

**ANÁLISIS DEL DESEMPEÑO DE FORMATOS DE MODULACIÓN EN COMUNICACIONES
ÓPTICAS SOBRE REDES WDM**

ANEXO



**JUAN FELIPE GRIJALBA GÓMEZ
GUSTAVO ADOLFO GÓMEZ AGREDO**

**UNIVERSIDAD DEL CAUCA
FACULTAD DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA Y TELECOMUNICACIONES
DEPARTAMENTO DE TELECOMUNICACIONES
GRUPO I+D NUEVAS TECNOLOGÍAS EN TELECOMUNICACIONES – GNTT
POPAYÁN
JUNIO de 2010**

**ANÁLISIS DEL DESEMPEÑO DE FORMATOS DE MODULACIÓN EN COMUNICACIONES
ÓPTICAS SOBRE REDES WDM**

ANEXO

**JUAN FELIPE GRIJALBA GÓMEZ
GUSTAVO ADOLFO GÓMEZ AGREDO**

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

**Director
Ing. ALEJANDRO TOLEDO TOVAR**

**UNIVERSIDAD DEL CAUCA
FACULTAD DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA Y TELECOMUNICACIONES
DEPARTAMENTO DE TELECOMUNICACIONES
GRUPO I+D NUEVAS TECNOLOGÍAS EN TELECOMUNICACIONES – GNTT
POPAYÁN
JUNIO de 2010**

ANEXO COMPONENTES DE SISTEMAS WDM

En el presente anexo, se describen de manera general los componentes típicos de un sistema WDM, con el fin de ampliar estos conceptos que son utilizados para la generación de los escenarios de simulación, en los cuales se implementan los formatos de modulación seleccionados en el trabajo de grado.

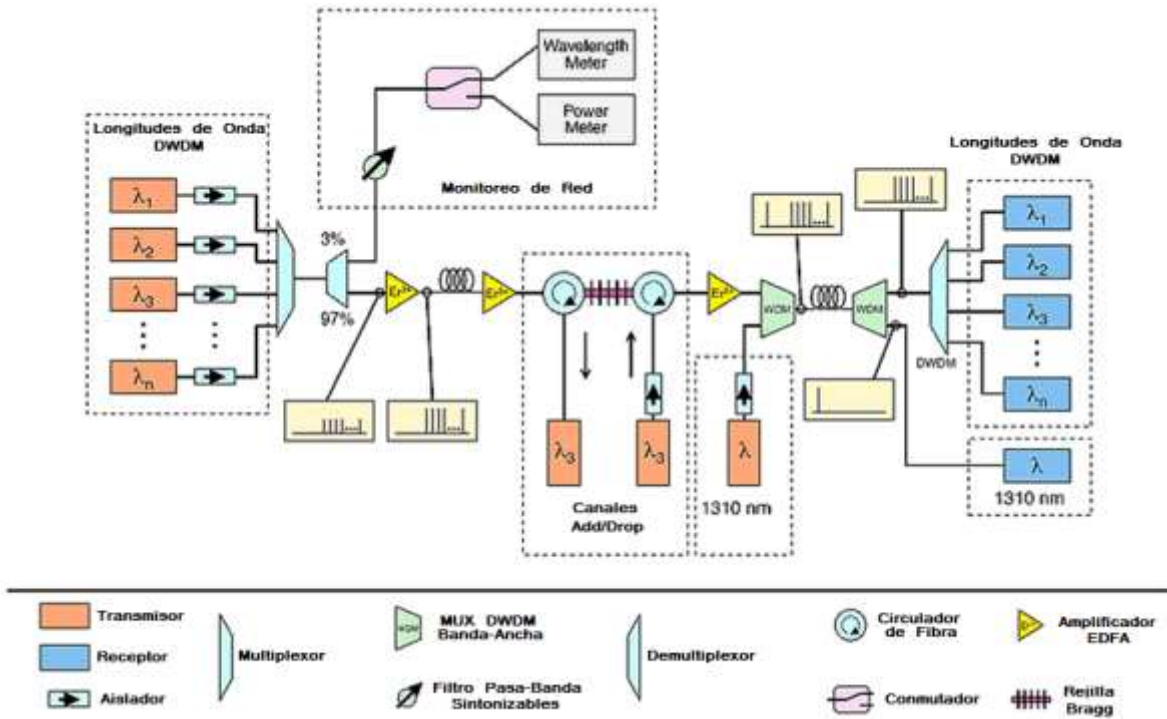


Figura 1 Representación de un Sistema Estándar DWDM [1].

1. Transponder [2]

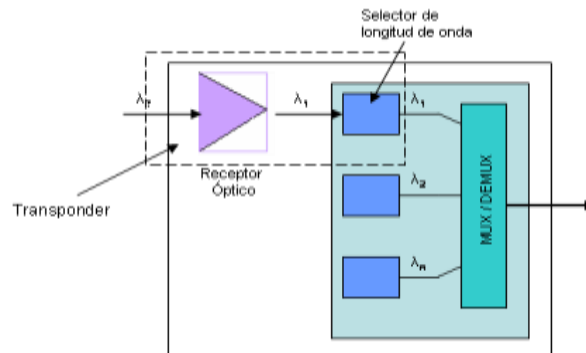


Figura 2 Transponder dentro de un sistema WDM [2].

Dispositivos capaces de convertir señales ópticas a señales eléctricas y realizar funciones de ensamblado, sincronización y retransmisión. Cada transponder dentro del sistema convierte su señal a una longitud de onda ligeramente distinta, donde dichas señales son multiplexadas. Las longitudes de onda de todos los transponders del sistema son entonces multiplexadas óptimamente. En la recepción del sistema WDM, tiene lugar el proceso inverso. Las longitudes de onda individuales son filtradas desde las fibras multiplexadas y alimentan a los transponders individuales, que convierten la señal a eléctrica y la dirigen a través de una interfase estándar al cliente. (Ver figura 2).

2. Amplificadores Ópticos (OA) [2]

Componentes que minimizan los efectos de pérdida de potencia de atenuación debido al efecto de la transmisión de pulsos sobre la fibra óptica. La amplificación óptica es la clave para habilitar la alta velocidad de transmisión de datos y enlaces de grandes distancias. Entre los amplificadores más comúnmente utilizados en redes de fibra óptica WDM, se encuentran amplificadores tipo EDFA y tipo Ramman.

Los Amplificadores de Fibra Dopados de Erblio (EDFA), emiten radiación de señales en la banda de los 1550nm y presenta un ancho de banda entre 30nm y 40nm. Existen tres tipos básicos de EDFAs que son amplificadores de potencia, amplificadores de línea y pre-amplificadores.

Por su parte, los Amplificadores tipo Ramman utilizan potentes láseres que bombean la fibra óptica en dirección opuesta a la propagación de los canales WDM, con lo cual se provee amplificación a las señales transmitidas, disminuyendo la atenuación del tramo de fibra y mejorando la relación señal a ruido.

3. Filtros Ópticos [2]

Constituyen un bloque importante de una red WDM, pues realiza el proceso de selección de canales determinados compensando la curva de ganancia y el ruido de emisión espontánea (ASE) generado por los amplificadores ópticos. Todos los dispositivos descritos en la figura 3, realizan la selección del canal en una longitud de onda a través de procesos de interferencia; cuando un canal es ajustado al dispositivo, su señal es reforzada por interferencia constructiva y enviado al bloque receptor, los demás canales a su vez son atenuados a niveles despreciables a través de interferencia destructiva.

El rango ideal en el cual el filtro es ajustado para atender las necesidades de las redes WDM debe ser de 200 nm correspondiente a la tercera ventana (1350 - 1550 nm) donde se tienen los más bajos valores de atenuación de la fibra Monomodo.

La velocidad con la cual un filtro óptico puede ser ajustado de una frecuencia a otra, dentro de su rango de ajuste, se determina por su tiempo de acceso y también constituye un importante aspecto en el análisis de aplicabilidad del dispositivo en la red.

Otro importante factor de desempeño del filtro es su pérdida por atenuación pues ésta contribuye con el aumento de la penalidad del enlace.

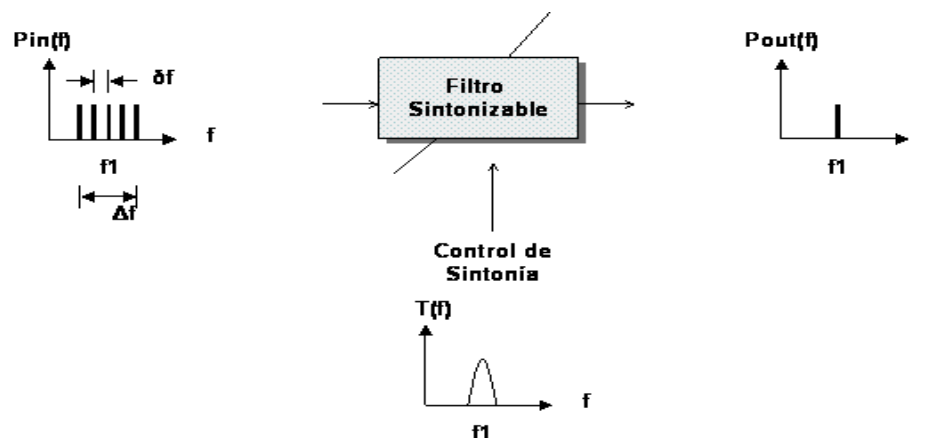


Figura 3 Función básica de un filtro Sintonizable [2].

Un filtro óptico debe ser estable de tal modo que una vez ajustada una frecuencia dada, factores térmicos o mecánicos no causen un desvío en el ajuste mayor que una pequeña fracción de la longitud de onda del canal, además de ser fácilmente reajustable para cualquier valor de frecuencia, por esto la controlabilidad del filtro es un factor importante.

Es posible clasificar de un modo general los diversos tipos de filtros, en cuanto a sus aspectos constructivos como:

- Filtros interferométricos de Fabry-Perot.
- Filtros de difracción.
- Filtros acusto-ópticos.
- Filtros interferométricos de Mac-Zender.
- Filtros electro-ópticos.
- Filtros de múltiples capas interferentes.
- Filtros activos semiconductores DFB o DBR.

4. Multiplexores Ópticos de adición y extracción (OADM) [2]

Permiten adicionar o remover una o más longitudes de onda específicas en un punto dado a través de un enlace WDM y a su vez habilitar el paso del resto de longitudes de onda sin sufrir variaciones. En la figura 4, se describe el concepto de OADM mostrando un diagrama funcional, configurado por un tráfico en anillo bi-direccional.

Existen interfaces de amplificadores que compensan la pérdidas de la fibra y las pérdidas internas, también un grupo de filtros que demultiplexan los canales dentro de grupos por un separamiento dinámico u estático.

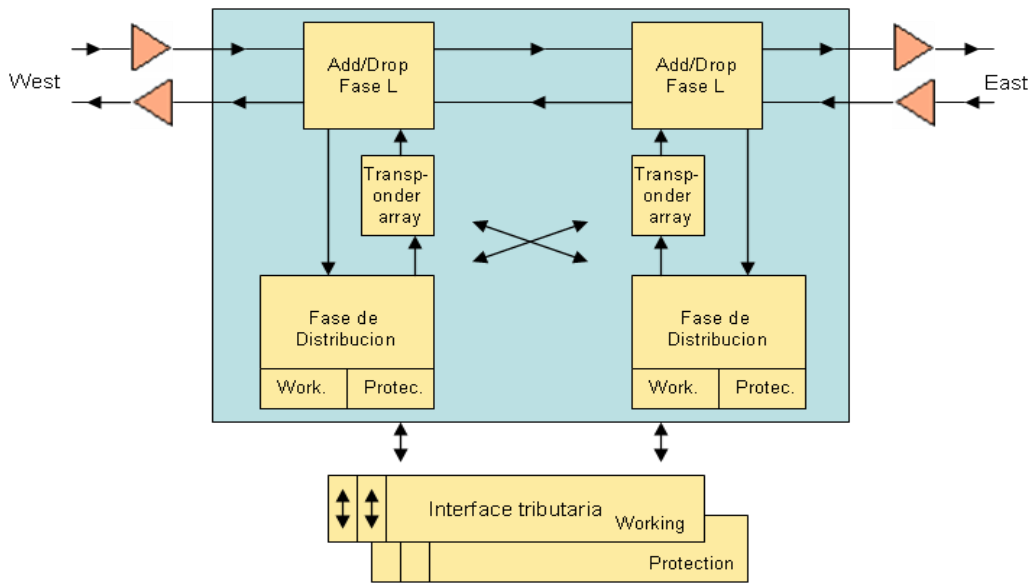


Figura 4 Esquema del Multiplexor Add/Drop óptico [2].

Dentro de los componentes del OADM se encuentran:

- **Fase Add/Drop:** Los canales son insertados dentro del anillo por acopladores de longitud de onda independientes. Las señales son removidas fuera del anillo usando circuladores ópticos y Bragg-Gratings sintonizables (figura 5), las pérdidas por cada filtro están alrededor de los 0.1 dB.

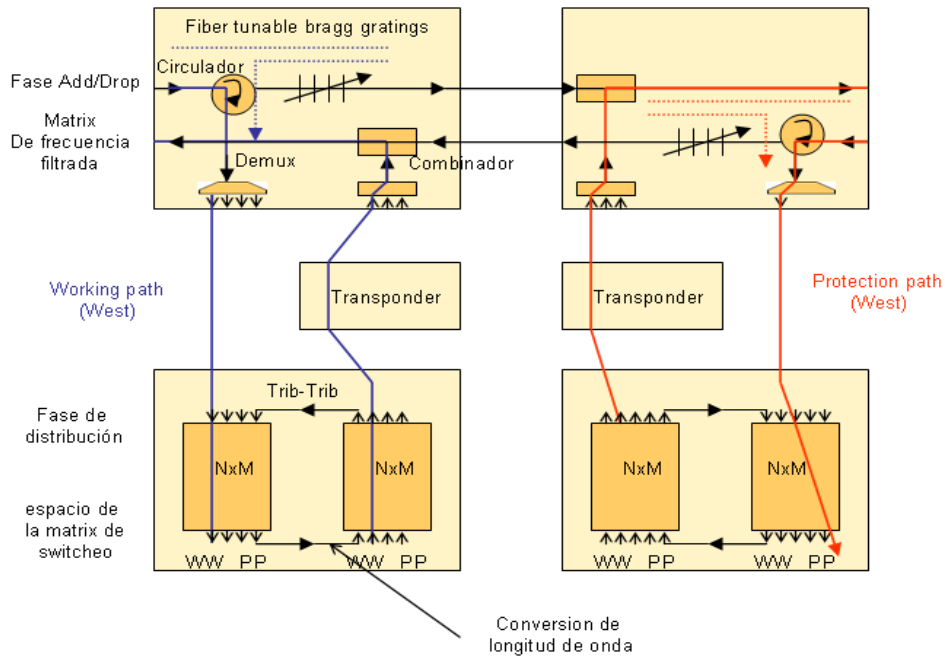


Figura 5 Matriz Add/drop del OADM [2].

- **Fase de Distribución:** La fase de distribución es realizada por switches de matrices de NxM. Y realizan las siguientes funciones.
- **Conversión de longitud de onda.** Es la función de reinsertar los canales removidos en otra longitud de onda entre el add/drop de la matriz NxM.
- **Selección de tributarios I/O.** No todas las señales que están conectadas a la interfase de tributarios tienen que ser insertadas dentro del anillo a la vez. La fase de distribución selecciona canales de la interfase para ser insertadas dentro del anillo.
- **Funcionalidad de cross-conexión tributaria.** El OADM es capaz de trabajar como un cross-conector óptico para señales tributarias, esto significa que las señales que entran al OADM por interfase tributaria, no necesariamente entran al anillo, pueden ser ruteadas a otro puerto tributario. Este tráfico se muestra en la figura como “trib-trib” entre las dos matrices NxM.
- Funcionalidad de los elementos removidos como los filtros Array de Grattings de Longitudes de Onda, Circuladores con FDBs (Fiber Bragg Grattings) y Cascadas de Filtros Interferométricos de Mach-Zehnder, todas estas funciones se realizan bajo una condición de red fotónica.
- **Array de Grattings de Longitudes de Onda.** Además de las características ya mencionadas de los multiplexores Add-Drop genéricos, este sistema permite añadir o quitar más de una longitud de onda a la vez. Por otra parte, las pérdidas de señal por cada canal añadido o eliminado son de 5 dB y de 10dB por cada canal que deja pasar. Este sistema necesita ecualización para que todas las señales tengan la misma potencia.
- **Circuladores con FDBs (Fibre Bragg Grattings).** El esquema de este tipo de multiplexores se muestra en la Figura 6. En este caso, el canal añadido tiene que tener la misma potencia que el que se acaba de retirar. Esta configuración tiene una pérdida de señal de 3 dB y es apropiado para redes MAN donde muchos nodos están conectados por un bucle de fibra única.

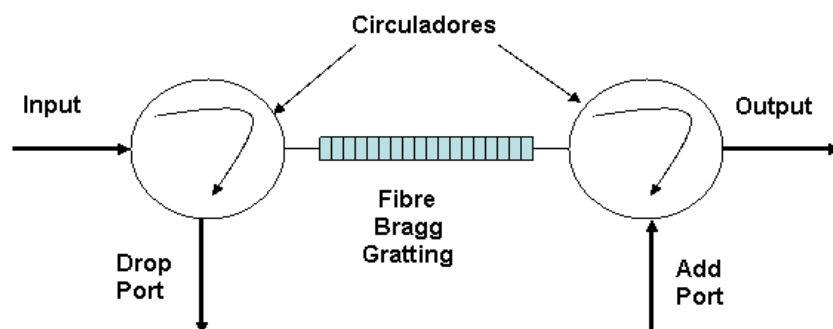


Figura 6 Circulador con FDB [2].

- **Cascadas de Filtros Interferométricos de Mach-Zehnder.** En este tipo de multiplexores, la longitud de onda que queremos retirar se tiene que sustituir por otra que queramos añadir. El problema de este método es el gran tamaño de los dispositivos (30 - 40 cm. de largo) lo que dificulta su implementación mediante tecnología plana.

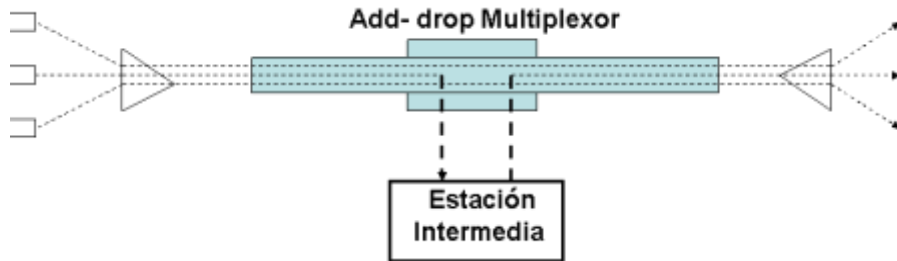


Figura 7 Cascadas de Filtros Interferométricos de Mach-Zehnder [2].

5. Cross-conectores Ópticos (OXC) [2]

Es un nodo dinámico o un interruptor de división de espacio, que es comúnmente llamado dispositivo de conexión óptica cruzada y permite interconectar datos óptimamente en las redes WDM. Es un dispositivo que permite administrar la selección de cualquier puerto que se desea tener en conexión. Un sistema OXC puede incluir conversión óptico-electrónica o ser completamente óptico.

La principal aplicación del OXC es el aprovisionamiento de tráfico de alta capacidad manejado en redes nacionales y regionales. Puede ser usado como nodo de red para el manejo de tráfico, como "gateway" entre redes SDH y WDM especialmente con protección de red (re-enrutamiento de tráfico). Utiliza una matriz de conmutación de no-bloqueo que permite cross conexiones uni-direccional, bi-direccional, loop-back, broadcasting y acceso tipo split. Los puertos disponibles son tributarias de 140 Mbps, 155 Mbps tanto óptico como eléctrico, STM-4 y STM-16. Debido al mejoramiento de las interfaces ópticas permite cubrir grandes distancias sin la necesidad de regeneración de señal. Estos puertos pueden ser intercambiados de acuerdo a los requerimientos de la red. Todas las partes comunes del equipo están duplicadas para asegurar la disponibilidad del sistema. Utiliza protección de línea tipo 1+1 y 1:n (SNCP) están disponibles en las interfaces STM-N (1+1) solo para STM-16, protección a nivel de ruta (SNCP) disponible para cualquier topología de red.

Redes malladas pueden ser administradas por un TMN externo, para el enrutamiento del tráfico predefinido en caso de falla de algún enlace. OXC - cross conector óptico, permite el aprovisionamiento y manejo de circuitos ópticos "end-to-end". Puede ser administrado localmente (vía interfase F), o remotamente (vía interfase Q3 o QECC) de acuerdo con los estándares de TMN.

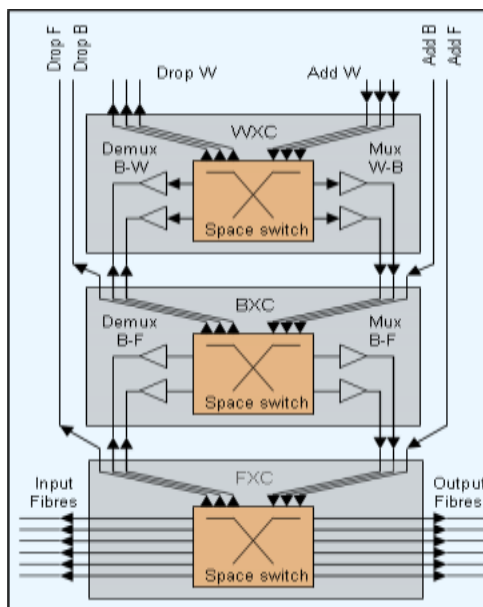


Figura 8 Diagrama de un Cross-Conector Óptico [2].

6. Fuentes de luz [3]

Las fuentes de luz utilizadas en comunicaciones ópticas son comúnmente fotodiodos emisores de luz y diodos láser, donde los primeros se caracterizan por una potencia de salida de 1mW, una frecuencia de modulación de 50GHz y un ancho espectral de 50nm; por su parte, los diodos láser, tienen como valores típicos una potencia de salida de 20mW, una frecuencia de modulación de 10GHz y un ancho espectral de 0.7nm.

Para redes WDM, los láseres sintonizables son los más utilizados, dado que permiten emitir diferentes longitudes de onda, basándose en efectos mecánicos, acusto-ópticos y electro-ópticos

Un láser consiste en dos espejos que forman una cavidad, un medio láser que ocupa la cavidad, y un dispositivo de excitación. El dispositivo de excitación inyecta una corriente en el medio láser, el cual está hecho de una sustancia cuasi estable. La corriente excita los electrones en los átomos del medio láser, y cuando un electrón retorna al estado menos energético, emite un fotón de luz. El fotón se reflejará en los espejos a ambos extremos de la cavidad y pasará de nuevo a través del medio. La emisión estimulada tiene lugar cuando el fotón pasa muy cerca de un electrón excitado

Los láseres sintonizados mecánicamente utilizan una cavidad Fabry-Perot adyacente al medio de emisión del láser, con el fin de filtrar las longitudes de onda no deseadas. La selección de la longitud de onda se lleva a cabo por el ajuste de la distancia entre los dos espejos en cada extremo de la cavidad externa, de forma que sólo la longitud de onda deseada interferirá constructivamente con sus múltiples reflexiones en la cavidad.

En los láseres sintonizados acusto-óptica o electro-ópticamente, el índice de refracción en la cavidad externa cambia utilizando ondas acústicas o corriente eléctrica, respectivamente. El cambio en el índice da lugar a la transmisión de luz a diferentes frecuencias. En estos tipos de láseres sintonizables, el tiempo de sintonía de la frecuencia de emisión deseada está limitado por el tiempo requerido por la luz para interferir constructivamente a la nueva frecuencia.

7. Acopladores [3]

El termino acoplador abarca toda una gama de dispositivos que combinan o separan la luz en una fibra óptica. Existen básicamente dos tipos de acopladores: el divisor que separan la señal óptica procedente de una fibra, en dos o más fibras, donde la razón de división es el porcentaje de potencia que viaja por cada una de las salidas; y el combinador que actúa de manera inversa que el divisor, donde una señal de entrada sufre una pérdida del alrededor de 3dB de potencia.

Los acopladores englobados en una configuración Mach-Zehnder, han sido muy utilizados en tecnologías comerciales como dispositivos de multiplexación en longitud de onda. Estos dispositivos de multiplexación, al igual que los basados en rejillas de Bragg, son más baratos que otras tecnologías propuestas y son más fáciles de mejorar en cuanto a incrementos en el número de canales a multiplexar, porque emplean el mismo tipo de bloques para 4, 8, 16 y 32 canales.

8. Moduladores [3]

Desde que las velocidades de datos en los sistemas de comunicaciones ópticas han sido tradicionalmente limitadas por la velocidad y la disponibilidad de los componentes opto-electrónicos, es de suma importancia considerar siempre los aspectos prácticos de la modulación y la detección hardware, en donde a menudo las estructuras de los moduladores existentes han dado surgimiento a nuevos formatos de modulación ópticos.

El interferómetro Mach-Zehnder (MZ) puede ser utilizado como un dispositivo de modulación externa. Se aplica un voltaje a una de las dos guías de onda, creando un campo eléctrico que da lugar a que las señales en las guías estén en fase o desfasadas 180° , interfiriendo, respectivamente, de forma constructiva o destructiva. Así la luz que emite el láser pasará a través del dispositivo o será bloqueada.

Una de las ventajas de utilizar dispositivos ópticos integrados como el interferómetro MZ es, que el láser y el modulador pueden ser integrados en una sola estructura, lo cual resulta más eficiente en coste. Además, integrando el láser con el modulador, se elimina la necesidad de controlar la polarización y resulta en un menor chirp.

9. Conmutadores [3]

Es un dispositivo que permite o impide la transferencia de luz entre guías de onda adyacentes. Una de las características de los conmutadores ópticos es la de conmutar grandes anchos de banda sin conversión electro-óptica, donde se pueden diferenciar dos grupos, los dispositivos relacionales para la conmutación de circuitos y los dispositivos lógicos para la conmutación de paquetes.

La relación es una función de las señales de control aplicadas al conmutador y es independiente de los contenidos de las señales o datos a su entrada. Una propiedad de los dispositivos relacionales es que la información que entra y pasa a través de él, no puede cambiar o influir la relación actual entre las entradas y las salidas, es decir, hay transparencia de datos. La transparencia de datos puede considerarse una ventaja del dispositivo relacional, aunque la misma característica puede ser a su vez una debilidad, ya que origina una pérdida de flexibilidad (porciones individuales de las cadenas de datos no pueden ser conmutadas independientemente).

10. Detectores [3]

La función de un receptor óptico es la de convertir la señal óptica al dominio eléctrico, recuperando los datos que son transmitidos a través del sistema. En general, se distinguen dos tipos de detectores: los incoherentes, donde se realiza la detección directa, mediante un fotodetector que convierte el haz de fotones modulado en intensidad en un haz de electrones; y los coherentes, donde la información de fase es utilizada en la codificación y detección de la señal, utilizando un láser monocromático como oscilador.

Los dispositivos básicos para la detección óptica son los fotodiodos PN (consistentes en una unión p-n) y el fotodiodo PIN (donde un material intrínseco se ubica entre las regiones p y n del material). En su forma más simple, el fotodiodo es básicamente una unión p-n en inversa. A través del efecto fotoeléctrico, la luz incidente en la unión originará la emisión de pares electrón-hueco tanto en las regiones n como la p del fotodiodo. Los electrones creados en la región p se dirigirán a la región n, y los huecos de la región n cruzarán ésta hasta la p, resultando en un flujo de corriente.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] C. Astudillo, N. Hernández, “Sistemas Ópticos Multicanal”, Universidad Técnica Federico Santa María, 2007
- [2] J. Tolosa, “Proyecto WDM”, Tesis de pregrado, Universidad Industrial de Santander, 2003
- [3] R. Millan, “Redes y Tecnología WDM”, Valladolid, España, 2000