

DEFINICION DE CRITERIOS DE DISEÑO PARA REDES OPTICAS DWDM
ANEXO A
DISPOSITIVOS DWDM



ALEIDA RODRÍGUEZ MANCILLA
LIDA MARGOTH ANACONA IPIA

Trabajo Final de Grado para optar al título de
Ingeniero en Electrónica y Telecomunicaciones

Director:

ing. LUIS FELIPE CADENA

UNIVERSIDAD DEL CAUCA
FACULTAD DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA Y TELECOMUNICACIONES
DEPARTAMENTO DE TELECOMUNICACIONES
POPAYÁN
2004

TABLA DE CONTENIDO

	Página
1. DISPOSITIVOS DWDM.....	1
1.1 TRANSMISORES ÓPTICOS.....	2
1.2. DETECTORES O RECEPTORES.....	4
1.3. AMPLIFICADORES ÓPTICOS.....	5
1.3.1 Amplificadores ópticos de fibra dopada con erbio EDFA.....	6
1.3.1.1 Características de los EDFA.....	7
1.3.1.2 Requisitos de funcionamiento del EDFA.....	8
1.3.1.3 Aplicaciones de los EDFA's.....	12
1.3.2 Amplificador óptico de semiconductor SOA.....	16
1.3.2.1 FPA (Amplificadores Fabry-Perot).....	16
1.4 MODULADORES ÓPTICOS.....	17
1.4.1 Interferómetro Mach-Zehnder.....	19
1.4.2 Red de difracción de Bragg.....	20
1.4.2.1 Red de bragg en fibra.....	20
1.5 CONMUTADORES ESPACIALES.....	21
1.6. CONVERTIDORES DE LONGITUD DE ONDA.....	21
1.6.1 Tecnologías de los conversores de longitud de onda.....	24
1.6.1.1 Conversores basados en puertas ópticas.....	24
1.6.1.2 Conversores interferométricos.....	26
1.6.1.3 Conversores basados en la mezcla de ondas.....	28
1.7. MULTIPLEXORES ÓPTICOS DE EXTRACCIÓN E INSERCIÓN.....	29
1.7.1 OADM basado en conmutadores NXN.....	30
1.7.2 Interconexión entre OADM y equipos clientes.....	33
1.7.3 Ventajas del uso del OADM.....	34
2. COMPONENTES OPTICOS PASIVOS.....	35
2.1 FILTROS ÓPTICOS.....	35
2.2. SWITCHES ÓPTICOS.....	37
2.2.1 Crosconector óptico (OCX, optical cross-connect).....	38
2.2.1.1 Características.....	38
2.2.1.2 Aplicaciones del OCX.....	41
2.2.1.3 Matriz de conmutación óptica.....	41
2.2.1.4 Arquitecturas OCX.....	43
2.2.1.5 Arquitectura OXC por Capas.....	44
2.2.1.6 OXC de núcleo óptico y de núcleo eléctrico.....	46

2.2.1.7 Conmutadores ópticos fabricados con espejos micro-electro mecánicos (MEMS).....	48
2.2.1.8 Rentabilidad óptica del conmutador crosconector 2D.....	51
2.3. ECUALIZADORES.....	52
2.4. CANALES DE SERVICIO.....	52
3. GLOSARIO DE TERMINOS.....	54
4. BIBLIOGRAFÍA.....	56

LISTA DE FIGURAS

	Página
Figura 1 Principio de operación de un láser.....	3
Figura 2 Diseño típico de un láser.....	4
Figura 3 Modulación externa de un láser.....	5
Figura 4 Esquema básico del EDFA.....	7
Figura 5 Esquema de Niveles del EDFA.....	8
Figura 6 Ubicación óptima del VOA en el EDFA.....	11
Figura 7 Preamplificador.....	13
Figura 8 Amplificador de potencia.....	14
Figura 9 Amplificadores en línea.....	14
Figura 10 Filtro Fabry-Perot.....	16
Figura 11 Interferómetro Mach-Zehnder (MZI).....	19
Figura 12 Red de Bragg.....	20
Figura 13 Conversores de longitud de onda basados en XGM.....	25
Figura 14 Conversor de Longitud de onda basado en el interferómetro de Mach-Zehnder.....	26
Figura 15 Conversor de longitud de onda basado en el interferómetro Michelson.....	27
Figura 16 Conversor de Longitud de onda NOLM.....	28
Figura 17 Amplificador óptico OADM.....	30
Figura 18 OADM reconfigurable basado en conmutadores NxN.....	31
Figura 19 OADM utilizando AWG.....	31
Figura 20 AWG.....	32
Figura 21 Interconexión equipos cliente y OADM con conmutadores 1xN.....	33
Figura 22 Filtro Acusto-Óptico.....	36
Figura 23 Filtro multicapas Dieléctricas.....	36
Figura 24 Matriz de switch por permutación.....	37
Figura 25 Conmutador espacial.....	42
Figura 26 WSXC.....	45
Figura 27 WIXC.....	46
Figura 28 Estrella Pasiva.....	46
Figura 29 Enrutador pasivo.....	47
Figura 30 Switch activo.....	47
Figura 31 2D y 3D MEMS.....	49

LISTA DE TABLAS

	Página
Tabla 1 Características EDFA-SOA.....	16

1. DISPOSITIVOS DWDM

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 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 los componentes ópticos pasivos, la conversión óptico-eléctrica no ocurre cuando el componente está trabajando. Los nuevos y modernos sistemas de comunicaciones ópticas dependen en gran medida de la disponibilidad de componentes fotónicos avanzados así como de subsistemas y bloques funcionales que cumplan estrictas especificaciones. La mejora de las prestaciones de determinados componentes y subsistemas utilizados en redes ópticas DWDM (WDM Densa) de gran capacidad es uno de los principales objetivos, y los esfuerzos se centran en factores tales como diafonía, ruido, sensibilidad a la polarización y estabilidad. Esta técnica de multiplexación permite transmitir varias longitudes de onda por la misma Fibra óptica. Esta necesidad esta dada por las dificultades tecnológicas para llegar a 10 Gb/s en la estructura SDH y la posibilidad de hacerlo mediante 4x2,5 Gb/s en DWDM. Los componentes DWDM son del tipo NxM (N entradas y M salidas) que pueden ser utilizados como crosconectores de longitud de onda (λ) y multiplexación de inserción-extracción. Los módulo DWDM se construyen con 3 tipos de técnicas: Filtro dieléctrico, AWG y ranuras de Bragg.

-Filtro dieléctrico: Es un film depositado sobre un substrato de vidrio. Deja pasar una sola longitud de onda desde el equipo DWDM. Las reflejadas pueden ser vueltas a filtrar hasta

separar todas las longitudes de onda. Las técnicas de film convencionales aplican ZnS (sulfuro de zinc) o criolita como depósitos para diseñar una cavidad Fabry-Perot.

-AWG (Arrayed Waveguide Grating) se trata de un sustrato de Silicio sobre el que se dibujan las guías de ondas, una por cada FO de entrada, progresivamente de longitud mayor. Las mismas se encuentran estranguladas en 2 puntos donde se realiza la

focalización entre distintas λ s. Se crea así un diagrama de interferencia en la puerta de salida.

-Filtro del tipo Bragg Grating. En esta técnica la realimentación se provee por la perturbación periódica geométrica a lo largo de la cavidad. El período de las ranuras es $T=\lambda/2.n$. La longitud de onda λ se toma en el vacío y n es el índice de refracción. Estas ranuras actúan como espejos para la λ calculada y son transparentes para las demás.

En este anexo se describen algunas consideraciones de elementos de red que se deben tener en cuenta cuando se diseñe una red 100% óptica.

1.1 TRANSMISORES ÓPTICOS

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:

- **Diodos Láser.** Un láser es esencialmente un amplificador óptico encerrado en una cavidad reflexiva que causa una oscilación vía retroalimentación positiva, son ampliamente utilizados en fuentes ópticas. La función de estos dispositivos es convertir la energía de una entrada eléctrica en energía de salida óptica. Son capaces de lograr altas potencias de salida, típicamente entre 0 y 10 dBm. El principio de operación de un láser se muestra en la Figura 1. 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 y parte se refleja, la onda reflejada se refleja nuevamente en la placa izquierda 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.

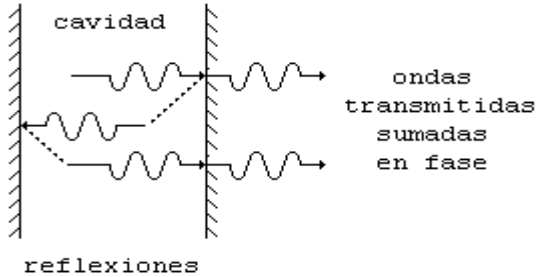


Figura 1.1 Principio de operación de un láser.

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. En la actualidad existen láser de longitud de onda fijas y sintonizables, donde se puede determinar una longitud de onda dentro de un rango de ellas. En los láser, 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 esta corriente umbral provoca que el diodo emita luz incoherente (caso de los LEDs). Los láseres para DWDM, deben cumplir unos requisitos básicos que pueden resumirse en generación precisa de las longitudes de onda en el interior de una rejilla estandarizada, capacidad de sintonización dentro del ancho de banda de los EDFA, y rapidez de conmutación de la λ dependiendo de la aplicación. La aparición de láseres de fibra con múltiples λ s realza la clásica competencia entre los semiconductores y los dispositivos basados en fibra. En la figura 2 se ven los principios generales de como enviar luz láser en

una fibra. El diodo láser emite luz en una dirección que se debe enfocar en la fibra con una lente y en la otra dirección en un fotodiodo. El fotodiodo, que tiene un ángulo para reducir las reflexiones en la cavidad del láser, es una forma de monitorizar la salida del láser y suministrar la retroalimentación necesaria para los ajustes.



Figura 1.2 Diseño típico de un láser

Los requerimientos para láseres incluyen una λ , un ancho del espectro estrecho, suficiente potencia, y control del chirp (el cambio en frecuencia de una señal en el tiempo). Los láseres semiconductores satisfacen bien los tres primeros requerimientos. Sin embargo el chirp puede estar afectado por los medios usados para modular la señal. En los láseres modulados directamente, la modulación de la luz que representa el dato digital se hace internamente. Con modulación externa, la modulación se hace en un dispositivo externo. Cuando los láseres semiconductores son modulados directamente, el chirp puede llegar a ser un factor limitador a altas velocidades (por encima de 10 Gbps). Por otro lado la modulación externa ayuda a limitar el chirp.

- **Diodos LED.** Son dispositivos ampliamente utilizados en redes de tasas de transmisión bajas y de corta distancia. Un LED es una juntura-pn 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 láser. Una potencia de salida típica de éstos es del orden de -20dBm , estos dispositivos no pueden ser modulados directamente y la tasa de transmisión más alta alcanza unos pocos cientos de Mbps.

1.2. DETECTORES O RECEPTORES OPTICOS

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 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 fotodetección. Si la señal del oscilador local es ligeramente diferente a la señal entrante, la corriente resultante en la salida del fotodetector, es centrada en alguna frecuencia pasabanda, denominada frecuencia intermedia. Una ventaja clave de este tipo de detección es la sensibilidad que es el 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 bit, ignorando toda la información de fase y frecuencia. El criterio de detección es el mismo para señales analógicas 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.

1.3. 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 un tasa de bit y formato de señal específico, en cambio, los amplificadores ópticos son insensibles a la tasa de bit 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 los 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. 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 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: Amplificador de Fibra Dopada con Erblio (EDFA), Amplificador de fibra dopada con Praseodimio (PrEDFA), Amplificador de Fibra Dopado con Neodimio (MdDFA), Amplificador Óptico semiconductor (SOA), entre otros. Entre las cualidades del amplificador EDFA el más utilizado en sistemas DWDM se cuentan: Amplificación directa de la luz, Alta potencia de salida, Bajo ruido, Amplio ancho de banda (\sim THz), Alta ganancia (\sim 30 dB), Conexión con bajas pérdidas, Pequeñas no linealidades y no introduce Crosstalk cuando amplifica señales WDM

1.3.1 Amplificadores ópticos de fibra dopada con erbio EDFA (Erbium Doped Fiber Amplifiers). Su funcionamiento se basa mediante un Láser, operando en emisión continua (980 o 1480 nm), se produce un bombeo óptico de electrones del Er (el electrón absorbe el fotón) y pasa a un nivel de energía excitado incrementándola. El Láser de bombeo es de alta potencia (250 mw) pero es usado a menor valor que el máximo (40 mw) para incrementar la vida útil del componente. Desde este nivel de energía se pasa a un estado meta-estable desde donde se produce la emisión estimulada en coherencia con la radiación de entrada (1550 nm) a amplificar. Por ejemplo, con una bomba de 980 nm y una entrada de -5 dBm (mínimo valor según G.957 para STM-16 de SDH a 1550 nm) se puede obtener una salida de +13,5 dBm a 1550 nm. Se los usa tanto como amplificador de salida (alta potencia de transmisión), en puntos intermedios o como amplificador de entrada (pre-amplificador). Para incrementar la disponibilidad en el amplificador de salida se colocan 2 Láser como bombas una en cada extremo de la fibra óptica activa. Como Preamplificador

usa solo un láser bomba para mejorar la figura de ruido. Algunas de las características comerciales típicas de estos amplificadores son:

- Bajo consumo energético y son independientes de la polarización de la luz;
- Útiles para señales digitales y analógicas y disponen de elevada linealidad aún con alta potencia;
- Ganancia de 30 dBo y potencia de saturación de +15 dBm. La figura de ruido es 4,5 dB;
- Sensibilidad del preamplificador es -37 dBm a $BER = 10^{-10}$ en STM-16;
- Ancho de banda óptico de 35 nm;
- Se puede supervisar la temperatura y corriente de Láser bomba, la potencia de entrada y salida;
- Disponen del corte automático (shutdown) para protección en ausencia de potencia o conector (G.958).

Se encuentran en diseño amplificadores ópticos para 1300 nm. basados en fibras ópticas de vidrio fluorado dopadas con praseodimio. Las FO de Si tienen una actividad de fotones incompatible con la S/N requerida. El problema radica en la distinta temperatura de fusión para los empalmes entre las fibras de flúor y silicio. Los EDFA se han fabricado normalmente sobre FO de Silicio. Sin embargo, la respuesta de ganancia en función de la longitud de onda no es suficientemente plana dentro de la banda de 1525 a 1560 nm (más de 12 dB). Este efecto es perjudicial si el EDFA se utiliza en aplicaciones de multiplexación por división de longitud de onda densa (DWDM). En este caso se requiere un reciente diseño de EDFA sobre FO de fluoruro la cual mantiene en la banda de 1525-1560 nm una variación de respuesta inferior a 3 dB.

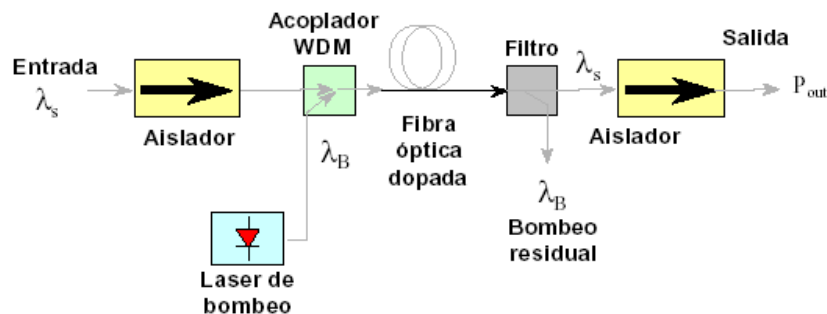


Figura 1.3 Esquema básico del EDFA

1.3.1.1 Características de los EDFA

Ventajas

- Bajas pérdidas de acoplo: ganancia alta (>40 dB), realimentación y rizado en la banda bajo, Figura de ruido 3,5-12 dB.
- Insensible a la polarización
- Almacenamiento de energía alto: Funciona en saturación, Baja diafonía.
- Potencia de saturación alta (>10 dBm). Pout (1-4000 mW)
- Ancho de banda insensible a la temperatura
- Ancho de banda de ganancia reproducible 1520-1570 nm

Desventajas

- Ancho de banda estrecho y Bombeo con DL

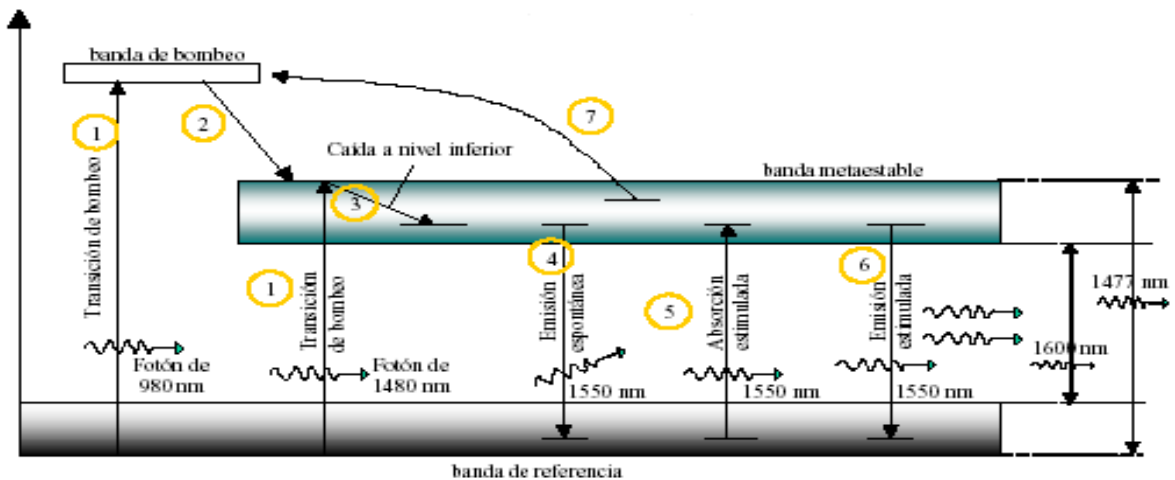


Figura 1.4 Esquema de Niveles del EDFA

1.3.1.2 REQUISITOS DE FUNCIONAMIENTO DEL EDFA

Los requisitos de funcionamiento óptico más importantes de los amplificadores son los siguientes:

- **Ganancia.** La ganancia del amplificador debe ser capaz de compensar las pérdidas de la planta en cada vano. Son valores típicos en la red de transporte 15-20 dB.
- **Potencia de salida.** Con el fin de aprovechar al máximo la capacidad de transmisión de la fibra, es conveniente que el amplificador sea capaz de generar la máxima potencia óptica que admite la fibra sin degradar sus características por fenómenos no lineales. Dependiendo del número de portadoras, formato de modulación y longitud de los vanos, la potencia máxima puede oscilar entre +5 y 15 dBm.
- **Factor de ruido.** Los amplificadores no son dispositivos ideales, y en un ancho de banda óptico de unos 30 nm emiten ruido de emisión espontánea, Los amplificadores ópticos presentan ganancia gracias al fenómeno de emisión estimulada, que consiste básicamente en que por cada fotón que llega al amplificador se emiten varios en fase con él. Sin embargo, la emisión estimulada está siempre acompañada de la emisión espontánea, que consiste en la generación de fotones independientemente de la existencia o no de la señal óptica de entrada. Por tanto, en un sistema de comunicaciones la emisión espontánea se manifiesta como ruido. Este ruido, representado como N_{sp} , se puede expresar como:

$$N_{sp} = (G) F h \nu \quad (\text{ecuación 1})$$

Donde, N_{sp} : Densidad espectral de ruido de emisión espontánea a la salida del amplificador. G : Ganancia del amplificador. F : Factor de ruido. h : Constante de Planck, ν : Frecuencia óptica. El factor de ruido mínimo teórico en un amplificador óptico es 3 dB. En la actualidad es posible adquirir amplificadores con factores de ruido inferiores a 5 dB.

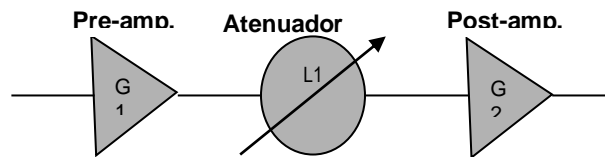
- **Retardo diferencial entre polarizaciones.** Es necesario que la diferencia entre los retardos que introduce el amplificador ante las dos polarizaciones de la fibra sea lo más baja posible. Hoy en día es posible conseguir amplificadores con retardo diferencial inferior a 0,5 ps, pero si no se toman precauciones especiales en su fabricación el retardo puede ser superior incluso a 5 ps.

A excepción del tratamiento del ruido amplificado en cada EDFA, el cual es inherente a la regeneración 1R, se han desarrollado diversas estrategias para minimizar los problemas de los transientes de potencia y de la ganancia no plana del EDFA se plantean las siguientes estrategias:

- Con el fin de atenuar los efectos rápidos del transiente de potencia, se pueden incorporar sistemas de control con mecanismos de atenuación interna para ajuste de ganancia. Esto permite al sistema una mayor capacidad de transmisión. La velocidad de los transientes de potencia resultantes de la carga de canales y por lo tanto de velocidad requerida para proteger al sistema de ellos, es proporcional al numero de EDFA's en la red y es muy alta para sistemas DWDM de largo alcance. Se tienen los siguientes esquemas de protección contra transientes rápidos de potencia en redes amplificadas:
 - a) Control de Bombeo. Mediante el ajuste instantáneo de la corriente del láser de bombeo, se varía el nivel de inversión de la señal óptica. De esta forma puede ser controlada la ganancia del EDFA, limitando la excursión de potencia de los canales sobrevivientes. Este esquema de control requiere protección en cada EDFA en la red.
 - b) Control de Enlace. Esta técnica usa un canal de control en la banda de transmisión para controlar la ganancia de cada EDFA. En un sistema DWDM con varias etapas de amplificación, un canal de control es insertado antes del primer EDFA en la red. La potencia del canal de control es ajustada para mantener constante la potencia total de los canales de señal y el canal de control en la primera entrada del EDFA. Esto mantiene la carga constante es todos los EDFA's del enlace. El canal de control es eliminado después del primer EDFA para prevenir una carga impropia de los enlaces de bajada.
 - c) Control Láser. En esta técnica, una señal de compensación es generada en la primera etapa de amplificación, mediante un láser de realimentación completamente óptica. La estabilización es alcanzada rápidamente y la excursión de potencia de salida es reducida a menos de un Decibel. La velocidad de la estabilización está limitada por las oscilaciones de relajación del láser, las cuales dependen de la calidad del dispositivo.
- Para ecualizar la ganancia de un EDFA se han desarrollado diversas estrategias, una de ellas utiliza un filtro ASE el cual se inserta en la etapa intermedia del bloque de

amplificación con el fin de prevenir saturación de ganancia causada por el pico ASE alrededor de 1530 nm. Cuando el sistema contiene una cascada de EDFA's aparece otro pico de ganancia alrededor de la longitud de onda de 1560 nm. Para ecualizar la señal se puede utilizar un filtro sintonizado en esta longitud de onda.

Otra estrategia para aplanar la ganancia consiste en ajustar la potencia de entrada del transmisor, de tal forma que las potencias en todas las longitudes de onda recibidas en el destino sean iguales. Una tercera estrategia para ecualizar la ganancia consiste en demultiplexar las longitudes de onda individuales y luego atenuar longitudes de onda seleccionadas a fin de que todas tengan igual potencia. La ecualización de la ganancia del EDFA también permite extender su rango operacional y compensar los efectos debidos a variaciones de pérdida de fibra en la banda de la señal. Otra estrategia para ecualizar la ganancia del EDFA utiliza un Atenuador Óptico Variable (VOA, Variable optical Attenuator), con el cual se obtiene una ganancia externa diferente, mientras mantiene una ganancia constante dentro de la fibra. Debido a que el VOA introduce pérdidas de inserción al sistema, su ubicación en el EDFA debe ser óptima para minimizar el impacto en el desempeño del sistema, La ubicación del VOA antes del EDFA disminuye la OSNR del sistema, lo que degrada la calidad de transmisión. Su ubicación después del EDFA requiere alta potencia de salida, lo que incrementa el costo del EDFA. Para minimizar el impacto de las pérdidas introducidas por el VOA, se ha demostrado que su embotramiento entre las etapas de pre-amplificación y post-amplificación del EDFA provee la solución óptima.



$$G_{\text{total}} = G1 - L1 + G2 \quad (\text{ecuación 2})$$

G1: Ganancia del EDFA 1

L: Pérdidas de Inserción del VOA

G2: Ganancia del EDFA 2

Figura 1.5 Ubicación óptima del VOA en el EDFA

También es crítico que el espectro de atenuación del VOA sea muy plano. Cualquier falta de uniformidad en el VOA degradara la ganancia plana del EDFA. Es muy deseable que el VOA sea controlado eléctricamente y no mecánicamente. El control eléctrico permite ajustar fácilmente el sistema, facilitando la implementación de modificaciones en forma simple y remota. El VOA permite mantener ecualizada la potencia de los canales multiplexados; sin embargo, el uso de otros componentes ópticos pasivos puede introducir variaciones significativas en la potencia entre canales adyacentes. La magnitud de esta variación de potencia de canal depende principalmente de la arquitectura del sistema, la tecnología utilizada y la estrategia de amplificación de la capacidad del sistema utilizada. En el caso más crítico es posible que diferentes canales tengan niveles de potencia que saturen al receptor, o que estén por debajo del nivel de sensibilidad requerido. También se ha desarrollado un amplificador óptico para la región de 1300 nm, conocido como Amplificador de fibra Dopada con Fluoruro Praseodimio (PDFFA, Praseodymium-Doped Fluoride Fiber Amplifier). El PDFFA tiene bajos niveles de interferencia entre canales y de ruido, y permite alcanzar altas ganancias. Es capaz de operar sobre un rango de aproximadamente 50 nm (1280 nm a 1330 nm) y presenta una ganancia de 20-40 dB. También se han desarrollado amplificadores ópticos co-dopados con Germanio y Aluminio a fin de obtener mayores coeficientes de ganancia. Desde el punto de vista del balance de potencias, hay que tener en cuenta que los amplificadores compensan las pérdidas de canal en un valor igual a su ganancia, salvo que se saturen, esto es, que trabajen a ganancias inferiores a la nominal. En principio cualquier pérdida de canal puede ser compensada con amplificadores, pero aumenta el ruido que introducen éstos a través del ASE. Desde el punto de vista del balance de tiempos, los EDFAs no van a afectar a los cálculos del mismo salvo en que al eliminar los regeneradores los tramos de fibra sin compensar dispersión son mucho más largos en la 3ª ventana.

1.3.1.3 Aplicaciones de los EDFA's

Por su situación dentro de un enlace los Amplificadores Ópticos de Fibra Dopada con Erblio pueden ser divididos en

- Preamplificadores
- Amplificadores de potencia
- Amplificadores en línea.

Los EDFAs se han utilizado para una serie de aplicaciones en enlaces terrestres, con datos tanto en formato digital como analógico, y también en enlaces submarinos. De acuerdo a la aplicación para la que estén fabricados, los EDFA varían sus características principales adecuándose al enlace para el que son diseñados. Las aplicaciones de pre-amplificador o de amplificador de potencia son válidas para distancias moderadas, menores de 200 km. Para mayores distancias, si no se desean poner regeneradores, habrá que utilizar un esquema de amplificadores en línea.

Preamplificadores. El objetivo de los preamplificadores es el de mejorar la sensibilidad en el receptor a base de amplificar justo antes de que se reciba, normalmente en un fotodiodo pin.

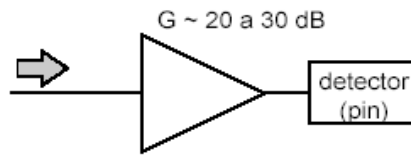


Figura 1.6 Preamplificador

La potencia a la salida del amplificador es:

$$P_{\text{amp}} = GP_s + P_{\text{sp}} \quad (\text{ecuación 3})$$

Con P_s la potencia que llega al amplificador y P_{sp} la potencia espontánea generada. Los amplificadores trabajan con mayores sensibilidades que las calculadas teóricamente para detectores limitados por el ruido cuántico, pero mucho menores que las realistas limitadas por ruido térmico, un enlace real necesita más de 1000 fotones/bit para conseguir un BER de 10^{-9} , mientras que un preamplificador puede conseguir lo mismo por debajo de 100

fotones/bit. Además, el preamplificador es bastante insensible a las condiciones externas y hace que el ruido sea independiente del circuito de recepción.

Amplificadores de potencia. El objetivo de los amplificadores de potencia es el intentar compensar las pérdidas por atenuación a base de aumentar la potencia de emisión. Para esta aplicación las componentes de ruido debidas a emisión espontánea no son tan importantes, porque se atenúan en la propagación y un enlace de estas características se parece más a un enlace convencional sin amplificadores.

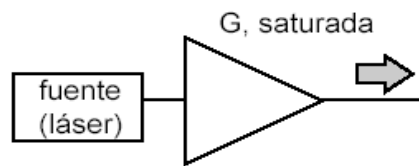


Figura 1.7 Amplificador de potencia

Trabaja fuertemente saturado para obtener la máxima potencia de salida (típicamente +17 a + 20 dBm): esto le hace muy robusto frente a variaciones en la potencia de salida de los láser. Llevan una configuración preparada para conseguir la mayor potencia de salida posible: una longitud bastante grande de fibra dopada, esquemas de bombeo especiales, generalmente con más de una fuente de bombeo y a 1480 nm (mayor potencia): pueden dar lugar a efectos no lineales. El ruido debido al ASE no tiene tanta importancia como en el caso de los preamplificadores, tras el amplificador la línea va a atenuar la potencia de ASE.

Amplificadores en línea. La aplicación para un enlace de larga distancia más importante es la de los amplificadores en línea. Los amplificadores se suelen colocar uno detrás de otro en longitudes cuya distancia es precisamente uno de los parámetros de diseño.

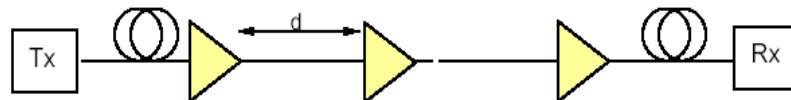


Figura 1.8 Amplificadores en línea

Generalmente funcionan de forma que la ganancia prácticamente compensa la atenuación de la línea entre dos amplificadores. Supongamos que N es el número de amplificadores ópticos, que L es la atenuación de cada longitud entre amplificadores $L = e^{-\alpha d}$ y que G es la ganancia de cada amplificador. Considerando que $L G = 1$, a la salida del amplificador N tenemos que:

$$S_{SP} = N2(G-1)n_{SP}h\nu \quad (\text{ecuación 4})$$

$$P_{sp} = S_{SP}\Delta v_{OPT} \quad (\text{ecuación 5})$$

$$P_{amp} = GP_S + P_{SP} \quad (\text{ecuación 6})$$

Por lo tanto la potencia de ASE va creciendo de amplificador en amplificador, mientras que la potencia total de salida permanece constante. Esto modifica las características de diseño de los enlaces, ya que si en un sistema sin amplificadores en línea las características del enlace venían impuestas por la sensibilidad del receptor, ahora esas características vienen dadas por el ruido que imponen los amplificadores en serie. Así, en esquemas con amplificadores en línea se trabaja con la SNR óptica, definida a la salida del amplificador N como:

$$SNR_O = \frac{P_{out}}{N2(G-1)n_{sp}h\nu\Delta v_{opt}}$$

(ecuación 7)

De lo que se trata es de saber qué SNRO necesitamos para tener un determinado BER y a partir de ahí jugar con los diferentes parámetros de la ecuación:

$$SNR_O(\text{dB}) \sim 58 + P_{out}(\text{dBm}) - L(\text{dB}) - NF(\text{dB}) - 10 \log_{10} N$$

Con un ancho de banda óptico de 0.1 nm Potencia de salida del amplificador Atenuación de la línea entre amplificadores

(Ecuación 8)

Hay que tratar de minimizar el número de amplificadores, pero existen restricciones por el ruido. Un enlace terrestre tiene $N L$ menores de 200 dB. La SNRO puede ser del orden de 20 dB. Eso significa que se pueden hacer enlaces con longitudes de 30-35 dB \Rightarrow 130-160 km entre amplificadores. Un enlace submarino tiene valores de $N L$ mayores de 1000 dB, y

valores de SNRo más restrictivos, del orden de 26 dB, lo que implica longitudes de 15-20 dB => 60-90 km entre amplificadores.

1.3.2 Amplificador óptico de semiconductor SOA

1.3.2.1 FPA (Amplificadores Fabry-Perot).

Tiene alto rizado de la ganancia por resonancia, Ancho de banda estrecho (5GHz), Sensible a las variaciones de temperatura, corriente y polarización de la señal, Filtrado de ruido inherente. Su principio de Operación se basa en una Cavity resonante Fabry-Perot, su fabricación mediante fibras terminadas en superficies semireflectantes, enfrentadas mediante un transductor piezoeléctrico. La posibilidad de sintonía se logra con la variación de la distancia entre las caras transversales de las fibras aplicando sobre el piezoeléctrico la tensión adecuada. Se utiliza como filtro de banda estrecha en Sistemas WDM y DWDM.

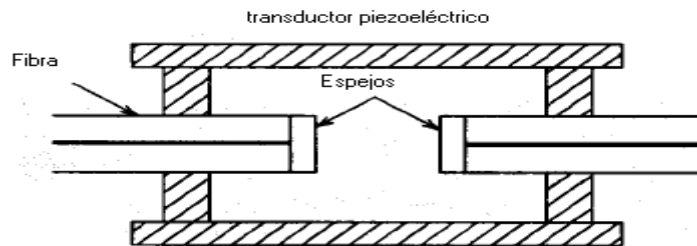


Figura 1.9 Filtro Fabry-Perot

- TWA o TWSLA (Travelling wave amplifiers) Como características se pueden nombrar: Bajo rizado de ganancia, Ancho de banda grande (50-70 nm), Requiere capas antireflectivas ($R < 10^{-3}$), Corriente de polarización alta, Ruido alto. Como ventaja se puede señalar que maneja control por corriente, es una Tecnología en uso, son Compactos e integrables y tienen buen ancho de banda. Su gran desventaja es la sensibilidad a la polarización, Diafonía, Pérdidas de acoplo, Factor de ruido relativamente alto y Potencia de saturación pequeña.

	SOA	EDFA
Ganancia	25-30 dB	30-50 dB
Potencia de saturación	5-10 dB	13-23 dBm
Factor de ruido	5-6 dB	4 dB
Dimensiones	< 1 mm	10-100 m
Banda de paso	30-60 nm	20-30 nm
Margen (nm)	1300-1600	1530-1565
Integración	posible	imposible

Tabla 1.1 Características EDFA-SOA

Los amplificadores ópticos son componentes claves en cualquiera de los sistemas de comunicaciones ópticas que se construyen en la actualidad. La principal problemática para su implantación en sistemas DWDM viene determinada por la necesidad de un espectro de ganancia y de ruido uniforme a lo largo de todo el ancho de banda de operación. Para conseguir ecualizar el espectro de ganancia se han empleado diversas técnicas que incluyen la utilización de dopantes para actuar sobre las secciones cruzadas de absorción y emisión estimulada, utilización de amplificadores multisección con diferentes dopantes, control del grado de inversión de población por medio de la longitud de onda o la potencia del bombeo, y finalmente filtrado óptico mediante redes de difracción o interferómetros Mach-Zehnder. Considerando como figura de mérito el rizado de la respuesta espectral de ganancia del amplificador, se han obtenido como mejores resultados valores inferiores al 5 % para el rango de longitudes de onda de 1532-1560 nm. El reencaminamiento a nivel óptico se traduce sobre los amplificadores en una variación del número de portadoras que deben amplificar. Esta variación impone dos requisitos:

1. El transitorio que sufre el amplificador cuando a su entrada se añade o retira un conjunto de portadoras no debe degradar la calidad del resto de portadoras en tránsito.
2. Los amplificadores deben trabajar en régimen de ganancia constante, independiente del nivel de potencia a su entrada. El nivel de ganancia debe, además, ser ajustable desde el sistema de gestión, dentro de unos márgenes de ingeniería de operación.

1.4 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 analógica digital: en el caso analógico, la portadora luminosa varía continuamente de intensidad; no así en el caso digital, donde el 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 OOK, por desplazamiento de frecuencias (FSK) y por desplazamiento de amplitud (ASK). En las fuentes ópticas láser, 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 esta 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, 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. El modulador óptico puede ser realizado mediante la técnica de Li Nb O₃, Mach-Zehnder MZ o electro-absorción de In P. El material sustrato (LiNbO₃ o AsGa) tiene dibujado mediante Ti una guía de onda monomodo. El voltaje aplicado modifica el tensor de permeabilidad óptica del material produciendo un cambio de fase o un efecto de acoplamiento modal en el desplazamiento de

la onda dentro de la guía dando lugar a una modulación (AM, PM), giro de polarización o conversión de frecuencia. El modulador Mach-Zender actúa como modulador AM ya que cada rama introduce una modulación de fase de igual magnitud pero de sentido opuesto con lo cual se obtiene una suma (interferómetro) diferencial. Por esto se llama modulador interferométrico. El uso de LiNbO₃ como sustrato produce una atenuación de 0,5 dB por cada interfaz de unión con la fibra óptica y una pérdida de propagación de 0,5 dB/cm. Esto implica que cada componente modulador puede introducir una atenuación total de 2 dB. La tecnología de AsGa está aún a muchos años de laboratorio respecto del LiNbO₃ pero tiene la ventaja de poder integrar circuitos electrónicos en el mismo sustrato. El LiNbO₃ requiere altos voltajes y por ello pone un límite a la miniaturización de componentes.

1.4.1 Interferómetro mach-zehnder

El Interferómetro Mach-Zehnder se fabrica mediante la conexión de dos acopladores (2x2) con un retardo de fase en una de sus ramas. Cuando el láser de transmisión y el modulador están integrados, esta integración elimina la necesidad de efectuar el control de polarización, lo que produce baja desviación de frecuencia. Esta formado por un arreglo de un divisor y un combinador ubicados en una porción de la guía de onda de transmisión, un elemento de retardo ajustable controla el camino óptico a lo largo de una de las guías, lo que resulta en una diferencia de fase entre las dos señales al ser recombinadas. El MZI bloquea las longitudes de onda para las cuales la diferencia de fase es 180° . El principio de operación es mediante un cambio de fase por diferencia de caminos ópticos entre las ramas del interferómetro. (Cambio de longitud o índice de refracción). Este modulador opera con una alta desintonía espectral respecto al láser. La desintonía espectral se define como la diferencia de frecuencia óptica entre el láser y el pico de fotoluminiscencia del modulador. En consecuencia los moduladores MZI presentan una baja sensibilidad a lo longitud de onda de entrada, esto hace que este dispositivo sea muy atractivo para su utilización en sistemas DWDM. Mediante la construcción de una cadena de estos elementos se puede seleccionar una longitud de onda específica. Aunque la cadena MZI es un dispositivo de costos relativamente bajos debido a que se puede construir a partir de material semiconductor, su control de sintonización es complejo, ya que el diseñador del sistema

debe realizar el ajuste del valor del elemento de retardo en cada etapa de la cadena, basándose en el ajuste de las etapas previas. El alto tiempo de sintonización es debido a los elementos térmicos usados para implementar el dispositivo de retardo. La Posibilidad de sintonía se realiza mediante control de la diferencia de caminos

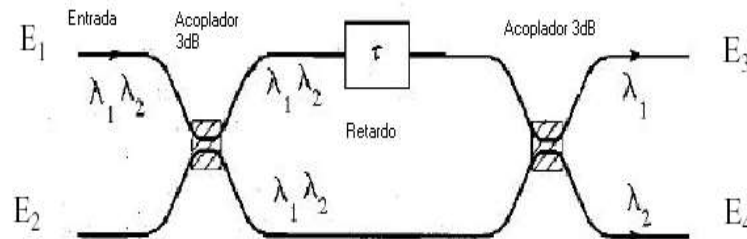


Figura 1.10 Interferómetro Mach-Zehnder (MZI)

1.4.2 Red de difracción de bragg

Una red de Bragg es una perturbación periódica en el medio de propagación, en general se realiza mediante la variación del índice de refracción del medio. Las fibras de rejillas de Bragg son fabricadas a partir de miles de secciones de modulación de índice de refracción impresas sobre el núcleo de fibras fotosensitivas utilizando dispositivos láser ultravioleta. Este proceso crea patrones de interferencia que reflejan o dejan pasar ciertas longitudes de onda, para lograr esto una variación periódica del índice de refracción es foto-inducida en el núcleo de la fibra óptica. Su principio de operación es mediante Interferencia de señales ópticas originadas por una misma fuente, pero con un desplazamiento de fase relativo diferente. Los lóbulos laterales se pueden suavizar diseñando la red con una variación del índice de refracción no uniforme

1.4.2.1 Red de bragg en fibra

El Principio de Funcionamiento de la red de Bragg se basa en la reflexión de cierta longitud de onda que depende de las características de la fibra y del periodo de la red de difracción. La fabricación se logra con un grabado de la red de difracción en el núcleo de la fibra mediante la interferencia de dos haces UV. Aplicaciones: Filtrado, Funciones add/drop, Compensación de la dispersión, Ecuilización de la ganancia en A.O.

Las redes de difracción sobre fibra óptica presentan las siguientes ventajas: fabricación sencilla, bajas pérdidas de inserción e insensibilidad a la polarización y fácil acople a fibra.

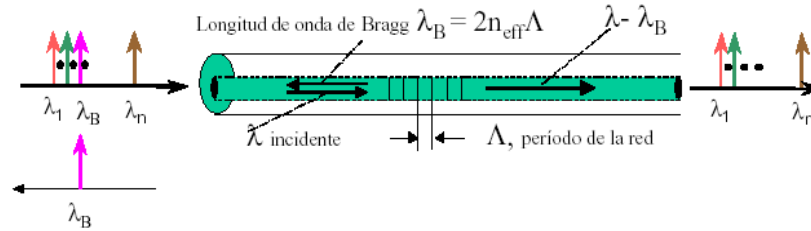


Figura 1.11 Red de Bragg

Dos características primarias de una rejilla de Bragg son la reflectividad, definida como la relación de energía reflejada y transmitida, y el ancho de banda espectral, el cual está determinado por la fineza del sistema. Aunque el inducir una rejilla directamente dentro del núcleo de una fibra genera bajas pérdidas de inserción, una desventaja de las rejillas es que su índice de refracción depende de la temperatura. Debido a esto, variaciones térmicas generan modificaciones de las longitudes de onda reflejadas, por lo cual se requiere de control de temperatura. Además las fibras de rejilla de Bragg requieren circuladores ópticos o un interferómetro de Mach-Zehnder ajustado para pasar longitudes de onda selectivas. Esta complicación es acumulativa a medida que el número de canales aumenta, a menudo en proporción directa al costo.

1.5 CONMUTADORES ESPACIALES

Las redes ópticas DWDM también necesitan conmutadores espaciales, los cuales se construyen mediante la integración de elementos conmutadores activos y de dispositivos combinadores y divisores pasivos. Las diferentes opciones para los conmutadores activos incluyen: activación mecánica, control termo-óptico, electro-ópticos, o completamente ópticos. Un importante factor de diseño de los conmutadores espaciales es la llamada relación on/off, siendo necesarios valores del orden de 30-40 dB para suprimir la diafonía interferométrica. En este sentido, los mejores conmutadores son los electromecánicos o aquellos basados en puertas de amplificador óptico de semiconductor. Los primeros se utilizan ampliamente debido a su relación on/off extremadamente alta, sus bajas pérdidas o

su facilidad de uso, aunque tienen como inconvenientes su baja integración y su reducida velocidad de conmutación. Los conmutadores basados en puertas de amplificador óptico de semiconductor, además de su relación on/off de 50 dB, ganancia neta y rapidez de conmutación, se utilizan en configuraciones llamadas clamped gain que proporcionan mayor linealidad.

1.6. CONVERSORES DE LONGITUD DE ONDA

Un conversor 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 conversores 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. 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, y Mezcla de ondas. El método opto-electrónico es, quizás, el más simple y práctico utilizado hoy en día para la conversión de longitudes de onda. 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 sintonizables. El desempeño y transparencia de estos convertidores depende del tipo de regeneración usada. 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. 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 100 nm. El fenómeno FWM que ocurre debido a las no linealidades del medio de transmisión puede ser utilizado para realizar conversión de λ s. La principal ventaja de este método es que es verdaderamente transparente, porque los efectos no dependen del formato de modulación, ni del Bit Rate. 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. La conversión de λ es una funcionalidad clave en las redes ópticas DWDM, una red que emplea conversores de longitud de onda resulta más fácil de gestionar porque la asignación de λ s puede determinarse de forma local. Por otro lado, el bloqueo de λ en los nodos ópticos puede reducirse cuando se conmuta en el dominio de la frecuencia. Por ello la red resulta más flexible y fácil de configurar y en general, los recursos de la red se utilizan de forma más eficiente bajo patrones de tráfico dinámicos. La forma más directa de realizar la conversión de λ es la basada en un conversor electro-óptico, donde la señal se fotodetecta para modular posteriormente un láser o modulador externo. Sin embargo, esta técnica es válida para tasas de 2,5 Gbit/s e inferiores, ya que a mayores velocidades el consumo de potencia y el costo aumentan considerablemente. A 40 Gbit/s sólo resulta factible la conversión de λ mediante dispositivos completamente ópticos. Dependiendo de la estructura de la red, se imponen diferentes requisitos a los conversores de λ , entre los cuales se encuentran:

- Transparencia al formato de modulación y a la velocidad.
- Penalización de potencia y pérdidas de inserción bajas.
- Longitud de onda de salida sintonizable.
- Funcionamiento independiente de la λ , polarización, margen dinámico o NSR de la señal de entrada.
- Potencias ópticas de entrada moderadas.
- Bajo consumo de potencia.
- Posibilidad de convertir a la misma longitud de onda (regeneración).
- Gran ancho de banda óptico, Insensibilidad a la polarización de las señales de entrada.

Evidentemente, todas las tecnologías de conversión de longitud de onda no cumplen con todas estas características, por lo que algunas de ellas serán más adecuadas que otras para determinados propósitos. Las tecnologías que existen comúnmente empleadas para la construcción de conversores de longitud de onda se explican a continuación.

1.6.1 Tecnologías de los conversores de longitud de onda

- Conversores optoelectrónicos.
- Amplificadores de Semiconductor.
 - Modulación de ganancia.
 - Modulación de fase.
 - Mezcla de ondas.
- Láseres.
 - Modulación de intensidad.
 - Modulación de frecuencia.
- Guías pasivas.
 - Mezcla de ondas.
 - Frecuencia diferencial.

1.6.1.1 Conversores basados en puertas ópticas

Este tipo de conversor de λ es uno de los más simples. Su funcionamiento consiste en utilizar un dispositivo que actúe como una puerta óptica en respuesta a una excitación óptica. De este modo, los efectos de saturación de la ganancia de un dispositivo activo, como por ejemplo un SOA, pueden utilizarse para convertir la longitud de onda de la señal. Esta técnica se conoce con el nombre de modulación de ganancia cruzada (XGM). La ganancia del SOA se satura cuando aumenta la potencia óptica de entrada debido a la disminución de la densidad de portadores. Esto ocurre para potencias de unos -10 dBm. De este modo, el patrón de datos de la señal óptica de entrada puede modificar la ganancia del SOA e imprimir esta modulación sobre una señal continua que se introduzca al mismo tiempo en el SOA. El resultado final es que los datos de la señal de entrada se transfieren a la longitud de onda de la señal continua. Es decir, esta señal se amplifica cuando el nivel de la señal de entrada es bajo, y se atenúa cuando el correspondiente nivel de la señal de entrada es alto (saturación). Como se puede ver en la figura 14(a), este proceso tiene la particularidad de que los datos aparecen invertidos sobre la nueva λ . La gran ventaja del convertidor basado en XGM es su simplicidad que le permite incluso alcanzar tasas de bit de hasta 40 Gbit/s. Para alcanzar velocidades elevadas se requiere que la densidad de fotones en la región activa sea alta, lo cual puede conseguirse aumentando las potencias ópticas, el factor de confinamiento, la corriente de polarización, la ganancia diferencial y la longitud del SOA, el aumentar la longitud del dispositivo reduce el ancho de banda óptico, por lo que existe una solución de compromiso.

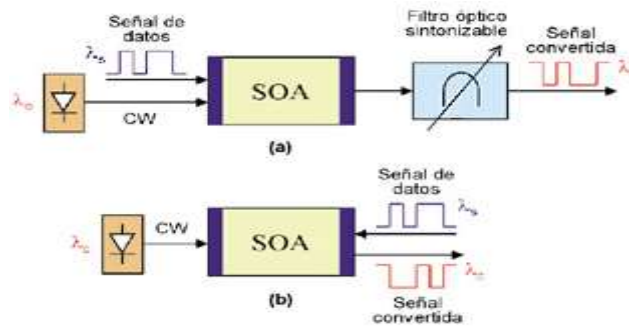


Figura 1.12 Conversores de longitud de onda basados en XGM

Otras ventajas de este esquema son su independencia frente a la λ de la señal de entrada y su alta eficiencia de conversión. Además puede ser independiente de la polarización si se diseña cuidadosamente. Entre los inconvenientes de esta arquitectura se encuentran la degradación de la tasa de extinción y de la SNR debido al ruido ASE. Las figuras de ruido se encuentran en torno a los 7-8 dB. Además se produce distorsión de amplitud y modulación de fase de la señal de salida como consecuencia de la variación de la densidad de portadores y del índice de refracción, lo que conduce a la aparición de jitter en la señal de salida. El dispositivo funciona mejor cuando la conversión se produce hacia λ s menores. Sus principales inconvenientes son que se encuentra limitada en velocidad debido al tiempo de tránsito de las señales y la señal convertida sufre bastante jitter.

1.6.1.2 Conversores interferométricos

Una técnica de conversión de λ que elimina algunas de las limitaciones del esquema XGM se basa en el fenómeno de modulación cruzada de fase (XPM). En este caso el cambio de fase asociado con la modulación de la ganancia se utiliza para controlar la interferencia a la salida de un interferómetro. La modulación de fase puede convertirse en modulación de intensidad mediante el uso del interferómetro. La pendiente de las características del interferómetro determina si habrá o no inversión en el patrón de bits, lo cual es una clara ventaja frente a la estructura basada en XGM. Adicionalmente, resulta posible conseguir una regeneración parcial de la señal así como transiciones bruscas. En general, XPM proporciona mejor eficiencia de conversión que XGM. El cambio de fase de 180 grados que se requiere para conseguir la conmutación en el interferómetro puede obtenerse con una variación de ganancia de tan sólo 4-5 dB. En cambio, los conversores basados en XGM requieren 10 dB de variación. Los esquemas interferométricos más ampliamente utilizados son: Mach-Zehnder, Michelson y NOLM (Nonlinear Optical Loop Mirror).

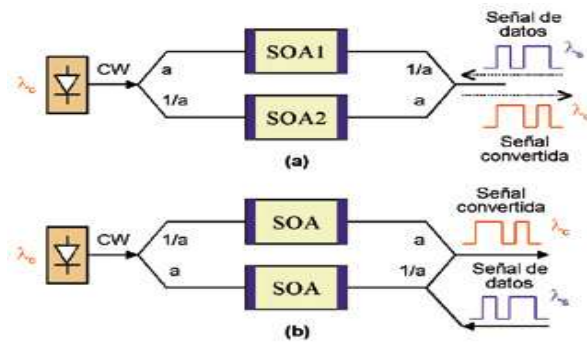


Figura 1.13 Conversor de Longitud de onda basado en el interferómetro de Mach-Zehnder

Para alcanzar la conmutación en el interferómetro se requieren fenómenos de interferencia constructiva y destructiva. En el montaje basado en el interferómetro Mach-Zehnder se supone una diferencia de fase entre ambos brazos. Esto puede realizarse de dos formas diferentes. En el primer caso, los acopladores de la entrada y de la salida acoplan potencias distintas a ambos brazos del interferómetro y SOAs, por lo que la diferencia de índices de refracción causa una diferencia de fase entre ambos brazos. En el segundo caso se consigue el mismo efecto acoplado la señal de datos solamente a uno de ambos SOAs. El estado natural del interferómetro (en ausencia de señal de datos) puede ajustarse para funcionar en modo de interferencia destructiva por medio de la corriente del SOA o empleando un elemento desfasador adicional. También se puede emplear un esquema de conversión de λ alternativo con un solo SOA en uno de los brazos, este caso es sensible a la polarización y proporciona una potencia de salida menor. Otra posible implementación es utilizando un interferómetro Michelson. La señal de datos se aplica nuevamente a uno de ambos SOAs para inducir una diferencia de fase entre los dos brazos del interferómetro. En cambio, la señal CW se acopla a ambos brazos, sufre una diferencia de fase, se refleja en los extremos de los SOAs y se combina de nuevo en la entrada para producir la interferencia.

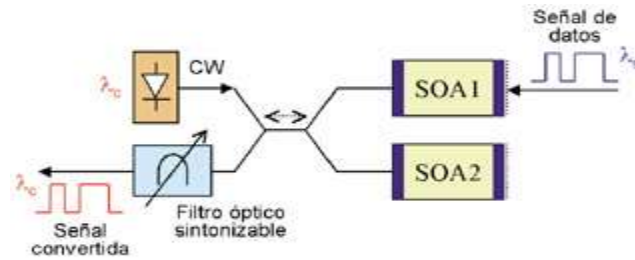


Figura 1.14 Convertor de longitud de onda basado en el interferómetro Michelson

Generalmente el interferómetro Michelson presenta el mayor ancho de banda de modulación, ya que la señal se inyecta directamente y la onda CW atraviesa el SOA dos veces. Este asegura una mayor potencia de señal y a su vez la longitud efectiva del SOA es mayor. Un NOLM puede emplearse también para la construcción de un convertidor de λ . En este caso la no linealidad se consigue mediante un bucle de fibra de 1 a 10 km de longitud. En el caso del NOLM, la no linealidad de la fibra es más débil y por ello se requieren considerables longitudes de fibra que dificultan la integración del dispositivo.

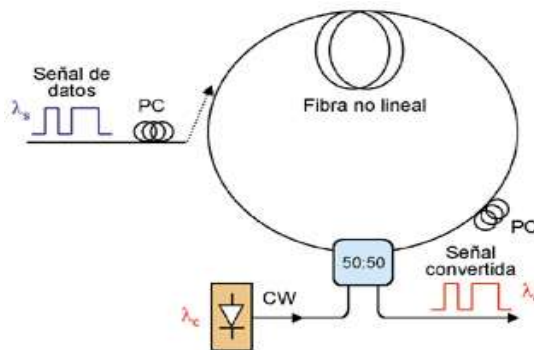


Figura 1.15 Convertor de Longitud de onda NOLM

1.6.1.3 Conversores basados en la mezcla de ondas

La mezcla de ondas es un proceso no lineal coherente que, a diferencia de XGM, requiere normalmente un control de la polarización y la fase de las señales ópticas. Puede ocurrir tanto en guías pasivas como en SOAs, las técnicas más típicas son la mezcla de cuatro ondas (FWM) y la generación de frecuencia diferencia (DFG). El fenómeno FWM consiste

en la interacción de diversas ondas en el interior de un medio no lineal para producir a su salida nuevas frecuencias, por lo que es un candidato ideal para la construcción de conversores de λ . Las nuevas ondas generadas tienen una intensidad proporcional al producto de las intensidades de las ondas que interaccionan, mientras que sus fases y frecuencias se forman como una combinación lineal de las fases y frecuencias de las ondas originales. De este modo, la información de magnitud, fase y frecuencia se mantiene tras el proceso de conversión y la técnica resulta independiente del formato de modulación de los datos, lo cual supone una clara ventaja. En el esquema más simple de conversión de λ intervienen dos ondas (una onda de bombeo que induce los efectos no lineales y una onda de señal que transporta los datos), para producir a la salida una nueva onda con los datos situada simétricamente respecto al bombeo. También aparecen nuevas ondas adicionales que no tienen utilidad para este tipo de aplicación. Este proceso no lineal tiene además la particularidad de venir acompañado siempre por un fenómeno de conjugación de la señal óptica que tiene gran aplicación para ecualizar la distorsión causada por la dispersión cromática de la fibra durante la transmisión. Los convertidores basados en FWM en SOA tienen características únicas que los hacen muy adecuados, como son una estricta transparencia frente al formato de modulación y un funcionamiento casi independiente de la tasa de bit. La eficiencia de conversión decrece conforme se separan en frecuencia las ondas de bombeo y de señal. Así, para una separación de 10 nm se producen reducciones de unos 15-25 dB. La principal limitación de los conversores basados en FWM es su fuerte dependencia con la polarización de la señal de entrada. Por ello se han propuesto diversos esquemas insensibles a la polarización, como por ejemplo el uso de dos ondas polarizadas ortogonalmente o el tratamiento separado de ambas polarizaciones. En guías pasivas de LiNbO₃ la interacción no lineal entre dos ondas puede utilizarse para la conversión de longitud de onda, lo que se conoce como DFG. Algunos parámetros típicos de estos conversores son una eficiencia de conversión de -6 dB, una potencia de bombeo de 100 mW, una longitud de interacción de la guía-onda de 2 cm o un ancho de banda de conversión de 90 nm. El proceso de DFG puede utilizarse para trasladar de forma simultánea un conjunto de canales WDM desde una λ central a otra sin necesidad de demultiplexar los canales individuales. Si bien puede emplearse FWM para conseguir el

mismo efecto, en el caso de DFG no se generan frecuencias adicionales y por lo tanto se reduce la diafonía. Debe tenerse en cuenta que en el caso de FWM no se pueden filtrar las componentes que se generan dentro de la banda de canales.

1.7. MULTIPLEXORES ÓPTICOS DE EXTRACCIÓN E INSERCIÓN

Los filtros y demultiplexores ópticos son componentes importantes para la realización de multiplexores “add/drop” y conmutadores ópticos en redes DWDM. Los multiplexores y los demultiplexores pueden ser de diseño pasivo o activo. El diseño pasivo se basa en prismas, rejillas de difracción, o filtros mientras que el diseño activo combina dispositivos pasivos y filtros sintonizables. Los principales retos en estos dispositivos es minimizar la diafonía y maximizar la separación de canal. La diafonía es una medida de cuanto están separados los canales, mientras que la separación de canales se refiere a la posibilidad de distinguir cada λ . Los filtros utilizados pueden ser tanto fijos como sintonizables, presentando estos últimos mayor flexibilidad.

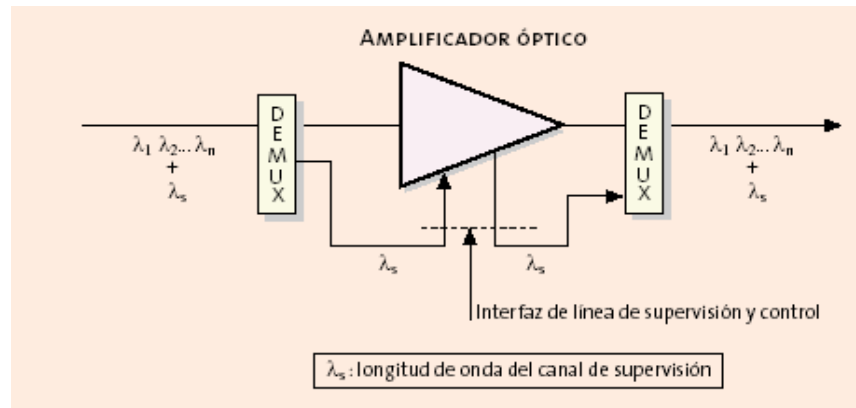


Figura 1.16 Amplificador óptico OADM

Los OADM son elementos que extraen de una fibra una portadora óptica e insertan otra. En unos filtros la λ que se inserta es nominalmente igual a la que se extrae; en otros es diferente. La extracción e inserción de una portadora se puede generalizar a una banda óptica, en la que caben varias portadoras contiguas. En las redes ópticas transparentes se utilizan multiplexores ópticos sintonizables, de forma que el operador pueda seleccionar la(s) λ que se extraen e insertan. Esta capacidad de sintonía transforma al filtro fijo de elemento pasivo y bajo costo en un elemento de red gestionable y de precio elevado. La

función de un Multiplexor óptico de inserción-extracción OADM es extraer un canal óptico que se transporta en una longitud de onda DWDM de una fibra óptica, e insertar un nuevo canal óptico a la misma longitud de onda, bien sea de forma fija o de forma dinámica mediante dispositivos reconfigurables.

1.7.1 OADM basado en conmutadores nxn.

En el OADM basado en conmutadores $N \times N$, se utiliza una matriz de conmutación $N \times N$. La tecnología más evolucionada es la Micro-Electro Mechanical Systems (MEMS), que se basa en micro-espejos controlados mecánicamente mediante tecnologías electrostáticas o magnéticas.

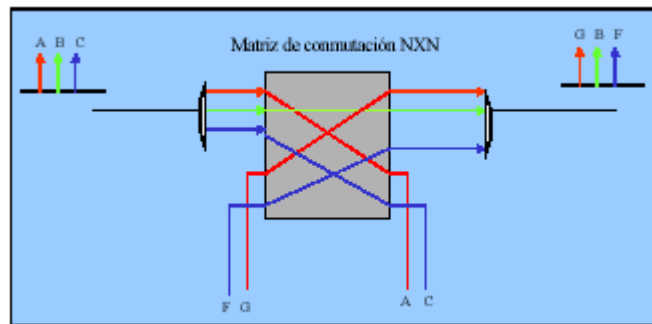


Figura 1.17 OADM reconfigurable basado en conmutadores $N \times N$

Los dispositivos AWG y Enrutadores de Guía de onda de Rejilla (WGR) son una de las tecnologías líder para la construcción del dispositivo OADM, debido a que permite integrar muchas funciones en un único dispositivo de óptica integrada. Básicamente, el AWG es un dispositivo de N entradas y N salidas que permite multiplexar, demultiplexar y enrutar. Mediante la combinación de un AWG de $N \times N$ y varios conmutadores 2×2 (uno por λ) se pueden obtener nodos ópticos con funcionalidad de OADM.

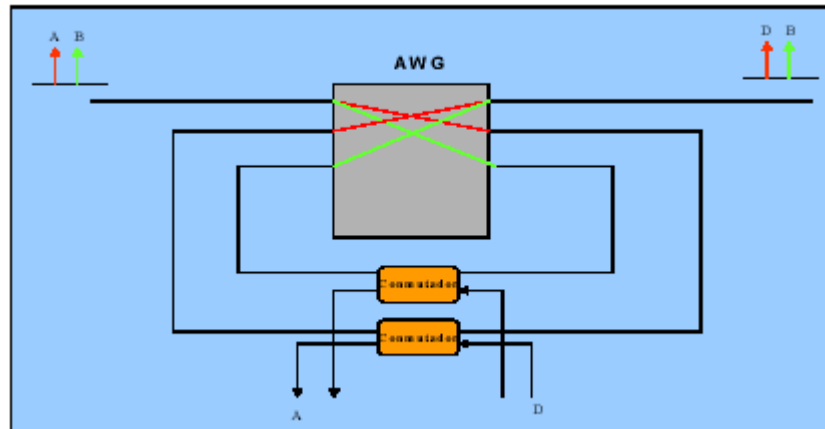


Figura 1.18 OADM utilizando AWG

Un AWG se fabrica mediante dos acopladores en estrella unidos por un arreglo de guías de ondas de distintas longitudes y curvaturas, fabricados sobre un mismo sustrato (SiO_2/Si) ($\text{GaAs}/\text{AlGaAs}$) ($\text{InGaAlAs}/\text{InP}$). Se fabrica mediante el depósito de capas delgadas de vidrio de sílice sobre obleas de silicio procesadas a altas temperaturas. Es diseñada para dirigir cada longitud de onda sobre un bloque alineado de silicio que contiene salidas de fibra múltiples. Debido a que las guías de onda son modeladas sobre silicio en forma muy parecida a la integración de chips electrónicos, el costo de la AWG no es proporcional a la cantidad de canales. Sus aplicaciones son como Multiplexor y demultiplexor de gran número de canales separados del orden de pocos nm.

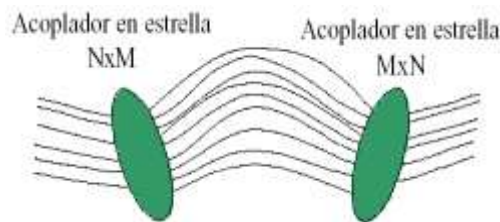


Figura 1.19 AWG

Esta tecnología de componente es la más eficiente en costos para producir sistemas DWDM con gran cantidad de canales en un paquete compacto. La principal desventaja radica en su desempeño, ya que generalmente tienen un filtro pasa banda inferior, altas pérdidas dependientes de polarización y pobres aislamientos entre canales no adyacentes.

comparados con otras tecnologías existentes. En aplicaciones con gran cantidad de canales requiere la adición de filtros de interferencia. Al igual que las rejillas de fibra de difracción, debido a la sensibilidad térmica, la AWG también necesita control de temperatura de su substrato plano.

Existen diferentes tecnologías para filtros sintonizables, pero una de las más prometedoras es la que utiliza rejillas de Bragg en fibras ópticas. Estos filtros tienen la característica de dejar pasar todas las λ s con muy débil atenuación, menos aquella que se sintoniza. Concatenado una serie de estos filtros en la fibra óptica se logrará separar tantas longitudes de onda como se quiera. Además, al ser filtros sintonizables podrán ser reconfigurables dinámicamente. Para extraer las λ s reflejadas se utiliza un circulador óptico, y una vez que se han extraído se separan mediante un demultiplexador.

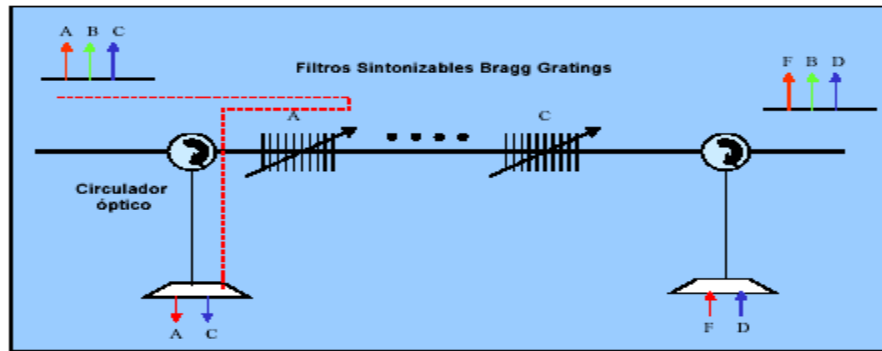


Figura 1.20 OADM reconfigurable basado en rejillas de Bragg sintonizables

1.7.2 interconexión entre OADM y equipos clientes

El OADM puede insertar y extraer un conjunto de canales ópticos simultáneos, y a la vez también habrá un conjunto de equipos cliente que deberán utilizar dichos canales. Los equipos cliente, como conmutadores Gigabit Ethernet, tienen varios puertos ópticos bidireccionales (transmisión y recepción) que pueden emitir en primera o segunda ventana. Por tanto se deberán adaptar estos puertos a las λ s que se insertan y se extraen de la red óptica. Cualquier equipo cliente pueda recibir e insertar cualquiera de las λ s disponibles en el OADM. Para solucionar esto se utilizan láseres sintonizables que permiten al equipo

cliente seleccionar una λ dentro de un rango, y conmutadores 1xN o NXM que permiten seleccionar diferentes puertos de entrada / salida de un OADM.

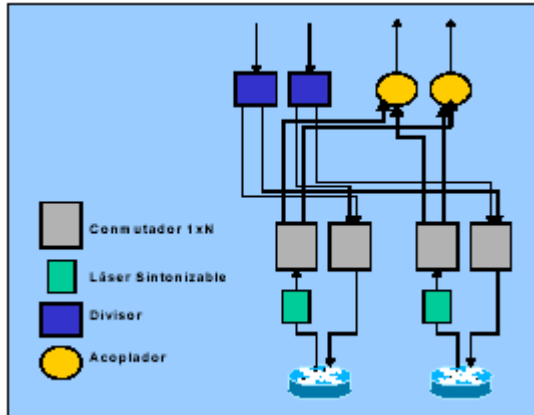


Figura 1.21 Interconexión equipos cliente y OADM con conmutadores 1xN

En la opción 1xN, se necesita un conmutador 1xN para cada transmisor y receptor, y una serie de splitters (divisores) y acopladores que dividen y agrupan la señal óptica respectivamente en N fibras ópticas. Existen divisores que compensan las pérdidas que introducen mediante la incorporación de amplificadores ópticos integrados en el mismo dispositivo. Un OADM consiste en un demultiplexor seguido de un conjunto de conmutadores 2x2 (un conmutador por cada λ) y seguido de un multiplexor. El OADM se puede insertar en un enlace físico de fibra. Si todos los conmutadores 2x2 están en estado de bar, entonces todas las λ s fluyen a través del OADM sin ser disturbadas.

1.7.3. Ventajas del uso del OADM

- Permite utilizar el estrecho ancho de banda de los filtros ópticos para extraer o insertar canales específicos en cualquier nodo del enlace óptico. El OADM ejecuta este procedimiento, permitiendo la completa reconfiguración de la mayoría, o de todos los canales DWDM.
- Su adecuada ubicación en la red óptica, mejora sustancialmente la flexibilidad y robustez de esta, implicando por tanto, reducción de costos.

- Facilita la gestión de la capacidad de la fibra óptica mediante la habilitación de la extracción y re inserción selectiva de canales DWDM en puntos intermedios en la línea del sistema.
- Provee ventajas en el aprovisionamiento y protección de la red mediante la manipulación de la capacidad del ancho de banda creada por DWDM. El OADM aumenta la eficiencia en la distribución del ancho de banda en la red, ya que permite interconectar geográficamente diversos centros a lo largo de los enlaces de transmisión sobre la fibra.
- Mediante el OADM, los enlaces DWDM usados para la comunicación entre los nodos en una red pueden ser adaptados permanentemente a las condiciones cambiantes de tráfico, a través del aprovisionamiento óptico flexible de la utilización de la capacidad en forma eficiente.
- El proceso de inserción-extracción de longitudes de onda en el OADM es reconfigurable y flexible, debido a la posibilidad de alterar por programación las conexiones de longitud de onda a través del dispositivo.

El OADM reconfigurable puede también ser usado para facilitar la restauración óptica, brindando la habilidad de re-enrutar tráfico alrededor de las líneas o nodos que presenten fallas, utilizando rutas alternativas asignadas mediante el proceso de inserción-extracción de longitudes de onda. Algunas recomendaciones que deben cumplir los OADM son:

- Deben configurarse para extraer un número máximo de canales
- La selección de canales a extraer debe de poderse realizar por el usuario mediante control remoto, incluyendo los transpondedores sin afectar a los que ya operan.
- No deben forzar al usuario a realizar una planificación de antemano de los canales que deben de extraerse en un nodo
- Deben mantener pérdidas constante independientemente del número de canales que se deseen extraer.

2. COMPONENTES OPTICOS PASIVOS

La conversión entre luz y electricidad no ocurre cuando el componente está activo o en funcionamiento. El principio de operación de los componentes ópticos pasivos se basa en la teoría de la óptica geométrica y ondas ópticas. Entre estos componentes tenemos conectores, empalmes, coplas bidireccionales que se usan para mezclar o dividir las señales ópticas que viajan por la red, multiplexores y demultiplexores ópticos, aisladores y circuladores ópticos. Estos dispositivos se caracterizan por ser unidireccionales. A este grupo también pertenecen:

2.1 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, en sistemas WDM. Además, proveen ecualización y filtraje de ruido en amplificadores ópticos. Estos dispositivos deben tener 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 (Crosstalk).

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

Filtro Acusto-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.

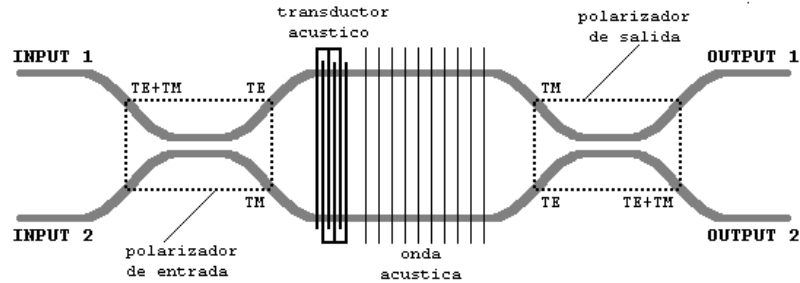


Figura 1.22. Filtro Acusto-Óptico.

Filtro 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.

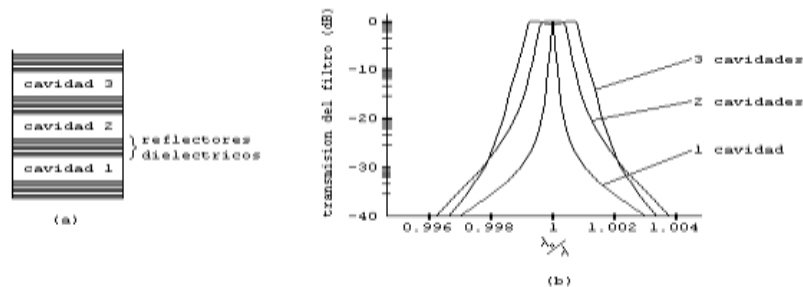


Figura 1.23 Filtro multicapas Dieléctricas.

Filtro Fabry-Perot: También llamados Interferómetros de Fabry-Perot. Estos filtros tienen su base de funcionamiento en el fenómeno de interferencia de ondas. La luz incidente en el dispositivo es alineada atravesando la primera placa 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

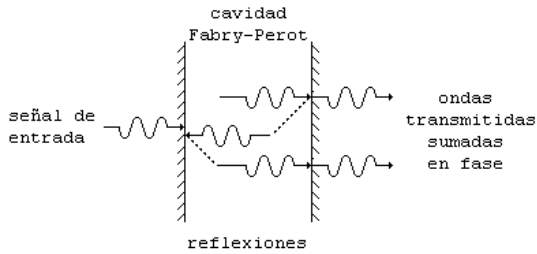


Figura 1.24. Filtro Fabry-Perot.

2.2. SWITCHES ÓPTICOS

Existen nodos estáticos y nodos dinámicos en una red óptica. Los nodos estáticos están formados por varias coplas bidireccionales y los nodos dinámicos lo forman los switches. El más simple de los nodos dinámicos es el conocido como switch división-espacio o comúnmente llamado Crosconector óptico (OxC). Existen 2 tipos de switch: por permutación y generalizados. Los switches por permutación conectan una de las entradas directamente con una de las salidas, por lo tanto, son uno a uno.

		Puertos de salida			
		1	2	3	4
Puertos de entrada	1				
	2		1	1	
	3	1			1
	4			1	

Figura 1.25 Matriz de switch por permutación.

El valor 1 en la matriz de conexión, indica que la entrada está conectada con la salida correspondiente. Debido a que el switch conecta uno a uno, la matriz de conexión debe ser cuadrada, y el rendimiento de este tipo de switch es de $n!$. La conexión específica entre un punto y otro, es manejada por un agente externo; es por esto que este tipo de nodos es llamado dinámico, ya que se puede controlar el puerto de salida de una señal de entrada. Los switches generalizados pueden conectar una entrada a varias salidas, o varias entradas a una sola salida. En un switch de n entradas y r salidas, el rendimiento es de 2^{nr} . Cabe

especificar que los switches generalizados tienen la habilidad de terminar con una conexión, esto se logra haciendo cero todos los valores de una fila o una columna. Sin embargo, este tipo de nodos genera un problema de potencias, debido a que en una salida se puede tener varias señales de entrada variando la potencia de ésta.

2.2.1 Crosconector óptico (OXC, Optical Cross-Connect)

Los crosconectores ópticos son los elementos básicos de enrutamiento de las señales ópticas en una red óptica, y se pueden distinguir como crosconectores de conmutación de fibra y crosconectores de selección de longitud de onda.

2.2.1.1 Características

- **Puerto de única longitud de onda.** Es la estrategia inicial de despegue, los puertos OXC son únicamente de una longitud de onda. Según la evolución de la capa óptica, los puertos compatibles de DWDM que integran las funciones de demultiplexación/multiplexación de longitud de onda en el crosconector, dan lugar a importantes beneficios desde el punto de vista de gestión de red y de costo.
- **Conectividad total y sin bloqueo.** Se puede establecer cualquier conexión desde un puerto disponible de entrada con cualquier puerto disponible de salida sin perturbar ni reorganizar las conexiones existentes, y sin afectar en ninguna forma la calidad de estas conexiones.
- **Soporte a la multidifusión.** Las conexiones de multidifusión se soportan desde cualquier entrada a cualquier grupo de salidas, sin ninguna restricción. Cualquier número de conexiones de multidifusión se soporta simultáneamente y el OXC permanece sin bloqueo de sus puertos.

La combinación de conectividad total y multidifusión tiene especial interés para insertar / extraer con la funcionalidad de extraer y continuar, así como para el acceso de pruebas, permitiendo la asignación de cualquier subconjunto de los puertos de entrada / salida del OXC, a criterio del operador, como puertos de inserción / extracción (λ única) o como puertos de acceso de pruebas. En este último caso, el operador puede conectar cualquier puerto(s) a los puertos de acceso de pruebas asignados mediante el establecimiento de las

conexiones apropiadas a través de la estructura de conmutación. De esta forma los puertos de acceso de pruebas se pueden conectar directamente al equipo externo, permitiendo conexiones terminales y de paso que se prueben en el OXC los siguientes parámetros:

- Escalabilidad. Para permitir el crecimiento indefinido de la red.
- Modularidad. La facilidad para dimensionar el OXC como una función de la capacidad requerida para reducir el costo de la instalación inicial y del crecimiento futuro.
- Tiempos rápidos de conmutación para aprovisionamiento y restablecimiento. Las líneas privadas pueden tolerar tiempos de aprovisionamiento del orden de un segundo. Con respecto al restablecimiento, el objetivo de SONET/SDH es 50 ms, mientras que en las actuales redes mixtas se pueden emplear varios minutos e incluso horas. Se espera que la mayoría de las aplicaciones tengan como máximo 1 segundo de restablecimiento.
- Supervivencia mediante redundancia total (1+1) del centro de conmutación y de la plataforma de control. La arquitectura dual también facilita una mejora en el servicio eficiente y con bajo riesgo sin afectar al servicio.
- Operación, administración, mantenimiento y aprovisionamiento. El OXC suministra facilidades de verificación de la conexión y supervisión.
- Flexibilidad y eficiencia. El reto al que se enfrenta la industria actualmente es ofrecer flexibilidad en las redes locales, con altas velocidades binarias y transparencia de protocolos, al tiempo que se potencia al máximo la eficiencia en la gestión del ancho de banda en las redes de larga distancia. En las redes principales de larga distancia, los desarrollos de la tecnología óptica estarán dirigidos a permitir reagrupar las longitudes de onda, encaminar y proteger / restablecer la red de la información de alta velocidad binaria de una manera más eficiente.
- Monitoreo de la señal. En las actuales redes SONET/SDH hay varias formas de monitorear la integridad de las señales digitales ya que se pueden afectar en cada uno de los elementos de la red. Aunque los mecanismos de monitoreo son dispositivos adicionales en la red sincronía que necesitan hacer conversiones OEO, fácilmente detectan y aíslan fallas. Además, durante el periodo de pérdida de la señal o la pérdida de tramas o cualquier otro tipo de falla, los sistemas SDH tienen encabezados

apropiados para insertar una señal de indicación de alarma, la cual notifica a los enlaces descendentes que hay fallas en los enlaces ascendentes y así se puedan tomar las acciones mas apropiadas.

Cuando el tráfico cursado no es SONET/SDH (celdas ATM y paquetes IP), se insertan y se transportan por una red SDH con el objetivo de mantener las características de operación, administración, mantenimiento y aprovisionamiento de la red. En la capa óptica, se extraen pequeñas porciones de señal del medio de transmisión y se encaminan hacia unidades de monitoreo cuya función es muy similar a la de los analizadores de espectro o fotodetectores. En esta etapa, se mide la intensidad de la señal, el nivel de longitud de onda, y la OSNR. Los OXC tienen fotodetectores que pueden medir la intensidad de la señal fácilmente para determinar si tiene un nivel de intensidad suficiente. Esta propiedad funciona bien cuando la fibra se ha cortado cerca de un OXC, en este caso, como existe un regenerador entre el sitio de corte y el OXC, es muy difícil evitar las perdidas de señal sin tener información adicional. La información de la OSNR es útil para localizar fallas, una señal que viaja a 2.5 Gbps o 10 Gbps usualmente tiene una OSNR superior a los 18 o 20 dB, respectivamente, que hace que mantenga un nivel bajo de BER. En algunos sistemas con FEC (Corrección de errores hacia delante), las especificaciones de la OSNR experimentan una disminución de cerca de 3 dB y aún así mantiene un buen nivel de BER que puede ser del orden de 10^{-8}

Una señal con una OSNR adecuada, también puede tener errores que pueden ser el resultado de la incapacidad del sistema de monitoreo para detectar deterioros causados por dispersión cromática o por efectos ópticos no lineales como modulación de fase cruzada o por automodulación de fase. Hasta que el monitoreo óptico no este bien desarrollado y las redes SONET/SDH no tengan un protocolo adecuado de transporte óptico, los equipos OXC's continuaran contando con una información eléctrica obtenida al convertir la información óptica original.

2.2.1.2 Aplicaciones del OXC

La principal función del OXC es configurar dinámicamente la red, a nivel de longitud de onda, tanto para el restablecimiento como para la adaptación de los cambios en la demanda de ancho de banda.

- Gestión de la conexión y del ancho de banda, para suministrar conexiones de canales libres para servicios OVPN y de canales ópticos con la capacidad de suministrar cargas útiles no SONE/SDH, así como para proveer funciones de inserción / extracción.
- Reagrupación de longitudes de onda, para mejorar la utilización de la infraestructura instalada.
- Soporte del crecimiento gradual de los servicios de 10 Gbps a 40 Gbps, reduciendo los costos de la red.
- Protección o restablecimiento a nivel óptico, para aumentar al máximo la eficiencia y fiabilidad de la infraestructura de la red principal a un costo más bajo de la red.
- Enrutamiento e interconexión a nivel óptico, como un repartidor óptico automatizado con acceso integrado, reemplazando algunos paneles de conmutación de fibra y gestión de longitudes de onda para anillos conectados entre sí.
- Asignación dinámica de longitud de onda, acoplando el OXC con un núcleo de enrutadores para brindar una solución rentable frente a los cambiantes requerimientos de ancho de banda en una red de datos.

2.2.1.3 Matriz de conmutación óptica

Por matriz de conmutación óptica (OXC), se suelen entender dos elementos diferentes: el conmutador espacial de fibra y el reencaminador en longitud de onda. En ambos, un conjunto de fibras ópticas de entrada se conecta con otro de igual número de fibras de salida. En el primer caso todas las señales ópticas de una fibra de entrada se encaminan hacia otra de salida, mientras que en el segundo las portadoras ópticas de las fibras de entrada se reencaminan hacia las de salida de forma individual. El OXC es el elemento que más flexibilidad dota a una red óptica, permiten el establecimiento de enlaces ópticos en longitudes de onda individuales entre elementos de diferentes subredes. Los OXCs posibilitan el reencaminamiento óptico extremo a extremo con capacidad de portadora.

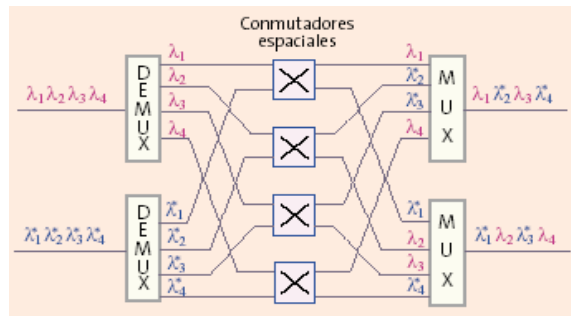


Figura 1.26 Conmutador espacial

Un conmutador óptico consta de tres etapas: una primera en que las portadoras de entrada se separan espacialmente, una segunda de conmutación espacial y una final de concentración. El tamaño de los conmutadores espaciales lo determina el número de fibras, no el de longitudes de onda, en un conmutador óptico son necesarios tantos conmutadores espaciales individuales como longitudes de onda y el número de puertos de cada conmutador espacial es igual al de fibras de entrada (igual al de salida). Los requisitos mínimos de calidad de transmisión que deben cumplir los conmutadores son los relativos a pérdidas de inserción y diafonía. Las pérdidas de inserción deben ser inferiores a las que puede compensar un amplificador óptico sin introducir un ruido excesivo de emisión espontánea, y se estiman en 15 dB. La diafonía debe ser lo suficientemente baja como para no degradar enlaces por el mecanismo de interferencia homodina, y se fija en -45 dB. Se puede demostrar que esta especificación se traduce en requisitos aproximados de diafonía de los conmutadores espaciales de -45 dB y -25 dB, aproximadamente, en los multiplexores y demultiplexores. La función principal del OXC es hacer dinámicamente reconfigurable la red a nivel de longitud de onda para la restauración o acomodar los cambios en la demanda del ancho de banda. Se considera que los OXC serán la piedra angular de la capa fotónica que proporciona a los portadores opciones más dinámicas y flexibles en las topologías de la red. los OXC se clasifican en dos categorías, Crosconector ópticos y Crosconector eléctricos. En el Crosconector eléctrico la función switching se hace electrónicamente, las señales ópticas después de entrar en el OXC pasan por una interfase O/E y la función switching se hace en el dominio eléctrico. Con esta técnica no pueden lograrse altas velocidades porque los datos se convierten en forma electrónica. Para

poder tener una red de enlaces de fibra multi-longitud de onda, se necesitan dispositivos de interconexión entre fibras apropiados.

2.2.1.4 Arquitecturas OXC

Al evaluar una arquitectura OXC para una aplicación particular, se deben considerar varios factores incluyendo el tamaño de los nodos OXC, las características de bloqueo, capacidad para operar en ambientes multi-vendedor y sus características de OAM&P. Por ejemplo un OXC localizado en una intersección de dos fibras, cada una con 40 longitudes de onda, necesita una etapa de conmutación con 160 puertos de entrada y 160 puertos de salida, incluyendo los puertos de protección $2x(40 + 40)$. Después de incluir algunos puertos para inserción / extracción de tributarios en dicho ambiente, necesita un equipo que tenga 256×256 puertos. Además, se debe considerar la capacidad de difusión (Broadcast) es decir, la habilidad de enviar la misma información a varios usuarios, para lo cual se están desarrollando conmutadores sin bloqueo con sub matrices de conmutación 1×2 . Las matrices de conmutación de un OXC pueden conmutar señales en espacio y en longitud de onda y se pueden distinguir por sus características de bloqueo en una o en las dos dimensiones. El conmutador espacial no bloqueado se puede subdividir en dos categorías: sin bloqueo-reacomodado y estrictamente sin bloqueo. La diferencia entre los dos tipos es la manera como afectan las conexiones existentes cuando se requiere una nueva conexión. En los conmutadores espaciales sin bloqueo y reacomodados se establece una nueva conexión que obligara a modificar la anterior, mientras que en los conmutadores espaciales estrictamente sin bloqueo, las conexiones que ya existen nunca se afectaran cuando una nueva conexión se establece. A nivel de λ , el no bloqueo implica que la matriz de conmutación del OXC pueda convertir cualquier λ de entrada en cualquier otra λ de salida que estén en curso en la red óptica. Se recomienda que los OXC utilicen receptores estándares de 1.3 μm y transmitan la señal con la misma λ , al utilizar estas interfaces los OXC pueden manejar señales de diferente origen. Se sugieren los 1.3 μm porque algunos estándares existentes manejan señales de 1.5 μm .

2.2.1.5 Arquitectura OXC por Capas

Este tipo de arquitectura es capaz de manejar tráfico DWDM con K fibras de entrada y K fibras de salida; las restantes entradas y salidas son $(M - K = N)$, donde N representa las fibras de entrada y salida que soportan tráfico de tributarios inserción / extracción con una longitud de onda única. Las señales que se transportan en cada una de las fibras K se amplifican y se demultiplexan en N longitudes de onda. La etapa de conmutación utiliza N conmutadores estrictamente sin bloqueo de tamaño $M \times M$ para interconectar las $N \times M$ señales de entrada. El tráfico que entra a la etapa de conmutación del OXC entra a una de las N capas y se interconecta según la λ que le corresponda. En una arquitectura sin bloqueo el tamaño del conmutador es proporcional al número de fibras de entrada que manejan el tráfico DWDM y proporcional al número de capas de conmutación que crecen con el número de λ que maneje cada fibra DWDM.

La desventaja más grande con la velocidad de los OXC y con el formato de la información es la imposibilidad de monitorear el desempeño eléctrico e insertar señales de indicación de alarma en los nodos cuando fallen. El desempeño del monitoreo y la inserción de señales de alarma son funciones que pueden ser mejoradas por las Unidades de Traducción Óptica (OTU) si la arquitectura de las capas es empaquetada con un OLS desde su fabricación.

2.2.1.6 OXC de núcleo óptico y de núcleo eléctrico

OXC con núcleo completamente óptico

Los tipos de OXCs que existen en la industria actualmente son:

- Crosconector de Conmutación de Fibra (FXC).
- Crosconector selectivo en longitud de onda (WSXC)
- Crosconector de intercambio de longitud de onda (WIXC)

Un crosconector de conmutación de fibra (FXC) permite la conmutación de señales transmitidas a través de fibras sin tener en cuenta las distintas λ s que la componen. Este tipo de crosconector conmuta haces enteros de señales y se pueden usar para aplicaciones de protección y enrutamiento. Un Crosconector de fibra óptica conmuta todos los canales a nivel de λ desde una fibra de entrada a una fibra de salida, actuando como un panel de conmutación de fibra automatizado. Los FXC's son menos complejos, y por tanto menos

costoso, que un crosconector selectivo o de intercambio de λ . En las partes de la red donde la protección contra los cortes de fibra es la preocupación principal, los FXCs podrían ser una solución viable. Mientras que los FXCs pueden suministrar las capacidades simples de suministro y restablecimiento, podrían no ofrecer la flexibilidad requerida para potenciar los nuevos servicios de generación de longitud de onda de extremo a extremo. Un crosconector de selección de λ (WSXC) permite la conmutación de determinadas longitudes de onda de una fibra a otra.

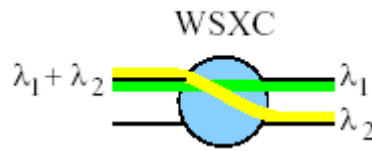


Figura 1.27 WSXC

En esta aplicación, el conmutador crosconector se combina con elementos de selección de λ , que demultiplexan las señales ópticas de entrada. Cada λ es conmutada en otro conmutador crosconector NxN. Este tipo de crosconector permite el aprovisionamiento y el control de los servicios de λ y por tanto mayor flexibilidad que el FXC. Los WSXCs se pueden escalar de forma lineal: cada vez que se añade una λ , se añade un conmutador extra NxN, lo que significa que el crosconector se puede ampliar. Un Crosconector selectivo en λ (WSXC) puede cambiar un subconjunto de canales de longitudes de onda desde una fibra de entrada hasta una fibra de salida. Para esto se demultiplexa mediante filtros la señal de la fibra de entrada en sus componentes y seleccionar la longitud de onda deseada en el dominio de la frecuencia. Funcionalmente, requieren demultiplexación (en el dominio espectral de frecuencia) de múltiples λ s entrantes en sus longitudes de onda individuales. Permite el suministro de servicios de λ que a su vez pueda soportar varios servicios como video, el aprendizaje a distancia, o ser host de los otros servicios. Un WSXC también ofrece buena flexibilidad para la restauración de servicios; pueden protegerse los canales de longitud de onda individualmente usando un esquema de protección en malla, anillo o híbrido. Un Crosconector que intercambia longitud de onda WIXC es un WSXC con la facilidad de traducir o cambiar de una frecuencia o otra.

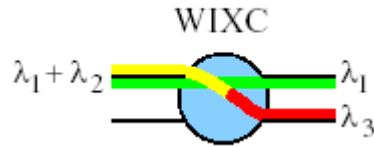


Figura 1.28 WIXC

Esta característica incapacita al equipo para encaminar una λ determinada desde una fibra de entrada a una fibra de salida por las limitaciones propias del equipo. En este sentido el WIXC ofrece más flexibilidad para la restauración y suministro de servicios. No todos los WIXC tienen los mismos costos. Estos dispositivos se dividen en tres categorías: Estrellas pasivas, Routers pasivos y Conmutadores activos. Las estrellas pasivas son dispositivos de broadcast, ya que una señal que se inserta en una longitud de onda dada desde un puerto de entrada de una fibra verá su potencia igualmente dividida por todos los puertos de salida y en la misma λ .

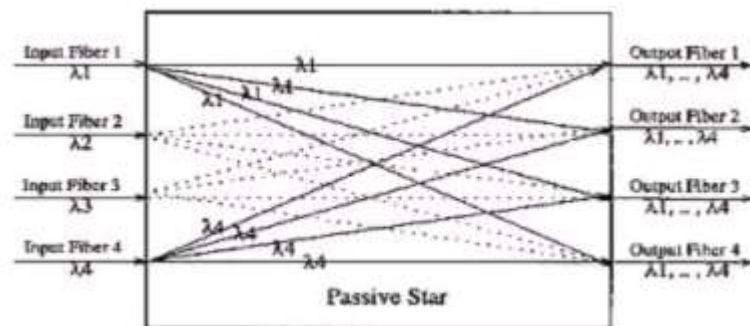


Figura 1.29 Estrella Pasiva

Se producirá una colisión si se envían varias señales de entrada con la misma λ . Una estrella de $N \times N$ puede enrutar N conexiones simultáneas. Un router pasivo puede enrutar separadamente cada una de las varias λ incidentes a la misma λ en fibras de salida separadas. Este dispositivo permite reutilización de frecuencias, ya que cada λ se puede reutilizar espacialmente para transportar múltiples conexiones a través del enrutador. La longitud de onda por la que se enrutará la señal de salida de cada puerto depende de una matriz de enrutamiento que caracteriza al enrutador. La matriz de conmutación es fija y no se

puede cambiar. Este tipo de routers se conocen como Latin routers, WGRs, o WRs. Un enrutador pasivo de $N \times N$ puede enrutar N^2 conexiones simultáneas, pero no es broadcast.

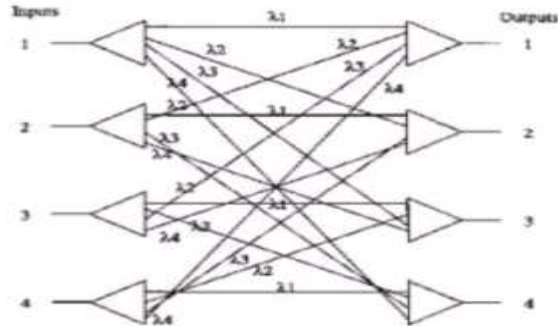


Figura 1.30 Enrutador pasivo

El conmutador activo también permite reutilización de frecuencias y puede soportar N^2 conexiones simultáneas, pero ofrece una mejora sobre el enrutador pasivo, y es que su matriz de enrutado se puede configurar bajo control electrónico. Sin embargo, el conmutador activo necesita ser alimentado y por tanto no es tolerante a fallos como los elementos pasivos. Estos elementos se conocen como WRS o WSXC. Los conmutadores activos pueden incluso incorporar otra capacidad adicional: la λ se puede convertir a otra λ antes de entrar a la etapa de multiplexación antes de la fibra de salida. Estos conmutadores se conocen como WIXC.

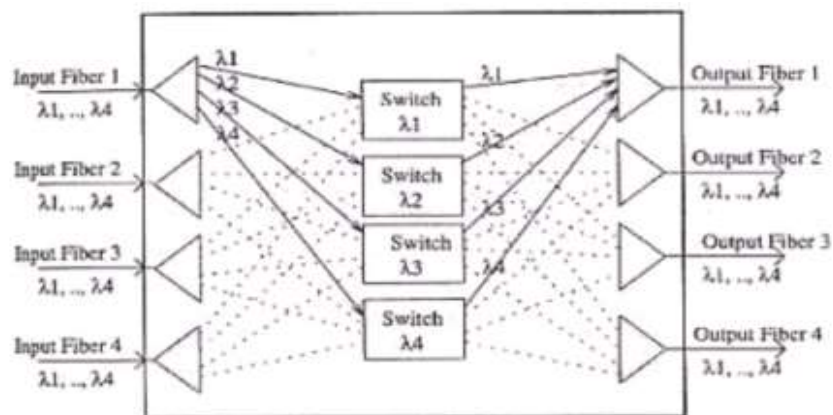


Figura 1.31 Switch activo

Las estrellas pasivas se utilizan en redes WDM locales, mientras que los conmutadores activos se usan para construir WANs enrutadas y el enrutador pasivo se usa como mux/demux.

2.2.1.7 Conmutadores ópticos fabricados con espejos micro-electro mecánicos (MEMS)

Los Espejos Micro-Electro Mecánicos, MEMs basados en silicio han demostrado ser la tecnología elegida para las aplicaciones ópticas escalables de bajo costo porque permiten la fabricación en cantidad de elementos miniaturizados de alta seguridad y usan materiales con excelentes propiedades mecánicas y eléctricas. Las aplicaciones incluyen láseres sintonizables, conmutadores ópticos y filtros sintonizables. Se requiere que los crosconectores sean estrictamente sin bloqueo, lo que significa que cualquier entrada se pueda conmutar a cualquier salida y si se hace una nueva conexión, las conexiones existentes no resulten afectadas por ello. La tecnología opto-mecánica fue la primera comercialmente disponible para la conmutación óptica. Se basa en colimadores expansores de rayo y electromagnéticamente actúan en espejos, prismas o colimadores. Las configuraciones del conmutador se limitan a tamaños de puertos de 1x2 y 2x2. Para más puertos solo se pueden obtener combinando varios conmutadores 1x2 y 2x2, pero esto aumenta su costo y degrada sus prestaciones. Los conmutadores opto-mecánicos se utilizan principalmente en sistemas de protección de fibra y en aplicaciones add/drop de λ de pocos puertos. Los conmutadores ópticos con tecnología PLC (Circuito de Guía de Onda Fotónica), o guía de onda en silicio se basan en el principio de cambios técnicamente inducidos por el índice de refracción en guías de onda basadas en silicio. El calentamiento local se obtiene con electrodos calefactores de película delgada encima de la guía de onda. La tecnología tiene algunas desventajas tales como la densidad de integración limitada y alta potencia de disipación. Comercialmente un crosconector posible PLC de 8x2 disipa unos 4 w, requiriendo ventilación forzada para que opere correctamente. Los parámetros de rendimiento ópticos tales como la diafonía y las pérdidas de inserción pueden ser inaceptables en algunas aplicaciones. En el lado positivo, esta tecnología permite la integración de atenuadores variables ópticos y elementos selectivos de longitud de onda

(AWG) en el mismo chip y con la misma tecnología. Esta tecnología permite tiempos de conmutación muy rápidos permitiendo la conmutación óptica de paquetes. Desafortunadamente tiene los mismos inconvenientes de los otros conmutadores de guía de onda, limitada escalabilidad, altas pérdidas de inserción y alta diafonía. Los conmutadores ópticos de cristal líquido se basan en el cambio del estado de polarización de la luz incidente en el cristal líquido por la aplicación de un campo eléctrico sobre el cristal líquido. El cambio de polarización en combinación con los divisores de rayo por polarización selectiva permite la conmutación óptica espacial. Con el fin de hacer los dispositivos insensibles a la polarización, se debe implementar otro tipo de polarización, lo que hace la tecnología más compleja. Esta tecnología permite la conmutación dependiente de la longitud de onda. MEMs se está estableciendo rápidamente como la tecnología más atractiva para la conmutación óptica ya que permite soluciones con pocas pérdidas y muchos puertos a un costo bajo por puerto. Básicamente un dispositivo MEMs es un circuito integrado mecánico donde la actuación de las fuerzas requieren mover las partes por medios electrostáticos, electromagnéticos o térmicos. La tecnología básica se basa en procesos de material semiconductor establecidos para fabricar partes minituarizadas de alta precisión y usa materiales con excelentes propiedades mecánicas y eléctricas (Si, SiO_x y SiN_x).

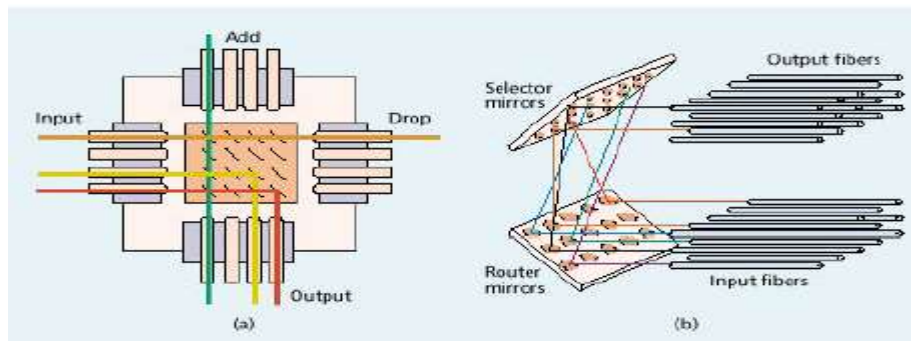


Figura 1.32 2D y 3D MEMS

se pueden distinguir dos propuestas de MEMs para conmutación óptica: 2D (digital) y 3D (analógica). En 2D MEMs los conmutadores son digitales ya que la posición del espejo es biestable (on u off), que hace que tenga un funcionamiento muy limpio. La figura 36a

muestra un dispositivo 2D MEMs visto desde arriba con los espejos MEMs colocados en una disposición cruzada para obtener la funcionalidad de crosconector. Los rayos de luz colimados se propagan paralelamente al plano del sustrato. Cuando se activa un espejo, se mueve hacia el camino del rayo y dirige la luz a una de las salidas en un ángulo de 45° con el rayo. Esta disposición también permite que la luz pase a través de la matriz sin golpear el espejo. Esta funcionalidad adicional se puede usar para hacer add/drop de los canales ópticos. En los 3D MEMs, se establece un camino de conexión con dos espejos independientes en dos planos para dirigir la luz de un puerto de entrada al puerto de salida seleccionado (arquitectura enrutador/selector). Esta es la tecnología más prometedora para los conmutadores crosconectores ópticos de muchos puertos >1000 puertos de entrada y salida. Potencialmente se pueden conseguir pérdidas por debajo de los 3 dB. Un inconveniente de esta propuesta es que se requiere un sistema de realimentación complejo y muy caro para mantener la posición de los espejos (estabilizar las pérdidas de inserción) durante disturbios externos o vibraciones. El parámetro clave de rentabilidad óptica de un conmutador óptico es la pérdida de inserción. Los mecanismos de pérdidas más importantes para una arquitectura de conmutación crosconector 2D son:

- pérdidas dependientes de la longitud del camino.
- pérdidas debido a la desalineación angular del espejo o el colimador.
- Pérdidas debido al recorte de la luz en los extremos del espejo

Las longitudes del camino para los rayos que se propagan desde el colimador de entrada al colimador de salida varían dependiendo de la conexión que se establezca. Esta variación de la longitud del camino causa pérdidas de inserción. Debido a las imperfecciones de fabricación, una matriz de micro-espejos puede tener variaciones del ángulo del espejo del orden de $0,1^\circ$. Esto hará que haya varios ángulos de rayos reflejados, y que por ello hayan unas pérdidas de acoplamiento asociadas. Con el fin de evitar pérdidas en cuanto al recorte, el tamaño del espejo debe estar relacionado con el tamaño óptimo del radio del rayo. Los colimadores no solo están diseñados ajustados a los parámetros del rayo óptico especificado, sino también deben cumplir otros requerimientos ópticos tales como su reflexión de retorno, bajas pérdidas de dependencia de la polarización (PDL) y bajas pérdidas dependiente de la longitud de onda. Para proteger el MEMs y la óptica, se requiere

un encapsulado hermético del entorno exterior, ya que el MEMs es sensible a las partículas de polvo y a la humedad. Un encapsulado hermético con muchas fibras (un conmutador crosconector de 16x16 tiene 32 fibras que atraviesan la cápsula) es un reto técnico. Un verdadero cierre hermético solo se puede obtener con un sellado metálico perfecto alrededor de las fibras. Los paquetes también se deben diseñar de forma que puedan acomodar diferencias de expansión térmica entre las distintas partes interiores y reducir la influencia de las variaciones térmicas en la rentabilidad óptica. Finalmente el paquete tiene que proveer la alimentación de las señales eléctricas hacia los circuitos electrónicos y el chip MEMs dentro de la caja.

2.2.1.8 Rentabilidad óptica del conmutador crosconector 2D

Los parámetros claves del rendimiento de los conmutadores ópticos son: pérdida de inserción, diafonía, repetibilidad, pérdidas dependientes de la polarización, tiempo de conmutación y pérdidas de retorno. La pérdida de inserción es especialmente crítica ya que cualquier pérdida adicional aumenta el costo del sistema (a través de la amplificación óptica adicional y/o receptores más sensibles, una regeneración más frecuente, etc.) Se requiere una PDL baja para minimizar los requerimientos de monitorización y compensación dinámica. Otros parámetros tales como la diafonía y la reflexión de retorno también tienen un impacto en la integridad de la señal de la red.

Ambos, el tiempo de conmutación y la repetibilidad son específicos de los conmutadores ópticos. El tiempo de conmutación se define como el tiempo que transcurre entre el momento en que el comando da la orden de conmutar el cambio de estado hasta el momento en que la pérdida de inserción del camino conmutado alcanza más del 90% de su valor final. Éste tiene en cuenta el tiempo en que el espejo tarda en llegar a su posición así como eventuales tiempos de establecimiento. La repetibilidad se define como la diferencia entre la pérdida de inserción máxima y mínima de un camino cuando el correspondiente espejo está sometido a muchos ciclos de conmutación consecutivos. Las pérdidas de inserción máximas (sobre todo los caminos de conexión posibles) es tan bajo como 1,7 dB y 3,1 dB que han sido obtenidos para conmutadores crosconectores 2D de 8x8

y 16x16 respectivamente. La diafonía óptica y la reflexión de retorno son menores que -50 dB. El tiempo típico de conmutación es de aproximadamente 7 ms.

2.3. ECUALIZADORES

Se puede demostrar que un sistema de transmisión multiportadora está optimizado en cuanto a calidad de señal cuando tanto la intensidad óptica como la relación C/N es igual en todas las portadoras. En redes reconfigurables puede ser difícil acercarse a estas dos condiciones simultáneamente, por lo que será necesario aproximarse a ellas mediante ecualizadores ópticos variables. Con respecto al sistema de gestión, los ecualizadores variables imponen los condicionantes siguientes: la respuesta espectral del ecualizador debe poder ser ajustable desde el sistema de gestión. Para asegurar un funcionamiento correcto, se requiere supervisión mediante análisis espectral a la salida del ecualizador, de forma que el sistema de gestión pueda medir el rizado de intensidad óptica dentro de la banda de longitudes de onda de operación. Si las redes ópticas son simples, como ocurrirá en las primeras fases de su evolución, los ecualizadores pueden sustituirse por atenuadores variables, colocados en las entradas de los elementos donde se realiza la agregación de portadoras.

2.4. CANALES DE SERVICIO

Los amplificadores ópticos que se instalan en planta incorporan una interfaz de supervisión y control que se comunica con el exterior a través de un canal de servicio. El canal de servicio se transmite en una portadora óptica específica de supervisión, normalmente en la longitud de onda de 1510 nm, que va accediendo de forma secuencial a todos los amplificadores de un enlace. El acceso a cada amplificador no es transparente: en cada amplificador se extrae de la fibra la señal portadora de supervisión mediante un demultiplexor óptico, se fotodetecta y de la señal eléctrica resultante se extrae la información dirigida al amplificador, a continuación se inserta en el canal la información generada por el amplificador y con la trama resultante se modula de nuevo un láser a la longitud de onda de supervisión. Su salida se inserta a su vez en la fibra de señal y se propaga hasta el amplificador siguiente, donde el proceso es similar. En los enlaces

DWDM punto a punto actuales, el canal de servicio comienza y termina en los extremos inicial y final, respectivamente, del enlace, en unos módulos de control específicos que normalmente se instalan en los mismos bastidores que los transpondedores. Sobre el canal de servicio se suele montar una red de área local Ethernet y su interfaz con el operador es con frecuencia de tipo web. En el momento en que los enlaces punto a punto se integran como parte de una red todo óptica, los módulos de control de los diferentes canales de servicio deben conectarse al sistema de gestión de la red, con el fin de que éste pueda configurar y controlar los amplificadores, así como recibir de ellos información de estados y alarmas.

3. GLOSARIO DE TERMINOS

ASE	Emisión Espontánea Amplificada
AWG	Arreglo de Rejillas de Guías de onda
CW	Onda Continua
DFG	Generación de Frecuencia diferencia
DWDM	Multiplexación Densa por División de Longitud de Onda
EDFA	Amplificador de Fibra Dopada con Erbio
FEC	Corrección de Errores Hacia Delante
FPA	Amplificador Fabry-Perot
FWM	Mezcla de Cuatro Ondas
FXC	Crosconector de Conmutación de Fibra
MEMS	Sistema Micro-Electro Mecánicos
MZI	Interferometro Mach-Zehnder
NOLM	Nonlinear Optical Loop Mirror
OADM	Multiplexor Óptico de Inserción-Extracción
OAM&P	Operación, Administración, Mantenimiento y Aprovisionamiento.
OSNR	Relación Señal a Ruido Óptica
OVPN	Red Óptica Privada Virtual
OXC	Crosconector Óptico
PDFFA	Amplificador de Fibra Dopada con Fluoruro Praseodimio
PDL	Perdidas que Dependen de la Polarización
PLC	Circuito de Guía de Onda Fotónica
SOA	Amplificador Óptico de Semiconductor
TWA	Travelling Wave Amplifiers
VOA	Atenuador Óptico Variable

WGR	Enrutadores de Guía de Onda de Rejilla
WIXC	Crosconector de Intercambio de Longitud de Onda
WRS	Switch Enrutador de Longitud de Onda
WSXC	Crosconector Selectivo en Longitud de Onda
XGM	Modulación de Ganancia Cruzada
XPM	Modulación de Fase Cruzada

4. BIBLIOGRAFIA

http://www-comm.itsi.disa.mil/itu/r_g0600.html
http://www.3com.com/other/pdfs/products/en/ss4400_family_dsheets.pdf
<http://www.eurescom.de/~pub-deliverables/>
<http://tnt.teleco.upv.es/~jormaso/gigabit/>
<http://www.nortelnetworks.com/>
<http://www.rediris.es/jt/jt2001/archivo/redesopticas.pdf>
<http://www.itu.int/ITU-T/>
<http://tnt.upv.es/~framos/Fibra/cwdm.html>
<http://individual.utoronto.ca/iizuka/labs/edfa/labhowto.pdf>
<http://people.ac.upc.es/asalaver/cwdblazenp.pdf>
<http://redesopticas.reuna.cl/proyecto/docs/AvPr2703.PDF>
<http://redesopticas.reuna.cl/publicaciones/RecomendacionesRedOptica.pdf>
http://mailweb.udlap.mx/~lgojeda/telecom3/fibra_optica/
<http://www.ieee.org/organizations/pubs/newsletters/leos/oct02/index.html>
http://www.urec.cnrs.fr/hd/DWDM/CIENA/evolution_DWDM.pdf
www.ericsson.com/network_operators/campaign/publicethernet/Ethernet_AandT.pdf
<http://people.ac.upc.es/asalaver/jerram1.pdf>
<http://people.ac.upc.es/asalaver/g709otnmodel.pdf>
http://atr.alcatel.de/hefte/02i_1/gb/pdf/03schiaivoni.pdf