

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA**

**FACULTAD DE INGENIERÍA ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA**



**MANTENIMIENTO DE UNA RED DWDM**

**INFORME DE SUFICIENCIA**

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:**

**INGENIERO ELECTRÓNICO**

**PRESENTADO POR:**

**JOSÉ SANTOS PIZARRO BUSTAMANTE**

**PROMOCIÓN  
1985 - I**

**LIMA – PERÚ  
2006**

## **MANTENIMIENTO DE UNA RED DWDM**

A mis Padres  
Por su gran ejemplo de Vida

## SUMARIO

La tecnología DWDM permite aumentar la capacidad de transporte de las redes existentes. Por medio de multiplexores DWDM combina múltiples canales ópticos sobre una misma fibra, de tal modo que puedan ser amplificados y transmitidos simultáneamente. Cada uno de estos canales, a distinta longitud de onda, pueden transmitir señales de diferentes velocidades y formatos: SDH/SONET, IP, ATM, etc. Es decir, DWDM puede multiplexar varias señales sobre la misma fibra.

Sin embargo, la revolución de los sistemas DWDM no hubiese sido posible sin las características clave de tres tipos de tecnología:

La capacidad que poseen los diodos láser de emitir luz a una longitud de onda estable y precisa con un ancho de línea espectral muy estrecha.

El formidable ancho de banda de la fibra óptica (varios THz), el cual no ha sido aprovechado completamente durante tiempo.

La transparencia de los amplificadores ópticos de fibra (EDFA) a las señales de modulación y su habilidad para amplificar de forma uniforme varios canales simultáneamente.

Los rápidos avances producidos en DWDM en los últimos años, junto con la creciente demanda de servicios de alta velocidad y gran ancho de banda, están provocando cambios sustanciales en las arquitecturas de las redes ópticas. Así, la tecnología DWDM se está expandiendo progresivamente desde el núcleo de las redes ópticas de alta velocidad hacia las redes metropolitanas y de acceso.

## ÍNDICE

### PRÓLOGO

### CAPÍTULO I

#### PRINCIPIOS DWDM

1.1 Introducción a La Tecnología WDM	3
1.1.1 WDM (Multiplexación por División de Longitud de Onda - Wavelength División Multiplexing)	3
1.2 Evolución de la tecnología DWDM	6
1.3 Funcionamiento de un sistema DWDM	7
1.4 Cambios en la transmisión	8
1.5 Transpondedor, interfaz clave en sistemas DWDM	9
1.6 Redes CWDM	10
1.7 Redes DWDM	13
1.8 Fibras ópticas	14
1.8.1 Tipos de fibra óptica.	14
1.8.2 Transmisión por fibras ópticas	16
1.8.3 Efectos lineales de La fibra óptica:	16
a) Dispersión cromática de la fibra	16
b) Características de dispersión de diferentes tipos de fibras.	18
1.8.4 Efectos no lineales en la fibra óptica	19
a) No linealidades: Efecto FWM	19
B) No linealidades: Efecto kerr	20
C) Manejo de la dispersión cromática.	21

### CAPÍTULO II

#### DESCRIPCIÓN DE PARÁMETROS EMPLEADOS EN EVALUACIÓN DE LA RED

#### DWDM

2.1 Introducción	24
2.2 Atenuación	24
2.2.1 Pérdidas de Inserción	25

2.2.2 Pérdidas de Retorno	26
2.2.3 Aislamiento (Pérdida hacia atrás)	26
2.3 Diafonía	27
2.3.1 Diafonía Intracanal	27
2.3.2 Diafonía Intercanal	28
2.4 Dispersión	29
2.4.1 Dispersión Cromática	29
2.4.2 Dispersión por Modo de Polarización (PMD)	30
2.5 FWM (Mezcla de Cuatro Ondas/Four-Wave Mixing)	31
2.6 La Cifra o Figura de Ruido	32
2.7 Componentes de una Red de Fibra Óptica	32
2.7.1 Componentes ópticos Activos	33
a) Transmisores	33
b) Detectores	35
c) Amplificadores Ópticos	35
d) Convertidores de Longitud de Onda	37
e) Moduladores Ópticos	38
2.7.2 Componentes Ópticos Pasivos	39
a) Conectores	39
b) Empalmes	40
c) Coplas Bidireccionales	40
d) Filtros Ópticos	41
e) MUX/DEMUX ópticos	43
f) Aisladores y Circuladores	43

### **CAPÍTULO III**

#### **DIFERENTES CONFIGURACIONES DE REDES DWDM**

3.1 Características de los equipos	45
3.1.1 Capacidad de Acceso a Servicios	45
3.1.2 Actualización y Expansión	45
3.1.3 Canal de Supervisión y Canal de Reloj	46
3.1.4 Transmisión Bi-direccional por una sola fibra	46
3.1.5 Tecnología EDFA	46
3.1.6 Función de Supresión de Jitter	47
3.1.7 Función IPA	47
3.2 Rendimiento	47

3.2.1 Especificaciones Técnicas	47
3.2.2 Capacidad de Transmisión	47
3.2.3 Distancia de Transmisión	48
3.2.4 Capacidad de Gestión	48
3.3 Garantizada Fiabilidad	48
3.3.1 Protección de Red	48
3.3.2 Respaldo de Data de configuración	48
3.3.3 Monitoreo del Rendimiento en servicio	48
3.3.4 Monitoreo del rendimiento óptico en servicio	48
3.4 Funcionamiento de Unidades	49
3.5 Unidad de Transpondedor Óptico	49
3.6 Amplificador de Potencia	50
3.7 Unidad Multiplexora y Demultiplexora óptica	50
3.8 Tipos de Redes DWDM	51
3.8.1 Redes Punto a Punto	51
3.8.2 Redes en Cadena	51
3.8.3 Redes en Anillo	51
3.8.4 Gestión de Información de la red por canal de respaldo y capacidad de Interconexión	52

## **CAPÍTULO IV**

### **DESCRIPCIÓN DE PRUEBAS Y EQUIPOS UTILIZADOS EN EL MANTENIMIENTO PREVENTIVO Y CORRECTIVO DE UNA RED DWDM**

4.1 Medida de Potencia Óptica Transmitida	55
4.2 Medida de Potencia Óptica Recibida	56
4.3 Análisis de la Medición del Espectro Óptico	56
4.4 Usando un Analizador de Espectros Externo:	56
4.5 Prueba de Error de Bit	57
4.6 Operación de Ajuste del Atenuador Óptico Mecánico	57
4.7 Operación de Adicionar Longitudes de Onda	58
4.8 Construyendo el Cable de Red	60
4.8.1 Conexión de los pines del cable de red directo	60
4.8.2 Conexión del cable de red cruzado	60
4.9 Tipos de Mantenimiento	61
4.9.1 Mantenimiento diario	61
4.9.2 Mantenimiento periódico	61

## PRÓLOGO

Este informe trata de presentar un resumen de las definiciones más importantes y procedimientos para un mantenimiento preventivo y correctivo adecuado para el buen funcionamiento de una red DWDM. También se espera sea un aporte para quien desee conocer más a cerca de esta tecnología, esperando haber recopilado la información estrictamente necesaria para comprender el funcionamiento de una red DWDM, la que es necesaria para poder afrontar los diferentes problemas que trae el gran crecimiento de esta tecnología y la dinámica e interrelación con las diferentes tecnologías a las cuales da soporte ya sea en redes de área ancha (WAN), o en redes de área metropolitanas (MAN).

La metodología empleada para realizar el presente informe es la recopilación de información bibliográfica de sistemas de comunicaciones ópticas, teoría de funcionamiento de fibras ópticas, principios y teoría de DWDM, funcionamiento de sistemas CWDM tendencias y aplicaciones. Buscándose en artículos de revistas especializadas, libros técnicos, manuales de proveedores de equipos DWDM e instrumentos de medición y publicaciones electrónicas en Internet.

En el capítulo I se describe los principios de la tecnología DWDM, mostrando una breve comparación con la tecnología CWDM. También se describe brevemente los tipos de fibras ópticas y su funcionamiento y sus principales modos de propagación, así como la diversidad de fibras con diferentes características de dispersión cromática las que en forma combinada permiten contrarrestar el ensanchamiento del pulso de luz.

En el capítulo II se describe los principales parámetros empleados en la evaluación de la calidad de la red, como son la atenuación que sufre la señal al propagarse por la fibra, la diafonía que son los disturbios en la transmisión causadas por la interferencia de señales entre dos canales, la dispersión de modo polarizado (PMD) y dispersión cromática, así como la de los principales componentes ópticos usados.

En el capítulo III se trata de describir los principales módulos que componen una red DWDM, así como las diferentes configuraciones de estas como son las redes punto a



punto en anillo.

En el capítulo IV se realiza la descripción de las diferentes pruebas como son la medida de la potencia óptica transmitida y recibida entre otras e instrumentos de medición utilizados en el mantenimiento preventivo y correctivo de una red DWDM como es el analizador de espectros óptico (OSA) equipo fundamental para el adecuado mantenimiento de una red DWDM.

En el capítulo V se detalla las principales recomendaciones de la Unión Internacional de Telecomunicaciones UIT-T usadas para normar el buen funcionamiento de una red DWDM como son las recomendaciones G.652, G.654, G655 .

Esperando que este informe sea el primer paso en el esbozo de un manual de mantenimiento de una red DWDM, tan necesario por el crecimiento vertiginoso que se avecina y constituya un soporte para la capacitación del personal que trabaja en el mantenimiento de redes DWDM.

Debido al gran volumen de tráfico a transportar, un fallo en la infraestructura de red puede tener graves consecuencias económicas. Por ejemplo, un corte de una única fibra óptica produce el fallo de todas las longitudes de onda que transporta; de esta manera la pérdida de cada longitud de onda operante a 2.5 Gbps o 10 Gbps puede resultar en el corte de un enorme número de conexiones en curso. Por lo tanto, a mayor capacidad, mayor es la importancia de la rapidez y rendimiento de los mecanismos de protección y recuperación. Las estrategias de protección frente a fallos deben ser simples, minimizar las pérdidas de tráfico y deben utilizar eficientemente los recursos disponibles.

# CAPITULO I

## PRINCIPIOS DWDM

### 1.1 Introducción a La Tecnología WDM

Con la eficiencia de la fibra de 1550nm, y el advenimiento de amplificadores ópticos de esta longitud de onda, los equipos WDM fueron desarrollados para operar en la ventana de 1520nm a 1560nm, siendo capaces de recibir hasta cuatro señales dentro de esta banda, separados en 10nm.

Posteriormente su desarrollo permitió la fabricación de equipos con 8, 16, 32, y 64 entradas, siendo denominados DWDM, Multiplexación por División de Longitud de Onda Densa– (Dense Wavelength Division Multiplexing).

WDM, incrementa la capacidad de transmisión en el medio físico (fibra óptica), asignando a las señales ópticas de entrada, específicas frecuencias de luz (longitudes de onda o  $\lambda$ s), dentro de una banda de frecuencias inconfundible. Una manera de asemejar esta multiplexación es la transmisión de una estación de radio, en diferentes longitudes de onda sin interferir una con otra (ver Figura 1.1), porque cada canal es transmitido a una frecuencia diferente, la que puede seleccionarse desde un sintonizador. Otra forma de verlo, es que cada canal corresponde a un diferente color, y varios canales forman un “arco iris”.

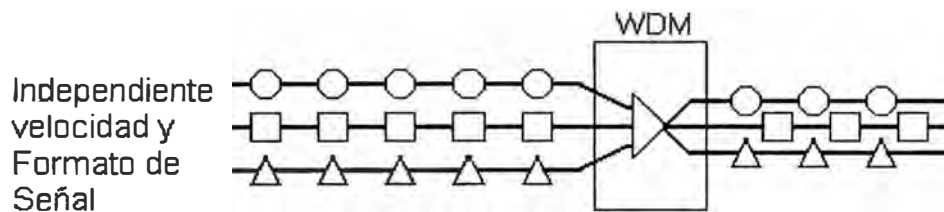
La creciente demanda de nuevos servicios y tecnologías sobre redes IP (Protocolo Internet/Internet Protocol), está causando una revolución en los sistemas de telecomunicaciones. Ya es una realidad que la mayoría de las redes está convergiendo hacia IP. Un ejemplo de esta convergencia es la telefonía IP (VoIP).

#### 1.1 .1 WDM Multiplexación por División de Longitud de Onda - (Wavelength Division Multiplexing)

Para cumplir con esta demanda de nuevos servicios, se hace necesaria la disponibilidad de un gran ancho de banda. Es aquí, donde hace su aparición la tecnología WDM

(Wavelength Division Multiplexing), la cual entrega este gran ancho de banda necesario para correr estas aplicaciones, por ejemplo: Video, Audio, Video sobre Demanda, Servicios Multimedia, etc.

Este modo de transmisión es el principal usado en telecomunicaciones de fibra óptica. La tecnología WDM permite transmitir múltiples longitudes de onda en una sola fibra.



**Fig. 1.1** Incremento de la capacidad con WDM.

En un sistema WDM, cada longitud de onda es enviada a la fibra y las señales son demultiplexadas en el receptor. En este tipo de sistema, cada señal de entrada es independiente de las otras. De esta manera, cada canal tiene su propio ancho de banda dedicado; llegando todas las señales a destino al mismo tiempo.

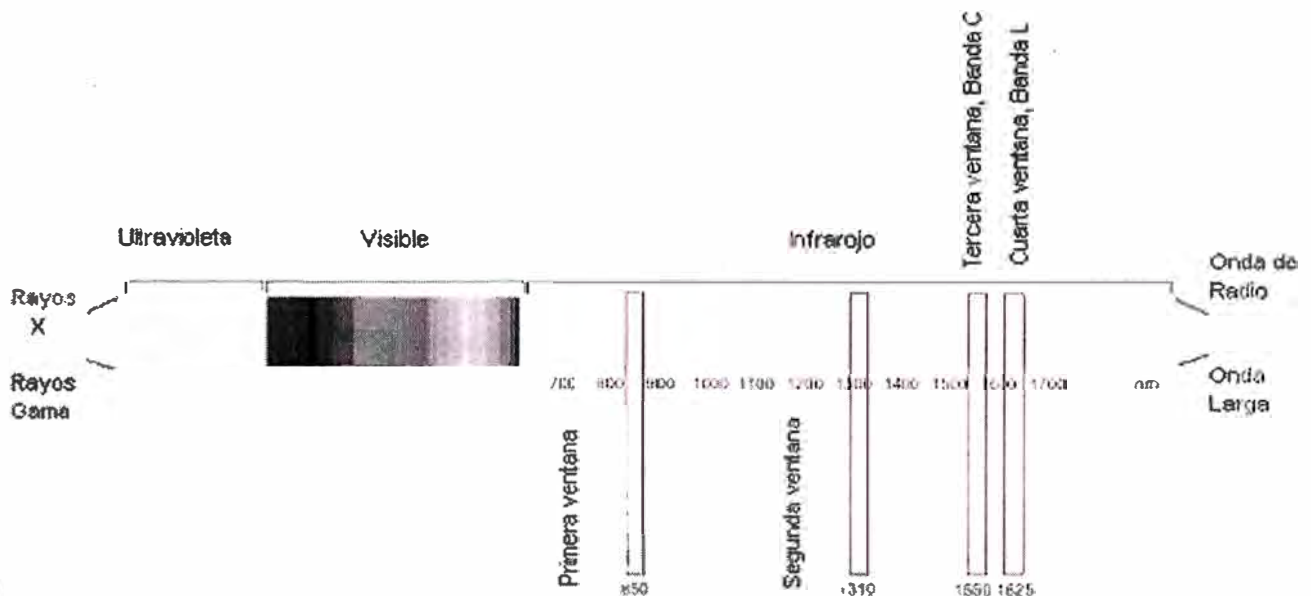
La gran potencia de transmisión introduce efectos no-lineales que pueden afectar la calidad de las formas de onda de las señales.

La diferencia entre WDM y Dense WDM (DWDM) es fundamentalmente el rango. DWDM espacia las longitudes de onda más estrechamente que WDM, por lo tanto tiene una gran capacidad total. Para sistemas DWDM (Multiplexación por División de Longitud de Onda Densa / Dense Wavelength Division Multiplexing) el intervalo entre canales es igual o menor que 3.2nm. La ITU (International Telecommunication Union) ha estandarizado este espaciamiento, normalizando una mínima separación de longitudes de onda de 100GHz (o 0.8nm), también esta la posibilidad de separación de 200GHz (o 1.6nm) y 400GHz (3.2nm).

Nota: WDM y DWDM utilizan fibra monomodo para enviar múltiples longitudes de onda de diferentes frecuencias. No confundir con una transmisión multimodo, en la cual la luz es introducida en una fibra a diferentes ángulos, resultando diferentes "modos" de luz. Una sola longitud de onda es usada en transmisión multimodo.

La principal ventaja de DWDM es que ofrece una capacidad de transmisión prácticamente ilimitada. Aparte del ancho de banda, DWDM ofrece otras ventajas:

- **Transparencia.** Debido a que DWDM es una arquitectura de capa física, puede soportar transparencia en el formato de señal, tales como ATM, GbE (Gigabit Ethernet), ESCON, TDM, IP y Fibre Channel, con interfaces abiertas sobre una capa física común. Por lo mismo, puede soportar distintas velocidades (Bit Rates).
- **Escalabilidad.** DWDM puede utilizar la abundancia de fibra oscura en redes metropolitanas y empresariales, para rápidamente satisfacer la demanda de capacidad en enlaces punto-a-punto y en tramos de anillos ya existentes.
- **Iniciación dinámica.** Rápida, simple y abastecimiento dinámico en las conexiones de redes, dada la habilidad de proveedores de proveer servicios de alto ancho de banda en días, antes que en meses.



**Fig. 1.2.** Espectro Electromagnético.

El auge de la fibra óptica está estrechamente ligado al uso de una región específica del espectro óptico donde la atenuación óptica es baja. Estas regiones, llamadas ventanas, se ubican en áreas de alta absorción. Los primeros sistemas en ser desarrollados operan alrededor de los 850nm, la primera ventana en fibra óptica basada en Silica. Una segunda ventana (Banda S), a 1310nm, se comprobó que era superior, por el hecho de tener menor atenuación. La tercera ventana (Banda C), a 1550nm, posee la menor pérdida óptica de manera uniforme. Hoy en día, una cuarta ventana (Banda L), cerca de los 1625nm, está en bajo desarrollo y en sus primeros usos. Estas cuatro ventanas se pueden observar en el espectro electromagnético mostrado en la figura 1.2

## 1.2 Evolución de la tecnología DWDM

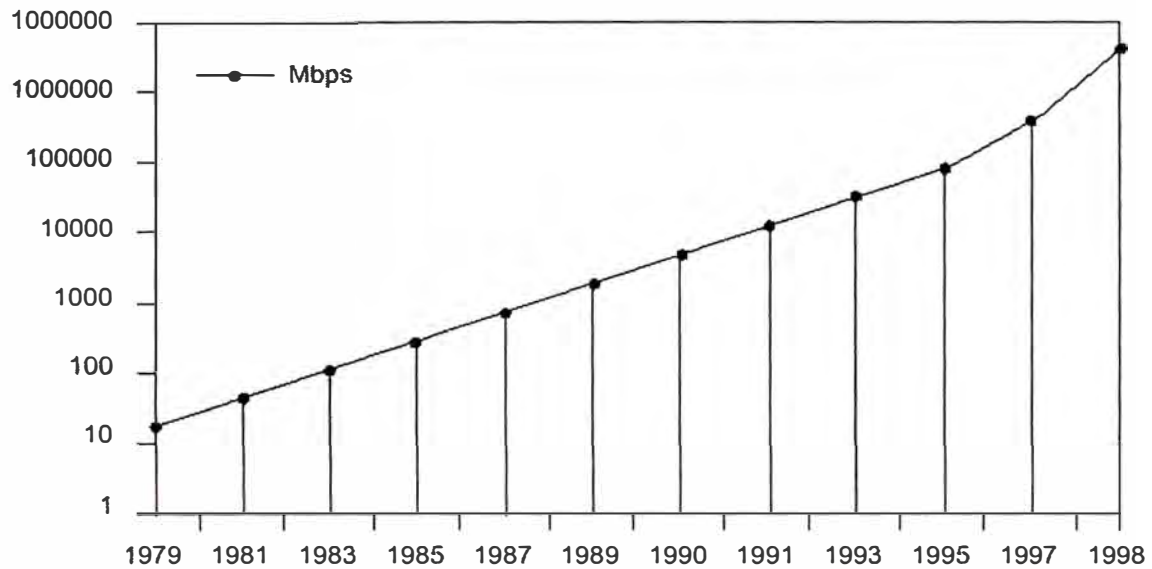
Los primeros comienzos de WDM, a fines de la década de los 80's, utilizaban dos longitudes de onda ampliamente espaciadas en las regiones de los 1310nm y 1550nm (o 850nm y 1310nm), algunas veces llamadas WDM banda ancha (Wideband WDM). A comienzos de los 90's floreció una segunda generación de WDM, algunas veces llamada WDM Banda estrecha (Narrowband WDM), en la cual se utilizaban entre dos a ocho canales, que estaban separados a intervalos de aproximadamente 400GHz en la ventana de los 1550nm. A mediados de los 90's, emergieron los sistemas DWDM con 16 a 40 canales con una separación entre ellos de 100 GHz y 200GHz. A fines de los 90's, los sistemas DWDM evolucionaron, a tal punto que eran capaz de utilizar de 64 a 160 canales paralelos, empaquetados densamente a intervalos de 50GHz y 25GHz. La figura 1.3 muestra la evolución de esta tecnología, que puede ser vista como un incremento en el número de longitudes de onda acompañada de una disminución en el espaciamiento entre las mismas. Con el crecimiento en la densidad de longitudes de onda, los sistemas también avanzaron en la flexibilidad de configuración, por medio de funciones de Inserción/Extracción (Add/Drop) y capacidades de administración.



**Fig. 1.3** Evolución de sistemas DWDM.

El incremento de la densidad de canales, como resultado de la tecnología DWDM, tuvo un impacto dramático en la capacidad de transmisión en la fibra. En 1995, cuando los primeros sistemas a 10Gbps fueron demostrados, la tasa de incremento de la capacidad fue de un múltiplo lineal de cuatro cada cuatro años a cuatro cada año (ver Figura 1.4)

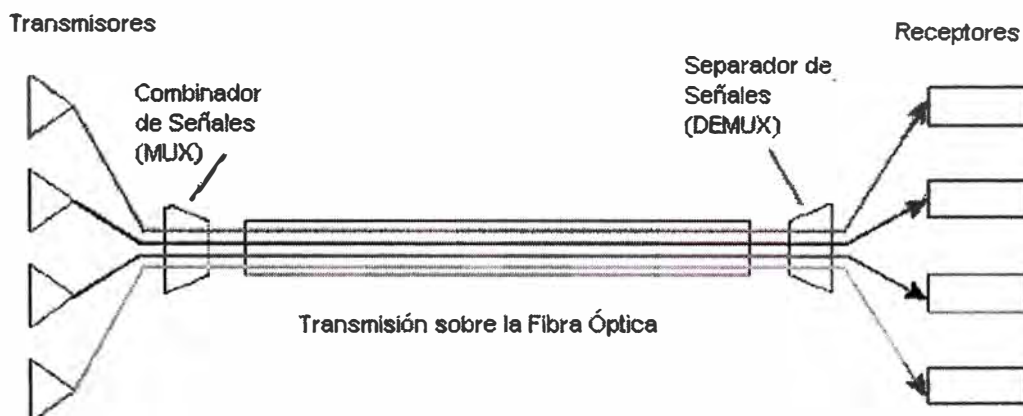
"Investigaciones de laboratorio han podido realizar experimentos para transmitir  $1022 \lambda$  en una misma fibra, sistema denominado Ultra Dense Wavelength Division Multiplexing (UDWDM), con una separación entre canales de 10GHz"



**Fig. 1.4** Crecimiento de la capacidad en la fibra.

### 1.3 Funcionamiento de un sistema DWDM

En su núcleo, DWDM involucra un pequeño número de funciones de capa física. Estas son bosquejadas en la figura 1.5, la que muestra un sistema DWDM de cuatro canales. Cada canal óptico ocupa su propia longitud de onda.



**Fig. 1.5** Esquema funcional DWDM.

El sistema ejecuta las siguientes funciones principales:

- Generación de la señal. La fuente, un láser de estado sólido, puede proveer luz

estable con un específico ancho de banda estrecho, que transmite la información digital, modulada por una señal análoga.

**Combinación de señales.** Modernos sistemas DWDM emplean multiplexores para combinar las señales. Existe una pérdida asociada con multiplexación y demultiplexación. Esta pérdida es dependiente del número de canales, pero puede ser disminuida con el uso de amplificadores ópticos, los que amplifican todas las longitudes de onda directamente, sin conversión eléctrica.

**Transmisión de señales.** Los efectos de Diafonía (Crosstalk) y degradación de señal óptica o pérdida pueden ser calculados en una transmisión óptica. Estos efectos pueden ser minimizados controlando algunas variables, tales como: espaciamiento de canales, tolerancia de longitudes de onda, y niveles de potencia del láser. Sobre un enlace de transmisión, la señal puede necesitar ser amplificada ópticamente. (1),(2),(3).

**Separación de señales recibidas.** En el receptor, las señales multiplexadas tienen que ser separadas. Aunque esta tarea podría parecer el caso opuesto a la combinación de señales, ésta es hoy, en día, difícil técnicamente.

**Recepción de señales.** La señal demultiplexada es recibida por un fotodetector.

Además de estas funciones, un sistema DWDM podría ser equipado con una interfaz Cliente-Equipo para recibir la señal de entrada. Esta función es desempeñada por transpondedores.

#### **1.4 Cambios en la transmisión**

La transmisión de luz en una fibra óptica presenta varios cambios que originan los efectos que se enumeran a continuación:

**Atenuación.** Decaimiento de la potencia de la señal, o pérdida en la potencia luminosa, con la propagación de la señal en la fibra.

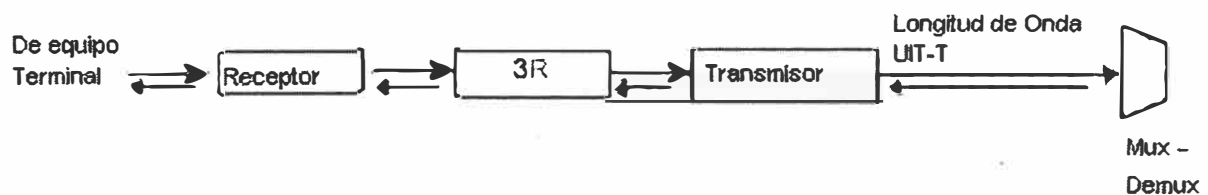
**Dispersión Cromática.** Esparcimiento del pulso luminoso cuando éste viaja por la fibra.

**No-Linealidades.** Efectos acumulados por la interacción de la luz con el material a través del cual ésta viaja, resultando en cambios en las longitudes de onda y en interacciones entre las longitudes de onda.

Cada uno de estos efectos se puede deber a una serie de causas, no todas afectan al DWDM.

### 1.5 Transpondedor, interfaz clave en sistemas DWDM

Dentro de un sistema DWDM, un transpondedor convierte la señal óptica del equipo terminal en señal eléctrica y desempeña la función 3R (Amplificación, Regeneración, Resincronización / Reshaping, Regeneration, Retiming), (ver Figura 1.6). Esta señal eléctrica es, por consiguiente, usada para dirigir un láser WDM. Cada transpondedor dentro de un sistema WDM, convierte esta señal "cliente" en una longitud de onda levemente diferente. Las longitudes de onda provenientes desde todos los transpondedores de un sistema son entonces multiplexadas ópticamente. En la dirección del receptor se efectúa el proceso inverso. Las longitudes de onda individuales son filtradas desde la fibra multiplexada y alimentan a un transpondedor individual, el cual convierte la señal óptica en eléctrica y conduce una interfaz estándar hacia el "cliente".



**Fig. 1.6** Función de un transpondedor.

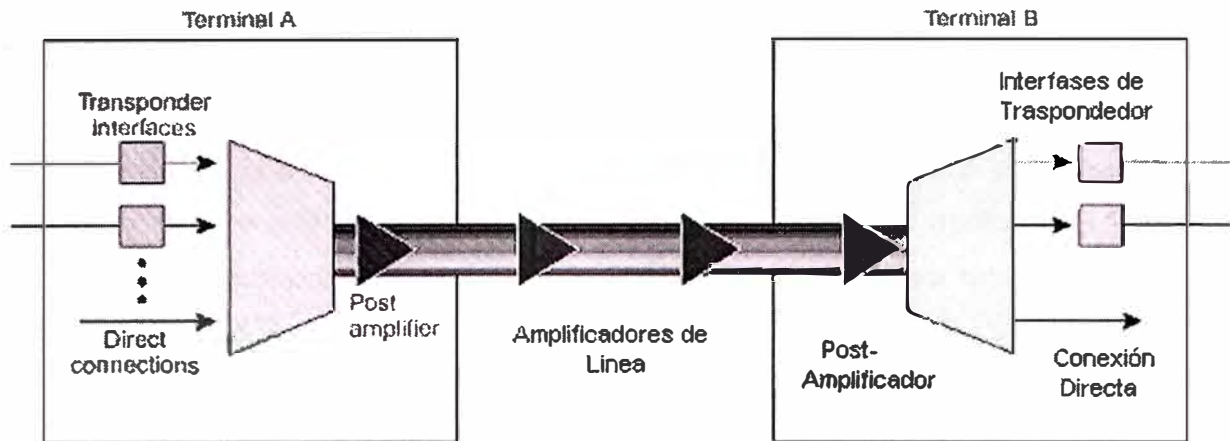
Diseños futuros incluyen interfaces pasivas, las cuales aceptan los estándares de luz de La UIT directamente de un conmutador o ruteador incluido, con una interfaz óptica.

La operación de un sistema basado en transpondedores se puede explicar considerando la figura 1.7.

Los siguientes pasos explican el sistema mostrado en la Figura 1.7.

1. El transpondedor acepta entradas en la forma estándar de láser monomodo o multimodo. La entrada puede llegar desde diferentes medios físicos, de distintos protocolos y tipos de tráfico.
2. La longitud de onda de cada señal de entrada es identificada a una longitud de DWDM.
3. Las longitudes de onda DWDM provenientes del transpondedor son multiplexadas





**Fig. 1.7** Esquema de un sistema DWDM.

dentro de una sola señal óptica y lanzadas dentro de la fibra. El sistema puede también incluir la habilidad de aceptar señales ópticas directas para ser multiplexadas.

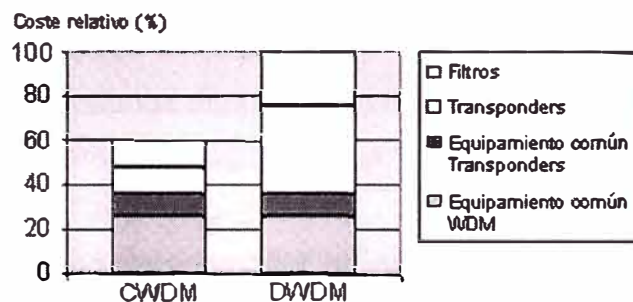
4. Un post-amplificador amplifica la potencia de la señal óptica, del mismo modo que emigra el sistema.
5. Amplificadores ópticos son utilizados cada cierta distancia de enlace, de ser necesarios. Un pre-amplificador amplifica la señal antes de que ésta entre en el nodo receptor. La señal recibida es demultiplexada en lambdas individuales DWDM (o longitudes de onda).
6. Las longitudes de onda individuales DWDM son identificadas para el tipo de salida requerido (por ejemplo, 2.5Gbps fibra monomodo) y enviadas a través del transpondedor.

## 1.6 Redes CWDM

La tecnología CWDM es especialmente atractiva debido a su bajo coste. En comparación con DWDM, los sistemas CWDM proporcionan ahorros del orden de un 35% a 65%. Por ejemplo, en la figura 1.8 se muestran los costes relativos de ambas tecnologías calculados para un sistema consistente en un anillo protegido de 16 canales, con un hub y cuatro nodos, cada uno de los cuales manejando 4 longitudes de onda. El ahorro proporcionado por CWDM (hasta un 40% en este caso) se debe a la reducción de costes del láser sin necesidad de control de temperatura y al menor precio de los multiplexores y demultiplexores pasivos. Básicamente, la mayor separación entre canales de los

sistemas CWDM permite que las longitudes de onda de los láseres DFB (Láser de Realimentación Distribuida / Distributed Feedback Laser) puedan sufrir derivas con los cambios de temperatura, evitando de este modo la necesidad de emplear controladores de temperatura. Esto trae consigo un ahorro de espacio, simplifica el empaquetamiento del láser y reduce además el consumo de potencia (un valor medio de 0,5 W para un láser CWDM en comparación con más de 2 W para un transmisor láser DWDM conforme a la rejilla de La UIT).

Al mismo tiempo, el diseño de los filtros de película delgada (thin-film filter, TFF) es más simple puesto que se necesita depositar menos capas en comparación con aquellos para DWDM, los cuales deben cumplir unos requisitos estrictos para las bandas de paso y de guarda. Adicionalmente, se produce también un ahorro de costes en el empaquetamiento de los TFFs como consecuencia de unos requisitos de alineamiento menos severos, lo cual permite una mayor automatización de los procesos de fabricación.



**Fig. 1.8** Costes relativos CWDM vs DWDM.

Recientemente, la norma UIT-T G.694.2 ha estandarizado una banda de longitudes de onda para CWDM con un espaciado entre canales de 20nm. La elección de este valor no es algo accidental, sino que es el resultado de un minucioso estudio económico que asegura una reducción significativa en los costes de los transmisores y de los filtros ópticos, así como un número razonable de canales por fibra óptica. Sin embargo, como muestra la figura 1.9 las fibras monomodo G.652 convencionales presentan una atenuación significativa en el rango de 1350nm a 1450nm debido al pico de absorción del agua.

Considerando un espaciado entre canales de 20nm, se pueden transmitir hasta 16 canales CWDM cubriendo la banda de 1310nm a 1610nm sobre una fibra ZWPF (Zero Water Peak Fiber). En cambio, una fibra SMF puede transportar 12 canales o incluso menos dependiendo de la posición e intensidad del pico de absorción. Por debajo de 1310nm, no obstante, predominan las pérdidas causadas por dispersión de Rayleigh y no se puede transmitir en entornos metropolitanos, quedando su uso limitado al bucle de abonado o aplicaciones de corto alcance.(2),(3)

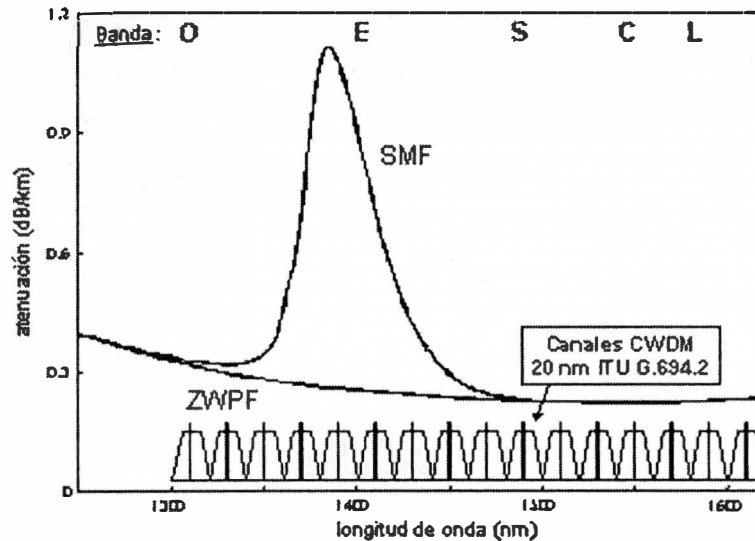


Fig. 1.9 Planificación de canales en sistemas CWDM.

Existen diversos escenarios, además de las ya comentadas redes metropolitanas, donde CWDM constituye una opción atractiva.

El alcance de las transmisiones digitales banda base sobre CWDM es de hasta 75km, si bien en el caso de retorno analógico se tiene un alcance más reducido debido a los requisitos de relación señal a ruido.

Pero además del requisito de acomodar un amplio margen de alcances del sistema, los proveedores de servicio deben ser capaces también de proporcionar múltiples servicios (voz, vídeo y datos) a los usuarios finales a distintas longitudes de onda usando una variedad de protocolos y tasas de bit: SONET/SDH, ATM, QAM, ESCON, FICON, DV-6000, OC-3 hasta OC-48, Gigabit Ethernet, etc. En este caso, CWDM se ajusta perfectamente a este paradigma, ya que ofrece ancho de banda escalable de una forma económica. Si en un futuro se necesitara aumentar la capacidad por encima de los 16 canales, entonces podrían colocarse varios canales DWDM en sustitución de uno o dos canales CWDM de la banda C. Esta técnica se conoce como DWDM-sobre-CWDM y permite hacer crecer el sistema de una forma flexible con un coste inicial reducido.

La mayoría de sistemas CWDM que ya se encuentran implantados en la actualidad transportan tráfico de almacenamiento (SAN, storage area networking) de las redes de grandes empresas. Esta aplicación se encuentra en auge últimamente y los sistemas CWDM son un candidato ideal debido a su bajo coste, por lo que nadie se preocupa de desperdiciar un canal CWDM completo para transportar un flujo ESCON de 200 Mbit/s.

Los fabricantes de ruteadores y conmutadores Ethernet están añadiendo capacidades CWDM en sus equipos por medio de GBICs (gigabit interface converters). Por ejemplo, Cisco Systems ha incorporado GBICs en siete de sus productos. De hecho, más de

veinte vendedores de sistemas están ofreciendo soluciones CWDM en sus catálogos de productos. Según los analistas, el mercado mundial de sistemas CWDM durante el año pasado se situó en torno a los 100 millones de euros y se espera que en el futuro esta tecnología se convierta en un importante nicho de mercado. Para finalizar, en la tabla 1.1

**TABLA 1.1** Comparativa entre tecnologías WDM según el tipo de aplicación.

Aplicación/parámetro	CWDM acceso/MAN	DWDM MAN/WAN	DWDM largo alcance
Canales por fibra	4-16	32-80	80-160
Espectro utilizado	O, E, S, C, L	C, L	C, L, S
Espaciado entre canales	20nm (2500GHz)	0,8nm (100GHz)	0,4nm (50GHz)
Capacidad por canal	2,5Gbit/s	10Gbit/s	10-40Gbit/s
Capacidad de la fibra	20-40Gbit/s	100-1000Gbit/s	>1Tbit/s
Tipo de láser	No enfriado DFB	cooled DFB	enfriado DFB
Tecnología de filtros	TFF	TFF, AWG, FBG	TFF, AWG, FBG
Distancia	hasta 80km	cientos de km	miles de km
Coste	bajo	medio	Alto
Amplificación óptica	ninguna	EDFA	EDFA, Raman

se resumen a modo comparativo las características de las diferentes tecnologías WDM existentes.

Como se puede ver los componentes utilizados en las redes CWDM son mas baratos que lo utilizado en las otras redes, también vemos que la distancia a las cuales llegan estas redes son distintas en el caso CWDM llega hasta los 80Km, y debido a esto es su gran popularidad.

## 1.7 Redes DWDM

En su forma mas simple una red DWDM, puede ser visto como sistema de canales paralelos cada uno utilizando luz de diferente longitud de onda, pero todos ellos utilizando el mismo medio de transmisión (fibra óptica). Esta nueva técnica incrementa la capacidad de las redes existentes sin la necesidad de un recableado lo cual significa una reducción de los costos en la modernización de las redes. Actualmente se tiene redes DWDM que

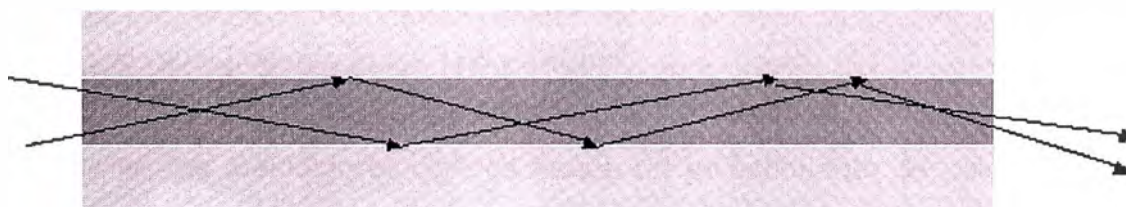
maneja hasta 200 canales lo cual es un gran avance comparando los 8 canales que manejaba en los años 80.

**TABLA 1.2** Evolución de DWDM

2005	200 canales
2000	64 canales
1996	16 canales
1980	2-8 canales

### 1.8 Fibras ópticas.

Las fibras ópticas son conductos, rígidos o flexibles, de plástico o de vidrio (sílice), que son capaces de conducir un haz de luz inyectado en uno de sus extremos, mediante sucesivas reflexiones que lo mantienen dentro de sí para salir por el otro. Es decir, es una guía de onda y en este caso la onda es de luz.



**Fig. 1.10** Reflexión Total

Las aplicaciones son muy diversas yendo desde la transmisión de datos hasta la conducción de la luz solar hacia el interior de edificios, o hacia donde pudiera ser peligroso utilizar la iluminación convencional por presencia de gases explosivos. También es utilizada en medicina para transmitir imágenes desde dentro del cuerpo humano.

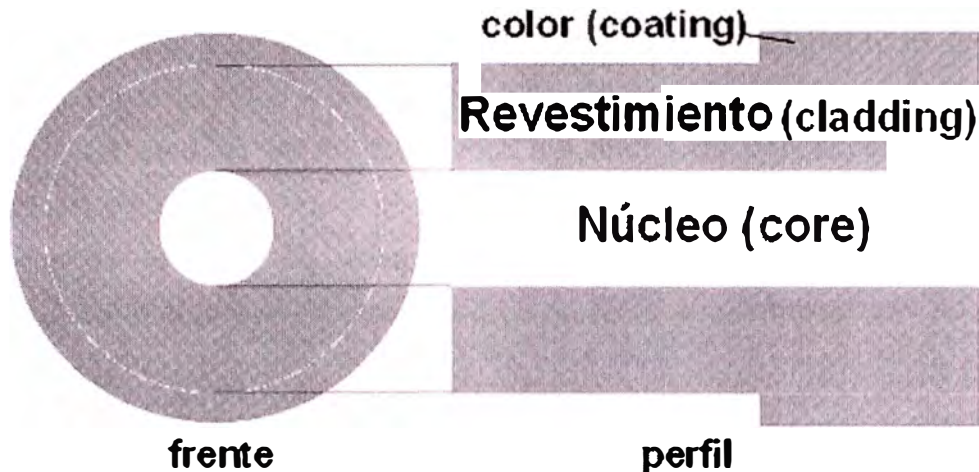
#### 1.8.1 Tipos de fibra óptica.

El cable de fibra óptica se constituye principalmente de un núcleo rodeado de un revestimiento. La diferencia entre sus índices de refracción (indicados con  $n$ ) es lo que

hace que el haz de luz se mantenga dentro del núcleo (siempre que el haz haya entrado con el ángulo apropiado y la  $n$  del núcleo sea mayor que el del revestimiento).

Entonces habrá cables con:

- núcleo y revestimiento de plástico
- núcleo de vidrio y revestimiento de plástico (PCS=plastic clad silica)
- núcleo y revestimiento de vidrio (SCS=silica clad silica)



**Fig. 1.11** Vista Transversal de la Fibra óptica

Los conductores de fibra óptica comúnmente utilizados en transmisión de datos son de un grosor comparable a un cabello, variando el núcleo entre los 8 y los 100 $\mu$ m (micrones), y el revestimiento entre 125 y 140 $\mu$ m.

Adicionalmente, los conductores ópticos tienen un revestimiento de color que sigue un código de identificación o numeración, el cual varía según el fabricante/norma.

Existe otra clasificación, según la variación del índice de refracción dentro del núcleo, y según la cantidad de Modos (haces de luz)

- Multimodo de índice escalonado [Multimode step index]
- Multimodo de índice gradual [Multimode graded index]
- Monomodo (índice escalonado) [Single Mode step index]

Nota: La cantidad de modos no es infinita y se puede calcular en base al radio del núcleo, la longitud de onda de la luz que se propaga por la fibra y la diferencia de índices de refracción entre núcleo y revestimiento.

Aquí podemos anotar que debido al avance de la calidad de la fibra óptica y el uso de las redes más extensas se hacen necesarios instrumentos de medición para realizar

pruebas en el campo. Se hace necesario medir nuevos parámetros. Y las características de los componentes, que antes eran de interés solamente durante la instalación ahora estos parámetros deben ser medidos regularmente.

Como se puede observar en la gráfica del centro de la figura 1.12, en el núcleo de una fibra multimodo de índice gradual el índice de refracción es máximo en el centro y va disminuyendo radialmente hacia afuera hasta llegar a igualarse al índice del revestimiento justo donde éste comienza. Por esto es que los modos (haces) se van curvando como lo muestra el dibujo. Dado que la velocidad de propagación de un haz de luz depende del índice de refracción, sucederá entonces que los modos al alejarse del centro de la fibra por un lado viajarán más rápido y por otro, al curvarse, recorrerán menor distancia, resultando todo esto en un mejoramiento del ancho de banda respecto a la de índice escalonado.

Existe además un tipo de fibra denominada *Dispersión Shifted (DS)* (*dispersión desplazada*) de la cual sólo se dirá aquí que no debe empalmarse con las comunes.

## **1.8.2 Transmisión por fibras ópticas**

La transmisión por FO consiste en convertir una señal eléctrica en una óptica, que puede estar formada por pulsos de luz (digital) o por un haz de luz modulado (analógica). La señal saliente del transmisor, se propaga por la fibra hasta llegar al receptor, en el cual se convierte la señal nuevamente a eléctrica.

### **1.8.3 Efectos lineales de La fibra óptica:**

#### **a) Dispersión cromática de la fibra**

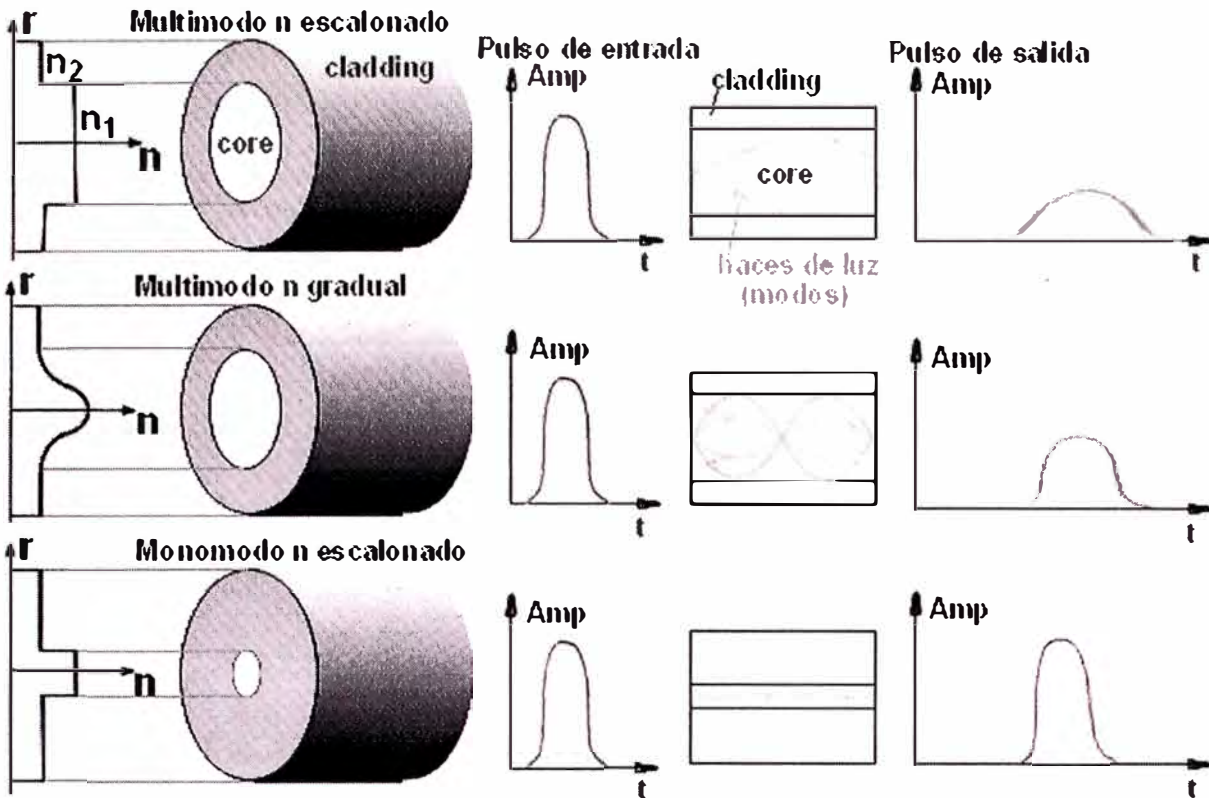
El índice de refracción del vidrio del núcleo de la fibra óptica depende de la longitud de onda y por lo tanto la velocidad de las diferentes componentes espectrales, para una longitud de onda dada será diferente produciendo un ensanchamiento temporal de los pulsos de información. El ensanchamiento total de los pulsos de información que se produzca al final de un enlace dependerá en forma directamente proporcional del ancho espectral del láser utilizado, de la distancia total y del coeficiente de dispersión cromática respectivo.

Donde:

D: Dispersión total para una longitud de L kilómetros, expresada en pico segundos

$\sigma$ : Coeficiente de dispersión cromática, en ps / (Km \* nm)

$\Delta\lambda$ : Ancho espectral del láser utilizado en el transmisor, expresado en nm



### 1.- Multimodo n escalonado

Menor ancho de banda

AB = 20 a 200MHz/Km

### 2.- Multimodo n gradual

Ancho de banda medio

AB = 500 a 1500MHz /Km

Diámetros de núcleo/revestimiento:

50 / 125

62.5 / 125

100 / 140

### 3.- Monomodo n escalonado

Mayor ancho de banda

AB > 10 GHz/Km

Diámetros de núcleo/revestimiento:

8 a 10 / 125

**Fig. 1.12** Perfiles de Índice de Refracción



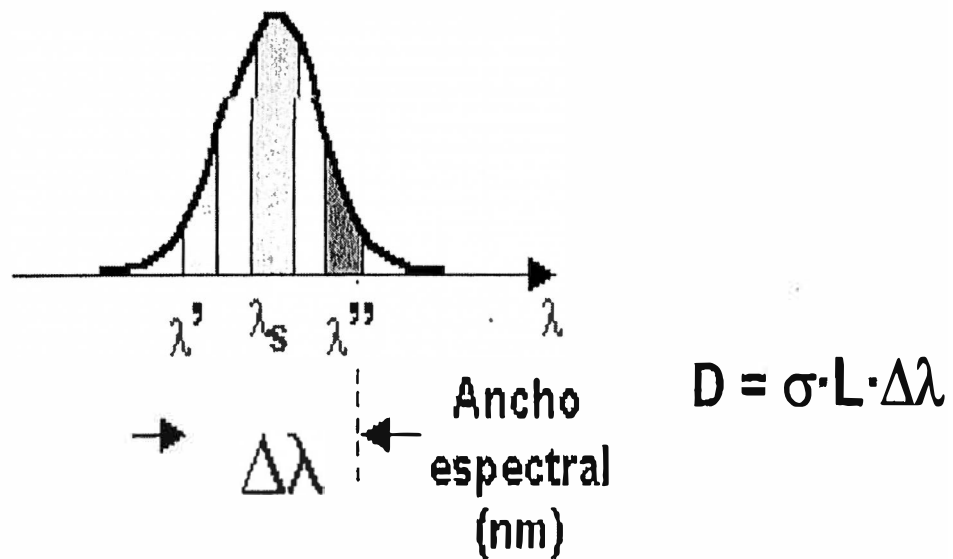


Fig. 1.13 Ancho espectral de un láser y dispersión cromática

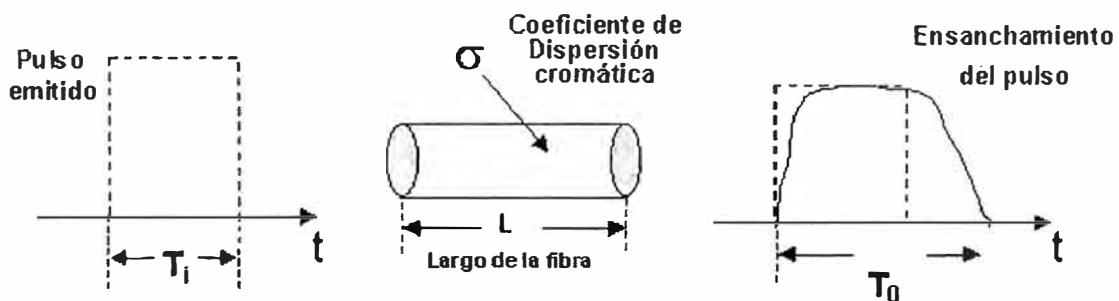


Fig.1.14 Concepto de dispersión cromática

#### b) Características de dispersión de diferentes tipos de fibras

Se han fabricado distintos tipos de fibras con diferentes características de dispersión cromática, las que permiten en forma combinada contrarrestar el efecto de ensanchamiento producido por la dispersión cromática en enlaces de gran longitud, como son los enlaces submarinos. Además, se han desarrollado fibras especiales para contrarrestar el efecto de la alta potencia óptica producida por los amplificadores.

Los principales tipos de fibras utilizados en sistemas submarinos se muestran en la figura 1.15

- NZDSF: Fibra con dispersión desplazada diferente de cero (Non Zero Dispersion Shifted Fiber). Se utiliza para contrarrestar el efecto FWM.

- SMF-PSCF: Fibra de modo único con núcleo de sílice puro (Single Mode Fiber - Pure Silica Core Fiber). La fibra PSCF se usa en combinación con la fibra NZDSF aprovechando la pendiente contraria que exhibe con respecto a esta última, permitiendo controlar la dispersión cromática por etapas.
- LCF: Fibra de núcleo grande (Large Core Fiber). Permite contrarrestar los efectos no lineales de Kerr, SPM y XPM que se presentan cuando existen altas densidades de potencias.
- DCF: Fibra para compensación de dispersión (Dispersión Compensation Fiber). Se utilizan principalmente en equipos terminales de línea en la transmisión y en la recepción como pre-compensación o post-compensación, respectivamente (ellas son fabricadas con pendientes positivas o negativas de dispersión).

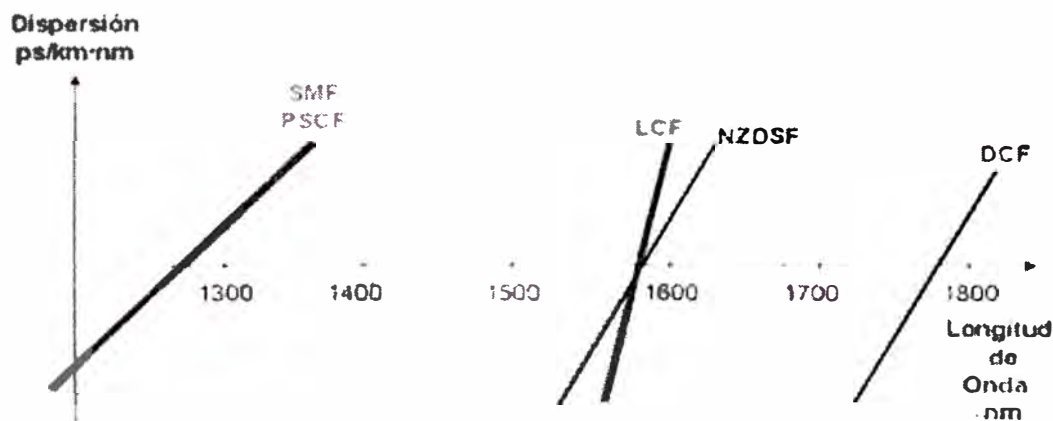


Fig. 1.15 Características de dispersión de diferentes tipos de fibra

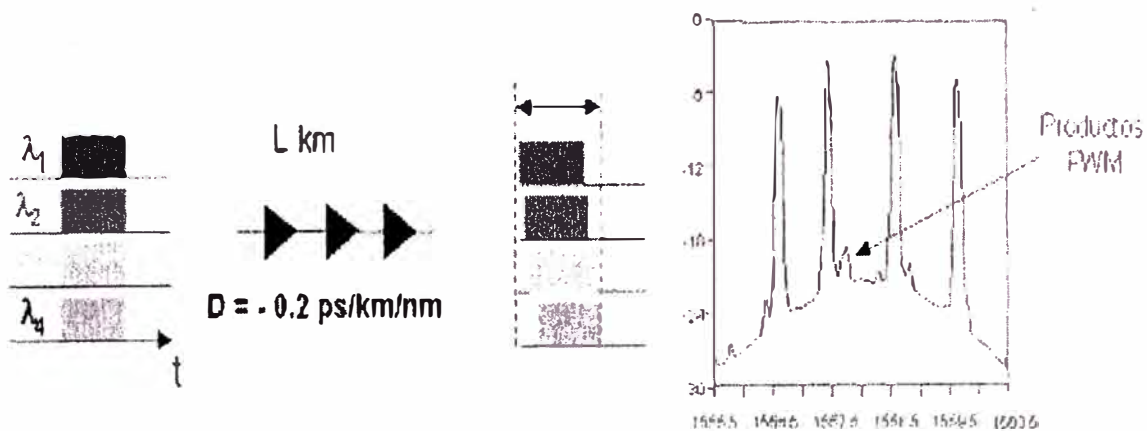
#### 1.8.4 Efectos no lineales en la fibra óptica

La alta potencia que entrega el amplificador óptico, hace que la fibra trabaje en un régimen no lineal, produciendo principalmente tres efectos indeseados que abrirán la posibilidad de diafonía, distorsión temporal y distorsión espectral. Particularmente se producirá el efecto llamado de Mezcla de Cuatro Ondas (FWM) y el efecto Kerr, que a su vez generará los fenómenos llamado Auto-Modulación de Fase (SPM) y Modulación de Fase Cruzada (XPM).

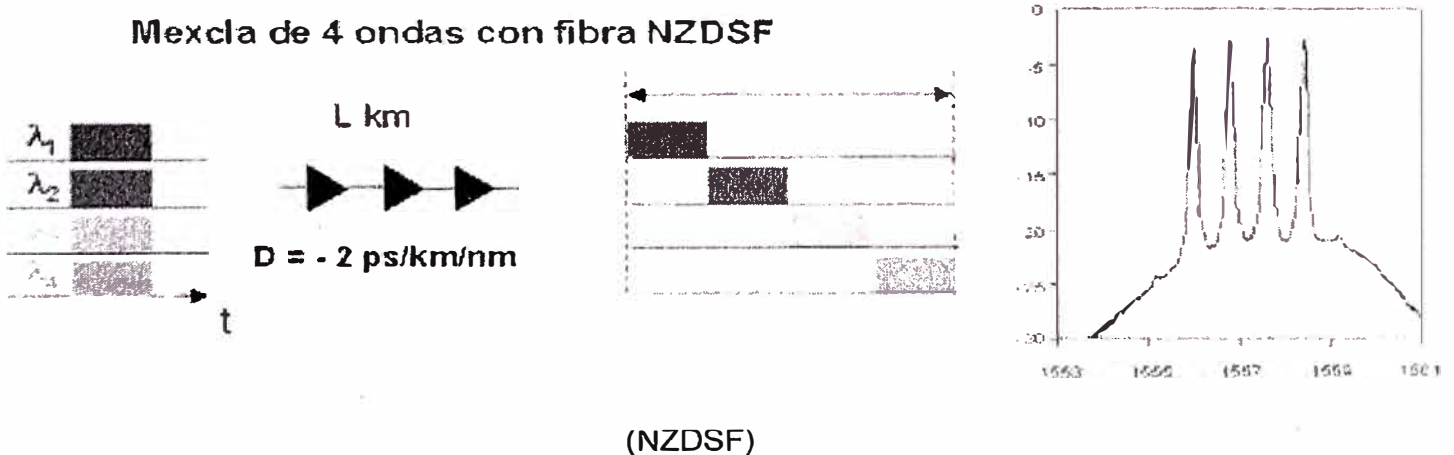
##### a) No linealidades: Efecto FWM

Cuando a una fibra con dispersión cromática cero se aplica una señal DWDM se produce el indeseable efecto de mezcla de cuatro ondas que produce diafonía y distorsión

temporal del pulso a través de la aparición de componentes espectrales que son combinaciones lineales de las longitudes de ondas que llevan la información. La aparición de estos componentes espectrales limita el número de canales que podrían utilizarse en un sistema de DWDM. Para evitar este problema la fibra a utilizar debe tener un cierto grado de dispersión cromática. En las figuras 1.16 y 1.17 siguientes se pueden apreciar cómo un aumento de la dispersión cromática elimina los componentes espectrales de FWM.



**Fig. 1.16** Presencia de los componentes FWM en una fibra de dispersión cero. (DSF)



**Fig. 1.17** Eliminación de los componentes FWM

#### b) No linealidades : Efecto Kerr

Este efecto que el índice de refracción del núcleo depende realmente de su valor nominal más una componente dependiente en forma no lineal de la intensidad de la potencia

luminosa y produce en una transmisión DWDM los siguientes efectos indeseables: SPM, XPM, corrimiento no lineal de fase, ensanchamiento espectral y dispersión temporal del pulso cuando se combina con la dispersión cromática

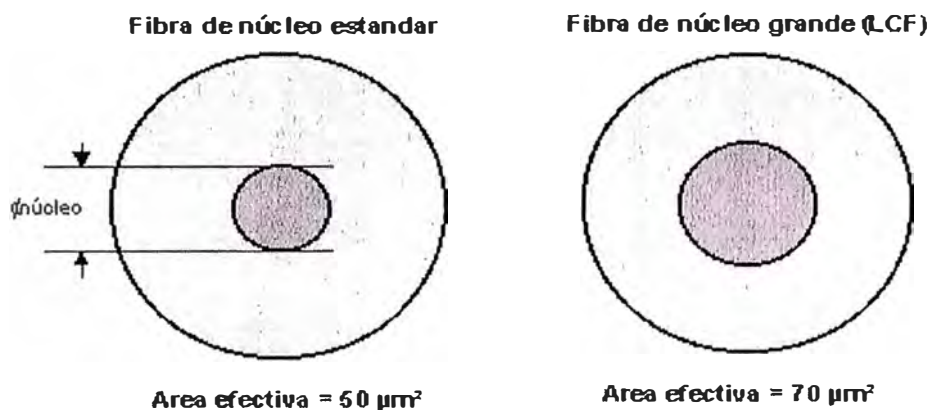
$$N = n_0 + n_2 I$$

$N$  : índice de refracción

$n_0$ : índice lineal

$n_2$ : índice no lineal (pequeño)

$I$  : densidad de potencia  
( $P/\text{Área efectiva}$ )



**Fig. 1.18** Método para disminuir la intensidad óptica a través de aumento del núcleo. La manera de disminuir el efecto no lineal de Kerr es utilizar una fibra de área efectiva de núcleo mayor que la nominalmente usada, denominada LCF, figura 1.18 de forma de disminuir la intensidad óptica (cociente entre la potencia y el área efectiva del núcleo). La fibra LCF se instala inmediatamente a continuación de los amplificadores para absorber la alta potencia que estos entregan.

Además de la utilización de la fibra LCF, para disminuir la SPM en el transmisor se utiliza modulación de fase y formato RZ (retorna a cero).

Como se observa en la siguiente figura 1.19 la fibra LCF se combina con la fibra NZDSF en longitudes similares entre repetidores, hasta llegar a la acumulación de dispersión cromática que obliga a la instalación de la fibra de pendiente positiva PSCF como se explicara con detalle en la siguiente parte.

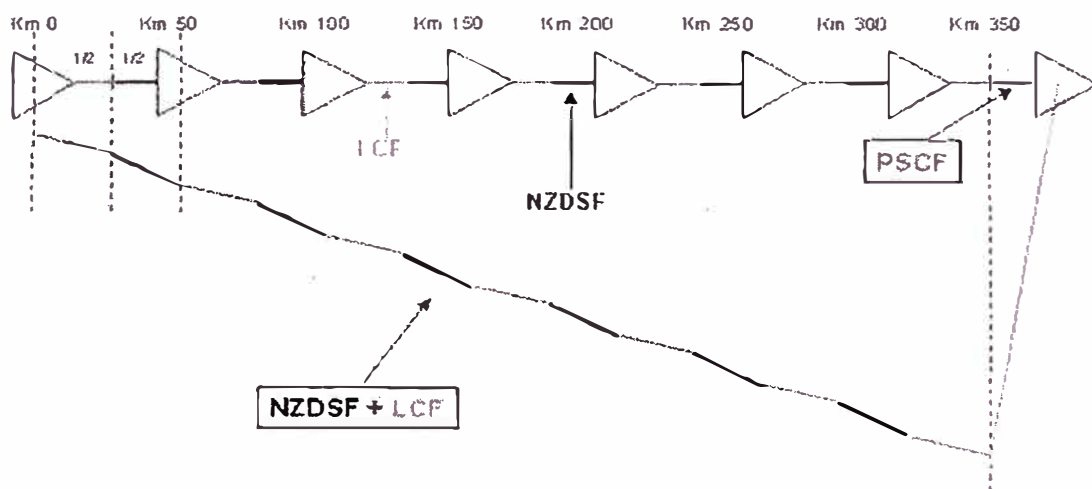
### c) Manejo de la dispersión cromática.

Una forma de solucionar el problema de la acumulación de la dispersión cromática en enlaces de gran longitud, es mediante la utilización de una combinación de fibra de dispersión negativa (NZDSF) con una de dispersión positiva mediante una fibra tipo PSCF (pure Silica Core Fiber). Esta ecualización se realiza por etapas a lo largo del enlace (por ejemplo: 200Km de fibra NZDSF y luego 20Km de fibra PSCF). Es necesario

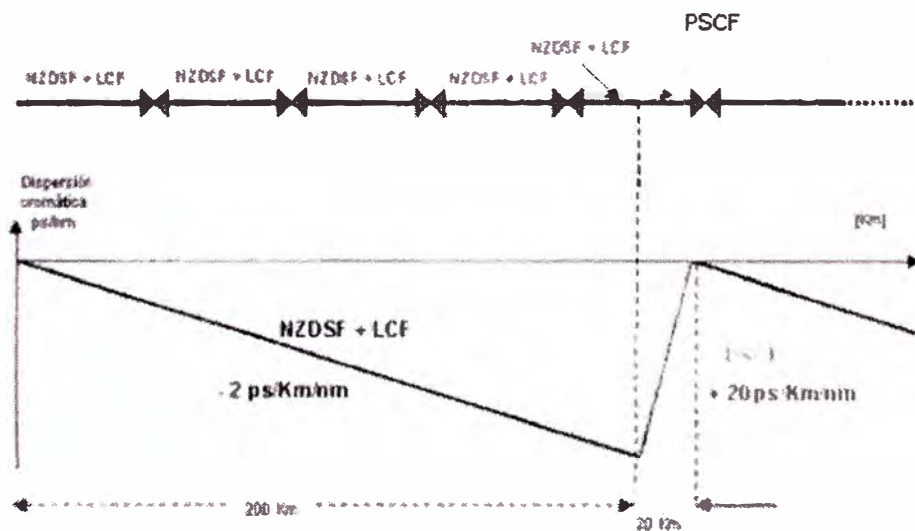
indicar que la fibra NZDSF va combinada además siempre con una fibra LCF, ya que esta última se utiliza en la salida de los amplificadores ópticos para absorber la gran potencia que estos entregan, como se explicó antes. Este método puede ser utilizado para enlaces de hasta 4000Km. Fig. 1.20

En la figura 1.21 siguiente se muestra el manejo de la dispersión cromática a nivel de enlace, mediante la combinación de fibras ópticas tipo (NZDSF + LCF) + PSCF para la longitud de onda central de la grilla ITU (1553,33 nm).

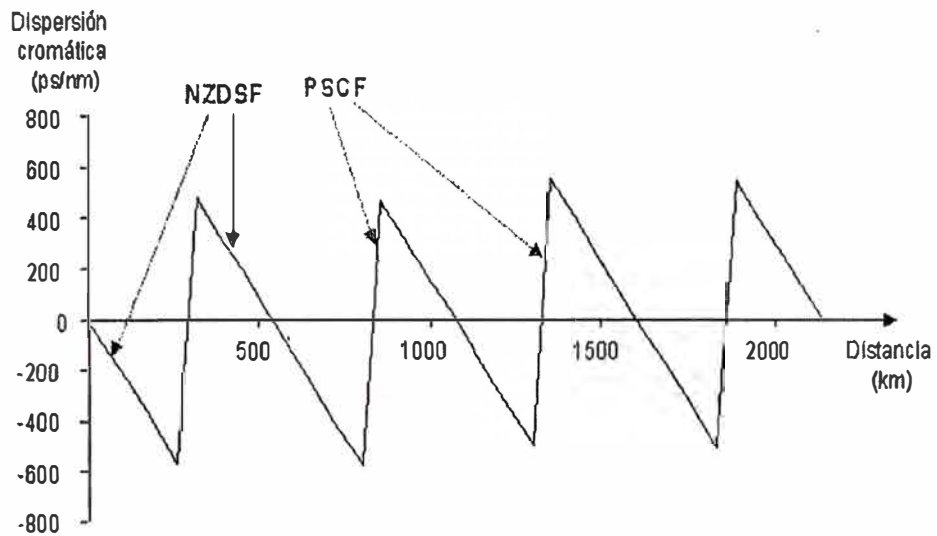
Como se dijo anteriormente, el manejo de la dispersión cromática es realizada mediante una compensación periódica a lo largo del enlace para tener un promedio cero en la



**Fig. 1.19** Utilización de la fibra LCF en combinación con la NZDSF para contrarrestar el efecto Kerr.



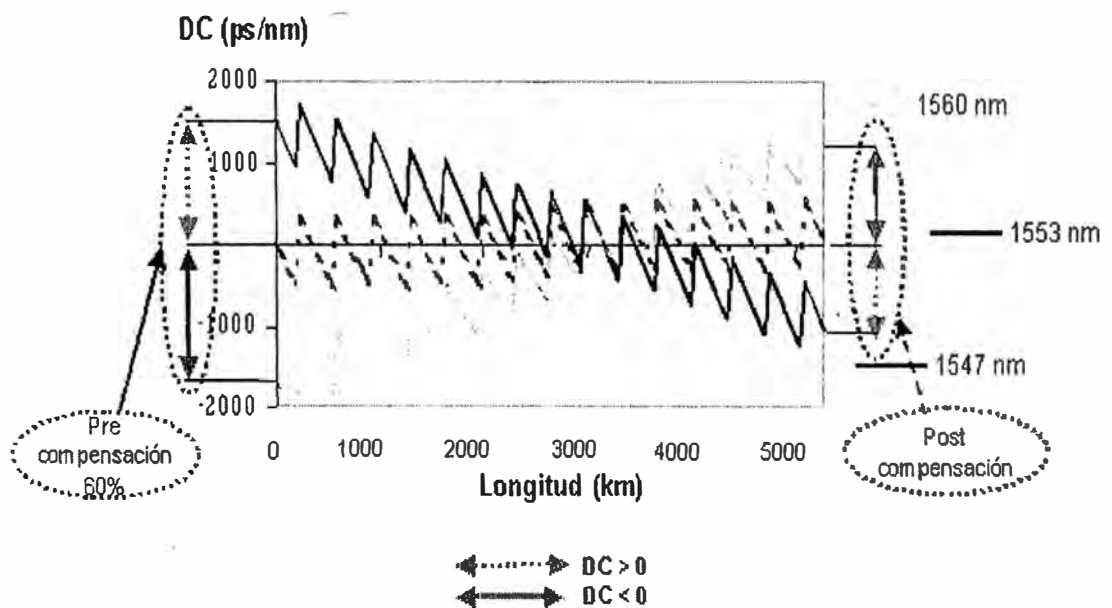
**Fig. 1.20** Manejo de la dispersión cromática mediante la combinación de fibras (NZDSF + LCF) + PSCF.



**Fig. 1.21** Manejo de la dispersión cromática a nivel de enlace, mediante la combinación de fibras ópticas tipo (NZDSF + LCF) + PSCF para la longitud de onda central de la grilla ITU (1553,33nm).

longitud de onda central de la grilla (1553,33 nm). Sin embargo, las otras longitudes de ondas anteriores y posteriores a la central quedarían con un promedio de dispersión diferente de cero. La longitud de onda inferior, por ejemplo 1547nm., terminaría en la recepción con una fuerte dispersión negativa y la longitud de onda superior, por ejemplo 1560nm., con una alta dispersión positiva.

Para solucionar lo anterior se realiza, en el transmisor, una Pre-compensación de dispersión para cada una de las longitudes de ondas (excepto para la central) y una post-compensación en el receptor, como se aprecia en la figura 1.22 siguiente.



Ejemplo con  $\lambda = 1560, 1553$  y  $1547$  nm  
**Fig. 1.22** Pre-compensación y Post-compensación

## CAPÍTULO II

### DESCRIPCIÓN DE PARÁMETROS EMPLEADOS EN EVALUACIÓN DE LA RED DWDM

#### 2.1 Introducción

Se analizarán algunos conceptos básicos en teoría de fibras ópticas, aplicables al Mantenimiento de una red DWDM, tales como: Atenuación, Diafonía (Crosstalk), Dispersión, entre otros.

La idea es introducir los conceptos básicos relacionados con la fibra óptica, con el fin de preparar el camino para una mejor comprensión de los capítulos III y IV del trabajo. Claramente, estos conceptos no sólo están relacionados con la fibra óptica, sino que con las comunicaciones en general, sin embargo, el enfoque que se dará, será de acuerdo al tema que se está tratando.

A estos conceptos, se les debe prestar mucha atención, ya que más de uno será objeto de medición en las pruebas de aceptación de los equipos DWDM.

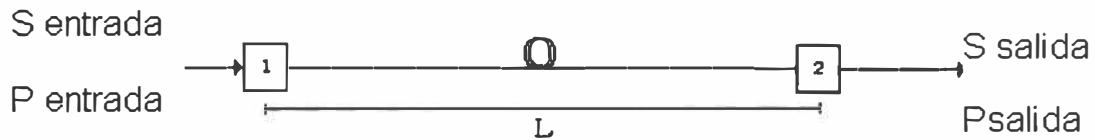
#### 2.2 Atenuación

Uno de los parámetros claves a la hora de implementar un enlace óptico, es la atenuación (o Pérdida) que sufre la señal en el trayecto del enlace, puesto que determina la distancia máxima a la que puede viajar una señal, de manera que se obtenga una recepción aceptable de ésta.

La atenuación  $A(\lambda)$  a una longitud de onda  $\lambda$  entre dos puntos de un enlace de fibra óptica, separados a una distancia  $L$  (ver Figura 2.1), se define como sigue:

Donde  $P_1(\lambda)$  corresponde a la potencia de la señal de entrada (o transmitida,  $P_{IN}$ ), y  $P_2(\lambda)$  corresponde a la potencia de la señal de salida (o recibida,  $P_{OUT}$ ), en un enlace óptico para una longitud de onda particular  $\lambda$ . Un esquema de un enlace óptico se presenta en la figura 2.1.

$$A(\lambda) = 10 \cdot \log \left( \frac{P_1(\lambda)}{P_2(\lambda)} \right) [dB] \quad (2.1)$$



**Fig. 2.1** Enlace óptico entre dos puntos.

Para una fibra uniforme, es posible definir una atenuación por unidad de longitud o, también llamado, Coeficiente de Atenuación ( $\alpha$ ), tal como sigue:

$$\alpha(\lambda) = \frac{A(\lambda)}{L} \left[ \frac{dB}{\text{unidad de longitud}} \right] \quad (2.2)$$

Los mecanismos responsables de la atenuación de la señal en una fibra óptica son numerosos, y se deben a distintos fenómenos. Entre estos fenómenos se encuentran: Absorción del material, Scattering o esparcimiento del material (ya sea de origen lineal o no lineal), Pérdidas por curvaturas y microcurvaturas, Pérdidas de radiación por acoplamiento de modos, Pérdidas debido a fuga de modos y Pérdidas por conectores y empalmes.

Existe un amplio número de parámetros ópticos, relacionados con las pérdidas de potencia, para los cuales se requiere de mediciones de potencia en puntos específicos, y que serán de gran utilidad al momento de realizar las pruebas de aceptación de los equipos en las diferentes estaciones de una red de fibra óptica. Cabe señalar que estos parámetros pueden ser obtenidos tanto para componentes de la red, como para enlaces.

### 2.2.1 Pérdidas de Inserción

Las pérdidas de inserción corresponden a la variación entre la potencia de la señal de salida y la señal de entrada. La forma matemática de obtener estas pérdidas se presenta en la ecuación 2.3. La distribución de potencias en un componente se presenta en la figura 2.2.

La idea de este parámetro, es tratar de minimizarlo, es decir, que sea lo más pequeño posible. Esto, es que la pérdida de potencia en un componente cualquiera, sea ínfima.



$$Pérdida de Inserción [dB] = -10 \cdot \log\left(\frac{P_{OUT}}{P_{IN}}\right) \quad (2.3)$$

Típicamente, resultados prácticos arrojan aproximadamente un valor entre 0.1 y 1dB.



**Fig. 2.2** Distribución de señales en un componentes óptico.

### 2.2.2 Pérdidas de Retorno

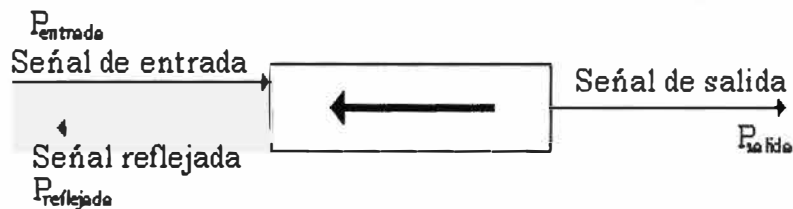
Estas pérdidas corresponden a la variación de potencia entre la señal reflejada y la potencia de la señal de entrada. La forma matemática de obtener estas pérdidas se presenta en la ecuación 2.4. La distribución de potencias en un componente se presenta en la figura 2.2.

$$Pérdida de Retorno [dB] = -10 \cdot \log\left(\frac{P_{REF}}{P_{IN}}\right) \quad (2.4)$$

Una alta pérdida de retorno implica una baja reflexión. Por lo que este parámetro se desea maximizar, es decir, minimizar las reflexiones en un componente. Típicamente debe estar sobre los 60 [dB].

### 2.2.3 Aislamiento (Pérdida hacia atrás)

Corresponde a la disminución de potencia óptica, en [dB], provocada por la inserción de un aislador en sentido inverso, tal como se muestra en la figura 2.3. Este parámetro es sólo medible en presencia de un aislador.



**Fig. 2.3** Esquema de medición de aislamiento.

La forma matemática de obtener este parámetro, se presenta a continuación:

$$Aislamiento [dB] = -10 \cdot \log\left(\frac{P_{OUT}}{P_{REF}}\right) \quad (2.5)$$

La idea es lograr un aislamiento bien alto, del orden de los 60 [dB]. Mientras más alto es el valor del aislamiento, el aislador funciona más correctamente

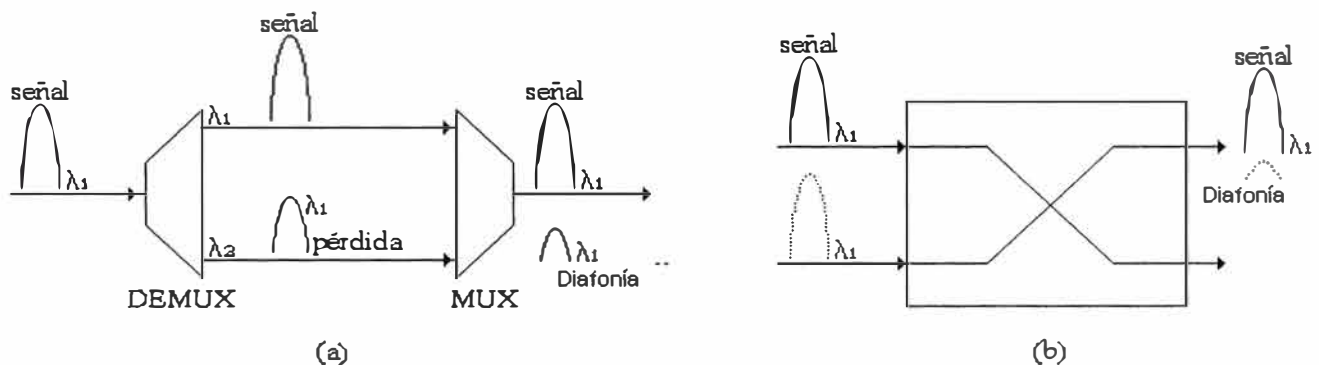
## 2.3 Diafonía

La diafonía (Crosstalk) en sistemas de comunicaciones ópticas, corresponde al término utilizado para determinar disturbios en la transmisión, causada por la interferencia de señales entre dos canales diferentes. Casi todos los componentes de sistemas WDM introducen Diafonía, de una manera u otra. Dos formas de Diafonía surgen en sistemas WDM: Diafonía Intercanal y Diafonía Intracanal.

### 2.3.1 Diafonía Intracanal

Este caso la diafonía ocurre cuando dos señales están a la misma longitud de onda, o se encuentran muy cerca una de la otra, tal que la diferencia entre longitudes de onda es menor que el ancho de banda del receptor, filtrándose ambas en este punto (receptor). Este tipo de diafonía no es usualmente un problema mayor en líneas de transmisión, pero puede serlo en redes.

Unas fuentes de este tipo de diafonía pueden ser las ilustradas en la figura 2.4. La figura



**Fig. 2.4** Fuentes de Diafonía Intracanal. (a) Configuración MUX-DEMUX en cascada, y (b) un Conmutador óptico.

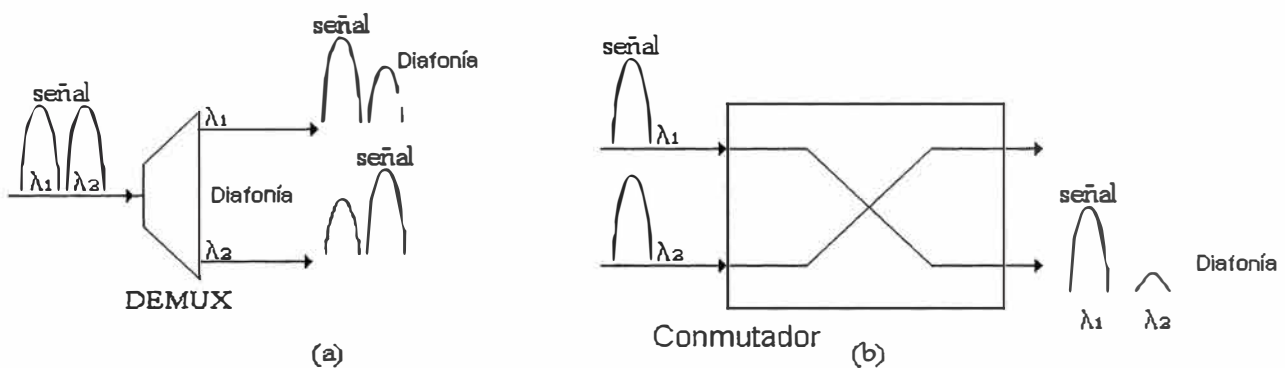
2.4(a), muestra una configuración de MUX y DEMUX conectados en cascada. El DEMUX idealmente separa las longitudes de onda entrantes en diferentes salidas, una porción de la señal  $\lambda_1$  se filtra dentro del canal adyacente  $\lambda_2$ , debido a supresión no ideal dentro del DEMUX. Cuando las longitudes de onda son nuevamente combinadas por el MUX, una pequeña porción de  $\lambda_1$  es filtrada dentro de  $\lambda_2$ , podría también filtrarse en la fibra común de la salida. Aunque ambas señales tienen los mismos datos, no están en fase. Otra fuente de este tipo de diafonía son los conmutadores, mostrado en la figura 2.4 (b), debido al aislamiento no ideal de un puerto del conmutador con otro.

### 2.3.2 Diafonía Intercanal

Este tipo de diafonía ocurre cuando dos señales se encuentran lo suficientemente alejadas, tal que la diferencia entre longitudes de onda es muy grande en comparación con el ancho de banda del receptor. Esta forma de diafonía puede ocurrir también a través de más interacciones indirectas, por ejemplo, si un canal afecta la potencia vista por otro canal, tal como ocurre con las no linealidades de la fibra.

Este tipo de diafonía puede lograrse de una variedad de fuentes. Un ejemplo simple es un filtro óptico o DEMUX, el que selecciona un canal y rechaza imperfectamente los otros, como se muestra en la figura 2.5(a). Otra fuente de este tipo de diafonía es un conmutador óptico, mostrado en la figura 2.5 (b), donde la diafonía se logra debido a los imperfectos aislamientos entre los puertos del conmutador.

La Diafonía introducida del canal X al canal Y, corresponde a la potencia que se escapa del canal X al canal Y, la cual es comparada con la potencia de la señal original del canal



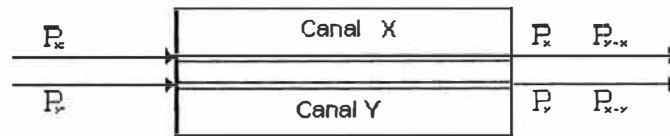
**Fig. 2.5** Fuentes de Diafonía Intercanal. (a) Un DEMUX, y (b) Un Conmutador óptico.

X. La forma matemática de obtener estas pérdidas se presenta en la ecuación 2.6. La distribución de potencias en un componente se presenta en la figura 2.6.

Un valor típico de Diafonía es, aproximadamente de -25dB, es decir, que la potencia que

$$\text{Diafonía [dB]} = 10 \cdot \log \left( \frac{P_{\text{diafonía}}}{P_{\text{señal}}} \right) \quad (2.6)$$

un canal aporta al canal adyacente es más o menos un 0.2% de su potencia.

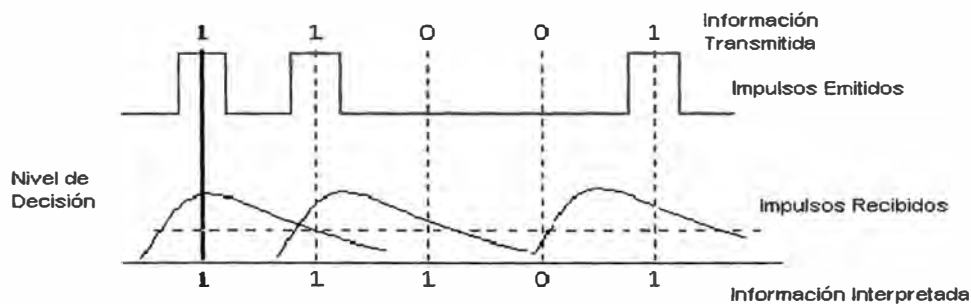


**Fig. 2.6** Distribución de potencia entre dos canales adyacentes.

## 2.4 Dispersión

Los pulsos de luz de una señal óptica experimentan un incremento en su ensanchamiento y distorsión, cuando éstos viajan a través de la fibra óptica (ver Figura 2.7). Esto, puede producir una superposición de las colas de los pulsos con el comienzo de los otros, dando como resultado un incremento de errores de detección en el receptor óptico.

Dos tipos generales de dispersión afectan a sistemas DWDM. Uno de estos efectos, Dispersión Cromática, es lineal mientras que el otro, Dispersión por Modo de Polarización (PMD) es no lineal.



**Fig. 2.7** Distorsión de una señal en un enlace óptico.

### 2.4.1 Dispersión Cromática

La dispersión cromática ocurre porque diferentes longitudes de onda son propagadas a diferentes velocidades. El efecto de la dispersión cromática incrementa al cuadrado la velocidad de bits (Bit Rate). En fibras monomodo, la dispersión cromática tiene dos contribuciones, dispersión del material y dispersión de guía de onda.

La dispersión del material ocurre cuando longitudes de onda viajan a diferentes velocidades a través del material. Una fuente de luz, no importa cuán estrecha, emite varias longitudes de onda dentro de su rango. De esta manera, cuando este rango viaja a través del medio, cada longitud de onda individual llega en tiempo distinto.

La segunda contribución de dispersión cromática, la dispersión de guía de onda, ocurre debido a los distintos índices de refracción, del núcleo y del revestimiento, de la fibra. El índice de refracción efectivo varía con la longitud de onda de la siguiente manera:

A longitudes de onda pequeñas, la luz es bien confinada dentro del núcleo. Así, el índice de refracción efectivo es determinado por el índice de refracción del núcleo del material.

A longitudes de onda medianas, la luz se propaga levemente dentro del revestimiento. Esto disminuye el índice de refracción efectivo.

A longitudes de ondas largas, gran cantidad de luz es propagada dentro del revestimiento. Esto produce un índice de refracción efectivo muy junto con el del revestimiento.

Este resultado del fenómeno de dispersión en guía de ondas, es un retraso en la propagación de una o más longitudes de onda en relación con las otras.

La dispersión cromática total, junto con estos componentes, es mostrada en la figura 2.8, para fibra con dispersión desplazada. Para fibra sin dispersión desplazada, la longitud de onda con dispersión cero se da a 1310nm.

Sin embargo, la dispersión cromática generalmente no es suministrada a velocidades bajo 2.5Gbps, ésta aumenta con el incremento de la velocidad de bits, debido al ancho espectral requerido. Nuevos tipos de fibra con cero de dispersión desplazada en gran medida disminuyen estos efectos. Este fenómeno, también puede ser disminuido con compensadores de dispersión.

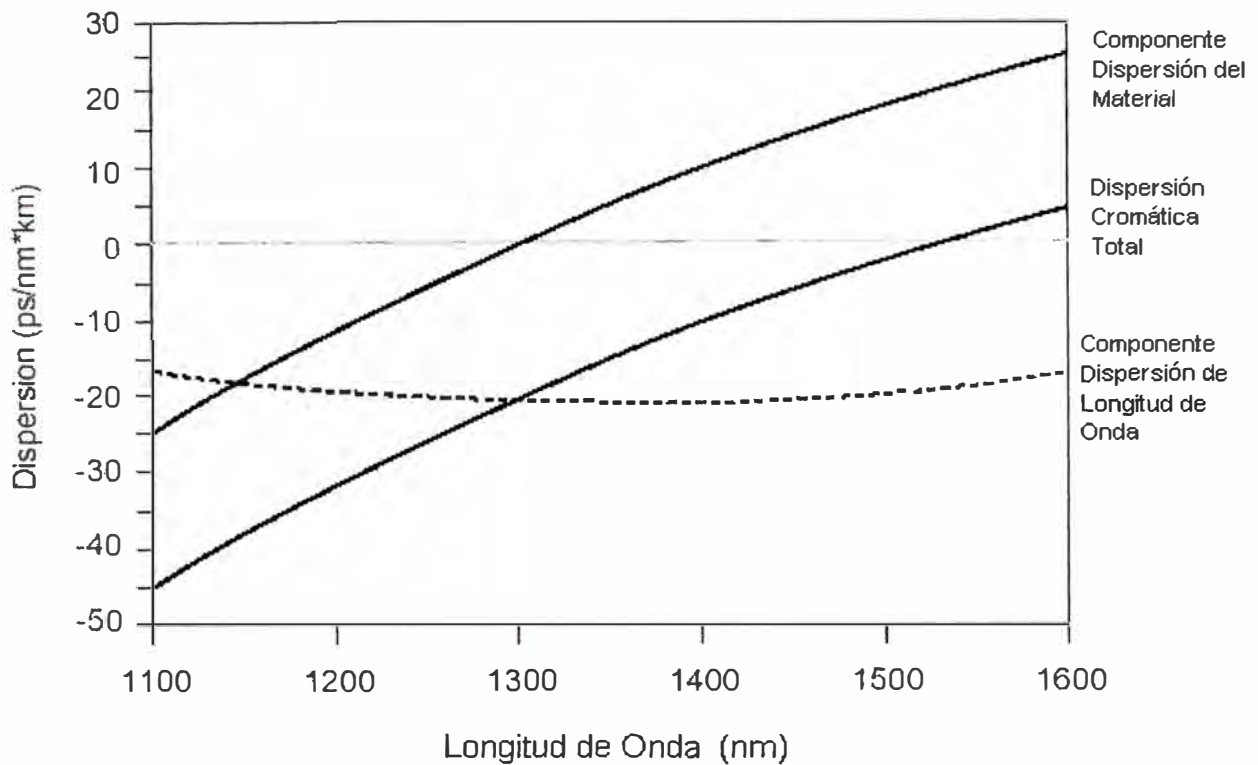
#### **2.4.2 Dispersión por Modo de Polarización (PMD)**

Una fibra monomodo posee dos modos de propagación en lo que respecta a la polarización. La diferencia en el tiempo de propagación entre estos dos modos es el retardo del grupo diferencial (DGD). La PMD es el valor medio del DGD en función de la longitud de onda.

La PMD no es intrínseca ( varía con el tiempo y la temperatura) y exige predicciones estadísticas. La PMD es causada por irregularidades de birefringencia o de la geometría de la fibra, la forma elíptica del núcleo, la asimetría del eje del núcleo, y depende de los esfuerzos mecánicos , curvaturas y tensiones sobre la fibra.

La PMD se debe medir para calificar las fibras y determinar si son o no adecuadas para la transmisión a tasas muy elevadas(10Gbps), ya que la PMD causa una reducción de la señal /ruido óptica OSNR y diafonía.

La dispersión por Modo de Polarización es otro efecto que limita la distancia a la que un pulso luminoso puede viajar sin degradación.



**Fig. 2.8** Dispersión Cromática.

La mayoría de fibras mono-modo soportan dos modos de polarización perpendiculares: uno vertical y otro horizontal. Puesto que estos estados de polarización no están mantenidos, ocurre una interacción entre los pulsos, que resultan en un ensanchamiento de la señal.

La dispersión por modo de polarización (PMD) es causada por la ovalidad (no circularidad) de la forma de la fibra como resultado del proceso de manufacturación o desde agentes externos. Puesto que la tensión puede cambiar a través del tiempo, la PMD, distinta a la dispersión cromática, está sujeta a cambios con el transcurso del tiempo. La PMD, generalmente, no es un problema a velocidades bajo 10Gbps.

## 2.5 FWM (Mezcla de Cuatro Ondas / Four-Wave Mixing)

Además de la PMD, hay otros efectos no lineales. Puesto que los efectos no lineales tienden a manifestarse ellos mismos cuando la potencia óptica es muy alta, éstos llegan a ser importantes en DWDM.

Los efectos lineales, tales como la atenuación y la dispersión cromática, pueden ser compensados, pero los efectos no lineales se acumulan. Hay mecanismos de limitación fundamentales para la cantidad de información que puede ser transmitida en fibra óptica. Los tipos más importantes de efectos no lineales son: el esparcimiento Brillouin estimulado y el esparcimiento Raman estimulado, modulación de fase propia, y mezcla

de cuatro ondas. En sistemas DWDM, mezcla de cuatro ondas es el efecto más crítico de estos tipos.

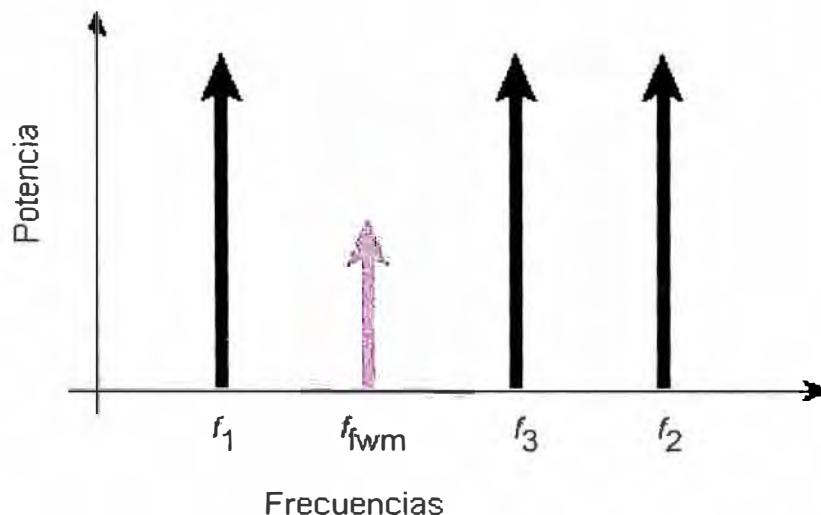
La mezcla de cuatro ondas es causada por la naturaleza no lineal del índice de refracción en la fibra óptica. Interacciones no lineales entre diferentes canales DWDM crean Bandas Laterales (componentes de frecuencia fuera de la banda natural), que pueden causar Interferencia Intercanal. En la figura 2.9, tres frecuencias interactúan para producir una cuarta frecuencia, dando como resultado una degradación en la diafonía y la relación Señal a Ruido.

El efecto de mezcla de cuatro ondas es limitar la capacidad de canales en un sistema DWDM. El efecto mezcla de cuatro ondas no puede ser filtrado, óptica o eléctricamente, y aumenta con la distancia de la fibra. Debido a esta tendencia para mezcla de cuatro ondas, la DSF (fibra de dispersión desplazada) es inadecuada para aplicaciones WDM. Así, se impulsó la invención de NZ-DSF (No Cero DSF), la cual tiene la ventaja de que una pequeña cantidad de dispersión cromática puede ser usada para disminuir el efecto de mezcla de cuatro ondas.

## 2.6 La Cifra o Figura de Ruido

Es un valor de mérito que señala cuanto un componente, etapa o conjunto de etapas, degrada la relación señal a ruido de un sistema. La cifra de ruido es por definición:

$$NF = (S/N)_i / (S/N)_o \quad (2.7)$$



**Fig. 2.9** Mezcla de Cuatro Ondas

Donde:  $(S/N)_i$  = Relación de potencias de señal a ruido de entrada (no en dB).

$(S/N)_o$  = Relación de potencias de señal a ruido de salida (no en dB)

## 2.7 Componentes de una Red de Fibra Óptica

Para poder implementar una red de fibra óptica es necesaria la utilización de algunos componentes que permitan interconectar los distintos nodos pertenecientes a estas redes, tales como: coplas, multiplexores, demultiplexores, transmisores, detectores, entre otros.

Estos componentes se clasifican en dos categorías: Componentes Ópticos Activos y Componentes Ópticos Pasivos. Los componentes ópticos activos, son aquellos en que la conversión óptico-eléctrica ocurre cuando el componente está trabajando. En cambio, en los componentes ópticos pasivos, la conversión óptico-eléctrica no ocurre cuando el componente está trabajando.

A continuación, se presenta una breve descripción de estos elementos de redes de fibra óptica.

### **2.7.1 Componentes Ópticos Activos**

“La conversión entre luz y electricidad ocurre cuando el componente esta trabajando” .A continuación, se presenta una lista de estos componentes.

#### **a) Transmisores**

La función de estos componentes es efectuar una conversión de señal eléctrica en señal óptica. En los sistemas WDM, se utilizan arreglos de varios transmisores ópticos, para transmitir varias longitudes de onda a la vez.

Existen dos dispositivos para transmitir de manera óptica, estos son: los Diodos Láser y los LEDs (Diodos Emisores de Luz / Light-Emitting Diodes).

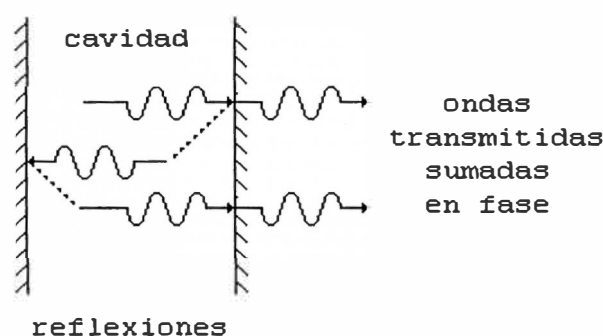
Un láser es esencialmente un amplificador óptico encerrado en una cavidad reflexiva que causa una oscilación vía retroalimentación positiva. Los láseres son más ampliamente utilizados en fuentes ópticas. La función de estos dispositivos es convertir la energía de una entrada eléctrica en energía de salida óptica. Éstos son capaces de lograr altas potencias de salida, típicamente entre 0 y 10dBm.

El principio de operación de un láser se muestra en la figura 2.10. Aquí, se utiliza el mismo funcionamiento que en un filtro Fabry-Perot: se ubica una cavidad (o medio de ganancia) dentro de dos placas paralelas. El resultado de ubicar este medio de ganancia en una cavidad Fabry-Perot, es obtener una alta ganancia sólo para la longitud de onda resonante dentro de la cavidad. Luego del primer paso de luz a través de la cavidad, parte de la onda atraviesa la placa derecha (ver Figura 2.10) y parte se refleja, la onda reflejada se refleja nuevamente en la placa izquierda (ver Figura 2.10) hacia la placa derecha, y así sucesivamente. Para la longitud de onda resonante dentro de la cavidad, las ondas transmitidas por la placa derecha son sumadas en fase. Como resultado de esta suma en fase, la amplitud de la onda transmitida se ve altamente incrementada para



la longitud de onda resonante, en comparación con las otras. Este proceso logra una señal óptica de salida coherente.

Para obtener un láser de una determinada longitud de onda, se deben cumplir dos condiciones: primero, la longitud de onda debe estar dentro del ancho de banda de la cavidad (para un láser hecho con fibra dopada con Erblio, la longitud de onda debe estar en el rango de (1525nm a 1570nm), y segundo, el largo de la cavidad debe ser un múltiplo entero o de la mitad de la longitud de onda. Para un láser dado, todas las longitudes de onda que satisfacen la segunda condición son denominadas como modos longitudinales del láser. Para obtener un láser de una sola longitud de onda se pueden utilizar filtros ópticos.



**Fig. 2.10** Principio de operación de un láser.

En la actualidad existen láseres de longitudes de onda fijas y láseres sintonizables, donde se puede determinar una longitud de onda dentro de un rango de ellas.

Una alternativa para transmitir de manera óptica es el uso de LEDs. Estos dispositivos son ampliamente utilizados en redes de tasas de transmisión bajas y de corta distancia. Un LED es una juntura p-n de parte delantera inclinada, en la cual los portadores minoritarios inyectados (electrones en la región p y huecos en la región n) por Emisión Espontánea producen luz.

Estos dispositivos no producen una alta potencia de salida como los láseres. Una potencia de salida típica de éstos es del orden de los  $-20\text{dBm}$ . Estos dispositivos no pueden ser modulados directamente y la tasa de transmisión más alta alcanza unos pocos cientos de Mbps.

En los láseres, las pérdidas son compensadas por la amplificación coherente de la luz en el interior del resonador óptico a través de Emisión Estimulada. Para producir este efecto, el diodo debe ser polarizado a una corriente mínima (corriente umbral), la cual posee suficiente potencia óptica para compensar las pérdidas introducidas por el resonador. La operación por debajo de ésta corriente umbral provoca que el diodo emita luz incoherente (caso de los LEDs).

## **b) Detectores**

La función de estos componentes es efectuar una conversión de señal óptica en señal eléctrica. Al igual que los transmisores, estos componentes pueden ser dispositivos sintonizables dentro de un rango de  $\lambda$  o de longitudes de onda fijas.

Para detectar la señal óptica, existen varios dispositivos que utilizan diferentes métodos. En el método de detección coherente, la señal que llega al receptor óptico se suma a la de un oscilador local, antes de la foto detección. Si la señal del oscilador local es ligeramente diferente a la señal entrante, entonces la corriente resultante en la salida del foto detector, es centrada en alguna frecuencia pasa-banda, denominada frecuencia intermedia. Una ventaja clave de este tipo de detección es la sensibilidad, entendiéndose por tal, al nivel mínimo de señal a la cual el receptor detecta una señal aceptable. Otra ventaja de este tipo de detección, es la selectividad, que corresponde a la habilidad del receptor de detectar un determinado rango de frecuencias, al mismo tiempo que rechaza las otras.

El otro tipo de detección, es el método directo. En éste, las decisiones de recepción se pueden basar puramente en la energía que es recibida durante el período del pulso (bit), ignorando toda la información de fase y frecuencia. El criterio de detección es el mismo para señales análogas y digitales. La única diferencia es el orden cuantitativo. En el primer caso, se requiere de una relación señal a ruido más elevada que para señales digitales. Este tipo de detección tiene menor sensibilidad que la anterior.

## **c) Amplificadores ópticos**

En sistemas de comunicaciones ópticas, la onda transmitida es atenuada a medida que ésta se propaga por la fibra. Este fenómeno produce que en ciertas distancias de los enlaces ópticos la señal no sea bien detectada por el receptor, lo cual limita la longitud de un trayecto, donde la señal debe ser restaurada. Para restaurar la señal existen los llamados regeneradores, los cuales reciben la señal óptica, la convierten en señal eléctrica, la restauran y la vuelven a convertir en señal óptica, para retransmitirla en la misma dirección.

Los amplificadores ópticos ofrecen varias ventajas, en comparación con los regeneradores: los regeneradores tienen una velocidad de pulso (Bit Rate) y formato de señal específico, en cambio, los amplificadores ópticos son insensibles a la velocidad de pulso y formato de la señal. Los amplificadores ópticos poseen un amplio ancho de banda, lo que permite que un sólo amplificador pueda simultáneamente amplificar varias

señales WDM, por el contrario, se necesitaría un regenerador para cada longitud de onda.

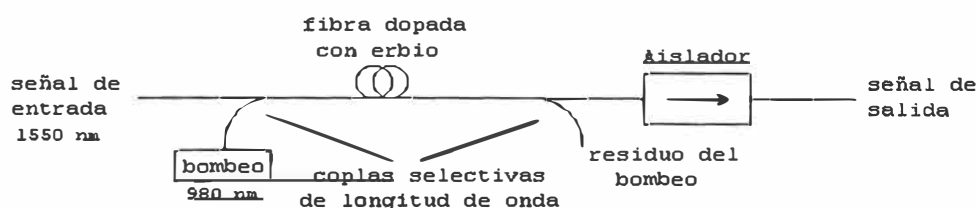
El principio de operación de estos amplificadores se basa en el fenómeno de Emisión Estimulada. Este proceso se repite muchas veces a lo largo de la fibra dopada, lo que se traduce en una alta ganancia óptica. Pero este proceso va acompañado del proceso de Emisión Espontánea, ya que ciertos iones caen sin ser solicitados, lo que puede producir un cierto aporte de ruido ASE (Emisión Espontánea Amplificada / Amplified Spontaneous Emisión) de los amplificadores al sistema. Una forma de minimizar esta inclusión de ruido ASE es el uso de filtros pasa-bajos a la salida del amplificador.

Existen varios tipos de estos componentes, por ser: EDFA (Amplificador de Fibra Dopado con Erblio / Erbium-Doped Fiber Amplifier), PrEDFA (Amplificador de Fibra Dopado con Praseodimio / Praseodymium-Doped Fiber Amplifier), MdDFA (Amplificador de Fibra Dopado con Neodimio / Neodymium-Doped Fiber Amplifier), SOA (Amplificador Óptico de Semiconductor / Semiconductor Optical Amplifier), entre otros.

Los amplificadores más atractivos son los EDFAs (Figura 2.11), debido a que trabajan en la región de la tercera ventana del espectro óptico, específicamente en el rango de longitudes de onda de 1525nm a 1570nm (ancho de banda: 50nm, con un pico en 1532nm), donde la fibra posee la menor atenuación (0.275dB/km aproximadamente).

En la figura 2.11, se observa como está compuesto un EDFA. Este consiste de un largo de fibra dopada con Erblio. Esta fibra dopada es bombeada por un láser, típicamente a longitudes de onda de 980nm. Una copla combina la señal de bombeo con la señal de entrada. Luego, otra copla separa la señal amplificada del residuo del bombeo. Usualmente, un aislador es usado en la entrada y/o en la salida de un amplificador, para prevenir reflexiones dentro de éste.

Entre las cualidades de este amplificador (EDFA), se cuentan: Amplificación directa de la luz, Alta potencia de salida, Bajo ruido, Amplio ancho de banda (~THz), Alta ganancia (~30dB), Conexión con bajas pérdidas, Pequeñas no linealidades y no introduce Diafonía cuando amplifica señales WDM.



**Fig. 2.11.** Esquema de un EDFA.

#### d) Convertidores de longitudes de onda

Un convertidor de longitud de onda es un dispositivo que transforma información proveniente de una longitud de onda de entrada en otra longitud de onda de salida.

Los convertidores de longitud de onda son utilizados en redes WDM por tres razones. Primero, la información puede entrar a la red a una longitud de onda que no es aplicable para usar dentro de la red. Segundo, los convertidores de longitud de onda pueden ser requeridos dentro de la red para mejorar la utilización de longitudes de onda disponibles en la conexión de red. Finalmente, la tercera razón, es que estos dispositivos pueden ser requeridos para no confundir los límites entre diferentes redes, si estas redes son administradas por diferentes entidades, y estas entidades no coordinan la distribución de longitudes de onda en estas redes.

Los convertidores de longitud de onda pueden clasificarse basados en el rango de longitudes de onda que gestionan en las entradas y salidas. Un dispositivo de entrada-fija/salida-fija siempre toma una longitud de onda fija en la entrada y la transforma en una longitud de onda fija en la salida. Un dispositivo de entrada-variable/salida-fija, recibe un rango de longitudes de onda en la entrada, pero siempre transforma la señal de entrada en una longitud de onda fija a la salida. Un dispositivo de entrada-fija/salida-variable efectúa la función inversa. Finalmente, un dispositivo de entrada-variable/salida-variable puede transformar cualquier longitud de onda de la entrada en cualquier longitud de onda de salida, siempre dentro del rango de operación.

Para lograr conversión de longitud de onda existen tres vías fundamentales: Método opto-electrónico, Gating óptico, y, Mezcla de onda.

El método opto-electrónico es, quizás, el más simple, obvio y práctico utilizado hoy en día para la conversión de longitudes de onda. Como se muestra en la figura 2.12, la señal de entrada es convertida primeramente en formato electrónico, regenerada, y retransmitida, utilizando un láser de una longitud de onda diferente. Este es frecuentemente un convertidor de entrada-variable/salida-fija. Una salida variable puede ser obtenida con el uso de láser sintonizable. El desempeño y transparencia de estos convertidores depende del tipo de regeneración usada.



**Fig. 2.12** Conversión Opto-Electrónica.

El gating óptico hace uso de dispositivos cuyas características cambian con la intensidad de la señal de entrada. Estos cambios pueden ser transmitidos a otra señal de prueba no modulada a una diferente longitud de onda trabajando a través del dispositivo. En la salida, la señal de prueba contiene información de la señal de entrada. Tal como en el método anterior, éstos pueden ser dispositivos de salida fija o variable, dependiendo si la señal de prueba es fija o sintonizable. Existen dos tipos de conversión basadas en este principio: Modulación por Cruce de Ganancia (CGM), y, Modulación por Cruce de Fase (CPM). Ambos utilizan efectos no lineales de los amplificadores a semiconductores (SOAs). Ambos métodos trabajan sobre un amplio rango de la señal y longitud de onda de prueba, siempre y cuando, se encuentre dentro del ancho de banda del amplificador, el cual es alrededor de 100nm.

El fenómeno de mezcla de cuatro ondas que ocurre debido a las no linealidades del medio de transmisión puede también, ser utilizado para realizar conversión de longitudes de onda. La principal ventaja de este método es que es verdaderamente transparente, porque los efectos no dependen del formato de modulación, ni de la tasa de Bit (velocidad). Las desventajas son que otras ondas pueden filtrarse en la salida del SOA y la eficiencia de la conversión baja significativamente como la separación de longitud de onda entre la señal de prueba y la señal en cuestión.

### **e) Moduladores ópticos**

En sistemas de transmisión óptica, así como en sistemas convencionales, la información a ser transmitida debe modularse. En el caso de una transmisión óptica, la portadora luminosa debe modularse de manera análoga o digital: en el caso analógico, la portadora luminosa varía continuamente de intensidad; no así en el caso digital, donde este haz luminoso sufre variaciones discretas, en forma de pulsos luminosos del tipo on-off Keying (OOK).

Los sistemas de transmisión ópticos de tipo digital, tienen la necesidad de incluir el uso de un codificador, el que codifica la señal proveniente de la fuente de información de la manera más conveniente para la transmisión óptica. Esta complejidad en sistemas de transmisión digital, es compensada por su gran desempeño en términos de la capacidad de información del enlace. También, los sistemas de recepción digitales, incluyen un decodificador óptico, el que se encarga de decodificar la información digital original.

Dentro de un sistema de modulación, se pueden distinguir distintas formas de modular la señal que será enviada por la fuente óptica, por ejemplo, la modulación "on-off Keying" (OOK), por desplazamiento de frecuencias (FSK) y por desplazamiento de amplitud (ASK).

En las fuentes ópticas láseres las pérdidas son compensadas por la amplificación coherente de la luz en el interior del resonador óptico a través de Emisión Estimulada. Para producir este efecto, el diodo debe ser polarizado a una corriente mínima (corriente umbral), la cual posee suficiente potencia óptica para compensar las pérdidas introducidas por el resonador. La operación por debajo de ésta corriente umbral provoca que el diodo emita luz incoherente (caso de los LEDs).

La frecuencia del diodo experimenta una variación indeseada (fenómeno llamado "Chirping"), que esta asociada a la modulación de éste, por la variación de la corriente inyectada. Ella es causada por la dependencia del índice de refracción del material semiconductor. El aumento de la corriente inyectada hace crecer la densidad de portadores, que hace caer el índice de refracción, y por lo tanto, la longitud de onda emitida.

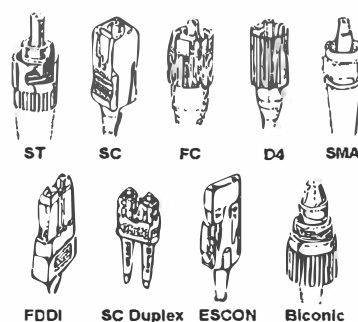
### 2.7.2 Componentes Ópticos Pasivos

"La conversión entre luz y electricidad no ocurre cuando el componente esta trabajando". El principio de operación de los componentes ópticos pasivos se basa en la teoría de la óptica geométrica y ondas ópticas. A continuación se presenta una lista de estos componentes.

#### a) Conectores

Los conectores tienen por objetivo unir dos fibras o unir la fibra a algún equipo de medición de manera que pueda ser desmontable.

En estos momentos existen alrededor de 70 tipos de conectores en uso. Los conectores están fabricados de abrazaderas de metal, vidrio, plástico y cerámica con el fin de buscar la mayor precisión en las conexiones, sin embargo parece ser que los conectores de cerámica son la opción más usada. Un nuevo tipo de plástico que es un polímero de cristal líquido promete ser la mejor opción para las futuras abrazaderas de los conectores. A continuación podemos ver algunos de los conectores más comunes.



**Fig. 2.13** Tipos de conectores.

## b) Empalmes

El objetivo de los empalmes es unir dos fibras por mucho tiempo. Existen dos tipos de empalmes, empalmes por fusión y empalmes mecánicos.

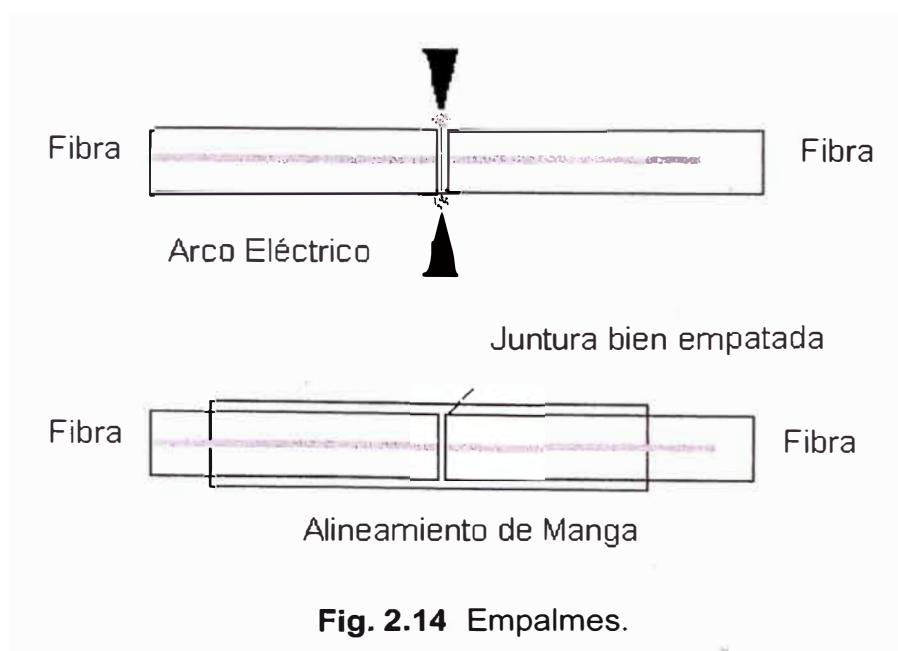
Los empalmes por fusión se hacen soldando las fibras a través de un arco eléctrico. Tiene la ventaja de ofrecer bajas pérdidas, ser bastante fuertes, baja reflexión y confiabilidad a largo plazo. Por su parte los empalmes mecánicos utilizan un gel para juntar las fibras de manera de minimizar las reflexiones. En algunos casos utilizan abrazaderas metálicas.

Las características de baja reflexión y alta pérdida de retorno se deben en gran medida a como ha sido cortada la fibra en cada extremo. Para esto se utiliza un cuchillo con un filo especial de manera de crear una grieta en la fibra que se extienda perpendicularmente. En el caso de la fusión solo cuando los extremos están debidamente cortados se procede a la fusión. Para el empalme mecánico se utiliza además un manto de juntura el cual debe alinear adecuadamente ambas fibras.

## c) Coplas Bidireccionales

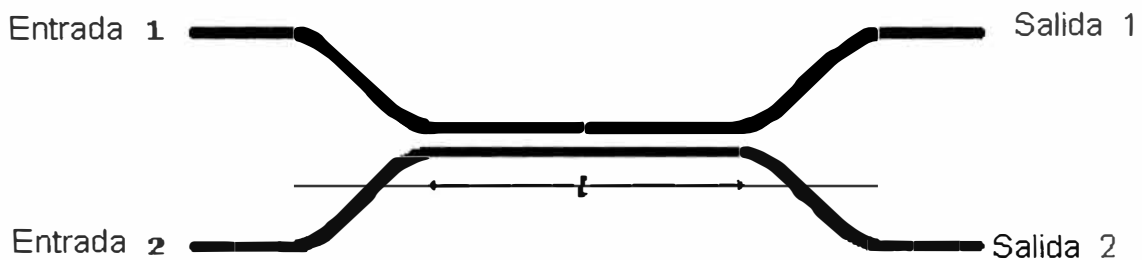
Las coplas bidireccionales, son usadas para mezclar o dividir las señales ópticas que viajan por la red. Son dispositivos  $n \times n$ , es decir,  $n$  entradas y  $n$  salidas.

Para poder explicar como funcionan estos dispositivos se hará referencia a la figura 2.15, Para poder explicar como funcionan estos dispositivos se hará referencia a la figura 2.15, la cual presenta una copla de  $2 \times 2$ : 2 entradas y 2 salidas.



**Fig. 2.14** Empalmes.

El principio de operación de este dispositivo es el siguiente: la copla toma una fracción de la potencia " $\alpha$ " de la entrada 1 y la envía a la salida 1, el resto de la potencia es enviada a la salida 2. De igual manera se comporta con la potencia que llega a la entrada 2. En una copla de  $n \times n$ , la potencia de cada entrada es dividida en un factor igual en todas las salidas. Las coplas denominadas "Taps" se caracterizan por poseer un valor de  $\alpha < 1$ , típicamente toman un valor de 0.9 ó 0.95. Las coplas son los principales componentes para la construcción de otros elementos de redes ópticas, como: conmutadores, filtros, multiplexores, etc.



**Fig. 2.15** Copla bidireccional 2x2

#### **d) Filtros ópticos**

Estos dispositivos cumplen la función de seleccionar una longitud de onda, dentro de una banda. Son los componentes esenciales en la fabricación de OADMs (Multiplexores Ópticos de Inserción/Extracción - Optical Add/Drop Multiplexers), en sistemas WDM. Además, proveen ecualización y filtraje de ruido en amplificadores ópticos.

Estos dispositivos tienen una serie de características para el filtraje:

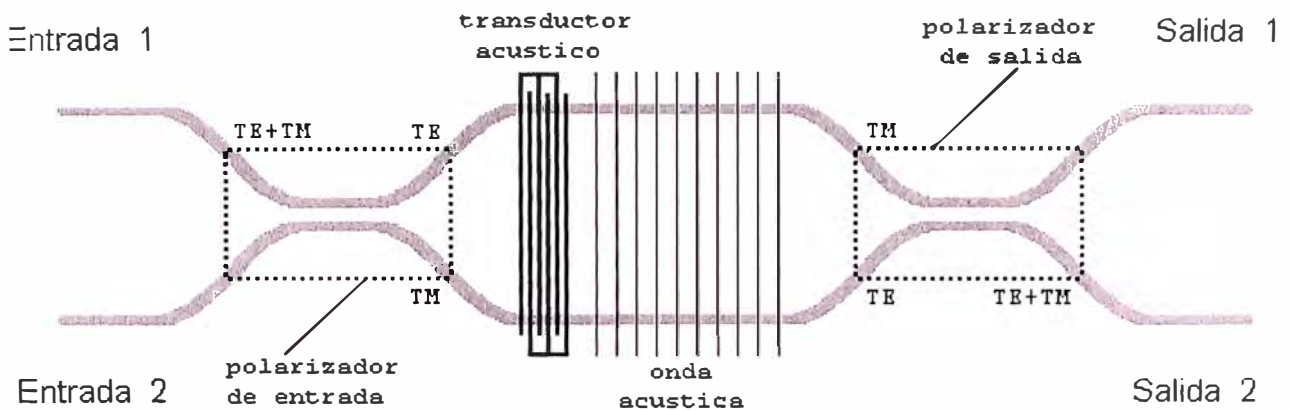
1. Baja inserción de pérdidas.
2. Pérdida independiente del estado de polarización de la señal de entrada. Si el filtro tiene una polarización dependiente de pérdidas, la potencia de salida sería variable en el tiempo, lo que es indeseable.
3. Banda de paso insensible a variaciones de temperatura ambiente. El coeficiente de temperatura se mide por la variación de longitudes de onda por unidad de cambio de temperatura.
4. Una conexión de filtros en cascada estrecha progresivamente la banda de paso.
5. La forma plana de un filtro reduce la cantidad de energía que pasa entre canales adyacentes (Diafonía).

Existe una variedad de filtros ópticos, entre los más utilizados se encuentran:

**Filtro Acústico-Óptico:** Estos filtros utilizan como principio de funcionamiento la interferencia producto de la interacción de ondas acústicas y ondas ópticas en un sólido.



Las ondas acústicas producen un grado de difracción artificial con la cual interactúa la onda óptica. Esto se puede observar en la figura 2.16.

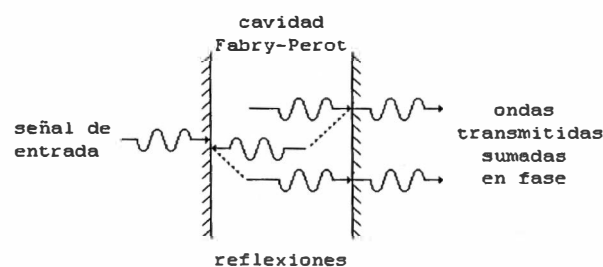


**Fig. 2.16** Filtro Acústico-Óptico.

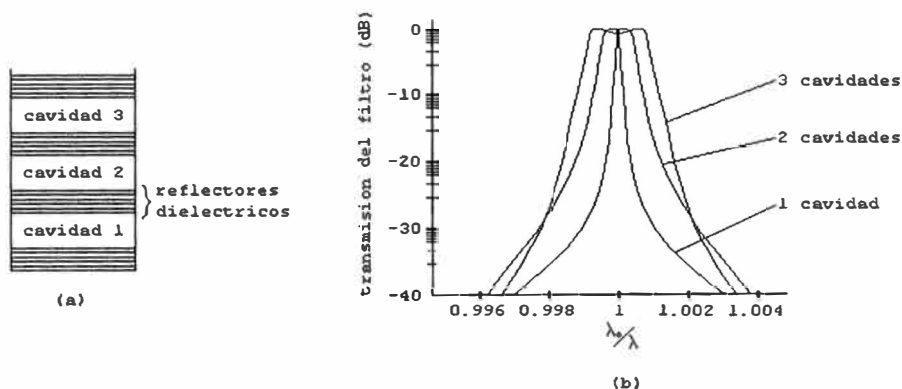
Filtro Thin-Film: También llamado de multicapas dieléctricas. Un filtro de estos con sólo una cavidad, actúa como un filtro pasa-banda, dejando pasar una sola longitud de onda. Al aumentar el número de cavidades (filtros en cascada), pasan más longitudes de onda. Esto se puede observar en la figura 2.18.

Filtro Fabry-Perot: También llamados Interferómetros de Fabry-Perot. Estos filtros tienen su base de funcionamiento en el fenómeno de interferencia de ondas. Esto puede ser visto en la figura 2.17. La luz incidente en el dispositivo es alineada atravesando la primera placa (placa izquierda, Figura 2.17), siendo reflejada por la segunda placa (placa derecha), esta señal reflejada atraviesa la cavidad en sentido contrario y es reflejada por la otra capa atravesando nuevamente la cavidad, así el rayo luminoso, al entrar a la cavidad sufre múltiples reflexiones. (2), (3)

Existen más tipos de filtros ópticos, pero todos cumplen la misma función: seleccionar una longitud de onda dentro de múltiples longitudes de onda.



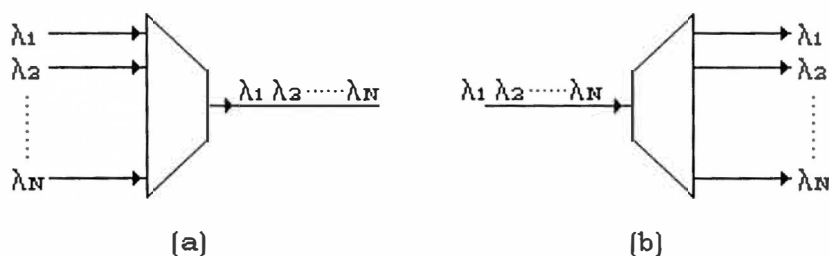
**Fig. 2.17** Filtro Fabry-Perot.



**Fig. 2.18** Filtro Capa Delgada (Thin-Film).

### e) MUX/DEMUX ópticos

La función de un MUX (Figura 2.19(a)) es combinar varias longitudes de onda en una misma fibra. El DEMUX (Figura 2.19(b)) cumple la función inversa. Estos son dispositivos esenciales en la fabricación de OADMs (Optical Add/Drop Multiplexers).



**Fig. 2.19.** (a) MUX - (b) DEMUX.

Los OADMs cumplen la función de seleccionar longitudes de onda para ser subidas o bajadas (Add/Drop), sin conversión óptico-eléctrica.

Se extrae una longitud de onda, desde múltiples longitudes de onda y se inserta la misma longitud de onda con nueva información, mientras la transmisión de las longitudes de onda restantes no es influida por este proceso.

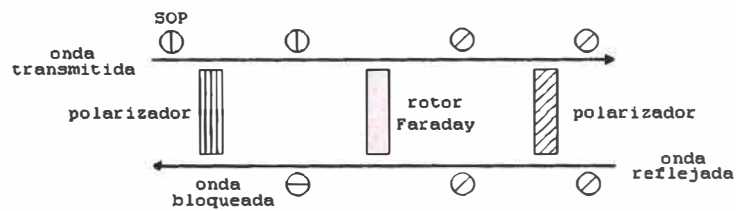
Los OADMs (Optical Add/Drop Multiplexers) son componentes esenciales en la implementación de redes WDM.

Estos componentes pueden ser configurables o no-configurables. Los no-configurables son aquellos en que la longitud de onda insertada/extraída es fija, por el contrario, en los OADMs configurables se puede seleccionar la longitud de onda que se va a procesar.

### f) Aisladores y Circuladores

Estos dispositivos se caracterizan por ser unidireccionales, es decir, permiten la transmisión en una sola dirección.

Para explicar el principio de operación de un aislador, se hará referencia a la figura 2.20, donde se presenta un esquema del principio de operación de un aislador.

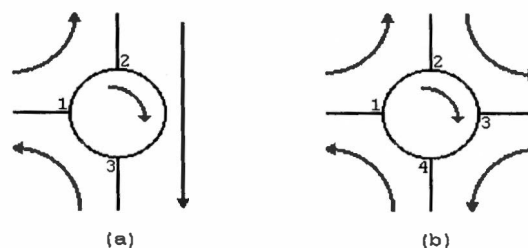


**Fig. 2.20** Principio de operación de un Aislador.

La figura 2.20 muestra que la señal de entrada (onda transmitida) tiene, por ejemplo, un estado de polarización (SOP) vertical, la cual pasa por un primer polarizador que deja pasar sólo la componente vertical, el rotor de Faraday cumple la función de rotar esta componente en  $45^\circ$  en sentido de las manecillas del reloj, llegando a un segundo polarizador que deja pasar justamente esta señal rotada en  $45^\circ$ . En este punto, se produce una señal reflejada (onda reflejada), que es rotada nuevamente en  $45^\circ$  por el rotor de Faraday, obteniéndose así una señal de componente horizontal, la cual es bloqueada por el primer polarizador.

Estos componentes se ubican delante de amplificadores y láseres, para prevenir el ingreso de señales reflejadas a estos dispositivos.

Los circuladores operan de la misma manera que los aisladores, pero pueden tener más de una salida. En la figura 2.21 se muestran unos esquemas de éstos. Estos componentes son útiles para la fabricación de dispositivos de inserción/extracción (add/drop): OADMs.



**Fig. 2.21.** Circuladores: (a) tres puertos, (b) cuatro puertos.

## CAPÍTULO III

### DIFERENTES CONFIGURACIONES DE REDES DWDM

#### 3.1 Características de los equipos

Los equipos DWDM soportan una variedad de modos de redes, incluyendo las de punto a punto, enlace (en cadena) y anillo.

Con cada uno de sus nodos capaz modificar su longitud de onda como se muestra:

- Fácil capacidad de expansión
- Flexible acceso al servicio
- Utilidad de un gran ancho de banda

Alta confiabilidad

#### 3.1.1 Capacidad de Acceso a Servicios

Los equipos DWDM son muy convenientes para dar acceso a múltiples servicios. Puede dar servicio desde velocidades de 34Mbit/s hasta 10Gbit/s, incluyendo:

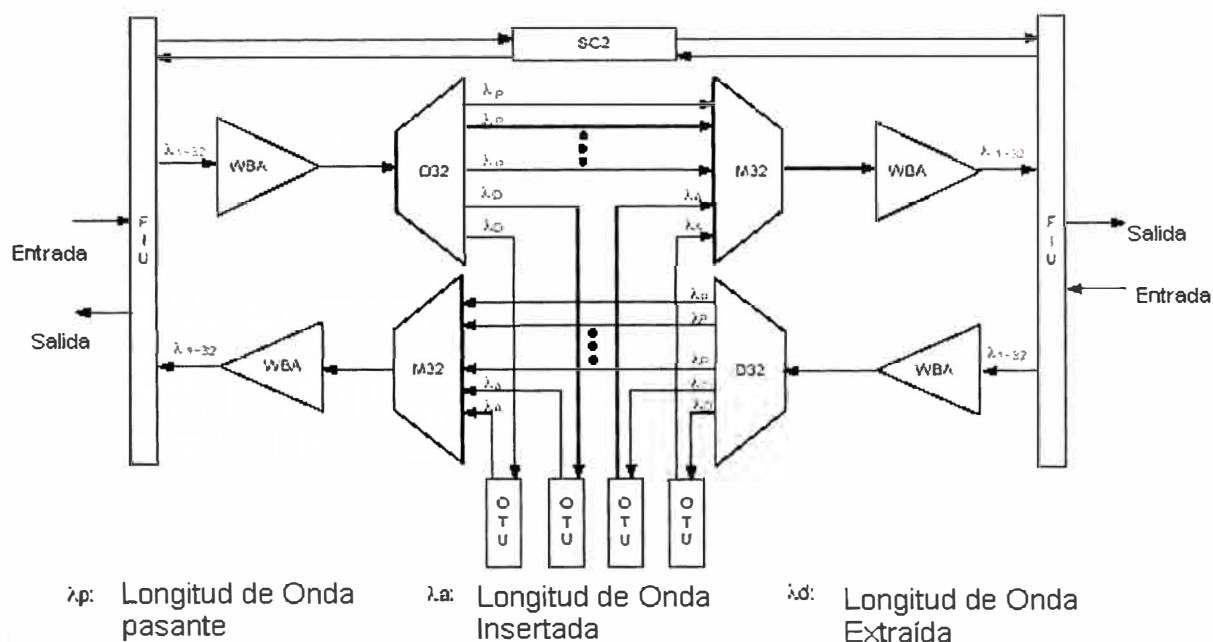
- SDH: Que cumple con la ITU-T G.691 y ITU-T G.957 para velocidades STM-64/STM-16/STM-4/STM-1
- POS/ATM: SDH concatenado tal como VC-4-4C/VC-4-16c/VC-4-64c
- Redes ópticas sincronas (SONET) y concatenadas SONET: OC-3/OC-12/OC-48/OC-192, STS-3c/STS-12c/STS-48c/STS-192c
- Servicio Ethernet: Fas Ethernet (FE), Gigabit Ethernet (GE), 10GE
- Conexión de Sistema Enterprise (ESCON): cumple con ANSI X3.296, ANSI X3.230, servicios de comunicación de 200Mbit/s

Conexión de Fibra (FICON), Canal de Fibra (FC), Interfase de Data de Fibra Distribuida (FDDI), PDH y servicio de Radiodifusión de video digital-con interfase serie asíncrona (DVB-ASI)

#### 3.1.2 Actualización y Expansión

Los equipos tienen terminales multiplexores ópticos de inserción-extracción (OADM),

cuya capacidad de expansión es flexible hasta 32 canales pueden extraerse o insertarse; y esta expansión no causará interrupción del servicio existente.



**Fig. 3.1** Esquema de un OADM

### 3.1.3 Canal de Supervisión y Canal de Reloj

El canal de supervisión del equipo DWDM es un canal de supervisión óptico (OSC) El cual demanda ser configurado a través de las unidades supervisoras del canal (SC1/SC2/TC1/TC2) que operan a 1510nm. Las tarjetas SC1/SC2 proveen información de supervisión a 2Mbit/s. Las tarjetas TC1/TC2 proveen 8Mbit/s de información de supervisión incluyendo tres líneas de señales de reloj PDH no protegidas.

### 3.1.4 Transmisión Bi-direccional por una sola fibra

Para sistema CWDM soporta transmisión bi-direccional en una fibra simple. Esto es, la señal bi-direccional (transmisión y recepción) son transportados en la misma fibra.

### 3.1.5 Tecnología EDFA

Los Sistemas DWDM usan maduros amplificadores de fibra dopados con Erblio (EDFA) tecnología usada en transmisiones de larga distancia sin el uso de regeneradores. EDFAs adoptan tecnología de enganche de ganancia y tecnología de control de transitorios para hacer que la ganancia de cada canal independiente del número de canales. El adiconado o extracción de canales no traerán ráfagas de bit errados dentro

de los canales existentes.

### **3.1.6 Función de Supresión de Jitter**

Con una unidad supresora de jitter entre el módulo receptor óptico y el módulo transmisor óptico, el equipo DWDM tiene una excelente función supresora de jitter.

### **3.1.7 Función IPA**

El equipo para Sistema DWDM provee la función de ajuste de potencia inteligente (IPA) El IPA protege al cuerpo humano de la exposición al láser, el cual es emitido de una interfase abierta o de una fibra rota. Hay una fuga de potencia óptica, el sistema reducirá la potencia hasta un valor seguro. Cuando el sistema se recupera, el nivel de potencia regresará a su valor original.

En ciertos casos (rotura de fibra, conectores abiertos), la potencia de salida óptica de un amplificador de fibra óptica puede salir al exterior, lo que podría ser peligroso para el ojo humano. De acuerdo con CEI 825-1, los límites de potencia de clase 1 inherentemente seguros son 8,8 mW (+9,4 dBm) para la banda de 1310 nm y 10 mW (+10 dBm) para la banda de 1550 nm, mientras que los niveles de clase 3 A seguros (a menos que se utilicen ayudas visuales) son 24 mW (+13,8 dBm) para la banda de 1310 nm y 50 mW (+17 dBm) para la banda de 1550 nm, respectivamente. En CEI 825-2 se indican precauciones especiales y requisitos para la instalación y utilización de sistemas ópticos (que incluyen amplificadores), así como una descripción de ayudas visuales.

Dado el elevado nivel de potencia que interviene, sobre todo en amplificadores de potencia y transmisores con amplificación óptica, las cuestiones relativas a la seguridad óptica y a la generación de ondas de choque ópticas (es decir, las relativas a la protección del personal y del equipo) son de interés primordial en los sistemas de línea que utilizan dispositivos y subsistemas de amplificadores de fibra óptica.

## **3.2 Rendimiento**

### **3.2.1 Especificaciones Técnicas**

Los equipos DWDM tienen dos especificaciones para WDM:

- DWDM, con un espaciamiento entre canales de 0.8nm (100GHz) La máxima velocidad de acceso es 10Gbit/s (STM-64)
- CWDM, con un espaciamiento entre canales de 20nm. Aplicable solamente a servicios a 2.5Gbit/s y menores.

### **3.2.2 Capacidad de Transmisión**

Los equipos para sistemas DWDM puede transportar hasta 32 longitudes de onda, cada longitud de onda soporta una velocidad máxima de 10Gbit/s.

Los equipos para sistemas CWDM puede transportar hasta 16 longitudes de onda, cada longitud de onda soporta una velocidad máxima de 2.5Gbit/s.

### **3.2.3 Distancia de Transmisión**

Los equipos DWDM soportan una distancia de transmisión de hasta 80Km sin necesidad de amplificadores ópticos y regeneradores, y hasta 360Km con amplificadores ópticos

### **3.2.4 Capacidad de Gestión**

Los equipos DWDM son gestionados a través del mismo Sistema Gestor de Red.

## **3.3 Garantizada Fiabilidad**

### **3.3.1 Protección de Red**

Los equipamientos DWDM ofrecen dos maneras de proteger la red: Canales de protección ópticos y protección de línea óptica. Físicamente, hay tres esquemas de canales de protección óptica: inter-OTU protección 1+1, intra-OTU protección 1+1 y protección lado cliente.

### **3.3.2 Respaldo de Data de configuración**

La tarjeta SCC provee un dispositivo externo de almacenamiento para respaldar la data configurada en el elemento de red (NE), así es como se restaura la data después de un reemplazo de la tarjeta SCC.

### **3.3.3 Monitoreo del Rendimiento en servicio**

El equipo DWDM provee múltiples funciones de monitoreo, incluyendo el monitoreo de bit de error B1. Monitoreo del rendimiento Ethernet, monitoreando la potencia óptica. La falla puede ser localizada en el lado cliente o en el lado WDM.

### **3.3.4 Monitoreo del rendimiento óptico en servicio**

Hay interfaces de monitoreo óptico sobre el multiplexor/demultiplexor, y sobre el amplificador óptico. El analizador de espectros óptico o el medidor de múltiples longitudes de onda pueden ser directamente conectados a esos puntos de interfase de monitoreo, para medir los parámetros de rendimiento para puntos de referencia mientras no se interrumpe el servicio.

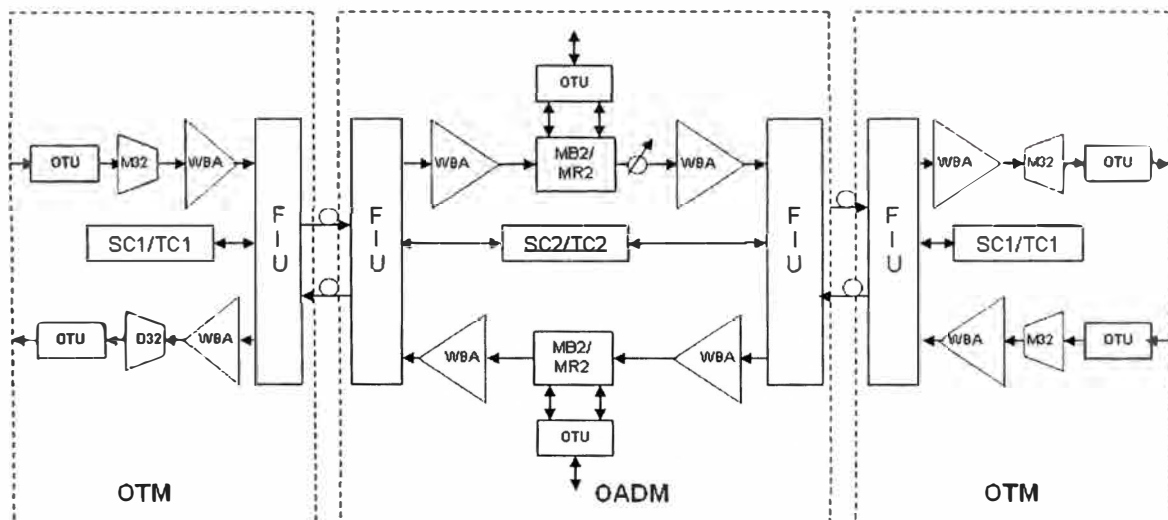
A esas interfases de monitoreo óptico pueden también conectarse una tarjeta multicanal

(MCA) usando varias fibras ópticas que son conectadas al analizador de espectro óptico integrado en la tarjeta. Con la ayuda de la MCA, pueden ser observadas desde el sistema de gestión de red, las características espectrales ópticas incluyendo la potencia óptica, la longitud de onda central y el OSNR (relación señal a ruido óptica)

### 3.4 Funcionamiento de Unidades

Las tarjetas pueden dividirse en 8 modos de funcionamiento:

- Unidad de transpondedor óptico (OTU): LWF, LRF, LBE, TMX, TMR, LWC, TRC, LWM, LWMR, LWX, LWXR, LQG, LDG, LQS, EC8, AP4, AP8, AS8
- Unidad Multiplexora/Demultiplexora óptica: M32, V32, D32, FIU, EFIU, ACS
- Unidad multiplexora de Inserción/Extracción óptica (OADM): MB4, MB2, MR2, SBM2, SBM1
  - Unidad de Amplificador óptico: OAU, OBU, OPU
  - Unidad de canal de supervisión óptica: SC1, SC2, TC1, TC2
  - Unidad de comunicación y control del sistema: SCC
  - Unidad de protección óptica: OLP, SCS
  - Unidad Auxiliar: VOA, VA4, MCA, PMU



**Fig. 3.2** Esquema General Enlace DWDM

### 3.5 Unidad de Transpondedor Óptico (OTU)

La unidad de transpondedor óptico (OTU) da acceso a uno o a múltiples canales. Está converte o convierte la señal de salida de una longitud de onda DWDM para que cumpla con el estándar ITU-T G.694.1 o que la longitud de onda CWDM cumpla con el estándar ITU-T G.694.2. De esta manera, esto ayuda a la unidad multiplexora a ejecutar la multiplexación por división de longitud de onda sobre señales de diferentes longitudes de



onda. Todas las OTUs son transceptores y pueden realizar los procesos de arriba y sus procesos inversos al mismo tiempo.

### 3.6 Amplificador de potencia

El amplificador de potencia (OBU) es un dispositivo OFA de alta potencia de saturación que se inserta directamente después del transmisor óptico para aumentar el nivel de potencia de la señal. El OBU no tiene que cumplir requisitos estrictos relativos al ruido y el filtrado óptico. Las funciones de operación, administración y mantenimiento (OAM) pueden ser o no compartidas con el transmisor óptico.

La aplicación de amplificadores de potencia (a menudo junto con preamplificadores) es muy atractiva, especialmente en aquellos casos en que los emplazamientos intermedios con equipo activo son indeseables o inaccesibles, como en los sistemas submarinos. En cualquier caso, un menor número de emplazamientos intermedios redundaría en un mantenimiento más fácil para el operador de la red. La forma más directa y sencilla de aumentar el balance de potencia disponible es utilizar un OBU inmediatamente después del transmisor ordinario, o de un transmisor con amplificación óptica. Como el nivel de potencia es relativamente alto, el ruido de emisión espontánea amplificada (ASE), presente por su propia naturaleza como consecuencia del proceso estadístico de generación de fotones dentro del OFA, es por lo general despreciable.

### 3.7 Unidad Multiplexora y Demultiplexora óptica

La unidad multiplexora y demultiplexora multiplexa y demultiplexa señales ópticas de diferentes longitudes de onda. Figura 3.3

La unidad multiplexora y demultiplexora consisten de:

- M32: Tarjeta multiplex de 32 canales. Multiplexa señales ópticas que llegan de la OTU o de equipamiento de acceso y los encamina hacia la trayectoria principal.
- V32: Tarjeta multiplexora de 32 canales con VOA (Atenuador óptico Variable desde Centro de Gestión) Multiplex de 32 canales de señales ópticas que llegan de la OTU o de equipamiento de acceso y los encamina hacia la trayectoria principal.
- D32: Tarjeta demultiplexora de 32 canales. Demultiplexa la señal óptica de la trayectoria principal obteniendo 32 canales con señales ópticas independientes.
- FIU: Unidad Interfase de fibra. Separa la señal de supervisión óptica que llega con la señal de la trayectoria principal en la dirección de recepción.

En la dirección de transmisión combina la señal de supervisión óptica con la señal compuesta de 32 lambdas de la trayectoria principal.

- EFIU: Tarjeta interfase de línea de fibra externa. Se comporta como la unidad FIU, con la diferencia que solamente puede ser insertada dentro de una trama OADM.
- ACS. Tarjeta de acceso OADM. Coopera con la unidad multiplex óptica de inserción/extracción para adicionar/extraer multiples longitudes de onda.

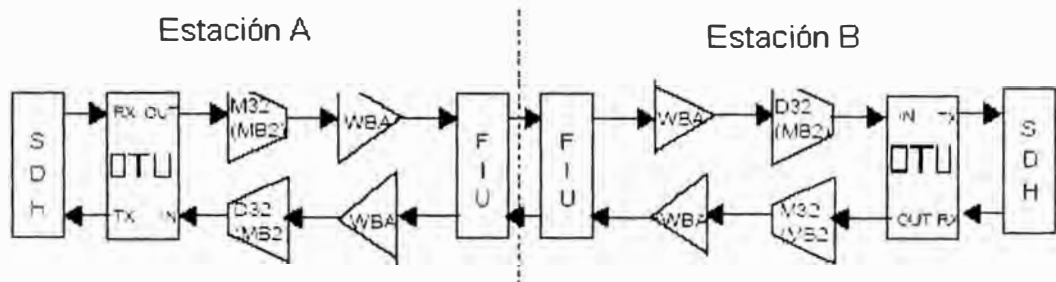


Fig. 3.3 Posición de la unidad Multiplexora/Demultiplexora en el sistema

### 3.8 Tipos de Redes DWDM

#### 3.8.1 Redes Punto a Punto

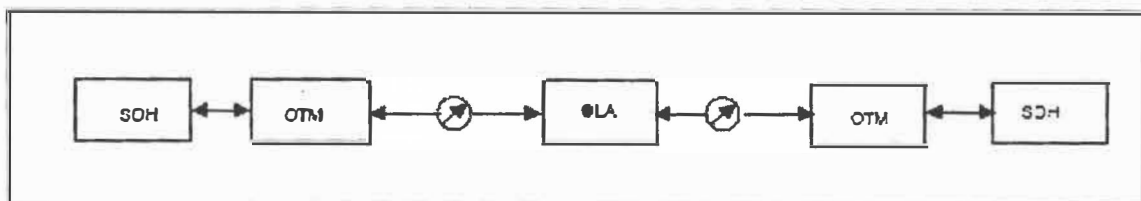


Fig. 3.4 Diagrama Esquemático de una Red WDM Punto a Punto

#### 3.8.2 Redes en Cadena

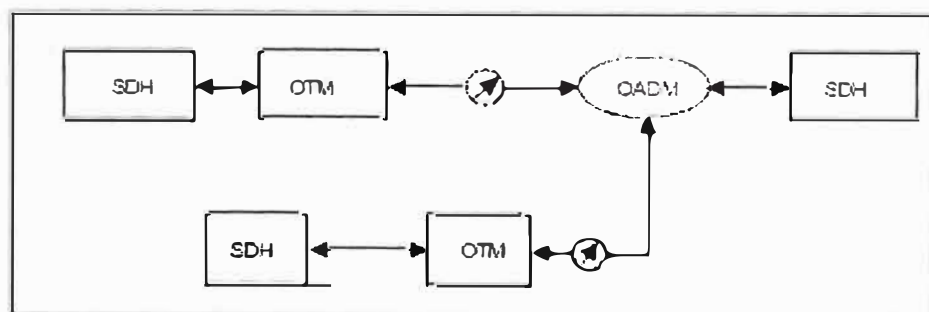
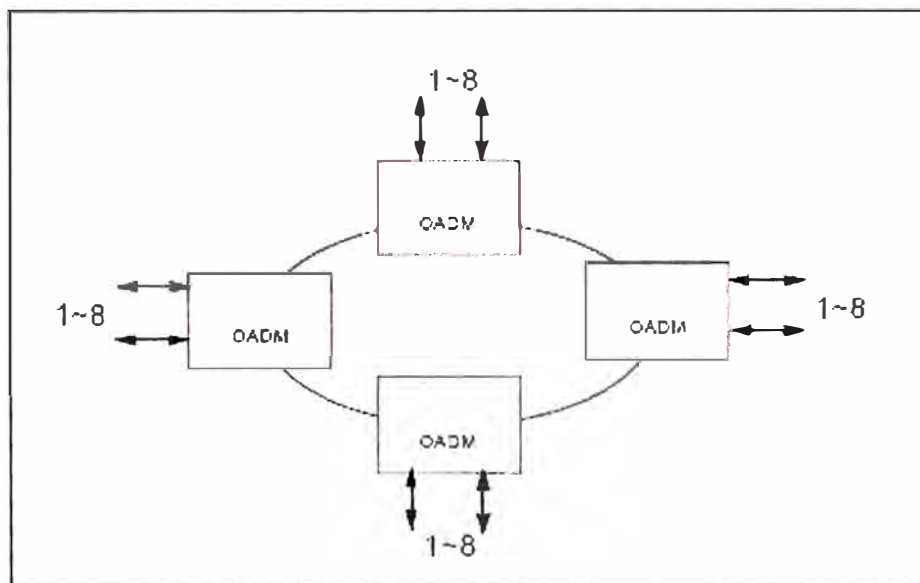


Fig. 3.5 Diagrama Esquemático de una Red WDM tipo Cadena

#### 3.8.3 Redes en Anillo

En redes de área local especialmente en aplicaciones de redes metropolitanas, multiplexores ópticos de inserción/extracción DWDM pueden ser usados para formar redes en anillo de acuerdo a la demanda usada. Generalmente en redes en anillo, trayectos de protección en anillo y protección de las secciones de multiplexación son provistos por equipamiento SDH, así esto no es necesario para equipamiento DWDM para proveer otros métodos de protección. Pero protección de longitudes de onda pueden ser provistos de acuerdo al requerimiento del usuario. La red en anillo es mostrada en la fig. 3.6.



**Fig. 3.6** Diagrama Esquemático de una red en anillo DWDM

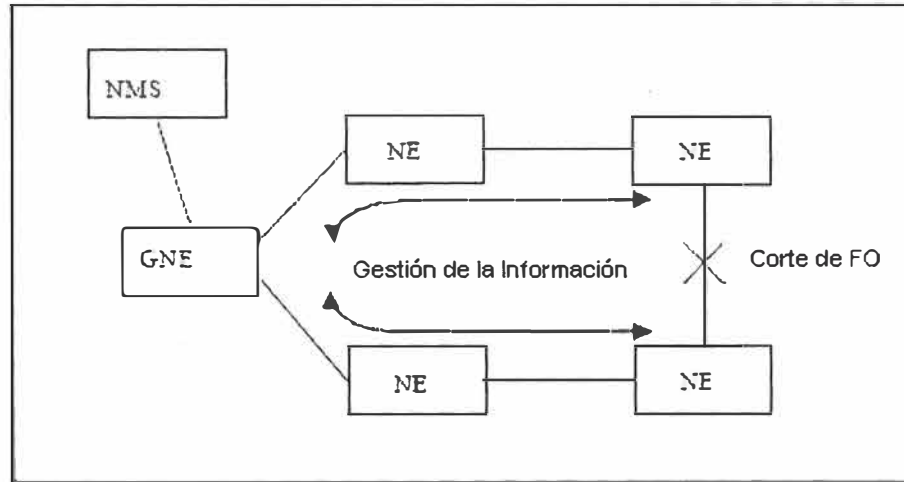
### 3.8.4 Gestión de Información de la red por canal de respaldo y capacidad de Interconexión

Alta fiabilidad es requerida para redes de transmisión óptica que adoptan DWDM. En una red de transmisión, el manejo de información de la red es transmitido vía un canal de supervisión el cual generalmente usa el mismo canal físico como el canal principal. Así, el canal de supervisión también fallará cuando el canal principal también falle. Así es requerido un canal de respaldo para la gestión de la información.

En redes en anillo, cuando cierta sección falla (ejemplo, por daño en un cable de fibra), el manejo de la información de la red puede ser automáticamente conmutada al canal de supervisión en la otra dirección del anillo. Así la gestión de la red total no será afectada. La figura 3.7 ilustra un respaldo automático del canal de supervisión para una red en anillo.

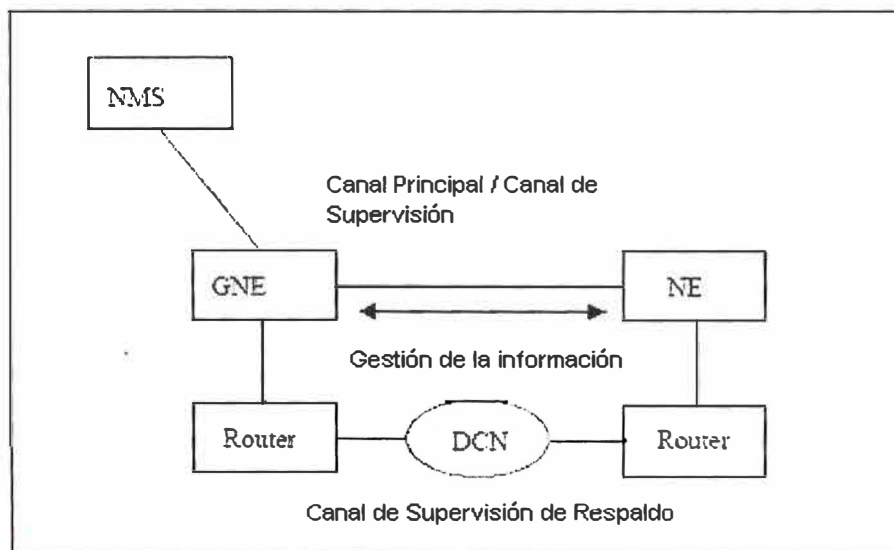
Sin embargo, cuando ambos terminales de una cierta oficina en una sección de fibra falla

o cierta sección de transmisión punto a punto y cadena de transmisión fallan, el canal de

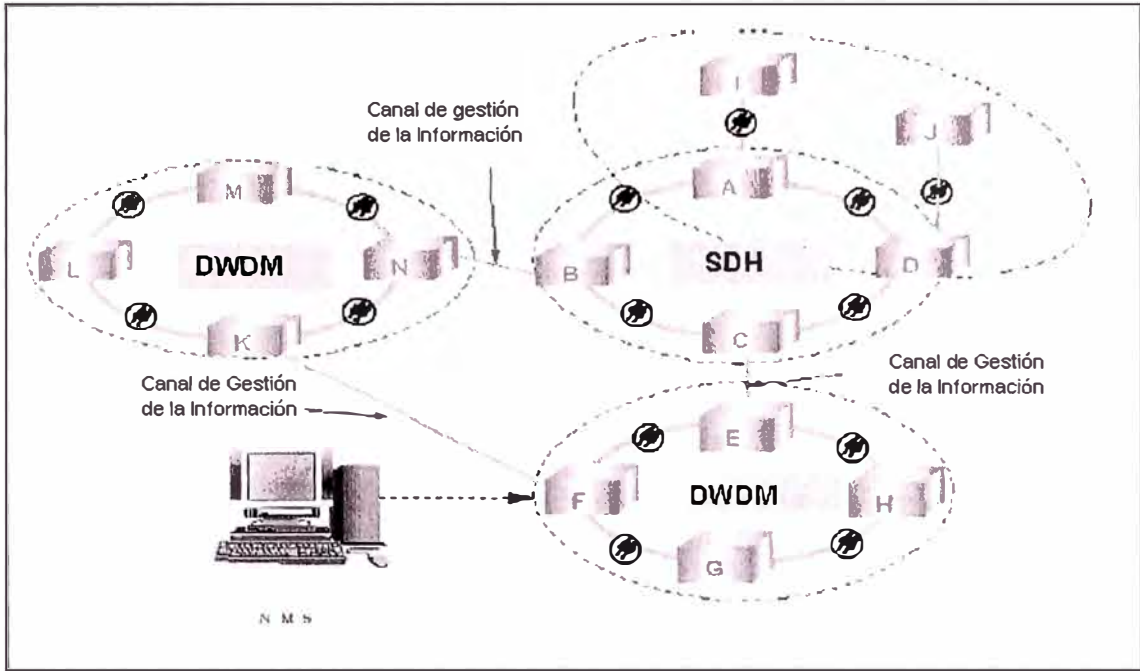


**Fig. 3.7** Respaldo del canal de supervisión al fallo de una sección de FO

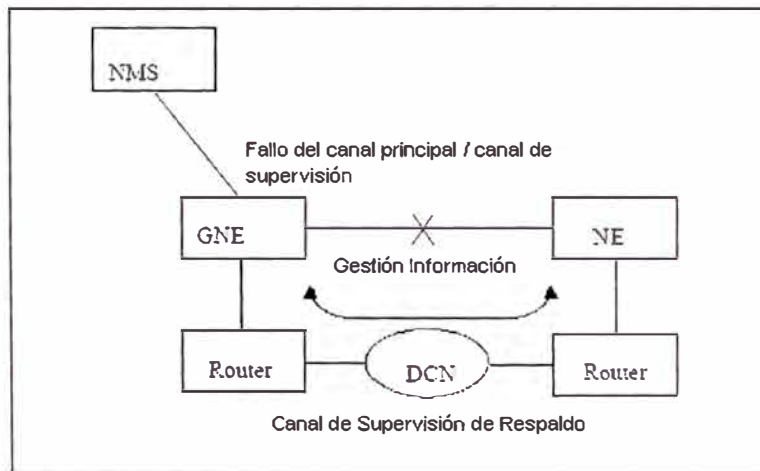
supervisión de la red fallará. Consecuentemente, la administración de la gestión de red no será capaz de conseguir la información de la oficina fallada y realizar alguna operación dentro de ella. Para evitar esta circunstancia, la gestión de la información de la red debería usar un canal de respaldo. Los elementos de red SDH pueden proveer un canal de respaldo para manejar la información de gestión de red por el uso de la red de comunicación de datos. Esta puede accesarse vía ruteadores. Cuando la red esta normal, el manejo de la información es transmitida por el canal de supervisión principal, como se muestra en la fig. 3.8



**Fig. 3.8** Red de gestión de Información por canal principal



**Fig. 3.9** Interconexión de diferentes equipos de transmisión en una red  
En la figura 3.10 se muestra el caso en que el canal principal falle, los elementos se gestionan por el canal de respaldo utilizando ruteadores por el canal de comunicación de Datos.



**Fig. 3.10** Canal de respaldo de Gestión de Información en caso De fallo de canal principal

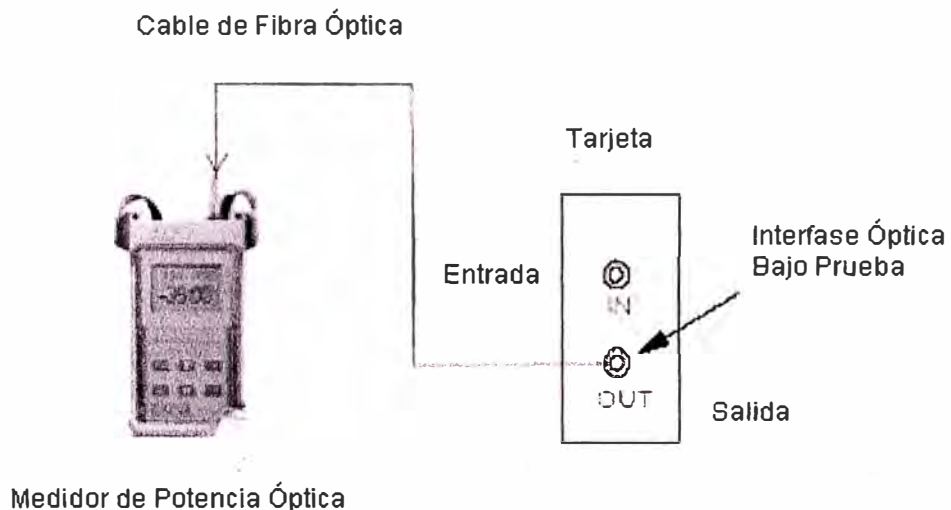
Se emplea varios tipos de interfaces para el manejo del canal de información (ejemplo interfase Ethernet, interfase RS-232). La interconexión entre diferentes redes DWDM y redes DWDM y SDH. Estas interfaces se utilizan para implementar un manejo de red unificado para diferentes equipos de transmisiones, ver figura 3.9 donde se ilustra la gestión del canal de información interconectando diferentes equipos de transmisión. (5), (6).

## CAPÍTULO IV

### DESCRIPCIÓN DE PRUEBAS Y EQUIPOS UTILIZADOS EN EL MANTENIMIENTO PREVENTIVO Y CORRECTIVO DE LA RED DWDM

#### 4.1 Medida de Potencia Óptica Transmitida

Se muestra en la figura 4.1, la conexión del medidor de potencia óptica a la interfase de salida de la tarjeta óptica. Los pasos para realizar la medición son:



**Fig. 4.1** Medida de Potencia Óptica Transmitida

- Configure el medidor de potencia óptica de acuerdo a la longitud de onda a medir (sobre la ventana 1550nm, el medidor de potencia óptica puede medir potencias ópticas de señales G.692).

- Seleccionar el cable de fibra óptica conectada interfase de salida (OUT) de la tarjeta interfase óptica en esta estación.

- Conectar el otro extremo del cable de fibra óptica al puerto de entrada del medidor de potencia. Cuando la señal recibida consiga estabilizarse, lea el valor de potencia óptica, la cual es la potencia entregada por la tarjeta óptica.

**Nota :**Para realizar la prueba debe tenerse cuidado que los conectores de la fibra deben permanecer limpios y bien conectados y tenga en cuenta también el rango de potencia de la tarjeta a medir para no malograr el medidor de potencia óptico.

#### **4.2 Medida de Potencia Óptica Recibida**

- Configure el medidor de potencia al valor de longitud de onda a medir.
- Seleccione el cable de fibra óptica conectado a la entrada ( IN ) de la interfase óptica de la tarjeta óptica en esta estación, la fuente de señal puede venir de la estación opuesta o de otro equipo de esta estación, o de cierta tarjeta transmisora óptica de este elemento de red ( NE / Network Element ).
- Conecte el cable de fibra al puerto de entrada del medidor de potencia óptico. Cuando la potencia óptica sea estable, lea el valor de potencia el que es valor real de potencia recibida por la tarjeta óptica.

Las precauciones son las mismas que las consideradas en la medida de potencia óptica transmitida.

#### **4.3 Análisis de la Medición del Espectro Óptico**

- La tarjeta MCA (Analizador de espectro óptico multicanal / Multi Channel Analyzer) del equipo DWDM puede realizar el análisis del espectro óptico para 8 canales de señales simultáneamente. La conexión para la medida de un solo canal es mostrada en la figura 4.2 y el procedimiento es el siguiente:

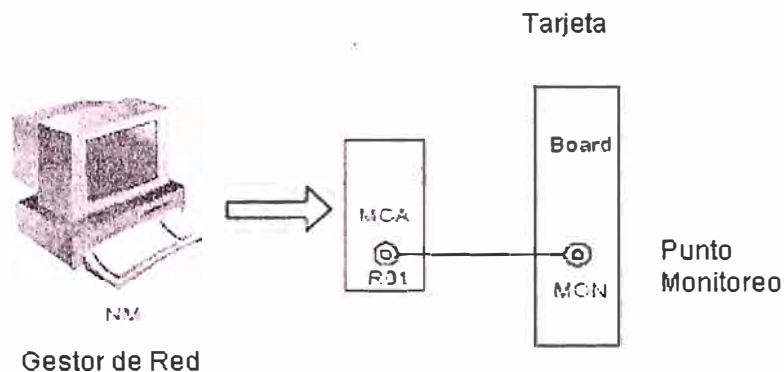
- Use un cable de fibra óptica conectado a uno de los puertos de entrada de la tarjeta MCA.
- Configure el valor de compensación de potencia para el MCA a través del NM (Gestor de Red / Network Management ).

Ejecute el análisis sobre el NM.

#### **4.4 Usando un Analizador de Espectros Externo:**

- Configure el analizador de espectros para la prueba DWDM.
- Conecte la señal a probar al puerto de entrada del analizador de espectros.

- Lea los valores de las señales de cada canal, tal como la potencia óptica y la relación señal a ruido.



**Fig. 4.2** Prueba de Análisis del Espectro Óptico desde el Gestor de Red

.Nota: Si la potencia óptica de la señal a medir es grande tal como la señal de salida del amplificador ( WBA - Amplificador Booster ) , se debe habilitar los atenuadores dentro del analizador de espectros antes de conectar la señal al analizador para evitar dañar el módulo de recepción del analizador.

#### 4.5 Prueba de Error de Bit

La prueba de error de bit puede ser ejecutada en forma concatenada. En la figura 4.4 se muestra un diagrama esquemático .En donde los puntos suspensivos representan las posibles tarjetas LWM (incluyendo la tarjeta de la estación opuesta), o posiblemente el trayecto óptico consistente en unidades multiplexoras, unidades demultiplexoras y la tarjeta de amplificación. Los pasos a seguir son:

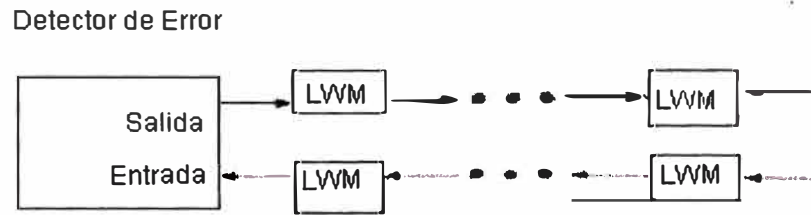
- Configurar el medidor de BER, para que ejecute alguna medición de prueba de error para señales STM-1/4/16.
- Realice la conexión de acuerdo a la figura para correr una prueba por 24 horas.
- Si algún error de bit ocurre dentro de las 24 horas, analice el valor del parámetro B1 de la tarjeta LWM a través del Gestor de Red, localice la falla, remueva esta y ejecute la prueba otra vez.

Nota: Observe que la potencia óptica puede dañar la tarjeta LWM o el módulo óptico del medidor de BER. Por lo que debe adicionarse atenuadores ópticos a la entrada y al final de la señal.

El instrumento de prueba deberá aterrarse adecuadamente.

#### 4.6 Operación de Ajuste del Atenuador Óptico Mecánico

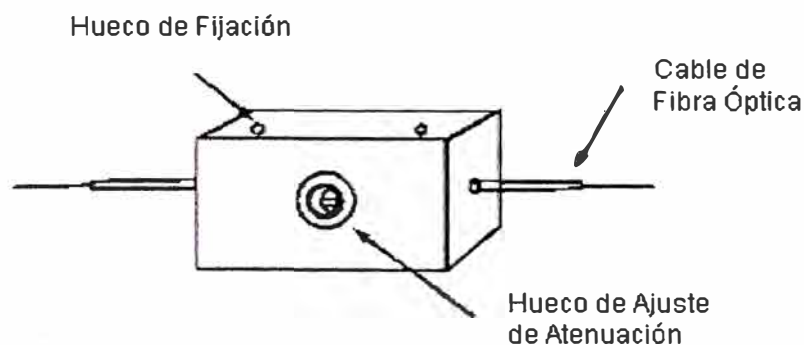




**Fig. 4.3** Diagrama de Prueba de Error de Bit

- Como se muestra en la figura 4.4 para ajustar el atenuador, primero inserte el desarmador de torque directo miniaturizado dentro del hueco de ajuste, y luego rote el desarmador. La rotación en sentido de las agujas del reloj incrementa la atenuación y disminuye la potencia óptica de salida; mientras la rotación del desarmador en el sentido anti-horario puede disminuir el valor de atenuación e incrementa la potencia óptica de salida. Como la sensibilidad del atenuador óptico es muy alta, el ajuste debería ser hecho paso por paso.

Nota: El mecanismo ajustable del atenuador óptico no está equipado con tope de parada en la dirección anti-horaria. Si la rotación anti-horaria continua, el tornillo de ajuste puede salirse. Por lo que debería ponerse atención a los cambios de valores del medidor de potencia óptica. Pare de ajustar el atenuador óptico cuando no hay cambios en la potencia óptica.



**Fig. 4.4** Atenuador óptico de ajuste mecánico

#### 4.7 Operación de Adicionar Longitudes de Onda

Después que el proyecto es puesto en servicio, algunas de las longitudes de onda puede estar sin trabajar, con reales servicios adicionados a ella. Cuando nuevo equipamiento de acceso es instalado posteriormente, estos servicios pueden ser añadidos a las longitudes de onda libre. Este proceso es llamado adición de longitudes de onda.

La interfase para el equipo DWDM para acceder al servicio es el cliente ODF. Para simplificar la relación con la interfase y facilitar el mantenimiento, todas las señales adicionales o extraídas del equipo DWDM son pasadas a través del cliente ODF. Aquí debería colocarse una etiqueta indicando la longitud de onda sobre el reborde del cliente ODF (La etiqueta es adicionada después que el proyecto de instalación es completada). Así, el cable de fibra óptica puede ser correctamente conectado.

En el proceso de adicionar longitudes de onda, la mayor operación es conectar el cable de fibra óptica del equipamiento en servicio al cliente ODF. Mientras conectamos los cables de fibra óptica, atenuadores ópticos deberían ser usados para asegurar mejorar la recepción de potencia óptica de la OTU y del equipamiento en servicio.

La magnitud del atenuador debe estar de acuerdo a la magnitud de la potencia óptica del transmisor final y del punto de sobrecarga o sensibilidad del receptor final. Ver los siguientes ejemplos:

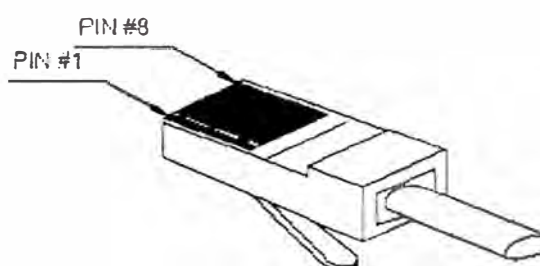
- Si el servicio añadido es una señal SDH de 2.5Gbit/s, y la OTU es LWM: El rango de potencia óptica recibida del Terminal del cliente LWM esta entre 0 - -18dBm. Para prevenir sobrecarga de potencia óptica o que empiece a disminuir la sensibilidad del receptor, es aconsejable que en la práctica la potencia óptica de la señal recibida se ajuste al rango -5 \_ -14dBm. Si la señal de 2.5Gbit/s esta cargada con servicio emite una luz de alrededor 0dBm (en muchos casos), un atenuador óptico fijo de 10dB (atenuador óptico fijo tipo LC/PC) debería ser añadido al puerto de Rx de la tarjeta LWM.
- Si el tipo de servicio adicionado es la señal 1.25Gbit/s GE, y el OTU es LDG: el módulo del receptor óptico del cliente LDG cae dentro de dos tipos, monomodo y multimodo. Y el rango de potencia óptica es 0 \_ -17dBm (monomodo) y -3 \_ -19dBm (multimodo). Para prevenir sobrecarga de potencia óptica o que empiece a disminuir la sensibilidad del receptor, es preferible en la práctica ajustar la potencia del receptor óptico entre -7 \_ -11dBm (monomodo) y -10 \_ -14dBm (multimodo). En muchos casos, la señal de potencia óptica transmitida del equipamiento GE es de alrededor -10dBm, así un atenuador óptico fijo puede ser adicionado en estos casos.
- Si la longitud de onda adicionada es una señal de cualquier velocidad entre (34Mbit/s \_ 2.5Gbit/s), y la OTU es LWM: El módulo óptico de recepción del terminal del cliente LWM cae dentro de dos tipos, monomodo y multimodo. El rango de potencia óptica recibida para multimodo es -3 \_ -17dBm. Hay dos clases de distancias destinos de transmisión para monomodo: 2Km y 15Km, Cuyos rangos de potencia óptica recibida son -3 \_ -18dBm (2Km) y 0 \_ -18dBm (15Km) respectivamente. Apropriados atenuadores fijos deberían ser adicionados de acuerdo al nivel de potencia óptica de las señales en

servicio para hacer que el nivel de potencia óptica recibida este dentro del rango deseable de -8 \_ -14dBm.

#### 4.8 Construyendo el Cable de Red

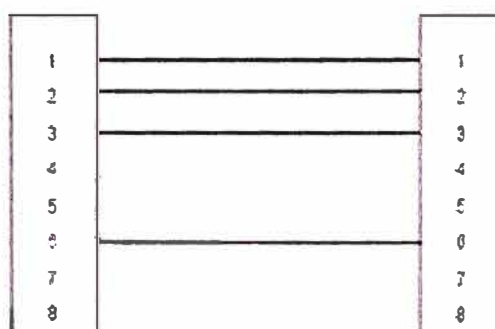
Dos tipos de cables de red pueden ser usados para conectar la computadora del NM con el gateway NE (GNE): cable cruzado y cable directo. El cable cruzado es usado para conectar la computadora del NM con GNE directamente, El cable directo es usado para conectar la computadora del NM con el GNE vía HUB. Las dos difieren una de la otra en la conexión de los pines del cable.

Las dos clases de cables de red usan conector RJ45, cuyos pinado es como sigue: mantenga el lado con los pines hacia arriba y el cable cerca de su lado, los pines son numerados del 1 \_ 8 de izquierda a derecha como se muestra en la figura 4.5.



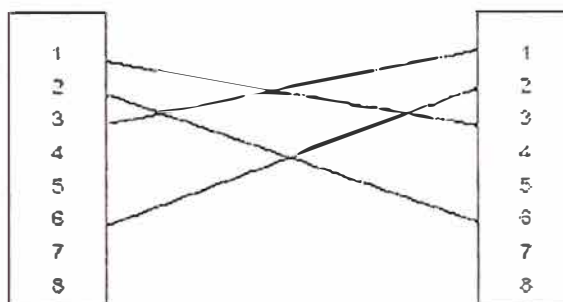
**Fig. 4.5** Distribución de pines de conector RJ45

##### 4.8.1 Conexión de los pines del cable de red directo



**Fig. 4.6** Conexión del Cable Directo

##### 4.8.2 Conexión del cable de red cruzado



**Fig. 4.7** Conexionado del cable Cruzado

Nota: Observe que el cable de red de 8 hilos, tiene 4 pares de cables trenzados. Generalmente los pines 1 y 2 del conector RJ45 forman un par trenzado, mientras los pines 3 y 6 forman otro. De otra manera la distancia de la señal transmitida será tremendamente limitada.

#### **4.9 Tipos de Mantenimiento**

El mantenimiento del equipamiento puede ser clasificado dentro de los siguientes tipos de ciclo de mantenimiento:

##### **4.9.1 Mantenimiento diario**

El mantenimiento diario se refiere a las rutinas de mantenimiento que deben ser ejecutados cada día. Esto nos ayuda a aprender el estado de operación del equipo en cualquier momento así como encontrar y resolver problemas en el tiempo. Para algún problema encontrado en el mantenimiento diario, su fenómeno específico y localización física deberán ser recordadas en detalle para oportunamente dar el mantenimiento y la solución especializada del problema

##### **4.9.2 Mantenimiento periódico**

Mantenimiento periódico es el mantenimiento llevado a cabo periódicamente, a través del cual nosotros podemos aprender la condición de operación del equipo en períodos largos. Mantenimiento periódico cae dentro del mantenimiento mensual, mantenimiento Trimestral y mantenimiento anual.

##### **4.9.3 Mantenimiento de emergencia o correctivo**

Mantenimiento de emergencia se refiere al mantenimiento cuando los equipos de transmisión fallan o cuando la red sufre alguna modificación u adaptación. Por ejemplo, cuando el equipamiento está dañado o la Línea de transmisión falla, mantenimiento correctivo es necesitado. En suma, problemas encontrados y recordados en mantenimiento de rutina son también fuentes de los mantenimientos de emergencia.

En este sentido, mantenimiento es un concepto amplio, incluyen mantenimiento de rutina y la especialización en la localización y reparación de averías (troubleshooting). Troubleshooting es también un tipo de mantenimiento, ejemplo el mantenimiento de emergencia. El cual será tratado en forma separada.

#### **4.10 Principios Básicos**

El principio básico para el mantenimiento de rutina es descubrir y resolver el problema a tiempo.

Un buen personal de mantenimiento debería localizar y limpiar la alarma rápidamente. Más importante aún, él podría descubrir y eliminar la fuente oculta de la falla antes que la falla ocurriese. Un excelente y efectivo mantenimiento el equipo podría reducir la ocurrencia de falla y prolongar la vida útil del equipo.

Nota:

No subestime la importancia del mantenimiento regular del equipamiento. En cierto sentido, el mantenimiento de rutina es más importante que la especialización en la localización y reparación de averías. Por lo tanto asegúrese de ejecutar la revisión del mantenimiento de rutina y lleve un registro de todo lo necesario.

Detectando la falla durante el mantenimiento de rutina se puede prevenir la falla en las primeras etapas. Esto evita el pánico y reduce las pérdidas causadas por la interrupción del servicio. Para realizar esto el personal debe ser hábil en mantenimiento, rico en experiencias y sensible a los síntomas de falla.

##### **4.10.1 Capacidad del Mantenimiento**

Los equipos DWDM poseen poderosas capacidades de mantenimiento:

- a) Alarmas audio/visual, el cual recuerda al administrador de red tomar las apropiadas y oportunas medidas cuando una situación urgente ocurre.
- b) Indicación del estado de carrera de cada tarjeta, el cual facilita al administrador de red para localizar y remover la falla a tiempo.
- c) Monitoreo dinámico sobre la falla de cada estación a través del Gestor de Red.
- d) Provee alarma de audio tanto para el equipamiento como para el Gestor de Red si una alarma crítica ocurre.

- e) Ricas pruebas en línea sobre Interfases, el cual habilita el mantenimiento personal para pruebas del espectro u otros índices sin desconectar la actual operación del servicio.
- f) Función del teléfono de circuito de órdenes, el cual provee un canal de comunicación dedicado para la administración de cada estación.
- g) Función de mantenimiento remoto, el cual habilita al personal de mantenimiento para

#### 4.10.2 Lista de puntos de mantenimiento de Rutina y ciclos

**TABLA 4.1** Mantenimiento de Rutina

Puntos de mantenimiento	Tipos de mantenimiento	Período
Verificar alarma audible del equipo	Mantenimiento de equipo	Diario
Observar indicadores de bastidor	Mantenimiento de equipo	Diario
Observar indicadores de tarjeta	Mantenimiento de equipo	Diario
Verificar temperatura de superficie de equipo	Mantenimiento de equipo	Diario
Ingresar al Gestor de Red como usuario de bajo nivel.	Mantenimiento de equipo	Diario
Puntos de mantenimiento	Tipos de mantenimiento	Período
Verificar estado de tarjeta y elemento de red	Mantenimiento de Gestión de Red	Diario
Verificar alarmas	Mantenimiento de Gestión de Red	Diario
Controlar rendimiento de prueba	Mantenimiento de Gestión de Red	Diario
Buscar históricos de funcionamiento y históricos de instalación	Mantenimiento de Gestión de Red	Diario
Con tarjeta MCA realizar prueba y análisis del espectro.	Mantenimiento de Gestión de Red	Diario
Verificar variables del medio ambiente del equipo	Mantenimiento de Gestión de Red	Diario
Indagar sobre el temporizador del elemento de red	Mantenimiento de Gestión de Red	Diario
Indagar sobre información de configuración de tarjeta.	Mantenimiento de Gestión de Red	Diario
Revise el montaje de bandeja de ventilador y limpie el filtro de aire	Mantenimiento de equipo	Bimensual

Revise el funcionamiento del teléfono del circuito de ordenes	Mantenimiento de equipo	Bimensual
Realizar pruebas con analizador de espectros	Mantenimiento de equipo	Bimensual
Revise los compensadores de dispersión de fibra	Mantenimiento de equipo	Bimensual
Revise el arranque y corte del Gestor de Red	Mantenimiento de Gestión de Red	Mensual

a que opere remotamente el equipo DWDM vía la red telefónica conmutada si el equipamiento falla.

#### **4.10.3 Gestión y Reparación de Averías (Troubleshooting)**

Pensamientos Básicos y Métodos para localización de fallas

#### **4.10.4 Destreza Profesional**

Hay un gran requerimiento por profesionales hábiles y normas de operación del personal de mantenimiento para localizar rápidamente y remover las fallas de los sistemas ópticos de transmisión. Se nombrará los requerimientos específicos para el personal de mantenimiento:

- Estar familiarizados con los fundamentos de DWDM
- Estar familiarizados con los mecanismos de generación de alarmas
- Estar familiarizado con troubleshooting (habilidad para localizar averías y solucionarlas) de alarmas comunes.
- Estar familiarizado con diagramas de red de la oficina local.
- Estar familiarizado con la configuración del servicio, asignación de longitudes de onda, con las rutas de fibra óptica ODF, versión de la tarjeta y diagrama de equipamiento de la oficina local.
- Estar familiarizado con el continuo estado de equipos en la oficina local.
- Gastar más tiempo y energía sobre el estudio de documentos de ingeniería y servicios.

#### **4.10.5 Recolección y Grabación de Data directamente del equipo**

Antes de tratar con la falla, personal de mantenimiento debería primero recolectar y grabar la data directamente del equipo, incluyendo:

- Datos de rendimiento y sistemas de alarma
- Data de configuración de las tarjetas y del respectivo elemento de red (NE).
- Histórico de funcionamiento del gestor de Red.

#### 4.10.6 Principios Básicos de la localización de fallas

La clave para la localización de fallas es identificar la falla con precisión sobre una sola estación. Los principios generales para la localización de fallas se puede resumir como primero lo externo, luego lo interno; primero la red, luego el elemento de red; primero niveles de mayor orden, luego los de orden bajo.(6)

#### 4.10.7 Métodos Comunes

El método de " primeramente analizar, segundamente realizar un bucle y luego reemplazar la tarjeta" es usado para localizar la falla común de hardware.

Esto es, cuando la falla ocurre, primero determine la posible área de falla, analizando las alarmas, data del rendimiento y el flujo de la señal. Luego la medida de la potencia óptica sección por sección y analizar el espectro de potencia óptica para localizar la falla de un elemento de red particular después que el cable de fibra y el cable óptico son limpiados. Finalmente, remueva la falla reemplace la tarjeta o fibra óptica.

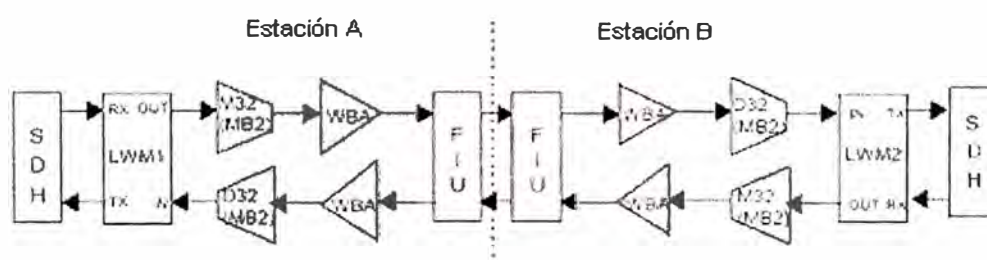
La siguiente tabla provee algunos métodos comunes para el troubleshooting de fallas complejas.

#### 4.11 Análisis de Alarmas y Rendimiento

Una vez que cualquier falla ocurre, esta viene acompañada con una gran cantidad de eventos de alarma y datos de anormal rendimiento. Por el análisis de esta información, la categoría y posición de la falla puede ser calculada por lo general.

#### 4.12 Aplicación

En una estructura de red punto a punto con sistemas DWDM puede ser descompuesto como se ilustra en la figura 4.8. Si el servicio SDH de la estación A ala estación B es interrumpido, y dentro de la estación B no recibe señal SDH óptica o recibe una gran cantidad de errores, se lleva a cabo un análisis sección por sección de la señal SDH transmitida por el terminal de la estación A:



**Fig. 4.8** Ilustración para el Análisis de Alarmas y Rendimiento



**TABLA 4.2** Métodos comunes de Diagnósticos

Métodos comunes	Alcance de la aplicación	Características de Operación
Análisis de la alarma y rendimiento	Universal	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Considere la totalidad de la red dentro de la evaluación.</li> <li>2. Prever el problema oculto del equipo.</li> <li>3. No causa efecto negativo sobre servicios normales.</li> <li>4. Depende del análisis del Gestor de Red.</li> </ol>
Reemplazo	Localice la falla sobre una tarjeta o separe la falla externa	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Simple</li> <li>2. Necesitar de partes de repuesto</li> </ol>
Medida de Prueba	Separe la falla externa y resuelva el problema de interconexión	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Convincente</li> <li>2. Necesidad de equipos de medición medidores</li> </ol>
Bucle	Separa el área fallada en dos partes para su respectivo diagnostico	Efectivo y directo
Experiencia	Casos especiales	Simple

- Análisis de la alarma y rendimiento de la tarjeta LWM1 correspondiente a la estación A. Si la tarjeta LWM1 no recibe señal óptica o si la potencia óptica recibida (Rx) es demasiado baja, la falla puede estar en el terminal del transmisor SDH óptico en la estación A, o ser el cable de fibra óptica de la SDH a la tarjeta LWM1, o el terminal del receptor óptico de la tarjeta LWM1.

- Si la potencia óptica de entrada de la tarjeta LWM1 es normal, verifique que su potencia óptica de salida (OUT) sea normal; sino, la falla esta en la tarjeta LWM1.

- Si no hay problema en la potencia óptica de salida de ninguna tarjeta LWM1, verifique si la potencia óptica de salida de la unidad multiplexora óptica (tarjeta M32 o tarjeta MB2) en la estación A ha cambiado enormemente.

El manejo de la M32 y MB2 son diferentes:

Para la M32:

Si hay muchas longitudes de onda en la estación A, la pérdida de una longitud de onda no causará gran cambio de potencia. Como la tarjeta M32 funciona como un multiplexor y

se caracteriza por su gran estabilidad, no es probable que esta tarjeta este fallada mientras solamente un canal de señal este afectado. Conecte la señal del puerto de monitoreo (MON) de la tarjeta M32 dentro de la tarjeta MCA (asegure que la longitud de onda fallada sea monitoreada) y pregunte al centro de Gestión si hay alarma de pérdida de longitud de onda. Si está perdida de longitud de onda es detectada por la tarjeta MCA, es muy probable que el cable de fibra óptica entre LWM1 y M32 este fallado.

Para la MB2:

Desde que no hay puerto de monitoreo en la tarjeta MB2, no se puede probar la potencia óptica de salida directamente sobre la tarjeta MB2 para evitar interrupción de servicio. Ubique la tarjeta WBA que esta conectada al puerto de salida (OUT) de la MB2, conecte la señal de su puerto de monitoreo (MON) a la tarjeta MCA para preguntarse si hay alarma de pérdida de trayecto (path loss). Siga el método como se describe arriba.

- La tarjeta WBA se caracteriza por amplificar toda señal óptica detectada a su entrada o salida, si esta falla, el servicio afectado no será solamente un canal. Así que la falla no puede ser la tarjeta WBA.

El análisis de las alarmas y rendimiento de la tarjeta LWM de la estación B es la misma como en la estación A.

#### **4.13 Diagnóstico**

La clave para el análisis de alarmas y el rendimiento es como conseguir la correcta y total información de la falla convenientemente y oportunamente. La información de la falla puede usualmente ser obtenida de dos maneras:

Preguntando las alarmas actuales o el histórico de los eventos de alarmas del sistema de transmisión vía el Gestor de Red.

Observando el trabajo de las tarjetas y bastidores, y el estado de parpadeo de los indicadores de alarmas.

Uno u otro método tiene sus ventajas y desventajas, como se describe abajo.

(1) Localización de la falla por la obtención de información de alarmas y rendimiento vía el Gestor de Red (NM)

**TABLA 4.3** Localización de fallas por obtener alarmas y rendimientos vía Gestor Red

Ventajas	Desventajas
<p>Amplia: puede conseguirse información de la falla de los equipos en toda la red.</p> <p>Precisión: Puedes enterarte que alarmas existen actualmente en los equipos, cuando esto ocurrió, cual es el histórico de las alarmas, y como conseguir el determinado valor del rendimiento del equipo.</p>	<p>Este método depende completamente de la normal operación de la computadora, software y comunicación. Desde que cualquier falla ocurre la posibilidad de obtener información de la falla será enormemente disminuida, y aún pérdida totalmente.</p> <p>El personal de mantenimiento algunas veces enfrenta tal situación que ellos no tienen manera de analizar las fallas porque hay una gran cantidad de alarmas y eventos de rendimiento.</p>

#### 4.14 Pruebas de Aceptación de la Red DWDM

##### 4.14.1 Instrumentos de prueba

Nombre	Modelo	Fabricante	Cantidad
Analizador de Espectros Óptico	ONT-50	ACTERNA	01
Medidor de Potencia Óptica	OLP-16C	ACTERNA	01
Atenuador Óptico Variable		ACTERNA	01
Analizador SDH	ANT-5	ACTERNA	01

##### 4.14.2 Protocolo de Pruebas

No.	Puntos a revisar
1	Inspección de la instalación de hardware de los equipos en los gabinetes
2	Inspección del tendido de fibras y cables de energía
3	Inspección de la conexión interna de fibras y cables de energía

**TABLA 4.4** Protocolo de Pruebas de Aceptación de la Red DWDM

PRUEBAS	SUB-ITEMS
Inspección Visual	<p>Inspección de la instalación de hardware de los equipos en los gabinetes</p> <p>Inspección del tendido de fibras y cables de energía</p> <p>Inspección de la conexión interna de fibras y cables de energía</p>
Verificar Tarjetas Instaladas	Inventario de tarjetas
Pruebas Técnicas	Pruebas Individuales
Tarjetas	<p>Potencia Óptica Promedio de Transmisión</p> <p>Longitud de Onda Central de la Señal Óptica de Transmisión</p> <p>Sensitividad Mínima del Receptor</p> <p>Ganancia del Amplificador y Figura de Ruido</p> <p>Atenuación de Tarjetas VA4</p> <p>Pérdida de Inserción del Multiplexor/Demultiplexor</p> <p>Funcionamiento de Tarjeta MCA</p>
Señal Principal	Potencia Óptica Individual en el punto MPI-S/S'
	Relación Señal/Ruido Óptico en los puntos MPI-R/R'
	Potencia Óptica del Elemento de Red
Fibra Óptica	Conectividad desde el ODF a las Tarjetas Ópticas
	Pruebas de Sistema
Estabilidad del Sistema	<p>Prueba de Tasa de Error de Bit del Sistema</p> <p>Relación Señal/Ruido Óptico del Sistema</p> <p>Prueba de Protección Automática</p>
Sistema de Gestión	<p>Conectividad y de Verificación de Funcionalidades</p> <p>Pruebas LCT</p>

**TABLA 4.5 Protocolo de Pruebas**

No.	Puntos a revisar
1	Inspección de la instalación de hardware de los equipos en los gabinetes
2	Inspección del tendido de fibras y cables de energía
3	Inspección de la conexión interna de fibras y cables de energía

**TABLA 4.6 Verificación de tarjetas instaladas**

No.	Puntos a revisar
1	Información detallada de las tarjetas instaladas por cada subrack. Dicha información debe incluir la versión de software y el número de serie.
2	Información detallada de las conexiones de fibra óptica entre el equipo y los ODF's de la sala.
3	Información detallada de las conexiones entre el equipo y las fuentes de energía en la sala, así como de los valores de voltaje en vacío y con el equipo encendido.

**TABLA 4.7** Potencia Óptica Promedio de Transmisión

<p><b>Definición:</b></p> <p>La potencia óptica promedio de transmisión se mide a la salida de la tarjeta OTU cuando esta transmitiendo señales pseudo aleatorias.</p>
<p><b>Equipos de Prueba:</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Medidor de potencia óptico;</li> <li>2. Atenuador óptico;</li> <li>3. Fuente óptica del mismo servicio de la tarjeta a probar.</li> </ol>
<p><b>Diagrama de prueba:</b></p> <p>Nota: La fuente óptica puede ser un analizador o algún otro equipo que genere la señal óptica requerida por la tarjeta OTU.</p>
<p><b>Procedimientos:</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Seleccione a una fuente óptica de acuerdo a la tarjeta OTU;</li> <li>2. Conectar los equipos como esta mostrado en la figura. Medir la potencia óptica de salida de la fuente óptica y usar un atenuador fijo de ser necesario;</li> <li>3. Tomar las mediciones en ambos puertos de transmisión (lado DWDM y lado cliente). Después de que el valor se estabilice en el medidor de potencia, registrar la medida.</li> <li>4. Habilitar la funcionalidad de ALS y verificar que al desconectar la señal de entrada a la salida del lado opuesto la potencia óptica disminuya.</li> </ol>

**TABLA 4.8** Valores de Potencia Óptica

Tarjeta	Descripción	Rango de Potencia
LQS	Lado DWDM	-10~ +7 dBm (remote distance) -5~ +2 dBm (intra-office)
	Lado cliente	-15 ~ -8 dBm
LWM	Lado DWDM	-10~ +7 dBm (remote distance) -10~ +2 dBm (intra-office)
	Lado cliente	-10 ~ -3 dBm
TRC		-5 ~ -1 dBm
LWC	Lado DWDM	-5 ~ -1 dBm
	Lado cliente	-2 ~ +3 dBm (distancia larga) -10 ~ -3 dBm (distancia corta)
LWX	Lado DWDM	-10~ +7 dBm (remote distance) -10~ +2 dBm (intra-office)
	Lado cliente	-10 ~ -4 dBm
LBE	Lado DWDM	-5 ~ -1 dBm
	Lado cliente	-6 ~ -1 dBm (2 km) -2 ~ +2 dBm (OTRL)

**TABLA 4.9** Longitud de Onda Central de la Señal Óptica de Transmisión**Definición:**

La Longitud de Onda central se refiere a la longitud de onda del valor pico.

**Equipos de Pruebas:**

1. Analizador de espectros óptico;
2. Atenuador óptico;
3. Fuente óptica del mismo servicio de la tarjeta a probar.

**Procedimientos:**

1. Seleccione a una fuente óptica de acuerdo a la tarjeta OTU;
2. Conectar los equipos como esta mostrado en la figura. Medir la potencia óptica de salida de la fuente óptica y usar un atenuador fijo de ser necesario;
3. Usar el analizador de espectros para hallar la longitud de onda central, registrarla y compararla con el valor nominal. Calcular la desviación de longitud de onda.

**Estándar de prueba:**

Los valores de longitud de onda estándar de los equipos DWDM están especificados en las recomendaciones de la ITU-T. Las longitudes de onda usadas por las tarjetas OTU fluctúan entre 1560.61nm y 1535.82nm, los valores correspondientes de frecuencia son 192.1THz~195.2THz, y la relación entre ellas puede ser expresada por la fórmula  $C=f\lambda$  (donde C es la velocidad de la luz).



**TABLA 4.10** Sensibilidad Mínima del Receptor

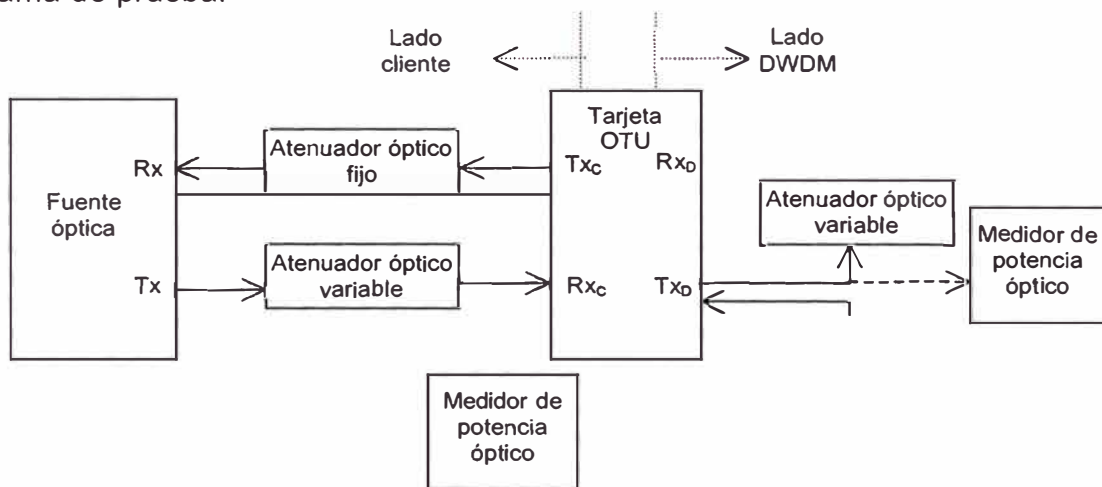
**Definición:**

La sensibilidad del receptor es el mínimo valor de potencia óptica promedio que se puede recibir para alcanzar un BER de  $1 \cdot 10^{-12}$  en el punto de recepción.

**Equipos de Pruebas:**

1. Medidor de potencia óptico;
2. Atenuador óptico variable;
3. Fuente óptica del mismo servicio de la tarjeta a probar (analizador, equipo de cliente, etc.).

**Diagrama de prueba:**



1. Seleccione a una fuente óptica de acuerdo a la tarjeta OTU;
2. Conectar los equipos como esta mostrado en la figura. Medir la potencia óptica de salida de la fuente óptica y usar un atenuador fijo de ser necesario;
3. Verificar la conectividad de todo el enlace (de ser posible correr una prueba de BER) con la fuente óptica;
4. Incrementar la atenuación lentamente al lado del cliente y verificar la detección de errores en la fuente. De detectarse errores, disminuir la atenuación hasta que los mismos dejen de aparecer;
5. Desconectar la señal óptica de entrada, usar el medidor de potencia óptico para registrar el valor de potencia en este punto. El resultado es la sensibilidad del receptor de la tarjeta OTU al lado de cliente;
6. Retornar la atenuación al valor en el que se encontraba en el punto 3. Repetir los pasos 4 y 5 para el lado DWDM.

**TABLA 4.11** Especificación de la sensibilidad del receptor

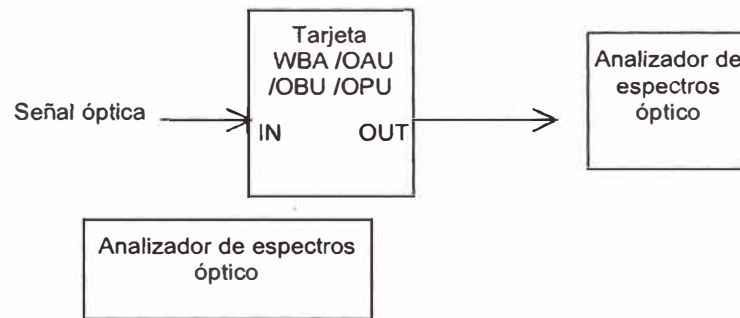
Tarjeta	Descripción	FOTO DETECTORES	
		APD	PIN
LQS	Lado DWDM	-25 dBm	-18 dBm
	Lado cliente		-28 dBm
LWM	Lado DWDM	-25 dBm	-18 dBm
	Lado cliente		-18 dBm
TRC		-25 dBm	-18 dBm
LWC	Lado DWDM	-25 dBm	-18 dBm
	Lado cliente		-18 dBm
LWX	Lado DWDM	-25 dBm	-18 dBm
	Lado cliente		-18 dBm
LBE	Lado DWDM	-17 dBm (OTRL)	-11 dBm (2 km)
	Lado cliente	-17 dBm (con FEC)	-16 dBm (sin FEC)

**TABLA 4.12** Ganancia del Amplificador y Figura de Ruido**Definición:**

Verificar que la ganancia del amplificador y la figura de ruido estén de acuerdo a las especificaciones técnicas de las tarjetas.

**Equipos de Pruebas:**

1. Analizador de espectros óptico.

**Diagrama de prueba:****Procedimientos:**

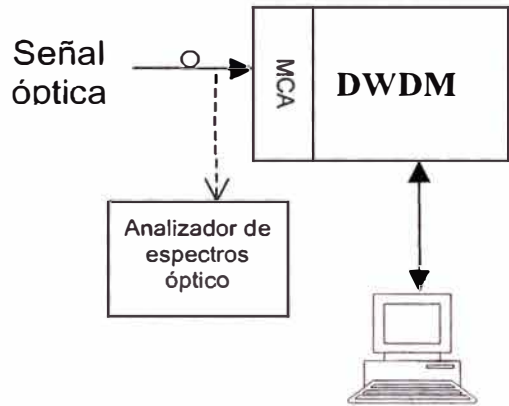
1. Medir la potencia óptica de la señal de entrada al amplificador;
2. Conectar la señal óptica al puerto de entrada del amplificador;
3. Medir la potencia óptica a la salida del amplificador y calcular la figura de ruido;
4. Verificar que los valores obtenidos estén de acuerdo con la tabla de especificaciones técnicas.

Modelo de Amplificador	Amplificación	Figura de Ruido
WBA02	$23 \pm 1$ dB	$\leq 6$
WBA05	$20 \pm 1$ dB	$\leq 5,5$
WBA06	$17 \pm 1$ dB	$\leq 5,5$
OAU-CG	PA: $20 \pm 1$ dB BA: $19 \pm 1$ dB	$\leq 6$
OBU01/02	$20 \pm 1$ dB	$\leq 6$
OPU	$23 \pm 1$ dB	$\leq 6$

TABLA 4.13 Atenuación de Tarjetas VA4

<p><b>Definición:</b></p> <p>Verificar que la atenuación de los cuatro puertos de la tarjeta VA4 esté dentro de los valores normales.</p>		
<p><b>Equipos de Pruebas:</b></p> <p>1. Medidor de potencia óptico;</p>		
<p><b>Diagrama de prueba:</b></p>		
<p><b>Procedimientos:</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Medir la potencia óptica de la señal de entrada del puerto <math>IN_1</math> de la tarjeta VA4;</li> <li>2. Conectar la señal óptica al puerto <math>IN_1</math>;</li> <li>3. Medir la potencia óptica a la salida <math>OUT_1</math>, variando la atenuación de modo que se llegue a los extremos mínimo y máximo de atenuación;</li> <li>4. Verificar que los valores obtenidos estén dentro del rango permitido</li> <li>5. Repetir los pasos 1~4 para los otros puertos.</li> </ol>		
Modelo de Atenuador	Atenuación máxima	Atenuación mínima
VA4	$22 \pm 1$ dB	$2 \pm 1$ dB

**TABLA 4.14** Funcionamiento de Tarjeta MCA

<p>Objetivo:</p> <p>Verificar el correcto funcionamiento de la tarjeta MCA.</p>
<p>Equipos de Pruebas:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Analizador de espectros óptico;</li> </ol>
<p>Diagrama de prueba:</p>  <p>El diagrama muestra un flujo de señal óptica que entra por la izquierda y se divide en dos caminos. Uno va directamente a un 'Analizador de espectros óptico'. El otro camino va al puerto 'MON' de una tarjeta 'MCA'. Esta tarjeta 'MCA' está conectada a un módulo 'DWDM', el cual a su vez está conectado a un ordenador.</p>
<p>Procedimientos:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Usando el analizador de espectros óptico hallar el factor de compensación entre la potencia de salida real y la potencia de salida del puerto MON de la tarjeta a analizar con la MCA, para su posterior ajuste ;</li> <li>2. Conectar la señal del puerto MON deseado a un puerto de entrada de la tarjeta MCA;</li> <li>3. Configurar el factor de compensación en el puerto de la tarjeta MCA. El rango de valores de compensación ajustables va entre 0 y 20 dB, por lo que la diferencia observada no deberá ser nunca mayor a 20 dB;</li> <li>4. Realizar la captura del espectro ;</li> <li>5. Analizar la misma señal usando el analizador de espectro óptico;</li> <li>6. Verificar que los resultados obtenidos sean similares.</li> <li>7. Repetir los pasos 1~6 para otros puertos de entrada que se considere necesario con diferentes señales de entrada.</li> </ol>

**TABLA 4.15** Potencia Óptica Individual a la salida del Amplificador

<p>Definición:</p> <p>La Potencia Óptica Individual es la potencia obtenida tras el paso de la señal por las tarjetas OTU, multiplexora y amplificadora, medida individualmente por cada canal.</p>
<p>Equipos de Prueba:</p> <ol style="list-style-type: none"><li>1. Analizador de Espectros Óptico.</li><li>2. Fuente óptica del mismo servicio de la tarjeta a probar (analizador, equipo de cliente, etc.).</li></ol>
<p>Procedimientos:</p> <ol style="list-style-type: none"><li>1. Conectar los equipos y tarjetas de acuerdo al diagrama superior;</li><li>2. Después de que la lectura se vuelva estable, registrar el valor de la potencia óptica en la longitud de onda relacionada a la OTU.</li><li>3. Repetir la operación para cada tarjeta OTU instalada en el equipo.</li></ol>
<p>Estándar de la prueba:</p> <p>Potencia Óptica Individual a la salida del amplificador: -2 ~ +8 dBm.</p>

**TABLA 4.16** Relación Señal/Ruido Óptico por canal en la Recepción

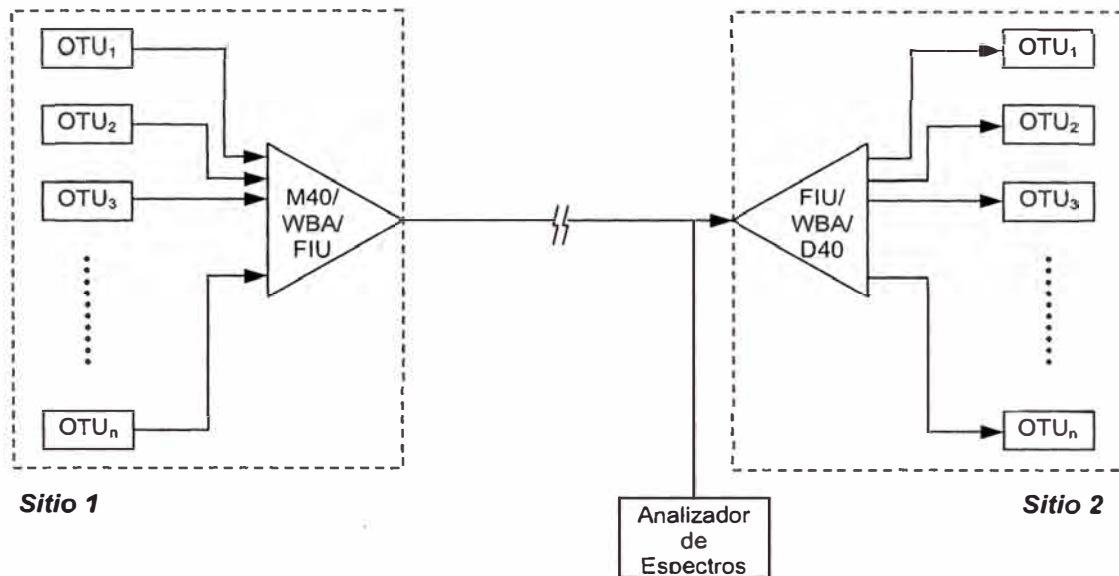
**Definición:**

La relación señal/ruido óptico (OSNR) en la recepción es la relación entre las potencias ópticas de la señal del servicio y el ruido de cada trayectoria a la entrada del amplificador en el extremo de recepción.

**Equipo de prueba:**

1. Analizador de Espectros Óptico;

**Diagrama de prueba:**



**Procedimientos:**

1. Conectar el analizador de espectros a la recepción, como está indicado en la figura y configurarlo en el modo de prueba DWDM;
2. Obtener la OSNR de cada uno de los canales (longitudes de onda) usados y registrar el resultado de la medición;

**TABLA 4.17** Potencia Óptica del Elemento de Red

<p>Definición:</p> <p>La Potencia Óptica del Elemento de red es el valor de salida y entrada de cada tarjeta del sistema.</p>
<p>Equipos de prueba:</p> <ol style="list-style-type: none"><li>1. Medidor de potencia óptico;</li></ol>
<p>Diagrama de prueba:</p> <p>De acuerdo a la configuración del equipo el diagrama se añadirá al anexo</p>
<p>Procedimientos:</p> <ol style="list-style-type: none"><li>1. Conectar todas las fibras del equipo;</li><li>2. Medir la potencia óptica a la entrada y salida de cada tarjeta y registrar los valores obtenidos;</li></ol>

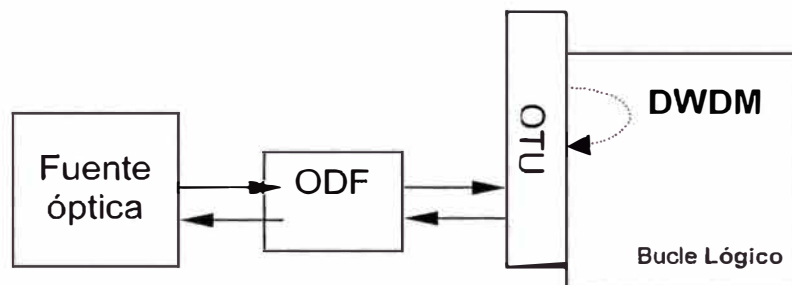


**TABLA 4.18** Conectividad desde el ODF a las Tarjetas Ópticas**Objetivo:**

Asegurar que las fibras ópticas estén conectadas en forma correcta.

**Equipos de prueba:**

Fuente óptica del mismo servicio de la tarjeta a probar (analizador, equipo de cliente, etc.).

**Diagrama de prueba:****Procedimientos:**

1. Establecer la conexión de los equipos como está ilustrado en la figura;
2. Realizar un bucle externo (outloop) en la tarjeta OTU en el lado DWDM;
3. Usar la fuente óptica para verificar la correcta conexión a lo largo de la trayectoria.

**Estándar de la prueba:**

La conectividad debe ser correcta y no deben aparecer errores en el enlace.

**TABLA 4.19** Prueba de Tasa de Error de Bit del Sistema

Definición: Asegurar la estabilidad del sistema.
Equipos de prueba: 1. Fuente óptica del mismo servicio de la tarjeta a probar (analizador, equipo de cliente, etc.).
<p>Diagrama de prueba:</p> <p><b>Sitio 1</b> <span style="float: right;"><b>Sitio 2</b></span></p>
<p>Procedimientos:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Seleccione a una fuente óptica de acuerdo a la tarjeta OTU;</li> <li>2. Conectar los equipos como se muestra en la figura. Tener en cuenta el nivel de potencia a la entrada de las tarjetas (utilizar atenuadores de ser necesario). Realizar un bucle en la tarjeta OTU en el equipo remoto. Es posible realizar más de un bucle en cascada (líneas punteadas);</li> <li>3. Verificar la continuidad del servicio a lo largo de toda la trayectoria. De ser posible correr una prueba de error de bit, o en todo caso confirmar que el servicio se brinde sin problemas o errores durante al menos 24 horas.</li> </ol>
<p>Estándar de la prueba: No debería presentarse ninguna alarma o error de bit.</p>

**TABLA 4.20** Relación Señal a Ruido Óptico del Sistema

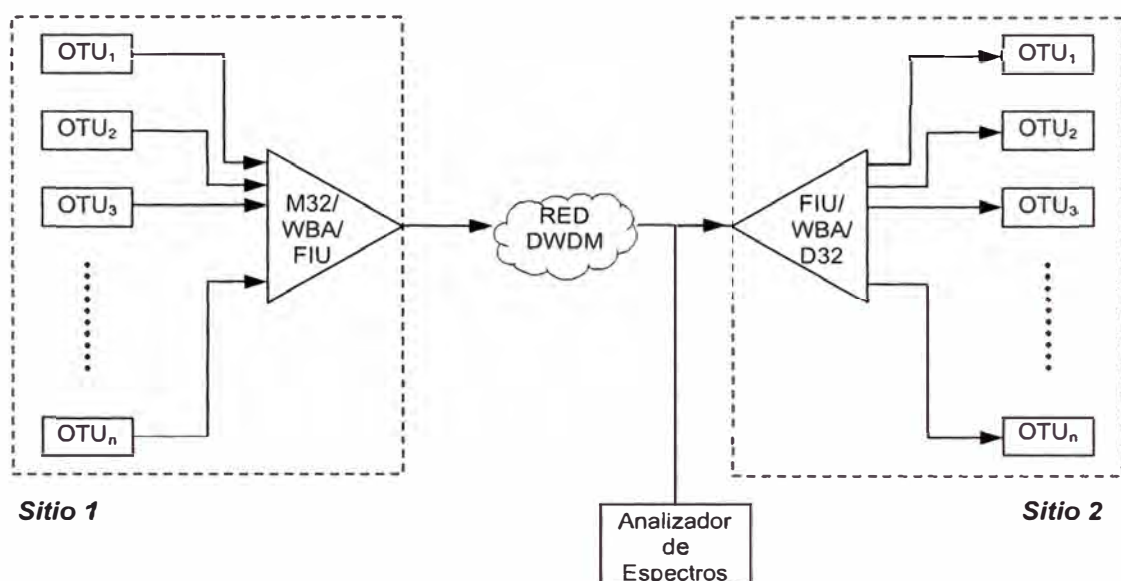
**Definición:**

La relación señal/ruido óptico (OSNR) del Sistema es la relación entre las potencias ópticas de la señal del servicio y el ruido de cada trayectoria a la entrada del amplificador en el extremo en que el servicio será removido. La red debe estar funcionando en su totalidad para realizar dicha prueba.

**Equipo de prueba:**

1. Analizador de Espectros Óptico;

**Diagrama de prueba:**



**Procedimientos:**

1. Conectar el analizador de espectros a la entrada de la señal al equipo extremo en que la señal será bajada, como está indicado en la figura y configurarlo en el modo de prueba DWDM;
2. Obtener la OSNR de cada uno de los canales (longitudes de onda) usados y registrar el resultado de la medición;

**Estándar de la prueba:**

El valor del OSNR cumple con los requerimientos del sistema si es  $\geq 20$  dB (NRZ) o  $\geq 7$  dB (CRZ).

En la recepción, la uniformidad de potencia de los lambdas debe ser  $\leq 6$  dB.

**TABLA 4.21** Prueba de Protección Automática – SCS

<p>Definición:</p> <p>Asegurar el correcto funcionamiento de la funcionalidad de protección automática de la tarjeta SCS.</p>
<p>Equipos de prueba:</p> <p>1. Analizador de SDH.</p>
<p>Diagrama de prueba:</p> <p>El diagrama muestra la configuración de prueba entre dos sitios, Sitio 1 y Sitio 2. Sitio 1 incluye un Analizador SDH conectado a una tarjeta SCS, la cual está conectada a una tarjeta DWDM y una tarjeta FIU. Sitio 2 incluye una tarjeta FIU conectada a una tarjeta DWDM, la cual está conectada a una tarjeta SCS. Una línea de fibra óptica, representada por un símbolo de ruptura, conecta las tarjetas FIU de ambos sitios.</p>
<p>Procedimientos:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Configurar el analizador SDH de acuerdo a la tarjeta OTU;</li> <li>2. Conectar los equipos como se muestra en la figura. Tener en cuenta el nivel de potencia a la entrada de las tarjetas, utilizar atenuadores de ser necesario. Realizar un bucle en la tarjeta SCS en el equipo remoto;</li> <li>3. Verificar la continuidad del servicio a lo largo de toda la trayectoria mediante una prueba de error de bit;</li> <li>4. Desconectar la fibra de la tarjeta FIU. Verificar el correcto funcionamiento del servicio y el tiempo de conmutación.</li> </ol>
<p>Estándar de la prueba:</p> <p>El tiempo de conmutación no debe ser mayor de 50 ms. La cantidad de bits errados dependerá de la velocidad del servicio.</p>

**TABLA 4.22** Prueba de Protección Automática – OTUD

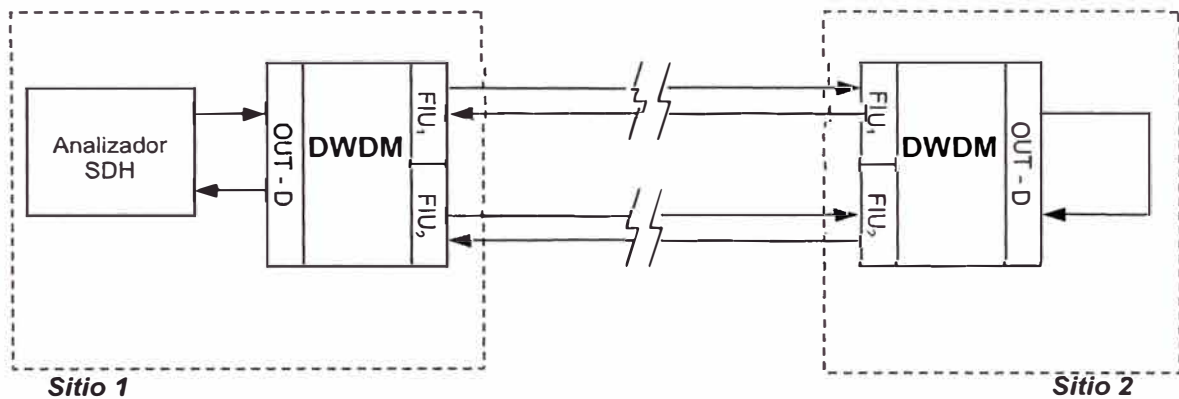
Definición:

Asegurar el correcto funcionamiento de la funcionalidad de protección automática.

Equipos de prueba:

1. Analizador de SDH.

Diagrama de prueba:



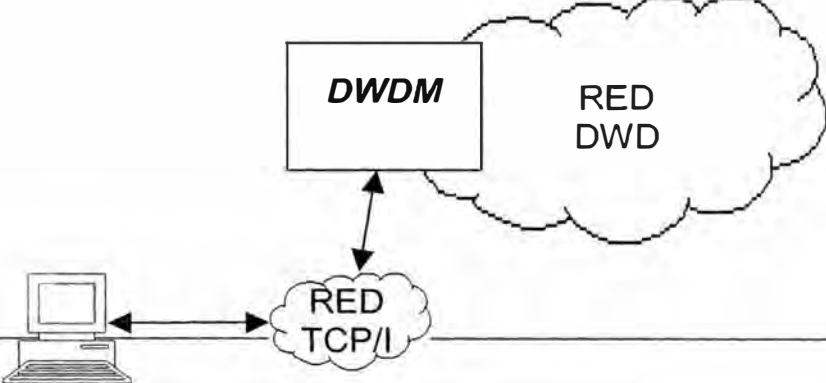
Procedimientos:

1. Configurar el analizador SDH de acuerdo a la tarjeta OTU;
2. Conectar los equipos como se muestra en la figura. Tener en cuenta el nivel de potencia a la entrada de las tarjetas, utilizar atenuadores de ser necesario. Realizar un bucle en la tarjeta OTU en el equipo remoto;
3. Verificar la continuidad del servicio a lo largo de toda la trayectoria mediante una prueba de error de bit;
4. Desconectar la fibra de la tarjeta FIU activa. Verificar el correcto funcionamiento del servicio y el tiempo de conmutación.

Estándar de la prueba:

El tiempo de conmutación no debe ser mayor de 50 ms. La cantidad de bits errados dependerá de la velocidad del servicio.

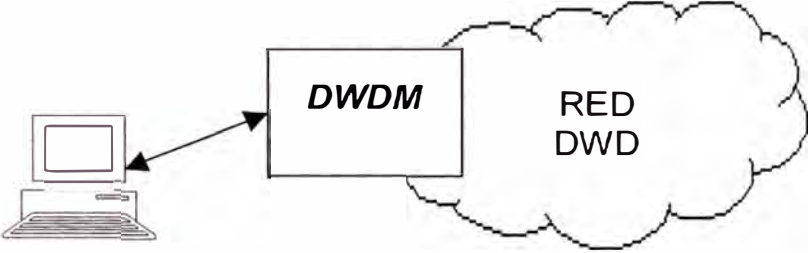
**TABLA 4.23** Conectividad y Verificación de Funcionalidades

<p>Descripción:</p> <p>Asegurar que el sistema pueda reportar apropiadamente las alarmas en forma visual y auditiva. Asegurar que la comunicación y el funcionamiento del sistema de gestión sean apropiados.</p>
<p>Equipos de prueba:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Estación de trabajo con el software Manager .</li> </ol>
<p>Diagrama de prueba:</p>  <p>El diagrama muestra una estación de trabajo (laptop) a la izquierda. Una línea de doble flecha la conecta con una nube etiquetada como 'RED TCP/I'. Desde esta nube, una línea de doble flecha apunta hacia un rectángulo etiquetado como 'DWDM'. Desde el rectángulo 'DWDM', una línea de doble flecha apunta hacia una nube más grande etiquetada como 'RED DWD'.</p>
<p>Procedimientos:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Configurar el ID/IP del equipo según lo planificado previamente;</li> <li>2. Verificar la conexión entre la estación de trabajo en y el equipo DWDM;</li> <li>3. Crear el equipo en el Centro de Gestión;</li> <li>4. Verificar que se pueda reflejar la topología de red en el Centro de Gestión;</li> <li>5. Configurar/Actualizar configuración de tarjetas del equipo;</li> <li>6. Configurar/Actualizar la hora y fecha del equipo;</li> <li>7. Configurar/Actualizar alarmas y eventos de performance;</li> <li>8. Configurar usuarios del elemento de red;</li> <li>9. Realizar otras acciones que se consideren necesarias (corte de energía, extracción de tarjetas, extracción de fibra, etc.) y verificar la coherencia de las alarmas que aparezcan en el sistema.</li> </ol>

**TABLA 4.24** Listado de alarmas comunes

Alarma	Descripción	Tarjeta	Nivel
B1_EXC	Errores excesivos de Sección de Regenerador	LQS	Menor
BD_STATUS	Tarjeta fuera de posición	Todas (excepto SCC/SCE)	Mayor
FAN_FAIL	Falla en el ventilador	SCC/SCE	Crítica
IN_PWR_HIGH	La señal de entrada es demasiado alta	SC1/SC2/LWX/LQS	Crítica
IN_PWR_LOW	La señal de entrada es demasiado baja	SC1/SC2/LWX/LQS	Crítica
LOOP_ALM	Bucle lógico en funcionamiento	SC1/SC2/LWX/LQS	Menor
MS_RDI	Indicador de defecto remoto de Sección de Multiplexor	LQS	Menor
MS_REI	Indicador de error remoto de Sección de Multiplexor	LQS	Menor
NESTATE_INSTALL	Equipo está en estado de instalación	SCC/SCE	Crítica
NO_BD_PARA	No hay parámetros de la tarjeta	Todas (excepto SCC/SCE/FIU/MR2)	Crítica
OA_LOW_GAIN	Baja ganancia del amplificador	WBA	Crítica
PATH_VERIFY_ALM	Falla en la configuración de canales físico y lógico	SCC/SCE	Mayor

TABLA 4.25 Pruebas LCT

Descripción: Verificar el correcto funcionamiento del software LCT.
Equipos de prueba: 1. Computadora con el software LCT.
Diagrama de prueba: 
Procedimientos: <ol style="list-style-type: none"><li>1. Configurar correctamente el ID/IP del equipo;</li><li>2. Verificar la conexión de la laptop con el DWDM;</li><li>3. Habilitar el uso de terminales LCT desde el Centro de Gestión ;</li><li>4. Crear el equipo en el LCT;</li><li>5. Crear equipos contiguos hasta un máximo de cinco;</li><li>6. Configurar/Actualizar configuración de tarjetas del equipo;</li><li>7. Configurar/Actualizar alarmas y eventos de performance;</li><li>8. Realizar otras acciones que se consideren necesarias (corte de energía, extracción de tarjetas, extracción de fibra, etc.) y verificar la coherencia de las alarmas que aparezcan en el sistema.</li></ol>



## 4.17 Pruebas Técnicas

**TABLA 4.26** Potencia Óptica Promedio de Transmisión

Sub-rack	Slot	Tipo de Tarjeta	Puerto Óptico	Potencia (dBm)	Observaciones
	1	LWM	OUT	-2.07	
	1	LWM	Tx	-6.88	

**TABLA 4.27** Longitud de Onda Central de la Señal Óptica de Transmisión

Sub-rack	Slot	Tipo de Tarjeta	$\lambda$ (nm)	$\lambda$ Nominal (nm)	$\Delta\lambda$ (nm)	Observaciones
Inf.	1	LWM	1552.48	1552.52		Lambda11

**TABLA 4.28** Sensitividad Mínima del Receptor

Sub-rack	Slot	Tipo de Tarjeta	Puerto Óptico	Sensitividad (dBm)	Observaciones
Medio	1	LWM	Rx	-22.95	Lado Cliente
	1	LWM	IN	-32.20	Lado DWDM

**TABLA 4.29** Ganancia del Amplificador y Figura de Ruido

Sub-rack	Slot	Tipo de Tarjeta	$P_{IN}$ (dBm)	$P_{OUT}$ (dBm)	Ganancia	Figura de Ruido	OSNR IN OUT
INF	3	OBU	-21.54	2.38	23.08	2.22	37.16; 34.94
INF	11	OPU	-30.49	-10.59	19.90	4.31	34.90 ;30.59

**TABLA 4.30** Atenuación de las Tarjetas VA4

Sub-rack	Slot	Tipo de Tarjeta	Puerto	P <sub>IN</sub> (dBm)	P <sub>OUT</sub> (dBm) Min - Max	Atenuación Min - Max
INF.	10	VA4	1	-6.94	-28.06/-7.79	0.85 / 21.12
			2	-6.94	-28.37/-8.15	1.21 / 21.43
			3	-6.94	-28.38/-8.28	1.34 / 21.44
			4	-6.94	-28.18/-7.87	0.93 / 21.24
MED	3	VA4	1	-2.24	-23.88/-3.02	0.78 / 21.26
			2	-2.24	-23.73/-2.91	0.67 / 21.48
			3	-2.24	-23.46/-3.02	0.78 / 21.22
			4	-2.24	-23.87/-3.04	0.80 / 21.63

**TABLA 4.31** Pérdida de Inserción del Multiplexor/Demultiplexor

Sub-rack	Slot	Tipo de Tarjeta	Puerto de Entrada	Puerto de Salida	P <sub>IN</sub> (dBm)	P <sub>OUT</sub> (dBm)	Pérdida de Inserción	Obser
Inf.	2	M32	11	OUT	-16.0	-20.8	4.83	
	13	D32	IN	11	-11.1	-15.6	4.58	
	05	FIU	IN	TM	-27.7	-27.8	0.06	

**TABLA 4.32** Potencia Óptica Individual a la salida del Amplificador

Sub-rack	Slot	Tipo de Tarjeta	$\lambda$ Nominal (nm)	Potencia (dBm)	OSNR
Inferior	3	OBU	1552.52	1.96	35.37
	11	OPU	1552.52	-10.53	29.90

**TABLA 4.33** Relación Señal/Ruido Óptico por canal en la Recepción

Sub-rack	Slot	Tipo de tarjeta	$\lambda$ Nominal (nm)	Potencia (dBm)	OSNR	Observaciones
Inferior	5	FIU	1552.52	-20.32	34.02	
		OPU	1552.52	-30.26	33.11	
		D32	1552.52	-10.50	30.83	

**TABLA 4.34** Potencia Óptica Total del Elemento de Red

Sub-rack	Slot	Tipo de Tarjeta	Potencia (dBm)	Observaciones
Inferior	2	M32-OUT	-7.69	
	2	M32 – 11	-2.86	
	3	OBU - IN	-7.82	
	5	FIU - IN	-6.49	
	5	FIU - OUT	15.02	
	5	FIU -TC	-6.52	
	5	FIU - RC	15.06	
	5	FIU - TM	-29.06	
	5	FIU - RM	-5.46	

**TABLA 4.35** Prueba de Tasa de Error de Bit del Sistema

Sitio	Sub-rack	Tipo de tarjeta	$\lambda$ Nominal (nm)	Bits errados	Tipo de Servicio	Observaciones
Chiclayo	Medio	LWM	15.52.52	0	Stm-16	

**TABLA 4.36** Prueba de Señal a Ruido Óptico del Sistema

Sub-rack	Slot	Tipo de tarjeta	$\lambda$ Nominal (nm)	Potencia (dBm)	OSNR	Observaciones
Inferior	5	FIU	1552.52	-20.32	34.02	
	13	D32	1552.52	-10.50	30.83	

## **CAPÍTULO V**

### **RECOMENDACIONES DE LA UIT-T**

#### **5 Referencias**

Las siguientes Recomendaciones del UIT-T y otras referencias contienen disposiciones que, mediante su referencia en este texto, constituyen disposiciones de la presente Recomendación. Al efectuar esta publicación, estaban en vigor las ediciones indicadas. Todas las Recomendaciones y otras referencias son objeto de revisiones por lo que se preconiza que los usuarios de esta Recomendación investiguen la posibilidad de aplicar las ediciones más recientes de las Recomendaciones y otras referencias citadas a continuación. Se publica periódicamente una lista de las Recomendaciones UIT-T actualmente vigentes.

Recomendación UIT-T G.650 (1997), Definición y métodos de prueba de los parámetros pertinentes de las fibras monomodo.

Recomendación UIT-T G.652 (1997), Características de los cables de fibra óptica monomodo.

Recomendación UIT-T G.653 (1997), Características de los cables de fibra óptica monomodo con dispersión desplazada.

Recomendación UIT-T G.654 (1997), Características de los cables de fibra óptica monomodo con corte desplazado.

Recomendación UIT-T G.655 (1996), Características de los cables de fibra óptica monomodo con dispersión desplazada no nula.

Recomendación UIT-T G.663 (1996), Aspectos relacionados con la aplicación de los dispositivos y subsistemas de amplificadores de fibra óptica.

Recomendación UIT-T G.681 (1996), Características funcionales de los sistemas de línea intercentrales y de larga distancia que utilizan amplificadores ópticos, incluida la multiplexión óptica.

## 5.1 Recomendación UIT-T G.652

Esta Recomendación trata de las características geométricas y de transmisión de las fibras y cables ópticos monomodo cuya dispersión y corte no se desplazan de la región de longitud de onda de 1310 nm. Las definiciones y los métodos de prueba figuran en la Recomendación G.650. (7)

Permite la compensación de la dispersión cromática, FO PDC (Passive Dispersion Compensator). Posee un núcleo muy estrecho (2 $\mu$ m) y un salto de índice de refracción muy alto. La atenuación se incrementa, por lo que se realiza una reducción paulatina entre el núcleo de la FO normal y la de compensación de dispersión. Se utilizan algunos metros de FO de compensación por varios Km de FO estandar G.652. La dispersión negativa es del orden de -100 ps/Km.nm a 1550nm. Por ejemplo, en el mercado se encuentran módulos de compensación para 40 y 80Km de FO. El retardo disminuye con el aumento de la longitud de onda (1700ps a 1556nm y 1000ps a 1557nm). El centro de la banda 1556-1557 puede correrse para otras longitudes de onda necesarias.

### 5.1.1 Longitud de onda de corte

Pueden distinguirse tres tipos útiles de longitudes de onda de corte:

- a) longitud de onda de corte de cable,  $\lambda_{CC}$ ;
- b) longitud de onda de corte de la fibra,  $\lambda_C$ ;
- c) longitud de onda de corte del cable puente,  $\lambda_{Cj}$ .

La correlación de los valores medidos de  $\lambda_C$ ,  $\lambda_{CC}$  y  $\lambda_{Cj}$  depende del diseño específico de la fibra y del cable, así como de las condiciones de prueba. Aunque en general  $\lambda_{CC} < \lambda_{Cj} < \lambda_C$  no puede establecerse fácilmente una relación cuantitativa. Es de suma importancia garantizar la transmisión monomodo en el largo mínimo de cable entre empalmes a la longitud de onda de funcionamiento mínima de l sistema. Esto puede conseguirse recomendando que la máxima longitud de onda de corte  $\lambda_{CC}$  de una fibra monomodo cableada sea 1260 ó 1270 nm.

recomendando que la máxima longitud de onda de corte  $\lambda_{cc}$  de una fibra monomodo cableada sea 1260 ó 1270 nm.

**Nota 1** – Debe asegurarse un margen de longitud de onda suficiente entre la mínima longitud de onda de trabajo admisible del sistema  $\lambda_S$  y la máxima longitud de onda de corte admisible del cable  $\lambda_{cc}$ .

**Nota 2** – Para evitar los efectos del ruido modal y asegurar la transmisión monomodo en cables de longitud inferior a 2 m (por ejemplo, rabillos de fibra, cables puente cortos), la máxima  $\lambda_c$  de las fibras a utilizar no debe ser superior a 1250 nm cuando se mide en las condiciones del RTM pertinente de la Recomendación G.650.

**Nota 3** – Para evitar los efectos del ruido modal y asegurar la transmisión monomodo en cables de longitudes comprendidas entre 2 m y 20 m (por ejemplo, rabillos de fibras, cables puente cortos), la máxima  $\lambda_{cj}$  no debe ser mayor que 1260 ó 1270 nm.

Como la especificación de la longitud de onda de corte del cable,  $\lambda_{cc}$ , es una forma más directa de asegurar el funcionamiento del cable monomodo, se prefiere especificar ésta a especificar la longitud de onda de corte de la fibra,  $\lambda_c$ . Sin embargo, cuando las circunstancias no permiten la pronta especificación de  $\lambda_{cc}$ , (por ejemplo, en cables monofibra tales como rabillos, puentes o cables a instalar en una manera bastante diferente a la del RTM de  $\lambda_{cc}$ ), resulta adecuada la especificación de un límite superior de  $\lambda_c$  o  $\lambda_{cj}$ .

Cuando el usuario especifica  $\lambda_{cc}$  como en a), debe entenderse que  $\lambda_c$  puede ser superior a 1260 ó 1270 nm. Además,  $\lambda_c$  puede ser mayor que la mínima longitud de onda de trabajo del sistema, basándose en los efectos de fabricación e instalación del cable para obtener valores de  $\lambda_{cc}$  por debajo de la mínima longitud de onda de trabajo del sistema para el largo de cable más pequeño entre dos uniones. Suele ser corriente emplear una prueba de calificación para asegurar que el diseño del cable cumpla la especificación de  $\lambda_{cc}$  requerida.

### 5.1.2 Característica de pérdida por flexión a 1 550 nm

A fin de asegurar un funcionamiento con bajas pérdidas de las fibras instaladas optimizadas a 1310 nm en la región de longitudes de onda de 1550 nm, el incremento de pérdida para 100 vueltas de fibra holgadamente enrollada con un radio de 37,5 mm y medida a 1550 nm será inferior a 1,0 dB.

Para aplicaciones SDH y WDM, la fibra puede utilizarse a longitudes de onda superiores a 1550 nm. Se aplicará la pérdida máxima de 1,0 dB a la longitud de onda máxima de uso

previsto (que sería  $\leq 1580$  nm). La pérdida a la longitud de onda máxima puede proyectarse a partir de una medición de pérdida a 1550 nm, Otra posibilidad sería efectuar una prueba de calificación a la longitud de onda más grande.

**Nota 1** – Una prueba de aptitud puede ser suficiente para comprobar que se cumple este requisito.

**Nota 2** – El valor indicado más arriba de 100 vueltas corresponde al número aproximado de vueltas aplicadas en todos los casos de empalmes de un tramo de repetición típico. El radio de 37,5 mm es equivalente al radio mínimo de curvatura generalmente aceptado en el montaje a largo plazo de fibras en las instalaciones de los sistemas reales, para evitar fallos por fatiga estática.

**Nota 3** – Se sugiere que si por razones de orden práctico se elige para la implementación de esta prueba un número de vueltas menor que 100, nunca se empleen menos de 40 vueltas, y se utilice un incremento de la pérdida proporcionalmente menor.

**Nota 4** – Se sugiere que si se ha previsto efectuar flexiones con radios de curvatura menores de 37,5 mm (por ejemplo,  $R = \square 30$  mm) en los casos de empalme, o en cualquier otro lugar del sistema, el mismo valor de pérdida de 1,0 dB se aplique a 100 vueltas de fibra montadas con este radio menor.

**Nota 5** – La recomendación sobre la pérdida por flexión a 1550 nm se refiere al montaje de las fibras en las instalaciones reales de sistemas de fibras monomodo. La influencia de los radios de curvatura relacionados con el trenzado de fibras monomodo cableadas, sobre la característica de pérdida, se incluye en la especificación de pérdida de la fibra cableada.

**Nota 6** – Cuando se requieran pruebas de rutina para facilitar la medición de la sensibilidad a la flexión a una longitud de onda de 1550 nm, en lugar de 100 vueltas puede utilizarse un bucle de pequeño diámetro de una o varias vueltas. En este caso, el diámetro del bucle, el número de vueltas y la máxima pérdida admisible por flexión para la prueba con el bucle de una sola vuelta, o de varias vueltas, debe elegirse de modo que corresponda con la recomendación sobre la pérdida de 1,0 dB para la prueba con 100 vueltas dispuestas con un radio de 37,5 mm.

### 5.1.3 Coeficiente de atenuación

Los cables de fibra óptica tratados en esta Recomendación tienen, generalmente, coeficientes de atenuación inferiores a 0,5 dB/km en la región de longitudes de onda de 1310 nm e inferiores a 0,4 dB en la de 1550 nm.

**Nota 1** – Los valores más bajos dependen del proceso de fabricación, de la composición y el diseño de la fibra, y del diseño del cable. Se han obtenido valores comprendidos entre 0,3 y 0,4 dB/km en la región de 1310 nm y entre 0,17 y 0,25 dB/km en la de 1550 nm.

#### 5.1.4 Materiales de la fibra

Deben indicarse las sustancias que entran en la composición de las fibras.

**Nota** – Debe procederse con cuidado al empalmar por fusión fibras de diferentes sustancias. Resultados provisionales de pruebas realizadas indican que pueden obtenerse características adecuadas de pérdida en los empalmes y de resistencia mecánica adecuadas cuando se empalman fibras diferentes de alto contenido de sílice.

## 5.2 Recomendación G.654

El objetivo de esta Recomendación es proporcionar las características de los cables de fibra óptica monomodo con corte desplazado.

Esta Recomendación describe una fibra monomodo cuya longitud de onda de dispersión nula está situada en torno a 1300 nm con corte desplazado y pérdida minimizados a una longitud de onda en torno a 1550 nm y que está optimizada para uso en la región de 1500-1600 nm.

Esta fibra de corte desplazado (CSF, cut-off shifted fibre) muy bajo puede utilizarse en aplicaciones de transmisión digital de larga distancia. Sus características geométricas, ópticas (atenuación, longitud de onda de corte, dispersión, etc.), de transmisión y mecánicas se describen a continuación.

El significado de los términos de esta Recomendación y las directrices a seguir en las mediciones para verificar las diversas características se indican en la Recomendación G.650. Las características de esta CSF, incluidas las definiciones de los parámetros correspondientes, sus métodos de prueba y valores pertinentes, se perfeccionarán a medida que avancen los estudios y la experiencia.

### 5.2.1 Longitud de onda de corte

Pueden distinguirse tres tipos útiles de longitudes de onda de corte:

- a) Longitud de onda de corte de la fibra,  $\lambda_c$ .
- b) Longitud de onda de corte del cable,  $\lambda_{cc}$ .



c) Longitud de onda de corte del cable puente,  $\lambda_{cj}$ .

La correlación de los valores medidos de  $\lambda_c$ ,  $\lambda_{cc}$  y  $\lambda_{cj}$  depende del diseño específico de la fibra y del cable, así como de las condiciones de prueba. Aunque en general  $\lambda_{cc} < \lambda_{cj} < \lambda_c$ , no puede establecerse fácilmente una relación cuantitativa.

Es de suma importancia garantizar la transmisión monomodo en el largo de cable mínimo entre uniones a la mínima longitud de onda de funcionamiento del sistema. Esto puede conseguirse de dos formas:

- 1) recomendando que  $\lambda_c$  sea inferior a 1600 nm: cuando es apropiado un límite inferior,  $\lambda_c$  debe ser superior a 1350 nm;
- 2) recomendando que el valor máximo de  $\lambda_{cc}$  sea 1530 nm.

**Nota** – Los valores indicados aseguran una transmisión monomodo en torno a 1550 nm. Para aplicaciones WDM que requieren funcionamiento a una longitud de onda de (1550 nm-x), los valores indicados deben reducirse en x nm.

Estas dos especificaciones no necesitan invocarse ambas. Dado que la especificación de  $\lambda_{cc}$  es una forma más directa de asegurar el funcionamiento de cable monomodo, es la opción preferida. Cuando las circunstancias no permiten la pronta especificación de  $\lambda_{cc}$  (por ejemplo, en los cables monofibra tales como cables puente o cables que hay que instalar de una manera considerablemente diferente que en el RTM de la  $\lambda_{cc}$ ), resulta entonces apropiada la especificación de  $\lambda_c$ .

Cuando el usuario decide especificar  $\lambda_{cc}$  como en 2), debe entenderse que  $\lambda_c$  puede ser superior a 1600 nm.

Cuando el usuario decide especificar  $\lambda_c$  como en 1), no es necesario especificar  $\lambda_{cc}$ .

En el caso de que el usuario decida especificar  $\lambda_{cc}$ , puede permitirse que  $\lambda_c$  sea superior a la mínima longitud de onda de funcionamiento del sistema, confiando en que los efectos de la fabricación e instalación del cable arrojen valores de  $\lambda_{cc}$  inferiores a la mínima longitud de onda de funcionamiento del sistema para la longitud más corta de cable entre dos uniones.

En el caso de que el usuario decida especificar  $\lambda_{cc}$ , puede ser suficiente una prueba de aptitud para verificar que se cumple el requisito de  $\lambda_{cc}$ .

### 5.2.2 Característica de pérdida por flexión a 1550 nm

El incremento de la pérdida para 100 vueltas de fibra holgadamente enrollada con un radio de 37,5 mm y medida a 1550 nm será inferior a 0,5 dB.

Para aplicaciones SDH y WDM, la fibra puede utilizarse a longitudes de onda superiores

a 1550 nm. Se aplicará la pérdida máxima de 1,0 dB a la longitud de onda máxima de uso previsto (que sería  $\leq 1580$  nm). La pérdida a la longitud de onda máxima puede proyectarse a partir de una medición de pérdida a 1550 nm, utilizando sea modelación de pérdida espectral o una base de datos estadísticos para ese diseño de fibra determinado. Otra posibilidad sería efectuar una prueba de calificación a la longitud de onda más grande.

**Nota 1** – Una prueba de aptitud puede ser suficiente para comprobar que se cumple este requisito.

**Nota 2** – El valor indicado más arriba de 100 vueltas corresponde al número aproximado de vueltas aplicadas en todos los casos de empalmes de un tramo de repetición típico. El radio de 37,5 mm es equivalente al mínimo radio de curvatura generalmente aceptado en el montaje a largo plazo de fibras en las instalaciones de sistemas reales, para evitar fallos por fatiga estática.

**Nota 3** – Se sugiere que si por razones de orden práctico se elige para la realización de esta prueba de 37,5 mm un número de vueltas menor que 100, nunca se empleen menos de 40 vueltas, y se utilice un incremento de la pérdida proporcionalmente menor.

**Nota 4** – Se sugiere que si se ha previsto utilizar radios de curvatura menores que 37,5 mm (por ejemplo,  $R = 30$  mm) en los casos de empalme, o en cualquier otro lugar del sistema, el mismo valor de pérdida de 0,5 dB se aplique a 100 vueltas de fibra montadas con este radio menor.

**Nota 5** – La cláusula sobre la pérdida por flexión a 1550 nm se refiere al montaje de las fibras en las instalaciones reales de sistemas de fibras monomodo. La influencia de los radios de curvatura relacionados con el trenzado de fibras monomodo cableadas, sobre la característica de pérdida, se incluye en la especificación de pérdida de la fibra cableada.

**Nota 6** – Cuando se requieran pruebas de rutina para facilitar la medición de la sensibilidad a la flexión a una longitud de onda de 1550 nm, en lugar de 100 vueltas puede utilizarse un bucle de pequeño diámetro de una o varias vueltas. En este caso, el diámetro del bucle, el número de vueltas y la máxima pérdida admisible por flexión para la prueba con el bucle de una sola vuelta, o de varias vueltas, debe elegirse de modo que corresponda con la cláusula sobre la pérdida de 0,5 dB para la prueba con 100 vueltas dispuestas con un radio de 37,5 mm.

### 5.2.3 Coeficiente de dispersión por modo de polarización (PMD)

En estudio.

**Nota** – Los cables de fibra óptica tratados por esta Recomendación tienen generalmente un coeficiente de PMD inferior a  $0,5\text{ps}/\sqrt{\text{km}}$ , lo que corresponde a una distancia de transmisión limitada por la PMD de unos 400 km para sistemas STM-64.

Los sistemas con productos velocidad binaria-distancia inferiores pueden tolerar valores superiores del coeficiente PMD sin degradación.

### 5.3 Recomendación UIT-T G.655

En esta Recomendación se describe una fibra monomodo cuya dispersión cromática (valor absoluto) tiene que ser mayor que algún valor diferente de cero en toda la gama de longitudes de onda de la utilización prevista. Esta dispersión suprime el efecto no lineal conocido por mezcla de cuatro ondas, que puede ser particularmente perjudicial en una multiplexación por división de longitud de onda (WDM, wavelength-division multiplexing) densa.

La fibra está optimizada para uso en una región prescrita entre 1500 nm y 1600 nm. Sus parámetros geométricos, ópticos, de transmisión y mecánicos se describen más adelante.

El significado de los términos utilizados en esta Recomendación y las directrices que habrán de seguirse en la medición para la verificación de las diversas características se indican en la Recomendación G.650. Las características de esta fibra, incluidas las definiciones de los parámetros pertinentes, sus métodos de prueba y los valores pertinentes, serán perfeccionados a medida que avancen los estudios y se adquiera más experiencia.

G.652 Normalizó la fibra óptica monomodo y la G.956 los sistemas de línea. Las FO monomodo para tercera ventana se encuentran normalizadas en G.653/654/655

ITU-T G.655 FO NZ-DS (Non Zero-Dispersion Shift). Es normalizada en 1994 para 1550nm. Mejora a la G.653 para aplicaciones de multiplexación por división de longitud de onda WDM. La mejora en la intermodulación pasa de ser 25 dB para la G.653 a más de 50 dB en la G.655. La intermodulación es producida por alinealidades de la FO en altas potencias (por ejemplo en amplificadores EDFA) cuando se inyectan varias longitudes de ondas de tipo WDM. El perfil del índice de refracción de una FO NZ-DS se muestra en la Fig. 02. El cero de dispersión cromática se encuentra en 1525nm para las FO producidas por Lucent y en 1560nm para las producidas por Corning. La dispersión se encuentra entre 2.6 y 6ps/km.nm ente 1530 y 1560nm.

#### **5.4 Recomendación UIT-T G.663**

Esta Recomendación trata los aspectos relacionados con la aplicación de los dispositivos y subsistemas de amplificadores de fibra óptica (OFA, optical fibre amplifier) utilizados fundamentalmente en sistemas digitales, y es válida solamente para los sistemas que funcionan en la región de 1550 nm. Las características genéricas de los dispositivos y subsistemas OFA se describen en la Recomendación G.662. Las aplicaciones incluyen sistemas monocanal y multicanal utilizados en configuraciones punto a punto y punto a multipunto para redes de larga distancia y en redes de acceso ópticas.

Esta Recomendación tiene por finalidad identificar los aspectos que deben considerarse para cada aplicación y especificar valores y gamas de parámetros comunes para cada tipo de dispositivo de amplificador de fibra óptica (amplificador de potencia, preamplificador y amplificador de línea). Esta Recomendación se sitúa en el marco del desarrollo de nuevos equipos que incluyen dispositivos OFA y da directrices para aplicar dispositivos OFA y subsistemas OFA a los equipos existentes. Como un objetivo, para sistemas especificados como transversalmente compatibles, el grado de compatibilidad no deberá ser afectado por el uso de dispositivos OFA.

La presente Recomendación trata temas importantes tales como los aspectos de transmisión, los aspectos de mantenimiento, y la seguridad óptica.

La aplicación de amplificadores de fibra óptica (OFA) en sistemas de transmisión ópticos ofrece varias ventajas. La más importante es la posibilidad de realizar tramos muy largos de sistemas sin repetidor, así como tramos muy largos de sistemas sin regenerador. El empleo de OFA probablemente permita suprimir muchos emplazamientos de regeneradores convencionales existentes y, en el caso de nuevas rutas, prescindir de la construcción de muchos nuevos emplazamientos. Los OFA permiten también tomar seriamente en consideración nuevas arquitecturas de sistemas ópticos para aplicación en redes de transmisión de gran distancia terrestres y submarinas, y en redes de acceso. Dos ejemplos de esto son las aplicaciones de multiplexación por división de longitud de onda y las de punto a multipunto, cuyos proyectos, en general, se consideraban antes prohibitivos tanto por su complejidad como por su costo. Los OFA ofrecen también ventajas potenciales con respecto a las opciones de mejoramiento de las redes, pues son independientes del esquema de modulación y de la velocidad binaria.

Sin embargo, la aplicación de OFA pone de manifiesto algunos nuevos, y posiblemente graves factores de degradación de los sistemas, como consecuencia de los elevados niveles de potencia producidos por los OFA y las largas distancias entre los puntos de regeneración. Entre estos factores de degradación de la transmisión están las no linealidades de la fibra óptica, los efectos de la polarización y los efectos debidos a las

características de amplificación del propio OFA. La dispersión cromática se hace cada vez más significativa en los sistemas largos no regenerados permitidos por los OFA. Las características de dispersión de la fibra, además de determinar las limitaciones de dispersión cromática, influyen en la severidad de la degradación producida por varios de los efectos no lineales dominantes. Por lo tanto, la gestión de la dispersión ha surgido como un aspecto crítico en el diseño de sistemas. En los apartados siguientes se describen las aplicaciones de los OFA y se indican los aspectos más importantes que deben considerarse para cada aplicación.

### **5.5 Recomendación UIT-T G.681**

Esta Recomendación trata las características funcionales de los sistemas intercentrales y de gran distancia que utilizan amplificadores ópticos, incluida la multiplexación óptica. Representa un puente entre las configuraciones de referencia/físicas de los sistemas intercentrales de la jerarquía digital síncrona (SDH) descritos en las Recomendaciones G.782, G.783, G.958 y entre las arquitecturas de red de transporte funcionales descritas en las Recomendaciones G.803 y G.805. Los bloques funcionales, funciones y subfunciones ampliados o nuevos de los equipos SDH (por ejemplo terminación de línea, regenerador óptico/eléctrico/óptico y repetidor óptico no regenerativo) se han hecho corresponder con funciones compuestas, funciones atómicas y procesos de redes de transporte. La capa de canal óptico, capa de sección de múltiplex óptico y capa de amplificador óptico se han identificado para sistemas de transporte ópticos. Además, esta Recomendación trata las consideraciones de seguridad óptica, incluidos el cierre de potencia automático y la prevención de ondas de choque ópticas, así como el canal de supervisión óptico.

En futuras Recomendaciones sobre "medios ópticos basados en arquitecturas de red de transporte" habrá una "capa de trayecto óptico con multiplexores ópticos de tipo adición + derivación y transconectores ópticos" y una "capa de circuito óptico con conmutadores ópticos" normalizados, que no están dentro del ámbito de esta Recomendación.

#### **5.5.1 Alcance**

La presente Recomendación es aplicable a las características funcionales de los sistemas de línea intercentrales y de larga distancia que utilizan amplificadores ópticos (OA), incluida la multiplexación óptica. Las actuales Recomendaciones, como la G.958 y las Recomendaciones de la serie G.780 no han considerado estas nuevas tecnologías. La presente Recomendación representa, como tal, el primer intento de caracterizar las funciones requeridas por los amplificadores ópticos y la multiplexación óptica para

describir estas capacidades. Su actual estructura y contenido describen los sistemas con interfaces ópticas para sistemas monocanal con amplificadores ópticos e interfaces ópticas para sistemas multicanal con amplificadores ópticos.

Esta Recomendación representa un puente entre configuraciones de referencia/físicas de sistemas intercentrales SDH de las Recomendaciones G.782, G.783 y G.958, y entre arquitecturas de red funcionales descritas en las Recomendaciones G.803 y G.805. Por lo tanto, está estructurada de modo que complementa las directrices que están siguiéndose para las actividades sobre la arquitectura de red y la gestión de red. Los principios rectores de estas áreas se han observado en la elaboración de esta descripción. La descripción se basa en una configuración de cliente/servidor. Para obtenerla, los bloques funcionales descritos en esta Recomendación se derivaron de reglas elaboradas sobre la base de técnicas de la arquitectura de transporte. Las funciones relacionadas con la gestión se elaboraron sobre la base de una comprensión de los flujos de información. No está dentro del ámbito de la presente Recomendación determinar el formato de los mensajes de gestión ni los protocolos utilizados para transmitirlos.

Los sistemas de línea descritos en esta Recomendación tienen por finalidad proporcionar compatibilidad transversal, por lo que ha de entenderse la posibilidad de utilizar conjuntamente, en un mismo sistema, equipos de diversos fabricantes. La utilización de capacidades de transmisión óptica, incluida la multiplexación y la amplificación ópticas, requiere soluciones de gestión.

En la presente Recomendación se describe la forma de combinar una señal de supervisión con información de usuario.

**Nota** – La presente Recomendación se ha preparado apoyándose en la experiencia adquirida con los amplificadores basados en fibra de sílice dopada con erbio (amplificadores EDFA, erbium-doped fibre amplifier) que trabajan en la región de longitudes de onda de 1550 nm. No se pretende que los futuros amplificadores ópticos (por ejemplo amplificadores ópticos de semiconductor o amplificadores ópticos basados en fibras activas diferentes, que posiblemente trabajen en la región de longitudes de onda de 1310 nm) queden excluidos de esta Recomendación, sino que pueden conducir a funciones adicionales, así como a modificaciones de las existentes.

### 5.5.2 Términos definidos en otras Recomendaciones

regenerador óptico/eléctrico/óptico (REG): véase la Recomendación G.958;

amplificador óptico (OA): véanse las Recomendaciones G.661, G.662 y G.663;

- multiplexor/demultiplexor óptico: véase la Recomendación G.671;
- tara de sección de regenerador (RSOH): véase la Recomendación G.782;
- terminación de sección de regenerador (RST): véase la Recomendación G.782;
- puntos de referencia S/R: véanse las Recomendaciones G.955 y G.957;
- puntos de referencia A, ..., L: véanse las Recomendaciones G.955 y G.957;
- interfaz física SDH (SPI): véanse las Recomendaciones G.782, G.783 y G.958;
- tara de sección (SOH): véase la Recomendación G.707;
- jerarquía digital síncrona (SDH): véase la Recomendación G.707;
- función de gestión de equipo síncrono (SEMF): véase la Recomendación G.782;
- módulo de transporte síncrono (STM): véase la Recomendación G.707.

## **CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

### **CONCLUSIONES**

- 1 - Los sistemas ópticos han pasado por cinco estados. Siendo el último de ellos los sistemas ópticos de quinta generación, basados en la transmisión de solitones. Un solitón es un pulso ultracorto que preserva su forma temporal (no se ensancha) a lo largo de la propagación a través de la fibra óptica, sólo con la aparición del amplificador de fibra dopado con erbio (EDFA) es que los solitones han dejado de ser una curiosidad para convertirse en una técnica de gran utilidad en la transmisión a alta velocidad.
- 2 - Se concluye que el OSA (Analizador de espectros Ópticos) es una herramienta fundamental para realizar trabajos de medida en cualquier punto de la red DWDM para lo que se requiere adquirir analizadores de espectro óptico con resoluciones por debajo de 1nm.
- 3 - Las Tecnologías Ópticas son esenciales para redes de banda ancha de alta capacidad, ya que la demanda de tráfico para telecomunicaciones continua creciendo. La capacidad se multiplica por diez cada cuatro años. Esto significa que dentro de 8 años la capacidad de transmisión requerida para las redes troncales podría superar los 10 Tbps. Por lo que se continúan desarrollando nuevas técnicas en fabricación de fibras, láseres, amplificadores y por supuesto técnicas UDWDM (ultra densa WDM).

### **RECOMENDACIONES**

- 1 - Se recomienda que el sistema DWDM deberá contar con un canal de supervisión (dentro o fuera de banda) y que en caso de corte del enlace en un tramo entre dos nodos dicho canal deberá ser extraído por ambos nodos para que siga siendo posible la Administración y/o gestión del sistema.



2 - Se recomienda por la envergadura del tráfico que se transporta que los OADM deben disponer de un esquema de protección para las portadoras ópticas del sistema. Se deberá indicar las condiciones de fallas que activan las protecciones, el tiempo máximo de actuación de la protección inferior a 50ms, que esta sea reversible, condiciones de deshabilitación de la protección, y la protección deberá presentar la facilidad de conmutación manual (forzada).

3- Se recomienda que en caso de discontinuidad del portador óptico, ya sea por desconexión o por corte, en la fibra deberá ser activado un mecanismo de protección óptico que interrumpirá la potencia emitida en la fibra que sufrió el corte. Las potencias emitidas por los OADM en los amplificadores ópticos de línea dentro de los márgenes de clase 3ª (+17dBm en línea en la 3ª ventana) o de la clase 3B (+20 dBm en línea en la 3ª ventana), y un mecanismo de seguridad óptica implementado para cortes o desconexiones de línea será más restrictivo para la clase 3B, siendo su actuación más rápida.

4 – Se recomienda que esta tecnología sea incluida en el curso de Telecomunicaciones, ya que es una tecnología que está siendo ampliamente usada y en la actualidad la mejor para solucionar los problemas del creciente tráfico, de ancho de banda disponible en redes metropolitanas y de transporte.

## BIBLIOGRAFÍA

- 1- Antonio Salavert, Traducción: Introducción al DWDM (Manual Cisco); asalavert@ac.upc.es-UPC CCABA. Año 1998 - - - 2000
- 2- José Roberto Santamaría Sandoval, Sistemas de Multiplexación CWDM: actualidad, ventajas y desventajas frente a otros sistemas de multiplexación y Tendencias. Universidad de Costa Rica Facultad de Ingeniería Escuela de Ingeniería Eléctrica. Agosto 2004
- 3- Govind P. Agrawal, Fiber-Optics Communications Systems, The Institute of Optics University of Rochester, Rochester, NY. Second Edition, 1997
- 4- CISCO, Introductions to DWDM for Metropolitan Networks, <http://www.cisco.com>. Año 1998 --- 2002
- 5- HUAWEI Theory Manual DWDM, Issue 2.0, Año 2003
- 6- HUAWEI Maintenance Manual METRO 6100, Año 2004
- 7- Recomendaciones UIT-T: (G.652, G.653, G.654 / Abril 1997), G.655 – Octubre 1996
- 8- Roberto Pous Grèbol, PROMAX ELECTRONICA, S.A., <http://www.promax.es>, Año 1999
- 9- Salvatore Spadaro, "Traffic Engineering in IP over Optical Transport Networks for Metropolitan and Wide Area Environments", Universidad Politécnica de Catalunya, Diciembre 2004.