



UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA

**“Trabajo de grado previo a la obtención del Título de Ingeniero en
Electrónica y Telecomunicaciones”**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

**ANÁLISIS, FUNCIONAMIENTO Y APLICACIÓN DE LA TECNOLOGÍA
DWDM (MULTIPLEXACIÓN DENSA POR DIVISIÓN EN LONGITUDES
DE ONDA) PARA REDES DE FIBRA ÓPTICA**

Autor: ANGÉLICA MARÍA CUJANO PUCHA

Director: Ing. MARCO NOLIVOS

RIOBAMBA – ECUADOR

2012

Los miembros del Tribunal de Graduación del proyecto de investigación de título:
ANÁLISIS, FUNCIONAMIENTO Y APLICACIÓN DE LA TECNOLOGÍA
DWDM (MULTIPLEXACIÓN Densa POR DIVISIÓN EN LONGITUDES DE
ONDA) PARA REDES DE FIBRA ÓPTICA

Presentado por: Angélica María Cujano Pucha

Una vez escuchada la defensa oral y revisado el informe final del proyecto de investigación con fines de graduación escrito en la cual se ha constatado el cumplimiento de las observaciones realizadas, remite la presente para uso y custodia en la biblioteca de la Facultad de Ingeniería de la UNACH.

Para constancia de lo expuesto firman:

ING. EDMUNDO CABEZAS
PRESIDENTE DEL TRIBUNAL

FIRMA

ING. MARCO NOLIVOS
DIRECTOR DEL TRIBUNAL

FIRMA

ING. ANÍBAL LLANGA
MIEMBRO DEL TRIBUNAL

FIRMA

AUTORÍA DE LA INVESTIGACIÓN

“La responsabilidad del contenido de este Proyecto de Graduación, nos corresponde exclusivamente a: Angélica María Cujano Pucha e Ing. Marco Nolivos; y el patrimonio intelectual de la misma a la Universidad Nacional de Chimborazo”.

DEDICATORIA

El presente trabajo está dedicado en primera instancia a Dios por brindarme la vida para cumplir esta meta anhelada.

A mis padres: José Raúl Cujano Silva y María Custodia Pucha Estrella por brindarme su apoyo incondicional en todo momento de mi vida estudiantil y ser la fuente impulsadora para seguir adelante.

A mi hija Shanik Samantha por ser el motor principal que impulsa el desarrollo de mi vida tanto personal como profesional.

A mis hermanos: José Vicente, Nelson German, Esthela del Rocío, Roberto Carlos, Byron David por su ejemplo y su apoyo durante el transcurso de mi vida estudiantil.

AGRADECIMIENTO

Mi eterno agradecimiento a la Universidad Nacional de Chimborazo, Facultad de Ingeniería especialmente a la Escuela de Ingeniería Electrónica y Telecomunicaciones por abrirme sus puertas para mi formación profesional en la Carrera de Electrónica y Telecomunicaciones.

Al Ing. Marco Nolivos, Ing. Jairo Suntaxi por ser entes de sabiduría y apoyarme en el desarrollo de esta investigación.

A todos ellos mi eterno agradecimiento.

ÍNDICE

CAPITULO I	3
1 MARCO REFERENCIAL	3
1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	3
1.2 OBJETIVOS.....	4
1.2.1 OBJETIVO GENERAL.....	4
1.2.2 GENERAL ESPECÍFICO	4
1.3 JUSTIFICACIÓN.....	5
CAPITULO II	6
2 FUNDAMENTOS TEÓRICOS DEL PROYECTO	6
2.1 ANTECEDENTES.....	6
2.2 LA FIBRA ÓPTICA.....	7
2.2.1 EVOLUCIÓN DE LA TRANSMISIÓN POR FIBRA ÓPTICA.....	7
2.2.2 CONCEPTO DE LA FIBRA ÓPTICA.....	9
2.2.3 COMPONENTES DE LA FIBRA.....	10
2.2.4 DIÁMETROS USUALES DE LA FIBRA ÓPTICA.....	11
2.2.5 PARÁMETROS CARACTERÍSTICOS DE LAS FIBRAS ÓPTICAS.....	13
2.2.6 PÉRDIDAS EN LA FIBRA ÓPTICA	17
2.2.7 COMUNICACIONES POR FIBRA ÓPTICA	20
2.2.8 TIPOS DE FIBRA ÓPTICA.....	22
2.2.9 VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE LA FIBRA ÓPTICA	26
2.3 TECNOLOGÍA WDM.....	28
2.3.1 CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS.....	30
2.3.2 COMPONENTES CARACTERÍSTICOS DE UN SISTEMA WDM	32
2.3.3 UTILIZACIÓN.	35
2.3.4 CARACTERÍSTICAS GENERALES DE LA WDM.....	36
2.4 TECNOLOGÍA DWDM.....	39
2.4.1 INTRODUCCIÓN.....	39
2.4.2 DESARROLLO DE LA TECNOLOGÍA DWDM.....	40
2.4.3 DEFINICIÓN.....	41
2.4.4 SISTEMA DWDM	45
2.4.5 CARACTERÍSTICAS.....	46
2.4.6 FUNCIONAMIENTO DE SISTEMAS DWDM.	47

2.4.7	PRINCIPIOS DE LA TRANSMISIÓN ÓPTICA	48
2.4.8	SISTEMA DE TRANSMISIÓN TECNOLOGÍA DWDM.....	49
2.4.9	FUENTES Y AMPLIFICADORES	52
2.4.10	COMPONENTES DWDM.....	56
2.4.11	ARQUITECTURA DE LAS REDES ÓPTICAS	58
2.4.12	TOPOLOGÍAS Y ESQUEMAS DE PROTECCIÓN PARA DWDM.	60
2.4.13	RUTEO DE LONGITUD DE ONDA EN REDES ÓPTICAS	65
2.4.14	ROUTERS DE LONGITUD DE ONDA:.....	65
2.4.15	REDES ÓPTICAS CON CONVERSIÓN DE LONGITUD DE ONDA.....	66
2.4.16	IMPLEMENTACIÓN DE LOS SERVICIOS EXISTENTES SOBRE DWDM	68
2.4.17	UNA NUEVA VISIÓN PARA SONET/SDH	68
2.4.18	GESTIÓN DE LA RED ÓPTICA.....	70
2.4.19	LIMITACIONES DE LAS REDES ÓPTICAS.....	71
2.4.20	VENTAJAS DE DWDM	72
2.4.21	FUTURO DE LAS REDES DWDM	72
2.5	TECNOLOGÍAS DWDM	74
2.5.1	OTN (REDES ÓPTICAS DE TRANSPORTE).....	74
2.5.2	ASON	87
CAPITULO III		102
3	COMPARACIÓN CON OTRAS TECNOLOGÍAS	102
3.1	CWDM (Coarse Wavelength Division Multiplexing)	102
3.1.1	APLICACIONES.....	104
3.1.2	CARACTERÍSTICAS DE CWDM	106
3.1.3	BENEFICIOS DE CWDM	109
3.1.4	CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS.....	110
3.1.5	TOPOLOGÍAS	111
3.1.6	VENTAJAS.....	111
3.1.7	DIFERENCIAS ENTRE TECNOLOGÍAS.....	112
CAPITULO IV		114
4	APLICACIÓN.....	114
4.1	INTRODUCCIÓN.....	114
4.2	DIAGRAMA GENERAL DE LA UBICACIÓN DE LA FIBRA ÓPTICA EN EL TERRITORIO ECUATORIANO.....	116
4.3	FIBRA ÓPTICA INSTALADA SUBTERRANEA Y CANALIZADA	118

4.4	PROYECCIÓN DE TRÁFICO	118
4.5	CRECIMIENTO DE CLIENTES DE INTERNET	121
4.6	PROYECCIÓN DE TRÁFICO	122
4.7	FACTORES A CONSIDERAR EN EL DISEÑO DE UNA RED DWDM	123
4.7.1	DISTANCIA Y ATENUACIÓN.....	123
4.8	ESPECIFICACIONES TÉCNICAS PARA UN SISTEMA DWDM.....	125
4.9	REQUERIMIENTOS GENERALES PARA EL SISTEMA DWDM	129
4.10	ESPECIFICACIONES RELACIONADAS CON LA ITU-T.....	130
4.10.1	Aspectos de arquitectura.....	130
4.10.2	Estructura y Mapeamiento.....	130
4.10.3	Características Funcionales	130
4.10.4	Aspectos de Manejo	131
4.10.5	Desempeño de Error	131
4.10.6	Aspectos de la Capa Física.....	131
4.11	ARQUITECTURA DEL SISTEMA DWDM	131
4.12	SISTEMA DE PROTECCIÓN DWDM	133
4.12.1	Protección de la Red DWDM.....	133
4.12.2	Protección de Hardware DWDM.....	133
4.13	INTERFACES Y TARJETAS DWDM.....	134
4.14	FEC (CORRECCIÓN DE ERROR DIRECTA).....	136
4.15	PRESUPUESTO ÓPTICO Y AMPLIFICACIÓN ÓPTICA.....	136
4.16	AMPLIFICADORES ÓPTICOS.....	136
4.17	COMPENSACIÓN DE DISPERSIÓN CROMÁTICA	137
4.18	SISTEMA DE MANEJO DE LA RED DWDM.....	138
4.18.1	Características Generales del Sistema NMS	138
4.18.2	Licencia.....	138
4.18.3	Manejo de las Capas.....	139
4.18.4	Referencias y Estándares	139
4.18.5	Recomendaciones Ópticas de Manejo de la Red.....	140
4.18.6	Manejo de Interfaces.....	140
4.18.7	Interfaz Gráfica para el Usuario	141
4.18.8	Funciones Gráficas del Usuario	141
4.18.9	Configuraciones de Protección.....	142
4.18.10	Manejo de Cross conexiones	142

4.18.11	<i>Localización de Alarmas</i>	143
4.18.12	<i>Colores de las Alarmas</i>	143
4.18.13	<i>Despliegue de las Alarmas</i>	143
4.18.14	<i>Manejo de Seguridad</i>	144
4.18.15	<i>DCN (Canal de Comunicación de Datos)</i>	144
4.18.16	<i>SURPASS HIT 7500 3.X</i>	145
CAPITULO V	151
5	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	151
5.1	CONCLUSIONES	151
5.2	RECOMENDACIONES	152
5.3	BIBLIOGRAFÍA	154
GLOSARIO	

ÍNDICE DE FIGURAS

<i>FIGURA 1: Configuración Fibra Óptica</i>	7
<i>FIGURA 2: Regiones de las Longitudes de onda</i>	8
<i>FIGURA 3: Procesamiento óptico una señal</i>	9
<i>FIGURA 4: Componentes de la Fibra óptica</i>	10
<i>FIGURA 5: Apertura Numérica</i>	14
<i>FIGURA 6: Dispersión de una fibra óptica</i>	16
<i>FIGURA 7: Dispersión por el modo de polarización en una fibra monomodo asimétrica</i>	17
<i>FIGURA 8: Ventanas de la fibra óptica</i>	21
<i>FIGURA 9: Fibra Multimodo (Índice Gradiente Gradual)</i>	22
<i>FIGURA 10: Fibra Multimodo (Índice Escalonado)</i>	23
<i>FIGURA 11: Fibra Monomodo</i>	24
<i>FIGURA 12: Servicios de WDM</i>	28
<i>FIGURA 13: WDM</i>	29
<i>FIGURA 14: Multiplexor 16 Canales</i>	29
<i>FIGURA 15: Sistema WDM</i>	30
<i>FIGURA 16: Modelo de transporte</i>	30
<i>FIGURA 17: Tipos más usuales de Acopladores</i>	33
<i>FIGURA 18: Acoplador por Fusión de dos fibras óptica</i>	34
<i>FIGURA 19: Red de telecomunicaciones de banda ancha que utiliza distribuidores WDM de tres canales</i>	36
<i>FIGURA 20: Modelo de transporte (Banda Ancha)</i>	37
<i>FIGURA 21: Espectro de utilización de la fibra óptica con DWDM.</i>	39
<i>FIGURA 22: DWDM</i>	40
<i>FIGURA 23: Evolución de DWDM</i>	41
<i>FIGURA 24: Sistema DWDM</i>	42
<i>FIGURA 25: Rangos de espaciamiento para DWDM y CWDM</i>	43

<i>FIGURA 26: Espectro de las Bandas C y L.....</i>	44
<i>FIGURA 27: Escala de longitud de onda para DWDM</i>	45
<i>FIGURA 28: Sistema DWDM típico</i>	46
<i>FIGURA 29: Transmisión y Recepción DWDM</i>	48
<i>FIGURA 30: Sistema de transmisión DWDM</i>	49
<i>FIGURA 31: Topología aplicada a la transmisión unidireccional de 16 señales eléctricas distintas.....</i>	52
<i>FIGURA 32: Equipo encargado de la regeneración de la señal.....</i>	53
<i>FIGURA 33: Espectro de un EDFA típico.....</i>	54
<i>FIGURA 34: Utilización de componentes WDM en una línea de transmisión</i>	55
<i>FIGURA 35: Espectro de los transmisores</i>	56
<i>FIGURA 36: Introducción de la capa óptica en la parte superior de la capas SONET/SDH y de servicios.</i>	59
<i>FIGURA 37: Topología física. Una red WDM que consiste de nodos Cross connect interconectados por pares de enlaces de fibra óptica punto a punto.</i>	60
<i>Figura 38: La topología virtual de la red WDM</i>	60
<i>FIGURA 39: Topología punto-a-punto.....</i>	62
<i>FIGURA 40: Topología anillo</i>	63
<i>FIGURA 41: Arquitecturas malla, punto-a-punto y anillo</i>	64
<i>FIGURA 42: Red óptica con conversión de longitud de onda.....</i>	66
<i>FIGURA 43: Tres tipos de conmutación óptica.....</i>	67
<i>FIGURA 44: La promesa de una red óptica</i>	69
<i>FIGURA 45: Sistemas abiertos y cerrados</i>	70
<i>FIGURA 46: Gestión de la Red Óptica.....</i>	71
<i>FIGURA 47: Ventanas de trabajo de la fibra óptica</i>	75
<i>FIGURA 48: Basic transport structure of a OTN</i>	78
<i>FIGURA 49: OTN network</i>	79
<i>FIGURA 50: Network Operator XY2</i>	80
<i>FIGURA 51: OTN layer structure.....</i>	82
<i>FIGURA 52: Optical cannel structure consisting of OH bytes, client and FEC ..</i>	82

<i>FIGURA 53: Client in an Optical Channel</i>	83
<i>FIGURA 54: Overhead of OPU</i>	83
<i>FIGURA 55: Overhead structure of ODU</i>	84
<i>FIGURA 56: TCM and PM overhead structure</i>	85
<i>FIGURA 57: Evolución de las pilas de protocolos</i>	88
<i>FIGURA 58: Representación del Control distribuido</i>	91
<i>FIGURA 59: Dibujo descriptivo de los planos de las OTN</i>	92
<i>FIGURA 60: Visión de las interfaces que comunican los diferentes planos</i>	93
<i>FIGURA 61: Visión general de los bloques de las ASON</i>	94
<i>FIGURA 62: Modelo de funcionamiento de RSVP</i>	101
<i>FIGURA 63: Comparación entre DWDM y CWDM</i>	104
<i>FIGURA 64: Aplicación CWDM</i>	105
<i>FIGURA 65: Rejilla de longitudes de onda en CWDM</i>	109
<i>FIGURA 66: Demanda de Ancho de banda y el cambio Capacidad de la Fibra vs. El tiempo</i>	115
<i>FIGURA 75: Tipos de configuraciones que tiene que soportar el equipo de manejo DWDM</i>	117
<i>FIGURA 76: Diagrama Red DWDM utilizando SURPASS hiT 7500</i>	147
<i>FIGURA 77: Protección OCP</i>	149
<i>FIGURA 78: Ventana Principal de TNMS</i>	150

ÍNDICE DE TABLAS

<i>TABLA 1: Diámetros comunes de una fibra óptica y de su protección en (μm)</i>	11
<i>TABLA 2: Comparación entre tecnologías</i>	113

RESUMEN

Uno de los progresos más recientes en el campo de las transmisiones ópticas ha sido los sistemas de transmisión basados en la Multiplexación Densa de Longitud de Onda (DWDM).

La tecnología DWDM es un método de Multiplexación que se utiliza en medios de transmisión, varias señales portadoras (ópticas) se transmiten por una única fibra utilizando distintas longitudes de onda de un haz láser cada una de ellas. Cada portadora óptica forma un canal óptico que podrá ser tratado independientemente del resto de canales que comparten el medio (fibra óptica) y contener diferente tipo de tráfico. De esta manera se puede multiplicar el ancho de banda efectivo de la fibra óptica, así como facilitar comunicaciones bidireccionales. Se trata de una técnica de transmisión muy atractiva para las operadoras de telecomunicaciones ya que les permite aumentar su capacidad sin tender más cables ni abrir zanjas.

Estos sistemas conforman el modo más eficiente de transporte por fibra óptica con gran ancho de banda (hasta 2,5Gbps, 10Gbps e, incluso, 40Gbps por canal).

Este tipo de tecnología será utilizada en redes de fibra óptica debido a que las ondas de luz tienen una frecuencia alta y la capacidad de una señal para transportar información aumenta con la frecuencia.

Además se realizará una comparación con la tecnología CWDM que puede ser una alternativa de bajo costo para transporte óptico en cortas distancias (menos de 50 km).

SUMMARY

One of the most recent advances in the field of transmissions has been optical transmission systems based on multiplexing Dense Wavelength (DWDM).

DWDM is a method of multiplexing used in broadcast media, several carrier signals (optical) are transmitted by a single fiber using different wavelengths of laser beam each. Each optical carrier is an optical channel which may be treated independently of other channels that share the medium (fiber optics) and contain different types of traffic. In this way you can multiply the effective bandwidth of optical fiber and facilitate two-way communications. It is a transmission technique very attractive for telecommunications operators by allowing them to increase their capacity without laying more cables or open ditches.

These systems make the most efficient fiber optic transport high-bandwidth (up to 2.5 Gbps, 10 Gbps and even 40Gbps per channel).

This type of technology will be used in fiber optic networks because light waves have a high frequency and capacity to carry information signals increases with frequency.

You can make a comparison with CWDM technology can be a low cost alternative to optical transport over short distances (less than 50 km).

INTRODUCCIÓN

Durante los últimos años diversos factores han propiciado el importante desarrollo tecnológico de todos los equipos y servicios relacionados con las telecomunicaciones: grandes avances técnicos, liberalización del sector, crecimiento de la red Internet, etc. Las transformaciones derivadas de todos estos procesos están convirtiendo nuestra era, en la era de la información y las comunicaciones. Esta revolución de las telecomunicaciones avanzadas, descentralizará y flexibilizará la economía, modificará los hábitos de vida de las personas y, en definitiva, transformará radicalmente la sociedad.

El éxito de esta revolución global sin precedentes, depende en gran medida de la instalación de redes de gran capacidad y bajo costo, siendo la fibra óptica el medio elegido para los sistemas de telecomunicación.

En un principio la tecnología óptica fue implantada para sistemas de transmisión a larga distancia, pero ahora está reemplazando al cable coaxial y par trenzado de cobre en las redes telefónicas locales, las redes de televisión por cable y las redes de datos de área local. Las razones del atractivo de la fibra óptica, y en particular de la fibra óptica monomodo, son: baja atenuación, alto ancho de banda, fácil instalación, inmunidad a interferencias, alta seguridad de la señal, aislamiento eléctrico, y posibilidad de integración.

Con la aparición de la multiplexación permiten incrementar enormemente la capacidad de los sistemas de transmisión sin requerir de desarrollos tecnológicos significativos y sin alterar las arquitecturas de red implantadas. Es decir, permiten una evolución flexible y económica de las presentes redes, respondiendo a la demanda de mayor ancho de banda por parte de los nuevos servicios de telecomunicaciones avanzadas.

Esta tecnología de multiplexación es conocida como DWDM, es una técnica de transmisión por fibra óptica. La misma involucra el proceso de multiplexar varias longitudes de onda diferentes sobre una sola fibra óptica.

Si bien la tendencia de las últimas tecnologías de transmisión (SDH/SONET) es hacerlo en forma sincrónica, el sistema de DWDM soporta la multiplexación de diferentes longitudes de onda que pueden NO tener relación temporal alguna.

Así, cada fibra tiene un set de canales ópticos paralelos, utilizando cada uno, una luz de longitud de onda ligeramente diferente. De esta forma se puede, por ejemplo, transmitir datos por bits en paralelo o caracteres en serie.

CAPITULO I

1 MARCO REFERENCIAL

1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Los servicios de telecomunicaciones cada vez son más eficientes por lo que se han vuelto un pilar fundamental para el desarrollo de la sociedad.

Prueba de ello es la constante evolución de las diferentes tecnologías y el desarrollo de otras nuevas que permiten estar a la altura de las exigencias tecnológicas.

Es por esta razón que se propone brindar conocimiento sobre la tecnología DWDM (Multiplexación Densa de longitud de Onda) a entes involucrados en esta filosofía y así involucrarse en esta área de las redes de alta velocidad y gran ancho de banda.

Esta tecnología resuelve el problema del agotamiento de las fibras en redes ópticas en un área y aporta la posibilidad de incrementar la capacidad de una fibra.

Porque el mercado exige mejor ancho de banda, esto implica que existe un número mayor de fibras por lo que esta tecnología nos permite transportar frecuencias a través de una sola fibra en diferentes longitudes de onda.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 OBJETIVO GENERAL

Estudiar la aplicación y funcionamiento de la tecnología DWDM orientada a los sistemas de comunicación por medio de fibra óptica.

1.2.2 GENERAL ESPECÍFICO

- Conocer los términos más importantes vinculados a la tecnología DWDM.
- Analizar la evolución de esta tecnología DWDM.
- Realizar un análisis comparativo con otras tecnologías.
- Conocer su aplicación en el sector de las telecomunicaciones aplicadas a las redes de alta velocidad y gran ancho de banda.

1.3 JUSTIFICACIÓN

Los rápidos avances producidos junto con la creciente demanda de servicios de alta velocidad y gran ancho de banda, provocan cambios sustanciales en las arquitecturas de las redes en empresas que ofertan estos servicios a través de esta tecnología. Es así, que la tecnología DWDM ofrece aumentos enormes en la capacidad de transmisión por fibras Ópticas, y así satisfacer una demanda explosiva.

Esta tecnología no es muy conocida en el ámbito actual por lo cual será de gran ayuda para misioneros de la misma.

CAPITULO II

2 FUNDAMENTOS TEÓRICOS DEL PROYECTO

2.1 ANTECEDENTES

La multiplexación de división de longitud de onda densa (DWDM) es la tecnología subyacente clave para las redes integradas de telecomunicaciones y datos con velocidades de transferencia ultra altas. La tecnología se emplea para transmitir múltiples señales en una sola fibra óptica a velocidades de transferencia extremadamente altas. Cada señal entra en la fibra óptica a una longitud de onda o frecuencia de portadora levemente distinta usando la DWDM. Se le proporciona su propio "color". Al extremo receptor, las señales individuales se dividen ópticamente empleando el mismo principio que se usa para separar la luz del sol en un prisma.

Incluso si las señales distintas se transmiten al mismo tiempo mediante la DWDM, no causan interferencias. Esto implica la posibilidad de transmitir múltiples formatos de datos y protocolos (por ej. IP, ATM, Gbit-Ethernet, SONET, SDH, etc.), en paralelo. Así, la DWDM puede emplearse como una plataforma independiente de servicio.

La capacidad de transmisión disponible mediante una fibra óptica puede determinarse a partir del número de longitudes de onda y la velocidad de datos por longitud de onda. Usando la tecnología actual, por lo general es posible soportar 32 longitudes de onda a una velocidad de 10 Gbit/s por longitud de onda. Dicho de otra forma, una capacidad de 320 Gbit/s es posible mediante una sola fibra óptica aproximadamente siete veces más fina que la de un cabello humano.

2.2 LA FIBRA ÓPTICA

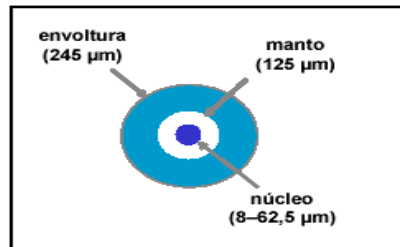


FIGURA 1: Configuración Fibra Óptica

Una fibra óptica consta de tres partes:

- El núcleo transporta la señal de luz.
- El manto mantiene la luz en el núcleo
- La envoltura protege la fibra
- Las dimensiones de la fibra se miden en μm
- $1 \mu\text{m} = 0,000001$ metros (10^{-6})
- 1 cabello humano $\sim 50 \mu\text{m}$
- Índice de refracción (n)
- $n = c/v$
- $n \sim 1,46$
- n (núcleo) $>$ n (manto)

2.2.1 EVOLUCIÓN DE LA TRANSMISIÓN POR FIBRA ÓPTICA

La transmisión a través de fibra óptica fue promovida experimentalmente en la década de los 90's, pero la tecnología comienza a avanzar rápidamente en la segunda mitad de la década los años 20's con la invención del fibroscópio, el cual tuvo aplicaciones en la medicina e industria, tal como la cirugía laparoscopia.

Después de la posibilidad de la transmisión de luz sobre una fibra fuera establecida, el próximo paso en el desarrollo de las fibras ópticas era el descubrimiento de fuentes de luz que tuvieran la suficiente potencia y delgadez.

El diodo emisor de luz (LED) y el diodo láser cumplían con estos requerimientos, como es de conocimiento general el láser hoy en día es la fuente de luz más usado en la transmisión sobre fibras ópticas.

La luz tiene una capacidad de llevar una información 10 000 veces más grande que las utilizadas en las altas frecuencias de radio. Ventajas adicionales de la fibra en comparación con el cobre incluye la habilidad de trasportar señales sobre largas distancias, bajas tasas de error, inmunidad a interferencias electromagnéticas y seguridad.

El desarrollo en fibras ópticas está ligado al uso de regiones específicas en el espectro óptico donde la atenuación es menor. Estas regiones son llamadas ventanas. Los primeros sistemas fueron diseñados para operar alrededor de los 850 nm, la primera ventana en la fibra óptica. La segunda ventana (Banda S), a 1330 nm, prontamente fue más utilizada por tener baja atenuación, luego viene la tercera ventana (Banda C) a 1550 nm con incluso mucha menos atenuación. Hoy en día, una cuarta ventana (Banda L) cerca de los 1625 nm está siendo desarrollada para ser empleada. Esta cuarta ventana está representada en el espectro electromagnético en la siguiente figura.

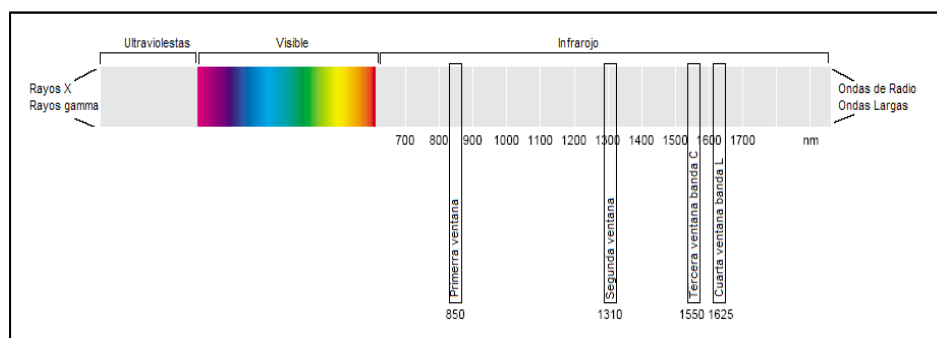


FIGURA 2: Regiones de las Longitudes de onda

2.2.2 CONCEPTO DE LA FIBRA ÓPTICA

Los circuitos de fibra óptica son filamentos de vidrio (compuestos de cristales naturales) o plástico (cristales artificiales), de un espesor entre 10 y 300 micrones. Llevan mensajes en forma de haces de luz (figura 3) que realmente pasan a través de ellos de un extremo a otro donde quiera que el filamento vaya sin interrupción.

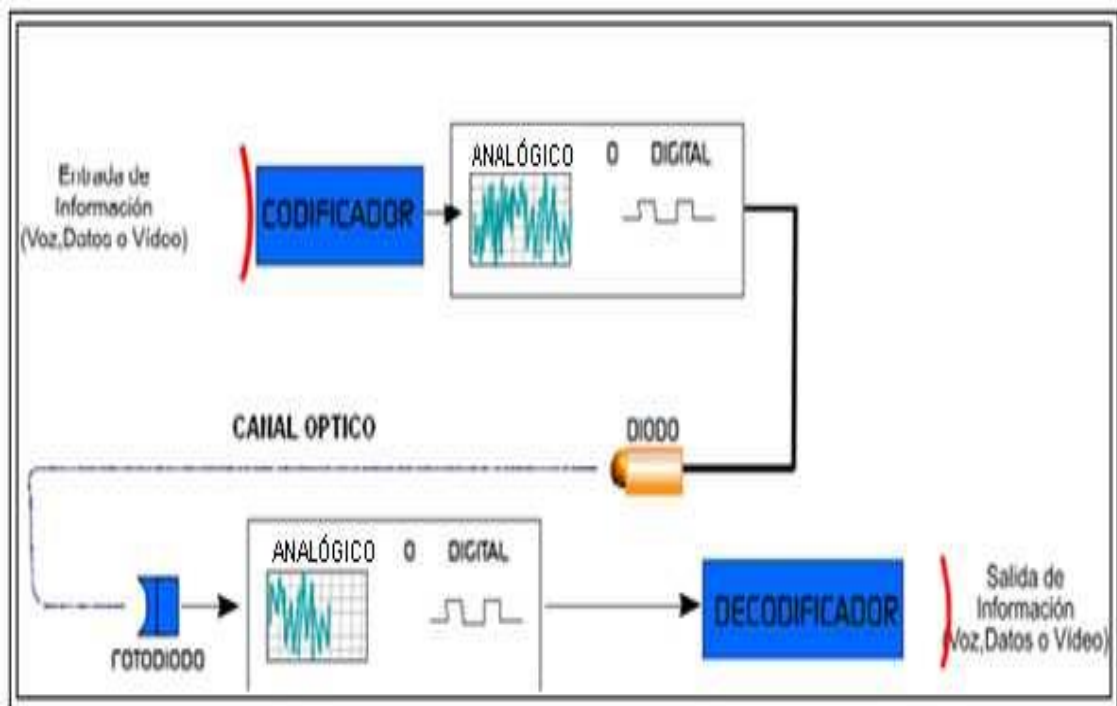


FIGURA 3: Procesamiento óptico una señal

Las fibras ópticas pueden usarse como los alambres de cobre convencionales, tanto en pequeños ambientes autónomos (tales como sistemas de procesamiento de datos de aviones), como en grandes redes geográficas (como los sistemas de largas líneas urbanas mantenidos por compañías telefónicas). Además, se pueden emitir a la vez por el cable varias señales diferentes con distintas frecuencias para distinguirlas, lo que en telefonía se llama multiplexación.

2.2.3 COMPONENTES DE LA FIBRA

Una fibra óptica (figura 4) consiste en un material transparente cilíndrico y largo que confina y propaga ondas luminosas.

Está compuesta de dos capas principales: el núcleo central que lleva la luz y el manto que cubre el núcleo, que confina la luz dentro del núcleo.

El núcleo es la parte más interna de la fibra y es la que guía la luz, con diámetro de 50 a 62.5 micras para la fibra multimodo y de 4 a 10 micras para la fibra monomodo.

El manto generalmente compuesto por los mismos materiales que el núcleo, pero con ligeras diferencias en su composición, debido a pequeñas cantidades de materiales, como boro o germanio, aditivos que confinan las ondas ópticas en el núcleo, (tiene un diámetro aproximado de 0.1mm) el índice de refracción del manto es menor que el del núcleo (n_2 del manto aproximadamente 0.2 a 0.3 % menor a n_1 del núcleo), esto permite que la luz quede atrapada dentro del núcleo y pueda viajar por él.

La fibra óptica consta de un recubrimiento que dota de protección al manto, puede ser de vidrio, plástico o de otros materiales.

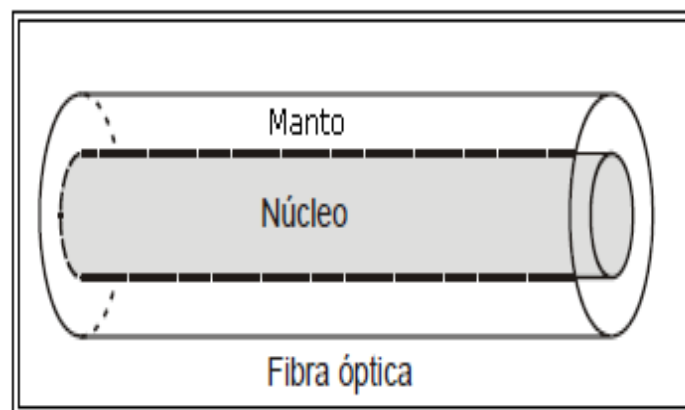


FIGURA 4: Componentes de la Fibra óptica

Los circuitos de fibra usan hebras de fibra para transmitir y una para recibir. Esto permitía una comunicación full-dúplex. En la actualidad es necesario un solo hilo de fibra óptica para tener una comunicación full-dúplex. Hasta que se colocan los conectores, no es necesario blindar ya que la luz no se escapa del interior de una fibra. Esto significa que no hay problemas de diafonía con la fibra óptica.

2.2.4 DIÁMETROS USUALES DE LA FIBRA ÓPTICA

Las fibras ópticas que se usan en telecomunicaciones se fabrican en cinco grupos principales (Tabla 1). Atendiendo a los diámetros del núcleo y del manto como se muestra.

GRUPO	NÚCLEO (μm)	MANTO (μm)	RECUBRIMIENTO (μm)	TUBO DE (μm)
Grupo I	8 a 10	12	250 o 500	900 o 2000
Grupo II	5	12	251 o 500	901 o 2000
Grupo III	62.	12	252 o 500	902 o 2000
Grupo IV	8	12	253 o 500	903 o 2000
Grupo V	10	12	254 o 500	904 o 2000

TABLA 1: Diámetros comunes de una fibra óptica y de su protección en (μm)

2.2.4.1 Grupo I (Núcleo: 8 a 10/125 μm)

Se conoce como fibra monomodo; puede propagar la mayor tasa de datos y tiene la atenuación más baja. Se utiliza frecuentemente para aplicaciones de transmisión de datos a alta velocidad o para largas distancias. Debido al pequeño diámetro de su núcleo, el equipamiento óptico utiliza conectores de alta precisión y fuentes láseres. Esto aumenta los precios del equipamiento de fibras monomodo que muchas veces es más caro que el equipamiento de fibras multimodo. Sin embargo, un cable de fibras monomodo es más barato que un cable de fibras multimodo.

2.2.4.2 Grupo II (Núcleo: 50/125 μm)

Fue la primera fibra de telecomunicaciones en venderse en grandes

cantidades con pequeño tamaño del núcleo que hacen que la potencia de la fuente acoplada a la fibra sea la menor de todas las fibras multimodo. Sin embargo de todas las fibras es la que tiene mayor ancho de banda potencial. La longitud de onda de trabajo está en 850nm o 1310nm.

2.2.4.3 Grupo III (Núcleo: 62.5/125 μm)

Es la más popular para transmisión multimodo y se está convirtiendo en estándar para muchas aplicaciones. La fibra tiene un ancho de banda potencial menor que la fibra 50/125, pero es menos susceptible a las pérdidas por micro curvaturas. Su mayor apertura numérica (AN) y su mayor diámetro del núcleo proporcionan un acoplamiento de luz ligeramente mayor que la fibra 50/125. La longitud de onda de trabajo está en 850nm o 1310nm.

2.2.4.4 Grupo IV (Núcleo: 85/125 μm)

Es una fibra de tamaño europeo y no es popular en Norteamérica. Tiene una buena capacidad para acoplar luz, similar a la del núcleo de 100 μm , y usa el manto de diámetro estándar de 125 μm . Esto permite la utilización de conectores y empalmes estándar de 125 μm con esta fibra. La longitud de onda de trabajo se encuentra en 850nm o 1310nm.

2.2.4.5 Grupo V (Núcleo: 100/140 μm)

El diámetro del núcleo mayor de la fibra multimodo 100/140 μm la convierte en la fibra más fácil de conectar. Es menos sensible a las tolerancias del conector y a la acumulación de suciedad en los conectores. Acopla la mayor cantidad de luz de la fuente, pero tiene un ancho de banda potencial significativamente más bajo que otras de tamaño de núcleo más pequeños. Se puede encontrar en aplicaciones que requieren baja velocidad de datos, no es muy común y puede ser muy difícil de obtener. La longitud de onda de trabajo se encuentra en 850nm o 1310nm.

Debido a que los diámetros de núcleo mayores son capaces de acoplar mayor potencia de luz, para algunas aplicaciones se puede lograr mayores distancias de transmisión.

2.2.5 PARÁMETROS CARACTERÍSTICOS DE LAS FIBRAS ÓPTICAS

2.2.5.1 PARÁMETROS ESTÁTICOS

2.2.5.1.1 Índice de Refracción

Se puede definir como el cociente entre la velocidad de la luz en el vacío y la velocidad de la luz en dicho material. El índice de refracción de cualquier material será siempre mayor que la unidad.

$$n = \frac{c}{v} \quad n > 1$$

n= índice de refracción

c= 3×10^8 m / s velocidad de la luz en el vacío

v= velocidad de propagación de la luz en un material

2.2.5.1.2 Apertura numérica (AN)

Determina la cantidad de luz que puede aceptar una fibra y, en consecuencia, la energía que puede transportar, no necesariamente ligada a la calidad de la información correspondiente (Figura 5).

La apertura numérica (AN) de la fibra está relacionada matemáticamente con el ángulo de acoplamiento. Para fibras con perfil de salto de índice multimodo, este ángulo de acoplamiento viene determinado por la siguiente expresión:

$$\text{Sen } \theta_{\text{máx}} = \sqrt{n_1^2 - n_2^2}$$

$$AN = \sqrt{n_1^2 - n_2^2}$$

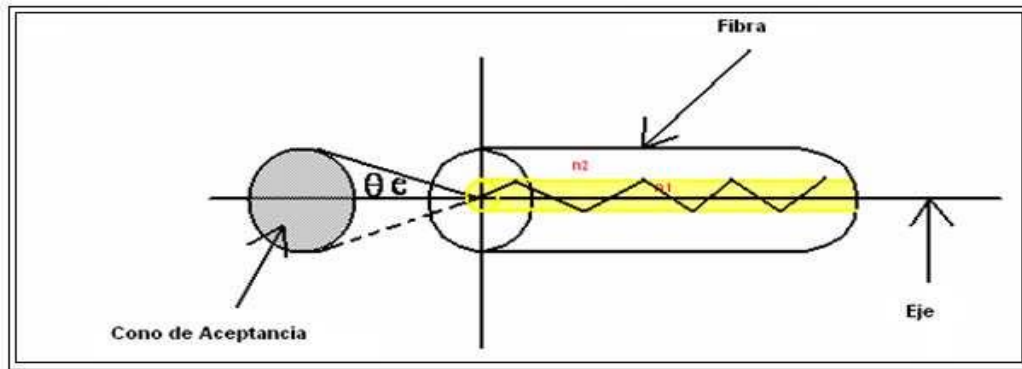


FIGURA 5: Apertura Numérica

AN = apertura numérica de la fibra

n_1 = índice de refracción del núcleo

n_2 = índice de refracción del manto

Θ máx. = Ángulo de aceptación máximo, es la mitad del ángulo del cono de aceptación.

Cuando se usa esta definición, la relación entre la apertura numérica y el ángulo de acoplamiento es una mera aproximación. En particular, los fabricantes suelen dar la AN para fibras monomodo basándose en esta expresión.

$$AN = \sqrt{n_1^2 - n_2^2}$$

Aunque para este tipo de fibra el ángulo de acoplamiento es algo diferente y no depende solamente de los índices de refracción de núcleo y cubierta.

Los ángulos máximos de acoplamiento típicos para una fibra

multimodo varían desde 10 grados a 30 grados. Valores típicos de AN varían desde 0.2 a 0.5.

2.2.5.2 PARÁMETROS DINÁMICOS

Son características de la fibra que afectan a la propagación de la señal a lo largo de la misma.

2.2.5.2.1 Atenuación

La transmisión de luz en una fibra óptica no es 100% eficiente se pueden presentar pérdidas de la luz en la transmisión. Los factores que provocan atenuación, pueden ser causas intrínsecas a la propia fibra (se refiere a su constitución física) o en factores externos a la misma, (como procesos de fabricación, el envejecimiento, el tendido, etc.). La atenuación en una fibra es medida al comparar la potencia de salida con la potencia de entrada. La atenuación es medida en decibeles por unidad de longitud. Generalmente está expresada en decibeles por kilómetro (dB/km).

2.2.5.2.2 Dispersión

Causada por las características dispersivas de la fibra sobre la señal en el transcurso del tiempo, lo que provoca ensanchamiento en el tiempo de los impulsos a medida que progresa su recorrido, son los que limitan la velocidad de información. No hay pérdida de potencia en la dispersión (figura 6), pero se reduce la potencia pico de la señal. La dispersión aplica tanto a señales analógicas como digitales. La dispersión es un problema en las comunicaciones ya que limita el ancho de banda de la fibra.

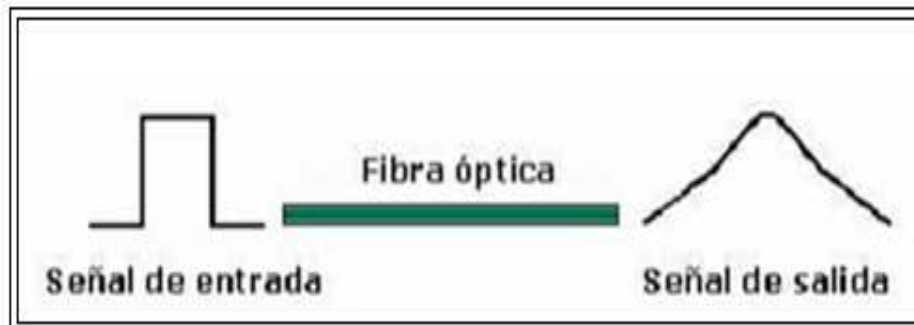


FIGURA 6: Dispersión de una fibra óptica

1. **Dispersión Modal.** Llamada también dispersión multimodo, causada por los diferentes modos de propagación en una fibra multimodo.
2. **Dispersión cromática material.** El índice de refracción varía con la longitud de onda de la luz. Debido a que una fuente de luz está compuesta de un espectro de más de una longitud de onda, los rayos de luz de diferente longitud de onda viajan a diferentes velocidades, lo cual provoca un ensanchamiento del pulso.
3. **Dispersión cromática Guía-Onda.** Es debido a la anchura espectral de la fuente de luz, cuando el índice de refracción permanece constante, es decir la geometría de la fibra causada que la constante de propagación de cada modo cambie con la longitud de onda de la luz.
4. **Dispersión por el Modo de Polarización PMD.¹⁰** La polarización es la propiedad de la luz relacionada con la dirección de sus vibraciones, el viaje de la luz en una fibra típica vibra en dos modos de polarización perpendiculares.

El modo en el eje X es arbitrariamente etiquetado con un modo lento, mientras que en el eje Y es etiquetado en el modo rápido.

La diferencia en los tiempos de arribo en los modos de dispersión por polarización (PMD), es típicamente medida en picosegundos. Si no es controlado, la PMD puede producir errores excesivos en la transmisión de los sistemas digitales y pueden distorsionar las señales.

Cuando una fibra es perfectamente circular la constante de propagación entre las polarizaciones es la misma y por tanto también lo es la velocidad de propagación de cada polarización.

Pero como muestra la (figura 7) en el caso de una fibra monomodo cuando no es perfectamente circular la velocidad de propagación de cada polarización va a ser distinta produciéndose la dispersión por polarización del modo PMD.

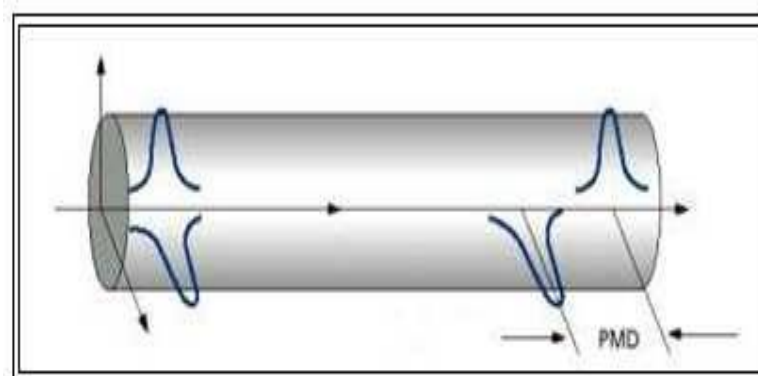


FIGURA 7: *Dispersión por el modo de polarización en una fibra monomodo asimétrica*

2.2.6 PÉRDIDAS EN LA FIBRA ÓPTICA

Las pérdidas de transmisión en los cables de fibra óptica son una de las características más importantes de la fibra. Las pérdidas en la fibra resultan en una reducción de la potencia de la luz, por lo tanto, reducen el ancho de banda del sistema, la velocidad de transmisión de información, eficiencia, y capacidad total del sistema. Las pérdidas de fibra predominantes pueden ser:

2.2.6.1 PÉRDIDAS POR ABSORCIÓN.

La pérdida por absorción en las fibras ópticas es analógica a la disipación de potencia en los cables de cobre; las impurezas, en la fibra absorben, la luz y la convierten en calor. El vidrio ultrapuro usado para fabricar las fibras ópticas es aproximadamente 99.9999% puro. Aun así, las pérdidas por absorción entre 1 y 1000 dB/Km son típicas. Esencialmente, hay tres factores que contribuyen a las pérdidas por absorción en las fibras ópticas: absorción ultravioleta, absorción infrarrojo y absorción de resonancia del ion.

2.2.6.2 PÉRDIDAS POR ABSORCIÓN ULTRAVIOLETA.

La absorción ultravioleta es provocada por electrones de valencia en el material de silicio del cual se fabrican las fibras. La luz ioniza a los electrones de valencia en conducción. La ionización es equivalente a la pérdida total del campo de luz y, en consecuencia, contribuye a las pérdidas de transmisión de la fibra.

2.2.6.3 PÉRDIDAS POR ABSORCIÓN INFRARROJA.

La absorción infrarroja es un resultado de fotones de luz que son absorbidos por los átomos de las moléculas, en el núcleo de vidrio. Los fotones absorbidos se convierten en vibraciones mecánicas aleatorias típicas de calentamiento.

2.2.6.4 PÉRDIDAS POR ABSORCIÓN DE RESONANCIA DE ION.

La absorción de resonancia de ion es causada por los iones OH en el material.

La fuente de los iones OH⁻ son las moléculas de agua que han sido atrapadas en el vidrio, durante el proceso de fabricación. La absorción del ion también será causada por las moléculas de hierro, cobre y cromo.

2.2.6.4.1 PÉRDIDAS POR DISPERSIÓN DE RAYLEIGH.

La tensión aplicada al vidrio durante el proceso de fabricación causa que el vidrio se enfríe y desarrolle irregularidades submicroscópicas que se forman, de manera permanente en la fibra. Los rayos de luz que inciden en estas irregularidades se difractan causando que la luz se disperse en muchas direcciones. La difracción causa que la luz se disperse o se reparta en muchas direcciones.

Una parte de la luz difractada continua por la fibra y parte de ésta se escapa por la cubierta. Los rayos de luz que se escapan representan una pérdida en la potencia de la luz. Esto se llama pérdida por dispersión de Rayleigh. Las pérdidas por efecto Rayleigh son las de mayor influencia para las longitudes de onda comprendidas entre 400 y 1100 nm.

2.2.6.5 PÉRDIDAS POR DIFUSIÓN DE MIE

Si la luz interactúa con una partícula grande, no se genera la dispersión de Rayleigh ya que el tamaño de estas partículas no lo permiten, sin embargo, estas partículas absorben una parte de la luz y reflejan otra. El color de la luz reflejada depende directamente de los compuestos químicos de la partícula reflejante, este efecto es conocido como la difusión de Mie.

Cuando la difusión de Mie ocurre de manera masiva, las partículas difusoras no son coloreadas, lo que ocasiona la atenuación de la luz blanca hacia colores de grises a oscuros.

2.2.6.6 PÉRDIDAS DE RADIACIÓN O POR DOBLECES

Las pérdidas de radiación son causadas por pequeños dobleces e irregularidades en la fibra. Básicamente hay dos tipos de dobleces;

microdobles y dobles de radio constante. El microdoblamiento ocurre como un resultado de las diferencias en las relaciones de la contracción térmica entre el núcleo y el material de la cubierta.

Un microdoble representa una discontinuidad en la fibra, en donde la dispersión de Rayleigh puede, ocurrir. Los dobles de radio constante ocurren cuando las fibras se doblan durante su manejo o instalación. Si el radio de curvatura es mayor que el radio mínimo de curvatura de la fibra, las pérdidas son despreciables o viceversa.

2.2.6.7 PÉRDIDAS POR ACOPLAMIENTO

En los cables de fibra las pérdidas de acoplamiento pueden ocurrir en cualquiera de los tres tipos de uniones ópticas: conexiones de fuente a fibra, de fibra a fibra y conexiones de fibra a foto detector. Las pérdidas de unión son causadas más frecuentemente por una mala alineación lateral, una mala alineación de separación y un mal acabado de la superficie de contacto.

La transmisión de señales en una fibra óptica está acompañada de algunos factores que contribuyen a la degradación de la información en este medio de propagación. Se trata de las pérdidas debidas a la atenuación intrínseca y extrínseca, a los fenómenos de dispersión y a los efectos no lineales producidos por mayores potencias ópticas de transmisión.

Estas características de transmisión son tomadas en cuenta en la parte que se refiere al diseño de la red backbone y red de acceso de fibra óptica propuesta.

2.2.7 COMUNICACIONES POR FIBRA ÓPTICA

En las comunicaciones por fibra óptica se trabaja con radiaciones electromagnéticas con longitudes de onda comprendida entre 750 nm y 1650 nm (figura 8). Cada ventana se caracteriza por una atenuación diferente, lo

cual condiciona el alcance máximo de la señal luminosa en la fibra óptica. La fibra multimodo solo utiliza la primera y segunda ventanas, mientras que la monomodo puede utilizar todas las bandas excepto la primera ventana. En general se usan zonas de trabajo bien definidas.

- Primera Ventana (850 nm)
- Segunda Ventana (1310nm)
- Tercera Ventana (1550 nm)
- Cuarta Ventana (1625 nm)
- Quinta Ventana(1460 nm)

El empleo de las diferentes ventanas depende de cómo se pueden obtener las mejores prestaciones de transmisión de las fibras, o el equipo óptico en su conjunto.

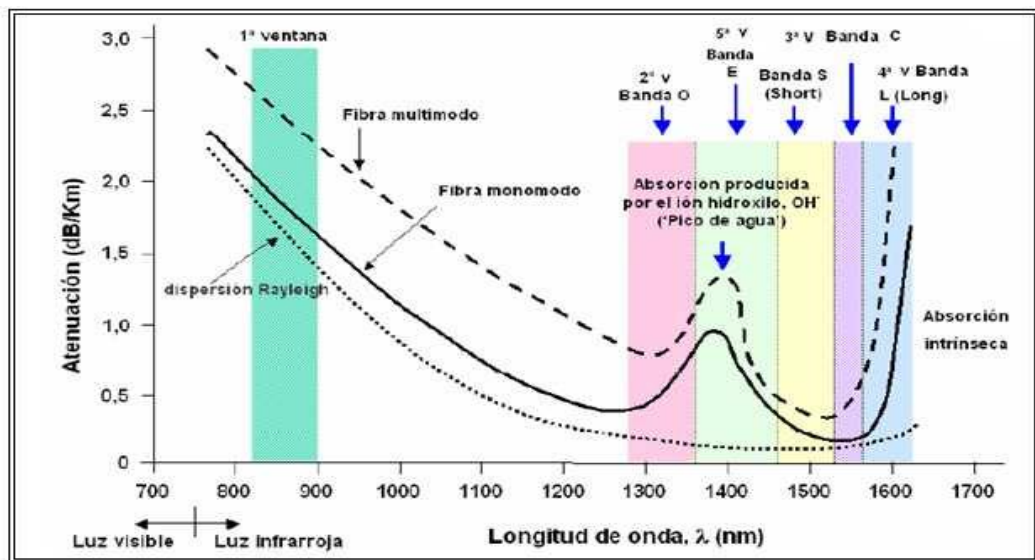


FIGURA 8: Ventanas de la fibra óptica

Como se puede observar en la (figura 8) la banda O del espectro electromagnético corresponde a la segunda ventana de trabajo de la fibra óptica, y se localiza entre los 1260 a 1360 nm, así como la banda E que

trabaja con longitudes de onda de 1360 a 1460 nm, la banda S se sitúa entre los 1460 a 1530 nm y corresponde a la quinta ventana, la banda C está entre los 1530 a 1565 nm y pertenece a la tercera ventana y la banda L se ubica en la cuarta ventana y trabaja con longitudes de onda que se encuentran entre los 1565 a 1625 nm.

2.2.8 TIPOS DE FIBRA ÓPTICA

Según el perfil del índice de refracción se encuentran los siguientes tipos de fibras ópticas.

2.2.8.1 FIBRA MULTIMODO DE ÍNDICE DE GRADIENTE GRADUAL

Las fibras multimodo de índice de gradiente gradual (Figura 9) tienen una banda de paso que sobrepasa los 1000 Mhz. Km en la banda de 850 nm y los 2000 Mhz. Km en la banda de los 1300nm valores que dependen de los procesos de fabricación, de la composición y del diseño de la fibra.

El índice de refracción en el interior del núcleo no es único y decrece cuando se desplaza del núcleo hacia la cubierta.

Estas fibras permiten reducir la dispersión entre los diferentes modos de propagación a través del núcleo de la fibra. Estas fibras multimodo tienen un gran ancho de banda.

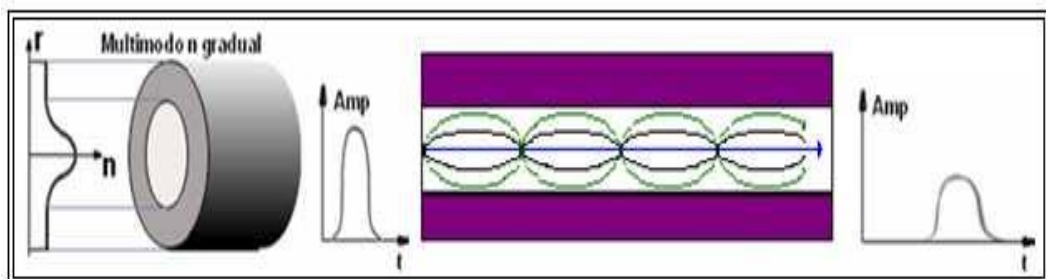


FIGURA 9: Fibra Multimodo (Índice Gradiente Gradual)

2.2.8.2 FIBRA MULTIMODO DE ÍNDICE ESCALONADO

En este tipo de fibra óptica viajan varios rayos ópticos simultáneamente. Estos se reflejan con diferentes ángulos sobre las paredes del núcleo, por lo que recorren diferentes distancias (figura 10), y se desfasan en su viaje dentro de la fibra, razón por la cual la distancia de transmisión es corta.

En estas fibras, el índice de refracción es claramente superior al revestimiento o cubierta que lo rodea. El paso desde el núcleo hasta la cubierta conlleva por tanto una variación del índice, de ahí su nombre de índice escalonado.

Tiene dispersión modal y por tanto pérdida de señal, reducido ancho de banda y son de bajo costo dado que resultan tecnológicamente sencillas de producir.

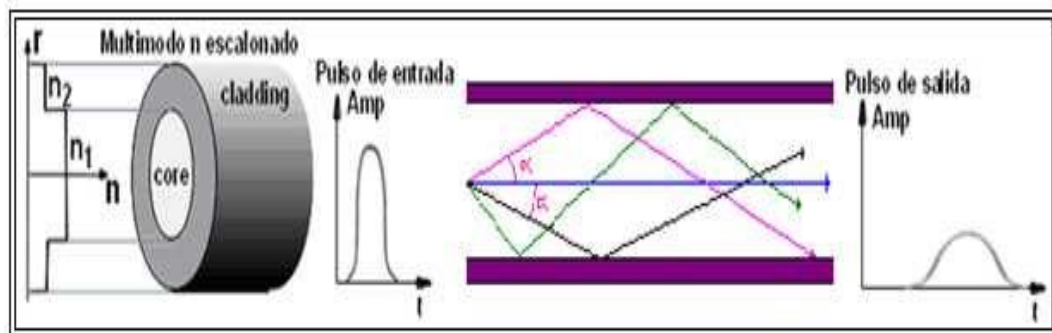


FIGURA 10: Fibra Multimodo (Índice Escalonado)

2.2.8.3 FIBRA MONOMODO

Una fibra monomodo (figura11) es una fibra óptica en la que sólo se propaga un modo de luz. El diámetro del núcleo es de 8.3 micrones a 10 micrones. Sólo permite un modo de propagación. Presenta menor dispersión. Apropia para aplicaciones de larga distancia. Tiene una banda de paso del orden de los TeraHertz por Km pero se limita al orden de los GHz. por

Km ya que los equipos utilizados para trabajar aun no alcanzan tan altas velocidades. Usa láseres como fuente de luz a menudo en backbones de campus para distancias de varios miles de metros. Los mayores flujos se consiguen con esta fibra, pero también es la más compleja de implantar.

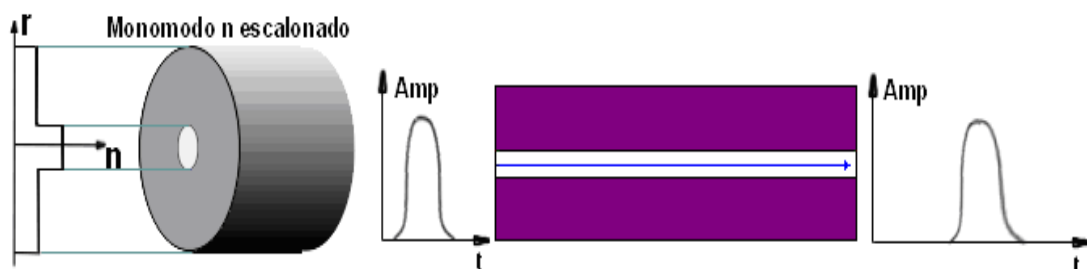


FIGURA 11: Fibra Monomodo

En comunicaciones se emplean fibras monomodo. Las longitudes que se emplean para la propagación de señales es de $\lambda=0.85 \mu\text{m}$, $1.3 \mu\text{m}$, $1.46 \mu\text{m}$, $1.55 \mu\text{m}$ y $1,625 \mu\text{m}$ (esto se debe a que las longitudes de onda y la atenuación de la fibra son mínimas). Con la aparición de nuevas tecnologías y el tratar de migrar a longitudes de onda mayores presentaba el inconveniente de que la dispersión dejaba de ser nula y suponía una fuerte limitación al ancho de banda de la transmisión lo que llevo al desarrollo de nuevos tipos de fibra óptica como son:

2.2.8.3.1 FIBRA ÓPTICA MONOMODO ESTÁNDAR (STANDARD SINGLE-MODE FIBER, SSMF)

Esta fibra se caracteriza por una atenuación en torno a los 0,2 dB/km y una dispersión cromática alrededor de unos 16 ps/km-nm en 1550 nm. La longitud de onda de dispersión nula se sitúa en torno a los 1310 nm donde su atenuación aumenta ligeramente. Está normalizada en la recomendación UIT-T G.652. Existen millones de kilómetros de este tipo de fibra instalados en redes ópticas de todo el mundo, que se benefician de sus bajas pérdidas. Esta fibra se caracteriza por eliminar el pico de absorción de

OH, por lo que dispone de una mayor anchura espectral para la transmisión en sistemas multicanal CWDM.

2.2.8.3.2 FIBRA DE DISPERSIÓN DESPLAZADA (DISPERSION-SHIFTED FIBER, DSF)

Mediante la modificación geométrica del perfil de índice de refracción, se puede conseguir desplazar la longitud de onda de dispersión nula a la tercera ventana. Sus pérdidas son ligeramente superiores (0,25 dB/km a 1550 nm), pero su principal inconveniente proviene de los efectos no lineales, ya que su área efectiva es bastante más pequeña que en el caso de la fibra monomodo estándar.

Este tipo de fibras no son en principio adecuadas para sistemas DWDM, ya que el fenómeno no lineal de mezclado de cuatro ondas (FWM) produce degradaciones significativas. Este tipo de fibras se describe en la recomendación UIT-T G.653.

2.2.8.3.3 FIBRA ÓPTICA DE DISPERSIÓN DESPLAZADA NO NULA (NON-ZERO DISPERSION-SHIFTED FIBER, NZDSF)

Este tipo de fibras entregan un coeficiente de dispersión cromática para cada canal en un sistema DWDM. Este tipo de fibras sin embargo poseen un alto coeficiente de atenuación. El NZDSF normalmente tiene una área eficaz entre 50 y 72 μm^2 , que es más pequeña que la de SSMF (típicamente 80 μm^2). Por ello aparecen con la NZDSF efectos no lineales a potencias de señal menores que los de la SSMF.

Las fibras con baja pendiente de dispersión aumentan el límite de distancia que se puede alcanzar en el enlace, ya que además de disminuir la diferencia en el coeficiente de dispersión entre los canales que se encuentran

en los extremos del espectro de transmisión del sistema DWDM, reduce considerablemente el efecto de los amplificadores ópticos en cascada para enlaces de largo alcance. Aunque se adaptan bien a las velocidades de 10 Gbps, no son útiles para DWDM, pues presentan un área efectiva menor que las SMF.

2.2.9 VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE LA FIBRA ÓPTICA

2.2.9.1 VENTAJAS

- Las fibras ópticas son el medio físico con menor atenuación. Por lo tanto se pueden establecer enlaces directos sin repetidores, desde 100 Km en adelante. Por lo que se reduce el número de equipos y por ende el costo.
- La capacidad de transmisión es muy elevada, por lo tanto hace posible navegar por Internet a una velocidad de 2 Mbps o más.
- Pueden propagarse simultáneamente ondas ópticas de varias longitudes de onda que se traduce en un mayor rendimiento de los sistemas. De hecho 2 fibras ópticas serían capaces de transportar, todas las conversaciones telefónicas de un país, con equipos de transmisión capaces de manejar tal cantidad de información.
- Acceso ilimitado y continuo las 24 horas del día sin congestiones.
- Video y sonido en tiempo real.
- Fácil de instalar.
- Es inmune al ruido y las interferencias, como ocurre cuando se utiliza alambre telefónico.
- Las fibras ópticas transmiten luz y no emiten radiaciones electromagnéticas que puedan interferir con equipos electrónicos, tampoco se ve afectada por radiaciones emitidas por otros medios.

2.2.9.2 DESVENTAJAS

- El costo es alto en la conexión de fibra óptica, las empresas no cobran por tiempo de utilización sino por cantidad de información transferida al computador, que se mide en Megabytes.
- El costo de la fibra sólo se justifica cuando su gran capacidad de ancho de banda y baja atenuación son requeridos. Para bajo ancho de banda puede ser una solución mucho más costosa que el conductor de cobre.
- Fragilidad de las fibras.
- Disponibilidad de conectores limitada en el mercado y costo elevado.
- Dificultad de reparar un cable de fibras roto en el campo.
- La fibra óptica no transmite energía eléctrica, esto limita su aplicación donde el terminal de recepción debe ser energizado desde una línea eléctrica. La energía debe proveerse por conductores separados.

2.3 TECNOLOGÍA WDM

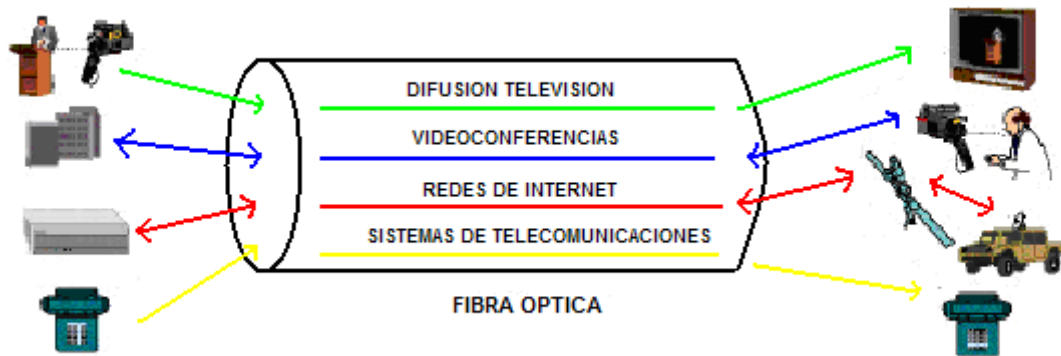


FIGURA 12: Servicios de WDM

WDM es una tecnología que abarca grandes flujos de información a ser transmitida simultáneamente sobre una simple fibra a tasas de transferencia elevadas. WDM incrementa la capacidad de las redes SDH de hasta 16 veces, pudiendo obtener hasta 40 Gbps en cada dirección sobre un par de fibras ópticas.

En WDM, el flujo de la luz láser dentro de la fibra consiste de muchas longitudes de onda cada una llevando canales de datos por separado. En fibras ópticas, la propagación de la luz láser es mejor en las regiones centradas entre 1300 y 1550nm, y el espectro de la longitud de onda usada en WDM se extiende desde 1200 hasta 1600nm.

La tecnología WDM utiliza una composición de señales ópticas, llevando múltiples flujos de información, cada uno transmitidos en distintas longitudes de onda ópticas, permitiendo que algunos canales de WDM coexistan en una sola fibra óptica, esto se puede aprovechar dentro de la gran capacidad que ofrece la fibra.

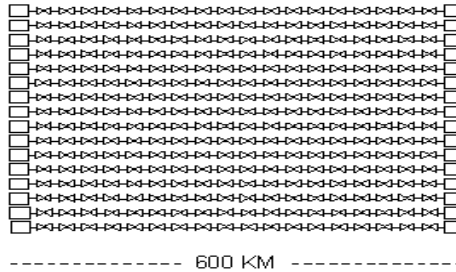


FIGURA 13: WDM

Para transmitir 40 Gb/s en 600 kms usando un sistema tradicional se requeriría 16 pares de fibra por separado con regeneradores cada 35 kms teniendo que colocar un total de 272 regeneradores.

Un sistema WDM de 16 canales, por su parte, usa un solo par de fibras y 4 amplificadores colocados cada 120 kms para la misma distancia de 600 kms.

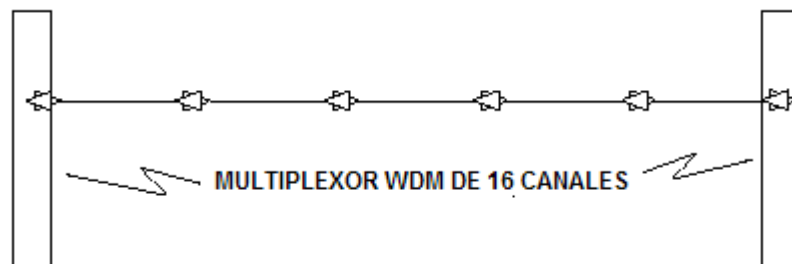


FIGURA 14: Multiplexor 16 Canales

La forma más común de WDM usa un par de fibras, una para transmisión y otra para recepción. Existen sistemas en donde una sola fibra es usada para tráfico bi-direccional, pero ese tipo de configuración debe sacrificar alguna capacidad de la fibra por la separación que estos necesitan y prevenir la mezcla de canales.

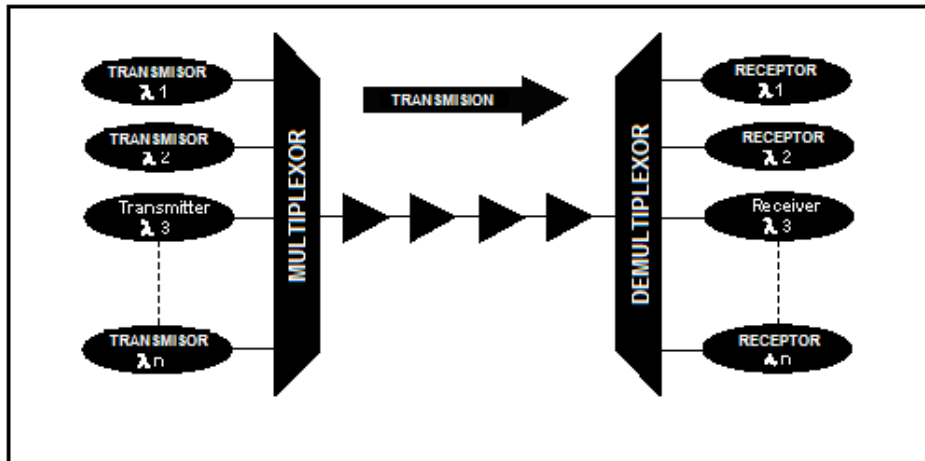


FIGURA 15: Sistema WDM

2.3.1 CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS

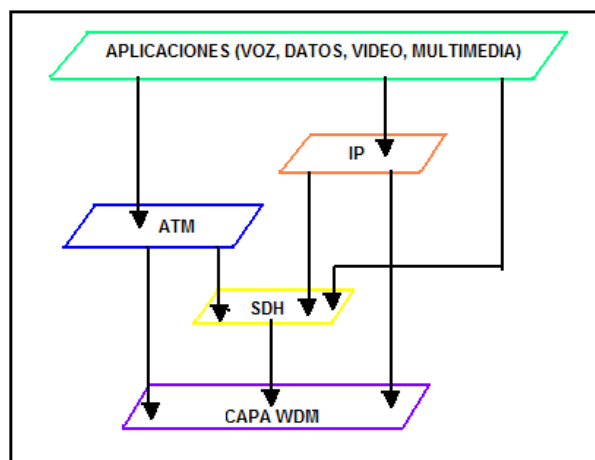


FIGURA 16: Modelo de transporte

Los sistemas de telecomunicaciones que utilizan como medio de transmisión la fibra óptica se basan en inyectar en un extremo de la misma la señal a transmitir (previamente la señal eléctrica procedente del emisor se ha convertido en óptica mediante un LED o Láser y ha modulado una portadora) que llega al extremo receptor, atenuada y, probablemente con alguna distorsión debido a la dispersión cromática propia de la fibra, donde se recibe en un

fotodetector, es decodificada y convertida en eléctrica para su lectura por el receptor.

El tipo de modulación y/o codificación que se emplea con los sistemas de fibra óptica depende de una serie de factores, y algunas fuentes de luz se adaptan mejor a unos tipos que a otros. Así, los LED, con un amplio espectro en el haz luminoso, admiten muy bien la modulación en intensidad, mientras que el láser (un haz de luz coherente) se adapta mejor a la modulación en frecuencia y en fase.

En distancias cortas, como es en el entorno de una oficina o redes de área Metropolitana, la atenuación de la fibra y la dispersión, no presenta un gran problema, pero a distancias grandes, como las que se requieren en la RTFO (Red Troncal de Fibra Óptica), realmente es importante el uso de amplificadores o repetidores que regeneren la señal cada cierta distancia. Por ejemplo en los cable de fibra óptica en grandes distancias se colocan repetidores cada 75 km que, primero, convierten la señal óptica degradada en eléctrica, la amplifican y la vuelven a convertir en óptica mediante un diodo láser, para inyectarla de nuevo en la fibra óptica, todo un proceso complejo y que introduce retardos debido a los dispositivos electrónicos por los que ha de pasar la señal.

Este inconveniente se podría evitar si todo el camino pudiese ser óptico (all-optical), algo que ya es posible gracias a los resultados obtenidos, hace algún tiempo, por investigadores de la Universidad de Southampton, que descubrieron la manera de amplificar una señal óptica en una longitud de onda de 1,55 mm haciéndola pasar por una fibra de 3 metros de longitud dopada con iones erbio e inyectando en ella una luz de láser a 650 mm (fenómeno que se conoce como bombeo o pumping).

2.3.2 COMPONENTES CARACTERÍSTICOS DE UN SISTEMA WDM

Como hemos visto anteriormente ya se menciona algunos componentes de un sistema de fibra óptica, ahora vamos a profundizar en lo que tiene que ver a componentes cuyas características de trabajo dependen de la longitud de onda ya que son esenciales para configurar otros dispositivos del sistema.

2.3.2.1 FUENTES ÓPTICAS

Para las redes WDM, las señales eléctricas son convertidas en señales ópticas mediante diodos láser cuya longitud de onda se encuentra dentro de un rango permitido para poder realizar multiplexación.

Estos dispositivos se encargan de emitir el haz de luz que permite la transmisión de datos, estos emisores pueden ser de dos tipos:

- **Leds.** Utilizan una corriente de 50 a 100 mA, su velocidad es lenta, solo se puede usar en fibras multimodo, pero su uso es fácil y su tiempo de vida es muy grande además son baratos.
- **Láseres.** Este tipo de emisor usa una corriente de 5 a 40 mA, son muy rápidos, se puede usar con los dos tipos de fibra, monomodo y multimodo, pero por el contrario su uso es difícil, su tiempo de vida es largo pero menor que el de los LEDs y también son mucho más caros.

Los láseres utilizados en WDM son prácticamente iguales que los utilizados para comunicaciones de larga distancia, excepto por la necesidad de que algunos requerimientos sean más críticos o nuevos.

- **Láseres Sintonizables en Longitud de Onda**

La capacidad de sintonización es importante en las redes ópticas. El

hecho de que la sintonización en el transmisor o el receptor sea rápida es fundamental para el rendimiento del sistema en topologías WAN o LAN.

- **Láseres Multi-Longitud de Onda**

Este tipo de láseres pueden ser utilizados para implementar una sintonización muy rápida simplemente seleccionando qué longitud de onda será transmitida, aun así, pueden transmitirse simultáneamente varias longitudes de onda, juntos en un mismo sustrato.

2.3.2.2 ACOPLADORES

La principal función de un acoplador es la de unir o separar las señales que llegan o se encaminan a diferentes canales. Cuando se ponen varios acopladores juntos, se habla de rack.

Un acoplador es un componente pasivo (no selectivo en longitud de onda) con tres o más puertos que comparten la potencia óptica entre sus puertos de una forma previamente determinada sin realizar ninguna amplificación, conmutación u otra modulación activa. Existen varios tipos de acopladores los más usuales se muestran en la (figura 17).

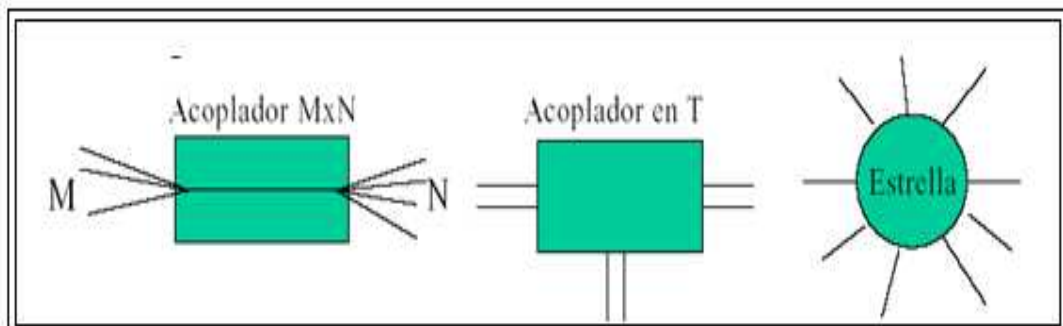


FIGURA 17: Tipos más usuales de Acopladores

El acoplador más sencillo es el 2x2, está compuesto por dos fibras de

entrada que unen sus señales en el interior del mismo, y otras dos de salida por las que, de acuerdo con las propiedades internas que pueda tener dicho acoplador salen las señales de entrada en una forma determinada.

La forma más sencilla de construir un acoplador 2 x 2 pasivo es fundir dos fibras en un pequeño tramo de las mismas. (figura 18). En este caso las dos salidas tendrían idénticas características que, con unas señales de entrada P_{i1} y P_{i2} vendrían dadas por:

$$P_{o1,o2} = \frac{1}{2}(P_{t1} + P_{t2})$$

P_o= Potencia de salida

P_t= Potencia de entrada

Esta situación es la que se presenta en un acoplador de 3dB

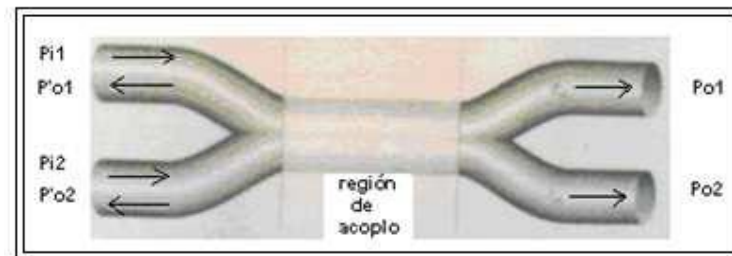


FIGURA 18: Acoplador por Fusión de dos fibras óptica

No toda la potencia que entra en el acoplador sale del mismo, esto se debe a posibles efectos de esparcimiento o reflexión en el interior del material resultante de la fusión de las fibras. Su valor no suele sobrepasar de -50 dB por debajo de nivel entrada.

Se debe tener en cuenta que ningún acoplador es perfecto y, en consecuencia, parte de la radiación óptica se perderá en su interior. Se

definen dos tipos de pérdidas las cuales son:

$$\text{Perdidas por exceso} = P_{exc} = -10 \log\left(\frac{P_e}{\sum P_f}\right)$$

P_e = Potencia de entrada

$J=1 \dots\dots\dots N$, todas las salidas

$$\text{Perdidas por inserción} = P_{ins} = -10 \log\left(\frac{P_i}{\sum P_f}\right)$$

i = entrada, j = salida

$$\text{Relación o coeficiente de acoplo} = R_r(\%) = \frac{P_r}{\sum P_f}$$

r = salida

En el caso de que una parte de las entradas aparezcan en la otra fibra de entrada, en sentido contrario, se define un nuevo parámetro que es la diafonía y viene dada por:

$$\text{Diafonía} = 10 \log \frac{P_t}{P_k}$$

P_t = Potencias de par interferente

P_k = Potencia del par interferido

2.3.3 UTILIZACIÓN.

Los sistemas WDM se utilizan en redes locales, en telecomunicaciones de larga distancia (entre troncales), en telecomunicaciones de banda ancha, tales como videoteléfono, video conferencia, TV, audio y otros. Una red de telecomunicaciones que utiliza WDM de tres canales se muestra a continuación.

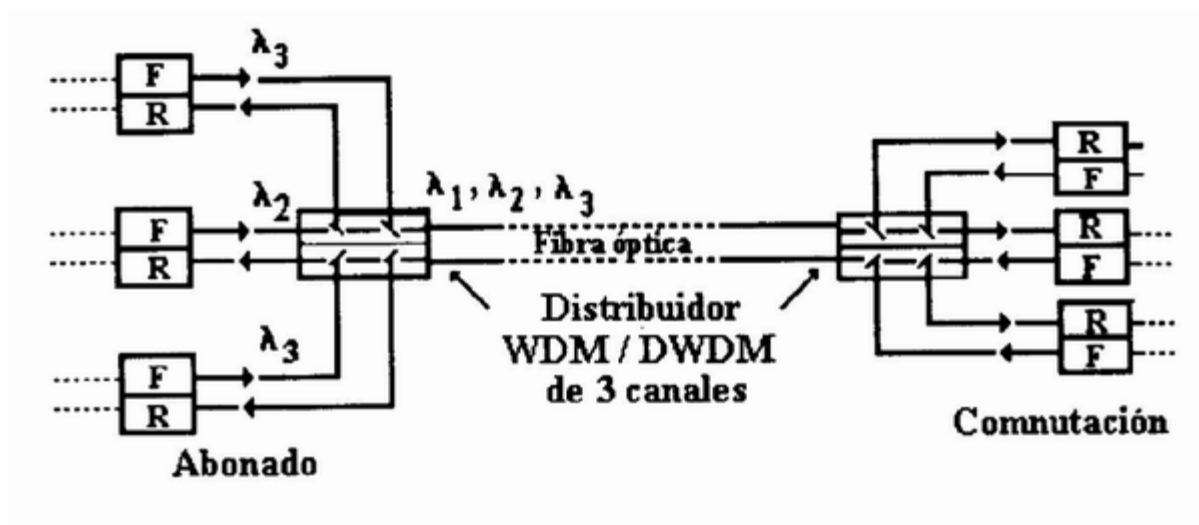


FIGURA 19: Red de telecomunicaciones de banda ancha que utiliza distribuidores WDM de tres canales

2.3.4 CARACTERÍSTICAS GENERALES DE LA WDM.

Los sistemas de comunicación que utilizan como medio de transmisión una fibra óptica se basan en inyectar en un extremo de la misma la señal a transmitir (previamente la señal eléctrica procedente del emisor se ha convertido en óptica mediante un LED o Láser y ha modulado una portadora) que llega al extremo receptor, atenuada y, probablemente con alguna distorsión debido a la dispersión cromática propia de la fibra, donde recibe en un foto detector, es decodificada y convertida en eléctrica para su lectura por el receptor, que se emplea con los sistemas de fibra óptica depende de una serie de factores, y algunas fuentes de luz se adaptan mejor a unos tipos que a otros. As LED, con un amplio espectro en el haz luminoso, admiten muy bien la modulación en intensidad, mientras que el láser -un haz de luz coherente adapta mejor a la modulación en frecuencia y en fase.

Los dos métodos tradicionales para la multiplexación de señales en un sistema de fibra óptica que utiliza luz coherente (láser) han sido TDM (Time

División Multiplexing) y FM (Frequency Division Multiplexing), al que se viene a WDM. Al contrario que la otra WDM suministra cada señal en una frecuencia láser diferente, de tal manera que puede ser filtrada ópticamente en el receptor.

En distancias cortas, como es en el entorno de una oficina, la atenuación de la fibra (mínima para una longitud de onda de 1,55 (mm) y la dispersión (mínima para 1,3 (mm) no presenta un gran problema, pero a distancias mayores, como las que se requieren en los enlaces de comunicaciones a larga distancia, realmente lo es y se requiere el uso de amplificadores/repetidores que regeneren la señal cada cierta distancia.

Por ejemplo:

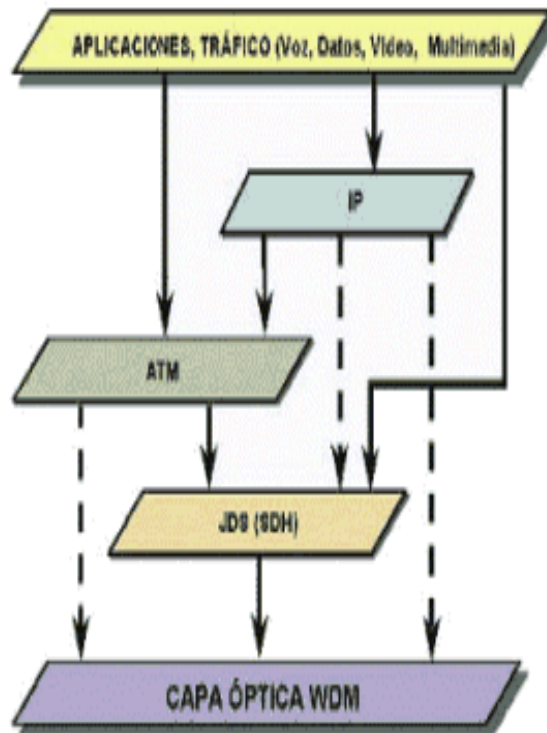


FIGURA 20: Modelo de transporte (Banda Ancha)

En cable trasatlánticos se colocan repetidores cada 75 km que, primero, convierten la señal óptica degradada en eléctrica, la amplifican y la vuelven a convertir en óptica mediante un diodo láser, para inyectarla de fibra óptica, todo un proceso complejo y que introduce retardos debido a los dispositivos electrónicos por los que ha de pasar la señal. Este inconveniente se evitaría si todo el camino pudiese ser óptico (all-optical), algo que ya es posible gracias a los resultados obtenidos, hace ya más de una década, por investigadores de la Universidad de Southampton, que descubrieron la manera de amplificar una señal óptica en una longitud de onda de 1,55 mm haciéndola pasar por una fibra de 3 metros de longitud dopada con iones erbio e inyectando en ella una luz de láser a 650 nm (fenómeno que se conoce como bombeo o pumping).

2.4 TECNOLOGÍA DWDM

2.4.1 INTRODUCCIÓN

DWDM es una técnica de transmisión por fibra óptica. La misma involucra el proceso de multiplexar varias longitudes de onda diferentes sobre una sola fibra óptica.

Si bien la tendencia de las últimas tecnologías de transmisión (SDH/SONET) es hacerlo en forma sincrónica, el sistema de DWDM soporta la multiplexación de diferentes longitudes de onda que pueden NO tener relación temporal alguna.

Así, cada fibra tiene un set de canales ópticos paralelos, utilizando cada uno, una luz de longitud de onda ligeramente diferente. De esta forma se puede, por ejemplo, transmitir datos por bits en paralelo o caracteres en serie.

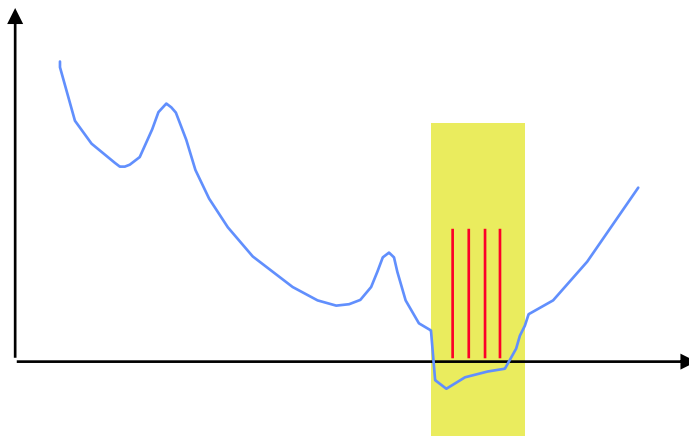


FIGURA 21: *Espectro de utilización de la fibra óptica con DWDM.*

2.4.2 DESARROLLO DE LA TECNOLOGÍA DWDM

El primer WDM comenzó a finales de los años 1980 usando las dos longitudes de onda extensamente espaciadas en 1310 nm y 1550 nm (o 850 nm y 1310 nm), a veces llamado WDM de banda ancha.

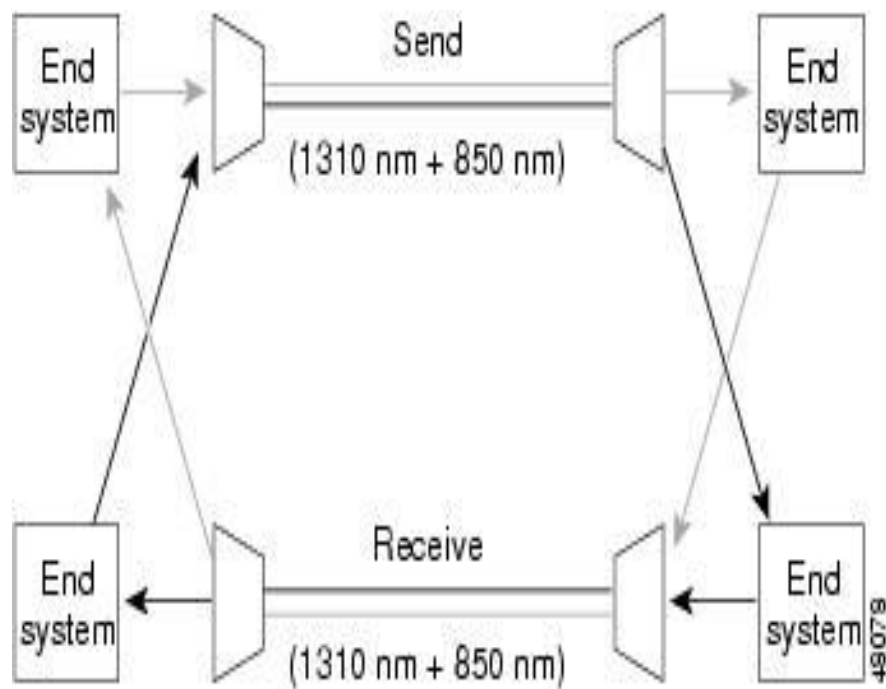


FIGURA 22: DWDM

El principio de los años 90 vio una segunda generación de WDM, WDM a veces llamado de banda estrecha, en el cual dos a ocho canales fueron usados. Estos canales ahora fueron espaciados en un intervalo de aproximadamente 400 GHz en la ventana 1550-nm.

A mediados de los años 1990, WDM denso (DWDM) surgía con 16 a 40 canales y espaciaba de 100 a 200 GHz. Antes de finales de los años 90 los sistemas DWDM se habían desarrollado al punto donde ellos eran capaces de

llevar de 64 a 160 canales paralelos, densamente embalados en intervalos de 50 a 25 GHz.

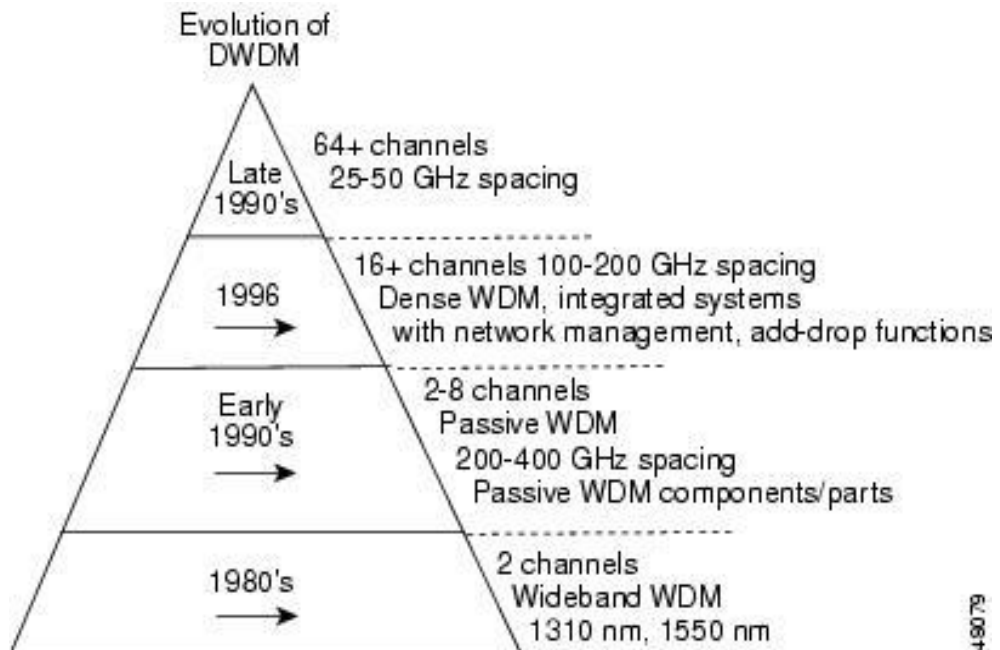


FIGURA 23: Evolución de DWDM

2.4.3 DEFINICIÓN

DWDM (Dense Wavelength División Multiplexing) es una técnica usada para incrementar la capacidad de transmisión de una fibra óptica, esto se logra transmitiendo múltiples señales en diferentes longitudes de onda a través de una sola fibra. Cada señal obtiene una única longitud de onda, o color en el espectro de colores de la luz. Después todas las señales son transmitidas juntas y combinadas como una sola señal.

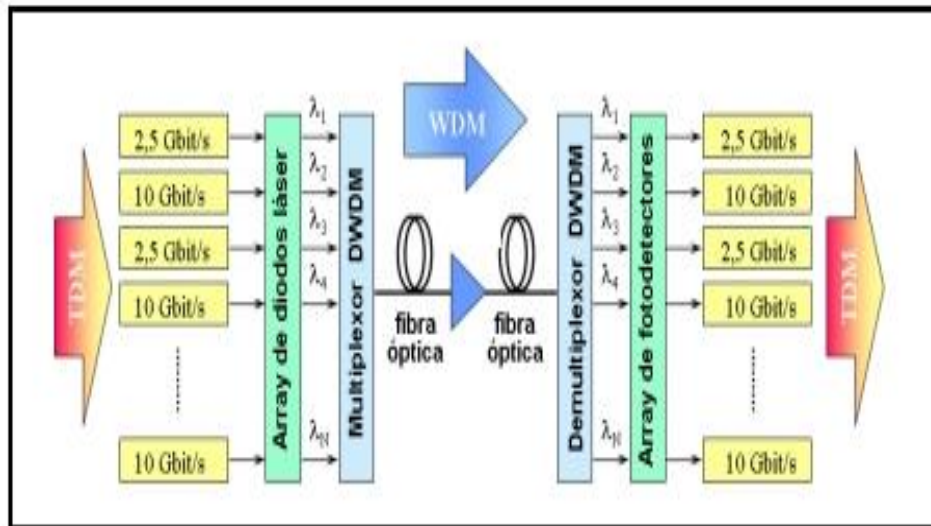


FIGURA 24: Sistema DWDM

DWDM puede completamente eliminar la necesidad de aumentar el número de fibras o de incremento de equipos ADM, lo cual es muy significativo para empresas en este caso CNT E.P. que tienen problemas de consumo de fibra y saturación en la capacidad de la red. DWDM puede coexistir sin ningún problema con redes SDH. DWDM ha revolucionado la industria de las telecomunicaciones proveyendo de infraestructura para transporte de redes ópticas extensas.

La Multiplexación por división de Longitud de onda, combina más de 64 longitudes de onda dentro de una sola fibra. La tecnología DWDM usa un estándar ITU con espaciamiento entre longitudes de onda de 100 GHz o 200 GHz, esto en un intervalo de las bandas de 1500 a 1600 nm. Con la tecnología DWDM, las longitudes están más unidas comparadas con las de CWDM, obviamente el costo de los Multiplexores es mucho más caro y complejo que los que manejan CWDM. Sin embargo, con DWDM, es mucho más grande ya que podemos utilizar más número de longitudes de onda, y se puede alcanzar mucha más distancia que con CWDM, lo cual es una ventaja muy grande ya que la red que se pretende implementar se trata de largas distancia.

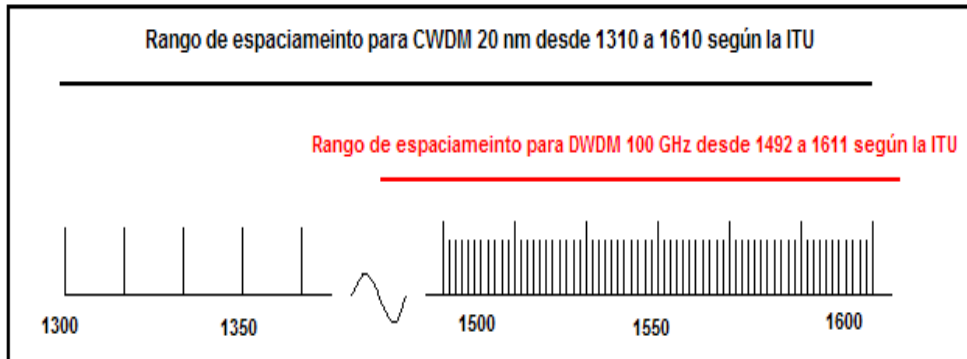


FIGURA 25: Rangos de espaciamento para DWDM y CWDM

DWDM es WDM de banda angosta, que generalmente involucra ocho o más longitudes de onda de luz. El primer sistema DWDM fue diseñado para aplicaciones de intercambio de una red long-haul. Long-haul se refiere a distancias mayores de 100 Km.

Con DWDM las salidas de dos o más terminales SDH son multiplexadas ópticamente en una fibra.

En redes long-haul, la combinación de DWDM y los amplificadores de línea nos brindan una transmisión costo beneficio muy buena, ya que se pueden transmitir tasas de bit agregadas a través de una sola fibra en largas distancias. Las largas distancias en redes long-haul hacen prácticamente imposible el colocar mayor cantidad de fibra óptica. Los proveedores de servicios de larga distancia ganan capacidad adicional utilizando su infraestructura existente, como es lo que se quiere lograr con la red SDH ya existente de CNT E.P.

OADM (Optical Add Drop Multiplexer) son básicamente acopladores de DWDM con la capacidad de añadir o entregar lambdas en un punto intermedio de la red

Los sistemas DWDM trasladan la longitud de onda de la salida de equipo SDH, a una longitud de onda específica, estable, y angosta en el rango de los 1550

nm para que pueda ser multiplexada con otras señales. El dispositivo que realiza esta translación es a veces llamado trasladador de longitud de onda o transponder.

Un transponder puede funcionar como un regenerador de SDH donde su encabezado esté basado en estándares.

La ITU-T, ha estandarizado la escala de longitudes de ondas a usar en los sistemas de WDM y en DWDM. Estas escalas son también llamadas planes de longitud de onda.

El uso de una escala definida significa que los fabricantes del láser, ya cuentan con valores fijos a los cuales deben de trabajar sus componentes. Ya pueden construir filtros y el láser a una especificación común.

El espacio entre los canales es un intervalo entre longitudes de onda. Entre más apretado estén los espacios entre las longitudes de onda, es más difícil construir sistemas de láser con tolerancia a longitudes de onda apretadas y filtros que separen las lambdas o longitudes de onda.

La banda C requiere de 50GHz de separación moviéndose de 32 a 80 longitudes de onda. Conforme la tecnología avanza se hace más posible el hecho de poder meter más longitudes de onda dentro de una fibra. Existe otra ventana llamada banda L, la cual ha probado ser capaz de transportar 80 lambdas.

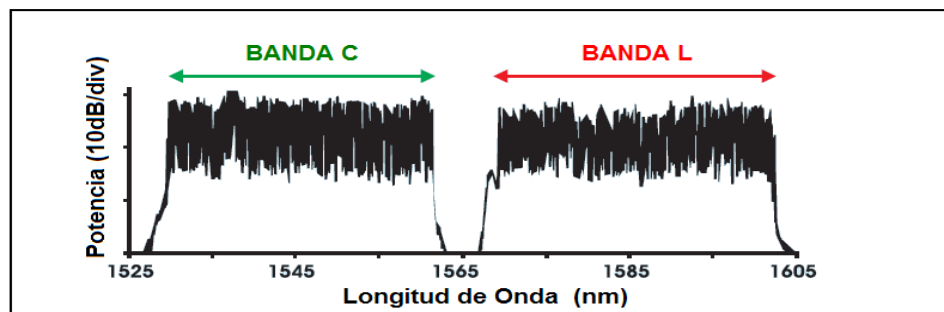


FIGURA 26: Espectro de las Bandas C y L

Los esfuerzos de los investigadores hoy en día se están enfocando en una nueva banda llamada banda S, la cual tiene mayor espacio de banda, esto significa que las longitudes de onda tendrán más espacio entre ellas y como consecuencia el costo de los sistemas de láser será reducido.

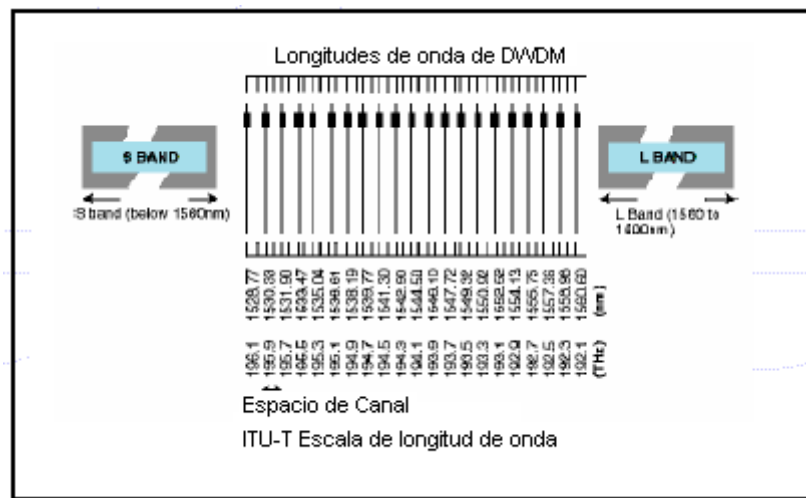


FIGURA 27: Escala de longitud de onda para DWDM

2.4.4 SISTEMA DWDM

El sistema DWDM se apoya en varios pilares fundamentales:

- El formidable ancho de banda (varios terahertzios) de la fibra óptica poco utilizada hasta entonces.
- La capacidad de los diodos láser para emitir a una longitud de onda precisa, estable y con un ancho espectral muy reducido.
- La transparencia de los amplificadores de fibra a la velocidad de línea y su propiedad de amplificar uniformemente varios canales a la vez
- La capacidad de los receptores de discernir entre distintas longitudes de onda muy cercanas

Un sistema DWDM típico se compone de transmisores, receptores, EDFAs (Erbium Doped Fiber Amplifier), multiplexores DWDM y demultiplexores DWDM.

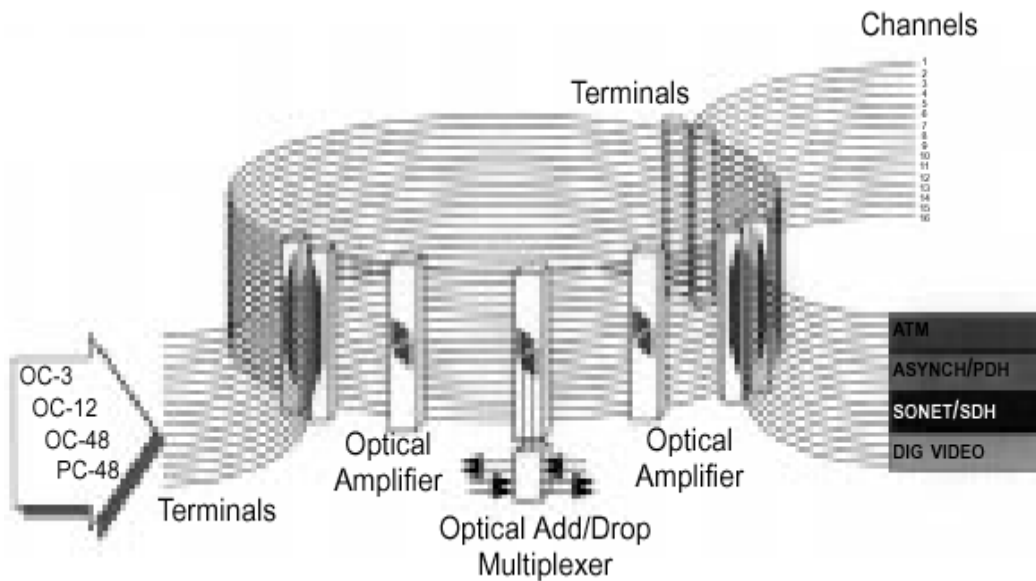


FIGURA 28: Sistema DWDM típico

2.4.5 CARACTERÍSTICAS

- La tecnología Super WDM se ha desplegado de modo generalizado en la transmisión de muy largo alcance. Ahora, la solución ha desarrollado Super WDM+ para una transmisión de muy largo alcance más rentable.
- Las características principales de la solución ULH de Huawei son las siguientes:
 - Transmisión ULH 10G de 5000 km sin regeneración
 - Transmisión de largo recorrido 10G de 350 km (70 dB)
 - Transmisión 40G de 1500 km
 - Adecuada para diversos tipos de fibras (G.652, G.655, G.653, etc.)
 - Reduce los gastos de capital de la red en más de un 30%

Para la transmisión de capacidad muy elevada, Huawei proporciona distintas soluciones para distintos escenarios de aplicación.

Las características principales de la solución de gran capacidad de Huawei son las siguientes:

- Admite la transmisión de longitudes de onda de 192 en banda C (banda C ampliada)
- Multiplexado inverso para la transmisión de interfaces de cliente 40G en sistemas DWDM 10G
- Admite la transmisión mixta 10G/40G
- Máximo de 80 canales 40G en banda C.

2.4.6 FUNCIONAMIENTO DE SISTEMAS DWDM.

El sistema realiza las principales funciones siguientes:

- **La Generación de la señal.** La fuente, un láser de estado sólido, debe proporcionar la luz estable dentro de una amplitud de banda específica, estrecha que lleva los datos digitales, modulados como una señal analógica.
- **Combinación de la señal.** Los sistemas modernos de DWDM emplea multiplexores para combinar las señales. Hay alguna pérdida inherente asociada con al multiplexaje y demultiplexaje. Esta pérdida es dependiente sobre el número de canales, pero puede ser mitigada con amplificadores ópticos, que aumentan todas las longitudes de onda inmediatamente sin la conversión eléctrica.
- **Transmitiendo las señales.** Los efectos de interferencia y la degradación de señal óptica o la pérdida deben ser contados en la transmisión con fibra

óptica. Estos efectos pueden ser reducidos al mínimo controlando variables como espaciados de canal, la tolerancia de longitud de onda, y niveles de poder de láser. Sobre un enlace de transmisión, la señal óptimamente puede tener que ser amplificada.

- **Separando las señales recibidas.** Del lado del receptor, las señales multiplexadas deben ser separadas hacia fuera. Aunque esta tarea pareciera ser simplemente lo contrario de combinar las señales, es en realidad técnicamente más difícil.
- **Recibiendo las señales.** La señal demultiplexada es recibida por una foto detectora.

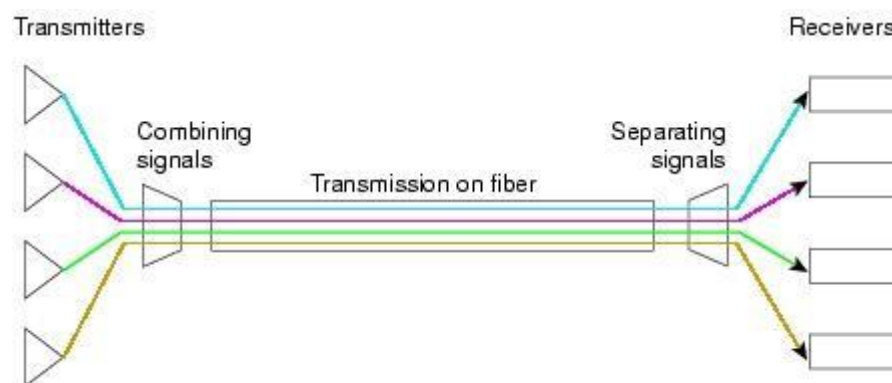


FIGURA 29: Transmisión y Recepción DWDM

2.4.7 PRINCIPIOS DE LA TRANSMISIÓN ÓPTICA

La técnica de DWDM posee una importante capa óptica que es responsable de la transmisión de datos a través de la red.

De esta manera, algunos principios básicos deben ser considerados para transmitir información en forma óptica.

- Espaciamiento de canal:** La separación mínima en frecuencia entre dos señales multiplexadas se conoce como ESPACIAMIENTO DE CANAL.

Si las señales son ópticas se introduce el mismo concepto para longitud de onda.

Los factores que controlan el espaciamiento de señal son tanto el ancho de banda de los amplificadores como la capacidad de los receptores de identificar dos longitudes de onda cercanas.

b. Sentidos de transmisión: La fibra óptica permite transmisiones en ambas direcciones. Basados en esta característica el DWDM se puede implementar en dos formas:

- **UNIDIRECCIONAL:** todas las longitudes de onda viajan en la misma dirección (simplex)
- **BIDIRECCIONAL:** el set de longitudes de onda se divide en dos bandas, una para cada sentido de transmisión.

2.4.8 SISTEMA DE TRANSMISIÓN TECNOLOGÍA DWDM

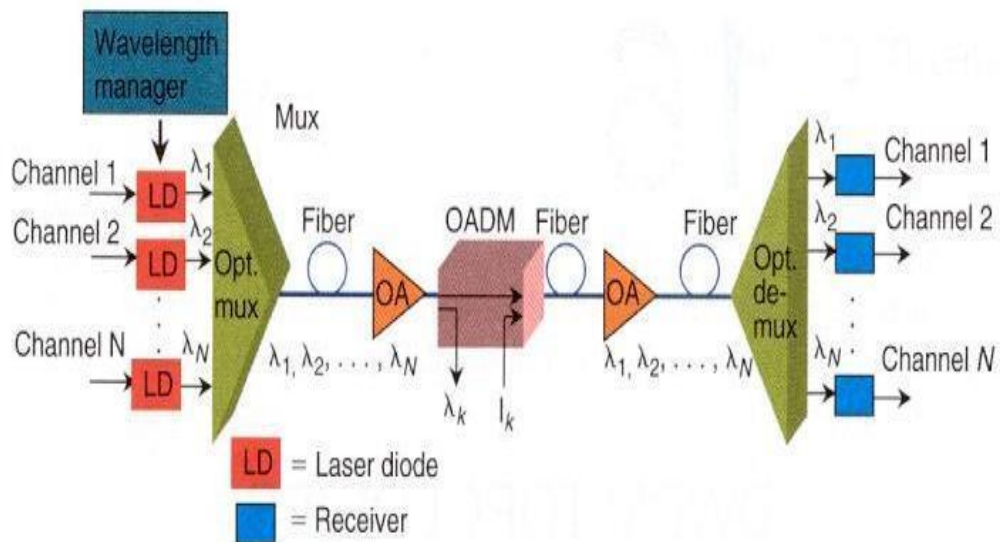


FIGURA 30: Sistema de transmisión DWDM

Los sistemas de transmisión basados en la multiplexación densa de longitud de onda (DWDM), conforman el modo más eficiente de transporte por fibra óptica de señales digitales con gran ancho de banda (hasta 2,5Gbps, 10Gbps e, incluso, 40Gbps por canal). El concepto fundamental es que cada señal digital es transportada por una portadora óptica independiente en una misma fibra. Este tipo de sistemas ha evolucionado mucho y se ha pasado de sistemas multiplexados entre 2 y 8 canales al inicio de los años 90 a sistemas que multiplexan 64 y más portadoras en las bandas de operación de esta tecnología (bandas C y L). Los sistemas multiplexados en DWDM usan típicamente separaciones de longitudes de onda de 200 GHz (1,6nm), 100 GHz (0,8nm) o 50 GHz (0,4nm).

Un sistema de transmisión típico basado en tecnología DWDM tiene las etapas siguientes:

2.4.8.1 GENERACIÓN DE LA SEÑAL.

La fuente de luz es un transductor electroóptico, un láser de estado sólido, el cual suministra luz coherente a una longitud de onda determinada, con una gran estabilidad proporcionada por un control de temperatura del láser. Esta portadora óptica es la que transporta los datos digitales.

2.4.8.2 AGREGACIÓN DE PORTADORAS ÓPTICAS.

Los sistemas DWDM emplean multiplexores para combinar las señales transmitidas. Hay algunas pérdidas inherentes asociadas a la multiplexación y demultiplexación.

2.4.8.3 TRANSMISIÓN DE SEÑALES.

Los efectos de diafonía y la degradación (atenuación y dispersión) o pérdida de la señal óptica debe ser tenido en consideración en la transmisión

por fibra óptica. Estos efectos se minimizan mediante el espaciado entre canales, la banda de guarda y la línea con la portadora y la potencia del láser. También hay dispositivos que amplifican la señal para compensar la atenuación (amplificadores ópticos EDFA); dispositivos compensadores de dispersión (DCF) que evitan este fenómeno, intrínseco de la fibra óptica, que se agudiza con la distancia y la velocidad de transmisión de la señal digital transportada; y, finalmente, también existen regeneradores que reformatean el pulso digital y recuperan el reloj de la señal mediante una conversión eléctrica (sistemas 3R) y posteriormente otra conversión óptica.

2.4.8.4 SEPARACIÓN DE LAS SEÑALES RECIBIDAS.

En el lado del receptor, las señales multiplexadas deben ser separadas por filtros ópticos empleando tecnologías similares a los filtros multiplexores (thin film, AWG) en función del número de canales a combinar o a separar.

2.4.8.5 RECEPCIÓN DE SEÑALES.

La señal demultiplexada es recibida por un fotodetector PIN o APD en función de la sensibilidad que requiera el receptor, la cual viene determinada por las pérdidas del enlace. Este transductor óptico-eléctrico, conectado a un amplificador de transimpedancia y a un recuperador de reloj, forma el bloque del receptor.

Además de estas etapas, un sistema DWDM también debe estar equipado con interfaces en el lado cliente (señal tributaria) para recibir correctamente la señal de entrada. Esta función la realizan los transponders. Los transponders son, normalmente, dispositivos convertidores de lambda (longitud de onda).

2.4.9 FUENTES Y AMPLIFICADORES

2.4.9.1 AMPLIFICADORES

Una forma de implementación de DWDM podría ser la que se muestra en la (figura31):

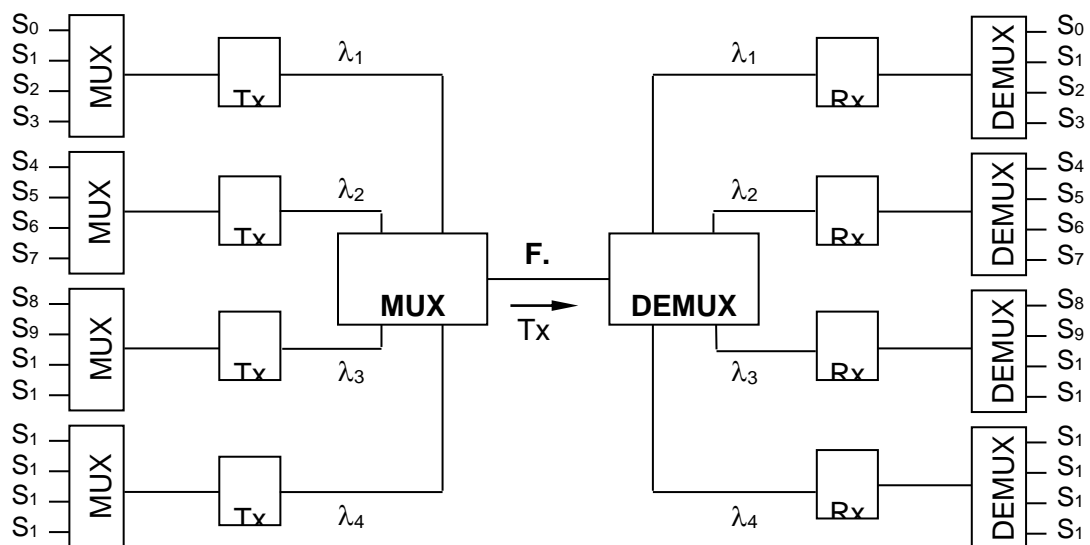


FIGURA 31: Topología aplicada a la transmisión unidireccional de 16 señales eléctricas distintas.

En el caso de que las longitudes del sistema requieran que se regenere la señal, deberán usarse amplificadores. Para amplificar este tipo de señales deberá usarse un equipo que separe las diferentes longitudes de onda y luego convierta las señales ópticas a eléctricas para así poder amplificar los distintos canales.

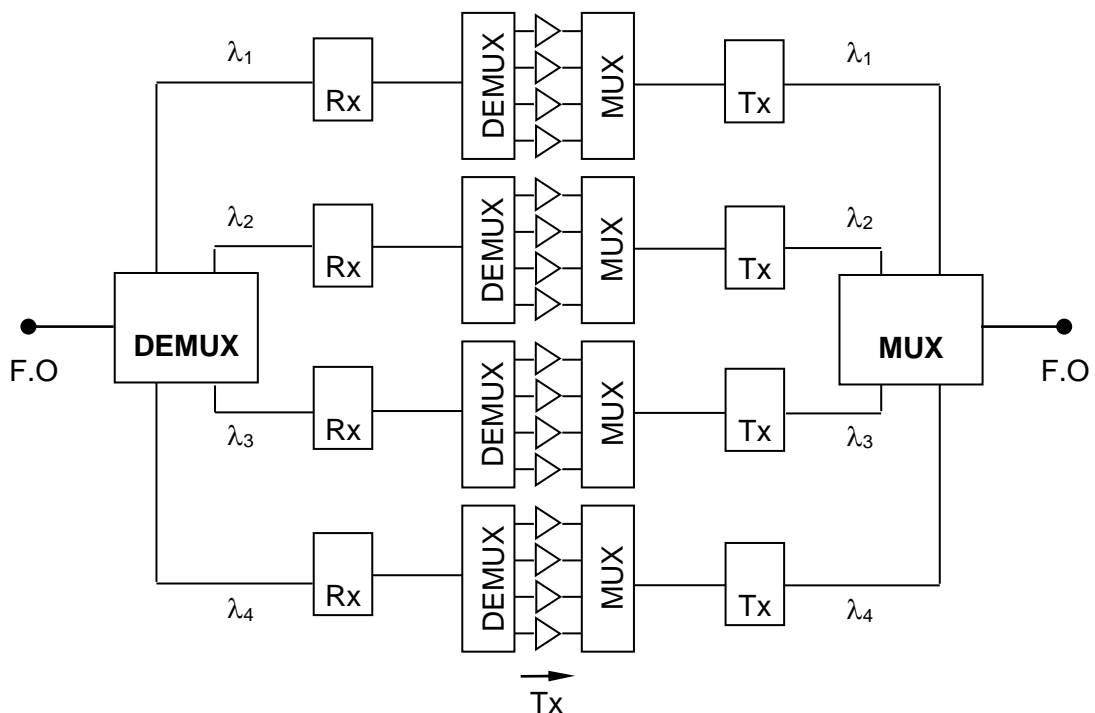


FIGURA 32: Equipo encargado de la regeneración de la señal

Cuando se trata de redes de alto alcance, con alto nivel de carga los efectos de dispersión y atenuación son muy importantes, y una solución a este problema puede ser evitar la conversión optoelectrónica.

Los amplificadores ópticos son dispositivos usados para regenerar una señal débil y distorsionada, operando totalmente en el dominio óptico, sin convertir la señal en pulsos eléctricos.

La propiedad de amplificación es alcanzada dopando con Erblio un trozo de fibra conformando así un dispositivo activo llamado EDFA (Erbium Dopped Fiber Amplifier). Así este tipo de fibras activas eliminan el uso de regeneradores y hacen que una red DWDM sea económicamente realizable.

Los EDFAs poseen un ancho de banda de alrededor de 30 nm (1530 - 1560 nm)

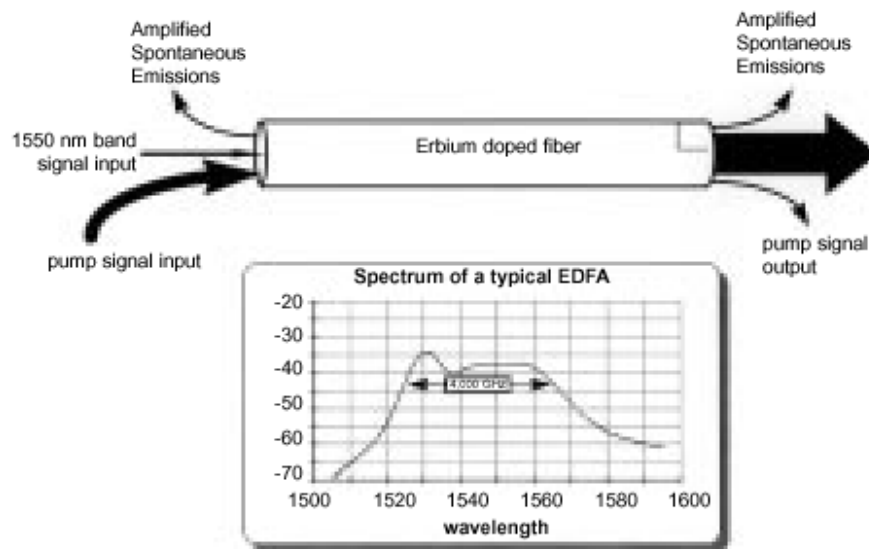


FIGURA 33: Espectro de un EDFA típico

La necesidad de colocar la mayor cantidad posible de canales (longitudes de onda) en una misma fibra óptica que usa EDFAs puede derivar en un alto nivel de interferencia entre canales.

Para solucionar este problema se han desarrollado los DBFA (Silicón Erbium-Based Dual-Band Fiber Amplifier) que son similares a los EDFAs pero con posibilidad de regenerar señales entre 1528 y 1610 nm. Los DBFA tienen dos subbandas, la primera es la de los EDFAs y la segunda se conoce como BANDA EXTENDIDA EBFA (Extended Band Fiber Amplifier).

Los DBFAs tienen ganancia plana, bajo ruido y bajos niveles de saturación en toda su banda de trabajo, lo que los transforma en componentes fundamentales para la implementación de sistemas DWDM.

2.4.9.2 LASERS

Para la correcta implementación de DWDM, son necesarios una gama de diodos láser de longitudes de onda precisas y controladas. El éxito de DWDM está condicionado a la disponibilidad de estos componentes.

Por otra parte, los avances tecnológicos en la fabricación de diodos láser que sean estables temporal y térmicamente, son los factores que determinan la calidad y cantidad de información que el sistema DWDM podrá manejar, así como las distancias que podrá cubrir.

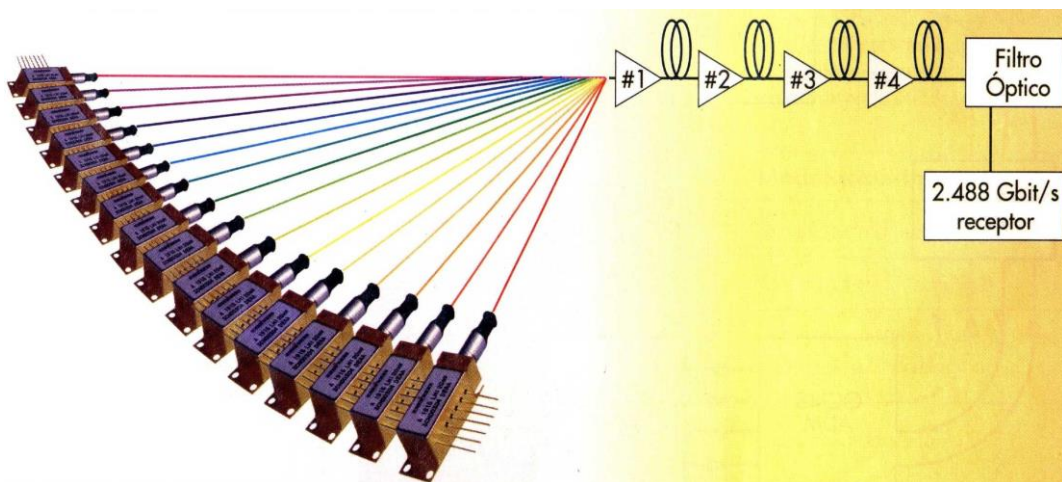


FIGURA 34: Utilización de componentes WDM en una línea de transmisión

En cuanto a los tipos de láseres disponibles actualmente que podrían ser utilizados en DWDM podemos destacar dos: Láser Fabry-Perot y los Láser DFB.

Los Láser Fabry-Perot tienen como desventaja su ancho espectral grande, pero a su vez son fáciles de fabricar y por ende de bajo costo. En enlaces de gran longitud, para minimizar la distorsión del pulso causada por la dispersión cromática en la fibra óptica y para mantener la estabilidad del sistema se deben usar fuentes láser DFB.

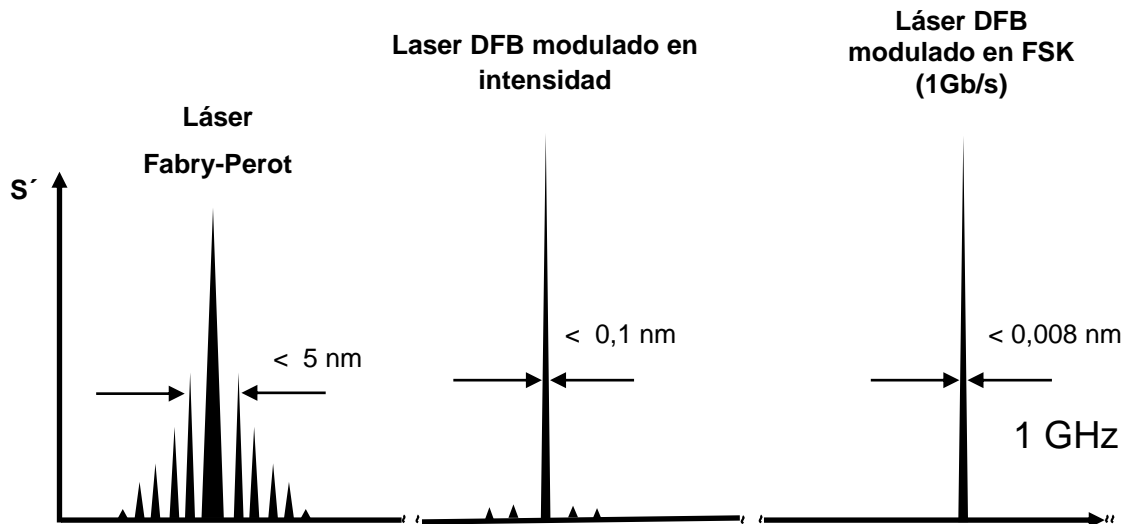


FIGURA 35: Espectro de los transmisores

2.4.10 COMPONENTES DWDM

Un sistema DWDM se compone de diversas unidades como los amplificadores ópticos (nombrados con anterioridad), multiplexores Add/Drop (Add/Drop multiplexors, ADM) y Optical Cross Connects (OXC) para su funcionamiento.

El concepto de Red de Transporte Óptica implica que el proveedor del servicio debería tener acceso óptico al tráfico en varios nodos de la red. Todos los componentes anteriores aseguran este objetivo y además eliminan la necesidad de cualquier otro accesorio electrónico (lo cual significa que, no hay necesidad de conversión optoelectrónica).

- **Multiplexor de Inserción / Extracción de longitud de onda**

(Wavelength Add/Drop multiplexor, WADM)

Este es el subsistema que permite la evolución de una red óptica punto a punto de una sola longitud de onda, a las redes multi-longitud de onda DWDM. Como su nombre lo indica, los WADM insertan o sacan longitudes de onda selectivamente sin necesidad de una terminal SONET / SDH. Son responsables de administrar el tráfico WDM en la fibra.

En muchos otros aspectos, los WADM sirven como punto de entrada a la capa óptica.

La utilización práctica del ancho de banda de la fibra se logra siendo capaz de remover o insertar selectivamente canales individuales sin necesidad de regenerar todos los canales.

Un WADM se caracteriza por el número de canales Add/Drop (fibras virtuales). Los canales a insertar o remover pueden ser preasignados o reconfigurables automáticamente, basado en el tipo de implementación. La primera se llama WADM fijo (fixed WADM) y la segunda WADM reconfigurable.

- **Transconector óptico (Optical Cross Connect, OXC)**

El OXC es un componente que provee la función de interconectar N puertos de entrada con N puertos de salida, cada uno operando en gran número de longitudes de onda individuales multiplexadas. La administración flexible del ancho de banda se obtiene con la introducción de un OXC.

Un OXC provee reconfiguración de la red y permite a los proveedores de red transportar y administrar longitudes de onda eficientemente en la capa óptica. Estos atributos ayudan al OXC interconectar canales ópticos de distintas

velocidades (OC-12, OC-48 y OC-192) y diferentes formatos como SONET/SDH y ATM.

- **Convertidores de longitudes de Onda**

La función de este componente es convertir datos sobre una longitud de onda de entrada a otra diferente longitud de onda de salida dentro del ancho de banda de operación del sistema. Se lo utiliza en routers cuando la longitud de onda necesita ser cambiada. Un convertidor ideal debería ser transparente a diferentes tasas de bit y formatos de señal.

La conversión de longitud de onda puede ser optoelectrónica o toda óptica, basado en la estrategia empleada. El uso de un esquema en particular depende de los requerimientos del sistema. Aun así, la conversión completamente óptica es más ventajosa y está orientada a las futuras redes totalmente ópticas.

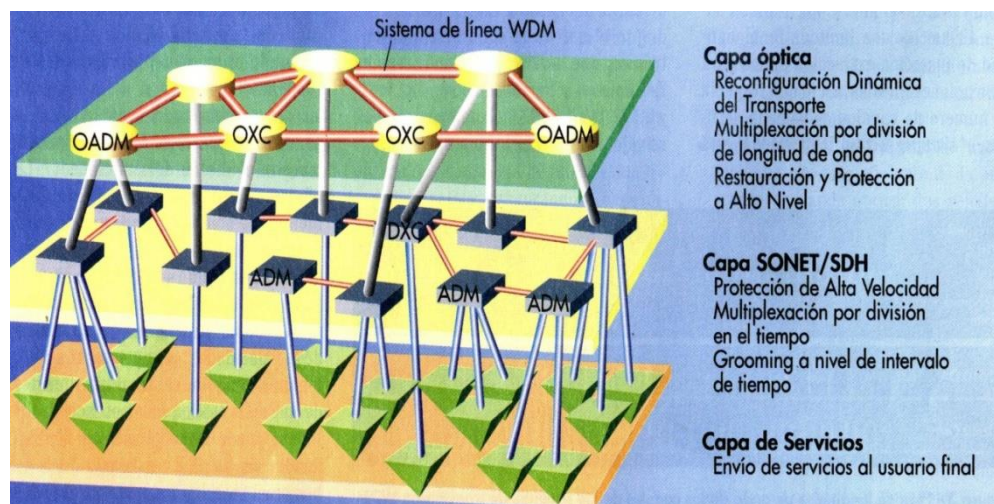
2.4.11 ARQUITECTURA DE LAS REDES ÓPTICAS

Actualmente existen dos capas básicas:

- La capa de servicios, que envía servicios a los usuarios
- La capa SONET/SDH que soporta un gran número de funciones importantes, incluyendo multiplexación por división de tiempo de las señales de los tributarios, transporte de las tramas normalizadas vía interfaces ópticas, conexión flexible a nivel de espacio y tiempo y gestión de red.

Los nodos de la red están basados en multiplexores de inserción / extracción (ADM) y transconductores digitales (DXC). Consecuentemente, las señales ópticas que se propagan a través de la fibra tienen que ser convertidas en eléctricas a la entrada de los nodos, procesadas eléctricamente y encaminadas de acuerdo con la topología de la red.

La necesidad de una nueva tecnología y de una nueva capa en la parte superior de las dos capas existentes (figura 36) ha emergido como un requisito de las redes en continua expansión, del aumento de la demanda de ancho de banda, del cada vez más pesado tráfico SONET / SDH, que resulta cada vez más difícil de gestionar, y de las restricciones que presenta en la flexibilidad de la oferta de



servicios.

FIGURA 36: *Introducción de la capa óptica en la parte superior de la capas SONET/SDH y de servicios.*

2.4.11.1 CAPA ÓPTICA

Como para cualquiera de las otras capas, para esta capa se debe definir una arquitectura. La arquitectura de esta capa se puede definir como una red de mallas interconectadas.

Un camino lumínico (lightpath) se define como el camino entre dos nodos y es equivalente a una longitud de onda disponible para la comunicación entre esos nodos. De esta forma, se describen dos aspectos de la topología de la red: la topología física y la topología virtual.

La topología física posee nodos OXC interconectados por pares de fibra punto a punto.

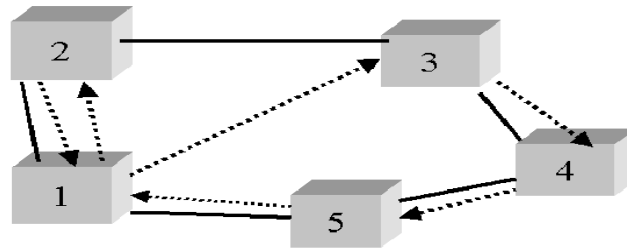


FIGURA 37: Topología física. Una red WDM que consiste de nodos Cross connect interconectados por pares de enlaces de fibra óptica punto a punto.

La topología virtual es el conjunto de todos los caminos lumínicos.

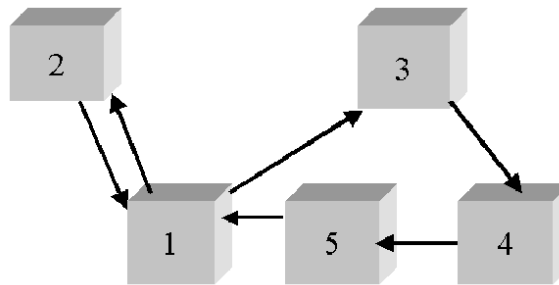


Figura 38: La topología virtual de la red WDM

La dirección de las flechas muestra realmente la dirección de los caminos lumínicos.

2.4.12 TOPOLOGÍAS Y ESQUEMAS DE PROTECCIÓN PARA DWDM.

Las arquitecturas de redes están basadas en muchos factores, incluyendo tipos de aplicaciones y protocolos, distancia, utilización y estructura de acceso, y topologías de redes anteriores. En el mercado metropolitano, por ejemplo, topologías punto-a-punto pueden ser usadas para conectar puntos de empresas, topología de anillo para conectar instalaciones Inter.-oficinas (IOFs) y para acceso residencial, y topologías de malla pueden ser usadas para conexiones Inter-POP

(Inter Punto-a-punto) y en backbones. En efecto, la capa óptica puede ser capaz de soportar muchas topologías y, puesto al desarrollo impredecible en esta área, estas topologías pueden ser flexibles.

Las topologías en uso son la punto-a-punto y anillo.

2.4.12.1 TOPOLOGÍA PUNTO-A PUNTO.

La topología punto-a-punto puede ser implementada con o sin OADMs. Estas redes están caracterizadas por velocidades de canales ultra rápidos (10 a 40 [Gbps]), alta integridad y confiabilidad de la señal, y rápida restauración de trayectoria. En redes long-haul (larga distancia), la distancia entre transmisor y receptor puede ser varios cientos de kilómetros, y el número de amplificadores requeridos entre ambos puntos, es típicamente menor que 10. En redes MANs, los amplificadores no son necesarios frecuentemente.

La protección en topologías punto-a-punto puede ser proveída en una pareja de caminos. En los equipos de primera generación, la redundancia es un nivel del sistema. Líneas paralelas conectan sistemas redundantes a ambos extremos.

En los equipos de segunda generación, la redundancia es al nivel de tarjeta. Líneas paralelas conectan un solo sistema en ambos extremos que contienen transpondedores, multiplexores y CPUs redundantes.

Un esquema de este tipo de topología se puede observar en la (figura 39).

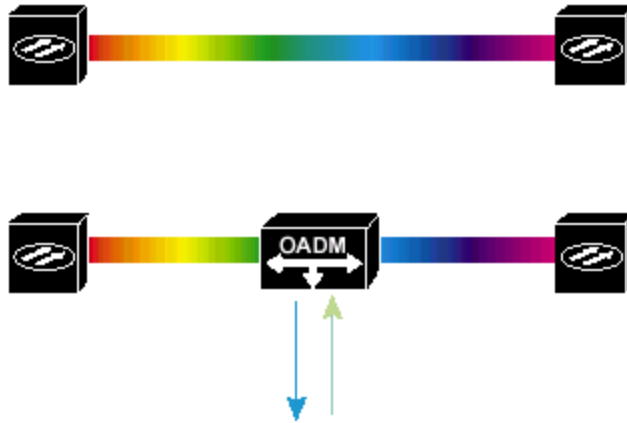


FIGURA 39: Topología punto-a-punto

2.4.12.2 TOPOLOGÍA DE ANILLO.

Los anillos son las arquitecturas más comunes encontradas en áreas metropolitanas y en tramos de unas pocas decenas de kilómetros. La fibra anillo puede contener sólo cuatro canales de longitudes de onda, y típicamente menos nodos que canales. El Bit Rate está en el rango de los 622 [Mbps] a los 10 [Gbps] por canal.

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

Para la protección en esta topología se utiliza el esquema 1+1. Se tiene dos líneas de conexión, la información se envía por una de ellas. Si este anillo falla, se switchea la trayectoria al otro anillo. Un esquema de esta topología se puede observar en la (figura 40).

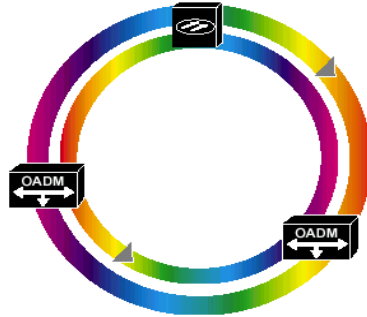


FIGURA 40: Topología anillo

2.4.12.3 TOPOLOGÍA DE MALLA.

La arquitectura de malla es el futuro de redes ópticas. Como las redes evolucionan, las arquitecturas de anillo y punto-a-punto tendrían un lugar, pero la malla sería la topología más robusta. Este desarrollo sería habilitado por la introducción de los OxCs (Optical Cross-Connects) y switches configurables, que en algunos casos reemplazarían, y en otros complementarían, a los dispositivos DWDM fijos.

A partir del punto de vista del diseño, hay una airosa trayectoria evolutiva de topologías de punto-a-punto y malla. Al comienzo de enlaces punto-a-punto, dotados de nodos OADM al principio para flexibilidad, y posteriormente en las interconexiones, la red puede evolucionar en una malla sin un rediseño completo. Adicionalmente, las topologías de anillo y malla pueden ser conectadas a enlaces punto-a-punto (figura 41).

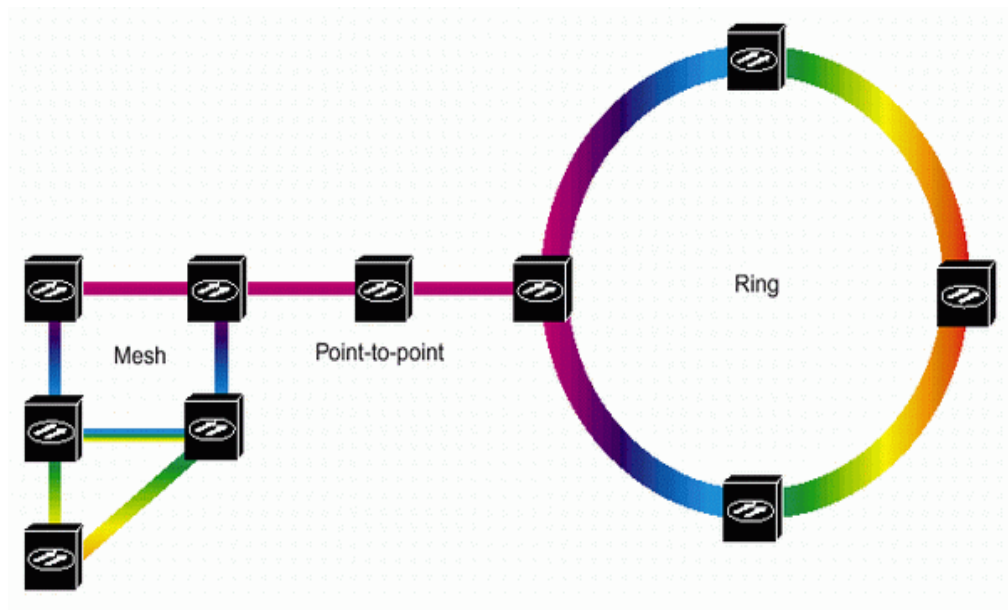


FIGURA 41: Arquitecturas malla, punto-a-punto y anillo

Las redes DWDM tipo malla, consistiendo en nodos totalmente ópticos interconectados, necesitarían de la próxima generación de protección. Donde los esquemas de protección previos están basados en redundancia del sistema, de tarjeta, o al nivel de fibra, la redundancia ocurriría al nivel de longitud de onda. De esta forma, entre otras cosas, un canal de datos podría cambiar de longitud de onda a medida que viaja a través de la red, debido a una falla en el ruteo o switcheo.

Las redes tipo malla, por lo tanto, requerirían de un alto grado de inteligencia para realizar las funciones de protección y administración de ancho de banda, incluyendo a la fibra y al switcheo de longitud de onda. Los beneficios en flexibilidad y eficiencia, realmente, son potencialmente grandes. El uso de fibra, el cual puede ser bajo en soluciones anillo puesto que requieren de protección de fibra en cada anillo, puede ser mejorado en un diseño de malla. La protección y restauración pueden estar basadas en caminos compartidos, por esta razón se requiere de pocos pares de fibra para la misma cantidad de tráfico y no desperdiciar longitudes de onda sin usar.

2.4.13 RUTEO DE LONGITUD DE ONDA EN REDES ÓPTICAS

Una red óptica consiste de routers de longitud de onda y nodos que están interconectados de a pares por fibras ópticas.

A pesar de que cada conexión puede soportar muchas señales de longitudes de onda distintas, una red ruteada en longitud de onda totalmente óptica es aquella red que trasporta datos de un lugar a otro sin necesidad de una conversión optoelectrónica.

Así en las redes ópticas existe la posibilidad de definir el camino que debe seguir la información según la longitud de onda en la que la misma se esté transmitiendo.

Teniendo en cuenta este nuevo concepto pueden definirse tres tipos de routers.

2.4.14 ROUTERS DE LONGITUD DE ONDA:

2.4.14.1 ROUTERS NO RECONFIGURABLES

Para cada entrada rutea las señales según su longitud de onda.

Así, una vez construido el router se define el ruteo.

Entonces, las redes que contienen solo este tipo de routers son no reconfigurables.

2.4.14.2 ROUTERS RECONFIGURABLES INDEPENDIENTES DE LA LONGITUD DE ONDA

Este tipo de routers tiene patrón entrada / salida que puede ser dinámicamente configurado. Sin embargo, dicho patrón es independiente de la longitud de onda de la señal.

2.4.14.3 ROUTER RECONFIGURABLE SELECTIVO EN LONGITUD DE ONDA

Combina las características de los dos anteriores: posee propiedades de reconfiguración dinámica y un patrón de ruteo que es función de la longitud de onda de la señal.

2.4.15 REDES ÓPTICAS CON CONVERSIÓN DE LONGITUD DE ONDA

Las redes que discutimos hasta ahora son conocidas como redes restringidas a una continuidad de longitud de onda. En tales redes, para establecer un camino lumínico (lightpath) se requiere usar la misma longitud de onda en todos los enlaces del mismo.

Por ejemplo:

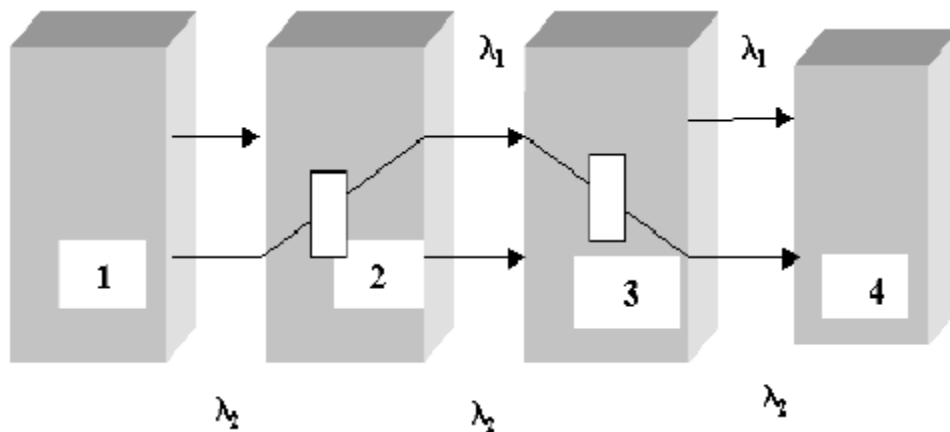


FIGURA 42: Red óptica con conversión de longitud de onda

En esta red se necesita establecer un camino lumínico entre 1 y 4 en el instante mostrado y no es posible debido a que los nodos están utilizando algunos lightpath para otra función. Así, los enlaces de longitud de onda λ_1 (1-2) y (3-4) están ocupados, al igual que el enlace de longitud de onda λ_2 (2-3). Es evidente

que la comunicación entre 1 y 4 estaría imposibilitada momentáneamente hasta que se liberen estos enlaces.

Entonces, podríamos eliminar este problema, convirtiendo los datos que llegan desde el nodo 1 en λ_1 a λ_2 para que puedan ser transmitidos del nodo 2 al 3.

Esta técnica es conocida como conversión de longitud de onda. Fundamentalmente, dicha red es similar a una red de conmutación de circuitos.

Para cualquier red necesitamos que el uso de ancho de banda sea lo más eficiente posible. Los convertidores de longitud de onda se han propuesto como una solución parcial a este problema. Tales dispositivos habían sido definidos como aquellos que convierten la señal de entrada en λ_e en la señal de salida en λ_s , por lo tanto incrementando el factor de rehuso.

Los convertidores de longitud de onda ofrecen un incremento del rendimiento al 40% en los valores de rehuso cuando la disponibilidad de longitud de onda es baja.

En el gráfico siguiente se puede ver la diferencia conceptual entre los distintos tipos de conmutaciones. Las mismas son usadas en los diferentes tipos de OXC y routers explicados anteriormente.

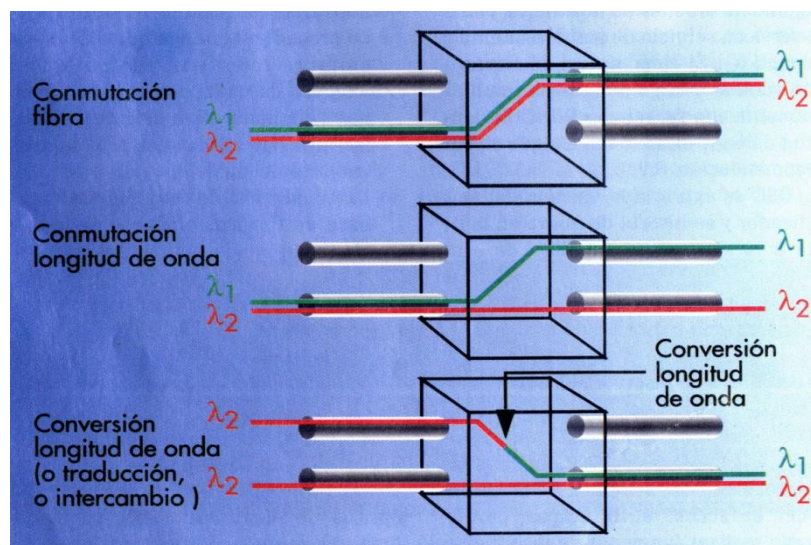


FIGURA 43: Tres tipos de conmutación óptica

2.4.16 IMPLEMENTACIÓN DE LOS SERVICIOS EXISTENTES SOBRE DWDM

El transporte de Gbits, Ethernet, ATM, SONET/SDH, IP sobre diferentes canales es posible. Logrando este objetivo, el sistema se vuelve más flexible y es posible conectar cualquier formato de señal sin la necesidad de uso de equipo extra que actúe como traductor entre los diferentes formatos.

2.4.17 UNA NUEVA VISIÓN PARA SONET/SDH

Una de las ventajas claves de DWDM es como puede ser fácilmente implementado sobre las redes existentes, esto incrementa dramáticamente la capacidad de la red original. Mientras tanto, el equipamiento para redes SONET/SDH (incluyendo terminales multiplexores, multiplexores add-drop y conmutadores cross-connect) seguirá siendo útil para aplicaciones de ancho de banda reducido. SONET/SDH ya no será la única opción para el transporte de grandes volúmenes de información.

Los equipos de DWDM como terminales DWDM, multiplexores add-drop DWDM y OXC, conformaran una red que cumplirá dos funciones:

- El transporte económico de los servicios SONET/SDH de alto ancho de banda
- El transporte de información generada por fuentes como IP y ATM

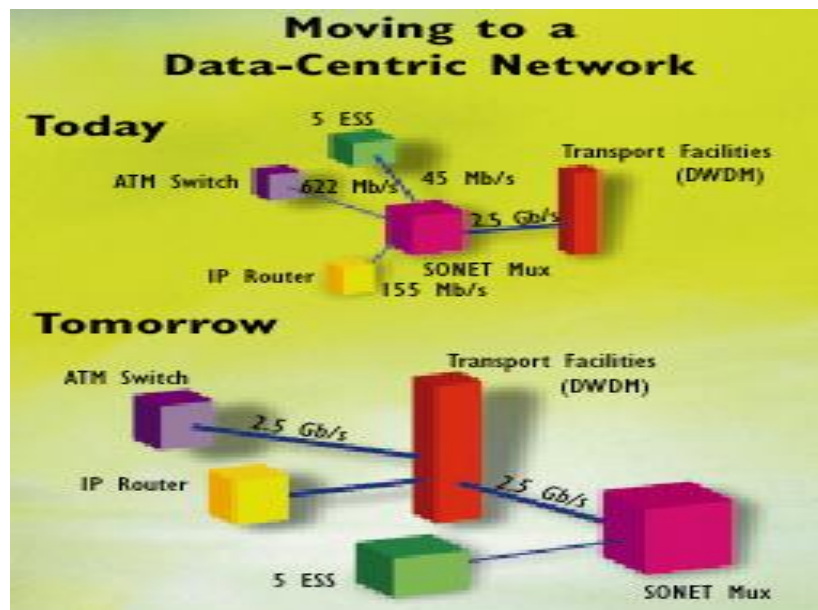


FIGURA 44: La promesa de una red óptica

Así, con la existencia de la capa óptica DWDM, será posible la transmisión en alta velocidad de IP y ATM en forma directa por vía óptica entre nodos remotos (ej.: enlaces submarinos de fibra óptica).

Pero cuando se requiera transmitir información de formato IP o ATM sobre redes complicadas con enlaces de pequeñas longitudes, podrá utilizarse la conexión IP-SONET/SDH y ATM-SONET/SDH favoreciendo así la confiabilidad del sistema ya que estarán disponibles todos los recursos de gestión del sistema SONET/SDH.

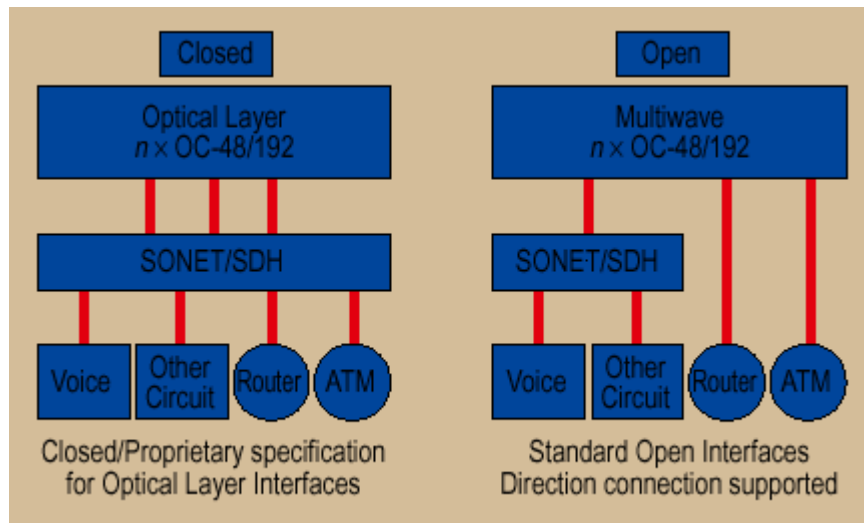


FIGURA 45: Sistemas abiertos y cerrados

2.4.18 GESTIÓN DE LA RED ÓPTICA

Una parte crítica en las redes de telecomunicaciones es el management o Gestión del sistema cuya confiabilidad es especialmente vital en el mundo complejo y de alta capacidad de DWDM. De hecho, en los sistemas de alta capacidad la gestión de red se convertirá en la característica que distinguirá a los sistemas de alta performance.

Los sistemas DWDM más avanzados incluyen programas de gestión de red integrados que utilizan un canal óptico de servicio que es independiente de los canales reales DWDM. Dicho canal, permite a los proveedores de servicio monitorear remotamente al sistema y controlar su performance.

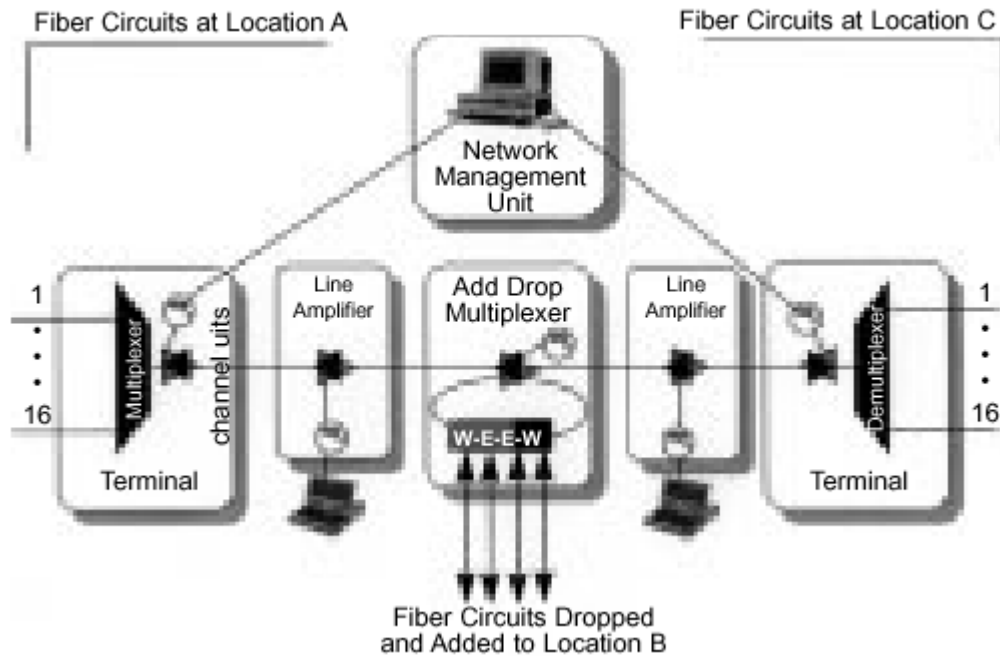


FIGURA 46: Gestión de la Red Óptica.

2.4.19 LIMITACIONES DE LAS REDES ÓPTICAS

Actualmente la implementación de redes totalmente ópticas presenta algunos inconvenientes, los cuales se mencionan a continuación:

- Escasa madurez con dispositivos DWDM recientes.
- Existencia de dispersión cromática y por modo de polarización en las fibras ya instaladas.
- Acumulación de diferencias de ganancias para distintas longitudes de onda en redes con EDFA en serie.
- La conmutación de paquetes sobre las capas ópticas obliga a disponer de buffers de almacenamiento en los nodos ópticos.
- Los dispositivos sintonizables son caros y tienen rango de sintonía baja lo que reducen la cantidad de canales a Multiplexar.
- Ausencia de métodos efectivos de administración y gestión de redes.

2.4.20 VENTAJAS DE DWDM

- Transparencia
- Transmisión de largo alcance
- Alta Capacidad
- Utiliza fibras ópticas existentes
- Alta relación performance/costo
- Confiabilidad
- Facilidad de upgrade

2.4.21 FUTURO DE LAS REDES DWDM

La investigación y desarrollo de las redes DWDM en redes regionales y metropolitanas ha madurado considerablemente en pocos años, además de haberse incrementado el número de prototipos experimentales que actualmente están siendo probados en Europa, Estados Unidos y Japón. Ya se ha anticipado que la próxima generación de Internet, red donde el crecimiento de usuarios ha sido especialmente espectacular, casi exponencial, empleará *backbones* ópticos basados en DWDM.

La evolución esperada para las nuevas arquitecturas de red óptica DWDM se espera que sea similar a la observada en las redes SDH:

En un primer paso (1997-2000) se instalarán enlaces punto a punto. No obstante, la gran capacidad que soportan éstos, hacen de la fiabilidad y seguridad, características totalmente necesarias. Ciertos equipos permiten el envío de información por un camino redundante de protección, lo cual constituye una

forma sencilla y barata de conseguir el reencaminamiento de la información, en caso de cualquier problema en el enlace activo.

El siguiente paso (2000), será la introducción de multiplexores de inserción y extracción de canales ópticos u OADMs, y la aparición de arquitecturas en anillo como las de las actuales redes SONET/SDH.

El último paso (2001), será la interconexión de diversos anillos, dando lugar a que todas las funciones de conmutación y encaminamiento se realicen totalmente en el dominio óptico en función de la longitud de onda de las señales. Un elemento importante son los cross-connects ópticos o OXCs (*Optical Cross Connects*), que son elementos de conmutación de canales entre puertos de entrada y de salida.

En unos cinco años, la red de transporte europea experimentará un profundo cambio, posibilitado por las soluciones DWDM ofrecidas a los operadores europeos por los principales suministradores de dispositivos ópticos: Alcatel, Ciena, DCS, Ericsson, GPT-Siemens, Lucent, NEC, Nortel, Pirelli. Las cifras de mercado que se prevén para DWDM se sitúan, según la consultora norteamericana de fibra óptica KMI, desde los 3.000 millones de dólares actuales, a los más de 9.000 millones para el año 2004, siendo Estados Unidos el principal inversor. La implantación de la fibra óptica seguirá su expansión, creciendo desde los 22,8 millones de Km en 1995, hasta los 63 millones de Km del 2001, con una implantación mayoritaria en Estados Unidos, Japón y China.

2.5 TECNOLOGÍAS DWDM

2.5.1 OTN (REDES ÓPTICAS DE TRANSPORTE)

RED = Una ‘red de fibra óptica’, a prueba de futuro, sobre distancias prácticamente ilimitadas.

TRANSPORTE = Esta red ‘transporta’ juntos en una fibra, de forma transparente y sin interferencias entre sí, diferentes tipos de comunicaciones presentes en la actualidad y que utilizamos en todo momento, por ejemplo la telefonía (digital y analógica), datos (todos los estándares), vídeo, CCTV (cámaras y monitores) y Ethernet (LAN, Gigabit Ethernet).

ABIERTA = Una red de ‘espíritu abierto’ que gestiona todas las interfaces existentes, todas las diferentes aplicaciones que pueden utilizarse en una red ‘abierta’.

2.5.1.1 ADAPTACIONES AL SISTEMA OTN

OTN incorpora una amplia gama de tarjetas de interfaz. Se han desarrollado nuevas interfaces específicas y estándares para la industria a medida que surgen necesidades específicas o que los estándares ganan impulso. OTN es la plataforma ideal de dichos desarrollos.

2.5.1.2 EVOLUCIÓN

Como clasificación general se pueden encontrar redes ópticas pasivas (ITU-T recommendations G.983.3, G.983.4 & G.983.5) y activas. En las redes pasivas solo utilizaban dos landas una para transmisión y otra para la recepción (G.983.3). Aunque en el nuevo borrador (G.983.4 & 5) se mejora el ajuste de ancho de banda asignado a los clientes frente al fijado antes, con lo cual se puede ajustar a la demanda, se incrementan las landas utilizadas hasta ahora con una nueva ventana, en la fig.40., pueden verse las ventanas de trabajo, que permitirá

asignar a alguna de estas bandas servicios específicos y otras a servicios de broadcasting y multicasting.

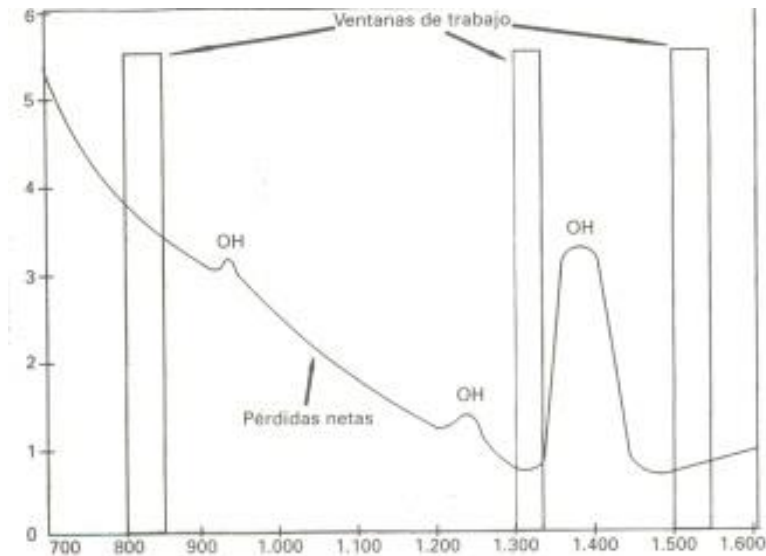


FIGURA 47: Ventanas de trabajo de la fibra óptica

En el caso de que la red no sea muy extensa no será necesario el uso de amplificadores por lo que la red será de tipo pasiva. Si la red tiene una gran extensión se hará necesario el uso de amplificadores, la red será de tipo activa. Las redes de transporte se diseñan para poder interconectar subredes clientes. Los nodos que limitan la red se encargan de convertir la información que llega desde las subredes en forma electrónica a señales ópticas.

A nivel físico una red óptica de transporte requiere conmutadores ópticos unidos mediante fibra óptica.

Los conmutadores y la fibra deberán cumplir diferentes condiciones: como red de transporte debe soportar el transporte de tráfico que proviene de otras redes con diferente arquitectura, y por lo tanto diferentes protocolos.

Es por ello que los grupos de trabajo han desarrollado el estándar GMPLS para poder soportar redes de múltiple naturaleza (eléctrica y óptica), redes asíncronas y síncronas (ATM, SDH), múltiples protocolos (IP, PPP, HDLC, Frame Relay).

2.5.1.3 CONCEPTO

Las redes de transporte están especificadas por la ITU-T en varias recomendaciones G.872 para la arquitectura, el G.709 para los formatos y tramas, G.798 para funciones y procesos. En el dominio óptico las OTN están basadas en la tecnología DWDM y el estándar provee métodos de supervisión y administración de la red. La jerarquía de Redes de Transporte Óptico está basado en el camino óptico (OCh – Optical Channel) donde la carga de datos es soportada por una landa, incluyéndose en esta tecnología canales de supervisión y de administración para establecer la señalización de la red.

En un principio solo conexiones punto a punto y anillos WDM eran posibles pero gracias a sistemas ópticos de conmutación a nivel óptico han permitido que se realicen sólo pequeñas conversiones óptico-eléctricas y viceversa empleadas para la regeneración de la información.

Redes de transporte con conmutadores eléctricos pueden ser cambiados por cross-connects ópticos, lo dicho nos ahorra la conversión de la señal a eléctrico con el inconveniente de caros transceivers y la penalización de rendimiento que ello conlleva.

Para hacer un símil entre las OTN y la capa OSI que hace de referencia a los desarrolladores, de redes LAN IP entre otras, las redes ópticas también están compuestas de capas. Aquí las veremos cómo planas.

Los principales son:

- El plano de control es el que se encarga de establecer, supervisar, mantener y liberar las conexiones y las llamadas.
- El plano de gestión es el encargado de la supervisión, configuración, seguridad y facturación del sistema.
- Por último, el plano de transporte, es el encargado de la transferencia de información de los usuarios de un lugar a otro, ya sea unidireccional o bidireccionalmente.

Otra de las características que han sido incorporadas en las redes ópticas de transporte es la capacidad de mapeo y adaptación de señales. Como comentábamos antes las redes actuales son muy diversas y utilizan diferentes tecnologías y tipos de tramas, las redes de transporte ópticas tienen que tener la capacidad de poder incluir tramas de un amplio aspecto y forma. Y como se introdujo antes GMPLS (RFC 4139) será el protocolo que nos arrope.

El mapeo de las señales de la capa superior a la que realiza el transporte como la capa 2 en el nivel OSI, está basado en el Generic Framing Procedure. Con este tipo de mapeo los bloques de información que nos llegan son decodificados y mapeados en bloques fijos de tramas GFP, y después se transmiten inmediatamente sin esperar a recibir todo el paquete de información. Esto permite que topologías de red como LAN o SAN tengan una muy baja latencia.

2.5.1.4 PROPIEDADES DE LA OTN.

La meta de la OTN es poder hacer el transporte multiservicio de paquetes basado en el tráfico de datos y antiguo, mientras que la tecnología DW (Digital Wrapper) acomoda la gestión no intrusiva y la monitorización de cada canal óptico asignado a una determinada longitud de onda. Por tanto la cabecera "wrapped " (OH) haría posible la gestión y el control de la información de la señal. La figura 1 ilustra como las capacidades de gestión de la OTN se realizan

con la adición de cabeceras en varias posiciones durante el transporte de la señal cliente.

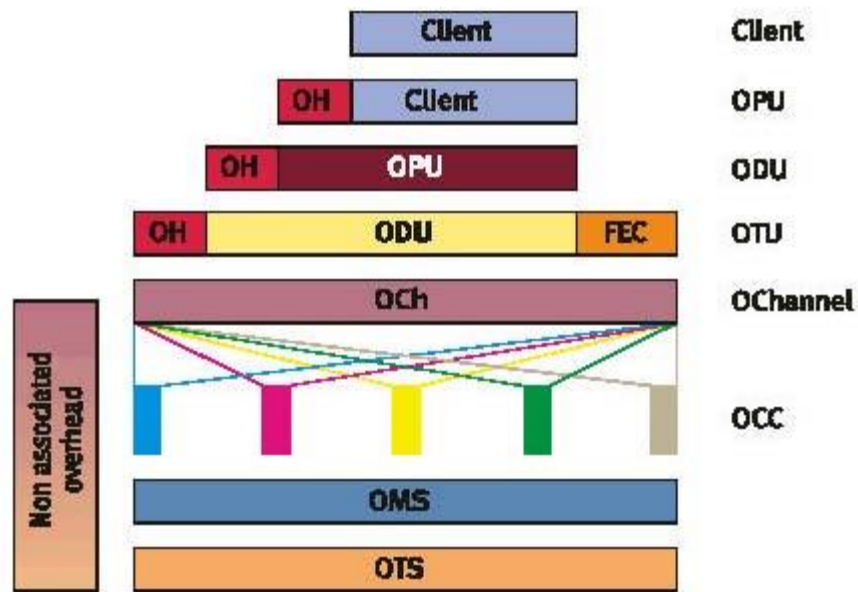


FIGURA 48: Basic transport structure of a OTN

Se añaden varias secciones de cabecera a la señal cliente que juntas con el FEC forman la OTU (Optical Transport Unit). Entonces esto es transportado por una longitud de onda como un Canal Óptico (OCh). Si se transportan múltiples longitudes de onda sobre la OTN, se debe añadir una cabecera a cada una de ellas para poder tener la funcionalidad de gestión de la OTN.

Las secciones Multiplexación Óptica y las secciones Transmisión Óptica se construyen usando la cabecera adicional junto con los OCh.

La OTN presenta muchas ventajas a los operadores de la red incluyendo:

- Transparencia de protocolo
- Compatibilidad hacia atrás de los protocolos existentes
- Empleo de codificación FEC

- Reducción de regeneración 3R (a través de diseños flexibles ópticos de la red)

El último punto es de particular significación en cuanto minimiza la complejidad de la red que nos lleva a una reducción de costes.

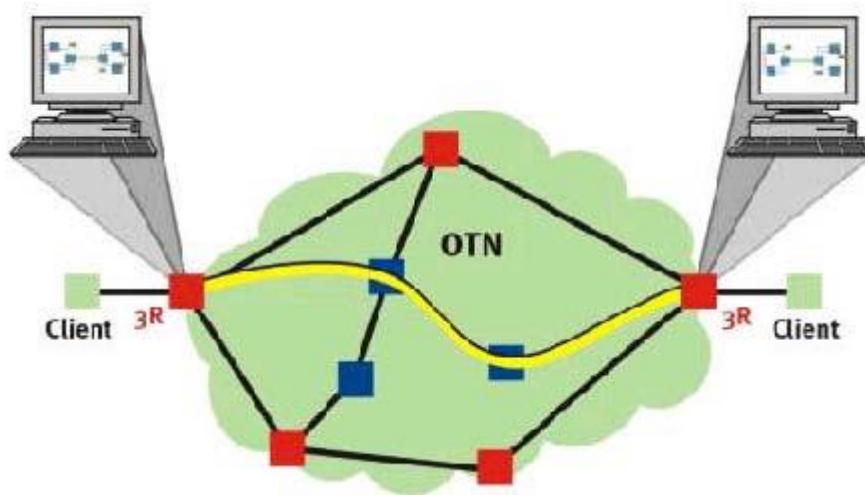


FIGURA 49: OTN network

La (figura 49) ilustra la regeneración 3R que hay en un IrDI (Inter-domain Interface) de entrada a una OTN. El transporte a través de la red puede tener lugar solamente en el dominio óptico. Sin embargo un punto a resaltar es que en la actualidad no hay capacidades de gestión para negociar con las señales ópticas que no se hayan convertido al formato digital. En contraste a la red transparente, la red opaca realiza regeneración 3R en cada nodo de la red.

2.5.1.4.1 LOS ESTÁNDARES ITU-T G.709 PARA LA OTN.

El estándar ITU-T G.709, Network Node Interface para la OTN (Optical Transport Network) define la IrDI (inter-domain interface) de OTN de la manera siguiente:

- Funcionalidad de la cabecera en preparar la red óptica multilongitud de onda.

- Estructura de la trama OTU (Optical Transport Unit).
- Velocidades y formatos permitidos para el mapeo de los clientes.

Se describen dos tipos de interfaces en la recomendación ITU-T G.872 Architecture of the Optical Transport Networks , las ubicaciones de las cuales se ilustran en la (figura 50) .

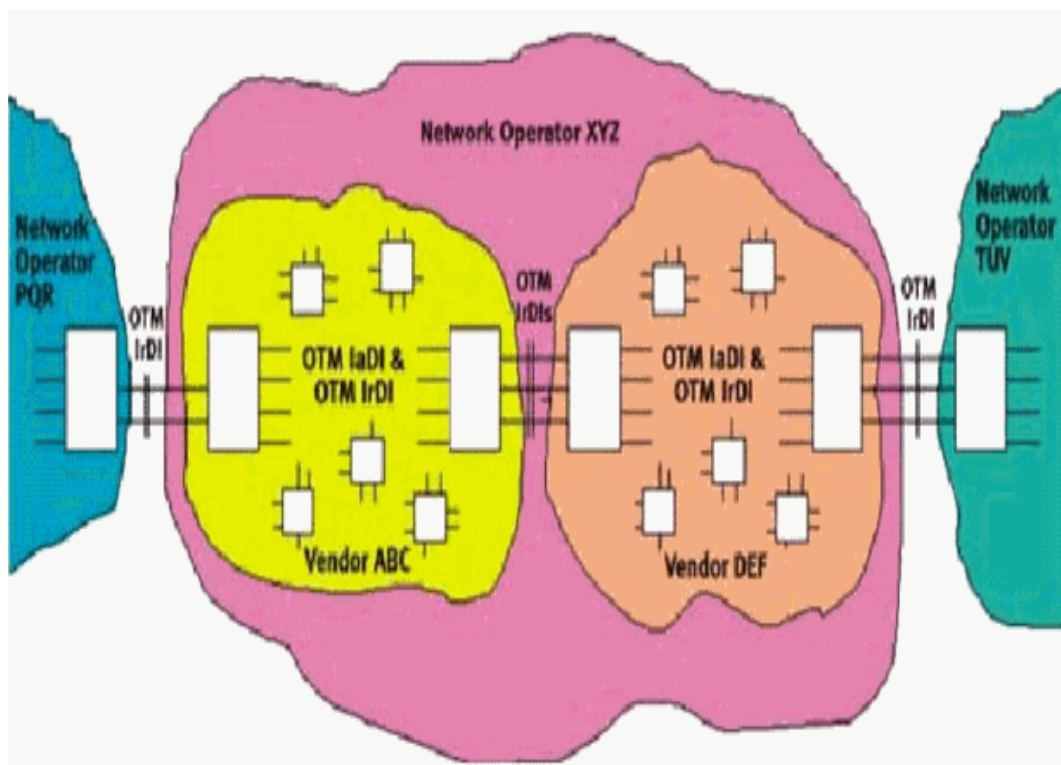


FIGURA 50: Network Operator XY2

2.5.1.4.2 INTER-DOMAIN INTERFACES (IRDI).

Estas definen:

- La ubicación entre las redes de dos operadores
- La ubicación entre las subredes de dos fabricantes en el mismo dominio del operador.
- La ubicación dentro de la subred de un fabricante.

2.5.1.4.3 INTRA-DOMAIN INTERFACES (IADI).

Estas definen:

- La ubicación entre el equipo de la subred de un fabricante individual Como en SONET/SDH, la OTN tiene un diseño estructurado en niveles.

Los niveles básicos de la OTN son visibles en la estructura del transporte OTN y consta de Canales Ópticos (OCh), Optical Multiplex Section (OMS) y Optical Transmission Section (OTS) como se ve en la figura 4. El transporte de una señal cliente en la OTN sigue el procedimiento indicado a continuación:

- Se añade la cabecera a la señal cliente para formar la OPU (Optical Channel Payload Unit)
- Entonces se añade una cabecera a la OPU formando así la ODU (Optical Channel Data Unit)
- Se añade una cabecera adicional más el FEC para formar la OTU (Optical Channel Transport Unit)
- Añadiendo más cabeceras se crea un OCh que es transportado por un color
- Se puede añadir cabeceras adicionales al OCh para poder gestionar múltiples.
- Colores en la OTN. Entones se construyen el OMS y el OTS

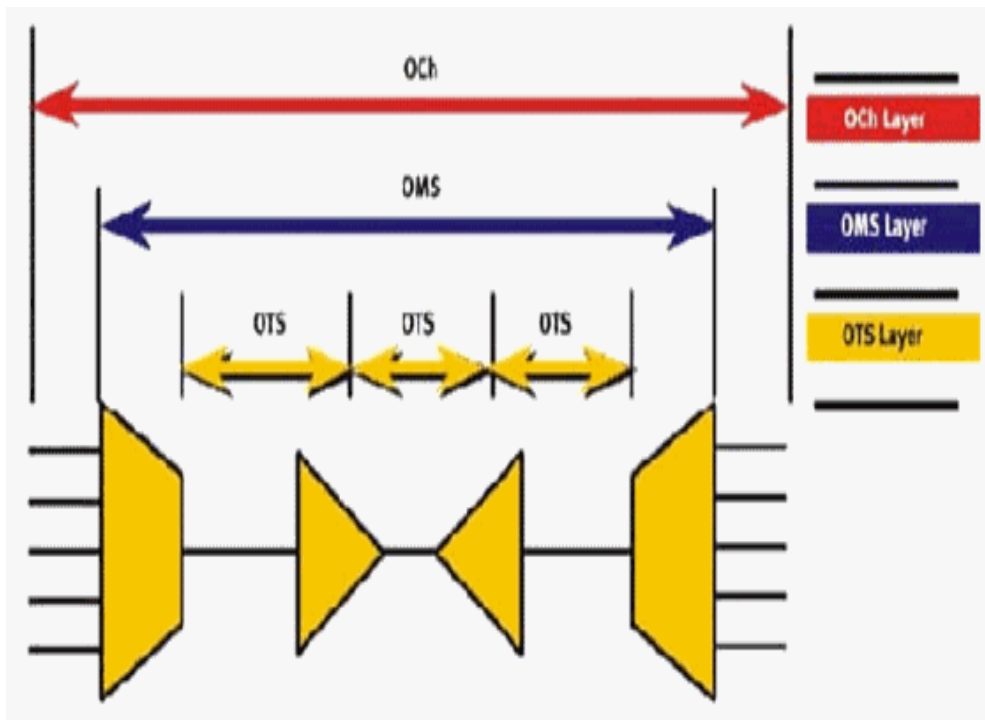


FIGURA 51: OTN layer structure

El resultado es un canal óptico (OCh) que comprende una sección OH, una señal cliente y un segmento FEC.

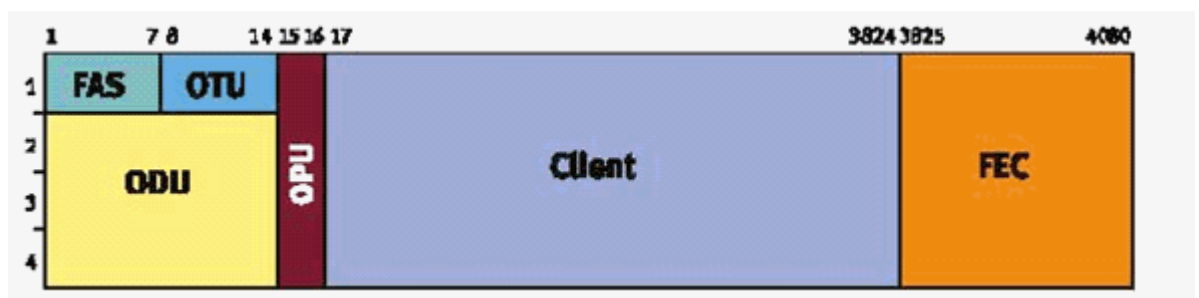


FIGURA 52: Optical channel structure consisting of OH bytes, client and FEC

La cabecera de OCh que ofrece la funcionalidad de gestión OTN, contiene 4 subestructuras: OPU (Optical Channel Payload Unit), ODU (Optical Channel).

Data Unit), OTU (Optical Channel Transport Unit) y FAS (Frame Alignment Signal).

La señal cliente - o los datos actuales a ser transportados – podría ser de cualquier protocolo existente p.e.; SONET/SDH, GFP, IP, GbE.



FIGURA 53: Client in an Optical Channel

La cabecera del OPU (Optical Channel Payload Unit) se añade a los datos del OPU y se usa para soportar las distintas señales cliente. Regula el mapeo de muchas señales cliente y suministra información sobre el tipo de señal transportada. Habitualmente la ITU-T G.709 soporta mapeo asíncrono y síncrono de las señales cliente en los datos.

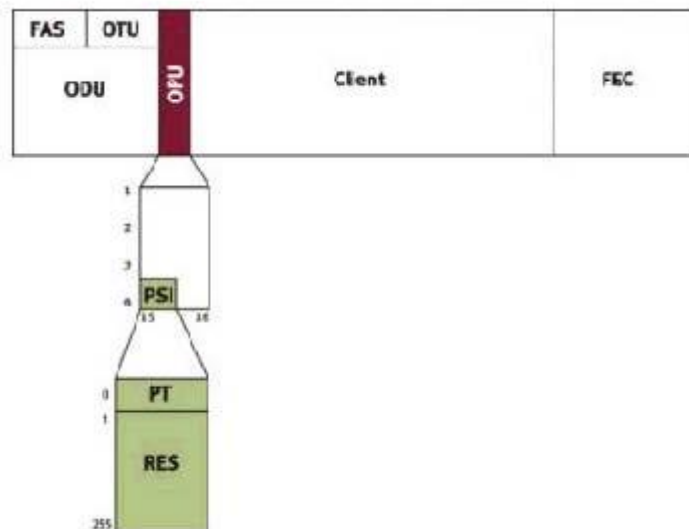


FIGURA 54: Overhead of OPU

La cabecera del OPU consta del PSI (Payload Structure Identifier) que incluye el PT (Payload Type) y los bits de cabecera asociados con el mapeo de las señales cliente en los datos, como por ejemplo los bits de justificación requeridos para los mapeos asíncronos. Entonces la cabecera del OPU termina en el punto donde el OPU es ensamblado y desensamblado.

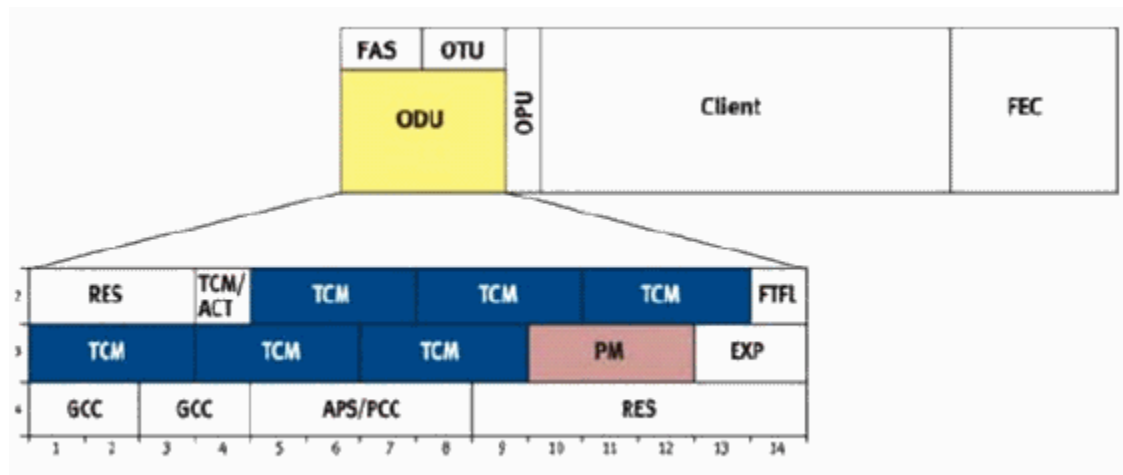


FIGURA 55: Overhead structure of ODU

El campo PSI (Payload Structure Identifier) del OPU transporta un mensaje de 256 octetos alineados con la multitrama ODU. PSI contiene el tipo de datos (PT) identificando los datos a ser transportados. El PT (Payload Type) de OPU es un único octeto definido dentro del PSI para indicar la composición de la señal OPU, o en otras palabras, el tipo de datos a ser transportados en el OPU.

La cabecera del ODU (Optical Channel Data Unit) permite al usuario soportar TCM (Tandem Connection Monitoring), PM (Path Monitoring) y APS. También es posible la supervisión del camino extremo a extremo y la adaptación del cliente vía el OPU (como se ha descrito previamente).

La cabecera del ODU suministra dos importantes cabeceras: la cabecera PM (Path Monitoring) y la cabecera TCM.

La cabecera PM (Path Monitoring) de ODU permite la monitorización de secciones determinadas dentro de la red así como la localización del fallo en la red vía los octetos de la cabecera descritos en la cabecera PM.

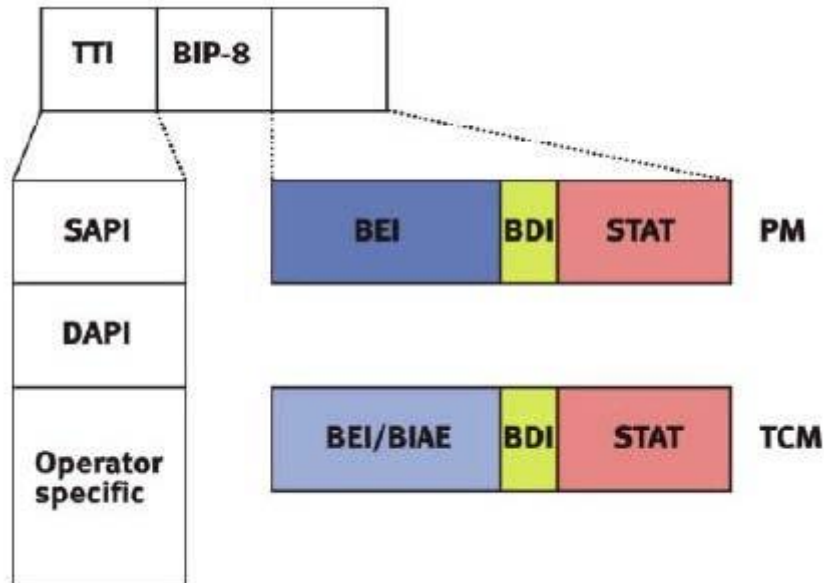


FIGURA 56: TCM and PM overhead structure

La cabecera PM está configurada en la fila 3, columnas 10 a 12 para soportar la monitorización del camino. La estructura del campo PM contiene los siguientes subcampos:

- TTI (Trail Trace Identifier). El TTI es similar al octeto J0 en SONET/SDH. Se usa para identificar la señal del origen al destino dentro de la red. El TTI contiene los Identificadores de Punto de Acceso (API - Access Point Identifiers) que se usan para especificar el Identificador de Punto de Acceso Origen (SAPI) y el Identificador del Punto de Acceso Destino (DAPI). Los APIs contienen información del país de origen, del operador de la red y otros detalles administrativos.

- BIP-8 (Bit Interleaved Parity). Este es un octeto que se usa para Detección de Error. El octeto BIP-8 provee "bit interleaved parity – 8 code". El BIP-8 computa todo el OPU y se inserta en el BIP-8 SM dos tramas más tarde.
- BDI (Backward Defect Indication). Este es un único bit que lleva información en cuanto a fallo de la señal en la dirección ascendente.
- BEI (Backward Error Indication) y BIAE (Backward Incoming Alignment Error). Estas señales llevan información sobre los bloques "interleaved-bit" detectados con error en la dirección ascendente. También se usan para llevar errores de alineación de entrada IAE
- Incoming Alignment Errors) en la dirección ascendente.
- Bits de estado para la señal de indicación y mantenimiento (STAT - Status bits). Estos tres bits indican la presencia de señales de mantenimiento.

2.5.1.5 VENTAJAS DE LA TECNOLOGÍA OTN

- Mejora la transparencia y sincronización del servicio por medio del uso del recubridor digital G.709.
- Ofrece Cross-conectividad Terabit Gbps por path y Tbps por fibra.
- Su FEC fuera de banda mejora el rendimiento del transporte.
- Ofrece Cross-conectividad sub-lambda ODU XC y grooming de tráfico
- Permite monitoreo de desempeño ODU de extremo a extremo, detección de degradación y fallas
- Permite gestión tanto en banda como fuera de banda
- Cuenta con capacidades de operación, administración y mantenimiento

- Ofrece más opciones de protección y CoS que las soluciones anteriores.
- Permite agregar encabezados a lambda y multi-lambda en la gestión OTS, OMS, Och.
- Ofrece internetworking a nivel de gestión y control físico estandarizado

La OTN también ofrece otras ventajas en comparación con las alternativas SDH/SONET. Como ejemplos específicos se puede mencionar: FEC fuera de banda, información completamente transparente sobre el servicio y la sincronización y grandes capacidades de conmutación y transporte Tbps. La diversidad de granularidad de conmutación superior de la OTN sobre SDH asegura mayor efectividad y menores costos cuando se utiliza en servicios IP de banda ancha.

A diferencia de las alternativas de multiplexado por división de longitudes de ondas (Wavelength Division Multiplexing – WDM), la tecnología OTN provee capacidades genuinas de networking de extremo a extremo, como por ejemplo provisión, Cross-conectividad, grooming de tráfico y protección carrier-class. La OTN también ofrece más capacidades de operación y mantenimiento.

En última instancia, la mayor ventaja de la tecnología OTN es que combina la flexibilidad y la gestionabilidad de SDH con la transparencia y la capacidad de WDM. Cuando se utiliza una OTN, los operadores pueden fácilmente combinar múltiples redes y servicios tales como SDH/SONET tradicional, Ethernet, protocolos de almacenamiento y video sobre una infraestructura común. Como resultado, los operadores pueden alcanzar reducciones significativas tanto en los gastos de capital como de operación.

2.5.2 ASON

Los trabajos sobre ASON podrían englobarse, dentro de OSI, en la Capa 2 y 3.

2.5.2.1 DESCRIPCIÓN

La arquitectura de las redes ASON está determinada por la topología y los elementos de transmisión que conforman los nodos. Las topologías malladas requieren menos recursos de red, le otorgan mayor flexibilidad, facilitan su crecimiento.

Las redes clásicas, basadas en anillos, son de aprovisionamiento mucho más complejo, son más rígidas, requieren más recursos de red y son de difícil crecimiento e interoperabilidad. Estos factores determinan que el coste del hardware de red y los costes operacionales sean sensiblemente superiores. Los elementos clave que conforman los nodos en las redes malladas son los conmutadores ópticos (OXC o ROADM) y los transmisores a longitud de onda DWDM sintonizable. La operación combinada de ambos dispositivos permite la provisión dinámica y en tiempo real de caminos ópticos y de ancho de banda, mediante la extracción e inserción de portadoras ópticas entre redes para el establecimiento de los enlaces ópticos. El control y la inteligencia de red de transporte residen en el estándar GMPLS (Generalized Multiprotocol Label Switching).

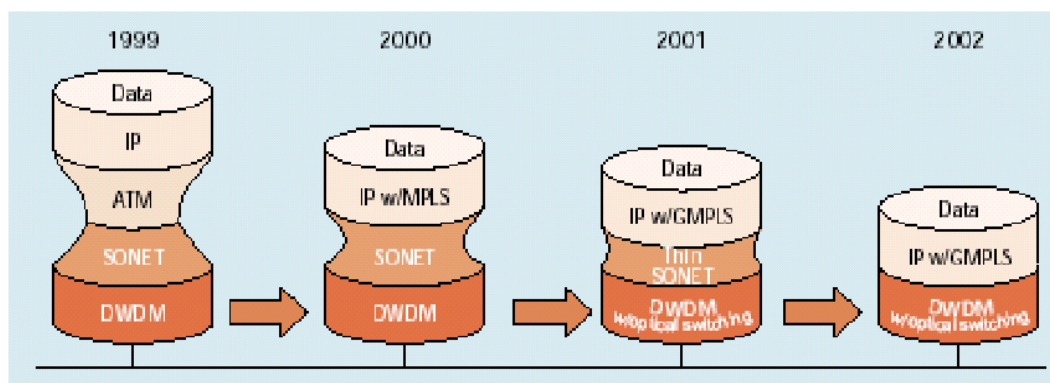


FIGURA 57: Evolución de las pilas de protocolos

ASON no deja de ser un futuro inmediato, es decir, todas las teorías que podemos exponer son más experimentales y metafísicas que realmente evaluables

en un entorno empresarial y de operadoras. Podemos ver en la fig.50., la evolución que han tenido las pilas de protocolos.

Esta red estará orientada a conexión, ofrecerá QoS, está formada por nodos ópticos que nos darán la capacidad de encaminar longitudes de onda dinámicamente, descubrimiento de nodos vecinos, descubrimiento de la topología y de recursos.

Las primeras redes ópticas fueron concebidas para ser manejadas por sistemas de control centralizado, pero esto aun generaba grandes dificultades, en su capacidad de procesamiento y en la asignación rápida de recursos.

Es así como surge la idea de crear un sistema distribuido, basado igualmente en redes ópticas, encargado del enrutamiento, señalización, establecimiento de recursos y facturación. Este es el concepto básico de las “Redes Ópticas Conmutadas Automáticamente” ASON (Automatic Switched Optical Network). En otras palabras, la OTN tradicional emigrará de redes controladas por una arquitectura tipo TMN (plano de gestión único) hacia un nuevo concepto distribuido como se puede observar en la figura 2.3, donde su ente fundamental lo constituye el Plano de Control.

Cuando hablamos de las OTN, ya describimos los planos que implementa, ASON, como evolución, hereda estos conceptos.

El estándar ASON define de una manera general el plano de control y las interrelaciones básicas con la capa de transporte y la capa de gestión. También define las interfaces de los diversos planos.

2.5.2.2 CARACTERÍSTICAS DE ASON

1) Capacidad para introducir nuevos servicios ópticos

Entre estos servicios, se destacan dos: “Servicio de Ancho de Banda BW bajo Demanda” (BODS) y “Redes Privadas Virtuales Ópticas” OVPN.

El BODS es implementado básicamente por las conexiones conmutadas, y está dirigido a usuarios con gran demanda de capacidad y que necesitan nuevas conexiones o reconexiones por períodos cortos. ASON puede proveer nuevas conexiones en segundos, en lugar de días u horas que tardaba cuando se realizaba la petición vía TMN.

El servicio de OVPN debe cumplir con los requerimientos de los operadores, en el sentido de permitirle al usuario tener visibilidad y un control más o menos limitado sobre los recursos de la red reservados para este fin. Se le puede dar un control limitado a los usuarios, obviamente el Operador de ASON mantiene total control sobre todos los otros recursos.

2) Capacidad de Enrutamiento Dinámico

Son factores fundamentales de este punto, los siguientes:

- Auto detección de “vecinos”: Cada Nodo reconoce a sus nodos adyacentes.
- Auto detección de enlaces de conexión: Los nodos ASON son capaces de chequear automáticamente la disponibilidad de enlaces.
- Auto detección de topología: Tan pronto los OXC (Optical Cross Connect), (elementos que se encargan de enlazar los diferentes caminos)
- La arquitectura de enrutamiento está basado en *áreas* (Routing Áreas – RAs) subdividiendo la red por zonas de descubrimiento y rebajando el coste de actualización.

3) Aumento de la estabilidad y escalabilidad en los sistemas de gestión de operaciones.

Dado que la red ASON es capaz de enrutar y restaurar las conexiones automáticamente en una forma mucho más tolerante a fallas, el requerimiento de mantener la consistencia de la base de datos de topología es satisfecho.

El plano de control de ASON se encuentra distribuido sobre todos los elementos de la red, lo que lo hace más escalable la red.

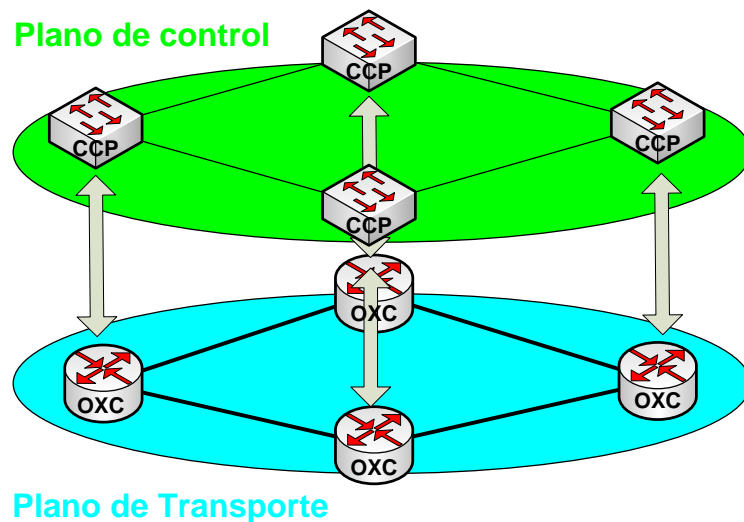


FIGURA 58: Representación del Control distribuido

4) Restauración más eficiente de servicios.

Antiguamente, cuando ocurría una falla en un sistema, la base de datos de topología, adyacencia y enrutamiento requería de algún tiempo para restablecer la comunicación, dado que se requerían de cálculos realizados por una pieza de software para reestructurar las rutas de conexión. Ahora ASON ofrece una restauración que es descentralizada.

La actualización de la base de datos de la red es lograda virtualmente en tiempo real. Esto permite recalcular los caminos de restauración con más precisión.

2.5.2.3 PLANOS DE ASON

Las redes de conmutación automática, tal como se conciben en el estándar ASON, están constituidas por tres planos: el de transporte, el de control y el de gestión. En la figura 52 se muestra un enfoque macro de la interacción entre estos tres planos.

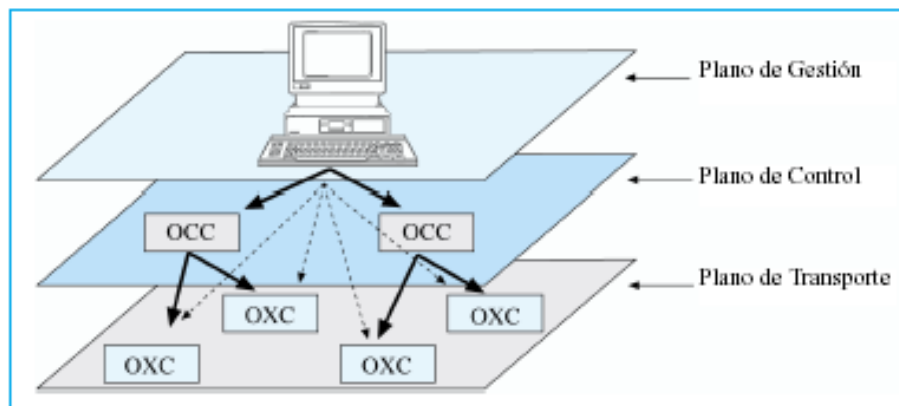


FIGURA 59: Dibujo descriptivo de los planos de las OTN

Su enfoque fundamental está dirigido a proveer a las redes ópticas con un plano de control inteligente, que incorpore aprovisionamiento dinámico de la red combinado con funciones de supervisión, protección y restauración de las conexiones.

- Plano de transporte: unidad lógica y física que hace el transporte de los datos, así como la amplificación y regeneración de la señal óptica.
- Plano de control: es la entidad lógica que da inteligencia a la red, tales como enrutamiento, señalización y restauración de caminos
- Plano de gestión: unidad lógica que permite al operador de la red gestionar su comportamiento.

ASON fue diseñada en su concepción inicial para soportar múltiples clientes y diferentes tecnologías. Esta diversidad crea los diferentes dominios de cada plano. La conexión intra-dominios e inter-dominios dentro de la capa de control, se realiza a través de las interfaces I-NNI (Internal Network to Network Interface), E-NNI (External Network to Network Interface) respectivamente y I-NMI (Internal Network to Management Interface).

Adicionalmente existe otra interfaz en la capa de control, es la que enlaza el dominio de los usuarios con la red de los Proveedores de servicio, y se conoce por las siglas UNI (User to Network Interface).

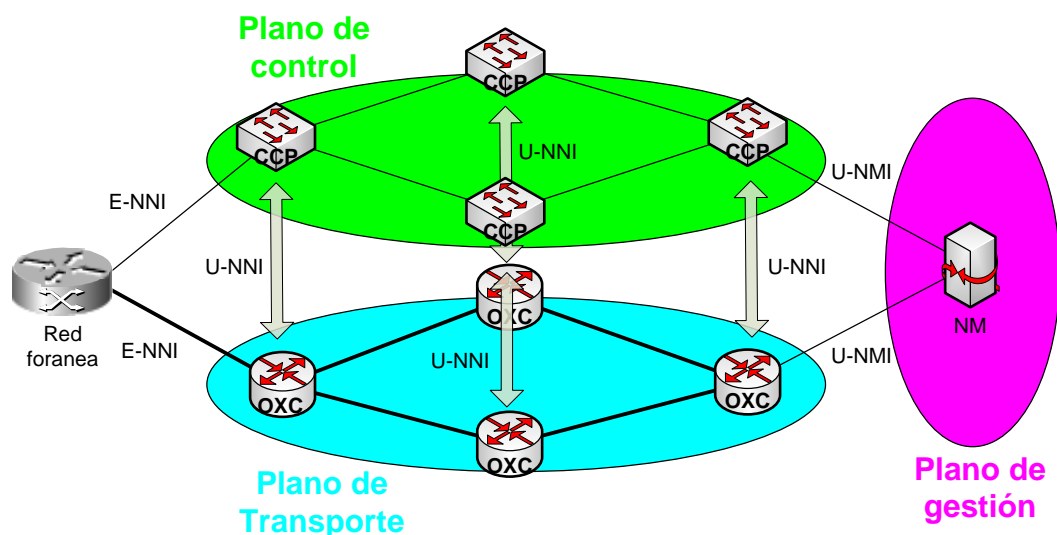


FIGURA 60: *Visión de las interfaces que comunican los diferentes planos*

El plano de transporte contiene todos los elementos de transporte de red (switches y enlaces) que hacen posible la conexión.

Las conexiones extremo a extremo son establecidas dentro del plano de transporte bajo el control del plano de control de ASON, siendo este elemento la principal característica de interrelación entre estos planos.

Los elementos básicos que conforman el plano de transporte son:

1) Conmutadores Ópticos:

- OXC Conmutadores ópticos/eléctrico/ópticos
- PXC Conmutadores ópticos/ópticos

2) Topología de red tipo malla, de fibra óptica

3) LMP Protocolo de Capa de Enlace, Link Management Protocol RFC(4394)

ASON define una arquitectura para el Plano de Control que permite el establecimiento y desconexión de las sesiones como resultado de requerimientos de los usuarios. Para lograr una cobertura global y el soporte de múltiples tipos de clientes, es que se describe esta arquitectura en términos de componentes y de un conjunto de reglas y puntos de referencia que se deben aplicar en los puntos de interfaz entre los clientes y la red, y entre las propias redes en sí.

Una arquitectura del plano de control bien diseñada debe dar a los proveedores de servicio, un mejor control de su red

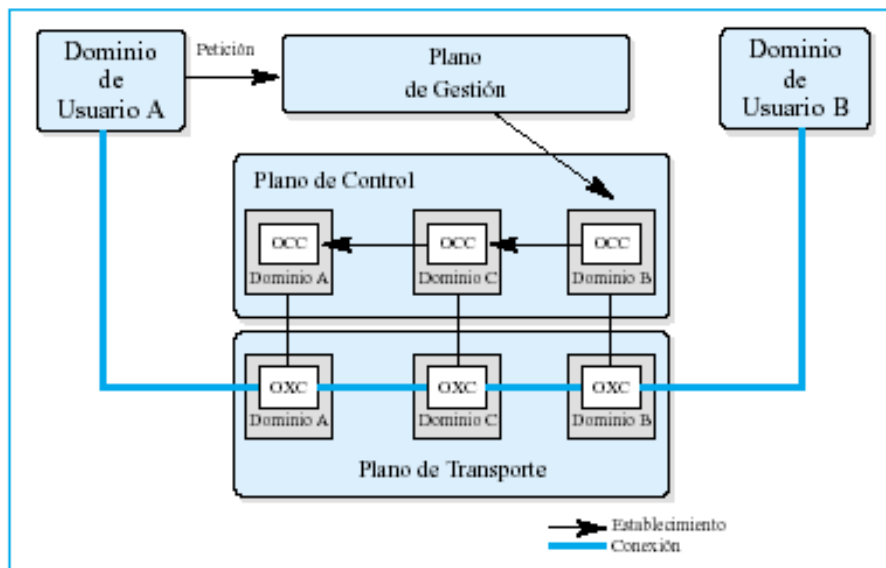


FIGURA 61: Visión general de los bloques de las ASON

2.5.2.4 ENRUTAMIENTO Y SEÑALIZACIÓN

La arquitectura de ASON trata separadamente las llamadas y su control de conexión. Esto permite la introducción de servicios mejorados, en donde una simple llamada puede estar compuesta de más de una aplicación.

Esta característica brinda beneficios a las áreas de mantenimiento y restauración.

Las redes ópticas son capaces de entregar conexiones de banda muy ancha a través de los *lightpaths*.

La arquitectura de enrutamiento de las ASON asume que la red será subdividida en *áreas* (RAs). Puede soportar múltiples protocolos de enrutamiento pero el elemental será OSPF. Cada *área* tendrá Controladores de Enrutamiento (RCs) y de backup por si los primero caen, para el intercambio de información de routing entre *áreas*. La estructura de los nodos de la red ASON es jerárquica, habiendo unos nodos padres, y otros hijos. La comunicación entre controladores de *área* será de padre a padre nunca de un hijo de un *área* a otro hijo de otra *área*, se escalará siempre.

2.5.2.5 VENTAJAS E INCONVENIENTES DE LAS ASON

2.5.2.5.1 VENTAJAS DE ASON

La capacidad de las redes ASON que permiten a las operadoras dar soporte a los clientes es una gran ventaja, ya que la integración de todos los clientes sobre una misma plataforma reduce mucho los costos y simplifica el manejo de la red.

La utilización de protocolos generalistas, actualizables y escalables, además de la posibilidad de conmutar canales ópticos, permiten gran movimiento en la estructura de la red.

El plano de control permite una gran supervisión de los recursos libres de la estructura, pudiendo gestionarlos sacando un rendimiento óptimo.

El operador podrá garantizar un servicio a un cliente aplicando sus políticas de control sobre los recursos, pudiendo de esta manera ajustar el precio.

La separación del plano de control del plano de transporte nos permitirá dar los siguientes servicios:

- Canales semipermanentes conmutados automáticamente.
- Canales permanentes automáticos.
- Redes ópticas virtuales.
- Asignación de longitudes de onda a flujos entre nodos extremos.

2.5.2.5.2 DESVENTAJAS DE ASON

A pesar de estas ventajas que promete ASON tiene puntos no tan favorables.

La granularidad de las longitudes de onda, hace que la asignación de una *landa* a un cliente sea improbable mientras el coste de ésta sea tan elevado. No es posible asignar landas a tráfico exclusivos ya que tiene una elevada capacidad y se estaría desperdiciando.

La solución a esto es TDM, que permite conmutar muchos flujos una misma longitud de onda. El problema está en que deshomegeneizamos nuestra tecnología.

2.5.2.6 PROTOCOLOS PARA OTN'S

No es nuevo en las redes de comunicaciones la necesidad de protocolos para control y gestión de los equipos. Será necesario establecer las comunicaciones, liberarlas. También será necesario la escalabilidad y la tolerancia

a fallos como describimos anteriormente, pero en esta sección vamos a entrar a concretar algo más en los protocolos que realizan estas tareas.

MPLS es un tipo particular de conmutación mediante etiquetas diseñado específicamente para dar a las redes características orientadas a conexión, como por ejemplo IP (Internet) a nivel 2. Los protocolos de distribución de etiquetas diseñados para funcionar con MPLS son LDP (G.7713.3) y RSVP(G.7713.2). Mediante el uso de LDP (RFC 3475) o RSVP (RFC 2205) se pueden establecer LSPs (Label Switched Path). El nexo entre las etiquetas y los *lightpath* reside en que las etiquetas actúan como banderas que marcan el *lightpath*. Un *lightpath* puede ser permanente o conmutado. Los *lightpaths* conmutados se establecen y eliminan de forma dinámica en tiempo real gracias a la señalización utilizada. Este tipo de *lightpaths* pueden mantenerse establecidos largos o cortos períodos de tiempo.

2.5.2.6.1 MPLS/GMPLS

El desarrollo de MPLS se llevó a cabo a mediados de 1990 para conseguir mayor eficiencia en redes ATM que transportan tráfico IP. La implementación de MPLS sobre una red IP tradicional introduce las siguientes ventajas:

- El encaminado se realiza de acuerdo a etiquetas de longitud corta y fija de nivel 2 en la torre OSI. Esto permite que el encaminado sea más eficiente que con las cabeceras tradicionales de nivel 3 y longitud variable.
- Ofrece la posibilidad de encaminado explícito, se crea un camino completo examinando un solo paquete. Los demás paquetes con el mismo destino no deberán ser examinados.
- Permite una administración de tráfico más flexible y eficiente.
- Ofrece soporte QoS, mediante el establecimiento de rutas explícitas.

Utilizando MPLS se distinguen entre dos tipos de nodo: nodos límite y nodos del núcleo de la red. Los nodos límite reciben el nombre de LER (Label

Edge Router). Un LSP (Label Switched Path) es una conexión unidireccional que comienza en un LER de entrada. Los nodos de núcleo reciben el nombre de LSR (Label Switching Router). Un LSR realiza el encaminado de los paquetes mirando sólo la etiqueta.

Se almacena en el componente llamado RIB (Routing Information Base) la información referente al enrutamiento de la red externa al dominio MPLS. Un LER utiliza la información contenida en RIB para crear la información que guarda en el componente llamado FIB (Forwarding Information Base). En el plano de control el componente de un LER interactúa con el de un LSR mediante el protocolo de señalización MPLS. La información resultante de esta comunicación se almacena en LIB (Label Information Base). En el LIB hay la asociación de etiquetas negociada con otros nodos MPLS. Un LER puede encaminar paquetes del dominio externo, añadir una etiqueta a un paquete externo (label push) o eliminar una etiqueta de un paquete (label pop). Un LSR no puede encaminar paquetes externos, sin embargo también puede añadir o modificar y eliminar etiquetas de paquetes previamente etiquetados.

La información en NHLFE (Next Hop Label Forwarding Entry) determina la acción que debe realizar el LSR o LER sobre la etiqueta del paquete. En la información dentro de la tabla NHLFE también puede haber aspectos del nivel de enlace. MPLS realiza un proceso llamado eliminado en el penúltimo salto (penultimate hop popping). En este proceso es el penúltimo nodo a lo largo del LSP quien elimina la etiqueta permitiendo así que el último nodo reciba un paquete y no uno etiquetado.

2.5.2.6.2 LDP

LDP es un protocolo nuevo y diseñado para cumplir sólo con la distribución de etiquetas. El RFC 3037 describe las aplicaciones de LDP siendo

útil en redes de encaminado salto por salto donde la eficiencia sea un parámetro muy importante.

Utiliza los siguientes tipos de mensajes para intercambiar información:

- **Mensajes de descubrimiento:** se realiza un intercambio periódico de mensajes “Hello” para anunciar y verificar la existencia de LSRs conectados tanto directamente como indirectamente.
- **Mensajes de sesión:** se utilizan para establecer, negociar parámetros, inicializar, mantener y terminar sesiones LDP.
- **Mensajes de anuncio:** se utilizan para crear, cambiar, o eliminar asignaciones de etiquetas

El anuncio LDP de asignado de una etiqueta utiliza dos mensajes: el mensaje de mapeo de etiqueta (label mapping) y el mensaje de petición de etiqueta (label request). Una vez los conmutadores se han descubierto y han establecido una sesión, intercambian mensajes de mapeo de etiquetas. LDP también define mensajes para situaciones específicas. Un mensaje (label withdraw) permite a un conmutador pedir que un peer deje de utilizar un asignado de etiqueta específico. El mensaje liberar etiqueta (label release) indica que una etiqueta pedida o recibida previamente ya no es necesaria. Se define también el mensaje de petición de aborto de etiqueta (label abort request), la utilidad de este mensaje es acabar con un mensaje de petición de etiqueta pendiente.

2.5.2.6.3 RSVP

RSVP tiene muchos mecanismos para realizar la señalización de la distribución de etiquetas. La función principal de RSVP es establecer reservas para flujos unidireccionales de paquetes. En el RFC 2205 se definen tres tipos de mensajes: establecimiento de reserva, liberación de reserva (tear down) y error. Cada mensaje está compuesto por varios objetos, están descritos en el RFC 3209. La extensión de RSVP, RSVP-TE añade otro mensaje: el mensaje "Hello".

La especificación de este protocolo utiliza el concepto de reserva basada en el receptor, donde el emisor primero envía un mensaje "Path" que identifica el flujo y las características del tráfico. El mensaje contiene un identificador de sesión, una petición de etiqueta, un campo de especificación de tráfico, en el que se especifican la velocidad de pico, la velocidad de "throughput", tamaño de la ráfaga y tamaño máximo del paquete y por último un campo de ruta explícita.

El funcionamiento de RSVP es básico. Un nodo origen que quiere establecer un enlace para cursar una llamada con un destino, le envía a éste un mensaje "Path" y el destino responderá con un mensaje "Resv" si desea iniciar el asignado de etiqueta pedido en el mensaje "Path". El mensaje "Resv" contiene el mismo identificador de sesión que contenía "Path", incluido va un objeto donde se almacena la ruta seguida. Se encuentran dos estilos de reserva: estilo de filtro fijo y estilo explícito compartido. En el estilo de filtro fijo cada par emisor-receptor tiene asignado una etiqueta y un campo de especificación de tráfico. En el estilo explícito compartido se asigna una etiqueta distinta a cada emisor pero los emisores comparten explícitamente las mismas especificaciones de reserva de flujo.

RSVP-TE define dos mensajes para liberar un camino: liberación de "Path" y liberación de "Resv". Ambos mensajes de liberación se envían en la dirección opuesta al correspondiente mensaje "Path" y "Resv". Los mensajes de liberación eliminan la asociación que creó su mensaje opuesto.

Hay mensajes de notificación de error para los mensajes "Path" y "Resv" además de un mensaje opcional de confirmación "Resv". Esto quiere decir que si se trata de trazar una ruta hacia un destino pero alguno de los saltos no cumple con los requisitos necesarios se descarta la reserva y se envía un mensaje "ResvErr" y se envía hacia el router.

El mensaje opcional “Hello” está definido en el RFC 3209 para RSVP-TE. Este mensaje permite a un LSR detectar más rápidamente que un vecino ha fallado. En el caso de utilizar RSVP el refresco se realiza en intervalos.

Trataremos de ilustrar un poco las líneas escritas anteriormente.

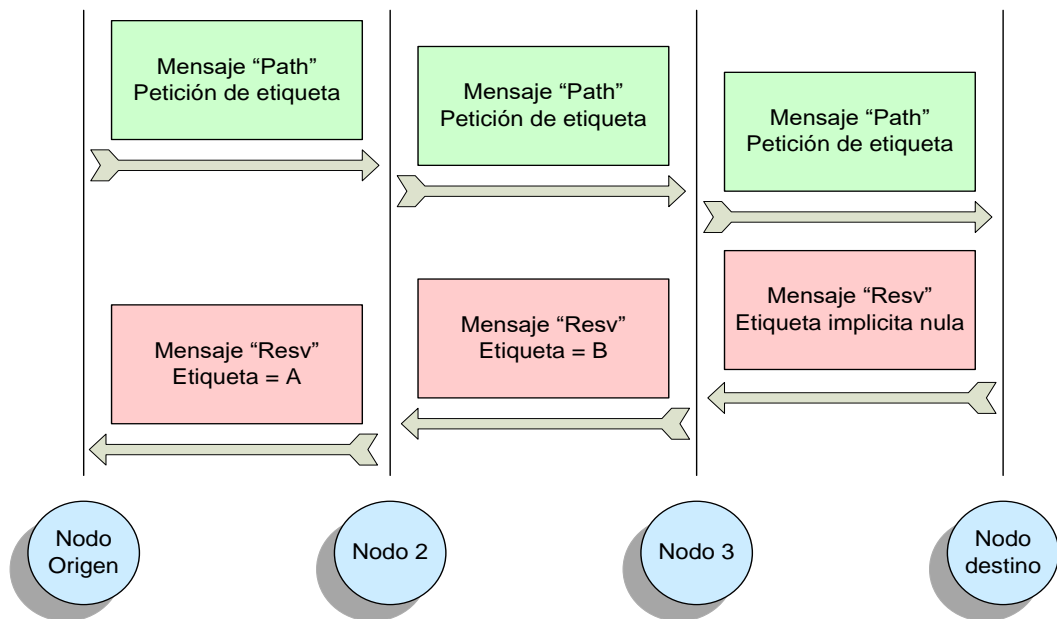


FIGURA 62: Modelo de funcionamiento de RSVP

El problema fundamental de RSVP es el refresco de la información de la topología. Este refresco se realiza en intervalos normalmente de 30 segundos. Realizar el refresco en intervalos pequeños supone el envío de gran cantidad de información periódicamente. Esto hace que aparezcan retardos en el procesamiento de los mensajes y puede llegar a hacer al sistema no escalable.

CAPITULO III

3 COMPARACIÓN CON OTRAS TECNOLOGÍAS

3.1 CWDM (Coarse Wavelength Division Multiplexing)

La transmisión por CWDM está ganando popularidad en aplicaciones tales como acceso metropolitano 10 Gbps, CATV, y otros sistemas de distancias cortas punto a punto con servicios transparentes, utilizando protocolos tales como Fiber Channel, Gigabit y Fast Ethernet.

La técnica de multiplexado CWDM consta de 18 longitudes de onda definidas en el intervalo 1270 a 1 610 nm con un espaciado de 20 nm.

El multiplexado por división aproximada de longitud de onda (CWDM), una tecnología WDM, se caracteriza por un espaciado más amplio de canales que la división densa de longitud de onda (DWDM). Los sistemas CWDM son más rentables económicamente y por aplicación para redes de área metropolitanas.

El plan de longitudes de onda descrito en la Recomendación UIT-T G.694.2 tiene un espaciado de canales de 20 nm para dar cabida a láseres de gran ancho de banda espectral. Este espaciado amplio de canales se basa en consideraciones económicas relacionadas con el costo de los láseres y filtros, que varían según dicho espaciado. Para dar cabida a numerosos canales en cada fibra, el plan de longitudes de onda acordado abarca la mayoría de las bandas de menos de 1.300 nm a más de 1.600 nm del espectro de fibras ópticas monomodo, recientemente aprobadas.

Los sistemas CWDM admiten distancias de transmisión de hasta 50 km y no usan amplificación óptica. Entre esas distancias, la tecnología CWDM puede admitir diversas topologías: anillos con distribuidor (hubbed ring), punto a punto y redes ópticas pasivas. Además de todas las consideraciones anteriores, se adapta

correctamente a las aplicaciones de redes de área metropolitanas y a las aplicaciones relativas al acceso, como los anillos de acceso y las redes ópticas pasivas.

Los sistemas CWDM pueden utilizarse como una plataforma integrada para numerosos clientes, servicios y protocolos destinados a clientes comerciales como son las compañías de telefonía móvil, proveedores de Internet, etc. Los canales en CWDM pueden tener diferentes velocidades binarias. Esta técnica se adapta más fácilmente a las variaciones de la demanda de tráfico ya que con ella se pueden añadir canales en los sistemas ya implantados a fin de liberarlos de éstos.

CWDM puede ser una alternativa de bajo costo a los sistemas dense wavelength division multiplexing (DWDM) para transporte óptico en cortas distancias (menos de 50 km) desde las instalaciones de las empresas al troncal metropolitano de los proveedores deservicio de comunicaciones.

El precio de un transceptor DWDM es típicamente de cuatro a cinco veces más caro que su contrapartida de CWDM.

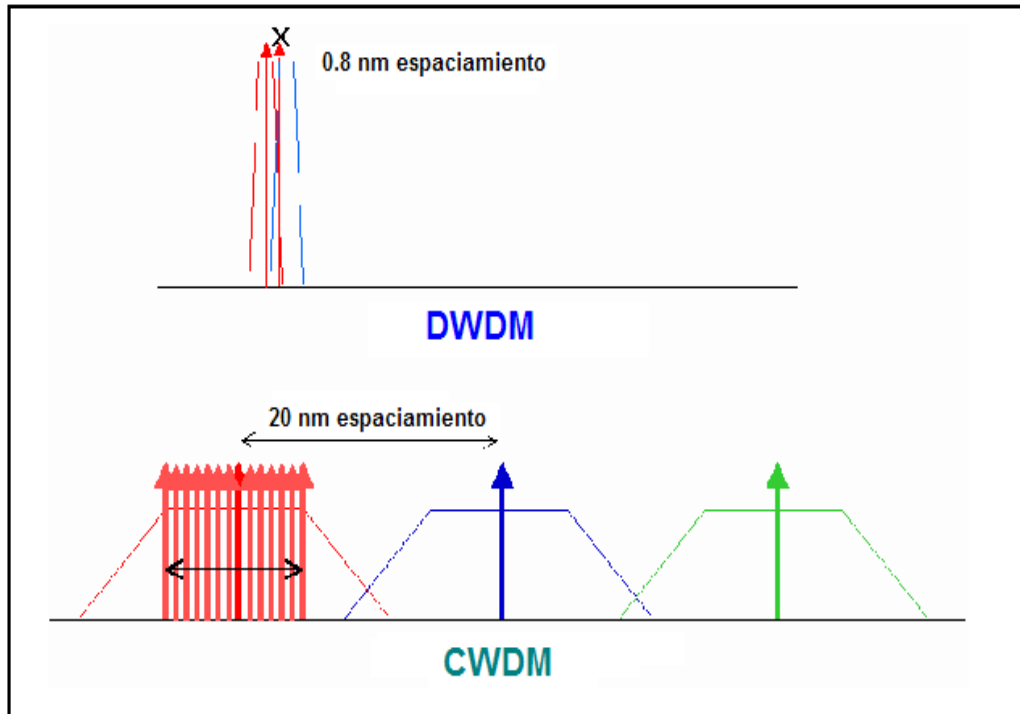


FIGURA 63: Comparación entre DWDM y CWDM

3.1.1 APLICACIONES

La UIT ha establecido una norma mundial para las redes de "fibra óptica" metropolitanas que incrementará la utilización de la multiplexación por división aproximada de longitud de onda (CWDM) en las redes metropolitanas. Se prevé que con esta norma, indispensable para responder a la creciente demanda de los servicios vocales, de datos y multimedios en materia de soluciones de transporte de corto alcance y a bajo costo, los operadores de telecomunicaciones podrán realizar economías de las que, según se espera, sacarán provecho los consumidores.

Según un informe publicado recientemente por Gardner Ataques, el mercado mundial de "redes metropolitanas ópticas" pasará de 1 100 millones de dólares en 2001 a 4 300 millones de dólares en 2005. Gracias a

la adopción de esta nueva norma, la técnica de multiplexación CWDM está a punto de conquistar una parte considerable de este mercado. Las aplicaciones CWDM son particularmente eficaces para alcanzar una cobertura de hasta 50 kilómetros. Para distancias más cortas y una menor capacidad requerida, las aplicaciones CWDM permiten utilizar un espaciado de canales más amplio y equipos más baratos garantizando el mismo grado de calidad que los sistemas de fibras ópticas de largo alcance.



FIGURA 64: Aplicación CWDM

Los sistemas ópticos con multiplexación por división densa de longitud de onda (DWDM), que transportan una gran cantidad de longitudes de onda densamente concentradas, necesitan un dispositivo termoeléctrico de refrigeración para estabilizar la emisión de longitudes de onda y absorber la energía disipada por el láser. De este modo, se aumenta el consumo de energía y, al mismo tiempo, el costo. En cambio, para distancias de transmisión cortas, un plan de distribución "aproximada" de longitudes de onda puede reducir el costo de los terminales suprimiendo el control de la temperatura de manera que las longitudes de onda emitidas deriven en función de las variaciones de la temperatura ambiente.

Cualquier usuario con un troncal de fibra de más de 300 mts. deberá utilizar fibra monomodo para poder transmitir 10GbE. Transmitir en serie a esta velocidad 10GbE sobre fibra multimodo convencional 50/125 o 62,5/125 resultaría en distancias de transmisión de tan sólo unas docenas de metros. Las posibilidades con que cuentan los usuarios entonces son:

- Fibra monomodo

- Fibra optimizada con nuevo láser (om3) hasta 300 mts.
- Fibra tradicional con multiplexado de división de longitud de onda

La elección de la ruta técnica a utilizar para el mercado de troncales de 50 a 300 mts. promete ser un complicado tema económico, ya que estas distancias constituyen el 90% de las instalaciones en los mercados europeos y norteamericanos.

3.1.2 CARACTERÍSTICAS DE CWDM

La multiplexación por división en longitud de onda, multiplexación óptica o WDM (*Wavelength Division Multiplexing*) tiene su origen, en la posibilidad de acoplar la salida de diferentes fuentes emisoras de luz, cada una a una longitud de onda o frecuencia óptica diferente, sobre una misma fibra óptica. Después de la transmisión a través de la fibra, cada una de estas señales o canales ópticos en distintas longitudes de onda, pueden ser separadas entre sí hacia diferentes detectores en su extremo final. El componente encargado de inyectar las distintas fuentes sobre la misma fibra óptica es el multiplexor, el de separarlas es el demultiplexor, y el de adaptar las longitudes de onda recibidas a una longitud de onda estandarizada, estabilizada y susceptible de ser multiplexada y demultiplexada, es el transpondedor.

En WDM se distinguen típicamente cuatro familias de sistemas: DWDM de ultra larga distancia, DWDM de larga distancia, DWDM metropolitano, y CWDM. Las cuatro familias de sistemas WDM utilizan componentes ópticos distintos, siendo más complejos y caros los que soportan mayores capacidades por canal y agregadas, y los que soportan mayores distancias de transmisión. En DWDM de larga y ultra larga distancia el espaciamiento de frecuencias actual es de 50-100 GHz (0,4-0,8 nm), en DWDM metropolitano de 100-200 GHz (0,8-1,6 nm), y en CWDM de 2.500 GHz (20 nm). En cuanto al número de longitudes de onda, mientras en DWDM se utilizan hasta 160 y en DWDM metropolitano hasta

40, en CWDM se suelen utilizar hasta 18. Mientras los sistemas DWDM de larga y ultra larga distancia soportan canales de hasta 40 Gbps, la mayoría de los sistemas DWDM metropolitanos soportan hasta 10 Gbps y los CWDM actuales tienen su límite en 2,5 Gbps. En cuanto a las distancias que se suelen cubrir, los sistemas DWDM de ultra larga distancia alcanzan hasta unos 4.000 Km sin regeneración electroóptica, los de larga distancia hasta unos 800 Km, los DWDM metropolitanos hasta unos 300 Km, y los CWDM hasta unos 80 Km.

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:

- Mayor espaciamento de longitudes de onda. De esta forma, en CWDM se pueden utilizar láseres con un mayor ancho de banda espectral y no estabilizada, es decir, que la longitud de onda central puede desplazarse debido a imperfecciones de fabricación o a cambios en la temperatura a la que está sometido el láser y, aún así, estar en banda. Esto permite fabricar láseres siguiendo procesos de fabricación menos críticos que los utilizados en DWDM, y que dichos láseres no tengan sofisticados circuitos de refrigeración para corregir posibles desviaciones de la longitud de onda debidos a cambios en la temperatura a la que está sometido el chip; lo cual reduce sensiblemente el espacio ocupado por el chip y el consumo de potencia, además del coste de fabricación. Por lo general en CWDM se utilizan láseres de realimentación distribuida o DFB (*Distributed Feed-Back*) modulados directamente y soportando velocidades de canal de hasta 2,5 Gbps sobre distancias de hasta 80 Km en el caso de utilizar fibra óptica G.652. Por otro lado, CWDM utiliza filtros ópticos y multiplexores y demultiplexores basados en la tecnología de película delgada o TFF (*Thin-Film-Filter*), donde el número de capas del filtro se incrementa cuando el espaciamento entre canales es menor. Esto supone de nuevo una mayor capacidad de integración y una reducción de coste. Estos filtros CWDM de banda ancha, admiten variaciones en la longitud de onda

nominal de la fuente de hasta unos $\pm 6-7$ nm y están disponibles generalmente como filtros de uno o dos canales.

- Mayor espectro óptico. Esto, que permite que el número de canales susceptibles de ser utilizados no se vea radicalmente disminuido a pesar de aumentar la separación entre ellos, es posible porque en CWDM no se utilizan amplificadores ópticos de fibra dopada con Erblio o EDFA (*Erbium Doped Filter Amplifier*) como ocurre en DWDM para distancias superiores a 80 Km. Los EDFA son componentes utilizados antes de transmitir o recibir de la fibra óptica, para amplificar la potencia de todos los canales ópticos simultáneamente, sin ningún tipo de regeneración a nivel eléctrico. Los sistemas CWDM utilizan, de ser necesario por las distancias cubiertas o número de nodos en cascada a atravesar, regeneración; es decir, cada uno de los canales sufre una conversión óptico-eléctrico-óptico de forma totalmente independiente al resto para ser amplificado. El coste de la optoelectrónica en CWDM es tal, que es más simple y menos caro regenerar que amplificar. Por otro lado, puesto que los regeneradores realizan por completo las funciones de amplificación, reconstrucción de la forma de la señal, y temporización de la señal de salida, compensan toda la dispersión acumulada; esto no ocurre en la amplificación óptica, a no ser que se utilicen fibras con compensación de dispersión o DCF (*Dispersion Compensation Fiber*), de alto coste y que además suelen requerir de una etapa de preamplificación previa dada la alta atenuación que introducen.

Además, CWDM es muy sencillo en cuanto a diseño de red, implementación, y operación. CWDM trabaja con pocos parámetros que necesiten la optimización por parte del usuario, 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 o cuando DWDM es utilizado en redes en anillo, sobre todo cuando los sistemas incorporan amplificadores ópticos.

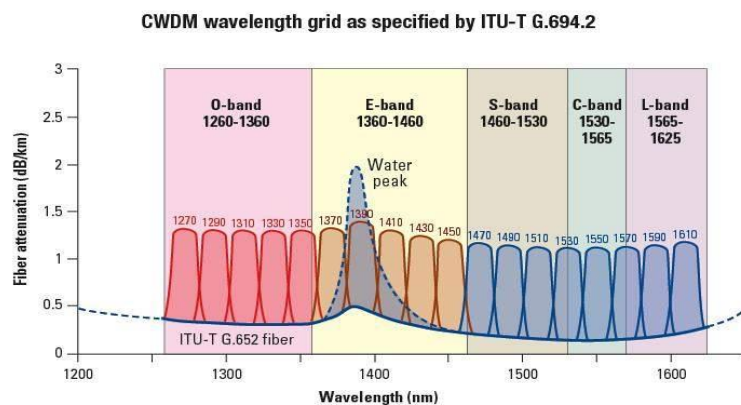


FIGURA 65: Rejilla de longitudes de onda en CWDM

Con el fin de reducir costes, los suministradores de sistemas CWDM también utilizan protocolos de gestión diferentes a los de los sistemas DWDM. Los sistemas DWDM utilizan el protocolo CMIP (Common Management Information Protocol) de la familia de protocolos OSI (Open Systems Interconnection). Para reducir los costes, los fabricantes de sistemas CWDM utilizan SNMP (Simple Network Management Protocol) de la pila de protocolos TCP/IP (Transmission Control Protocol/Internet Protocol). La utilización de SNMP frente a CMIP supone, para los fabricantes de equipos, una menor complejidad en el desarrollo de sus herramientas de gestión de red, lo cual redundará en un menor coste de éstas. Por otro lado, el operador se beneficia también porque SNMP está más extendido y es más conocido, consume menos recursos y es más barato de implementar en la red de routers que interconectará la red de equipos CWDM con el centro de supervisión central.

3.1.3 BENEFICIOS DE CWDM

Las tecnologías que lideran el mercado metropolitano en la actualidad, son ATM, SDH y Gigabit Ethernet. Cuando la capacidad de transmisión en un enlace óptico no puede ser cubierto por estos sistemas basados en TDM (*Time Division Multiplexing*), la solución es introducir sistemas WDM de modo que varios equipos basados en TDM puedan compartir una única fibra óptica por sentido de

transmisión; es decir, las tecnologías TDM y WDM son, por el momento, complementarias. De hecho, muchos sistemas WDM, tanto CWDM como DWDM, también pueden multiplexar en TDM las señales de entrada, con el fin de aprovechar al máximo el espectro óptico disponible y el ancho de banda ofrecido por la fibra óptica.

Según esto, es conveniente centrarse en los beneficios que ofrece CWDM respecto a DWDM para las redes ópticas metropolitanas, sin tener en cuenta otras posibles tecnologías competidoras. Podemos enumerar las ventajas de los sistemas CWDM respecto a los sistemas DWDM, como: menor coste del equipo, menor coste del sistema de gestión asociado, mayor facilidad de instalación y configuración inicial de la red, mayor facilidad de operación y mantenimiento de la red, menor consumo de potencia, y menor espacio ocupado. En definitiva, CWDM es una tecnología muy sencilla y tiene un coste muy bajo, típicamente de alrededor del 35-65% al de DWDM para el mismo número longitudes de onda, lo que permite que los desembolsos en capital sigan la trayectoria de la generación de beneficios.

La única limitación que puede presentar CWDM frente a DWDM en el entorno metropolitano es la menor capacidad soportada. No obstante, varios suministradores WDM ofrecen esquemas de migración entre CWDM y DWDM metropolitano, de tal modo que, cuando la capacidad de los sistemas CWDM deba ser extendida, algunos puertos CWDM puedan ser substituidos por puertos y filtros DWDM. Según este esquema de migración, hasta 16 canales DWDM separados 50 GHz pueden ser ubicados en el espectro ocupado por un único canal CWDM.

3.1.4 CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS

- Posee espaciamiento de frecuencias de 2.500 GHz (20nm), dando cabida a láseres de gran anchura espectral.

- 18 longitudes de onda, definidas en el intervalo de 1270 a 1610 nm
- Los CWDM actuales tienen su límite en 2,5 Gbps.
- En cuanto a las distancias que cubren llegan hasta unos 80 km.
- Utilizan láser DBF (láseres de realimentación distribuidos) sin peltier ni termistor.
- Usa filtros ópticos de banda ancha, multiplexores y demultiplexores basados en TFF (tecnología de película delgada)
- Mayor espaciamiento de longitudes de onda, lo que indica que si hay una variación en la onda central debido a imperfecciones de los láseres producidos por procesos de fabricación menos críticos esta onda se mantendrá en banda.
- Mayor espectro óptico, esto nos permite tener un número de canales para utilizar sin que estos sean disminuidos a causa de la separación entre ellos

3.1.5 TOPOLOGÍAS

CWDM puede admitir las siguientes topologías:

- Anillos punto a punto y redes ópticas pasivas (PON)
- Anillos locales CWDM que se conectan con anillos metropolitanos DWDM
- Anillos de acceso y las redes ópticas pasivas.

3.1.6 VENTAJAS

- Menor consumo energético.
- Tamaño inferior de los láseres CWDM.
- Soluciona los problemas de cuellos de botella.

- Hardware y costo operativo más barato referente a otras tecnologías de la misma familia.
- Anchos de banda más elevada.
- Es más sencillo referente al diseño de la red, implementación y operación.
- Mayor facilidad de instalación, configuración y mantenimiento de la red.
- Alto grado de flexibilidad y seguridad en la creación de redes ópticas metropolitanas.
- Puede transportar cualquier servicio de corto alcance como: SDH, CATV, ATM, FTTH – PON, 10Gibagit, entre otros.

3.1.7 DIFERENCIAS ENTRE TECNOLOGÍAS.

Las diferencias entre los sistemas CWDM y DWDM pueden explicarse describiendo los principales componentes de todos los sistemas WDM. Estos son:

- Un láser óptico (transmisor).
- Un detector óptico (receptor).
- Filtros ópticos para multiplexar y demultiplexar.
- Amplificadores ópticos para extensión de distancia.

Típicamente, el láser óptico utilizado para transmitir una señal y el correspondiente detector usado para recibir la señal en las mismas longitudes de onda que fue transmitida, están integrados en un único transceiver.

La cantidad total de información que se transmite en unas longitudes de onda, está determinada por el bit rate del láser.

El precio de un DWDM transceiver es típicamente de cuatro a cinco veces más caro que su contrapartida de CWDM.

<i>CWDM</i>	<i>DWDM</i>
Espaciamiento más Grande	Espaciamiento más pequeño
Capacidad: 18 canales	Capacidad: 160 canales
Bajo costo	Alto Costo
En las bandas O (Original), E (Extendida), S (Corta), C (Convencional) y L (Larga), 18 longitudes de onda.	Usan <u>generalmente</u> la banda C (1550 nm), aunque con amplificadores Raman se usa también la L.
Separación entre lambdas es de 20nm	0,8 nm y 1,6nm, según la banda de operación.
Costo de Multiplexor es más barato	Costo de Multiplexor es más caro
Intervalos de banda de 1500 a 1600 nm	Intervalos de banda de 1270 a 1610nm
Menos consumo energético	Mayor consumo energético
Sencillo su diseño de red	Complejo su diseño de red
Se usa para fibras monomodo	Adaptable a fibras ópticas existentes
Exclusivo para redes Long haul	Exclusivo para redes metropolitanas
Distancia de 80 km	Distancia a más de 100 km
Ancho de Banda de 10 Gps	Ancho de Banda de 2,5Gps a 10Gps e incluso de 40Gbps
No usan amplificadores ópticos	Contiene Tx, Rx EDFAs, Multiplexores, Demultiplexores
	Transmisión Unidireccional y Bidireccional

TABLA 2: Comparación entre tecnologías

CAPITULO IV

4 APLICACIÓN

4.1 INTRODUCCIÓN

Recientemente la demanda de altos anchos de banda ha crecido mucho y continuamente sigue avanzando a una sorprendente velocidad, y la tecnología hoy utilizada por CNT E.P. (Corporación Nacional de Telecomunicaciones Empresa Privada), no es suficiente para hacer frente a este problema. Tanto la comunicación de voz, y la transferencia de datos necesitan altas tasas de transferencias tales como: video, gráficos de alta resolución y un gran volumen de procesamiento de datos que están limitados por las capacidades que tiene el cobre. Otra razón para la demanda de ancho de banda es que los proveedores de Internet necesitan garantizar redes libres de fallas. Como en los últimos años las telecomunicaciones se han vuelto un punto crítico en los negocios y en general para cada individuo, los proveedores de servicio tienen que garantizar que sus redes sean tolerantes a fallas y que sean confiables a pesar del tiempo de utilización.

Afortunadamente las fibras ópticas tienen alta capacidad de tasa de datos. Los Gbps sobre grandes distancias, han hecho que el uso de la fibra óptica sea indispensable para las redes del futuro y sistemas de comunicación. El amplio uso de la fibra ha sido posible en parte por la aceptación de la industria de tecnología SDH como un estándar de nueva generación. Usando el estándar SDH, las compañías de telecomunicaciones han expandido su capacidad incrementando la tasa de transmisión de datos, como es el caso de CNT E.P. que tiene una red SDH de 2.5 Gbps (STM-16). Sin embargo el equipo TDM instalado actualmente utiliza menos del uno por ciento de la capacidad intrínseca de la fibra. La capacidad y desempeño de la fibra óptica es mayor dependiendo del tipo de tecnología de modulación. En redes de comunicación óptica los esquemas de modulación

pueden estar considerados dentro de los siguientes métodos: multiplexación por longitud de onda, multiplexación por división de tiempo o multiplexación por división de código.

TDM y CDM son menos utilizados que WDM porque en este último no se necesita algunos de los requerimientos que son indispensables en los usuarios finales, en los anteriores esquemas de modulación. En resumen WDM es la última tecnología desarrollada en sistemas de transmisión óptica. Con WDM los sistemas hoy en día pueden incrementar su capacidad por una sola fibra en 40 Gbps. Esta tecnología cuando se combina con sistemas de gestión de red y multiplexores ADM permiten que los proveedores de Internet y telefonía tanto celular como convencional puedan acceder a anchos de banda con bajos costos a comparación de instalar redes de fibra óptica para sus empresas.

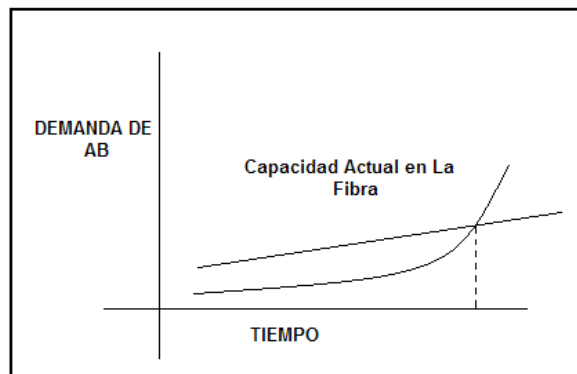


FIGURA 66: Demanda de Ancho de banda y el cambio Capacidad de la Fibra vs. El tiempo

4.2 DIAGRAMA GENERAL DE LA UBICACIÓN DE LA FIBRA ÓPTICA EN EL TERRITORIO ECUATORIANO

El recorrido de fibra óptica en el Ecuador ha evolucionado y está conformado por: **RED TRONCAL EX ANDINATEL:** Tulcán Ibarra, Quito Latacunga, Guaranda, Riobamba, Babahoyo Azoquez, Milagro, Guayaquil.

EX PACIFICTEL: Santo Domingo, Quevedo, Portoviejo, Manta, Puerto López, Santa Elena, Machala, Guayaquil, Huaquillas.

TRANSELECTRIC: Tulcán, Quito, Santa Elena, Guayaquil, Cuenca, Loja, Machala.

CNT S.A. Esmeraldas, Quito, Sucumbíos.

El enlace principal es por la costa, vía San Miguel de los Bancos, las principales ciudades por las cuales la fibra óptica pasa son: Quito, Santo Domingo de los Colorados, Quevedo, Manta, Puerto López, Santa Elena y Guayaquil. El enlace redundante Quito - Guayaquil vía Ambato pasa por las ciudades de Latacunga, Ambato, Riobamba, Babahoyo, Milagro y Guayaquil. El tendido de ambos trayectos es subterráneo en un 80% y en un 20% aéreo. Consta de 5 tecnologías en la capa transmisión que son Radios PDH, ADM SDH, NG-SDH, Fibras Ópticas directas con Regeneradores.



FIGURA 67: Ruta Fibra Óptica



FIGURA 68: Conectividad Internacional

4.3 FIBRA ÓPTICA INSTALADA SUBTERRANEA Y CANALIZADA

La fibra óptica corresponde a la recomendación G.655 para la ruta Costa y G.652 para la ruta Sierra que son usados para la transmisión en la tercera ventana, 1550nm, en esta ventana la dispersión es casi nula, esto ayuda a transmitir a mayor distancia y a altas velocidad.

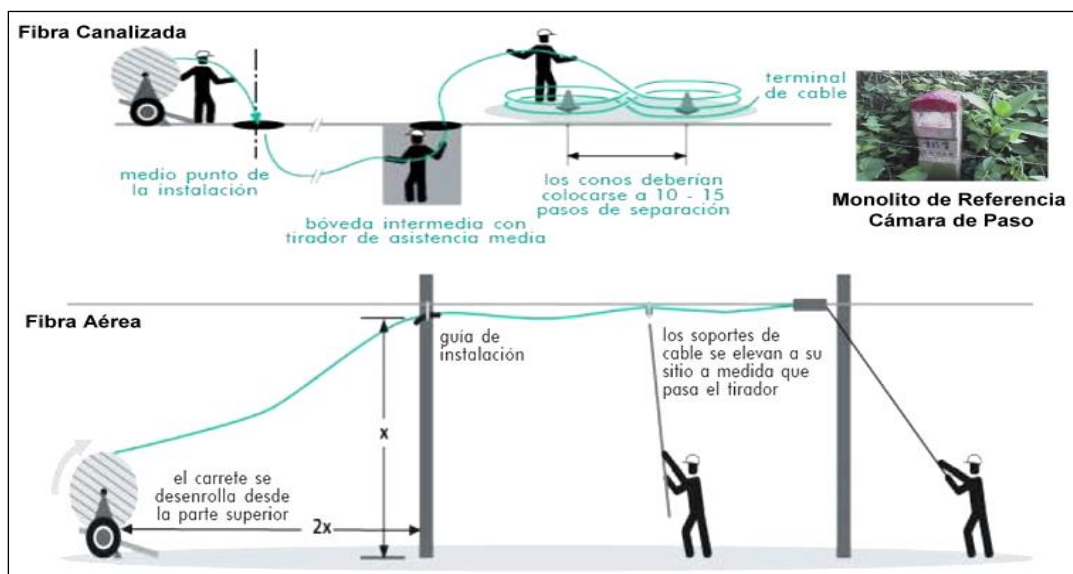


FIGURA 69: Fibra Óptica Canalizada y Aérea

4.4 PROYECCIÓN DE TRÁFICO

De acuerdo a datos estadísticos proporcionados por la herramienta de monitoreo de ocupación de ancho de banda de las salidas internacionales de internet, se indica como creció el consumo de ancho de banda en forma general en los 2 últimos años:

SALIDAS INTERNACIONALES DE INTERNET					SERVIDORES CONTENIDO YOUTUBE
Año	Mes	Capacidad Instalada (Gbps)	Consumo Total (Gbps)	Consumo Anual Total (Gbps)	Capacidad (Gbps)
2 0 1 0	Enero	3	2,5	87,9	0
	Febrero	4	3		0
	Marzo	5	4,1		0
	Abril	7	5		0
	Mayo	8	6		0
	Junio	10	6,8		0
	Julio	10	8		0
	Agosto	12.5	9,2		0
	Septiembre	13	10		0
	Octubre	13	11		0
	Noviembre	14	11,8		0
	Diciembre	14	13		0
2 0 1 1	Enero	15	13,8	176	0
	Febrero	15	14		0
	Marzo	15	13		0,300
	Abril	15	13,5		1
	Mayo	17.5	13.8		2
	Junio	17.5	14		3
	Julio	17.5	14.2		4
	Agosto	17.5	14.5		5

TABLA 3: Salidas Internacionales de Internet

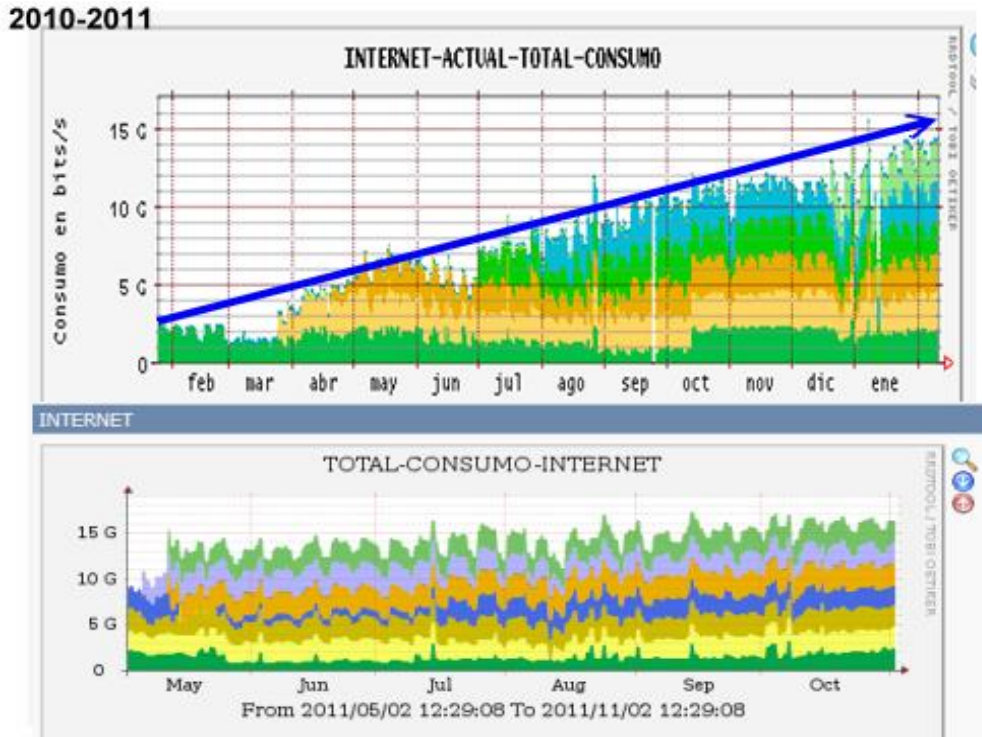


FIGURA 70: Consumo actual de las Salidas Internacionales en Ecuador

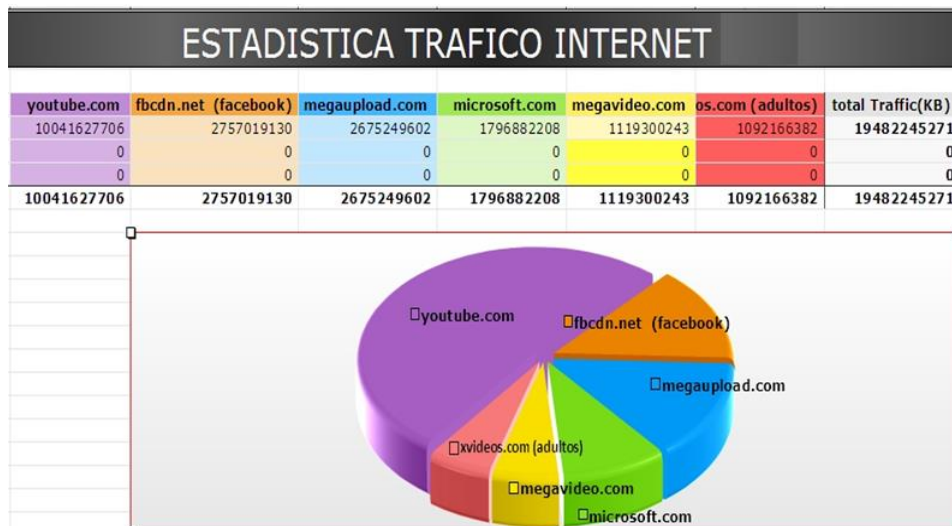


FIGURA 71: Estadísticas de tráfico de Internet en Ecuador

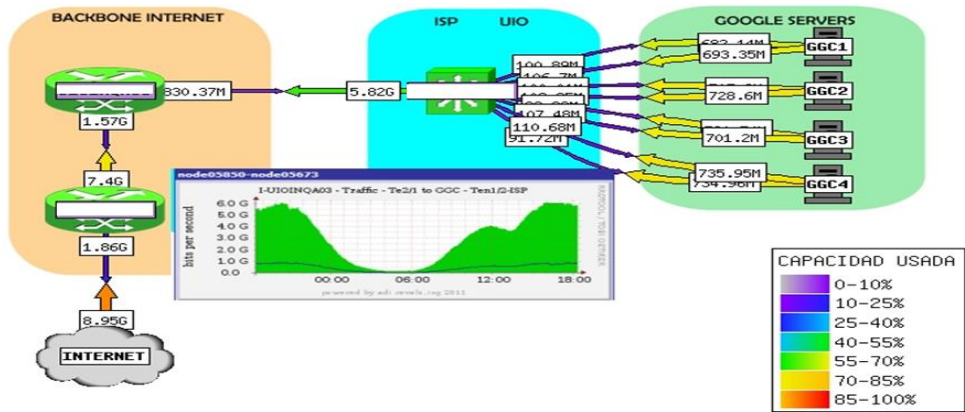


FIGURA 72: Optimización Tráfico Internet Servidores Cache Google

4.5 CRECIMIENTO DE CLIENTES DE INTERNET

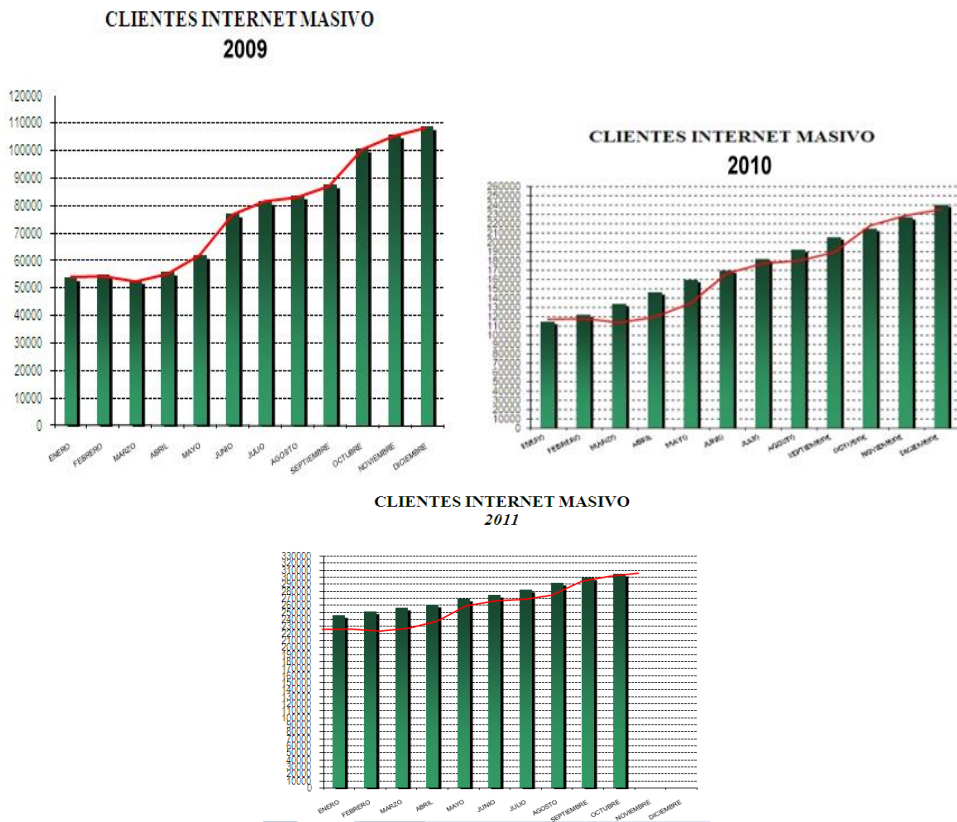


FIGURA 73: Estadísticas de Clientes de Internet

4.6 PROYECCIÓN DE TRÁFICO

De acuerdo a los datos recopilados por la herramienta de monitoreo de la ocupación de tráfico CACTI, se presenta como se incrementó el ancho de banda en los 2 últimos años:

AÑO	CONSUMO AB (Gbps)
2010	87,9
2011	176

Podemos estimar el crecimiento utilizando la siguiente ecuación:

$$x = \left(\frac{C_{final}}{C_{inicial}} \right)^{\frac{1}{n}} - 1$$

Donde :

n tiempo años

C_{final} Capacidad Final en n años

C_{inicial} Capacidad Inicial o Referencial

x Índice de Crecimiento Anual

$$x = \left(\frac{176}{87,9} \right)^{\frac{1}{2}} - 1 = 42\%$$

4.7 FACTORES A CONSIDERAR EN EL DISEÑO DE UNA RED DWDM

De acuerdo al índice de crecimiento producto de la demanda la capacidad diseñada de la red es de 96 longitudes de onda, 96*10Gbps pero inicialmente se proveerá de 48 longitudes de onda. Los sistemas DWDM pueden ser expandidos sin afectación a una capacidad mínima de 960 Gbps, sin la necesidad de realizar cambios en la plataforma, a través de la simple adición de tarjetas y/o módulos, sin afectar o tener un impacto sobre el tráfico existente o inicial.

4.7.1 DISTANCIA Y ATENUACIÓN

La Atenuación es la pérdida de potencia que sufre la señal en el trayecto de un enlace, de la atenuación depende que tan lejos podemos llegar con la fibra óptica.

Anillo	Nro de segmento	Punto de Inicio	Punto Fin	Distancia[km]
Anillo 1	1	Iñaquito	Latacunga	104.8
	2	Latacunga	Ambato	53.6
	3	Ambato	Guaranda	107.7
	4	Guaranda	Babahoyo	128.1
	5	Babahoyo	Guayaquil	112.6
	6	Guayaquil	Salinas	150.3
	7	Salinas	Puerto López	117.4
	8	Puerto López	Manta	121.7
	9	Manta	Pichincha	143.9
	10	Pichincha	Quevedo	53.8
	11	Quevedo	Santo Domingo	113.3

	12	Santo Domingo	San Miguel	85.7
	13	San Miguel	Iñaquito	110

TABLA 4: Atenuación en los enlaces

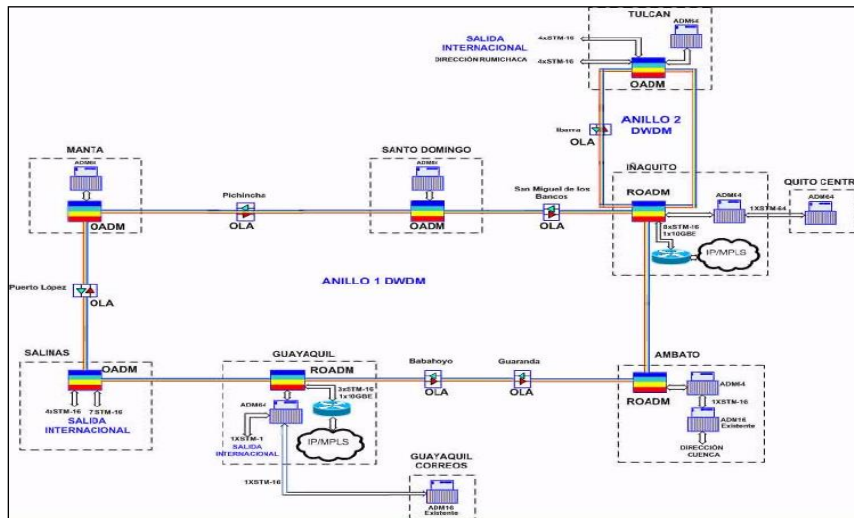


FIGURA 74: Topología Propuesta de la Red DWDM

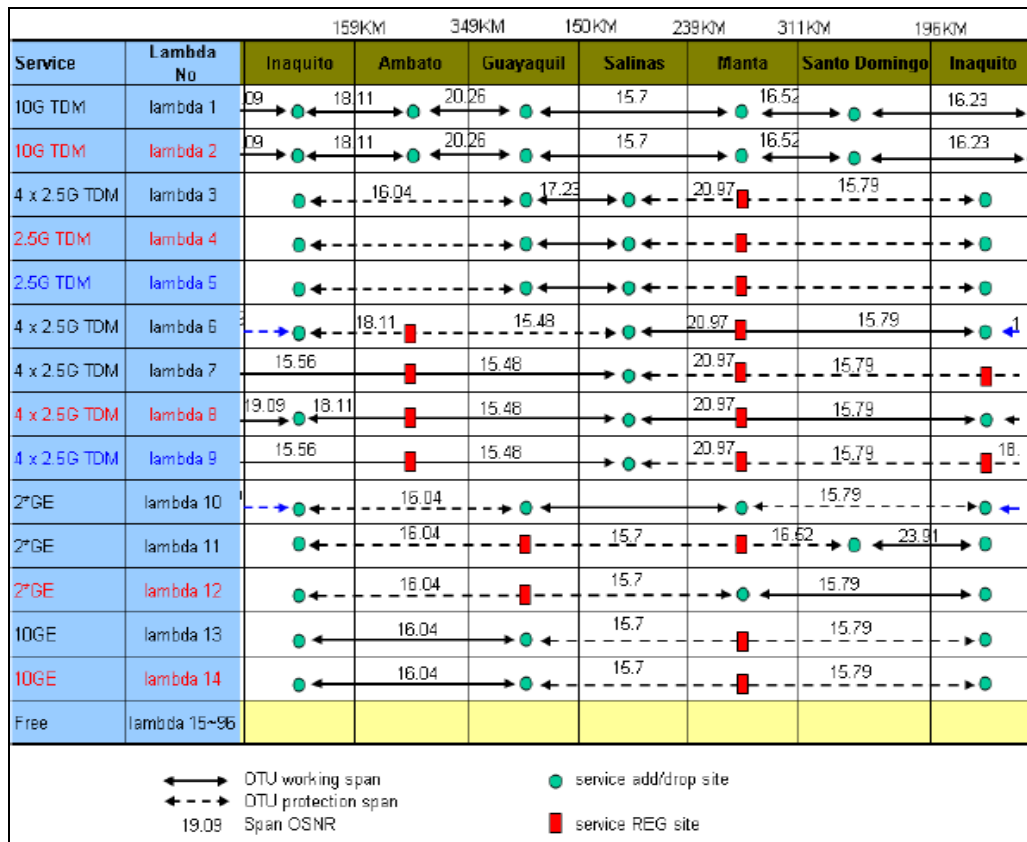


FIGURA 75: Matriz de Tráfico Propuesta de la Red DWDM

4.8 ESPECIFICACIONES TÉCNICAS PARA UN SISTEMA DWDM

El sistema DWDM requerido para este proyecto deberá reunir los requisitos tanto para redes de área metropolitana como para redes de larga distancia.

A través de estas especificaciones se trata de mostrar la mejor alternativa en cuanto se refiere al multiplexor de división de longitud de onda densa para redes de largas distancia especialmente, aunque se lo puede configurar para redes de área metropolitana. El sistema DWDM será capaz de proveer manejo y canales de protección para los siguientes servicios de transportes:

- Interfaz SDH

- Interfaz de Datos
- Interfaz OTH
- Interfaz LAN

El sistema DWDM será capaz soportar en una sola plataforma la transmisión de datos con anchos de banda de 2.5 Gbps, 10 Gbps y 40 Gbps o cualquier combinación de ellos, con el fin de garantizar una red de alta capacidad para CNT. E.P.

Es importante tener en cuenta la longitud del enlace que van a manejar estos equipos y el número de amplificadores que se va a utilizar para tener una visión clara del equipamiento; en cuanto a tarjetas se refiere, en este caso como se vio en el capítulo anterior se va a necesitar 4 amplificadores en una distancia de 454 Km.

El sistema DWDM deberá ofrecer todo en cuanto se refiere a necesidades de plataformas DWDM:

- Redes DWDM ULH (muy grandes distancias) con distancias de más de 3000 Km. Con amplificaciones reforzadas con mecanismos (EFEC) y control de software de potencia que hacen posible lograr la capacidad de ULH.
- Aplicaciones Long haul DWDM con alcance de más de 1500 Km.
- Aplicaciones DWDM regional, con altos volúmenes de tráfico, ya que DWDM es necesario para las necesidades de redes regionales, estas redes tienen longitudes de 100 a 800 Km.
- Aplicaciones de capacidad muy grande (UHC), con 160 canales a 10 Gbps y 80 canales a 40 Gbps disponibles hoy en día.

El sistema de manejo DWDM deberá tener las siguientes características generales para poder satisfacer las necesidades de la red de CNT E.P.

UTILIZACIÓN MÁXIMA DE LA FIBRA: la capacidad de los transponders deberá ser mayor a 3.2 Tbps por cada par de fibras, o sea el equipo debe soportar gran capacidad de información.

ALCANCE EXTENDIDO: Amplificadores ópticos de alto desempeño con refuerzo de EFEC para grandes distancias. Para aplicaciones ópticas el sistema debe soportar dimensionamiento ULH de miles de kilómetros de transmisión solo óptica.

MODULARIDAD: capaz de aumentar su capacidad en forma modular, minimizando los costos de inversión inicial, sin necesidad de adicionar ningún otro equipo.

COSTO BAJO DE LA RED: Dado que debe ser un sistema de última generación, los costos en cuanto a regeneradores eléctricos y amplificadores ópticos van a ser reducidos comparados con sistemas actuales de menor capacidad.

ESCALABILIDAD: Deberá cumplir con el concepto de escalabilidad en cada multiplexor/demultiplexor, requerido para la adición/extracción.

COMPACTO: El sistema debe brindar una solución DWDM lo más compacta posible tanto en la parte física como en las interfaces.

DISEÑO DE RED SIMPLIFICADO: con esto se puede reducir en forma significativa el costo de mantenimiento del sistema, y se optimizaría su uso.

CONTROL ÓPTICO: Se refiere a utilizar técnicas para asegurar la calidad de la señal que llega desde el transmisor hasta el receptor.

FLEXIBILIDAD DEL TIPO DE FIBRA: El equipo deberá ser compatible con el mayor tipo de fibras tales como SSMF, NZDF y DSF.

FLEXIBILIDAD OADM: Con capacidad de adición/extracción del 100 % en todos los puntos intermedios de la red si esta lo tuviera, caso contrario en los puntos terminales.

FLEXIBILIDAD DE SERVICIO: Con esta característica el equipo deberá soportar servicios basados en SDH, IP o ATM. Con el fin de satisfacer al cliente.

SOLUCIONES INTEGRADAS: El equipo será capaz de interconectarse con otros equipos de manejo SDH para poder tener un completo sistema DWDM que satisfaga todas las necesidades y proporcione alta capacidad en la red.

SOLUCIONES MÚLTIPLES: Esta característica se refiere a que el equipo de manejo DWDM se puede equipar de acuerdo con la característica de la red que se vaya a implementar.

ANÁLISIS DE DESEMPEÑO ÓPTICO: El equipo deberá constar con todas las opciones para poder ser monitoreado tanto de forma manual o remota para obtener un alto grado de control de toda la red.

PROTECCIÓN: el equipo debe brindar tanto protección en tarjetas como en fibras para poder garantizar un servicio confiable para los clientes.

MANEJO DE LA RED: El equipo se debe poder manejar vía Manejo de la Red de Transporte (TNM), usando lo último en tecnología para tener la más avanzada solución de manejo de la red. Parea el mantenimiento preventivo de la red también se deberá poder manejar el equipo vía LCT (Local Craft Terminal).

EVOLUCIÓN: El equipo deberá ser capaz de soportar exigencias futuras como lo es extensión de la red, aumento de capacidad y cambio de topología,

4.9 REQUERIMIENTOS GENERALES PARA EL SISTEMA DWDM

El sistema que debería ser utilizado debería configurarse de manera flexible como un OADM, medio de transporte o regenerador, sin cualquier modificación del hardware al instante que se diseñe para los distintos tipos de configuración, ya sean estos esquemas de protección o como sistemas regeneradores. Es importante especificar que el equipo en general deberá tener la capacidad de ser configurado remotamente.

El equipo DWDM deberá cumplir con los estándares ETSI acerca del montaje de racks y las medidas dadas para estos tipos de equipos. Los equipos amplificadores, splitters, etc., deberán ser organizados en el mismo compartimiento para facilitar su uso en las distintas prestaciones que tenga la red.

En el equipo WDM, todas las conexiones ópticas deberán ser localizadas en la parte delantera para cada módulo. Cada unidad deberá preferentemente tener su propio conversor DC/DC para distribuir la energía.

Por las propiedades físicas de la fibra y de acuerdo a la recomendación de la ITU-T G.652, el sistema deberá soportar una capacidad de 4 canales y podrá ser actualizada a 40 canales sobre un par de fibras.

Los Equipos DWDM que se requiere deberán poder bajar la información de 0% a 100% total de la capacidad de las tarjetas ópticas de línea que se estén utilizando en su equipamiento.

El sistema deberá contar con el ALS (Automatic Laser Shutdown) en caso de que la fibra sea cortada o tenga pérdidas, para que no exista accidentes en el momento de que se esté reparando la fibra, y también podrá ser controlado el láser local o remotamente vía LCT (Local Craft Terminal) o por TNM.

Los equipos DWDM deberán ser capaces de interconectarse con otros equipos, a fin de que cumpla con las especificaciones de la ITU que así lo establece. Además el sistema DWDM deberá obedecer a las especificaciones de la ITU-T G-652 para fibra monomodo, considerando una atenuación de 0.25 dB/Km en una ventana de 1550 nm.

4.10 ESPECIFICACIONES RELACIONADAS CON LA ITU-T

El sistema deberá obedecer a las siguientes recomendaciones de la ITU-T, para garantizar un adecuado funcionamiento y cumplir con todas las normas que las recomendaciones así lo ameriten.

4.10.1 Aspectos de arquitectura

G.871 Armazón para recomendaciones de Red de Transporte Óptica.

G.872 Arquitectura de Redes de Transporte Ópticas.

4.10.2 Estructura y Mapeamiento

G.709: Interfaces de nodo de red para la Red de Transporte Óptico

G.709: Corrección de error directo (FEC)

4.10.3 Características Funcionales

G.664: Procedimientos y Requisitos de seguridad óptica para sistemas de transporte óptico.

G.798: Características del equipo de res de transporte óptico (OTN) de bloque funcionales.

G.873.1: Red de Transporte Óptico (OTN)-Protección Lineal

4.10.4 Aspectos de Manejo

G.874: Aspectos de manejo del elemento de red de transporte óptico.

4.10.5 Desempeño de Error

G.828: Parámetros de desempeño de error y objetivos tasas de bits sincronizados en ratas digitales.

G.8251: Control del Jitter y Wander dentro de la red de transporte óptica.

4.10.6 Aspectos de la Capa Física

G.691: Interfaces ópticas para sistemas SDH de canal simple con amplificadores ópticos, y sistemas STM-64 y STM-256.

G.692: Interfaces ópticas para sistemas multicanales con amplificadores ópticos

G.694.1: Rejas espectrales para aplicaciones WDM.

G.664: Procedimientos y requisitos de seguridad óptica para sistemas ópticos de transporte.

G.959.1: Interfaces de capa física de red de transporte óptica.

G.652: Características de un cable de fibra óptica monomodo.

4.11 ARQUITECTURA DEL SISTEMA DWDM

Los equipos del sistema DWDM deberán cumplir con los siguientes requerimientos para que la red sea óptima:

Los equipos del sistema DWDM deberán poder desenvolverse fácilmente desde una topología punto a punto sin protecciones, hasta una topología de anillo completo de 40 longitudes de onda con protección y no deberán presentar ningún

tipo de interrupción o cambio en los servicios, ni modificar el concepto operacional o el manejo de la red.

Los equipos OADM (Multiplexores Ópticos de Adición/Extracción) deben tener la menor pérdida óptica para los canales ópticos en tránsito. Estos equipos deberán ser capaces de transportar 4 longitudes de onda y tener un 100 % de capacidad de adición/extracción.

Los equipos DWDM deberán soportar un ancho rango de topologías de red como las siguientes.

- Configuración Punto a Punto
- Punto a Punto con OADM lineal
- Anillo DWDM con OADMs.

Los equipos de manejo DWDM deberán ser capaces de soportar y ofrecer transporte para los siguientes servicios:

- Gigabit Ethernet modo SX o LX
- Protocolos de almacenamiento de red tales como: FC, FC-P1, ESCON y FICON
- Tasas de SDH de STM-N (donde N= 1,4,16,64 y 256)
- OTU-n (donde n=1,2)
- Cualquier señal con tasa de bit = 50 Mbps - 2.5 Gbps

4.12 SISTEMA DE PROTECCIÓN DWDM

4.12.1 Protección de la Red DWDM

El equipo de manejo DWDM deberá proporcionar canal óptico, tarjetas y mecanismos de protección para asegurar alta confiabilidad requerida para varias aplicaciones. El sistema DWDM será capaz de proporcionar protección óptica O-MSP en la configuración punto a punto y también deberá ser capaz de proporcionar protección óptica OCH-SNCP en las configuraciones en anillo y lineal de adición/extracción.

El sistema podrá detectar e iniciar la conmutación a protección (cambio working to protection) en el caso de alguna fallas en un tiempo menor a 50 ms. Además de la protección por conmutación deberá garantizar una protección canal por canal en cada longitud de onda en todo el camino óptico, incluyendo en los transponders de transmisión y recepción. Para complementar el sistema deberá monitorear pruebas de funcionalidad tales como pérdida de luz y control de la tasa de bit.

4.12.2 Protección de Hardware DWDM

Los equipos deben tener doble redundancia de alimentación de energía para los -48 V de uso. La alimentación de poder deberá ser en protección 1+1 y no deberá afectar el trabajo normal del equipo.

El sistema proporcionará protección en las tarjetas tanto 1+1 o 1: N (protección en la capa del cliente) en el modo de espera (host stanby) y puede cambiar de una tarjeta a otra que estén en el modo de espera en el caso de que la una falle en menos de 50 ms.

4.13 INTERFACES Y TARJETAS DWDM

Los equipos DWDM serán capaces de soportar las siguientes tarjetas para apoyar todos los protocolos de las especificaciones técnicas que estos deben cumplir para conformar la red.

- a) Tarjeta de 2.5 Gbps
- b) Tarjeta de 10 Gbps compatible con la ITU-T G.709 UNI y aplicaciones NNI, soportando STM-64, 10 GBE WAN.
- c) Tarjeta de múltiple tasa de 100 Mbps a 2.5 Mbps para FE, FC, PC-P1, ESCON, FICON, Video Digital, STM-1, STM-4 y STM-16.
- d) Tarjeta de multiplexación de 2.5 Gbps a 10 Gbps para STM-16 y OTU1. ITU-T G.709
- e) Tarjeta de 40 GBps para STM-256.

Todas las tarjetas deberán ser compatibles con la recomendación de la ITU-T G.709, que está asociada a aplicaciones UNI y NNI y serán las mismas configurables para señal de regeneración 3R.

Las tarjetas deberán ser capaces de interconectarse con equipos terminales para varios protocolos y pueden ser mapeados dentro del apropiado rango espectral implementado por la ITU-T G.692.

Será posible mezclar servicios de 2.5 y 10 Gbps juntos en el mismo sistema DWDM sin ninguna restricción. También deben asignarse 2.5 y 10 Gbps a cualquier longitud de onda sin ninguna restricción.

Las tarjetas deberán apoyar al sistema monitoreando su desempeño, basadas en el monitoreo de byte B1 para tráfico SDH.

La tarjeta de múltiple tasa deberá soportar todas las tasas de bit desde 100 Mbps a 2.5 Gbps, incluyendo: Fast Ethernet, FDDI, Video Digital, STM-1, STM-4, Gigabit Ethernet y STM-16.

Para la tarjeta de múltiple tasa, la tasa de bit puede ser provisionada de forma remota por el Manager de la Red para controlar en ancho de banda. La actualización de la tasa deberá estar en servicio y totalmente manejado por software.

Las tarjetas DWDM deberán tener un atenuador óptico variable (VOA) para ajustar la potencia de salida óptica por el equilibrio del canal, el control automático de la ganancia y el ajuste de la potencia de canal para poder tener una óptima longitud de onda.

Las tarjetas deberán ser configurables en forma remota por quién este manejando la red y pueden usarse para las siguientes aplicaciones:

- a) Control de Tráfico adición/extracción
- b) Regeneración O/E/O
- c) Lazos locales y remotos (Para probar e identificar una falla)

Las tarjetas contarán con conectores FC/PC, SC/PC o interfaces ópticos SFP. Sin embargo los módulos SFP con conectores LC o SC son recomendados para tener un mínimo de pérdida en los conectores.

4.14 FEC (CORRECCIÓN DE ERROR DIRECTA)

Las tarjetas del equipo DWDM deben tener Código de Error Delantero proveyendo alta ganancia de código para obtener mayores desempeños, con el fin de disminuir los errores en el momento de enviar información (voz, datos, video) de un lugar a otro. Es un factor muy importante a tener en cuenta en cuanto a confiabilidad de información se refiere.

4.15 PRESUPUESTO ÓPTICO Y AMPLIFICACIÓN ÓPTICA

El sistema DWDM soportará “balanceo de la potencia del canal” para todos los canales ópticos en la salida de un nodo para ajustarlo al nivel de potencia adecuada para optimizar su transmisión. El sistema deberá ajustar automáticamente la potencia de lanzamiento con los límites especificados para cada longitud de onda en el momento de la adición y extracción para todos los canales del mismo. El equilibrio de potencia de canal deberá ser aplicado a todos los canales, independientemente del camino del canal en el nodo donde haga su cambio a otro canal.

4.16 AMPLIFICADORES ÓPTICOS

Los equipos DWDM deberán soportar la compatibilidad con amplificadores ópticos o tener tarjetas de amplificación óptica en aplicaciones de largo alcance (long haul). Además deberán tolerar el OSNR y PMD. Los equipos de amplificación deben ser capaces de proveer amplificación óptica en toda la capacidad del sistema, con un máximo de 40 canales (para aplicaciones futuras).

Los amplificadores ópticos deberán ser amplificadores “EDFA” (amplificador de fibra dopado de Erbium) con alta tolerancia y proporcionará una ganancia nominal óptica de por lo menos 24 dB sin compensación DCM en la fibra G.652. Los amplificadores ópticos podrán ser usados en diferentes aplicaciones: como amplificadores de línea o pre-amplificadores.

Los amplificadores deben ser amplificadores de doble estado que puedan acomodarse a la capacidad del canal así este lleno y todavía puedan asegurar el paso óptico a través del canal sin requerir regeneración O/E/O (óptico-eléctrico-óptico).

El sistema de amplificadores deberá soportar a total monitoreo capacidad de medida en todo el trayecto de la red en donde consten amplificadores como equipos intermedios.

Los amplificadores deberán tener puertos externos disponibles para monitorear el rendimiento de la potencia de entrada y salida del pre-amplificador y del booster. Así también estos monitoreos deberán ser posibles de forma remota tanto en la entrada y salida del sistema de amplificadores.

Los amplificadores deberán ofrecer la opción de ALS (apagado automático de láser) en el caso de que la fibra se rompa de acuerdo con las recomendaciones de la ITU-T G.664. Así también los amplificadores deberán restablecer su funcionamiento sin ningún problema cuando la fibra sea reparada y este en óptimas condiciones.

Es importante recalcar que la tarjetas o tarjetas de amplificación deberán estar colocadas en la misma fila del rack que los otros módulos del sistema DWDM tales como tarjetas MUX/DEMUX, filtros y tarjetas de bomba.

4.17 COMPENSACIÓN DE DISPERSIÓN CROMÁTICA

Para la aplicación de larga distancia que es el caso de la red propuesta entre Quito y Guayaquil el sistema que maneje la parte DWDM deberá soportar módulos de compensación de dispersión (DCMs) con una gradualidad que asegure una apropiada compensación que pueda lograrse fácilmente. Los módulos DCM serán de tipo delgado y pueden ser montados en el mismo rack del DWDM. El sistema debe ser capaz de soportar una combinación de amplificadores, usando

DCMs en conjunto con amplificadores EDFA para superar la limitación de dispersión de la fibra G.652. La distancia máxima (500 Km) se tomará en cuenta con un margen de atenuación del cable de 5 dB.

La tarjeta de 2.5 Gbps del equipo de manejo DWDM deberá tener una tolerancia de 3200 ps/nm de dispersión cromática en la fibra de CNT E.P.G.652. Para las tarjetas de 10 Gbps se deberán usar los módulos de DCM para el manejo de dispersión.

Los módulos DCM deberán ser colocados en el mismo rack normado por ETSI del sistema DWDM, y deberá ser instalado en la parte inferior de una arquitectura típica de rack.

4.18 SISTEMA DE MANEJO DE LA RED DWDM

4.18.1 Características Generales del Sistema NMS

El sistema de gestión debe proveer toda la información necesaria, es decir el número máximo de los elementos de la red (NEs) que pueden manejar sin ninguna degradación en el funcionamiento del sistema. En este caso se estaría hablando de un número de 8 elementos de red, esto incluye 2 equipos de manejo DWDM, 2 equipos de manejo SDH y 4 amplificadores ubicados en los puntos intermedios como se vio en el capítulo anterior. El manejo que se ofrezca deberá ser total y con un ambiente amigable para que el usuario tenga total manejo de toda la red DWDM de CNT. E.P.

4.18.2 Licencia

El sistema NMS deberá contar con una licencia, la cual pueda permitir la instalación en todos los computadores de la red, sin que exista restricción alguna. La misma debe permitir el manejo total de la red y su uso ilimitado sin necesidad de adquirir otra licencia.

4.18.3 Manejo de las Capas

Las funciones del sistema deben estar de acuerdo con las siguientes características para tener el manejo y gestión de la red:

- a) Capa de Elemento de Red: Incluye el manejo de la configuración del elemento de red, de las alarmas, de los funcionamientos, etc.
- b) Capa de manejo de Red: Incluye el manejo de la conectividad de la red, protecciones en varias topologías y dominios de Cross conexiones.
- c) Capa de manejo de Servicio: Incluye el manejo de los servicios ofrecidos al cliente: direccionamiento, manejo del servicio, manejo de cuentas, desarrollo del servicio, planeamiento.
- d) El NM tendrán la facilidad para modificar las funciones para requisitos particulares para cada grupo de usuario que se encuentre en el NMS.

4.18.4 Referencias y Estándares

El NMS deberá satisfacer los requisitos especificados según las recomendaciones más relevantes de ITU-T, y/o cualquier otro estándar relevante, según lo que se va a indicar a continuación:

M.3010 (02/00): Principios para el Manejo de una Red de Telecomunicaciones.

M.3013 (02/00): Consideraciones para el Manejo de una Red de Telecomunicaciones.

M3020 (02/00): Especificaciones de interfaces TMN.

M.3400 (02/00): Funciones del Manejo TMN.

Q.811: Perfiles de protocolo de capa inferior para las interfaces Q3 y X

Q.812: Perfiles de protocolo de capa superior para las interfaces Q3 y X

X.711: Protocolo de Información de Manejo Común

X.720: Tecnología de la información - Interconexión de sistemas abiertos -
Estructura de la información de gestión: Modelo de información de gestión

X.710: Protocolo de Información de Gerencia Común

X.721: Tecnología de la información - Interconexión de sistemas abiertos -
Estructura de la información de gestión: Definición de la información de gestión

X.722: Revisión de las directrices para la definición de objetos gestionados para
incluir ASN.1:1997

4.18.5 Recomendaciones Ópticas de Manejo de la Red

G.874: Aspectos de la gestión de elementos de la red óptica de transporte

G.874.1: Red óptica de transporte: Modelo de información de gestión
independiente del protocolo para la visión del elemento de red

4.18.6 Manejo de Interfaces

La información del manejo de la red será transmitida vía un canal de supervisión óptico (OSC). En caso de que existan configuraciones de anillo, el sistema pueda cambiar a la otra dirección del anillo sin ningún disturbio en tráfico del manejo de la red. El sistema podrá apoyar su función de mantenimiento de forma remota a través de un módem, de TCP/IP o del DDN a través de telnet o de la Web.

4.18.7 Interfaz Gráfica para el Usuario

El NMS deberá tener una sola vista gráfica de todos los elementos de Red. El NMS tendrá la facilidad de partir geográficamente cada elemento de red, para poder agrupar al usuario en subgrupos independientes. Dentro de cada subgrupo, muchos niveles de usuario deben ser posibles es decir dentro un subgrupo debe haber un usuario admin. (Administrador), un usuario operador, y un usuario de la vista-solamente.

El interfaz gráfico utilizado permitirá que los usuarios manejen la red a través de una red de múltiples niveles de ventana, es decir de una ventana secundaria que muestre los mapas de la red.

La red Administrada será representada gráficamente, como una ventana de mapa de red, y mostrará lo siguiente:

- a) Nodos DWDM
- b) Enlaces Ópticos
- c) Rutas y Servicios usando el manejo de enlaces ópticos
- d) Alarmas producidas en los enlaces ópticos
- e) Listas de puertos, enlaces, rutas y servicios

4.18.8 Funciones Gráficas del Usuario

El sistema NMS deberá permitir que los usuarios realicen, pero no restrinjan, las siguientes operaciones en la red y los mapas secundarios de la red:

- a) Crear, borrar y mover nodos (NEs)
- b) Crear, borrar, enlaces ópticos para todo tipo de servicios
- c) Modificar el nombre de nodos ya existentes, enlaces ópticos, etc., todo esto sin que exista inconsistencias en la red

- d) Observar las condiciones de las alarmas en los NEs y en los enlaces

El interfaz gráfico del usuario proporcionará menús de conexión en cascada y una visualización gráfica de la disposición de los equipos que permitan que los usuarios ejecuten tareas operacionales vía entradas al menú y o vía procedimientos de teclado.

4.18.9 Configuraciones de Protección

El sistema NMS permitirá la puesta en práctica del siguiente mecanismo de protección:

- a) 1+1 O-MSP (Protección de la Sección del Multiplex)
- b) OCH-SNCP para cada canal óptico

4.18.10 Manejo de Cross conexiones

El operador del NMS deberá poder hacer lo siguiente:

- a) Crear los diferentes tipos de Cross conexiones (adición/extracción, directos, etc)
- b) Modificar las conexiones de adición/extracción.
- c) Configurar el modo de protección de cualquier conexión
- d) Activar/desactivar la protección de una conexión
- e) Listado de Cross conexiones existentes
- f) Desplegar las existentes Cross conexiones de un canal óptico

4.18.11 Localización de Alarmas

- a) Las alarmas del equipo podrán ser localizadas en los slots de las tarjetas y a nivel de puertos de un rack específico, en cualquier nodo de la red.
- b) Las alarmas que son debido a fallas en la ruta o enlaces deberán ser localizadas en los canales ópticos.

4.18.12 Colores de las Alarmas

- a) Las alarmas deben tener un código de color, cada color deberá representar un nivel de jerarquía de alarma.
- b) Las alarmas que puedan ocurrir en la red, debido a fallas del equipo, serán mostrados en el mapa de la red con el color que representa la severidad del alarmar.
- c) Los colores de las alarmas desplegadas en el mapa de la red, deberán ser dinámicamente actualizados par indicar el estado actual de la alarma en la red.

4.18.13 Despliegue de las Alarmas

El sistema NMS deberá proveer a los usuarios una lista que muestre un resumen de las alarmas activas, alarmas que ya se normalizaron y seguirá el siguiente patrón:

- a) Se deberá ver una sola lista de alarmas de toda la red
- b) Un único número secuencial y descripción para cada alarma
- c) Identificativo de cada alarmas
- d) Time y fecha en que ocurre la alarma

- e) Nombre del nodo y modulo afectado
- f) Tiempo y fecha cuando termina la alarma

4.18.14 Manejo de Seguridad

El acceso ilegal al sistema NMS será prevenido; todos los usuarios tendrán identificación propia y cada una con su clave correspondiente, lo cual definirá su nivel de acceso al sistema NMS. Este sistema de clave servirá para poder controlar el acceso al control de la red, ya que no todos podrán tener un control total de la red, por motivos de sabotaje o por pérdidas de información confidencial. Más específicamente un usuario o un grupo de usuarios asignado a un dominio específico tendrán diverso nivel de la autorización (es decir diversas funciones y privilegios).

El acceso local vía Terminal (LCT) a cualquier elemento o nodo manejado por la red será indicado en el sistema NMS, y solo se tendrá privilegios completos si se le da permisos de escritura desde el centro de gestión. El sistema NMS ofrecerá la opción de detectar cuando un usuario se conecte a un equipo localmente.

Para completar el funcionamiento, el sistema NMS tendrá un registro de todas las actividades que realicen cada usuario que ingrese en la red, para tener un control de acceso y actividades dentro de la red.

4.18.15 DCN (Canal de Comunicación de Datos)

El sistema debe ofrecer varias opciones para poder establecer conectividad entre los elementos de red y la plataforma NMS, en caso de que existieran fallas en el canal óptico, una alternativa es un canal que maneje la red propia.

El sistema DWDM deberá tener la propiedad que conmutar a la red DCN y seguir manteniendo la conectividad de supervisión y operación de toda la red sin ninguna interrupción en el tráfico durante la conmutación. Con esto se garantiza que la red va a estar monitoreada siempre un 100 % a pesar de que existan fallas dentro de la red.

4.18.16 SURPASS HIT 7500 3.X

El SURPASS hiT7500 3.x es un equipo DWDM, de propiedad de Siemens, que fue evolucionando de algunos modelos de la familia SURPASS. El SURPASS hiT7500 3.x introduce nuevas características comparadas con anteriores versiones y es por eso que se ha tomado en cuenta como una sugerencia para ser el equipo adecuado en la implementación de la red DWDM entre Quito y Guayaquil de CNT. E.P.

Este es un equipo que por una parte soporta una alta capacidad, y alto desempeño en aplicaciones DWDM LH/ULH con más de 80 canales en distancias que superan los 3000 Km.

- Protección automática para la parte del MUX
- Nuevos Transponders que soportan ULH
- Optimiza el control continuo de los enlaces y tienen un alto grado de rapidez en la actualización.
- Integración de 40 Gbps

Por otro lado este equipo, un costo beneficio sorprendente para todos los posibles clientes que deseen implementar una red DWDM en largas distancias y que deseen brindar servicios de alta capacidad.

La flexibilidad, escalabilidad y modularidad del SURPASS hiT7500 ha hecho que es uno de los sistemas DWDM más compactos y poderosos que hoy reúne los requisitos de capacidad para el futuro. Muchas empresas hoy en día han escogido a este sistema de manejo DWDM para sus redes gracias a las grandes posibilidades que les brinda.

El SURPASS hiT7500 ofrece una capacidad escalable que 160 canales de 10 Gbps en la banda C y en la banda L. Y va a depender del tipo de fibra que se utilice para que se pueda transportar cierto número de canales, se podría decir que ese va a ser su limitante.

Una de las características principales es su total compatibilidad con equipos de manejo SDH de la familia de los SURPASS hiT 70xx, lo cual hace que los costos se reduzcan considerablemente y así como el uso de quipos será el mínimo posible. Otra característica es que gracias a sus diversidad de transponders puede ofrecer soluciones a distintas necesidades con es la del caso de la red de CNT. E.P. que necesita una capacidad de 10 Gbps. Esto se hará posible mandando cuatro longitudes de onda, cada una de 2.5 Gbps. Adicionalmente el SURPASS hiT 7500 es de tamaño pequeño, tiene bajo costo operacional y costos de equipamiento mínimo, por lo que lo hace ser un equipo adecuado para la red DWDM de CNT. E.P.

Los tipos de elemento de red que está compuesto el SURPASS hiT 7500 son:

- SURPASS hiT 7500 OTT (Terminal de Transporte Óptico)
- SURPASS hiT 7500 100 % OADM
- SURPASS hiT 7500 OLR (Repetidor Óptico en Línea)
- SURPASS hiT 7500 OCU (Unidad óptico de canal)

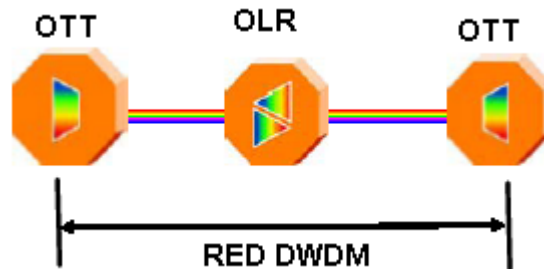


FIGURA 67: Diagrama Red DWDM utilizando SURPASS hiT 7500

El SURPASS hit 7500 puede ser implementado en cualquier tipo de topologías de red: punto a punto, anillo o combinada (mesh). En combinación con cualquier otro equipo de la familia de Siemens que maneje SDH, puede manejar todo tipo de protecciones tales como 2-fibra y 4-fibras BSHR, MSP o SNCP. También ofrece protecciones ópticas 1+1.

En cuanto se refiere a amplificadores ópticos ofrece el Repetidor óptico en línea (OLR), que es una solución para redes DWDM de larga distancia en sistema de transmisión de 10/40 Gbps. Los amplificadores ópticos están provistos con amplificadores dopados de Erbium (EDFA). El SURPASS hiT 7500 utiliza una banda ancha, donde todos los canales son amplificados simultáneamente, en distancias ópticas de más de 3000 Km y permiten tasas de bit en longitudes de onda individuales de hasta 40 Gbps. Gracias a la tecnología aplicada en los amplificadores hacen que estos sean de bajo costo comparados con anteriores versiones y hacen que la red contenga solo los amplificadores necesarios para dar el servicio requerido.

Para analizar el desempeño óptico el SURPASS hiT 7500, utiliza una tarjeta óptica basada en la potencia (OPAP), que se puede incorporar en el mismo rack como cualquier otro módulo. El OPAP ofrece características ópticas completas para monitorear el funcionamiento, y es comparable al monitoreo de SDH en términos de manejo de registros. Permite al usuario monitorear la

conexión óptica a un alto nivel, con gran exactitud, con la finalidad de mantener al sistema sin fallas.

Como tendencia de todas las redes ópticas, la protección también debe ser en el dominio óptico, en donde están disponibles los esquemas de protección tradicionales de SDH. Esto ya que las empresas hoy en día deben brindar un servicio garantizado para cualquier señal dentro de la red DWDM.

El SURPASS hiT 7500 presentan como protección: la protección de canal óptico 1+1 con el fin de proveer un esquema de protección con las mismas características que se hace en el dominio óptico con SDH, Siemens ofrece el módulo de protección de canal óptico 1+1 (OCP), que es basado en el esquema de protección 1+1 MSP de SDH. Se debe tomar en cuenta que para proteger cada canal óptico, en una infraestructura DWDM es necesario duplicar el número de caminos (número de fibras).

En el SURPASS hiT 7500, el módulo OCP recibe la señal de entrada por parte del cliente, y lo divide la señal en dos caminos llamados working y protection, los cuales son enviados al sistema DWDM por sus apropiados transponders. En la parte final de la señal, un conmutador inteligente determina cuál señal debe ser evaluada si la de protección o la de trabajo en el camino DWDM. La protección óptica es ofrecida para 100Mbps hasta 2.5 Gbps, 10 Gbps y 40 Gbps. El criterio de conmutación va a depender del uso que el cliente, si se utiliza este sistema de protección, si se produce pérdida en el camino de trabajo, la señal conmuta a protección en menos de 50 ms.

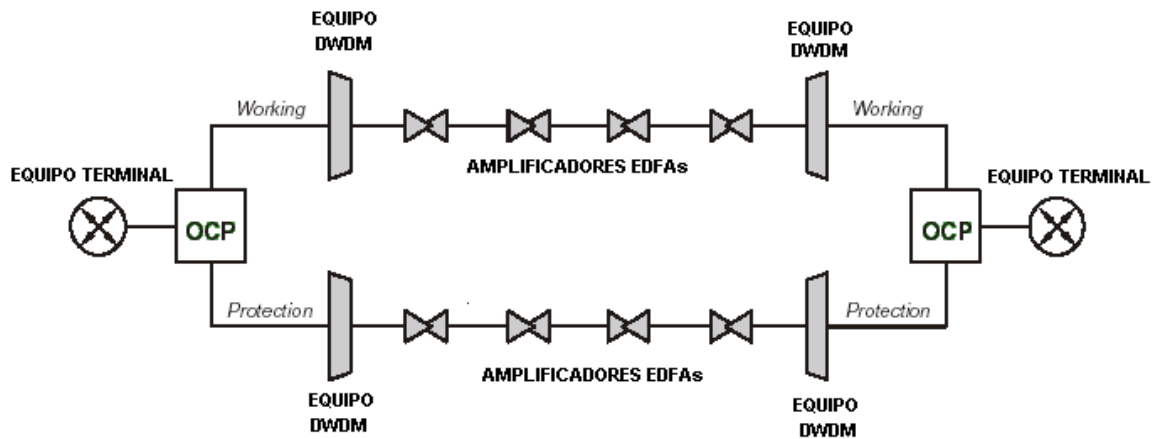


FIGURA 687: Protección OCP

El Sistema de Manejo de la Red de Telecomunicaciones TNMS Core, es la solución que propone Siemens para gestionar redes DWDM en todos sus tipos y en cualquier configuración. El TNMS Core/CDM soporta elementos de Red PDH, SDH y DWDM con lo que abarcaría todos los requerimientos que debe tener el programa para gestión de la red de CNT E.P. Es un sistema robusto y escalable que permite tener un ambiente gráfico en el cuál es usuario puede gestionar toda la red DWDM de forma remota independiente de donde se ubiquen los equipos, tiene una ventaja que es compatible y maneja equipos de diversas marcas, en este caso maneja de forma óptima al SURPASS hiT 7500.

El TNMS puede soportar hasta 10 Net-Server con un máximo de 4000 ADMs, más de 30 clientes utilizando el programa en forma simultánea, el TNMS Core/CDM soporta el manejo de los siguientes equipos DWDM, SDH y PDH:

- SURPASS hiT 7500
- SURPASS hiT 7050 and 7070 (Equipos de Nueva Generación basados en plataformas de servicios múltiples).

- Equipos SDH Siemens; Cross-conectores (SXA/SXD), Multiplexores sincronizados (SMA serie 2, SMA 1K serie3, SMA 16 serie 4), equipos sincronizados en línea (SLT/D 16 serie 2, SLR 16 serie 2, SL64 serie 3)
- Siemens PDH Access equipment (e.g. FMX / CMX)

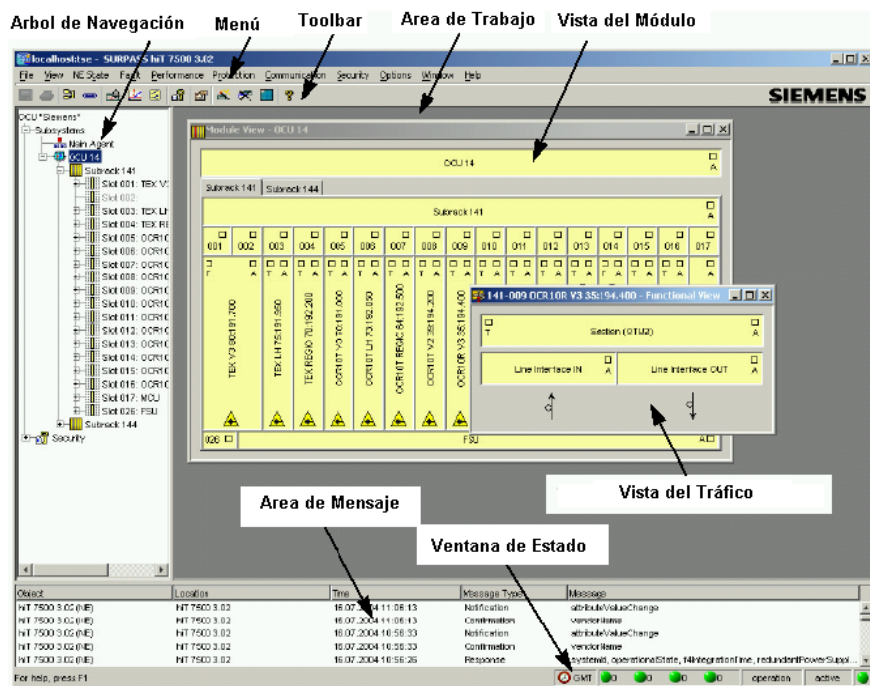


FIGURA 698: Ventana Principal de TNMS

CAPITULO V

5 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 CONCLUSIONES

- A medida que la demanda cambia, se puede añadir más capacidad, con el solo hecho de ir aumentando el número de longitudes de onda de la fibra sin costos adicionales.
- El Sistema DWDM reduce drásticamente el uso de regeneradores de las señales ópticas, de esta manera los sistemas DWDM simplifican en mucho la expansión de la capacidad de la red.
- La posibilidad de proveer servicios rápidamente mediante el suministro de longitud de onda a la demanda, crea nuevas oportunidades de ingresos tales como alquilar longitud de onda (una alternativa al alquiler de enlaces físicos o túneles de velocidad limitada), recuperación de desastres y VPNs ópticas.
- El uso de tecnologías como DWDM implica que ahora podemos tener un número muy grande de enlaces paralelos entre dos nodos adyacentes (cientos de longitudes de onda, o aún miles de longitudes de onda si se usan múltiples fibras.
- Si usamos las tradicionales fibras monomodo se corre el riesgo de tener retardos, pérdida de paquetes, inconsistencia en la detección de los pulsos de luz en los receptores, jitters muy elevados, etc.
- Es importante considerar las recomendaciones de la fibra óptica instalada (UIT-T G.652,G.655), para llevar a cabo el diseño.

5.2 RECOMENDACIONES

- En el diseño y posteriormente en la implementación de la red de fibra óptica es imperativo que se utilice las fibras NZDSF de acuerdo a las recomendaciones de la UIT-T en la norma G.655.
- Las fibras ópticas son más sencillas de utilizar siempre y cuando se escoja la mejor fibra. Con esto se logra también reducir en gran escala los efectos no lineales y de dispersión que afectan a los sistemas DWDM.
- Ya en el proceso de implementación de la red de fibra es importante una adecuada nomenclatura. Se recomienda usar los diferentes colores que identifican a cada filamento del cable de fibra, señalizando por ejemplo, aquellos filamentos destinados al anillo, las protecciones, a las redes de acceso, aun grupo de clientes, etc.
- Es importante tener el menor número de empalmes y conectores dentro de la red DWDM ya que esto va a reflejar como atenuaciones y podrían afectar en el tipo de amplificadores a ser implementados en la red.
- Para determinar cuántos amplificadores se deben poner en puntos intermedios de la red para poder tener una buena señal durante todo el trayecto es de vital importancia realizar un estudio de atenuaciones en toda la red con datos exactos.
- La tecnología utilizada en los amplificadores EDFAs, van a determinar cuánto es el alcance de la señal amplificada y así poder tener un diseño adecuado de la red.
- El sistema de gestión deberá ser un sistema de gestión remoto y centralizado, adecuado para la administración, configuración, operación y mantenimiento de todos los equipos contemplados en el presente proyecto.

- Es necesario realizar una inspección o revisión de todos los nodos de la red para tener una visión general de las salas de equipos de cada central. Con esto se sabrá si es necesario realizar algún otro tipo de infraestructura adicional.
- Se recomienda que los equipos a utilizarse tengan una alimentación de -48 V para que además de ser respaldados por UPS, puedan ser respaldados por bancos de batería de servicio telefónico.
- Es necesario para la instalación y prueba de los multiplexores y amplificadores, tener equipos de prueba apropiados para que no exista ningún problema a futuro.
- El espacio en cada central donde van a ser instalados los diferentes equipos debe ser el adecuado para que no exista saturación de la sala, además debe existir un correcto sistema de climatización para mantener la sala de equipos a una temperatura adecuada.

5.3 BIBLIOGRAFÍA

- STERN T, BALA K, *Multiwavelength optical networks*, Addison Wesley, 1999, pp. 130-190.
- TOMSU, SCHMUTZER, *Next generation optical networks*, Prentice Hall, New Jersey 2002, pp. 266-282.
- JUN, Zheng, *Optical WDM Networks: Concepts and Design Principles*, Tokyo 2003, pp. 10-105.
- DUTTA A.K., DUTTA N.K., FUJIWARA M., *WDM Technology*, primera edición, Academic Press, octubre 2004, pp. 53-170.
- SEXTON, Mike, REID, Andy, *Broadband Networking: ATM, SDH, and SONET*, Artech House Publishers, 1997, pp. 50-60.
- CATAÑÓN AVILA, Gerardo Antonio, *Preferred WDM packet switches router architecture and method for generating the same*, Estados Unidos de Norte America, octubre 2004, pp. 5-10.
- www.itu.com, ITU-T G.652 Características de un cable de fibra óptica monomodo.
- www.itu.com, ITU-T G.692 Interfaces ópticas para sistemas multicanales con amplificadores ópticos.
- www.itu.com, ITU-T G94.1 Planes espectrales para las aplicaciones de multiplexación por división de longitud de onda: Plan de frecuencias con multiplexación con división de longitud de onda densa.
- www.siemens.com, Multiplexores Ópticos de última generación.
- www.siemens.com, Equipos de manejo WDM.

- www.siemens.com, Equipos de manejo SDH.
- www.cisco.com, Introduction to DWDM Technology.
- www.iec.org, Dense Wavelength Division Multiplexing (DWDM)
- www.iec.org, Applications for DWDM systems.
- www.ieee.org, WDM Systems.
- www.spie.org, International Society for Optical Engineering Forum.
- www.osa.org, Optical Society of America.
- www.eveliux.com, Radiocomunicaciones y Fibra Óptica.
- www.monografías.com, Redes ópticas de última generación.
- www.promax.com, Historia de la Fibra Óptica.
- www.iec.org/tutorials/raman/, Raman Amplification Design in WDM Systems.
- www.ll.mit.edu/aon/, WDM Description on the All Optical Networking.
- www.corningfiber.com/library, Librería de Fibra perteneciente a Corning.
- www.acterna.com/technical_resources/notes, Equipos en general.
- www.anritsu.com, Equipos de prueba.
- www.agilent.com, Equipos de prueba.

ANENOS

GLOSARIO

- 3R (reamplificación, reconformación y retemporización)
- n_2/A_{eff} : Coeficiente no lineal
- Gpa: Gigapascal
- A_{eff} : Área efectiva
- ADN Add Drop No-actualizable
- ADM Multiplexor de inserción/extracción
- ALS Apagado Automático del Láser
- ANSI Instituto Nacional Americano de Estandarización
- APCD Detección Automático de la Port Conexión
- APSD Apagado Automático
- ASE Emisión Espontánea Amplificada
- ASON Conmutación Automática de Red Óptica
- ATM Modo de Transferencia Asíncrona
- AWG Arreglo de Bandeja de Guía de Onda
- BER Tasa de Error de Bit
- BLC Control Básico de Enlace
- BLSR Anillos Conmutados de Línea Bidireccionales
- BSHR Anillos de Regeneración Bidireccional
- BPSR Anillos Conmutados por Caminos Bidireccionales
- CAD2 Módulo de Canal de inserción/extracción de 2 Longitudes de Onda
- CAPEX Gasto de Capital
- CCU Unidad de Conexión de Canal
- CDM Multiplexación por División de Código
- CFL Lista de Características del Cliente
- CMIP Protocolo de Manejo de Información Común.
- CNE Elemento Compuesto de Red
- CWDM Multiplexación por División de Longitud de Onda Gruesa

- DCCOo Canal Óptico de Comunicación Digital (OTS DCC)
- DCCMo Canal Múltiple de Comunicación Digital (OMS DCC)
- DCF Fibra de Compensación Dispersa
- DCN Red de Comunicación de Datos
- DGE Ecuador de Ganancia Dinámica
- DGD: Retardo de grupo diferencial
- DSF Fibra de Cambio de Dispersión
- DSP Parte Específica del Dominio
- DTC Costo de Diseño
- DWDM Multiplexación por División de Longitud de Onda Densa
- EDFA Amplificador de Fibra Dopado de Erbium
- EFEC Corrección de Error Directa Mejorada
- EOW Alambre de Orden Técnico
- ETSI Instituto de Estandarización de Telecomunicaciones Europea
- EXC Cross Conexión Eléctrica
- EXC Errores de Bit Excesivos
- FBG Rejilla de Bragg de la Fibra
- FDM Multiplexación por División de Frecuencia
- FEPRM Memoria de Lectura Programable Fácilmente
- GUI Interfaz Gráfica del Usuario
- HLC Control de Enlace Final
- IDP Parte del Dominio Inicial
- IP Protocolo de Internet
- IaDI Interfaz de Intra Dominio
- IrDI Interfaz de Inter Dominio
- ITU-T Unión Internacional de Telecomunicaciones
- LAN Red de Área Local
- LCAS Esquema de Ajuste de Capacidad de Enlace

- LED Diodo Emisor de Luz
- LOS/LOF Pérdida de Señal / Pérdida de Trama
- LOL Pérdida de Luz
- MAN Red de Área Metropolitana
- MCF Función de manejo de Comunicación
- MD Diodos de Monitoreo
- MIB Módulo Base de manejo de Información
- MODIF Trama Distribuida de manejo Óptico
- MPLS Conmutación de Múltiple Protocolo
- MPU/MCU Módulo de procesamiento/Módulo de Control
- MSP Protección de la Sección Múltiplex
- MSPP Plataforma de provisionamiento de Multi-Servicio
- MTS Sistema de Transporte de Múltiple-Longitud de Onda
- MWB Bloqueo de Múltiple-Longitud de Onda
- NCT/LCT Terminal de Manejo de Red/ Terminal de Manejo
- NE Elemento de Red
- NMS Sistema de Manejo de Red
- NZDSF Fibra de Cambio de Dispersión No-Cero
- N-SAP Punto de Acceso de Servicio de Red
- OA Amplificador Óptico
- OADM Multiplexor Óptico de inserción/extracción
- OCA Amplificador de Canal Óptico
- OCAS Amplificador y Conmutador de Canal Óptico
- OCC Acoplador Óptico de 5 Puertos
- OCh Canal Óptico
- OCM Canal Óptico de Monitoreo
- OCP Módulo de Protección de Canal Óptico
- OCR10-R Repetidor de Canal Óptico de 10Gbit/s-Regenerador

- OCR10-T Repetidor de Canal Óptico de 10Gbit/s -Transponder
- OCS Conmutador de Canal Óptico
- OCU Unidad de Canal Óptico
- OD20 Demultiplexor Óptico de 20 canales
- OER Regenerador Eléctrico Óptico
- OFNMS Sistema de Manejo de Redes de Fibra Óptica
- OLC Control de Enlace Óptico
- OLIF Filtro de Interfaz Óptico Lineal
- OLR Repetidor Óptico de Línea
- OM20 Multiplexor Óptico de 20 canales
- OMD Módulo Óptico de Inserción/extracción
- ONNI Interfaces de Nodos de Redes Ópticas
- OOB-FEC Corrección de Error Directa Fuera de Banda
- OPA Analizador de Desempeño Óptico
- OPEX Gasto Operacional
- OSA Analizador de Espectros Óptico
- OSI Sistema de Interconexión Abierta
- OSC Canal de Supervisión Óptico
- OSN Nodo de Servicio Óptico
- OSNR Relación Señal a Ruido Óptico
- OSPF Primera Trayectoria Libre
- OTN Red de Transporte Óptico
- OTS Sección de Transporte Óptico
- OTT Terminal de Transporte Óptico
- OXC Cross conexión Óptica
- PDL Pérdida Independiente de Polarización
- PLF Falla de Baja Potencia
- PMDC Compensación de Modo de Dispersión Polarizada

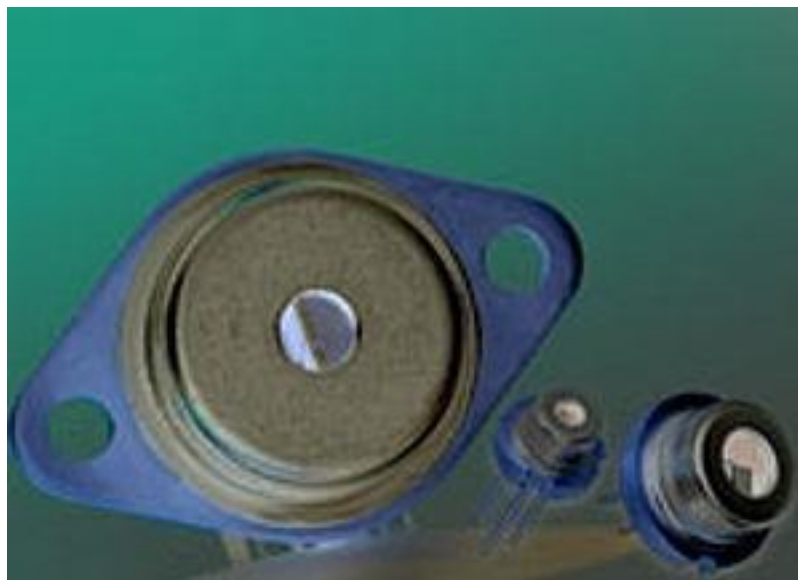
- PQMC Módulo de Ecuación de Potencia en la Banda C
- PXC Cross Conexión Fotónica
- RDI Indicación de Daño Remoto
- ROADM OADM Reconfigurable
- RPUMP Bomba de Raman
- RTFO Red Troncal de Fibra Óptica
- RWA Asignación y Ruteo de Longitud de Onda
- SAB Subrack de Tablero de Direcciones
- SD Señal Degradada
- SDH Jerarquía Digital Síncrona
- SEMF Función de manejo de Equipos Síncronos
- SFP Interfaces Ópticas
- SMA Multiplexor de inserción/extracción Síncrono
- SMU Unidad de manejo Subrack
- SNCP Protección de Conexión de Subred
- SONET Red Óptica Síncrona
- SPI Interfaz Periférico Síncrono
- SRS Dispersión Estimulante de Raman
- STM Módulo de Transporte Síncrono
- SXA Cross-Conector Síncrono SDH Siemens – VC-12
- SXD Cross-Conector Síncrono SDH Siemens – VC-4
- TBD: Por determinar
- TDM Multiplexación por División de Tiempo
- TEX Multiplexor de 10 gigabit
- TIF Interfaz Telemétrica
- TNMS Sistema de Manejo de Redes de Telecomunicaciones
- UDCM Módulo de Compensación de Dispersión Unidireccional
- UHC Capacidad Ultra Grande

- ULH Ultra Largo Alcance
- UPSR Anillos Conmutados por Caminos Unidireccionales
- VC-4 Contenedor Virtual-4 (140 Mbit/s)
- VC-12 Contenedor Virtual -12 (2 Mbit/s)
- VCDB Base Configurable Variablemente
- VOA Atenuador Óptico Variable
- WB Bloqueo de Longitud de Onda
- WBC Bloqueo de Longitud de Onda en Banda C
- WDM Multiplexación por División de Longitud de Onda
- WL Sistema de Múltiple-Longitud de Onda Terrestre Siemens
- WLS Sistema de Múltiple-Longitud de Onda Submarino Siemens
- WSS Conmutación Selectiva de Longitud de Onda
- WWDM Multiplexación por División de Longitud de Onda de par en par
- XPM Modulación de Fase Cruzada

MULTIPLEXOR FIBRA ÓPTICA Y DIODO LASER DFB 750-2800NM



PLATAFORMA DWDM/CWDM Y DIODO LASER 760-3000NM



LÁSER DE FIBRA DFB Y FILTRO OPTICO

