



UNIVERSIDAD NACIONAL TECNOLÓGICA DEL CONO SUR DE LIMA
(UNTECS)

DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN CON TECNOLOGÍA CWDM PARA
INTERCONECTAR SERVICIOS DE DOS CENTROS DE DATOS
DEL REGISTRO NACIONAL DE IDENTIFICACIÓN Y ESTADO
CIVIL.

TRABAJO DE INVESTIGACIÓN PARA OPTAR EL TÍTULO DE INGENIERO
ELECTRÓNICO Y TELECOMUNICACIONES

PRESENTADO POR EL BACHILLER:

BRUCE DAN RETES IQUISE

LIMA – PERÚ

2014

El presente proyecto está dedicado a mis padres Delia Edith Iquise Chumbimuni y Jesús Gilmar Retes Narciso que con sus consejos he sabido guiarme por la luz del bien en el caminar de la vida junto a Dios en todo lo que me proponga y con una lección de lo que es salir a delante trabajando con esfuerzo, siendo recto y honesto.

A mis hermanos Cristian, Jair y Jordan que con sus alegrías y tolerancias me han sacado de los momentos triste que he atravesado siendo siempre un amigo.

Agradezco a Dios por guiar mi camino durante todas las etapas de mi vida, por darme calma, fortaleza y sabiduría cuando más lo he necesitado.

A la identidad pública RENIEC por brindarme la oportunidad de desarrollar el proyecto, en especial al Ing. Enrique León Chañi con sus grandes aportes contribuyeron en la culminación de tan anhelada meta.

Al Ing. Oscar Alfredo Dall'Orto Gates, director de Tesis de la UNTECS por sus aportes y asesoría invaluable para la elaboración de éste proyecto.

Un agradecimiento especial a Leydi Torres quien me ha brindado su amistad y apoyo incondicional, gracias por estar siempre presente cuando te necesite, dándome palabras de aliento y ayudándome a enfrentar cada obstáculo presentado a lo largo de mi carrera estudiantil.

INDICE

INTRODUCCIÓN	1
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	2
1.1 DESCRIPCIÓN DE LA REALIDAD PROBLEMÁTICA	2
1.2 JUSTIFICACIÓN DEL PROBLEMA	3
1.3 DELIMITACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN	5
1.3.1 ESPACIAL	5
1.3.2 TEMPORAL.....	5
1.4 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	5
1.5 OBJETIVOS	6
MARCO TEÓRICO.....	7
2.1 ANTECEDENTES	7
2.2 BASES TEÓRICAS	8
2.2.1 Tecnología WDM.....	8
2.2.2 DWDM y sus Aplicaciones.....	11
2.2.2.1 Frecuencias centrales nominales para sistemas con WDM densa.....	12
2.2.3 CWDM.....	15
2.2.3.1 Longitudes de onda centrales nominales para sistemas con WDM aproximada.....	16
2.2.3.2 Interfaces ópticas en CWDM según Recomendación ITU–G.695	17
2.2.3.2.1 Alcance.....	17
2.2.3.2.2 Clasificación de interfaces ópticas.....	18
1) Transmisión unidireccional según ITU – G 695	18
2) Transmisión bidireccional ITU – G 695.....	21
2.2.3.3 Topologías ITU – G 695.....	22
2.2.3.4 Atenuación	25
2.2.3.5 Consumo de Potencia	28
2.2.3.6 FIBRAS ÓPTICAS QUE SOPORTAN CWDM.....	29
2.2.3.6.1 Propiedades de la fibra y efectos sobre el rendimiento de sistemas CWDM.....	30
1) Atenuación por fibra	30
2) Pérdidas por dobleces inducidos	32
3) Pérdida por macrodoblez	33
4) Pérdidas por microdoblez.....	36

2.2.3.6.2 Fibra Monomodo estándar (SSMF) (ITU – G. 652).....	38
2.2.3.6.3 Fibras con bajo pico de agua y cero pico de agua.....	39
2.2.3.6.4 Diseños de fibra de baja pérdida por doblez.....	40
2.2.3.6.5 Fibra de dispersión desplazada no nula NZDSF.....	41
2.2.3.6.6 Fibra NZDSF para transporte óptico de banda ancha (ITU-T G.656)	43
2.2.3.7 TRANSCIEVERS PARA CWDM.....	44
2.2.3.7.1 Fuentes para CWDM.....	47
2.2.3.7.1.1 Tipos de láser y sus propiedades.....	49
1) Láser FabryPerot.....	50
2) Láser emisor de superficie de cavidad vertical (VCSEL).....	51
3) Láser de realimentación distribuida.....	52
4) Láser de rejilla de fibra (Fiber Grating Láser).....	53
5) Láser externamente modulado.....	54
2.2.3.7.2 Detectores para CWDM.....	56
1) Diodos PIN.....	57
2) Diodo de foto avalancha APD.....	58
2.2.3.7.3 Transceivers para CWDM.....	58
2.2.3.7.3.1 Bloques de construcción.....	60
2.2.3.7.3.2 Estándares para transceivers.....	63
1) Factor de forma pequeña (Small Forma Factor SFF).....	64
2) Convertidor a interfaz giga bit (GBIC).....	65
3) Desconectable de forma pequeña (SFP).....	66
2.2.3.7.3.3 Transceivers para 10Gb/s.....	67
2.2.3.8 APLICACIONES CWDM Y COMPARACIÓN CWDM CON DWDM.....	68
2.2.3.8.1 Red metro.....	68
2.2.3.8.1.1 Definición de red metro.....	69
2.2.3.8.1.2 Bloques de construcción CWDM.....	71
1) Multiplexor y demultiplexor.....	72
2) Multiplexor Add/Drop.....	74
3) Cross conexión.....	76
4) Transceivers a utilizar.....	76
2.2.3.8.1.3 Anillos que utilizan CWDM.....	77
2.2.3.8.2 Aplicaciones CWDM en el metro.....	79

2.2.3.8.2.1	Recuperación de desastres	79
2.2.3.8.2.2	Añadiendo CWDM a redes de una longitud de onda	80
2.2.3.8.2.3	Escalabilidad con DWDM sobre CWDM.....	81
2.2.3.8.2.4	Aplicaciones futuras.....	83
2.2.3.8.3	Comparación económica entre CWDM y DWDM.....	84
2.2.3.8.3.1	Hardware	84
2.2.3.8.3.2	Requerimiento de energía.....	87
2.3	MARCO CONCEPTUAL.....	89
DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA.....		93
3.1	SITUACIÓN DE LA RED ACTUAL.....	93
3.1.1	Introducción.....	93
3.1.2	Gerencia de Tecnología de la Información	94
3.1.3	Descripción de la Red Actual	94
3.1.3.1	Característica de la fibra óptica	97
3.2	DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA.....	98
3.2.1	DISEÑO DE LA RED CWDM	98
3.2.2	DISEÑO CON LOS EQUIPOS CWDM	100
3.2.2.1	Interfaz Fiber Channel.....	102
3.2.2.2	Interfaz Gigabit Ethernet	102
3.2.2.2	Equipos FiberNet.....	103
3.2.3	IMPLEMENTACIÓN.....	104
3.2.4	Sistema de Gestión.....	107
3.2.4.1	Configuración de los Equipos CWDM del Centro de Datos Principal (Sede Operativa)	107
3.2.4.1.1	Multiplexor C_MUX+4	107
3.2.4.1.2	Multiplexor X_MUX+4	108
3.2.4.2	Configuración de los Equipos CWDM del Centro de Datos Respaldo (Sede San Borja)	108
3.2.4.2.1	Multiplexor C_MUX+4	108
3.2.4.2.2	Multiplexor X_MUX+4	109
3.2.4.2	Gestión de los Multiplexores, System Manager	109
3.3	REVISIÓN Y CONSOLIDADO DE RESULTADOS.....	110
3.3.1	CENTRO DE DATOS PRINCIPAL – RENIEC CUSCO 653 LIMA	110
3.3.1.1	X_MUX4+	110

3.3.1.2 C_MUX4+.....	112
3.3.2 CENTRO DE DATOS RESPALDO – RENIEC JAVIER PRADO 2392 SAN BORJA	113
3.3.1.1 X_MUX4+.....	113
3.3.1.2 C_MUX4+.....	115
CONCLUSIONES	118
RECOMENDACIONES	119
BIBLIOGRAFÍA	120
ANEXOS	121

INTRODUCCIÓN

El presente trabajo de investigación lleva por título “Diseño e Implementación con Tecnología CWDM para Interconectar Servicios de Dos Centros de Datos del Registro Nacional de Identificación y Estado Civil”, para optar el título de “Ingeniero Electrónico y Telecomunicaciones”, presentado por el bachiller Bruce Dan Retes Iquise.

En el primer capítulo y a manera introductoria encontraremos el “Planteamiento del problema”, en la que se detalla la descripción de la realidad problemática, justificación y delimitación del proyecto en donde se describe a grandes rasgos los antecedentes del proyecto y finalmente el objetivo del proyecto el cual describe los requerimientos.

El segundo capítulo describe la “Tecnología WDM”, en donde se explica cada una de ellas: la tecnología CWDM (Coarse Wavelength Division Multiplexing) y DWDM (Dense Wavelength Division Multiplexing), las diferencias más resaltantes que existen entre cada una de ellas, las frecuencias y longitudes de onda centrales nominales recomendadas por la ITU-T, y finalmente se describe un marco teórico de los diferentes tipos de fibra óptica existente, que permitirá sentar las bases para entender la solución planteada.

El tercer capítulo básicamente detalla la solución, indicando cada uno de los equipos y dispositivos: La tarjeta multiplexor de servicio Fibre Channel y Gigabit Ethernet, el multiplexor óptico pasivo y el equipo de conmutación seleccionado. Adicionalmente se presentan los diagramas de conexiones y el sistema de gestión con cada una de las ventanas utilizadas para la administración y monitoreo de cada uno de los enlaces y de los equipos adicionales como el multiplexor óptico y el conmutador de protección. Finalmente en este capítulo se presentan las conclusiones del proyecto después de las pruebas realizadas para la aceptación del servicio.

El Autor.

CAPITULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1 DESCRIPCIÓN DE LA REALIDAD PROBLEMÁTICA

La evolución tecnológica que ha ocurrido en estos últimos años ha dado cabida al desarrollo de nuevas tecnologías y al mejoramiento de tecnologías ya existentes, observándose un aumento gradual de velocidades de acceso y transporte, esto da lugar a una etapa de actualización de las distintas tecnologías en el mercado actual, haciendo que éste tenga una tendencia a utilizar aquella tecnología que por sus beneficios y aplicaciones supere a otras, satisfaciendo así las necesidades de cada empresa.

Es por eso, que Registro Nacional de Identificación y Estado Civil _ RENIEC, a través de la Gerencia de tecnología de la Información, se ha dado la tarea de actualizar su plataforma de telecomunicaciones usada por muchos años y migrarla a una nueva plataforma que permita aprovechar una tecnología más óptima y de mejor performance. Implementando un data center respaldo aproximado de 5Km de distancia del principal, donde se requerían los enlaces de Fibra Óptica por la capacidad de transmitir grandes cantidades de información, seguridad, fiabilidad y versatilidad, ya que transmitirían toda la información restringida de identificación y registros civiles de todos los peruanos.

El proyecto integral consistió de muchos requerimientos, entre estos estaban la migración de servidores y Mainframes, la actualización de su tecnología y equipos de almacenamiento (SAN), cableados estructurados y por último la migración de sistema de backup o respaldo de información del local de data center principal y otro local. En este último requerimiento es donde se hizo necesario el uso de una tecnología de transporte óptica porque no se contaban con los enlaces de fibra óptica requeridos para satisfacer las necesidades, que permite el transporte de dos interfaces Fibre Channel y dos interfaces Gigabit Ethernet, esto hizo necesario la implementación de un enlace WDM (Multiplexación por división de longitud de onda) el cual forma parte de este proyecto.

1.2 JUSTIFICACIÓN DEL PROBLEMA

En la emergente sociedad de la información, el transporte de información no se reduce a la voz y a los datos, sino que concluye contenidos multimedia, almacenamiento y servicios de información, en el más amplio sentido de la palabra. Los requerimientos para tener anchos de banda cada vez mayores tienen un comportamiento similar a la ley de Moore, que describe el desarrollo de las capacidades de los semiconductores. Las tecnologías de redes ópticas WDM (Wavelength Division Multiplexing) aparecen como la opción más promisoría para sustentar la demanda creciente de ancho de banda en la estructura de transporte. Esta tecnología permite incrementar y aprovisionar el ancho de banda de la fibra óptica actual en más de dos órdenes de magnitud. Se prevé que IP sobre WDM será la combinación “ganadora” debido a la habilidad de IP de ser una capa común de convergencia y de WDM de ser una capa de transporte altamente eficiente de banda ancha.

Actualmente, el concepto de CWDM (Coarse Wavelength Division Multiplexing) ha comenzado a ser bien conocido en la industria de telecomunicaciones, todo el mundo reconoce a CWDM como una alternativa de bajo costo que está revolucionando el entorno metropolitano y de las redes de empresas. La tecnología CWDM que utilizaron comercialmente por primera vez a principios de los años 80 para transportar señales digitales de video a través

de fibra multimodo, la corporación Quante marcó un sistema de cuatro longitudes de onda que operaban en la ventana de 800nm con cuatro canales, cada una operando a 140 Mbits/seg. Estos sistemas fueron usados principalmente en conexiones CATV. Sin embargo los sistemas CWDM no generaban gran interés entre los proveedores de servicio hasta ahora. A causa de la búsqueda de los operadores del ámbito metro para encontrar una solución de bajo costo para sus necesidades de transporte. El CWDM está cada vez más ampliamente aceptado como una importante arquitectura de transporte. A diferencia de DWDM (Dense Wavelength Division Multiplexing), los sistemas basados en tecnología CWDM usan láser láseres de realimentación distribuida o DFB (Distributed Feed-Back) no enfriado y fibra óptica de banda ancha.

Estas tecnologías proporcionan varias ventajas a los sistemas de CWDM como un menor consumo energético, tamaño menores y costos más bajos. La disponibilidad comercial de los sistemas CWDM que ofrecen estos beneficios hacen de esta tecnología una alternativa viable a los sistemas DWDM para muchas aplicaciones de red es de Área metropolitana y redes de acceso.

El enorme traspie sufrido por el mercado de telecomunicaciones ha provocado un cambio significativo en el enfoque de los fabricantes de dispositivos y sistemas de comunicaciones ópticas. En la actualidad los esfuerzos de los fabricantes se centran principalmente en el área de las redes metropolitanas, y más concretamente, en la búsqueda de soluciones que permitan abaratar costos. Diversos fabricantes de componentes e integrado de sistemas están desarrollando productos CWDM puesto que la industria reconoce la oportunidad de mercado para la tecnología.

La mayoría de los desarrollos tecnológicos se han centrado en implementar redes ópticas que replican las capacidades de las redes tradicionales basadas en SONET/SDH o ATM/SONET/SDH. A pesar de obtenerse logros importantes con estos desarrollos no se ha alterado el concepto fundamental de la arquitectura de las redes orientadas a un servicio por conmutación de circuitos. Esto implica crear circuitos y trayectorias virtuales, y cuidar aspectos de señalización y restablecimiento de fallas ópticas,

lo que requiere el diseño de nuevos protocolos y herramientas de administración. Sin embargo, en los últimos años las redes no orientadas a la conexión, como internet, han experimentado tasas de crecimiento impresionantes. Estas basan su funcionamiento en el establecimiento de conexiones a nivel OSI de transporte, evitando realizar estas mismas tareas nuevamente en capas inferiores. Este hecho pone de manifiesto que si las aplicaciones hacen uso de las tecnologías IP para el transporte de Información, se puede eliminar los paradigmas de las redes de comunicaciones basadas en la conmutación de circuitos.

1.3 DELIMITACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

1.3.1 ESPACIAL

El presente proyecto con el diseño e implementación de sus resultados se enfocará exclusivamente en el Centro de Datos Principal (Sede Operativa) ubicado Jr. Cusco N° 653 – Plaza Gastañeda en el distrito Cercado de Lima y el Centro de Datos de Respaldo (Sede San Borja) ubicado Av. Javier Prado Este 2392 en el distrito de San Borja de la ciudad de Lima, también se indagará el tramo de fibra óptica oscura tendido entre los dos Centro de Datos que tiene una longitud de 6.5 Km.

1.3.2 TEMPORAL

Este proyecto se efectuará tomando una duración de dos meses, comprendido entre el 07 de octubre al 07 de diciembre del año 2013.

1.4 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

La interconexión entre el Centro de Datos Principal y Respaldo se necesita como mínimo cuatro cables de Fibra Óptica tendidos entre las dos sede con diferentes interfaces para satisfacer la conectividad entre los equipos de comunicaciones, pero no se contaban con esa cantidad por el cual se optó en diseñar e implementar CWDM (Coarse Wavelength Division Multiplexing) técnica de transmisión de señales a través de fibra óptica que pertenece a la familia de multiplexación por división de longitud de onda (WDM).

Tal como se menciona en el párrafo anterior se debe transportar diferentes interfaces como Fibre Channel (16 Gbps) y Gigabit Ethernet (2Gbps), en donde se buscará equipos que tengan esas características y soporten la velocidad de transmisión.

Por esto se formula la siguiente pregunta

¿Se podrá diseñar e implementar un enlace WDM entre dos centros de datos del RENIEC, uno principal y el otro de respaldo?

1.5 OBJETIVOS

El informe tiene como objetivo principal detallar las características técnicas de diseño a fin de implementar con tecnología CWDM para Interconectar Servicios Fibre Channel y Gigabit Ethernet entre el Centro de datos Principal (Sede Operativa) y el Centro de Datos Respaldo (Sede San Borja) del Registro Nacional de Identificación y Estado _ RENIEC.

CAPITULO II

MARCO TEÓRICO

2.1 ANTECEDENTES

Durante los primeros años del siglo, se gastaron desenfrenadamente billones de dólares en el despliegue y ampliación de redes de telecomunicación. Sin embargo, ya no pueden construir redes sobredimensionadas en cuanto a capacidad de transporte, pues la crisis económica actual exige que la capacidad de la red crezca en función del flujo de beneficios obtenidos a partir de ella. Es decir, para un entorno metropolitano actual necesita, por consiguiente, sistemas de transporte físicamente pequeño, de bajo consumo, sencillos de utilizar y de bajo coste, que proporcionen suficiente capacidad para la demanda actual y estén preparados para un futuro.

Por otro lado, el trabajo expuesto se basa en cuatro proyectos de investigación que utilizan la tecnología del CWDM para cumplir con las necesidades con respecto a enlaces metropolitanos para la implementación y diseño y son:

- **Diseño e implementación de un enlace de transporte óptico para servicios fibre channel-200, ESCON y GigaEthernet.** En el año 2012 por la Universidad Nacional de Ingeniería _ Perú. Concluyendo en lo siguiente: *“La tecnología CWDM es una tecnología que permite el transporte de estos servicios involucrados en este proyecto, usando un solo par de hilo de fibra*

óptica, permitiendo así la optimización de los recursos de planta externa que implemento el servicio además de optimizar los costos del proyecto”.

- **Implementación de un Sistema WDM en la Red Interurbana de Fibra Óptica de TelcelBellSouth.** En el año 2010 por la Universidad Central de Venezuela. Concluyendo en lo siguiente: *“La tecnología WDM es altamente recomendable hoy día para todas aquellas empresas proveedoras de servicios de telecomunicaciones que dispongan de una red de fibra óptica y cuyo ancho de banda este colapsando como consecuencia del crecimiento de la Internet, el vídeo conferencia, el entretenimiento, el vídeo interactivo, el teletrabajo, los servicios de información bancaria, la transferencia de datos entre computadoras, la teledistribución, entre otros, los cuales a su vez requieren una flexibilidad real y una clase de inteligencia distribuida”.*
- **CWDM Tecnología y Aplicaciones.** En el año 2009 por la Universidad de San Carlos de Guatemala. Concluyendo en lo siguiente: *“La tecnología de transmisión de multiplexión por división de longitud de onda (WDM), ha conseguido un incremento sustancial en la capacidad de transmisión, tanto para redes de larga distancia, basadas principalmente en sistemas DWDM (Dense WDM), como para redes metropolitanas, basadas en sistemas CWDM (Coarse WDM)”.*
- **DISEÑO DE UNA RED WDM PARA ANDINATEL S.A. EN LA PROVINCIA DE TUNGURAHUA.** En el año 2009 por la Escuela Politécnica Nacional _ Ecuador. Concluyendo en lo siguiente: *“La tecnología CWDM se puede aplicar en redes de fibra óptica monomodo (G.652 C y D), ya instaladas y de uso generalizado, así como en infraestructuras recientes con versiones de fibra sin cresta de absorción por el agua (G.655). El tipo de fibra utilizado influirá en la cobertura de los sistemas y el número de canales ópticos admitidos.”.*

2.2 BASES TEÓRICAS

2.2.1 Tecnología WDM

La multiplexación por división de 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 longitud de onda (canales) o frecuencia óptica diferente, sobre una misma fibra óptica (figura 2.1), la misma que puede soportar todo tipo de transmisión de información de banda ancha (figura 2.2).

Vale la pena señalar que antes de implementar tecnología WDM eran necesarias dos fibras en un sistema de comunicación. Una de ellas estaría conectada al transmisor óptico, mientras que la otra provendría del receptor, permitiendo una comunicación bidireccional, conocida como "full-dúplex". Con la llegada de WDM, sólo se requiere de una fibra para proporcionar comunicación "full-dúplex", sin importar el número de canales que se tengan.

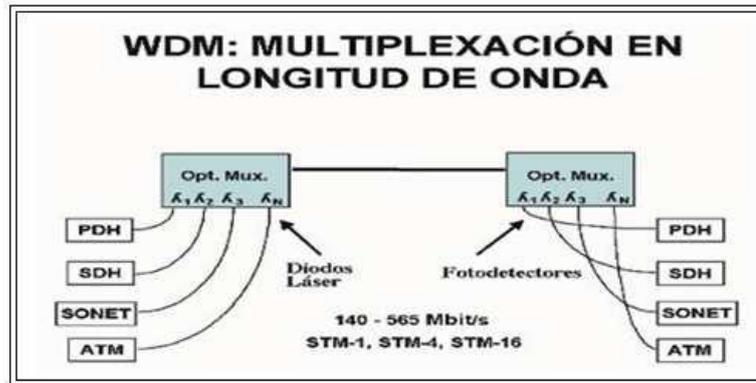


Figura 2.1 Multiplexación por longitud de onda

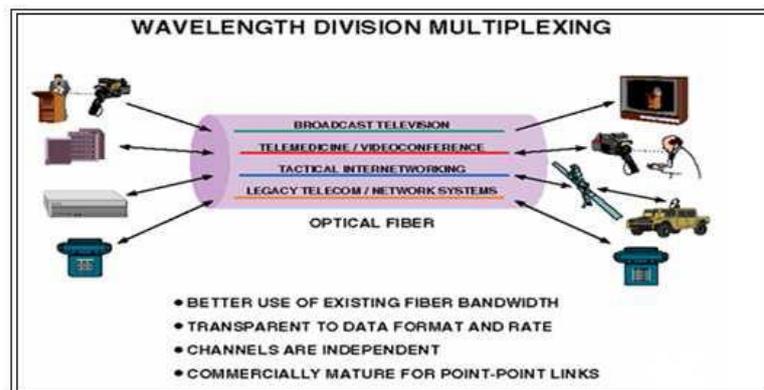


Figura 2.2 Transmisión sobre WDM

Los enlaces de comunicación óptica permiten el envío simultáneo de diferentes longitudes de onda o colores de luz a través de una sola fibra dentro de la banda espectral que abarca los 1300nm y los 1600nm.

Los multicanalizadores WDM son los que permiten acoplar diferentes longitudes de onda dentro de una fibra común. De la misma manera, un dispositivo WDM puede recuperar las longitudes de onda que se transmitieron a través de la fibra óptica.

Cada uno de los canales WDM es diseñado para dejar pasar una longitud de onda o una banda de longitudes de onda en particular. Por ejemplo, un sistema WDM de dos canales puede dejar pasar las bandas de 1310 y 1550nm. El sistema podría utilizarse para enviar dos señales ópticas a través de una fibra común: una señal con longitud de onda de 1310nm se transmitiría a través de canal de 1310nm, y una señal de 1550nm se enviaría por el canal WDM de 1550nm.

Los canales WDM se comportan como filtros que únicamente permiten el paso de las señales ópticas especificadas para cada canal, de tal forma que transmitir una señal de 1310nm a través de un canal de 1550nm no funcionaría. A pesar de que actualmente se desarrollan técnicas para alojar más de 2000 canales en una sola fibra, los multicanalizadores más comunes que existen cuentan con 2, 4, 8, 16, 32 ó 64 canales. Aquéllos que integran dos canales cuyas longitudes de onda se localizan entre las bandas de 1310 y 1550nm se conocen como WDM de banda amplia. Un multicanalizador WDM de banda angosta es aquél que integra dos o cuatro canales dentro de la banda de los 1550nm.

Al momento de implementar tecnologías WDM, es muy importante que los multicanalizadores utilicen fuentes láser con diferentes longitudes de onda, y que estas fuentes se sintonicen de acuerdo a las longitudes de onda o bandas específicas del multicanalizador. De no utilizar las longitudes de onda correctas, el sistema podría no funcionar adecuadamente.

Podemos encontrar diferentes tecnologías WDM entre las cuales podemos mencionar las siguientes:

- DWDM
- CWDM

2.2.2 DWDM y sus Aplicaciones

La multiplexación por división de longitud de onda densa (DWDM), una tecnología del tipo WDM, se caracteriza por un espaciamiento de canal menor que el de la tecnología WDM aproximada (CWDM), tal como se define en la Rec. UIT-T G.671. En general, los transmisores utilizados en las aplicaciones DWDM requieren un mecanismo de control que les permita cumplir con los requisitos de estabilidad de frecuencia de las aplicaciones, contrario a lo que ocurre con los transmisores CWDM que no lo necesitan.

El plan de frecuencias que se define en esta Recomendación soporta diversos espaciamientos de canal que abarcan de 12,5 GHz hasta 100 GHz y espaciamientos mayores (múltiplos enteros de 100 GHz). Asimismo, se pueden utilizar espaciamientos no uniformes entre canales. Debido a este espaciamiento, DWDM puede acoplar ocho o más canales dentro de la banda de los 1550nm (figura 2.3).

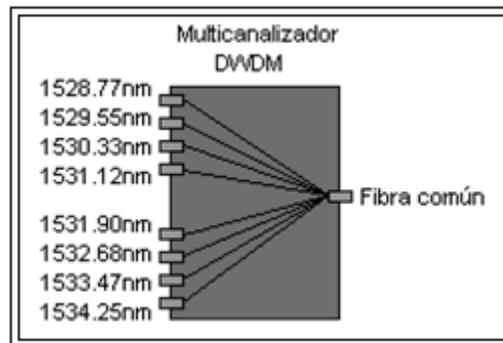


Figura 2.3 Multicanalizador DWDM

En este tipo de multiplexación podemos mencionar tres tipos con relación a su distancia tenemos: los de DWDM ultra larga distancia (4000Km), los de larga distancia (800Km) y metropolitano (300Km). En DWDM de larga y ultra larga distancia el espaciamiento de frecuencias actual es de 50-100 GHz (0,4-0,8nm), en DWDM metropolitano de 100-200 GHz (0,8-1,6 nm), en cuanto al número de longitudes de onda en DWDM de larga y ultra larga distancia se

utilizan hasta 160 longitudes de onda y en DWDM metropolitano hasta 40 longitudes de onda. 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.

Actualmente, DWDM no es vista tan solo como una técnica para ampliar la capacidad de una red de fibra óptica, sino más bien, como una tecnología robusta en el "backbone" de redes multi-servicios y redes de acceso móvil, que permite satisfacer el crecimiento en volumen y complejidad que presentan los servicios de telecomunicaciones.

2.2.2.1 Frecuencias centrales nominales para sistemas con WDM densa

Las frecuencias (en THz) permitidas, para espaciamentos de canales de 12,5 GHz en una fibra, se definen de la siguiente manera:

$$193,1 + n \times 0,0125, \text{ donde } n \text{ es un entero positivo o negativo incluido el } 0$$

Las frecuencias (en THz) permitidas, para espaciamentos de canales de 25 GHz en una fibra, se definen de la siguiente manera:

$$193,1 + n \times 0,025, \text{ donde } n \text{ es un entero positivo o negativo incluido el } 0$$

Las frecuencias (en THz) permitidas, para espaciamentos de canales de 50 GHz en una fibra, se definen de la siguiente manera:

$$193,1 + n \times 0,05, \text{ donde } n \text{ es un entero positivo o negativo incluido el } 0$$

Las frecuencias (en THz) permitidas, para espaciamentos de canales de 100 GHz en una fibra, se definen de la siguiente manera:

$$193,1 + n \times 0,1, \text{ donde } n \text{ es un entero positivo o negativo incluido el } 0$$

En el cuadro 1 se indican algunas frecuencias centrales nominales en las bandas C y L, basadas en el espaciamento de canal mínimo de 12,5 GHz, referidas a una frecuencia de 193,1 THz. Asimismo, en el cuadro 1 se ilustran

los planes de frecuencia de 25, 50 y 100 GHz en la misma región. Los puntos extremos se incluyen a título informativo, y no son normativos.

Nótese que el valor "c" (velocidad de la luz en el vacío) que debería utilizarse para las conversiones entre frecuencia y longitud de onda es igual a $2,99792458 \times 10^8$ m/s.

Frecuencias centrales nominales (THz) para espaciamientos de				Longitudes de ondas centrales nominales (nm) aproximadas
12,5 GHz	25 GHz	50 GHz	100 GHz y espaciamientos superiores	
•	•	•	•	•
•	•	•	•	•
•	•	•	•	•
195,9375	–	–	–	1530,04
195,9250	195,925	–	–	1530,14
195,9125	–	–	–	1530,24
195,9000	195,900	195,90	195,9	1530,33
195,8875	–	–	–	1530,43
195,8750	195,875	–	–	1530,53
195,8625	–	–	–	1530,63
195,8500	195,850	195,85	–	1530,72
195,8375	–	–	–	1530,82
195,8250	195,825	–	–	1530,92
195,8125	–	–	–	1531,02
195,8000	195,800	195,80	195,8	1531,12
195,7875	–	–	–	1531,21
195,7750	195,775	–	–	1531,31
195,7625	–	–	–	1531,41
195,7500	195,750	195,75	–	1531,51
195,7375	–	–	–	1531,60
195,7250	195,725	–	–	1531,70
195,7125	–	–	–	1531,80
195,7000	195,700	195,70	195,7	1531,90
195,6875	–	–	–	1532,00
195,6750	195,675	–	–	1532,09
195,6625	–	–	–	1532,19
•	•	•	•	•
•	•	•	•	•

193,2375	–	–	–	1551,42
193,2250	193,225	–	–	1551,52
193,2125	–	–	–	1551,62
193,2000	193,200	193,20	193,2	1551,72
193,1875	–	–	–	1551,82
193,1750	193,175	–	–	1551,92
193,1625	–	–	–	1552,02
193,1500	193,150	193,15	–	1552,12
193,1375	–	–	–	1552,22
193,1250	193,125	–	–	1552,32
193,1125	–	–	–	1552,42
193,1000	193,100	193,10	193,1	1552,52
193,0875	–	–	–	1552,62
193,0750	193,075	–	–	1552,73
193,0625	–	–	–	1552,83
193,0500	193,050	193,05	–	1552,93
193,0375	–	–	–	1553,03
193,0250	193,025	–	–	1553,13
193,0125	–	–	–	1553,23
193,0000	193,000	193,00	193,0	1553,33
192,9875	–	–	–	1553,43
192,9750	192,975	–	–	1553,53
192,9625	–	–	–	1553,63
•	•	•	•	•
•	•	•	•	•
•	•	•	•	•
•	•	•	•	•
•	•	•	•	•
•	•	•	•	•
184,7750	184,775	–	–	1622,47
184,7625	–	–	–	1622,58
184,7500	184,750	184,75	–	1622,69
184,7375	–	–	–	1622,80
184,7250	184,725	–	–	1622,91
184,7125	–	–	–	1623,02
184,7000	184,700	184,70	184,7	1623,13
184,6875	–	–	–	1623,24
184,6750	184,675	–	–	1623,35
184,6625	–	–	–	1623,46
184,6500	184,650	184,65	–	1623,57
184,6375	–	–	–	1623,68

184,6250	184,625	–	–	1623,79
184,6125	–	–	–	1623,90
184,6000	184,600	184,60	184,6	1624,01
184,5875	–	–	–	1624,12
184,5750	184,575	–	–	1624,23
184,5625	–	–	–	1624,34
184,5500	184,550	184,55	–	1624,45
184,5375	–	–	–	1624,56
184,5250	184,525	–	–	1624,67
184,5125	–	–	–	1624,78
184,5000	184,500	184,50	184,5	1624,89
•	•	•	•	•
•	•	•	•	•
•	•	•	•	•

Cuadro 2.1/ Fuente de G.694.1 – Ejemplo de frecuencias centrales nominales del plan con DWDM

Nota: Las longitudes de onda indicadas en esta tabla son sólo aproximaciones. Las especificaciones aplicadas a las aplicaciones DWDM se definen con respecto a las frecuencias centrales nominales, y no las longitudes de onda aproximadas.

2.2.3 CWDM

La multiplexación por división aproximada de longitud de onda (CWDM), una tecnología del tipo WDM, se caracteriza por un espacio más ancho entre canales que en la tecnología WDM densa (DWDM, dense wavelength división multiplexing), tal como se define en la Rec. ITU-T G. 671. El plan de longitudes de onda para las aplicaciones de multiplexación por división aproximada de longitud de onda (CWDM) soporta un espaciado de canales de 20nm. (Según recomendaciones ITU – G 694. 2)

Los sistemas CWDM permiten aplicaciones rentables, gracias a una combinación de láser sin dispositivos de refrigeración, tolerancias de selección de longitudes de onda láser menos exigentes, y filtros pasabanda amplios.

Los sistemas CWDM se pueden utilizar en las redes de transporte metropolitanas y como plataforma integrada para una diversidad de clientes, servicios y protocolos.

2.2.3.1 Longitudes de onda centrales nominales para sistemas con WDM aproximada

Se utilizan las longitudes de onda centrales nominales para sistemas con WDM aproximada como referencia para definir, en cada uno de los canales, el límite de longitud de onda superior y el límite de longitud de onda inferior, que son los que definen los límites de longitud de onda del transmisor bajo cualquier condición y, al mismo tiempo, los límites de longitud de onda que han de cumplir las especificaciones de multiplexores y demultiplexores ópticos.

El límite de longitud de onda superior es la longitud de onda central del canal más la desviación de longitud de onda central indicada en la Recomendación que define la aplicación.

El límite de longitud de onda inferior es la longitud de onda central del canal menos la desviación de longitud de onda central indicada en la Recomendación que define la aplicación.

En el cuadro siguiente se indica el plan de longitudes de onda CWDM en la gama que abarca de 1271nm a 1611nm. Se debe utilizar un valor "c" (velocidad de la luz en el vacío) para la conversión entre longitud de onda y frecuencia igual a $2,99792458 \times 10^8$ m/s.

Longitudes de ondas centrales nominales (nm) para un espaciamiento de 20 nm
1271
1291
1311
1331
1351
1371
1391
1411
1431
1451
1471
1491

1511
1531
1551
1571
1591
1611
NOTA – Los puntos extremos de este cuadro se presentan a título informativo solamente.

Tabla 2.2 / Fuente de G. 694. 2 – Longitudes de onda centrales nominales.

2.2.3.2 Interfaces ópticas en CWDM según Recomendación ITU–G.695

Esta recomendación proporciona valores de parámetros ópticos para interfaces de capa física de aplicaciones de multiplexación por división aproximada en longitud de onda (CWDM) con hasta 16 canales y hasta 10Gbit/s. Las aplicaciones se definen empleando dos métodos diferentes, en uno de los cuales se utilizan parámetros de interfaz multicanal y en el otro, parámetros de interfaz mono-canal. Se especifican aplicaciones, tanto unidireccionales como bidireccionales.

2.2.3.2.1 Alcance

La presente Recomendación se aplica a interfaces ópticas de sistemas de línea óptica con multiplexación por división aproximada en longitud de onda CWDM, (coarsewavelength división multiplexing) para aplicaciones de red en las que se utilizan fibras ópticas monomodo. Esta recomendación define y proporciona valores de parámetros de interfaz óptica de aplicaciones físicas de sistemas punto a punto y en anillo CWDM. Su objetivo principal es facilitar la existencia de interfaces compatibles transversalmente (de múltiples fabricantes).

Las aplicaciones se definen empleando dos métodos diferentes, en uno de los cuales se utilizan parámetros de interfaz multicanal y en el otro, parámetros de interfaz monocanal. Se especifican aplicaciones tanto unidireccionales como bidireccionales.

En la presente recomendación se describen sistemas de línea óptica que tienen las características siguientes:

- Número máximo de canales: hasta 16.
- Velocidad binaria del canal de la señal: hasta 10Gbit/s NRZ (sin retorno a cero).

El plan de longitudes de onda CWDM se da en [ITU-T G. 694. 2].

Las especificaciones están organizadas de acuerdo con los códigos de las aplicaciones.

En el futuro, se podrán incluir aplicaciones que permitan la compatibilidad transversal plena en puntos de interfaz, tanto multicanal como monocanal.

2.2.3.2.2 Clasificación de interfaces ópticas

1) Transmisión unidireccional según ITU – G 695

La figura siguiente muestra un conjunto de puntos de referencia de conexión multicanal (MPI-S_M y MPI-R_M) solamente, para la utilización del enfoque "caja negra" lineal. El elemento de red CWDM incluye aquí un OM y transmisores, o un OD y receptores.

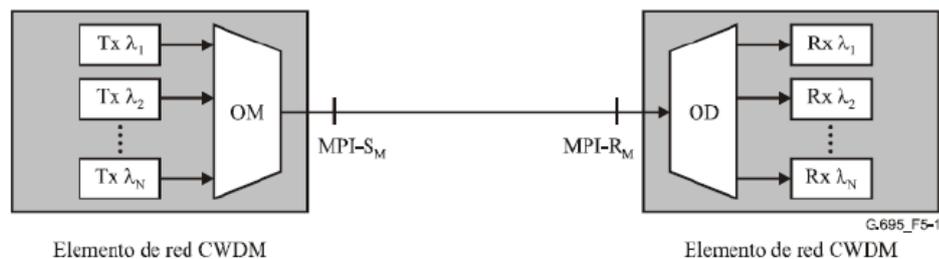


Figura 2.4 Enfoque de caja negra.

La figura siguiente muestra un conjunto de puntos de referencia, del enfoque "enlace negro" lineal, para conexión monocanal (SS y RS) entre transmisores (Tx, transmitters) y receptores (Rx, receivers). Los elementos de red CWDM incluyen aquí un OM y un OD, que se utilizan como un par con el elemento oponente, y pueden también incluir uno o más OADM.

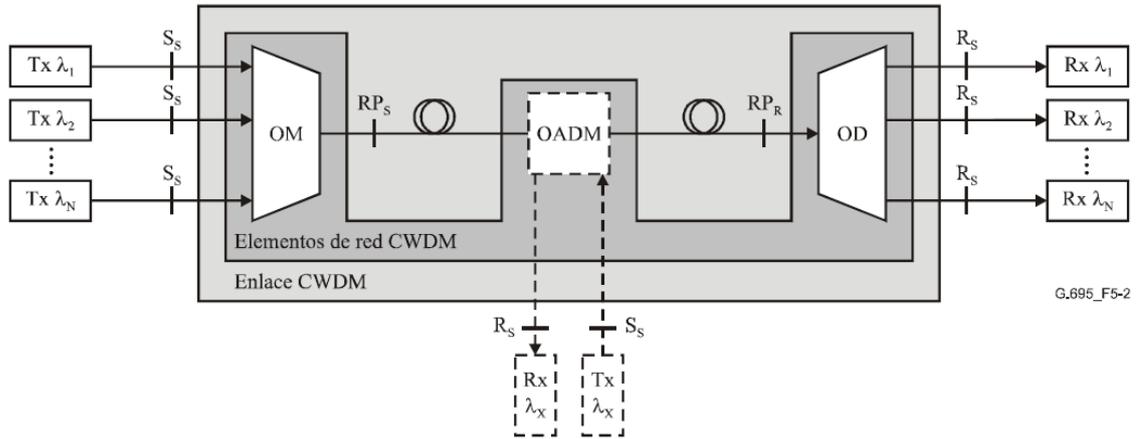


Figura 2.5 Enfoque "enlace negro" línea

En la figura siguiente se muestra un conjunto correspondiente de puntos de referencia para el enfoque "enlace negro" en anillo, para una conexión monocanal (SS y RS) entre transmisores (Tx) y receptores (Rx). En este caso los elementos de red CWDM incluyen dos o más OADM conectados en anillo.

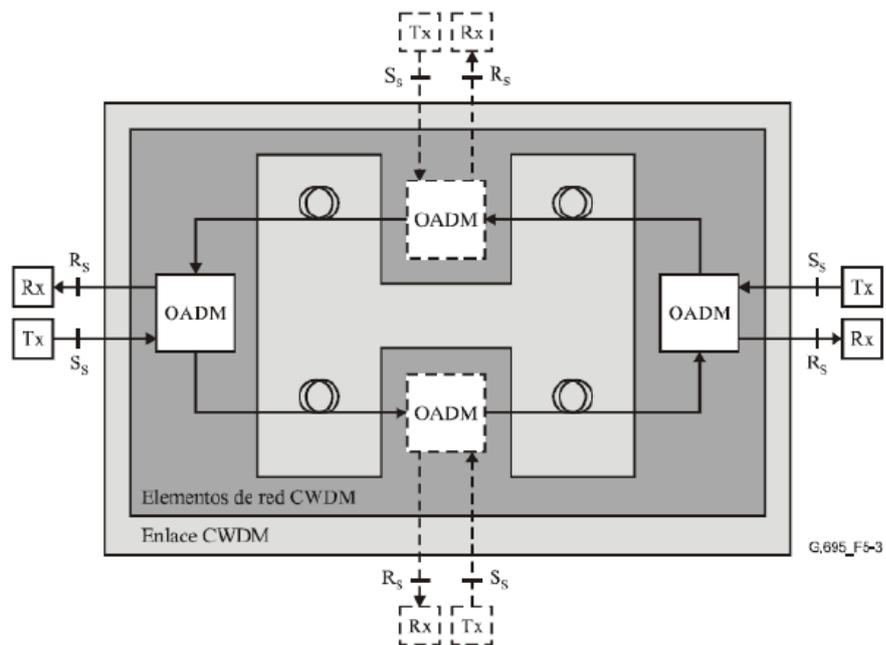


Figura 2.6 Enfoque "enlace negro" en anillo

Estos modelos de referencia no incluyen ningún amplificador óptico en el sistema CWDM. Sin embargo, en el futuro, se podrán introducir aplicaciones que incluyan amplificadores ópticos.

Los puntos de referencia de las figuras 2.4, 2.5 y 2.6 se definen como sigue:

- SS es un punto de referencia monocanal en la entrada afluyente del elemento de red CWDM;
- RS es un punto de referencia monocanal en la salida afluyente del elemento de red CWDM;
- MPI-SM es un punto de referencia multicanal en la salida compuesta del elemento de red CWDM;
- MPI-RM es un punto de referencia multicanal en la entrada compuesta del elemento de red CWDM;
- RPS es un punto de referencia de enlace en la salida compuesta del elemento de red CWDM;
- RPR es un punto de referencia de enlace en la entrada compuesta del elemento de red CWDM.

Los puntos de referencia monocanal SS y RS corresponden aquí a sistemas del enfoque "enlace negro" (lineal o en anillo), donde cada trayecto desde SS a su correspondiente RS debe cumplir los valores de parámetro de los códigos de aplicación. Los puntos de referencia multicanal MPI-SM y MPI-RM corresponden a sistemas del enfoque "caja negra". Los puntos de referencia de enlace RPS y RPR corresponden solamente a sistemas del enfoque "enlace negro".

Se señala que MPI-SM y MPI-RM se definen para proporcionar especificaciones normativas de las interfaces ópticas. Por otro lado, RPS y RPR se definen solamente con objeto de proporcionar información del enlace por fibra y no para proporcionar las características de la señal en esos puntos.

2) Transmisión bidireccional ITU – G 695

La figura siguiente muestra un conjunto de puntos de referencia de conexión multicanal (MPI-SM y MPI-RM) solamente, para la utilización del enfoque "caja negra" en aplicaciones bidireccionales monofibra. El elemento de red CWDM incluye aquí un OM/OD, transmisores y receptores.

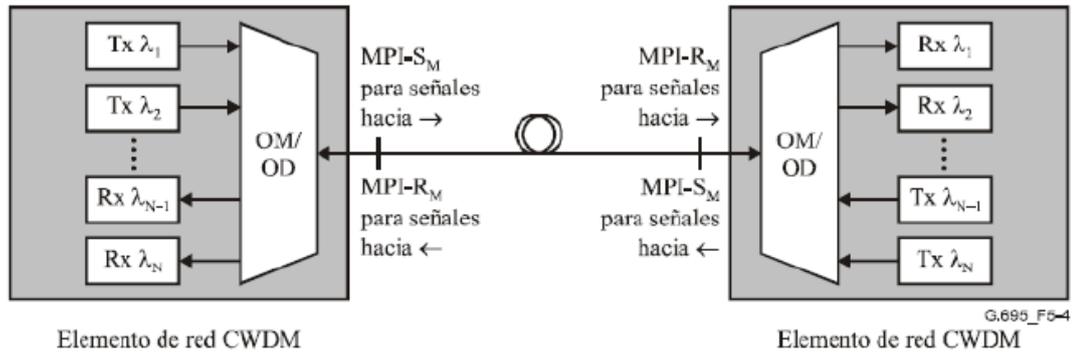


Figura 2.7 Enfoque "caja negra" para aplicaciones bidireccionales.

La figura siguiente muestra un conjunto de puntos de referencia, del enfoque "enlace negro" lineal bidireccional monofibra, para conexión monocanal (SS y RS) entre transmisores (Tx) y receptores (Rx). Los elementos de red CWDM incluyen aquí un OM/OD, que se utiliza como un par con el elemento opoente, y pueden también incluir uno o más OADM. El diagrama está etiquetado como G.695_F5-5.

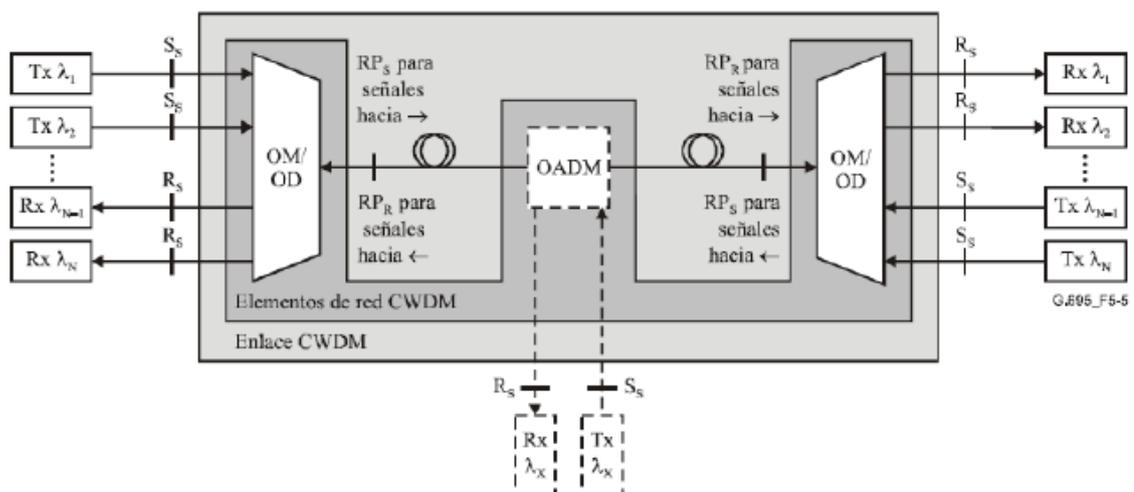


Figura 2.8 Enfoque "enlace negro" lineal para aplicaciones bidireccionales.

En la figura siguiente se muestra un conjunto correspondiente de puntos de referencia, del enfoque “enlace negro” en anillo bidireccional monofibra, para conexión monocanal (SS y RS) entre transmisores (Tx) y receptores (Rx). Los elementos de red CWDM incluyen aquí dos o más OADM conectados en enanillo.

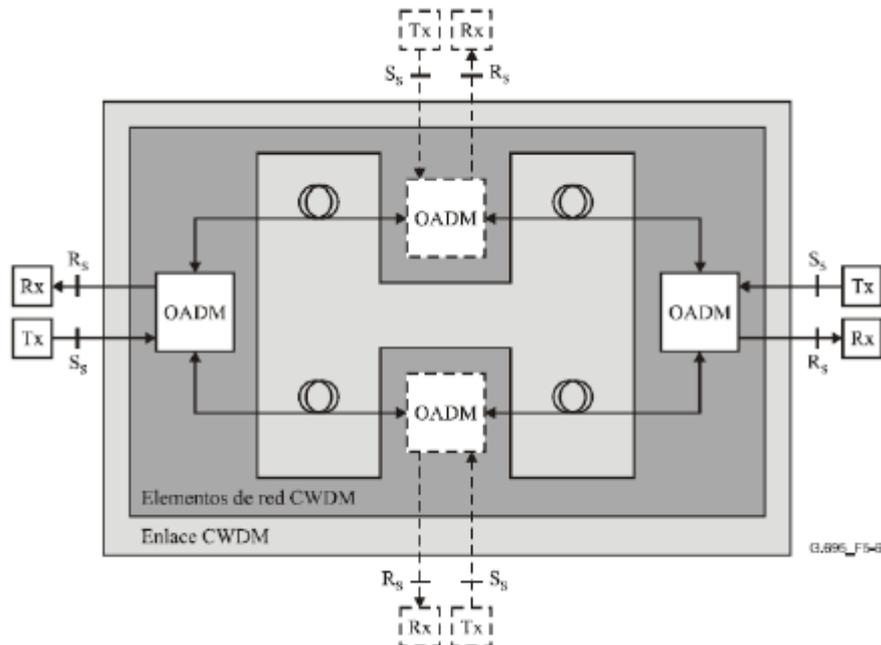


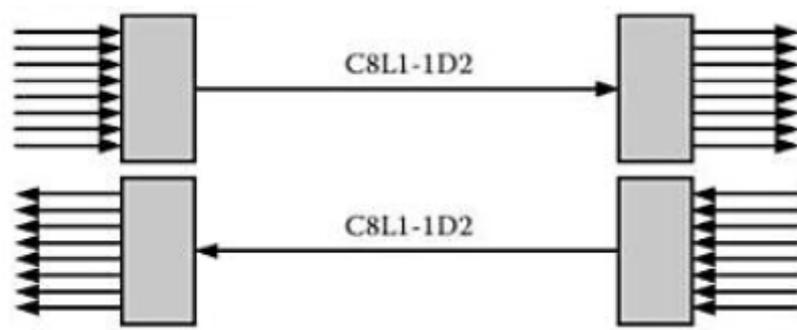
Figura 2.9 Enfoque “enlace negro” en anillo para aplicaciones bidireccionales

2.2.3.3 Topologías ITU – G 695

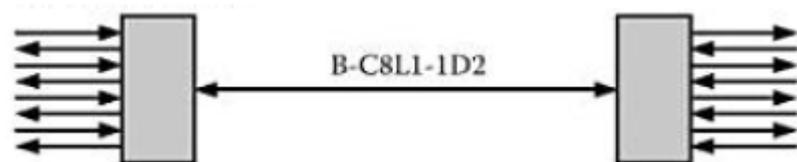
La versión 2006 de G695 solamente direcciona links punto a punto CWDM como se muestra en la figura, es decir topologías ópticas con OADM o redes ópticas. La segunda versión de G695, debido a su publicación en el 2010, extendió el concepto del enlace negro a para proveer cadenas lineares CWDM con OADMS y anillos CWDM con Adams. La extensión del estándar será cumplida especificación de cross-talk interferométrico para las señales decanal CWDM demultiplexado. El crosstalk interferométrico es una medida de que tanto de la potencia de la restante de la señal un canal CWDM imperfectamente añadido interfiere con una señal dejada en el mismo canal CWDM. Actualmente se cree que un valor de 45dB es suficiente para tomar en cuenta el crosstalk interferométrico debido a que la penalidad de potencia óptica es menor a los 0.25 dB es despreciable en ingeniería de enlace negro.

Todos los demás parámetros del enlace negro, como recibir y transmitir niveles de potencia, tolerancia de dispersión y demás, permanecerán de la misma manera como en la primera versión de G. 695, para asegurar compatibilidad con los equipos que se desarrollaron con la primera versión de G. 695.

Consideraciones de ingeniería para cadenas lineales de CWDM y anillos que también serán discutidos en futuras versiones del estándar de modo que los ingenieros estén al tanto de las posibles dificultades involucradas en diseño de redes con estas nuevas topologías.



(a) 2 fibras unidireccionales



(a) Fibra simple bidireccional

Figura 2.10 Enlaces de fibra bidireccionales.

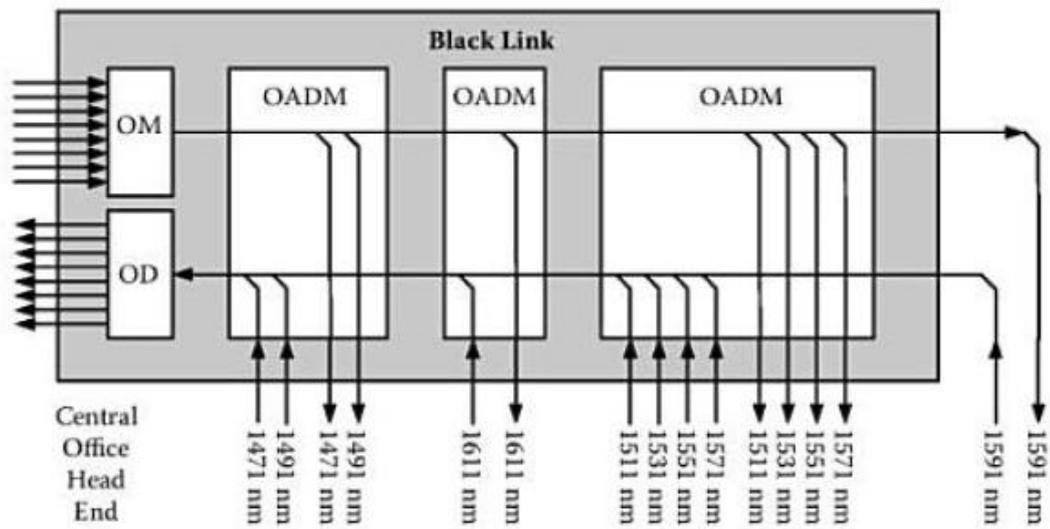


Figura 2.11 Enlace Negro CWDM con add-drop lineal, OM/OD, multiplexor óptico/demultiplexor óptico.

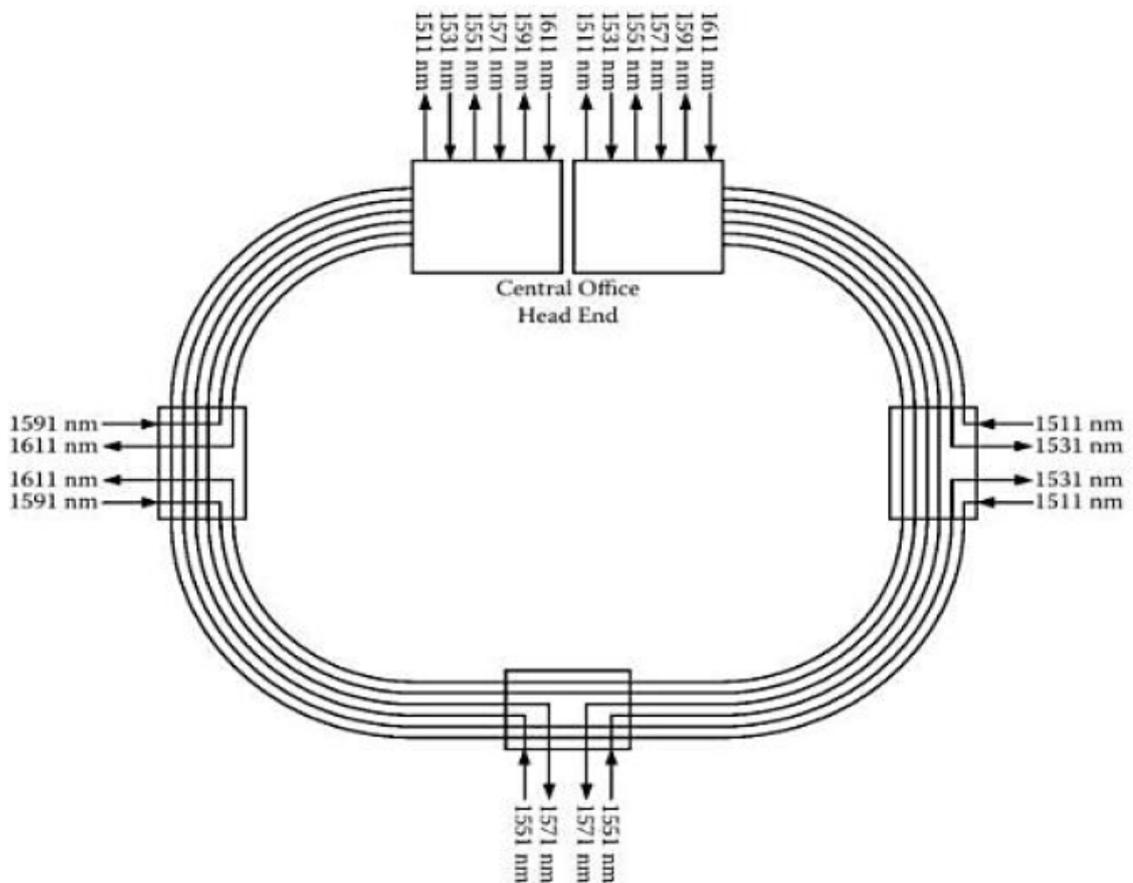


Figura 2.12 Anillo de enlace negro CWDM (con distribuidor).

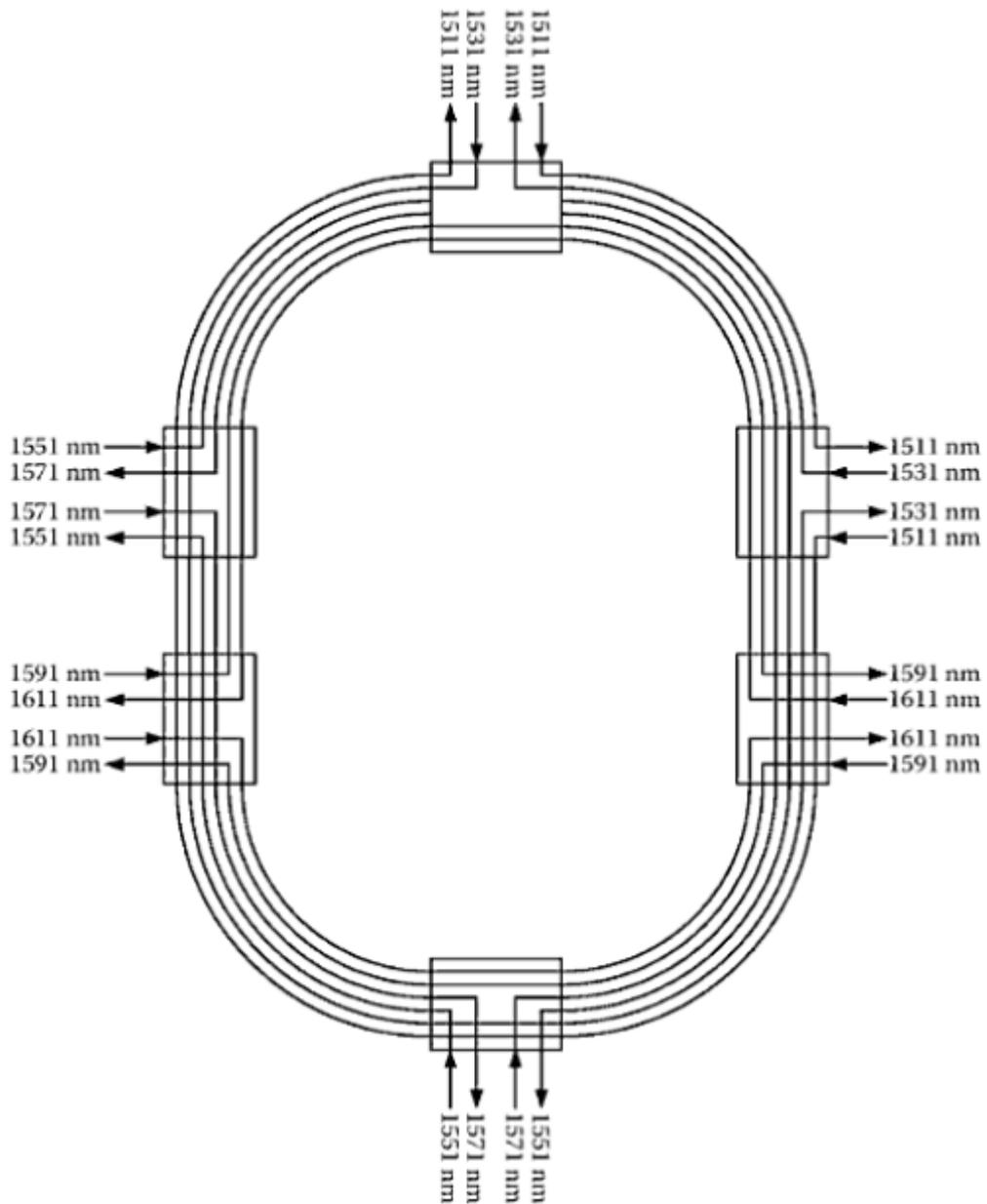


Figura 2.13 Anillo de enlace negro CWDM (sin distribuidor).

2.2.3.4 Atenuación

El coeficiente de atenuación de un cable de fibra óptica instalado depende de la longitud de onda, siendo el valor en una longitud de onda determinada función de las características de la fibra no cableada junto con las pérdidas adicionales causadas por los conectores, los empalmes y las flexiones.

El cuadro 2.3 contiene los valores supuestos del coeficiente de atenuación mínima y máxima para cada longitud de onda CWDM. Estos valores se muestran también gráficamente en las figuras 2.14 y 2.15. Los valores se obtuvieron combinando mediciones del coeficiente de atenuación de cables de fibra óptica subterráneos y enterrados en 1550 nm y 1625 nm con mediciones del espectro total de fibras no cableadas y con los límites especificados en [UIT-T G.652].

Longitud de onda central nominal (nm)	Cable G.652.A y G.652.B		Cable G.652.C y G.652.D	
	Coefficiente de atenuación mínima (dB/km)	Coefficiente de atenuación máxima (dB/km)	Coefficiente de atenuación mínima (dB/km)	Coefficiente de atenuación máxima (dB/km)
1271	0,392	0,473	0,385	0,470
1291	0,370	0,447	0,365	0,441
1311	0,348	0,423	0,352	0,423
1331	0,331	0,425	0,340	0,411
1351	0,320	0,476	0,329	0,399
1371			0,316	0,386
1391			0,301	0,372
1411			0,285	0,357
1431	0,263	0,438	0,269	0,341
1451	0,250	0,368	0,254	0,326
1471	0,238	0,327	0,240	0,312
1491	0,229	0,303	0,229	0,300
1511	0,221	0,290	0,220	0,290
1531	0,215	0,283	0,213	0,283
1551	0,211	0,278	0,209	0,277
1571	0,208	0,276	0,208	0,273
1591	0,208	0,278	0,208	0,275
1611	0,208	0,289	0,212	0,283

NOTA – Estos valores del coeficiente incluyen un margen para la desviación de la longitud de onda central máxima.

Cuadro 2.3 – Valores supuestos del coeficiente de atenuación

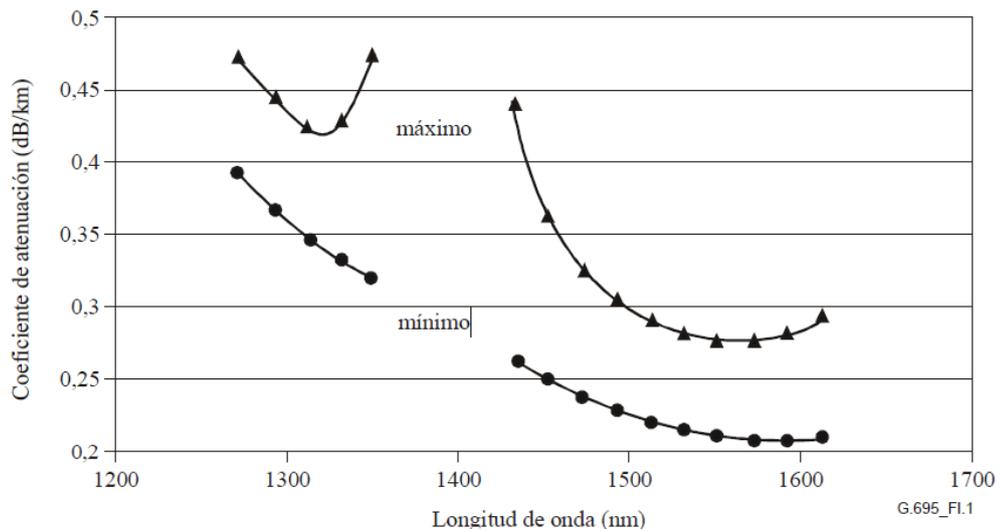


Figura 2.14 – Valores supuestos del coeficiente de atenuación para cable G.652.A y G.652.B

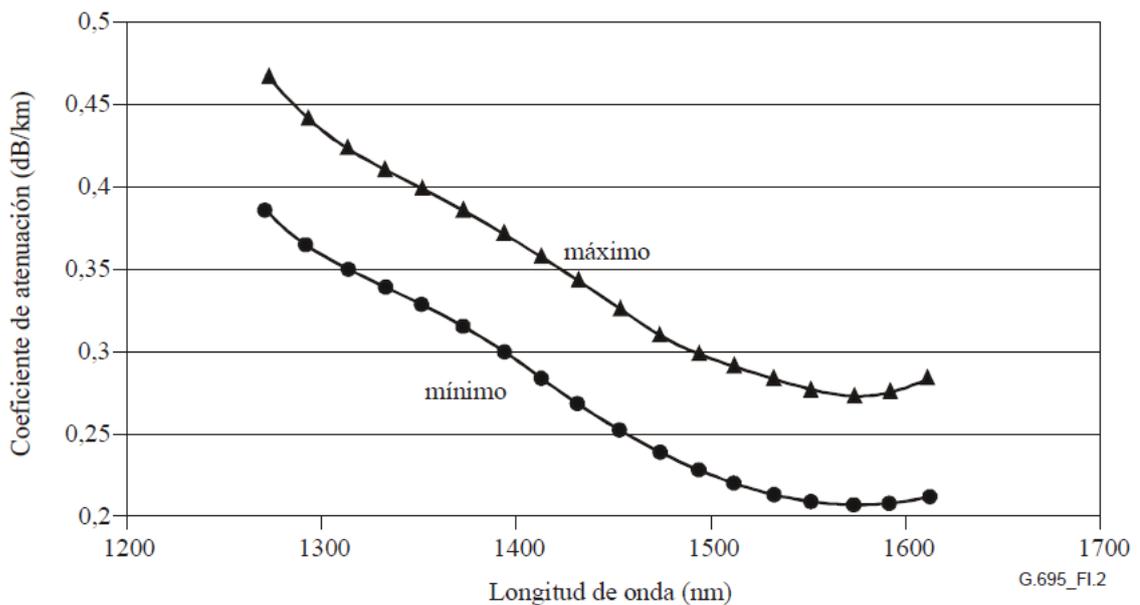


Figura 2.15 – Valores supuestos del coeficiente de atenuación para cable G.652.C y G.652.D

Estos valores del coeficiente de atenuación se basan en los resultados espectrales de un número limitado de fibras, junto con la hipótesis de 0,275 dB/km en 1550 nm para los coeficientes de atenuación máxima y 0,210 dB/km en 1550 nm para los coeficientes de atenuación mínima. La atenuación real del cable instalado es de naturaleza estadística y estos valores no deberán tomarse como límites de especificación impuestos a fibras individuales,

secciones de cable o empalmes. En los cables de fibra óptica instalados realmente, los valores del coeficiente de atenuación diferirán de los mostrados en el cuadro 2.3 y la figura 2.14, dependiendo de factores tales como la pérdida de los conectores, la de los empalmes, la provocada por las flexiones de la fibra o la debida a las comprobaciones ópticas.

2.2.3.5 Consumo de Potencia

Consumos de potencia son generalmente considerados los puntos departida de cualquier link óptico o diseño de red. Los consumos de potencia utilizados durante el desarrollo de cada código de aplicación fueron basados en planes de láser CWDM disponibles de 1.25 y 2.5Gb/s, receptores, transceptores SFF y SFP, multiplexores y demultiplexores CWDM.

Las siguientes características fueron aceptadas como representativas de componentes planeados y por lo tanto, son una base apropiada para la estandarización.

- Potencia de salida de Láser: 0 a +5dBm, para permitir el uso de láser no refrigerado directamente modulado.
- Inserción de pérdida por multiplexor CWDM de 8 canales: 1 a 3.5dB para permitir una variedad de diseños de multiplexores y mejoras futuras en potenciales en el diseño de filtros y fabricación de tecnologías.
- Inserción de pérdida por multiplexor CWDM de 8 canales: 1 a 4.0dB, nuevamente para permitir variedad de diseños de multiplexores y avances en filtros.
- 2.5 Gb/s P-intrínseco-N (PIN) potencia de entrada receptora. -18 a 0dBm, para proveer del rango típico de sensibilidad y valores de sobrecarga apreciables en receptores PIN de bajo costo.
- Receptores de entrada de potencia a base de Fotodiodos avalancha de 2.5 Gb/s (APD): -28 a -9dBm.
- Receptores de entrada de potencia APD de 1.5 Gb/s

2.2.3.6 FIBRAS ÓPTICAS QUE SOPORTAN CWDM

Mucho del esfuerzo de desarrollo de fibra óptica de monomodo durante los 90s fue enfocado en optimizar el rendimiento de las fibra en sistemas de transmisión de larga distancia que tenían capacidad de OC-192 (10Gb/s) y utilizaban DWDM and tecnologías de fibra dopada de erbio. Sistemas DWDM terrestres de larga distancia inicialmente operaban dentro de la banda espectral de 35nm de ancho conocida como la banda C (1530 a 1565nm) y la regeneración eléctrica era típicamente requerida en intervalos de 1000km o menos. Tecnologías WDM actualmente han tenido avances para soportar anchos de banda ópticos más amplios a lo largo de las bandas S-, C- y L aumentando la velocidad de señal a 40Gb/s o mas y transmisiones de ultra larga distancia, si necesidad de regeneración mayores a 1500Km.

El problema de diseño de fibra para sistemas banda ancha, alta rate de transmisión y larga distancia, es una optimización de los intercambios de las propiedades de la fibra con las metas de mitigar (i) los efectos no lineales de atenuación por fibra, (ii) tener soporte para la habilidad de compensación de dispersión de banda ancha, y (iii) tener soporte para ganancia Amman distribuida de bajo ruido y banda ancha. Es claro, la optimización también requería que las fibras resultantes se pudieran fabricar a costos razonables y que la fibra pudiera ser unida, cableada e instalada en ambientes de telecomunicaciones con atenuación baja y estable. La actual generación de fibras de dispersión media (MDFs), tales como la marca TrueWareREACH representan el más alto nivel de desempeño en diseños de fibra de larga distancia.

A medida que el cuello de botella de la capacidad de la red de telecomunicaciones cambiaba de las redes de larga distancia a las redes de acceso y redes metro, el enfoque en las inversiones de red se mudo a los sistemas de acceso y sistemas metro. De igual manera, el enfoque en el desarrollo de fibra cambio de soportar la última y más alta capacidad de sistemas DWDM a sistemas CWDM, los cuales son eficientes en materia de costos y para trafico de redes de acceso y redes metro. Esto propició la

aceptación de fibras de espectro completo que proveen baja pérdida sobre un rango amplio por medio de la eliminación del pico de absorción OH- a 1385nm y la sensibilidad de pérdida de fibra debida a la exposición de hidrógeno molecular.

2.2.3.6.1 Propiedades de la fibra y efectos sobre el rendimiento de sistemas CWDM

1) Atenuación por fibra

Tecnología de amplificación óptica no es utilizada generalmente con sistemas CWDM, debido a la necesidad de amplificación sobre la banda ancha de longitud de onda de 1310nm a 1610nm. Sin tecnología disponible de amplificación de banda ancha y bajo costo y limitaciones de potencia impuestas por los láseres directamente modulados de bajo costo (DMLs), la extensión del presupuesto puede ser limitado a menos de 30dB, la extensión de pérdida limitara la extensión de distancia entre 40 a 50 Km.

Debido a que para tasas de transmisión de hasta 2.5Gb/s los presupuestos de potencia de canales de alta pérdida determinan el alcance de un sistema CWDM, la figura espectral de atenuación por fibra tiene un rol determinante en diseño de sistemas CWDM.

Una curva de atenuación de espectro típica de 1000 a 1700nm de una fibra óptica moderna de base germanio-silicato sobre un diámetro bobino de 150 mm de diámetro se muestra en la figura 24. la forma espectral es dominada por la dependencia de λ^{-4} de la dispersión de Rayleigh. En la vecindad de 1550nm, la pérdida alcanza los valores más bajos y cerca de 0.185dB/km. A 1310nm, la curva de pérdida tiene un mínimo local de aproximadamente 0.325dB/km.

A longitudes de onda mayores que 1550nm, el nivel de pérdida aumenta, debido a efectos de empaque, tales como la pérdida asociada por macro dobleces con los dobleces de 150mm de diámetro por enrollamiento.

Puede existir atenuación adicional a largas longitudes de onda resultantes de “colas de pequeñas longitudes de onda” de absorción infrarroja, tales como contaminación por OH^- .

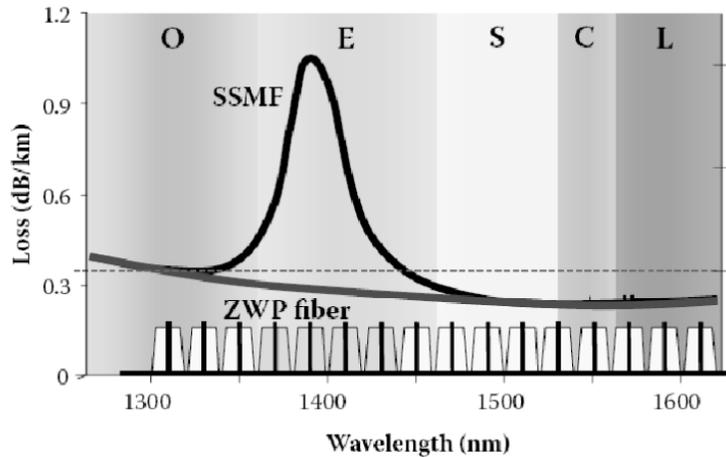


Figura 2.16 Comparación de atenuación espectral de una fibra ZWP (Cero pico de agua ITU-TG. 652D) con fibra monomodo de pico de agua estándar (SSMF, ITU-T G. 652). La ITU propuso que los canales CWDM fuesen traslapados, mientras que aquellos marcados en gris indican canales obtenidos gracias a la fibra ZWP.

A 1385nm, elementos de absorción molecular relacionados a la contaminación de OH se manifiestan en el ya conocido pico de agua. La pérdida por 1385nm puede ser disminuida más adelante por exposición a temperatura ambiente de la fibra al H_2 . El hidrógeno molecular se difunde a través los espacios intersticiales dentro de la matriz de vidrio, reaccionando a sitios de vidrio químicamente reactivos para formar especies absorbentes, tales como SiOH, resultando en un crecimiento del pico de agua con el paso del tiempo. Como será discutido más adelante en este capítulo, el crecimiento del pico de agua es permanente incluso a bajos niveles de exposición de H_2 a temperatura de sala y puede crecer hasta 1dB/km o más donde ciertos procesos atómicos relacionados a defectos están presentes en la estructura del vidrio.

Procesos en las técnicas de procesamiento del vidrio durante los 1990shan llevado a reducir la contaminación OH y la magnitud del pico de absorción. La figura anterior también ilustra los efectos de estos avances en el procesamiento. La curva de atenuación etiquetada como SSMF (Fibra

monomodo estándar por sus siglas en inglés) muestra el incremento de pérdida por encima del nivel de dispersión de Rayleigh en la región cercana a 1385nm la cual es típica de la SSMF. La curva etiquetada ZWP (cero pico de agua) muestra la atenuación de una fibra moderna con contaminación de OH reducida y el pico de agua efectivamente removido.

Además, la figura 24 muestra un traslape de las longitudes de onda de las señales CWDM sobre la curva de atenuación espectral. La propuesta de la ITU-T para sistemas CWDM incluye el posicionamiento de 18 canales sobre un grid espaciado 20nm que extiende el rango de las longitudes de onda desde 1270nm a 1610nm. Las fibras ZWP tienen baja atenuación sobre el rango espectral desde 1360nm a 1440nm el cual compone la banda E, permitiendo transmisión eficiente sobre los cuatro canales CWDM ubicados dentro de la banda E. De esta manera, las fibras modernas de espectro completo hacen posible la transmisión sobre los 16 canales CWDM de baja pérdida ubicados sobre el rango de longitudes de onda comprendidos entre 1310 a 1640nm.

2) Pérdidas por dobleces inducidos

Pérdidas por fibra óptica pueden verse afectadas también por la presencia de dobleces axiales o deformación. Dobleces que resultan en deflexiones de la fibra que son comparados ampliamente con el diámetro del núcleo de la fibra, por ejemplo, loops o los dobleces resultantes por enrollamiento, son llamados macrodobleces. Mientras más pequeño el radio de la macrodobleces, mas alta es la atenuación resultante. Adicionalmente, deformaciones del eje a pequeña escala (pequeñas relativamente al diámetro del núcleo de la fibra), por ejemplo, causados por presionar la fibra contra una superficie áspera dentro de un cable, resulta en atenuación a través de efectos de modo de acople y se le conoce como microdobleces. En donde las macrodobleces son caracterizadas por el radio de su curvatura, por ejemplo, 10 mm de radio, el eje de la deformación de las microdobleces es típicamente estocástico por naturaleza y por lo tanto se caracteriza por la densidad espectral de potencia de una deformación de eje. Ambas, la magnitud y forma

de la densidad espectral de potencia de las deformaciones por microdoblez afectan la magnitud y la forma de pérdida por microdoblez.

3) Pérdida por macrodoblez

La siguiente es una explicación heurística del fenómeno de pérdida por macrodoblez basada en el modelo de perfil de pérdida por doblado propuesto por Heiblum. Un modo de una fibra óptica es un modo límite, es decir, tiene un campo radial desvaneciente en la cubierta del núcleo, donde propagación longitudinal constante, β , es mayor que la constante de propagación de la onda plana de la cubierta del núcleo, $n_{\text{clad}} \cdot k$ donde k es la constante de propagación en el espacio libre y n_{clad} es el índice de refracción del material de la cubierta del núcleo. En otras palabras, la inecuación

$$\beta > n_{\text{clad}} \cdot k$$

Debe mantenerse. Dividiendo ambos lados de la ecuación anterior dentro de k , se tiene

$$\beta/k > n_{\text{clad}}$$

El radio β/k índice fundamental de modo efectivo, el cual debe ser mayor que el índice de la cubierta del núcleo para que el campo en la cubierta decaiga radialmente. Si el índice efectivo del modo es menor que el índice de la cubierta, entonces la solución del campo radial en los cambios de la cubierta se vuelven oscilatorios, resultando propagación radial de energía.

Ahora considérese un salto de índice de una fibra óptica con perfil de índice mostrado en la curva de la figura siguiente que está siendo doblado a una constante de radio de curvatura. El índice efectivo del modo fundamental mostrado como la línea punteada.

Heiblum demostró, por medio de una transformada de un sistema coordenado utilizando un mapa conforme, que una fibra doblada con índice de perfil mostrado como en la figura siguiente, curva (a), tiene un comportamiento similar al de la fibra directa con índice de perfil completo mostrado en la figura a

continuación, curva (b). La pendiente del perfil lleno es inversamente proporcional al radio de la curvatura.

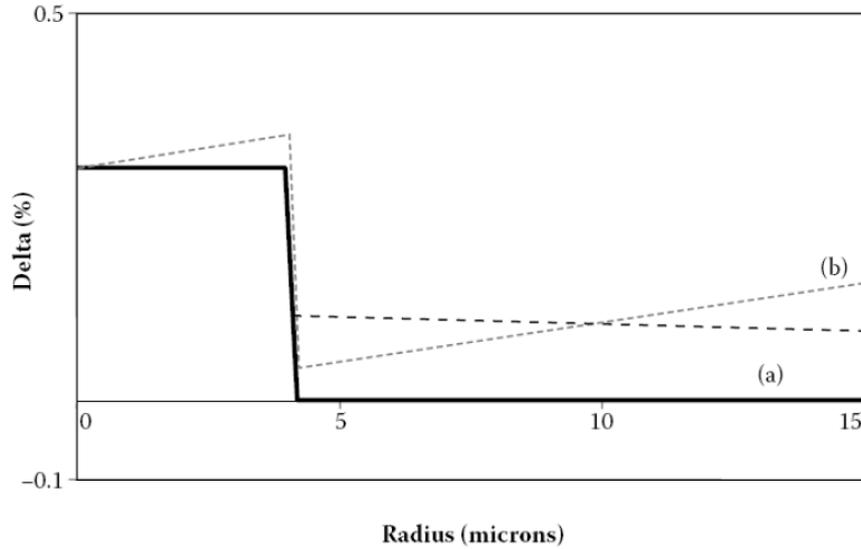


Figura 2.17 / Índice de refracción de (a) una fibra con salto de índice de doblez con radio de curvatura constante y (b) el equivalente a una fibra directa con índice de perfil completo. La línea punteada es el índice efectivo del modo fundamental.

Para la fibra directa con el índice de perfil lleno a radio mayor q R_c , el índice efectivo es menor que el índice de la cubierta. Por lo tanto, el campo se vuelve oscilatorio en la dirección radial y energía es llevada desde el eje de la fibra, resultando en exceso de pérdida como fugas de energía radiales lejos deleje. La razón de pérdida de energía depende de la fracción del modo de potencia que está en las afueras de la radiación caustica a un radio R_c . La fórmula de pérdida deducida por Marcuse para una rata de pérdida de energía por unidad de longitud de fibra es:

$$2\alpha = \frac{4}{\sqrt{\pi^3}} \frac{1}{\sqrt{\gamma R^3}} \frac{|I_1|^2}{I_2} \left| H_{\beta R} \left(\frac{2\pi n_{\text{clad}}}{\lambda} (R + a) \right) \right|^{-2},$$

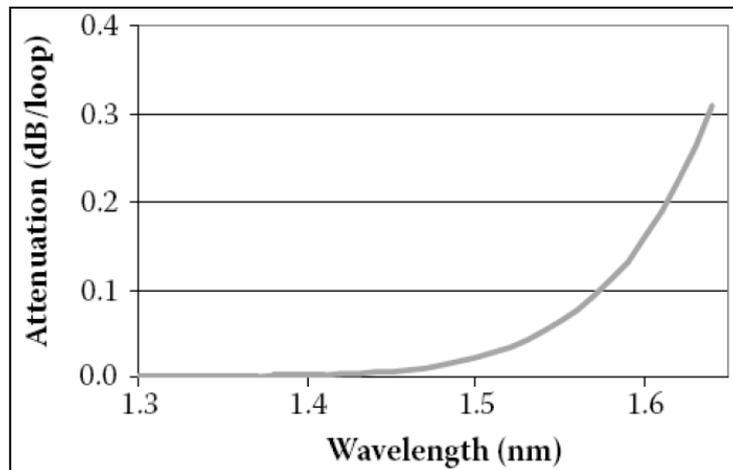
Donde a es el radio del núcleo, R es el radio de la doblez,

$$I_1 = \int_0^\infty E(z) dz, \quad I_2 = \int_0^{2\pi} d\phi \int_0^\infty |E|^2 r dr,$$

$$\gamma = \sqrt{\beta^2 - n_{\text{clad}}^2 k^2}.$$

La figura 2.27 (arriba) muestra la pérdida por macrodoblez predicha sobre la banda de una fibra SSMF típica para un radio de 16 – mm. Dicha pérdida aumenta rápidamente con la longitud de onda. La figura 2.27 (abajo) muestra la fuerte dependencia de la las pérdidas por macrodoblez de una SSMF típica a medida que el radio de doblez se hace variar.

Atenuación a 1550nm predicha para un diámetro de macrodoblez de 32mm



Atenuación por macrodoblez predicha

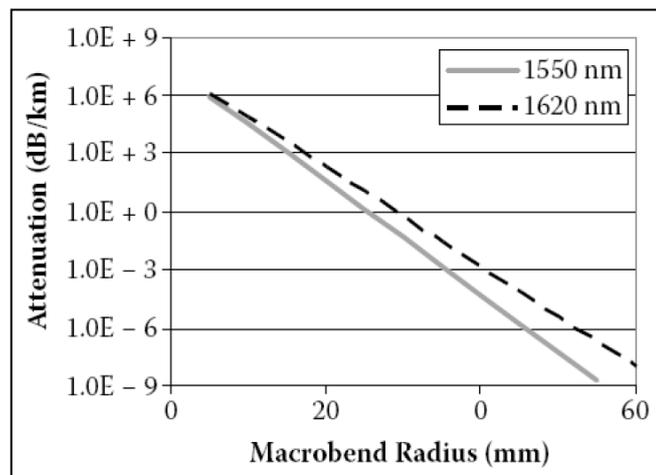


Figura 2.18 / Pérdida por macrodoblez predicha para una SSMF lo largo de un espectro de canal CWDM

4) Pérdidas por microdoblez

Microdoblez son pequeñas deflexiones del eje de la fibra tales como las que serían ocasionadas por presionar una fibra contra una superficie áspera. La teoría del modo acoplado puede ser aplicada al problema de transmisión a través de deflexión de eje simple para deducir una expresión de la pérdida de potencia. Para una fibra monomodo, el problema se torna en expresar el modo fundamental de la fibra sin deflexión (a la entrada de la microdoblez) en términos de la expansión de los modos de la fibra con deflexiones (a la salida de la microdoblez), como es ilustrado en la figura siguiente. El conjunto de modos guiados y modos de radiación de la fibra hacen un conjunto de funciones completo y ortogonal para la expansión.

Los coeficientes de la expansión dan la fuerza de acople entre los modos. El coeficiente fundamental de modo de acople determina la pérdida por microdoblez, debido a que se puede asumir que la energía acoplada en los modos de fuga, radiación o cubierta se pierden. Para un largo de fibra con microdoblez de amplitud aleatoria distribuidos aleatoriamente a lo largo de la fibra, tal como cuando la fibra es presionada contra una superficie áspera, las microdoblez se pueden modelar como una colección de deflexiones individuales cuyas características son descritas por la densidad espectral de potencia de las deflexiones del eje como una función de la posición axial. Marcuse dedujo una poderosa aproximación de pérdida por microdoblez para fibras con salto de índice por medio de un conjunto de modos linealmente polarizados y modos de cubierta como funciones base para expansión de campo y asumiendo que el tamaño de las deflexiones aleatorias del eje son descritas con media cero y una función de distribución Gaussiana. La pérdida por microdoblez de longitud normalizada es:

$$2\alpha = \sqrt{\pi}\sigma^2 L_c \left(\frac{2nka\Delta}{bw}\right)^2 \sum_s \exp\left\{-\left[(\beta_g - \beta_{1s})\frac{L_c}{2}\right]^2\right\} \frac{J_1^2(j_{1s}(a|b))}{j_0^2(j_{1s})} \exp\left(-2\frac{a^2}{b^2}\right)$$

Donde L_c es la longitud de correlación de las microdoblez, σ es la raíz media cuadrada (RMS) de la amplitud de las microdoblez, a es el radio del núcleo,

del radio de la cubierta, Δ es el delta del núcleo, ω es el modo de campo del radio, $(\beta_g - \beta_{1s})$ es la diferencia entre el modo fundamental y las constantes de propagación del modo del núcleo, $J_v(x)$ es la función de Bessel de primer orden v , y j_{vs} son las raíces de las funciones de Bessel ($J_v(j_{vs}) = 0$). Debido a que las funciones basen en el análisis de modo acoplado usado para deducir la ecuación anterior son el conjunto discreto de los modos del núcleo, la fórmula de pérdida contiene una sumatoria respecto de los modos de la cubierta de orden radial S , la cual es computacionalmente simple de implementar. La figura 2.29 muestra el espectro de pérdida predicho para una SSMF con varios microdobles de largos de correlación. Para microdobles de largos de correlación menores que $100\mu\text{m}$, el exceso de pérdida es relativamente amplio y varía lentamente con la longitud de onda. Para la misma magnitud RMS (σ) de microdoble, pero con el tamaño de correlación mayor que $350\mu\text{m}$, el exceso de pérdida es considerablemente menor en magnitud y aumenta rápidamente con la longitud de onda.

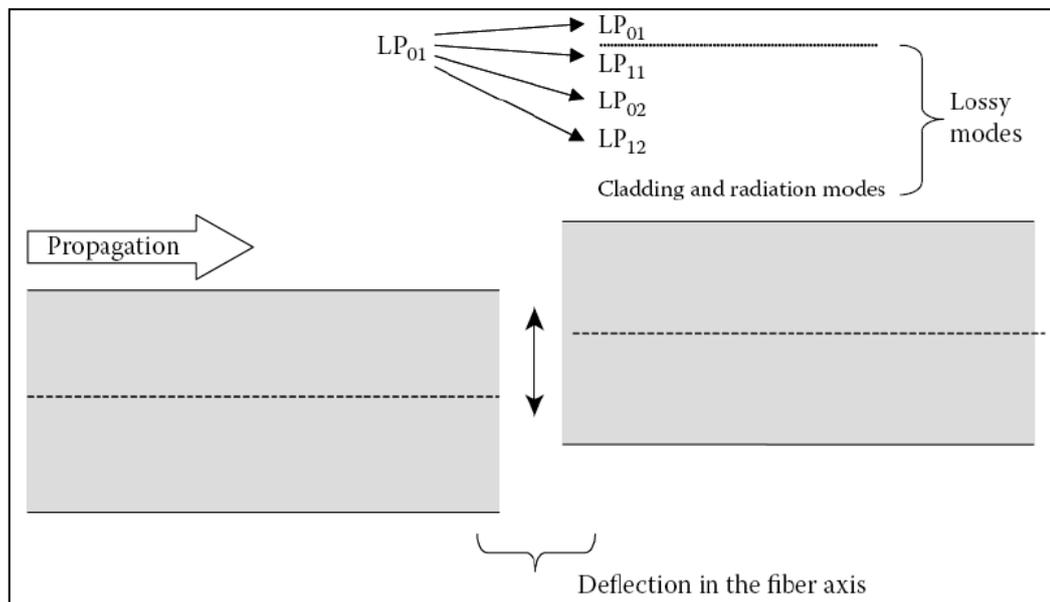


Figura 2.19 / Modelo del núcleo de una fibra en la vecindad de una microdoble. Potencia acarreada en el modo fundamental antes que la microdoble se acople al modo fundamental y a modos de alta pérdida debido a microdoble.

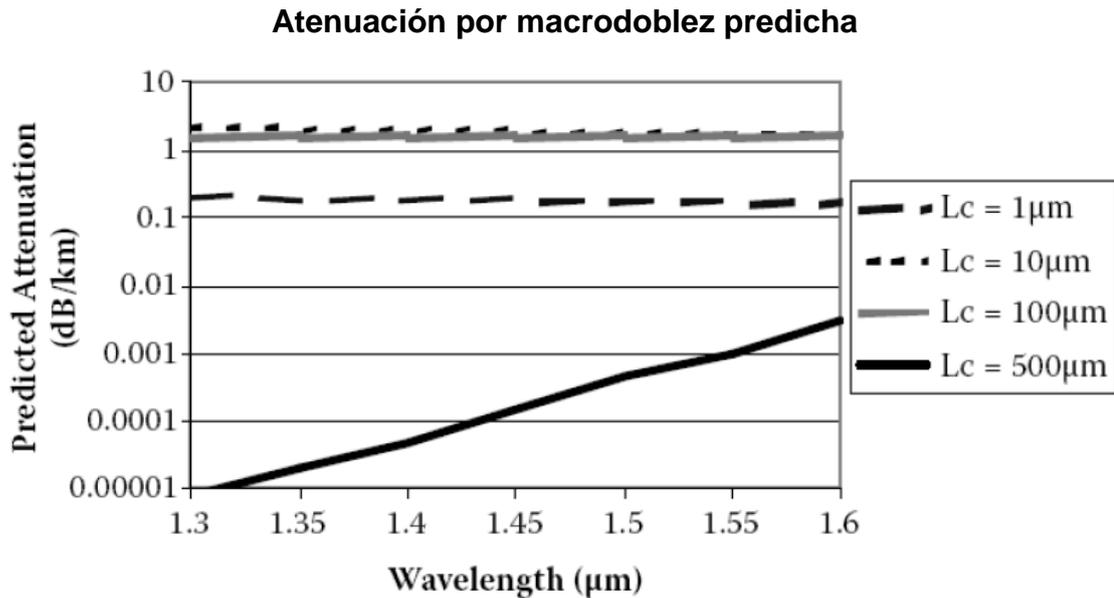


Figura 2.20 Pérdida por microdoblez predicha como una función de la longitud de onda de acuerdo con el modelo de Marcuse. Las cuatro curvas muestran el cambio en la dependencia de la longitud de onda y el cambio de la magnitud de la atenuación cuando la correlación, L_c , del espectro de potencia de la microdoblez aumenta desde 1 a 500 μm .

2.2.3.6.2 Fibra Monomodo estándar (SSMF) (ITU – G. 652)

La fibra monomodo más ampliamente disponible utilizada en sistemas de telecomunicaciones esta especificada en la recomendación ITU-T G. 652 se le refiere generalmente como SSMF (Por sus siglas en inglés Standard Single Mode Fiber). Esta recomendación es bastante amplia y fibras de diferentes diseños, fabricadas por medio de las principales técnicas de fabricación [Deposición de vapor por fuera (OVD), deposición axial de vapor (VAD), deposición de vapor modificada químicamente (MCVD), y deposición de vapor por plasma químico (PCVD)], entran todas dentro de esta especificación.

La mayoría de SSMF comerciales entra dentro de un rango angosto de índices radiales de perfiles de refracción y se le conoce como fibras de cubierta encajada, debido a que el índice de refracción de la región de la cubierta con baja pérdida adyacente al núcleo encaja con la región en las afueras de la cubierta, resultando en un índice de cubierta aproximadamente constante a lo

largo de la región entera de la cubierta. Estas fibras tienen típicamente formas de núcleo de salto de índice, es decir, índice constante de refracción dentro de la región del núcleo con cambio abrupto en el índice de refracción en los límites de la cubierta del núcleo. La tabla II muestra una lista de las propiedades nominales de transmisión de fibras típicas de cubierta encajada.

2.2.3.6.3 Fibras con bajo pico de agua y cero pico de agua

Como será descrito más adelante, la tecnología de fabricación de fibra óptica han sido desarrollada para reducir los niveles de contaminación de OH- al punto que el pico de absorción centrado en aproximadamente 1385nm, conocido como el pico de agua, puede ser dramáticamente reducido (fibra LWP) o virtualmente eliminado (fibra ZWP), como se muestra en la figura 24. Los beneficios de las mejoras en la tecnología de fabricación y la reducción de la atenuación asociada se reflejan en la pérdida de los requerimientos contenidos en la especificación de la fibra ITU-T G.652D. La tabla siguiente compara los requerimientos de pérdida de las varias clasificaciones de fibra cubiertas en la recomendación ITU-T G. 652a-D.

Fiber Property	Typical Value for Matched Cladding Fiber	Typical Value for Depressed Cladding Fiber
Mode field diameter at 1310 nm (μm)	9.2	8.8
Nominal zero dispersion wavelength (nm)	1312	1308
Dispersion at 1550 nm (ps/[nm km])	17	17
Cable cut-off wavelength (nm)	<1260	<1260
Relative microbending loss at 1550 nm	1.8	1
Macrobending loss for 32-mm radius bend (1 turn)	<0.1 at 1625 nm	<0.05 at 1625 nm
Polarization mode dispersion (ps/km ^{0.5})	<0.15	<0.15
Macrobending loss for 16-mm radius bend	<0.05 at 1550 nm	<0.05 at 1625 nm

Cuadro 2.4 Propiedades de cubierta típica encajada y cubierta comprimida, fibra que cumple con la recomendación G. 652B.

	G.652 A	G.652 B	G.652C/ D	G.652 D	Commercially Available ZWP Fiber
1310-nm attenuation (dB/km)	0.5	0.4	0.4	0.4	<0.34
1385-nm attenuation (dB/km)	n/a	n/a	*	*	<0.31
1550-nm attenuation (dB/km)	0.4	0.35	0.3	0.3	<0.21
1625-nm attenuation (dB/km)	n/a	0.4	n/a	n/a	<0.24

*The sampled attenuation average at 1385 nm shall be less than or equal to the maximum value specified for the range, 1310 to 1625 nm, after hydrogen aging according to IEC 60793-2-50 regarding the B1.3 fiber category.

Cuadro 2.5 Requerimientos de pérdida de fibra cableada de la recomendación ITU-TG652.

2.2.3.6.4 Diseños de fibra de baja pérdida por doblez

Con el enfoque actual de la inversión de telecomunicaciones en las porciones de redes de acceso y metro, existe un interés renovado por los carriers en las fibras con baja sensibilidad a la pérdida por doblez. Los factores primarios que llevan al interés en estas fibras son generalmente relacionados al deseo de extender la fibra en la red a lo largo de las premisas del consumidor y sobre el único requerimiento que este nuevo ambiente de operación lleve la fibra hasta el hogar (FTTH Transmisión por fibra hasta el hogar por sus siglas en inglés). Es deseable que para cables de distribución y de última milla usados en las redes de acceso sean lo más pequeños y más baratos como sea posible. Esto significa generalmente que el cable proveerá menor protección a las fuerzas externas que resultan en macro y microdoblecés.

Los usuarios finales también desean o requieren que el hardware instalado a sus premisas sea lo discreto y pequeño en tamaño, resultando en fibras que se enrutan en arreglos de diámetros pequeños dentro del hardware. Adicionalmente a esto, para disminuir costos de instalación del cable asociado al hardware, los artesanos con menor entrenamiento y menores habilidades pueden llevar a cabo la instalación.

Por lo tanto, los carriers desean que la fibra sea funcional en caso que un bajo cuidado se ejercite sobre ella durante la instalación de la misma incrementando así los dobleces resultantes. Además de los factores descritos previamente, se encuentra el factor que el espectro completo de sistemas CWDM utiliza longitudes de onda al lado largo de longitud de onda de la banda L donde es particularmente un reto diseñar fibras con baja sensibilidad de micro y macrodobles (Ver figura 25). La tabla siguiente resume las propiedades de las fibras con baja pérdida por dobleces que en la actualidad se encuentran comercialmente disponibles.

	Commercial Matched Clad Spec. (MFD = 9.2)	Typical Depressed Clad G.652 (MFD = 8.8)	G.652D Fiber with Enhanced Bending	Non G.652 Compliant Fiber w/MFD = 8.6	Non G.652 Compliant Fiber w/MFD = 6.3
60 mm diameter at 1625 nm	<0.05	<0.05	<0.05	—	—
50 mm diameter at 1550 nm	<0.05	<0.05	<0.05 at 1625	<0.005	—
30 mm diameter at 1550 nm	<0.05	<0.05	—	<0.005	—
32 mm diameter at 1625 nm	—	—	<0.1	—	—
15 mm diameter at 1625 nm	—	—	—	—	<0.5

Note: MFD = mode field diameter (μm)

Cuadro 2.6 Desempeño de pérdida por macrodoz (en dB) de una SSMF (Diámetros de 60, 50 y 15 mm para 100 vueltas y 30 32 mm para una vuelta).

2.2.3.6.5 Fibra de dispersión desplazada no nula NZDSF

Esta fibra fue desarrollada primordialmente para aplicaciones donde los amplificadores de fibra dopados con erbio (EDFA) y tecnologías DWDM fueron implementadas, tales como sistemas de transmisión de larga distancia. Las

especificaciones ITU-T G. 655 y la ITU-T G. 656 fueron desarrolladas para cubrir un amplio rango de NZDSF que eran comercialmente disponibles.

A una longitud de onda de 1550nm, la magnitud de dispersión de NZDSF esta típicamente dentro del rango de 4 a 8 ps/(nm·km), comparado con los aproximadamente 17ps/(nm·km) para una SSMF. Por lo tanto, el sistema de 10-Gb/s alcanza antes de que compensación por dispersión sea necesaria puede ser 2 a 4 veces mayor para transmisiones sobre una NZDSF comparado con SSMF. La extensión de alcance limitada de dispersión de NZDSF, comparado con las SSMF, es atractiva para aplicaciones en redes de anillos metropolitanos DWDM que en la circunferencia de los anillos pueden extenderse a unos cuantos cientos de kilómetros. Debido a que los sistemas CWDM lleguen a ser implementados en redes metropolitanas, es posible que sistemas CWDM operen sobre NZDSF tanto como sobre SSMF.

En la figura siguiente, la dispersión se muestra como una función de la longitud de onda para una fibra típica ITU-T G. 652 y una ITU-T G. 655 NZDSF. Para NZDSF, el perfil del índice de refracción es moldeado de modo que la magnitud de la dispersión total (la suma del material, guía de onda y dispersiones de perfil) en la banda C es (i) lo suficientemente grande para romper la interacción de fase acoplada en los canales DWDM necesarios para los decaimientos no lineales inter-canal, tales como FWM, pero (ii) menores que en una SSMF tales que el total de compensación por dispersión por fibra es reducida o la distancia de transmisión limitada por dispersión descompensada es aumentada.

Para canales poco espaciados de 10-Gb/s en sistemas DWDM, cerca de 2ps/(nm·km) son suficientes para suprimir FWM.

SSMF -- ITU-T G. 652; DSF – ITU-T G. 653; LD NZDSF -- ITU-T G. 655; y MD NZDSF-- ITU-T G. 656.

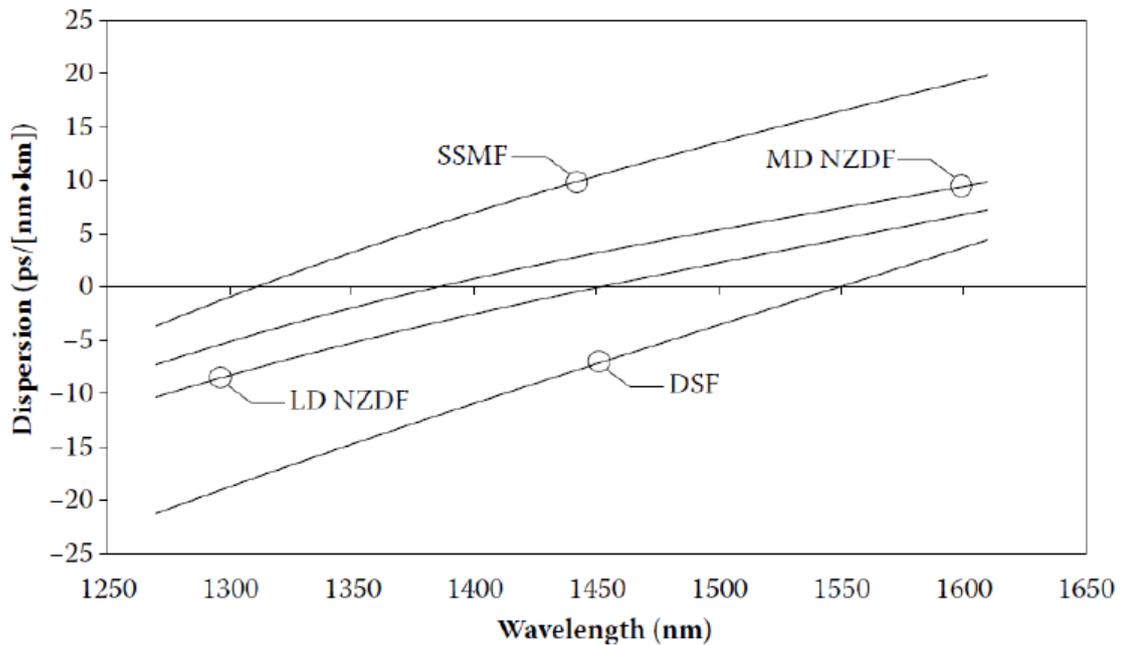


Figura 2.21 / Dispersión versus longitud de onda para fibras de transmisión comunes.

2.2.3.6.6 Fibra NZDSF para transporte óptico de banda ancha (ITU-T G.656)

El reciente interés en tasas de transmisión de 40-Gb/s y amplificación por distribución de Raman han llevado al desarrollo de incluso otro grupo de NZDSF, referidas como MDF (Fibras de dispersión media por sus siglas en inglés). La recomendación ITU-T G. 656 fue desarrollada. Las MDF se planearon primordialmente para ser usadas en sistemas de transmisión de ultra larga distancia. Las MDF tienen típicamente longitud de onda con dispersión cero menor que las ITU-T G. 655 así que existe suficiente dispersión en la región de 1450nm donde láseres de bombeo Raman para la amplificación de la banda C están ubicados de orden tal que se minimice el ruido asociado con FWM por bombeo-bombeo o bombeo-síñal.

Adicionalmente, desempeño óptimo a 40-Gb/s generalmente requiere mayores niveles de dispersión de transmisión por fibra para mitigar los efectos

no lineales intracanal. Debido a que las MDF son más probables a ser implementadas en redes de ultra larga distancia de 40-Gb/s de capacidad, la probabilidad que transmisión CWDM se lleve a cabo por medio de estas fibras es bastante baja.

2.2.3.7 TRANSCIEVERS PARA CWDM

Con la necesidad de capacidad mayor para sistemas de comunicación óptica, la tecnología WDM fue desarrollada. WDM pone básicamente señales múltiples en una fibra simple, cada una representada por una diferente longitud de onda. Mientras que los sistemas anteriores utilizaban dos o tres longitudes de onda con separación relativamente amplia, se pueden caracterizar dichos sistemas el día de hoy como sistemas WWDM (Wide Wavelength Division Multiplexing), y ellos empleaban primordialmente acopladores de ventana dual FBT (Fused BiconicTaper). Estos dispositivos operaban típicamente en el rango de 810/870/1310nm o 1310/1550nm, con fuentes de luz tales como láseres (FP) Fabry Perot o diodos emisores de luz (LED) operando a esas longitudes de onda. Esos sistemas anteriores eventualmente evolucionaron en los que nosotros hoy en día conocemos como sistemas CWDM y DWDM. Mientras que DWDM es la tecnología opción para aplicaciones de larga y ultra larga distancia (ULH) a lo largo de médulas de red, en aplicaciones CWDM rápidamente llenó el vacío entre sistemas DWDM y WWDM, de manera aun barata y menos compleja que DWDM. Hoy en día CWDM se está volviendo más ampliamente aceptada como una arquitectura importante de transporte, donde hasta 18 longitudes de onda están disponibles para transmitir información sobre un enlace de fibra en redes metro o de acceso.

El enfoque en este capítulo será primordialmente en los láseres, transmisores y transceivers que forman los bloques de construcción de un sistema WDM. Como se muestra en la figura 22(a), un sistema de comunicación simple utiliza un láser de transmisión de información sobre cualquier longitud de onda λ la cual conoce el criterio que se puede detectar por medio de un receptor apropiadamente diseñado y opera dentro de la región de espectral de baja pérdida de la fibra óptica, puenteando la distancia entre la unidad receptora y la transmisora. Usando el concepto WDM, se obtienen

varios cambios con respecto de del enlace de comunicaciones de canal simple previamente mencionado. La figura 22(b) describe una versión extendida del enlace de comunicaciones simple donde se utilizan ahora 4 diferentes longitudes de onda λ_1 , λ_2 , λ_3 , y λ_4 para transmitir información sobre la fibra.

La multiplexión de diferentes longitudes de onda con un par multiplexor (MUX)/demultiplexor (DEMUX) en la figura 22(b) añade complejidad futura al sistema debido a que mayor cantidad de unidades transmisoras y receptoras se necesitan y se requieren para multiplexar de demultiplicar las cuatro longitudes de onda. La ventaja más grande de WDM es el aumento de capacidad obtenido sobre una fibra simple. El enlace en el inciso (b) de la figura siguiente tiene cuatro veces más capacidad que el enlace de referencia asumiendo que la misma tasa de transmisión es utilizada para cada enlace. Teniendo suficiente número de puertos en los dispositivos multiplexores, también podremos obtener una mejora de capacidad para canales ya en servicio sin interrupción de tráfico.

Las longitudes de onda existentes no se ven afectadas cuando canales adicionales se añaden a nuevas longitudes de onda. Adicionalmente, los láseres a las diferentes longitudes de onda pueden operar a tasas de transmisión independientes, basándose en la capacidad de demanda tanto como en las propiedades físicas del enlace. Los caminos de mejora para un sistema CDWM y los requerimientos de láser de tal capacidad y sistemas de longitud de onda mejorada complementaran la información mencionada en la sección donde se discuten temas sobre transceivers CWDM.

WDM, o más específicamente, CWDM requiere de control sobre las longitudes de onda utilizadas en el enlace de transmisión. A diferencia de sistemas monocanal con amplia tolerancia a variación de longitud de onda de los láseres, la presencia de canales en la vecindad dicta el rango de longitud de onda de cada uno de los láseres. Excediendo los límites, puede ocurrir crosstalk hacia los otros canales o exceso de pérdida debido a la presencia demultiplexores selectivos de longitud de onda. El espaciamiento de longitud

de onda entre canales en los primeros sistemas DWDM era típicamente 200GHz, eventualmente reducido a 100 ó 50GHz.

Espaciamiento aún más angosto se dificultó aún más por las primeras apariciones de crosstalk lineal y no lineal debido al desempeño de componente y ancho de banda espectral de las fuentes de láser moduladas. Las longitudes de onda para CWDM son definidas acorde al grid de frecuencia/longitud de onda estandarizadas desarrollado por la ITU. Esto, referido comúnmente como el grid ITU, extendido desde 1270 a 1610nm para CWDM con espaciamiento de 20nm entre 18 canales CWDM.

En la siguiente tabla siguiente se resume la longitud de onda nominal así como el rango de longitud de onda de láser CWDM en condiciones operativas. Los límites máximos y mínimos tomados en cuenta en el paso de banda de multiplexores CWDM, el cambio de temperatura de láser CWDM sin refrigeración de 0.1nm/°C, y el rango de temperatura de operación de 0 a 70°C. Los láser se deben mantener en el intervalo definido por λ_{max} y λ_{min} a cualquier temperatura. Incluso a temperatura constante, una variación en la longitud de onda operativa del láser es esperada, debido a tolerancias en los parámetros del dispositivo láser encontrados en producción.

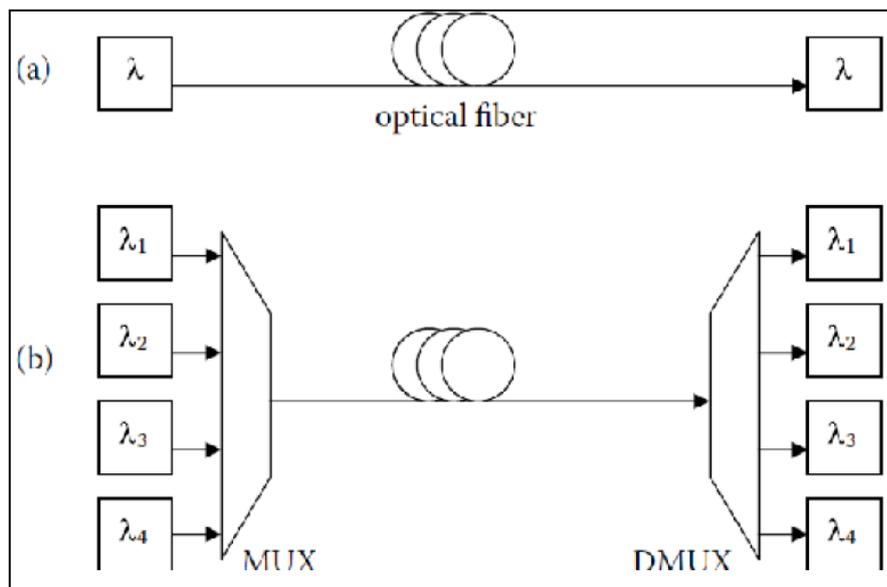


Figura 2.22 / Longitud de onda utilizada en un enlace de comunicaciones ópticas. (a) Transmisor de longitud de onda simple; (b) extensión a un transmisor sistema/color WDM.

Láser y receptores combinados como transreceptores son utilizados como soluciones modulares y compactas incorporando ambas funciones de transmisor y receptor en un solo dispositivo al cual nos referiremos de ahora en adelante como “transceiver”. El transceiver juega un papel crucial en sistemas de transmisión CWDM. El rendimiento de un sistema típico de 16 canales CWDM es principalmente determinado por las propiedades de los láser utilizados. En una sección posterior, hemos listado láseres típicos usados para aplicaciones metro que también consideramos como para CWDM.

Debido a que transmisión óptica de bajo costo es un factor clave detrás de CWDM, esta característica viene con restricciones de precio/desempeño. Típicamente, CWDM utiliza láser directamente modulado (DML), donde no se utiliza modulador externo. Para sistemas de larga distancia, señales directamente moduladas experimentan degradación cuando se propagan por el enlace debido a dispersión cromática causada por el ensanchamiento espectral, un efecto más pronunciado aún en láser modulado directamente.

El desempeño de los tipos de fuentes ópticas se compara más adelante; nuestro enfoque es ahora sobre láser de retroalimentación distribuida, los cuales son ampliamente utilizados para transmisión CWDM. También complementaremos más adelante la discusión de láser/fuente con un vistazo general a los detectores y sus características, yendo de los componentes simples a más altos niveles de integración.

2.2.3.7.1 Fuentes para CWDM

En esta sección se investigará las fuentes de láser para transmisores como uno de los bloques de construcción clave para esas unidades.

Revisando las propiedades de estos dispositivos se produce la comprensión del desempeño de transmisión así como sus limitaciones. Los transmisores utilizan ya sea diodos láser o LED como fuentes; donde los LED

son regularmente reservados como fuentes para aplicaciones de corta distancia con un alcance de unos cuantos cientos de metros, láser hacen la mayoría de fuentes utilizadas en el medio y sistemas de largo alcance. Aun entre diferentes tipos de láser disponibles, existen diferencias significativas en desempeño y cuidado que debe tomarse en su selección, dependiendo de la aplicación particular en donde van a utilizarse.

En general, láser FP, láser emisores de superficie vertical (VCSEL) y láser DFB son los primordialmente utilizados en transmisores, con mayor desempeño láser Fiber Grating Láser (FGL) y láser modulados externamente a base de electro absorción (EA-EML) son utilizados frecuentemente. La tabla VII resumelos tipos de láser. Los requerimientos para el uso de los láseres en aplicaciones CWDM se basan en el siguiente criterio.

- Los requerimiento de desempeño par láser en CWDM metro y acceso son menos demandantes que aquellos para aplicaciones de larga distancia debido a distancias más cortas de transmisión y menor capacidad de transmisión de tráfico (menores ratas de transmisión y amplio espaciamiento de canal).
- Es requerimiento importante bajo costo con bajo consumo de potencia, huella pequeña, interoperabilidad, diseño simple siendo consideraciones secundarias.
- Láser sin refrigeración pueden reducir costos y ocupación de espacio en el futuro.
- Consecuencias y retos para láser de bajo costo; baja salida de potencia, alto pico de trasciente debido a modulación directa, no estabilización de temperatura, integración de paquetes de transceiver necesaria, empaquetado simple con desempeño continuamente limitado de radiofrecuencia, acople óptico sin aislador, y control no activo de desempeño de láser.

Type	Relative Cost	Output Power (dBm)	Wavelength Range (nm)	Modulation	Application
LED	very low	<0	850	155 Mb/s	LAN
Fabry Perot	low	3	850, 1310	2.5 Gb/s	access
VCSEL	low	0	850, 1310, 1550	up to 10 Gb/s	access
DFB	medium	6	1270–1610	direct: 2.5–10 Gb/s	CWDM, metro
FGL	medium	3	1550	2.5 Gb/s	metro
EA-EML	high	0	1310, 1550–1590	2.5–40 Gb/s	metro regional

Cuadro 2.7 Vistazo general a las fuentes de luz.

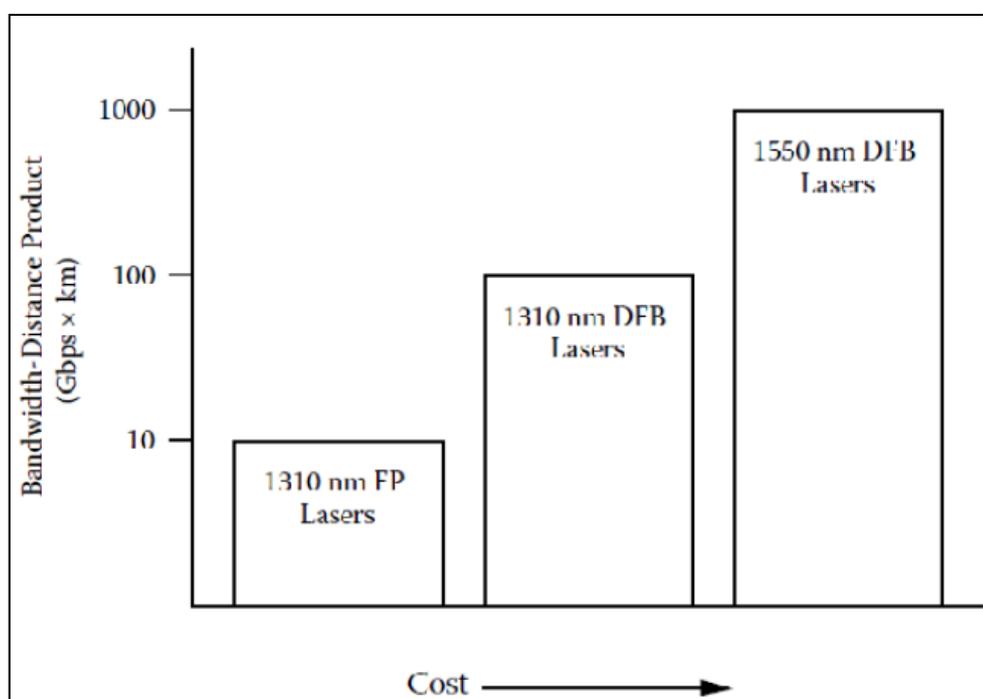


Figura 2.23 Comparación de desempeño y costo de láser FP y DBF.

2.2.3.7.1.1 Tipos de láser y sus propiedades

Existen diferentes medidas para asesorar el desempeño de los diferentes láseres usados en la tabla anterior. El *producto distancia de rata de transmisión* toma en cuenta el desempeño de modulación del láser y, en adición, el desempeño de transmisión. En otras palabras, si un láser modulado a 1Gb/permite transmisión sobre 100km de fibra, sin necesidad de compensar la dispersión cromática por fibra, tiene un producto distancia de rata de transmisión comparable al del DML directamente modulado de 10Gb/s con

un máximo alcance de 10km. En la figura anterior, comparamos el producto distancia de rata de transmisión para dos de los tipos más comunes, los láserFP y DFB. Para aplicaciones de bajo costo, láser FP son la mejor opción. Estos tienen un mejor producto distancia de rata de transmisión debido a su amplia anchura espectral, la cual hace estos dispositivos muy sensibles a la dispersión por fibra. Por el otro lado, láser DFB a 1550nm se benefician de la disponibilidad de amplificadores de aumento de distancia de transmisión.

Nos enfocamos en las fuentes de láser de la tabla anterior y discutiremos sus propiedades a continuación. Los láseres se presentan en orden del más bajo al más alto costo de dispositivo.

1) Láser FabryPerot

Los láseres FP (FabryPerot) se basan en material GaAs y son unos de los láseres más simples para sistemas de comunicación óptica. Dentro de la banda de ganancia, varios modos longitudinales experimentan condición de acción láser simultáneamente de modo que la anchura espectral resultante es típicamente de 2 ó 3nm. Comúnmente, un umbral de 10mA de corriente para la acción láser se esperan con 5 a 10mW de máxima salida de potencia. Para incrementar corrientes, el número de modos también aumenta, resultando en un espectro ensanchado. Debido a diseño simple, sin un aislador óptico a la salida, los láseres FP son menos sensibles a las reflexiones.

Láser sin estabilización de temperatura experimentan una deriva de longitud de onda con la temperatura. La longitud de onda centro cambia por 0.4nm en dirección a longitudes de onda más largas cuando la temperatura de operación aumenta 1°C. La aplicación de láser FP a CWDM es regularmente limitada debido a la amplia anchura de línea y por lo tanto alta sensibilidad a dispersión cromática, acoplada a dependencia de temperatura de longitud de onda. Prácticamente, las fuentes FP encuentran su camino a través de enlaces de longitud de onda simple en aplicaciones de corto alcance; el período exacto depende del ancho de banda del enlace. Para tolerancia de dispersión baja se

confina la operación cerca del mínimo de dispersión de la fibra óptica, por ejemplo, 1310nm para fibras SSMF.

Por este motivo, los láseres pueden ser útiles para la interfaz de un cliente de un sistema CWDM o de cualquier otra forma de interconexión de datos de bajo costo.

Dispositivos futuros con menor manejo de voltaje y un umbral de efecto láser podrían permitir controles electrónicos simplificados y diseños a una anchura espectral reducida menor que 2nm podrían también superar la severa limitación de dispersión de los dispositivos actuales.

2) Láser emisor de superficie de cavidad vertical (VCSEL)

El láser emisor de superficie de cavidad vertical es un dispositivo de acción láser donde la luz emitida perpendicularmente a la estructura de capa. Manufactura de epítaxis de una etapa de los VCSEL permite ventajas de costo para estos dispositivos. En contraste con los FP, la corta cavidad soporta únicamente acción láser de modo simple. Los láseres tienen un bajo umbral menor a 1mA y están disponibles para modulación directa a tasas de bit desde 55Mb/s hasta 2.5Gb/s. Experimentos a 10Gb/s han sido llevados a cabo donde las señales han sido transmitidas sobre fibras SSMF a 1550nm utilizando un VCSEL basado en InP. Sin control de temperatura, el VCSEL se ha mostrado operativo hasta 90°C, haciéndolo apropiado como una fuente de bajo costo con una muy pequeña huella. A pesar del reciente progreso, los VCSEL en sistemas CWDM en espectro completo aun representan un reto debido a que los láser que están disponibles son cercanos a 850, 1310 y 1550nm. Los dispositivos no tienen color de longitud de onda con una amplia especificación de la misma.

Esto acoplado con una deriva de longitud de onda de $0.1 \text{ nm}/^\circ\text{C}$ pueden llegar a hacer el traslape espectral con multiplexores de paso de banda CWDM un inconveniente.

Otro reto es la relativa baja potencia de un VCSEL, típicamente menor que 0 dBm .

Aparte de los transceivers actuales de corto alcance para aplicaciones LAN/SAN/datacom a 850 nm , los VCSEL ofrecen una opción de reemplazo para los láser FP existentes con costo comparable pero mejor desempeño. Pueden ser utilizados en donde potencia baja es aceptable. Futuros desarrollos pueden enfocarse en el inconveniente de potencia o sintonía para cubrir un ancho espectral más amplio, de esta manera adaptándolo cerca de los requerimientos necesarios para fuentes CWDM.

3) Láser de realimentación distribuida

Estos láseres son el caballo de trabajo en sistemas WDM, ambos dispositivos con refrigeración y sin refrigeración. Son utilizados para todas las aplicaciones desde metro hasta larga distancia. Este tipo de láser está basado en una estructura Pozo de Cuanto Múltiple a medida que la ganancia media con estructura de rejilla como un elemento selectivo de longitud de onda para filtrar con fineza un modo simple longitudinal al cual el dispositivo está emitiendo señal. Debido a una estructura más compleja, el láser DFB es más caro que un láser FP o un VCSEL. En el caso de desempeño, el láser es externamente modulado con un modulador separado, técnica altamente utilizada para aplicaciones ULH (ultra larga distancia).

En metro o sistemas CWDM donde la distancia es más corta, la técnica demodulación directa es empleada donde la señal de datos modula la potencia de óptica de salida vía la corriente de operación. La ventaja clara está en la simplicidad debido a que no se requiere modulador adicional a la salida del láser. Este aspecto es particularmente importante donde no hay amplificador

disponible y el presupuesto de enlace es solamente determinado por la potencia óptica del láser y la sensibilidad del receptor.

Los láser DFB son comúnmente usados para longitudes de onda comprendidos en la banda C (1530 hasta 1565nm) y también cerca de 1310nm para sistemas Legacy. Su aplicación es constantemente extendida hasta la banda L y, en algunos casos, algunas otras longitudes de onda desde 1310 hasta 1610nm. Los datos característicos se resumen en la tabla siguiente. Los láseres DFB son una opción para la mayoría de aplicaciones CWDM y también son utilizados en ejemplos presentados en capítulos más adelante.

Parameter	Typical Value
Wavelength	1300–1600 nm
Output power	up to 40 mW
Linewidth (CW)	<10 MHz
Threshold	10–20 mA
Sidemode suppression ratio	better than 30 dB
Temperature drift	0.1 nm/°C
Package	TO can, butterfly, mini-DIL
Modulation	2.5–10 Gb/s, 40 Gb/s possible
RF driving voltage	2–3 V
Dispersion tolerance	2000–3000 ps/nm at 2.5 Gb/s 150–200 ps/nm at 10 Gb/s
Coupling	connectorized or pigtailed, either with optical isolator

Cuadro 2.8 Datos de los dispositivos láser DFB.

4) Láser de rejilla de fibra (Fiber Grating Láser)

El uso de láser DFB directamente modulado en sistemas CWDM está restringido por la baja tolerancia dispersión causada por chirrido de láser.

Otros tipos de láser directamente modulados pueden superar estas limitantes, tales como FBGL (Fiber Bragg Grating Láser).

Estos láser son construidos por medio de anti reflexión que cubre las facetas de fibra con terminación de cola de cerdo de un láser FP y formando

una cavidad externa escribiendo una rejilla tipo Braga en la terminación cola de cerdo del láser. Mientras que los láseres FP tienen más amplio ancho de banda, debido a condición de acción láser para varios modos, la cavidad externa del FBGL actúa como elemento selectivo de longitud de onda.

A diferencia de los DFB, esta rejilla está separada del chip láser en cuestión. Los láseres demuestran su ventaja bajo modulación. El láser es directamente modulado por medio de la corriente de manejo donde la máxima bit rate alcanzable es determinada por el tiempo de recorrido completo de la cavidad externa. Las propiedades importantes de estos dispositivos se resumen a continuación:

- La longitud de onda del láser es determinada por la rejilla de cavidad externa sola.
- Ancho de línea menor que 1nm bajo modulación, bajo chirrido de láser.
- Únicamente cambios de temperatura de 0.01nm/°C en operación sin refrigeración.
- Comercialmente disponibles hasta 2.5Gb/s, muestras en laboratorios hasta 10Gb/s.

Particularmente, la baja deriva de longitud de onda puede ser de ventaja para ser utilizada por estas fuentes para aplicaciones relacionadas a CWDM. Debido a que la deriva es pequeña en un orden o magnitud comparada para láser DFB, el espaciamiento de canales puede ser reducido acorde a esto. De cualquier manera, la operación de los FBGL sin control de temperatura es prevenida por medio de modo de salto durante operación.

5) Láser externamente modulado

Existen dos diferentes maneras para enviar datos sobre el carrier óptico. Los láseres en discusión anteriormente son directamente modulados con la ventaja de su simplicidad, bajo costo, y potencialmente más alta salida de potencia.

De cualquier manera, muchos láseres tales como los DFB pueden también operar en modo de continuidad de onda y los datos serían codificados con un dispositivo aparte, un modulador externo ya sea basado en modulador de efecto de electro absorción o con modulador Mach Zehnder. Nos estamos enfocando en los DFB modulados por efecto de absorción donde un modulador y un láser DFB son integrados a un mismo dispositivo. Aunque hablando estrictamente que dos componentes son utilizados, aun los clasificamos aquí como uno solo, el EML (láser externamente modulado por sus siglas en inglés).

A diferencia del DML (láser modulado directamente), el EA-EML (láser modulado externamente con efecto de absorción) permite el control independiente del láser y modulación de datos. Como resultado, esta fuente generalmente logra mejor desempeño de transmisión que un DML a la misma tasa de bit. Por lo tanto el EA-EML puede ser considerado en algunos casos para mejorar sistemas de transmisión CWDM a longitudes de onda donde mejor desempeño de transmisión, es decir, alta tolerancia a dispersión por fibra es requerida. Este es generalmente el caso a longitudes de onda de las bandas C y L donde dispersión acumulada es mayor y también estos dispositivos son comercialmente disponibles.

A continuación se resume las propiedades de los EA-EML:

- Combinación de DFB seguida de un modulador EA.
- Desempeño de transmisión principalmente determinado por un modulador EA.
- Chirrido de láser controlado por el modulador de voltaje de polarización y por lo tanto puede ser ajustado para optimizar la transmisión.
- Mejor tolerancia a dispersión que los DML y por lo tanto mejor desempeño para un apremio de costo menor.
- EML disponibles a 1310nm y para bandas C y L.
- Datos de dispositivo: 10Gb/s con 10 a 80km de alcance sobre SSMF

Potencia de salida modulada a 0dBm, para potencia de salida incrementada ya sea por mayor potencia DFB o post amplificación SOA/LOA integrada.

2.2.3.7.2 Detectores para CWDM

La función básica del receptor óptico es detectar luz y convertirla en señales eléctricas utilizables. Foto diodos P-intrínseco-N (PIN) y fotodiodos avalancha (APD) son los dos comúnmente utilizados en detectores ópticos de sistemas de comunicación óptica (Revisar tabla siguiente para comparación de propiedades de detectores).

Foto detectores pueden ser considerados fuentes de corriente que cuando modelan el comportamiento de los dispositivos, con foto detectores PIN teniendo una relación lineal entre el monto de luz de entrada y la corriente de salida. Este parámetro es definido como responsividad.

Los APD por el otro lado son ligeramente diferentes in que ellos tienen relación no lineal entre la entrada de luz y la corriente de salida.

La implicación es que los receptores APD tienen mayor sensibilidad que un receptor PIN in enlaces de telecomunicaciones de alta tasa de bit. Ambos tipos de receptores basados en detector pueden ser encontrados en transceivers ópticos. Se hará enfoque únicamente sobre los aspectos que son relevantes para sistemas CWDM.

	SENSIBILIDAD	VELOCIDAD	COSTO
PIN	+	++	\$
APD	++	+	\$\$
Note: + y ++ = mejor rendimiento, \$ y \$\$ = mayor costo			

Cuadro 2.9 Comparación entre los dos tipos principales de detectores.

1) Diodos PIN

Un diodo PIN es un dispositivo semiconductor normalmente fabricado a través de un proceso de epitaxial de dos pasos MOVPE/MBE donde para operación, un campo eléctrico es aplicado a la estructura dopada PN con corriente de polarización inversa para actuar como capacitor. La luz incidente es absorbida y genera portadoras proporcionales a la intensidad.

Los dos parámetros importantes que caracterizan el desempeño de un diodo PIN son la responsividad y la capacitancia. La responsividad describe la eficiencia de conversión del diodo, es decir, la cantidad fotocurrente producido como una función de potencia óptica incidente. Este valor puede estar en el orden de 0.5 a 0.9 A/W, amperios por watt. La figura siguiente muestra responsividad típica a lo largo del ancho de banda de la fibra.

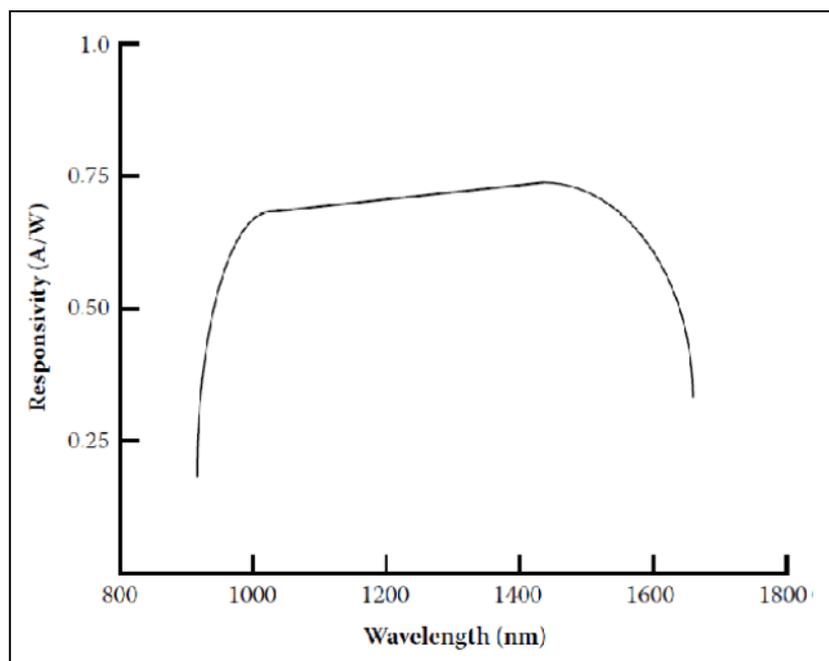


Figura 2.24 / Responsividad de un diodo PIN fotodetector de InGaAs/InP.

Los fotodetectores InGaAs/InP que son más comúnmente utilizados en sistemas CWDM tienen una respuesta de ancho espectral de 900 a 1650nm. La habilidad de los receptores ópticos de tener desempeño similar sobre un amplio rango de longitudes de onda de entrada permite a los diseñadores de sistemas

utilizar cualquier receptor con cualquier transmisor con longitudes de onda en la banda CWDM.

La capacitancia influye en la tasa de bit a la cual el diodo PIN es capaz de operar. Mientras más grande es el área activa, mayor es la capacitancia; con capacitancia grande se tiene una baja tasa de bit en operación.

Los diodos PIN han demostrado tasas de bit de hasta 100Gb/s, pero también están disponibles también a otras velocidades más bajas. Los diodos PIN son típicamente integrados con amplificadores de transimpedancia (TIA) y son utilizados en diseños de receptores compactos.

2) Diodo de foto avalancha APD

Los APD utilizan el efecto avalancha dentro de un campo eléctrico grande donde la luz incidente genera portadores libres, la cuales generan más portadores dentro del campo eléctrico, resultando por lo tanto en una mayor sensibilidad que la de los diodos PIN. Los APD son una opción ideal para CWDM no amplificado debido a su alta sensibilidad y por lo tanto el presupuesto de enlace aumentado.

La máxima tasa de bit comercialmente disponible para APD es de 10Gb/s y aunque menor que para diodos PIN, suficiente para todas las aplicaciones CWDM. Algunos inconvenientes en la práctica son la baja potencia de entrada óptica cercana a los 0dBm y la relativa alta corriente de polarización inversa de voltaje DC de aproximadamente 20 a 100V necesaria para operar el APD.

2.2.3.7.3 Transceivers para CWDM

En lugar de utilizar láser discretos, circuitería de manejo, PIN/APDs, y circuitería de recepción montada en placas, estas funciones se están volviendo más integradas en módulos. Este más alto grado de integración dio lugar al concepto del transceiver. Estos dispositivos son particularmente útiles cuando

se opera en enlaces bidireccionales, debido a premisas de sitio un transmisor también es un receptor.

Láser, diodo receptor y electrónica relevante para manejar el láser y darle forma a la señal recibida son integrados en un solo módulo con una interfaz estandarizada como lo muestra la figura siguiente.

Otra característica importante del transceivers es su modularidad, es decir, la habilidad de conectar los transceivers a circuitos electrónicos para intercambiarlos. Esta modularidad permite separación entre la parte óptica de la parte electrónica del sistema y por lo tanto soportan un diseño de sistema costo-efectivo.

Uno de los requerimientos de esta modularidad es la adopción de estándares comunes para los transceivers. Antes de enfatizar el uso de transceivers para CWDM, nos enfocaremos en los estándares principales para transceivers de 2.5Gb/s y 10Gb/s, los cuales impulsaron la amplia aceptación de estos dispositivos en los sistemas de redes metro y de acceso.

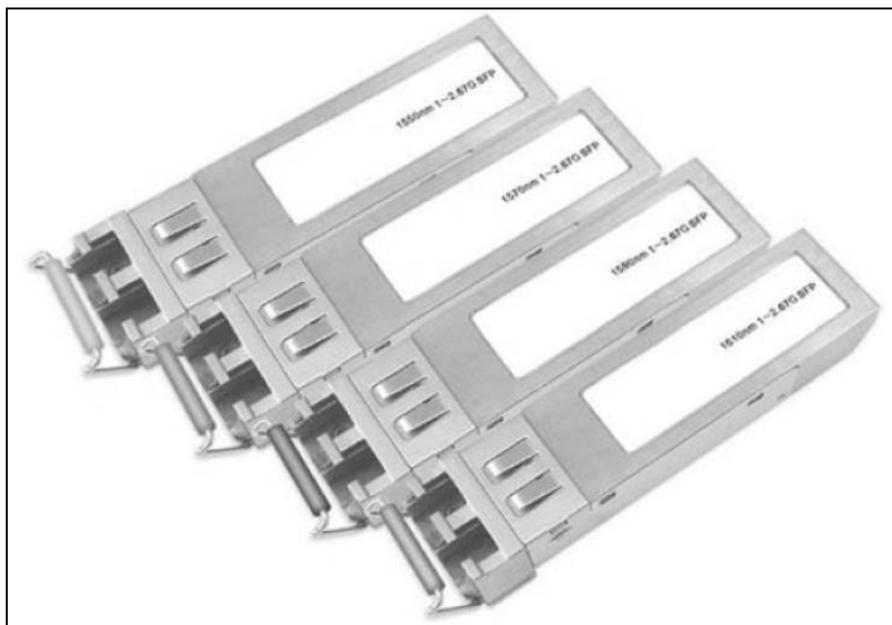


Figura 2.25 / Juego de transceivers para uso en CWDM; cada dispositivo tiene un conector óptico para el transmisor y receptor.

2.2.3.7.3.1 Bloques de construcción

Los transceivers son dispositivos altamente integrados y consisten de varios elementos: diodo láser (DFB, VCSEL o FP), receptor (PIN o APD), y los circuitos electrónicos mencionados en las secciones anteriores. Los transceivers CWDM típicamente utilizan láser DFB para desempeño y diodos PIN por simplicidad y costo. Los transceivers son armados en placa y montados a modo que son interfaz eléctricamente directa a la placa electrónica. En la interfaz óptica, conectores son utilizados para ajustar convenientemente y permitan una simple pero confiable conexión para la fibra de transmisión u otros componentes ópticos. Los conectores son generalmente estándar tipo LC o SC.

A continuación, deseamos hacer énfasis en el uso de transceivers como bloques de construcción de sistemas CWDM. En la figura 2.26 se mostró que para un sistema unidireccional de 16 canales, se necesitan 16 transmisores individuales en un extremo y 16 receptores al otro lado del enlace. Cuando se usan transceivers, tres diferentes casos son posibles para configurar un enlace bidireccional CWDM:

- Los 16 transmisores y receptores son reemplazados por transceivers, resultando en 16 transceivers en cada extremo y dos fibras separadas. Consecuentemente, la referencia unidireccional de 16 canales del sistema de la figura siguiente es el doble con ahora un total de 32 canales de transmisión sobre dos fibras.

Aquí, el uso de transceivers duplica la capacidad añadiendo otro sub enlace de transmisión unidireccional en la dirección opuesta. Por ejemplo, el canal 1 a 1310nm existe en ambos enlaces, pero la separación espacial de las dos fibras, elimina cualquier crosstalk. Típicamente, cables ópticos consisten de múltiples fibras, por ejemplo, 48 ó 96, de modo que seleccionar fibras individuales por dirección puede ser logrado con facilidad. La figura 2.26(a) ilustra el arreglo de dos enlaces bidireccionales.

Los dos conectores ópticos por transceivers están conectados de tal forma que uno envía la señal de transmisión por una fibra mientras que la segunda fibra es acoplada dentro del transceivers por medio de otro conector. De cualquier manera, este acercamiento requiere duplicidad del número de componentes ópticos, llevando el sistema a complejidad y costo aumentados.

- De cada lado, ocho transceivers son utilizados con únicamente una fibra. En este caso, existen únicamente cambios pequeños comparados con el enlace de referencia de 16 canales. Solamente una fibra lleva tráfico bidireccional y no se requieren de multiplexores adicionales. De cada lado, ocho transceivers son utilizados donde la mitad de las longitudes de las 16 longitudes de onda se propagan de oeste a este, por ejemplo, 1310,1350, 1390nm, mientras que la longitudes de onda restantes, 1330,1370nm, se propagan en la dirección opuesta.

Otros planes de canal son también posibles, donde los ocho canales de abajo hasta 1450nm se propagan en una dirección y la otra dirección utiliza longitudes de onda más grandes hasta de 1610nm. Aunque se utiliza solo una fibra, el crosstalk entre canales es despreciable. A diferencia del caso mencionado anteriormente, solo la mitad de la capacidad se logra pero, en la otra mano, el monto de nuevo equipo es considerablemente reducido a solamente reemplazar los transmisores discretos y receptores con módulos de transceivers. La figura 2.26(a) muestra una implementación del esquema en discusión con un total de 16transcievers.

Similar al primer caso, 16 transceivers para cada uno de los lados son utilizados pero con una sola fibra. Iniciando desde el enlace CWDM mostrado en la figura 2.27 (b), la capacidad de transmisión es duplicada en 16 canales propagándose en cada dirección. El reto aquí es que en cada uno de los 16 multiplexores pasabanda existe transmisión bidireccional. Por ejemplo, el canal a 1310nm es lanzado a través de un puerto multiplexor y, al mismo tiempo la señal del otro extremo del enlace de transmisión es detectada del mismo puerto. Como resultado, este sistema es más compacto que la solución

descrita en la figura 2.26 (a), pero los requerimientos sobre los componentes son más altos. Crosstalk dentro de la banda sucede de las reflexiones en la trayectoria de la señal – la luz reflejada viaja en la dirección opuesta y de esta manera actúa como interferencia en el canal detectado.

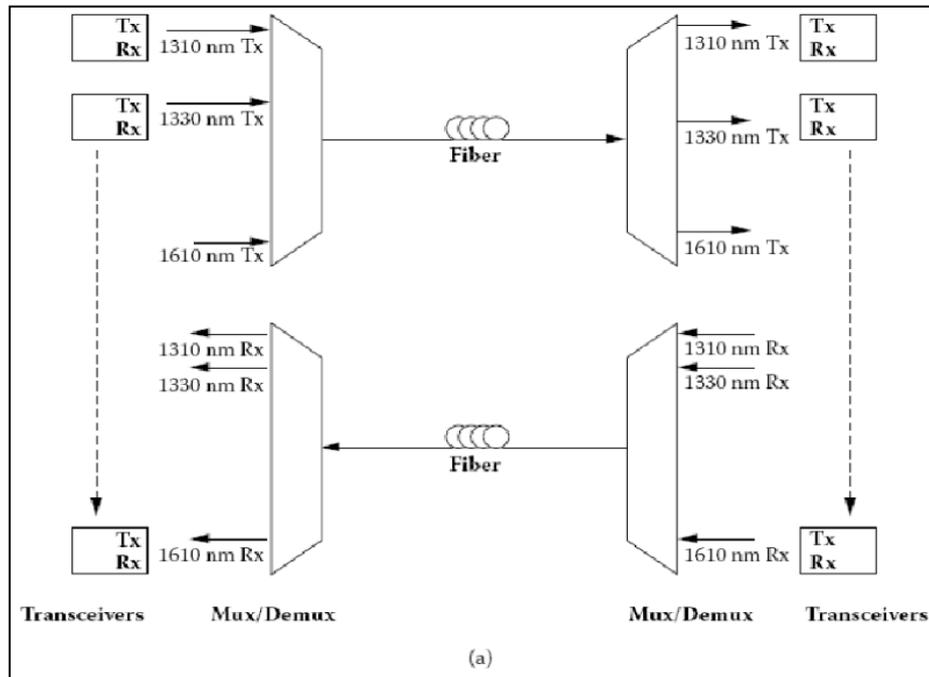


Figura 2.26 / Enlace bidireccional CWDM que consiste de dos enlaces unidireccionales separados y 2x16 transceivers llevando así a obtener 16 canales de transmisión en cada dirección.

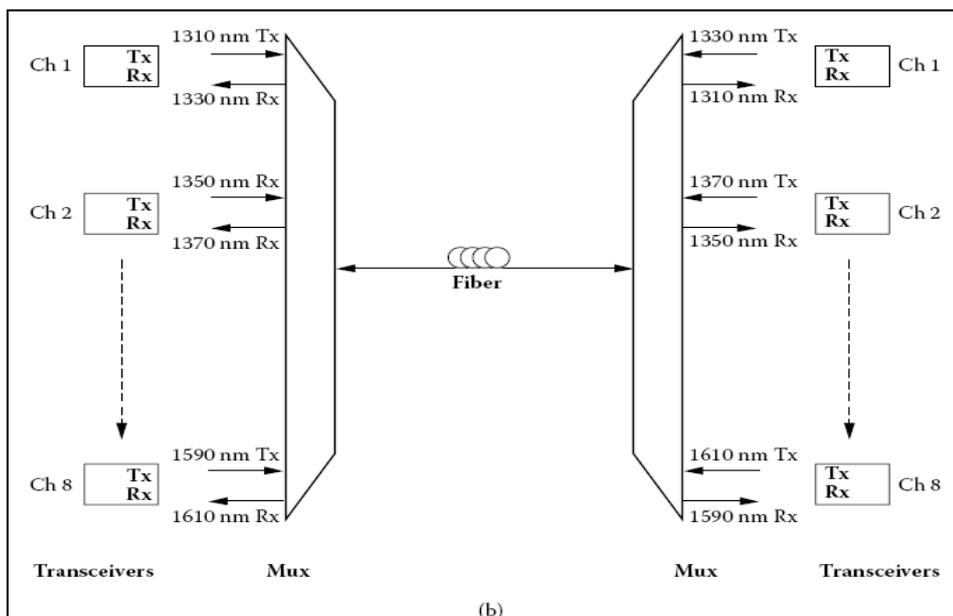


Figura 2.27/ Enlace CWDM bidireccional sobre una sola fibra con 2X8 transceivers y un total de 16 longitudes de onda.

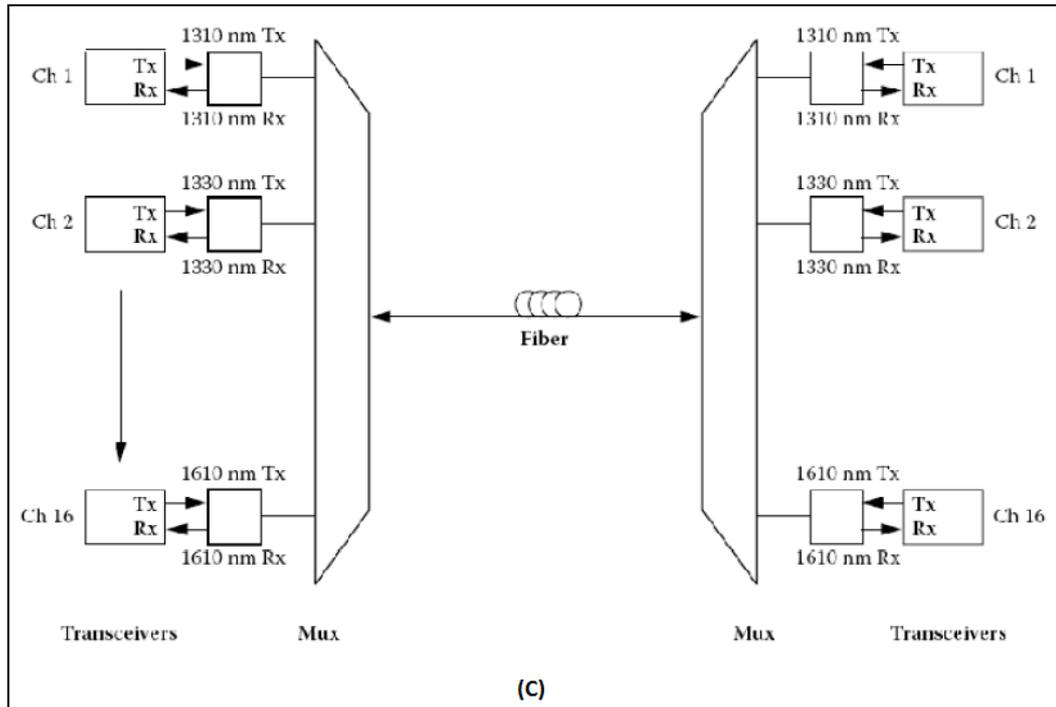


Figura 2.28 / enlace bidireccional con 16 transceivers de cada lado. Cada longitud de onda es utilizada dos veces en este arreglo y combinadas en el mismo puerto multiplexor.

2.2.3.7.3.2 Estándares para transceivers

El transmisor y receptor integrado evolucionaron de la necesidad de proveer bajo costo, mejor desempeño y facilidad de implementación y conectividad en transporte óptico. Esta tendencia comenzó en 1980 con aplicaciones en dataron, donde computadoras estaban apenas empezando a ser conectadas vía cable de fibra óptica.

En paralelo, diseños de placas discretas sobre tarjetas de línea usados en aplicaciones teleco eran migradas para separar transmisores y receptores. A medida que los volúmenes incrementaban al final de los 80's, para optoelectrónica integrada en ambas aplicaciones dataron y teleco, los transmisores y receptores fueron ubicados en el mismo módulo para costos futuros y ahorro de espacio.

Unos de los primeros transceivers estandarizados fueron el OC-3 y módulos FastEthernet de 1x9 pines. Estos utilizaban un diseño de receptáculo

para la interfaz de fibra en lugar que una cola de cerdo de fibra. El dispositivo podía ser montado directamente en una placa de circuito impreso y tener la interfaz extendiéndose a lo largo del encapsulado para fácil acceso. Este ahorro tiempo de ensamble y espacio debido a que la cola de cerdo de fibra siempre necesitaba tener un loor de servicio y el radio de dobléz se necesita mantenerse a cierto diámetro con el objetivo de mantener la confiabilidad así como el desempeño. Los módulos 1x9 tuvieron luego la función de recuperación de reloj introducida en las unidades y tuvo una segunda fila de pines añadida. (Figura siguiente).

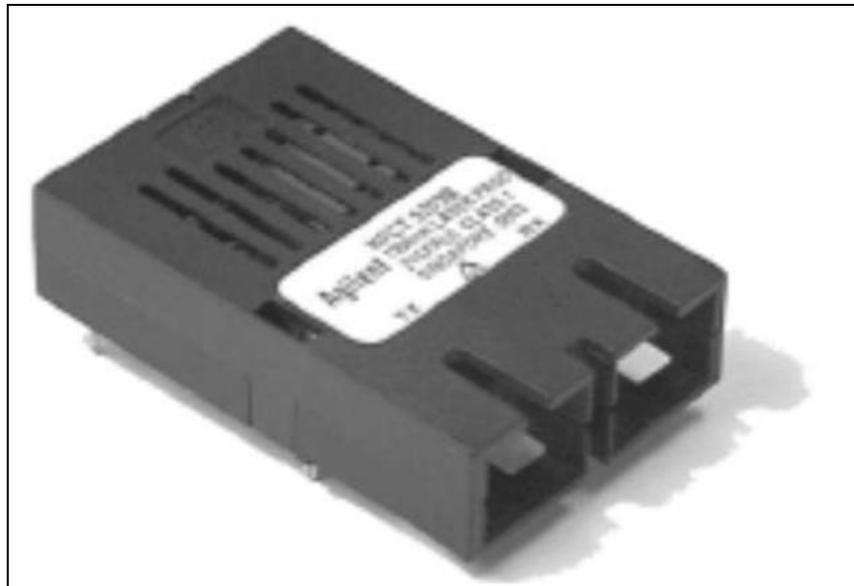


Figura 2.29 / Un transceiver 1x9

1) Factor de forma pequeña (Small Form Factor SFF)

Con el incremento de la necesidad de una mayor densidad de interconexiones, transceivers de huella más pequeñas fueron desarrollados para acomodarse a estos requerimientos. Conectores más pequeños tales como los LC, MT-RJ y MU daban la habilidad a los distribuidores de transceivers fabricar dispositivos más pequeños que fuesen encontrados cuando ellos usaban conectores tipo ST-, SC- y FC. El SFF era uno de los primeros transceivers pequeños comercialmente disponibles que utilizaba la mitad de espacio que el convencional tipo SC. Estos dispositivos SFF encontraron su lugar en aplicaciones que van desde los 100Mb/s en tolo lo

largo hasta 2.5 Gb/s. El SSF era uno de los transceivers de alto volumen fabricado bajo un acuerdo múltiple (MSA).

Esto propició a muchos distribuidores a producir partes que tienen la misma forma, condición y función, ambas eléctricamente y mecánicamente; de cualquier manera, el MSA no definía estándares de desempeño o confiabilidad.



Figura 2.30 / Un transceiver SFF.

2) Convertidor a interfaz giga bit (GBIC)

Un paso grande en el manejo para hacer a los transceivers ópticos más de modo conector en lugar de elementos de red era el desempeño del transceiver desconectable. Esto permitió a los vendedores de blades y tarjetas de línea gran flexibilidad para reducir el inventario de tipos de tarjetas basadas en su interfaz óptica y en vez tarjetas estándar con socket en el ensamble para acomodar los transceivers desconectables.

Esto permitiría a una tarjeta estándar ser vendida y tener una variedad de diferentes tipos de transceivers disponibles tanto como interfaces. Esto se adoptó primeramente por la comunidad Ethernet, con la pieza desconectable GBIC.

Este fue el primer transceiver desconectable MSA con aplicaciones primariamente en blades de routers y switches para Gigabit Ethernet. Habían

tres tipos básicos de transceivers Ethernet: de corto alcance, pieza láser basada en VCSEL de 800nm llamada la SX con un período 500m sobre fibra multimodo; el de medio alcance, pieza láser FP de 1310nm llamada LX con un alcance de 2km sobre fibra monomodo y una pieza DFB de 1550nm utilizada para larga distancia llamada LH con un alcance de 80km, también sobre fibra monomodo.

Una migración sencilla de las piezas estándar LH era tener láser DFB de longitud de onda específica; esto permitía el desarrollo de GBICs CWDM y eventualmente GBIC DWDM. Los transceiver GBIC han sido utilizados primordialmente en aplicaciones Gigabit Ethernet, pero en algunos casos ambos baja velocidad, piezas multi-rata y más altas velocidades de alrededor de 2.5Gb/s han sido desarrolladas. EL GBIC fue uno de los primeros transceivers en tener receptor APD en lugar de un tipo PIN para más alta sensibilidad. (Figura siguiente).



Figura 2.31 / Un transceiver GBIC para longitud de onda CWDM de 1610nm

3) Desconectable de forma pequeña (SFP)

Combinando el ahorro de espacio del SFF y la flexibilidad del GBIC, el siguiente transceiver a ser desarrollado fue el desconectable de forma pequeña (SFP Small Form Pluggable). Este dispositivo tiene aproximadamente el mismo tamaño del SFF pero con la funcionalidad de un GBIC. Además de las ventajas de tamaño sobre el GBIC, el SFP tenía menor disipación de

potencia, debido a que opera a 3.3V mientras que el GBIC trabaja con 5V. Adicionalmente, los transceivers proveen capacidades de monitoreo para niveles de potencia, temperatura y voltaje. Con la tecnología siendo impulsada para cumplir con las demandas de ambas función y tamaño, transceivers SFP CWDM y DWDM han sido desarrollados para ser utilizados en Gigabit Ethernet así como para aplicaciones SONET 2.5Gb/s. Por otra parte, los SFP han sido también desarrollados para utilización en aplicaciones de canal de fibra de 1,2 y 4Gb/s (Figura siguiente).



Figura 2.32 /Transceiver SFP para longitud de onda de 1570nm CWDM.

2.2.3.7.3.3 Transceivers para 10Gb/s

Las próximas piedras para el camino del desempeño de los transceivers se encuentran en el desarrollo de 10Gb/s. Existen múltiples MSA para el transceiver de 10Gb/s, típicamente denotados por una X en el nombre, X denotando el número 10 en romano. XFP, X en pak, X2 y LX-4 son los nombres de algunos de estos dispositivos. Para permitir mayores distancias a 10Gb/s, el instituto de ingeniería eléctrica y electrónica (IEEE) ha desarrollado un estándar para CWDM en el diseño de estos dispositivos de alta tasa de bit, IEEE 802.3ae-2002. En vez de tener un enlace serial corriendo a 10Gb/s, el concepto LX-4 transmite y recibe cuatro señales a diferentes longitudes de onda espaciadas a 1275, 1300, 1325 y 1350nm. La rejilla de 25nm ligeramente diferente que la rejilla de 20nm de la ITU. Bit rate de operación de canal es de 3.125Gb/s.

El ancho de banda agregado de los cuatro canales es de 125 Gb/s, el cual incluye el protocolo asociado de cabecera. La ventaja de los LX-4paralelos es que cada uno de los cuatro canales tributarios tiene un menor bit rate y mejor tolerancia a dispersión. Al mismo tiempo, láser de bajo costo y detectores pueden ser utilizados.

2.2.3.8 APLICACIONES CWDM Y COMPARACIÓN CWDM CON DWDM

2.2.3.8.1 Red metro

CWDM ya se mostraba en redes de acceso metro en 1999 previo a que el ultimo y final estándar ITU-T G694. 2 tomara efecto en el 2002. El segmento metro era un mercado de telecomunicaciones atractivo que estaba creciendo rápidamente y necesitaba una solución de bajo costo tipo “plug and play”. Lo que hizo a la red metro especialmente interesante era que era rica en una variedad de protocolos de comunicación que evolucionaron todos en forma paralela a medida que la demanda de ancho de banda por parte de los clientes creció. Más allá, la red metro es un objetivo de lucro para proveedores deservicio quienes proveen el ancho de banda rápidamente al medio para grandes empresas.

La red de larga distancia había sido construida y muchos usuarios en ciudades alrededor de aéreas metropolitanas deseaban acceso a internet de inmediato. DWDM era la primera consideración para proveer la capacidad deseada. DWDM era la tecnología comprobada para construir la sección de larga distancia de la red y por lo tanto la primera opción obvia. Sin embargo, DWDM se mostró muy costosa, incluso para cortas distancias sin amplificadores. Entonces CWDM fue introducida como una nueva posible solución de transmisión de bajo costo para múltiples longitudes de onda. Proveedores de servicio pequeños reconocieron CWDM como la respuesta por encima de DWDM.

CWDM fue conocida como la manera “del pobre” para construir una anillo metro. La validación del mercado CWDM llego pronto cuando multitudes de vendedores aparecieron con transceivers desconectables CWDM y equipo óptico pasivo.

2.2.3.8.1.1 Definición de red metro

Para entender la red metro, una figura general de la red es útil. La entera red de fibra está hecha de tres grandes segmentos. La figura 33 muestra estos tres grandes segmentos de la red de fibra hoy en día: Larga distancia, núcleo o regional metro y red de acceso metro.

Cada segmento es definido por varias distinciones: distancia, número de longitudes de onda, rata de datos, topología, protocolos, número de puntos de acceso (nodos) o clientes inmediatos y equipo. Más allá de esto, cada área de la red de fibra óptica tiene su propio set de requerimientos especiales.

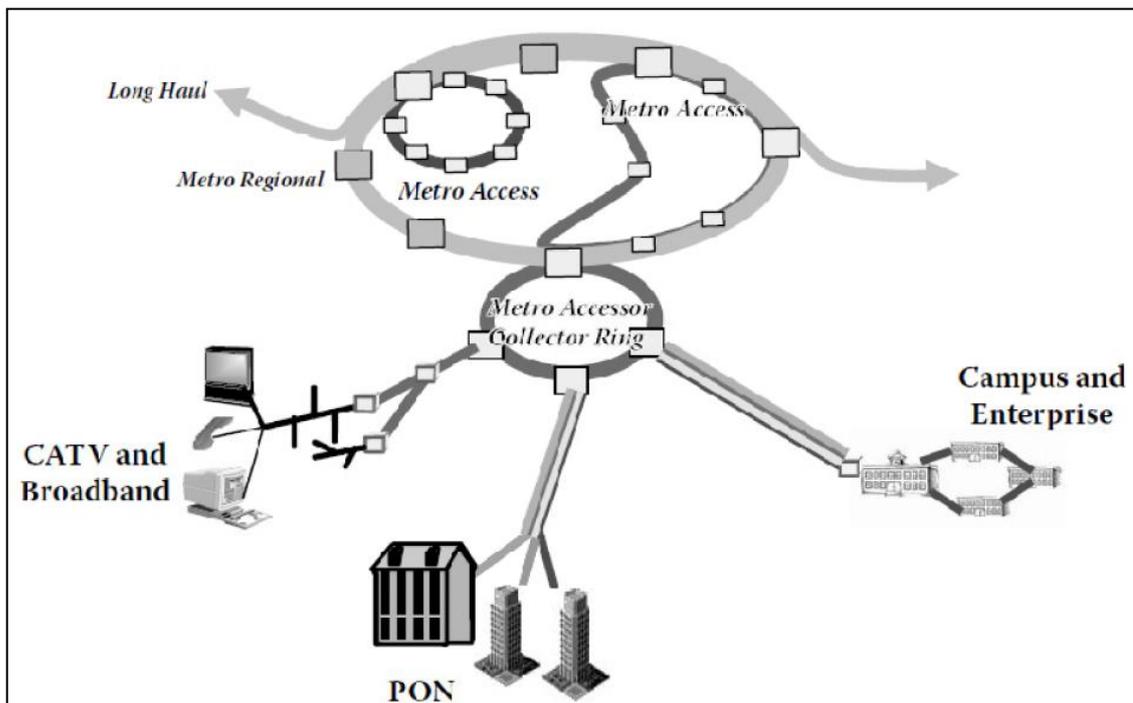


Figura 2.33 / Red de fibra óptica con larga distancia, metro regional y acceso metro.

Las Redes de larga distancia extienden el tráfico punto a punto a distancias mayores de 400km, llevando 64 hasta 160 longitudes de onda

DWDM. El equipo utilizado puede consistir de plataformas SONET que acarrearán datos de 10Gb/s hasta 40Gb/s. El camino de los datos requiere de amplificadores para regeneración de la señal óptica de distribuidor. Hoy en día la red de larga distancia ha sido construida con y se espera crecimiento bajo a moderado en el futuro.

Redes Core, también conocidas como regionales, son la médula espinal de la red de fibra. Estas redes están hechas de anillos con mallas que llevan desde 16 hasta 32 longitudes de onda DWDM y conectan las oficinas centrales. El tráfico en la Core es próximo a ser llevado a cualquiera de las rutas fuera de cada ubicación, por lo tanto requiriendo que la red se configure como malla. Las distancias en la Core son de 50 a 200km.

El equipo utilizado consiste de plataformas SONET o Ethernet que llevan los datos desde 2.5 hasta 10Gb/s. Recientemente, este tipo de red está experimentando crecimiento como resultado de la necesidad de más ancho de banda en las redes de acceso desde Video sobre Demanda (VoD) y protocolo de televisión por internet (IPTV).

La red de acceso metro es el punto de entrega para usuarios finales. Es la mayor área de crecimiento potencial e innovación. La red metro tiene las características de corta distancia acopladas con el requerimiento de equipo de multi-servicio capaz de una gran variedad de protocolos. Las topologías consisten de anillos cortos y redes punto a punto que llevan de 4 a 16 longitudes de onda. Las tasas de datos varían desde 100Mb/s hasta 2.5Gb/s. Los protocolos utilizados son T1, SONET, canal de fibra, Ethernet, ATM y ESCON.

CWDM junta todo dentro de la red metro. Su utilidad es triple. Primero, porque instalar fibra es muy caro en la red metro. CWDM permite expansión de ancho de banda simplemente agregando longitudes de onda adicionales en un par de fibras disponibles entre dos edificios.

Segundo, múltiples protocolos pueden ser transportados transparentemente utilizando una solución CWDM. Finalmente y la más importante, CWDM es una tecnología de bajo costo “pago por crecimiento”.

2.2.3.8.1.2 Bloques de construcción CWDM

CWDM fue, desde el principio, diseñada para la red de área metropolitana. Empresas y proveedores de servicio están alerta respecto de CWDM debido a su capacidad de escalamiento a medida que la red crece. Más allá de esto, implementar una red CWDM es algo trivial. CWDM permite que una arquitectura WDM de bajo costo con interconexiones simples pueda hacer fácil la construcción de redes de anillo y punto a punto. Las topologías utilizadas para construir son en general:

- Malla con múltiples enlaces interconectados con los nodos.
- Anillos con enlaces y funciones Add/Drop
- Punto a multipunto para broadcasting
- Punto a punto

Las topologías clave utilizadas particularmente en las redes metro son de anillo y punto a punto. Malla y multipunto, las cuales son utilizadas mayormente en red Core, son costosas de implementar y, por lo tanto, no son utilizadas frecuentemente en redes metro.

Una red punto a punto CWDM consiste de una conexión simple desde un edificio a otro por medio de un par de cables de fibra óptica. Un anillo CWDM involucra conectar tres o más edificios por medio de enlaces separados, como lo muestra esquemáticamente la figura siguiente.

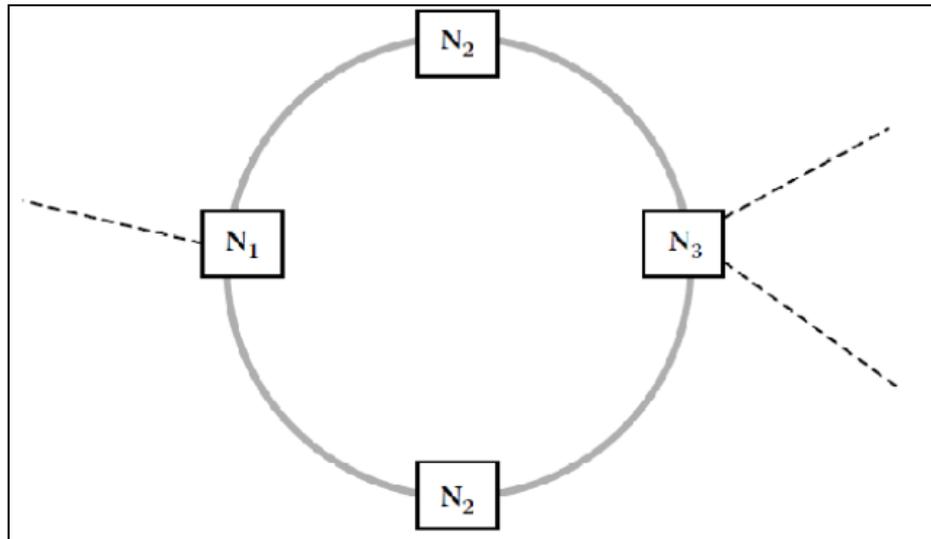


Figura 2.34 Topología en anillo CWDM utilizando cuatro nodos N_1 ...
 N_4 interconectados por medio de enlaces.

Los bloques de construcción básicos requieren de nodos como los de la figura anterior para construir anillos de red CWDM y los enlaces punto a punto son los MUX (multiplexores), el DEMUX (demultiplexor), y el OADM (multiplexor add/drop). También transceivers desconectables son necesarios en los puntos terminales de cada camino óptico.

1) Multiplexor y demultiplexor

El bloque de construcción MUX CWDM pasivo mostrado en la figura siguiente agrega longitudes de onda desde varias fuentes transmisoras (TX) y transmite la luz combinada en una fibra. Cada longitud de onda de luz permanece sin cambio y transparente en la presencia de longitudes de onda vecinas. Típicamente, los módulos MUX y DEMUX CWDM están diseñados con un mínimo de 4 canales para un máximo de 16 canales. Módulos de ocho canales son comúnmente utilizados en una configuración para todos los canales desde 1470 hasta 1610nm.

Pérdida de señal típica a través de MUX o DEMUX basado en TFF es de alrededor de 2 a 4 dB para cada longitud de onda. El aislamiento entre canales adyacentes es de un mínimo de 30dB.

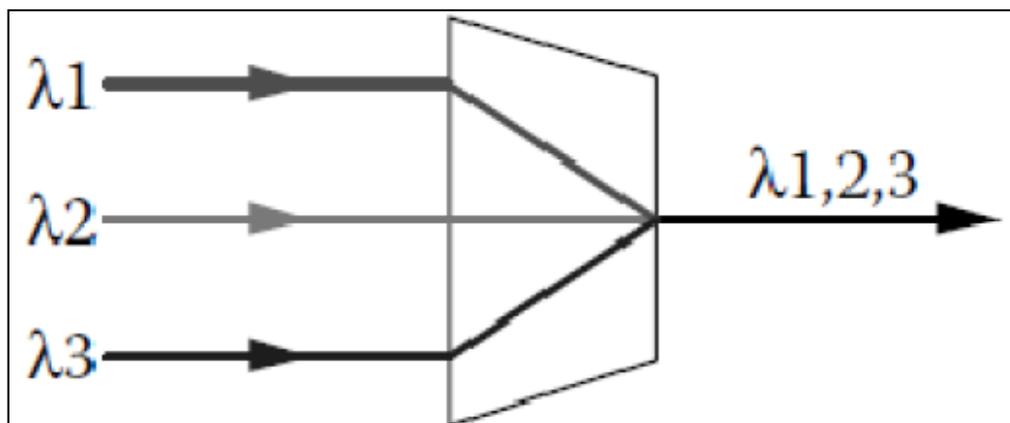


Figura 2.35 / MUX CWDM del lado Tex del enlace mostrado con tres diferentes canales teniendo una longitud de onda centro $\lambda_1 \dots \lambda_3$.

En el lado receptor, el demultiplexor hace lo inverso del multiplexor separando las diferentes fuentes de luz combinadas (Rx), como lo muestra la figura siguiente. Las propiedades del DEMUX son similares a las del MUX. En el caso de transmisión bidireccional, cada lado contiene ambos componentes MUX y DEMUX.

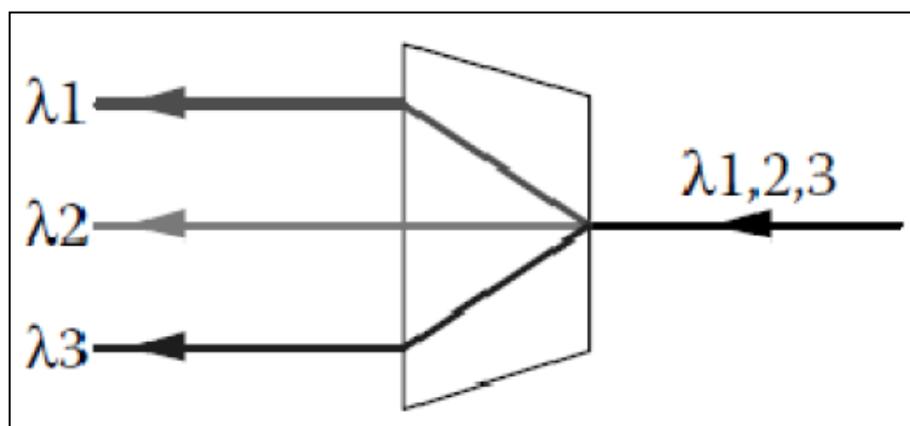


Figura 2.36 / DEMUX CWDM del lado RX del enlace mostrado con tres diferentes canales teniendo longitud de onda centro $\lambda_1 \dots \lambda_3$.

El enlace metro punto a punto típico emplearía un par MUX y DEMUX para terminar las longitudes de onda de cada lado. Esto también aplica al anillo CWDM debido a que puede ser dividido en varios enlaces punto a punto interconectados. La figura siguiente muestra un enlace metro típico de 50km de

fibra. Un par de fibras, una fibra yendo de este a oeste, lleva el tráfico de datos entre los dos sitios.

Los puertos del multiplexor son conectados a transceivers CWDM selectores de longitud de onda ubicados en el equipo de comunicaciones. Se debe notar que comúnmente dos fibras separadas son utilizadas para transmisión bidireccional significando que el total de equipo necesario es el doble del caso de transmisión unidireccional. Por lo tanto, la opción de longitudes de onda CWDM para cada dirección es independiente del uso de longitudes de onda en la dirección inversa debido a los enlaces separados.

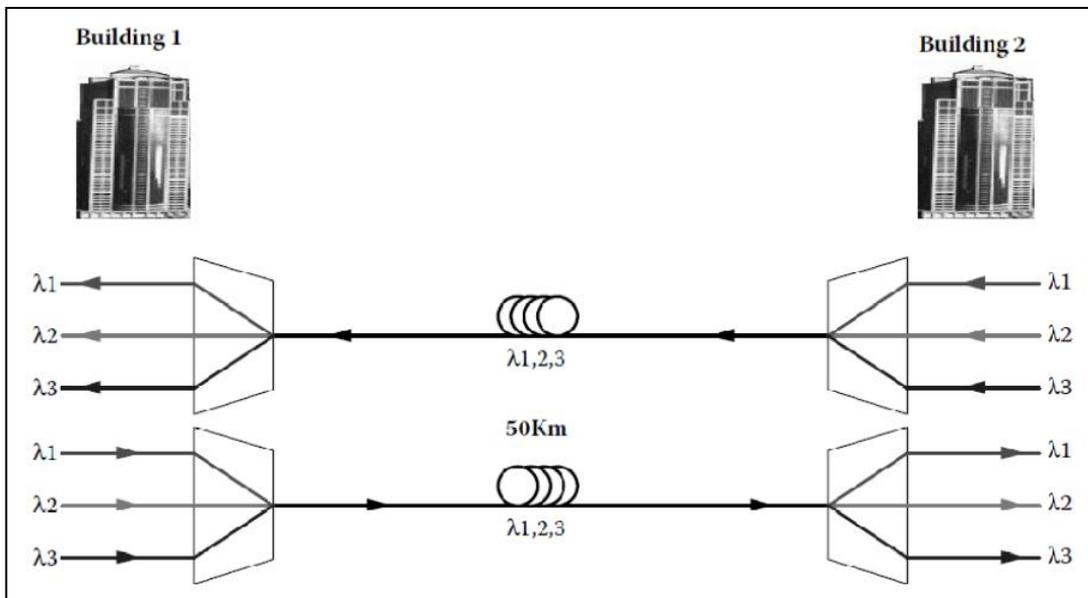


Figura 2.37 / Conexión bidireccional punto a punto CWDM entre dos edificios.

2) Multiplexor Add/Drop

El segundo bloque básico de construcción es el OADM pasivo para CWDM. El OADM está ubicado en una red de anillo y entrega (Rx) las longitudes de onda desde el anillo y añade (Tex) longitudes de onda al anillo p a la línea directa del enlace transmisión.

Todas las demás longitudes de onda pasan a través del OADM sin ser afectadas o como canales expresos. En el inciso (a) de la figura siguiente se muestra un ejemplo de entrega y añadidura de una longitud de onda. Cuando

todos los canales llevan tráfico, solamente la longitud de onda que se entrego puede ser ocupada por una longitud de onda igual a la entregada.

Debido a los puertos de colore de los componentes multiplexores, las longitudes de onda CWDM correctas deben ser conocidas para la operación del add/drop. La pérdida de señal típica a través de los puertos del add/drop es de 1.5 a 2.5dB. El paso a través de pérdida desde Este a Oeste es típicamente 1 a 2dB por puerto.

El aislamiento entre canales adyacentes es de un mínimo de 30dB mientras un producto superior podría tener 50dB de aislamiento. Los OADM para CWDM están típicamente hechos con ya sea configuraciones de uno o cuatro canales.

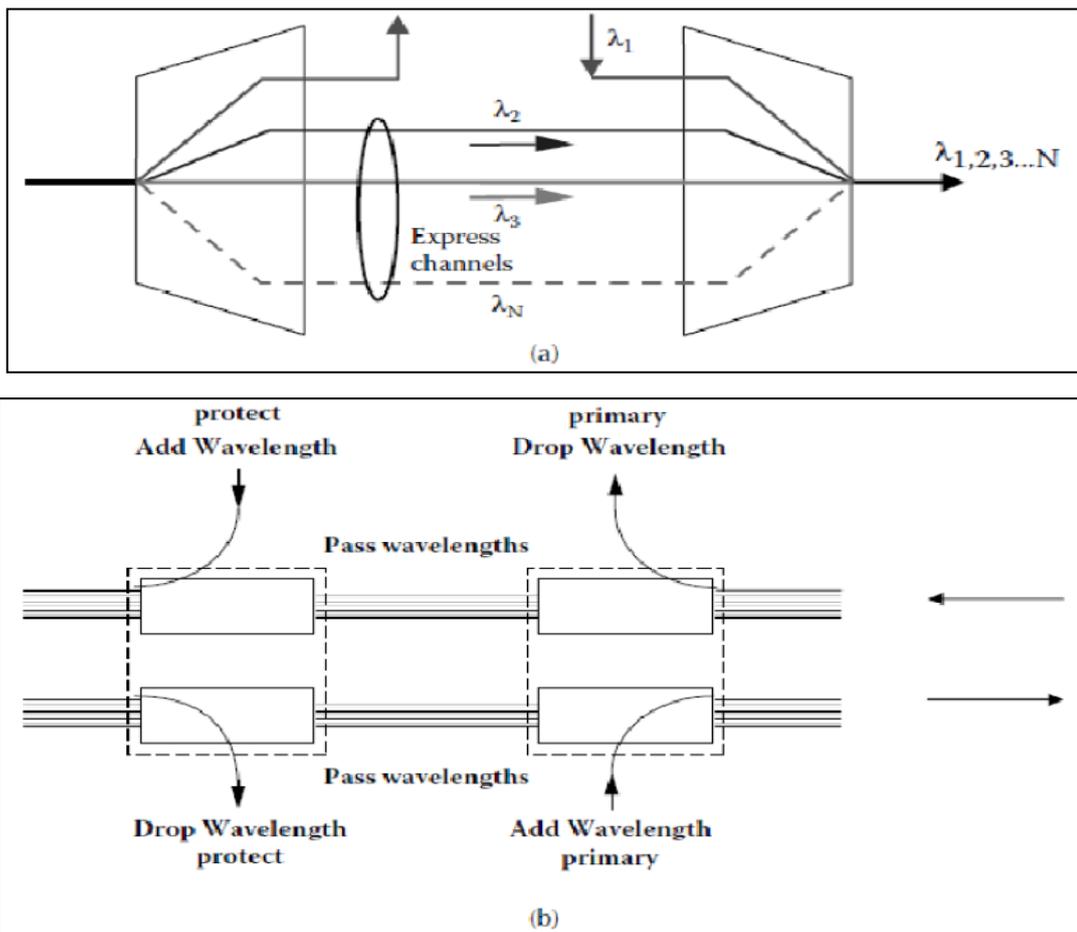


Figura 2.38 (a) Esquema de un OADM con un canal add/drop y canales expresos, el OADM es compuesto funcionalmente por un par de MX y DEMUX; (b) uso de un OADM dual en una configuración de anillo con protección.

El uso del OADM en el inciso (b) de la figura anterior para un anillo de red protegido. En un anillo protegido, la conexión fibra protegida está acompañada de una segunda fibra donde la información redundante se propaga en la dirección opuesta. La idea principal detrás de este esquema es que en el caso de un corte de fibra la información aun sea accesible en los sitios por medio de la segunda fibra. Por lo tanto, el add/drop existirá dos veces, como OADM primario y OADM de protección.

Se he demostrado que los OADM proveen acceso a una o más longitudes de onda de un sistema aumentando la posibilidad de manejo de red. Aunque esto mejora la flexibilidad para CWDM, la inserción de pérdida de estos dispositivos resulta en un reto en el diseño de anillos debido a que CWDM no utiliza amplificación óptica para superar las pérdidas.

3) Cross conexión

Mientras en el ejemplo anterior, el multiplexor se ha utilizado en pares para lograr la función add/drop, también nodos mas grandes con más de dos fibras son posibles utilizando un multiplexor al final de cada fibra y luego un conmutador apropiado para proveer las conexiones sobre la base de longitudes de onda entre las diferentes fibras entrantes. La complejidad y costo son altos de modo que no se han considerado estos elementos en este contexto.

4) Transceivers a utilizar

Los modules de transceiver cuentan con color, es decir, la unidad de transmisión tiene longitud de onda característica entre 1310 y 1610nm mientras que el receptor trabajara a cualquiera de esas longitudes de onda. Los transceiver pueden ser manejados directamente con los datos a ser transmitidos que son modulados sobre las longitudes de onda particulares.

Los transceiver típicamente utilizan láser DFB directamente modulados operando a 2.5Gb/s y receptores PIN con un módulo de recepción y circuito de decisión. La salida de potencia modulada esta en el rango de 0 a 3dBm, aunque puede ser reducida a temperaturas elevadas debido a que no se dispone de enfriamiento activo de los dispositivos debido a diseño de bajo costo.

La sensibilidad del receptor (PIN) de los transceiver está alrededor de -24 a 26dB de modo que el presupuesto del enlace de al menos de 24dB debería estar disponible, el cual puede ser utilizado para acomodar ambas componentes de inserción de pérdida (multiplexor, fibra) así como las penalidades debidas a la interacción de las dispersión de fibra y chirrido de láser. A bajas ratas de bit, el presupuesto de enlace se incrementa hasta 32dB a 1.25Gb/s. Por lo tanto, aun con nodos presentes, una circunferencia de anillo de 50km es posible.

2.2.3.8.1.3 Anillos que utilizan CWDM

Un anillo completo se puede construirte con los MUX/DEMUX y bloques de construcción OADM mencionados anteriormente. En el diagrama de red mostrado en la figura siguiente, un anillo de cuatro nodos es construido con OADM en las ubicaciones de construcción del nodo y un par MUX/DEMUX de principio a fin. Las longitudes de onda se originan en el inicio del anillo y por simplicidad únicamente un camino longitud de onda es mostrado en la figura siguiente. Cada OADM extrae/inserta una longitud de onda en cada dirección (Este Oeste) del anillo y lo pasa a las longitudes de onda restantes del próximo OADM.

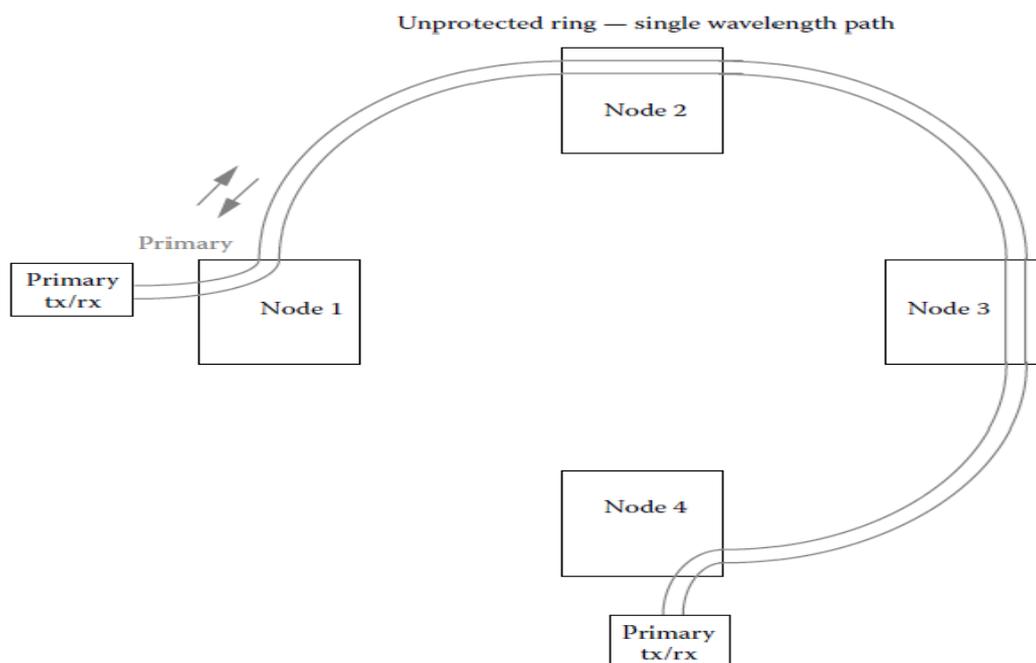


Figura 2.39 / Multiplexor add/drop, transceiver primario y multiplexor utilizado para crear un anillo CWDM con cuatro nodos sin protección.

Por ejemplo, una longitud de onda λ inicia en la dirección Oeste Este a través del MUX/DEMUX Este del nodo, entonces pasa a través de los dos OADM en el edificio 1 y 2 (Nodos 2 y 3), y es finalmente entregado en el edificio3 (nodo 4). En la dirección Este Oeste opuesta, la misma λ comienza en dirección oeste desde el MUX/DEMUX Oeste y es extraída/insertada inmediatamente en el edificio 3 sin OADM intermediarios. El arreglo dual de OADM del lado inicial permite por lo tanto que los caminos de cada edificio (junto con las direcciones reversas) tengan redundancia en caso de falla de camino. Si esta característica de redundancia o protección no es necesaria, un solo MUX/DEMUX menos costoso en el lado inicial en una dirección se vería como la figura anterior.

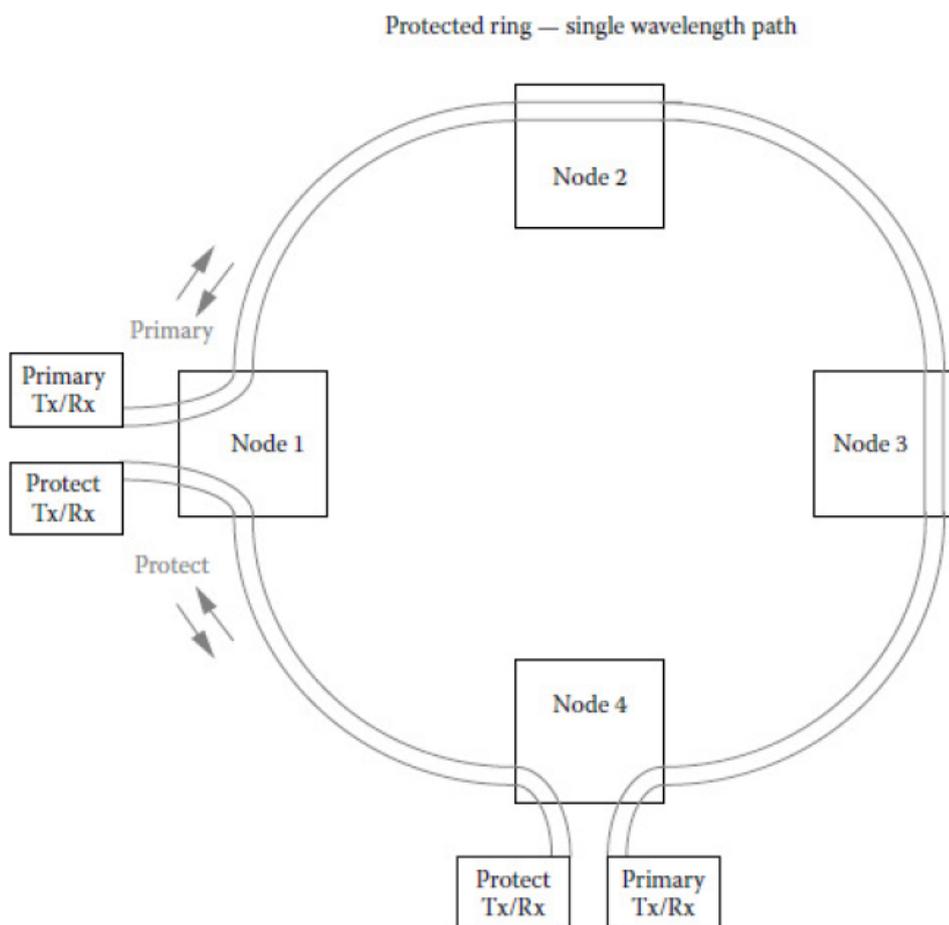


Figura 2.40 / Multiplexor add/drop, transceiver y multiplexor utilizados para crear un anillo CWDM con cuatro nodos y protección.

2.2.3.8.2 Aplicaciones CWDM en el metro

La óptica CWDM es una propuesta sencilla y costo efectivo para escalar ancho de banda y extender el tamaño de las redes en el segmento metro.

En las aplicaciones mostradas en los siguientes ejemplos utilizando ópticas CWDM se resuelve algunos problemas básicos en las redes metro.

2.2.3.8.2.1 Recuperación de desastres

Recientemente, las SAN han tenido requerimiento de ancho de banda en aplicaciones remotas de datos para recuperación de desastres. Mientras este tipo de redundancia puede ser implementada en una instalación, redundancia de sitio remoto agrega una capa adicional de protección contra desastres e interrupciones de servicio afectando un sitio entero. Si el servidor de almacenamiento de datos queda no disponible, las replications secundarias hacia una instalación fuera de sitio hacen fácil una replicación de actualización de punto en tiempo. Como lo muestra la figura siguiente, se puede utilizar CWDM para extender una SAN sobre distancias.

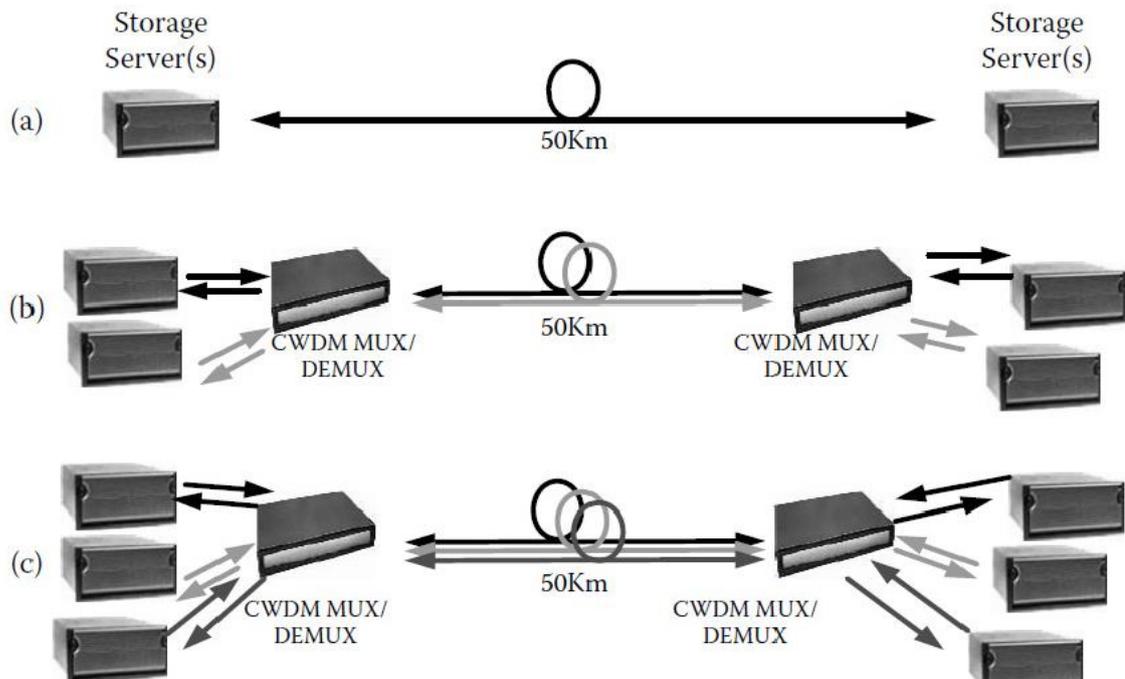


Figura 2.41 / Modo de extender redes de almacenamiento con CWDM: (a) Conexión con una sola fibra, (b) dos canales y (c) tres canales multiplexados.

El inciso (a) de la figura anterior muestra un arreglo de almacenamiento para copias de respaldo en remoto hacia otro arreglo de almacenamiento separado por 50km. El inciso (b) y (c) ilustran que añadiendo MUX/DEMUXCWDM en ambos lados escala el sistema para mayor ancho de banda. Múltiples servidores de almacenamiento pueden ser interconectados donde cada par está recibiendo un canal dedicado CWDM. Este es un ahorro significativo por encima de la propuesta (a) donde enlaces de fibra separada son utilizados. Cabe notar que con óptica CWDM desconectables y MUX/DEMUX CWDM el tiempo para creación de copias de respaldo puede ser justado a la propuesta de “pago por crecimiento”. Por lo tanto, más longitudes de onda deben ser añadidas si se desea aumentar el espacio de almacenamiento o si se desea reducir el tiempo requerido para generación de copias de respaldo de la instalación de almacenamiento remota.

2.2.3.8.2.2 Añadiendo CWDM a redes de una longitud de onda

Añadir ancho de banda adicional a un enlace SONET OC-192 que opera con una sola longitud de onda de 1310nm puede representar una tarea difícil y costosa. Utilizar transceivers ópticos CWDM desconectables, más un MUX/DEMUX CWDM ajustado a un puerto de 1310nm, el ancho de banda adicional se transforma en una actualización de mejora sencilla de bajo. La figura siguiente ilustra la el enlace de referencia SONET original con una longitud de onda de 1310nm.

Esta actualización de mejora es complementada con el uso de un MUX/DEMUX CWDM con un puerto 1310 en el enlace en ambos extremos, como lo muestra la figura 91.

La longitud de onda de 1310nm entonces pasa a través de la infraestructura CWDM transparentemente con longitudes de onda CWDM. Añadir multiplexores no puede ser hecho son la interrupción de tráfico y también el presupuesto de enlace debe ser suficiente para acomodar la pérdida por inserción del par multiplexor/demultiplexor. Sin embargo, actualizaciones de mejora futuras pueden ser llevadas a cabo sin interrupción de tráfico de los

canales existentes, tales como el canal SONET de 1310nm, contando ahora con suficientes puertos libres en el multiplexor CWDM.

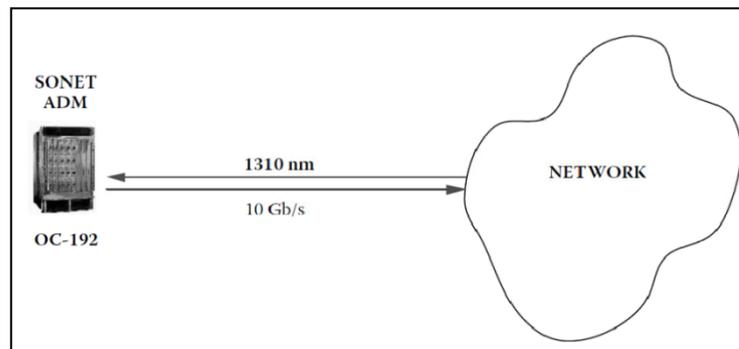


Figura 2.42 / Enlace SONET con una sola longitud de onda de 1310nm.

2.2.3.8.2.3 Escalabilidad con DWDM sobre CWDM

Se diría que la capacidad de CWDM está limitada a 16 longitudes de onda. Por lo tanto, servicios para únicamente 16 nodos en anillo son posibles.

Sin embargo, la escalabilidad es posible hasta más de 64 longitudes de onda y correspondientemente un mayor número de usuarios expandiendo la naturaleza básica con DWDM. Esta propuesta promete gran escalabilidad que el incremento de las ratas de bit de los canales CWDM.

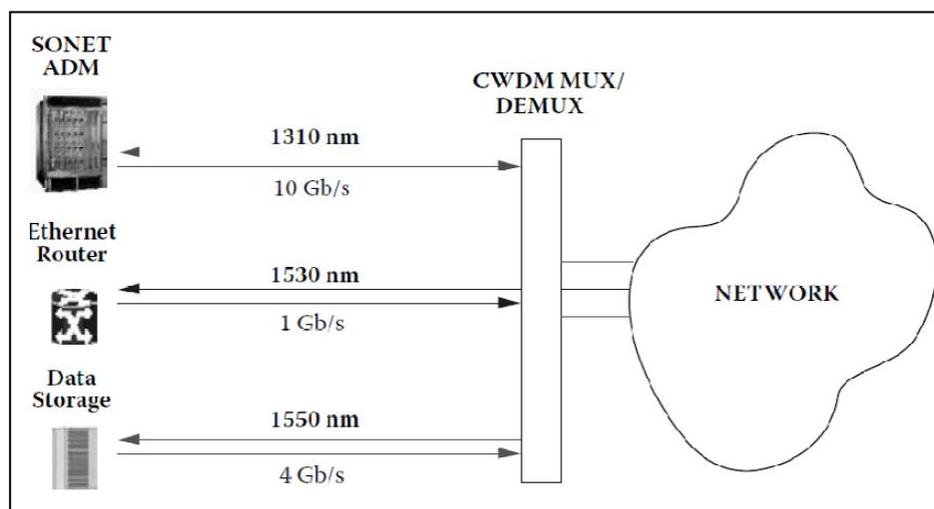


Figura 2.43 / Modo de agregar longitudes de onda CWDM a un enlace de una sola longitud de onda. Se muestra una solución común para añadir IP o servicios de datos por canal de fibra a un enlace SONET sin una actualización de mejor mi costosa.

La idea de utilizar DWDM en un ambiente CWDM es más que simple: en el mundo DWDM, los canales son espaciados 0.4 o 0.8nm, mientras que en CWDM, las longitudes de onda están separadas 20nm. Utilizando el grid de 20nm CWDM, los canales en un MUX/DEMUX CWDM están diseñados con un pasabanda de 12nm, suficientemente amplios para encajar con 8 o 10 longitudes de onda DWDM que pueden substituir el canal original CWDM.

Debido a espaciamiento angosto y uso espectral del pasabanda entero de los componentes del filtro, los canales DWDM requieren fuentes láser con estabilizador de temperatura para evitar cualquier deriva de longitud de onda, que resultan en crosstalk de canal y caída de señal.

El principio de bandas DWDM se puede apreciar en la figura anterior donde se han añadido nuevos servicios al enlace SONET. Ese enlace escalado utilizó tres longitudes de onda CWDM para SONET, Ethernet y canal de fibra para almacenamiento de datos sobre las longitud de onda CWDM 1550nm.

Si, en particular, la aplicación de almacenamiento requiere más capacidad de almacenamiento y ancho de banda más veloz, se pueden añadir longitudes de onda al canal de 1550nm insertando un MUX/DEMUX DWDM.

La figura siguiente ilustra este concepto para el enlace conocido añadiendo DWDM sobre CWDM para expandir el ancho de banda. Esta es una propuesta ingeniosa que subraya lo que CWDM ha dado al mundo de las redes metro.

Se puede caracterizar por la frase “Se debe construir una red con los requerimientos presentes con una arquitectura flexible y con capacidad de expansión según crecimiento”.

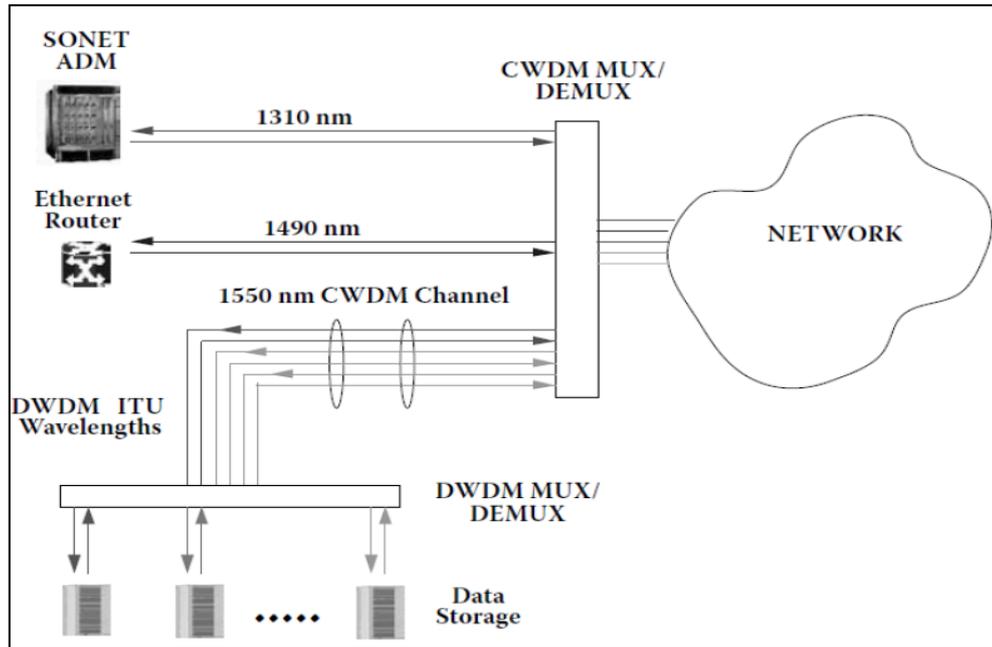


Figura 2.44 / Uso de DWDM (parte baja de la figura) multiplexado sobre CWDM para proveer una capacidad de actualización de mejor para la red de la figura anterior.

2.2.3.8.2.4 Aplicaciones futuras

Desde los noventa, CWDM ha entregado para cualquier en la red metro la capacidad de construir redes escalables, de bajo costo y transparentes. La óptica CWDM proveía en la forma de transceivers desconectables y multiplexores ópticos pasivos han transformado la forma en que las redes metro se construyen.

Los avances en la fabricación de dispositivos y la integración de CWDM con otras partes de la red han ayudado a hacer CWDM un competidor bien establecido con un set completo de estándares y muchos vendedores los cuales optan por estos dispositivos.

A medida que la red metro continuo creciendo y madurando, dos cambios están ocurriendo en la red metro:

- Primero, aplicaciones de capacidad demanda tales como VoD están manejando ahora el requerimiento de mayor ancho de banda para el

usuario final. Por ahora, esta nueva tendencia será únicamente satisfecha por transceivers de una longitud de onda de 10G. A medida que la demanda de ancho de banda aumenta por un buen número de aplicaciones y una base de usuarios en crecimiento, los transceivers 10GCWDM empezaran a aparecer para agregar múltiples longitudes de onda 10G CWDM sobre la infraestructura de fibra existente. A medida que el ancho de banda aumenta aún más, soluciones 10G DWDM sobre 10GCWDM pueden empezar a surgir.

- Segundo, el precio del equipo CWDM (transceivers y dispositivos ópticos pasivos) está disminuyendo significativamente.
- Esta erosión de precio de soluciones CWDM habilitara eventualmente a la empresa más pequeña a implementar redes CWDM. Como resultado, en el caso de escape de fibra, la solución CWDM tendrá gran ventaja sobre añadir más fibra a la red. Con avances en diseño y manufactura de equipo óptico DWDM, la erosión de presión vista en equipo CWDM también empezara a ocurrir en el segmento DWDM. Una forma de bajo costo de DWDM pronto competirá con CWDM a las velocidades de 1.25 y 2.5G.

Si la diferencia de precio entre DWDM y CWDM principalmente definida por las reducciones de tamaño de los transceiver al punto de inflexión, entonces CWDM puede estar en riesgo de volverse una tecnología obsoleta.

2.2.3.8.3 Comparación económica entre CWDM y DWDM

2.2.3.8.3.1 Hardware

La diferencia de coste entre los sistemas CWDM y los DWDM pueden ser atribuidos al hardware y a los costes operativos. A pesar de la superioridad en cuanto a coste de los láseres DWDM con respecto a los CWDM, los láseres DFB refrigerados proporcionan soluciones de coste efectivo para transportes de largo recorrido y grandes anillos metropolitanos que requieran gran capacidad. En ambas aplicaciones el coste de los sistemas DWDM queda amortizado por el gran número de clientes que se sirven de este sistema. Las

redes de metro/acceso, por otro lado requieren sistemas de bajo coste y baja capacidad, para reunir las condiciones del mercado que están basadas en gran parte, en el nivel de predisposición del cliente a desembolsar recursos económicos por los servicios de banda ancha.

El precio de los transceiver DWDM es superior que los de sus homólogos. Los altos costes del transceiver DWDM son atribuibles al gran número de factores relacionados con los láseres. Las tolerancias de longitud de onda típicas están en el orden de los $\pm 0,1\text{nm}$; mientras que la tolerancia de fabricación de la longitud de onda de los láser CWDM está situada entre los $\pm 2-3\text{nm}$, generando un aumento de los costes de los láser DWDM con respecto a los CWDM. Además el encapsulado de los láseres DWDM, para la estabilización de la temperatura con un enfriador y un termistor, es más costoso que un láser coaxial CWDM no refrigerado. La diferencia de coste entre los MUX/DMUX DWDM y CWDM, basado en una tecnología thin film también contribuyen a disminuir los costes generales en favor del CWDM. Los filtros de los CWDM son intrínsecamente más económicos en su construcción, debido al menor número de capas en el diseño del filtro. Típicamente son 150 capas para el diseño de un filtro de 100 GHz para ser usado en sistemas DWDM, mientras que en un filtro CWDM de 20nm hay aproximadamente 20 capas. El resultado es una fabricación más alta de filtros CWDM.

Los láseres CWDM modulados directamente son optimizados para bajos costos. Su diseño se basa en la tecnología DFB, la cual proporciona un desempeño bajo de la dispersión. Consecuentemente, dichos láser son capaces de transmitir a 10Gb/s sobre distancias de hasta 80km en fibra ITU G.652. Los VCSEL que cumplen con las condiciones de pequeño tamaño, eficiencia elevada y capacidad de modulación de alta velocidad. Su diseño provee ventajas de bajo costo de fabricación.

A continuación se resumen las diferencias entre los transmisores CWDM y DWDM:

- El volumen ocupado por un transmisor DWDM es cerca de ocho veces el volumen de un transmisor CWDM.
- La energía consumida por un transmisor DWDM es cerca de 20 veces lado un CWDM
- Debido a los aspectos anteriores, el empaquetado de un transmisor DWDM es más costoso que el de un CWDM sin enfriar.
- El diseño sin enfriar, que no tiene disipadores de calor abultados, ni circuitos de control ni refrigeradores termoeléctricos (TEC) acoplados junto al chipo del láser.

Consecuentemente, los componentes del transmisor CWDM tienen de cuatro a cinco veces el costo de sus contrapartes en CWDM.

Las interfaces de los receptores PIN o APD cubren la banda entera de CWDM de ITU. La ventaja de los detectores PIN es que presentan un costo más bajo y un diseño de recepción más simple.

Los filtros de CWDM están implementados utilizando la tecnología TFF, por lo que son intrínsecamente menos costosos de fabricar que los de DWDM, los cuales deben cumplir requisitos estrictos para las bandas de paso y de guarda.

El resultado es un tiempo de fabricación más corto, menos materiales y producciones más altas de filtros CWDM. Adicionalmente, se produce también un ahorro de costos en el empaquetamiento de los TFF como consecuencia de requisitos de alineamiento menos severos, lo cual permite una mayor automatización de los procesos de fabricación. Consecuentemente, los costos de los filtros CWDM son generalmente menos del 50% de los DWDM.

La expansión de las redes a mayores distancias y/o más nodos requiere de repetidores y/o amplificadores. Los repetidores pueden proporcionar la regeneración 2R o 3R para superar las limitaciones de dispersión y pérdida;

mientras que los amplificadores proporcionan la regeneración 1R para vencer solamente las limitaciones de pérdida de suministro de potencia óptica.

El costo de un OADM para DWDM es típicamente de hasta dos o tres veces el costo de un OADM CWDM de banda ancha debido a que un ambiente DWDM tiene un espaciamiento entre longitudes de onda comparado con CWDM.

Longitudes de onda más cercanas significa más calor haciendo esto un esquema más complicado, resultando en un costo mayor.

Aplicación/parámetro	CWDM acceso/MAN	DWDM MAN/WAN	DWDM largo alcance
Canales por fibra	4-16	32-80	80-160
Espectro utilizado	O, E, S, C, L	C, L	C, L, S
Espaciado entre canales	20 nm (2500 GHz)	0,8 nm (100 GHz)	0,4 nm (50 GHz)
Capacidad por canal	2,5 Gbit/s	10 Gbit/s	10-40 Gbit/s
Capacidad de la fibra	20-40 Gbit/s	100-1000 Gbit/s	>1 Tbit/s
Tipo de láser	uncooled DFB	cooled DFB	cooled DFB
Tecnología de filtros	TFF	TFF, AWG, FBG	TFF, AWG, FBG
Distancia	hasta 80 km	cientos de km	miles de km
Coste	bajo	medio	Alto
Amplificación óptica	ninguna	EDFA	EDFA, Raman

Cuadro 2.10 Comparativa CWDM vs DWDM

2.2.3.8.3.2 Requerimiento de energía

Los costes operativos de los sistemas de transporte óptico dependen del mantenimiento y de la energía. Mientras que los costes de mantenimiento son

comparables para ambos sistemas CWDM y DWDM, los requerimientos de energía para el DWDM son significativamente más altos.

Por ejemplo, los láseres DWDM estabilizan la temperatura a través de enfriadores integrados en los módulos de su encapsulado. Estos dispositivos junto con el PIN monitor asociado y el circuito de control consumen aproximadamente 4 W de energía por longitud de onda. Mientras que un transmisor láser CWDM no refrigerado consume aproximadamente 0,5 W. Los transmisores en un octavo canal del sistema CWDM consumen aproximadamente 4 W de potencia, mientras que la misma funcionalidad en un sistema DWDM puede llegar a consumir hasta 30 W.

Como el número de longitudes de onda en los sistemas DWDM aumentan con la velocidad de transmisión, la energía y la administración térmica asociada con ellos se convierte en un tema crítico para los diseñadores. La baja energía requerida como resultado del uso de láseres no refrigerados en los sistemas CWDM, tiene implicaciones financieras positivas para los operadores de sistema. Por ejemplo, el coste de la batería de respaldo es una consideración importante en la operación del transporte de equipos. Minimizando la energía necesaria para la explotación y los costes asociados con su respaldo incluido se reducen los costes operacionales.

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, 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. La comparativa entre CWDM y DWDM se resume en la figura a continuación.

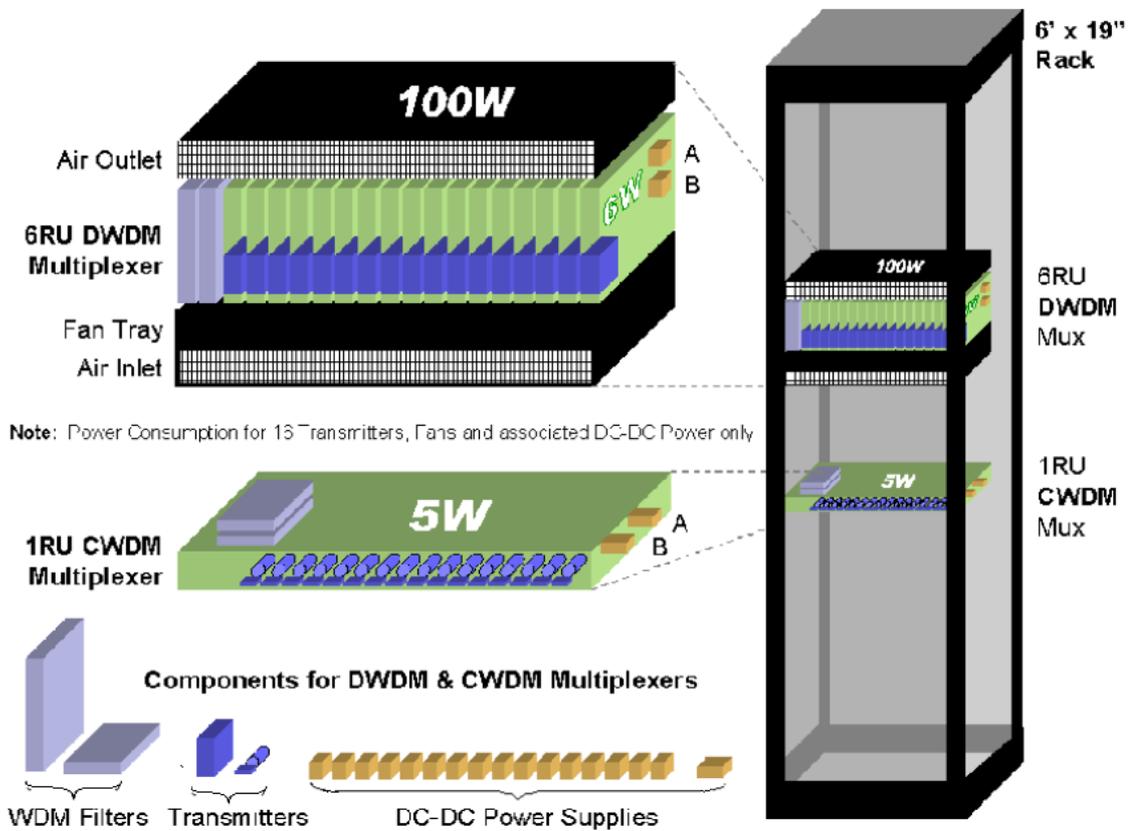


Figura 2.45 / Productos representativos DWDM vs CWDM – Diferencias de potencia y ocupación de espacio.

2.3 MARCO CONCEPTUAL

Definición de Terminos básicos.

1. Add-drop Calificativo para un multiplexor de inserción extracción.
2. Centro de Datos Es un espacio exclusivo donde las empresas mantienen y operan las infraestructuras TIC que utilizan para gestionar su actividad empresarial. Es el espacio donde alojar los servidores y equipos de almacenamiento donde se ejecutan las aplicaciones y se procesan y almacenan los datos y el contenido.
3. Crosstalk En español diafonía, efecto que se da cuando parte de las

señales presentes en transmisión, una señales considerada perturbadora, aparece en la otra señal, considerada perturbadora.

4. CWDM Multiplexación por división aproximada de longitud de onda (coarse wavelength division multiplexing), es una técnica de transmisión de señales a través de fibra óptica que pertenece a la familia de multiplexion por división de longitud de onda (WDM).
5. Demultiplexor Son circuitos combinacionales con única entrada y varias salidas de datos, están dotados de salidas de control capaces de seleccionar una, y sólo una, de las salidas de datos para permitir su transmisión desde la salida seleccionada hacia dicha entrada.
6. DWDM Multiplexación por división de longitud de onda densa (dense wavelength division multiplexing), es una técnica de transmisión de señales a través de fibra óptica que pertenece a la familia de multiplexion por división de longitud de onda (WDM).
7. ESCON Conexión de sistemas empresariales por sus siglas en Inglés. Interfaz óptica serial desarrollada por IBM.
8. Ethernet Tecnología con capacidad de velocidad de transmisión de 10×10^6 bits por segundo.
9. FastEthernet Tecnología con capacidad de velocidad de transmisión de 100×10^6 bits por segundo.
10. Fibre Channel Tecnología de red utilizada principalmente para redes de almacenamiento, disponible primero a la velocidad de 1×10^9 bits por segundo, y posteriormente a 2, 4 y 8×10^9 bits por segundo.

11. Fibra Óptica Es un medio de transmisión empleado habitualmente en redes de datos; un hilo muy fino de material transparente, vidrio o materiales plásticos, por el que se envían pulsos de luz que representan los datos a transmitir.
12. Gestión de red Consiste en monitorizar y controlar los recursos de una red con el fin de evitar que esta llegue a funcionar incorrectamente degradando sus prestaciones.
13. GigaEthernet Tecnología con capacidad de velocidad de transmisión de 100×10^9 bits por segundo.
14. Interfaces de Red Permiten a cualquier servidor que ejecute el servicio Enrutamiento y acceso remoto comunicarse con otros equipos a través de redes privadas o públicas. Las interfaces de red se relacionan con el servicio Enrutamiento y acceso remoto en dos aspectos: el hardware físico, como el adaptador de red, y la configuración de las interfaces de red.
15. ITU_T El Sector de Normalización de las Telecomunicaciones de la UIT (UIT-T), es uno de los tres sectores (divisiones o unidades) de la Unión Internacional de Telecomunicaciones (UIT), coordina las normas de telecomunicaciones .
16. Legacy Sistema computacional o programa que continua siendo utilizado aunque nuevas tecnologías estén a disponibilidad.
17. Macrodobles Dobleces relativamente amplios con respecto del radio de doblez de una fibra óptica.

17. Microdobleces Curvaturas microscópicas agudas pero que generan pérdida en fibras ópticas.
18. Monomodo Calificativo para fibras ópticas que propagan la luz en un solo camino dentro de ellas.
19. Multimodo Calificativo para fibras ópticas que propagan la luz en varios caminos dentro de ellas.
20. Multiplexor Son circuitos combinacionales con varias entradas y una única salida de datos, están dotados de entradas de control capaces de seleccionar una, y sólo una, de las entradas de datos para permitir su transmisión desde la entrada seleccionada hacia dicha salida.
21. Plug and play Capacidad de sistemas informáticos de configurar dispositivos automáticamente al ser conectarlos.
22. RENIEC Es el Registro Nacional de Identificación y Estado Civil (RENIEC), organismo autónomo encargado de la identificación de los peruanos, otorga el documento nacional de identidad, registra hechos vitales: nacimientos, matrimonios, defunciones, divorcios y otros que modifican el estado civil. En procesos electorales su participación consiste en proporcionar el Padrón Electoral que será utilizado el día de las elecciones.
23. SAN Una red de área de almacenamiento es una red de almacenamiento integral.
24. Transceiver Es un dispositivo que cuenta con un transmisor y un receptor que comparten parte de la circuitería o se encuentran dentro de la misma caja.

CAPITULO III

DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA

3.1 SITUACIÓN DE LA RED ACTUAL.

3.1.1 Introducción

La mayoría de los desarrollos tecnológicos se han centrado en implementar redes ópticas que replican las capacidades de las redes tradicionales basadas en SONET/SDH o ATM/SONET/SDH, donde a pesar de obtenerse logros importantes con estos desarrollos no se ha alterado el concepto fundamental de la arquitectura de las redes orientadas a un servicio por conmutación de circuitos.

El proyecto está enfocado a demostrar la viabilidad e implementación de crear una red de transmisión de banda ancha basada en la tecnología CWDM en los tramos interurbanos de fibra óptica entre el Centro de Datos Principal y Respaldo con ubicaciones ya mencionados en el primer capítulo. Por otro lado, este proyecto está diseñado para satisfacer las necesidades según ancho de banda, velocidad de transmisión, integración de diferentes interfaces y equipos CWDM.

3.1.2 Gerencia de Tecnología de la Información

El proyecto propuesto por la gerencia nace por la necesidad de actualizar su infraestructura de información y sistemas de telecomunicaciones, donde se converge toda la información de identificación de los peruanos. Este proyecto tubo varios componentes, cambio de servidores de almacenamiento (Storage), upgrade de sus sistemas de energía, remodelación de infraestructura de Data Center, Implementación de un sistemas de transporte óptico CWDM, etc., es por esa razón se ha implementado un proyecto integral.

Nuestro proyecto está enfocada en el diseño e implementación del sistema de transporte óptico CWDM para converger toda la información de los Centro de Datos del RENIEC (Registro Nacional de Identificación y Estado Civil), es un organismo público autónomo, cuya misión es encargado de la identificación de los peruanos, otorga el documento nacional de identidad, registra hechos vitales: nacimientos, matrimonios, defunciones, divorcios y otros que modifican el estado civil. También se ha desarrollado el Sistema Automatizado de Identificación Biométrica (AFIS, por sus siglas en inglés) para la verificación de identidad de una persona mediante sus huellas digitales, en forma presencial o a través de Internet, es una herramienta que el Registro Nacional de Identificación y Estado Civil (RENIEC) ofrece gratuitamente a distintas entidades públicas –como la Policía Nacional, el Poder Judicial, el Ministerio Público y el Instituto Nacional Penitenciario (INPE)– para que su utilización contribuya a reforzar la seguridad ciudadana en el país.

3.1.3 Descripción de la Red Actual

Actualmente sólo se contaba con único centro de datos ubicado en Jr. Cusco N° 653 – Plaza Gastañeda en el distrito Cercado de Lima (Sede Operativa), donde se enlaza con la sede San Borja ubicado Av. Javier Prado Este 2392 en el distrito de San Borja mediante un cable de fibra óptica oscura

de 2 pares (utilizando un par) entre equipos Switch core catalist6513 con capacidad máxima de velocidad de transmisión a 10Gbps.

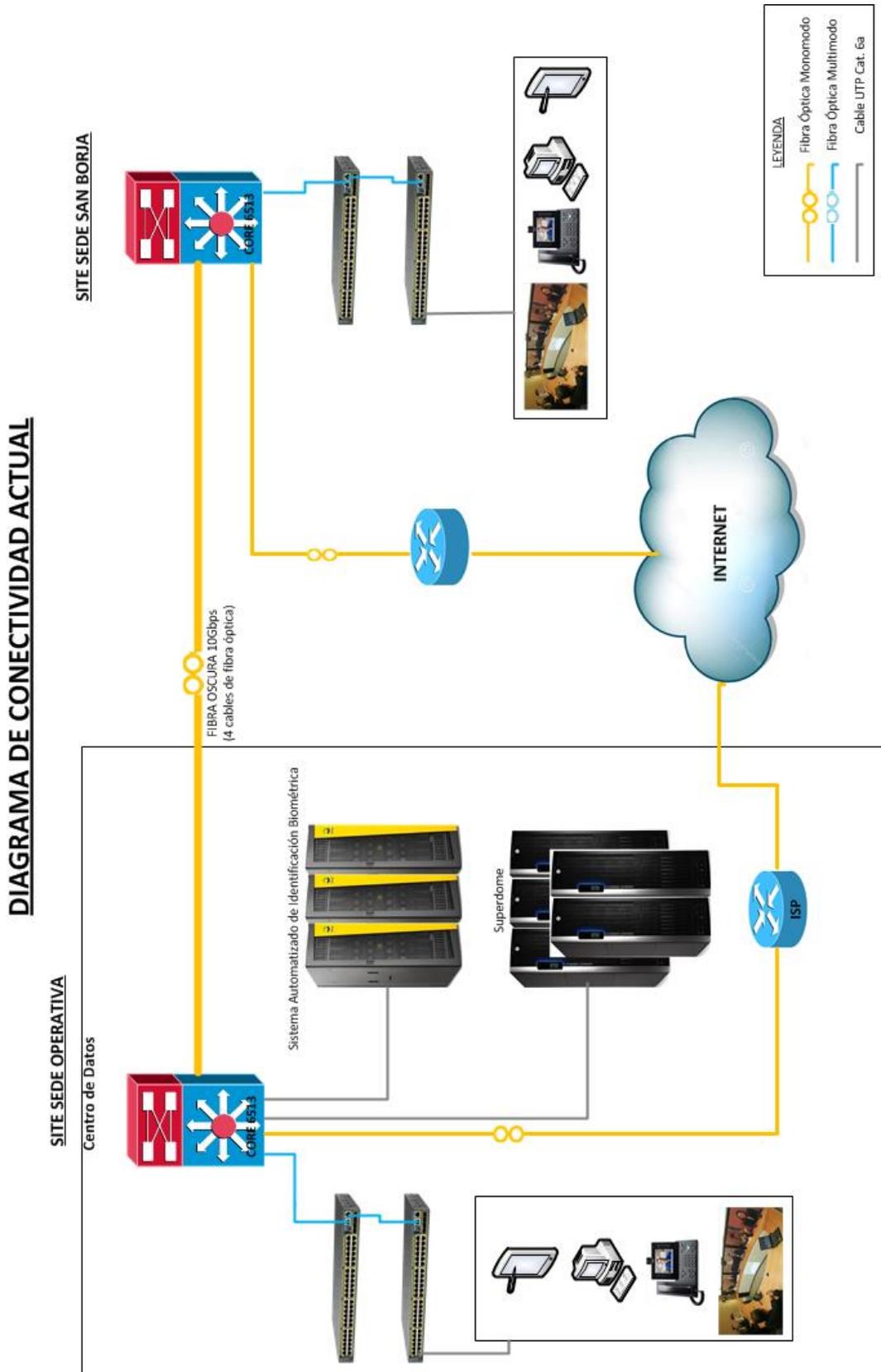


Fig. 3.1 Se muestra la Situación de la Red Actual.

La red de fibra óptica entre las dos sedes mencionadas se tiene disponible un par de fibras monomodo con diferentes recorridos por el cual en un futuro se utilizara en el diseño del enlace con tecnología CWDM para interconectar con el centro de datos respaldo y se utilizará las dos rutas de fibra óptica teniendo redundancia del enlace.

En el siguiente gráfico representa el recorrido de los dos cables de fibra óptica y la longitud de las mismas, formando así, un anillo de fibra robusto y de alta disponibilidad que permite brindar el servicio por el cual se va diseñar.

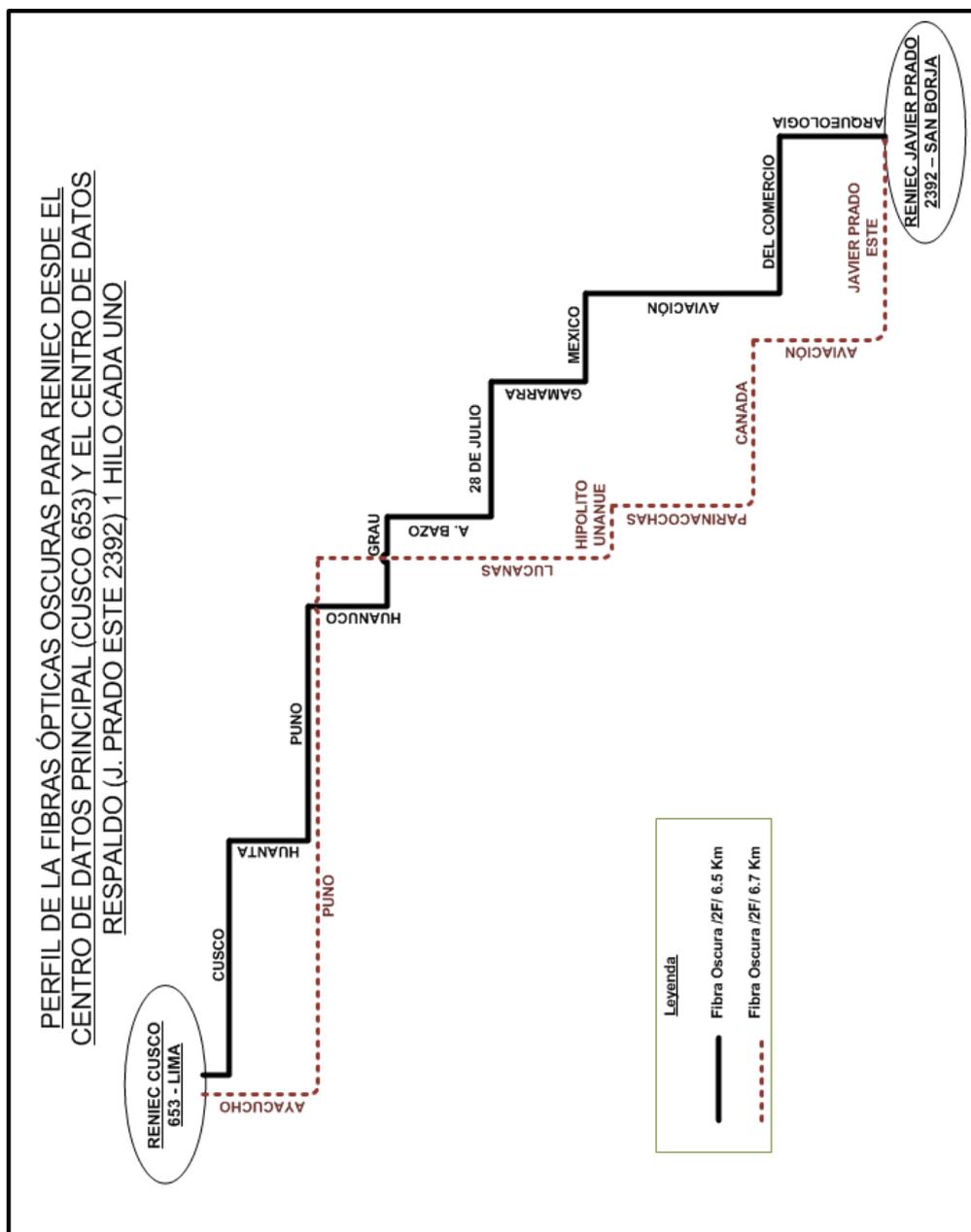


Figura 3.2: Recorrido de Fibra óptica entre los dos centro de datos.

3.1.3.1 Característica de la fibra óptica

Las dos fibras ópticas ya instaladas son monomodo AllWave® de pico de agua cero, es la primera fibra de espectro completo de la industria, diseñada para sistemas ópticos de transmisión que operan en el espectro completo de longitud de onda desde 1260 nm hasta 1625 nm.

Es la fibra recomendada para redes metropolitanas, locales, y de acceso, debido a sus especificaciones superiores - baja pérdida óptica a través de toda la longitud de banda desde 1260 nm hasta 1625 nm, disponibilidad de geometría más firme, baja pérdida en el empalme, y baja dispersión del modo de polarización (PMD por sus iniciales en inglés). Sus características son:

- Totalmente compatible con todos los estándares internacionales para fibra óptica monomodo convencional.
- La pérdida óptica más baja en su clase en el espectro desde 1260 nm hasta 1625 nm.
- La ausencia de defectos de envejecimiento por hidrógeno asegura confiabilidad de atenuación a largo plazo a través de toda la banda de longitud de onda (1260 - 1625 nm).
- Un 50% de aumento en el espectro óptico utilizable que soporta CWDM de 16 canales y DWDM.
- El más riguroso control de geometría para la pérdida de empalme más baja y un mejor rendimiento de empalme.
- PMD de fibra ultra baja que permite mejoras en velocidad y distancia.
- Confiabilidad, rendimiento ambiental y resistencia a la retirada del recubrimiento inigualables, provistos por el recubrimiento DLux®, líder en la industria.

3.2 DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA

3.2.1 DISEÑO DE LA RED CWDM

De acuerdo a lo mencionado en el capítulo 2, podemos deducir que la tecnología CWDM es la tecnología que se adapta perfectamente para la solución de este proyecto, una razón es por los costos involucrados en esta tecnología que son relativamente menores que la tecnología DWDM, la otra es por el número de longitudes de onda relativamente pequeño requeridas para la solución y además porque los centros de datos están separados a 6.5 Km que es una distancia metropolitana que puede ser alcanzada fácilmente por equipos CWDM de cualquier marca.

Para ello consideraremos factores importantes en el diseño de un enlace de fibra óptica como es la **atenuación y la dispersión**. Por lo que a continuación se realizará el cálculo de cada uno de estos factores.

Para el cálculo usaremos la siguiente ecuación:

$$A_{\text{enlace}}(\text{dB}) = L \cdot \alpha + N_e \cdot \alpha_e + N_c \cdot \alpha_c + Mr + Pn$$

Donde:

A_{enlace}: Atenuación del enlace en dB.

L: Longitud del enlace en Km.

A: Atenuación del cable en dB.

N_e: Número de empalmes.

α_e: Atenuación por empalmes en dB.

N_c: Número de conectores.

α_c: Atenuación por conectores en dB.

Mr: Margen del Sistema. (Cable óptico, equipos y seguridad)

Pn: Penalidades (por reflexión y dispersión)

❖ Para la fibra óptica de la ruta N° 1: (Principal)

Parámetro		Atenuación
Distancia	6.5 Km	1.63 dB
Atenuación de la fibra óptica	0.25 dB/Km	
Número de empalmes	3	0.3 dB
Atenuación de cada empalme	0.1 dB	
Número de conectores	2	0.4 dB
Atenuación de cada conector	0.2 dB	
Margen del Sistema	3 dB	3 dB
Penalizaciones	1 dB	1 dB
Atenuación del enlace		6.33 dB

Tabla 3.1 Atenuación enlace Ruta 1

❖ Para la fibra óptica de la ruta N° 2: (Respaldo)

Parámetro		Atenuación
Distancia	6.7 Km	1.67 dB
Atenuación de la fibra óptica	0.25 dB/Km	
Número de empalmes	4	0.4 dB
Atenuación de cada empalme	0.1 dB	
Número de conectores	2	0.4 dB
Atenuación de cada conector	0.2 dB	
Margen del Sistema	3 dB	3 dB
Penalizaciones	1 dB	1 dB
Atenuación del enlace		6.47 dB

Tabla 3.2 Atenuación enlace Ruta 2

La **dispersión total cromática** se refiere a la máxima dispersión que se puede tolerar en una distancia límite.

Una fuente de luz, emite varias longitudes de onda de un rango. Así, cuando este rango de longitudes de ondas viaja a través de un medio, cada longitud de onda individual llega en tiempos diferentes.

El equipo tolera un máximo de 854 (ps/nm). DE la recomendación de la UIT_T G655, tenemos que por lo general el coeficiente de dispersión es de 6 ps/nm.Km. Por lo que:

$$L_{\text{limitededispersión}} \text{ (km)} = 854 \text{ (ps/nm)} / 6 \text{ (ps/nm.km)}$$

$$L_{\text{limitededispersión}} \text{ (km)} = 142.33 \text{ Km.}$$

El resultado nos dice que para distancias superiores a 142.33Km, necesitaremos un módulo compensador de dispersión (DCM) pero en nuestro caso no es necesario.

3.2.2 DISEÑO CON LOS EQUIPOS CWDM

Para la elección del equipamiento CWDM se hizo un análisis exhaustivo entre equipamientos CWDM. El resultado de dicho análisis fue la elección de la marca FiberNet con sus equipos C_MUX+4 y X_MUX+4 dado que posee las certificaciones que se solicita respecto a la a la inter-operatividad de los equipos multiplexores CWDM con los equipos del centro de datos como son los servidores HP Superdome(interfaces GigaEthernet) y servidores HP 3PAR P10000 V800 (interfaces FibreChannel).

Con respecto al multiplexor según características mencionadas en el anexo 1B, se halla el balance de potencia, según formula:

$$\mathbf{Pt = At + Sx}$$

Donde:

Pt = Potencia transmitida

At = Atenuación total del enlace

Sx = Sensibilidad del equipo Receptor

Se obtiene la potencia transmitida mínima y máxima según el balance de potencia:

Para la ruta N°1

$$Pt_{\min} = 6.33 \text{ dB} + (-28 \text{ dBm}) = -21.67 \text{ dBm} = 0.007 \text{ mW}$$

$$Pt_{\max} = 6.33 \text{ dB} + (-3 \text{ dBm}) = 3.33 \text{ dBm} = 2.153 \text{ W}$$

Según lo hallado la potencia transmitida del multiplexor C_MUX solo se podrá utilizar en el siguiente rango:

$$-5 \text{ dBm} \leq Pt \text{ (dBm)} < 3 \text{ dBm} \quad ; \quad 0.316 \text{ mW} \leq Pt \text{ (mW)} < 2 \text{ mW}$$

También calculamos de largo máximo del enlace con condiciones de potencia.

Largo máximo = (Atenuación máxima permitida/Atenuación por cada Km)

$$\text{Largo máximo} = ((Pt_{\max} - At - Sx) / 0.25 \text{ dB/Km})$$

$$\text{Largo máximo} = ((6 \text{ dBm} - 6.33 \text{ dB} + 28 \text{ dBm}) / 0.25 \text{ dB/Km})$$

$$\text{Largo máximo} = 110.68 \text{ Km}$$

Para la ruta N° 2

$$Pt_{\min} = 6.47 \text{ dB} + (-28 \text{ dBm}) = -21.53 \text{ dBm} = 0.007 \text{ mW}$$

$$Pt_{\max} = 6.47 \text{ dB} + (-3 \text{ dBm}) = 3.47 \text{ dBm} = 2.223 \text{ W}$$

Según lo hallado la potencia transmitida del multiplexor C_MUX solo se podrá utilizar en el siguiente rango:

$$-5 \text{ dBm} \leq Pt \text{ (dBm)} < 3 \text{ dBm} \quad ; \quad 0.316 \text{ mW} \leq Pt \text{ (mW)} < 2 \text{ mW}$$

También calculamos de largo máximo del enlace con condiciones de potencia.

Largo máximo = (Atenuación máxima permitida/Atenuación por cada Km)

$$\text{Largo máximo} = ((Pt_{\max} - At - Sx) / 0.25 \text{ dB/Km})$$

$$\text{Largo máximo} = ((6 \text{ dBm} - 6.47 \text{ dB} + 28 \text{ dBm}) / 0.25 \text{ dB/Km})$$

$$\text{Largo máximo} = 110.12 \text{ Km}$$

El equipamiento utilizado como solución para el proyecto de enlace de interconexión punto a punto, son los equipos multiplexores CWDM de FiberNet, basada en la tecnología WDM, que permite multiplexar varias longitudes de onda en un solo par de fibra (según norma ITU_T G 694.2), adicionalmente los equipos brinda la facilidad de multiplexar varios servicios dentro de una misma longitud de onda.

La implementación del proyecto, consiste del transporte de 02 interfaces Gigabit Ethernet y 02 interfaces FibreChannel entre su centro de datos principal y respaldo. A continuación se detalla un resumen de las interfaces a interconectar.

3.2.2.1 Interfaz Fiber Channel

Los servidores HP a conectarse en los Centro de datos utilizan este tipo de interfaz con conectores LC SFP (Small Form- Factor Pluggable) óptico, para soporte de FiberChannel 8 Gbp. A continuación se muestra las respectivas características:

- Tipo de protocolo FC-8
- Longitud de onda 850 nm
- Tipo de fibra multimodo
- Diámetro de los cables de fibra 50/125
- Tipo de conector = LC

3.2.2.2 Interfaz Gigabit Ethernet

Los equipos a conectarse a las interfaces Gigabit Ethernet son switches catalyst 6513 y servidores AFIS con conectores y características que mostramos lo siguiente:

SFP	TIPO	TX (dBm)		RX (dBm)	
		Max	Min	Max	Min
GLC-SX-MM	100 Base-SX	-4	-95	0	-17

Longitud de onda 850nm

Tipo de fibra multimodo

Diámetro del cable de fibra óptica 62.5/125

Tipo de conector LC

3.2.2.2 Equipos FiberNet

Después de un análisis del equipamiento y el detalle técnico de las interfaces, se han seleccionado los siguientes equipos con sus respectivos transceivers.

Para el transporte de las interfaces Gigabit Ethernet se seleccionó el multiplexor **C_MUX+4**(datasheet anexo 1B) diseñados para velocidades menores de 4.25Gbps, que posee una interfaz GigaEthernet con puerto de entrada RJ-45 de los servidores Superdome para tal se usó el transceiver **AXGT-R1T4-05111000BASE-T and 10/100/1000BASE-T Copper SFP Transceiver**, se muestra en la fig. 3.3(datasheet en anexo 1C). Y el siguiente interfaz GigaEthernet con puertos LC vienen desde el switch corecatalist 6513 de la sede para una Lan Extendida, donde se utilizó el transceiver **HFBR-5720AL/5720ALP Small Form Pluggable** se muestra en la fig. 3.4 (datasheet en anexo 1D).



Figura 3.3 AXGT-R1T4-0511



Figura 3.4 HFBR-5720AL/5720ALP

Así mismo para el transporte de las interfaces FibreChannel se seleccionó el multiplexor X_MUX+4 (datasheet anexo 1E) diseñados para velocidades menores de 8 o 10 Gbps, que posee dos interfaces FibreChannel con puerto LC de los servidores AFIS (Sistema Automatizado De Identificación Biométrica) para tales casos se usó el transceiver JSH-85L3AX1-10 Series (8.5 G FibreChannel Compliant SFP + 1310nm), se muestra en la fig. 3.5 (datasheet en anexo 1F).



Figura 3.5 JSH-85L3AX1-10 Series

El enlace contará, con 2 rutas de fibra óptica monomodo NDSF (ITU-T G652) una ruta principal y un ruta sea de respaldo. Para asegurar la alta disponibilidad del sistema, se ha instalado un sistema de protección utiliza el OSW-1 (datasheet anexo 1G) en cada extremo que permiten la conmutación del enlace principal y respaldo en caso de pérdida del primero. Ambos serán configurados en modo de conmutación automática reversible.

3.2.3 IMPLEMENTACIÓN

Al finalizar el diseño, se implementó con los mismo equipos y configuraciones en cada uno de los centro de datos para facilitar la implementación y solución al respecto.

El siguiente gráfico muestra en forma general la implementación del enlace de transporte óptico en cada uno de las sedes, dando conectividad a

cada centro de datos, switch core y un centro de gestión que no necesariamente esté en la red de Reniec.

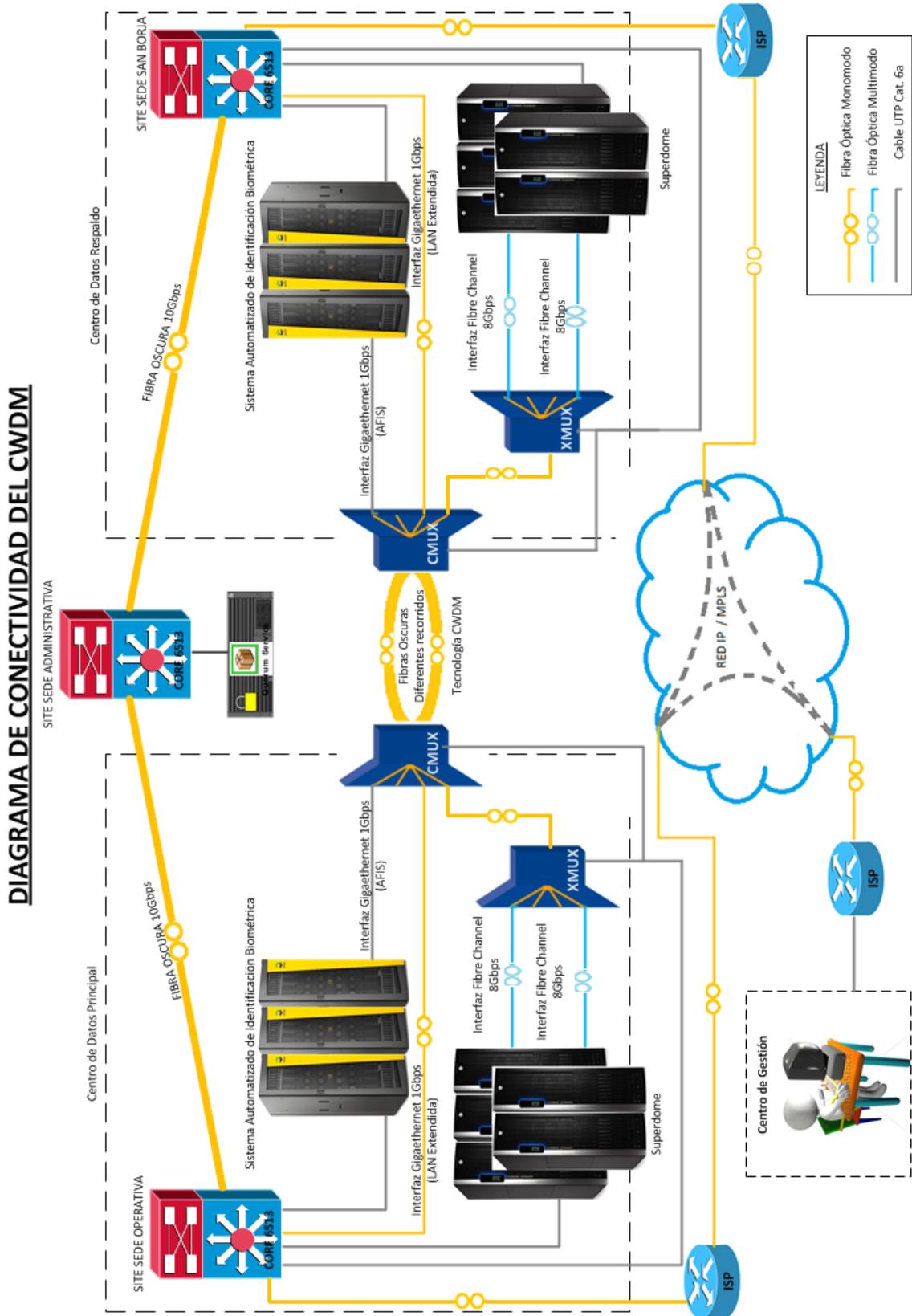


Figura 3.6 IMPLEMENTACIÓN DE LA RED CWDM

Así mismo se muestra en el siguiente diagrama la implementación del CWDM con mayor detalle en las conexiones de cada equipo ya mencionados. También recalcamos que la misma implementación se hizo en cada centro de datos.

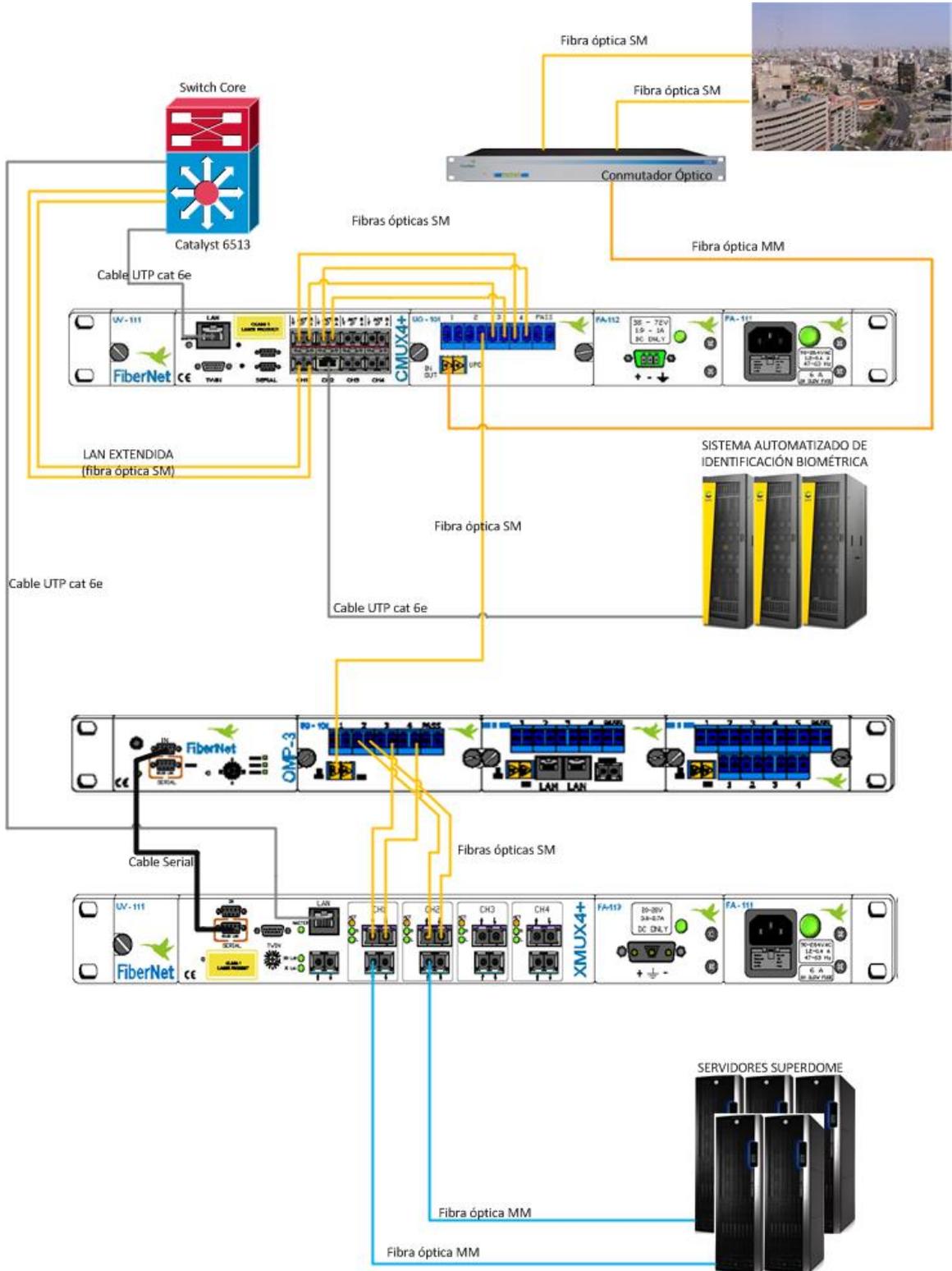


Figura 3.7 DIAGRAMA DE IMPLEMENTACIÓN DE EQUIPOS WDM

3.2.4 Sistema de Gestión

Esta aplicación es muy importante para un equipo que brinde conectividad a equipos finales de mucha importancia como son la base de datos de la entidad, los equipos que tienen el sistema integrado de Gestión son los multiplexores C_MUX+4 y X_MUX+4 por el cual se configurará con una dirección IP según su red LAN o sede que se encuentre y SNMP (por sus siglas en inglés Simple Network Management Protocol) que nos facilitará el intercambio de información de administración entre dispositivos de red.

3.2.4.1 Configuración de los Equipos CWDM del Centro de Datos Principal (Sede Operativa)

Los equipos de comunicación que pertenecen al centro de datos principal están en la red 192.168.0.1 con máscara 255.255.0.0 por el cual se debería configurar los multiplexores con una dirección lógica dentro del rango y disponible. Con la configuración de SNMP en los equipo debemos registrar nuestra Base de Información de Administración (Management Information Base, MIB) que pertenece a la Comunidad "PUBLIC" y está en una VLAN de Gestión con dirección IP 10.250.252.66, para ello se podrá gestionar y monitorear.

3.2.4.1.1 Multiplexor C_MUX+4

The image shows a configuration window titled "SNMP config" with several sections:

- SNMP config:** SysName: WDM_MUX+, Community: public, SysDescription: Cmux4plus-01-NODOA, SysLocation: Sede Operativa, SNMP address 1: 10.250.252.66, SNMP address 2: (empty).
- Server config:** IP address: 192.168.95.10 / 255.255.0.0, Domain: &#60;None&#62;, Gateway: 192.168.0.1.
- SYSLOG config:** SYSLOG address 1: (empty).
- NTP config:** NTP delay: 0, NTP address 1: (empty).

Figura 3.8 Configuración de la dirección lógica IP del CMUX – Sede Operativa

3.2.4.1.2 Multiplexor X_MUX+4

SNMP config			
SysName	WDM_MUX+	Community	public
SysDescription	Xmux4plus-01-NODOA	SNMP address 1	10.250.252.66
SysLocation	Sede Operativa	SNMP address 2	

Server config	
IP address	192.168.95.11 / 255.255.0.0
Domain	&#60;None&#62;
Gateway	192.168.0.1

SYSLOG config	
SYSLOG address 1	

NTP config	
NTP delay	0
NTP address 1	

Figura 3.9 Configuración de la dirección lógica IP del XMUX – Sede Operativa

3.2.4.2 Configuración de los Equipos CWDM del Centro de Datos Respaldo (Sede San Borja)

Los equipos de comunicación que pertenecen al centro de datos principal están en la red 172.16.0.1 con máscara 255.255.0.0 por el cual se debería configurar los multiplexores con una dirección lógica dentro del rango y disponible. Con la configuración de SNMP en los equipo debemos registrar nuestra Base de Información de Administración (Management Information Base, MIB) que pertenece a la Comunidad “PUBLIC” y está en una VLAN de Gestión con dirección IP 10.250.252.66, para ello se podrá gestionar y monitorear.

3.2.4.2.1 Multiplexor C_MUX+4

SNMP config			
SysName	WDM_MUX+	Community	public
SysDescription	Cmux4plus-01-NODOB	SNMP address 1	10.250.252.66
SysLocation	San Borja	SNMP address 2	

Server config	
IP address	172.16.20.70 / 255.255.0.0
Domain	&#60;None&#62;
Gateway	172.16.18.1

SYSLOG config	
SYSLOG address 1	

NTP config	
NTP delay	0
NTP address 1	

Figura 3.10 Configuración de la dirección lógica IP del CMUX – Sede San Borja

3.2.4.2.2 Multiplexor X_MUX+4

The screenshot shows the configuration interface for the X_MUX+4 multiplexer. It is divided into four main sections:

- SNMP config:** SysName: WDM_MUX+, Community: public, SysDescription: Xmux4plus-01-NODOB, SysLocation: San Borja, SNMP address 1: 10.250.252.66, SNMP address 2: (empty).
- Server config:** IP address: 172.16.20.72 / 255.255.0.0, Domain: &#60;None&#62;, Gateway: 172.16.18.1.
- SYSLOG config:** SYSLOG address 1: (empty).
- NTP config:** NTP delay: 0, NTP address 1: (empty).

Figura 3.11 Configuración de la dirección lógica IP del XMUX – Sede San Borja

3.2.4.2 Gestión de los Multiplexores, System Manager

Después de configurar a los multiplexores remotamente podemos gestionar y monitorear desde cualquier host que este en la red del RENIEC u otra parte del mundo utilizando un VPN (virtual private Network).

La aplicación WEB nos muestra el inventario de equipos, alarmas, eventos, activación de interfaces en lado local y remoto, potencia de transmisión y receptor, temperatura del equipo bit rate, etc. A continuación se muestra la figura del Sistema Manager.

The screenshot shows the System Manager application interface. On the left, there is a sidebar with a tree view showing the equipment inventory. An arrow points to this sidebar with the text "Inventario de equipos." The main area displays a table of events with columns for Severity, Date, Channel, and Text description. The events are color-coded by severity (green for OK, yellow for Warning, red for Error). On the right side, there is a section for "OMP-3 consumption modules" showing power consumption statistics. An arrow points to the event list with the text "Fallas y alarmas que ocurren con algún interfaz o funcionamiento del equipo multiplexor."

Severity	Date	Channel	Text description
OK	08/02/14 - 07:27:28	XMUX+ 1 Channel 1	Link Up
OK	08/02/14 - 07:27:28	XMUX+ 1 Channel 1	Local RX OK
OK	08/02/14 - 07:27:28	XMUX+ 1 Channel 2	Link Up
OK	08/02/14 - 07:27:28	XMUX+ 1 Channel 2	Local RX OK
Warning	08/02/14 - 07:27:24	XMUX+ 1 Channel 1	Link Down
Warning	08/02/14 - 07:27:24	XMUX+ 1 Channel 1	NO Local RX
Warning	08/02/14 - 07:27:22	XMUX+ 1 Channel 2	Link Down
Warning	08/02/14 - 07:27:22	XMUX+ 1 Channel 2	NO Local RX
OK	08/02/14 - 07:27:18	XMUX+ 1 Channel 1	Link Up
OK	08/02/14 - 07:27:18	XMUX+ 1 Channel 1	Local RX OK
OK	08/02/14 - 07:27:18	XMUX+ 1 Channel 2	Link Up
OK	08/02/14 - 07:27:18	XMUX+ 1 Channel 2	Local RX OK
Warning	08/02/14 - 07:27:14	XMUX+ 1 Channel 2	Remote RX OK
Warning	08/02/14 - 07:27:14	XMUX+ 1 Channel 1	Remote RX OK
Warning	08/02/14 - 07:27:14	XMUX+ 1 Channel 2	NO Remote RX
Warning	08/02/14 - 07:27:04	XMUX+ 1 Channel 1	NO Remote RX
Warning	08/02/14 - 07:27:02	XMUX+ 1 Channel 1	Remote RX OK
Warning	08/02/14 - 07:27:02	XMUX+ 1 Channel 2	Remote RX OK
Warning	08/02/14 - 07:21:52	XMUX+ 1 Channel 1	NO Remote RX
Warning	08/02/14 - 07:16:48	XMUX+ 1 Channel 2	Remote RX OK

Figura 3.12 System Manager

3.3 REVISIÓN Y CONSOLIDADO DE RESULTADOS

Al finalizar con el diseño e implementación se observa que el equipo multiplexor C_MUX es el encargado de enviar la información multiplexada hacia el otro centro de datos, mientras el equipo X_MUX se conectará en una de sus entradas del CMUX por su facilidad de la regulación de potencia.

En lo siguiente demostraremos la operatividad de los equipos multiplexores conjuntamente con sus canales y la potencia de transmisión y recepción según corresponda en cada centro de datos.

3.3.1 CENTRO DE DATOS PRINCIPAL – RENIEC CUSCO 653 LIMA

Se observan los resultados de la operatividad de los siguientes equipos en dicha sede:

3.3.1.1 X_MUX4+

Se muestra en los siguientes gráficos que el canal 1 y 2 están activos y también con su potencia de transmisión y recepción entre el multiplexor y los servidores.

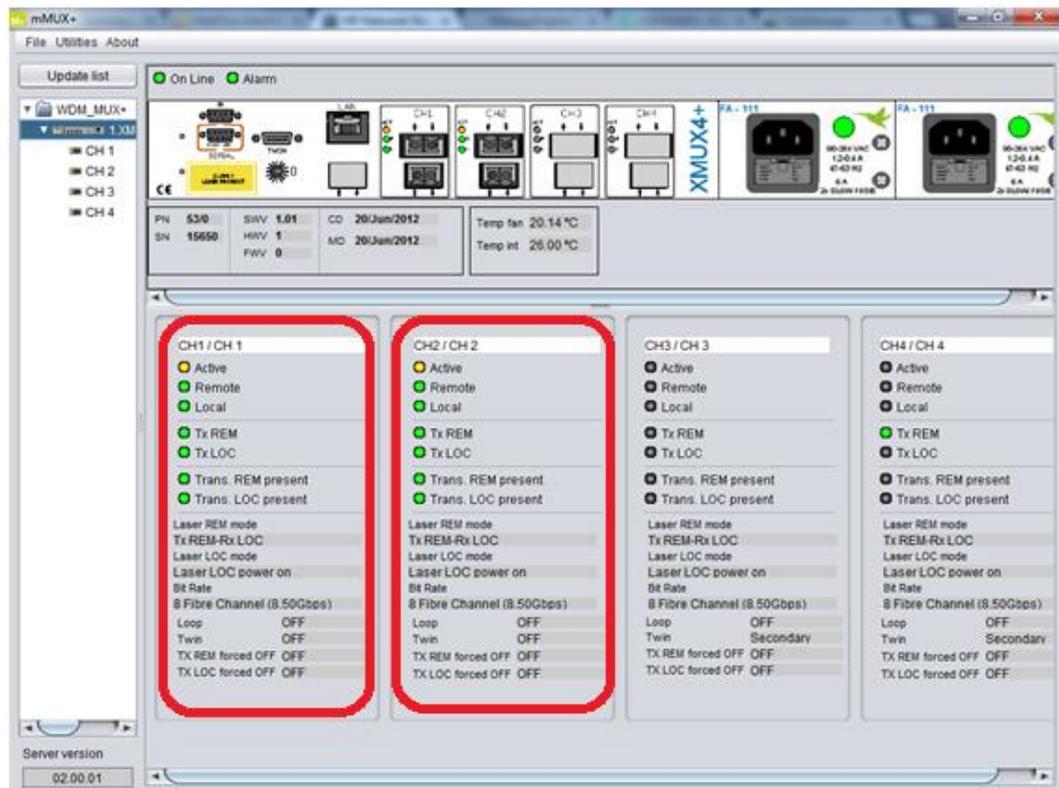


Figura 3.13 Equipo XMUX está operativo en funcionamiento de Canal 1 y 2.

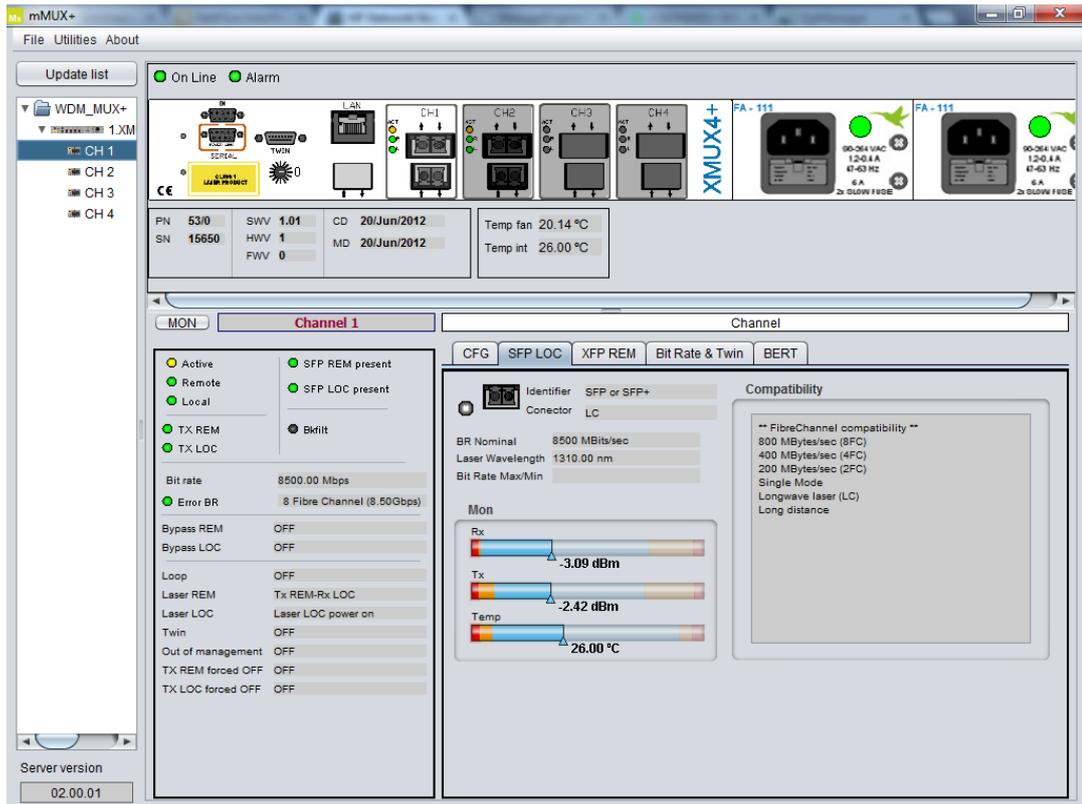


Figura 3.14 Potencia del Canal 1 del lado de los servidores

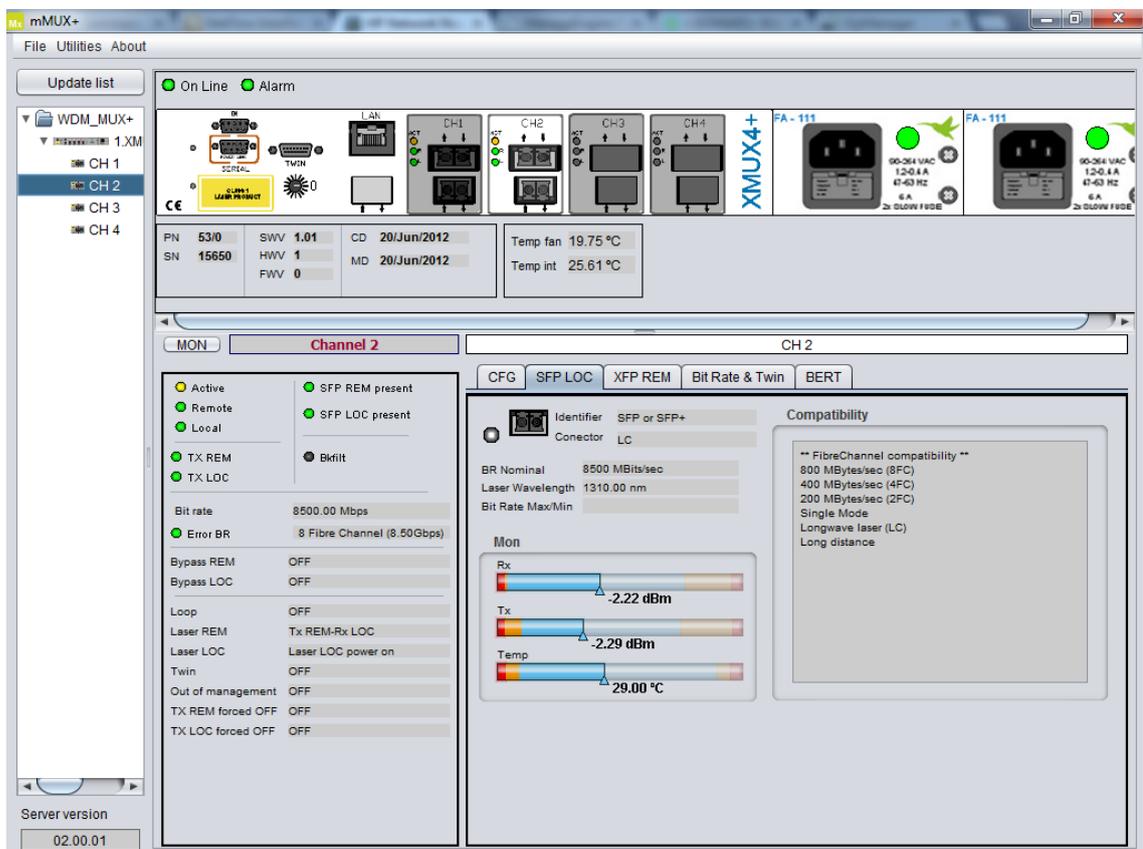


Figura 3.15 Potencia del Canal 2 del lado de los servidores

3.3.1.2 C_MUX4+

Se muestra en los siguientes gráficos que el canal 1 y 2 están activos y también con su potencia de transmisión y recepción entre el multiplexor y los servidores.



Figura 3.16 Equipo CMUX está operativo en funcionamiento de Canal 1 y 2.

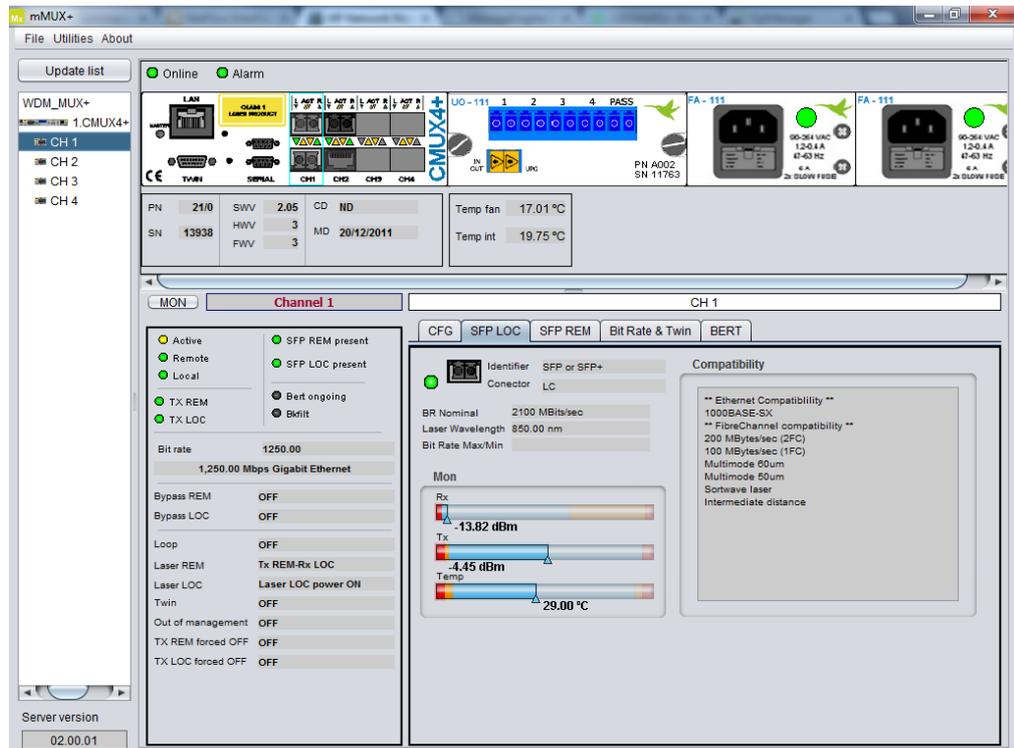


Figura 3.17 Potencia del Canal 1 del lado de los servidores

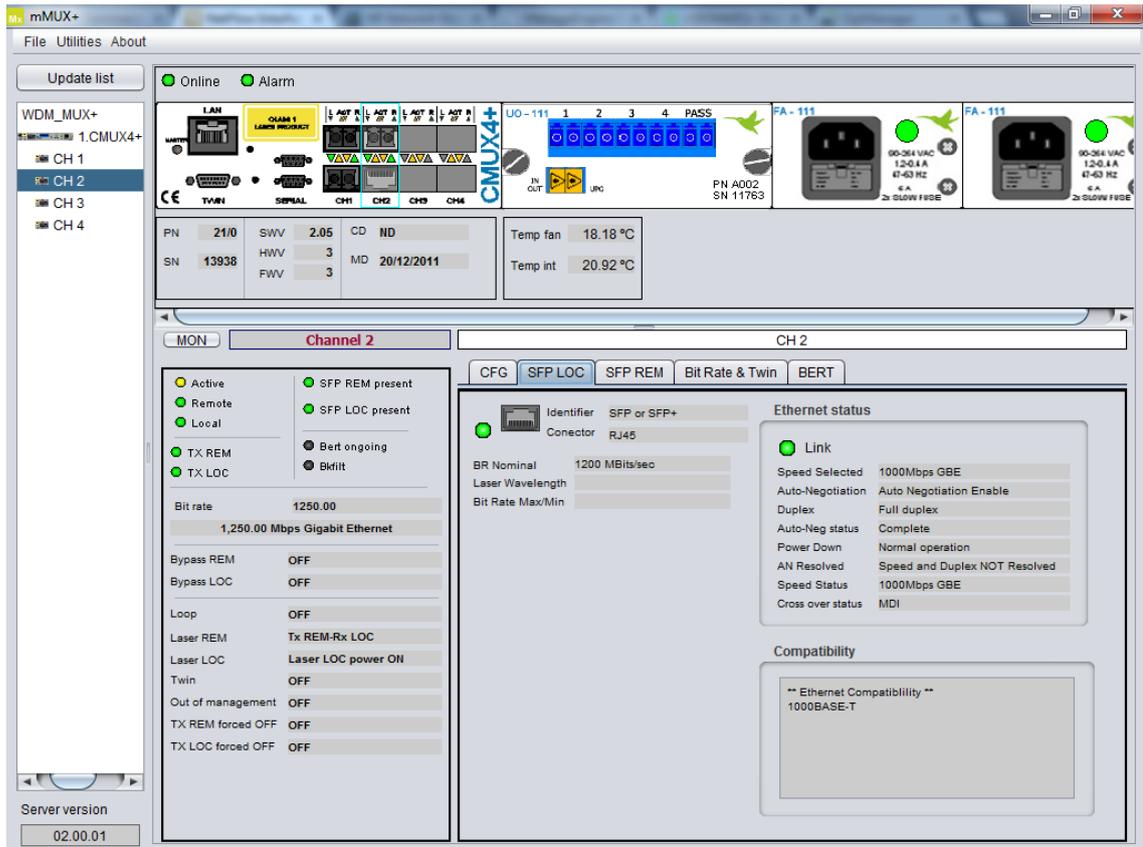


Figura 3.18 Potencia del Canal 2 del lado de los servidores

3.3.2 CENTRO DE DATOS RESPALDO – RENIEC JAVIER PRADO 2392 SAN BORJA

Se observan los resultados de la operatividad de los siguientes equipos en dicha sede:

3.3.1.1 X_MUX4+

Se muestra en los siguientes gráficos que el canal 1 y 2 están activos y también con su potencia de transmisión y recepción entre el multiplexor y los servidores.

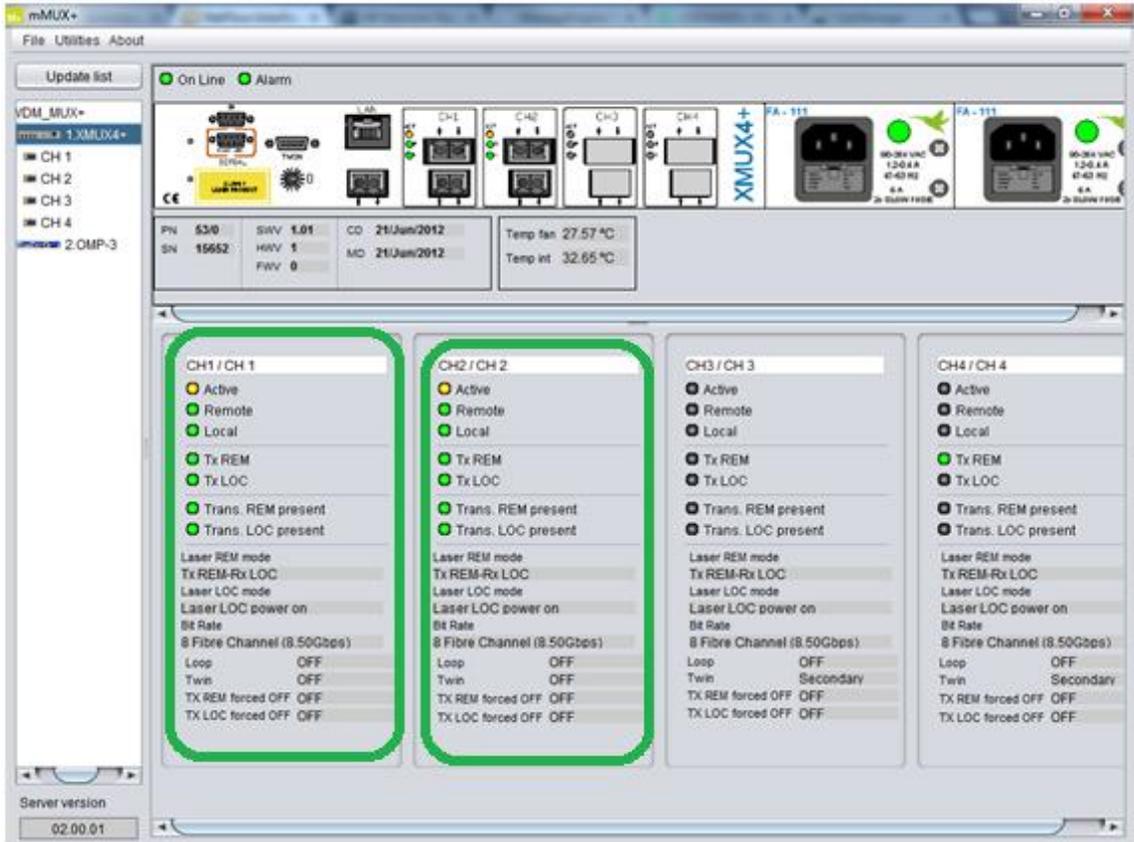


Figura 3.19 Equipo XMUX está operativo en funcionamiento de Canal 1 y 2.

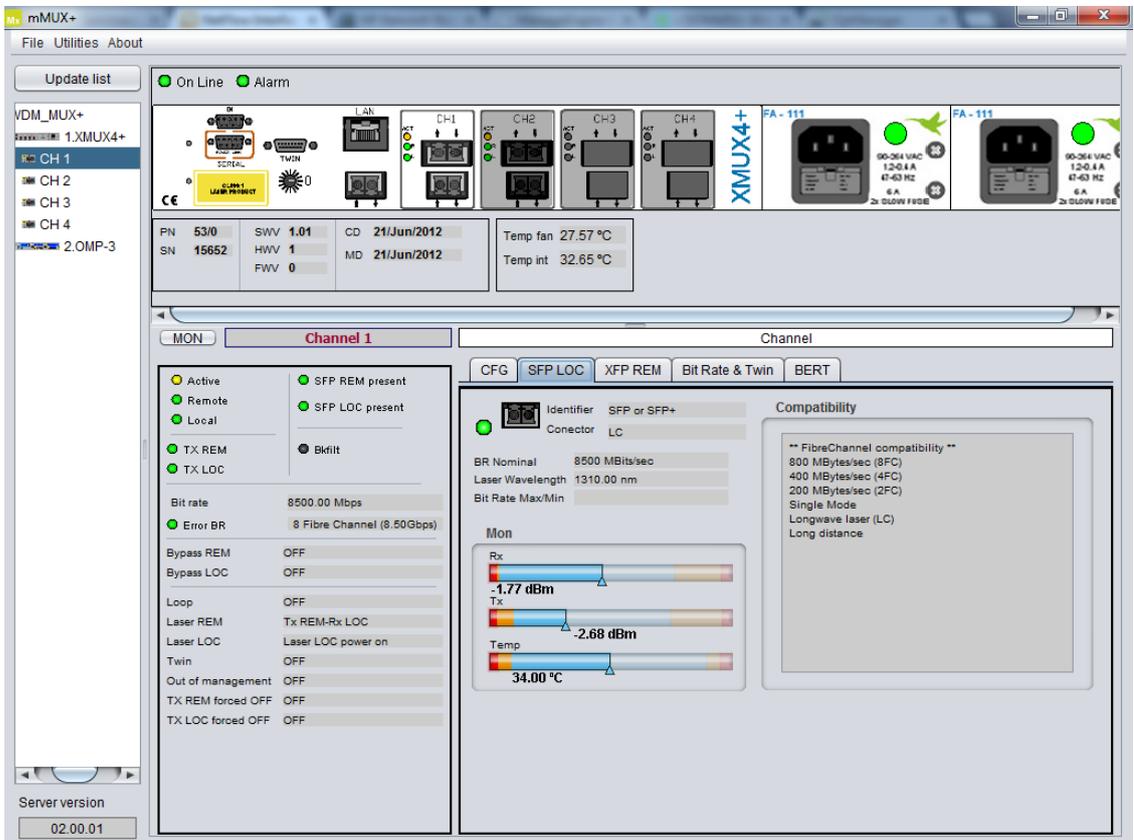


Figura 3.20 Potencia del Canal 1 del lado de los servidores

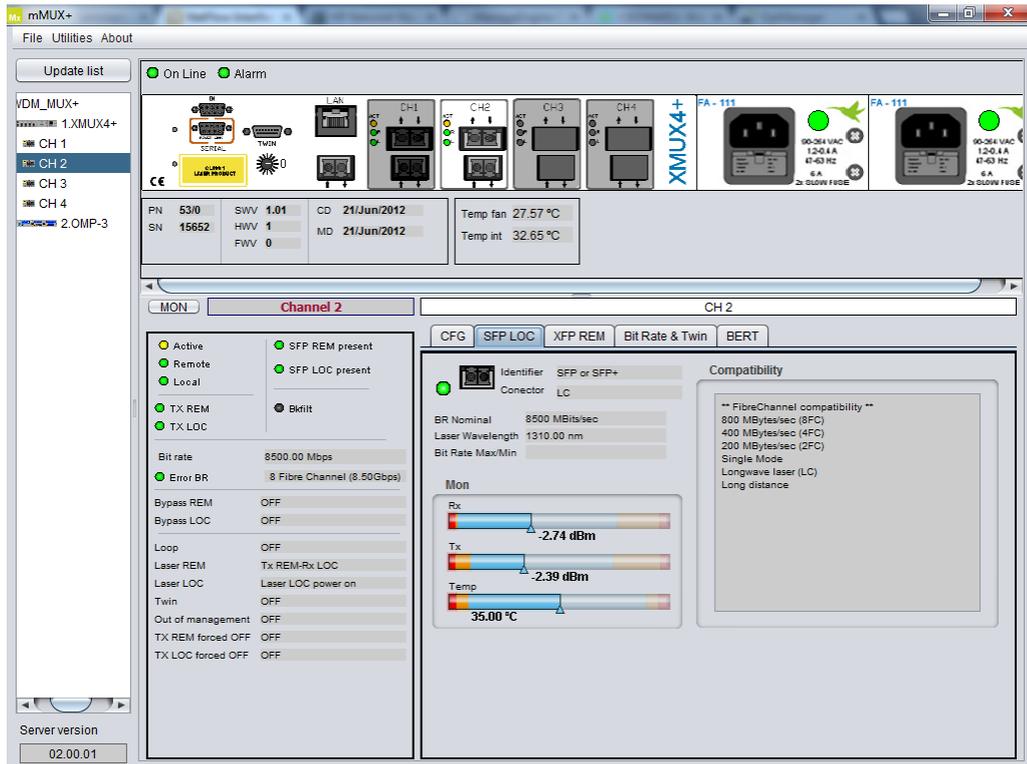


Figura 3.21 Potencia del Canal 2 del lado de los servidores

3.3.1.2 C_MUX4+

Se muestra en los siguientes gráficos que el canal 1 y 2 están activos y también con su potencia de transmisión y recepción entre el multiplexor y los servidores.

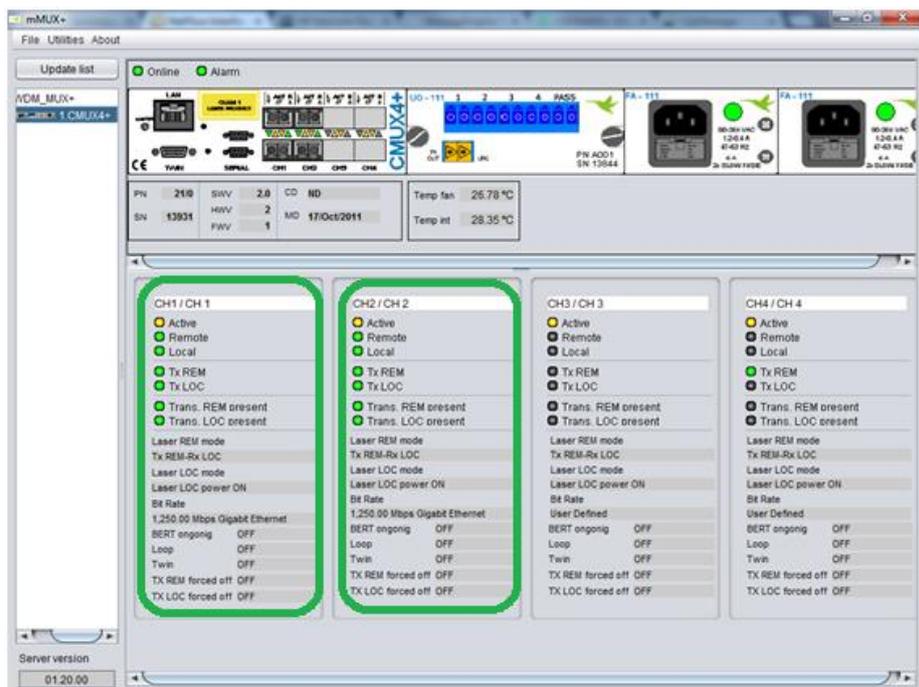


Figura 3.22 Equipo CMUX está operativo en funcionamiento de Canal 1y2.

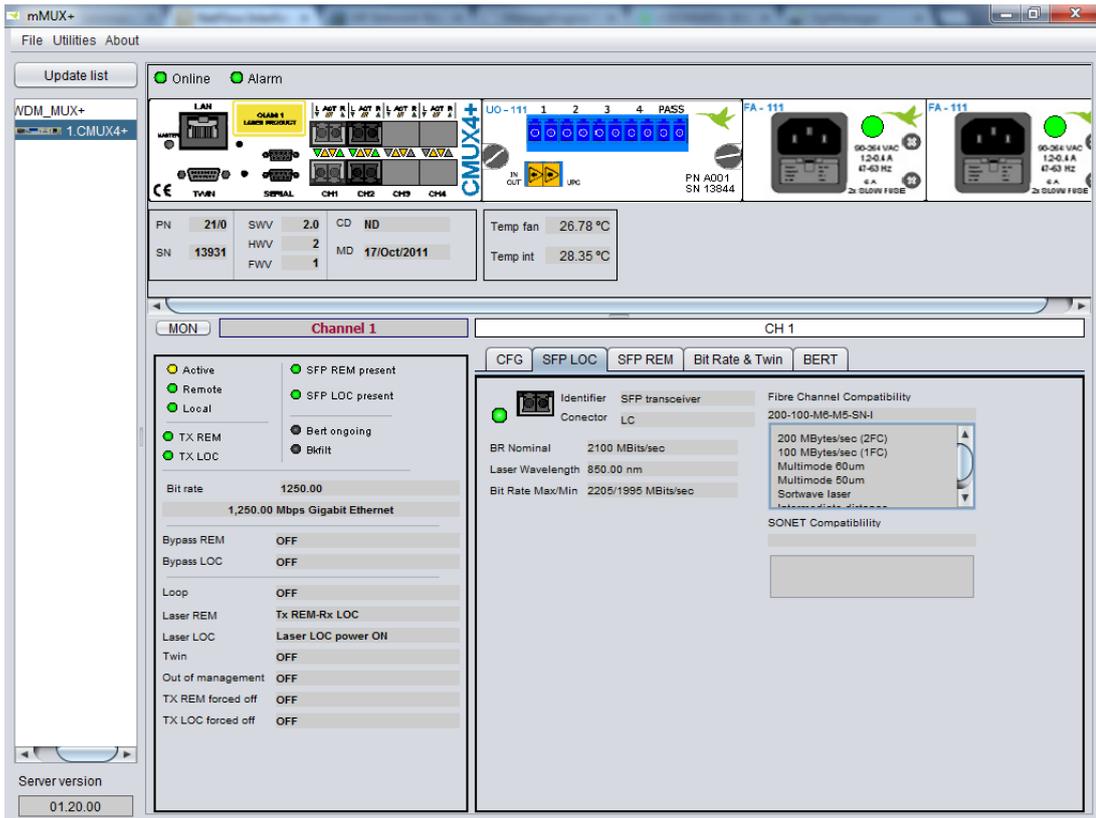


Figura 3.23 Potencia del Canal 1 del lado de los servidores

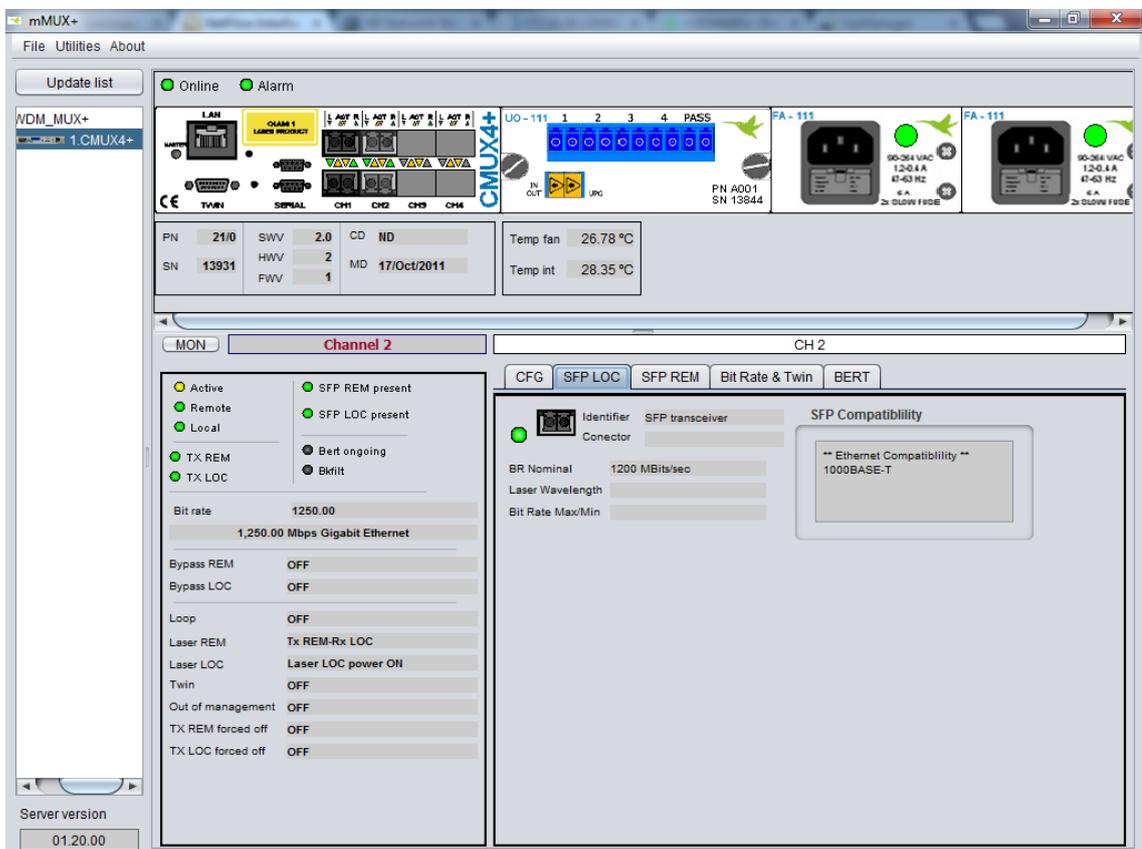


Figura 3.24 Potencia del Canal 2 del lado de los servidores

Así mismo en lo siguiente observamos las potencias de transmisión y recepción entre los multiplexores.



Figura 3.25 Potencia de transmisión y recepción del Centro de Datos Principal (Sede Cusco)

Centro de Datos de Respaldo (San Borja)

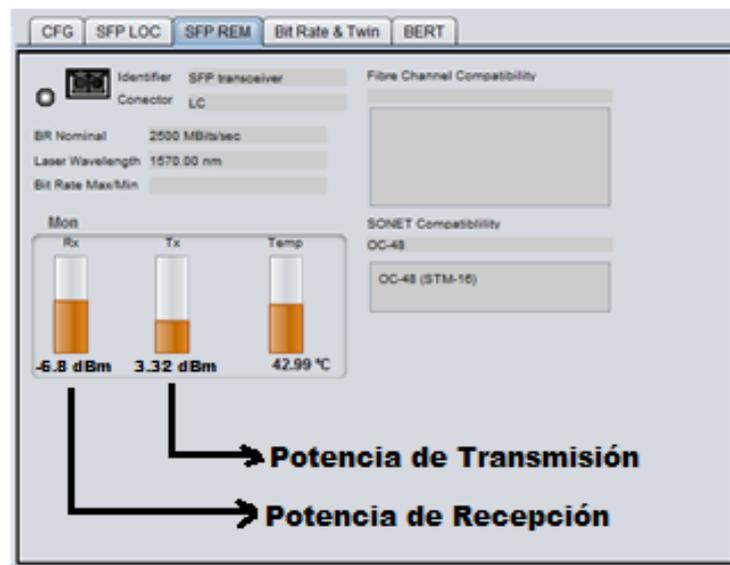


Figura 3.26 Potencia de transmisión y recepción del Centro de Datos Respaldo (Sede San Borja)

Se concluye que dichas potencias radiadas cumplen con los diseños realizados, las potencias de recepción son mayores a la potencia de sensibilidad donde el demultiplexor lo detectará sin ningún problema.

CONCLUSIONES

1. La Implementación del proyecto para interconectar dos Centro de Datos con los equipos CWDM y el desarrollo de las pruebas finales en las que se verifica la correcta operación de cada uno de los enlaces implementados. Estas pruebas resultaron exitosas y el servicio ha quedado habilitado para transportar tráfico por un periodo de 5 años renovables. Se puede decir que se ha cumplido los objetivos propuestos, los enlaces de interconexión de las interfaces FibreChannel (8Gbps) y Gigabit Ethernet (1Gbps) operando correctamente y transportado tráfico sin pérdidas de sincronía y con una tasa de error BER de $10 e^{-22}$.
2. La tecnología usada: CWDM es una tecnología que permitió el transporte de estos servicios involucrados en este proyecto, usando un solo par de hilo de fibra óptica, permitiendo así la optimización de los recursos de planta externa que implemento el servicio además de optimizar los costos del proyecto.
3. Por otro lado se puede decir que la tecnología CWDM de Fibernet con sus equipos multiplexores X-MUX y C-MUX puede transportar las interfaces antes mencionados independientemente del protocolo y de la velocidad de de transmisión. Los protocolos son configurados por software conjuntamente con las velocidades de transmisión (Bit Rate) asignadas a cada uno de ellos. Las dos interfaces Gigabit Ethernet equivalente a 2 Gbps, mientras que las dos interfaces FibreChannel equivalen a 16 Gbps y en total sumarian 18 Gbps.
4. El sistema de multiplexores de fibernet poseen un módulo de gestión integrado que permite tener monitoreo remoto de cada multiplexor vía http, lo cual facilita a administración local y remota del sistema implementado, adicionalmente el módulo de gestión posee una lista grande de MIB's que permite ser integrado a cualquier otra plataforma de gestión vía SNMP.
5. Las pruebas realizadas con el sistema de protección (configurado en modo de conmutación automática) resultaron exitosas. La ruta primaria posee una longitud de 6.5 Km con una atenuación de 6.33 dB. Se verificó que si la ruta primaria es afectada se activa la ruta secundaria en un tiempo menor a 50ms, sin pérdida de información.

RECOMENDACIONES

1. Se recomienda la implementación de la tecnología CWDM para redes metropolitanas porque pueden utilizar la infraestructura de fibra óptica ya instalada.
2. Implementación de la tecnología CWDM para transportar diferentes tipos de interfaces debido a su gran calidad costo – beneficio.
3. En Continuar investigando los dispositivos que se emplean en CWDM para el mejoramiento de esta tecnología y aumentar el ancho de banda del enlace.
4. Se recomienda gestionar y monitorear los multiplexores para tener en conocimiento los eventos al instante remotamente para dar un mejor servicio.
5. Se recomienda tener un sistema de protección para prever problemas de ruptura de fibra óptica y tener una segunda ruta sin que se pierdan la información.

BIBLIOGRAFÍA

1. Recomendación ITU -- G 671 SERIE G: CARACTERÍSTICAS DE TRANSMISIÓN DE COMPONENTES ÓPTICOS Y SUBSISTEMAS. Publicaciones ITU. Estados Unidos: Octubre, 2012.
2. Recomendación ITU -- G 694.1 SERIE G: Plan de frecuencias con multiplexación por división de longitud de onda densa. Publicaciones ITU. Estados Unidos: Octubre, 2012.
3. Recomendación ITU -- G 694.2 SERIE G: Plan de multiplexación por división aproximada de longitud de onda. Publicaciones ITU. Estados Unidos: Octubre, 2003.
4. Recomendación ITU -- G 695 SERIE G: SISTEMAS Y MEDIOS DE TRANSMISIÓN, SISTEMAS Y REDES DIGITALES, Interfaces ópticas para aplicaciones de multiplexación por división aproximada de longitud de onda, publicaciones ITU. Estados Unidos: Diciembre, 2010.
5. Recomendación ITU -- G 652 SERIE G: SISTEMAS Y MEDIOS DE TRANSMISIÓN, SISTEMAS Y REDES DIGITALES, Características de las fibras y cables ópticos monomodo. Publicaciones ITU. Estados Unidos: Diciembre, 2009.

ANEXOS

ANEXO 1A: Fibra óptica oscura de las 2 rutas



Descripción del Producto

La fibra óptica monomodo AllWave® de pico de agua cero de OFS es la primera fibra de espectro completo de la industria, diseñada para sistemas ópticos de transmisión que operan en el espectro completo de longitud de onda desde 1260 nm hasta 1625 nm. Desde 1998 OFS ha comercializado miles de millones de metros de fibra óptica AllWave a empresas en todo el mundo. AllWave es la fibra monomodo estándar de OFS que ofrece rendimientos, confiabilidad y calidad inigualables. Esta fibra óptica establece las pautas de la industria, y mantiene su liderazgo con especificaciones que no sólo son totalmente compatibles con los estándares ITU-T G.652 para fibras ópticas monomodo, sino que además exceden los requerimientos del estándar ITU-T G.652.D para fibras monomodo de bajo pico de agua.

Antes de que la fibra óptica AllWave fuera lanzada al mercado, los sistemas se limitaban a operar en la banda O (ventana de 1310 nm) o en las bandas C y L (1530 nm a 1625 nm). Desde 1998, con la llegada de AllWave, la banda E (ventana de 1400 nm) está disponible para expandir la capacidad de las redes ópticas a un costo razonable. Esto se debe a un proceso de fabricación patentado por OFS que anula en forma definitiva el defecto de pico de agua para asegurar una pérdida baja y estable en la banda de 1400 nm en toda la vida útil del cable. La fibra óptica AllWave ofrece la pérdida más baja de todas las fibras ópticas de bajo pico de agua que están disponibles comercialmente en todo el mundo.

Características Geométricas:

Geometría del Vidrio:

Diámetro de revestimiento de la fibra óptica	125,0 ± 0,7 µm
Error de concentricidad núcleo/revestimiento	≤ 0,5 µm, ≤ 0,2 µm típico
No circularidad del revestimiento	≤ 1,0%
Pérdida por empalme típica (de fibra AllWave a fibra AllWave)	< 0,02 dB

Geometría del Recubrimiento Externo:

Diámetro del recubrimiento (con color)	245 - 260 µm
Error de concentricidad del recubrimiento y revestimiento	≤ 12 µm

Longitud:

Las longitudes de la fibra se pueden cortar según especificaciones particulares del cliente

Longitudes estándar de los carretes	12,6, 25,2, 37,8 y 50,4 km
-------------------------------------	----------------------------

Características de la mejor fibra monomodo del mundo :

- **Totalmente compatible** con todos los estándares internacionales para fibra óptica monomodo convencional.
- La **pérdida óptica más baja** en su clase en el espectro desde 1260 nm hasta 1625 nm. (Por favor ver Tabla 1).
- La ausencia de defectos de envejecimiento por hidrógeno asegura **confiabilidad de atenuación a largo plazo** a través de toda la banda de longitud de onda (1260 – 1625 nm).
- **Un 50% de aumento en el espectro óptico utilizable** que soporta CWDM de 16 canales y DWDM.
- El más riguroso control de geometría para la **pérdida de empalme más baja** y un mejor rendimiento de empalme.
- **PMD de fibra ultrabaja** que permite mejoras en velocidad y distancia.
- **Confiabilidad, rendimiento ambiental y resistencia a la retirada del recubrimiento inigualables**, provistos por el recubrimiento DLux®, líder en la industria.
- Protegida por **patentes** de OFS en EE.UU. y patentes equivalentes en el resto del mundo.

PMD:

Dispersión del Modo de Polarización:

Valor de Diseño de Enlace de PMD de la Fibra	≤ 0,06 ps/√km
Máxima Fibra Individual	≤ 0,1 ps/√km
PMD típico para LMC, Fibra	≤ 0,02 ps/√km

Características de Transmisión:

Atenuación (Fibra Optica no Cableada)

El máximo coeficiente de atenuación (pérdida) se puede especificar de la siguiente forma:

Longitud de onda (nm)	Atenuación (dB/km)	
	Máxima	Típica
1310	0,34	0,32
1383	0,31	0,28
1550	0,21	0,19
1625	0,24	0,20

Atenuación en función de la Longitud de Onda

Rango (nm)	Referencia (nm) λ	α
1285-1330	1310	0,03
1360-1480	1385	$\pm 0,04$
1525-1575	1550	0,02
1460-1625	1550	0,04

La atenuación en un rango de longitud de onda determinado no excede la atenuación de la longitud de onda de referencia (λ) en un valor mayor que α

Cambios en Atenuación en el Pico de Agua

El coeficiente de atenuación de la fibra no cableada en el pico de absorción de OH^- (1383 ± 3 nm) tras la exposición a hidrógeno es $\leq 0,31$ dB/km y $\leq 0,28$ dB/km generalmente. El ensayo simula envejecimiento por hidrógeno a largo plazo en cables instalados.

Atenuación de la Macrocurvatura

La máxima atenuación con curvatura no supera los valores especificados bajo las siguientes condiciones de tendido:

Condiciones de Tendido	Longitud de Onda	Atenuación Inducida
1 vuelta, diámetro 32 mm (1,2 pulg.)	1550 nm	$\leq 0,05$ dB
100 vueltas, diámetro 50 mm (2 pulg.)	1310 nm 1550 nm	
100 vueltas, diámetro 60 mm (2,4 pulg.)	1550 nm 1625 nm	

Discontinuidad Puntual

No hay atenuación por discontinuidades puntuales mayores que 0,05 dB a 1310 nm o 1550 nm.

Dispersión Cromática

Longitud de onda con dispersión cero (λ_0)	1302-1322 nm
Longitud de onda con dispersión cero típica	1312 nm
Máxima pendiente de dispersión (S_0) a λ_0	0,090 ps/nm ² -km
Pendiente de dispersión típica	0,087 ps/nm ² -km

Diámetro del Campo de Modo

A 1310 nm	$9,2 \pm 0,4$ μm
A 1550 nm	$10,4 \pm 0,5$ μm

Longitud de Onda Corta

Longitud de onda corta del cable (λ_c)	≤ 1260 nm
--------------------------------------------------	----------------

Características Ambientales:

Temperatura de Operación -60°C a $+85^\circ\text{C}$

Atenuación en Función de la Temperatura:

Atenuación inducida a 1310, 1550 & 1625 nm de -60°C a $+85^\circ\text{C}$ $\leq 0,05$ dB/km

Temperatura y Ciclo de Humedad

Atenuación inducida a 1310, 1550 & 1625 nm de -10°C a $+85^\circ\text{C}$ y 95% de humedad relativa $\leq 0,05$ dB/km

Inmersión en Agua a 23°C

Atenuación inducida a 1310, 1550 & 1625 nm debido a inmersión en agua a $23 \pm 2^\circ\text{C}$ $\leq 0,05$ dB/km

Envejecimiento Acelerado (Temperatura), 85°C

Atenuación inducida a 1310, 1550 & 1625 debido a envejecimiento acelerado a $85 \pm 2^\circ\text{C}$ $\leq 0,05$ dB/km

Ensayo del Espectro Completo y Garantía de Rendimiento

Características Mecánicas:

Nivel de Prueba: 0,7 GPa (100 kpsi)

Resistencia a la Carga Dinámica:

La resistencia media a la tracción de muestras no envejecidas con una longitud calibrada a 0,5 metros es: $\geq 3,8$ GPa (550 kpsi)

Fuerza para Retirar el Recubrimiento:

La fuerza para retirar en forma mecánica el doble recubrimiento es: $\geq 1,3$ N (0,3 lbf) y $< 8,9$ N (2,0 lbf)

Fuerza para Extraerlo (Adhesión del recubrimiento a la superficie de vidrio):

La fuerza para extraerlo: $> 6,2$ N (1,4 lbf) y $< 22,2$ N (4,9 lbf)

Otros Parámetros Característicos:

Índice Efectivo Grupal de Refracción:

1310 nm	1,466
1550 nm	1,467

Parámetro Dinámico de Fatiga (Nd): > 20

Coefficiente Rayleigh de Retrodispersión (pulsos de 1 μs de ancho):

1310 nm	-79,6 dB
1550 nm	-82,1 dB

Peso por Unidad de Longitud: 64 gramos/km

ANEXO 1B: Multiplexor C_MUX+4

Arquitectura CMUX4+
Multiplexor WDM



CMUX4+

El CMUX4+ es un multiplexor WDM que permite multiplexar hasta cuatro canales digitales de hasta 4,25 Gbps para ser transmitidos entre dos nodos remotos a través de una única fibra.

Características

- Hasta 4 lambdas CWDM por enlace de fibra
- Ampliación hasta 16 lambdas C / DWDM por enlace de fibra mediante la concatenación de equipos
- Regeneración 2R / 3R
- Coste de espaciado físico de 1U (incluido el multiplexor óptico pasivo)
- Acceso total a través del panel frontal del equipo
- Redundancia de fuentes de alimentación y módulos de ventilación
- Bajo consumo de potencia
- Instalación sencilla, puesta en marcha inmediata
- Topologías punto a punto, punto a multipunto, estrella, bus, anillo, mallada
- Redundancias 1+1 y 1:1
- Gran variedad de funciones de operación: BERT local y remoto, bucles, medidas de potencia, etc.
- Interfaz gráfica de usuario (GUI) completa para operar con el sistema vía HTTPS
- Gestión a través de SNMPv2, compatible con cualquier plataforma SNMP
- Gestión Local

Aplicaciones.

- Extensión SDH / SONET
- Extensión redes SAN y Gigabit Ethernet
- Módulo Add / Drop para topologías en anillo
- Regeneración de longitudes de onda

Información Técnica.

PROTOCOLOS SOPORTADOS	
ESCON	
FDDI	
Ethernet	
GigabitEthernet	
Fiber Channel / FICON (1, 2, 4 Gbps)	
SDH (STM-1, STM-4, STM-16)	
OC-1, OC-3, OC-24, OC-48	
Infiniband	
INTERFAZ DE USUARIO	
SFP 850 / 1310 / 1550 nm	
Transceiver SX	
Potencia de salida mínima	-9 dBm
Potencia de salida máxima	-2,5 dBm
Sensibilidad a la entrada (10^{-12})	-15 dBm
Sobrecarga a la entrada (10^{-12})	0 dBm
Alcance máximo (2,5 / 4,25 Gbps)	70 / 150 Km



ELEMENTOS DE LA ARQUITETURA	
Unidad principal	
Fuentes de alimentación redundadas	
Sistema de ventilación redundado	
Unidad óptica	
Unidad de gestión. Agente de monitorización, LOG local, agente SNMP	
OSC. Canal de servicio con configuración en banda o fuera de banda	

Transceiver LX	
Potencia de salida mínima	-8 dBm
Potencia de salida máxima	-3 dBm
Sensibilidad a la entrada (10^{-12})	-3 dBm
Sobrecarga a la entrada (10^{-12})	-3 dBm
Alcance máximo (2,5 / 4,25 gbps)	2 / 5 Km.
INTERFAZ DE LÍNEA	
SFP CWDM / DWDM sintonizables	
Alcance máximo	50 / 80 Km
Bandas S, C y L (1470 – 1610 nm)	
Espaciamiento	2,5 THz (ITU.T G.694.2)
Potencia mínima de salida	-5 dBm
Potencia máxima de salida	6 dBm
Sensibilidad a la entrada (10^{-12})	-28 dBm
Sobrecarga a la entrada (10^{-12})	-3 dBm

SOFTWARE DE GESTIÓN	
Acceso a gestión vía SSH	
Acceso a gestión vía HTTPS	
Gestión y monitorización vía SNMP	
Integración SNMP en distintas plataformas de gestión (Castlerock, Spectrum, Tivoli...)	
CONDICIONES AMBIENTALES EN TIEMPO DE OPERACIÓN	
Temperatura de operación normal	0, 40 °C
Temperatura de operación extendida	-5, 55 °C
Temperatura de almacenamiento	-20, 80°C
ALIMENTACIÓN	
DC	-48 Vcc, -24 Vcc
AC	110 - 220 Vac
CARACTERÍSTICAS MECÁNICAS	
432,8 x 43,6 x 230 mm	

ANEXO 1C: AXGT-R1x4-05yz1000BASE-T and 10/100/1000 BASE-T Copper SFP Transceiver



AXGT-R1x4-05yz 1000BASE-T and 10/100/1000BASE-T Copper SFP Transceiver



Product Overview

The electrical Small Form Factor Pluggable (SFP) transceiver module is specifically designed for the high performance integrated full duplex data link at 1.25Gbps over four pair Category 5 UTP. The transceiver module is compliant with the SFP MultiSource Agreement (MSA) and IEEE802.3:2002. With the hot pluggability, the module offers a flexible and easy way to be installed into SFP MSA compliant ports at any time without the interruption of the host equipments operating online.

The 1000BASE-T electrical SFP transceivers use an integrated RJ-45 connector with transformer and PHY IC. The link length is up to 100m over four pair Category 5 UTP cabling

Features

- Small Form Factor Pluggable (SFP) MSA Compliant,
- Compatible with IEEE 802.3:2002
- Compatible with 1000BASE-X and 1000BASE-T auto-negotiation
- Auto-detect MDI/MDI-X
- 10/100/1000BASE-T operation in host system with SGMII interface
- Link length up to 100m at 1.25Gbps with four pair Category 5 UTP cabling
- Internal PHY IC is configurable by host system via I²C interface
- Single 3.3V power supply operation and low power dissipation

Applications

- Gigabit Ethernet over Cat 5 cable
- Switch to switch SerDes interface
- Switch to switch SGMII interface
- Switched backplane application

General Specifications

Parameter	Symbol	Min.	Typ.	Max.	Unit	Note
Data Rate	DR	10		1000	Mb/sec	1
Bit Error Rate	BER			10 ⁻¹⁰		

Notes:

1. 10/100/1000 BASE-T operation requires an SGMII interface with no clocks in the host system. With a SERDES interface that does not support SGMII, the module will operate at 1000BASE-T only.

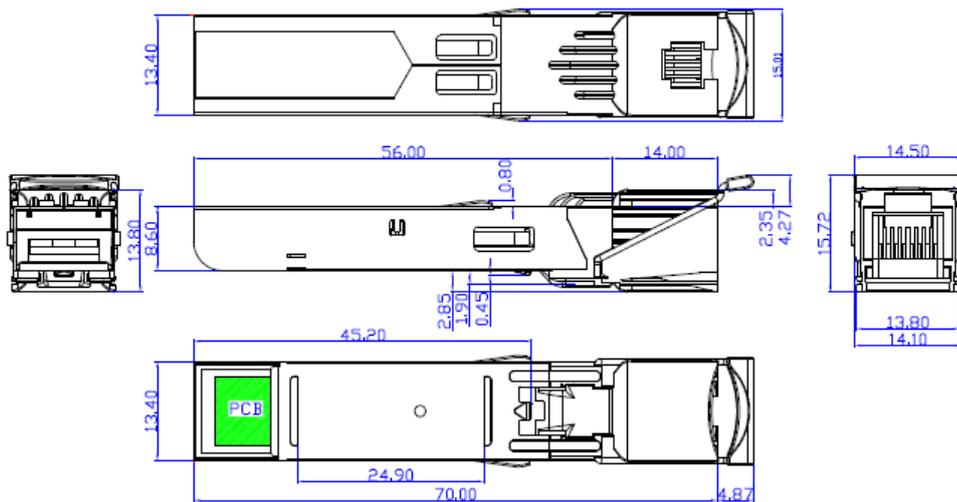
High-Speed Electrical Interface, Host to SFP

Parameter	Symbol	Min.	Typ.	Max.	Unit	Note
TD+, TD- Input Voltage Swing	Vin+ Vin-	250		1200	mV	2
RD+, RD- Output Voltage Swing	Vout+ Vout-	250		800	mV	2
Rise Time (Receiver)	t _r		180	250	ps	1
Fall Time (Receiver)	t _f		180	250	ps	1
Tx Input Impedance	Zin		50		Ohm	2
Rx Output Impedance	Zout		50		Ohm	2

Notes:

1. 20% to 80% value
2. Single ended

Mechanical Dimensions (Units in mm)



* DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS
 * ALL DIMENSIONS ARE ±0.10mm
 UNLESS OTHERWISE SPECIFIED

High-Speed Electrical Interface, Cable to SFP

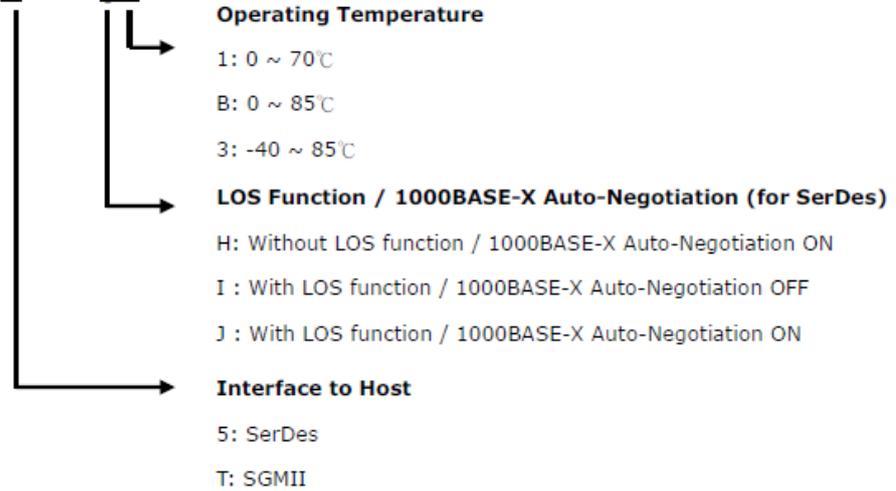
Parameter	Symbol	Min.	Typ.	Max.	Unit	Note
Transmission Frequency	ft		125		MHz	1
Tx Output Impedance	Zout.Tx		100		Ohm	2
Rx Output Impedance	Zin.Rx		100		Ohm	2

Notes:

1. 4D-PAM-5 encoding per IEEE802.3: 2002
2. Differential for frequencies ranging from 1MHz to 125MHz

Ordering Information

AXGT-R1x4-05yz



Model No.	Speed Mode	MAC Interface	Auto-Negotiation Enable by default (1000 BASE -X) *2	Link Indicator on RX_LOS pin	Temp.
AXGT-R154-05H1	1000Mbps *1	SERDES	Yes	No	0~70°C
AXGT-R154-05HB	1000Mbps *1	SERDES	Yes	No	0~85°C
AXGT-R154-05H3	1000Mbps *1	SERDES	Yes	No	-40~85°C
AXGT-R154-05I1	1000Mbps *1	SERDES	No	Yes	0~70°C
AXGT-R154-05IB	1000Mbps *1	SERDES	No	Yes	0~85°C
AXGT-R154-05I3	1000Mbps *1	SERDES	No	Yes	-40~85°C
AXGT-R154-05J1	1000Mbps *1	SERDES	Yes	Yes	0~70°C
AXGT-R154-05JB	1000Mbps *1	SERDES	Yes	Yes	0~85°C
AXGT-R154-05J3	1000Mbps *1	SERDES	Yes	Yes	-40~85°C
AXGT-R1T4-05I1	10/100/1000Mbps	SGMII	Yes	Yes	0~70°C
AXGT-R1T4-05IB	10/100/1000Mbps	SGMII	Yes	Yes	0~85°C
AXGT-R1T4-05I3	10/100/1000Mbps	SGMII	Yes	Yes	-40~85°C

*** NOTE:**

- 10/100/1000 BASE -T operation requires the host system to have an SGMII interface with no clocks, and the module PHY to be configured by the host system. With a SERDES interface that does not support SGMII, the module will operate at 1000BASE-T only.
- 1000 BASE-T auto-negotiation is always activated.

ANEXO 1D: HFBR-5720AL/5720ALP

HFBR-5720AL/5720ALP

Giga Channel 2.125/1.0625 GBd 850 nm Small Form Pluggable
 Low Voltage (3.3 V) Extended Temperature and Extended
 Operating Voltage ($V_{CC} \pm 10\%$, Temperature -20 to 85° C)
 Optical Transceiver



Data Sheet

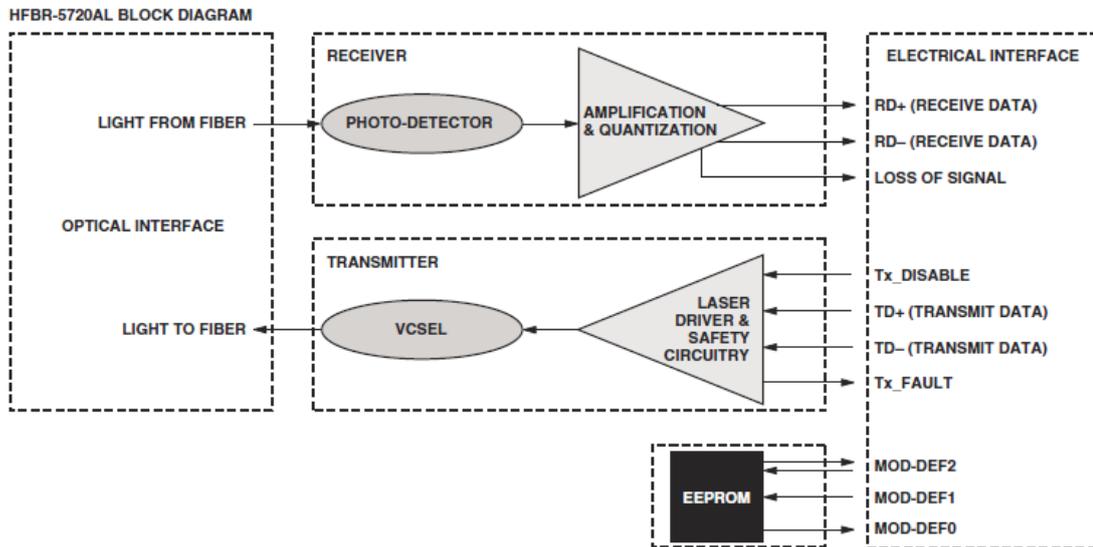


Figure 1. Transceiver functional diagram.

Table 1. Absolute Maximum Ratings

Parameter	Symbol	Minimum	Typical	Maximum	Unit	Notes
Storage Temperature	T_S	-40		100	°C	Note 1
Case Temperature	T_C	-40		85	°C	Note 1, 2
Relative Humidity	RH	5		95	%	Note 1
Module Supply Voltage	$V_{CC,T,R}$	-0.5		4.0	V	Note 1
Data/Control Input Voltage	V_I	-0.5		$V_{CC}+0.3$	V	Note 1
Sense Output Current – LOS, TX Fault	I_D			150	mA	Note 1
	MOD DEF 2	I_D		5.0	mA	Note 1

Notes:

1. Absolute Maximum Ratings are those values beyond which damage to the device may occur if these limits are exceeded for other than a short period of time. See Reliability Data Sheet for specific reliability performance.
2. Between Absolute Maximum Ratings and the Recommended Operating Conditions functional performance is not intended, device reliability is not implied, and damage to the device may occur over an extended period of time.

Table 2. Recommended Operating Conditions

Parameter	Symbol	Minimum	Typical	Maximum	Unit	Notes
Case Temperature	T _C	-20		85	°C	Note 1
Module Supply Voltage	V _{CC,T,R}	2.97	3.3	3.63	V	Note 1
Data Rate			1.0625 2.125		Gb/s	Note 1

Notes:

1. Recommended Operating Conditions are those values outside of which functional performance is not intended, device reliability is not implied, and damage to the device may occur over an extended period of time. See Reliability Data Sheet for specific reliability performance.

Table 3. Transceiver Electrical Characteristics (T_C = -20° C to 85° C, V_{CC,T,R} = 3.3 V ± 10%)

Parameter	Symbol	Minimum	Typical	Maximum	Unit	Notes
AC Electrical Characteristics						
Power Supply Noise Rejection (Peak-to-Peak)	PSNR		100		mV	Note 1
DC Electrical Characteristics						
Module Supply Current	I _{CC}		133	200	mA	
Power Dissipation	P _{DISS}		440	726	mW	
Sense Outputs:						
Transmit Fault (TX_FAULT), Loss of Signal (LOS), MOD-DEF 2	V _{OH} V _{OL}	2.0		V _{CC,T,R} + 0.3 0.8	V V	Note 2
Control Inputs:						
Transmitter Disable (TX_DISABLE) MOD-DEF 1, 2	V _{IH} V _{IL}	2.0 0		V _{CC,T,R} 0.8	V V	Note 3

Notes:

1. MSA filter is required on host board 10 Hz to 2 MHz.
2. LVTTTL external 4.7 – 10 KΩ pull-up resistor required.
3. LVTTTL, external 4.7 – 10 KΩ resistor required for MOD-DEF 1 and MOD-DEF 2.

Table 4. Transmitter and Receiver Electrical Characteristics (T_C = -20° C to 85° C, V_{CC,T,R} = 3.3 V ± 10%)

Parameter	Symbol	Minimum	Typical	Maximum	Unit	Notes
Data Input:						
Transmitter Differential Input Voltage (TD +/-)	V _I	400		2400	mV	Note 1
Data Output:						
Receiver Differential Output Voltage (RD +/-)	V _O	400	735	2000	mV	Note 2
Contributed Deterministic Jitter (Receiver) 2.125 Gb/s	DJ			0.1 47	ps UI	Note 3, 6
Contributed Deterministic Jitter (Receiver) 1.0625 Gb/s	DJ			0.12 113	ps UI	Note 3, 6
Contributed Random Jitter (Receiver) 2.125 Gb/s	RJ			0.162 76	ps UI	Note 4, 6
Contributed Random Jitter (Receiver) 1.0625 Gb/s	RJ			0.098 92	ps UI	Note 4, 6
Receive Data Rise & Fall Times (Receiver)	T _{rf}			250	ps	Note 5

Notes:

1. Internally AC coupled and terminated (100 Ohm differential). These levels are compatible with CML and LVPECL voltage swings.
2. Internally AC coupled with an external 100 Ohm differential load termination.
3. Contributed DJ is measured on an oscilloscope in average mode with 50% threshold and K28.5 pattern.
4. Contributed RJ is calculated for 1 x 10⁻¹² BER by multiplying the RMS jitter (measured on a single rise or fall edge) from the oscilloscope by 14. Per the FC-PI standard (Table 13 – MM Jitter Output, note 1), the actual contributed RJ is allowed to increase above its limit if the actual contributed DJ decreases below its limits, as long as the component output DJ and TJ remain within their specified FC-PI maximum limits with the worst case specified component jitter input.
5. 20% – 80% Rise and Fall times measured with a 500 MHz signal utilizing a 1010 data pattern.
6. In a network link, each component's output jitter equals each component's input jitter combined with each component's contributed jitter. Contributed DJ adds in a linear fashion and contributed RJ adds in a RMS fashion. In the Fibre Channel FC-PI Rev 11 specification "6.3.3 MM Jitter Budget" section, there is a table specifying the input and output DJ and TJ for the receiver at each data rate. In that table, RJ is found from TJ – DJ where the Rx input jitter is noted as Gamma R and the Rx output jitter is noted as Delta R. Our component contributed jitter is such that, if the maximum specified input jitter is present, and is combined with our maximum contributed jitter, then we meet the specified maximum output jitter in the FC-PI MM jitter specification table.

Table 5. Transmitter Optical Characteristics ($T_C = -20^\circ\text{C}$ to 85°C , $V_{CC,T,R} = 3.3\text{V} \pm 10\%$)

Parameter	Symbol	Minimum	Typical	Maximum	Unit	Notes
Output Optical Power (Average)	P_{OUT}	-10	-6.3	-1.5	dBm	50/125 μm NA = 0.2
	P_{OUT}	-10	-6.2	-1.5	dBm	62.5/125 μm NA = 0.275
Optical Extinction Ratio	ER		9		dB	
Optical Modulation Amplitude (Peak-to-Peak) 2.125 Gb/s	OMA	196	392		μW	FC-PI Std Note 1
Optical Modulation Amplitude (Peak-to-Peak) 1.0625 Gb/s	OMA	156	350		μW	FC-PI Std Note 2
Center Wavelength	λ_C	830		860	nm	FC-PI Std
Spectral Width – rms	σ			0.85	nm	FC-PI Std
Optical Rise/Fall Time	$T_{rise/fall}$			150	ps	20%–80%, FC-PI Std
$RIN_{12}(\text{OMA})$, maximum	RIN			-117	dB/Hz	FC-PI Std
Contributed Deterministic Jitter (Transmitter) 2.125 Gb/s	DJ			0.12	UI	Note 3, 5
				56	ps	
Contributed Deterministic Jitter (Transmitter) 1.0625 Gb/s	DJ			0.09	UI	Note 3, 5
				85	ps	
Contributed Random Jitter (Transmitter) 2.125 Gb/s	RJ			0.134	UI	Note 4, 5
				63	ps	
Contributed Random Jitter (Transmitter) 1.0625 Gb/s	RJ			0.177	UI	Note 4, 5
				167	ps	
P_{OUT} TX_DISABLE Asserted	POFF			-35	dBm	

Notes:

1. An OMA of 196 is approximately equal to an average power of -9 dBm assuming an Extinction Ratio of 9 dB.
2. An OMA of 156 is approximately equal to an average power of -10 dBm assuming an Extinction Ratio of 9 dB.
3. Contributed DJ is measured on an oscilloscope in average mode with 50% threshold and K28.5 pattern.
4. Contributed RJ is calculated for 1×10^{-12} BER by multiplying the RMS jitter (measured on a single rise or fall edge) from the oscilloscope by 14. Per the FC-PI standard (Table 13 – MM Jitter Output, note 1), the actual contributed RJ is allowed to increase above its limit if the actual contributed DJ decreases below its limits, as long as the component output DJ and TJ remain within their specified FC-PI maximum limits with the worst case specified component jitter input.
5. In a network link, each component's output jitter equals each component's input jitter combined with each component's contributed jitter. Contributed DJ adds in a linear fashion and contributed RJ adds in a RMS fashion. In the Fibre Channel FC-PI Rev 11 specification "6.3.3 MM Jitter Budget" section, there is a table specifying the input and output DJ and TJ for the receiver at each data rate. In that table, RJ is found from $TJ - DJ$ where the Rx input jitter is noted as Gamma R and the Rx output jitter is noted as Delta R. Our component contributed jitter is such that, if the maximum specified input jitter is present, and is combined with our maximum contributed jitter, then we meet the specified maximum output jitter in the FC-PI MM jitter specification table.

Table 7. Transceiver Timing Characteristics ($T_C = -20^\circ\text{C}$ to 85°C , $V_{CC,T,R} = 3.3\text{V} \pm 10\%$)

Parameter	Symbol	Minimum	Maximum	Unit	Notes
TX Disable Assert Time	t_{off}		10	μs	Note 1
TX Disable Negate Time	t_{on}		1	ms	Note 2
Time to Initialize, including Reset of TX_FAULT	t_{init}		300	ms	Note 3
TX Fault Assert Time	t_{fault}		100	μs	Note 4
TX Disable to Reset	t_{reset}	10		μs	Note 5
LOS Assert Time	t_{loss_on}		100	μs	Note 6
LOS De-assert Time	t_{loss_off}		100	μs	Note 7
Serial ID Clock Rate	F_{serial_clock}		100	kHz	

Notes:

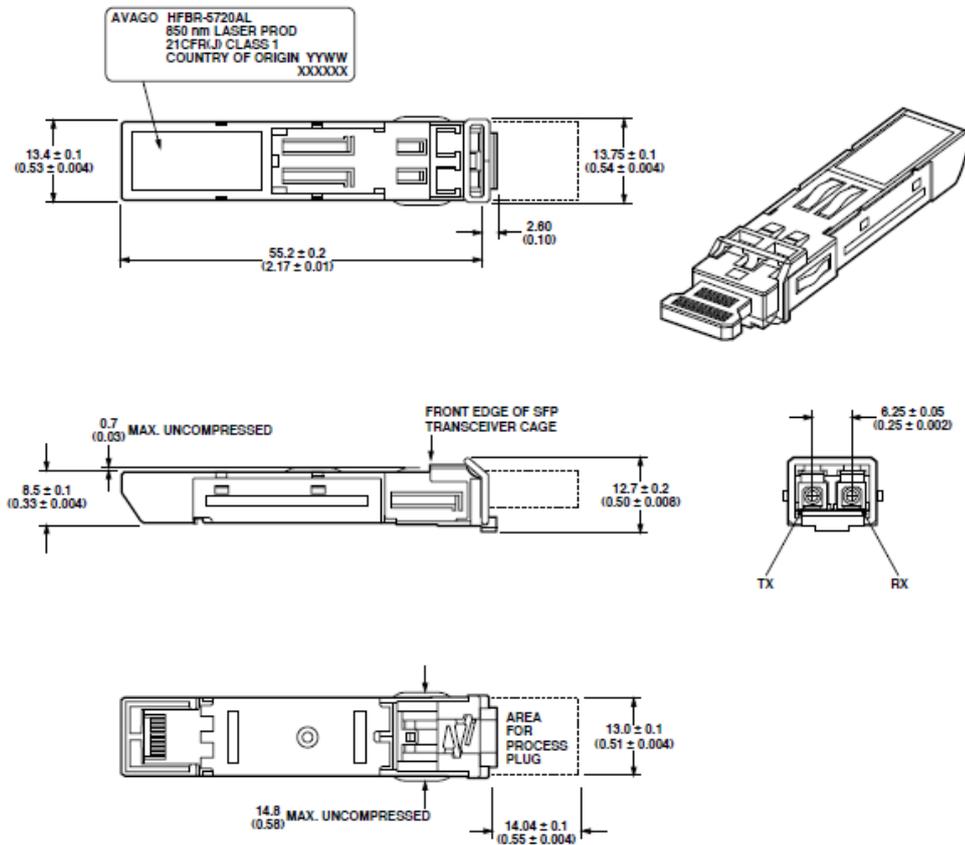
1. Time from rising edge of Tx Disable to when the optical output falls below 10% of nominal.
2. Time from falling edge of Tx Disable to when the modulated optical output rises above 90% of nominal.
3. From power on or negation of Tx Fault using Tx Disable.
4. Time from fault to Tx fault on.
5. Time Tx Disable must be held high to reset Tx_Fault.
6. Time from LOS transition to Rx LOS assert per Figure 6.
7. Time from non-LOS transition to Rx LOS deassert per Figure 6.

Table 6. Receiver Optical Characteristics ($T_C = -20^\circ\text{C}$ to 85°C , $V_{CC,T,R} = 3.3\text{V} \pm 10\%$)

Parameter	Symbol	Minimum	Typical	Maximum	Unit	Notes
Optical Power	PIN			0	dBm	FC-PI Std
Min. Optical Modulation Amplitude (Peak-to-Peak) 2.125 Gb/s	OMA	49	16		μW	FC-PI Std Note 1
Min. Optical Modulation Amplitude (Peak-to-Peak) 1.0625 Gb/s	OMA	31	18		μW	FC-PI Std Note 2
Stressed Receiver Sensitivity (OMA) 2.1255 Gb/s		96	33		μW	50 μm fiber, FC-PI Std
		109	25		μW	62.5 μm fiber, FC-PI Std Note 3
Stressed Receiver Sensitivity (OMA) 1.0625 Gb/s		55	19		μW	50 μm fiber, FC-PI Std
		67	16		μW	62.5 μm fiber, FC-PI Std Note 4
Return Loss		12			dB	FC-PI Std
Loss of Signal – Assert	P_A	-31		-17.5	dBm	Note 5
Loss of Signal – De-assert	P_D			-17.0	dBm	Note 5
Loss of Signal Hysteresis	$P_D - P_A$	0.5	2.3	5	dB	

Notes:

1. An OMA of $49\ \mu\text{W}$ is approximately equal to an average power of $-15\ \text{dBm}$, and the OMA typical of $16\ \mu\text{W}$ is approximately equal to an average power of $-20\ \text{dBm}$, assuming an Extinction Ratio of 9 dB. Sensitivity measurements are made at eye center with a BER = $10\text{E}-12$.
2. An OMA of 31 is approximately equal to an average power of $-17\ \text{dBm}$ assuming an Extinction Ratio of 9 dB.
3. 2.125 Gb/s Stressed receiver vertical eye closure penalty (ISI) min. is 1.26 dB for 50 μm fiber and 2.03 dB for 62.5 μm fiber. Stressed receiver DCD component min. (at TX) is 40 ps.
4. 1.0625 Gb/s Stressed receiver vertical eye closure penalty (ISI) min. is 0.96 dB for 50 μm fiber and 2.18 dB for 62.5 μm fiber. Stressed receiver DCD component min. (at TX) is 80 ps.
5. These average power values are specified with an Extinction Ratio of 9 dB. The loss of Signal circuitry responds to OMA (peak to peak) power, not to average power.



DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS (INCHES)

ANEXO 1E: X_MUX+4

Arquitectura XMUX4+

Multiplexor WDM



XMUX4+

El XMUX 4+ es un multiplexor WDM que permite agrupar hasta cuatro canales en el entorno de 8 ó 10 Gbps y transmitirlos, integrados en una única señal óptica, a través de una sola fibra que une dos nodos remotos.

Características

- Hasta 4 lambdas CWDM por enlace de fibra.
- Ampliación hasta 16 lambdas C / DWDM por enlace de fibra mediante la concatenación de equipos.
- Regeneración 2R / 3R.
- Coste de espaciado físico de 1U.
- Acceso total a través del panel frontal del equipo.
- Redundancia de fuentes de alimentación y módulos de ventilación.
- Bajo consumo de potencia.
- Instalación sencilla, puesta en marcha inmediata.
- Topologías punto a punto, punto a multipunto, estrella, bus, anillo, mallada.
- Redundancias 1+1 y 1:1.
- Gran variedad de funciones de operación: BERT local y remoto, bucles, medidas de potencia, etc.
- Interfaz gráfica de usuario (GUI) completa para operar con el sistema via HTTPS.
- Gestión a través de SNMPv2, compatible con cualquier plataforma SNMP.
- Gestión Local.

Aplicaciones.

- Extensión SDH / SONET
- Extensión redes SAN y Gigabit Ethernet.
- Módulo Add / Drop para topologías en anillo.
- Regeneración de longitud de onda.
- Servicios de longitud de onda y acceso óptico metropolitano superpuestos.
- Agregación de servicios de cliente de 10Gbps dentro de longitudes de onda WDM en áreas metropolitanas, regionales y de largo alcance de manera rentable.

Arquitectura XMUX4+ Multiplexor WDM



Información Técnica.

PROTOSCOLOS SOPORTADOS	Velocidad binaria
OC-192/STM-64	9.953 Gbps
10 G Ethernet WAN PHY	9.953 Gbps
10 G Ethernet LAN PHY	10.312 Gbps
10 G Fibre Channel	10.52 Gbps
8.5 G Fibre Channel	8.5 Gbps
OC-192 con G.709 FEC	10.709 Gbps
Infiniband SDR/DDR	2.5/5 Gbps
Velocidad binaria customizada	9.95 - 11.7 Gbps

INTERFAZ DE USUARIO	
SFP+	
Transceiver SX	
Potencia de salida mínima	-10 dBm
Potencia de salida máxima	-4 dBm
Sensibilidad a la entrada (10 ⁻¹²)	-7,5 dBm
Sobrecarga a la entrada (10 ⁻¹²)	0 dBm
Alcance máximo	25 Km
Transceiver LX	
Potencia de salida mínima	-8 dBm
Potencia de salida máxima	-3 dBm
Sensibilidad a la entrada (10 ⁻¹²)	-14 dBm
Sobrecarga a la entrada (10 ⁻¹²)	-3 dBm
Alcance máximo (2,5 / 4,25 gbps)	10 Km
INTERFAZ DE LÍNEA	
XFPs sintonizables	
Alcance máximo	-40 / 80 Km
Banda C (1528-1565)	
Espaciamiento	100 Ghz (ITU.T G.692)
Potencia de salida	0 dBm
Sensibilidad a la entrada (10 ⁻¹²)	-24 dBm

ELEMENTOS DE LA ARQUITETURA	
Unidad principal	
Fuentes de alimentación redundadas	
Sistema de ventilación redundado	
Unidad de gestión. Agente de monitorización, LOG local, agente SNMP	
OSC. Canal de servicio con configuración en banda o fuera de banda	
SOFTWARE DE GESTIÓN	
Acceso a gestión vía SSH	
Acceso a gestión vía HTTPS	
Gestión y monitorización vía SNMP	
Integración SNMP en distintas plataformas de gestión (Castlerock, Spectrum, Tivoli...)	
CONDICIONES AMBIENTALES EN TIEMPO DE OPERACIÓN	
Temperatura de operación normal	0, 40 °C
Temperatura de operación extendida	-5, 55 °C
Temperatura de almacenamiento	-20, 80°C
ALIMENTACIÓN	
DC	-48 Vcc, -24 Vcc
AC	110 - 220 Vac
CARACTERÍSTICAS MECÁNICAS	
432,8 x 43,6 x 230 mm	

ANEXO 1F: JSH-85L3AX1-10 Series



OPTICAL COMMUNICATIONS

8.5 G Fibre Channel Compliant SFP+ 1310 nm Limiting Transceiver JSH-85L3Ax1-10 Series



- Key Features**
- Compliant with 8 G Fibre Channel (FC) link specifications
 - FC compatible operation at 4 and 2 G without using rate select
 - Uses a highly reliable, 1310 nm distributed-feedback laser
 - Lead-free and RoHS 6/6-compliant, with allowed exemptions
 - Commercial case operating temperature of 0 – 70°C; extended temperature operation up to 85°C
 - Single 3.3 V power supply
 - Low power consumption (typically 695 mW)
 - Bit error rate <math>< 1 \times 10^{-12}</math>
 - 6G OBSAI/CPRI compliant

Applications

- High-speed storage area networks
 - Switches and hubs
 - Network interface cards
 - Mass storage systems
 - Host bus adapters
- Computer cluster crossconnect systems
- Wireless backhaul

Compliance

- SFF 8431 Revision 3.2
- SFF 8432 Revision 5.0
- SFF 8472 Revision 10.3
- CPRI Version 4.1
- OBSAI RP03-01
- FCC Class B
- ESD Class 2 per MIL-STD 883 Method 3015
- UL 94, V0
- Reliability tested per Telcordia GR-468

The lead-free and RoHS-compliant small form factor pluggable (SFP+) transceiver from JDSU improves the performance for 8 Gigabit Fibre Channel (8GFC) applications, and is ideal for high-speed, storage area network applications. This transceiver features a highly reliable, distributed-feedback (DFB) laser coupled to an LC optical connector. The transceiver is fully compliant to the FC-PI-4 800-SM-LC-L variant and is compatible with 400-SM-LC-L and 200-SM-LC-L variants. It is fully compatible with SFP+ specifications at 8.5 G, 4.25 G and 2.125 G bit rates, with internal AC coupling on both transmit and receive data signals. The all-metal housing design provides low EMI emissions in demanding 8.5 G applications and conforms to IPF specifications. An enhanced digital diagnostic feature set allows for real-time monitoring of transceiver performance and system stability, and the serial ID allows for customer and vendor system information to be stored in the transceiver. Transmit disable, loss-of-signal, and transmitter fault functions are also provided. The small size of the transceiver allows for high-density system designs that, in turn, enable greater total bandwidth.

Power Supply Filter Component Values

Component	Option A	Option B	Units
L1, L2	1.0	4.7	μH
Rx, Ry	0.5*	0.5*	Ω
C1, C5	10	22	μF
C2, C3, C4	0.1	0.1	μF
C6	Not required	22	μF

Notes:

Option A is recommended for use in applications with space constraints. Power supply noise must be less than 100 mV_{r-p}.

Option B is used in the module compliance board in SFF-8431.

*If the total series resistance of L1+C6 and L2+C5 exceeds the values of Rx and Ry in the table, then Rx and Ry can be omitted.

Absolute Maximum Ratings

Parameter	Symbol	Ratings	Unit
Storage temperature	T_{ST}	-40 to +95	°C
Operating case temperature	T_C	-40 to +85	°C
Relative humidity	RH	5 – 95 (non-condensing)	%
Transmitter differential input voltage	V_D	2.5	$V_{R,P}$
Power supply voltage	V_{CC}	0 to +4.0	V

Note:
Absolute maximum ratings represent the damage threshold of the device.
Damage may occur if the device is subjected to conditions beyond the limits stated here.

Operating Conditions

Part Number	Temperature Rating	Unit
JSH-85L3AA1-10	0 – 70	°C
JSH-85L3AB1-10	-20 – 85	°C

Note:
Performance is not guaranteed and reliability is not implied for operation at any condition outside these limits.

Electrical Characteristics

Parameter	Symbol	Min.	Typical	Max.	Unit	Notes
Supply voltage	V_{CC}	3.14	3.3	3.47	V	All electrical and optical specifications valid within this range
Power consumption	P_{dis}		695	1000	mW	
Data rate		2.125	8.5	8.501	Gbps	BER < 1×10^{-12}
Supply current	I_{CC}			288	mA	Total EOL module current, $I_{CC,T} + I_{CC,R}$
Transmitter						
Common mode voltage tolerance	ΔV	30			mV_{rms}	
Data input deterministic jitter	DJ			0.17	UI(p-p)	JSPAT pattern, δ_r , BER < 1×10^{-12} , at 8.5 Gbps (Note 1)
Data input total jitter	TJ			0.31	UI	JSPAT, δ_r , at 8.5 Gbps (Note 1)
Input data dependent pulse width shrinkage	DDPWS			0.11	UI (p-p)	JSPAT, δ_r , at 8.5 Gbps (Note 1)
Eye mask	X1 X2 Y1 Y2	90		0.155 0.5 350	UI UI mV mV	Reference FC-PI-4 Revision 8.0, Figure 45
Transmit disable voltage levels	V_{IH} V_{IL}	2.0 -0.3		$V_{CC} + 0.3$ 0.8	V V	Laser output disabled after T_{TD} if input level is V_{IH} ; Laser output enabled after T_{TEN} if input level is V_{IL}
Transmit disable/enable assert time	T_{TD} T_{TEN}			100 2	μs ms	Laser output disabled after T_{TD} if input level is V_{IH} ; Laser output enabled after T_{TEN} if input level is V_{IL}
Transmit fault output levels	I_{OH} V_{OL}	-50 -0.3		+37.5 0.4	μA V	Fault level is I_{OH} and Laser output disabled T_{Fault} after laser fault. I_{OH} is measured with 4.7 k Ω load to V_{CC} host. V_{OL} is measured at 0.7 mA.
Transmit fault assert and reset times	T_{Fault} T_{Reset}	10		1	ms μs	Fault is V_{OL} and Laser output restored T_{INI} after disable asserted for T_{Reset} , then disabled.
Initialization time	T_{INI}			300	ms	After hot plug or $V_{CC} \geq 3.14$ V
Receiver						
Output common mode voltage				7.5	mV_{rms}	$R_{LOAD} = 25 \Omega$, common mode
Data output deterministic jitter	DJ			0.42	UI(p-p)	JSPAT, δ_r , at 8.5 Gbps (Note 1, 4)
Total jitter	TJ			0.71	UI(p-p)	JSPAT, δ_r , BER < 1×10^{-12} , at 8.5 Gbps (Note 1, 4)

Data dependent pulse width shrinkage	DDPWS		0.36	UI (p-p)	JSPAT, δ_a , at 8.5 Gbps (Note 1, 4)
Eye mask	X1		0.355	UI	Reference FC-PI-4 Revision 8.0, Figure 46
	Y1	200		mV	
Loss of signal levels	Y2		425	mV	
	I_{OH}	-50	+37.5	μA	LOS output level V_{OL} T_{LOSD} after light input > LOSD (Note 2)
Loss of signal assert/deassert time	V_{OL}	-0.3	0.4	V	LOS output level V_{OH} T_{LOSA} after light input < LOSA (Note 2)
	T_{LOSA}		100	μs	LOS output level V_{OL} T_{LOSD} after light input > LOSD (Note 2)
	T_{LOSD}		100	μs	LOS output level V_{OH} T_{LOSA} after light input < LOSA (Note 2)

Note: All high frequency measurements are made with the module compliance board as described in SFF8431

Optical Characteristics

Parameter	Symbol	Min.	Typical	Max.	Unit	Notes
Transmitter						
Wavelength	λ_e	1260	1310	1360	nm	
Side Mode Suppression Ratio	SMSR	30			dB	
Average optical power	P_{AVG}	-8.4		+0.5	dBm	
Optical modulation amplitude	OMA	-5.4			dBm	
OMA minus TDP	OMA-TDP	-7.0			dBm	
Extinction ratio	ER	3.5			dB	
Transmitter dispersion penalty	TDP			3.2	dB	(Note 3)
Relative intensity noise	RIN_{OMA}			-128	dB/Hz	12 dB reflection
Receiver						
Wavelength	λ	1260	1310	1360	nm	
Maximum input power	P_{max}	+0.5			dBm	
Sensitivity (OMA)				-13.8	dBm	At 8.5 Gb/s
Loss of signal assert/deassert level	LOSD (OMA)			-13.8	dBm	Chatter-free operation
	LOSA	-30			dBm	
Loss of signal hysteresis		0.5			dB	

2GFC and 4GFC Compatible Operation

Parameter	Symbol	Unit	JSH-85L3Ax-10 Series and 800-SM-LC-L (8GFC) Specification		FC-PI-4 Requirements 400-SM-LC-L (4GFC)		200-SM-LC-L (2GFC)		Compliant Operation	Compatible Operation
			Min.	Max.	Min.	Max.	Min.	Max.		
Transmitter										
Average optical power	P_{AVG}	dBm	-8.4	0.5	-8.4	-1	-11.7	-3	-	4GFC and 2GFC
Optical modulation amplitude	OMA	dBm	-5.4	-	-5.4	-	-8.7	-	4GFC	2GFC
Receiver										
Maximum input power	P_{max}	dBm	-	0.5	-	-1	-	-3	4GFC and 2GFC	-
Sensitivity (OMA)		dBm OMA	-	-13.8	-	-15.4	-	-18.2	-	4GFC and 2GFC
Loss of signal deassert level	LOSD	dBm OMA	-	-13.8	-	-15.4	-	-18.2	-	4GFC and 2GFC

Note: The JSH-85L3Ax1-10 transceiver is designed for operation at 8.5 Gb/s Fibre Channel rates on single-mode fiber links up to 10 km. The transceiver will operate at 4.25 Gb/s and 2.125 Gb/s Fibre Channel rates.

Link Length

Data Rate Standard	Fiber Type	Distance Range (m)	Notes
8.5 Gbd	SME, OS1 or OS2	2 – 10,000	4

PCB Layout

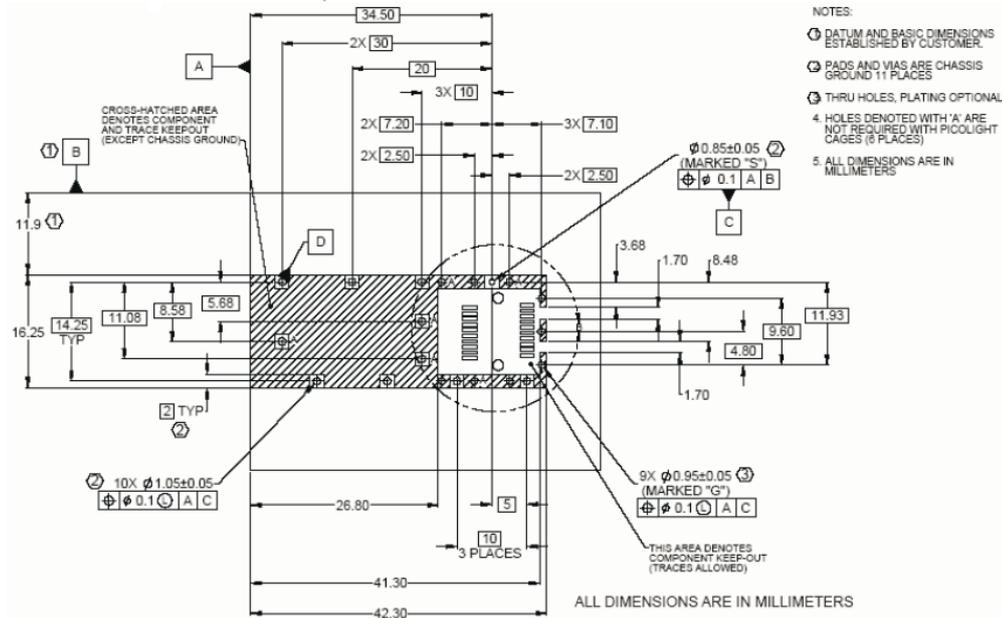


Figure 4 Board layout

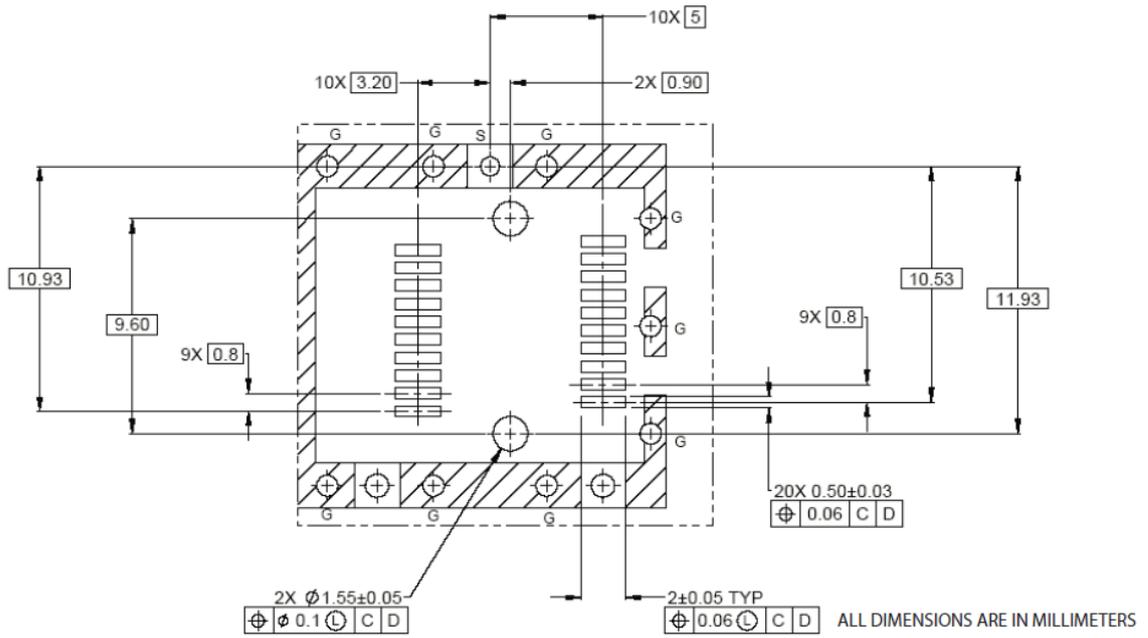
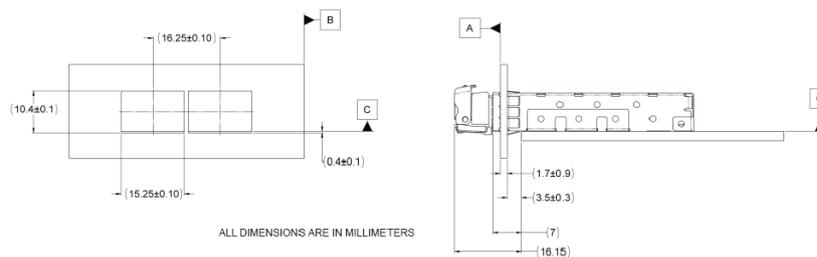


Figure 5 Detail layout

Front Panel Opening



ANEXO 1G: OSW-1

Arquitectura OSW
Switch Óptico

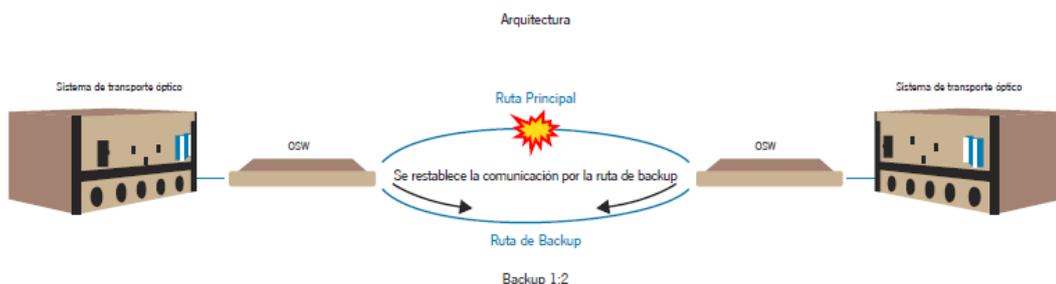


OSW

El OSW-1 es un conmutador óptico que proporciona protección de ruta entre dos nodos. Para ello es necesario disponer de dos rutas alternativas y diferentes entre los dos nodos. Esta redundancia permite el encaminamiento automático del sistema a través de la ruta alternativa o de backup en el caso de que la ruta principal quede interrumpida.

El conmutador óptico OSW-1 comprueba continuamente el estado de los dos trayectos de fibra (principal y secundario), de este modo ambos nodos pueden validar ambas rutas y realizar la conmutación sobre la ruta segura. Este módulo contribuye al aumento de estabilidad en operación de todos los canales conectados al equipo minimizando el tiempo de indisponibilidad de servicio ante un corte de fibra.

Cuando el conmutador OSW-1 detecta pérdida de continuidad óptica por la ruta activa (normalmente la ruta principal es la más corta) se produce la conmutación de todo el tráfico a la ruta alternativa si ésta se encuentra operativa, restableciéndose la transmisión en pocos milisegundos.



Especificaciones Técnicas OSW
Switch Óptico



Información Técnica.

PÉRDIDAS DE INSERCCIÓN	
≤ 1dB	
ESPECTRO ÓPTICO	
Bandas C y L (1527 - 1604 nm)	
TIEMPO DE CONMUTACIÓN	
< 50 ms	
PÉRDIDAS DE RETORNO	
> 30 dB	
VERIFICACIÓN DE RUTA	
Principal	SI
Backup	SI
CONDICIONES AMBIENTALES EN TIEMPO DE OPERACIÓN	
Temperatura de operación	5, 45 °C
Humedad	10, 90°C
ALIMENTACIÓN	
DC	-48 Vcc, -24 Vcc
AC	110 - 220 Vac
CONSUMO	
20 W	
CARACTERÍSTICAS MECÁNICAS	
432,8 x 45 x 165 mm	