección de la longitud de onda ( $\lambda$ )**

Un factor importante a considerar en el diseño de una red DWDM es el número de canales o de longitudes de onda a utilizar. En algunos casos es deseable diseñar la red con el mayor número de canales posibles que la tecnología pueda soportar, tomando en cuenta el posible crecimiento de la red y el costo que esto conlleva. En el caso de esta red se implementará con 8 longitudes de onda sin embargo en el mercado existen diversidad de equipos que trabajan con muchos más canales, existen equipos que cuentan con 32, 44 hasta 88 lambdas.

Los transceivers se encuentran disponibles en precisas longitudes de ondas seleccionadas, la unión internacional de telecomunicaciones (ITU) creó el estándar G.692 que es un tabla para las redes WDM basado en 100 GHz de espacio entre lambdas con una longitud de onda central de 1553,52 nm.

#### **3.3.2. Estructura del sistema DWDM**

En la figura A al inicio del capítulo se muestra la propuesta de la red la cual estará compuesta por 13 nodos a lo largo del anillo con diferentes distancias entre cada uno, además se cuenta con 2 anillos recolectores de tráfico.

Además se propone instalar 8 nodos de tributarios para poder terminar tráfico con servicios de 2 Mbps o E1's

En el anillo se insertan tres nodos con función de regeneradores 3R ya que en el momento en el cual se planteo el diseño no es necesario tener servicio tributarios en estos lugares sin embargo se puede habilitar en un futuro como equipos con función ADD/DROP.

### **3.3.3. Presupuesto óptico**

Para la construcción de esta red es necesario sacar un presupuesto óptico por cada enlace que este dentro del anillo, para empezar hay que contar con todos los datos necesarios para su elaboración.

Tomando en cuenta que el anillo cuenta con 13 enlaces es necesario hacer el análisis para cada uno de ellos.

El anillo utiliza enlaces de 2,5 Gbps con transceivers DWDM, la fibra utilizada en todos los tramos es una fibra de marca DRAKA con una atenuación de 0,22 dB/Km y una dispersión cromática entre 18 ps.nm/km.

El tipo de transceivers a utilizar en todo el anillo es DWDM con las siguientes características

- Potencia de salida media: 0 a 4 dBm.
- Rango de atenuación : 10 a 26 dB
- Máxima dispersión: -800 a 2400 ps.nm
- Sensibilidad: -28 dBm.

### 3.3.3.1. Primer enlace a calcular

El primer enlace a trabajar es un enlace de 140 Km, este enlace será la base para calcular los siguientes 12 enlaces para poder tener el presupuesto de todo el anillo.

Figura 27. **Enlace anillo DWDM**



Fuente: elaboración propia.

Dispersión cromática del medio:  $140 \text{ km} \times 18 \text{ ps.nm/km} = 2520 \text{ ps.nm} > 2400 \text{ ps.nm}$  el valor no se encuentra dentro del rango así que es necesario colocar compensador de dispersión.

Para esto es necesario consultar la tabla de características de los DCM para poder definir el DCM a utilizar, el DCM de 20km nos puede corregir la dispersión  $-360 \text{ ps.nm/km}$  lo cual dejaría la dispersión cromática del medio en:

$$\text{Dispersión Cromática} = 2520 - 360 = 2160 \text{ ps.nm/km}$$

Además de esto hay que tomar en cuenta la atenuación que le inserta el DCM al sistema esta atenuación es de 2,7 dB.

$$\text{Atenuación de medio: } 140\text{km} \times 0,22 \text{ dB/km} = 30,8 \text{ dB}$$

Debido a que la atenuación de la línea supera el rango de atenuación del receptor que es de 26 dB máximo lo cual es menor a 30,8 dB lo que deriva en la necesidad de insertar un booster en ambos extremos del enlace.

Calculando el número de fusiones que se encuentran en los enlaces, se realiza de la siguiente manera:

Primero se calcula el número de carretes de fibra a utilizar teniendo en cuenta que cada carrete consta con 5 km de fibra

$$\# \text{ Carretes} = 140 \text{ km} / 5\text{km} = 28 \text{ carretes}$$

De esto se tiene que existirán 27 fusiones en el medio y cada fusión le inserta una pérdida de 0.05 dB, según el documento de técnicas sobre empalmes de fibra óptica, consultado en el siguiente enlace:

[www.taringa.net/posts/info/1241191/Tecnicas-y-documentacion-sobre-empalmes-de-fibra-optica.html](http://www.taringa.net/posts/info/1241191/Tecnicas-y-documentacion-sobre-empalmes-de-fibra-optica.html)

Con este dato la atenuación por fusiones queda de la siguiente manera:

$$A_s = 27 \times 0,05 = 1,35 \text{ dB}$$

Agregando la atenuación del MUX /DEMUX en ambos extremos del enlace, ya que la función de MUX / DEMUX consume potencia de las señales que están entrando.

$$A_{mux} = 6 \text{ dB}$$

Adicionalmente a las pérdidas mencionadas anteriormente se deben de agregar las pérdidas por conectores en este enlace el numero de conectores será de aproximadamente 10 debido a los conectores que se encuentran en el mux, conectores en el booster, conectores en los DCM y finalmente los conectores del transmisor y receptor y teniendo una pérdida por conector de 0.5 dB de entonces las atenuación por conector quedaría de la siguiente manera:

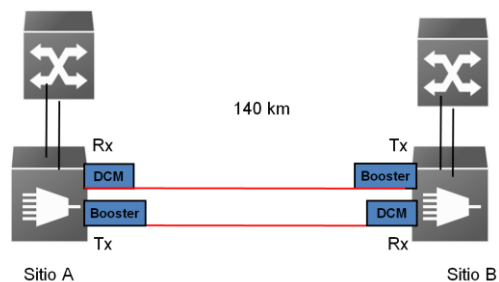
$$A_c = 10 \times 0,5 = 5 \text{ dB}$$

Con todos estos datos se tiene la atenuación total del sistema

$$A_t = A_l + A_s + A_c + A_{DCM} + A_{mux} = 43,15 \text{ dB}$$

De esta forma el enlace Guarda- San Cristóbal quedara de la siguiente manera:

Figura 28. **Enlace Sitio A – Sitio B**



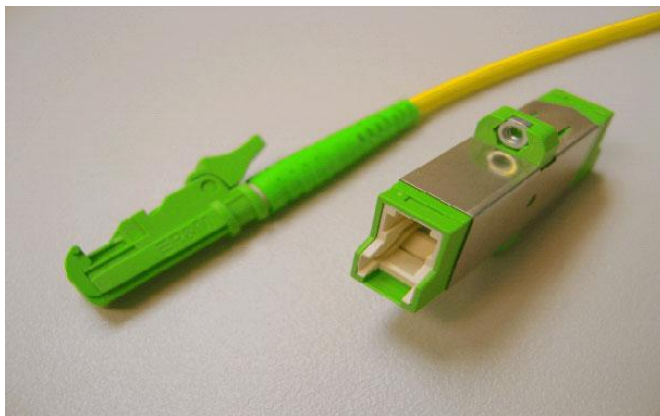
Fuente: elaboración propia.

En la figura se muestra como quedarán localizados cada dispositivo en el enlace, los booster y los DCM se encuentran localizados únicamente en un hilo de cada enlace.

Los DCM se deben de instalar en hilo de recepción Rx para que este pueda corregir el fenómeno causado en todo el tramo de la fibra. Estos dispositivos de deben de utilizar un tipo de conector especial llamado E2000, ya que tiene una inserta una baja pérdida y tiene un excelente comportamiento de la conexión óptica.

La siguiente figura muestra un conector del tipo APC de color verde, utilizados en los módulos de dispersión cromática.

Figura 29. **Conector E2000**



Fuente. Catalogo Beyondoptics.

Habiendo visto como se realiza el presupuesto óptico de un enlace se puede realizar una tabla en la cual nos facilite la tarea para realizar el presupuesto de cada enlace.

Los enlaces a calcular serian los siguientes:

Tabla V. **Enlaces con sus respectivas distancias**

<b>Enlace</b>	<b>Distancia</b>
Sitio B – Sitio C	30 Km
Sitio C – Sitio D	110Km
Sitio D – Sitio E	90 km
Sitio E – Sitio F	45 Km
Sitio F – Sitio G	45 Km
Sitio G – Sitio H	102 Km
Sitio H – Sitio I	20 km
Sitio I – Sitio J	60 Km
Sitio J – Sitio K	85 Km
Sitio K – Sitio L	83 Km
Sitio L – Sitio M	44 Km
Sitio M – Sitio A	48 Km

Fuente: elaboración propia.

Para la construcción del presupuesto de cada enlace se utilizará la misma fibra DRAKA y los mismos tipos de transceivers para cada sitio en particular, esto para tener de referencia los mismos valores utilizados en el ejemplo anterior.

La tabla que se construirá contiene datos de de atenuación, dispersión cromática, pérdidas debido al mux/demux, pérdidas por conectores y pérdidas por fusiones, además de insertar las pérdidas por si hay necesidad de uso de dispositivos como lo es el DCM, el booster o el pre amplificador.

Tabla VI. **Cálculo de enlaces para todos los sitios**

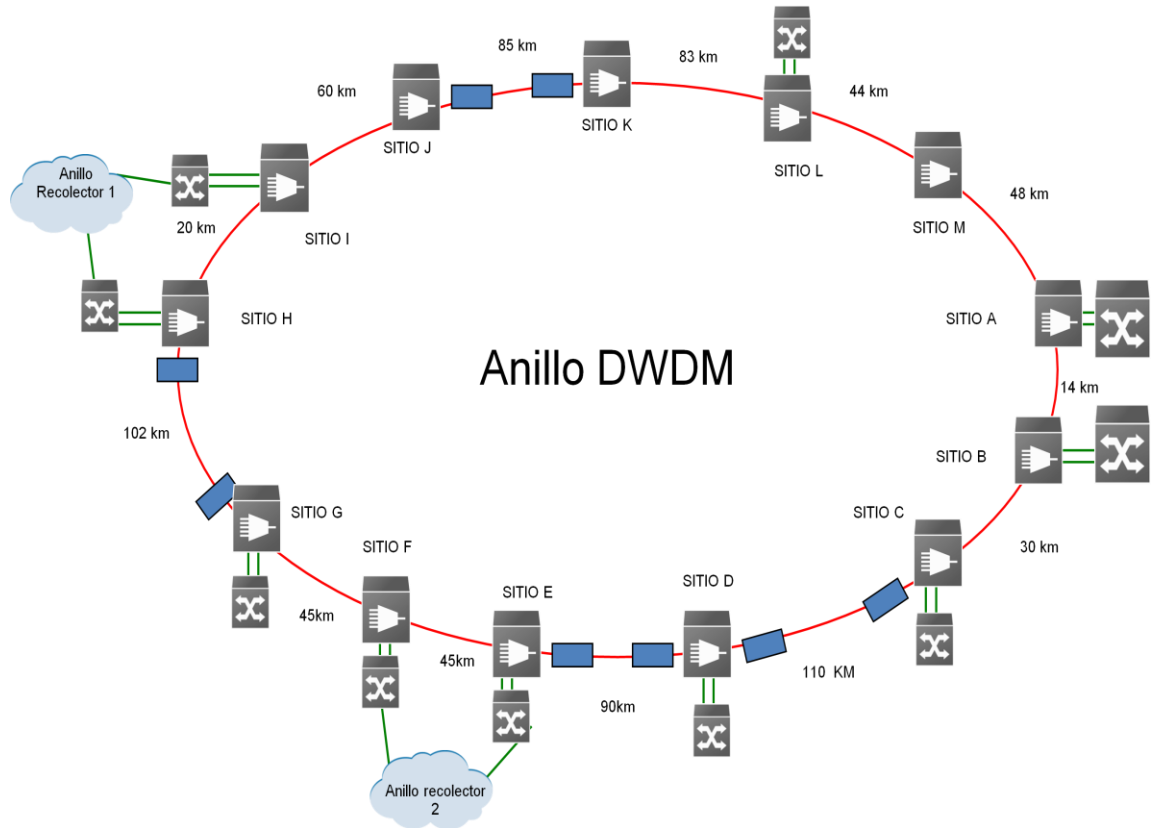
Sitio	Sitio	Distancia	Atenuación	Dispersión	Pérdida OMD	Margen	Conectores	Fusiones	Pérdida Total	Booster	DCM
Sitio B	Sitio C	30.00	6.60	540	6	0	2	0.6	15.20	NO	NO
Sitio C	Sitio D	110.00	24.20	1980	6	0	2	2.2	34.40	SI	NO
Sitio D	Sitio E	90.00	19.80	1620	6	0	2	1.8	29.60	SI	NO
Sitio E	Sitio F	45.00	9.90	810	6	0	2	0.9	18.80	NO	NO
Sitio F	Sitio G	45.00	9.90	810	6	0	2	0.9	18.80	NO	NO
Sitio G	Sitio H	102.00	22.44	1836	6	0	2	2.0	32.44	SI	NO
Sitio H	Sitio I	20.00	4.40	360	6	0	2	0.4	12.80	NO	NO
Sitio I	Sitio J	60.00	13.20	1080	6	0	2	1.2	22.40	NO	NO
Sitio J	Sitio K	85.00	18.70	1530	6	0	2	1.7	28.40	SI	NO
Sitio K	Sitio L	83.00	18.26	1494	6	0	2	1.6	27.86	SI	NO
Sitio L	Sitio M	44.00	9.68	792	6	0	2	0.8	18.48	NO	NO
Sitio M	Sitio A	48.00	10.56	864	6	0	2	0.9	19.46	NO	NO

Fuente: elaboración propia.

Con los datos calculados se plantea la red en la cual hay que incluir los booster en los sitios en los cuales son necesarios instalar de esta forma nuestro diseño final quedaría de la siguiente manera.



Figura 30. **Diseño Final de la red**



Fuente: elaboración propia.



## 4. IMPLEMENTACIÓN DE LA RED

### 4.1. Generalidades

Una vez teniendo el diseño concluido y conociendo el *hardware* a utilizar se proceden a realizar los siguientes pasos:

- Cotizar
- Hacer una orden de compra
- Envío
- Retiro de aduanas

Esto es conocido como gerencia de proyectos e involucra a todas las áreas de una empresa, desde el personal de mantenimiento, obra civil, técnicos de turno, e ingeniería, hasta la gerencia financiera, administrativa y general. Este proceso posee muchos participantes, pero solamente un responsable el gerente del proyecto.

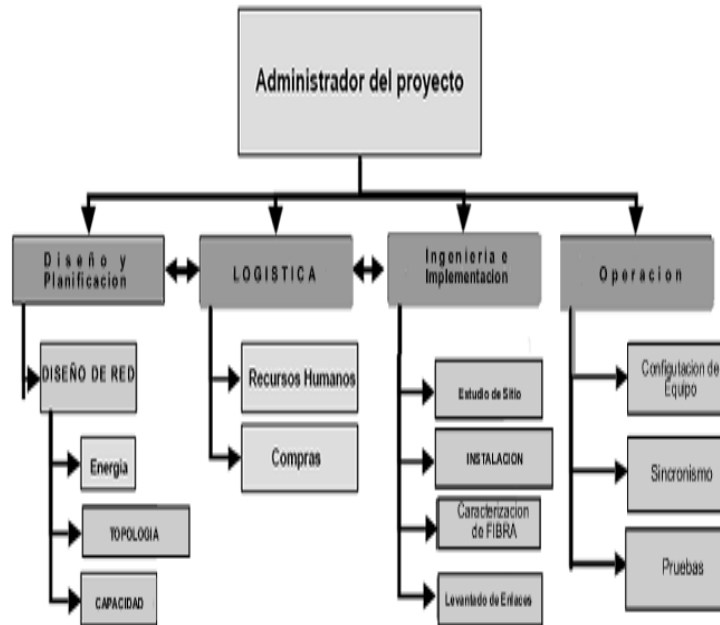
Para implementar una nueva red de telecomunicaciones, cualquiera que sea su naturaleza, se debe de proceder de forma ordenada, siguiendo una serie de pasos para lograr una exitosa implementación. Debe de considerarse la necesidad de personal experto en cada uno de los campos requeridos por el proyecto, considerando procesos administrativos, técnicos y de diseño para tener conocimiento de la mayoría de variables que jugaran un papel importante a la hora de la concertación de este proyecto.

Se identifican áreas en las cuales es necesario la asignación de recurso estas áreas son:

- Planificación y diseño
- Logística
- Ingeniería e implementación
- Operaciones
- Administración general

De acuerdo a esto el organigrama de los recursos a utilizar se puede establecer como en la siguiente figura:

Figura 31. **Organigrama del proyecto**



Fuente: elaboración propia.

## **4.2. Administración del proyecto**

La administración del proyecto es por definición, la aplicación de todas las habilidades, conocimiento, herramientas y técnicas en el desarrollo del proyecto.

La persona que administre el proyecto deberá conocer y participar en el desarrollo de todas las actividades programadas con anticipación, deberá solventar problemas de ejecución y coordinará todas las actividades de instalación e implementación de la nueva red.

La tarea del administrador se extiende desde la planificación previa y desarrollo de un cronograma, definiendo un organigrama específico para el proyecto conformando los grupos de trabajo que participarán en las distintas actividades, hasta definir las políticas y lineamientos a implementar en la administración de operaciones de la red.

El proyecto como tal puede ser dividido en 3 etapas:

- Etapa de planificación
- Etapa de implementación
- Etapa de operación

Todas las etapas serán supervisadas por el administrador del proyecto hasta el momento en que se inicia la operación de la red y quedan definidos los procesos y procedimientos de operación de la red.

Las áreas más importantes para la administración del proyecto se explican a continuación:

### **4.2.1. Implementación**

Un proyecto o expansión de una red puede ser dividido en ciertas etapas que se denotan a continuación:

- Estudios de sitio
- Instalación física
- Integración a la red
- Pruebas de red
- Puesta en funcionamiento y migraciones de circuitos

Debe considerarse el orden de los factores mencionados anteriormente ya que estos jugarán un papel importante a la hora de llevar a cabo este proyecto.

#### **4.2.1.1. Estudios de sitio**

El propósito de un estudio de sitio es la recopilación de información, para poder construir una infraestructura adecuada para la instalación de nuevos equipos, esto para brindar una seguridad de buen funcionamiento de los equipos y una certeza para saber el estado de sitio.

La finalidad es de este estudio consta en documentar todos los aspectos del sitio para facilitar la implementación e instalación de los equipos nuevos. También de facilitar la logística de los materiales a utilizar en estos sitios.

Para la realización de un estudio de sitio se deben de tomar en cuenta varios aspectos, entre los cuales se pueden mencionar:

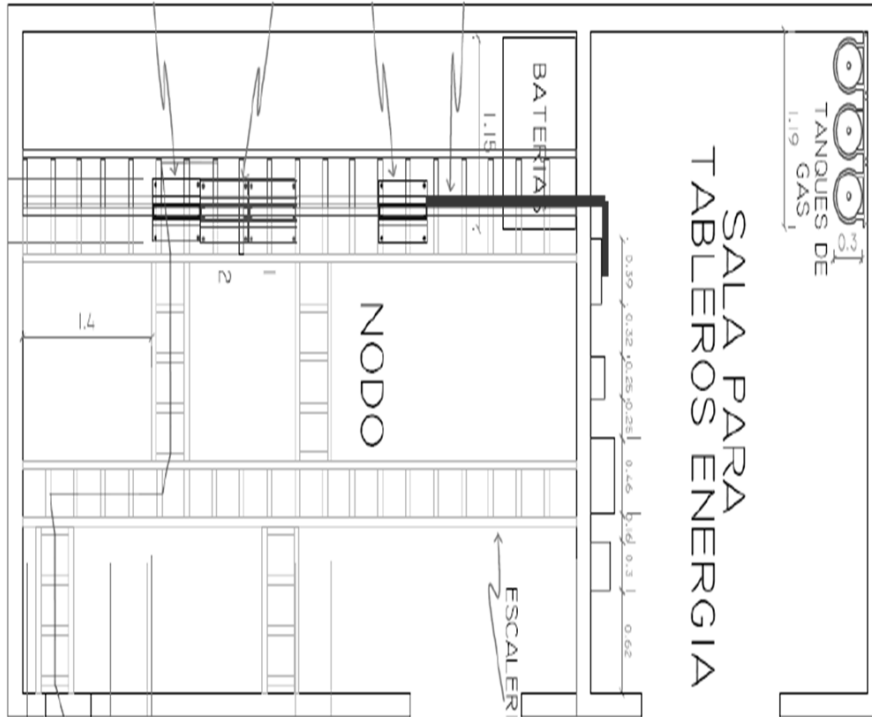
- Plano de ubicación
- Energía
- Ubicación de equipos
- Fibra óptica
- Otros

Con los datos recopilados se pueden elaborar un informe detallado con esta información para notar si existen pendientes o hay ciertas cosas deficientes las cuales se pueden compensar antes de previa instalación, y con esto tener contemplados los materiales y herramienta necesaria por sitio.

Todos estos detalles tienen que ir puesto de una forma clara para que se sepa que es todo lo que está contenido en el sitio. Mejor aun si estos llevan las medidas exactas para facilitar las distancias o rutas las cuales seguirán tanto los cables de energía como los cables ópticos.

Las figura 1 y figura 2 muestran un ejemplo de cómo debería de realizarse un *floor plan*.

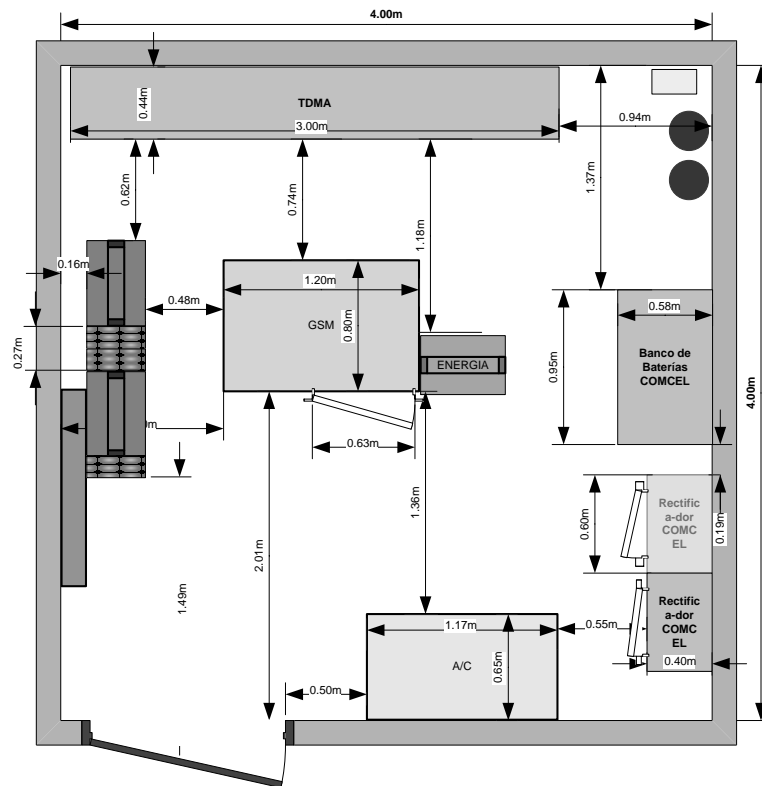
Figura 32. **Planta de caseta de sitio**



Fuente: elaboración propia.



Figura 33. Plano de ubicación con dimensiones



Fuente: elaboración propia.

Con lo que respecta a energía es la alimentación existente en los sitios esta puede ser de 4 diferentes tipos estos son:

- 110V – 220V AC
- 24v DC
- -48v DC
- Banco de baterías

La energía -48 V DC es la más comúnmente utilizada para la energización de los sitios en los cuales están instalados todos los equipos de transmisión a utilizar. Esta alimentara a todos los elementos que conforman los sistemas de fuerza de corriente directa (DC).

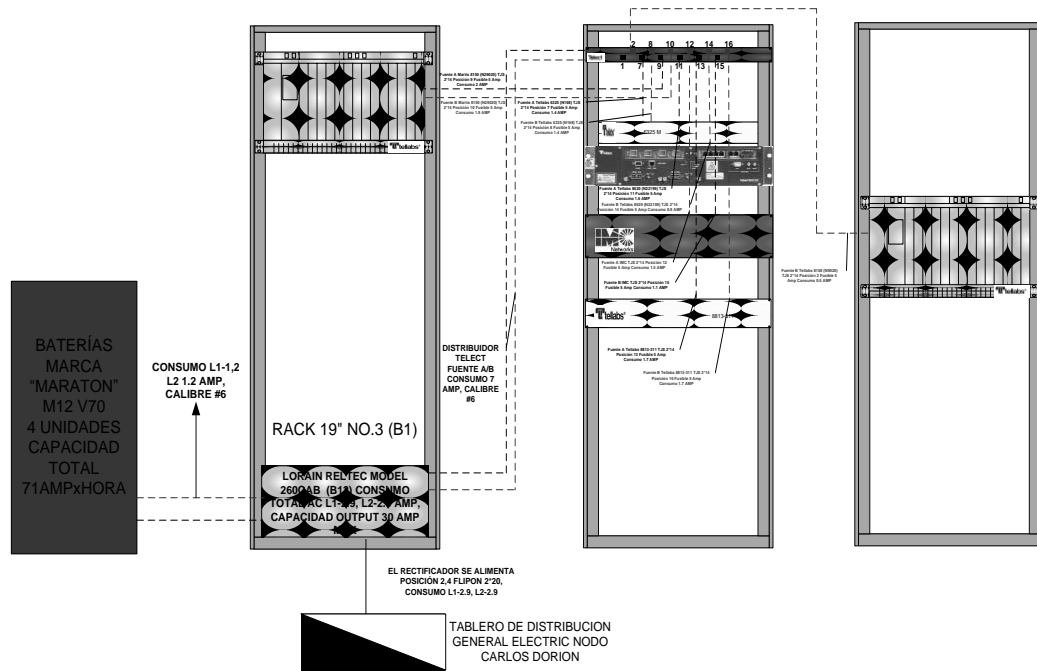
Estos varían dependiendo de su aplicación, lo cual con lleva a el uso de rectificadores, convertidores y distribuidores de energía los cuales tienen que estar bien identificados para saber su capacidad, su carga conectada y espacios disponibles.

Existen ciertos factores que se deben de tomar en cuenta como lo son los calibres de cables utilizados además de los colores ya que estos son útiles a la hora de identificar que pasa por ellos. Los datos que se necesitan recopilar son posiciones disponibles, marcas del distribuidor o rectificador, capacidad del rectificador o distribuidor, tipos de Flipones o breakers.

Con estos datos se realiza el análisis en el cual se determina si el distribuidor cuenta todavía con capacidad de alimentar los equipos nuevos a instalar y se determina el espacio en el cual se alimentará. Para la instalación se contarán con dos fuentes, que energizaran a los equipos, una fuente principal y una fuente secundaria, ambas entregadas por un distribuidor diferente,

Hay que observar la ruta que se va a utilizar para pasar los cables de alimentación, generalmente se utiliza una escalerilla dedicada para alimentación, se ubica y se mide la distancia entre el rectificador y el equipo.

Figura 34. Diagrama de DC de un sitio



Fuente: elaboración propia.

Los cables comúnmente utilizados con lo que se refiere a la energía de los equipos son el THNN y el TSJ, y el calibre de estos va a depender del consumo el cual tenga los equipos este puede variar desde calibre 2 hasta calibre 12 o 14.

Otro aspecto muy importante que se debe de tomar en cuenta dado que las fallas de energía comercial son muy comunes en nuestros sistemas de distribución de energía, son los equipos de respaldo garanticen la continuidad del servicio.

Los factores que se deben de visualizar en la visita con respecto a la fibra óptica son:

➤ Ruta de la fibra

Esto sirve para determinar el camino y la distancia que la fibra tendrá que tomar desde el equipo hasta el ODF u otro equipo a conectar.

También sirve determinar si esta se va por escalerilla elevada, escalerilla subterránea o por canaleta. Además de determinar cómo se va a proteger esta puede ser con canaleta o con tubo corrugado.

➤ Tipo de conector

Es necesario revisar el tipo de conector que se tiene en los optical Distribution Fap (ODF) o distribuidores ópticos.

➤ Posición a conectar

Cada ODF se encuentra señalado dependiendo del fabricante pueden existir ODF desde 4 puertos hasta de 96 puertos por eso se hace indispensable en un estudio de sitio determinar las posiciones a conectar, esto se puede realizar haciendo una pequeña tabla con los siguientes datos:

Marca de ODF	Posiciones	Origen	Destino
--------------	------------	--------	---------

➤ Longitud de la fibra

Es imprescindible medir la longitud que va a existir entre la interconexión de los equipos esto para determina el largo de la fibra que se va a utilizar, ya que los patchcords existentes de fibra en el mercado son de 1 mt, 3 mt, 5 mt, 10 mt y 15 mt de longitud.

A la hora de realizar un estudio de sitio hay ciertos aspectos que pueden pasar desapercibidos, sin embargo estos pueden ser vitales a la hora de

realizar una instalación nueva en estos sitios. Aspectos tan sencillos como lo son la forma de ingreso al sitio, la iluminación puede no tomarse en cuenta a la hora de realizar este trabajo pero puede influir a la hora de la implementación. A continuación se dan ciertos factores que deben de tomarse en cuenta:

➤ Tipos de piso

Se debe de indicar el tipo de piso el cual cuenta el cuarto en donde se instalarán los equipos, esto para ser contemplado al momento en que se decida instalar un nuevo rack en este sitio, además para definir los materiales y herramientas a utilizar cuando se realice el montaje mecánico de los equipos.

Existen dos tipos de pisos utilizados para cuartos de equipos, el concreto y el piso falso o antiestático, comúnmente es utilizado el que está hecho a base de concreto sin embargo el piso falso es necesario cuando en dichas instalaciones no se encuentran instaladas escalerillas en la parte superior y esta se encuentra por la parte debajo de los pisos.

Figura 35. **Piso antiestático**



Fuente: Catálogo panduit.

➤ Escalerillas

Estas pueden variar dependiendo de la aplicación ya que pueden ser para energía o para cables de datos, existen de diferentes tipos de los cuales se mencionan algunos:

- *Powertray*: esta escalerilla es para uso liviano que otorga una gran flexibilidad y versatilidad en sitio, esta se distingue porque está hecha con alambres galvanizados.

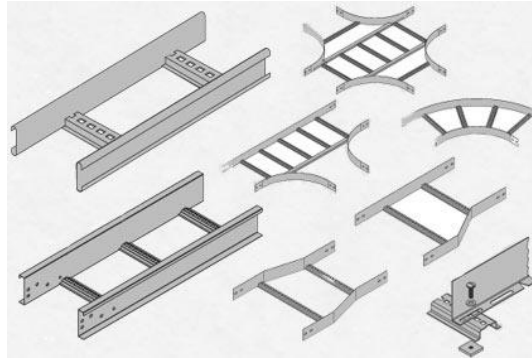
Figura 36. **Escalerilla *Powertray***



Fuente: Catálogo panduit

- *Rack* de cables: esta puede ser sólida o tubular y permite una forma más fácil de transportar los cables de energía o de otro tipo ya que estas se prestan para soportar más carga en lo que se refiere a peso.

Figura 37. **Tipos de escalerillas de cables**



Fuente: Catálogo panduit.

Las alturas a la cual se deben de instalar varían pero la distancia mínima que esta se coloca es aproximadamente de 2,20 mt esto porque la altura de los racks es aproximadamente de 2 mt a 2,20 mt, es aconsejable que la escalerilla instalada sea aterrizada conjunto al anillo de tierras existente del sitio. Generalmente los racks se sujetan a las escalerillas del tipo solido o tubular esto para que tengan unos soportes superiores y no queden anclados únicamente por la base.

#### **4.2.1.2. Instalación física**

En esta parte se deben de tomar en cuenta muchos estándares de instalación para no caer en instalaciones deficientes que a un corto plazo pueden causar fallas o pérdidas innecesarias que pueden repercutir en todo el proyecto. Para esto hay que apegarse a las normas de instalación del cliente

Con los datos obtenidos en el estudio de sitio se puede tener una idea de los materiales y los requerimientos del sitio para la instalación del equipo. En esta parte de la implementación del proyecto se debe de poner mucho énfasis en los siguientes aspectos:

- Montaje de equipo en el rack
- Aterrizaje de equipo y conexiones de energía
- Instalación de módulos o tarjetas para cada equipo
- Tendido y conexiones de fibra óptica
- Etiquetados e identificación

Con respecto al montaje de los equipos se debe de procurar dejar todos los tornillos del equipo anclados al rack, introduciendo los tipos de tornillos específicos del rack.

El aterrizaje del equipo es de suma importancia ya que con una buena puesta a tierra se asegura que el equipo va a estar protegido de las descargas atmosféricas, es de suma importancia que el cable que vaya a aterrizar el equipo no tenga curvaturas mayores de 90 grados.

Con respecto a la energización de los equipos se debe de tener en consideración primordialmente el consumo de los equipos para poder determinar el tipo de cable el cual se va a utilizar además con los datos del estudio de sitio se puede ubicar la posición en la cual estos van a obtener su energía.

Con el tendido de fibras se debe de tener precaución ya que este no puede sufrir ninguna quiebre que se aproxime a 90° grados ya que este puede causar atenuación o fractura de la fibra.



Una de los últimos procesos de la instalación física se encuentra el etiquetado o identificación ya que esta tiene que quedar bien explícita porque que es la que identifica el origen y destino tanto los cables como las fibras que se encuentran en el equipo.

Los datos de la etiqueta al menos debe de contener esta información y detallada de la siguiente manera

**ORIGEN** Rack "ID"

**Que se está conectando**

***Posición e interface***

**DESTINO** Rack "ID"

**Que se está conectando**

***Posición e interface***

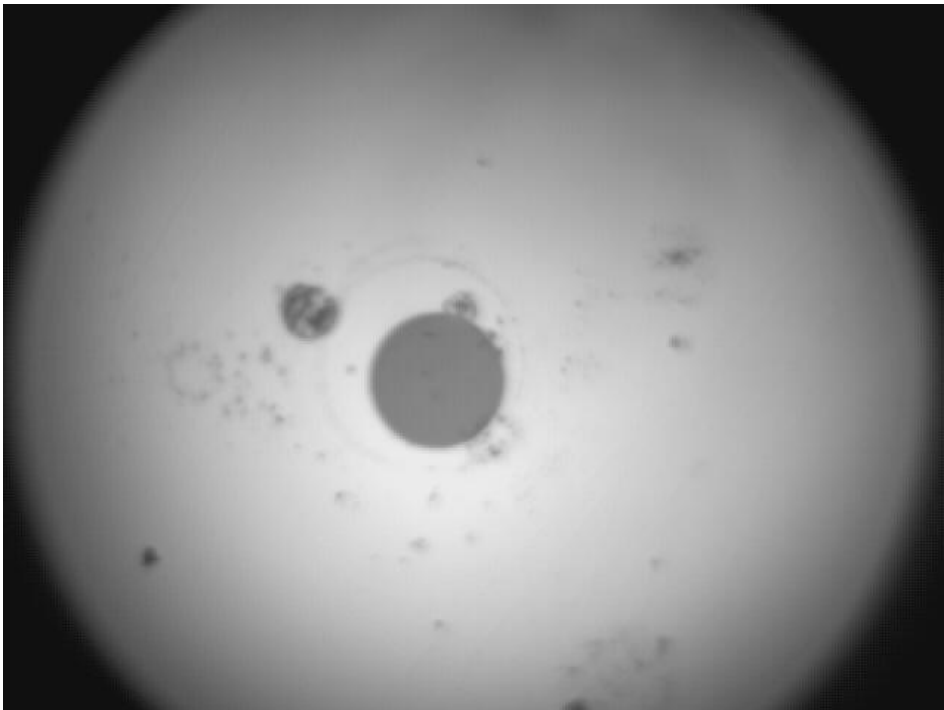
Tomando en cuenta estos aspectos en las instalaciones se puede asegurar el objetivo de satisfacer las necesidades del cliente entregando toda instalación de equipos de una manera limpia, ordenada, y en un óptimo funcionamiento.

#### **4.2.1.3. Conexión de fibras**

Cuando se implementan redes DWDM se debe de manipular con cuidado las fibras ya que tanto los puertos como los conectores pueden verse afectados con la suciedad.

En la figura que se muestra proviene de un microscopio para FO a través de la cual se puede observar la suciedad en la fibra.

Figura 38. **Núcleo de una fibra sucia**



Fuente: fotografía de microscopio de fibras.

Esta suciedad que se observa genera pérdidas y degradaciones innecesarias en el sistema. Para evitar estos problemas cuando se conecte una fibra se debe de realizar un procedimiento de limpieza tanto de la fibra como del puerto al cual se va a conectar.

#### 4.2.1.4. Limpieza de conectores y puertos ópticos

Para asegurar lecturas reales y unas pérdidas de inserción mínimas, es importante que los extremos de las fibras y los puertos ópticos estén siempre adecuadamente libres de suciedad e impurezas. Una limpieza adecuada evita asimismo la entrada de polvo, y otro tipo de partículas, especialmente en las férulas de los conectores.

Antes de iniciar el proceso de limpieza, se debe contar con los siguientes elementos, como equipo para la limpieza:

- Alcohol isopropílico
- Paños de limpieza blandos (Tipo Kimwipes)
- Bastoncillos de algodón
- Aire comprimido
- Microscopio óptico de 400 aumentos, por ej. Tipo EXFO FIP-400, o similar, para comprobar el grado de limpieza y detectar la presencia de arañazos.

A continuación se describen los pasos a seguir para conseguir el mejor grado posible de limpieza en los conectores según el manual de limpieza de puertos *Fluke* el cual comenta lo siguiente: Al insertar la férula de un conector en un adaptador, cuide de que su extremo no roce el exterior del elemento (adaptador o acoplador); si así fuera, el extremo de la fibra podría rozar una superficie de mayor dureza, produciéndose depósitos de suciedad o virutas sobre su superficie.

Compruebe también que el anillo interior cerámico, o de metal, esté firmemente apretado. Gire con cuidado la férula, si fuera preciso, en el interior del adaptador hasta alinearla con la guía del adaptador, sin forzarla jamás.

La operación de limpieza deberá efectuarse siempre que tenga lugar una desconexión, reconexión o manipulación del conector de cualquier tipo, y con ello se asegurará la fiabilidad de los latiguillos, y como consecuencia de las medidas con ellos realizadas. Evidentemente, esto no reemplaza la adecuada y cuidadosa manipulación de los latiguillos. La utilización de los capuchones de protección es asimismo necesaria, pero no garantiza su limpieza y calidad.

Figura 39. **Limpieza de conector de FO**



Fuente: Manual de mantenimiento comunicaciones.

Para la limpieza de los puertos se debe de utilizar los dispositivos de limpieza adecuados a cada uno de los tipos de conectores existentes. Los bastoncillos de limpieza suministrados por empresas que se dedican a la fabricación de equipos de limpieza en el mercado resultan muy apropiados para efectuar esta operación de limpieza sin que sea preciso desmontar el equipo.

Pasos a seguir para limpiar el puerto:

- A. Retire el capuchón protector
- B. Si el detector estuviera sucio, sople con aire seco y limpio.
- C. Retire con cuidado un bastoncillo de algodón del paquete, sin tocar tejido de limpieza.
- D. Humedézcalo con alcohol isopropílico.
- E. Introduzca con cuidado el bastoncillo en el puerto hasta alcanzar la ventana de protección (puede ser preciso el girarlo con cuidado en el sentido de las agujas del reloj).
- F. Aplicando una presión moderada, gire el bastoncillo hasta dar una giro completo, cuidando de no dañar el sensor.
- G. Retire el bastoncillo con sumo cuidado.

Figura 40. **Limpieza de un puerto FC**



Fuente: Manual de mantenimiento comunicaciones.

#### **4.2.2. Gestión de los equipos**

La gestión de red es una funcionalidad clave para los operadores de redes de telecomunicaciones tanto fijas como móviles, pudiendo llegar a convertirse en un factor decisivo para establecer una diferencia competitiva con respecto a otros operadores.

Por medio de la gestión se puede proporcionar comunicación para diferentes aplicaciones como los son la administración de la red y el mantenimiento de dicha. Esto se refiere a que debe de ser un sistema escalable. Cuando una red es muy grande el monitoreo de una forma integral es vital.

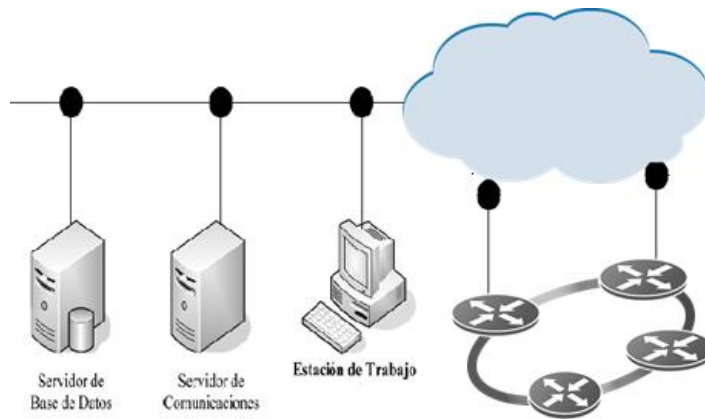
Los componentes que forman esta arquitectura física son los siguientes:

- sistema operativo (OS)
- redes de comunicaciones de datos (DCN)
- estaciones de trabajo (WS)
- elementos de red (NE)

La ITU–T, ha definido la red de gestión de las telecomunicaciones (TMN). Estas recomendaciones definen cinco áreas funcionales para la gestión de red, las de supervisión y fallos, configuración, tarificación, prestaciones y seguridad. Las funciones principales de la administración consisten en seguir las tareas de control operacional y en elaborar informes periódicos para su posterior análisis.

Por ello se ocupa de tareas como la evaluación de la calidad de servicio, la evaluación de tráfico, el mantenimiento de registro histórico de problemas, el mantenimiento de inventario, el mantenimiento de configuraciones, la contabilidad de red y de control de acceso. El objetivo del análisis es garantizar la calidad de servicio.

Figura 41. **Arquitectura de un sistema de gestión**



Fuente: elaboración propia.

Los sistemas de gestión están diseñados para soportar las capas bajas, llamada capa de gestión de elementos Element Management Layer (EML) y la capa de gestión de red Network Management Layer (NML). La EML gestiona los elementos de red independientemente, mientras que la NML es responsable de la gestión de la conectividad entre los diferentes elementos de red.

En este caso se supone que la red ya se encuentra gestionada y lo que se pretende agregar a la gestión los nuevos equipos que formaran parte de la nueva red DWDM.



## **5. PRUEBAS A LA RED**

### **5.1. Generalidades**

Tomando en cuenta que esta es una expansión de una red SDH se debe de contemplar las pruebas para esta tecnología y además de las pruebas que requiere una red DWDM, entre las cuales se pueden mencionar las principales, la medición de potencia del canal y la medición de potencia de todos los canales multiplexados.

Se debe de realizar pruebas a cada componente en la red, ya que estos afectan el funcionamiento de toda la red.

Debido a los componentes pasivos así como a los activos que se encuentran involucrados en el desarrollo de la red es necesario saber las características de cada uno de estos para tener una visión de cómo será el comportamiento de la red. Los componentes involucrados en la red se han probado para que estos puedan salir al mercado sin embargo se ve necesario realizar una prueba en conjunto con todos estos equipos interactuando juntos.

En este capítulo se hablará de las pruebas que se ven involucradas para el funcionamiento óptimo de la red que se construyó.

La red entera se encuentra dividida en múltiples elementos y cada elemento posee características que necesitan ser evaluadas por separado, al finalizar de evaluar cada elemento por separado el paso final es realizar una

prueba de funcionamiento a nivel de red. Usualmente esto se hace realizando una prueba de taza bit errado BER.

Varios estándares internacionales se ven involucrados en los requerimientos de pruebas de red. La ITU define la mayoría de estos estándares, en estas pruebas se ven involucradas entidades como lo son EIA Electronic Industries Association. Entre los estándares de la ITU se pueden mencionar el G692, también se pueden agregar los estándares de la EIA que se utilizan para la caracterización de la fibra específicamente para el método de medición del PMD

## **5.2. Parámetros importantes de las pruebas**

Los parámetros que influyen el comportamiento de la red se encuentran definidos mediante la norma de la ITU-T G692, esta recomendación puede ser usada como una buena referencias para evaluar redes de múltiples longitudes de onda.

En forma resumida la siguiente tabla explica todos los parámetros que toma en consideración esta norma.

Tabla VII. Norma ITU T G692

Transmisor	Multiplexor	Amplificador	Trayecto óptico	Demultiplexor	Receptor
Características espectrales	Cross Talk en el lado de transmisión	Variación de ganancia multicanal	Atenuación	Potencia de entrada media del canal	Sensibilidad del receptor
Potencia inyectada promedio	Potencia de salida por canal	Desviación de ganancia multicanal	Reflectancia discreta máxima	Potencia total de entrada media.	Sobrecarga del receptor
Frecuencia central	Potencia inyectada total máxima	Potencia máxima recibida total	Pérdida mínima de retorno	Diafonía óptica (Cross talk)	Penalización del trayecto óptico
Separación de canales	OSNR	OSNR/ NF	Dispersión	OSNR	OSNR
Relación de extinción		Diferencia de ganancia			$\lambda$ mínima del receptor

Fuente: [www.itu.int](http://www.itu.int). 5/02/2011

Entre los parámetros importantes para las pruebas de la red las se pueden separar por segmentos.

### 5.2.1. Transmisor

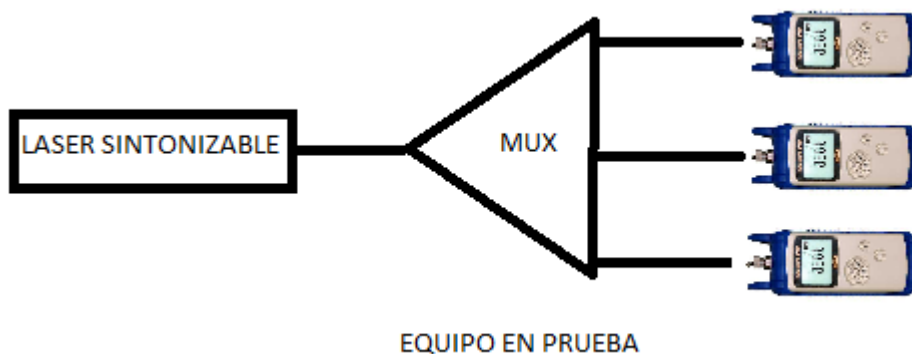
Las pruebas que se le realizan en la transmisión es para verificar que los niveles de potencia sean los recomendados por el fabricante esto se debe de realizar con un aparato medidor de potencia (*power meter*).

## 5.2.2. MUX-DEMUX

En estas redes estos dispositivos desempeñan un trabajo muy importante y además de saber que estos agregan una atenuación a los equipos es necesario realizar pruebas en estos dispositivos para asegurar su funcionamiento óptimo. Para esto se debe de realizar pruebas de potencia de salida de cada canal óptico así como la del canal multiplexado. Para estas pruebas es de suma utilidad un laser sintonizable (tunable laser) con el cual se puede inyectar una señal y variar su longitud de onda para realizar las pruebas por canal.

En la siguiente figura se describe en forma gráfica como realizar esta prueba:

Figura 42. **Medición del MUX DWDM**



Fuente: elaboración propia.

### **5.2.3. Amplificador**

Si en la red construida existiese algún amplificador o preamplificador este debe de ser probado antes de conectarse al receptor ya que este puede dañar el dispositivo si este entrega una señal mayor a la soportada por el receptor.

Se debe de monitorear la ganancia de este así como la potencia recibida para que pueda trabajar de manera óptima

### **5.3. Pruebas locales**

Para asegurarse del funcionamiento óptimo de los equipos dentro de la red es necesario realizar pruebas específicas a cada uno de los equipos. Estas pruebas se le realizan directamente al hardware del equipo

Esta fase se lleva a cabo justo después del comisionamiento de los equipos instalados, es el último paso de la implementación por lo tanto es la fase previa a la entrada en producción de la red.

Como comisionamiento se definen como las configuraciones que se realizan durante el proceso de arranque inicial de los equipos para garantizar que los sistemas que conforman la red puedan interactuar entre sí de acuerdo con la planeación y diseño de la red.

Entre las pruebas locales se pueden destacar las siguientes:

### **5.3.1. Correcta conexión de energía**

Es necesario la revisión y medición de la correcta conexión de energía y revisar el consumo en amperios del equipo a la hora de la puesta en marcha de este.

### **5.3.2. Correcta puesta a tierra del equipo**

Esta es una prueba esencial ya que con una buena puesta a tierra de los equipos garantiza que el equipo va a estar protegido de una descarga eléctrica de cualquier tipo.

### **5.3.3. Pruebas de fuente principal y secundaria**

Esta prueba consiste en la verificación de que el equipo pueda seguir funcionando de forma normal con una sola fuente de energía y para esto es necesario desconectar una de las dos fuentes.

## **5.4. Pruebas de red**

Para esta prueba es necesario tener todos los equipos gestionados para poder realizar un circuito de prueba en la red.

En este caso es necesario la realización de una prueba BER que es una prueba en la cual se miden la cantidad de bits errados, y esta se realiza para asegurarse que la transmisión en la red se encuentre libre de errores deslizamientos, etc.

Estas pruebas se realizan con medidores de acceso SDH. En el caso de este proyecto se utilizará un medidor marca Sunrise Telecom modelo *Sunset SDH*; el cual además de los parámetros mencionados en el párrafo anterior, tiene la capacidad de medir errores como LOS, LOF, AIS, LOP, CBIT, errores de código, etc.

Las pruebas se realizarán por un lapso de 24 horas continuas. De encontrarse errores no aceptables, se deberá encontrar la fuente del problema, corregirse y reanudar las pruebas nuevamente hasta que las mismas arrojen resultados aceptables.

En el caso de que se habiliten más lambdas con otro tipo de tecnología se deben de realizar otro tipo de pruebas, y contando con los equipos de medición adecuados a dicha tecnología.

#### **5.4.1. Prueba de BER**

Los datos que se muestran a continuación es la forma en la que se debe de configurar la prueba de *BER* de toda la red, en la cual se debe de asignar una carga de un VC4\_16 esto es igual a 2.5 G, además se asignan datos como lo es la sincronía de la prueba.

TEST CONFIGURATION=====

START	03/03/2011 20:11		
STOP	05/03/2011 20:40		
T.MODE:	SINGLE		
T.INTF:	2.5G O	T.PAYL:	VC4_16C
TxCLK :	LOOP		

```

TxSRC :      TESTPAT

ET:          072:29:13          RT:          CONTINU
INTF:        STM-16            PAY:         VC4_16C
TX:          2.00E+23          RX:          LIVE

```

Los resultados de esta prueba se presentan de la siguiente manera:

ERRORS[2.5G O]=====

```

FASE :                0          RATE:          0.00E+00
B1  :                0          RATE:          0.00E+00
B2  :                0          RATE:          0.00E+00
B3  :                0          RATE:          0.00E+00
MS-REI:              0          RATE:          0.00E+00
HP-REI:              0          RATE:          0.00E+00

```

OPTICAL POWER[2.5G O]=====

```

OPTICAL POWER :                -2.9 dBm

```

G.829 (RS NEAR END): B1=====

```

BE :                0
BBE :              0          %BBE :          0
ES :                0          %ES :          0
SES :              0          %SES :          0
AS :                260953      %AS :          100
UAS :              0          %UAS :          0

```

Con estos resultados se puede concluir que la prueba tuvo una duración de 48 hrs en las cuales se encontró libres de errores.



Los parámetros más importantes a observar en esta prueba es la ausencia de LOS (loss of signal) que es una pérdida de señal, que no existan BE (Bits Errados), ES (Segundos con errores), SES (Segundos con muchos Errores).

Todos estos parámetros son los que se encuentran contenidos en la recomendación de la ITU T G821, es el que se utiliza para testear los enlaces digitales. Además de esta también se toman otras recomendaciones como lo es la ITU T G826 que es la misma que la G821 solo que aplicable para enlaces de gran capacidad.

ITUT G829 esta prueba se refiere a los eventos de error para las secciones de regeneración y de multiplexación de la trama SDH.

Habiendo analizado la prueba y dando la aceptación de dicha red esta se encuentra lista para su puesta en producción.



## CONCLUSIONES

1. La tecnología de transmisión de multiplexación por división de longitud de onda (WDM), ha conseguido un incremento sustancial en la capacidad de transmisión, tanto para redes de larga distancia, basadas principalmente en la optimización del uso de la fibra óptica.
2. Desde la perspectiva técnica y económica, la posibilidad de suministrar potencialmente una capacidad de transmisión alta es la ventaja más obvia de la tecnología DWDM. La actual inversión en fibra no sólo puede ser preservada sino también optimizada. A medida que la demanda cambia, se puede añadir más capacidad, con el sólo hecho de ir aumentando el número de longitudes de onda de la fibra sin costos adicionales. Por esta razón se dejan 7 longitudes de onda para crecimiento futuro en la red.
3. Mediante la técnica DWDM se puede transmitir cualquier tipo de servicio en cada longitud de onda, dado que es un sistema agnóstico, debido a que el transporte es capa 0. por ello una de las ventajas más importantes de ésta tecnología es la transparencia.
4. El desarrollo de los sistemas de transmisión DWDM, trae consigo una verdadera revolución en el campo de la fibra óptica ya que continuamente se está buscando mejorar el desempeño de la fibra librándola de los efectos no lineales que afectan a los sistemas de transmisión ópticos con altas velocidades y con densas multiplexaciones de longitudes de onda.

5. En la implementación de una red DWDM es de suma importancia trabajar con cuidado la manipulación de FO además de tener la limpieza debida de los conectores como de los puertos.

## RECOMENDACIONES

1. Continuar investigando las nuevas técnicas de multiplexión que complementen a DWDM.
2. Continuar investigando los dispositivos que se emplean en DWDM para el mejoramiento de esta tecnología
3. Continuar buscando áreas de oportunidad para la utilización de redes DWDM..
4. Tomar en cuenta que los equipos DWDM pueden utilizar la infraestructura de fibra óptica actual implementada
5. Los valores de potencia de los agregados ópticos de una red DWDM deben de trabajarse en valores que no estén operando cerca al umbral del receptor.
6. Verificar que el equipo DWDM que se desee implementar cumpla con las recomendaciones ITU-T.
7. Siempre que sea posible, se deben de generar diseños de red que permitan el crecimiento de manera relativamente fácil.
8. El diseño de ingeniería en un proyecto de este tipo, debe considerar también los factores económicos y sociales que giran a su alrededor.



## BIBLIOGRAFÍA

1. ARES, Roberto. Manual de las Infotelecomunicaciones. Argentina: s.e. 2000.
2. BACA URBINA, Gabriel. Evaluación de Proyectos, 4ª ed. México: McGraw-Hill, 2007, 593 p.
3. *Deployment of Telecommunications Networks, International Engineering.* Consortium IEC, [ en línea], [ref. 3 diciembre 2010]. Disponible en Web : <http://www.iec.org>.
4. *Equipos de medición Ópticos*, [en línea], [ref. 23 noviembre 2010]. Disponible en Web [www.agilent.com](http://www.agilent.com).
5. *Fiber characterization certified*, [en línea] [ref. 28 enero 2011]. Disponible en Web [www.fibercharacterization.com](http://www.fibercharacterization.com) .
6. Fujitsu Network Communications, *DWDM TUTORIAL*, november 15, 2002. 54 p.
7. GREEN P.E. Jr., *Optical Networking Update*. IEEE, vol.14, numero 5, junio 1996, p 764 -768.

8. GUMASTE, Ashwin. *Introduction to DWDM for Metropolitan Networks*. 2<sup>da</sup> ed. Estados Unidos : Cisco Press. 2002. 346 p. ISBN 1-58705-074-9.
9. IRENE. S. *et al. The Transport Layer: Tutorial and Survey*. ACM Computing Surveys. Estados Unidos: 1999.
10. *Normas ITUT* [en línea] [ref. 5 febrero 2011]. Disponible en Web <http://www.itu.int>.
11. *Optical Transpor System* [en línea] [ref. 14 octubre 2010]. Disponible en Web: [www.portal.tellabs.com/](http://www.portal.tellabs.com/).
12. PALAIS, J. *Optical Fiber Communications*. Estados Unidos: Prentice-Hall, 1992. 112 p.
13. Recomendaciones del Sector de Telecomunicaciones de la UIT. *Informes de Conferencias de Desarrollo y Conferencias Plenipotenciarias de la UIT*. Unión Internacional de Telecomunicaciones. Ginebra, Suiza: UIT, 2003. 452 p.
14. RONGGING Hui; O'SULIVAN Maurice, *Fiber Optic Measurement Techniques* . Estados Unidos: Prentice- Hall. 2009.
15. SHAOWEN SONG, Wilfrid Laurie. *An Overview of DWDM Networks*. IEEE communication society. vol 14 IEEE Noviembre 2000.
16. STERLING, Donald. *Technician's Guide To FIBER OPTICS*. 2a. ed. Estados Unidos: Delmar Publishers, 1993. 125 p.
17. Tellabs. *Tellabs 6325 Switch Node Manuals Training Course Rev. 2004*.



18. WARREN. E. *When WDM makes sense in the access network: an Economic Analysis, JDS Uniphase White Paper*. Estados Unidos: agosto, 1999.
  
19. VIVEK, Alwayn. *Optical Network Design and Implementation*. 3a ed. Estados Unidos: CISCO PRESS, 2004. 840 p. ISBN:1-58705-105-2.