

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA

FACULTAD DE INGENIERÍA ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA



**DISEÑO DE ENLACES DE ALTA CAPACIDAD DWDM PARA LARGAS
DISTANCIAS**

INFORME DE SUFICIENCIA

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO DE TELECOMUNICACIONES

PRESENTADO POR:

LUIS MIGUEL ACUÑA VILA

**PROMOCIÓN
2005 - I**

**LIMA – PERÚ
2009**

DISEÑO DE ENLACES DE ALTA CAPACIDAD DWDM PARA LARGAS DISTANCIAS

A mis padres por su gran corazón y capacidad de entrega, pero sobre todo por enseñarme a ser responsable.

SUMARIO

Conforme pasan los años, los enlaces de los diferentes servicios que se están implementando están requiriendo cada vez mayor capacidad de transmisión, por lo cual en los últimos años los enlaces de alta capacidad han sido una de las mayores motivaciones para la investigación y desarrollo de nuevas tecnologías y estándares. Por otro lado los servicios que se implementan requieren la comunicación o establecimiento de los enlaces a través de distancias muy largas, lo cual hace que los dispositivos, materiales o equipos que se solían utilizar no son los óptimos y no permiten cumplir con los requerimientos que se solicitan.

La tecnología conocida como Multiplexación por División de Longitud de Onda (WDM, por sus siglas en inglés), a pesar de existir desde hace varios años, es hoy en día uno de los temas de mayor interés dentro del área de infraestructuras de redes ópticas. En muchos países, en donde las redes de fibra óptica han evolucionado considerablemente, WDM se ha consolidado como una de las tecnologías favoritas, debido a las enormes ventajas que ofrece en la optimización del uso del ancho de banda.

En el presente informe se investigan, establecen y prueban los conceptos para el diseño y la implementación de enlaces DWDM para largas distancias y se estudia el enlace de Tacna a Arequipa como caso. Utilizando estos conceptos se podrán diseñar e implementar enlaces en redes DWDM que puedan brindar un buen rendimiento de acuerdo a los requerimientos. Se presentan técnicas prácticas para el dimensionamiento de los equipos y materiales a usar en la implementación de los enlaces.

INDICE

PROLOGO	1
CAPITULO I	
TEORÍA DE LAS REDES DWDM	3
1.1 Antecedentes de la Tecnología DWDM	3
1.1.1 Multiplexación por División de Espacio	3
1.1.2 Multiplexación por División de Tiempo	4
1.2 Teoría de la Multiplexación por División de Longitud de Onda Densa (DWDM)	5
1.3 Modos de Operación de los Equipos DWDM	7
1.3.1 Transmisión Bidireccional de dos Fibras	7
1.3.2 Transmisión Bidireccional de una Fibra	7
1.3.3 Adicionar y Quitar las Señales Ópticas (“ADD/DROP”)	8
1.4 Modos de Aplicación de la Tecnología DWDM	9
1.5 Ventajas de la Tecnología DWDM	9
1.6 Medio de Transmisión de la Tecnología DWDM	11
1.6.1 Estructura de la Fibra Óptica	11
1.6.2 Tipos de Fibra Óptica	12
1.6.3 Características Básicas de la Fibra Óptica	14
1.6.4 Tipos y Propiedades de los Cables de Fibra Óptica	17
1.7 Componentes Principales de la Tecnología DWDM	18
1.7.1 Láseres	18
1.7.2 Amplificador de Fibra Óptica Dopado de Erblio (EDFA)	22
1.7.3 Multiplexores y Demultiplexores DWDM	29
1.8 Características de las Redes DWDM	30
1.8.1 Tipos de Elementos de las Redes DWDM	30
1.8.2 Topologías de las Redes DWDM	34
1.8.3 Factores Principales en las Redes DWDM	35
CAPITULO II	
PLANTEAMIENTO DE INGENIERÍA DEL PROBLEMA	42
2.1 Descripción del Problema	42
2.2 Objetivos del Trabajo	43
2.3 Evaluación del Problema	43

2.3.1	Estimación de la Capacidad de los Servicios de Telecomunicaciones	45
2.3.2	Identificación de las Tecnologías de Redes de Transporte	46
2.3.3	Selección de la Red de Transporte	47
2.4	Limitaciones del Trabajo	47
CAPITULO III		
INGENIERÍA DEL PROYECTO DEL ENLACE TACNA – AREQUIPA		48
3.1	Situación Actual	48
3.2	Especificaciones Técnicas de los Componentes de las Redes DWDM	49
3.2.1	Bastidor	49
3.2.2	Tarjetas y Componentes	49
3.2.3	Tipos de Configuración de los Nodos	59
3.2.4	Topologías de la Red DWDM	61
3.3	Fórmulas para la Determinación de la Calidad del Enlace DWDM	62
3.3.1	Presupuesto de la Potencia (Atenuación)	62
3.3.2	Dispersión	64
3.3.3	Relación Señal a Ruido Óptico (OSNR)	66
3.4	Mediciones de la Calidad del Enlace DWDM	67
3.4.1	Medición del Canal Principal del Enlace DWDM	68
3.4.2	Medición del Canal de Supervisión Óptico (OSC)	72
3.4.3	Puntos de Medición de la Calidad del Sistema	73
3.5	Proceso para el Planeamiento y Diseño de la Red DWDM	74
3.6	Criterios para la Instalación de la Red DWDM	75
3.6.1	Proceso de Instalación	75
3.6.2	Requerimientos del Ambiente y Puesta a Tierra	76
3.6.3	Criterios de Instalación	76
3.7	Criterios para el Comisionamiento de la Red DWDM Instalada	77
3.7.1	Comisionamiento de una Sola Estación	78
3.7.2	Comisionamiento de la Ruta Principal	79
3.8	Operación y Mantenimiento de la Red DWDM	80
3.8.1	Precauciones Básicas en la Operación	80
3.8.2	Operación del Mantenimiento Básico del Equipamiento	81
3.8.3	Operación de Mantenimiento Básico Mediante el Sistema de Gestión	82
CAPITULO IV		
RESULTADOS DEL ENLACE TACNA – AREQUIPA		83
4.1	Situación Actual	83
4.2	Planeamiento y Diseño del Enlace	83

4.2.1	Mínima Información Requerida	83
4.2.2	Pasos del Diseño	85
4.2.3	Diagrama de Configuración de la Red Arequipa – Tacna	90
	CONCLUSIONES	91
	ANEXOS	93
	ANEXO A	
	Analizador de Red Óptico (Acterna ONT-50)	94
	BIBLIOGRAFÍA	99

PROLOGO

Está demostrado que las redes de telecomunicaciones hoy en día son un importante factor para el desarrollo de los pueblos y en el Perú no es diferente, vemos que tenemos que impulsar el crecimiento de las ciudades del interior del país con el objetivo de que las ciudades y los pueblos se desarrollen y aprovechen de forma más eficiente los recursos que tienen y también para que las personas y empresas puedan relacionarse con otros grupos lo cual ayudaría a impulsar su desarrollo. Las empresas operadoras de servicios de telecomunicaciones en todos los países del mundo se están enfrentando al desafío de realizar buenos dimensionamientos en sus redes con el objetivo de afrontar la demanda de servicios en el presente y también poder afrontarlos sin muchos cambios en el futuro próximo. Las empresas lo que quieren lograr es utilizar los recursos que cada una tienen de la mejor manera, haciéndolos rentables. El Perú no se escapa a esta tendencia y más aún con los requerimientos de los servicios de gran capacidad que en los últimos años se han demandado y que actualmente se están demandando. Para esto las actuales redes de transporte de grandes capacidades son consideradas muy importantes para soportar todo este crecimiento en los servicios de telecomunicaciones.

El presente informe es un trabajo de investigación y análisis de las redes de transporte de tecnología DWDM. El principal objetivo es dar a conocer los conceptos y las herramientas necesarias para la implementación de redes de transporte DWDM para largas distancias, para lo cual se usa como ejemplo práctico el diseño del enlace entre Tacna y Arequipa.

En el capítulo I se detalla la teoría de las redes DWDM, como surgieron este tipo de redes, cuales son sus características principales, los modos de operación y aplicación, las ventajas de la tecnología, el medio que utiliza para la transmisión y los componentes que utiliza este tipo de tecnología para su implementación.

En el capítulo II se muestra el planteamiento de la ingeniería del problema, donde se demuestra porque es importante realizar el enlace entre Tacna y Arequipa, cuales son las características que deben tener este enlace y las limitaciones y supuestos del trabajo.

En el capítulo III se desarrolla la solución del enlace de Tacna y Arequipa, para esto se detallan las especificaciones técnicas de los componentes de las redes DWDM, se muestran las fórmulas que se deben utilizar para determinar la calidad de los enlaces

DWDM, se explican que mediciones se deben realizar para medir la calidad de los enlaces DWDM, se describe el proceso que se debe seguir para el planeamiento y diseño de redes DWDM y los criterios que se deben considerar para la instalación de los equipos y componentes.

Finalmente, en el capítulo IV se muestran los resultados generados en el diseño del enlace de Tacna y Arequipa.

CAPITULO I TEORÍA DE LAS REDES DWDM

Los sistemas de transmisión de fibra óptica y la multiplexación por división de longitud de onda (WDM) han permitido un dramático incremento en el uso de la capacidad de los sistemas de una sola fibra. Este capítulo se encuentra enfocado en mostrar los conceptos fundamentales de la tecnología DWDM, por lo que se detallan las características principales de la tecnología y de los componentes de las redes DWDM. Además en este tipo de redes es fundamental el uso de las fibras ópticas como medio de transmisión por lo cual se muestra la estructura, características y tipos de las fibras ópticas que se pueden utilizar.

1.1 Antecedentes de la Tecnología DWDM

Con el dramático crecimiento de los servicios tradicionales y la aparición de nuevos servicios, especialmente el rápido cambio de la tecnología IP, la capacidad de la red inevitablemente siempre se está enfrentado a nuevos retos. En el futuro cercano las capacidades que se requerirán en los circuitos de las redes de transporte se encontrarán alrededor de los Terabit/s. Tradicionalmente los métodos para la transmisión de la red de capacidad adoptaban la multiplexación por división de espacio o multiplexación por división de tiempo.

1.1.1 Multiplexación por División de Espacio

La multiplexación por división de espacio expande la transmisión de capacidad añadiendo fibras y los equipos de transmisión son también añadidos linealmente. Actualmente, la fabricación de tecnología de fibra óptica ha madurado considerablemente. Los cables de fibra óptica con tendidos de núcleos están preferiblemente prevaleciendo y las técnicas avanzadas de conexión de fibra óptica simplifican la construcción de los cables. Sin embargo, el incremento de las fibras ópticas traerá mayores inconvenientes a la construcción y el mantenimiento de los circuitos en el futuro. Adicionalmente, si las líneas existentes de fibra óptica no tienen suficientes fibras y se requiere que se tienda nuevos cables de fibras para expandir la capacidad de la red, el costo de la ingeniería tendrá un incremento sustancial. Además, este método no utiliza eficientemente el ancho de banda de las fibras ópticas. Y no siempre es posible adicionar nuevos cables de fibra ópticas para expandir la capacidad durante la construcción de la red de comunicaciones. Actualmente, en la etapa inicial de los proyectos, es difícil predecir el crecimiento de la

demanda de los servicios para poder planificar el número de fibras ópticas a ser tendidas. Por consiguiente, el método de multiplexación por división de espacio para la expansión de la capacidad es prácticamente limitado.

1.1.2 Multiplexación por División de Tiempo

La multiplexación por división de tiempo es comúnmente usada como un método para la expansión de la capacidad, esto es multiplexando interfaces de la tecnología tradicional PDH o STM-1, STM-4, STM-16 y STM-64 de la tecnología SDH. La tecnología de multiplexación por división de tiempo puede mejorar la capacidad de la transmisión óptica y también reducir gratamente el costo de los circuitos en equipamiento y líneas. En adición, es fácil extraer señales digitales específicas de la información enviada en la trama a través de este método de multiplexación. Y especialmente es manejable para los requerimientos de las estrategias de protección para anillos.

Sin embargo, el método de multiplexación por división de tiempo tiene dos desventajas. Primero, afecta servicios. Un aumento de la velocidad de alto nivel requiere que se reemplace las interfaces de la red y de los equipos completamente. Así los equipos en operación deben ser interrumpidos durante el proceso del aumento de la velocidad en la red. Segundo, el incremento de la capacidad de la red carece de flexibilidad. Ponemos como ejemplo la tecnología SDH, cuando un sistema con una velocidad de línea de 155Mbit/s requiere proveer 2 canales de 155 Mbit/s, el único camino es incrementar el sistema a una capacidad mínima de 622Mbit/s aunque 2 de los 155Mbit/s no sean utilizados (tendríamos recursos no utilizados en nuestra red por el cual estamos pagando y no lo aprovechamos).

Para equipos con multiplexación de división de tiempo de altas velocidades, el costo es relativamente alto. Además, para los equipos de multiplexación de división de tiempo de 40Gbit/s han descubierto una limitación en la velocidad de los equipos electrónicos. Y también los efectos no lineales de velocidades por encima de los 10Gbit/s en diferentes tipos de fibra ponen varias limitaciones en la transmisión.

La multiplexación por división de tiempo es comúnmente usada como método para la expansión de la capacidad. Se puede implementar expansiones de la red a través de continuos sistemas de incrementos de velocidades. Cuando ciertos niveles de velocidades son logradas, otras soluciones deberán ser encontradas debido a las características limitantes de los equipos, líneas que están siendo usados.

Todas las redes de transmisiones básicas, independientemente usando multiplexación por división de espacio o multiplexación por división de tiempo, para expandir la capacidad adoptan tradicionalmente las tecnologías PDH o SDH, utilizando señales ópticas en una sola longitud de onda de transmisión. Este método de transmisión es un gran desgaste de la capacidad óptica porque el ancho de banda de las fibras

ópticas es casi infinitas comparadas con la longitud de onda de un solo canal comúnmente usado. Las personas que trabajamos con estas redes estamos preocupados acerca de la saturación de las redes, y también contar que se están desperdiciando grandes recursos de la red como mencionamos anteriormente.

La tecnología DWDM surge bajo estos antecedentes. Esta tecnología incrementa gratamente la capacidad de la red, hace un buen uso de los recursos del ancho de banda de las fibras ópticas y reduce la no utilización de los recursos de la red, por lo tanto la implementación de las redes con tecnología DWDM es una muy buena opción para redes que requieren grandes capacidades de transmisión.

1.2 Teoría de la Multiplexación por División de Longitud de Onda Densa (DWDM)

La tecnología DWDM utiliza el ancho de banda y la característica de la baja atenuación de las fibras ópticas monomodo, adopta múltiples longitudes de onda como transporte y permite transmitir las en la fibra simultáneamente.

Cuando se compara el sistema común de un solo canal, la tecnología DWDM gratamente incrementa la capacidad de la red y hace que se incremente el uso de los recursos de ancho de banda de las fibras ópticas. Además, DWDM tiene muchas ventajas como una expansión simple de la capacidad y un confiable rendimiento. Especialmente, en esta tecnología pueden acceder varios tipos de servicios y esto le da un brillo especial para el transporte de las aplicaciones futuras.

Haciendo una analogía con los sistemas de comunicación, el método de multiplexación por división de frecuencia es frecuentemente adoptado para realizar un uso eficiente de los recursos de ancho de banda de los cables y mejora la capacidad de transmisión de los sistemas, ejemplo al transmitir varios canales de señales simultáneamente en un solo cable para recibirlos en el receptor se utilizan filtros pasa banda como filtros de la señal en cada canal de acuerdo a la diferencias en frecuencias que hay en la señal de transmisión.

Similarmente, los sistemas de comunicación de fibras ópticas, el método de multiplexación por división de frecuencia óptica puede además ser usado para mejorar la capacidad de transmisión del sistema. En realidad este método de multiplexación es muy efectivo en los sistemas ópticos de comunicación. A diferencia de la multiplexación por división de frecuencia de los sistemas de comunicaciones análogos, los sistemas de comunicación de fibra óptica utilizan longitud de onda óptica como señal de transporte, divide la baja atenuación de la ventana de fibra óptica entre varios canales de acuerdo a las diferentes frecuencias (o longitudes de onda) de cada canal de longitud de onda e implemente la multiplexación de la transmisión de múltiples canales de señales ópticas en una sola fibra. Como algunos componentes ópticos (como filtros ópticos de banda estrecha y coherentes láseres) todavía no son muy maduros, es difícil implementar la

multiplexación por división de frecuencia óptica ultra denso (coherente con la tecnología de comunicaciones ópticas) de canales ópticos. Sin embargo, la multiplexación por división de frecuencia óptica de canales alternados puede ser implementada basada en componentes de niveles técnicos. Usualmente, la multiplexación con grandes canales de espaciamiento mayores a los 100GHz (aún en diferentes ventanas de fibras ópticas) es llamada multiplexación por división de longitud de onda óptica (WDM), y WDM en la misma ventana con canales de espaciamiento más pequeños alrededor de los 100GHz (0.8nm) es llamada multiplexación por división de longitud de onda densa (DWDM). Con el progreso de la tecnología, la multiplexación de niveles nanométricos pueden ser implementadas usando técnicas modernas. También los niveles sub nanométricos pueden ser implementados pero con estrictos requerimiento de componentes técnicos avanzados. Por lo tanto, la multiplexación de 8, 16, 32 o más longitudes de onda con espaciamientos más pequeños de longitudes de onda son llamados DWDM.

El diagrama de la estructura del sistema DWDM y el espectro óptico es mostrado en la Fig.1.1 y Fig.1.2. Los transmisores ópticos lanzan señales ópticas de diferentes longitudes de onda cuya precisión y estabilidad dependen de ciertos requisitos. Estas señales son multiplexadas utilizando un multiplexor de longitudes de onda óptico y luego enviadas a un amplificador de potencia de fibra óptica dopado de Erbio (es principalmente usado para compensar la pérdidas de potencia ocasionadas por el multiplexor y mejora la potencia de salida de las señales ópticas).

Después de la amplificación, este canal múltiple de señal óptica es enviado a la fibra óptica para ser transmitida a través de la red. En medio del camino los amplificadores de línea óptica (OLAs) pueden ser instalados o no de acuerdo a las condiciones que se presenten en la práctica. En el receptor final, las señales son amplificadas por el pre-amplificador óptico (es principalmente usado para mejorar la sensibilidad recibida y prolongar la distancia de transmisión) y enviada luego al de-multiplexor de longitudes de onda ópticas el cual las separa en múltiples canales de señales ópticas como las originales.

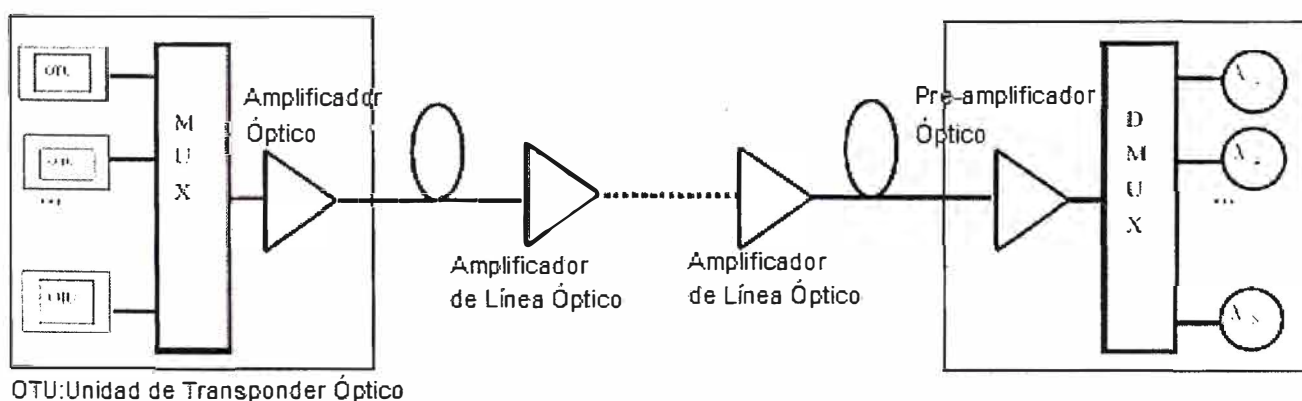


Fig.1.1 Diagrama de la estructura del sistema DWDM

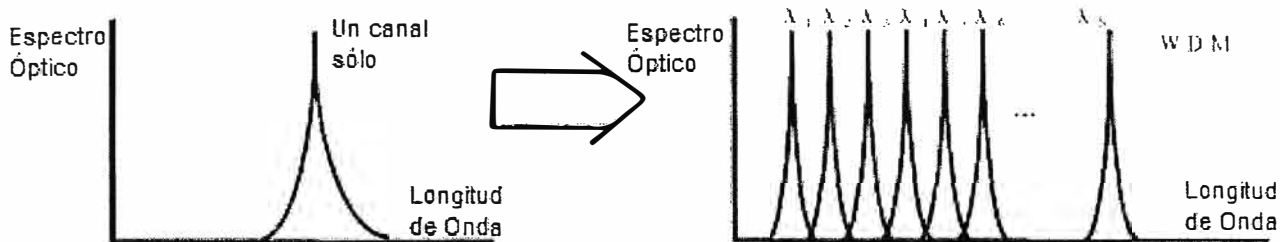


Fig.1.2 Diagrama de la estructura del Espectro

1.3 Modos de Operación de los Equipos DWDM

1.3.1 Transmisión Bidireccional de dos Fibras

Como se muestra en la Fig.1.3, una sola fibra óptica implementa solo una dirección de transmisión de una señal óptica. Por lo tanto las mismas longitudes de onda pueden ser usadas en 2 direcciones.

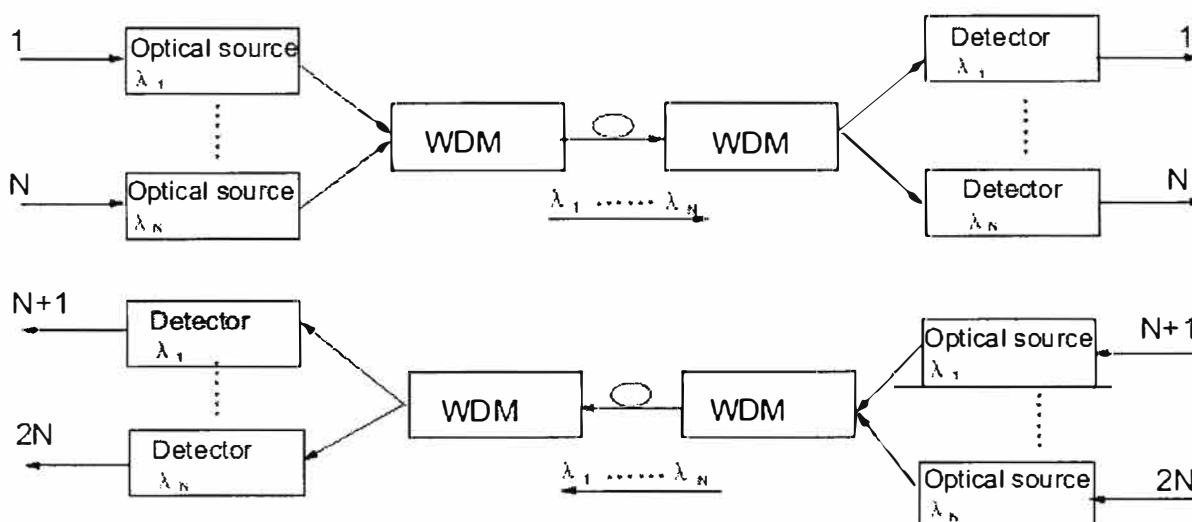


Fig.1.3 Sistema de transmisión DWDM bidireccional de dos fibras

Este tipo de sistema DWDM puede efectivamente explotar una gran cantidad del ancho de banda de los recursos de la fibra óptica y expandir la capacidad de transmisión de una sola fibra óptica en muchas. En redes de larga distancia, la capacidad puede ser expandida adicionando longitudes de ondas gradualmente de acuerdo a la demanda del tráfico efectivo, lo cual es muy flexible. Esto es, bajo la condición de que la dispersión en las fibras no es conocida, además para aprovechar el uso de sistemas múltiples de 2.5Gbit/s para implementar transmisión de grandes capacidades, evitando adoptar sistemas ópticos de grandes velocidades.

1.3.2 Transmisión Bidireccional de una Fibra

La transmisión bidireccional por una sola fibra óptica permite que una sola fibra lleve las señales en un canal full duplex y, generalmente, guarda la mitad de los recursos

de la fibra de transmisión unidireccional. La señal transmitida en las dos direcciones no interactúa pero podrían crear el efecto FWM (“Four-Wave Mixing”), pero el efecto total de las FWM es mucho menos que en la transmisión unidireccional de dos fibras. Sin embargo, la desventaja de este sistema es que requiere unas medidas especiales para tratar con la reflexión de la luz (incluyendo la reflexión discreta resultada por los conectores ópticos y el reflejo hacia atrás de Rayleigh de la fibra) para evitar la interferencia de múltiples trayectos. Cuando la señal óptica necesita ser amplificada para prolongar la transmisión a mayores distancias, los componentes como los amplificadores de fibra óptica bidireccionales y los circuladores ópticos convencionales deben ser adoptados, pero el factor de ruido es un poco peor.

Como mostramos en la Fig.1.4, una sola fibra transmite señales ópticas de dos direcciones simultáneamente, y las señales en estas dos diferentes direcciones deben ser asignadas a diferentes longitudes de ondas para que no haya interferencias entre la transmisión y la recepción.

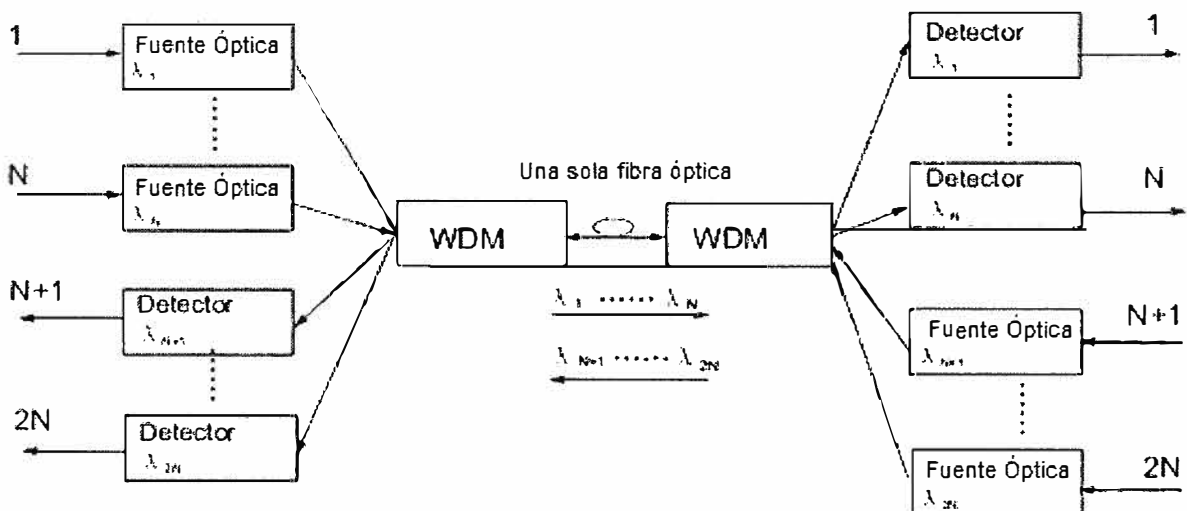


Fig.1.4 El sistema DWDM que adopta la transmisión bidireccional por una sola fibra

1.3.3 Adicionar y Quitar las Señales Ópticas (“ADD/DROP”)

Utilizando el multiplexor óptico para adicionar/quitar (OADM), las señales ópticas de las longitudes de ondas pueden ser adicionadas o quitadas en las estaciones intermedias, esto se logra implementando rutas ópticas para adicionar/quitar las señales. Este método puede ser usado para implementar en sistemas DWDM de tipo de red en anillo.

Actualmente, los OADM pueden ser usados sólo como equipos para adicionar/quitar longitudes de ondas fijas por lo que la flexibilidad de este modo de operación es limitado. En la Fig.1.5 se muestra como se puede adicionar o quitar las

longitudes de onda en el OADM.

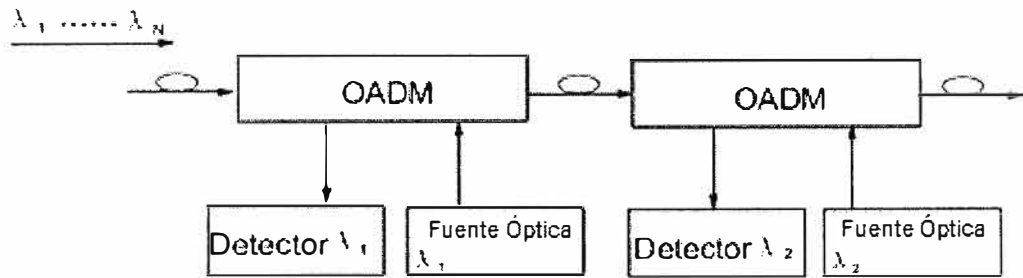


Fig.1.5 Adicionar y Quitar Transmisión Óptica

1.4 Modos de Aplicación de la Tecnología DWDM

Generalmente, DWDM tiene dos modos de aplicación los cuales son el DWDM abierto y DWDM integrado.

Las características del sistema DWDM abierto es que no tiene especiales requisitos para multiplexar interfaces terminales ópticas como las conocidas en las interfaces ópticas estandarizadas definidas en ITU-T G.957. Los sistemas DWDM adoptan tecnología de conversión de longitudes de onda para convertir la señal óptica de múltiples terminales dentro de una longitud de onda específica. Las señales ópticas de diferentes equipos terminales son convertidas en diferentes longitudes de onda como se mencionan en las recomendaciones de la ITU-T, y luego multiplexadas.

Sistemas DWDM integrados, sin adoptar la tecnología de conversión de las longitudes de onda, requiere que la longitud de onda de la señal óptica de los múltiples terminales sea de acuerdo a especificaciones de sistemas DWDM. Diferentes múltiples terminales transmiten diferentes longitudes de onda conocidas en las recomendaciones de la ITU-T. Así, cuando se conecta a un multiplexor, estas longitudes de onda ocupan diferentes canales y la multiplexación es implementada.

Diferentes modos de aplicación pueden ser adoptados de acuerdo a la demanda de la ingeniería. En aplicaciones prácticas, El sistema DWDM abierto y el sistema DWDM integrado pueden ser juntados.

1.5 Ventajas de la Tecnología DWDM

La capacidad de la fibra óptica es grande. Sin embargo, los sistemas de comunicaciones tradicionales de fibra óptica, con una señal óptica en una sola fibra, solo explotaban una pequeña parte del abundante ancho de banda de la fibra óptica. Para efectivamente usar los recursos del gran ancho de banda de la fibra óptica e incrementar la capacidad de transmisión, una nueva generación de tecnología de comunicaciones de fibra óptica basadas en WDM denso (DWDM) ha surgido. La tecnología DWDM tiene las siguientes características:

a) Gran Capacidad

El ancho de banda transmisible usado comúnmente en las fibras convencionales es muy amplio, pero la utilización del total es aún baja. Usando la tecnología DWDM, la capacidad de transmisión de una sola fibra óptica es incrementada a varias. Recientemente, la compañía NEC, Japón, ha implementado un sistema experimental de 132x20Gbit/s con una distancia de transmisión de 120 Km. Este sistema, con un total de ancho de banda de 35nm (1529nm ~1564nm) y con canales de espaciamiento de 33GHz, pueden transmitir aproximadamente 40 millones de llamadas telefónicas.

b) Transparencia de la Velocidad de los Datos

Los sistemas DWDM conducen multiplexando y de-multiplexando en términos de longitudes de onda diferentes y estas son independientes de la velocidad de la señal y los modos de modulación, transparencia de los datos. Por lo tanto, ellos pueden transmitir señales con características de transmisión completamente diferentes e implementar combinaciones y separaciones de varias señales eléctricas, incluyendo las señales digitales y señales analógicas, y señales PDH y señales SDH.

c) Protección de la Inversión Existente

Durante la expansión y desarrollo de la red, es ideal aprovechar la implementación de la expansión de la capacidad sin instalar nuevos cables de fibras ópticas. En las redes DWDM solo algunos transmisores y receptores son requeridos. Esto es además un conveniente camino para introducir servicios de grandes anchos de banda (como ADSL, IP-MPLS y Giga Ethernet).

Adicionalmente, algunos nuevos servicios o nueva capacidad pueden ser introducidas simplemente aumentando una longitud de onda adicional en el sistema.

d) Alta Flexibilidad, Económica y Confiabilidad de la Red

Cuando comparamos las redes tradicionales usando el método de multiplexación por división de tiempo, nuevas redes de comunicaciones basadas en tecnología DWDM son gratamente simplificadas en arquitectura y reducen las capas de red. La implementación de varios servicios pueden ser ejecutados simplemente ajustando las longitudes de onda correspondientes de la señal óptica. Por la simple arquitectura de red, menor cantidad de capas y una conveniente implementación de los servicios, la flexibilidad, lo económico y la confiabilidad de la red son obvios.

e) Compatibilidad con todas las Conmutaciones Ópticas

Previendo que la realización de todas las redes ópticas en el futuro será procesando la información solo adicionando y quitando y que la implantación de la conexión de todos los servicios de telecomunicaciones será cambiando y ajustando la longitud de onda de la señal óptica. Entonces la tecnología DWDM es una de las tecnologías claves para implementar todas las redes ópticas. Es posible realizar

transparentes implementaciones y soportar todas las redes ópticas existentes basadas en sistema DWDM.

1.6 Medio de Transmisión de la Tecnología DWDM

1.6.1 Estructura de la Fibra Óptica

La característica básica de la fibra óptica usada en los sistemas de comunicaciones se muestra en la Fig.1.6 y consiste en un núcleo de vidrio cilíndrico ("core") y un revestimiento de vidrio ("cladding"). La capa superior es un plástico resistente como recubrimiento ("coating").

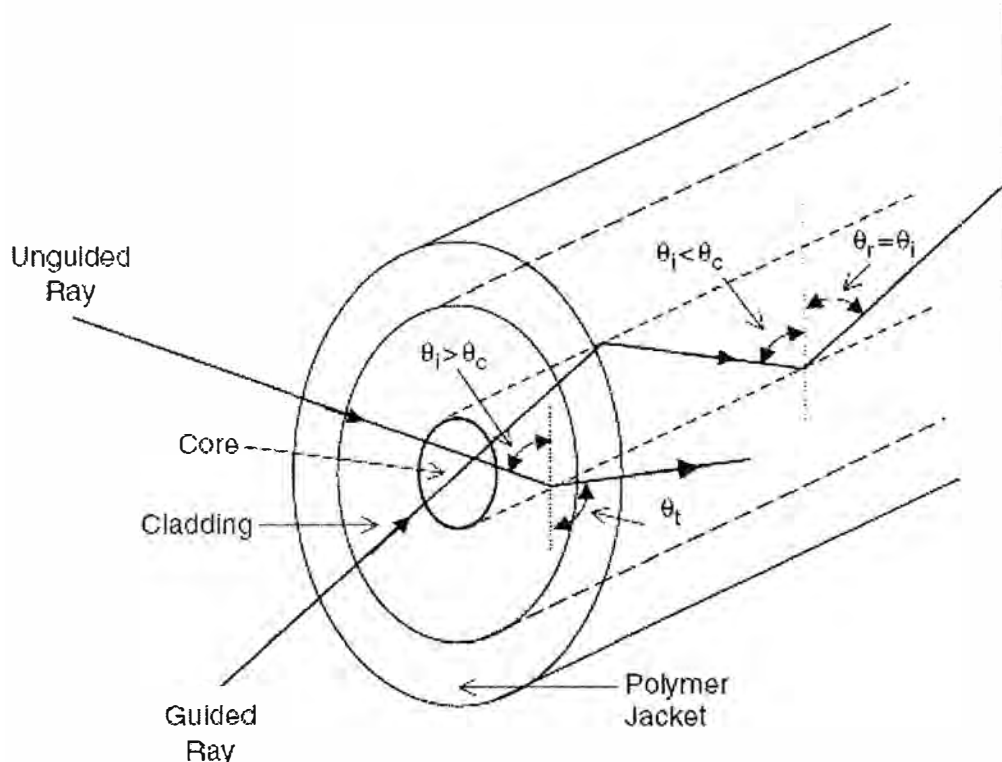


Fig.1.6 La estructura típica de la fibra óptica

El grosor del núcleo y los índices de refracción del material del núcleo y del material del revestimiento son críticos para las propiedades de las fibras. La Fig.1.7 muestra tres típicas fibras ópticas. Como podemos ver en la Fig.1.6 y Fig.1.7, existen 2 índices típicos de refracción distribuidos en las secciones de la fibra de núcleo-revestimiento. Uno es que la distribución radial del índice de refracción es uniforme, y que el cambio del índice de refracción del borde del núcleo-revestimiento es una función escalón. Esta fibra es llamada fibra con índice escalón. La otra fibra tiene el índice de refracción del núcleo no constante. Gradualmente decrece radialmente coordinada con el incremento del núcleo hasta igualar al índice del revestimiento. Por lo tanto esta fibra es llamada fibra de índice gradual. La característica común de estas 2 fibras de sección cruzada es que el índice de refracción del núcleo n_1 es mayor que el del revestimiento n_2 . Esto es además una condición necesaria para poder transmitir la señal óptica en la fibra.

Por la fibra con índice escalón, la reflexión interna total puede ocurrir en el borde del núcleo-revestimiento y la onda de luz puede propagarse a través del núcleo. Para la fibra de índice gradual, la continua refracción ocurre para la onda de luz en el núcleo, formando un rayo de luz similar a la onda seno a través de los ejes de la fibra y guiando la onda de luz para propagarse a través del núcleo. El resultado de los 2 rayos de luz son mostradas en la Fig.1.7. Con la diferencia en la medida del diámetro del núcleo en la fibra de índice escalón y en la fibra de índice gradual, el número de modos de transmisión en la fibra es diferente. Por lo tanto, la fibra de índice escalón o la fibra de índice gradual pueden ser clasificadas dentro de una fibra monomodo y multimodo de acuerdo al número de modos de transmisión. Esta es además un método de clasificación de las fibras ópticas. El diámetro del núcleo de un fibra monomodo es muy pequeño y generalmente menor que 10 μ m, y el diámetro del núcleo de una fibra multimodo es relativamente grande y frecuentemente igual a 50 μ m. Sin embargo, hay una pequeña diferencia entre los perfiles de estos 2 tipos de fibras. El diámetro de las fibras con chaqueta de plástico son menores a 1mm.

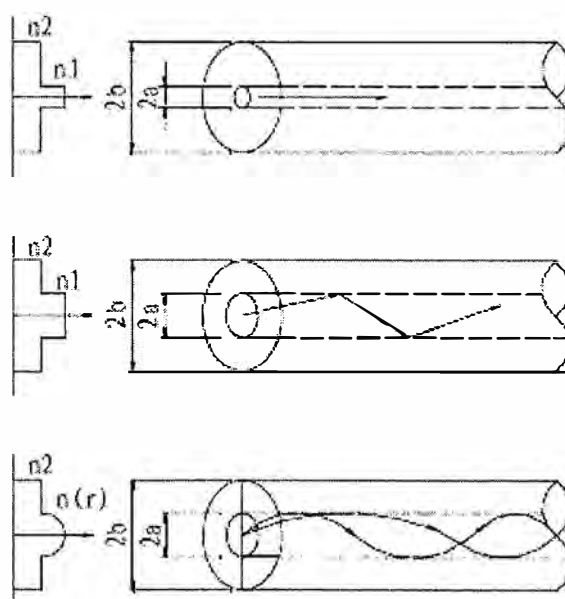


Fig.1.7 Tres tipos típicos de fibras ópticas

1.6.2 Tipos de Fibra Óptica

Dado que la fibra óptica monomodo tiene ventajas de una atenuación interna baja, un gran ancho de banda, fácil expansión y aumento de la capacidad y un bajo costo, está internacionalmente definido que los sistemas DWDM sólo utilizarán fibras monomodo como medio de transmisión. Actualmente, la ITU-T ha definido cuatro tipos de fibra óptica monomodo con diferentes diseños recomendados como G.652, G.653, G.654 y G.655.

La fibra G.652 es la fibra monomodo mayormente utilizada, conocida como la fibra monomodo con propiedad óptima en los 1310 nm y también como fibra con

dispersión no desplazada. De acuerdo al índice de refracción a través de la sección del núcleo, también puede ser dividida dentro de dos categorías: fibra con recubrimiento conjugado y fibra con recubrimiento decaído. Ellos tienen similares propiedades. La fabricación de la fibra óptica es simple pero tiene relativamente una gran pérdida por curvatura.

La fibra G.653 es llamada como fibra con dispersión desplazada o como fibra con propiedad óptima en los 1550nm. Diseñando el índice de refracción a través del núcleo, el punto de dispersión cero de este tipo de fibra es desplazada a la ventana de 1550nm para conjugarla con la ventana con menor atenuación. Esto hace posible implementar la transmisión óptica a muy grandes velocidades y para muy largas distancias manteniendo una buena señal.

La fibra G.654 es la fibra monomodo con longitud de onda desplazada. Este tipo de fibras es principalmente diseñado para reducir la atenuación en la ventana de 1550nm. El punto en el cual la dispersión es cero esta aún cerca de 1310nm. La dispersión en los 1550nm es relativamente alto y esta sobre los 18ps/(nm.km). Entonces el láser monomodo longitudinal debe ser usado para eliminar los efectos de la dispersión. La fibra G.654 es principalmente usada para comunicaciones de fibras ópticas submarinas con secciones con largas distancias para regeneradores.

La fibra G.655 es una fibra óptica monomodo con dispersión desplazada no cero, es parecida a la fibra G.653 y mantiene cierta dispersión cerca de la ventana de 1550nm para evitar el fenómeno de FWM ("Four-Wave Mixing") en la transmisión DWDM. Es fácilmente utilizable en las aplicaciones de los sistemas DWDM. En la Fig.1.8 se muestra el perfil de los tipos de fibras ópticas más utilizadas, en la que se muestra la dispersión de las fibras ópticas con respecto a la longitud de onda.

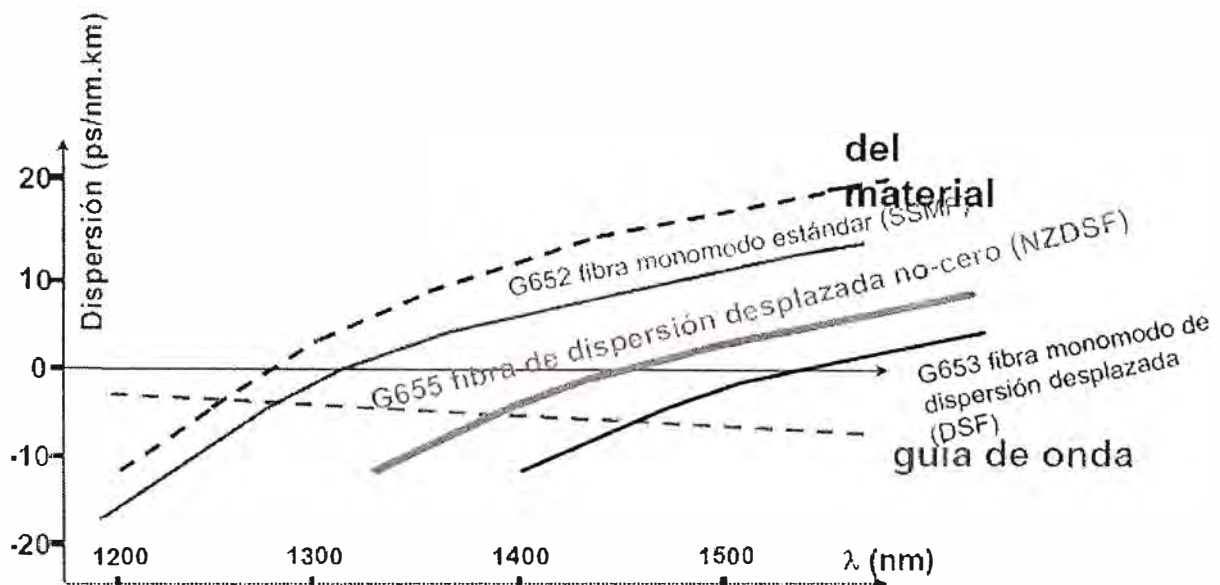


Fig.1.8 Perfil de los tipos de fibras ópticas más utilizados

A excepción de los cuatro tipos estandarizados de fibras ópticas mencionadas, una fibra con una gran área efectiva con grandes capacidades y para largas distancias ha surgido. Es la que tiene el punto de dispersión cero cerca de la ventana de 1510nm y el área efectiva está por encima de los 72 μm^2 . Entonces este tipo de fibra puede efectivamente sobrellevar los efectos no lineales de las fibras ópticas y es especialmente manejable para las aplicaciones en los sistemas DWDM basadas en 10 Gbit/s.

1.6.3 Características Básicas de la Fibra Óptica

a) Dimensión Física (Diámetro de Campo Modal)

El diámetro del núcleo de la fibra monomodo es de 8~9 μm en la misma magnitud como longitud de onda de operación es de 1.3~1.6 μm . Por los efectos de difracción ópticos, no es fácil medir el valor exacto del diámetro del cordón de la fibra. Adicionalmente, puesto que la distribución del campo de intensidad del modo fundamental no está confinada dentro del núcleo de la fibra, el concepto del diámetro del núcleo de la fibra monomodo es físicamente menos significativo y debe ser reemplazada con el concepto de diámetro de campo modal. El diámetro de campo modal mide el nivel concentrado de la distribución de la intensidad espacial fundamental del campo modal dentro de la fibra.

El diámetro de campo modal nominal de la fibra de G.652 en el área de la longitud de onda de 1310nm debe ser de 8.6 μm ~9.5 μm con una desviación de menos del 10% y el diámetro del campo modal nominal de la fibra de G.655 en el área de la longitud de onda de 1550nm debe ser de 8~11 μm con una desviación de menos de 10%.

El diámetro del recubrimiento de ambos tipos de fibra monomodo anteriormente mencionados es de 125 μm .

b) Error de Concentricidad del Campo Modal

El error de concentricidad del campo modal se refiere a la distancia que hay entre el centro del campo modal y el recubrimiento de las fibras interconectadas. La pérdida del conector de la fibra es proporcional al cuadrado del error de concentricidad del campo modal. Entonces reduciendo el error de concentricidad del campo modal es uno de los factores fundamentales para reducir las pérdidas de la fibra por conexión y debe ser estrictamente controlada en el proceso. El error de concentricidad del campo modal de los dos tipos de fibra monomodo G.652 y G.655 no debe ser mayor que 1. Generalmente, el valor debe ser menor a 0.5.

c) Pérdidas por Curvatura

Las curvaturas en las fibras ópticas causarán pérdida de radiación de la señal enviada por la fibra óptica. Actualmente, las curvaturas se incrementan en las fibras ópticas en dos casos. El primero es que el radio de curvatura de la curva es mucho mayor que el diámetro de la fibra (ejemplo este tipo de curvatura puede ocurrir cuando el

cable de fibra es tendido). El otro caso es la micro curvatura. Hay muchas causas por micro curvaturas. Micro curvaturas, limitadas por las condiciones del proceso, pueden ser causadas durante el proceso de producción de las fibras y del cable. Las micro curvaturas de diferentes radios de curva son distribuidas sin ningún patrón a través de la fibra. La curvatura de la fibra con grandes radios de curvatura puede transmitir menores modos que la fibra directa, y una parte de estos modos son radiadas fuera de la fibra causando pérdidas. La distribución dispersa de las micro curvaturas de la fibra resultarán en el acoplamiento de los modos en la fibra y causarán pérdidas de la energía de radiación. La pérdida de curvatura de las fibras es inevitable porque esto no se puede garantizar que no ocurra a la fibra y al cable durante el proceso de producción o el proceso de utilización de las fibras.

Las pérdidas por curvaturas son relativas al diámetro del campo modal. Las pérdidas por curvatura en la fibra G.652 no debe ser mayor a 1dB en el área de longitud de onda de 1550nm, y la pérdida por curvatura de las fibras G.655 no deben ser mayores que 0.5dB en el área de 1550nm.

d) Constante de Atenuación

La atenuación en las fibras ópticas es principalmente determinada por tres tipos de pérdidas: pérdidas por absorción, pérdidas por dispersión y pérdidas por curvaturas. Pérdidas por curvatura, como fue descrita anteriormente, no tiene gran efecto en la constante de atenuación de la fibra. Entonces, las pérdidas por absorción y por dispersión son las que principalmente determinan la constante de atenuación de las fibras.

Las pérdidas por absorción son causadas por el material de la fibra en cuales hay una excesiva cantidad de impurezas metálicas y el Ion OH- absorbe la luz lo cual resulta en pérdidas.

Las pérdidas por dispersión son frecuentemente causadas en el caso que parte de la potencia óptica es dispersada fuera de la fibra cuando un desparejo índice de refracción es distribuida en el área local dentro de la fibra y causa la dispersión de la luz por los micro cambios en la densidad del material de la fibra y la no uniforme densidad de las composiciones como las del SiO₂, GeO₂ y P₂O₅. O, las pérdidas por dispersión pueden ser causadas si algunos defectos ocurren o algunas burbujas e imperfecciones de gas son encontradas en el borde del núcleo-revestimiento. La dimensión física de estos defectos estructurales son muchos mayores que las ondas de luz, causando que la longitud de onda tenga pérdidas por dispersión y subir desplazando el hueco de la curva del espectro de la pérdida de la fibra. Sin embargo, este tipo de pérdidas por dispersión es mucho menor que el anterior mencionado.

Combinando las pérdidas mencionadas anteriormente, la constante de atenuación de las fibras monomodo en las áreas de longitud de onda de 1310nm y 1550nm es de

0.3~0.4dB/km (1310nm) y de 0.17~0.25dB/km (1550nm), respectivamente. Como se definió en las recomendaciones de la ITU-T acerca de la fibra G.652, la constante de atenuación en la ventana de 1310nm y 1550nm deben ser menores que 0.5dB/km y 0.4dB/km respectivamente.

e) Coeficiente de Dispersión

La dispersión en las fibras ópticas se refiere al fenómeno físico causado por la distorsión de la señal cuando la energía de varios modos son transportados o diferentes frecuencias en la señal tienen diferentes grupos de velocidad y se dispersa una de otra durante la propagación y este efecto aumenta cuando la distancia se incrementa. Generalmente, existen tres tipos de dispersión en las fibras ópticas.

1. Dispersión modal: Esto es causado cuando la fibra transporta múltiples modos de la energía de la señal en la misma frecuencia y diferentes modos tienen diferentes tiempos de retrasos durante la transmisión.
2. Dispersión del material: Porque el índice de refracción del material del núcleo de la fibra se encuentra en función de la frecuencia, los componentes de la señal de diferentes frecuencias se propagan a diferentes velocidades en la fibra causando dispersión.
3. Dispersión de la guía de onda: En las fibras, para transportar las señales en diferentes frecuencias en el mismo modo, la dispersión es causada por los diferentes grupos de velocidades durante la propagación.

Estos tres tipos de dispersión son llamados dispersión cromática. En la Fig.1.9 se muestra la dispersión cromática de las fibras ópticas más usadas y su atenuación.

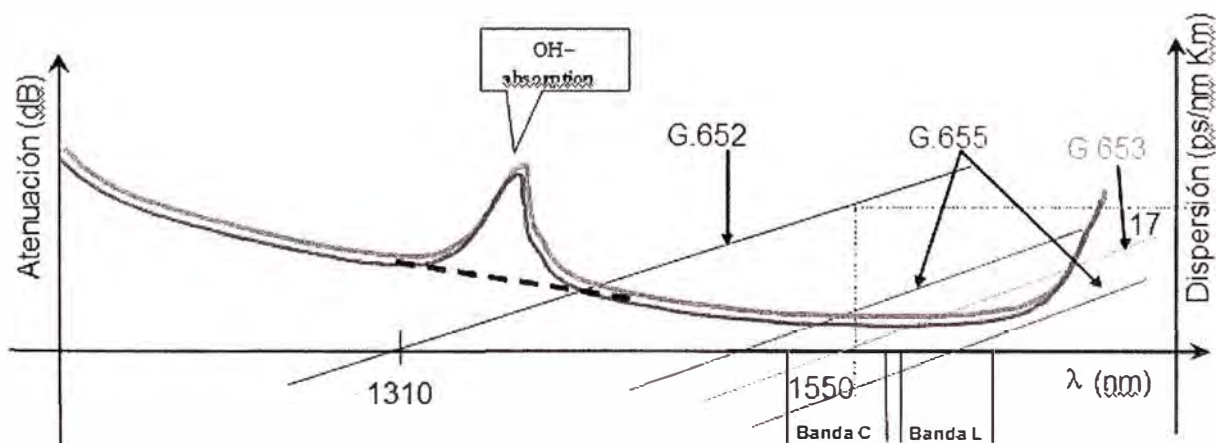


Fig.1.9 Relación de la dispersión y la atenuación de los tipos de fibra óptica

La ITU-T G.652 define una dispersión cero en el rango de longitudes de onda de 1300nm~1324nm y un máximo de dispersión de 0.093ps/(nm².km). En el rango de longitudes de onda de 1525~1575nm, el coeficiente de dispersión es aproximadamente de 20ps/(nm.km). La ITU-T G.653 define un dispersión cero en las longitudes de onda de 1550nm y una inclinación de la dispersión de 0.085ps/(nm².km) en el rango de longitudes

de onda de 1525nm~1575nm donde el máximo coeficiente de dispersión es de 3.5ps/(nm.km). El valor absoluto del coeficiente de dispersión de la fibra G.655 debe estar dentro de 0.1~6.0ps/(nm².km) en el rango de 1530~1565nm.

f) Límite de la Longitud de Onda

Para evitar el ruido modal y la penalidad por dispersión, el límite de la longitud de onda de los cables de fibras ópticas cortas en el sistema deben ser menores que la longitud de onda de operación del sistema. La condición del límite de las longitudes de ondas puede garantizar una transmisión monomodo en el cable corto y suprimir la ocurrencia en los modos de alto orden o reducir la penalidad al ruido de la potencia del generador de alto orden a un grado bueno. Actualmente la ITU-T ha definido tres tipos de límites de longitudes de ondas.

1. Límite de longitudes de onda del recubrimiento primario de la fibra en saltos de cable menores a 2m.
2. Límite de longitudes de onda de cables de fibra óptica de 22m.
3. Límite de longitudes de onda de 2~20m de saltos de cable.

Para las fibras G.652, el límite de las longitudes de onda es menor o igual a 1260nm en cables de 22m, es menor o igual a 1260nm en saltos de cable de 2~20m, y es menor o igual a 1250nm en saltos de cable menores a 2m. Para la fibra G.655, los límites de longitudes de onda es menor o igual a 1480nm en cables de 22m, es menor o igual a 1470nm en el recubrimiento primario de la fibra para saltos de cable de 2m, y es menor o igual a 1480nm saltos de cable de 2~20nm.

1.6.4 Tipos y Propiedades de los Cables de Fibra Óptica

a) Tipos de Cables de Fibra Óptica

En términos de estructura, los cables de fibra óptica pueden ser clasificados en cuatro tipos: tipo de chaqueta de giro suelto, tipo esqueleto, tipo haz central nominal y cable de fibra óptica de cinta.

De acuerdo a los métodos establecidos, los cables de fibra óptica pueden ser clasificados dentro surcos de cables ópticos, cables de fibra óptica para instalaciones en ductos, cables ópticos aéreos, cables ópticos submarinos y cables ópticos para oficinas.

De acuerdo a la situación de la aplicación, la demanda de tráfico y la demanda de expansión de capacidad, el número de núcleos de los cables de fibra óptica es clasificada dentro de 4,6,8,10,12,14,16,18,20,22,24,26,28,30,32,34 y 36, y también permite ser incrementada.

b) Propiedades de los Cables de Fibra Óptica

1. Propiedad Mecánica: Un cable de fibra óptica debe poseer ciertas propiedades mecánicas que hace que tenga tensión, impulsión, repetidas curvaturas, torsión, flexibilidad, etc.

2. Propiedades de Protección: Los cables de fibra óptica poseen propiedades de resistencia a la humedad y acuáticas probadas. Adicionalmente, deben tener ciertos requisitos incluidos para la protección de termitas, roedores e insectos, corrosión, etc.

1.7 Componentes Principales de la Tecnología DWDM

1.7.1 Láseres

Láser, cuya función es generar luz, es un importante componente de los sistemas DWDM. Actualmente, los láseres usados en los sistemas DWDM son los láser semiconductores LD (Láser Diodo).

Las longitudes de onda de operación de los sistemas DWDM son relativamente densas. Generalmente, el espaciamiento de las longitudes de onda es de varios nanómetros a sub nanómetros. Por lo tanto, los diodos de láser son requeridos para operar en las longitudes de onda estandarizadas y posee una buena estabilidad. De otro lado, la distancia de regeneración no eléctrica de los sistemas DWDM se esta incrementado de 50 ~ 60 km de un solo sistema de transmisión SDH hasta 500 ~ 600 km. Los láseres de los sistemas DWDM son requeridos para adoptar láseres más avanzados en tecnología y excelentes en rendimiento a fin de incrementar la distancia de los sistemas de transmisión limitados por la dispersión y sobrellevar los efectos no lineales a los cuales nos enfrentamos como la dispersión estimulada de Brillouin (SBS), dispersión estimulada de Raman (SRS), modulación de la misma fase (SPM), modulación de fase cruzada (XPM), modulación inestable y mezclado de cuatro ondas (FWM).

En resumen, los láseres que se vienen utilizando en los sistemas basados en tecnología DWDM tienen dos características fundamentales, la primera es que tiene una relativamente gran tolerancia a la dispersión y la otra es que maneja longitudes de ondas estandarizadas y estables.

a) Modos de Modulación del Láser

Actualmente, los sistemas de comunicación de fibra óptica para extender su uso emplean modulación de intensidad – sistemas de detección directa. Hay dos tipos de intensidad de modulación de láser, ejemplos modulación directa y modulación indirecta.

1. Modulación directa: Este tipo de modulación es también llamada modulación interna, modulando directamente el láser y cambiando la intensidad de la onda de luz de bombeo controlando la inyección de la corriente. Las fuentes LED o LD emplean este método de modulación y son usadas en sistemas tradicionales como PDH y SDH para velocidades 2.5Gbit/s o menores.

Una característica de la modulación directa es que el bombeo de la potencia se encuentra en proporción con la corriente de modulación. Esto tiene ventajas en la estructura simple, baja perdida y un bajo costo. Puesto que esto cambia en la longitud de la cavidad de resonancia de los láseres, la variación de la corriente de modulación

causará una variación lineal de la longitud de onda de la emisión de los láseres correspondientes a la corriente. Esta variación, llamada modulación de tono, es actualmente un tipo de jitter de longitud de onda (frecuencia) inevitable en las fuentes de modulación directa. El tono extendido del ancho de banda del espectro emitido de los láseres, deterioran las características del espectro y limita la velocidad de transmisión y la distancia de los sistemas. Generalmente, para el convencional G.652, la distancia de transmisión es menor o igual a 100km y la velocidad de transmisión es menor o igual a 2.5Gbit/s. Para sistemas DWDM sin amplificadores ópticos de línea, los láseres de modulación directa pueden ser considerados para disminuir los costos.

2. Modulación indirecta: Este método de modulación es también llamada modulación externa, el láser es modulado indirectamente y adicionado a un modulador externo en esta ruta de salida para modular la onda de la luz. De hecho, este modulador trabaja como un conmutador, como se muestra en la Fig.1.10.

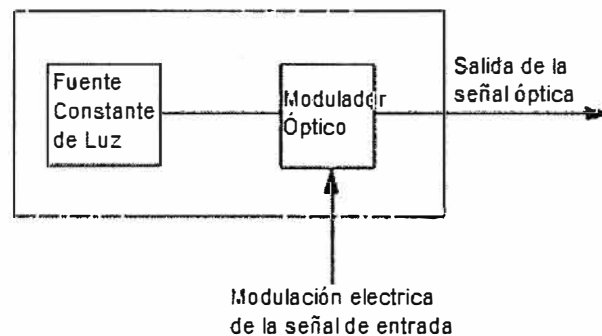


Fig.1.10 La estructura de un modulador de láser externo

El láser común es una fuente altamente estable que emite la onda de luz con una longitud de onda y potencia fija. La onda de luz con una longitud de onda no es afectada por las señales de modulación eléctricas durante la emisión, entonces la modulación del tono de frecuencias no ocurre y el ancho de línea del espectro óptico permanece al mínimo. De acuerdo a la señal de modulación eléctrica, el modulador óptico procesa la gran luz estable de la luz del láser de tal forma que lo deja pasar o lo bloquea. Durante el proceso de modulación, la característica del espectro de la onda de luz no será afectada.

Los láseres que adoptan la modulación indirecta son relativamente complejos con una gran pérdida y un alto costo, pero la modulación por el tono de frecuencia es muy baja. Esto puede ser usado en sistemas cuyas velocidades de transmisión es menor o igual a 2.5Gbit/s y la distancia de transmisión es mayor a 300km. Por lo tanto, los sistemas DWDM con amplificadores de línea ópticos, los láseres en los transmisores terminales son generalmente modulados indirectamente. Comúnmente los moduladores externos usados son los moduladores fotoeléctricos, moduladores acústicos ópticos y moduladores de guía de onda.

El principio básico de operación de los moduladores fotoeléctricos es el efecto lineal del cristal fotoeléctrico. Los efectos fotoeléctricos se refieren al fenómeno que los campos eléctricos causan la variación de los índices de refracción en el cristal. Un cristal que puede generar los efectos fotoeléctricos son llamados cristales fotoeléctricos.

Los moduladores ópticos acústicos son hechos utilizando los efectos ópticos acústicos de los dieléctricos. Los efectos ópticos acústicos se refieren al fenómeno que los dieléctricos cambian bajo la presión de una onda acústica cuando esta se propaga a través del dieléctrico. Este cambio causa la variación del índice refractivo del dieléctrico y afecta las características de transmisión de la onda de luz. Los moduladores de guía de onda son fabricados de titanio (Ti) difundido en el material de sustrato LiNbO₂ en el cual la guía de onda es hecha por el método de grabado fotoeléctrico. Esto tiene muchas ventajas como pequeñas dimensiones y facilidad para la integración óptica.

De acuerdo a las condiciones de integración y separación de los láseres y del modulador externo, los láseres modulados externamente pueden ser clasificados dentro de dos categorías: láser modulado externamente integrado y externamente separado.

Como una tecnología madura, la modulación externa integrada viene a ser un desarrollo de acuerdo a las tendencias de los láseres DWDM. Comúnmente el modulador usado es el modulador de electro absorción el cual es pequeño y compacto e integrado con el láser, y por lo tanto este tipo de modulador es requerido para utilizarlos en varios desarrollos de diferentes aplicaciones.

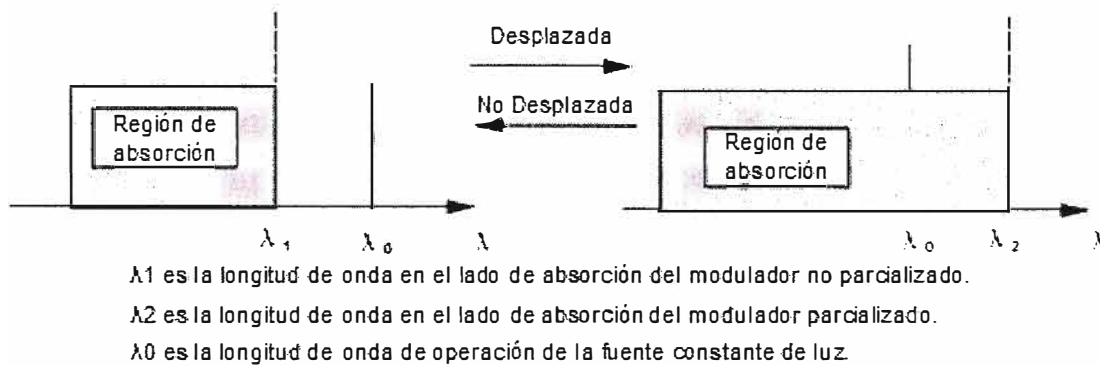


Fig.1.11 Variación de longitud de onda de absorción del modulador de electro absorción

Los moduladores de electro absorción es un tipo de modulador de pérdida, opera en el borde de la longitud de onda y de la región del material de absorción. Cuando el modulador no es parcializado ("biased"), la longitud de onda del láser está fuera del rango de absorción del material del modulador. La potencia de bombeo de la longitud de onda es máxima y el modulador es encendido. Cuando el modulador es parcializado ("biased"), el borde de la longitud de onda del material en la región de absorción es

desplazado y la longitud de onda del láser se encuentra dentro de esta región. Así el bombeo de la potencia es mínimo y el modulador es apagado, en la Fig.1.11 se muestra la variación de la longitud de onda de absorción en un modulador de electro absorción.

b) Estabilidad de la Longitud de Onda y Control del Láser

En los sistemas DWDM, la estabilidad de la longitud de onda de los láseres es un problema crítico. De acuerdo a la ITU-T G.692, la desviación de la longitud de onda central no debe ser mayor que un décimo ($\pm 1/5$) del canal de espaciado óptico, la desviación de la longitud de onda central no debe ser mayor que $\pm 20\text{GHz}$ en un sistema con canal de espaciado de 0.8nm .

Porque el canal de espaciado óptico es muy pequeño (puede ser tan bajo como 0.8nm), los sistemas DWDM tienen un estricto requerimiento para la estabilidad de la longitud de onda de los láseres. Por ejemplo, en una vibración de 0.5nm de la longitud de onda puede desplazar un canal óptico a otro. En los sistemas prácticos, la variación debe ser controlada dentro de los 0.2nm . El requerimiento específico es determinado de acuerdo al espaciado de la longitud de onda, mientras mas pequeño sea el espaciado mayor debe ser el requerimiento. Entonces los láseres deben adoptar una tecnología estricta de estabilización de la longitud de onda.

Sintonizando la longitud de onda de los moduladores integrados de electro absorción del láser (EML) es principalmente implementado ajustando la temperatura. La sensibilidad de la temperatura de la longitud de onda es de $0.08\text{nm}/^\circ\text{C}$. La temperatura de operación nominal es de 25°C . Ajustando el tono de la temperatura de 15°C a 35°C , El EML puede ser puesto a una longitud de onda específica con un rango de ajuste de 1.6nm . El tono de temperatura es ajustado cambiando la corriente de arranque del ventilador y usando una resistencia térmica con retroalimentación. Con esto el tono de la temperatura se encuentra estabilizado y permanece en un valor constante.

En la Fig.1.12 se muestra el flujo de como el láser realiza el control de la longitud de onda.

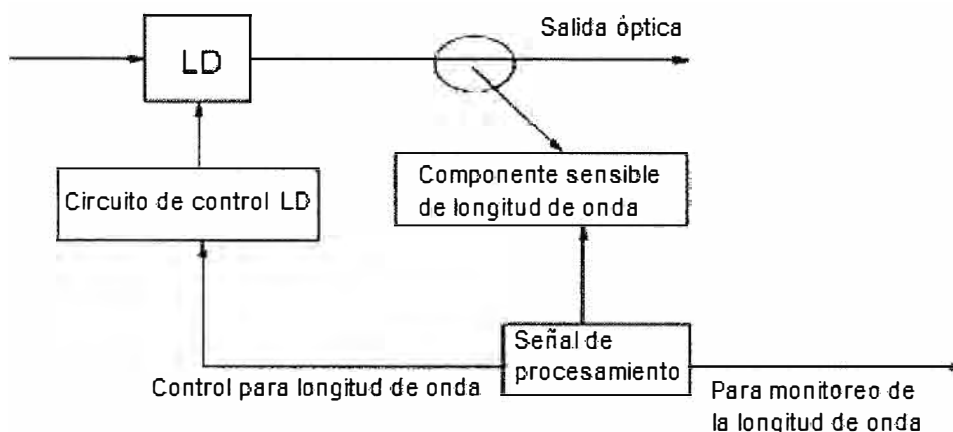


Fig.1.12 Flujo del control de la longitud de onda

1.7.2 Amplificador de Fibra Óptica Dopado de Erblio (EDFA)

Como un componente importante en la nueva generación de los sistemas de comunicaciones ópticas, el EDFA tiene muchas ventajas como una alta ganancia, una gran potencia de salida, un amplio ancho de banda de operación óptica, polarización independiente, un factor de bajo ruido y características independientes de amplificación para sistemas de velocidades de bits y formatos de datos. Es un componente principal e indispensable en los sistemas de alta capacidad DWDM.

a) Principios de Operación del EDFA

Para amplificar la potencia óptica, algunos componentes pasivos ópticos, la fuente de bombeo y la fibra dopada de erbio son combinados juntos de acuerdo a la estructura óptica específica. Entonces los amplificadores ópticos EDFA son formados. La Fig.1.13 muestra la típica estructura óptica de amplificadores de fibra óptica dopado de erbio con fuentes dobles de bombeo.

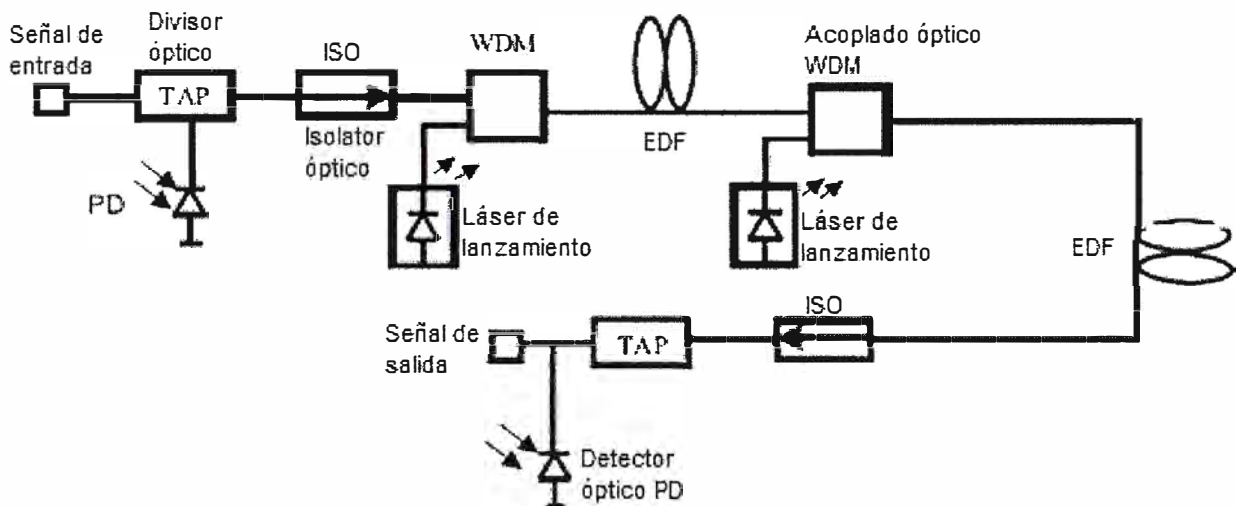


Fig.1.13 Típica trayectoria interna de la luz en el EDFA

Como se muestra en la Fig.1.13, la señal de luz y el lanzador de luz del láser de bombeo son combinados por el multiplexor DWDM, entonces ellos son enviados a la fibra dopada de erbio (EDF). Los dos lanzadores del láser de las dos etapas de bombeo. Excitados por el bombeo de la luz, el EDF cede la función de amplificación. Entonces, la función de amplificación de la señal óptica es implementada.

1. Fibra óptica dopada de Erblio (EDF)

La fibra dopada de Erblio (EDF), dopada con Er^{3+} de una densidad dada, es el núcleo de los amplificadores de fibra óptica. Para ilustrar el principio de esta amplificación, necesitamos empezar con el diagrama del nivel de energía del Er^{3+} . Los electrones de salida de los Er^{3+} tienen tres niveles de estructura (E_1 , E_2 y E_3 en la siguiente Fig.1.14), donde E_1 es el estado de tierra, E_2 es el estado meta estable y E_3 es el nivel alto.

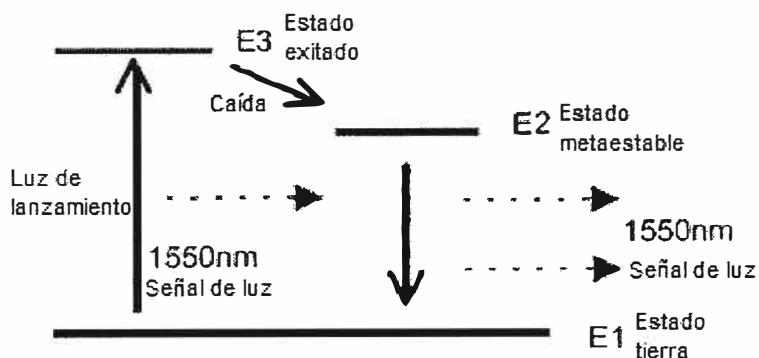


Fig.1.14 Diagrama de niveles de energía del EDFA

2. Acopladores ópticos (WDM)

Los acopladores ópticos, como su nombre indica, tiene la función de acoplar. Este acoplador de la señal de luz y la luz de bombeo y la envía dentro de la fibra dopada de erbio. Esto, además llamado multiplexor óptico, usualmente emplea un multiplexor de cono de fibra óptica como fusible.

3. Isolator óptico (ISO)

El isolator óptico (ISO), es un tipo de componente utilizado por el efecto magnético óptico de Faraday, permite la transmisión de la luz en forma sólo unidireccional. A través del trayecto de la luz, la función de estos dos isolators son como sigue: la entrada del isolator puede bloquear el ASE retrasado en el EDF, lo mantiene frente a la interferencia de los transmisores del sistema y de la generación de ruidos grandes cuando es reflejada en la entrada final y en la reentrada del EDF. La salida del isolator previene la señal óptica amplificada, cuando se refleja a la salida final, de la reentrada del EDF, consumiendo partículas y afectando las características de amplificación del EDF.

4. Láser de bombeo (PUMP)

El láser de bombeo, la fuente de energía del EDFA, provee de energía amplificando la señal óptica. Generalmente, es un láser semiconductor con una longitud de onda de salida de 980nm y 1480nm. Cuando pasa por el EDF, la luz de bombeo lanza los iones de erbio del nivel bajo hacia el nivel alto. Cuando la señal de la luz pasa a través, la energía será transferida. Por lo tanto, la amplificación óptica es implementada.

5. Divisores ópticos (TAP)

Los divisores ópticos usados en el EDFA son uno o dos componentes. Esta función es para dividir en pequeñas partes la señal óptica monitoreando la potencia óptica del canal principal.

6. Detectores ópticos (PD)

Los detectores ópticos (PD) es un detector de potencia óptica. Esta función es para convertir la potencia óptica recibida dentro de la corriente fotónica a través de la

conversión fotoeléctrica. Por lo tanto, esto monitorea la entrada y salida de potencia óptica del modulo del EDFA.

b) Aplicaciones del EDFA

De acuerdo a la ubicación de las redes de transmisión óptica DWDM, el EDFA puede ser clasificado dentro de amplificadores de aumento (BA), amplificadores de línea (LA) y preamplificadores (PA).

1. Amplificadores de aumento (BA)

Los amplificadores de aumento son instalados detrás de los transmisores de los equipos terminales o de los equipos regeneradores, como se muestra en la Fig.1.15. La mayor función de estos amplificadores de aumento es aumentar la potencia de bombeo y aumentar la distancia de transmisión mejorando la potencia óptica de inyección a la entrada de la fibra (generalmente se encuentran por los 10dBm de potencia). Algunos los conocen como amplificadores de aumento de potencia. En estos amplificadores la característica del ruido no es alta. El mayor requerimiento es la amplificación con una característica de la potencia lineal. Generalmente, los amplificadores de aumento trabajan en el rango de saturación de la ganancia o de la potencia de entrada a fin de mejorar la eficiencia de la conversión de la fuente de potencia de bombeo para la potencia de la señal óptica.

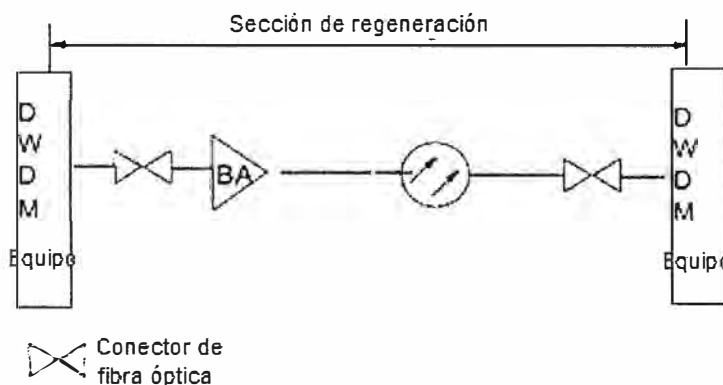


Fig.1.15 Ubicación de los amplificadores en una sección de regeneración

2. Amplificadores de línea (LA)

Los amplificadores de línea son ubicados en el medio de toda sección de regeneración, como se muestra en la Fig.1.16. Esta es una aplicación para insertar el EDFA dentro de la fibra óptica del enlace de transmisión y amplificar la señal directamente. Una sección de regeneración puede ser configurada con múltiples amplificadores de línea de acuerdo a la demanda. Los amplificadores de línea son principalmente aplicados en largos trayectos de comunicación o en redes de distribución de CATV. En nuestro caso, los EDFA lo requieren para tener altas ganancias de señales pequeñas y un factor de ruido bajo.

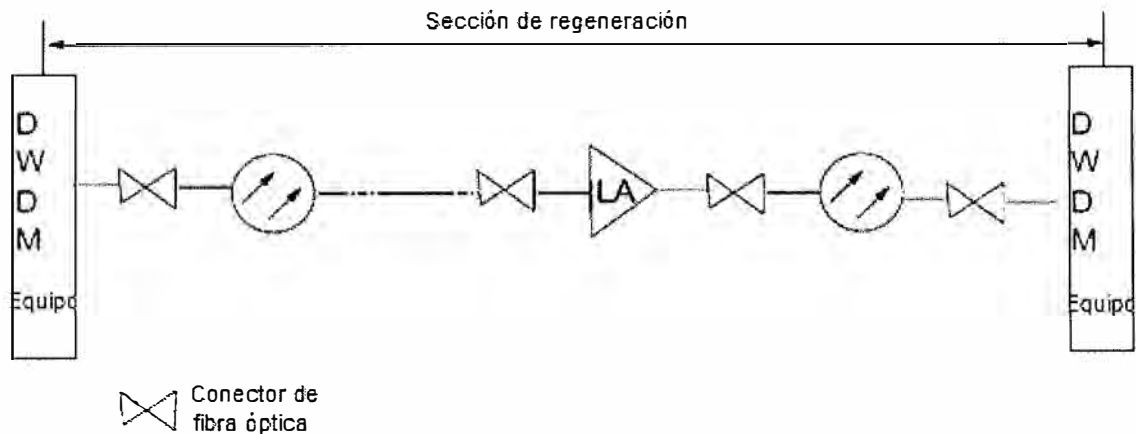


Fig.1.16 Ubicación de los amplificadores de línea en la sección de regeneración

3. Pre-amplificadores (PA)

Los pre-amplificadores son ubicados al final de la sección de regeneración pero en frente del equipamiento de recepción óptica, como se muestra en la Fig.1.17. La principal función de estos amplificadores es amplificar la pequeña señal atenuado a través del enlace y mejorar la sensibilidad de recepción de los receptores ópticos. Aquí se encuentra el principal problema de ruido. El principal ruido del EDFA es la amplificación de emisiones espontáneas (ASE). A pesar de esto, el ruido característico del EDFA es gratamente mejorado adoptando el filtro óptico. El pre-amplificador gratamente mejora la sensibilidad de los receptores empleando detección directa. Por ejemplo, la sensibilidad de un receptor EDFA de 2.5 Gbit/s puede estar por encima de -43.3dBm. Una mejora alrededor de 10dB es lograda cuando comparamos en los receptores empleando detección directa sin el EDFA.

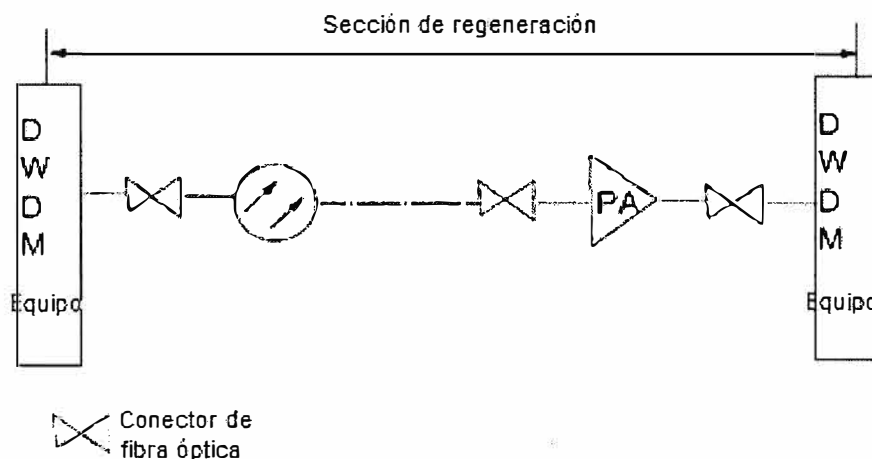


Fig.1.17 Ubicación de los pre-amplificadores en la sección de regeneración

La diferencia entre los BA, PA y LA son que cada uno tienen ubicaciones diferentes en la red DWDM. Sin embargo, la más importante diferencia está en su potencia óptica de entrada y la ganancia:

BA: relativamente alta potencia óptica de entrada y baja ganancia;

PA: relativamente baja potencia óptica y baja ganancia similar al BA;

LA: relativamente baja potencia óptica de entrada, similar al PA, pero mejor ganancia que el BA.

c) Control de Ganancia del EDFA

1. Control de ganancia del EDFA nivelado

En los sistemas DWDM, mientras mayor sean los canales ópticos multiplexados, mayor es la necesidad de tener amplificadores en cascada. Esto requiere que un solo amplificador ocupa un ancho y un amplio ancho de banda.

Sin embargo, los EDFA basados en la fibra óptica pura en silicón tiene un muy estrecho rango de ganancia nivelado entre 1549nm y 1561nm, un rango de aproximadamente 12nm. Y la ganancia fluctúa entre 1530nm y 1542nm lo cual es muy amplio y esta por encima de los 8dB.

Los EDFA basados en fibras ópticas de silicón dopadas de aluminio son desarrollados. Lo cual mejora gratamente la longitud de onda de operación del ancho de banda del EDFA y suprime las fluctuaciones de ganancias. Y esto puede resolver los problemas que se tiene con la ganancia no nivelada en los ordinarios EDFA. En la Fig.1.18 comparamos las curvas de ganancia de los EDFA no dopados con los EDFA dopados en aluminio.

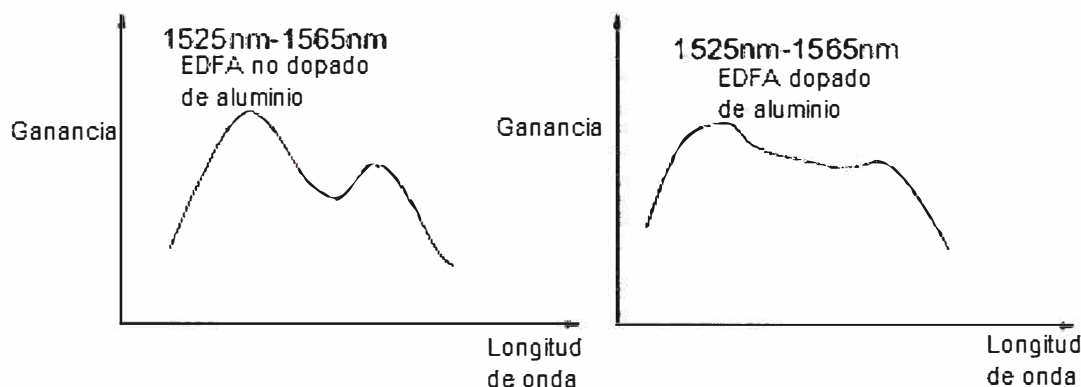


Fig.1.18 Mejoramiento de la ganancia nivelada de los EDFA

Técnicamente, en el rango de 1525nm~1540nm en la curva de ganancia de los EDFA es llamada área de banda azul y el rango de 1540nm~1565nm es llamando área de banda roja. Generalmente, el área de banda roja es preferida cuando la capacidad de transmisión es mejor a 40Gbit/s.

En la Fig.1.19 comparamos la señal de salida resultado de la amplificación de los amplificadores con ganancia no nivelada de los EDFA con respecto a la amplificación de los amplificadores con ganancia nivelada y observamos que los niveles de las longitudes de ondas del segundo son menos variables.

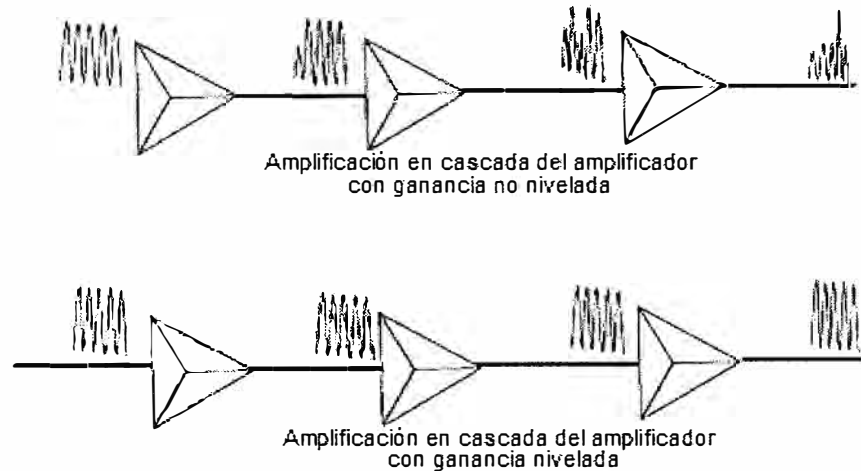


Fig.1.19 Diagrama de la ganancia de los EDFA nivelada y no nivelada

2. Ganancia bloqueada de los EDFA

La ganancia bloqueada de los EDFA es un importante problema porque los sistemas DWDM son sistemas de múltiples longitudes de onda de trabajo. Cuando una cierta longitud de onda es quitada, su energía será transferida a las otras señales no quitadas. Así la potencia de las otras longitudes de ondas se incrementa. En el receptor final, abruptos incrementos del nivel eléctrico posiblemente pueden causar errores. En limitados casos, si siete longitudes de onda de ocho longitudes de onda son quitadas, toda la energía será concentrada por la única longitud de onda que queda y esta potencia puede elevarla alrededor de 17dBm. Esto resultará en un fuerte efecto no lineal o potencia de recepción sobre elevada en el receptor, y esto causará muchos errores.

Hay una tecnología de los EDFA para bloquear la ganancia. Un típico método es el control de la ganancia de bombeo del láser como se muestra en la Fig.1.20.

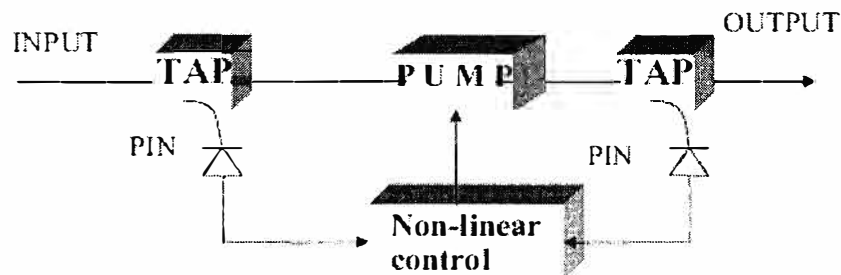


Fig.1.20 Tecnología de bloqueo de la ganancia controlando el láser de bombeo

Otro método es la saturación de la longitud de onda. En el transmisor final, excepto para las ocho longitudes de onda de operación, los sistemas envían otras longitudes de onda como saturación de la longitud de onda. En casos normales, la potencia de salida de estas longitudes de onda es muy pequeña. Cuando algunas señales de línea son quitadas, la potencia de salida de la saturación de las longitudes de

onda automáticamente se incrementará a fin de compensar la energía de las longitudes de ondas perdidas y con esto se mantendrá la potencia de salida y la ganancia de los EDFA.

La Fig.1.21 y Fig.1.22 muestra el resultado de la comparación de ganancia de los EDFA bloqueada y no bloqueada.

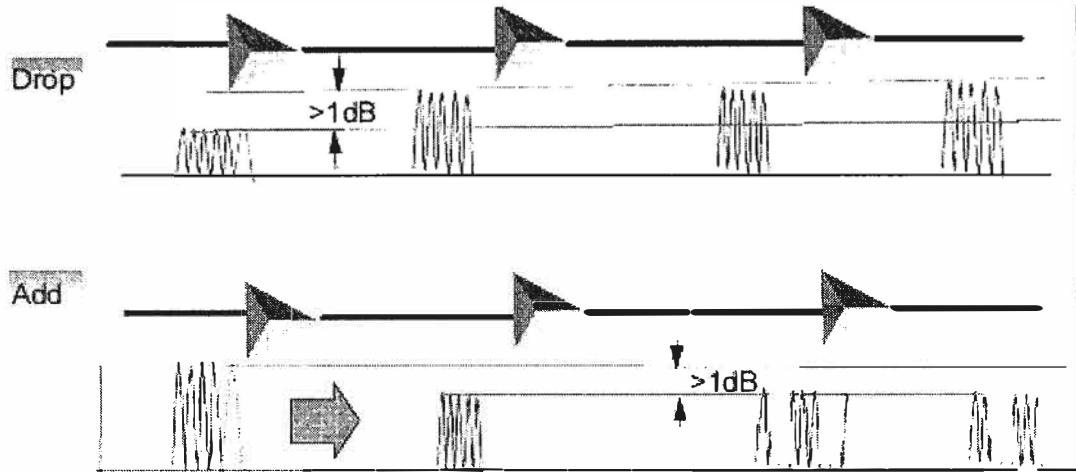


Fig.1.21 Variación de ganancia en EDFA no bloqueados cuando la longitud de onda es quitada y añadida

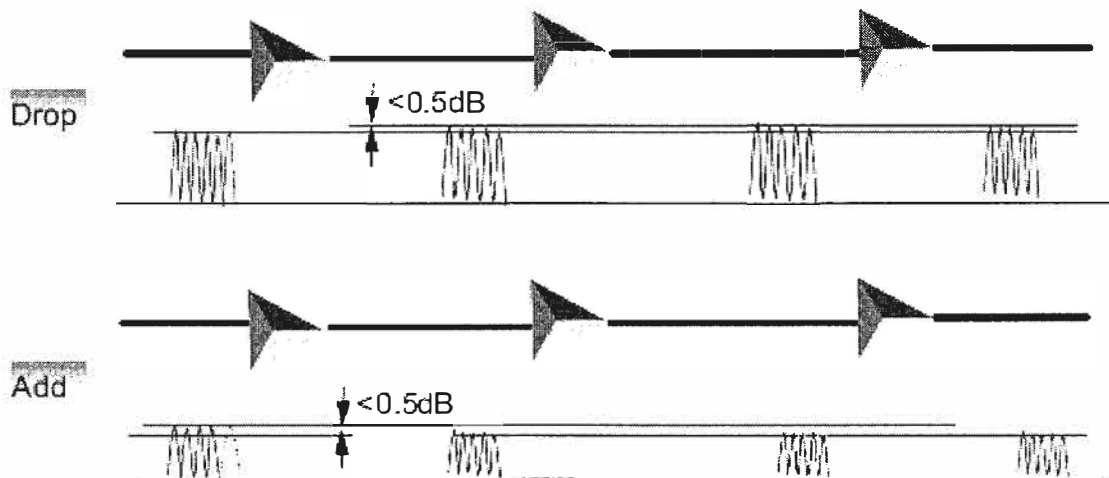


Fig.1.22 Variación de ganancia en EDFA bloqueados cuando la longitud de onda es quitada y añadida

d) Limitaciones de los EDFA

Los EDFA resuelven los problemas de atenuación de línea de los sistemas DWDM. Sin embargo estos traen otros nuevos problemas.

1. Problemas de no linealidad

A pesar del mejoramiento que se tiene adoptando el EDFA, la potencia óptica no mejora considerablemente. Cuando se logra ciertos niveles, la fibra óptica generará efectos no lineales (incluyendo dispersión Raman y dispersión Brillouin). Especialmente, los EDFA tienen grandes efectos para la dispersión estimulada de Brillouin (SBS). Los

efectos no lineales limitan grandemente el desenvolvimiento de los amplificadores EDFA y en la implementación de repetidores de transmisión para largas distancias.

2. Problema de fuente óptica

Los EDFA pueden mejorar la potencia óptica de entrada rápidamente. Sin embargo, puesto que esta variación de ganancia dinámica es lenta. La fuente óptica causará en el momento una potencia de señal más elevada. Este fenómeno óptico surge especialmente en los casos de EDFA en cascada. Y este incremento de la potencia en unos pocos watts posiblemente dañara el convertidor O/E y también el conector óptico.

3. Problemas de dispersión

A pesar del problema de la atenuación limitada en los repetidores de la transmisión de largos trayectos es resuelta adoptando los EDFA, la dispersión total se incrementa de acuerdo a la distancia. Así la formación de la atenuación limita al sistema ya que los sistemas tienen un límite de dispersión que pueden manejar.

1.7.3 Multiplexores y Demultiplexores DWDM

La principal función de los multiplexores es combinar las señales con múltiples longitudes de onda dentro de una sola fibra óptica para la transmisión. La principal función de los de-multiplexores es separar las múltiples longitudes de onda de la señal transmitidas en una sola fibra óptica. El principal resultado de los sistemas DWDM es que estos componentes DWDM además de trabajar con múltiples canales tengan bajas pérdidas de inserción, gran atenuación de crosstalk, amplio rango de frecuencias de trabajo, etc. Los multiplexores y de-multiplexores tienen el mismo principio solo cambia la dirección de la entrada y la salida como se muestra en la Fig.1.23. Es resultado de los componentes DWDM usados en los sistemas DWDM deben ser de acuerdo a lo definido en la recomendación de la ITU-T G.671.

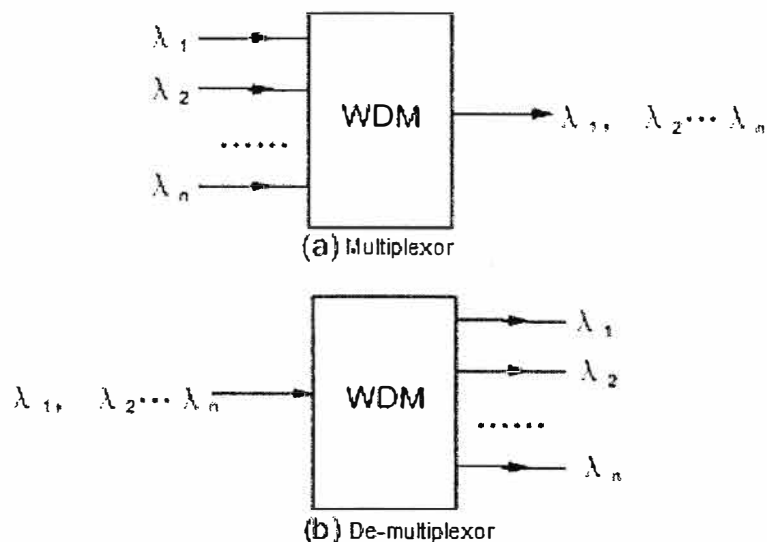


Fig.1.23 Componentes DWDM

dirección primeramente extrae el canal óptico de supervisión (OSC) y lo procesa, después amplifica las señales del canal principal óptico, los multiplexa con el canal de supervisión óptico y los envía dentro de la fibra. El flujo de señal del amplificador de línea óptica (OLA) es mostrado en la Fig.1.25.

Todo el equipamiento puede ser instalado en un subrack. En la Fig.1.25, cada dirección emplea un par de WPA+WBA para conducir la amplificación de línea óptica. También puede usar un solo WLA o WBA para conducir la amplificación de línea óptica en forma unidireccional.

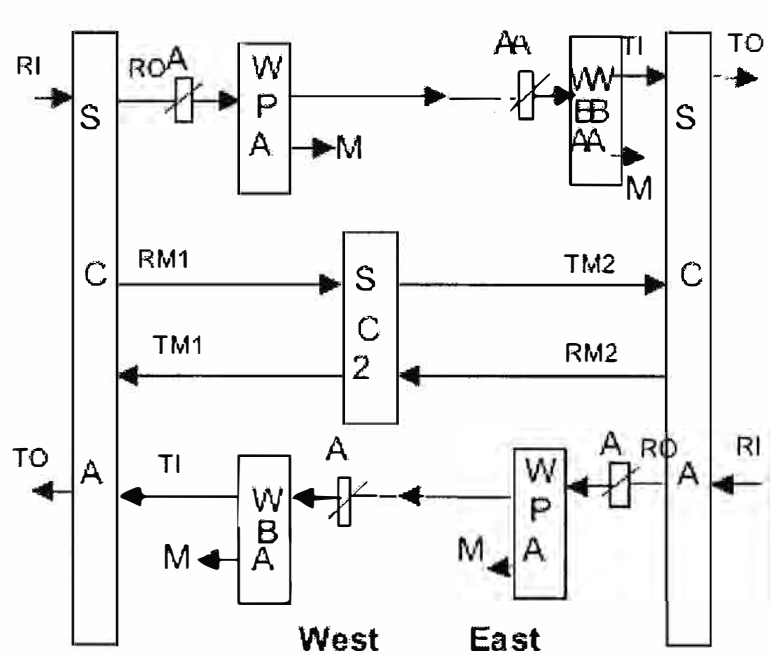


Fig.1.25 Flujo de señal OLA

c) Unidad de Multiplexación Óptica para Añadir/Quitar (OADM)

Las unidades de multiplexación óptica para añadir/quitar (OADM) de un sistema DWDM opera en dos modos, una tarjeta usa OADM estáticos para añadir/quitar longitudes de onda o adopta el modo de dos multiplexores terminales ópticos (OTMs) ubicados espalda a espalda de un equipamiento OADM el cual puede añadir/quitar longitudes de onda.

1. Equipos de multiplexación estáticos añadir/quitar de sistemas DWDM

En sistemas DWDM, los equipamientos de multiplexación ópticos añadir/quitar pueden usar una tarjeta para implementar estáticos añadir/quitar longitudes de onda. Cada equipamiento OADM es capaz de adicionar/quitar de 1 a 8 longitudes de onda a fin de conocer la demanda practica de varios proyectos.

Después de recibir la señal de línea óptica, el equipamiento OADM primeramente extrae el canal óptico de supervisión y luego usa el WPA para pre amplificar el canal principal. A través de la unidad de añadir/quitar, un número dado de señales es quitada

de la señal óptica con 16 STM-16 de acuerdo a la longitud de onda. Las otras longitudes de onda son directamente insertados dentro del canal principal a través de la unidad de añadir/quitar. Después de la amplificación de la potencia, el canal principal es combinado con el canal óptico local de supervisión y enviado al terminal remoto. El canal principal entre las unidades de añadir/quitar es configurado con un atenuador variable para ajustar la potencia óptica (ecualizarla) entre el canal "pass-through" y los canales añadidos. Los canales quitados en la estación local son requeridos conectarlos al equipamiento SDH o a otro tipo de equipamiento a través de la interfaz RWC, y estos son adicionados a la estación local y requeridos para ser conectados al equipamiento SDH a través de la interfaz TWC.

Por ejemplo un OADM (añadir/quitar longitudes de onda), el flujo de señal es mostrado en la Fig.1.26.

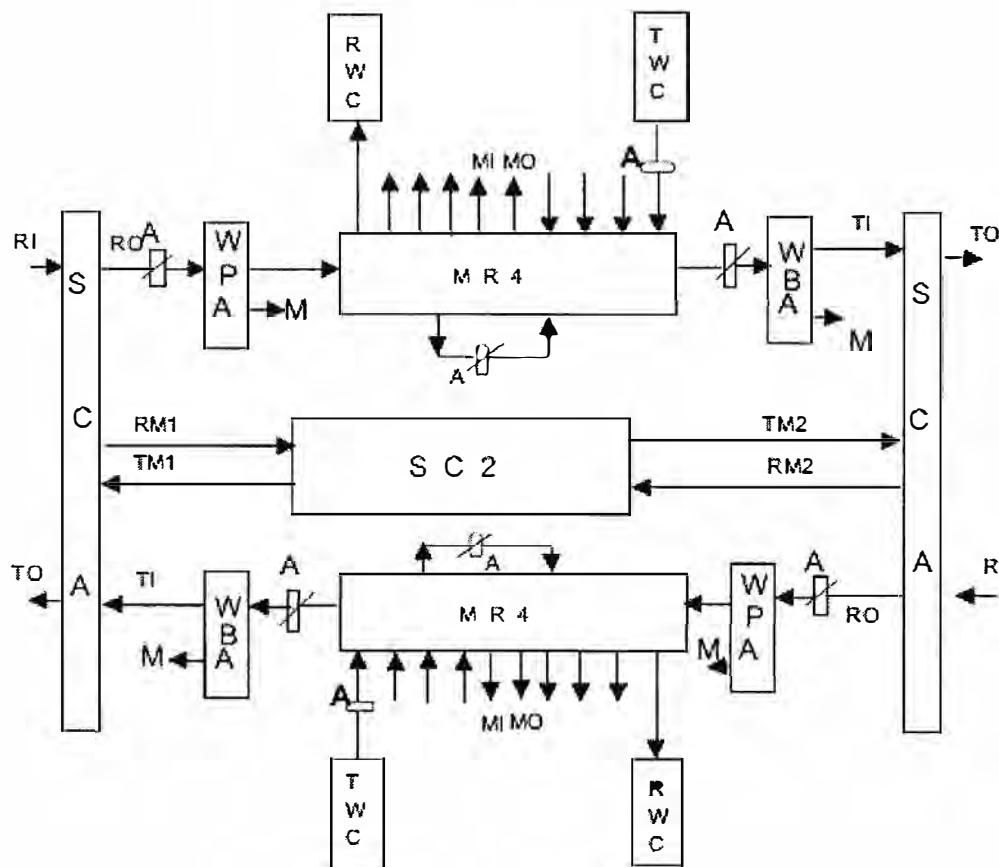


Fig.1.26 Flujo de señal de un OADM estático (16/4)

2. Equipamiento OADM consistente en dos OTMs espalda a espalda

Dos OTMs espalda a espalda son usados para formar un equipamiento OADM el cual puede añadir/quitar longitudes de onda. Este modo es más flexible cuando lo comparamos con el OADM estático el cual usa una tarjeta para conducir la conversión de la longitud de onda. Esto puede añadir/quitar cualquiera de las longitudes de onda de 1 a la 16, más factible para redes. Si un canal de una señal no es añadida/quitada en esta

1.8.2 Topologías de las Redes DWDM

Las topologías de las redes basadas en tecnología DWDM pueden ser punto a punto, cadena o anillo. Otras formas de redes más complejas pueden combinar estos tres tipos de topologías y esto depende de la ubicación de la red y de las distancias. Cuando lo aplicamos junto con equipamientos con tecnología SDH, estos pueden formar redes de transmisión ópticas muy complejas.

a) Redes Punto a Punto

La topología punto a punto se muestra en la Fig.1.29, se encuentra conformada en los extremos por multiplexores terminales ópticos y en el intermedio del enlace por amplificadores de línea ópticos en el caso que la señal del enlace se transporte a largas distancias.

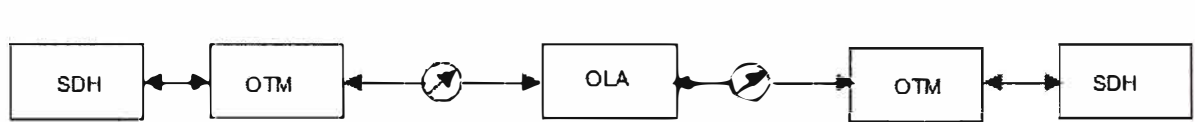


Fig.1.29 Diagrama esquemático de redes WDM punto a punto

b) Redes Tipo Cadena

La topología punto a punto se muestra en la Fig.1.30, se encuentra conformada en los extremos por multiplexores terminales ópticos y en el intermedio del enlace por multiplexores para añadir o quitar señales ópticas. En algunos casos si el enlace se transporta a largas distancias, entre el OADM y el OTM se pueden instalar amplificadores de línea ópticos.

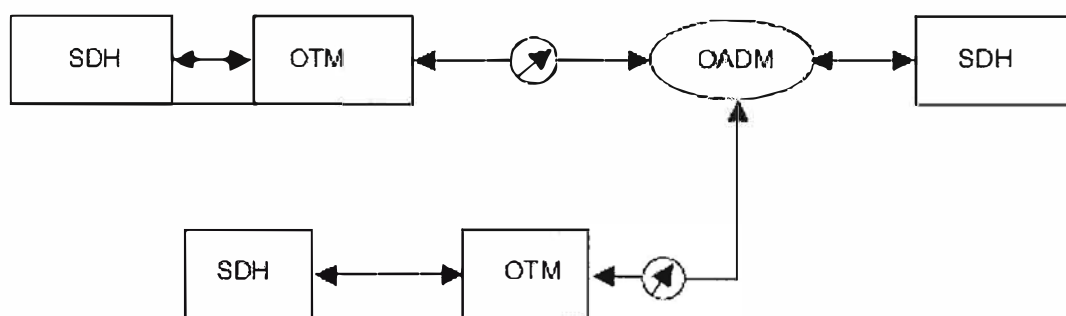


Fig.1.30 Diagrama esquemático de redes WDM tipo cadena

c) Redes Tipo Anillo

En redes de área local especialmente redes de aplicación metropolitana, los multiplexores ópticos añadir/quitar de equipos DWDM pueden ser usados para formar redes en anillo de acuerdo a la demanda de los usuarios. Generalmente las redes en anillo, tienen una ruta del anillo para protección y estas tienen secciones múltiples de protección que son proveídas por equipamientos SDH, entonces no es necesario el equipamiento DWDM para proveer métodos de protección. Pero la protección por

longitud de onda puede ser proveída de acuerdo a los requerimientos de los usuarios y al tipo de red que se tenga. La red en anillo es mostrada en la Fig.1.31.

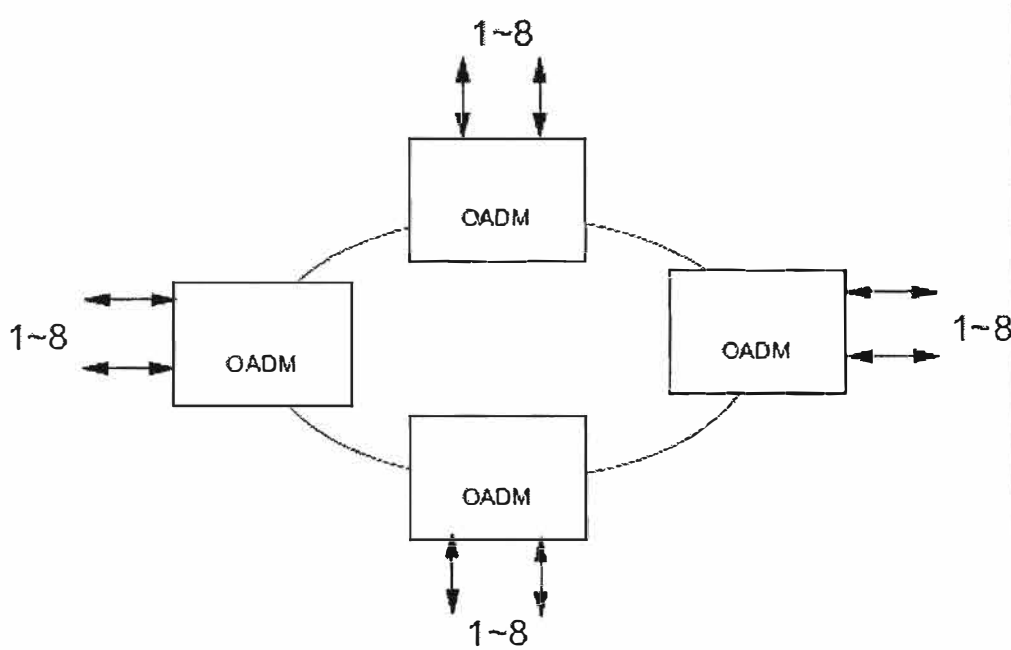


Fig.1.31 Diagrama esquemático de una red DWDM en anillo

1.8.3 Factores Principales en las Redes DWDM

a) Distancia Limitada de Dispersión

1. Descripción del efecto de dispersión

La dispersión cromática, causada por la característica del espectro óptico del transmisor y la dispersión cromática de la fibra óptica, es un factor dominante el cual limita la capacidad de transmisión.

Generalmente, añadiendo amplificadores ópticos dentro de un sistema no cambiará considerablemente el total de la dispersión cromática. Como el medio activo de ganancia del EDFA, fibra óptica dopada de tierra causará una pequeña dispersión cromática. La longitud de esta fibra es solo a fin de varias decenas o centenas. La dispersión cromática de la fibra dopada en tierra tiene una pequeña diferencia con las fibras definidas den las recomendaciones de la ITU-T G.652, G.653 y G.655. Para un sistema de decenas o centenas de kilómetros, el efecto de la dispersión es insignificante.

2. Limitaciones de la transmisión

Como la velocidad de transmisión en sistemas de comunicación de fibra óptica continuamente esta creciendo y porque los amplificadores ópticos gratamente incrementan la distancia de transmisión óptica sin repetidores eléctricos, la dispersión total y la correspondiente penalidad de dispersión de todo el enlace de transmisión puede llegar a ser muy grande y debe ser seriamente tratado. Los límites por dispersión han hecho que sea determinante la longitud de las secciones de regeneración. En fibras

ópticas monomodo, las dispersiones mayores incluyen la dispersión del material y la dispersión de la guía de onda. Este resulta en diferentes tiempos de retraso en los componentes de diferentes frecuencias cuando llegan a los receptores ópticos después de ser transmitidos a través de la fibra óptica. En dominio del tiempo, esto causa ensanchamiento de los pulsos ópticos, interrupción entre canales y degradación del patrón de ojo, y finalmente el resultado es la degradación del sistema y genera como resultado errores.

Componentes de diferentes frecuencias en la señal son originados por la característica del espectro de la fuente óptica del láser, incluyendo la longitud de onda, el ancho del espectro, el tono del láser, etc. Actualmente, el ancho del espectro óptico de -20dB de láser SLM en la región de 1550nm puede estar por encima de 0.05nm. En este caso, el tono del láser es determinante limitando la longitud regenerativa.

3. Métodos de reducción del efecto

Puesto que la presencia de los amplificadores ópticos no afecta el efecto de la dispersión cromática del sistema, no es requerido regular métodos específicos para reducir estos efectos al mínimo. Sin embargo, los EDFA, los cuales hacen posible sistemas de largas distancias sin repetidores regenerativos, empeorará el efecto causado por la dispersión cromática en el sistema.

En algunos subsistemas de amplificadores ópticos, un tipo de equipo de compensación de dispersión pasiva puede ser ensamblado con un amplificador óptico para formar un subsistema de amplificación. El subsistema adicionara limitada dispersión cromática al sistema. Y el coeficiente de dispersión, inversa a la fibra óptica del sistema, reducirá la dispersión cromática del sistema. Este equipo puede ser instalado junto con el EDFA para compensar la perdida relativa de la función de compensación de dispersión pasiva.

Adicionalmente, adoptando las fibras óptica G.655 y las fibras ópticas G.653 es favorable para reducir la dispersión cromática. Si los deterioros no lineales son considerados, la fibra óptica G.655 tiene óptimas propiedades para la transmisión a largas distancias.

4. Consideraciones en el diseño de redes

En el diseño de redes DWDM, primeramente toda la red es dividida en muchas secciones de regeneradores, permitiendo que la longitud de cada sección sea menos que la distancia del láser limitada por la dispersión. Por lo tanto, el resultado de toda la red puede tolerar el efecto de dispersión. Cuando calculamos la dispersión durante el diseño de la red DWDM, el típico coeficiente de dispersión en la ventana de 1550nm es de 17ps/nm.km porque las fibras ópticas empleadas son primariamente las fibras G.652. Pero los ingenieros de diseño, adoptan 20ps/nm.km como presupuesto.

b) Potencia

La transmisión de señales ópticas a largas distancias requiere que la potencia de la señal sea suficiente para compensar la atenuación de la fibra óptica. Generalmente, el coeficiente de atenuación de la fibra óptica G.652 en la ventana de 1550nm es de 0.25dB/km. Cuando factores como los conectores ópticos y la redundancia de la fibra óptica son tomadas a consideración, el coeficiente de atenuación combinado en la fibra óptica es generalmente menor que 0.275dB/km.

Durante el cálculo práctico, el presupuesto de la potencia es solo conducida por dos piezas de equipos adyacentes en las redes de transmisión en vez de conducir un presupuesto unificado para toda la red. La distancia (atenuación) entre dos piezas de equipamientos adyacentes de la transmisión de la red es llamada distancia de regeneración (atenuación). El diagrama esquemático de la atenuación se muestra en la Fig.1.32.

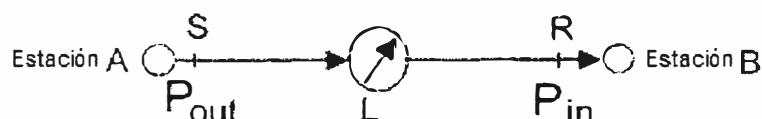


Fig.1.32 Diagrama esquemático de atenuación de regeneración

Donde, S es el punto de referencia del transmisor en la estación A, R es el punto de referencia del receptor en la estación B y L es la distancia de transmisión entre el punto S y el punto R. Entonces la fórmula (1.1) muestra la distancia de regeneración.

$$\text{Distancia de Regeneración} = (P_{out} - P_{in}) / a \quad (1.1)$$

Donde:

P_{out} : Canal de potencia de salida del punto S (en dBm). La potencia óptica en el punto S es relativa a la configuración del punto A.

P_{in} : Canal permisivo de potencia mínima de entrada en el punto R (en dBm).

A: Atenuación del cable de fibra óptica por kilómetro (dB/km) (usando 0.275dB/km de acuerdo a las recomendaciones de la ITU-T. Esto contiene el efecto de varios factores, incluyendo los conectores y la redundancia).

c) Relación Señal a Ruido Óptico (OSNR)

1. Generación de los principios del ruido

Los amplificadores ópticos crean luz alrededor de la longitud de onda de la señal, esto es amplificado por emisión espontánea (ASE). En un sistema de transmisión con varios EDFAs en cascada, el ruido ASE de los amplificadores ópticos repetirá una atenuación periódica y el proceso de amplificación. Porque en cada amplificador óptico la

entrada del ruido ASE es amplificado y súper impuesto el ASE generado por el amplificador óptico. Por lo tanto la potencia total del ruido ASE se incrementará con el número de amplificadores en proporciones aproximadas y la potencia de la señal decrecerá. La potencia del ruido puede exceder la potencia de la señal.

La distribución de la frecuencia del espectro del ruido ASE es expandida con la longitud del sistema. Cuando el ruido ASE del primer amplificador óptico es enviado al segundo, la distribución de ganancia del segundo amplificador óptico cambiará debido al ruido ASE causado por los efectos de saturación de ganancia. Similarmente, la distribución de la ganancia efectiva del tercer amplificador también cambiará. Este efecto será transmitido en la bajada en el próximo amplificador óptico. Aunque filtros de banda estrecha es usado en cada amplificador óptico, el ruido ASE se acumulará. Esto es porque el ruido existe en la banda de frecuencia de la señal.

Para medir la potencia de la señal con respecto a la potencia del ruido es necesario medir el OSNR que es la relación señal a ruido óptico y la definición de esta relación de potencias es mostrada en la fórmula (1.2).

$$\text{OSNR} = \text{potencia de la señal del canal óptico} / \text{potencia del ruido del canal óptico} \quad (1.2)$$

2. Limitaciones de transmisión

La acumulación del ruido ASE afecta el sistema SNR porque la degradación del SNR de la señal recibida es principalmente causada relacionando el golpe del ruido ASE. Este tipo de golpe de ruido linealmente se incrementa con el número de amplificadores ópticos. Por lo tanto, la velocidad del error se degrada como el número de amplificadores ópticos se incrementan. Por otro lado, el ruido es acumulado en forma exponencial para ganar amplitud de los amplificadores.

Como un resultado de la ganancia de los amplificadores ópticos, la frecuencia del espectro del ruido ASE tendrá un salto de longitud de onda después de acumular varios amplificadores ópticos. Cuando se adopta anillos ópticos, el ruido ASE infinitamente se acumulará si el número de amplificadores en cascada son infinitos. Sin embargo en sistemas con filtros de acumulación de ASE considerablemente decrece por los filtros, el ASE dentro de la banda se incrementará con el incremento del número de amplificadores ópticos. Por lo tanto, SNR se degradará con el incremento de los amplificadores.

3. Métodos de reducción del ASE

La acumulación del ruido ASE puede decrecer como el intervalo de amplificadores ópticos se reduce (cuando la ganancia total es igual a la atenuación total en el canal de transmisión) porque el ASE se acumula en forma exponencial con el incremento de la amplitud de la ganancia del amplificador. Una de las siguientes tecnologías de filtros

pueden reducir el ruido ASE inesperado, esto es adoptando el filtro del ruido ASE o utilizando el efecto del filtro propio (método del filtrado propio).

Método de filtrado propio es adaptable para sistemas con decenas o mas de amplificadores ópticos. Este método ajusta la longitud de onda de la señal a la longitud de onda del filtrado propio a fin de reducir el ruido ASE recibido por el detector, similar a usar el filtro de banda estrecha. Esto es más efectivo cuando aprovechamos reducir el intervalo de amplificadores ópticos y empleamos bajas ganancias en los amplificadores ópticos usados para reducir el ruido ASE inicial.

Si toda la red DWDM adopta el anillo cerrado, el método de filtrado propio no es adaptable ya que afectara el resultado. En este caso, utilizando el método de filtrado del ASE puede reducir la acumulación del ruido ASE. Esto es logrado a través del aprovechamiento del filtrado de los canales DWDM los cuales no son enviados al nodo de la red antes de ser conmutados fuera del nodo.

Para sistemas con pocos amplificadores ópticos, el método de filtrado propio no es efectivo como el método de filtrado de ASE. El método de filtrado de ASE puede flexiblemente seleccionar la longitud de onda de la señal y tiene otras ventajas. La características del filtro debe ser cuidadosamente seleccionado porque el filtro en cascada tiene una pasa banda estrecha que el filtro de la señal (la diferencia es que tiene una banda de frecuencia rectangular).

4. Consideraciones del OSNR en el diseño de redes DWDM

Para diferentes aplicaciones de redes, el OSNR requerido son casi los mismos, con una pequeña diferencia mostrada en la TABLA N° 1.1.

El OSNR es uno de los más importantes factores que afectan los sistemas DWDM resultando en errores. Para el sistema DWDM con múltiples amplificadores de línea ópticos en cascada, la potencia del ruido es dominado amplificando la emisión espontánea (ASE) del ruido.

TABLA N° 1.1 Comparación del OSNR

Tipo de amplificador en cascada	Mínimo OSNR (dB)
16 canales con 8x22dB (8*80km)	22
16 canales con 5x30dB (5*100km)	20
16 canales con 3x33dB (3*120km)	22

La acumulación del ruido ASE de los amplificadores ópticos de línea en cascada es de acuerdo al modelo matemático de la acumulación del ruido ASE en múltiples amplificadores ópticos de línea en cascada es ilustrado en la Fig.1.33, donde G_n es la ganancia del EDFA_n (en unidades lineales); L_n es la atenuación del cable de fibra óptico de la sección de regeneración N . Y el ruido ASE se define en la fórmula (1.3).

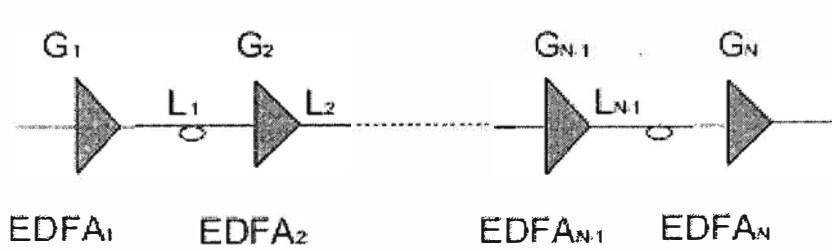


Fig. 1.33 Modelo matemático de la acumulación del ruido ASE

$$\begin{aligned}
 \text{Total de la potencia del ruido ASE} = & \text{Potencia de ruido ASE generado por el EDFA}_N \\
 & + (\text{Potencia del ruido ASE generado por el EDFA}_{N-1} \times L_{N-1} \times G_N) + \dots \\
 & + (\text{Potencia del ruido ASE generado por el EDFA}_1 \times L_1 \times G_2 \times \dots \times G_{N-1} \times L_{N-1} \times G_N)
 \end{aligned}
 \quad (1.3)$$

La potencia de ruido ASE por unidad de banda de frecuencia generada por un solo amplificador óptico. Entonces la fórmula (1.4) muestra la potencia del ruido ASE.

$$P_{\text{ase}} = 2N_{\text{sp}} (G-1)h\nu \quad (1.4)$$

Donde:

N_{sp} es el coeficiente del ruido espontáneo del EDFA;

G es la ganancia interna del EDFA;

h es la constante de Planck;

ν es la frecuencia óptica.

El coeficiente del ruido externo del amplificador, N_f se muestra en la fórmula (1.5)

$$N_f = 10 \log[2N_{\text{sp}} - (2N_{\text{sp}} - 1)G] + N_{\text{in}} \quad (1.5)$$

Donde:

N_{in} es la pérdida de inserción del amplificador (en dB).

Entonces Cálculo simplificado del OSNR de la red en caso de una atenuación uniforme en las secciones de los regeneradores es de la siguiente manera:

Asumiendo que todos los EDFAs tienen las mismas propiedades y todas las secciones de los regeneradores tiene atenuaciones uniformes, la potencia total (incluyendo la potencia ASE acumulada) de cada amplificador es el mismo, y $G \gg L$. De acuerdo a las formulas (1.3) y (1.4), la fórmula (1.5) baja al procesamiento de unas series. Entonces el OSNR es dado por la fórmula (1.6).

$$\text{OSNR} = P_{\text{out}} - L - N_f - 10 \log N - 10 \log [h \nu \Delta \nu_0] \quad (1.6)$$

Donde:

P_{out} es la potencia de salida del canal (en dBm);

L es la atenuación entre amplificadores (en dBm),

Nf es el coeficiente del ruido externo (en dBm);

N es el número de intervalos a través del enlace;

$\Delta\nu_0$ es el ancho de banda óptico;

$10\text{Log}[h \nu \Delta\nu_0] = -58$ dBm (banda de 1.55 μm con 0.1 nm de ancho de banda)

Este método de cálculo puede ser requerido en diseños de ingeniería en general.

En los sistemas DWDM prácticos, la desigualdad de la ganancia de los EDFA puede causar diferencias en la potencia del canal de salida y el coeficiente del ruido del EDFA. Entonces durante el diseño, el OSNR del peor canal debe ser el requerimiento y tener la suficiente redundancia.

Por lo mostrado en este capítulo, se puede concluir que las redes basadas en tecnología DWDM tienen un gran potencial ya que son muy robustas para la transmisión de varias señales con grandes capacidades y para enlaces que tienen grandes distancias. Todo esto puede ser factible sólo si se logra conjugar los componentes de la tecnología DWDM de una manera óptima, lo cual depende directamente de las características de la red y para lo cual se tiene que identificar bien las necesidades de comunicación que se requieren tanto en la actualidad como en el futuro.

CAPITULO II PLANTEAMIENTO DE INGENIERÍA DEL PROBLEMA

Uno de los principales requerimientos para que las ciudades de los países se puedan desarrollar es la de relacionarse con otras ciudades, y una forma de relación entre ciudades son las comunicaciones. Para que este tipo de comunicaciones se puedan realizar se necesitan redes de telecomunicaciones que soporten los servicios los cuales se van a utilizar para efectuar la comunicación, también otro factor importante a considerar en la implementación de las de redes de telecomunicaciones es la distancia del enlace ya que si se incrementa la distancia se hace más compleja la implementación de la red por que se producen algún efectos. En este capítulo vamos a desarrollar el planteamiento de ingeniería del problema para justificar la interconexión de dos ciudades principales del Perú, específicamente la conexión de la ciudad de Tacna con la de Arequipa y también se va a identificar la tecnología de telecomunicaciones a utilizar para el establecimiento del enlace.

2.1 Descripción del Problema

Tacna es una ciudad que se encuentra situado en el extremo sur del Perú a 1,299 Km. de la capital del Perú - Lima, entre las coordenadas 16° 58' 00" y 18° 21' 34.8" de latitud sur y los 69° 28' 00" y 71° 00' 02" de longitud oeste estratégicamente en la costa central del Pacífico, con una altura de 562 msnm y durante el censo del 2007 Tacna contaba con 288 781 habitantes en una superficie de 16 076 km². Tacna es una ciudad que produce aceitunas, maíz amiláceo, papa, trigo, orégano, vid, alfalfa. Destaca su ganadería lechera y los ovinos. Existe una gran área de protección de vicuñas. Asimismo, la pesca artesanal concede abundante pescado. En la minería es importante la extracción de cobre a tajo abierto en la mina de Toquepala, que se refina en Ilo para su exportación. Tacna tiene la Zona de Tratamiento Especial Comercial de Tacna (ZOTAC) que se complementa con los centros de exportación, transformación, industria, comercialización y servicios (CETICOS). Cuenta con las centrales hidroeléctricas de Aricota I y Aricota II, que atienden las demandas de Moquegua, Tacna e Ilo y la central térmica de Calana.

En la Fig.2.1 se muestra el mapa de la costa sur del Perú, en el cual podemos notar que Tacna es una de las ciudades más importantes del sur del Perú, y para impulsar el desarrollo de la ciudad de Tacna y de las ciudades cercanas a esta, Tacna necesita interconectarse con las otras ciudades del Perú y principalmente con la ciudad

de Arequipa ya que esta también es otra de las ciudades principales del sur. Por lo tanto necesitamos implementar una red de telecomunicaciones de transporte que interconecte a Tacna con Arequipa y esta brinde soporte a los servicios de telecomunicaciones.

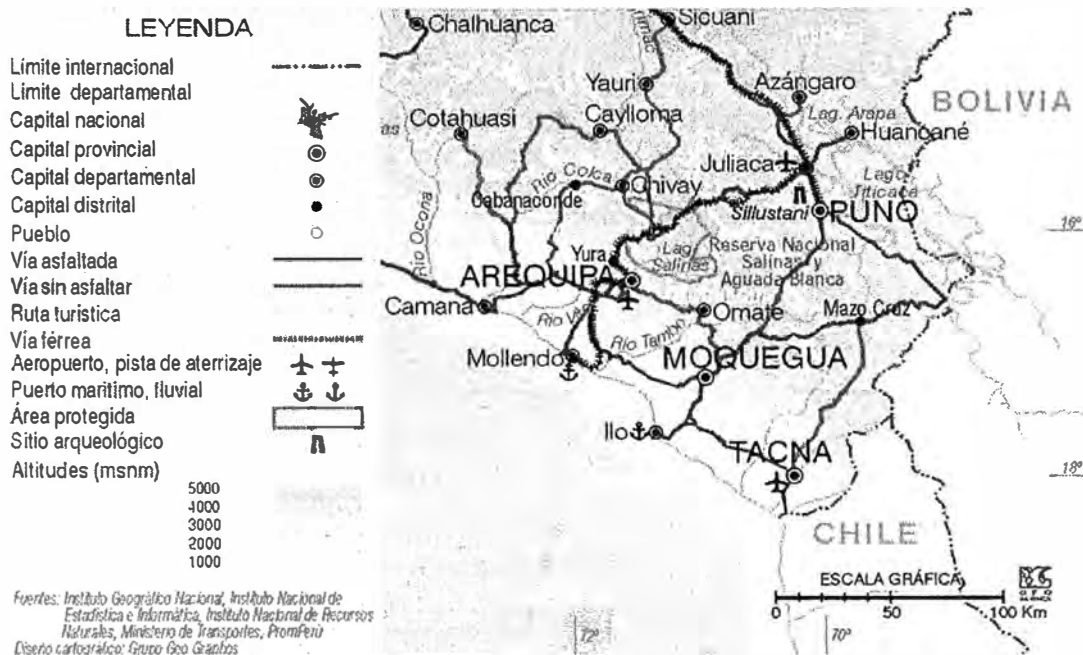


Fig.2.1 Mapa de la costa sur del Perú

2.2 Objetivos del Trabajo

De acuerdo a lo visto Tacna requiere interconectarse con las ciudades principales del sur del Perú y una de las principales ciudades es Arequipa. Por lo tanto para lograr la interconexión, el presente trabajo tiene como objetivo determinar y desarrollar la mejor opción para la planificación y el diseño de una red de telecomunicaciones de transporte, la cual permita cubrir los requerimientos de interconexión de servicios que tiene Tacna con los servicios de la ciudad de Arequipa. Además como Tacna es una de las ciudades principales del sur del Perú está deberá soportar los servicios de las otras ciudades cercanas.

2.3 Evaluación del Problema

Para el desarrollo del presente trabajo primero vamos a identificar los requerimientos de servicios de telecomunicaciones que requerirían tanto la ciudad de Tacna como las ciudades cercanas a esta, para que con esta información podamos dimensionar la capacidad requerida en la red y los tipos de señales que deberán aceptar las tarjetas de los equipos de la red a diseñar. Por lo tanto en la TABLA N° 2.1 se muestran los tipos de servicios que se podrían transmitir a través del enlace de Tacna y Arequipa, los que pueden clasificarse por servicios para operadores, telefonía móvil, telefonía fija, ADSL, datos y servicios de multimedia, de los cuales los servicios de datos, ADSL y multimedia son los que ocupan mayores capacidades de transmisión.

TABLA N° 2.1 Clasificación de los servicios de telecomunicaciones

CLASE DE SERVICIO	TIPO DE CIRCUITOS
Operadores	Interconexión con operadores Arrendados
Telefonía móvil	Estaciones base celulares (tecnologías CDMA, GSM, GPRS, UMTS) Plataformas Sincronización de equipos HLR y centrales Interconexión de centrales Señalización de centrales
Telefonía fija	Servicio de larga distancia nacional Servicio de larga distancia internacional Señalización de centrales Sincronización de centrales Interconexión de centrales cabeceras y cabecera - remota Plataformas Wireless IP local loop
ADSL	ADSL
Datos	Servicios de Digired Sistemas informáticos Infovía Primarios (PRI) Unired (IP) - Plataforma Frame Relay Redes privada virtuales (VPN) Infointernet Plataformas Sistemas de Gestión de equipos de red G.HDSL
Multimedia	Televisión contributiva (CATV) Televisión esporádica Direct to Home (DTH) - Televisión digital

Ahora conociendo los servicios que se podrían transportar entre Tacna y Arequipa necesitamos conocer los tipos de servicios que Tacna tiene implementado actualmente, para que con esto se pueda dimensionar los requerimientos de capacidades que se requiere para la planificación y diseño de la red de telecomunicaciones.

Según el compendio de estadísticas de los mercados de servicios públicos de telecomunicaciones en el Perú al 2006 desarrollado por el OSIPTEL, la población de Tacna cuenta con servicios de telecomunicaciones como telefonía básica, telefonía móvil, televisión por cable y ADSL y estos servicios actualmente son brindados por la empresa Telefónica del Perú S.A.A. Como los diseños de las redes de telecomunicaciones deben tener una proyección a futuro con el objetivo de optimizar la inversión realizada, la idea de analizar la información mencionada es la de estimar que capacidad requerirá Tacna en el futuro. La TABLA N° 2.2 muestra la cantidad de abonados que tiene el departamento de Tacna para los servicios de telefonía básica, telefonía móvil y telefonía pública, también se observa la cantidad de líneas por habitantes que tiene Tacna en la cual notamos que menos del 10% de la población tiene una línea de telefonía básica y por lo tanto servicio de ADSL.

TABLA N° 2.2 Estadísticas divididas por años de los servicios básicos de Tacna

TELEFONÍA BÁSICA									
Líneas en servicio por departamento									
	1998	1999	2000	2001	2001	2003	2004	2005	2006
Tacna	18636	19932	19551	17505	17715	18655	19964	21878	23545

Densidad de líneas en servicio por departamento									
Líneas por cada 100 habitantes									
	1998	1999	2000	2001	2001	2003	2004	2005	2006
Tacna	6.96	7.28	6.95	6.03	5.94	6.1	6.36	7.58	8.02

TELEFONÍA MÓVIL									
Líneas en servicio por departamento									
	2003	2004	2005	2006					
Tacna	50833	61674	91882	145284					

Densidad por departamento									
Líneas por cada 100 habitantes									
	2003	2004	2005	2006					
Tacna	16.62	19.91	32.16	49.47					

TELEFONÍA DE USO PÚBLICO									
Líneas en servicio por departamento									
	1998	1999	2000	2001	2001	2003	2004	2005	2006
Tacna	925	1245	1565	1553	1794	1981	2216	2520	2949

Densidad de líneas en servicio por departamento									
Líneas por cada 1000 habitantes									
	1998	1999	2000	2001	2001	2003	2004	2005	2006
Tacna	3.5	4.5	5.6	5.3	6	6.5	7.2	8.7	10

Fuente:

OSIPTEL (Compendio de estadísticas de los mercados de servicios públicos de telecomunicaciones en el Perú al 2006)

2.3.1 Estimación de la Capacidad de los Servicios de Telecomunicaciones

Analizando la geografía de la costa sur del Perú notamos que las ciudades más importantes por la cantidad de población son Ica, Arequipa y Tacna, por lo tanto podemos afirmar que si queremos que las ciudades de la costa sur del Perú se encuentren interconectadas, la red de transporte a desplegar debería enlazar Lima con Ica, Ica con Arequipa y Arequipa con Tacna para luego también establecer la conexión de Tacna con Chile (Arica) para enlazar los servicios del Perú con Chile y para poder tener un ruta de protección nuestra red a través del cable submarino, y esto se hace para poder brindar a los usuarios una alto porcentaje de disponibilidad de la red de transporte ya que como es conocido si ocurriese algún problema en la red de transporte que interconectan las ciudades, los circuitos que pasan a través de esta red no se cortarían ya que pueden ser conmutados a través de los equipos de transporte y reenrutados por las fibras de cable submarino, posteriormente detallaremos porque la protección de los circuitos se tienen que proteger por cable submarino y no por otras redes de transporte.

Los servicios del departamento de Tacna, en el cual se incluye los servicios de Tacna, Moquegua, Ilo, etc., que están conformados por los servicios de telefonía básica, telefonía móvil, interconexión de operadores, televisión por cable, circuitos de VPN,

circuitos de datos, etc. Excepto el servicio de ADSL ocuparían aproximadamente como capacidad de red de transporte para conectarse con Arequipa alrededor de 3STM1 (189 E1s). Ahora contando los servicios de ADSL que es el servicio que ocupará la mayor capacidad de la red de transporte podemos plantear que la capacidad de los agregadores de la red de ADSL de Tacna deberá estar aproximadamente como planteamos a continuación.

Partiendo de que en el 2006 se tenía 23545 líneas de telefonía básica entonces tomando un aproximado de 29000 potenciales usuarios que podrían acceder a internet en un futuro cercano a través de un red de ADSL y que por cada E1 se puedan interconectar 30 usuarios entonces realizando el cálculo se necesitarían aproximadamente 15 STM1, pero como actualmente los equipos agregadores de la tecnología ADSL se fabrican con interfaces Giga Ethernet podemos establecer que la capacidad requerida de Tacna para el servicio de ADSL sería de 2Giga Ethernet (14STM1s).

También podemos establecer que Arequipa como la ciudad más grande de todo el sur del Perú va a concentrar los servicios de ADSL de Cuzco, Juliaca, Puno, Tacna, etc. Entonces la capacidad a través de la red de transporte para el servicio de ADSL será de aproximadamente 4 Giga Ethernet (28 STM1s), y estos 28 STM1s deberían estar protegidos por cable submarino para evitar cortes ante problemas en la red de transporte Arequipa hacia Lima, por lo tanto estos circuitos necesitan recursos de capacidad en el enlace que hay entre Tacna y Arequipa como paso para llegar a Arica (se encuentra el punto de empalme para el acceso al cable submarino).

En conclusión por lo visto anteriormente para dimensionar la red de acuerdo a la tendencia de los servicios de telecomunicaciones que se vienen implementando, necesitamos conectar Arequipa con Tacna con una capacidad de red de transporte de aproximadamente 45 STM1s.

2.3.2 Identificación de las Tecnologías de Redes de Transporte

Como equipos de redes de transporte podemos considerar que son aquellos encargados del transporte de las señales a nivel físico entre equipos que brindan servicios. En general aparecen diferenciados por su función, por su capacidad máxima y su jerarquía de transmisión. Los equipos de transporte podemos clasificarlos por la tecnología y por el medio de transmisión que utilizan.

Las redes de transporte clasificadas por el medio de transmisión podemos dividir las en medio de transmisión por fibra óptica y radio.

Las redes de transporte clasificadas por la tecnología podemos dividir las en tecnología PDH, SDH y DWDM. La tecnología PDH son redes de capacidades de 2Mbit/s, 8Mbit/s, 34Mbit/s, 140Mbit/s y 565Mbit/s (pueden tener como medio de transmisión la fibra óptica o radio), la tecnología SDH (pueden tener como medio de

transmisión la fibra óptica o radio) son redes de capacidades de 1STM1 (155Mbit/s), 1STM4 (622Mbit/s), 1STM16 (2.5Gbit/s), 1 STM64 (10Gbit/s) y las redes DWDM son redes de capacidades de hasta 10Gbit/s por longitud de onda y los equipos pueden manejar hasta 40 longitudes de onda por un par de fibras ópticas.

2.3.3 Selección de la Red de Transporte

Según lo analizado anteriormente para los enlaces de transporte con tecnología PDH pueden llegar a una capacidad máxima de 566Mbit/s, los de la tecnología SDH si es por radio se pueden realizar arreglos de sistemas de radio con capacidades de STM1s y se puede llegar hasta 8 STM1s y si utilizamos el medio de transmisión de fibra óptica podemos llegar a capacidades de 10Gbit/s por cada par de fibra óptica y los de la tecnología DWDM obviamente por fibra óptica podemos llegar a capacidades de hasta 40 longitudes de onda (cada longitud de onda puede transmitir 10Gbit/s) por cada para de fibra óptica.

Por lo tanto podemos deducir que, por la capacidad que requerimos implementar (45 STM1s) y las tecnologías que podemos utilizar en la red, la mejor opción es la tecnología DWDM ya que esta tecnología por sus características, como vimos en el capítulo I, maneja grandes capacidades de transmisión y aprovecha de forma eficiente la capacidad que manejan las fibra ópticas (sólo necesitaríamos un par de fibras ópticas). También aprovecha de forma eficiente la inversión que se realizará en la red ya que como vimos esta tecnología evita desperdiciar los recursos de los equipos.

2.4 Limitaciones del Trabajo

El trabajo se enfocará en el dimensionamiento y diseño de la red de transporte sólo tomando en consideración y énfasis la tecnología de transporte DWDM sobre fibra óptica.

Se asumirá que la fibra óptica necesitada para la implementación de la red de transporte con tecnología DWDM está a nuestra disposición y es la fibra G.652.

No se realizará el análisis de costos de la implementación de la red, ya que esto depende de la marca de los equipos que se utilicen y a este nivel de redes estos costos pueden ser muy variables.

De acuerdo a lo visto en el planteamiento de la ingeniería del problema, tenemos que enlazar Tacna con Arequipa para proveer 45 STM1s (2 Gigabit Ethernet, 4 Gigabit Ethernet y 3 STM1s). Y para realizar la planificación y el diseño del enlace de Tacna con Arequipa vamos a utilizar la tecnología DWDM, la cual se adecua mejor a las características del enlace requerido, para esto necesitamos dimensionar de la mejor manera posible los componentes que vamos a utilizar en la red a implementar para que los servicios que pasemos tengan buenos niveles de calidad.

CAPITULO III

INGENIERÍA DEL PROYECTO DEL ENLACE TACNA - AREQUIPA

En el desarrollo de la ingeniería de un proyecto se tiene que tener presente en todo momento las necesidades que deseamos cubrir con la implementación del proyecto. Por lo cual para cubrir las necesidades en nuestro proyecto en este capítulo vamos a analizar las características y requerimientos del proyecto y vamos a establecer las mejor opciones a considerar para la implementación del enlace, entre uno de los puntos a considerar en el análisis se encuentran el establecimiento de las características de los componentes de los equipos y dispositivos que vamos a requerir en el proyecto, otros puntos que vamos a analizar en este capítulo son: la calidad del enlace que tenemos que lograr durante la implementación de la red y como vamos a medir estos niveles de calidad, el proceso de desarrollo del planeamiento y diseño del enlace, los criterios que debemos tener durante la instalación de la red, los criterios para el comisionamiento de la red instalada y finalmente como tenemos que realizar la operación y el mantenimiento.

3.1 Situación Actual

De acuerdo a lo visto en el planteamiento de la ingeniería del problema, tenemos que enlazar Tacna con Arequipa para proveer 45 STM1s (2 Gigabit Ethernet, 4 Gigabit Ethernet y 3 STM1s). Para enlazar a Tacna con Arequipa vamos a utilizar la tecnología DWDM y para esto necesitamos un par de fibras ópticas las cuales serán tomadas como existentes y la distribución en la red desde Arequipa a Tacna será de acuerdo a la Fig.3.1. Cada uno de los puntos mencionados son salas en las cuales las fibras ópticas llegan a ODFs (Bastidores de Distribución Ópticos).

El tipo de fibra óptica mayormente usada por su costo es la fibra G.652, por lo tanto para temas de nuestro diseño la fibra que vamos a tomar es la fibra G.652. Más adelante daremos más detalle acerca de las características de este tipo de fibras y lo que tenemos que considerar para realizar un buen diseño del enlace DWDM.

También otro punto importante a considerar en el diseño de la red DWDM son las distancias que hay entre cada uno de los puntos del enlace, y la importancia radica en que estas distancias son las longitudes aproximadas de los cables de fibra óptica distribuidas entre los puntos las cuales tienen una relación directa con la calidad del enlace DWDM. Por lo tanto en la Fig.3.2 mostramos las distancias que tenemos entre cada uno de los puntos del enlace.

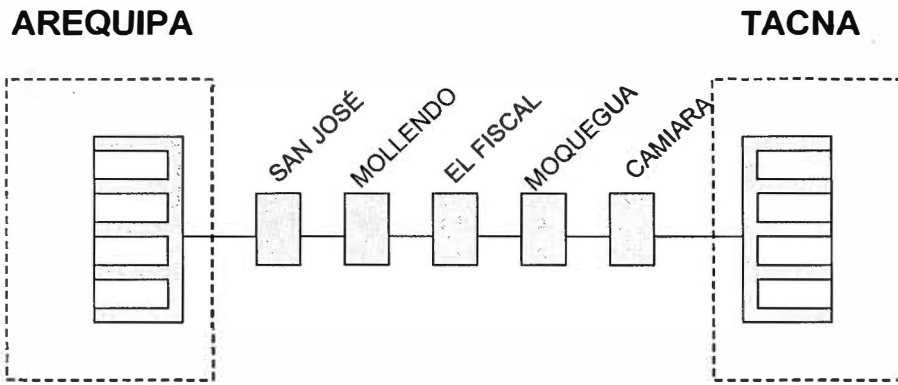


Fig.3.1 Distribución de la fibra óptica entre Tacna y Arequipa

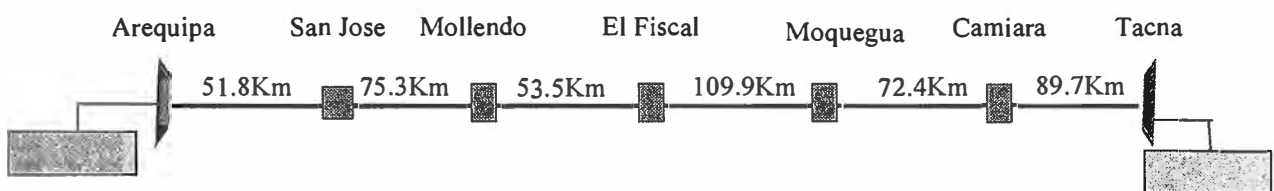


Fig. 3.2 Distancias que se tienen entre los puntos de la ruta Arequipa – Tacna

3.2 Especificaciones Técnicas de los Componentes de las Redes DWDM

3.2.1 Bastidor

Un bastidor es una estructura que sirve para almacenar los equipos, los cuales contienen los sub-bastidores y que a su vez estos contienen a las tarjetas, los diferentes proveedores que hay en el mercado ofrecen bastidores con las siguientes dimensiones 2.2x0.6x0.3m (AlturaxAnchoxLargo), 2.2x0.6x0.6m (AlturaxAnchoxLargo) o 2.6x0.6x0.3m (AlturaxAnchoxLargo) y normalmente en cada uno de los bastidores se pueden acomodar de 1 a 3 sub-bastidores de 19 o 23 pulgadas. Las dimensiones del sub-bastidor son de 625x440x290mm (AlturaxAnchoxLargo).

Cada equipo DWDM se puede ubicar en uno o varios sub-bastidores dependiendo de la configuración que tenga el equipo y esto es permitido ya que la conexión entre las tarjetas se realiza mediante fibras ópticas. Un equipo normalmente tiene una tarjeta de energía DC (-48V/-60V), ventiladores, área de tarjetas.

3.2.2 Tarjetas y Componentes

Los equipos DWDM pueden tener dependiendo de su función componentes o tarjetas de diferentes categorías y estas se pueden clasificar por la etapa en el proceso de multiplexación en la que se encuentren.

Como tarjetas y componentes de las redes DWDM tenemos los siguientes:

a) Unidad de Transponder Óptico (OTU)

La tarjeta de transponder óptica permite acceder una o múltiples canales al proceso de multiplexación DWDM. Esta tarjeta converge o convierte, dependiendo del caso, la

señal de entrada de la tarjeta a una salida estándar de longitud de onda DWDM de acuerdo al estándar DWDM G.694.1.

La OTU puede trabajar con diferentes tipos de señales de entrada de diferentes tecnologías y diferentes velocidades, y para estas señales el paso por la red DWDM es transparente como mostramos en la Fig.3.3.

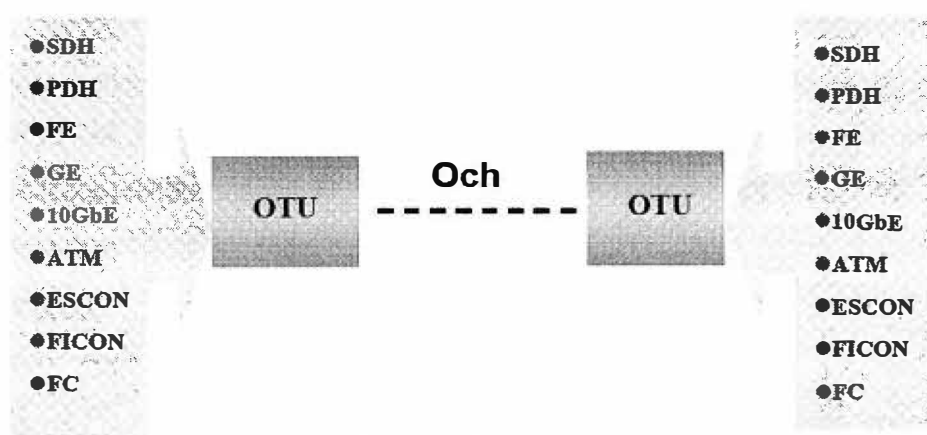


Fig.3.3 Tipos de señales que pueden manejar las OTUs

La función de las OTU está definida de acuerdo a estándares de la ITU-T tanto para la entrada como para la salida de la OTU. La OTU puede realizar 3 funciones (3R siglas en inglés) que son de regeneración, de resincronización y retransmitir. También a estas tarjetas se le puede configurar la función ALS que significa que cuando la fibra se desconecta de la interfase de la tarjeta esta inhibe el láser para evitar daños en las personas que trabajan con estos equipos.

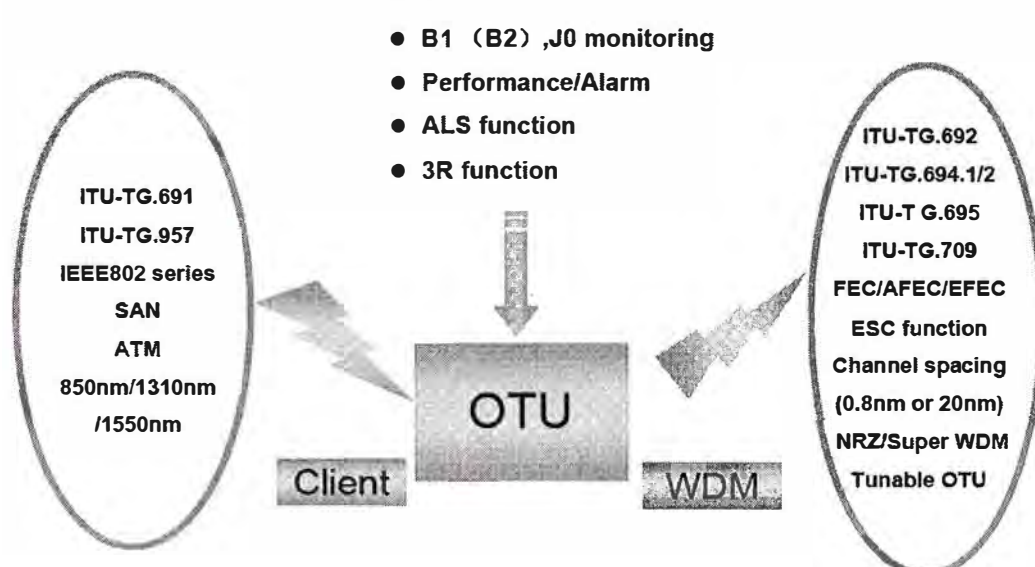


Fig.3.4 Funciones de las OTUs

Cada transponder dentro del sistema convierte la señal cliente a una longitud de onda ligeramente distinta (variación de 100GHz). Las longitudes de onda de todos los transponders del sistema son entonces multiplexadas ópticamente. En la recepción del sistema DWDM, tiene lugar el proceso inverso. Las longitudes de onda individuales son

filtradas desde las fibras multiplexadas y alimentan a los transponders individuales, que convierten la señal a eléctrica y la dirigen a través de una interfase estándar al cliente como se ve en la Fig.3.4. Los futuros diseños incluyen interfaces pasivas, que aceptan la luz según las normas ITU directamente de un conmutador o enrutador conectado a una interfaz óptica.

Las tarjetas de transponder ópticas pueden aceptar diferentes entradas provenientes del cliente y estas transforman las señales convirtiéndolas en longitudes de ondas (longitud de onda específico). En la Fig.3.5 podemos ver los diferentes tipos de tarjetas de transponder ópticas que pueden convertir las señales para luego transportarlas a través de la red DWDM.

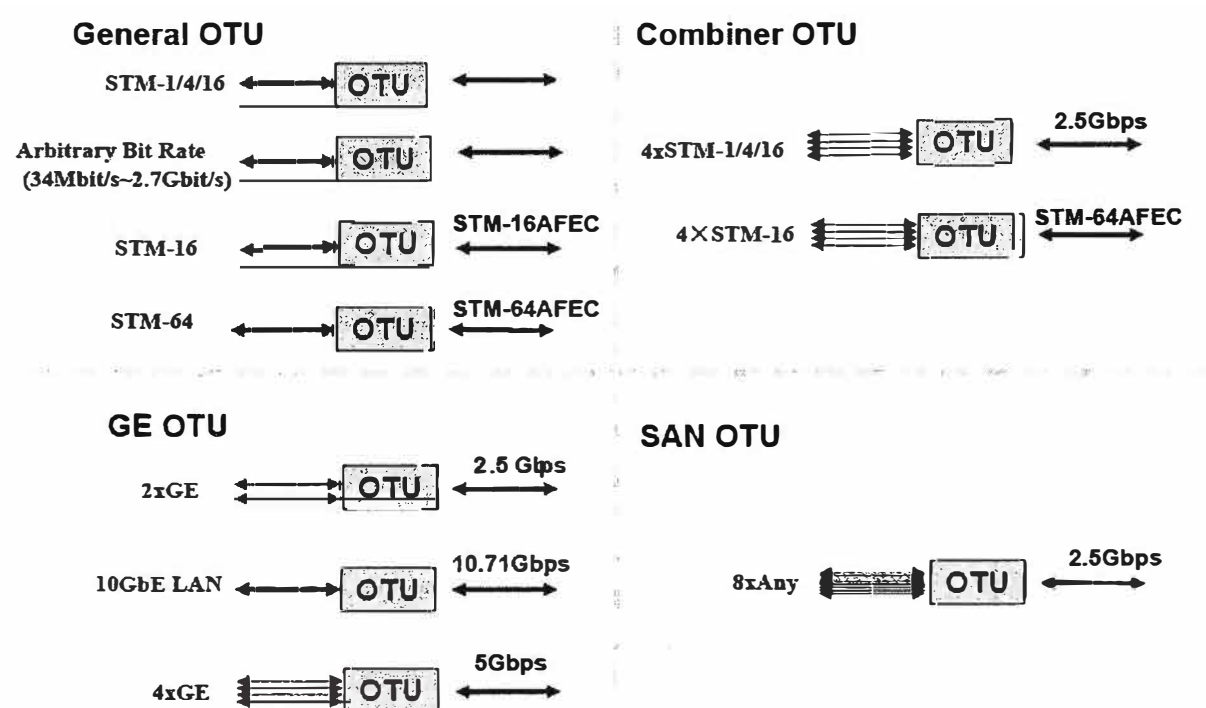


Fig.3.5 Velocidades que manejan las OTUs

Las longitudes de onda que se asignan a las señales entrantes provenientes del cliente al sistema DWDM pueden estar conformadas como se muestra en la TABLA N° 3.1, por ejemplo en el caso que el equipo DWDM permita multiplexar hasta 40 longitudes de onda.

Entonces para nuestro diseño de la conexión de Tacna con Arequipa lo que necesitamos es por cada uno de los nodos terminales establecidos en este caso Arequipa y Tacna necesitamos 1 OTU de capacidad de 4xSTM1, 1 OTU de capacidad de 2xGE y 1 OTU de capacidad de 4xGE y debemos tomar 3 longitudes de onda de las 40 disponibles para nuestro diseño, las longitudes de onda que vamos a tomar van a ser la de la frecuencia 192.1 THz (λ 1), 192.2 THz (λ 2) y 192.3 THz (λ 3) según la TABLA N° 3.1.

TABLA N° 3.1 Frecuencia de las longitudes de onda

No	Frequency (THz)	No	Frequency (THz)	No	Frequency (THz)	No	Frequency (THz)
1	192.1	11	193.1	21	194.1	31	195.1
2	192.2	12	193.2	22	194.2	32	195.2
3	192.3	13	193.3	23	194.3	33	195.3
4	192.4	14	193.4	24	194.4	34	195.4
5	192.5	15	193.5	25	194.5	35	195.5
6	192.6	16	193.6	26	194.6	36	195.6
7	192.7	17	193.7	27	194.7	37	195.7
8	192.8	18	193.8	28	194.8	38	195.8
9	192.9	19	193.9	29	194.9	39	195.9
10	193.0	20	194.0	30	195.0	40	196.0

b) Multiplexor Óptico/De-multiplexor Óptico (MUX/DEMUX)

La función de la tarjeta de multiplexación es juntar (multiplexar) las diferentes señales ópticas convertidas en longitudes de onda, provenientes de las OTUs, y el resultado de esto es una sola señal (un solo rayo). La tarjeta de demultiplexación su función es separar (demultiplexar) el rayo proveniente del lado DWDM en varias señales o longitudes de ondas y enviarlas a las OTUs para que estas puedan convertir las longitudes de onda en las señales originales como se muestra en la Fig.3.6.

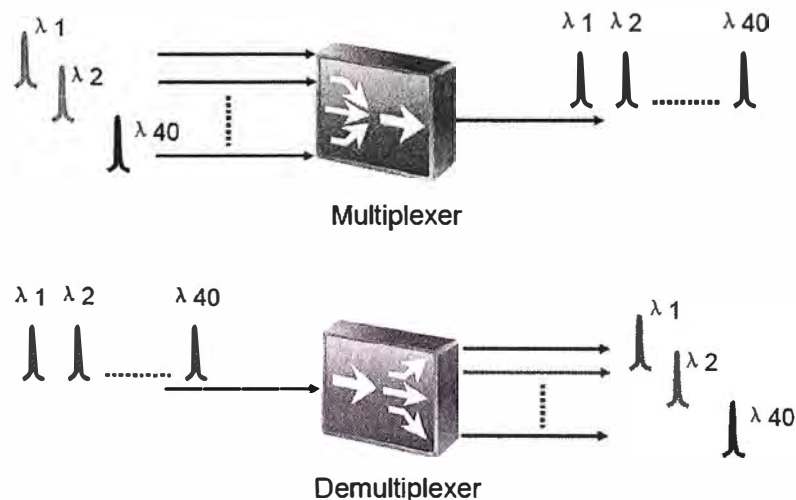


Fig.3.6 Multiplexor y Demultiplexor

En nuestro caso nosotros vamos a utilizar equipos DWDM que permitan multiplexar y demultiplexar 40 longitudes de onda (M40/D40) como se muestra en la Fig.3.7, en algunos casos la tarjeta de multiplexación puede permitir atenuar las señales de los puertos entrantes a la tarjeta para que estén acordes a los niveles de potencias deseados. También podemos mencionar que estas tarjetas permiten monitorear la señal

que se esta enviando a través de un canal de monitorio en la tarjeta.

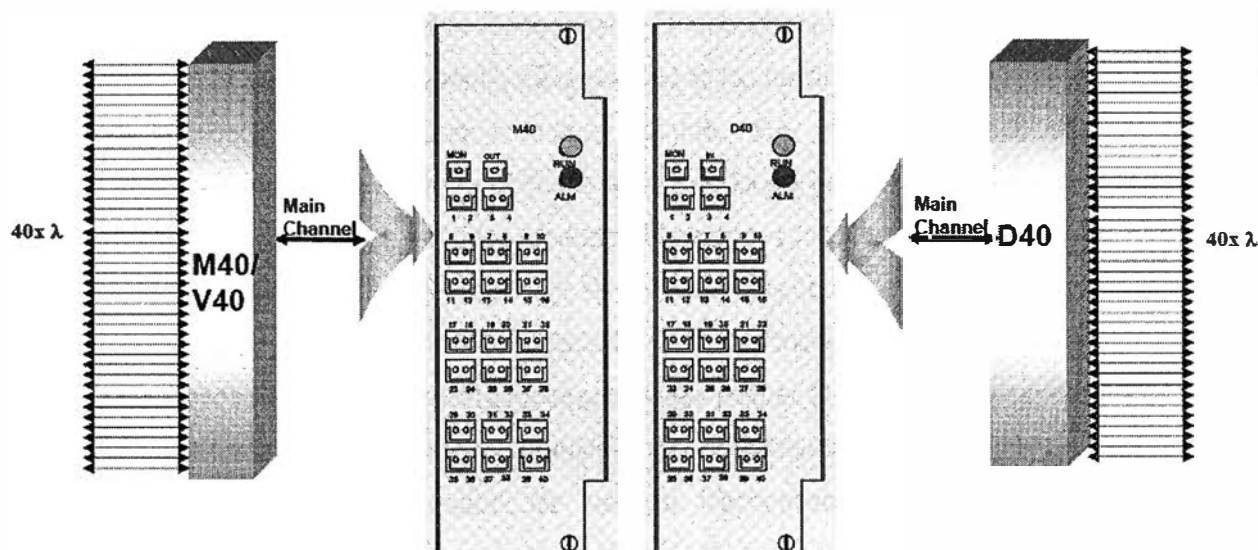


Fig.3.7 Tarjeta multiplexora y demultiplexora M40/D40

Entonces el trayecto de la señal se puede determinar de acuerdo al diagrama de flujo de la Fig.3.8, en los cuales notamos que tanto para el proceso de multiplexación como para la demultiplexación el canal de monitoreo (MON) está presente en ambos procesos.

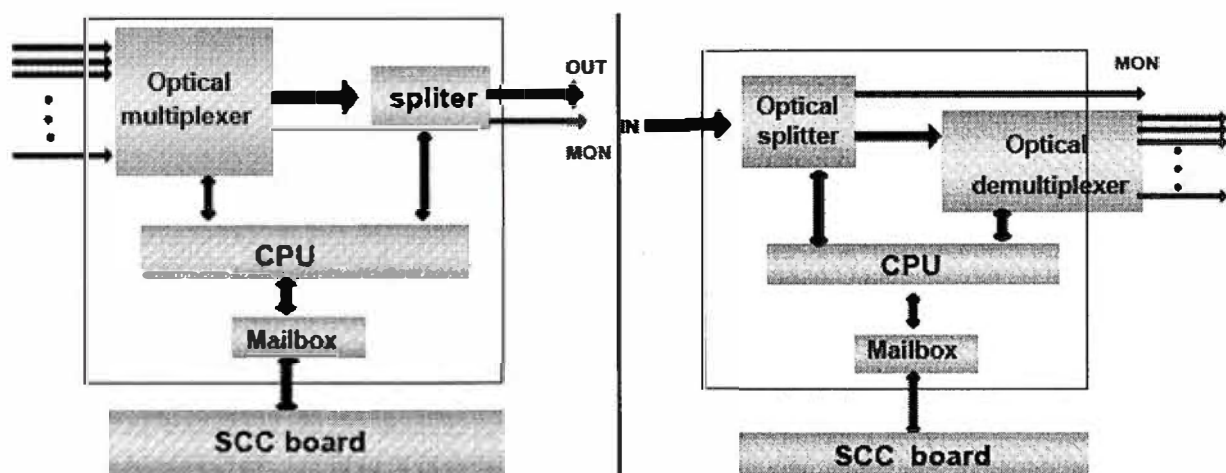


Fig.3.8 Flujo de la ruta en el multiplexor y demultiplexor

Los valores de las pérdidas de inserción de las tarjetas multiplexora y demultiplexora (tarjetas M40/D40) las podemos ver en la TABLA N° 3.2.

TABLA N° 3.2 Especificaciones técnicas del M40 y D40

Board & interface	Insertion loss	Board & interface	Insertion loss
M40: M01~40 - OUT	<8dB	V40:M01~M40 - OUT	<10
D40: IN - D01~40	<8dB	MB2: IN-DROP	<3dB

c) Unidad del Amplificador Óptico (OA)

La tarjeta del amplificador óptico tiene la función en una red DWDM de amplificar la potencia de la señal multiplexada para extender la distancia de transmisión o para que esta sea recibida de la mejor manera posible. En otras palabras la función del amplificador es nivelar las señales ópticas para que la señal no se degrade por efectos de las atenuaciones o no tenga errores. Los amplificadores pueden ser de 3 tipos:

1) OAU (Unidad del amplificador óptico): El OAU es usado para amplificar la señal óptica, el OAU puede ser usado en ambas direcciones la de transmisión y la de recepción. Las principales funciones y características soportadas por el OAU son la amplificación de la señal óptica, ajuste de la ganancia, monitorio del desarrollo óptico en tiempo real, función de ganancia de bloqueo, función de control transitorio y monitoreo de alarmas y rendimiento de eventos. El OAU consiste en cuatro partes, que son el módulo del EDFA óptico, el módulo de bombeo y detección, el módulo de control y comunicación y el módulo de provisión de energía. La ubicación del OAU en la red se muestra en la Fig.3.9.

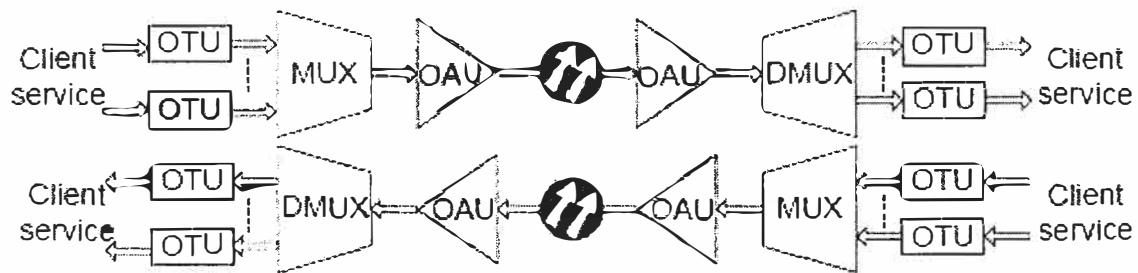


Fig.3.9 Ubicación del OAU en la red DWDM

2) OBU (Unidad de aumento óptico): El OBU es usado para amplificar las señales ópticas. El OBU es usualmente usado en la dirección de la transmisión de la señal. Las principales funciones y características soportadas por el OBU son amplificación de la señal óptica, monitorio del rendimiento óptico en tiempo real, función de ganancia de bloqueo, función de control transitorio y monitoreo de las alarmas y rendimiento de los eventos. El OBU es una unidad que consiste en cuatro partes: el módulo óptico EDFA, el módulo de bombeo y detección, el módulo de comunicación y control y el módulo de provisión de la energía. La ubicación del OBU en la red se muestra en la Fig.3.10.

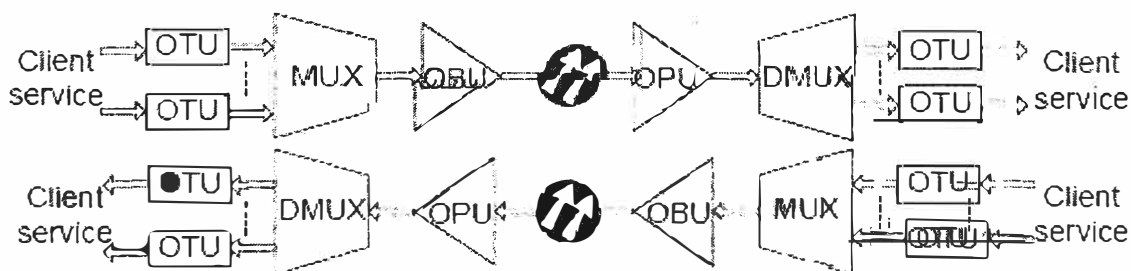


Fig.3.10 Ubicación del OBU en la red DWDM

3) OPU (Unidad del pre-amplificador óptico): El OPU es principalmente usado para amplificar las señales en banda C. El OPU es usualmente usado en la dirección de recepción de la señal. Las principales funciones y características soportadas por la OPU son la amplificación de la señal óptica, monitorio del rendimiento óptico en tiempo real, función de ganancia de bloqueo, función de control transitorio y monitoreo de las alarmas y rendimiento de los eventos. La unidad OPTU consiste en cuatro partes: el módulo óptico EDFA, el módulo de bombeo y detección, el módulo de comunicación y control y el módulo de provisión de la energía. La ubicación del OAU en la red se muestra en la Fig.3.11.

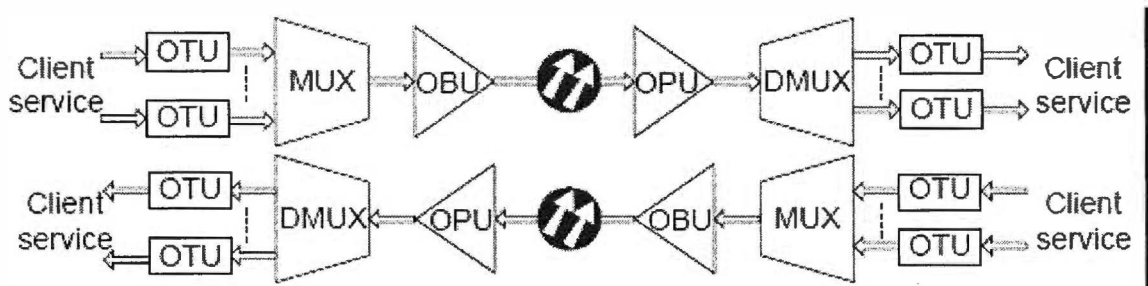


Fig.3.11 Ubicación del OPU en la red DWDM

Por lo tanto los tres tipos de amplificadores el OAU, el OPU y el OBU son similares en funcionamiento pero la diferencia principal que tienen estos amplificadores son los niveles de potencia que maneja cada uno de ellos tanto en la entrada (sensibilidad de los amplificadores) como en la salida de los amplificadores, lo cual veremos posteriormente. La ubicación de cada uno de los tipos de los amplificadores en las redes DWDM se muestra en la Fig.3.12.

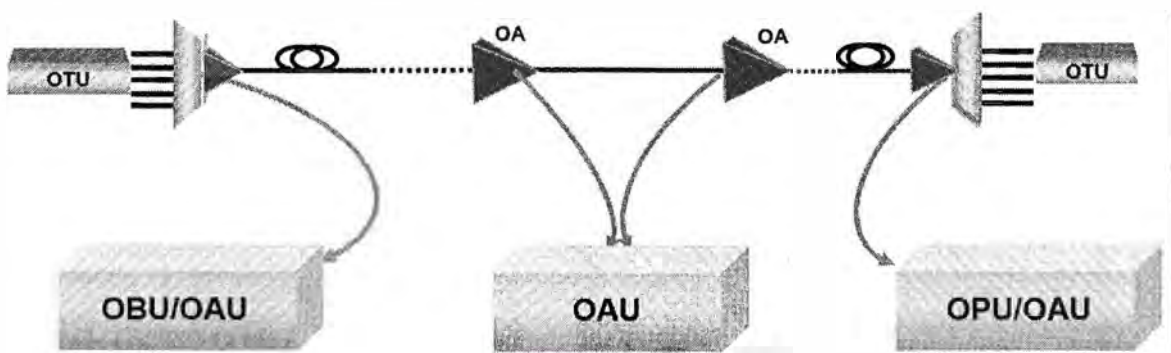


Fig.3.12 Ubicación de los amplificadores en la red

Los amplificadores pueden amplificar las 40 longitudes de onda (con canales de espaciamiento de 100 GHz) de forma simultánea. La ganancia típica es diferente uno de los otros, la figura de ruido es pequeña, está habilitada la función de ganancia bloqueada, soporte monitoreo en tiempo real del espectro para análisis de la señal. Y el flujo de trabajo del amplificador se muestra en la Fig. 3.13.

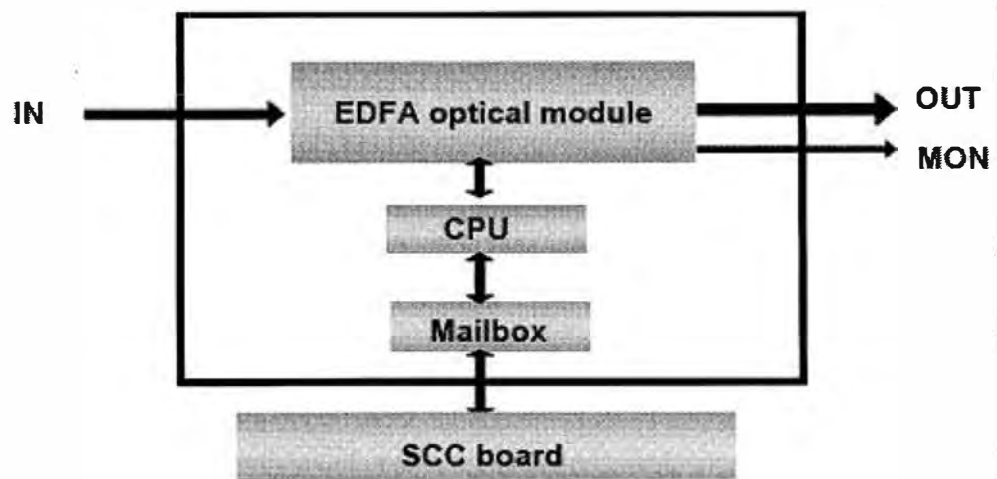


Fig. 3.13 Flujo del funcionamiento del amplificador

Las especificaciones técnicas de los diferentes tipos de amplificadores ópticos son como se muestran en la TABLA N° 3.3, para los diseños de redes DWDM se deben considerar estos valores para el dimensionamiento de las redes.

TABLA N° 3.3 Especificaciones técnicas de los amplificadores

Item	Max. output power of total channels (dBm)	Max. output power of single channel (dBm)	Channel gain (dB)	Max. total gain (dB)	Typical input power of single channel (dBm)	Min. input power (dBm)	NF (dB)	Intermediate attenuation (dB)
OBU01	17	1	23	-	-22	-32	5.5	-
OBU03	20	4	23	-	-19	-24	6	-
OBU05	23	7	23	-	-16	-24	7	-
OPU01	14	-2	20	-	-22	-32	5.5	-
OPU02	14	-2	20	-	-22	-32	5.5	-
OPU03	15	-1	23	-	-24	-32	5.5	-
OAU01	20	4	20 ~ 31	33	-16 ~ -27	-32	8.5 ~ 5.5	13 ~ 2
OAU02	17	1	20 ~ 31	33	-19 ~ -30	-32	7.5 ~ 5.5	13 ~ 2
OAU03	20	4	26 ~ 32	40	-22 ~ -28	-32	7 ~ 5.5	14 ~ 8
OAU05	23	7	23 ~ 34	36	-16 ~ -27	-32	8.5 ~ 6	13 ~ 2

d) Unidad de Interfase de Fibra (FIU)

La FIU es la última unidad por la que pasa la señal en el equipo DWDM para después ser enviada a la fibra óptica para el transporte de la señal. La FIU es una unidad que sirve en el caso de la dirección de transmisión unir la señal multiplexada, resultado de la multiplexación de las longitudes de onda, con el canal de supervisión de la red y en el caso de la dirección de recepción dividir la señal multiplexada y el canal de supervisión de la red. En la Fig.3.14 se muestra la ubicación de la unidad de interfase de fibra óptica (FIU) en la redes DWDM.

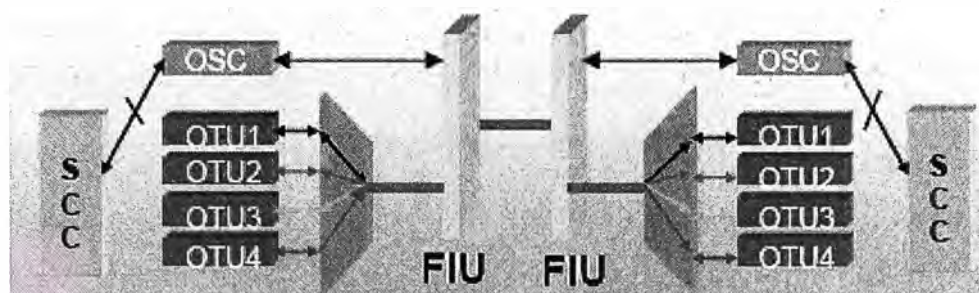


Fig.3.14 Diagrama de ubicación de la FIU

Las especificaciones de la FIU son como se muestran en la TABLA N° 3.4.

TABLA N° 3.4 Especificaciones técnicas de la FIU

Board & interface	Insertion loss	Board & interface	Insertion loss
FIU: IN—TM	<1.2dB	D40	<10dB
FIU: IN—TC	<1.2dB	CONNECTOR	<0.5dB

e) Unidad de Supervisión de Canal Óptico (OSC)

La OSC es principalmente usada para monitorear los canales ópticos, recolectar y transmitir las líneas de orden y la información a la red de administración de la red. Hay 2 tipos diferentes de tarjetas OSC: la del primer tipo puede supervisar el canal óptico en una sola dirección y es usada comúnmente en los OTMs y la del segundo tipo puede supervisar el canal óptico de forma dual y es comúnmente usada en OLAs, REG y OADMs. La longitud de onda de la OSC es 1510nm, mientras que para el respaldo de la longitud de onda de la OSC es 1625nm.

f) Unidad de Comunicación y Control del Sistema (SCC)

La tarjeta de comunicación y control del sistema es el centro de control de los equipos DWDM. La función de esta tarjeta es de administrar el equipo y es responsable de la comunicación entre los sub- bastidores y sistemas de gestión de la red.

g) Unidades de Atenuación Óptica (VOA)

La función principal de la VOA es calibrar el nivel de la señal para que esta pueda ingresar a otra unidad del equipamiento DWDM y esta señal esté conforme con las especificaciones técnicas de las tarjetas (todas las unidades de los equipos DWDM tienen rangos de potencia que la señal tiene que cumplir para la entrada a la tarjeta con el fin de que está tenga un buen desempeño en la red). La unidad VOA consiste en cuatro partes: el atenuador variable óptico, el módulo de control y manejo, el módulo de control y comunicación y el módulo de provisión de potencia. A ubicación de la VOA en la red se muestra en la Fig.3.15. En conclusión la tarjeta VOA ajusta la potencia óptica de un canal óptico para con esto uniformizar todas las señales en los equipos DWDM y para

que cuando las señales pasen por los amplificadores la amplificación sea uniforme y por lo tanto los niveles de potencia.

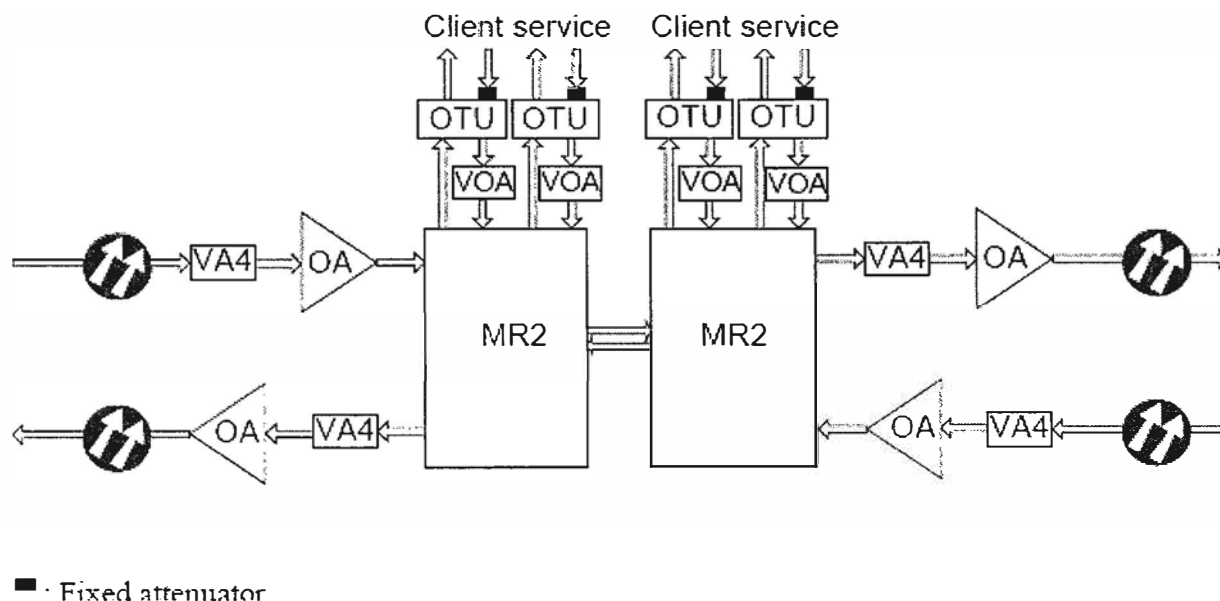


Fig.3.15 Ubicación de las VOA en la red DWDM

h) Compensadores de Dispersión Cromática (DCM)

Los compensadores de dispersión cromática son unidades externas al equipo DWDM que ayudan a mejorar la señal y combatir contra los efectos no lineales de la señal de la fibra óptica. El DCM puede ser usado para compensar la dispersión positiva de la transmisión de la fibra, así como mantener el ancho original del pulso de la señal y evitar la interferencia con los canales vecinos.

El coeficiente de dispersión de la fibra G.652 es muy alto, mientras que el de la fibra G.655 es pequeño. Un compensador de dispersión cromática puede ser instalado en una unidad de amplificación óptica en el transmisor final o en el receptor final de acuerdo a la situación actual. Los compensadores de dispersión cromática usan dispersión negativa para compensar la dispersión positiva de la transmisión de la fibra. Las fibras G.652 o la G.655 tienen coeficiente de dispersión positiva en la ventana de 1550nm. Después que la señal es transmitida sobre cierta distancia, la acumulación de dispersiones positivas ensancha el pulso de la señal óptica. Este efecto seriamente afecta el rendimiento de la transmisión. Para minimizar este efecto es necesario realizar un buen diseño en la ubicación y dimensionamiento de los compensadores de dispersión cromática (DCMs) en la red.

Las especificaciones técnicas (pérdidas de inserción y retardo diferencial de grupo DGD) de los compensadores de dispersión cromática en función de la distancia y a los tipos de fibras ópticas mayormente usados (G.652 y G.655) en redes DWDM se muestran en TABLA N° 3.5.

TABLA N° 3.5 Especificaciones técnicas de los DCMs

DCM	Insertion loss (dB)	DGD of DCM (ps)
DCM(S) - for G.652 - 5km	<2.3	<0.3
DCM(T) - for G.652 - 10km	<2.8	<0.3
DCM(A) - for G.652 - 20km	<3.1	<0.4
DCM(B) - for G.652 - 40km	<4.5	<0.5
DCM(C) - for G.652 - 60km	<5.8	<0.6
DCM(D) - for G.652 - 80km	<7.1	<0.7
DCM(E) - for G.652 - 100km	<8.2	<0.8
DCM(F) - for G.652 - 120km	<9	<0.8
DCM(A) - for G.655 Leaf - 20km	<3.7	<0.4
DCM(B) - for G.655 Leaf - 40km	<4.5	<0.5
DCM(C) - for G.655 Leaf - 60km	<5.5	<0.7
DCM(D) - for G.655 Leaf - 80km	<6.3	<0.8
DCM(E) - for G.655 Leaf - 100km	<7.6	<0.9
DCM(F) - for G.655 Leaf - 120km	<8.2	<0.9

3.2.3 Tipos de Configuración de los Nodos

a) Multiplexor Terminal Óptico (OTM)

El OTM añade y quita señales en la red y realiza la conversión óptica / eléctrica / óptica para todos los canales ópticos de la red. El OTM es el tipo de nodo que se coloca en los puntos finales de los enlaces en la red DWDM y este tipo de nodo generalmente es usado para subir o bajar señales de los diferentes servicios a la red DWDM. El OTM incluye las siguientes unidades: unidad de transponder óptico (OTU), multiplexor / demultiplexor óptico (M40, D40 que maneja 40 longitudes de onda), los diferentes tipos de amplificadores ópticos (OAU, OBU, OPU), unidades de acceso de supervisión del canal (FIU), unidad de procesamiento OSC (SC1), como se muestra en la Fig.3.16

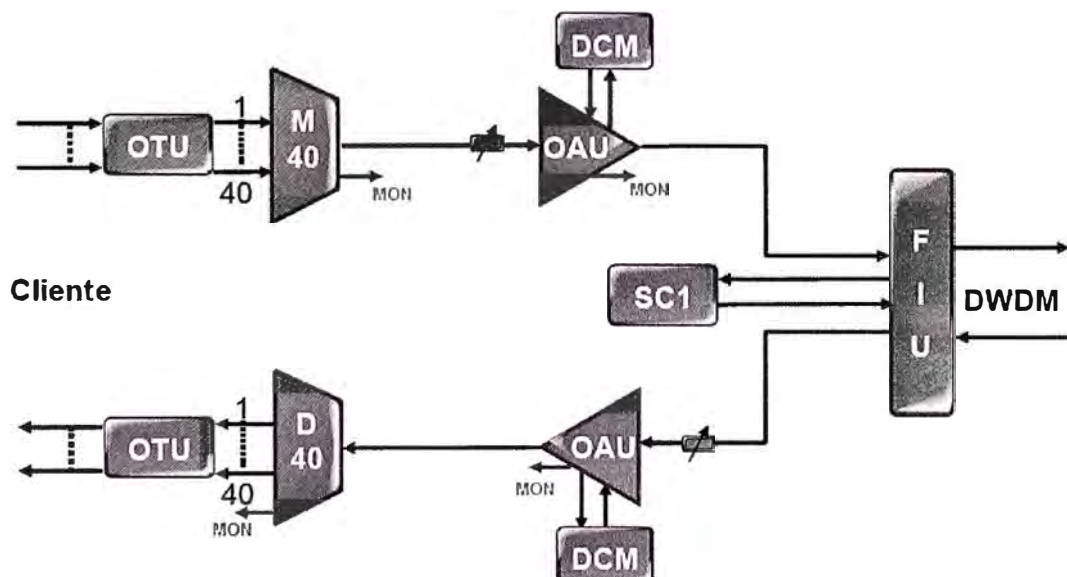


Fig.3.16 Tipo de nodo multiplexor terminal óptico (OTM)

b) Amplificador de Línea Óptico (OLA)

El amplificador de línea óptico compensa la pérdida de potencia causada por la fibra óptica debido a la distancia y otros componentes ópticos pasivos. El amplificador de línea óptico es un tipo de nodo que generalmente ubicado en los puntos intermedios de los enlaces DWDM, este tipo de nodo es utilizado en enlaces que tienen distancias largas y es también utilizado para mantener en un buen nivel de potencia óptica la señal que viaja a través de la red DWDM. El amplificador de línea óptico incluye las siguientes unidades: los diferentes tipos de amplificadores ópticos (OAU, OBU, OPU), unidad de acceso de la supervisión del canal (FIU), unidad de procesamiento OSC (SC2) y la unidad de control y comunicación del sistema (SCC).

En la Fig.3.17 se muestra la relación y ubicación de las unidades en el nodo tipo amplificador de línea óptico (OLA) en la cual podemos notar que en este tipo de nodos no bajan las señales, la señal sólo es de paso.

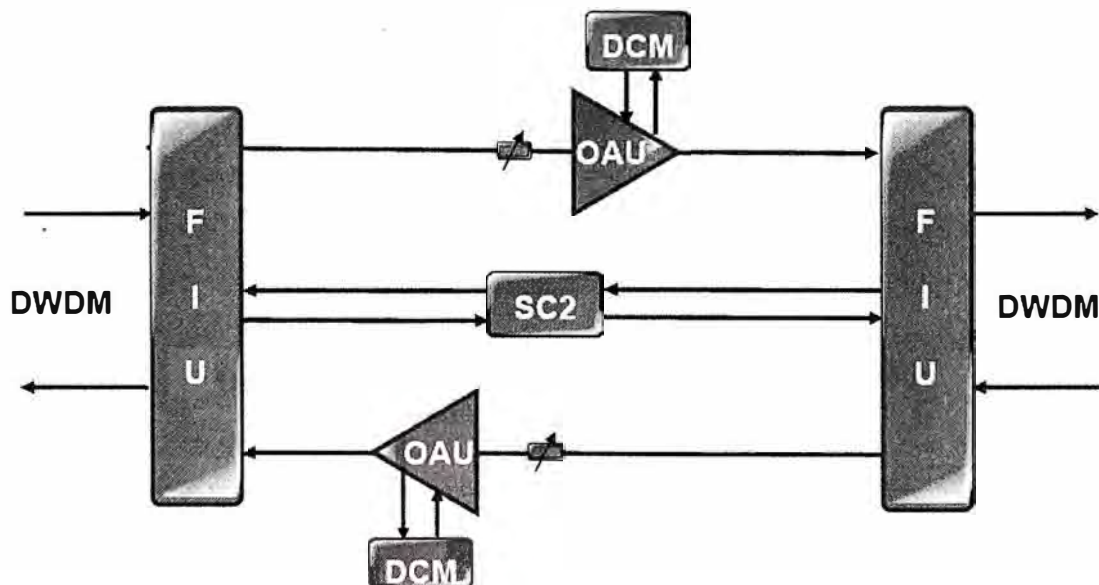


Fig.3.17 Tipo de nodo amplificador de línea óptico (OLA)

c) Multiplexor Añadir/Quitar Óptico (OADM)

El OADM añade y quita parte de los canales ópticos plasmados en longitudes de ondas y las otras longitudes de ondas restantes los pasa a través del nodo transparentemente. El OADM es el tipo de nodo que generalmente se encuentra ubicado en los puntos intermedios del enlace DWDM este tipo de nodo es usado para subir o extraer unos cuantos canales (longitudes de onda) del enlace DWDM. El OADM incluye, como se muestra en la Fig.3.18, las siguientes unidades: unidad de transponder óptico (OTU), multiplexor óptico añadir/quitar (M40, D40), amplificador óptico (OAU, OBU, OPU), unidad de acceso a la supervisión del canal (FIU), unidad de procesamiento del OSC (SC2).

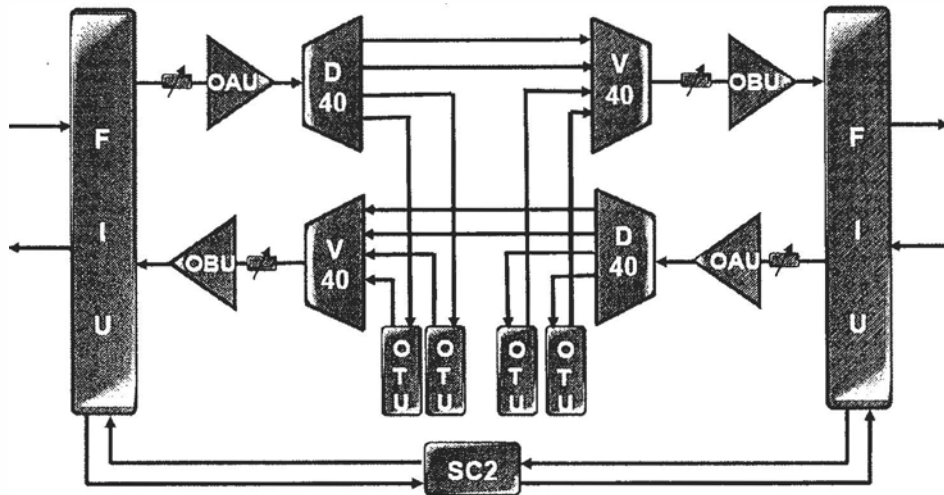


Fig.3.18 Tipo de nodo multiplexor añadir/quitar óptico (OADM)

3.2.4 Topologías de la Red DWDM

Una red DWDM puede tener diferentes tipos de topologías, y cada una de ellas tiene ventajas una de las otras de acuerdo a las características de la red. Dentro de las topologías más comunes en redes DWDM podemos mencionar 3 tipos de topologías.

a) Topología Punto a Punto

En la Fig.3.19 se muestra la configuración de una topología punto a punto unida con el tipo de nodos que pueden instalarse en este tipo de topología.

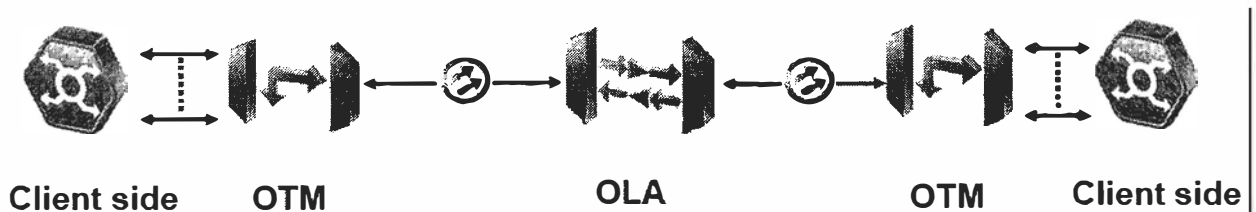


Fig.3.19 Topología punto a punto

b) Topología Cadena

En la Fig.3.20 se muestra la configuración de una topología cadena unida con los tipos de nodos que pueden instalarse en este tipo de topología.

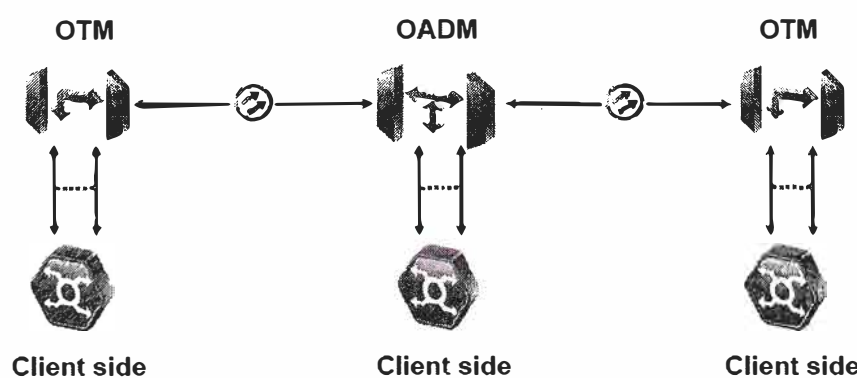


Fig.3.20 Topología cadena

c) Topología Anillo

En la Fig.3.21 se muestra la configuración de una topología anillo unido con los tipos de nodos que pueden instalarse en este tipo de topología.

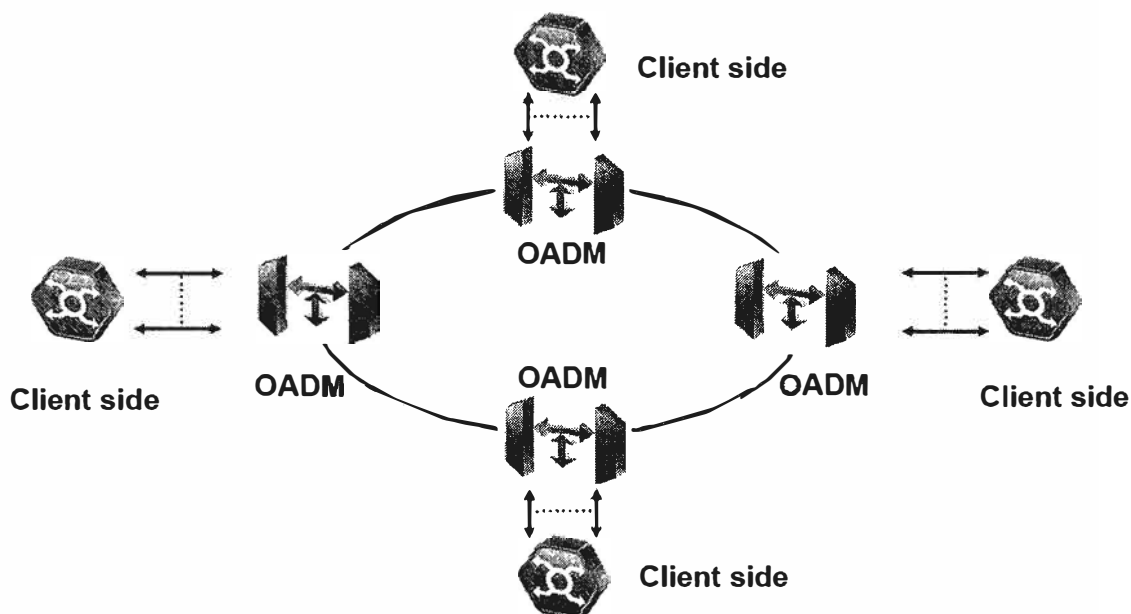


Fig.3.21 Topología anillo

3.3 Fórmulas para la Determinación de la Calidad del Enlace DWDM

3.3.1 Presupuesto de la Potencia (Atenuación)

La potencia de los sistemas DWDM es uno de los puntos claves que siempre se tiene que tener en consideración y uno de los factores que afecta a la potencia de los enlaces son las atenuaciones que se pueden producir a través de la ruta del enlace, en la Fig.3.22 se muestra los puntos de medida de la potencia en la red DWDM. Las atenuaciones pueden ser causadas por efectos de la fibra óptica o por los componentes de los equipos DWDM (perdidas por inserción de los componentes en la red DWDM).

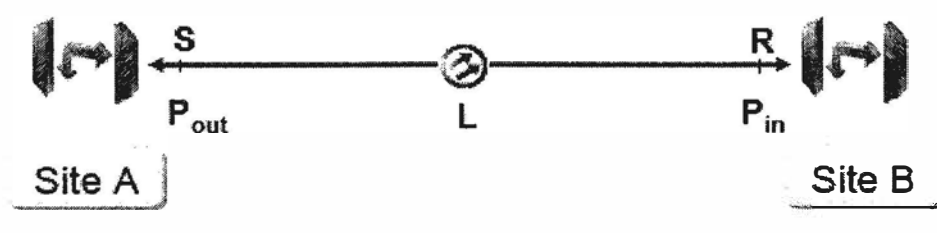


Fig.3.22 Puntos de medida de la potencia

Por definición la fórmula (3.1) muestra como se calcula la pérdida en la fibra.

$$\text{Pérdida de la fibra} = P_{\text{out}} \text{ (dBm)} - P_{\text{in}} \text{ (dBm)} = L \text{ (km)} \times a \text{ (dB/km)} \quad (3.1)$$

Donde:

a: coeficiente de atenuación

Según la norma G.652 y G.655 estas fibras en la ventana de 1550nm $a=0.22\text{dB/km}$

En el caso que dos señales se junten en una sola, esta tendrá el comportamiento como se muestra en la Fig.3.23 y estará definida por la fórmula (3.2).

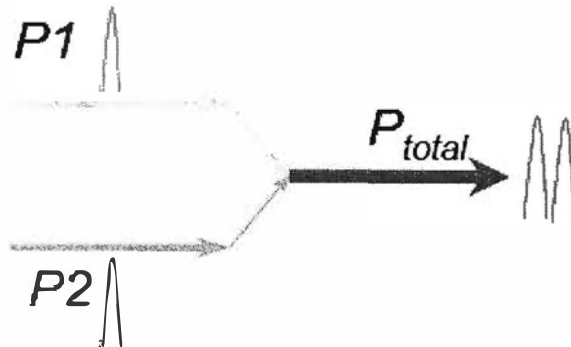


Fig.3.23 Suma de potencia de dos señales

$$P_{total} \text{ (mW)} = P1 \text{ (mW)} + P2 \text{ (mW)} \quad (3.2)$$

Como en los diseños de ingeniería de los enlaces DWDM se debe tratar de que las potencias de las longitudes de onda tengan los mismos niveles de potencia asumimos que $P1=P2$ entonces tenemos la fórmula (3.3) que muestra la potencia total.

$$P_{total} \text{ (dBm)} = P_{single} \text{ (dBm)} + 10\lg 2 \text{ (dB)} \quad (3.3)$$

Y en caso de tener N longitudes de onda la fórmula (3.4) muestra la potencia total.

$$P_{total} \text{ (dBm)} = P_{single} \text{ (dBm)} + 10\lg N \text{ (dB)} \quad (3.4)$$

Para las velocidades 2.5Gbit/s y 10Gbit/s la TABLA N° 3.6 muestra las especificaciones técnicas de las OTU (niveles de potencias típicos de los transponders ópticos).

TABLA N° 3.6 Especificaciones técnicas de las OTUs

Data rate	Mean launch power (dBm)	Receive power range	
		APD (dBm)	PIN (dBm)
2.5Gbit/s	0 ~ -10	-9 ~ -25	0 ~ -18
10Gbit/s	0 ~ -5	/	0 ~ -14

3.3.2 Dispersión

a) Dispersión Cromática (DC)

Por el efecto de la dispersión cromática positiva el pulso óptico generado se ensancha cuando se transmite a largas distancias. En la Fig.3.24 se muestra el efecto de la dispersión cromática.

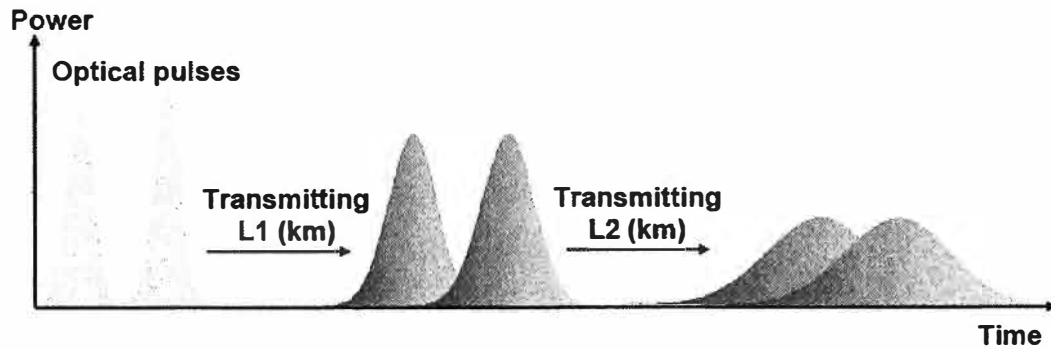


Fig.3.24 Efecto de la dispersión cromática

La dispersión cromática se puede definir de acuerdo a la fórmula (3.5).

$$\text{Dispersión cromática (ps/nm)} = L \text{ (km)} \times \text{coeficiente de dispersión cromática (ps/nm.km)} \quad (3.5)$$

Según la normas de la ITU-T la fibra G.652 tiene un coeficiente de dispersión cromática de 17ps/nm.km para la ventana de 1550nm y la fibra G.655 tiene un coeficiente de dispersión de 4.5ps/nm.km también para la ventana de 1550nm. La dispersión cromática es una de las principales preocupaciones en la ingeniería de las redes DWDM por lo tanto en los diseños es necesario utilizar módulos de compensación de dispersión cromática y los cuales en todo el enlace sólo pueden dejar de compensar máximo hasta 35Km.

b) Dispersión por Modo Polarizado (PMD)

La dispersión por modo polarizado ocurre cuando las velocidades de los componentes de diferente polarización en la fibra son diferentes y el efecto que causará este fenómeno será el ensanchamiento de la señal. El PMD se encuentra relacionado directamente con el retardo diferencial de grupo de la señal óptica, que es la diferencia de velocidades de un modo polarizado con respecto al otro, y como vimos anteriormente la dispersión por modo polarizado (PMD) y el retardo diferencia de grupo (DGD) dependen de las condiciones de fabricación de la FO, y también de la forma y modo como a sido tendida en la red, temperatura, tracciones o estiramientos en la cual se encuentra, presión, curvaturas, vibraciones, empalmes y tiempo de vida. En la Fig. 3.25 se muestra el efecto de la dispersión cromática por modo polarizado.

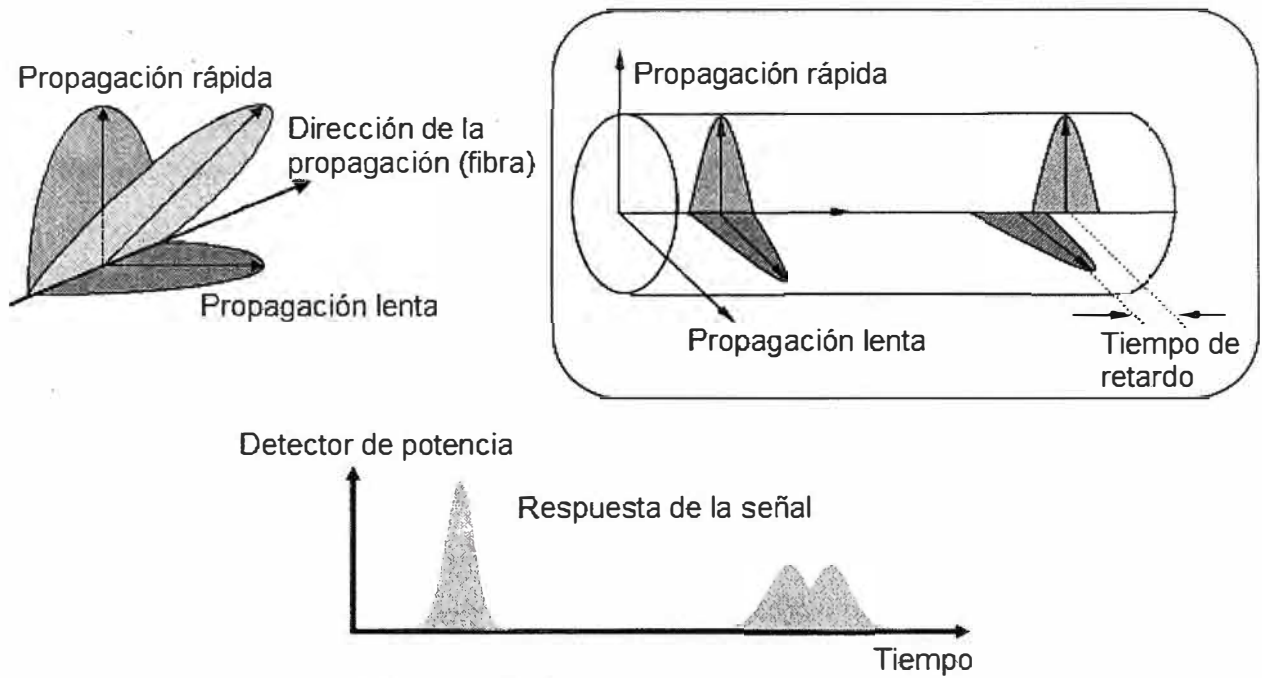


Fig. 3.25 Efecto de la dispersión de modo polarizado

Para medir la dispersión por modo polarizado tenemos que calcular el retardo diferencial de grupo del enlace {fórmula (3.6)}, que es la tolerancia que puede tener un enlace.

$$\text{DGD (ps)} = \sqrt{L(\text{km})} \times \text{PMD coeficiente (ps/km}^{1/2}) \quad (3.6)$$

Donde:

DGD: Retardo diferencial de grupo

La dispersión cromática de modo polarizado va a tener una relación con la velocidad del servicio que estemos transmitiendo según la TABLA N° 3.7.

TABLA N° 3.7 Tolerancia de la dispersión de modo polarizado (PMD)

Signal Rate (Gb/s)	DGD Tolerance (ps)	(@0.5ps/km ^{1/2}) Transmission Distance (km)	(@0.2ps/km ^{1/2}) Transmission Distance (km)	(@0.08ps/km ^{1/2}) Transmission Distance (km)
2.5	40	6400	10000	250000
10	10	400	2500	15625
40	2.5	25	156.25	976

Para los sistemas con velocidades menores que 10 Gbit/s, la influencia del PMD no es tan obvia como ocurre con la dispersión cromática ya que esto va depender mucho de cómo se encuentren las fibras en el trayecto ya que 2 fibras del mismo tipo instaladas por la misma ruta no necesariamente van a tener el mismo PMD.

3.3.3 Relación Señal a Ruido Óptico (OSNR)

La relación de señal a ruido óptico mide si la potencia de la señal enviada en el enlace conserva los niveles óptimos para que está señal no tenga errores. El OSNR se mide en dB y se puede calcular de acuerdo a la fórmula (3.7).

$$OSNR \text{ (dB)} = 10 \times \log \frac{P_{\text{signal}} \text{ (mW)}}{P_{\text{noise}} \text{ (mW)}} = P_{\text{signal}} \text{ (dBm)} - P_{\text{noise}} \text{ (dBm)} \quad (3.7)$$

Donde:

OSNR: Relación señal a ruido óptico

ASE: Emisión espontánea amplificada

NF: Figura de ruido

La potencia ASE (en mW) por unidad de intervalo de frecuencia en un amplificador óptico es dado según la norma ITU-T G.692 como la fórmula (3.8).

$$P_{ASE} = 2N_{SP}(G-1)h\nu \quad (3.8)$$

Donde:

Nsp: factor de ruido espontáneo, Nsp>1

G: Ganancia del amplificador

h: Constante de Planck {6.626X10EXP(-34)Ws2}

u: Frecuencia óptica en Hz

La figura de ruido del amplificador (en dB) es dado según la norma de la ITU-T G.692 y se muestra en la fórmula (3.9).

$$NF = 10 \text{ Log} \left[2N_{SP} - \frac{2N_{SP} - 1}{G} \right] + \eta_{IN} \quad (3.9)$$

Donde:

niN: Pérdida pro acoplamiento de entrada del amplificador en dB

Si consideramos que niN=0 entonces obtenemos la fórmula (3.10).

$$P_{ASE} \text{ (dBm)} = -58 \text{ (dBm)} + NF \text{ (dB)} + G \text{ (dB)} \quad (3.10)$$

Si la potencia total de salida (incluyendo la potencia ASE acumulada) es igual después de cada amplificador, y que la ganancia $G \gg 1$, entonces el OSNR es dado aproximadamente según la norma de la ITU-T G.692 y es mostrado en la fórmula (3.11).

$$OSNR = P_{out} - L - NF - 10 \text{ Log } N - 10 \text{ Log} [h\nu\Delta\nu_0] \quad (3.11)$$

Donde:

P_{out} : Potencia de salida (por canal) en dBm

L : pérdida de los saltos entre amplificadores en dB

NF: Figura de ruido en dB

ΔU_o : Ancho de banda óptico

N : Número de tramos en la cadena, y podemos asumir que todos los tramos tienen pérdidas iguales

En la banda de 1550nm, $10\log(h\nu\Delta U_o)$ es igual a -58dBm en el ancho de banda óptico de 0.1nm.

Por ejemplo si tenemos un grupo de amplificadores puestos en forma de cascada en una ruta de un enlace DWDM, tanto la potencia de la señal como la potencia del ruido se amplifican al pasar por cada uno de los amplificadores y el resultado del OSNR disminuye cada vez más conforme aumenta la distancia del enlace y también la cantidad de amplificadores por los cuales pasa la señal. El comportamiento de la potencia de la señal, la potencia del ruido y la relación de señal a ruido óptico (OSNR) se puede representar de acuerdo como se muestra en la Fig.3.26.

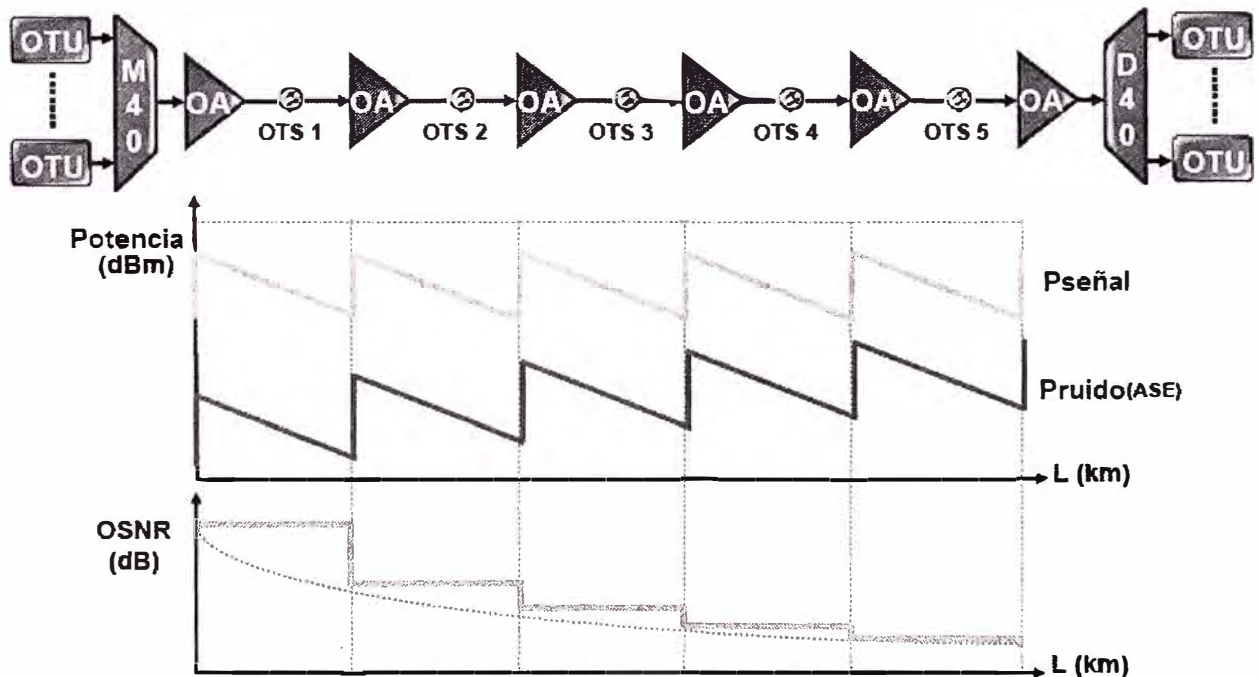


Fig.3.26 Comportamiento del OSNR en los amplificadores

3.4 Mediciones de la Calidad del Enlace DWDM

En este punto mostramos los puntos de prueba y métodos a considerar para medir los índices de rendimiento para las tarjetas comunes usadas en los equipos DWDM. Se detallará como realizar las pruebas de rendimiento para los equipos DWDM y sus componentes.

Los instrumentos que podemos utilizar para las pruebas son los que muestra la TABLA N° 3.8.

TABLA N° 3.8 Tipos de equipos para realizar mediciones

Nombre de Equipo	Clasificación
Acterna ONT-50 Optical Network Tester	Analizador de SDH/PDH
	Analizador del Espectro Óptico
	Medidor de multiples longitudes de onda
	Medidor de potencia óptica
	Fuente de láser configurable
	Atenuador configurable (variable)

3.4.1 Medición del Canal Principal del Enlace DWDM

a) Medición en las Unidades Transponder Óptico (OTU)

En las unidades de transponder óptico se debe realizar la medición en el transmisor final y en el receptor final del enlace DWDM.

1. En el transmisor final se debe medir la potencia óptica media lanzada, que es el promedio de la potencia óptica acoplada dentro de la fibra óptica cuando la tarjeta de conversión de longitud de onda (OTU) transmite señales seriales pseudos aleatorias. El método normalmente usado para realizar esta medición es con la utilización de un OSA o un medidor de potencia óptica para medir directamente en la fibra óptica como se muestra en la Fig.3.27.

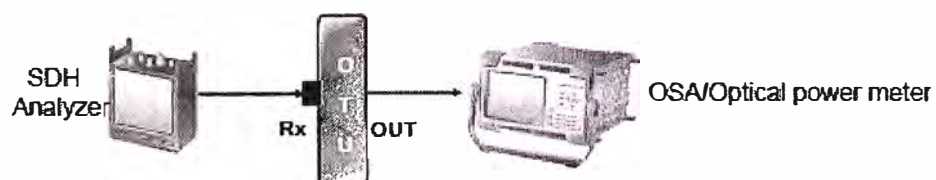


Fig.3.27 Medición de la OTU en lado transmisor

2. En el transmisor final se debe medir la longitud de onda central, que es la desviación que tiene la longitud de onda que es la diferencia del valor actual (medido) con el valor nominal (teórico). Por ejemplo los STM64 y STM16 pueden aceptar desviaciones de longitud de onda central menores que $\pm 10\%$ en el canal (en tramos de canal de 100GHz la desviación es \leq a 10GHz que es $\pm 0.08\text{nm}$). El método se muestra en la Fig.3.28.

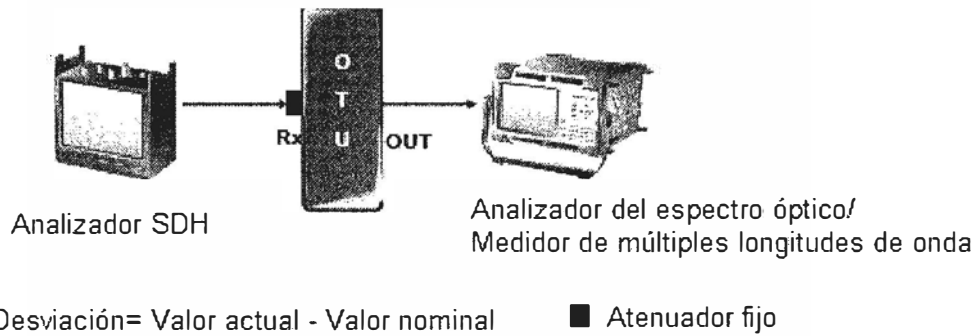


Fig.3.28 Medición de la OTU en el lado receptor

3. En el transmisor final se debe medir el ancho espectral de -20dB, que es el máximo ancho espectral cuando el pico de máxima potencia decrece 20dB. Los requerimientos para los 10Gbit/s son un láser de Electro-absorción $\leq 0.3\text{nm}$, para los 2.5Gbit/s un láser de Electro-absorción $\leq 0.2\text{nm}$ y para 2.5Gbit/s un láser de modulación directa $\leq 0.5\text{nm}$. Entonces al realizar la medición con el OSA, el resultado es mostrado en la Fig.3.29.

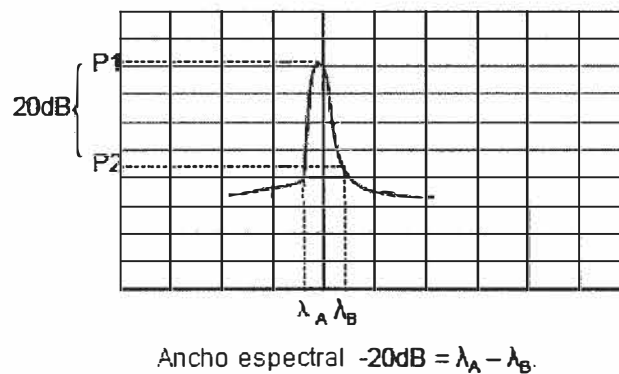


Fig.3.29 Medición de ancho espectral de -20dB

4. En el transmisor final se debe medir la relación de supresión del lado modal (SMSR), que es la relación del promedio de la potencia óptica transmitida del modo longitudinal principal con la potencia óptica del lado modal más marcado. Para realizar esta medición necesitamos un láser de electro-absorción $\geq 35\text{dB}$ y para un láser con modulación directa $\geq 30\text{dB}$ (recomendaciones de la ITU-T). El instrumento que se utilizará para realizar esta medición es el OSA y la señal es como se muestra en la Fig.3.30.

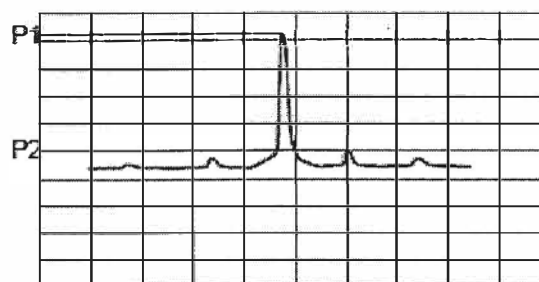


Fig.3.30 Medición de la relación de supresión del lado modal (SMSR)

Donde:

$$\text{SMSR} = P1(\text{dBm}) - P2(\text{dBm}) \quad (3.12)$$

5. En el receptor final se debe medir la sensibilidad y la sobre carga, que es el mínimo de potencia que puede llegar a la OTU y los equipos analizadores le toman como señal válida. Esta medición se realiza para probar los límites de potencia de funcionamiento de la OTU. Por ejemplo para un APD de 2.5Gbit/s la sensibilidad es $\leq -25\text{dBm}$ y la sobrecarga $\geq -9\text{dBm}$, para un PIN de 2.5Gbit/s la sensibilidad es $\leq -18\text{dBm}$ y la sobrecarga $\geq 0\text{dBm}$, para un PIN de 10Gbit/s la sensibilidad es $\leq -14\text{dBm}$ y la sobrecarga $\geq 0\text{dBm}$. En las cuales la relación de error de medición es de $10\exp(-12)$. La manera de medir la sensibilidad se muestra en la Fig.3.31.

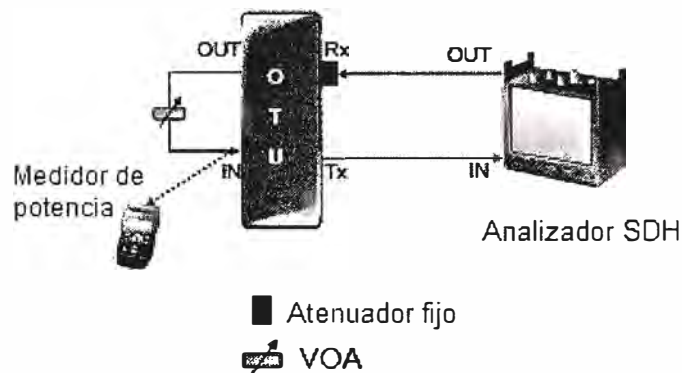


Fig.3.31 Medición de la sensibilidad y sobre carga de la OTU

b) Medición en el Multiplexor/Demultiplexor (MUX/DEMUX)

En las tarjetas de multiplexación y demultiplexación se van a realizar mediciones de pérdida de inserción y de insolación.

1. En el multiplexor y el demultiplexor se tiene que medir las pérdidas de inserción, que es la pérdida de potencia óptica de cada ruta cuando la señal óptica pasa a través del multiplexor o demultiplexor según sea el caso. Esta medición también se tiene que realizar en los otros componentes de la red DWDM como del demultiplexor con atenuador y la unidad de interfase de fibra (FIU). La TABLA N° 3.9 muestra las pérdidas típicas.

TABLA N° 3.9 Valores de pérdida de inserción típicos

Nombre	Pérdida de inserción
M40/ D40	<8 dB
V40	<10 dB
FIU	< 1.5 dB (main channel) / < 2.0 dB (OSC)

Entonces la prueba de la pérdida de inserción en las tarjetas mencionadas se realiza midiendo la potencia de entrada y la de salida entonces la pérdida de inserción de la tarjeta será la diferencia. Los puntos de medición se muestran en la Fig.3.32.

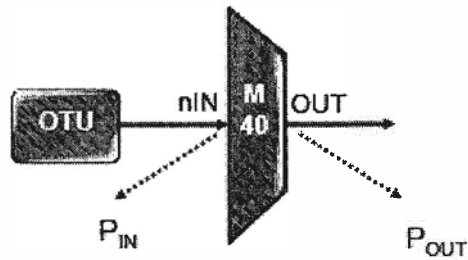


Fig.3.32 Medición de la pérdida de inserción

Donde:

Nin: puerto óptico arbitrario entre M01 y M40.

2. En el demultiplexor se tiene que medir la insolación, que es la diferencia entre la potencia interferida en la ruta local de la ruta adyacente/no adyacente y la potencia de la ruta local. Y el requerimiento es que la medida sea \geq a 25dB. La manera de medir se muestra en la Fig.3.33.

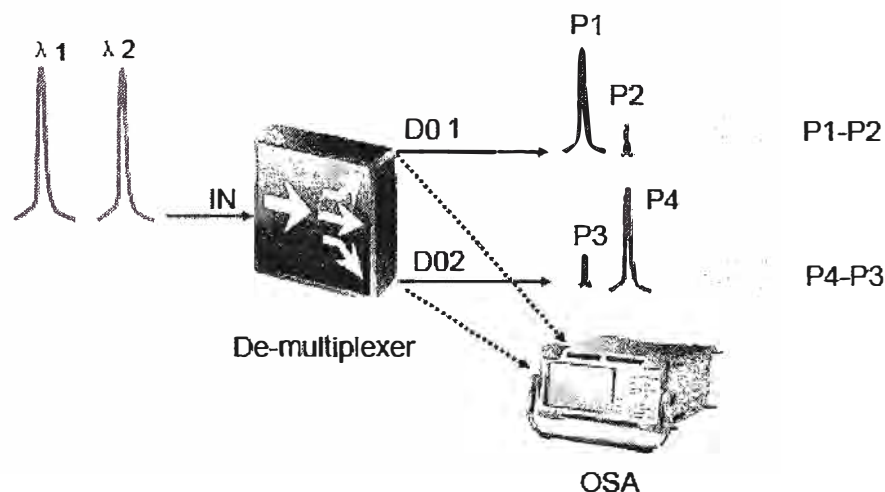


Fig.3.33 Medición de la insolación

c) Medición en el Amplificador Óptico

En las tarjetas amplificadoras ópticas se tiene que medir la ganancia del amplificador, la uniformidad de la ganancia y la figura de ruido del amplificador.

1. En el amplificador se tiene que medir la ganancia, que es la relación de la potencia óptica de la señal de salida con la señal de entrada de acuerdo a las especificaciones técnicas de las longitudes de onda de trabajo de los amplificadores. La ganancia de estos amplificadores puede estar desde 20 dB a 36 dB aproximadamente. La ganancia del amplificador es la diferencia de la potencia de salida y la potencia de entrada. Por lo tanto la potencia de entrada del amplificador óptico debería ser ajustada de acuerdo a los valores que se han diseñado en la red. La uniformidad de la ganancia (desviación) es la diferencia de la ganancia máxima y la ganancia mínima y esta debe ser menor que 2dB. La manera de medición se muestra en la Fig.3.34.

2. En el amplificador se tiene que medir la figura de ruido, que es el valor de degradación de la relación de la señal óptico y el ruido óptico en la salida final, causada por emisiones espontáneas amplificadas (ASE) de los amplificadores EDFA después la salida de la señal es amplificada a través del EDFA. El método de medición es el mismo que el de la ganancia. En la TABLA N° 3.10 se muestra las figuras de ruidos típicas de los diferentes tipos de amplificadores.

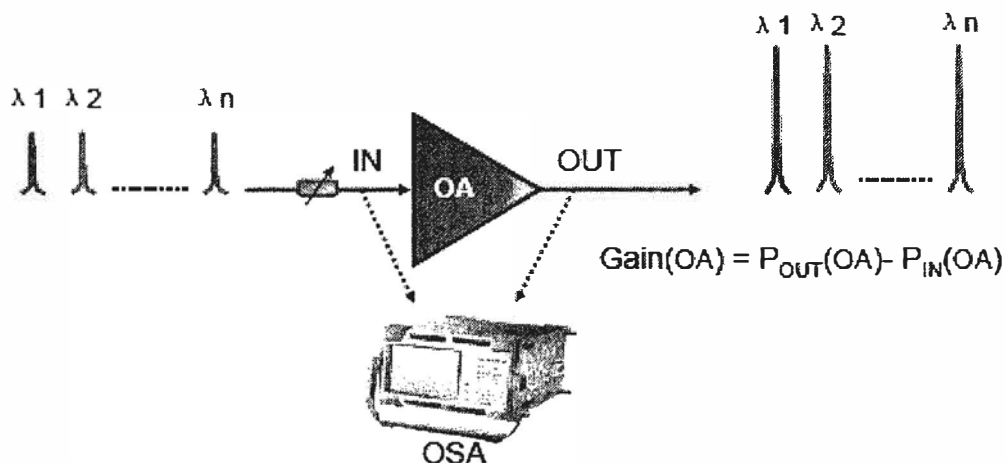


Fig.3.34 Medición de la ganancia del amplificador

TABLA N° 3.10 Figura de ruido (NF) de los amplificadores

Classification	NF
OPU	< 5.5 dB
OBU	< 7.5 dB
OAU	< 9 dB

3.4.2 Medición del Canal de Supervisión Óptico (OSC)

El espectro del canal OSC debe tener un ancho espectral -20dB menor a 1nm y la relación de supresión del lado modal debe ser mayor a 35dB. Entonces para los equipos DWDM se debe tener presente los valores de medición mostrados en la TABLA N° 3.11.

TABLA N° 3.11 Especificaciones técnicas del OSC

Index	Equipo DWDM
Longitud de onda central	1510nm±10nm
Potencia óptica media lanzada	1510nm laser: -4~0dBm
Sensitividad del receptor	-48dBm

3.4.3 Puntos de Medición de la Calidad del Sistema

En los sistema DWDM para comprobar su buen funcionamiento se deben realizar las mediciones en diferentes puntos en la red, en la Fig.3.35 mostramos los principales puntos para realizar las mediciones.

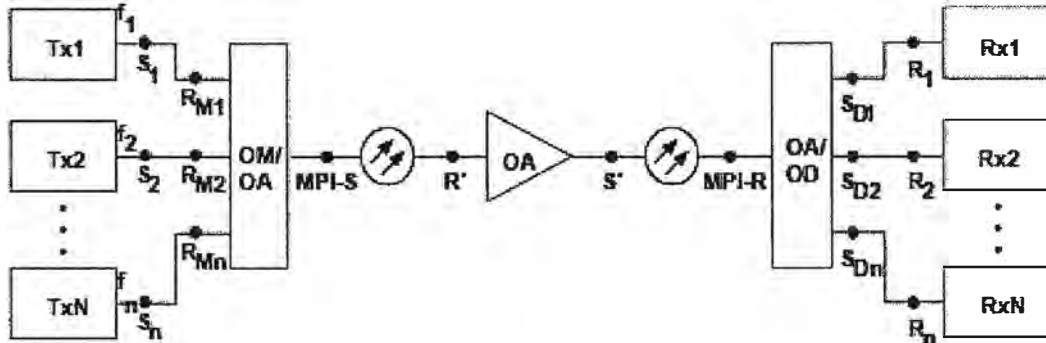


Fig.3.35 Puntos de medida en la red

Donde:

S_N/R_N son los puntos de referencia en la salida/entrada del transmisor/receptor.

R_{MN} son los puntos de referencia en la fibra óptica solo antes del conector de la entrada óptica del OM/OA.

MPI-S/MPI-R son los puntos de referencia de la fibra óptica justo antes/después del OM(OD)/OA de la salida/entrada.

S'/R' es el punto de referencia sólo después/antes del amplificador óptico de línea (OA) en el conector óptico de la salida/entrada.

S_{DN} son los puntos de referencia en la salida de los conectores ópticos del OA/OD.

También como se muestra en la Fig.3.36 se puede realizar la medida de los errores de bits (BER) de cada canal durante 10 minutos y la medida de los errores de bits (BER) de toda la red durante 24 horas.

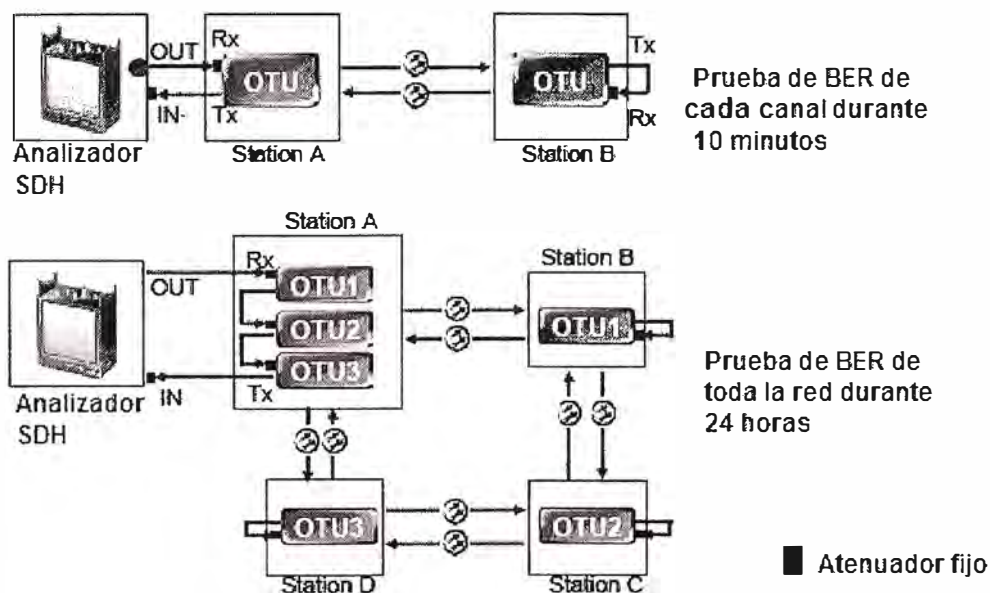


Fig.3.36 Pruebas de BER

3.5 Proceso para el Planeamiento y Diseño de la Red DWDM

Para el proceso de diseño de la red DWDM nosotros nos vamos a enfrentar a diferentes retos y requerimientos tanto a nivel de información como de especificaciones técnicas de los materiales. Por lo tanto el proceso de diseño podemos dividirlo en tres etapas importantes, la primera etapa son las entradas que se refiere a las características y especificaciones técnicas de los componentes que se están considerando usar para el planeamiento y diseño de la red, la segunda etapa es propiamente el diseño y planeamiento que es el proceso en el cual se selecciona el tipo y la ubicación de cada nodo dentro de la red y también las características y el rol que van a cumplir y como cada uno de los componentes (tarjetas, fibras, etc.) dentro de nuestra red y como tercera etapa tenemos la salida y en esta etapa tenemos el diagrama de red generado de la unión de los procesos anteriores y la distribución de las tarjetas en el sub-bastidor de cada nodo de nuestra red DWDM. Estos procesos lo podemos interrelacionar como observamos en la Fig.3.37.

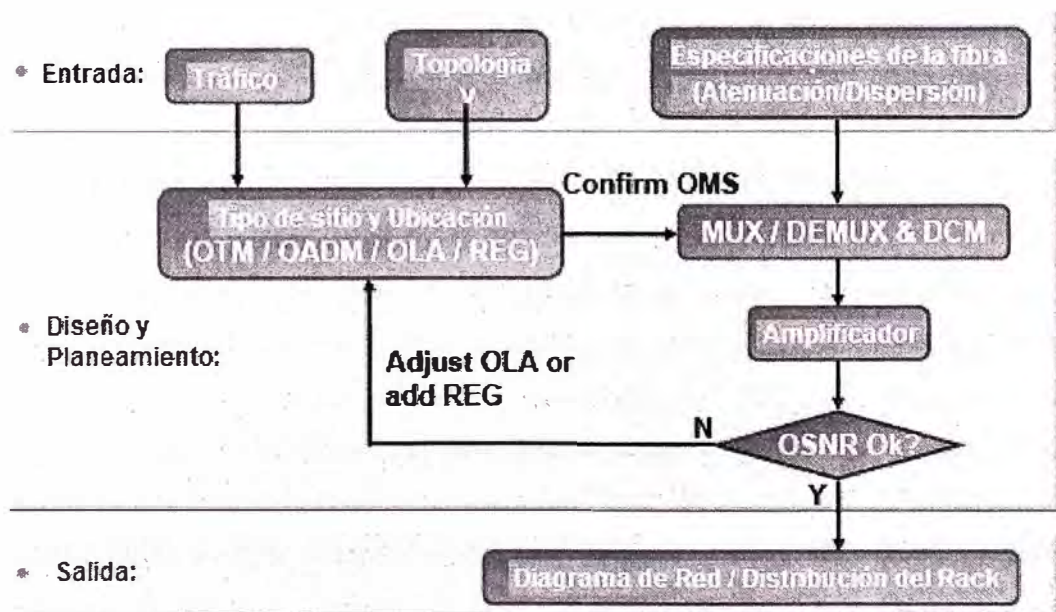


Fig.3.37 Diagrama de flujo del proceso de diseño

Dentro de la información, la mínima información que vamos a requerir para el diseño de nuestra red DWDM es la capacidad del sistema en el cual se considera la capacidad inicial que va tener el sistema, la capacidad final, la capacidad máxima a la cual nuestro sistema puede ser expandido en el futuro sin que haya interrupción del tráfico; también vamos a requerir la información de los requerimientos de servicio que necesitamos como por ejemplo las velocidades requeridas por los servicios; otra información importante es el tipo de fibra que vamos a usar en la red dentro de las cuales pueden ser la G.652, G.655, G.653, etc.; se requiere la información de las longitudes que tienen las fibras en cada tramo de la red y el cálculo de las atenuaciones en cada tramo y

los tipos de nodos que vamos a tener en nuestra red (OTM, OADM, OLA). Toda esta información debe ser proporcionada antes de comenzar a realizar el planeamiento y diseño de nuestra red.

El diseño de nuestra red DWDM la podemos separar por puntos, los cuales tenemos que seguirlos uno a uno durante el proceso de diseño, tenemos que realizar lo siguiente:

1. Cálculo de la atenuación
2. Planeamiento de la dispersión
3. Planeamiento de los amplificadores ópticos
4. Planeamiento del presupuesto del OSNR
5. Planeamiento de los transponders.

3.6 Criterios para la Instalación de la Red DWDM

Para entender el proceso de instalación de los equipos, entender la preparación y la información necesaria para instalar los equipos, verificar los requerimientos del ambiente donde se ubicarán los equipos y las condiciones de la puesta a tierra y verificar los gabinetes, cables y la instalación de los componentes debemos tomar en consideración los siguientes puntos:

3.6.1 Proceso de Instalación

El proceso de instalación inicia con la preparación para la instalación, lo que implica realizar una inspección del sitio en donde se va realizar la instalación del bastidor y por consiguiente del equipo, se tiene que verificar si hay puntos de energía disponible, si la sala tiene puesta a tierra, si tiene escalerillas para pasar los diferentes cables, si hay posiciones libres en los ODFs, etc. Después de que se haya verificado a lo que nos enfrentamos comenzamos con la instalación del bastidor en el piso en el área seleccionada luego lo que tenemos que hacer es asegurarnos que el bastidor este bien seguro en el caso contrario debemos reforzar el bastidor. Luego viene el proceso de instalar los cables en el equipamiento, dentro de los cables considerados en la instalación se encuentran la instalación de los cables de energía y cables de puesta a tierra, los cables de las alarmas del bastidor, los cables ethernet, los cables externos para la sincronización del equipos en el caso le sea necesaria y el cable para la gestión del equipo. Cada uno de los cables mencionados se deben dejar respectivamente rotulados para cuando se quiera trabajar con el equipo por diferentes motivos podamos identificar para que sirven los cables que van al equipo y donde están enlazados. Para la instalación y el etiquetado del cable de fibra óptica se debe tener un especial cuidado ya que la mala instalación de las fibras ópticas podría afectar la calidad de los enlaces, entre las causas comunes que se encuentran son la excesiva curvatura en los cables de fibra óptica y los conectores de la fibra óptica sucios.

3.6.2 Requerimientos del Ambiente y Puesta a Tierra

Se debe tener bien en claro el tipo de equipamiento que se va instalar con sus respectivas especificaciones técnicas claras. Se debe conocer si el equipamiento es nuevo, es una expansión o es un repotenciamiento, también si el ambiente de la instalación el equipamiento es dentro o fuera de la sala, si se cuenta con aire acondicionado, se debe saber la resistencia del sistema de puesta a tierra y la energía disponible que tiene la sala (corriente).

3.6.3 Criterios de Instalación

a) Instalación del Bastidor

La instalación de los bastidores generalmente se hace en salas con falsos pisos, en estos tipos de pisos se debe verificar los siguientes puntos:

1. La distancia entre las 2 filas de bastidores no es menos que 1 metro.
2. La distancia entre el bastidor y la pared no es menor que 0.8 metros.
3. La distancia entre el frente o la espalda del bastidor y la pared no es menos que 1 metro.
4. Una ruta de al menos 1 metro es reservada en la sala.
5. Los puntos donde se van a conectar los cables deben estar libres para realizar las respectivas conexiones.
6. El bastidor debe ser instalado de acuerdo a los planos del diseño.

También se deben verificar los siguientes puntos para el soporte:

1. La posición de instalación y dirección del bastidor se debe encontrar de acuerdo a los requerimientos especificados en los planos de la ingeniería de diseño.
2. Los cuatro lados del bastidor son verticales al piso. La desviación horizontal y vertical del bastidor deben ser menores a 3mm.
3. Los lados de la cara del bastidor de la ruta principal están en línea, con una desviación no mayor a 5mm.
4. Toda la fila de los bastidores deben estar en línea.
5. El bastidor debe estar fijo al soporte y al piso.
6. Después de la instalación las puertas del bastidor deben cerrar.

b) Instalación de los Componentes

Entre la instalación de los componentes se encuentra la instalación de las tarjetas y estas deben estar instaladas apropiadamente en el slot correcto, la instalación del hub (para la gestión del equipo) debe estar apropiadamente fijo en un lugar. Y se debe verificar que los slot vacantes en el sub bastidor deben estar limpios, no se deben deformar los pines de las tarjetas y los conectores, se debe verificar que el slot de las tarjetas son los correctos y que los cableados están instalados completamente y de manera confiable.

c) Instalación de la Fibras

En la instalación de las fibras estas deben tener tubos de protección en los lugares que estén expuestas, se debe evitar las curvaturas muy pronunciadas y se debe instalar los atenuadores variables o fijos para no dañar las tarjetas. Y debe verificar los siguientes puntos:

1. Las etiquetas se deben colocar en ambas partes finales de los jumpers de fibra y se debe verificar que han sido llenados correctamente. Las etiquetas se deben colocar en la dirección apropiada para que puedan ser leídos.
2. Los conectores entre los jumpers y las interfases de las tarjetas deben estar firmes.
3. Los puntos de conexión de los jumpers de fibra óptica deben estar limpios.
4. Los jumpers de fibra óptica deben permitir ser movidos de forma libre y deben ser flexibles para los cambios.
5. La parte de los jumpers de fibra entre el equipamiento y el ODF debe estar protegidos.
6. Las curvaturas no deben ser permitidas en los jumpers de fibra y también no deben de haber otros cables encima del de fibra óptica.
7. Los jumpers de fibra deben estar arreglados de forma conveniente para futuros mantenimientos y para expansiones.
8. Los requerimientos de los jumpers de fibra deben estar alineados con los requerimientos de los documentos de diseño.
9. Los jumpers de fibra en el ODF debe estar bien conectados y fijos.

3.7 Criterios para el Comisionamiento de la Red DWDM Instalada

Para comenzar con el comisionamiento de los equipos y la red en general se debe tener primero la información de la ingeniería, los instrumentos y herramientas.

Dentro de la información de la ingeniería tenemos:

1. Diagramas de la topología.
2. Esquemas de las tarjetas en los bastidores
3. Tabla de las ubicaciones de las lambdas asociadas a las tarjetas y rutas en la red.
4. Diagrama de conexión de las fibras.
5. Esquema de protección (en caso tenga).

Dentro de los instrumentos y herramientas consideramos los siguientes:

1. Analizador de espectro óptico
2. Analizador de señales SDH
3. Medidores de potencia óptica.

Se debe comenzar verificando las condiciones del comisionamiento como la verificación de la correcta instalación de los equipos, el sistema de gestión debe estar instalado y en supervisión para verificar las alarmas que puedan generar los equipos durante el proceso de comisionamiento.

3.7.1 Comisionamiento de una Sola Estación

Cuando se realiza el comisionamiento de una sola estación se debe verificar el equipamiento de la estación, la energización del bastidor, probar las funciones del sub bastidor y probar otras funciones.

a) Verificación del Equipamiento

En la verificación del equipamiento de la estación tenemos la verificación del bastidor (que cumpla con los planos de la ingeniería, debe tener extractores de fibras y los guantes antiestáticos y no deben de haber objetos extraños en el equipamiento), verificación del sub-bastidor (el sub-bastidor debe tener puesta a tierra, no debe haber tornillo rotos y los pines de las tarjetas y del panel trasero "backplane" del equipo no deben estar doblados o rotos), verificación del cable de distribución (se debe verificar los cables de provisión de energía, los cables de puesta a tierra, los cables de alarmas externas y los "parch cords"), verificación del DCM (verificación que los DCMs están correctamente instalados, estar seguro que los DCM están cumpliendo con el diseño) y verificación del sistema de comunicación y control (debe estar de acuerdo al diseño).

b) Energización del Bastidor

Se debe verificar la capacidad del fusible (el máximo consumo de los sub-bastidor es aproximadamente 650W por lo tanto la capacidad del fusible debe estar generalmente alrededor de los 20A), verificación del voltaje de salida del equipamiento de provisión de energía (debe estar en el rango de -38.4V a -72V en DC), verificación de las resistencias (todos los switch en OFF entre los puntos del bastidor NEG1(-) o NEG2(-) y RTN1(+) o RTN2(+) el valor debe ser infinito, entre el NEG1(-) o NEG2(-) y PGND el valor también debe ser infinito), verificación de la resistencia (todos los switch en ON entre los puntos del bastidor NEG1(-) o NEG2(-) y RTN1(+) o RTN2(+) el valor debe ser mayor que 20kohm, entre el NEG1(-) o NEG2(-) y PGND el valor también debe ser mayor que 20kohm), prueba del voltaje entre los terminales de la entrada de los cables (los valores deben estar entre -38.4V a -57.4V en DC lo cual es $-48V \pm 20\%$ y -48V a -72V en DC lo cual es $-60V \pm 20\%$).

c) Prueba de las Funciones del Sub-bastidor

En la prueba de las funciones del sub-bastidor se debe probar la potencia del sub-bastidor (debemos estar seguros que el "power on" está en ON), verificar los ventiladores (verificar el indicador del panel del ventilador), verificar las indicaciones de las tarjetas (verificar como están los LED de rendimiento de las tarjetas), verificar la conexión del equipo a los sistemas de gestión.

d) Prueba de Otras Funciones

Entre las pruebas de otras funciones tenemos que verificar la versión del software (para esto debemos usar el sistema de gestión para preguntarle al equipo que software

tiene), verificación de las conexiones de las fibras (usar métodos de “loopback” para verificarlas pero para realizar esta prueba debemos utilizar atenuadores entre dos interfases ópticas), poner el monitoreo de alarmas y rendimientos de los equipos (no debería haber eventos anormales de rendimientos y alarmas durante la prueba), prueba del canal de comunicación (usar los sistemas de gestión para verificar la estación), realizar un respaldo de la base de datos del equipo (asegurarse que las restauraciones del sistema estarán en normal operación ante pérdida de datos o fallas) y prueba de reseteo del equipamiento (asegurarse que el equipo puede resetearse normalmente y que después del apagado del equipo accidentalmente o otras fallas de energía el equipo seguirá funcionando normalmente).

Al final de las pruebas se debe recopilar el nombre completo de las tarjetas con sus códigos, las versiones del software y hardware, las distancias de transmisión de las tarjetas ópticas y las interfases que se encuentran ocupadas.

3.7.2 Comisionamiento de la Ruta Principal

En el comisionamiento de la ruta principal primero se debe verificar la señal del canal de supervisión óptico (OSC) que sirve para gestionar de forma remota los equipos de la red para esto se debe calcular la potencia del OSC como vimos anteriormente, este comisionamiento se debe realizar durante el periodo de instalación del hardware. Ahora para realizar el comisionamiento de la ruta principal primero se debe instalar el software de gestión, crear las topologías y fibras en los sistemas de gestión, sincronización de la red si es necesario, configurar el monitoreo de las alarmas y rendimiento. Después de realizado todo lo anterior podemos empezar con el comisionamiento de la ruta principal, recordar que esta parte es una de las partes más importantes en el diseño de las redes DWDM, para esto tenemos que hacer lo siguiente:

a) Ajuste de las Potencias Ópticas

Se debe verificar la salida de las potencias ópticas en cada OTU, y guardar los valores con los cuales se están dejando, se debe ajustar los atenuadores variables para estar seguro que la potencia de cada canal es igual como sea posible y para que la potencia de los amplificadores se encuentre dentro de las especificaciones técnicas. Se debe usar atenuadores fijos para asegurar las entradas de potencias en las OTUs sean óptimos.

Nos debemos asegurar durante el proceso de comisionamiento que la diferencia de los valores de la potencia actual y el valor que mide el sistema de gestión sea menor que 0.5dB. En el caso que la potencia de entrada óptica de los amplificadores sea muy baja está se debe mejorar y para mejorarla se debe retirar el atenuador variable del amplificador para mejorar la potencia de entrada y luego calibrar el amplificador para que su salida sea óptima.

b) Prueba del OSNR

Debemos estar seguros que los valores de OSNR son mayores que los requeridos en los receptores finales de la red en el caso que no ocurriese esto se estarían presentando errores en el sistema DWDM (para velocidades de 2.5Gbit/s el OSNR es aproximadamente $\geq 20\text{dB}$ y para el caso de velocidades de 10Gbit/s el OSNR es aproximadamente $\geq 18\text{dB}$).

c) Prueba del BER (“Bit Error Rate”)

En el comisionamiento del sistema DWDM se debe realizar las pruebas de BER en el sistema por cada OTU, y las pruebas que se deben realizar son las pruebas de BER de cada canal durante 10 minutos y la prueba de todo el sistema DWDM durante 20 horas y la realización de estas pruebas de BER se muestran en la Fig.3.38 y para lo cual utilizamos analizadores de espectro que los ubicamos en las tarjetas de transponder óptico. El resultado de las pruebas debe estar libres de errores de lo contrario se tendrá que verificar el diseño y los valores en los cuales se han dejado a las tarjetas o cada uno de los componentes.

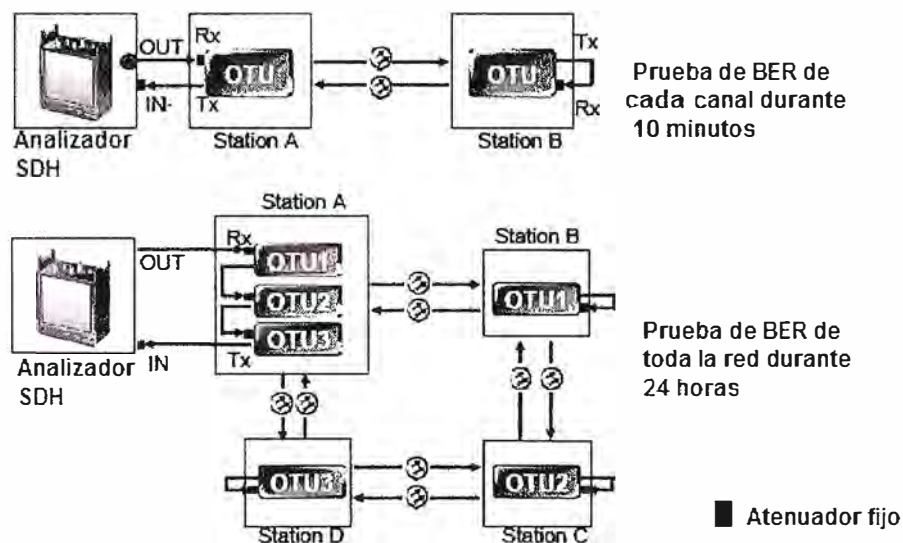


Fig.3.38 Pruebas de BER

3.8 Operación y Mantenimiento de la Red DWDM

3.8.1 Precauciones Básicas en la Operación

En la operación de los equipos DWDM debemos tener algunas precauciones con algunos componentes de los equipos. Debemos tener ciertos cuidados con el láser porque este componente puede causar daños personales y también porque el láser puede dañar a las tarjetas y esto es si el nivel de potencia de los láseres son muy elevados o también dañar a la fibra óptica, se debe tener cuidado con la electricidad especialmente con el de la provisión de potencia siempre se debe tener un esquema de la distribución de la energía; con respecto a las precauciones para el mantenimiento de las tarjetas se debe tener cuidado con la temperatura y los niveles de humedad de la sala

también se debe realizar pruebas de reseteo de las tarjetas (tipos de reseteo “soft reset” que es el reseteo en caliente y “hard reset” que es el reseteo en frío a través del gestor, el botón reset y sacando y poniendo la tarjeta), y por supuesto siempre contar con un stock de repuestos (para el caso que se realice el cambio se debe tener previamente el nombre de las tarjetas, las versiones, el tipo de láser, la longitud de onda, los ID, etc.); se debe realizar pruebas de bucle entre los cuales tenemos el bucle a través del software (bucle hacia fuera y hacia dentro), el bucle a través del hardware y el bucle cruzado; para el mantenimiento del sistema de gestión se debe tener en cuenta que no se debe modificar el sistema durante el inicio del sistema, no se debe modificar el nombre de la computadora y las direcciones IP de forma arbitraria, se debe asegurar el correcto funcionamiento del sistema de energía, durante el uso del sistema de gestión la data usada en el debe ser consistente con el de los equipos en planta, se debe sincronizar el sistema de gestión y los equipos de forma periódica, se debe realizar respaldos del sistema de gestión de forma periódica, tener cuidado de no apagar el servidor del sistema de gestión y la modificación de los servicios y de los atenuadores variables no se deben realizar en periodos de tiempo en los cuales se tenga mucho tráfico ya que esto puede empeorar los efectos en caso de alguna falla.

3.8.2 Operación del Mantenimiento Básico del Equipamiento

a) Mantenimiento Diario

Para el mantenimiento diario se debe considerar la verificación de la provisión de la energía en la sala {por ejemplo en el caso de la provisión de la energía DC debe estar en el rango de -38.4V a -57.6V DC (-48V) y -48V a -72V DC (-60V)}, verificar la temperatura y humedad de la sala (la temperatura preferente es aproximadamente de 20° y la humedad aproximadamente de 60%), verificar la limpieza de la sala, observar los indicadores de los bastidores y observar los indicadores de las tarjetas.

b) Mantenimiento Mensual

Para el mantenimiento mensual se debe verificar los ventiladores de los equipos y también limpiar los filtros de los ventiladores ya que estos tienden a ensuciarse y no dejan pasar el aire.

c) Mantenimiento Cada Cuatro Meses

Para el mantenimiento de cada cuatro meses se debe realizar pruebas de la relación señal a ruido óptico (OSNR) en las interfases de la ruta principal tanto en el transmisor como en el receptor para esto se debe utilizar un analizador de espectro y verificar la limpieza de los bastidores ya que el polvo puede dañar los equipos.

d) Mantenimiento Anual

Para el mantenimiento anual de la red DWDM se debe considerar la verificación de los cables de puesta a tierra y los cables de energía de los equipos (verificar los

conectores de los cables ya que estos deben estar apropiadamente conectados y no deben estar dañados).

3.8.3 Operación de Mantenimiento Básico Mediante el Sistema de Gestión

Para el mantenimiento del sistema de gestión también va a ver una rutina por periodos de tiempo entre los cuales tenemos.

a) Mantenimiento Diario

En el mantenimiento diario se debe verificar a través del gestor el estado de los equipos y las tarjetas, verificar las alarmas generados en tiempo real, verificar las alarmas históricas, verificar las potencias ópticas actuales e históricas de las OTUs y se debe analizar los datos resultantes, se debe verificar el rendimiento de los errores actuales e históricos, verificar la unidad de monitorio de la energía de los equipos en la cual ver la temperatura de los equipos y analizar los resultados y se debe verificar los “logs”.

b) Mantenimiento Mensual

Para el mantenimiento mensual se debe verificar la potencia óptica de entrada de los amplificadores ópticos tanto los datos actuales como los datos históricos y luego analizar los datos obtenidos, verificar la potencia óptica de salida de los amplificadores ópticos tanto los datos actuales como los datos históricos y luego analizar los datos obtenidos, verificar los errores actuales y los históricos del canal de supervisión óptico y analizar la información obtenida, verificar la potencia óptica de entrada y salida de los multiplexores y demultiplexores tanto la actual como la histórica y analizar los datos obtenidos, verificar la potencia óptica y el OSNR de cada canal de longitud de onda tanto la actual como la histórica y analizar los datos obtenidos, verificar la sincronización de los equipos, verificar la configuración de las tarjetas, realizar respaldos de la información de la configuración de los equipos, realizar respaldos de la base de datos del sistema.

c) Mantenimiento Cada Seis Meses

Se debe verificar la conmutación de la protección (en el caso que tenga configurado esta opción).

Entonces podemos concluir que en el diseño de una red DWDM para el establecimiento de los enlaces tenemos que realizar el dimensionamiento de cada una de las tarjetas especialmente de las tarjetas amplificadoras y también de los componentes que conforman la red como los atenuadores y compensadores de dispersión cromática y esto va a depender de la topología y características de la red, para lo cual nos valdremos de las especificaciones técnicas que tienen las tarjetas y componentes y también de las especificaciones técnicas que tiene la fibra óptica a utilizar. Por lo tanto en el proceso de diseño de la red se debe calcular los valores técnicos que deben tener cada una de las tarjetas y componentes y estos valores deben ser comprobados durante el proceso de implementación.

CAPITULO IV PRESENTACIÓN DE RESULTADOS DEL ENLACE TACNA - AREQUIPA

Para poder implementar una red DWDM y por lo tanto establecer los enlaces a través de ella, es muy importante que en el proceso de diseño se calculen los valores técnicos de los componentes que van a formar parte de la red. Por lo tanto en el presente capítulo se presentan los valores que van a tener los componentes de la red de Tacna a Arequipa y estos puedan garantizar una red con buenos niveles de potencia y que la señal que se pase a través de los enlaces tengan buena calidad (sin errores).

4.1 Situación Actual

Lo que tenemos que hacer es realizar el enlace entre Tacna y Arequipa, para lo cual como vimos en el capítulo anterior la capacidad que requerimos es de 45STM1s, en la red tenemos cinco puntos intermedios los cuales están a distancias variables el uno de otro, también estamos asumiendo que la fibra existente entre cada uno de los tramos de todo el enlace es del estándar G.652. El objetivo del diseño es lograr cumplir con los requerimientos planteados y que el enlace tenga buenos niveles de potencia para que los servicios que pasen a través del enlace no tengan errores en su transporte. Por lo tanto en la Fig.4.1 recordamos las distancias que tenemos que enlazar en el diseño del enlace.

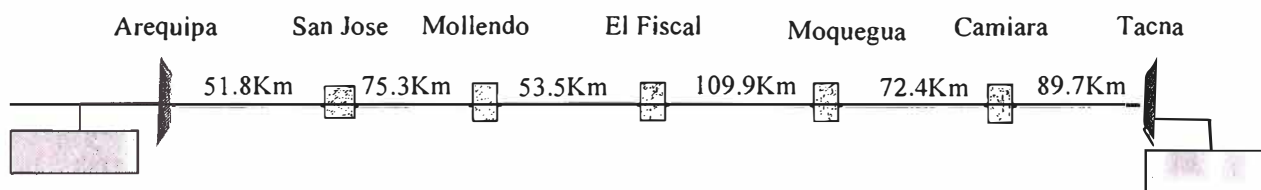


Fig.4.1 Ruta del enlace ha diseñar entre Arequipa y Tacna

4.2 Planeamiento y Diseño del Enlace

4.2.1 Mínima Información Requerida

Para el planeamiento y diseño del enlace entre Tacna y Arequipa necesitamos cierta información importante para comenzar con el diseño del enlace, sin esta información no se podría continuar con el proceso de diseño del enlace.

a) Topología de la Red

Como vimos en el capítulo anterior el enlace entre Tacna y Arequipa tiene que pasar por San José, Mollendo, El Fiscal, Moquegua y Camiara ya que existe fibra óptica que interconectan esos puntos y nosotros estamos utilizando esa fibra. El objetivo del

enlace es interconectar Tacna con Arequipa por lo que los únicos puntos terminales que vamos a tener son esas dos ciudades, en el resto de los puntos por donde la fibra esta pasando tenemos que instalar amplificadores ópticos los cuales van a tener la función de asegurar la buena calidad de los nivel ópticos de potencia de señal del enlace para que el enlace sea menos propenso a errores, también dependiendo del caso en algunos puntos se van a instalar equipos para compensar la dispersión cromática positiva del enlace.

En conclusión por las características del enlace podemos declarar que la topología punto a punto es la idónea para nuestro enlace y que el tipo de nodo que se va configurar en los puntos son: en Tacna y Arequipa se van a tener los nodos OTM (Multiplexores terminales ópticos) y en las cinco salas intermedias se van a instalar los nodos OLAs (Amplificadores de línea ópticos). En la Fig.4.2 y Fig.4.3 se observa la topología de red y el tipo de nodo de los puntos.

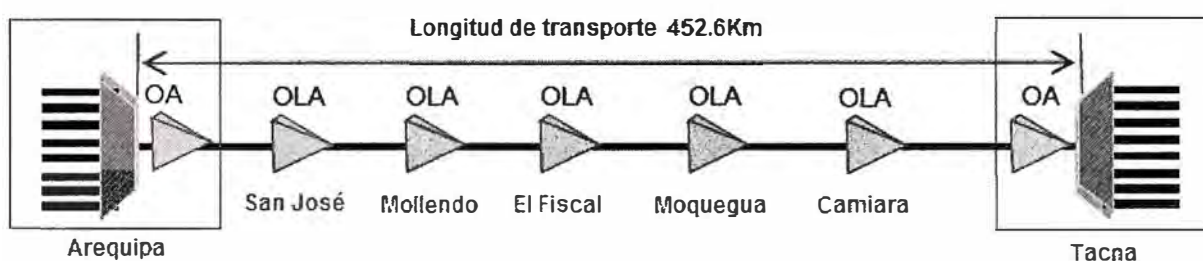


Fig.4.2 Topología punto a punto en el enlace de Tacna a Arequipa

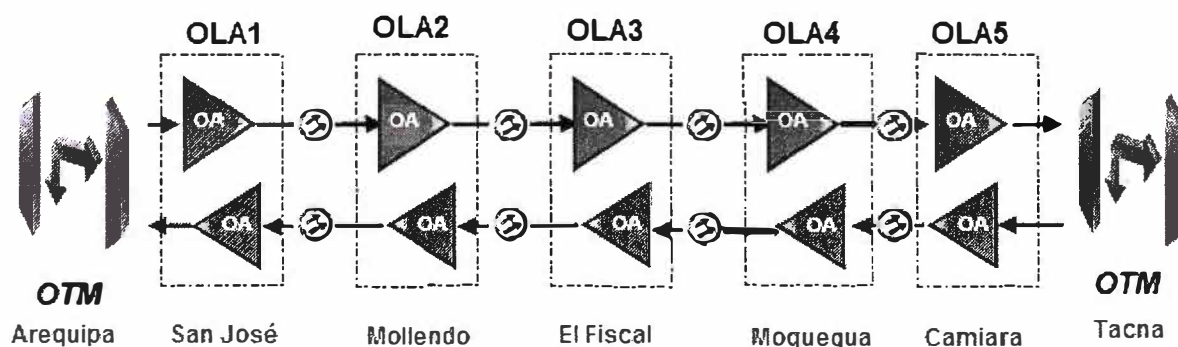


Fig.4.3 Los tipos de nodos de los puntos del enlace entre Tacna y Arequipa

b) Capacidad del Sistema

Los equipos que vamos utilizar son equipos DWDM que pueden multiplexar 40 longitudes de onda, la característica de estos equipos es que trabajan en la banda C (1530nm a 1565nm) y que por cada tarjeta OTU pueden llevar hasta 10Gbit/s, por lo tanto la capacidad total del enlace es de 400Gbit/s. Pero la capacidad utilizada en este enlace va ser 6 Gbit Ethernet y 3 STM1s que es 6.365Gbit/s, por lo tanto se estaría utilizando sólo 1.59 % de la capacidad total del enlace lo que muestra una gran potencialidad de expansión de las capacidades de los enlaces y el aumento de los servicios.

c) Tipos de Fibras y Coeficiente de Atenuación

Por lo que se comentó, en el enlace se va considerar la fibra óptica del estándar G.652 por sus características y también por el costo de estas fibras. De acuerdo a las recomendaciones de la ITU-T los valores típicos de la fibra G.652 son de acuerdo a la TABLA N° 4.1 y TABLA N° 4.2.

TABLA N° 4.1 Valores típicos de la fibra óptica G:652

Coeficiente de atenuación	Región de longitud de onda	Valor típico del enlace
(Nota)	1260 nm – 1360 nm	0,5 dB/km
	1530 nm – 1565 nm	0,275 dB/km
	1565 nm – 1625 nm	0,35 dB/km
Coeficiente de dispersión cromática	D_{1550}	17 ps/nm × km
	S_{1550}	0,056 ps/nm ² × km
NOTA – El valor típico del enlace corresponde al coeficiente de atenuación del enlace utilizado en las Recs. UIT-T G.957 y G.691.		

TABLA N° 4.2 Valores típicos de DGD de la fibra G.652

PMDQ máximo (ps/√km)	Longitud del enlace (km)	DGD máximo implícito inducido por la fibra (ps)	Velocidad binaria del canal
Sin especificar			Hasta 2,5 Gbit/s
0,5	400	25,0	10 Gbit/s
	40	19,0 (nota)	10 Gbit/s
	2	7,5	40 Gbit/s
0,20	3000	19,0	10 Gbit/s
	80	7,0	40 Gbit/s
0,10	> 4000	12,0	10 Gbit/s
	400	5,0	40 Gbit/s
NOTA – Este valor se aplica igualmente para los sistemas 10 Gigabit Ethernet.			

d) Requerimiento de Servicios

Se requiere que por el enlace que de Tacna a Arequipa se tenga 2 enlaces de 1Gbit Ethernet para el servicio de ADSL de toda la zona de Tacna, se requiere 3 enlaces de 1 STM1 para los diferentes servicios de la zona de Tacna (telefonía básica, telefonía móvil, enlaces para empresas, enlaces para operadores, etc) y por último se requiere 4 enlaces de 1Gbit Ethernet para la protección del servicio de ADSL de toda la zona de Arequipa y los enlaces que convergen en Arequipa.

4.2.2 Pasos del Diseño

a) Cálculo de la Potencia Óptica

De acuerdo a la condición de que tenemos 2 OTMs y 5 OLAs en el enlace, entonces el cálculo de la potencia óptica se muestra en la fórmula (4.1).

$$\text{Pérdida de línea} = 0.27 \times \text{distancia del tramo} + 3\text{dB (margen)} \quad (4.1)$$

Utilizando la fórmula (4.1) obtenemos los valores de la pérdida de potencia ocasionado por la fibra óptica en cada tramo de la ruta Arequipa – Tacna. En la Fig.4.4 se observa las pérdidas de línea por cada tramo desde Arequipa hasta Tacna.

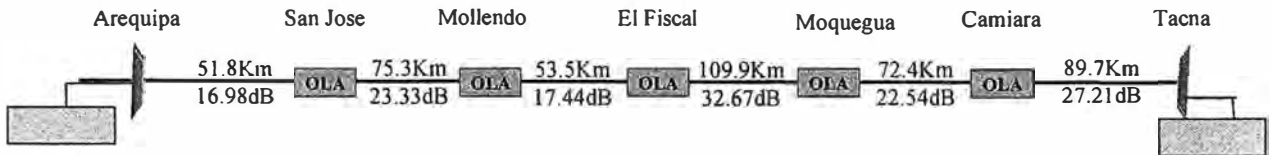


Fig.4.4 Pérdida de línea en cada uno de los tramos de la ruta

b) Configuración de los DCM (Compensación Exacta)

La compensación de la dispersión cromática es uno de los factores que afectan a los enlaces de larga distancia, por tal se tiene que realizar la compensación en estos enlaces lo más exacto posible para que no hayan errores en las señales de servicio. Por lo tanto en la Fig.4.5 mostramos los compensadores de dispersión cromática que se pueden encontrar en el mercado, estos compensadores están relacionados a la distancia de los tramos de los enlaces.



Fig.4.5 Tipos y valores típicos de los compensadores de dispersión cromática

Para nuestro enlace, relacionando los valores de los compensadores de dispersión cromática y las distancias de los tramos logramos identificar que condensadores de dispersión cromática son los ideales para el nuestro diseño, por lo tanto el diseño de la red con los compensadores de dispersión cromática y los nodos van ha ser de acuerdo a la Fig.4.6. Se ha tratado de que la compensación sea lo más exacta posible pero se nota que hay 2.6Km que no se están logrando compensar ya que las características técnicas de los compensadores lo limitan, pero para este tipo de redes las distancias que no se a podido compensar no son críticas ya que durante toda la ruta se ha hecho la compensación lo más ajustada posible.

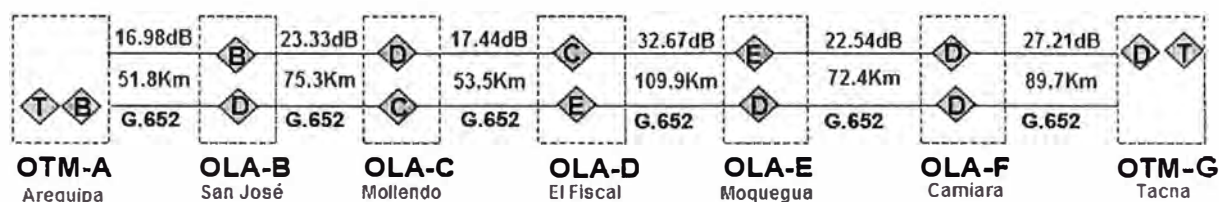


Fig.4.6 Tipo de compensadores de dispersión cromática para cada nodo de la red

c) Configuración del MUX/DEMUX

Para transportar los servicios entre Tacna y Arequipa necesitamos 3 longitudes de onda para 1 enlace de 2GB Ethernet, 1 enlace de 4GB Ethernet y 1 enlace de 3 STM1s (como se vio en el capítulo III). Y las longitudes que seleccionamos es el lambda1 (192.1 THz), lambda2 (192.2 THz) y lambda3 (192.3 THz) para lo cual necesitamos conectarlos a los 3 primeros puertos tanto del multiplexor como del demultiplexor.

d) Configuración de los Amplificadores Ópticos (OA)

Al identificar los amplificadores que vamos a utilizar en nuestro diseño primero tenemos que determinar los valores que deben tener estos amplificadores, para esto se considera que la salida de la FIU de los nodos tiene que estar en aproximadamente 4dB como vemos en la Fig.4.7.

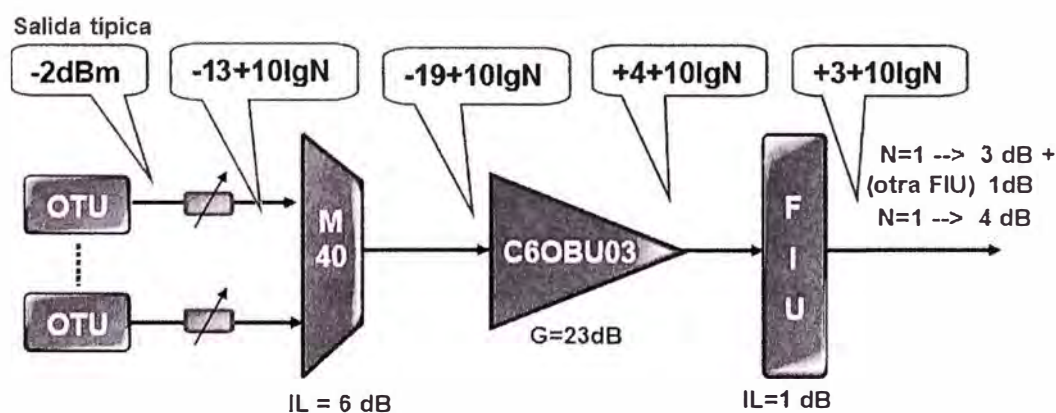


Fig.4.7 Cálculo de la potencia de salida de la FIU en un nodo OTM

Tomando la consideración anterior realizamos los cálculos para lograr conseguir los valores óptimos para los amplificadores ópticos, lo tanto los cálculos en cada tramo y los valores requeridos en los amplificadores son los siguientes.

1. Tramo: Arequipa ----- > San José

Total pérdida en el Tramo= Pérdida de línea + Pérdida de Inserción del DCM_B

Total pérdida en el Tramo= 16.98 + 4.5 = 21.48 dB

Entonces:

4dB – 21.48 dB + OA > aproximadamente 4dB

OA (el DCM se incluye)= 23 dB

4dB – 21.48 dB + 23 dB = 5.52 dB (cumple con el requerimiento)

2. Tramo: San José ----- > Mollendo

Total pérdida en el Tramo= Pérdida de línea + Pérdida de Inserción del DCM_D

Total pérdida en el Tramo= 23.33 + 7.1 = 30.43 dB

Entonces:

4dB – 30.43 dB + OA > aproximadamente 4dB

OA (el DCM se incluye)= 33 dB

4dB – 30.43 dB + 33 dB = 6.57 dB (cumple con el requerimiento)

3. Tramo: Mollendo ----- > El Fiscal

Total pérdida en el Tramo= Pérdida de línea + Pérdida de Inserción del DCM_C

Total pérdida en el Tramo= 17.44 + 5.8 = 23.24 dB

Entonces:

4dB – 23.24 dB + OA > aproximadamente 4dB

OA (el DCM se incluye)= 26 dB

4dB – 23.24 dB + 26 dB = 6.76 dB (cumple con el requerimiento)

4. Tramo: El Fiscal ----- > Moquegua

Total pérdida en el Tramo= Pérdida de línea + Pérdida de Inserción del DCM_E

Total pérdida en el Tramo= 32.67 + 8.2 = 40.87 dB

Entonces:

4dB – 40.87 dB + OA > aproximadamente 4dB

OA (el DCM se incluye)= 40 dB

4dB – 40.87 dB + 40 dB = 3.13 dB (cumple con el requerimiento)

5. Tramo: Moquegua ----- > Camiara

Total pérdida en el Tramo= Pérdida de línea + Pérdida de Inserción del DCM_D

Total pérdida en el Tramo= 22.54 + 7.1 = 29.64 dB

Entonces:

4dB – 29.64 dB + OA > aproximadamente 4dB

OA (el DCM se incluye)= 33 dB

4dB – 29.64 dB + 33 dB = 7.36 dB (cumple con el requerimiento)

6. Tramo: Camiara ----- > Tacna

Total pérdida en el Tramo= Pérdida de línea+Pérdida de Inserción DCM_D+ DCM_T

Total pérdida en el Tramo= 27.21 + 7.1 +2.8 = 37.11 dB

Entonces:

4dB – 37.11 dB + OA > aproximadamente 4dB

OA (el DCM se incluye)= 40 dB

4dB – 37.11 dB + 40 dB = 6.89 dB (cumple con el requerimiento)

7. Tramo: Tacna ----- > Camiara

Total pérdida en el Tramo= Pérdida de línea + Pérdida de Inserción del DCM_D

Total pérdida en el Tramo= $27.21 + 7.1 = 34.31$ dB

Entonces:

$4\text{dB} - 34.31\text{ dB} + \text{OA} >$ aproximadamente 4dB

OA (el DCM se incluye)= 36 dB

$4\text{dB} - 34.31\text{ dB} + 36\text{ dB} = 5.69\text{ dB}$ (cumple con el requerimiento)

8. Tramo: Camiara ----- > Moquegua

Total pérdida en el Tramo= Pérdida de línea + Pérdida de Inserción del DCM_D

Total pérdida en el Tramo= $22.54 + 7.1 = 29.64$ dB

Entonces:

$4\text{dB} - 29.64\text{ dB} + \text{OA} >$ aproximadamente 4dB

OA (el DCM se incluye)= 33 dB

$4\text{dB} - 29.64\text{ dB} + 33\text{ dB} = 7.36\text{ dB}$ (cumple con el requerimiento)

9. Tramo: Moquegua ----- > El Fiscal

Total pérdida en el Tramo= Pérdida de línea + Pérdida de Inserción del DCM_E

Total pérdida en el Tramo= $32.67 + 8.2 = 40.87$ dB

Entonces:

$4\text{dB} - 40.87\text{ dB} + \text{OA} >$ aproximadamente 4dB

OA (el DCM se incluye)= 40 dB

$4\text{dB} - 40.87\text{ dB} + 40\text{ dB} = 3.13\text{ dB}$ (cumple con el requerimiento)

10. Tramo: El Fiscal ----- > Mollendo

Total pérdida en el Tramo= Pérdida de línea + Pérdida de Inserción del DCM_C

Total pérdida en el Tramo= $17.44 + 5.8 = 23.24$ dB

Entonces:

$4\text{dB} - 23.24\text{ dB} + \text{OA} >$ aproximadamente 4dB

OA (el DCM se incluye)= 26 dB

$4\text{dB} - 23.24\text{ dB} + 26\text{ dB} = 6.76\text{ dB}$ (cumple con el requerimiento)

11. Tramo: Mollendo ----- > San José

Total pérdida en el Tramo= Pérdida de línea + Pérdida de Inserción del DCM_D

Total pérdida en el Tramo= $23.33 + 7.1 = 30.43$ dB

Entonces:

$4\text{dB} - 30.43\text{ dB} + \text{OA} >$ aproximadamente 4dB

OA (el DCM se incluye)= 33 dB

$4\text{dB} - 30.43\text{ dB} + 33\text{ dB} = 6.57\text{ dB}$ (cumple con el requerimiento)

12. Tramo: San José ----- > Arequipa

Total pérdida en el Tramo= Pérdida de línea + Pérdida de Inserción DCM_B+ DCM_T

Total pérdida en el Tramo= $16.98 + 4.5 + 2.8 = 24.28$ dB

Entonces:

$4\text{dB} - 24.28\text{ dB} + \text{OA} > \text{aproximadamente } 4\text{dB}$

OA (el DCM se incluye)= 26 dB

$4\text{dB} - 24.28\text{ dB} + 26\text{ dB} = 5.72\text{ dB}$ (cumple con el requerimiento)

e) Selección de los Transponders Ópticos (OTUs)

Las tarjetas de transponder que van a ser usadas en nuestro enlace son:

1. Una tarjeta de 2 puertos cada uno de 1GE y por lo tanto la salida es de 2.5Gbps.
2. Una tarjeta de 4 puertos cada uno de 1GE y por lo tanto la salida es de 5Gbps.
3. Una tarjeta de 4 puertos cada uno de 1STM1 y por lo tanto la salida es de 2.5Gbps.

4.2.3 Diagrama de Configuración de la Red Arequipa - Tacna

Luego de realizar los pasos para lograr el diseño, la Fig.4.8 muestra los datos que se deben tener en cuenta para la selección de los componentes. Para lograr mejorar los valores de entradas a los componentes tenemos que incluir en la red los atenuadores fijos y variables, estos atenuadores siempre deberán tener un rango de manejo tanto hacia abajo como hacia arriba para evitar problemas futuros ante cambios en la red o variaciones de algunos parámetros del sistema.

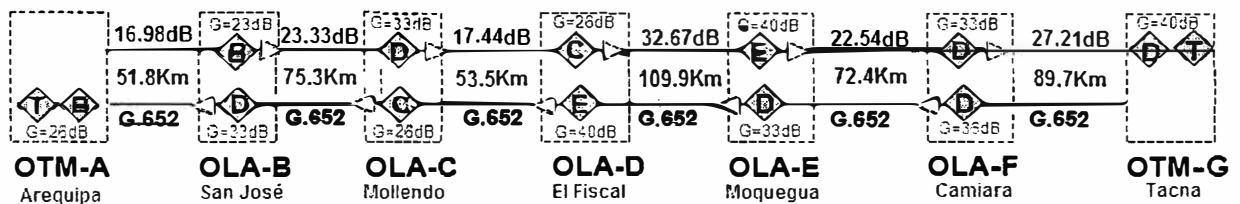


Fig.4.8 Diagrama de configuración de los enlaces de Tacna a Arequipa

Para el diseño de las redes DWDM, especialmente para las de largas distancias, se debe realizar el dimensionamiento de la red tomando en consideración las distancias de los tramos y las características de las fibras ópticas a utilizar en la implementación ya que de no ser así y se toman como referencia otras distancias y otras fibras ópticas y por consiguiente otras especificaciones técnicas, los valores que obtengamos no van a ser válidos para nuestra red lo que causaría errores. Y lo que siempre se debe tratar es la de conservar las características de la red la cual se consideró para el proceso de diseño y con esto los valores calculados en este proceso serán válidos.

CONCLUSIONES

1. Las redes ópticas, especialmente las redes DWDM, son esenciales para transportar los servicios con grandes flujos de información a largas distancias y también para transportar los diferentes servicios concentradas en los nodos de la red. Además como los servicios constantemente están requiriendo mayores capacidades de transporte, se necesita contar con redes que puedan expandir su capacidad de transporte de manera fácil, rápida y dinámica sin afectar los servicios existentes.
2. En el diseño de las redes DWDM la ubicación y especificaciones técnicas de los amplificadores ópticos y los compensadores de dispersión cromática son muy importantes para garantizar la calidad de los enlaces que pasan a través de estas redes. El dimensionamiento de estos componentes no solo implica la visión en el presente sino también en la del futuro ya que al realizar esto ayudaría a tener un mejor uso de los recursos que manejamos.
3. Es fundamental el uso de los equipos de mediciones (analizadores de espectro óptico y medidores de potencia óptica) de las redes DWDM ya que estos equipos permiten validar los valores obtenidos durante el proceso de diseño de la red y también identificar posibles errores y fallas. También los equipos de mediciones permiten probar el potencial y medir e identificar las limitaciones de la red, y con esto poder ver los servicios que se pueden transmitir por estas redes.
4. Los sistemas de gestión de las redes DWDM son importantes para su operación, ya que estos ayudan a administrar la red y en el caso de que ocurran fallas estos ayudan a minimizar los tiempos de solución. Para los mantenimientos de la red es importante tener un cronograma de pruebas asociados a los periodos de mantenimiento (mantenimiento diario, mensual, anual, etc.).
5. Para el planeamiento y diseño de las redes DWDM el tener un procedimiento bien establecido y claro, de la forma como se va a trabajar, ayuda a plasmar los requerimientos que han sido planteados por los interesados en el inicio del proyecto. Por lo tanto para que los servicios que se quieren transportar por la red cubran las necesidades para la cual han sido solicitados, es vital cubrir todos los requerimientos planteados.

6. El identificar y plantear las formas de como se va realizar el mantenimiento de la red es tan importante como el proceso del planeamiento y diseño de la red, ya que sino se logra asegurar la confiabilidad de la red no se estaría realizando un buen trabajo.

ANEXOS

ANEXO A

Analizador de Red Óptico (Acterna ONT-50)

El ONT-50 es un equipo de la familia ONT de la marca Acterna que incorpora módulos de pruebas ópticas y digitales. Está optimizado por recientes adaptaciones a las nuevas tecnologías de las redes ópticas. El ONT-50 puede ser equipado con hasta 4 diferentes módulos, para varias aplicaciones, y tiene la habilidad de ejecutar pruebas simultáneamente.

a) Características del ONT-50:

1. Prueba velocidades de línea de 1.5Mbps hasta 10.7Gbps.
2. Es uno de los primeros equipos funcionales para pruebas de soluciones de redes de nueva generación SONET/SDH y G.709 OTN.
3. Habilita múltiples usos para desarrollar pruebas simultáneamente, aun con diferentes aplicaciones.
4. Fácil la operación remota.
5. Soporta pruebas automáticas.

b) Aplicaciones:

1. Pruebas de redes ópticas DWDM: Provee soluciones combinadas de pruebas digitales y pruebas ópticas.
2. ONT SONET/SDH: Pruebas de errores (BER) de múltiples canales desde STM1 hasta el STM64.
3. ONT NewGen EoS: Evalúa las señales SDH y SONET, incluyendo los contenedores virtuales (VC) con simulación de LCAS, procedimientos de tramas genéricas (GFP), y tramas MAC de Ethernet.
4. ONT Ethernet: Habilita la generación y análisis de tráfico Ethernet en interfaces eléctricas de 10/100/1000 y ópticas 1G.
5. ONT Alta Medida de Jitter/Wander: Genera y analiza el jitter y wander de señales SONET/SDH y OTN de 10Gbps de acuerdo al estandar G.709.
6. Análisis del Espectro Óptico de Puertos Múltiples: Análisis automático y potente de el espectro óptico de los sistemas modernos DWDM (que trabajan en las longitudes de ondas de 1310nm y 1550nm) y elementos de redes incluyendo multiplexores para añadir y quitar señales ópticas (OADM) y equipos de crossconexión ópticos (OXC).

7. ONT PoS: Verificación transparente de la señal a través de sistemas DWDM hasta 10Gbps.

c) Módulo de Analizador de Espectro Óptico (OSA)

La siguiente sección contiene las especificaciones para el módulo OSA (“Optical Spectrum Analyzer”).

1. Modos de Operación

Espectro	Análisis de gráficas de espectro con aumento, cursor y funciones de marcar pantalla tabular de longitudes de onda, niveles de potencia óptica, OSNR y su desviación de la nominal
Sistema WDM	
Opción Quitar	Canal de isolation para un mejor análisis de la señal (errores bit, jitter/wander, punteros, etc.)
Modos de Prueba	barrido singular, barrido continuo promedio, modo automático

2. Entradas y Salidas Ópticas

Entradas	2 x SM/1 x SM con configuración pre-definida
Nivel total máximo por entrada	23 dBm
Salida	Drop 1 x SM
Interface	universal
Pérdida de retorno	typ 35 dB

3. Rangos de Medida Espectral

Número de canales ópticos	≤ 512
Rango de longitudes de onda	1250 nm to 1650 nm
Medida de longitud de onda absoluta (bajo condiciones de referencia de 1550nm)	± 10 pm
Resolución de la pantalla de lambda	0.001 nm
Resolución de ancho de banda	typ 75/60 ¹⁾ pm
Rango dinámico	
at ± 25 GHz (± 0.2 nm)	$> 33/45$ ¹⁾ dBc
at ± 50 GHz (± 0.4 nm)	$> 40/48$ ¹⁾ dBc

1) OSA-300/301/303

4. Modo de Filtrado

OSA-161/OSA-201	
Ancho de banda óptico	typ 200 pm
Pérdida de inserción	typ 10 dB
Velocidad de Datos	≤ 10.7 Gbit/s
OSA-300/301/303	
Ancho de banda óptico	typ 175 pm
Pérdida de inserción	typ 10 dB
Velocidad de Datos	≤ 10.7 Gbit/s

5. Medida de Rangos de Niveles de Potencia

Nivel de potencia total max.	+23 dBm
Rango dinámico	-75 dBm to +20 dBm
Precisión absoluta (1520 to 1550 nm, 18 to 28 °C, -10 dBm)	±0.4 dB
Resolución de nivel de potencia	0.01 dB

6. Clasificación del Láser

Seguridad del Láser	IEC/EN 60825:2001
Clasificación del Láser	CLASS 1 LASER PRODUCT

7. Especificaciones Generales

Temperatura ambiental permisible

Rango nominal de uso	+5 °C to +50 °C
Transporte y almacenamiento	-20 °C to +60 °C

Peso (módulo de prueba)

OSA-160/161/200/201	approx. 1.9 kg
OSA-300/301/303	approx. 2.5 kg

Dimensiones (B x H x T)

OSA-160/161/200/201 (Test modul 2-slot)	240 x 60 x 180 mm
OSA-300/301/303 (Test modul 3-slot)	240 x 90 x 180 mm

d) Analizador SDH

La siguiente sección contiene las especificaciones para el módulo de prueba cuando la red opera con señales SDH (STM-16/STM-64).

Las velocidades de línea validas y el mapeo dependen de los módulos de prueba que son instalados. Las siguientes velocidades de bit y mapeo soportado son: velocidades de bits (STM1 a STM64), mapeo SDH (AU-3/VC-3; VC-4-4c/16c/64c).

El módulo de prueba de señales STM-16 soporta velocidades inferiores de mapeo (no concatenado y concatenado) hasta STM-0. Provee análisis de señales y facilidad de manipulación de señales (alarmas, errores, cabeceras y punteros).

El módulo de prueba SDH con velocidades de bit de 2.48832 Gbit/s, 622.08 Mbit/s y 155.520 Mbit/s (STM-16/4/1) corresponde a los siguientes estandares: ITU-T G.957:S-1.x, S-4.x, S-16.x y ANSI T1.105.06:IR-x.

1. Información general

Velocidad de línea	2.48832 Gbit/s, 622.08 Mbit/s, 155.520 Mbit/s
Código de línea	scrambled NRZ
Promedio de medida	
Nivel de potencia óptica de entrada	-28 dBm to 0 dBm
Resolución	0.1 dB
Precisión	±1 dB
Tipos de conectores	FC-PC, SC, ST from serles B onwards: sprung casing
Clase de Láser	CLASS 1 LASER PRODUCT per CDRH 21CFR1040.10 and IEC825-1 (1993)

2. Generador

STM-1 Interfase óptica :

Longitudes de Onda 1310 nm and 1550 nm
Nivel de potencia de salida -15 dBm to -8 dBm¹

1 con atenuador externo óptico 13 dB

STM-4 Interfase óptica :

Longitudes de Onda 1310 nm and 1550 nm
Nivel de potencia de salida -15 dBm to -8 dBm¹

1 con atenuador externo óptico 13 dB

STM-16 Interfase óptica :

Longitudes de Onda 1310 nm and 1550 nm
Nivel de potencia de salida -5 dBm to 0 dBm¹

1 con atenuador externo óptico 3 dB

3. Receptor

STM-1 Interfase óptica

Longitudes de Onda	1260 nm to 1360 nm, 1430 nm to 1580 nm
Sensitividad	-8 dBm to -28 dBm
Max. input power level (overload)	-8 dBm
Max. input power level (destructive)	3 dBm

STM-4 Interfase óptica

Longitudes de Onda	1260 nm to 1360 nm, 1430 nm to 1580 nm
Sensitividad	-8 dBm to -28 dBm
Max. input power level (overload)	-8 dBm
Max. input power level (destructive)	3 dBm

STM-16 Interfase óptica

Longitudes de Onda	1260 nm to 1360 nm, 1430 nm to 1580 nm
Sensitividad	0 dBm to -18 dBm
Max. input power level (overload)	0 dBm
Max. input power level (destructive)	3 dBm

BIBLIOGRAFIA

- [1] Ashwin Gumaste Tony, "DWDM Network Designs and Engineering Solutions", Cisco Press – USA, 2002.
- [2] Vivek Alwayn, "Optical Network Design and Implementation", Cisco Press – USA, 2004.
- [3] Jean Pierre Laude, "DWDM Fundamentals, Components and Applications", Artech House – Inglaterra, 2002.
- [4] Sudhir Dixit, "IP OVER WDM", John Wiley & Sons, Inc. – Cánada, 2003.
- [5] Huawei Technologies Co., "OptiX Metro 6100 WDM Multi-Service Transmission System V100R005", Huawei Technologies Co.,Ltd. – China, 2006.
- [6] Acterna Germany GmbH., "Acterna ONT-50 Optical Network Tester" Acterna Germany GmbH Ltd. – Alemania, 2004.
- [7] Recomendaciones ITU-T, "G.652, G653, G655, G.692, G.691, G.957"
- [8] <http://www.osiptel.gob.pe>
- [9] <http://www.regiontacna.gob.pe>
- [10] <http://www.inei.gob.pe>
- [11] http://www.worldmapfinder.com/Es/South_America/Peru