



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE
MÉXICO**

**ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES
"CAMPUS ARAGÓN"**

"TECNOLOGÍAS DE TRANSMISIÓN ÓPTICA"

T E S I S
QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE
INGENIERO MECÁNICO ELÉCTRICISTA
P R E S E N T A N:
ALEJANDRO GARCÍA DÍAZ
DIÓGENES FEDERICO AYALA SOLIS

ASESOR: ING. RAÚL BARRÓN VERA

SAN JUAN DE ARAGÓN, ESTADO DE MÉXICO 2004

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

AGRADECIMIENTOS

Greñas

Es difícil dar justo y meritorio reconocimiento a tantas personas que han dejado huella en nuestras vidas y fueron soporte en momentos difíciles. Las siguientes personas entraron a mi vida por muy distintas circunstancias, algunas me brindaron su apoyo emocional y otras material sin ellas no se hubiese realizado este trabajo. A todas ellas mi sencillo pero profundo agradecimiento.

A mi madre por todo el amor y apoyo desde el inicio de mi existencia, tu esfuerzo no fue en vano gracias a ti logre esta meta.

Le doy un agradecimiento especial a mis hermanos Cruz, Ulises, Anaximadro, Paulina por su apoyo incondicional de siempre, a Guadalupe Fonseca por sus reiteradas demostraciones de afecto y manifestación de amor, a mi Profesor y amigo Ing. Benito Barranco Castellanos por su apoyo y sus consejos, al Ing. Raúl Barrón por su apoyo, al Ing. Pedro Contreras por sus consejos, al Ing. Luis Nemesio por su apoyo, Ing. Guillermo Ortega por el material aportado, a mis Compañeros de La ENEP Aragón que de una u otra forma me apoyaron o me dieron su amistad la cual me dio ánimos para lograr esta meta.

Agradecimientos

CHILLAMIL

Este trabajo es el fruto de el apoyo de muchas personas que estuvieron están y estarán atrás de mi apoyándome gracias por todo su esfuerzo y tiempo brindado

A mis padres por todo el apoya brindado a pesar de todos mis errores cometidos y que supieron como hacer para que yo siguiera avanzando

A mis amigos que siempre me apoyaron en especial a la mafia rusa. GUDI, GUILA, ESTOPAS,

A Mayra que a pesar de conocerme poco me a apoyado

A Darío que siempre me trajiste en chinga y me apoyaste

Al greñas que me aguanto en este trabajo de tesis y que nunca se desespere por mi

A Benito Barranco por toda la información y el apoyo que nos brindo.

Pero sobre todo a ti ISMAID que siempre has estado conmigo en las buenas y en las malas a ti te debo mucho de este triunfo gracias por estar conmigo preciosa

TECNOLOGÍAS DE TRANSMISIÓN ÓPTICA

introducción	1
CAPITULO I FIBRAS ÓPTICAS	3
1.1 Historia de las telecomunicaciones ópticas	4
1.2 Fibra óptica	6
1.2.1 Definición de fibra óptica	7
1.3 Tipos de fibras ópticas	8
1.3.1 Fibras multimodo	8
1.3.2 Fibras monomodo	14
1.4 Transmisión	15
1.5 Sistema de transmisión por fibra óptica	16
1.6 Elementos de un enlace de transmisión por fibra óptica	17
1.7 Ventajas y desventajas de las comunicaciones por medio de la fibra óptica	18
CAPITULO II TDM/DWDM	24
2.1 TDM	
2.1.1 Introducción (antecedentes históricos).	25
2.1.2 Multiplexacion	26
2.1.3 Procesos del PCM	26
2.1.4 Procesos del TDM	34
2.1.5 Aplicación del PCM y TDM en telefonía	38
2.1.6 Códigos de línea	44
2.2 WDM	
2.2.1 WDM	49
2.2.2 DWDM	51
CAPITULO III APLICACIÓN DE UN SISTEMA DWDM	60
3.1 Introducción a DWDM	
3.1.1 Multiplexaje por División de Longitud de Onda (WDM)	61
3.1.2 Óptica de los elementos WDM	69
3.1.3 Fibras Ópticas para WDM	73
3.1.4 Multiplexaje por División de Longitud de Onda de Gran Densidad (DWDM)	79
3.1.5 Transistores	89
3.1.6 Fotodetectores	92
3.2 Amplificador óptico	
3.2.1 Regenerador Electro-Óptico	96
3.2.2 Amplificadores Ópticos (EDFA)	98
3.2.3 Principios de funcionamiento del EDFA	101
3.2.4 Ganancia no uniforme y ASE	105
3.2.5 Otras técnicas de amplificación	107
3.3 Parámetros críticos de DWDM	
3.3.1 Parámetros de transmisores	110
3.3.2 Parámetros de receptores	112
3.3.3 Parámetros de multiplexores y demultiplexores	113
3.3.4 Parámetros de la fibra óptica	118
3.3.5 Parámetros de amplificadores ópticos	125
3.3.6 Análisis de espectros ópticos	128
3.4 SOLUCIONES DWDM	
3.4.1 Solución DWDM "ERION" del proveedor Ericsson	135
3.4.2 Solución DWDM "Optara long Haul 1600" de "NORTEL"	141
3.4.3 Solución WDM "1686 WM" de Alcatel	144
3.4.4 Gestión de sistemas DWDM	146

3.4.5	Nuevos estándares para DWDM	151
3.4.6	Perspectiva futura	152
CONCLUSIONES		159
GLOSARIO		162

INTRODUCCION

Los años 70, utilizaban únicamente dos longitudes de onda, una en 1300 nm y otra en 1550 nm, cada una en un sentido de la transmisión, para lograr la comunicación en dúplex total. Desde entonces, y gracias al desarrollo de fuentes de gran pureza espectral y de dispositivos altamente selectivos en longitud de onda, se han conseguido multiplexar más de cincuenta portadoras ópticas dentro de la tercera ventana de comunicaciones: es la llamada multiplexación densa en longitud de onda. La combinación de TDM y WDM es la solución más habitual: los sistemas DWDM comercializados en 1998 disponen de 16 canales a 2,5 Gbps (40 Gbps), esperándose que en este año se alcancen sistemas comerciales de 40 canales a 10 Gbps (400 Gbps). En la reunión de OFC '99 celebrada en San Diego en febrero de este mismo año los laboratorios NTT de Japón mostraron la transmisión de datos a 3 Tbps por un enlace de 40 km, utilizando para ello la multiplexación de 19 longitudes de onda con 160 Gbps cada una

A mediados de los 80 quedó demostrado que la tecnología actual TDM (multiplexación de señales en el dominio del tiempo) no sería suficiente para afrontar la avalancha de demanda que se podía predecir. El tráfico de datos necesitó entonces el despliegue de la multiplexación de longitud de onda (WDM) en el que muchas señales pueden ser transmitidas simultáneamente por una sola fibra, modulando señales discretas en diferentes bandas de frecuencia.

A principios de los 90, se denominó transmisión WDM en banda ancha a la transmisión de una señal a 1550nm y otra de retorno a 1310nm. Más tarde, a mitad de los 90, el desarrollo WDM permitía espaciamientos más cortos, implementando transporte bidireccional de 2x2 y 4x4 canales a 1550 nm, alcanzando velocidades de 2,5 Gb/s en enlaces punto a punto. Finalmente, a finales de los 90, los sistemas densos (DWDM) llegaron a ser una realidad cuando gran número de servicios y multitud de longitudes de onda comenzaron a coexistir en la misma fibra, llegando a enviar 32/40/64/80/96 longitudes de onda a 2,5 Gb/s y 10Gb/s. Aun así, pronto veremos los sistemas ultra-densos (UDWDM) con transmisión de 128 y 256 longitudes de onda a 10Gb/s y 40 Gb/s por canal, ya que la infraestructura actual de fibra óptica no será suficiente para cubrir la demanda.

La tecnología DWDM está revolucionando el mercado de las telecomunicaciones en todo el mundo. Ofrece aumentos enormes en la capacidad de transmisión por fibras ópticas con una relación costo beneficio excelente. Es la mejor alternativa para satisfacer la demanda explosiva de ancho de banda. Más del 90% de los enlaces ópticos de larga distancia de Europa de USA y Europa están adoptando DWDM.

El mercado mundial para la tecnología y el equipo de transmisión óptica «Multiplexación por Longitud de Onda Densa» (Dense Wavelength División Multiplexing) (DWDM) -que incrementa la capacidad de la fibra óptica, ya que permite transmitir más canales o colores en un solo hilo se duplicará en los próximos cinco años, conforme los proveedores de servicio comiencen a utilizar esta tecnología para convertirse en proveedores de banda ancha a bajo costo.

Mientras esta tecnología ha sido desarrollada hace alrededor de algunos años, DWDM (multiplexación por división de onda densa) se ha vuelto uno de los temas más calientes en el mercado de infraestructura de red. Se ha desplegado mucho tiempo en EE.UU. dónde el mercado óptico es fuerte y está creciendo cada vez más en la escena internacional, particularmente en Europa, Asia y latino América.

Además, DWDM ya no está viéndose así como un medio que empuje la capacidad de fibra, sino como una tecnología robusta en el backbone de multiservicios y las redes de acceso móviles, habilitando encontrar la explosión en el volumen y de complejidad con los servicios de telecomunicaciones asociados. La habilidad de DWDM al integrarse con ATM, IP, ADSL y otras tecnologías para el futuro lo hacen importante en la visión de convergencia.

¿Pero cómo ataca DWDM las más grande redes futuras? ¿Cuáles son los beneficios para operadores y sus clientes? ¿Hay cualquier limitación o problemas de la instalación para considerar? ¿Y dónde DWDM está usándose fuera del EE.UU.? Quizás el punto de partida sea resolver estas preguntas recordando brevemente exactamente lo que es. DWDM combina tráfico de datos en un solo par de fibra y separa las señales de luz en un prisma de diferentes colores o longitudes de onda. Esto aumenta la capacidad que cada fibra óptica puede llevar, mientras usando las técnicas avanzadas para asegurar que los colores no se toquen entre si.

DWDM es una tecnología en evolución y dentro de un espacio relativamente corto de tiempo, la capacidad ha aumentado de 64 canales normales o longitudes de onda, a 256 o más. Sin embargo, no es el número de canal es lo importante sino, la capacidad que ellos proporcionan.

Dos de los mayores inconvenientes de las actuales redes de comunicaciones son, por un lado, la falta de capacidad para soportar el aumento de tráfico producido en los últimos años, y por otro, la diversidad de protocolos de comunicación utilizados, incompatibles unos con otros. Las redes de fibra óptica con multiplexación en longitud de onda se presentan en este entorno como las candidatas ideales para resolver ambos problemas: las nuevas tecnologías de multiplexación densa en longitud de onda (DWDM) aumentan la capacidad de la fibra como medio de transmisión y proporcionan una nueva forma de conmutación, totalmente óptica, transparente al formato de transmisión de los datos.

DWDM es actualmente el medio de transporte de más alta capacidad. y es la mejor solución en la actualización de las redes de transporte de Telmex.

El arribo de DWDM como de cualquier otra tecnología, introduce buenas y poderosas ventajas así como nuevos problemas.

La principal preocupación para los operarios de los nuevos sistemas DWDM es la confiabilidad y estabilidad a través del tiempo de todo el sistema. Por lo que resulta sumamente importante conocer los principales parámetros involucrados en todo el sistema, desde la verificación de la calidad de transmisores, receptores, MUX/DEMUX, fibra óptica y amplificadores ópticos.

CAPITULO I
FIBRAS ÓPTICAS

1.1 HISTORIA DE LAS TELECOMUNICACIONES ÓPTICAS

Desde tiempos remotos en Grecia se sabía que la luz podía ser transmitida por varillas de vidrio, los primeros descubrimientos importantes que dan origen a la creación de la fibra óptica fueron realizados por el ingles John Tyndall en 1870, quien demostró que la luz podía ser guiada en un chorro de agua y observó que los rayos de la luz viajando a través del agua no salían hacia el exterior, a menos que excedieran un ángulo crítico, en esencia este es el principio de las guías de luz, figura 1.1.1

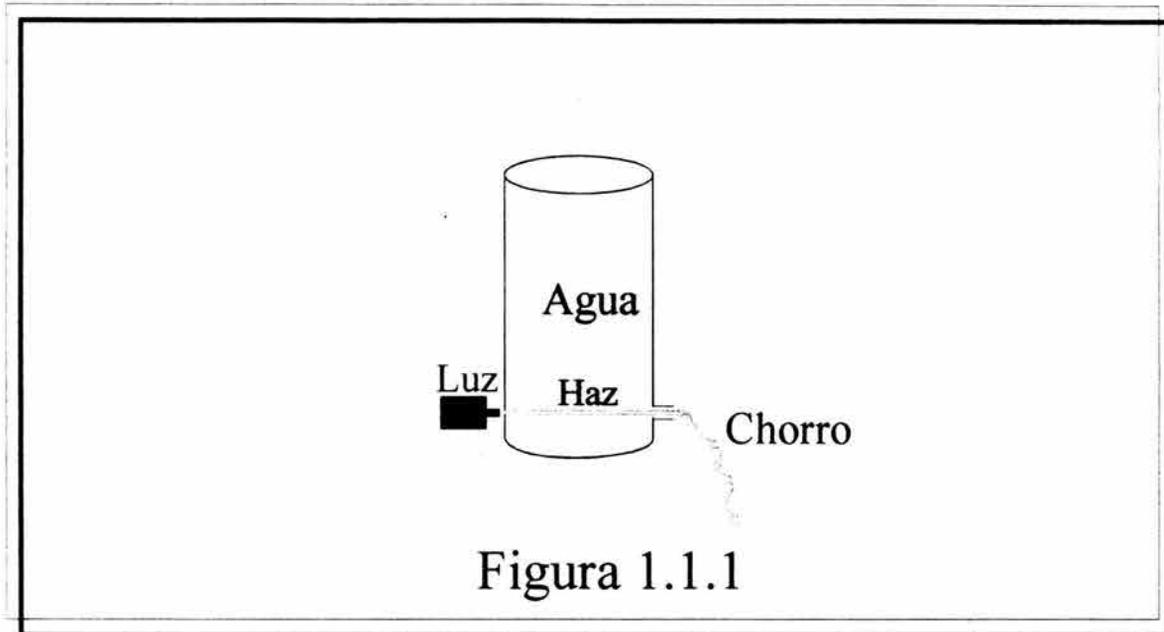
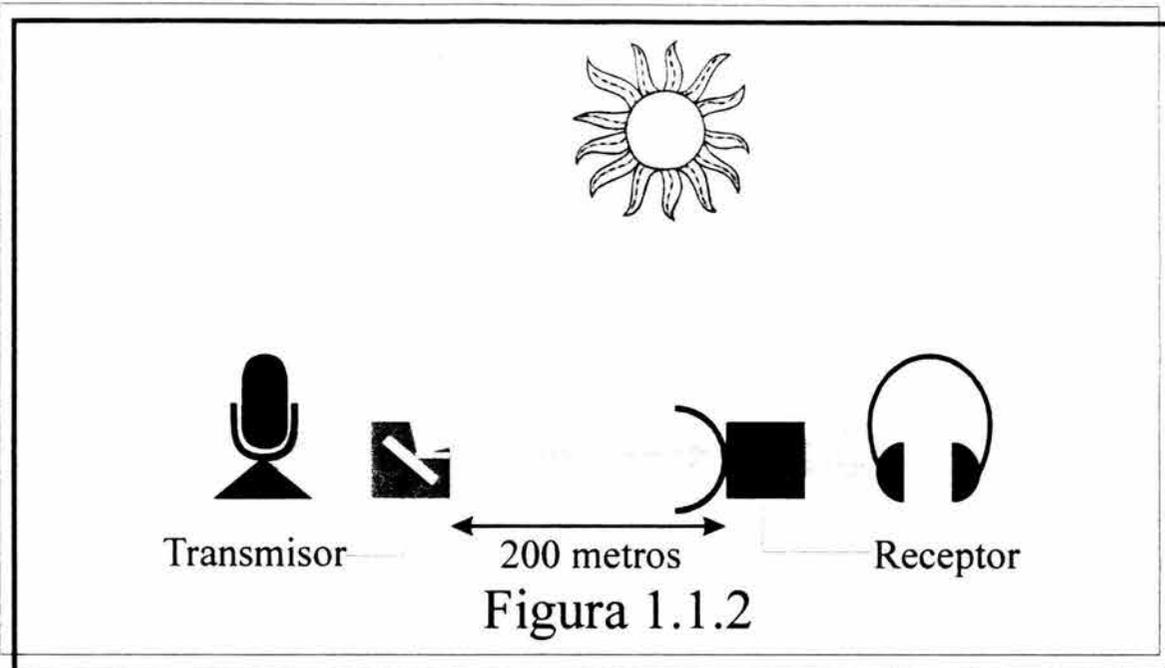


Figura 1.1.1 Experimento de Tyndall

La primera comunicación optoelectrónica que existió se debe a Alexander Graham Bell, que en 1880 demostró, mediante su “fotófono”, que la luz blanca visible podía modularse y usarse como medio portador de información analógica en comunicaciones a distancia, usando como medio de transmisión el aire. El transmisor de este aparato usaba la luz del sol modulada por las vibraciones de un diafragma, con una superficie de acabado espejo, que a su vez era estimulado por el movimiento de las moléculas del aire originado por la voz. De esta forma se podían transmitir palabras a un receptor distante, ubicado a unos 200 m. Este receptor contenía una celda de silicio capaz de transformar las intensidades de la luz blanca recibidas a un voltaje proporcional, el cual excitaba la bobina de un altavoz.

Esta transmisión tenía sin embargo grandes problemas, ya que no se disponía de un emisor de luz con la capacidad de transmitir luz en una sola frecuencia y en una sola dirección (recordemos que la luz blanca se compone de todos los colores que vemos) El gran

científico, llegó a considerar este aparato como su mejor invención (incluso mejor que el “teléfono” que el mismo invento) Su sueño de comunicación óptica se haría realidad hasta cien años después, exactamente, como veremos más adelante. La siguiente figura, 1.1.2; muestra el principio del fotófono de Graham Bell.



Figura, 1.1.2 Experimento de Graham Bell.

En 1927, en Inglaterra J. L. Baird registro patentes que describían la utilización de bastones sólidos de vidrio en la transmisión de luz, para su empleo en un sistema primitivo de televisión a colores. El gran problema, sin embargo, es que los materiales y las técnicas usadas no permitían la transmisión de luz con buen rendimiento. Las pérdidas eran grandes y no había dispositivos de acoplamiento óptico.

Las primeras pruebas sobre la transmisión de la luz en fibras ópticas se pudieron realizar hasta 1930, en Alemania. En 1935 Inglaterra propuso que la luz se transmitiera por un núcleo de vidrio envuelto en otra capa de vidrio, ambos vidrios con diferente índice de refracción, solamente en 1950 las fibras ópticas comenzaron a interesar a los investigadores, con muchas aplicaciones prácticas que estaban siendo desarrolladas, estas aplicaciones se referían, principalmente, a la iluminación remota o a la transmisión de imágenes a través de cables flexibles, para aplicaciones médicas (endoscopía).

N.S. Kapany invento el termino “fibra óptica” en 1956. Lo definió como: “El arte de la conducción activa y pasiva de la luz a lo largo de fibras transparentes en trayectorias predeterminadas”.

En 1960, Japón empezó a transmitir imágenes de video a través de fibras de vidrio, pero las pérdidas fueron tan grandes en unos cuantos metros que por este momento se desistió de seguirlas usando como medio de transmisión de señales, pero este mismo año se inventa en Estados Unidos el primer rayo láser de rubí (láser = amplificación de la luz por emisión estimulada de radiación) lo cual vino a dar un gran impulso a las transmisiones ópticas, por lo innovador de esta nueva fuente de luz, y por marcar la posibilidad de utilizar “luz coherente” para transmitir señales de comunicación. En las primeras pruebas hechas en el aire, las pérdidas de información eran muy grandes, debido las condiciones ambientales, principalmente. Esto hizo que se impulsara el desarrollo de las fibras ópticas más transparentes, para el transporte seguro de la información.

En 1966 se lanza un programa de investigación en diversos laboratorios orientados al desarrollo de la fibra óptica, y en un comunicado dirigido a la British Association for the Advancement of Science, los investigadores K. C. Kao y G. A. Hockman propusieron el uso de las fibras ópticas y la luz en lugar de los conductores metálicos y la electricidad, respectivamente, en la transmisión de mensajes telefónicos. La obtención de tales fibras exigió grandes esfuerzos con perdidas muy grandes, del orden de 1000 dB/Km (comparadas con las pérdidas de los cables coaxiales, que se deseaban reemplazar, de solo 5 a 10 dB/Km). Además, presentaban una banda de paso estrecha, una enorme fragilidad mecánica, y serios problemas para unir las fibras ópticas de una manera satisfactoria (para lograr bajas pérdidas, y permitir que el proceso se realizara repetidas veces fácilmente).

En 1970, en Estados Unidos Robert Maurer de la Corning Glass Works realizó la primera fibra óptica unimodo con pérdidas ópticas inferiores a 20 dB y una banda pasante de 1 GHz/Km, con la perspectiva de sustituir los cables coaxiales. La utilización de fibras ópticas de 100 mm de diámetro, envueltas en nylon resistente, permitió dotar a las fibras de mayor resistencia a los esfuerzos mecánicos, para que ya no pudieran romperse fácilmente.

En 1971, se incremento la eficiencia y la vida útil del láser semiconductor a temperatura ambiente, y se mejoraron los fotodetectores. De esta manera se contó con todos los elementos necesarios para realizar el primer sistema de transmisión a través de un medio óptico, en el ámbito comercial. 10 años más tarde, las pérdidas de las fibras óptica se redujeron a 5 dB/Km, y las técnicas de unión de baja pérdida se fueron perfeccionando. Así se continuo con la fabricación de fibras ópticas con pérdidas siempre más bajas, llegándose actualmente a obtener pérdidas inferiores a 0.1 dB/Km (lo que es mucho menos de lo que

presentan los cables coaxiales), Las pérdidas de potencia óptica dependen del tipo de fibra óptica, pero en general actualmente todas las fibras ofrecen baja atenuación y gran ancho de banda, gracias a sus avanzados métodos de fabricación. Por lo anterior, este medio de enlace se ha hecho muy popular comercialmente y empieza a sustituir con éxito a otros medios de transmisión de señales, sobre todo en distancias grandes. Las fibras ópticas presentan ventajas económicas y técnicas, en redes de larga distancia.

1.2 LA FIBRA ÓPTICA

En mayo de 1854, John Tyndal demostró el principio de la reflexión total interna conduciendo luz en una cascada de agua. Observó que los rayos de luz viajando a través del agua (medio ópticamente denso) no escapan hacia el aire (medio ópticamente menos denso), sino hasta que exceden a un ángulo crítico; en esencia éste es el principio de las guías de luz. Más adelante, en 1910, Deybe hizo estudios de guías de onda dieléctricas, utilizando tubos construidos de diferentes tipos de materiales dieléctricos translúcidos.

La invención del rayo láser en 1960 marcó la posibilidad de utilizar luz coherente en guías de onda para transmitir señales de comunicación. En los primeros intentos, las pérdidas de información eran muy grandes y la principal razón se debía a las impurezas en los materiales. Esto fue investigado en 1966 por Charles Kao y George Hockham, de los Estándar Telecommunications Laboratories, en Inglaterra, cuando las atenuaciones en las fibras conocidas eran del orden de 1000 dB/Km.

Cuatro años más tarde, tres físicos de la Corning Glass Works: Maurer, Keck y Kapron, eliminaron las impurezas en las fibras al suprimir los vapores dentro del tubo de vidrio que las constituye; logrando con ello, además, una mayor firmeza en el material al diseñar fibras con atenuaciones hasta 20 dB/Km.

La atenuación depende del tipo de fibra óptica de que se trate. En general, las atenuaciones alcanzadas en los últimos años han llegado hasta 0.1 dB/Km, siendo en promedio de 1 dB/Km.

1.2.1 DEFINICION DE FIBRA ÓPTICA

Las fibras ópticas son filamentos de vidrio o cuarzo largos y flexibles de pequeña sección transversal (circular), de dimensiones comparables al cabello humano. Constan de un “núcleo” de vidrio transparente rodeado por un material dieléctrico transparente llamado “revestimiento”, cuya función es atrapar, concentrar y transportar por la fibra; el “núcleo”, la luz visible o infrarroja que será transmitida.

El mecanismo de la transmisión de la luz a lo largo de una fibra óptica se basa en la reflexión total interna que ocurre cuando un haz de luz emerge de un medio denso a uno

menos denso. Su principio de operación se explica físicamente a partir de la teoría electromagnética.

El conjunto del núcleo más el revestimiento forma lo que se denomina comúnmente “fibra óptica”. La figura 1.2.1 muestra la constitución de una fibra óptica simple.

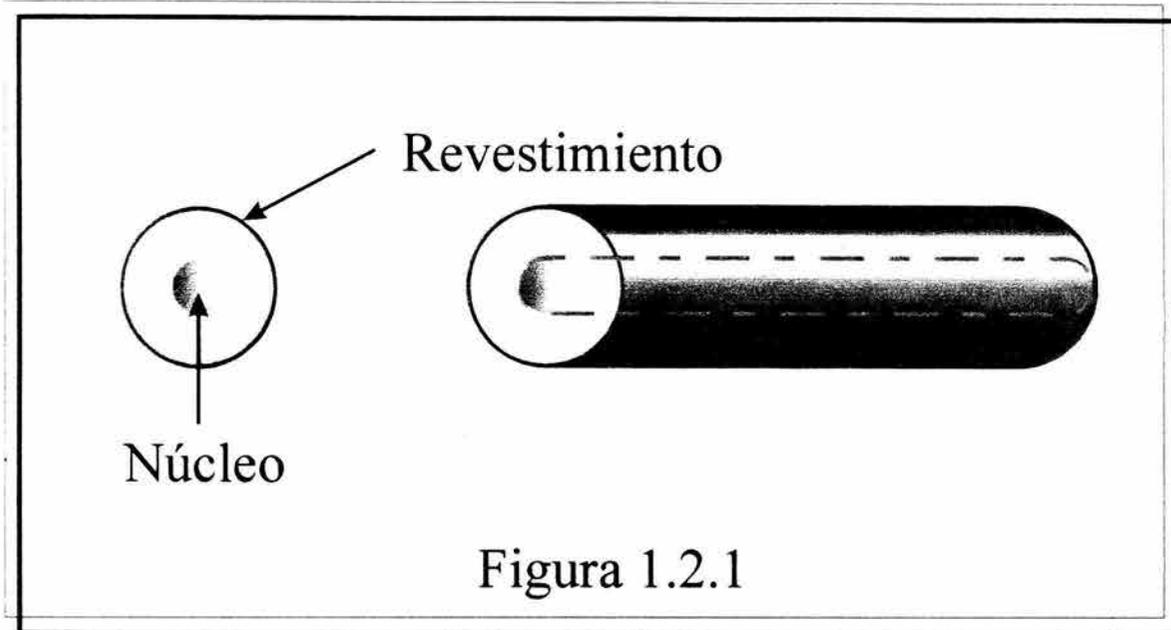


Figura 1.2.1 Fibra óptica simple.

Núcleo: Es la sección central y principal, en la que viaja la señal lumínica óptica. De acuerdo a la colocación de los materiales en el núcleo, se tienen dos tipos de “perfil de índice de refracción” principal: escalonado y gradual. Sin embargo, hay otros modernos como el segmentado, el triangular, etc.

Revestimiento: Es la capa que rodea al núcleo, y su objeto es el de actuar como una pantalla reflejante que atrapa los rayos de luz en el núcleo. Para lograrse este objetivo, el índice de refracción del revestimiento es ligeramente menor que el del núcleo.

Anillo: Existe, en algunos tipos de fibra óptica, entre el núcleo y el revestimiento. Por ejemplo, en fibras de perfil de índice de refracción segmentado.

1.3 TIPOS DE FIBRA ÓPTICA.

Las fibras ópticas son del tipo unimodo y multimodo, dependiendo de la forma de propagación de luz que presenten. Las fibras multimodo presentan varios modos de

propagación de la luz al mismo tiempo, mientras que las fibras unimodo presentan solo un modo.

La teoría de los modos deriva de las ecuaciones de James Clerk Maxwell (Físico escocés del siglo pasado, en el año de 1873). Un modo es una solución válida de las ecuaciones de Maxwell. Se puede considerar por simplicidad que un modo es una trayectoria que puede seguir un rayo de luz viajando por la fibra. El número de modos soportados por una fibra de 1 hasta 100,000.

Una fibra proporciona un camino de trayectorias para uno o miles de rayos de luz, dependiendo de su medida y propiedades.

Además cada modo porta una cantidad específica de energía. La mayoría de las fibras soportan actualmente muchos modos. Sobre la distancia la energía se transfiere entre modos hasta que todos los modos conducen su energía característica, cuando esto ocurre se dice que se ha llegado al punto de “distribución de modo de equilibrio” (EMD). Las fibras ópticas de alta calidad a menudo requieren decenas de kilómetros para llegar al EMD.

1.3.1 FIBRAS MULTIMODO.

Las fibras multimodo pueden ser de índice escalonado e índice gradual.

Fibras de índice escalonado El núcleo de estas fibras está constituido de un índice de refracción constante, rodeado por un revestimiento. El índice del revestimiento siempre es menor que el del núcleo con el que hace frontera; en este caso sí ocurre dispersión modal, tal como se muestra en la figura 1.3.1, donde a es el radio del núcleo.

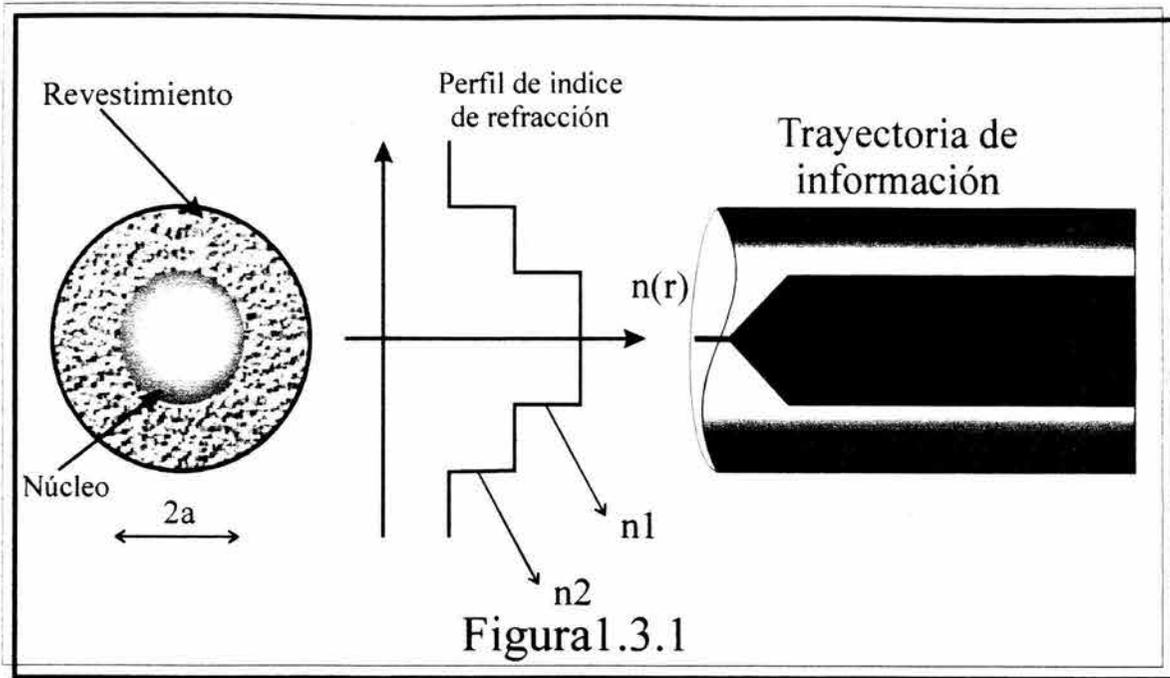


Figura 1.3.1 Fibra de índice escalonado

En la figura 1.3.2 se observa la estructura de una fibra de índice escalonado, que consiste, como ya lo hemos visto, de un núcleo (core) homogéneo en este caso con un diámetro $2a$ e índice de refracción n_1 y de un revestimiento (cladding) que rodea al núcleo y tiene un índice de refracción n_2 ligeramente menor que el núcleo:

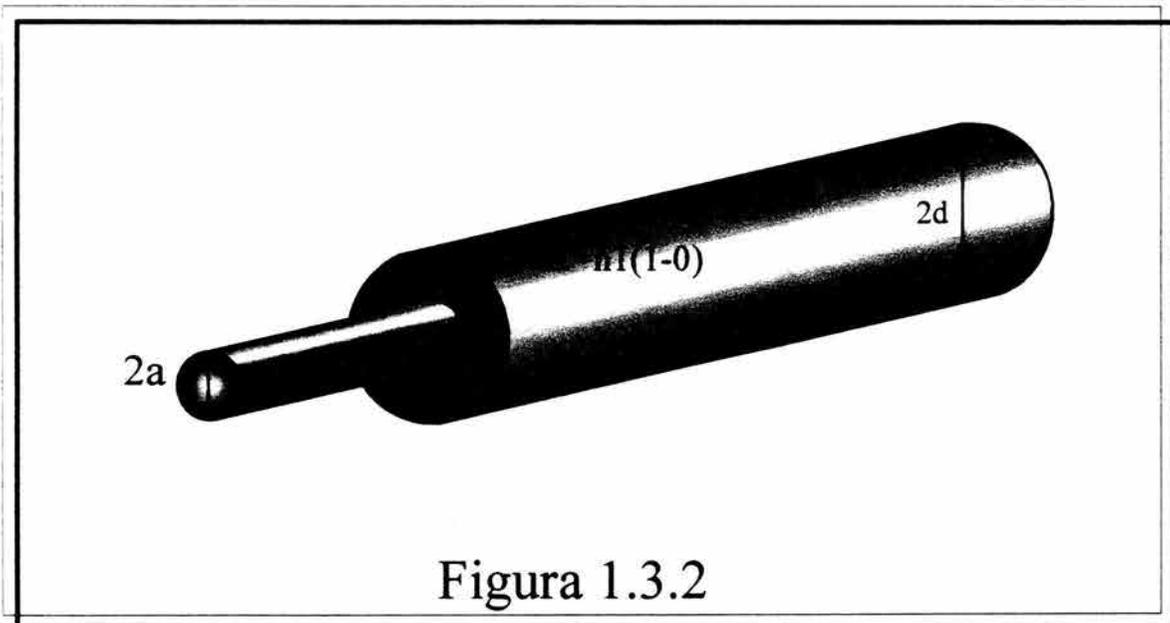


Figura 1.3.2 Fibra de índice escalonado

$$n_2 = n_1(1 - \ddot{A}) \quad (1.1)$$

en esta ecuación, \ddot{A} es la diferencia fraccional del índice de refracción entre el núcleo y el revestimiento:

$$\ddot{A} = (n_1 - n_2) / n_1 \quad (1.2)$$

En la frontera entre el núcleo y el revestimiento se produce una reflexión total interna debido a la diferencia entre los índices de refracción; el ángulo crítico en este caso será:

$$\text{Sen } \dot{e}c = n_2 / n_1 = 1 - \ddot{A} \quad (1.3)$$

En la fibra de índice escalonado se presentan dos tipos de rayos, los meridionales (Meridional Rays) y los rayos oblicuos (Skew Rays). Los primeros entran a través del eje de la fibra, se reflejan internamente y se propagan en un plano (figura 1.3.3). Los segundos no entran a través del eje, ni son paralelos a él, sino que se reflejan internamente siguiendo una trayectoria helicoidal (figura 1.3.4).

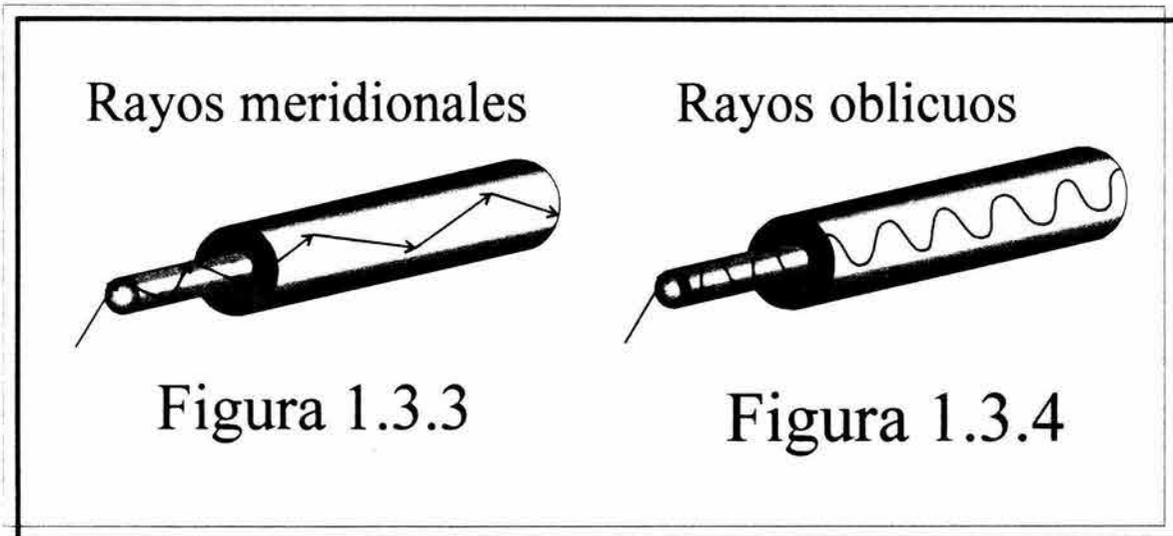


Figura 1.3.3,1.3.4 Rayos meridionales y rayos oblicuos

Rayos meridionales

Estos rayos inciden primeramente en el núcleo de la fibra y quedan contenidos en un plano perpendicular a su sección transversal. Luego que han entrado al núcleo, deben incidir en la frontera entre el núcleo y el revestimiento y reflejarse con un ángulo $\dot{e}c$ (ángulo crítico) o ángulos mayores, para que la reflexión sea total y el rayo quede confinado dentro del

núcleo de la fibra. Veamos un ejemplo de ello; para el común de las fibras usadas en comunicaciones, la diferencia de los índices de refracción oscila entre 0.007 y 0.02. Supongamos una $\Delta = 0.01$; entonces el ángulo crítico sería :

$$\theta_c = \text{Sen}^{-1}(1 - \Delta)$$

$$\theta_c = \text{Sen}^{-1}(1 - 0.01) = 81.89^\circ$$

La longitud L que recorre el rayo es:

$$L(\theta) = L / \text{Cos } \theta \quad (1.4)$$

El objetivo de procurar diferencias pequeñas entre los índices de refracción es obtener ángulos críticos grandes que vayan casi paralelos al eje y evitar con ello pérdidas en la capacidad de información de la fibra, ya que de esta manera, el rayo que va por el eje de la fibra y los rayos meridionales sólo se desfasan ligeramente. En el caso de los rayos que inciden en la frontera núcleo-revestimiento con ángulos menores al crítico, pasan a través de ella refractándose en el revestimiento y se pierden en él por absorción, difusión o dispersión.

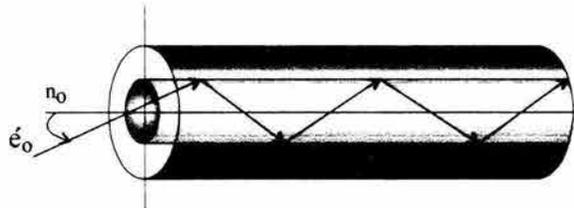


Figura 1.3.5

Figura 1.3.5 Rayos meridionales

Si los ángulos de los rayos que inciden en el núcleo satisfacen esta ecuación, entonces el rayo sufrirá una reflexión total interna y se propagará a lo largo de la fibra. El máximo ángulo θ_0 que satisface la ecuación $\theta_0 = \text{sen}^{-1}(n_1 (2\Delta - \Delta^2)^{1/2}) / n_0$ se le llama ángulo de aceptación en la fibra. Si se excede este ángulo, entonces no ocurrirá la reflexión total interna, sino los rayos se internarán en el revestimiento.

Rayos oblicuos

A diferencia de los rayos meridionales, estos rayos siguen una trayectoria de forma helicoidal poligonal dentro del núcleo de la fibra, reflejándose también internamente.

En la figura 1.3.6 se muestra un esquema de la trayectoria de los rayos oblicuos. Como puede observarse, definimos α como el ángulo entre BAC, β es el ángulo entre OBC, y θ que es el ángulo de incidencia entre ABO.

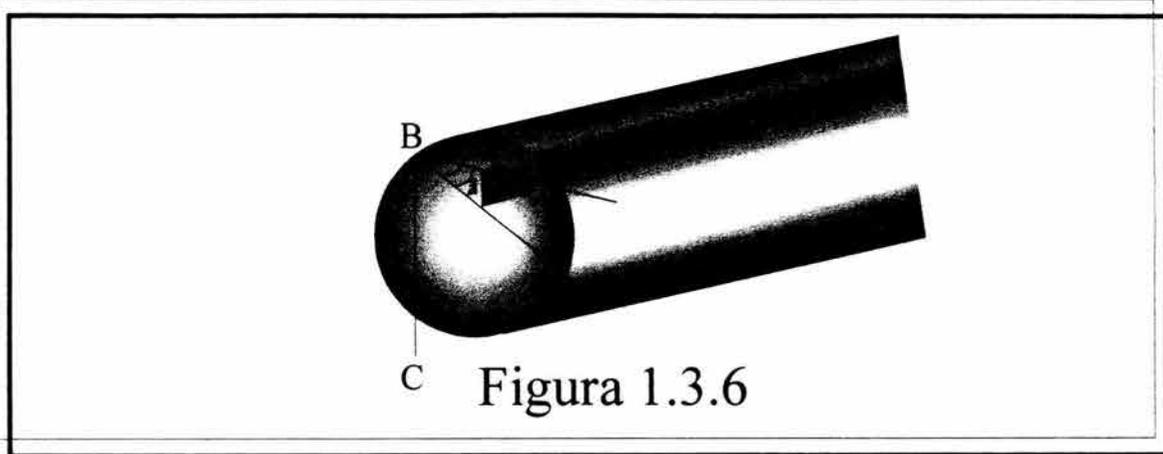


Figura 1.3.6 Rayos oblicuos

La ecuación que relaciona estos ángulos está dada por:

$$\cos\theta - \text{Sen}\theta \cos\alpha \quad (1.11)$$

que describe el mismo comportamiento para el rayo en cualquier punto de la fibra.

La figura 1.3.7 nos es útil para encontrar la relación entre la distancia del plano donde está contenido el rayo hasta el eje de la fibra, y el radio de la misma fibra.

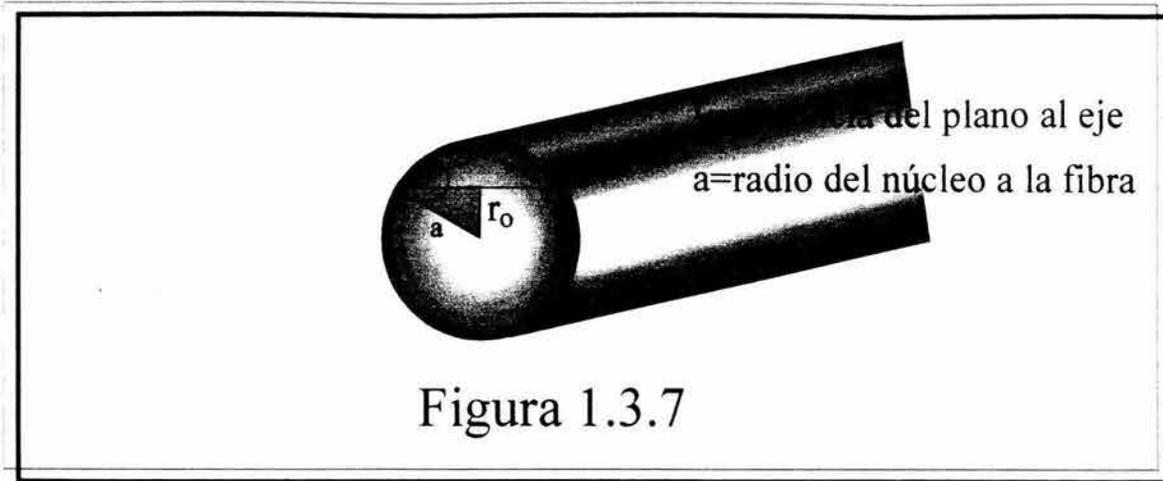


Figura 1.3.7

Figura 1.3.7 Relación entre la distancia del plano al eje y el radio del núcleo de la fibra

La relación que encontramos es $\bar{a}=a/r_0$.

Fibras de índice gradual

En esta fibra, el índice de refracción del núcleo va decreciendo gradualmente en función del radio, hasta llegar al revestimiento. Debido a que el índice de refracción del núcleo decrece, los rayos de luz se van flexionando gradualmente regresando al centro del núcleo como se observa en la figura 1.3.8, donde a es el radio del núcleo,

Esto explica la razón por la que en este tipo de fibra la atenuación es menor, comparada con la fibra escalonada, donde el cambio en el índice de refracción es mucho más brusco.

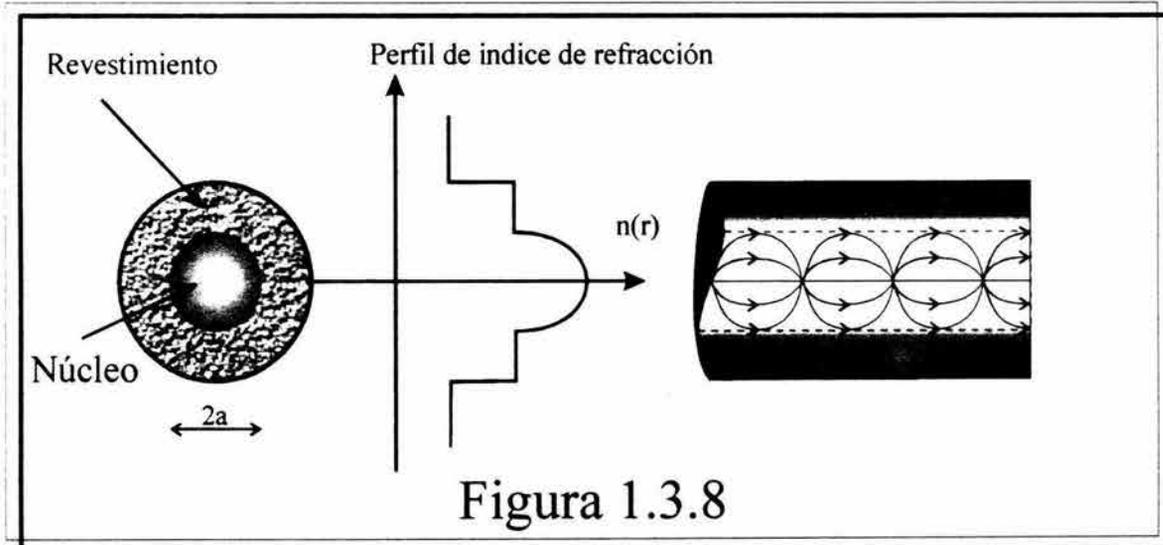


Figura 1.3.8

Figura 1.3.8 Fibra de índice gradual

En las fibras de índice escalonado hay un pequeño retardo entre los rayos que inciden en la fibra paralelos al eje y aquellos que lo hacen con un cierto ángulo, debido a la diferencia de distancia recorrida. Para solucionar este problema se diseñaron fibras con un núcleo cuyo índice de refracción vaya decreciendo gradualmente desde el eje hasta la frontera con el revestimiento, provocando que las sucesivas refracciones hacia el eje del núcleo hagan que ambos rayos coincidan en tiempo. Es cierto que la trayectoria que recorren los rayos que inciden con diferentes ángulos es más larga, pero debido a que su velocidad es mayor en las regiones donde el índice de refracción es menor, compensa al recorrido haciendo que lleguen casi al mismo tiempo que los rayos axiales.

En este caso, es necesario establecer un sistema de coordenadas cilíndricas y encontrar al camino óptico recorrido por el rayo, tomando en cuenta la variación del índice de refracción en la fibra.

Las fibras ópticas de índice gradual actúan como si estuvieran constituidas por "n" lentes paralelos entre sí, que van enfocando periódicamente los rayos que se propagan a lo largo de la fibra.

1.3.2 FIBRAS MONOMODO.

En estas fibras el índice de refracción del núcleo es constante y tiene un solo modo de propagación, pues permite que la luz viaje a través de una sola trayectoria a lo largo del núcleo, tal como se muestra en la figura 1.3.9, evitando la dispersión modal. Las dimensiones del núcleo son mucho menores que el revestimiento (por ejemplo: 10/125 μ m).

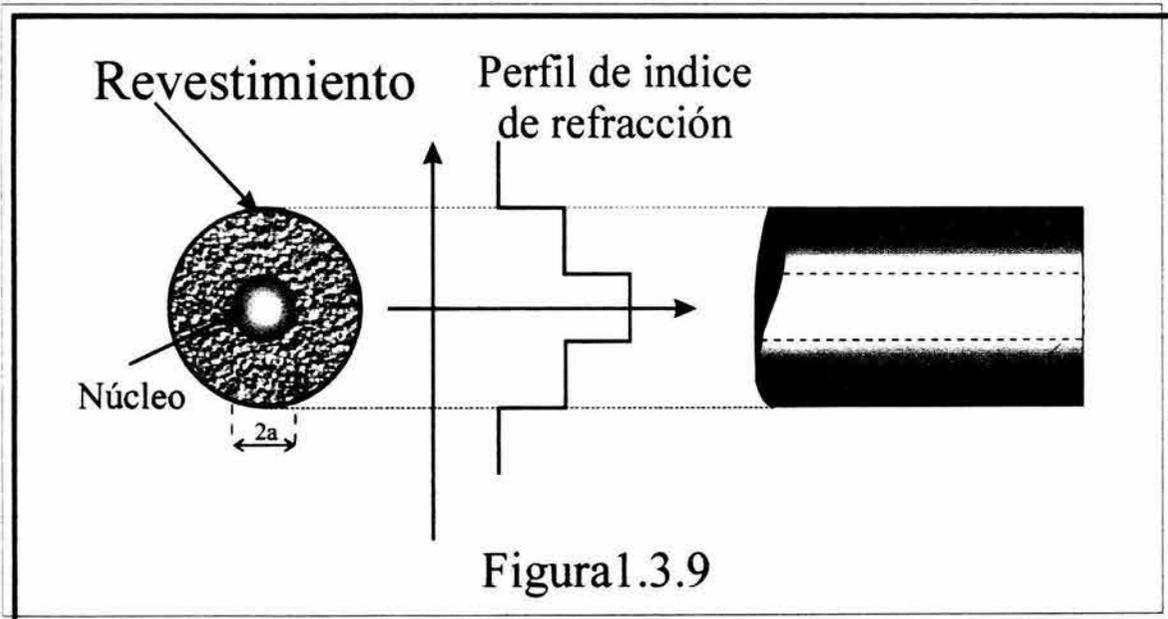


Figura 1.3.9 Fibra monomodo

Potencialmente, esta es la fibra que ofrece la mayor capacidad de transporte de información. Tiene una banda de paso del orden de los 100 GHz/km. Los mayores flujos se consiguen con esta fibra, pero también es la más compleja de implantar. El dibujo muestra que sólo pueden ser transmitidos los rayos que tienen una trayectoria que sigue el eje de la fibra, por lo que se ha ganado el nombre de "monomodo" (modo de propagación, o camino del haz luminoso, único). Son fibras que tienen el diámetro del núcleo en el mismo orden de magnitud que la longitud de onda de las señales ópticas que transmiten, es decir, de unos 5 a 8 μm . Si el núcleo está constituido de un material cuyo índice de refracción es muy diferente al de la cubierta, entonces se habla de fibras monomodo de índice escalonado. Los elevados flujos que se pueden alcanzar constituyen la principal ventaja de las fibras monomodo, ya que sus pequeñas dimensiones implican un manejo delicado y entrañan dificultades de conexión que aún se dominan mal.,

Características	Fibras Multimodo		Fibras Monomodo
	Índice escalonado	Índice de gradiente gradual	
Diámetro del núcleo	100 μm <0<600 μm	50 μm <0<100 μm	8 μm <0<10 μm
Diámetro de cubierta	140 μm <0<1000 μm	25 μm <0<150 μm	Creciente o decreciente
Índice del núcleo	Constante	Carece de centro a la periferia	Muy pequeña $n=0$
Apertura numérica	0.30	0.20 a 0.27	>10 Ghz/Km, no significativa
Banda de paso	20 a 10 Mhz/Km	200 a 1200 Mhz/Km	
Atenuación según las ventanas			
0,85 μm	8 a 20 db/Km	2,5 a 4 dB/Km	0,3 a 0,5 dB/Km
1,3 μm		0,6 a 1,5 dB/Km	0,150 a 0,3 dB/Km
1,55 μm			

Tabla 1.1.1 Características de fibras multimodo y fibras monomodo.

1.4 TRANSMISION.

Un sistema de comunicación se encuentra siempre que surja la necesidad de transmitir información de un punto a otro, y durante los últimos años han aparecido muchas formas de sistemas para realizar esta tarea. Las principales motivaciones para generar tales sistemas y para su evolución han sido mejorar la fidelidad en la transmisión, incrementar la velocidad de transferencia de información, e incrementar la distancia entre repetidores, entre otras.

En su forma más elemental, un sistema de comunicación consta de los siguientes

elementos: un transmisor, un medio de comunicación y un receptor. El primero tiene como función el procesar el mensaje a ser transmitido, modificarlo y convertirlo en una señal eléctrica u óptica de tal modo que puede enviarse a través del medio de comunicación; el receptor se encarga de recibir dicha señal, convertirla y modificarla para recuperar el mensaje original.

Es parte importante entonces, en un sistema de comunicación, el mensaje o la información a transmitir y las modificaciones que sufre para ser enviada de un lugar a otro. El descubrimiento del telégrafo por Samuel Morse en 1838 nos impulsó a una nueva época en comunicaciones, la era de comunicaciones eléctricas. El uso de los cables metálicos para la transmisión de información se generalizó con la instalación de la primera red telefónica en Connecticut en 1878. El cable metálico era el único medio de comunicación eléctrica hasta el descubrimiento de la radiación electromagnética de longitud de onda grande efectuado por Hertz en 1887.

En los años siguientes una gran región del espectro electromagnético se utilizó para transmitir información de un lugar a otro. La razón para esto es que, en sistemas eléctricos, los datos son usualmente transferidos sobre el canal de comunicación mediante la súper imposición de la señal de información en una onda electromagnética senoidal que es conocida como portadora.

En el destino la información se extrae de la portadora: Dado que la cantidad de información que puede ser transmitida ésta directamente relacionada al rango de frecuencias sobre el cual la portadora opera, incrementando la frecuencia de la portadora teóricamente incrementaría el ancho de banda disponible y, consecuentemente, tendría una mayor capacidad de información. Así la tendencia en sistemas de comunicación eléctrica era emplear progresivamente altas frecuencias, que ofrecieran incrementos correspondientes en anchos de banda y por lo tanto, incrementos en la capacidad de información. Esta actividad condujo al nacimiento de la televisión, radar, y enlaces de microondas. Un gran interés en comunicaciones a frecuencias ópticas se crea en 1960 con el advenimiento del láser el cual es una fuente óptica coherente. Dado que las frecuencias ópticas son del orden de 5×10^{14} Hz, el láser tiene teóricamente una capacidad de información que excede los sistemas de microondas por un factor de 10^5 , que es aproximadamente igual a 10, 000, 000 de canales de televisión con impotencia! de tales anchos de banda, se generaron una gran cantidad de experimentos usando canales ópticos atmosféricos en los años 60's. Estos experimentos mostraron la posibilidad de modular una portadora óptica coherente a frecuencias muy altas. Sin embargo los tremendos costos necesarios para desarrollar componentes, y las limitaciones impuestas en el canal atmosférico (lluvia, niebla, nieve y polvo) hace este sistema económicamente inatractivo.

Simultáneamente con el trabajo de canales ópticos atmosféricos se realizaron investigaciones en fibras ópticas. Inicialmente, las pérdidas de más de 1000 dB x Km en las mejores fibras hicieron parecer este un canal impracticable. En 1970 Corning Glass Works fabricó una fibra con 20 dB x Km de atenuación y con esto nació una nueva era en las comunicaciones. Las fibras ópticas tienen menores pérdidas de transmisión y mayores anchos de banda que los cables de cobre. Además de ser ligeros y de bajas dimensiones. Una característica importante de las fibras ópticas es su naturaleza dieléctrica. Esto provee guías ópticas inmunes a la interferencia electromagnética, tal como rayos y radiación de equipos.

1.5 SISTEMA DE TRANSMISION POR FIBRA ÓPTICA

Como vemos el sistema es capaz de transportar señales analógicas o digitales de una determinada velocidad de transmisión. Para esta transmisión de señales lumínicas, las señales eléctricas deben ser convertidas en señales de luz, y estas nuevamente a eléctricas en el receptor.

Estas tareas son asumidas por componentes semiconductores como los convertidores opto electrónicos, en ambos lados del tramo de transmisión; determinados cristales semiconductores (diodo láser y diodos emisores de luz) emiten luz durante el paso de la corriente eléctrica, cuya longitud de onda se encuentra apenas por encima del espectro visible para nuestro ojo. Una delgada fibra conduce esta luz con escasas pérdidas al receptor (fotodiodo en avalancha y diodo PIN) que reacciona en forma muy sensible a la luz aportada por la fibra entregando corriente eléctrica.

En la figura 1.51, la fibra óptica conecta al transmisor y al receptor ópticos mediante pigtails, que son fibras ópticas conectorizadas que se empalman al medio de transmisión, formado por fibras ópticas de gran longitud.

Cuando la distancia entre un centro generador de señales y un centro receptor de las mismas es grande, la señal transportada por la fibra se puede atenuar demasiado, por lo que es conveniente poner regeneradores de señal entre ambos centros (repetidores).

Los repetidores regeneran las señales ópticas y las acondicionan para volver a ser transmitidas a un buen nivel de potencia óptica.

Sus componentes principales son el transmisor, el receptor, el cable y los conectores, como se muestra en la figura 1.5.1.

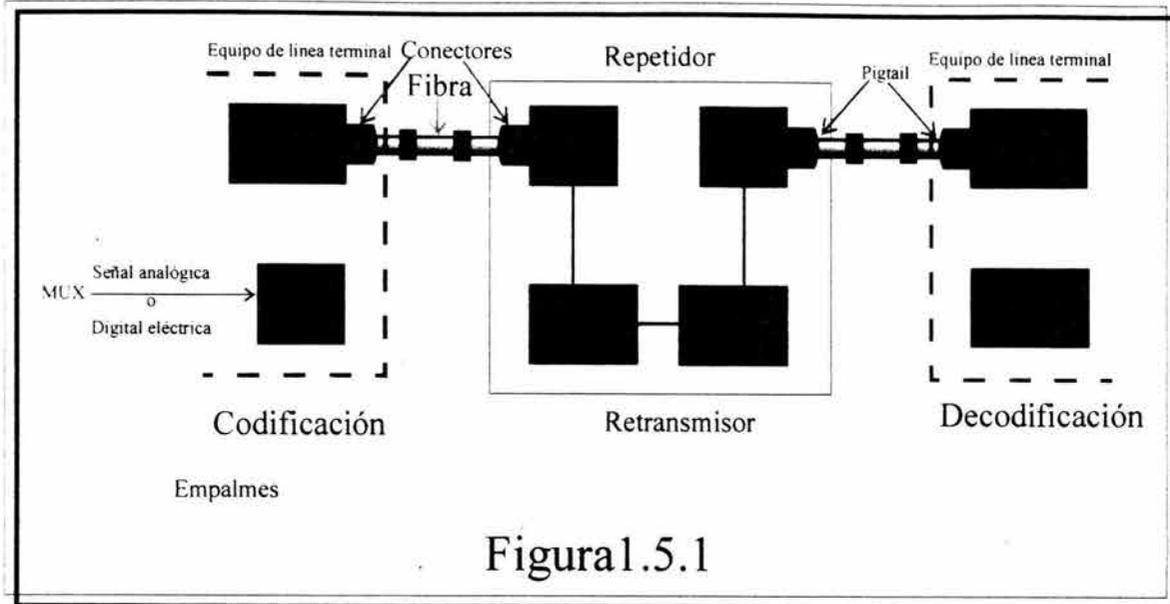


figura 1.5.1 Elementos de un sistema de comunicaciones por fibra óptica

1.6 ELEMENTOS DE UN ENLACE DE TRANSMISIÓN POR FIBRA ÓPTICA

Una transmisión con fibra óptica contiene los elementos mostrados en la figura 1.6.1. Las secciones esenciales son un transmisor consistente de una fuente luminosa y su circuitería asociada, un cable con fibra óptica protegido mecánicamente del ambiente, y un receptor consistente de un foto detector mas amplificación y restauración de la señal.

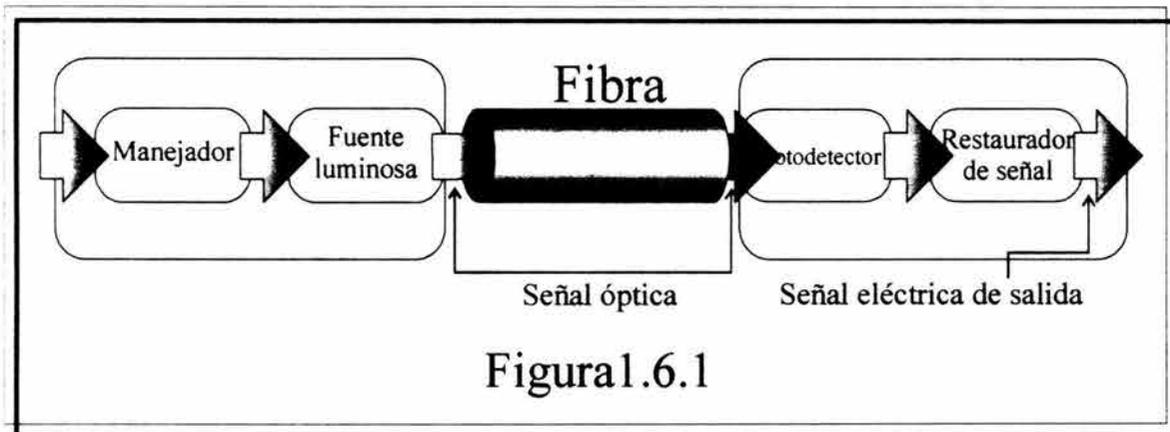


Figura1.6.1

La instalación de cables de fibra óptica puede ser aérea, en ductos, submarina, o enterrada directamente en la tierra. la longitud en las diferentes instalaciones varia de cientos de metros a varios kilómetros de distancia.

Una de las principales características de la fibra es su atenuación como función de la longitud de onda. Inicialmente se hizo un exclusivo de la banda de 800 a 900 nm, dado que en esta región las fibras hechas en ese tiempo exhibían un mínimo en la curva de atenuación, y se disponía de fuentes ópticas y foto detectores a estas longitudes de onda. Mediante la reducción de concentración de iones de hidróxido y de impurezas metálicas, los fabricantes obtuvieron fibras con muy bajas pérdidas en la región de 1,100 a 1,600 nm.

Las características de transmisión fundamentales son: apertura numérica, atenuación, dispersión, y ancho de banda.

1.7 VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE LAS COMUNICACIONES POR MEDIO DE FIBRAS ÓPTICAS

Insensibilidad a la interferencia electromagnética, como ocurre cuando un alambre telefónico pierde parte de su señal a otro.

Las fibras no pierden luz, por lo que la transmisión es también segura y no puede ser perturbada.

Carencia de señales eléctricas en la fibra, por lo que no pueden dar sacudidas ni otros peligros. Son convenientes por lo tanto para trabajar en ambientes explosivos.

Liviandad y reducido tamaño del cable capaz de llevar un gran número de señales.

Sin puesta a tierra de señales, como ocurre con alambres de cobre que quedan en contacto con ambientes metálicos.

Compatibilidad con la tecnología digital.

Fácil de instalar.

Bajas pérdidas.

Gran Ancho de Banda.

Tamaño y Peso Reducido.

Inmunes a EMI.

Seguridad

Material base abundante

No le afecta ningún tipo de interferencia. Puede pasar el cable de fibra al lado de conductores que transporte grandes cantidades de energía.

Son fáciles de conseguir en el mercado

Alcance máximo por tramo de Fibra Óptica Multimodo 2.000 Mts y Monomodo 8.000 Mts

Grandes Velocidades en la transmisión de datos (500 Mhz).

No requieren cañería de protección mecánica y eléctrica dedicada.

Comparte una bandeja con cables de energía, aún de alta tensión o frecuencia, o al aire con mínimas fijaciones

La Fibra es una tecnología probada, sencilla sumamente estandarizada y de altísima confiabilidad

Alta capacidad de transmisión de información

Las fibras ópticas pueden transmitir grandes volúmenes de información a altas velocidades y permitir la conversación simultánea de un gran número de usuarios.

En comparación con los cables de cobre, los de fibras ópticas ofrecen múltiples ventajas en los sistemas de comunicación. tabla 1.71

Tabla 1.7.1 de comparaciones técnico prácticas

Par sencillo	1 Mhz - Km	30
Coaxial	100 MHz - Km	30,000
Fibra óptica	100 GHz - Km	30,000 000
Esto ha sustituido al antiguo concepto del ancho de banda, por que en las fibras ópticas el ancho de banda es apropiada mente infinito y solo se encuentra limitado por las capacidades del transmisor y receptor.		

Dimensiones

Un cable de 2400 pares (TAP), con diámetro externo de 80 mm, puede ser sustituido por un cable de una fibra óptica con diámetro externo de 3.5 mm. (aproximadamente el grueso de un cabello) Ver figura.1.7.1

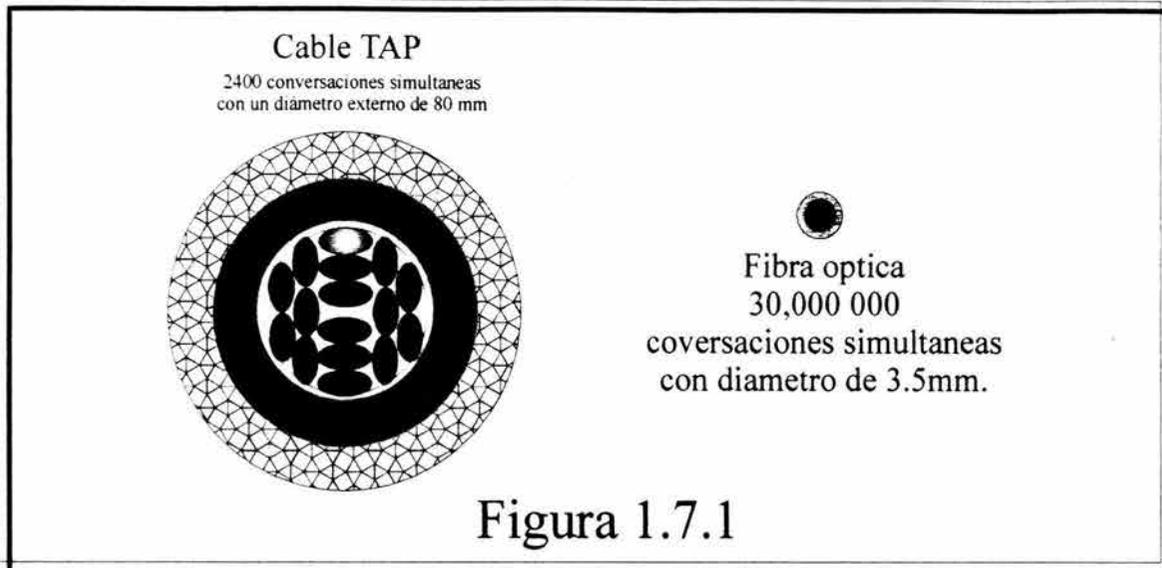


Figura.1.7.1 Dimensiones

Un cable multipar de 3.5 Km de largo pesa aproximadamente 20,650 Kg. Y requiere de 800 horas-hombre para instalarlo; un cable coaxial para la misma capacidad y longitud pesa aproximadamente 18,620 Kg. Y requiere de 400 horas-hombre; en cambio, un cable de fibras ópticas pesa 3500 Kg., Y necesita de tan sólo 88 horas-hombre.

Atenuación

Conforme se desarrolla la técnica de fabricación de fibras ópticas se obtienen atenuaciones cada vez más bajas, actualmente del orden de 0.4 dB/Km para fibras monomodo, con fibras ópticas de sílice, y se espera que con la fibra óptica a partir de fluoruros se logren atenuaciones aún menores; obsérvese en la figura 1.72, la gran diferencia con los cables coaxiales, en los que la atenuación es del orden de 33 dB/Km. La gráfica de la figura 1.72 es representativa de las pérdidas (atenuación) Vs. Los rangos de longitud de onda de los diferentes componentes y dispositivos que son necesarios en un sistema de fibras ópticas, como son los transmisores, los receptores y la misma fibra óptica.

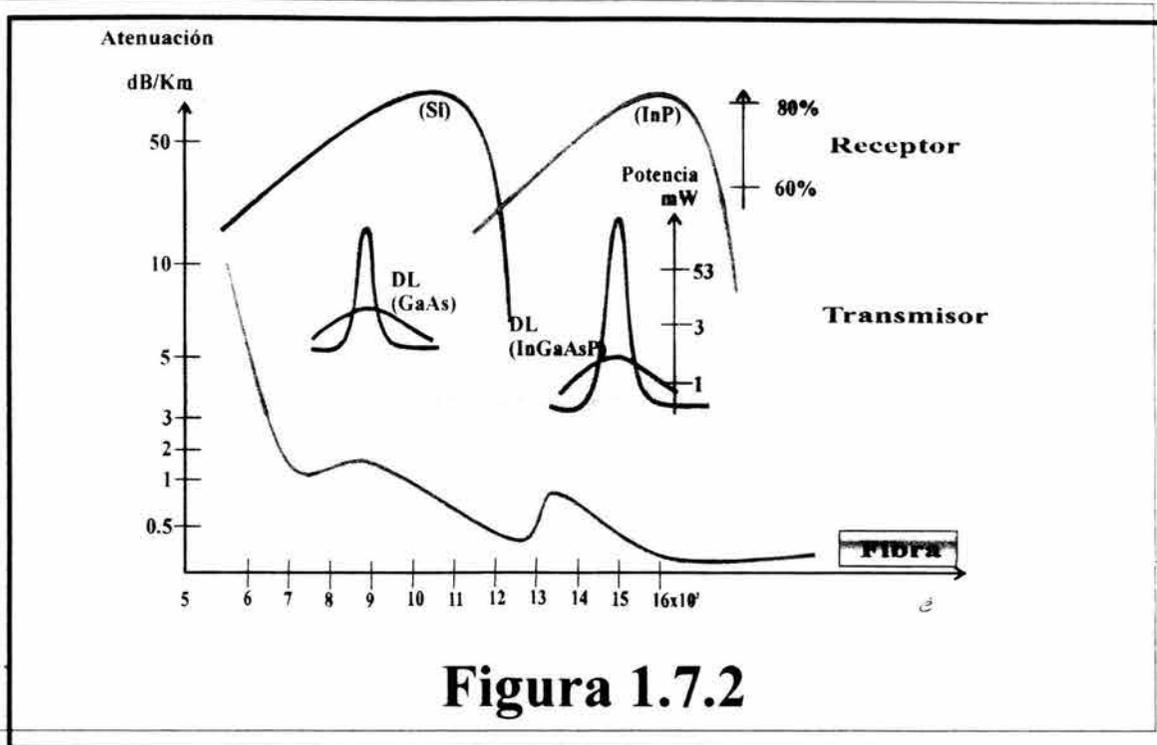


Figura.1.7.2 Atenuación

En líneas de cable de fibras ópticas los repetidores se hacen menos frecuentes.

En un par a la velocidad máxima de transmisión de 2 Mbits/seg. se requieren repetidores cada 1.5 Km a 4 Km.

Un coaxial a la velocidad de transmisión de 140 Mbits/seg. requiere repetidores cada 4.65 Km.

Una fibra óptica a la velocidad de transmisión de 2 Mbits/seg. requiere repetidores cada 9 Km.

Una fibra óptica a la velocidad de transmisión de 140 Mbits/seg. requiere repetidores cada 25 Km.

Costo

Mientras el costo de los cables se incrementa año con año (par, micro coaxial y coaxial), el costo de los cables de fibras ópticas disminuye, debido al perfeccionamiento de la técnica para producirlas. Si consideramos el costo total del sistema de comunicación, resultara siempre más económico usar fibras ópticas que cualquier otro tipo de cable cuando se necesita transmitir mucha información (número de canales) entre 2 puntos y se requiere hacer enlaces de larga distancia.

Mercado de las fibras ópticas

El mercado mundial de las fibras ópticas se encuentra dividido cómo se muestra en la tabla 1.7.2.

Tabla 1.7.2 Mercado de la fibra óptica

APLICACIÓN	PORCENTAJE
Telecomunicaciones	66%
Militar	16 %
Computación y redes locales	11 %
Industria	5%
Otros	2%

Desventajas

Algunas desventajas del servicio de fibra óptica son: la limitación para conectarse a Internet desde más de un lugar, el costo inicial y una cuota mensual más alta. Además de:

Fragilidad de las fibras.

Disponibilidad limitada de conectores.

Dificultad de reparar un cable de fibras roto en el campo

Los problemas que limitan el caudal (tanto en modo NVC como en modo solitón) no vienen solamente de las fibras. Los amplificadores ópticos también tienen sus límites impuestos por fenómenos físicos fundamentales. Se trata en primer lugar de las fluctuaciones erráticas de la intensidad de la señal. Estas se deben a los fotones inevitablemente emitidos por los átomos de erbio de las fibras dopadas, además de los que contribuyen a la amplificación de la señal. Este "ruido" parásito de emisión espontánea se acumula a lo largo de todo el enlace. Es la causa del límite de 10 Gbit/s sobre 10.000 km mencionado anteriormente. Se puede disminuir por filtrado óptico. También aquí tienen los solitones una ventaja, ya que soportan un filtrado relativamente severo. Entonces es posible una transmisión de 20-40 Gbit/s a 10.000 km por un solo canal de longitud de onda.

Tanto en modo NVC como en modo solitón las técnicas progresan continuamente. Por lo tanto es aventurado hacer un pronóstico sobre las capacidades últimas de uno u otro de estos sistemas de comunicaciones. A cada récord de transmisión, se descubren nuevos efectos limitantes, y nuevas innovaciones para cada uno. En cualquier caso los caudales extraordinarios citados más arriba, de 80-100 Gbit/s, ya demostrados en el laboratorio, equivalen a varios millones de conexiones telefónicas simultáneas en una sola fibra. Estos caudales, que están muy por encima de las necesidades del mercado, abriendo perspectivas prácticamente ilimitadas a las futuras autopistas de la información.

Las fibras ópticas presentan limitaciones químicas que adquieren mayor intensidad para determinadas longitudes de onda, a los efectos de la irradiación, determinándose que los láseres de elevada potencia pueden motivar cierto deterioro.

La irradiación conduce a modificar el color del material transparente de las fibras, produciendo su oscurecimiento. El vidrio irradiado está constituido por menor cantidad de sílice y mas óxido de plomo. El cuarzo en estado de extrema pureza se halla menos afectado por la irradiación, pero existe mayor dificultad en convertirlo en fibras.

Aún cuando resulten de costo elevado, las fibras de sílice fundida dopadas con germanio presentan muy buena resistencia a la irradiación, pero el tiempo de restauración de una capacidad transmisora del 50% de la capacidad inicial resulta inferior al de ciertas fibras de material sintético.

Las limitaciones térmicas difieren en alto grado, según se trate de fibras realizadas a partir del vidrio o a partir de materiales sintéticos. Estos han sido previstos para temperaturas que van desde -40 hasta +80 grados centígrados.

Ya que el calor puede proceder de distintas fuentes, es conveniente hacer uso de sistemas de filtraje que actúen para la protección de las fibras frente a una eventual elevación del calor. Las fibras hechas de vidrio no son afectadas por ello hasta +120 grados centígrados, precisando ser protegidas de luz infrarroja.

CAPITULO II

TDM WDM

2.1 TDM

2.1.1 INTRODUCCIÓN (ANTECEDENTES HISTÓRICOS).

Para tener una visión del origen de PCM/MIC es necesario remontarse a finales del siglo pasado, cuando se establecieron las primeras raíces de dos técnicas que se pueden considerar como las bases que más tarde hicieron posible el desarrollo de PCM/MIC. Una de ellas es la técnica de Multiplexaje de Tiempo (TDM/MDT). Esta técnica fue aplicada en telegrafía, luego en 1903, W.N. Miner la aplicó en telefonía, y los resultados fueron satisfactorios para la transmisión de señales de voz de muestreo a una velocidad de 3500 - 4300 muestras/segundo, pero a velocidades menores y mayores.

La otra técnica es la Transmisión de Señales Digitales (es decir, una señal discontinua cuyos varios estados están separados por intervalos variables) la cual ha sido ampliamente aplicada en el campo de las telecomunicaciones. Inicialmente con la incursión del primer telégrafo hacia mediados del siglo XVIII, el cual enviaba señales digitales, en diferentes códigos, como El Código Morse. Sin embargo para esa época todavía era una incógnita el uso de señales digitales para la transmisión de conversaciones en la red telefónica.

A finales de la década de 1930 ya se conocía El Teorema de Muestreo y la Técnica de Multiplexación por División en el Tiempo, pero el interés primordial era aplicar técnicas digitales para la transmisión de señales análogas por la ventaja de inmunidad al ruido y las descritas para señales digitales.

Casualmente por esta misma época un grupo de investigadores en París (Francia) estaba tratando de hallar métodos de modulación adecuados para los radió enlaces de microondas y así tratar de solucionar un problema latente de ruido y distorsión en éste tipo de transmisión.

Uno de los resultados obtenidos por este grupo fue la invención de la Modulación por Impulsos Codificados (PCM/MIC) por ALEC H. REEVES EN 1937, la patente francesa se registro en 1938.

Tecnológicamente era demasiado temprano para usar PCM en la práctica, debido ha que no se contaba con instrumentos y equipos adecuados para ser aplicada esta nueva técnica, pero con la invención del transistor fue factible colocar en servicio una cantidad creciente de sistemas PCM en la red telefónica a principios de los años sesenta.

Con REEVES se establecieron claramente los tres procesos básicos que permite la conversión de señales análogas en digitales (PCM/MIC):

- MUESTREO: Generación de una señal PAM.
- CUANTIFICACIÓN: Determina el valor de las muestras PAM.
- CODIFICACIÓN: Representación de las muestras mediante un código numérico generalmente binario.

La gran ventaja de la técnica PCM/MIC radica en la generación de "unos" y "ceros" iguales a los de la información original en cada punto de regeneración a lo largo de la red de transmisión. Dada la importancia de la técnica PCM/MIC, los organismos internacionales competentes han establecido normas de aplicación de amplia aceptación para el desarrollo de equipos y sistemas basados en PCM/MIC.

2.1.2 MULTIPLEXACIÓN

Multiplexación es una técnica para combinar un número de señales de baja velocidad en una señal de más alta velocidad.

Es como un camino con cuatro carriles de 30 km/h que se convierte en un sólo carril pero de 120 km/h. La función complementaria de la multiplexación es la Demultiplexación: debe descomponer la carretera de alta velocidad en sus componentes de más baja velocidad.

Un ejemplo típico es la multiplexación de 32 canales de voz de 64 Kbps en una sola señal de 2.048 Mbps.

La multiplexación utiliza tres técnicas básicas:

Enviar información individual una tras otra y que se le llama Multiplexación por división del Tiempo (TDM).

Enviar información individual modulada a diferentes frecuencias portadoras; que se le conoce como Multiplexación por división de frecuencia.

Enviar información individual al mismo tiempo, usando la misma banda de frecuencia, pero distorsionados deliberadamente con diferentes códigos de cifrado. A esta técnica se le conoce como Acceso Múltiple por División de Código (CDMA)

2.1.3 PROCESOS DEL PCM

La modulación de pulsos codificados PCM, es un método para convertir información analógica en información digital, cada una de las cuales está presentada por un tren de pulsos binarios. La conversión se realiza en tres procesos:

MUESTREO, CUANTIFICACIÓN, CODIFICACIÓN:

MUESTREO: Muestreo es tomar valores instantáneos de la señal analógica a intervalos de tiempos iguales. Como se observa en la figura 2.1.1

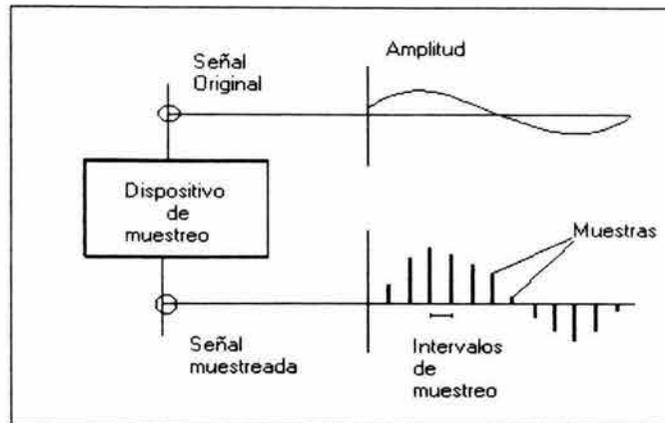


Figura 2.1.1

Figura 2.1.1 La señal de muestreo es un tren de pulsos, cuya envolvente es la señal original

Ahora ¿Cuál deberá ser la velocidad de muestreo, es decir, la cantidad de muestras por segundo? La respuesta a esta pregunta está dada por el teorema del muestreo, que también ilustra el hecho fundamental de que la información contenida en la señal no es afectada por el muestreo.

- La señal original tiene limitación de banda, es decir, no tiene componente de frecuencia en su espectro más allá de cierta frecuencia B .
- La velocidad de muestreo es igual o superior al doble de B , es decir $f_s > 2B$.

El teorema de muestreo se ilustra en la figura 2.1.2. El espectro de la señal muestreada contiene el espectro de la señal original, es decir, no ha ocurrido pérdida de información.

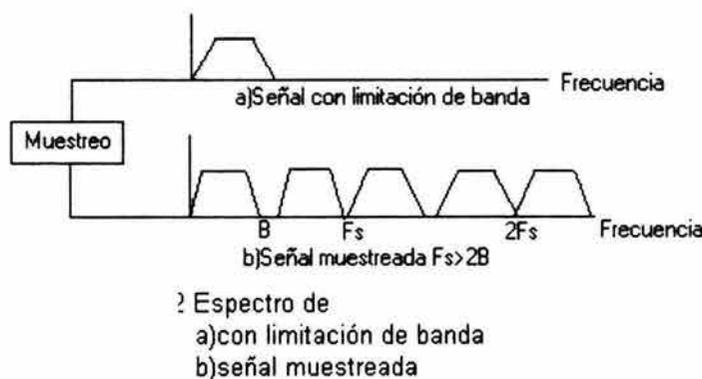


Figura 2.1.2

Figura 2.1.2 espectro de la señal muestreada

En telefonía se usa la parte del espectro de conversación entre 300 y 3400 Hz. El espectro de la conversación humana se extiende desde una frecuencia más baja de alrededor de 100 Hz. Hasta

frecuencias de audio muy altas. El aparato telefónico reduce esta gama de frecuencias pero no lo suficiente a altas frecuencias, de modo que a fin de que quede por debajo de este límite de banda a 3400 Hz, la señal de conversación debe pasarse por un filtro pasa bajos antes del muestreo.

En telefonía, se usa una velocidad de muestreo de 8000 Hz., para los sistemas PCM, esta velocidad es algo superior al doble de la frecuencia más alta de la banda, 3400 Hz, a causa de la dificultad en la construcción de filtros pasa bajos suficientemente cortantes. Se dice que la señal muestreada esta modulada por amplitud de pulsos porque consiste en un tren de pulsos, cuyas amplitudes han sido moduladas por la señal original.

La modulación por amplitud de pulsos (Pulse Amplitude Modulation = PAM), es un método de modulación de pulsos analógicos, porque las amplitudes de los pulsos pueden variar de manera continua de acuerdo con las variaciones de la señal original.

La relativa simplicidad de los sistemas PAM los hace atractivos para algunas aplicaciones telefónicas. No obstante, la PAM no es adecuada para la transmisión en distancias largas a causa de la dificultad de la regeneración de los pulsos con suficiente exactitud, lo cual es importante porque los pulsos PAM contienen la información en la forma del pulso.

CUANTIFICACIÓN: La gama continua de amplitudes de los pulsos es descompuesta en una cantidad finita de valores de amplitud en el proceso de cuantificación. La gama de amplitudes se divide en intervalos y a todas las muestras cuyas amplitudes caen dentro de un intervalo de cuantificación específico se les da la misma amplitud de salida, como se muestra en la figura 2.1.3.

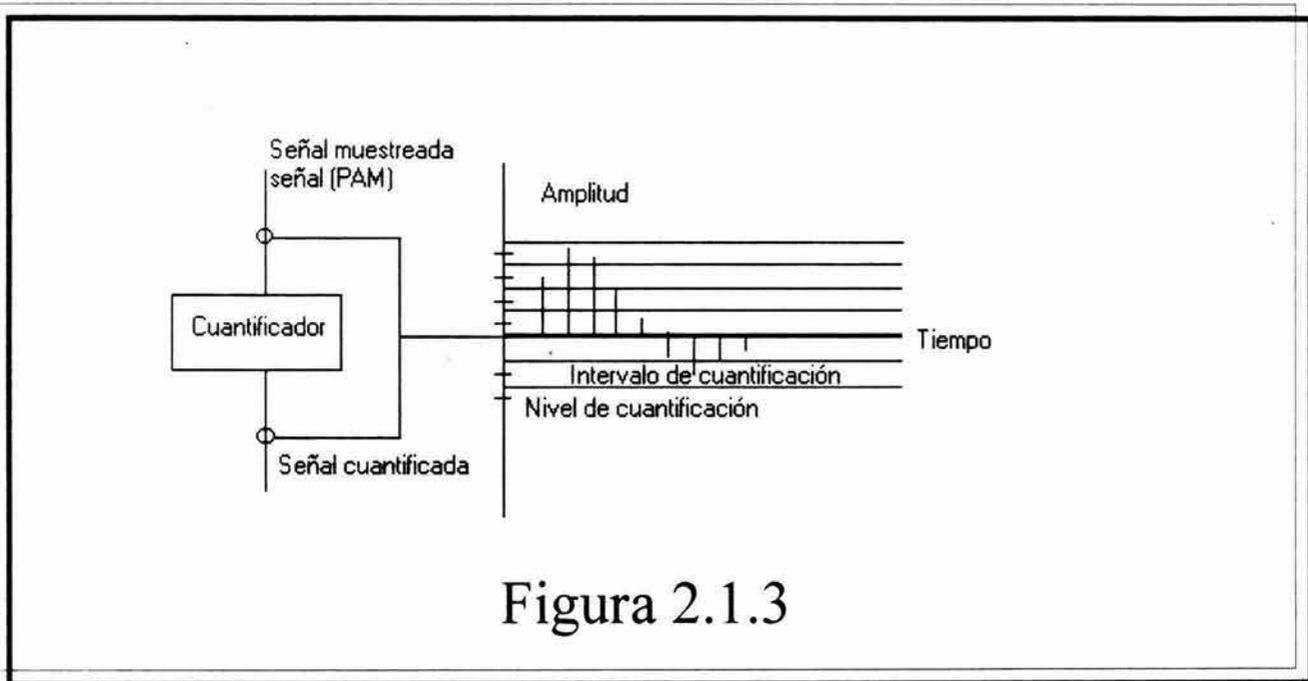


Figura 2.1.3 Proceso de cuantificación

El redondeo de las muestras provoca un error irreparable, distorsión de cuantificación en la señal. Este sacrificio voluntario, que puede reducirse a límites bajos adecuados haciendo que la cantidad de

niveles de amplitud permitidos sea suficientemente grande, se acepta porque hace posible la transmisión libre de errores teniendo solo una cantidad discreta de amplitudes.

En la figura 2.1.3 anterior la distorsión de cuantificación es independiente de la amplitud de la muestra. Esto significa que una persona que habla en voz alta y una que habla en voz baja hacen que el que escucha oiga la misma distorsión de cuantificación. Con respecto a los niveles de conversación, el que habla en voz baja genera mucho más distorsión que el que habla en voz alta. Además, un análisis estadístico muestra que para un hablante individual las amplitudes pequeñas son más probables que las grandes. A fin de obtener una distorsión de cuantificación aceptable sobre toda la gama dinámica de la señal de conversación, los niveles de cuantificación deben dimensionarse con respecto a los niveles de conversación bajos, es decir, los intervalos de cuantificación a altos niveles de conversación será mucho menor que la requerida, pero al costo de una gran cantidad de intervalos de cuantificación.

Obviamente, el error de cuantificación no será independiente de la amplitud de las muestras sino que estará relacionado con ella, de modo que las muestras pequeñas están sometidas a pequeños errores y las muestras grandes están sometidas a grandes errores de cuantificación, a fin de encontrar una solución óptima entre la calidad de la transmisión y la cantidad de intervalos de cuantificación. Esto puede efectuarse de dos maneras, o comprimiendo el rango dinámico de la señal antes de la cuantificación y expandiéndolo nuevamente en el lado de recepción, usando intervalos de cuantificación crecientes con la amplitud. Este proceso a menudo se denomina compansión, (comprensión y expansión). Los sistemas PCM modernos usan el último método de compansión. Con una ley aproximadamente logarítmica que gobierna el aumento en el tamaño de intervalo de cuantificación, es posible obtener una relación aproximadamente constante de señal a distorsión de cuantificación en una amplia gama de volúmenes de conversación, empleando a la vez mucho menos niveles que los que se requerirán con intervalos de cuantificación. Para el PCM en la telefonía, el CCITT ha recomendado dos leyes, que son conocidas comúnmente como la ley A y la ley μ .

Estas leyes también se denominan leyes de codificación ya que en los casos prácticos el proceso de cuantificación se efectúa en el codificador. La gráfica de la ley A se muestra en la figura 2.1.4.

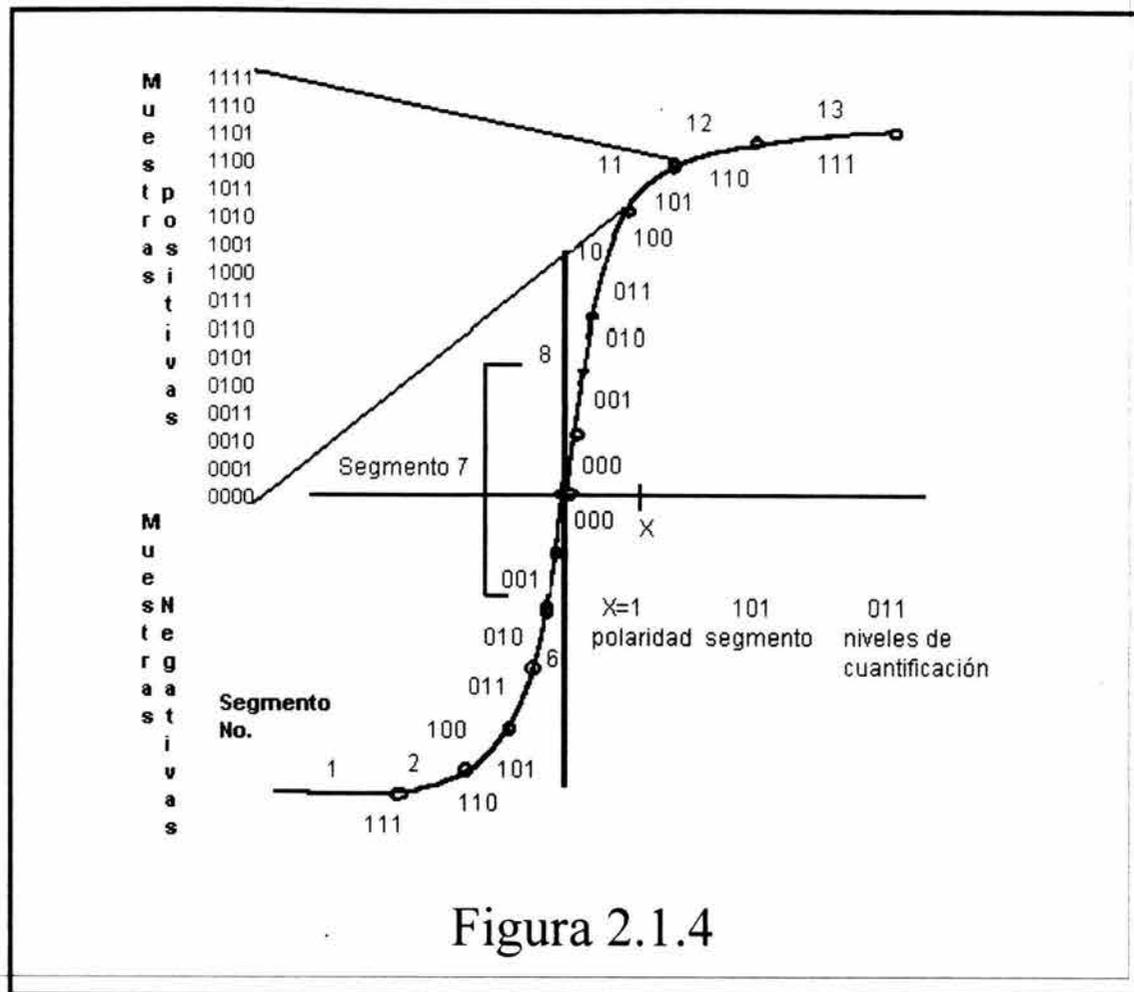


Figura 2.1.4 Grafica de la ley de codificación A

CODIFICACIÓN. Las muestras cuantificadas todavía no son apropiadas para la transmisión, porque será difícil construir circuitos regeneradores capaces de distinguir entre la gran cantidad de amplitudes de las muestras, usualmente 256, que necesitamos para las señales de conversación, sin embargo, hay gran flexibilidad en la codificación de estas amplitudes en formas eléctricas adecuadas para la transmisión. En general, la muestra cuantificada puede codificarse en dos ó más pulsos con menos niveles de amplitud por pulso. Un grupo de n pulsos, cada uno con b niveles de amplitud discreta posibles, puede representar los niveles de muestras cuantificadas. Como se muestra en la tabla 2.1.1

SUBSEGMENTO	SEGMEN TO	+/- RANGO DE NIVEL		TAMAÑO	
7	000	0	16	1	mV
7	001	16	32	1	mv
6 Y 8	010	32	64	2	mV
5 Y 9	011	64	128	4	mV
4 Y 10	100	128	256	8	mV
3 Y 11	101	256	512	16	mV
2 Y 12	110	512	1024	32	mV
1 Y 13	111	1024	2048	64	mV

Tabla 2.1.1 Para la ley A

Como sabemos, los pulsos con dos niveles, es decir, los pulsos binarios, son atractivos para la transmisión porque son fáciles de regenerar en la línea de transmisión. No es difícil construir circuitos regeneradores capaces de determinar si un pulso está presente o no.

Los sistemas prácticos actuales usan la codificación binaria de las muestras de conversación cuantificadas. Como se muestra en la figura 2.1.5. Como la telefonía usa 256 niveles de cuantificación, cada muestra se codificará en un grupo de código, o palabra PCM, consistente en 8 pulsos binarios (8 bit). Como la velocidad de muestreo usada es de 8000 muestras/segundo, una señal de conversación modulada por pulsos codificados generará una señal digital de 64 Kbit/s.

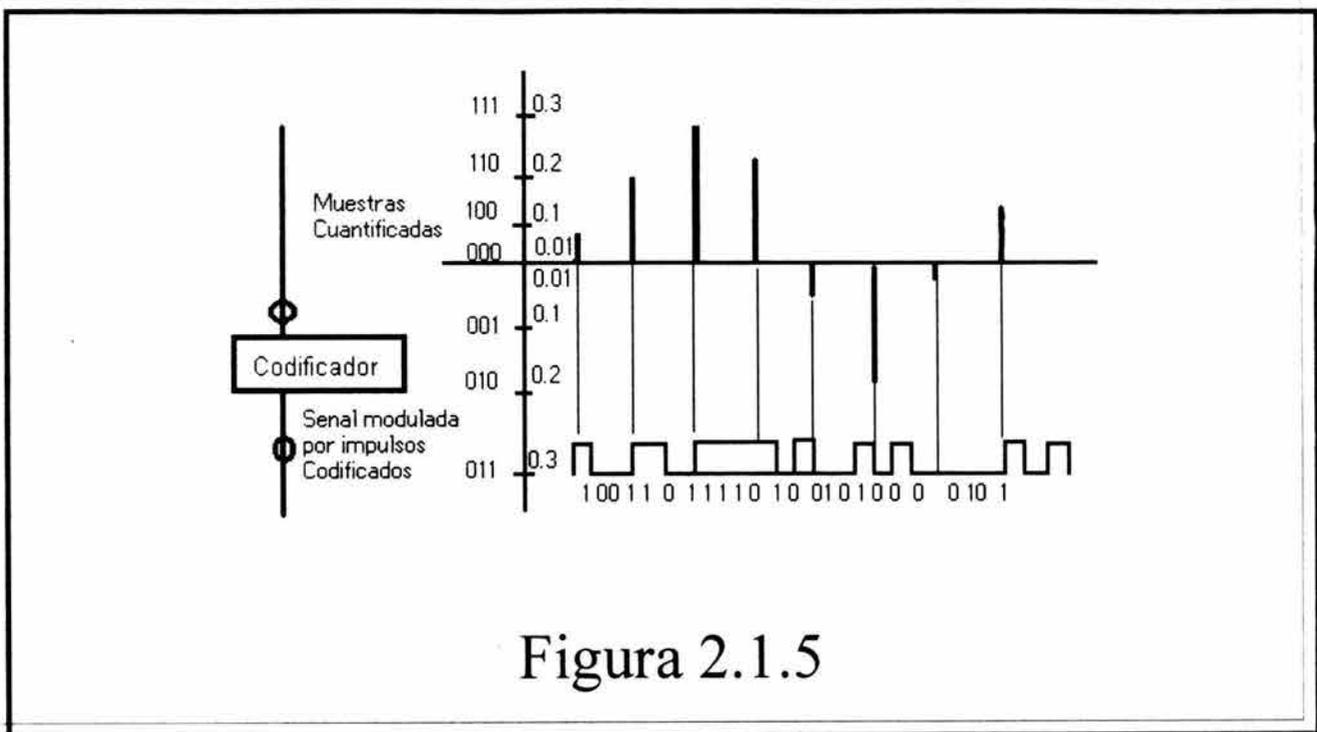
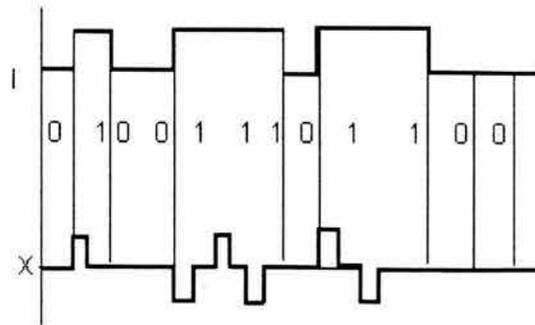


Figura 2.1.5

Figura 2.1.5 Codificación de muestras cuantificadas con 8 niveles

Las señales tienen otros procesos como son: TRANSMISIÓN, Y DECODIFICACIÓN.

TRANSMISIÓN. Las señales digitales dentro del terminal usualmente se transmiten en la forma de un tren de pulsos unipolares en el modo sin retorno a cero (Nonreturn-To-Zero, NRZ). Véase la figura 2.1.6.



I un tren de impulsos unipolares sin retorno a cero (NRZ).
 II un tren de impulsos bipolares con retorno a cero (RZ)

Figura 2.1.6

Figura 2.1.6 Tren de pulsos

Esta forma de señal no es apropiada para la transmisión en largas distancias. Una forma mejor es una señal bipolar con retorno a cero NRZ, Las ventajas de esta señal son:

- No tiene potencia en las partes inferiores de su espectro, es decir, no tiene componente de corriente continua; esto se debe a las polaridades alternadas de los pulsos.
- La interferencia entre símbolos está reducida por la característica de retorno a cero. Por supuesto, también esta señal será atenuada y distorsionada durante la transmisión y se le agregará ruido a la misma.
- En algún punto de la línea de transmisión, la señal debe ser restaurada. Esto se efectúa introduciendo en la línea un dispositivo que primero examina el tren de pulsos distorsionados para ver si el nivel binario posible es 1 ó 0 y luego genera y transmite a la línea nuevos pulsos de acuerdo con el resultado del examen. Tal dispositivo se le denomina repetidor regenerativo.
- A la vez que se le vuelve a dar forma a los pulsos se elimina el ruido agregado durante la transmisión, al menos si la amplitud de la señal de ruido no es suficientemente grande como para llevar la señal de código recibida a la zona incorrecta de nivel de decisión de un generador.
- Normalmente, la señal de código regenerada es idéntica a la señal de código original transmitida. Aún después de una gran cantidad de repetidores regenerativos, la señal de código es prácticamente idéntica a la señal original. Esta es la razón de la alta calidad de transmisión que se obtiene con los sistemas de transmisión con PCM.

DEMODULACIÓN. Los procesos de receptor que convierten la señal PCM entrante en una señal de conversación analógica nuevamente son regeneración, decodificación y reconstrucción.

El proceso de regeneración tiene el mismo objetivo y se efectúa de la misma manera que en la línea de transmisión, es decir, los pulsos distorsionados son reemplazados por nuevos pulsos cuadrados, como se muestra en la figura 2.1.7.

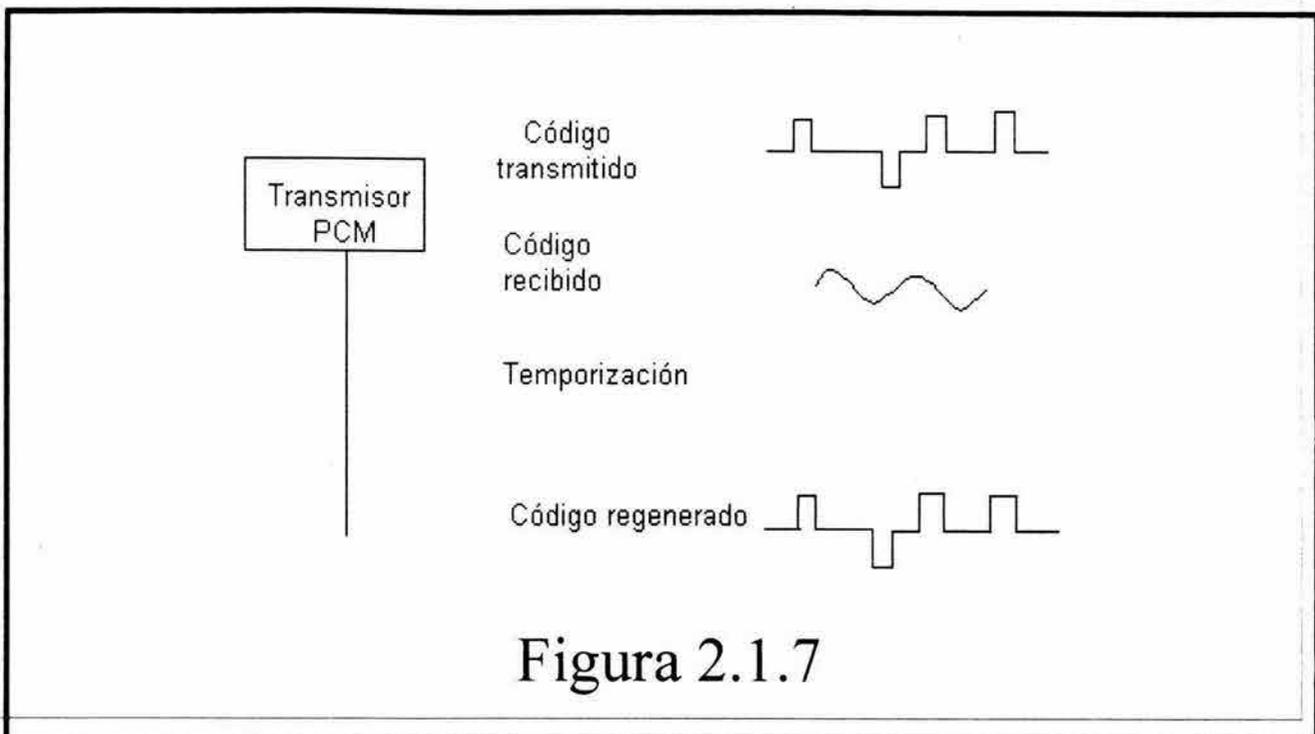


Figura 2.1.7

Figura 2.1.7 Formas de los pulsos en una línea de transmisión

Antes de entrar al decodificador, la señal bipolar es reconvertida en unipolar. En el proceso de decodificación, las palabras de código generan pulsos de amplitud, cuyas alturas son iguales a las alturas de las muestras cuantificadas que generarán las palabras del código. De modo que después de pasar por el decodificador, se ha recuperado el tren de muestras cuantificadas. Como se muestra en la siguiente figura 2.1.8.

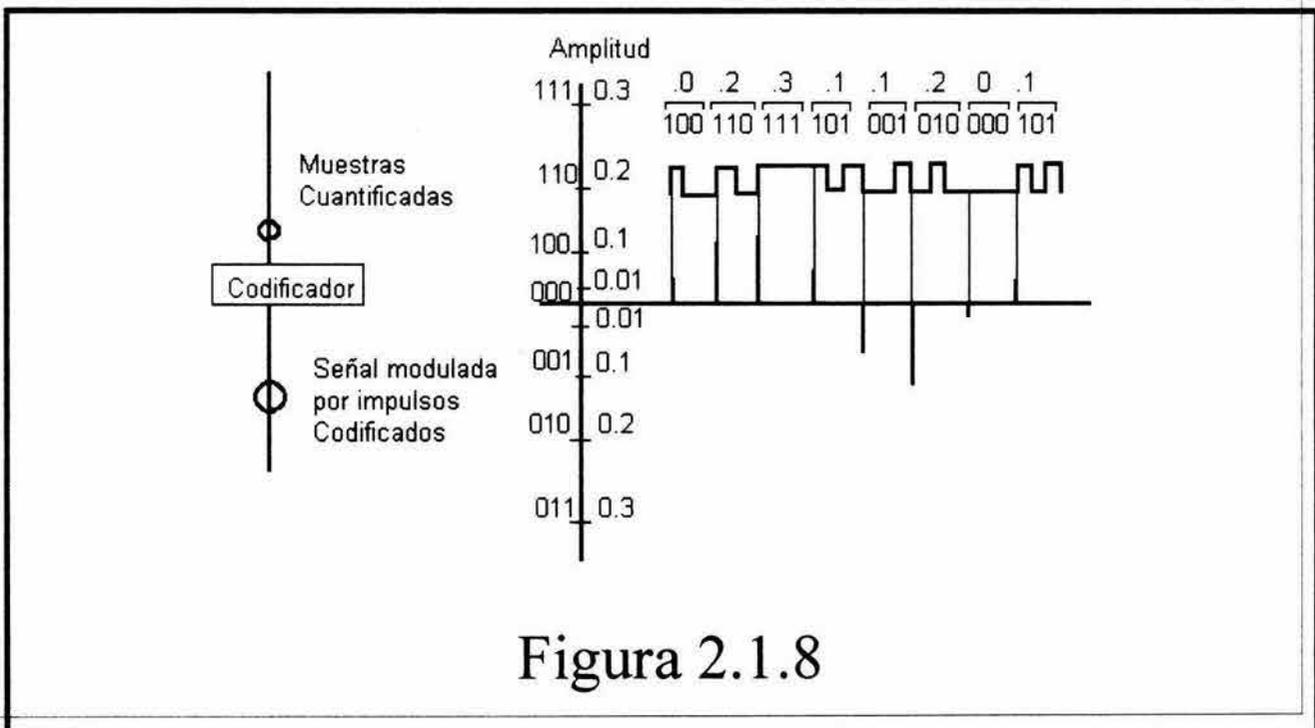


Figura 2.1.8

Figura 2.1.8 decodificador de niveles de amplitud codificada

La señal analógica es reconstruida en un filtro pasa bajos, figura 2.1.8. Esto puede verse en la figura 2.1.9. El espectro de una señal original. Un filtro pasa bajos con una frecuencia de corte B Hz elimina todos los componentes de frecuencia del espectro superior a B Hz y queda el espectro de la señal analógica deseada.

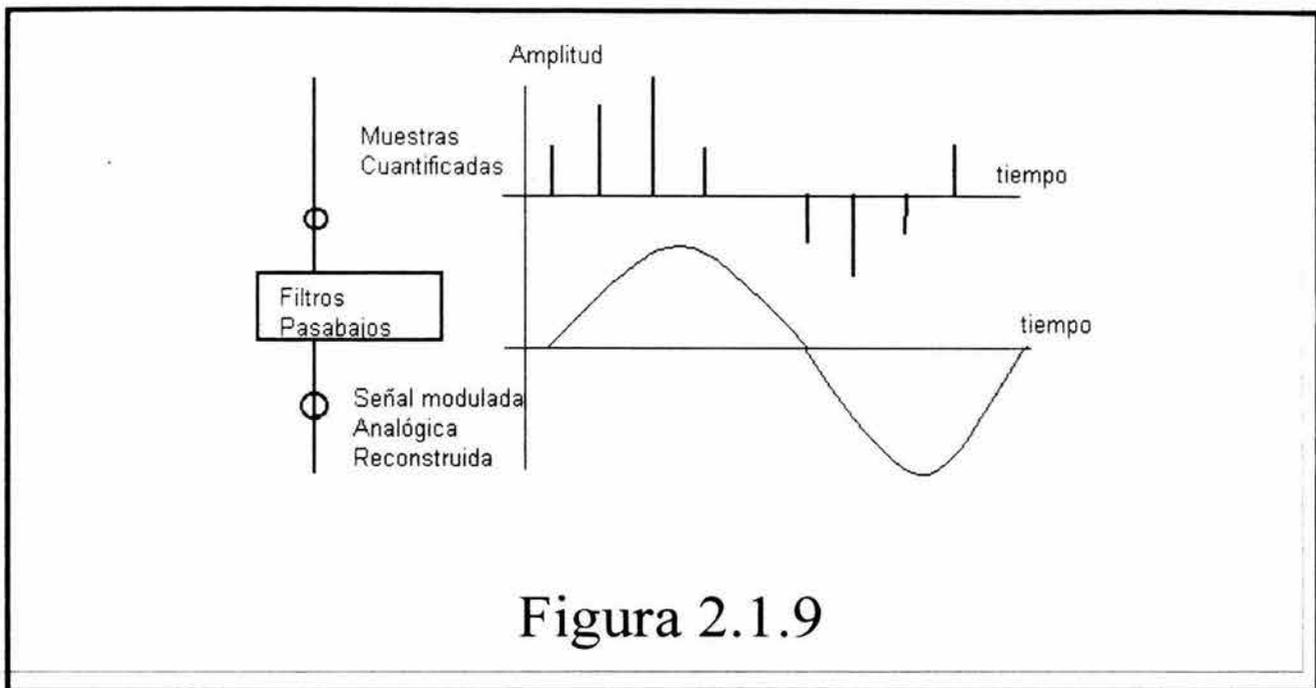


Figura 2.1.9 Reconstrucción de la señal analógica

2.1.4 PROCESOS DEL TDM.

Un sistema TDM, es un sistema de transmisión, en el cual un número de comunicaciones están multiplexadas en una portadora al asignar a cada comunicación un espacio específico de tiempo.

.En el espacio de tiempo asignado, se transmite el "valor momentáneo" (fotografía) de la señal. Para usar un sistema TDM, cada señal ana lógica debe prepararse, convirtiendo la señal continua en muestras, generadas a intervalos regulares. Se usará un modulador para generar las muestras En el lado de recepción de la portadora, la cadena de bits debe ser demultiplexada.

Esto generará una Trama (Frame) que es un conjunto de pulsos, bits o dígitos binarios que se originan tras ciclo completo de muestreo y codificación de n cano telefónicos, aquí lo denominaremos una Trama PCM

Portadoras Para información digital

Cuando se establece una comunicación digital a gran distancia, las señales serán transmitidas por un cierto medio (técnicas de transmisión) en una portador' especifica, dependiendo del tipo de transmisión, u medio será seleccionado y al mismo tiempo una portadora para el medio elegido.

Los sistemas PCM, pueden usar portadoras clásicas como cable multipar, cable coaxial y fibra óptica para transmisiones sencillas. Dependiendo del ancho de banda de la portadora, pueden ser usados ya

sea que sistema PCM de 32 canales o el PCM de alto orden.

La multicanalización por división de tiempo de las señales digitales se usa comúnmente para combinar múltiples fuentes de señal en un solo canal común que se comparte. Estas señales pueden ser representaciones digitales de señales analógicas o señales generadas originalmente en forma digital. El proceso de multicanalización en tiempo sirve como un importante ejemplo de eficiente procesamiento de las señales que pueden llevarse a cabo cuando éstas se encuentran en forma digital.

Las principales ventajas que ofrecen las técnicas de transmisión digital son, entre otras; una mayor calidad de transmisión, casi independiente de la distancia y del volumen de información.

El CCITT recomienda dos sistemas de transmisión: el sistema de 30 canales, que es el adoptado en Europa, y el sistema de 24 canales, utilizado en Estados Unidos. El sistema Americano emplea la ley de compresión m y el sistema Europeo emplea la ley de compresión A que es el que se utiliza actualmente aquí en México.

El sistema Europeo se considera como un multiplexor de 32 intervalos de tiempo que permite transmitir 30 canales de información. Los otros dos intervalos se destinan, uno a la señalización y el otro al sincronismo.

Estructura de la trama de 32 canales

La siguiente figura 2.1.10. Representa la forma de cómo se estructura la información de un sistema PCM Básico (Sistema Europeo).

Usando un sistema TDM, un número de comunicaciones puede ser combinado en una portadora. Cada comunicación está representada una serie de muestras, cada una de las cuales representa en forma de un código digital.

En Europa ha sido estandarizado y aceptado por CCITT un sistema TDM de 32 canales.

Cada canal tiene 8 bits. Esta estructura se llama Trama (Frame) y tiene 256 bits.

Una llamada es asignada a un canal en una trama semejante. Esto significa que se pueden enviar 8 bits en cada trama.

Una trama dura $125 \mu\text{s}$. ($f_s=8\text{KHz}$.) que es el valor que tarda el multiplexor en tomar las muestras de los canales y el valor de 3.9 ms es el tiempo que se tarda en cada canal, el cual se obtiene de dividir el tiempo de la trama entre el número de los canales que en este caso son 32. La muestra de un usuario es realizada en 8 bits cada $125 \mu\text{seg}$.

Por lo tanto la duración del canal es de: $125 \mu\text{seg} / 32 = 3.906 \mu\text{seg}$.

El tiempo de cada bit es 488 ns , que se obtiene de dividir el tiempo de cada canal (3.9 ms) entre 8 bit.

La velocidad de transmisión (bit rate) de la cadena del PCM es de 256 bits en $125 \mu\text{seg}$., lo cual corresponde a 2.048 Mbits/seg .

En la estructura de la trama, la asignación de los canales es de la siguiente manera:

Canal 0: sincronización de la trama (alineación).

Canal 16: señalización.

Canal 1- 15 Y 17-31: voz/datos.

De un total de 32 canales, únicamente 30 pueden ser utilizados para señales de voz.

Esta es la razón por la que esta estructura es algunas veces llamada estructura de la trama de 30 canales. Cada canal usado para señales de voz contiene 8 bits, de los cuales el primero se usa como bit de signo y los otros siete son bits de magnitud codificados de acuerdo a la ley "A". En cada trama el mismo número de canal será dado al mismo abonado.

Estructura de la trama de 24 canales

La cadena de bits consiste de tramas que contienen 193 bits, donde 1 bit es usado para alineación y 192 son usados por los 24 canales de 8 bits cada uno.

Una llamada puede ser asignada a un cierto número de canal. Así que cada abonado podrá enviar 8 bits en cada trama, esto es cada 125 μ seg. Esto significa que la duración máxima de una trama (193 bits) es de 125 μ seg. La razón o velocidad de transmisión (bit rate) de una trama es de 193 bits en 125 μ seg. o 1.544 Mbits/seg.

La duración de 1 bit es de $125 \mu\text{seg}/193=648 \text{ nseg.}$

La duración de 1 canal es de $8*648 \text{ nseg.}=5.18 \mu\text{seg.}$

Los 24 canales son usados en la misma forma. Todos son usados tanto para voz como para señalización. La alineación es hecha por 1 bit que es asociado a estos 24 canales. Cada canal tiene 8 bits de los cuales el primero es un bit de signo y los otros 7 son bits de magnitud, codificados de acuerdo a la ley "A" (estandarizado por el sistema Bell de North American y el CCITT).

Cuando un número de canal es dado a un abonado, ese abonado puede enviar 8 bits en cada trama, siempre usando el mismo canal. Esta es la razón por la que se tienen 8000 tramas por segundo.

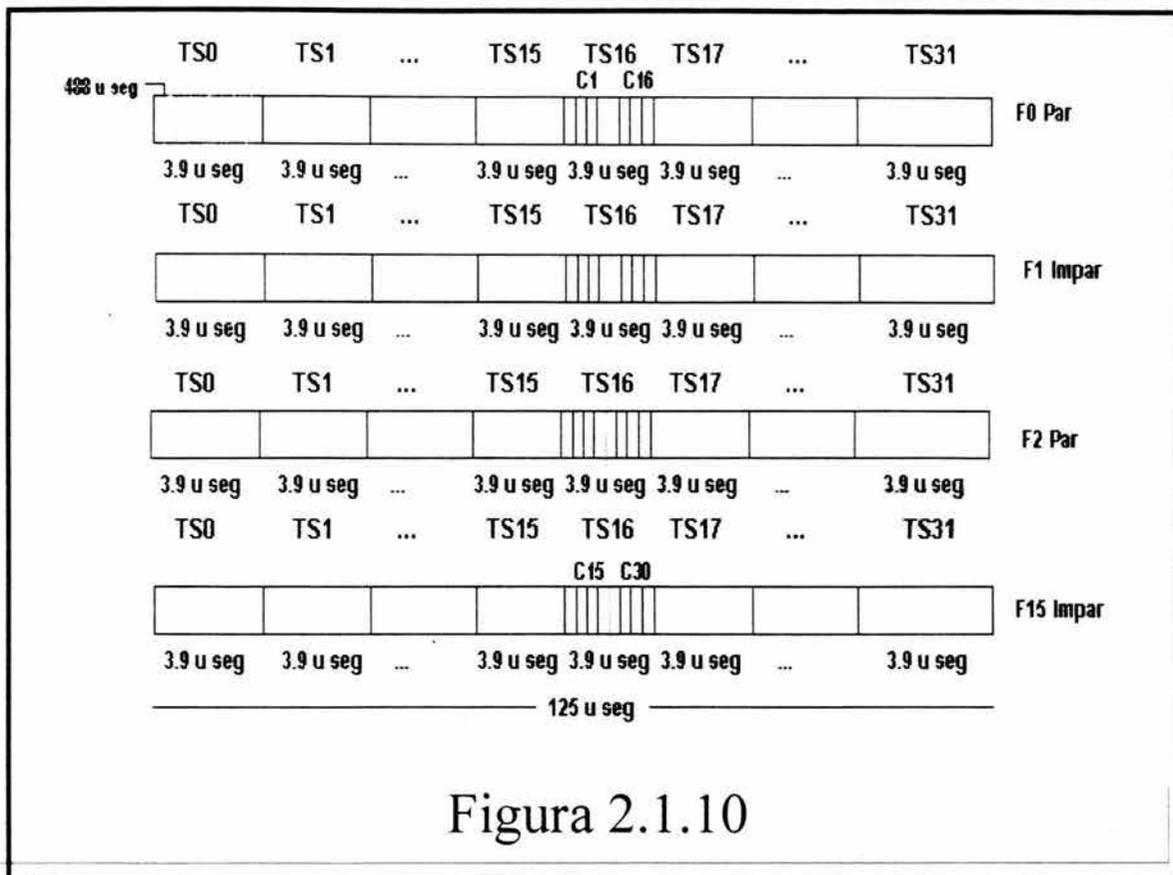


Figura 2.1.10 Sistema PCM Básico

Entre las ventajas de la modulación de pulso con multiplexión por división del tiempo (TDM) está el hecho de que los circuitos necesarios son digitales, proporcionando alta confiabilidad y eficiente operación. Estos circuitos son más simples que los moduladores y demoduladores requeridos en la multiplexión por división de frecuencias FDM (modulación de ángulo). La multiplexión de muchos canales de datos a relativamente baja frecuencia puede efectuarse muy eficientemente usando TDM si las entradas tienen anchos de banda comparables.

Otra ventaja de los sistemas TDM es la relativamente baja diafonía entre canales debida a la linealidad de los amplificadores que manipulan las señales en el transmisor y el receptor. Estas alinealidades producen armónicos que afectan a los canales de mayor frecuencia en los sistemas FDM.

En los sistemas TDM las señales de canales diferentes no se manejan simultáneamente pero se les asignan diferentes intervalos de tiempo.

Las desventajas del TDM incluyen el hecho de que la precisión del pulso y el desajuste del tiempo son un problema primordial a altas frecuencias, por lo cual los sistemas TDM operan normalmente a frecuencias del reloj inferiores a 100 Mhz. Además, se necesita sincronización entre el transmisor y el receptor.

OBJETIVO DE TDM

El objetivo de TDM es multiplexar n canales PCM, según el estándar que se escoja, para lograr lo que se denomina un PCM de 1 er. Orden (El ó T1) como se observó en la figura anterior, para esto se genera un conjunto de 16 Tramas PCM numeradas de la 0 a la 15, que es el ciclo completo de TOM en donde además de la información de las muestras de voz, se inserta información de alarmas, señalización y palabras de alineamiento tanto de trama como de lo que de aquí en adelante denominaremos Multitrama, que se observa en la figura.

2.1. 5. APLICACIÓN PCM Y TDM EN TELEFONÍA

Los tipos de señales digitales según su fase y frecuencia son: Síncronas, Plesiócronicas Asíncronas.

- Señales Síncronas. Son señales que tienen la misma fase y frecuencia entre sí. Por ello, paralelamente en el proceso de la digitalización de las centrales telefónicas, Telmex estableció el sistema de sincronización de la red, para la cual instaló y puso en operación a partir de Septiembre de 1991, un sistema de relojes de haz de cesio; estos proporcionan los pulsos de referencia para la transmisión de información en los sistemas digitales del país. Como se muestra en la figura 2.1.12.
- Señales Plesiócronicas. Tienen la misma velocidad nominal (el valor que se espera), pero con diferencias de fase y frecuencia. Véase la figura 2.1.12.

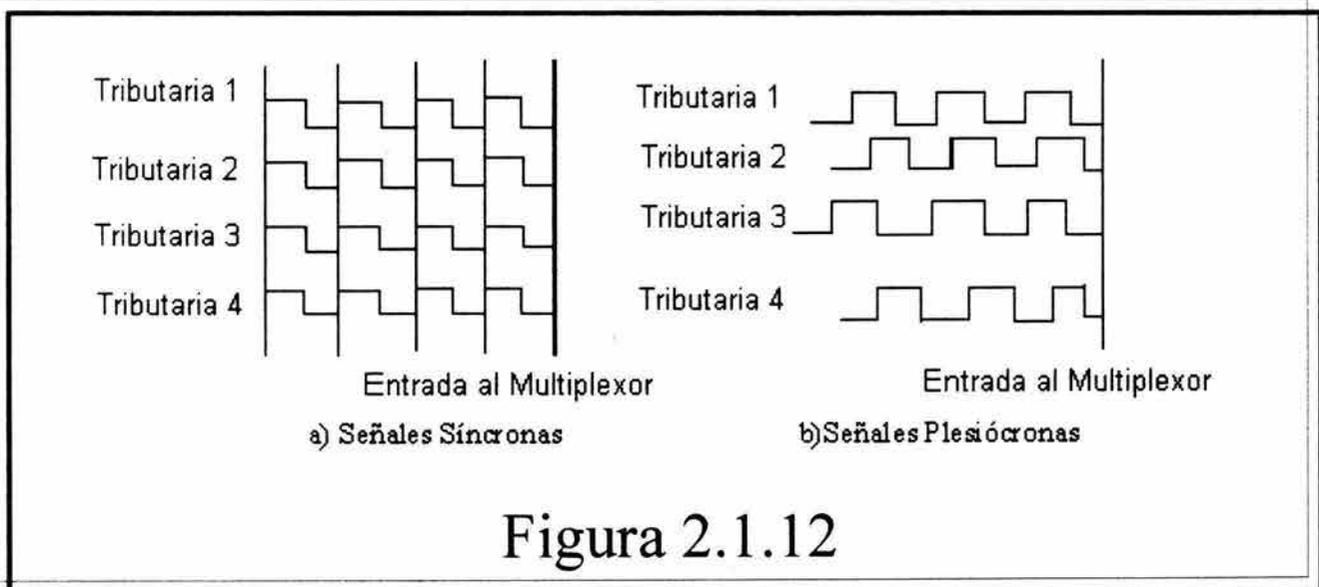


Figura 2.1.12 señales Síncronas, señales Plesiócronas

- Señales Asíncronas. Nunca están en fase, ni en frecuencia entre sí (ninguna de sus escalas de referencia son iguales). Como se muestra en la figura 2.1.13.

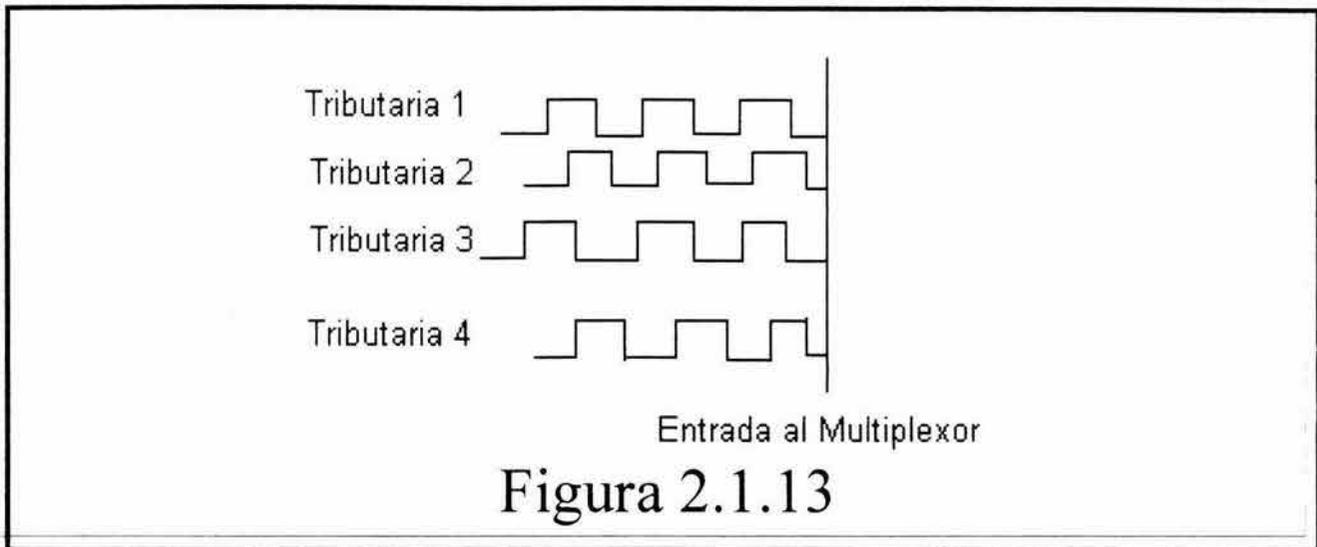


Figura 2.1.13

Figura 2.1.13 Señales Asíncronas

Hay diferentes tipos de justificación, lo cual es un procedimiento que se utiliza para compensar las diferencias de fase y velocidad que existen entre las tributarias como son:

- Positiva: Consiste en insertar varios pulsos carentes de información, llamados bits de relleno o justificación previstos para ello.
- Negativa: Este proceso consiste en suprimir algunos pulsos de información de los tributarios, para ajustar las velocidades de señal. Los pulsos suprimidos se transmiten a través de un intervalo de tiempo de baja velocidad.
- Positiva/Negativa: Este proceso es una combinación de los métodos anteriores en el que se transmiten bits de relleno y también se suprimen bits de información, cada vez que hay justificación.
- Positiva/Nula/Negativa: Se efectúa utilizando la justificación positiva/negativa que se menciono anteriormente, con la diferencia de que se realizará solo cuando sea esencial.
- Para la aplicación en telefonía se le llama sistemas PDH (Jerarquía Digital Plesiócrona).
- Hay cuatro tipos diferentes de velocidades para transmitir información (ATM, Modo de Transferencia Asíncrona).

ENTRELAZADO DE BITS

Los multiplexores PHD utilizan el método de Multiplexación por enlazado cíclico de bits. El entrelazado de bits se efectúa cíclicamente tomando 1 bit de cada tributaria para la formación de la trama del orden jerárquico $2^{\circ} \Rightarrow 3^{\circ} \Rightarrow 4^{\circ} \Rightarrow 5^{\circ}$ Orden. Se van formando bloques, donde en el primer bloque se tiene información del primer bit de cada tributaria, el segundo bloque contiene información de los segundos bits de cada tributaria y así sucesivamente como se muestra en la figura 2.1.1

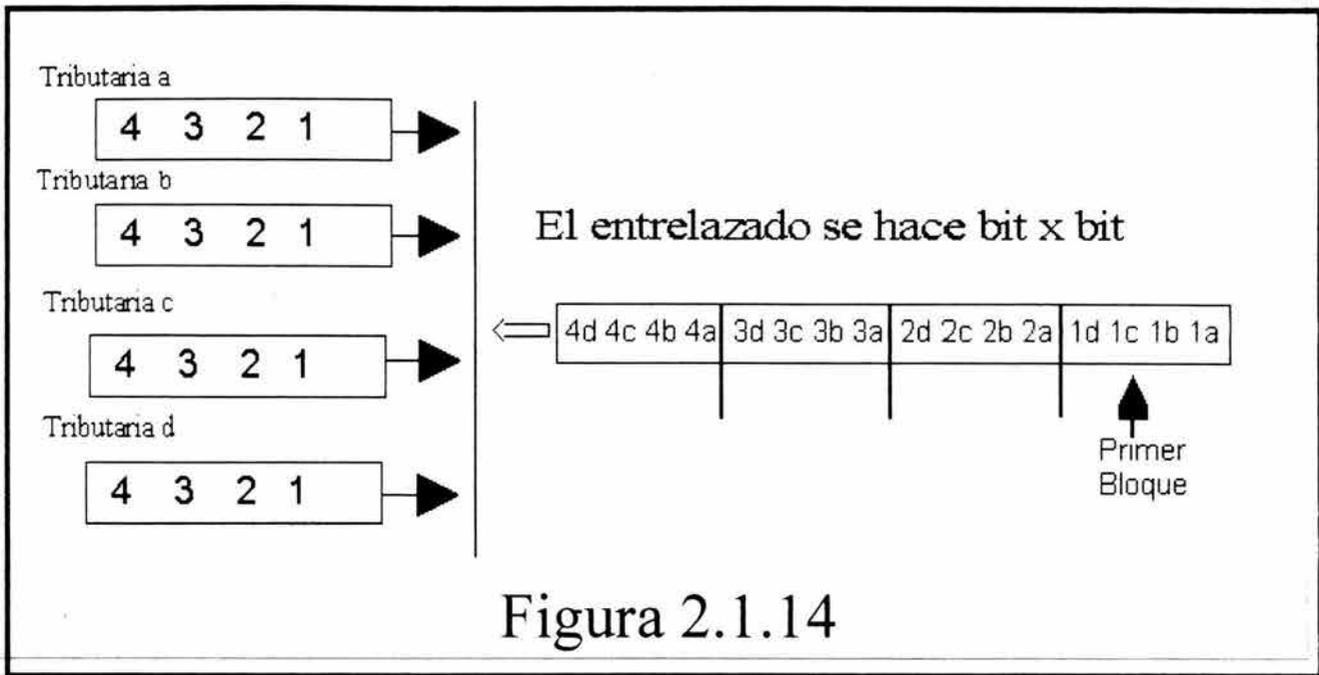


Figura 2.1.14 Entrelazado de bits

El sistema de primer orden se muestra en la figura siguiente 2.1.15

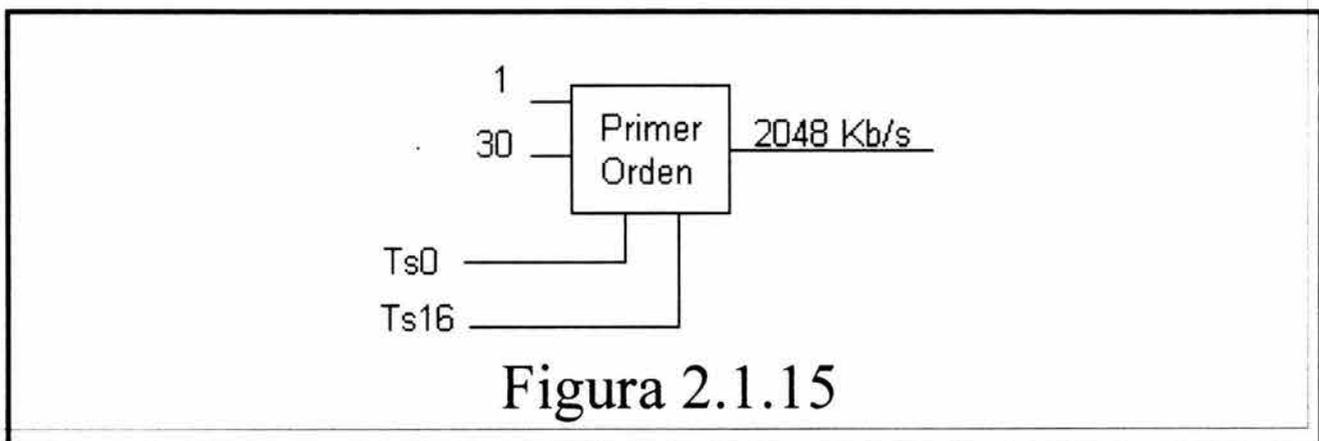


Figura 2.1.15 Sistema de primer orden

En el Sistema Europeo de Segundo Orden, que como se muestra en la Figura 2.1.16. El cual cuenta con 120 canales de salida con una velocidad de 8448 Kb/s.

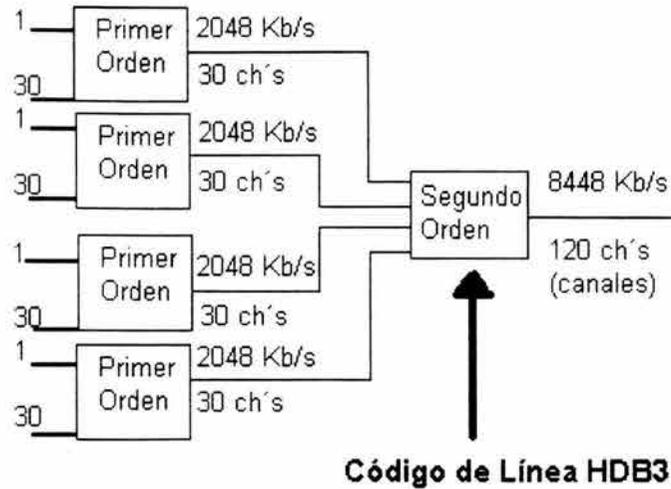


Figura 2.1.16

Figura 2.1.16 Sistema de Segundo orden

TRAMA DE SEGUNDO ORDEN:

Se divide en 4 grupos

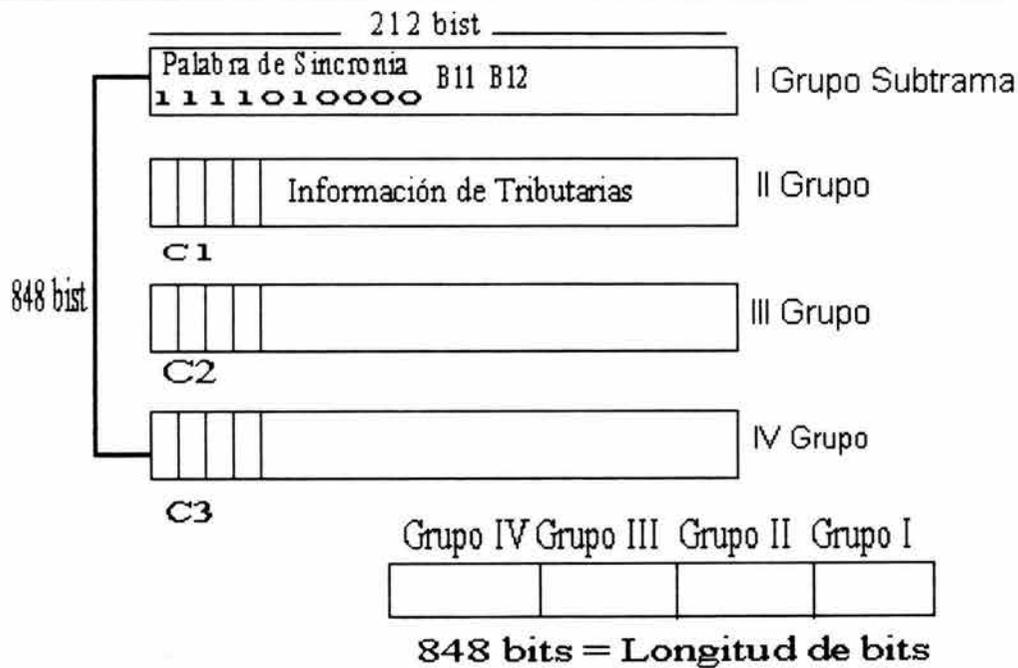


Figura 2.1.17

Figura 2.1.17 Agrupación de una Trama de Segundo Orden

La información entra bit por bit, y la comunicación es en serie.

B11= Bit de Alarma

1 Con Alarma

0 Sin Alarma

B12= Bit de uso futuro

Los 200 bits restantes son para introducir la información de las tributarias.

C1,C2 C3, Son bits de control de justificación y se encuentran al inicio de cada subtrama, y se ordena de la siguiente manera. Véase la Tabla 2.1.2

C1T1	C1T2	C1T3	C1T4
C2T1	C2T2	C2T3	C2T4
C3T1	C3T2	C3T3	C3T4
C30T1	C30T2	C30T3	C30T4

Tabla 2.1.2

Cálculos para un Sistema de Segundo Orden:

La Frecuencia de Repetición se calcula.

$$FR = \frac{VT}{LOGBIT} = \frac{8448 \text{ Kb}}{848 \text{ bits}} = 9.9622 \text{ KHz}$$

Para calcular el tiempo que dura una trama:

$$T = \frac{1}{F}$$

$$T = \frac{1}{9.9622} = 100.378 \mu \text{ seg}$$

Para saber cuantos bits son para las tributarias se tiene 24 bits:

10 bits Palabra Sincronía

12 bits Control de Justificación

2 bits Alarma y uso futuro

Para calcular el número de bits reales que cabe en una tributaria es multiplicar la velocidad entrante al sistema de segundo orden por el tiempo que dura una trama.

$$(2048 \text{ Kbits})(100.378 \mu \text{ seg}) = 205.5757 \text{ bits}$$

$$VT = 8448 \text{ Kb} / \text{s}$$

$$\text{Logbit} = 848 \text{ bits}$$

$$\text{Frecuencia} = \frac{VT}{\text{Logbit}}$$

$$\text{Frecuencia} = 9.9622 \text{ KHz}$$

$$\text{Tiempo} = \frac{1}{9.9622 \text{ KHz}} = 100.378 \mu \text{ seg}$$

Los sistemas de Tercer Orden, Cuarto Orden y Quinto Orden se muestran en la figura 2.1.18

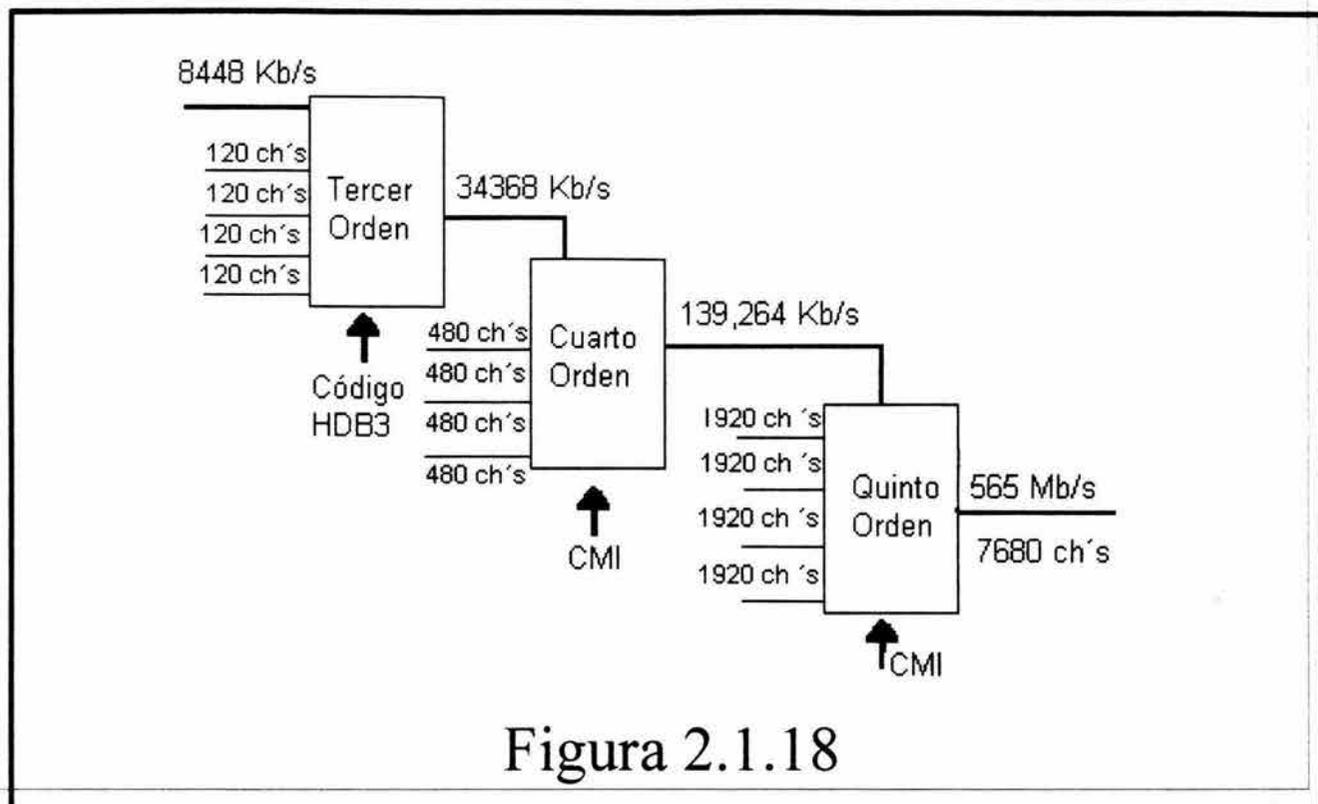


Figura 2.1.18

Figura 2.1.18 Sistemas de Tercer, Cuarto y Quinto orden

PARA UN SISTEMA DE TERCER ORDEN

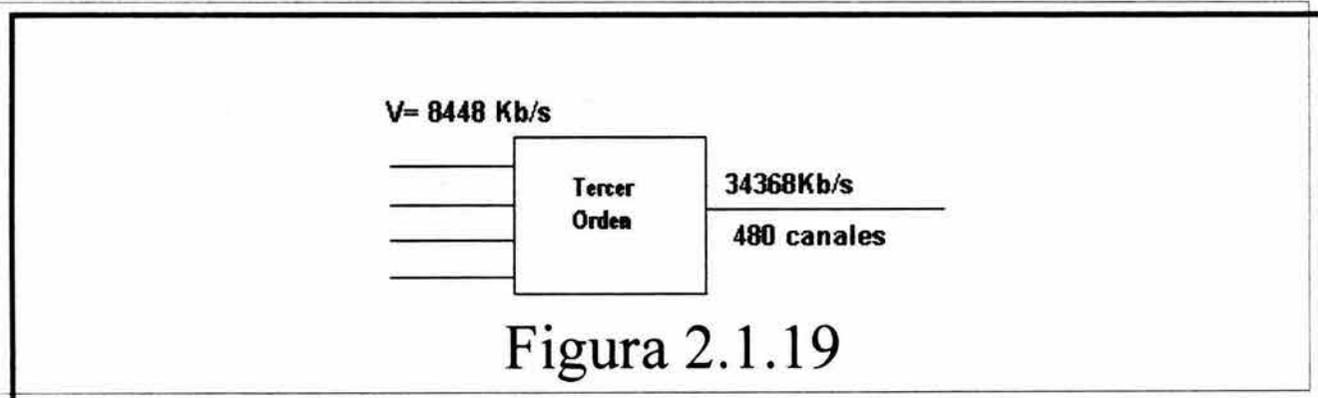


Figura 2.1.19

Figura 2.1.19 Sistema de Tercer Orden

Bits por tributaria = 378 bits

Bits para las 4 tributarias = 1512

Bits reales que aporta cada tributaria = $(8448 \text{ Kb/s}) / (44.697 \text{ mseg}) = 377.654 \text{ bits}$

Ø PARA UN SISTEMA DE CUARTO ORDEN

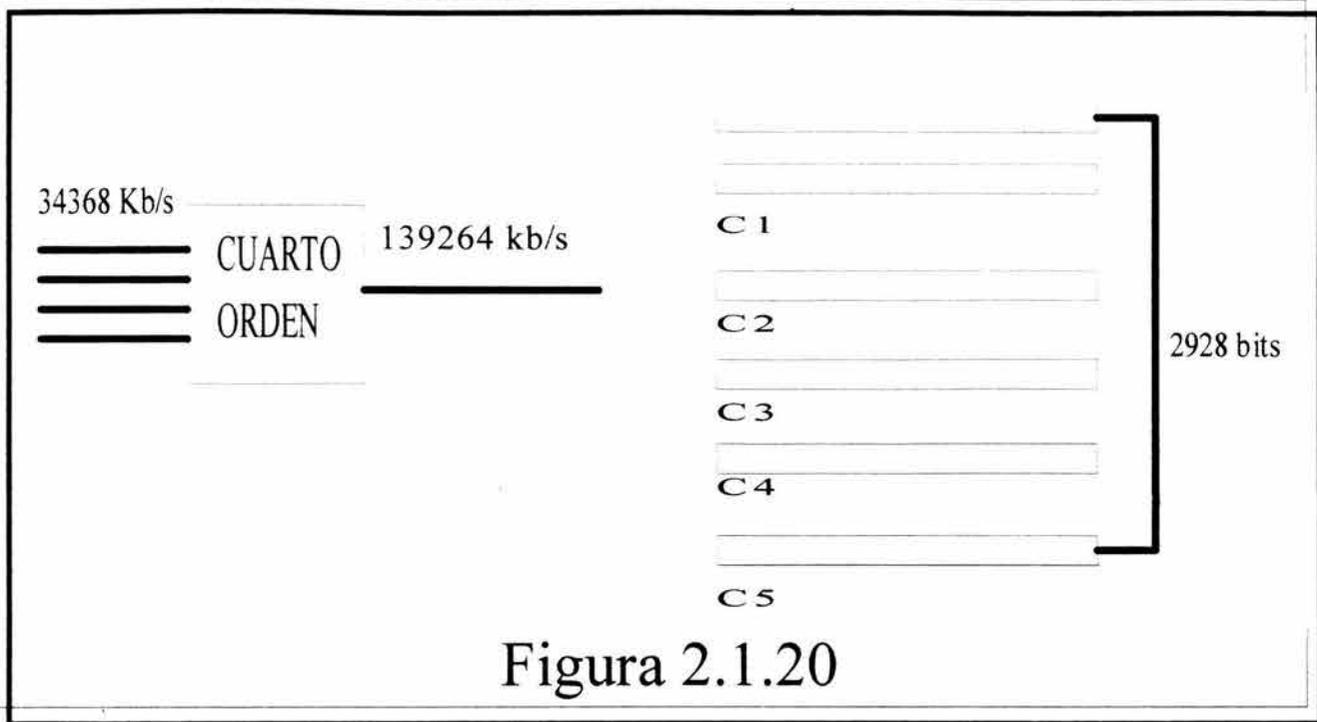


Figura 2.1.20 Sistema de Cuarto Orden

$$VT = 139264 \text{ Kb/s}$$

$$\text{Logbit} = 2928 \text{ bits}$$

$$\text{Frecuencia} = \frac{VT}{\text{Logbit}} = \frac{139264 \text{ Kb/s}}{2928 \text{ bit}} = 47.5628 \text{ KHz}$$

$$\text{Tiempo} = \frac{1}{47.5628 \text{ KHz}} = 21.024 \mu\text{seg}$$

Para información real suministrada por tributaria es:

$$(VT)T = 34368 * 21.024 = 722..5528\text{bits}$$

12 bits son Palabra de Sincronía

ABC Son de Alarma y uso futuro

20 bits de Control de Justificación (C1, C2,C3,C4,C5) * 4=20 BITS

Se tiene 36 bits ocupados y para información por tributaria son: 723

2.1.6 CÓDIGOS DE LÍNEA.

Es un código elegido de modo que convenga en las características de un canal. Antes de aplicar la señal PCM a un modulador, pueden elegirse diferentes formas de conducir la información de código binario dependiendo del tipo de modulación y demodulación empleado y otras restricciones de ancho de banda, complejidad del receptor. En la siguiente figura 2.1.21 se muestra su representación.

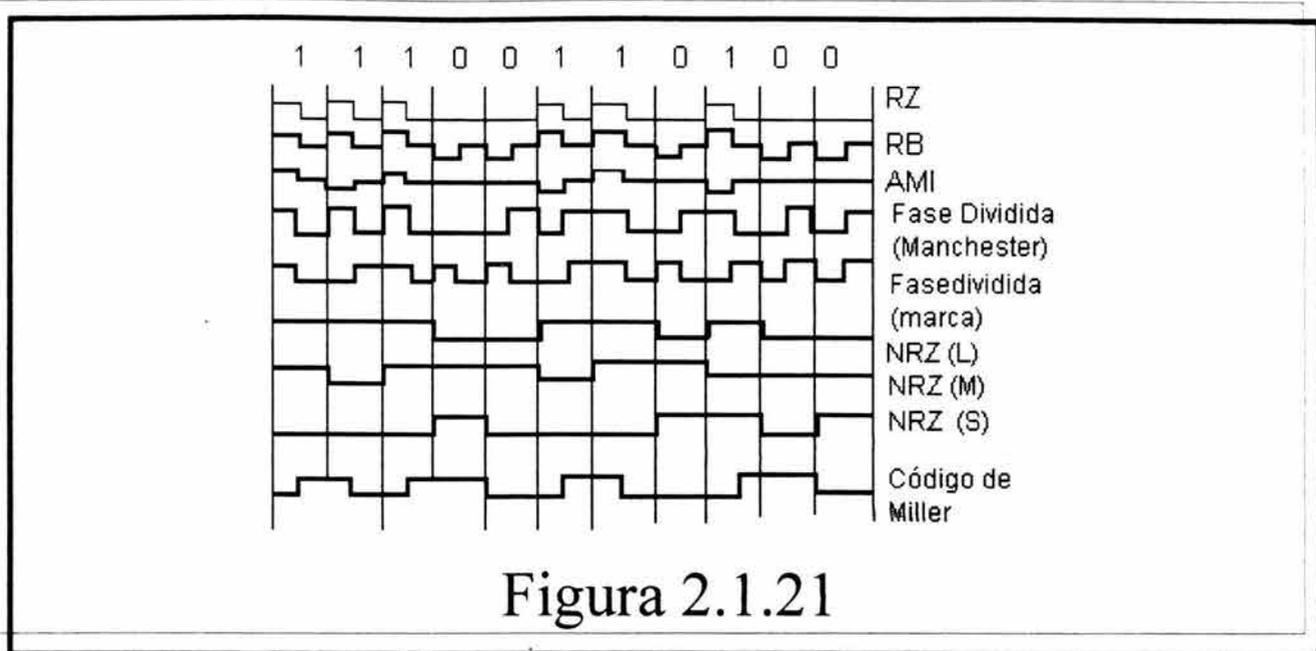


Figura 2.1.21

Figura 2.1.21 Código de Línea

El método de regreso a cero (RZ) representa el 1 por un cambio al nivel 1 durante la mitad del intervalo del bit, después de lo cual la señal regresa al nivel de referencia en la mitad restante. Se indica un 0, dejando a la señal sin cambio en el nivel de referencia.

El método de regreso a la polaridad se usan tres niveles: 0, 1 y un nivel de polarización. La señal regresa al nivel de polarización durante la última mitad de cada intervalo de bit. La representación RB también ocupa más ancho de banda que el necesario y usa tres niveles.

El método de inversión alterna de marcas (AMI, Alternate Mark Inversion), el primer 1 binario se representa con +1, el siguiente con -1, el tercero con +1, etc.

La representación AMI se deriva con facilidad del código RZ y viceversa, invirtiendo en forma alterna los unos. Tiene valor promedio cero y es muy usada en sistemas telefónicos PCM.

El método de la fase dividida de Manchester, el 1 se representa con el nivel 1 durante la primera mitad del intervalo del bit, y luego se desplaza al nivel 0 durante la mitad restante; el 0 se indica con la representación inversa.

El método de fase dividida (Marca), se usa una representación simétrica similar excepto que la inversión de fase con relación a la fase previa indica un 1 (una marca para indicar un 0 no hay cambio de fase.)

En la representación NRZ (L), el pulso del bit se mantiene en uno de los dos niveles durante el intervalo completo.

El método NRZ (M), se usa un cambio de nivel para indicar una marca (es decir, un 1) y ningún cambio de nivel para un 0.

El método NRZ (S), se usa el mismo excepto que el cambio de nivel se emplea para indicar un espacio (es decir un 0). Las representaciones NRZ son eficientes en términos del ancho de banda y su uso es amplio.

En el código Miller, un 1 se representa con una transición de señal en el centro del intervalo de un bit. Un 0 se representa con ninguna transición, a menos que esté seguido por otro cero, en cuyo caso la transición de señal ocurre al final del intervalo del bit.

Hay otros códigos como BCD y ADI que son internos, y unipolares, es decir trabaja a 100% y es un NRZ; mientras que los códigos AMI y HDB3 son bipolares trabajan a un 50% y son NR, trabaja los puros 1 alternados +1, -1, etc.

La palabra que convierte el código BCD en código ADI es PINININI que significa:

- P = Polaridad
- I = inversión
- N = Normal

Como se muestra en la figura 2.1.22

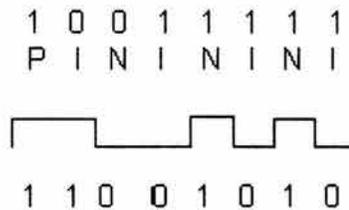
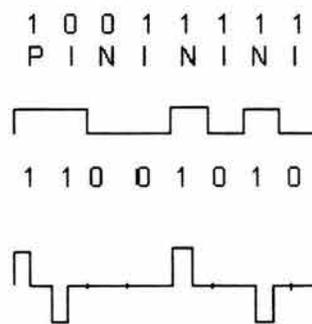


Figura 2.1.22

Figura 2.1.22 PINININI

El código AMI (Inversión de Marcas Alternas), tiene un ciclo de trabajo del 50% a 3 niveles. Este código invierte las marcas de información (1 lógicos) alternativamente. Por lo que cada marca de información tendrá polaridad opuesta a la que le precede. Como se muestra en la figura 2.1.23



Código AMI

Figura 2.1.23

Figura 2.1.23 Código AMI

CÓDIGO HDB3 (Alta Densidad bipolar, el 3 significa que no debe de haber más de 3 ceros consecutivos.).Regla para codificar de código AMI a HDB3.

REGLA 1.

PULSO DE VIOLACIÓN (V): Se inserta cuando hay mas de tres ceros consecutivos en la salida. El pulso de violación se inserta en la posición del cuarto cero, y tiene la misma polaridad que el pulso de información anterior. Los siguientes pulsos se van alternando entre sí.

REGLA 2.

Marca (M). Si el bit de violación no rompe alternancia, se pone una marca en la posición del primer cero, con la polaridad contraria al último bit de información.

REGLA 3.

Si al aplicar la regla número 2 el seguimiento de la información tiene la misma polaridad que el bit de violación y marca se invierte el bit de información para evitar 3 unos con la misma polaridad. Véase la figura 2.1.24

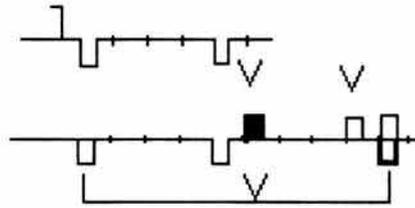


Figura 2.1.24

Figura 2.1.24 Código HDB3

CÓDIGO CMI

Código de Inversión de Marcas Codificadas, se utiliza para un sistema de cuarto orden. Es un código de 2 niveles sin retorno a cero Binario se codifica de manera que los niveles de amplitud A1 Y A2 se alternan cada uno durante un periodo T igual a un intervalo unitario completo.

Los unos se alternan, si esta en A2 el otro uno empieza en A1. Véase la figura 2.1.25.

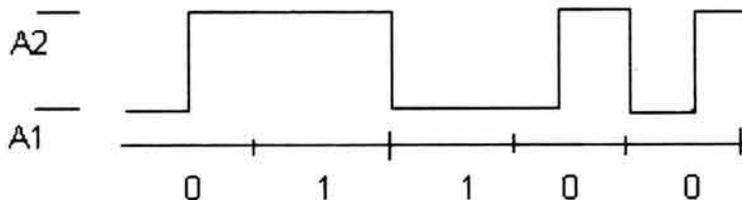


Figura 2.1.25

Figura 2.1.24 Código CMI

ESTOS CÓDIGOS SE UTILIZAN EN EL SISTEMA AMERICANO:

Código Miller y Código Manchester,

En el código Miller, un 1 se representa con una transición de señal en el centro del intervalo de un bit. Un 0 se representa con ninguna transición, a menos que esté seguido por otro cero, en cuyo caso la transición de señal ocurre al final del intervalo del bit.

El método de la fase dividida de Manchester, el 1 se representa con el nivel 1 durante la primera mitad del intervalo del bit, y luego se desplaza al nivel 0 durante la mitad restante; el 0 se indica con la representación inversa.

NOTA:

Las normas relacionados en estos temas se encuentran en el libro azul de la secretaria de Comunicaciones y transportes de las recomendaciones de la serie G.700, G701, G702, G703, G704, G705, G706, G711, etc.

Debido a los avances en telefonía, surge la necesidad de la transmisión en datos, entre dos o más dispositivos conectados entre sí, para compartir recursos e información.

2.2 WDM/DWDM

2.2.1 WDM (Wavelength-Division Multiplexing).

En las próximas generaciones de cables ópticos, el aumento del caudal se garantizará por medio de una técnica que se superpondrá a la primera: el multiplexado en longitud de onda, también conocido por su denominación americana **WDM** (Wavelength-Division Multiplexing). Consiste éste último en enviar varias señales de diferentes longitudes de onda simultáneamente por la misma línea. El **multiplexado y demultiplexado** en longitud de onda se efectúan por medio de componentes ópticos pasivos, de modo similar a la descomposición y la recomposición de los colores del arco iris por un prisma. El multiplexado en longitud de onda también abre perspectivas de direccionamiento óptico en las redes. De esta manera, las comunicaciones se podrán dirigir de una vez por todas en tal o cual dirección según su longitud de onda. Por ejemplo, en las redes con encrucijadas, algunos países recibirán las longitudes de onda cortas y otros las largas: un direccionamiento automático de gran sencillez. Todas las grandes redes a instalar antes del año 2000 se basaban en la técnica del WDM. Por ejemplo la red SeaMe We III, de una longitud de 20.000 km, que conectará Europa (Alemania, Gran Bretaña) con el sureste de Asia (Singapur) conectó, en 1998, veinte estaciones con esta técnica.

Cuando se alcanzan caudales de más de 10 Gbit/s a distancias del orden 10.000 km aparecen otras dificultades. En primer lugar las fibras conservan, pese a las precauciones tomadas en su fabricación, una propiedad bien conocida de la materia transparente: la de dispersar los colores. Es exactamente la misma propiedad que es la responsable de la descomposición de la luz blanca por un prisma de vidrio. Aprovechada en el multiplexado en longitud de onda, esta propiedad constituye por otra parte un inconveniente.

Recordemos que la velocidad de propagación de la luz en la materia transparente depende de la longitud de onda. El índice de refracción óptico (cociente entre la velocidad en el vacío y la velocidad en el medio material) también es por lo tanto función de la longitud de onda, y ésta es la razón por la que un prisma desvía con ángulos diferentes los rayos de diferentes colores.

En una **fibra óptica**, este efecto de dispersión cromática tiene como consecuencia el aumento de la anchura de los impulsos. Todo se debe al hecho de que un impulso luminoso breve no tiene una longitud de onda (o una frecuencia) perfectamente determinada. En efecto, una onda de frecuencia exactamente definida, es decir una senoide perfecta, se extiende hasta el infinito por los dos lados.

Supongamos que se toma solamente un pequeño fragmento de esta senoide, a modo de impulso breve. Matemáticamente, este fragmento de senoide equivale a la suma de una infinidad de sinusoides completas que difieren en su amplitud y en su frecuencia. El impulso individualizado en la onda portadora contiene por lo tanto unas componentes suplementarias, de longitudes de onda ligeramente diferentes de las originales. Y cuanto más breve es el impulso, más extenso es el intervalo de frecuencias representado. Debido a la dispersión, las diferentes componentes de la señal se propagan por la fibra a velocidades diferentes, según la longitud de onda de cada una. Los impulsos se ensanchan, de la misma forma que un pelotón de corredores se estira en una carretera. Por lo tanto se pueden llegar a mezclar con los impulsos vecinos, provocando errores de detección. Aunque la dispersión cromática resulta aceptable a los caudales citados más arriba, este inconveniente pesa doblemente a muy altos caudales. Cuanto más elevado es el caudal, más breves son y más próximos están unos de otros los impulsos. Y como los impulsos muy breves contienen más componentes que los largos, tienden a ensancharse más, con lo que aumenta superposición entre impulsos sucesivos. Por lo tanto la dispersión cromática limita muy pronto el caudal.

Análogamente, las fibras no transmiten exactamente a la misma velocidad los modos de polarización diferente. Y a consecuencia de la interferencia de polarización debida a las fibras, los impulsos están constituidos por una mezcla aleatoria de polarizaciones. Los bits transmitidos terminan por desdoblarse causando errores de detección.

Segundo problema importante: un efecto que se podría llamar *dispersión no lineal*. A partir de cierto nivel de intensidad, el índice de refracción del medio empieza a variar en función de la intensidad. Por lo tanto las intensidades pequeñas no viajan a la misma velocidad que las grandes. Pero la intensidad no es constante en las transmisiones ópticas. En el modo **NVC**, una señal luminosa no dibuja una almena perfecta, sino más bien una envolvente que es una aproximación y que presenta una variación continua de intensidad cuando el símbolo transmitido pasa de 0 a 1 e inversamente.

En el otro tipo de transmisión (**VC**), las señales se transmiten en forma de impulsos individuales bien separados. En este caso, para un 1 la intensidad es máxima en el centro del bit y decrece hasta anularse en sus bordes (de ahí la expresión vuelta a cero o **VC**). Un 0 corresponde a una ausencia de luz durante la duración de un bit. En los dos casos señalados, **NVC** y **VC**, la dispersión no lineal provoca una deformación (ensanchamiento o estrechamiento) de las señales, con las mismas consecuencias que antes. Por lo tanto, no se puede aumentar arbitrariamente la energía de las señales para disminuir la tasa de errores: por encima de una cierta intensidad, esta tasa se pone a crecer.

Existe un medio elegante de escapar de este dilema: es un regalo de la naturaleza llamado solitón. Se trata de un impulso muy breve que conjuga idealmente la dispersión cromática y la dispersión no lineal neutralizándolas. El solitón es una señal cuya intensidad y longitud de onda media se han calculado de forma que los efectos de dispersión (variación de la velocidad de propagación debida a la longitud de onda de una parte, y debida a la intensidad de otra) se compensan. En nuestro pelotón de corredores, esto equivale a imaginar que el terreno es flexible como una red de circo (metáfora para la fibra de vidrio), y forma una depresión bajo el peso de los corredores: como tienen que remontar la pendiente de la red que se crea al frente del pelotón, los corredores rápidos resultan frenados. A la inversa, como tienen que bajar la pendiente de la cola del pelotón, los corredores lentos se aceleran. En consecuencia, la depresión de la red mantiene juntos a todos los corredores.

El **solitón** excita la imaginación de los ingenieros del mundo de las telecomunicaciones. Después de unas predicciones visionarias que datan de más de veinte años y de los primeros experimentos en fibras ópticas en 1980, las comunicaciones de muy alto caudal por solitones (20-100 Gbits/s) son ahora objeto de una intensa investigación. Pero la utilización de solitones implica algunos desarrollos técnicos, relativos por ejemplo a los dispositivos de emisión (impulsos muy breves), y al filtrado necesario para controlar exactamente la frecuencia central del solitón, muy sensible al ruido introducido por los amplificadores.

Estas técnicas se dominan, pero su introducción en las comunicaciones submarinas se ha retrasado hasta ahora por una simple razón: los sistemas convencionales (**NVC**) no han dejado de progresar gracias, no a la utilización de caudales cada vez más elevados (hemos visto que el límite es de 10 Gbits/s), sino a la técnica del multiplexado en longitud de onda.

Así, laboratorios norteamericanos y japoneses han demostrado la posibilidad de transmitir en **NVC** más de veinte longitudes de onda a 5 Gbit/s, es decir un caudal total de 100 Gbit/s, a 10.000 kilómetros. En contraste, el esfuerzo de investigación y desarrollo dedicado a los sistemas con solitones es

sensiblemente menor, de ahí un progreso a una ligera distancia: solamente ocho canales a 10 Gbit/s (80 Gbit/s) para la misma distancia.

En los sistemas multiplexados en longitud de onda, una ventaja decisiva de los solitones sobre el NVC sigue siendo el caudal básico: con una sola longitud de onda es mucho más elevado ya que alcanza 10 Gbit/s e incluso 40 Gbit/s. Además, estos valores son directamente compatibles con los caudales estándar de las futuras transmisiones terrestres. Finalmente, hay técnicas experimentales que permiten aumentar la distancia de transmisión sin degradación. En los laboratorios de NTT de Japón, por ejemplo, los investigadores han hecho circular 10 Gbit/s por una fibra en bucle durante un cuarto de hora sin deformación de la señal, un tiempo que corresponde a un recorrido de 180.000.000 kilómetros y que solamente es limitado por la electrónica de sincronización. En Alcatel, también se ha demostrado este potencial para 20 Gbit/s, con repetidores aún más espaciados (140 km en vez de los 45 km necesarios en NVC). En el mercado de las comunicaciones submarinas, los solitones se presentan así como una alternativa muy prometedora.

Un avance más que se ha logrado en lo últimos tres años es el mejoramiento de WDM, una técnica rápida y novedosa llamada DWDM.

2.2.2 DWDM (Dense Wavelength-Division Multiplexing).

Hoy las redes de telecomunicación han tenido un incremento en el tráfico de datos. Recientes redes utilizan el multiplexado por división de tiempo Time Division Multiplexing (TDM), originalmente inventado para ser la técnica de multiplexado más eficiente para la posible transmisión de voz en una velocidad de 64 Kbits/seg, esta arquitectura no es particularmente adecuada para el tráfico de datos de hoy en día. Un router o un ATM se puede conectar a una red de transporte mediante DWDM, mediante mapeo de paquetes o células directamente dentro de una longitud de onda sin la intervención del uso de una SONET o SDH TDM. De hecho, un TDM puede ser reemplazado por DWDM, el cual puede incrementar la utilización del ancho de banda, facilitando la red, y reduciendo costo.

DWDM puede completamente eliminar la necesidad de fibra extra, el cual es especialmente significativo para proveedores que tienen problemas de consumo de fibra, y este puede ser fácilmente coexistir con redes SONET o con las viejas terminales de fibra óptica llamadas FOT's, las cuales operan mediante protocolos asíncronos. DWDM ha revolucionado la industria de las telecomunicaciones proveyendo de infraestructura para largo transporte de redes ópticas. Como la revolución de DWDM se mueve dentro de la íter oficina metropolitana (IOF) y redes de acceso, este contará con el OADM (Optical Add/Drop Multiplexer), como su red fundamental para la red óptica Metro.

Red Óptica Metro: Marketing.

En redes metropolitanas el mercado para DWDM está creciendo en proporción de las necesidades ancho de banda requerido por las empresas. DWDM reúne y excede las necesidades de ancho de banda, siendo independiente de las velocidades y protocolos usados en la red, permitiendo a los proveedores ofrecer nuevos y mejores grados servicios existentes.

Dentro del desarrollo del mercado de DWDM se manejan tres factores, colocados por orden de importancia:

- Agotamiento de la fibra en la red metropolitana.
- Expansión de las capacidades de la red de DWDM.
- Habilidad de proveer servicios y sumar nuevos.

Esta evolución se muestra en la figura 2.2.1

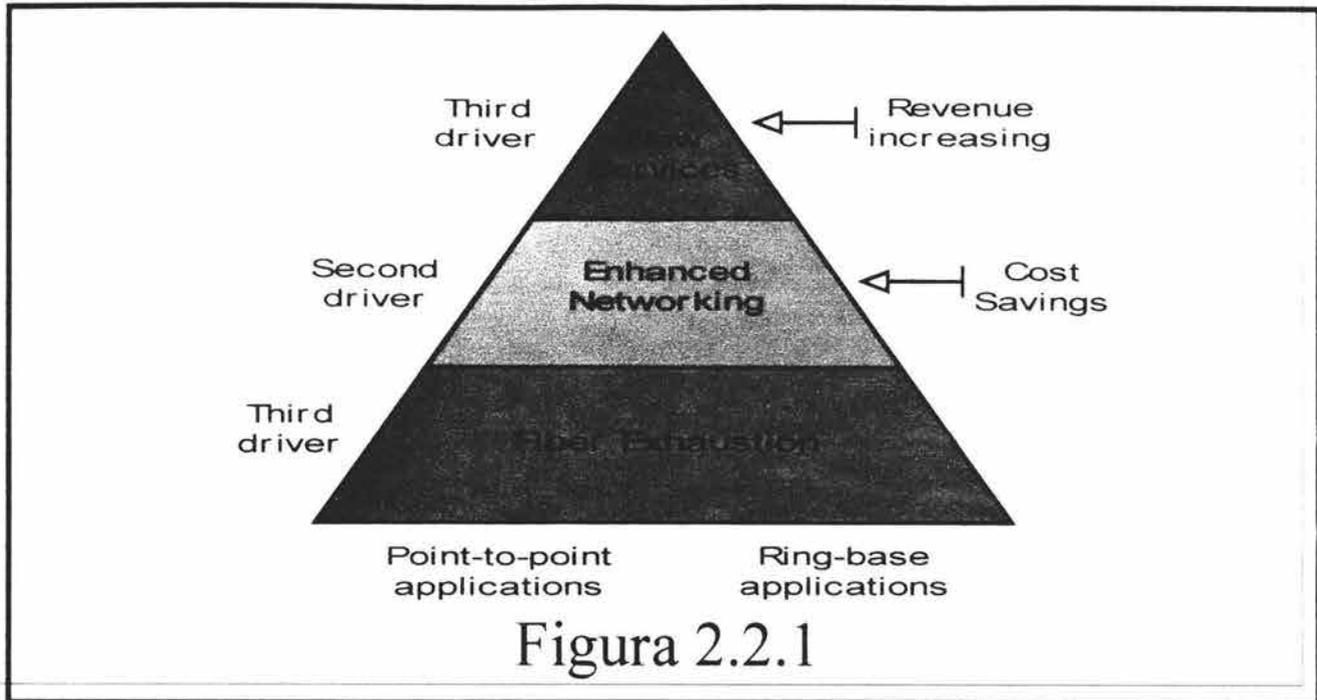


FIGURA 2.2.1 La Evolución de DWDM

DWDM cuenta con arquitecturas de anillos ópticas, las redes metro ópticas consolidan el transporte de todo tipo de servicio, la infraestructura usada en estas redes inhabilita la arquitectura de anillo, que consistentemente soporta múltiples formas de tráfico, en la figura 12, se muestra una aplicación explícita de la consolidación del transporte. En la figura 2.2.2a se puede observar la variedad punto a punto de las demandas que pueden ocurrir entre diferentes tipos de elementos de redes (indicado como flechas entre elementos de redes). En la figura 2.2.2b se observa como DWDM puede proveer la conectividad requerida. Si el tráfico entre SONET/SDH ADM's está protegido por un esquema TDM este debe ser transportado de forma no protegida a la capa óptica. Por otro lado, el tráfico entre routers de protocolos de Internet pueden requerir protección con los protocolos implementados tal como Border Gateway Protocol, versión 4 (BGP4). En este caso, la protección de la capa óptica es conmutada como una opción. El tráfico entre los Switches ATM, puede consistir en permanentes conexiones virtuales y puede por lo tanto ser restaurada la capa ATM. Por esta razón, puede ser posible apagar o desactivar la capa óptica protectora.

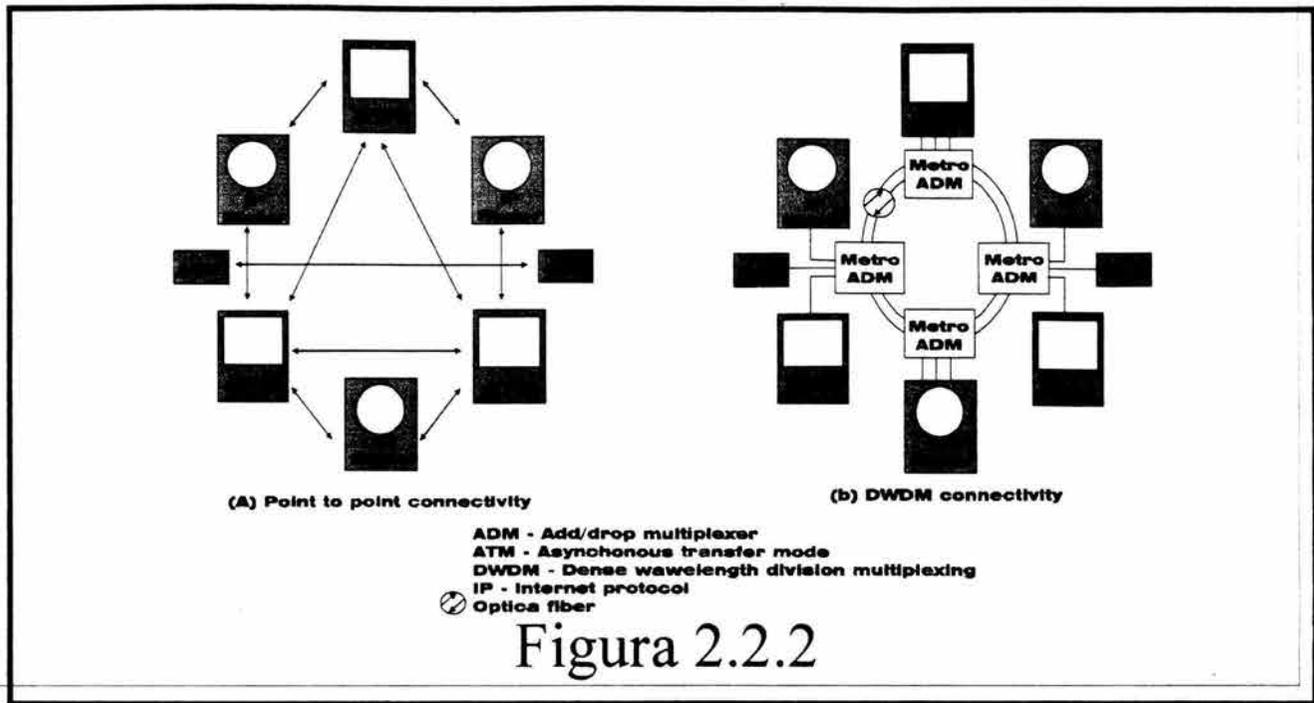


FIGURA 2.2.2 Consolidación del Transporte en un anillo óptico

La arquitectura path-in-line: - *SONET/SDH rings*, la figura 2.2.3 muestra una típica arquitectura de una red de un área metropolitana que provee la conectividad local para varios tipos de servicios. Hoy ese tipo de redes pueden ser construidas usando anillos SDH/SONET basados en la arquitectura path-in-line. Ese tipo de arquitectura está estructurada para que tenga una terminal de alta capacidad, este anillo provee de conexiones de alta velocidad entre el nodo de servicio (Service Node), y número de centrales PSTN y centrales locales, en la figura 13 denotados como LSO-1, LSO-2,... LSO-m. En una típica red de un área metropolitana, m puede ser tan pequeño como 4 o tan gran como 15 oficinas. Los anillos distribuidos son el camino conmutado para un nivel tributario virtual (VT) o STS-1, el cual es 1+1 protegido. La distribución de anillos de baja velocidad son llevados sobre un determinado camino, en el anillo de interoficinas. Multiplexado en la distribución de anillos dentro de la terminal siempre conserva las fibras pares.

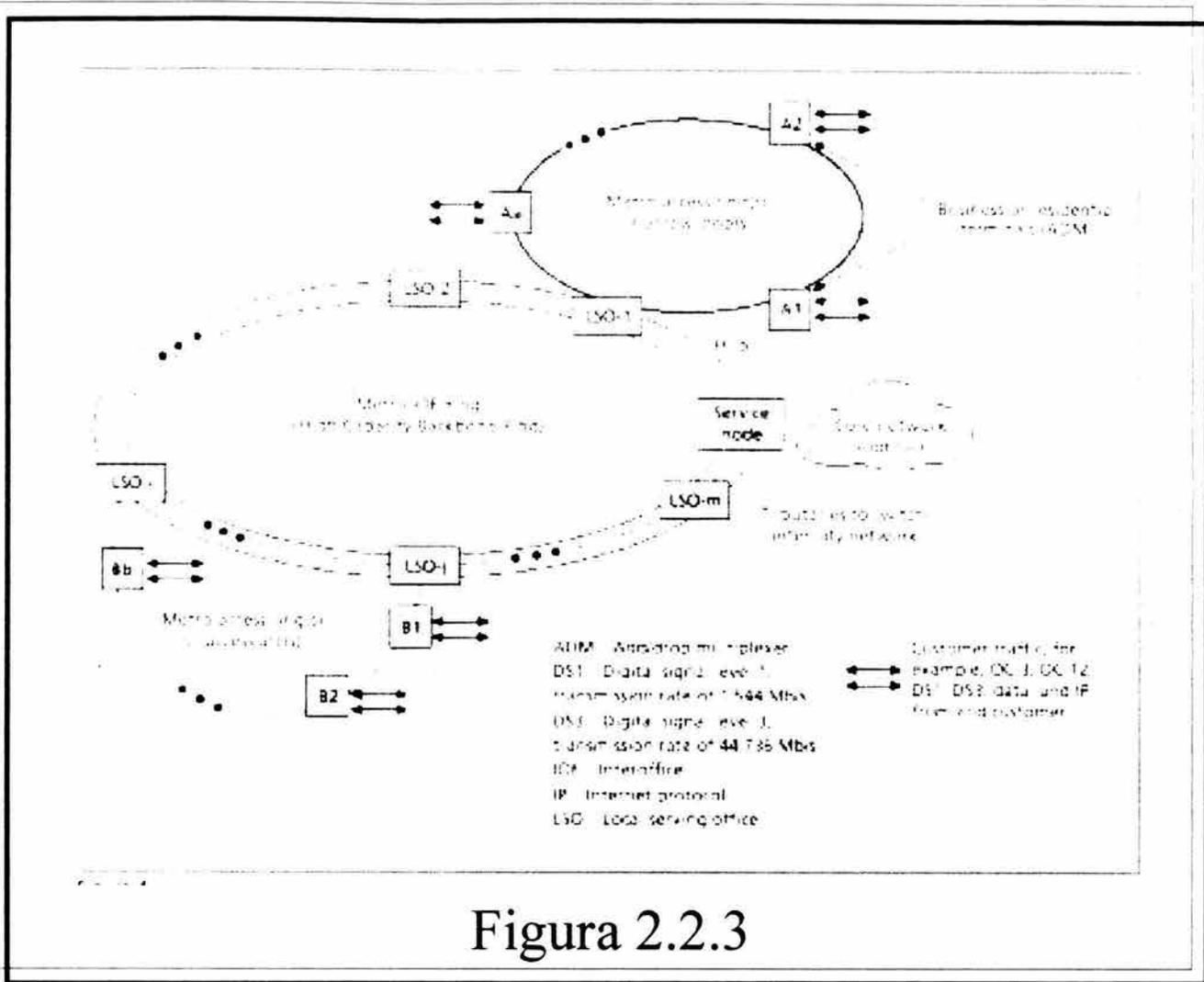


Figura 2.2.3

FIGURA 2.2.3 Topología de un área red óptica metro

La figura 2.2.4 se muestra una arquitectura con DWDM de una típica red metro, en la cual la red SDH tiene dos capas:

La capa 1, presenta el acceso a la red metro y (622 Mb/seg),

La capa 2, representa la capa terminal de la red metro (2.5 Gb/seg)

Cabe mencionar que esta figura muestra un ejemplo en el cual DWDM es introducido en la capa 3. Este anillo DWDM funcionará como la autopista express para tráfico interzonas.

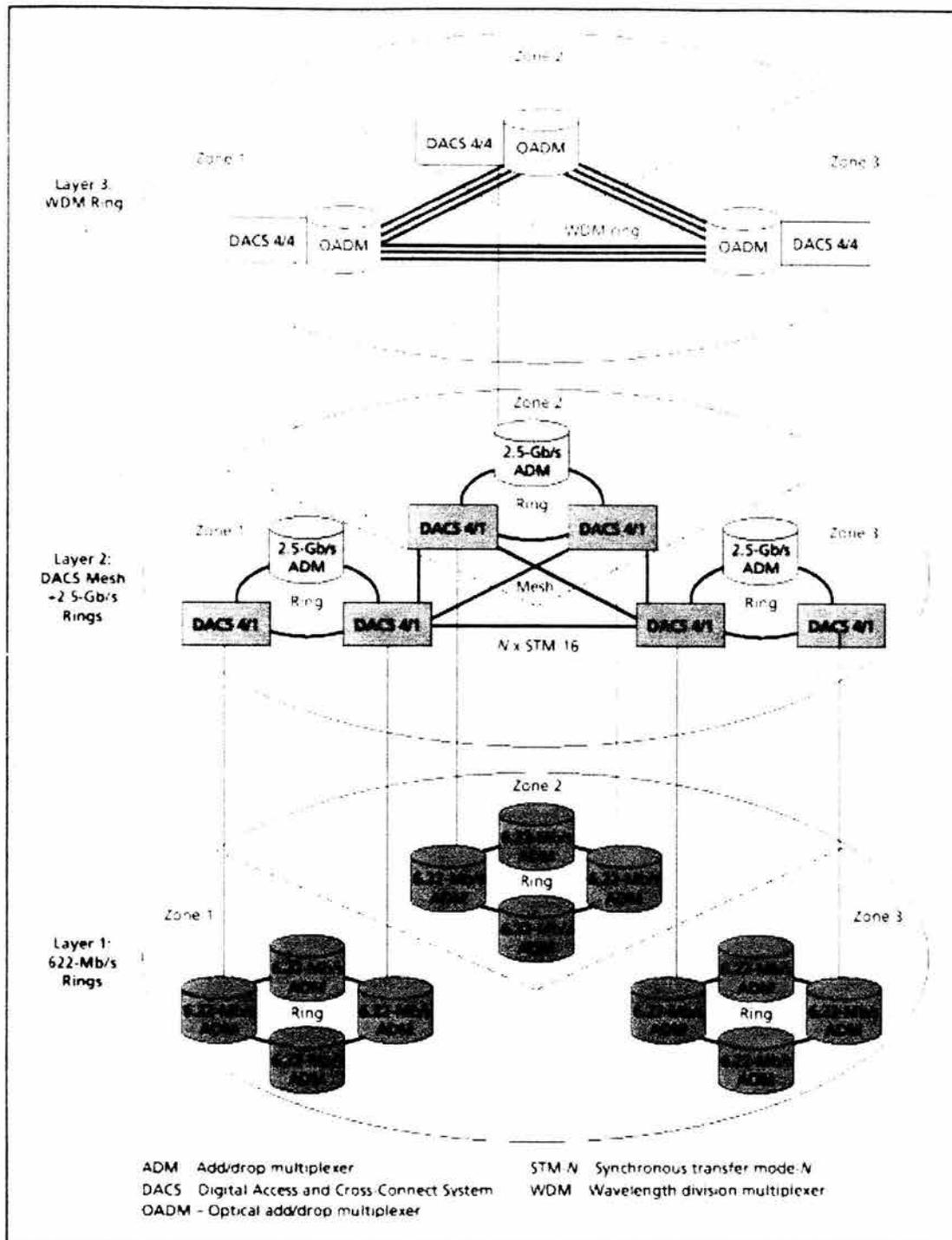


Figura 2.2.4

FIGURA 2.2.4 Una capa típica de una arquitectura de red metro con DWDM

Haciendo una comparación del IOF (Interoffice Metro) sobre SONET/SDH presenta los siguientes beneficios.

Este necesita pocas líneas de fibra óptica lo cual es especialmente importante donde el uso de la misma es muy demandado.

- Este puede ser usado para que a fibra óptica incremente su capacidad de trasmisión.
- Simplifica el tiempo de arquitectura eliminando la necesidad para sincronizar canales tributarios.
- Este provee la capacidad de servicio de un canal claro.
- Este puede proveer velocidad de bit, formato, y transparencia en el protocolo.

Construcción de bloques de redes ópticas Interoffice Network (IOF Optical Networking).

La principal construcción del bloque en la red óptica metro mostrada en la figura 2.2.5, es el programable **OADM**. Este elemento permite la suma y la caída selectivas de un número de canales de longitudes de onda óptica.

OTU's (Optical Translator Unit) son usados en longitud de onda **DWDM**, este sistema desarrolla la función de regeneración en los puntos de la red donde la calidad de la señal óptica ha sido deteriorada. Otra función importante provista por OTU's es el proceso "overhead" en el cual la señal digital es extraída y procesada. Actualmente, las redes ópticas utilizan OTU's optoelectrónicos. Todos los OTU's, ópticos no pueden proveer de un proceso general, ya que no permite el acceso a los bits eléctricos. La figura 2.2.6 muestra diferentes tipos de OTU's la operación del OTU optoelectrónico es hacia delante como se muestra en la figura, en el final del frente un fotodetector de alta velocidad, convierte las señales ópticas recibidas a señales eléctricas donde se amplifica a un nivel designado.

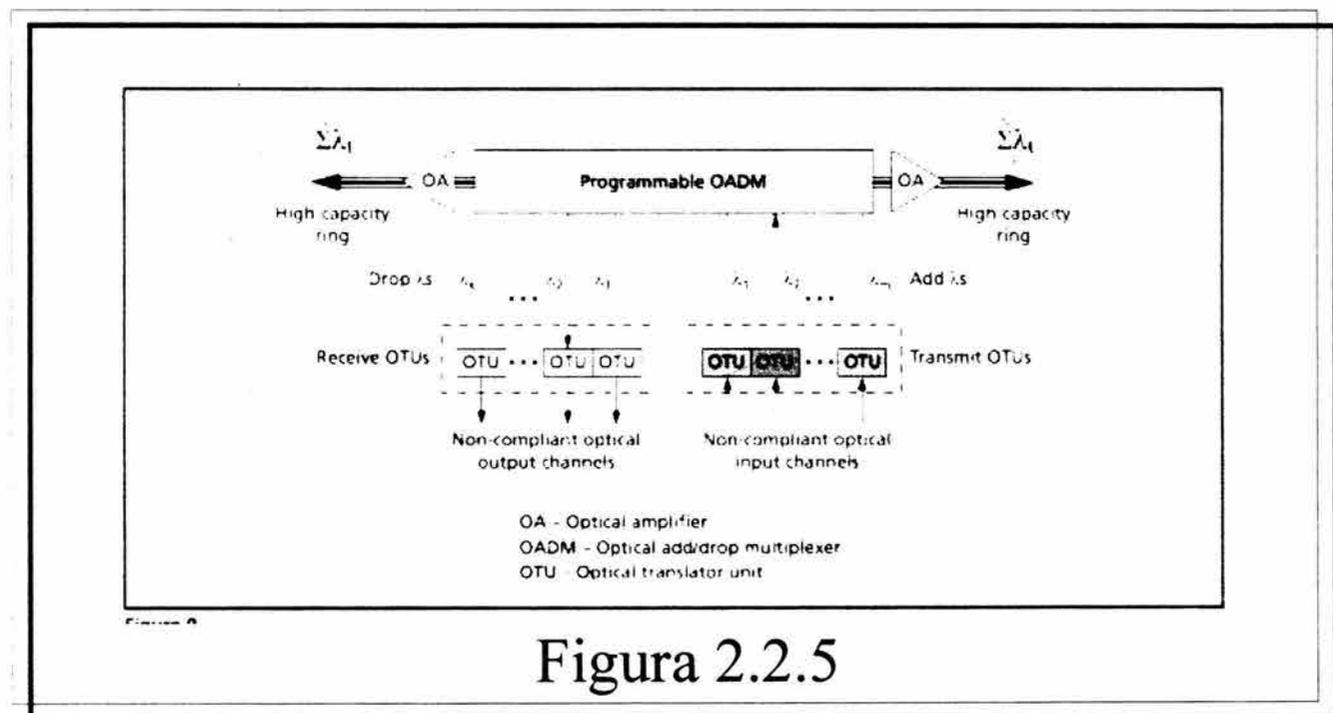


Figura 2.2.5

FIGURA 2.2.5 Modelo de referencia para un nodo de red óptica tipo metro

OADM (Optical Add/Drop Multiplexer).

Flexible o reconfigurable, **OADM's** son los deshabilitadores críticos de la red óptica metropolitana, el término "Flexible OADM", cuando la aplicamos a un anillo óptico de interoffice metro, implica que el

sistema tiene la habilidad de proveer una conexión entre dos nodos para todos los canales de longitud de onda, arriba del límite de los canales disponibles. Sólo con una selección cuidadosa de tecnología y un diseño adecuado del OADM pueden tener los requisitos para la interoffice metro de la manera más efectiva.

La configuración más empleada en **OADM** es usando *back to back* multiplexing, como se muestra en la figura 2.2.7 En esta configuración, todos los n canales de longitud de onda en las señales ópticas de multilongitud de onda, son demultiplexados en sus longitudes de ondas tributarias.

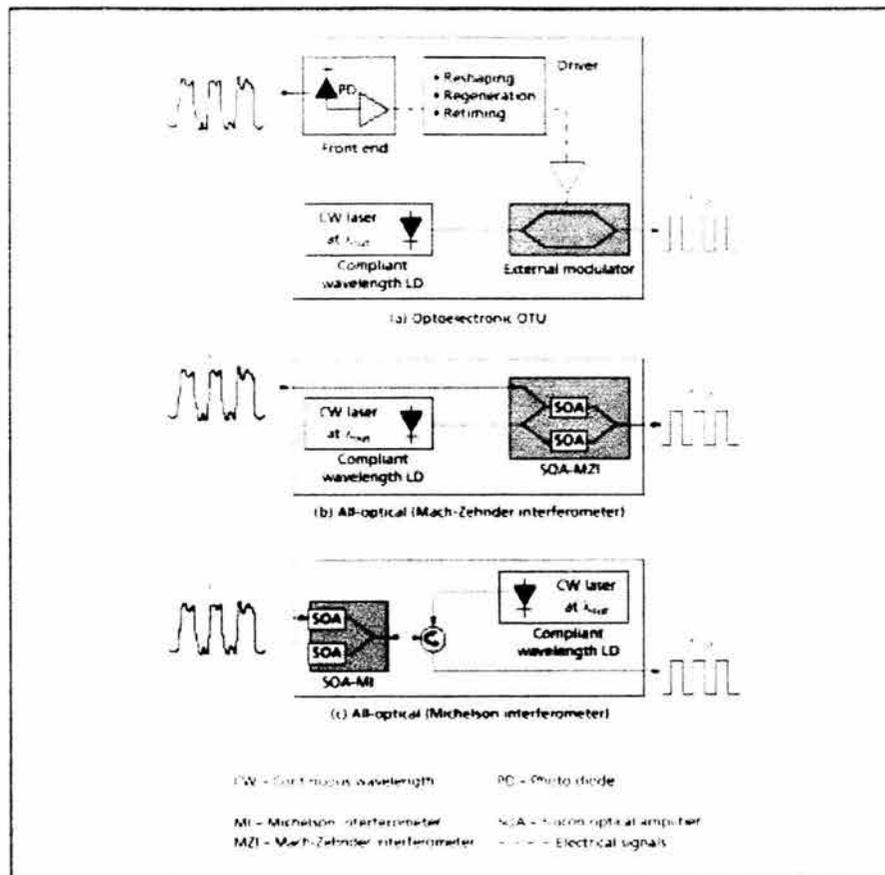


Figura 2.2.6

FIGURA 2.2.6 Etapas de la conversión óptica a eléctrica

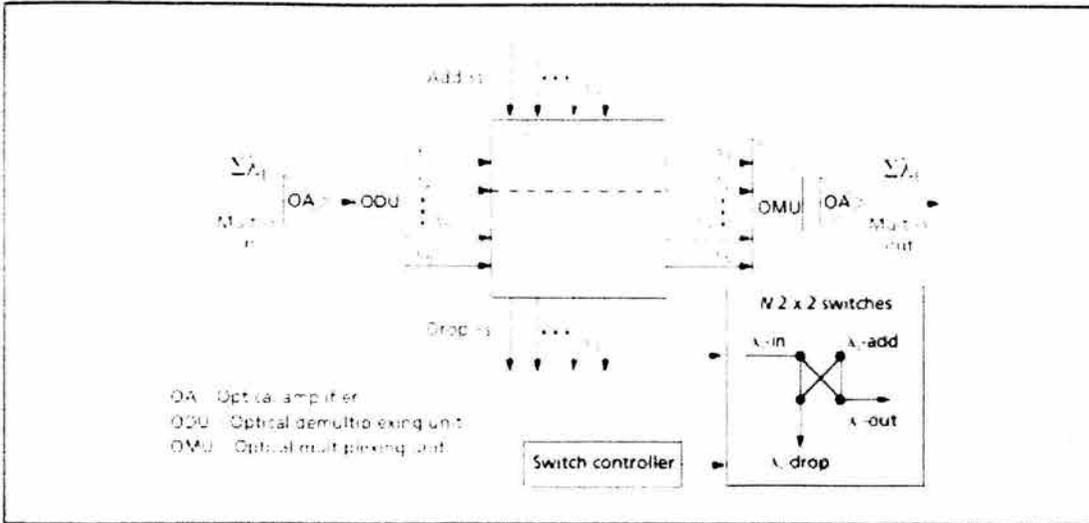


Figura 2.2.7

FIGURA 2.2.7 Arquitectura del OADM basado en el multiplexado de uno tras otro

Los espejos micromecánicos mostrados en la **figura 2.2.8** responde a las fuerzas electrostáticas aplicadas. Depende del ángulo del espejo en uno los escenarios ocurridos, en general este desarrolla un libre espacio que multiplexa o remultiplexa la longitud de onda conmuta en esta estructura en una difracción planar.

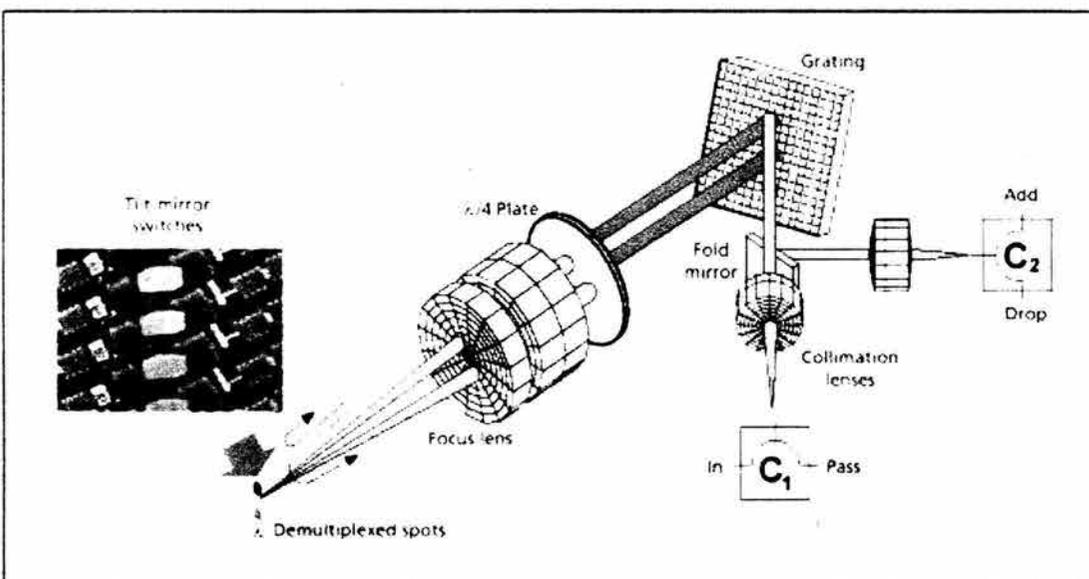


Figura 2.8

Figura 2.2.8

FIGURA 2.2.8 Un OADM basado en ópticas espaciales y en espejos Micromecánicos inclinados. Anillos de acceso metro.

Faltan páginas

N° 60-61

CAPITULO III DWDM

3.1 Introducción a DWDM

3.1.1 Multiplexaje por división de longitud de onda (WDM)

Introducción

Actualmente la demanda de transporte de información se ha incrementado notablemente. Internet en la década pasada y actualmente es uno de los principales demandantes de anchos de banda inmensos para satisfacer sus requerimientos principalmente de soporte de multimedia.

Telmex como proveedor de redes de transporte de alta capacidad ha proporcionado soluciones incrementando la capacidad de fibra instalada y utilizando la multiplexación por división de tiempo (TDM) de esta manera se ha podido soportar el gran volumen de tráfico demandado. Sin embargo el uso de TDM ha incrementado la complejidad de los equipos de multiplexación y modulación a velocidades superiores a 2.5 Gb/s. (10 Y 40 Gb/s).

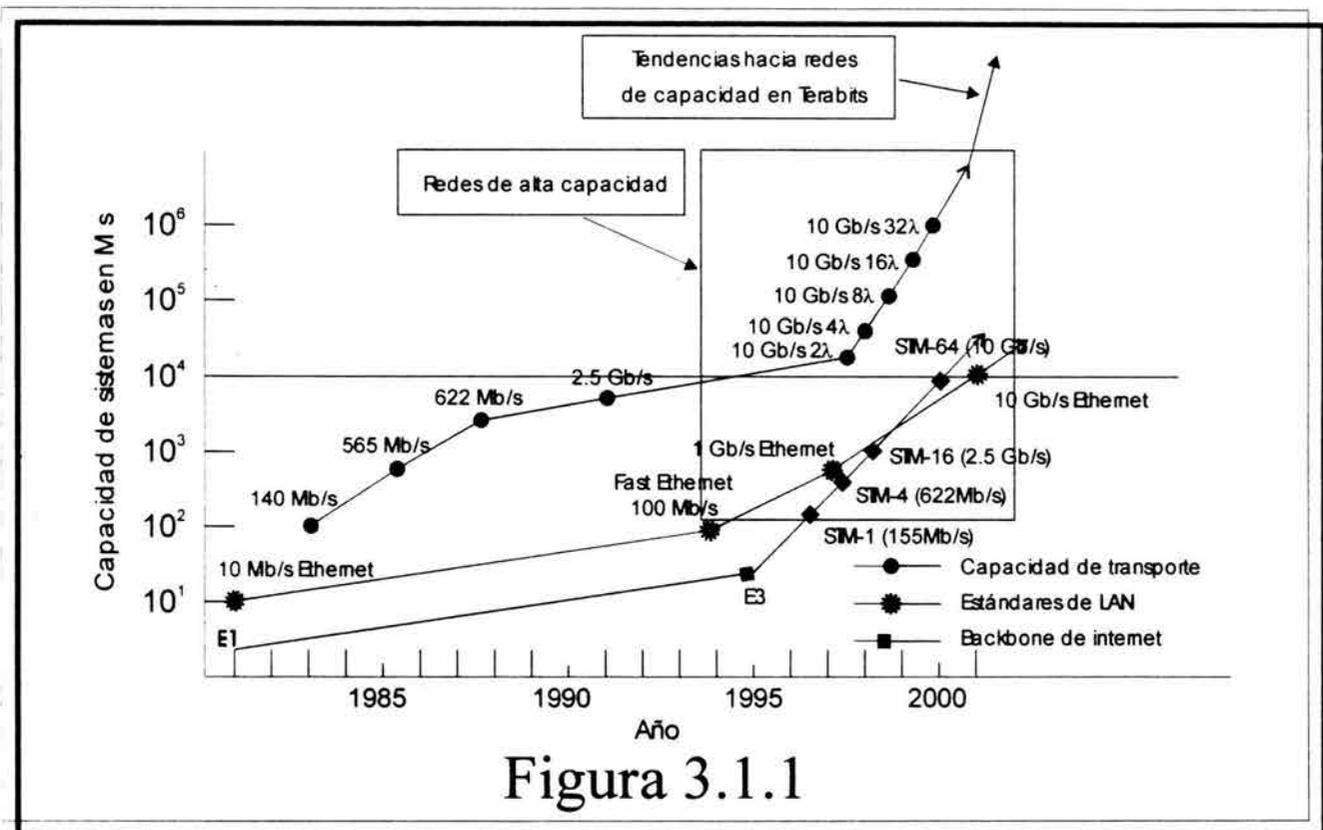


Figura 3.1.1 Evolución de las redes de transporte

En la figura 3.1.1 se observa que a partir del año 1995 se incrementa la capacidad de demanda de transporte para el estándar de la tecnología de acceso a redes de datos "Ethernet" y para el backbone de Internet, se espera que la tendencia se mantenga y que a partir del 2004 las necesidades de capacidad de transporte se incrementen en promedio en 100 % anual. Se observa también que el incremento de la capacidad de transporte de la red se debe a los avances de la tecnología WDM (combinación de varias

longitudes de onda en una fibra óptica).

Ventajas de WDM

En la figura 3.1.2 se observa la diferencia entre el sistema TDM tradicional, el cual utiliza un par de fibras para cada sistema y la tecnología DWDM que utiliza un par de fibras para transportar los mismos canales. Obsérvese que la cantidad de amplificadores ópticos es menor que la de los regeneradores ópticos del sistema TDM.

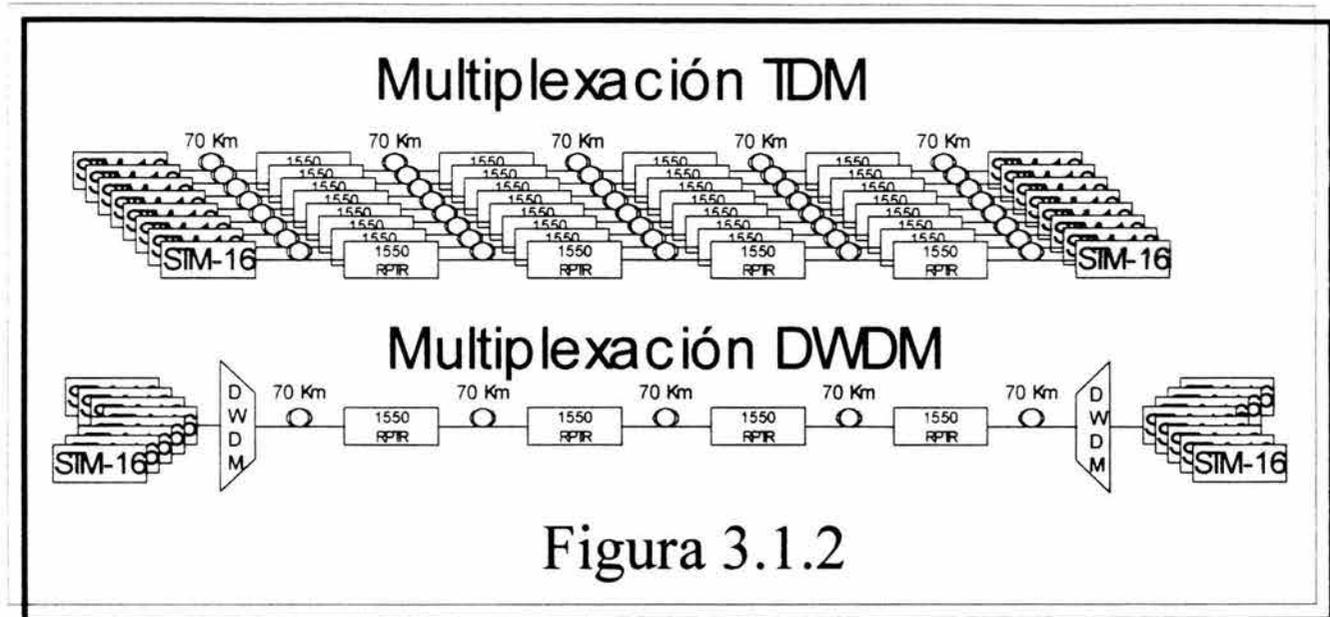


Figura 3.1.2

Figura 3.1.2 Multiplicación de la capacidad de transmisión de la fibra óptica utilizando DWDM.

Podemos resumir brevemente las siguientes ventajas principales:

1. WDM incrementa la capacidad de transmisión sin necesidad de reemplazar la fibra existente, **WDM debe ser soportada por todos los tipos de fibra instalados en Telmex**, lo que reduce sustancialmente los costos de actualización de la red y permite una mercadotecnia de arrendamiento de fibras y de longitudes de onda para transmisión de otros servicios como televisión, tráfico de Internet, etc.
2. WDM permite redes totalmente ópticas sin regeneración electrónica de la señal en ningún punto.
3. Los sistemas WDM no tienen los problemas que limitan el desempeño de los sistemas TDM y son de mucho mayor capacidad, (la complejidad técnica de los multiplexores y demultiplexores de velocidades mayores a 2.5 Gb/s han limitado el desarrollo de los sistemas TDM).
4. DWDM ofrece en la actualidad sistemas con capacidades en el rango de Terabits/seg.

Implementación de WDM

A continuación vamos a describir brevemente la implementación de los primeros sistemas WDM. En la figura 3.1.3 se muestra una configuración básica WDM. La transmisión es punto a punto y se multiplexan los cuatro canales (ó sistemas) dentro de una sola fibra óptica. Cada canal tiene su propia longitud de onda y dichas longitudes de onda se encuentran espaciadas entre sí por varios nanómetros.

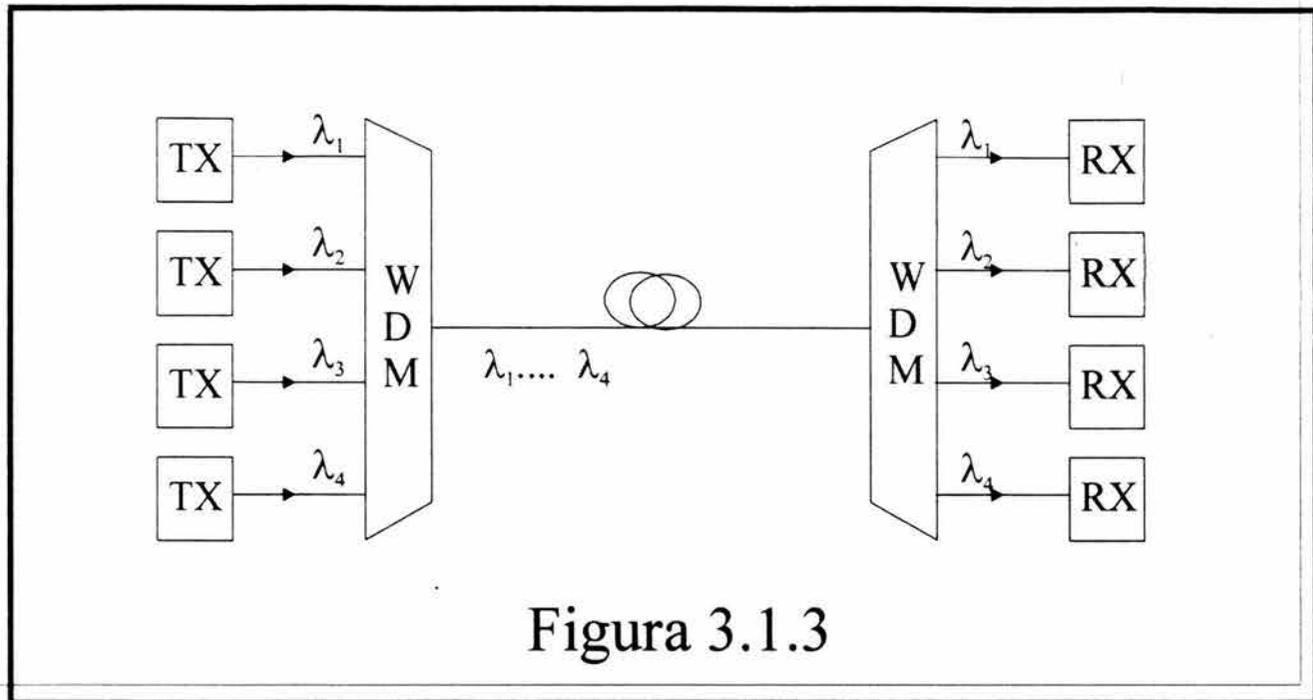


Figura 3.1.3 Sistema WDM de 4 canales

Para lograr que el desarrollo de estos sistemas fuera totalmente operativo, fue necesario identificar y dar solución a efectos no lineales que presentaban las fibras existentes donde se probaron los primeros sistemas y que la óptica de los dispositivos WDM se optimizará.

Efecto FWM

Uno de los efectos no lineales que presentaron las fibras existentes y que afectaron significativamente a los primeros sistemas WDM fue el efecto FWM (Four-Wave-Mixing).

Debido a que en WDM se utilizan potencias relativamente altas en los transmisores, *el efecto FWM se produce cuando la intensidad de la señal láser alcanza niveles críticos y aparecen señales fantasmas en el espectro Óptico una vez que la señal pasa a través de la fibra de dispersión cero*. Estas señales pueden confundirse con los verdaderos canales y ocasionar graves problemas de interferencia en el receptor. El número de canales fantasma se obtiene con la siguiente expresión:

$$(N^2(N-1))/2$$

Donde N es el numero de canales.

De acuerdo a la expresión de la página anterior para 2 canales se obtienen dos canales fantasma. para 3 canales se obtienen 9 fantasmas. para un sistema de 4 canales se obtienen 24 fantasmas. para 8 canales se obtienen 224-fantasmas y para 16 canales se obtienen 1920 fantasmas.

En la figura 3.1.4 se muestra gráficamente este efecto.

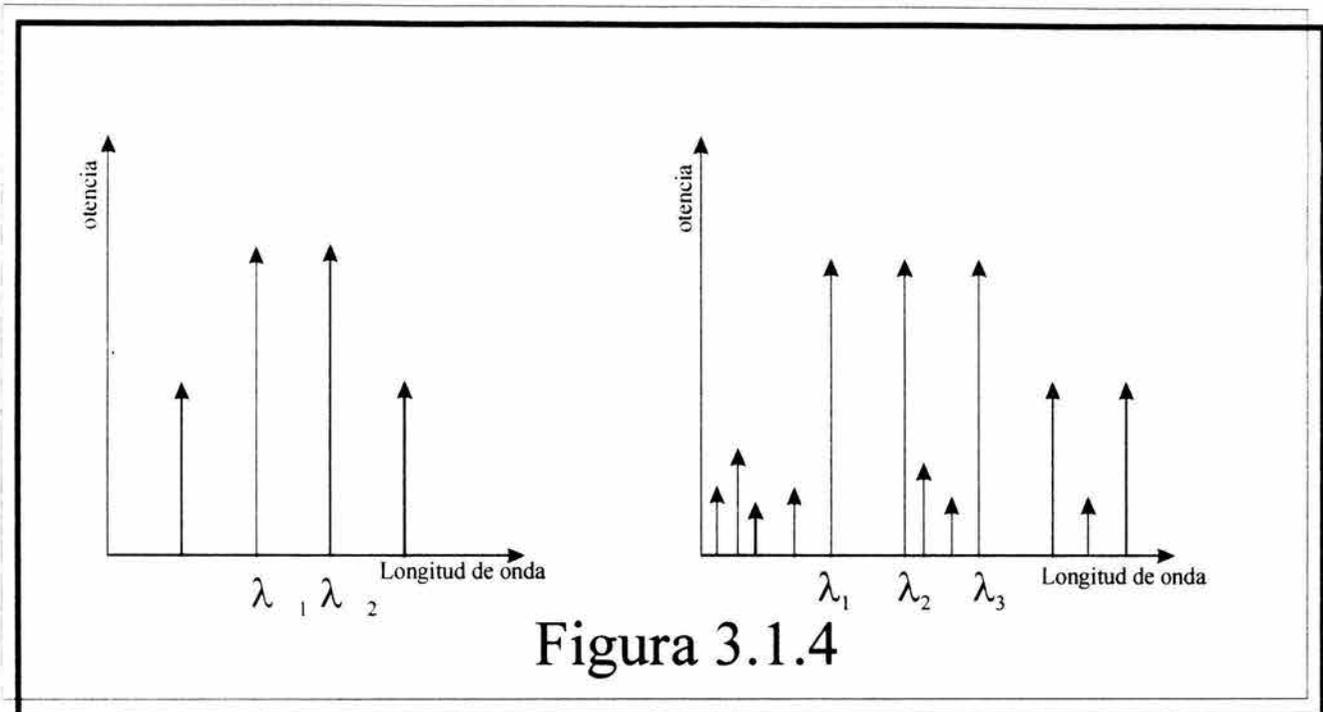


Figura 3.1.4 FWM crea señales indeseadas dentro del rango del espectro óptico de transmisión

FWM es crítico debido a:

- Incremento en la potencia de canal (potencia láser del transmisor)
- Espaciamiento de canales muy estrecho
- El incremento en el número de canales
- *Uso de fibras de dispersión corrida (G.653)*

¿ Cómo se disminuye el efecto FWM?

- Incrementando el valor de la dispersión cromática
- Utilizando fibras de dispersión no cero NZDSF (G.655) donde el efecto FWM en estas fibras no es significativo.
- Incrementando el área efectiva de la fibra (Ejemplo utilizando fibras LEAF del fabricante Corning)

Estructura del WDM

Actualmente los sistemas WDM básicamente están conformados por transponder lado transmisión, un

multiplexor, uno o más EDFAs (Amplificadores de Fibra Dopada con Erblio), multiplexores ópticos de inserción extracción (OADMs), cable de fibra óptica un demultiplexor y de ser necesario la misma cantidad de transponder en el lado receptor. Cada componente es esencial para el funcionamiento correcto del sistema. En la figura 3.1.5 se muestra la estructura básica WDM.

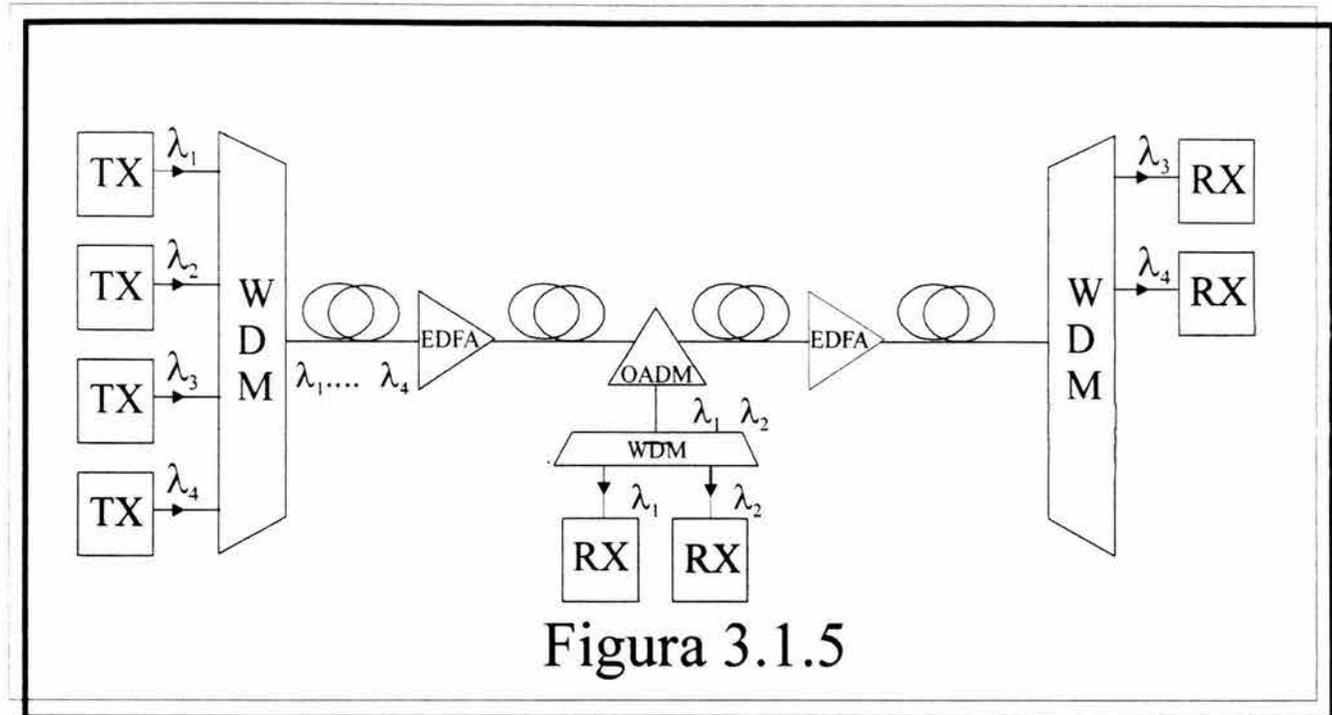


Figura 3.1.5 Estructura Básica WDM

Los transponder son módulos adaptadores de longitud de onda que se utilizan para cambiar la longitud de onda de los equipos transmisores (SDH) y hacerla compatible con las longitudes de onda de entrada al multiplexor WDM. En cuanto al transponder de lado receptor es necesario solo si el receptor del extremo remoto (SDH) no es compatible con la longitud de onda que se genero en el transponder de transmisión o si los transponder de transmisión y recepción requieren el envío y recepción de señales de supervisión entre ellos. En la página 1-23 de este mismo capítulo se explica con más detalle el funcionamiento del transponder.

Multiplexor WDM

El multiplexor (MUX) es usado para combinar señales de diferentes longitudes dentro de una fibra óptica. Un acoplador de banda ancha estándar se puede utilizar como un MUX, sin embargo las pérdidas de inserción son altas, cerca de 4 decibeles para dos canales, 7 decibeles para sistemas de cuatro canales, 13 decibeles para sistemas de 16 canales, Por lo que la técnica de fabricación más utilizada es basándose en filtros ópticos.

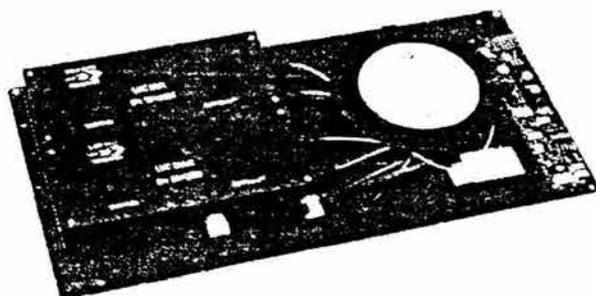


Figura 3.1.6

Figura 3.1.6 Módulo MUX/DEMUX de LIGHTWAVE

Demultiplexor WDM

Un demultiplexor (DEMUX) separa una señal de múltiples longitudes de onda en longitudes de onda individuales. conceptualmente funciona como un multiplexor usado en forma inversa. Así la tecnología aplicable a multiplexores es también aplicable a los demultiplexores. Sin embargo un DEMUX requiere de tecnología más compleja. Debe tener también una alta relación señal a ruido óptica (OSNR), con las aplicaciones DWDM el espaciamiento es más estrecho y la selectividad de longitud de onda se vuelve un parámetro muy importante.

Multiplexores de inserción/extracción ópticos (OADM)

Los multiplexores de inserción extracción ópticos (OADM) permiten agregar o extraer un solo canal sin tener que convertir el canal a señales eléctricas. Los multiplexores Add/Drop son ensamblados utilizando técnicas de separación espectral para combinar múltiples señales ópticas dentro de un Único medio de transmisión o para extraerlas. Actualmente las tecnologías permiten insertar extraer o reemplazar un canal STM-16 en algún punto de la red sin causar disturbios en los otros canales que van por la misma fibra. Estos dispositivos proporcionan confiabilidad y seguridad a la red.

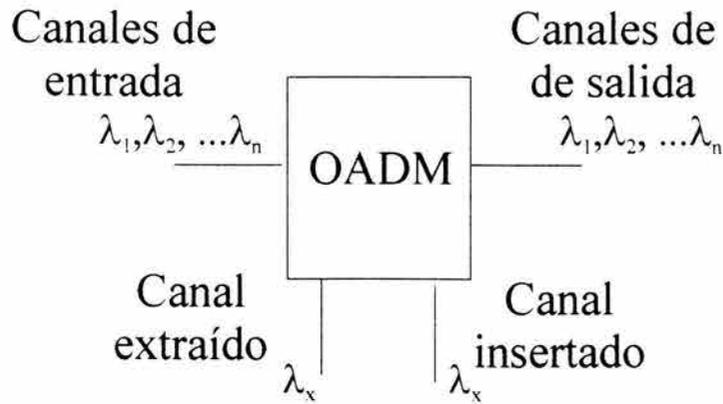


Figura 3.1.7

Figura 3.1.7 Representación típica de un OADM

Configuraciones WDM

En WDM se tienen dos tipos de configuraciones de sistemas con las características que se indican en la tabla 3.1.1

Configuraciones de los sistemas WDM	Características
Unidireccional	Las señales se transmiten en una misma dirección con varios portadores ópticos con diferentes longitudes de onda. Es decir se requiere una fibra de transmisión y otra de recepción
Bidireccional	Se transmite la información en dos sentidos sobre la misma fibra, utilizando diferentes longitudes de onda en cada sentido

Tabla 3.1.1

Longitud de Onda de sistemas WDM

Los sistemas que trabajan con WDM usan el rango de longitudes de onda entre 1530 a 1560 nm (Esta banda también es conocida como banda C, las longitudes de onda recomendadas para sistemas que trabajen en este rango están definidas en la recomendación G.692 de la UIT-T).

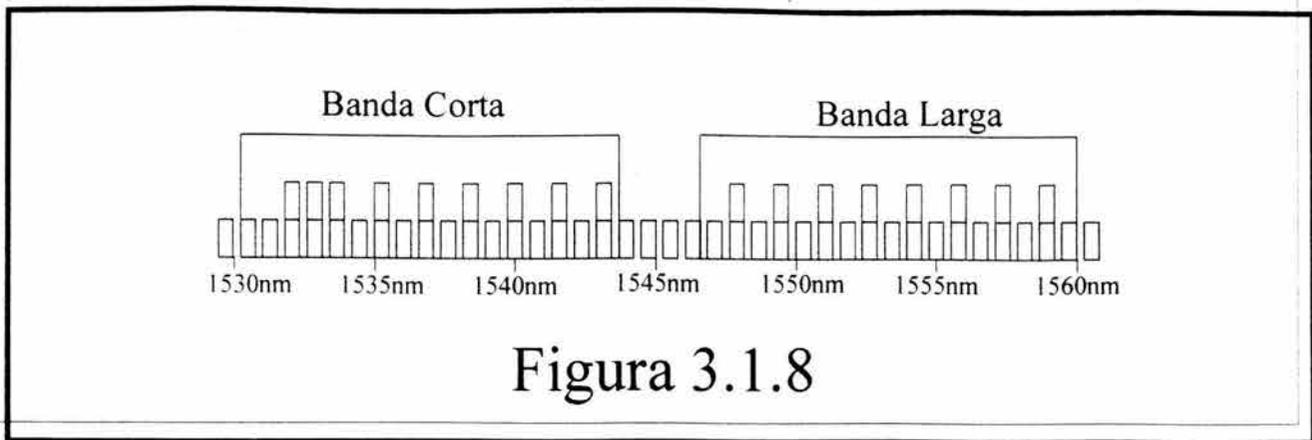


Figura 3.1.8

Figura 3.1.8 Canales con espaciamiento a 100 GHz en el rango de 1530 a 1560nm de acuerdo a la G.692 de la UIT-T

Las razones para utilizar esta banda, son que se toma ventaja de las bajas pérdidas en esta ventana óptica y segundo que se utilizan amplificadores ópticos dopados con erbio (EDFA) que trabajan en el ancho de banda de la banda C. Algunos proveedores como Alcatel por convención dividen la banda en banda azul y banda roja.

Debido a la creciente densidad de los sistemas DWDM se pretende utilizar inclusive la banda L de 1570 a 1605 nm. y que los nuevos EDFA's también trabajen en esta banda o se desarrollen otro tipo de amplificadores que cubran el ancho de banda de 1530 a 1605 nm.

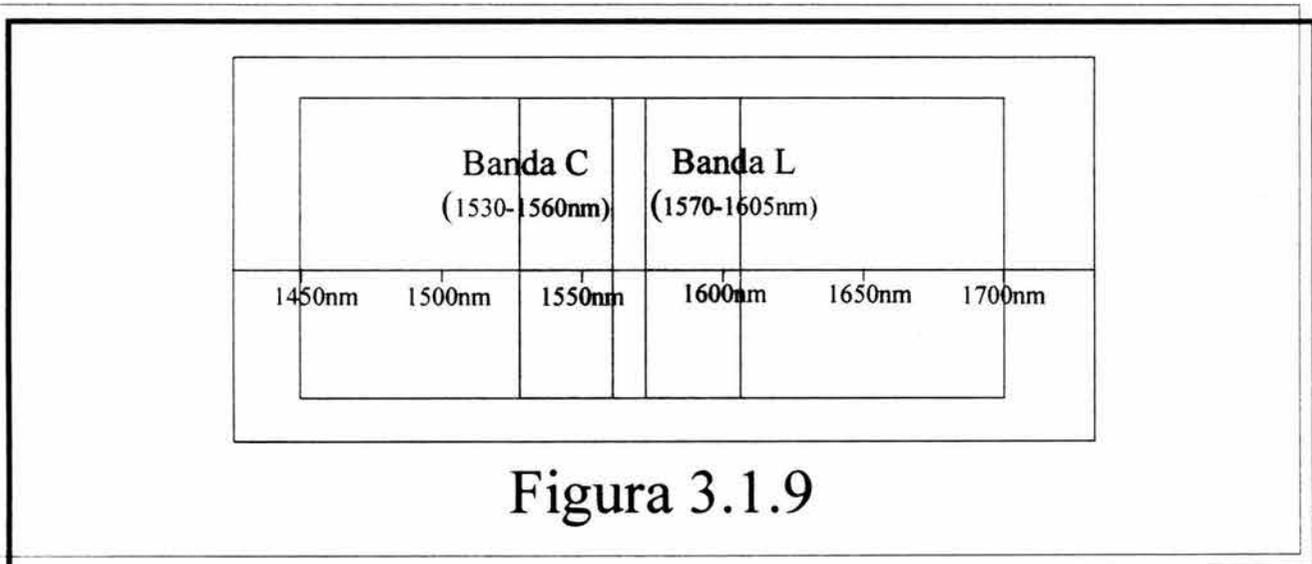


Figura 3.1.9

Figura 3.1.9 Rango de longitudes de onda para DWDM

3.1.2 Óptica de los elementos WDM

Introducción

A continuación se dará una breve descripción de algunos de los dispositivos ópticos empleados en los sistemas WDM y que consisten básicamente de filtros de banda angosta, rejillas de difracción y rejillas de fibra Bragg.

implementación de MUX / DEMUX para WDM

Los MUX/DEMUX WDM son dispositivos ópticos pasivos y se tienen tres maneras de implementarlos:

- a) De filtros de película delgada
- b) De filtros de rejilla de difracción
- c) De filtros de prisma

Los más utilizados son los filtros de rejilla y los filtros de película delgada (Filtros de interferencia). por ser los de menos pérdidas y relativamente de menor costo.

Filtro de película delgada

Los filtros de película delgada consisten de varias capas de materiales dieléctricos transparentes de diferentes índices de refracción acomodados sucesivamente sobre un material óptico. Se basan en la reflexión de la luz entre las capas, la cual interfiere constructiva o destructivamente con el rayo de luz incidente dependiendo de la longitud de onda, con la selección minuciosa de los índices de refracción y espesor de cada capa se puede lograr que la interferencia producida en el filtro permita pasar un rango de longitudes de onda y refleje otras como se muestra en la figura 3.1.10

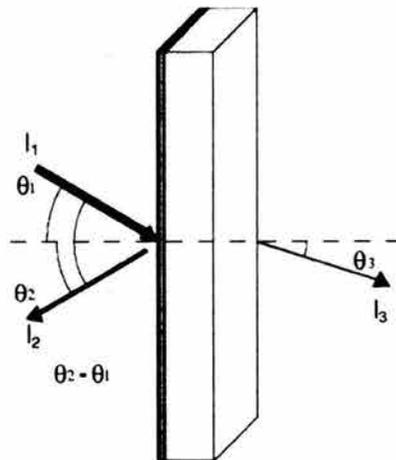


Figura 3.1.10

Figura 3.1.10 Filtro de película delgada

En la figura 3.1.10 se muestra el funcionamiento del filtro de película delgada. Observa que I_1 es un rango amplio de longitudes de onda, I_2 es el rango de longitudes de onda reflejadas e I_3 es el rango de longitudes de onda que se desea pasar a través del filtro. Los filtros de película delgada proveen bandas suficientemente estrechas para usarse en aplicaciones de MUX y DEMUX WDM de 16 o 32 canales, pero para mayor cantidad de canales es necesario utilizar otras tecnologías.

Rejilla de difracción

Una rejilla de difracción es un dispositivo que refleja y refracta luz en cantidad variada de longitudes de onda. La rejilla de difracción se construye básicamente por un espejo dentro del cual son gravados surcos de un espacio extremadamente angosto, una distancia típica (d) es $0.8 \mu\text{m}$ (1200 líneas por mm). Si un rayo de luz paralelo de una cierta longitud de onda cae sobre una superficie de difracción, entonces cada surco produce una onda cilíndrica.

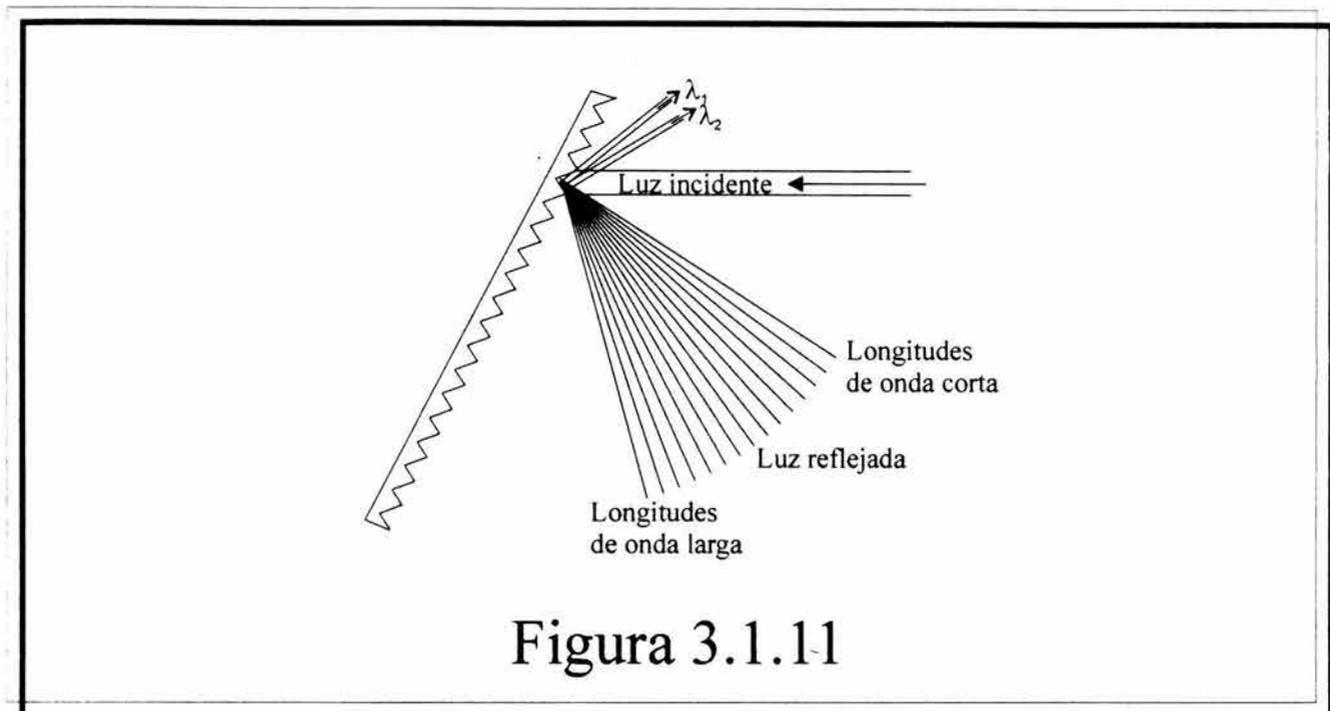


Figura 3.1.11

Figura 3.1.11 la luz incidente se divide en todas sus longitudes de onda primarias

Para cada longitud de onda de la luz incidente, hay un ángulo para el cual las ondas de luz reflejadas desde los surcos de la rejilla diferirán en fase exactamente una longitud de onda, hacia este ángulo, la contribución de cada surco se agregará constructivamente, así se tendrá el ángulo de máxima transmisión para esa específica longitud de onda.

Rejilla de fibra Bragg

Una rejilla de fibra Bragg se construye dopando apropiadamente una fibra con una sustancia como el germanio para posteriormente modificar el índice de refracción exponiéndola a luz ultravioleta. Si la exposición a la luz ultravioleta se realiza durante un patrón periódico, la fibra se convierte en una rejilla. En otras palabras reflejará casi completamente longitudes de onda en una banda predeterminada y transmitirá otras longitudes de onda.

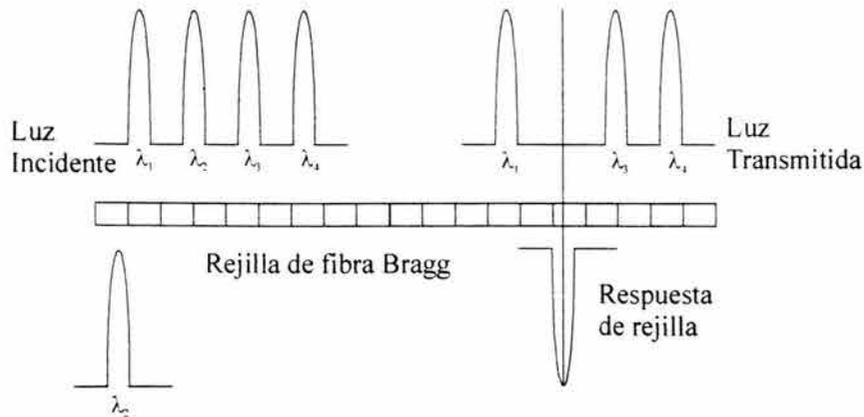


Figura 3.1.12

Figura 3.1.12 Rejilla de fibra Bragg extrae un canal específico de la señal transmitida

La rejilla Bragg puede utilizarse como un filtro en un MUX/DEMUX, también como compensador de dispersión cromática, o en combinación con circuladores ópticos para fabricar multiplexores de inserción extracción (OADM).

Utilizando uno o dos circuladores ópticos y una rejilla de Bragg como se muestra en la figura 3.1.13 se puede construir un OADM. En el lado de extracción, el circulador recobra la longitud de onda reflejada y la envía al puerto de extracción. En el lado de inserción, el circulador recombina una nueva señal a transmitir hacia la misma longitud de onda desde la que fue extraída. Por lo tanto un canal de longitud de onda específica es insertado o extraído desde la señal originalmente transmitida. Esta técnica es a menudo usada como la interfaz entre una red de larga distancia y una red metropolitana.

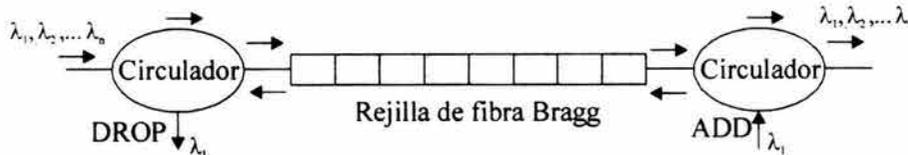


Figura 3.1.13

Figura 3.1.13 Rejilla de fibra Bragg utilizada en un OADM

Aplicación de la rejilla difracción

En el campo de las fibras ópticas, la rejilla de difracción sirve para tres propósitos:

1. Como un filtro selectivo de longitud de onda.
2. Como MUX y DEMUX en WDM.
3. Como reflector selectivo para la cavidad externa de un láser sintonizable.

Acopladores de fibra óptica

En su forma más simple los acopladores de fibra óptica consisten de un par de fibras ópticas monomodo que se han fusionado longitudinalmente. La luz que entra a la región fusionada desde una de las fibras de la izquierda es redistribuida en varios modos al cruzar la unión. Una vez separadas las fibras los modos son reconvertidos dentro del núcleo en cada una de las fibras de salida. El resultado es un acoplamiento o un empalme casi sin pérdidas, la redistribución de energía no necesita ser homogénea, la interferencia a lo largo de la región fusionada se fija durante la fabricación y determina la energía de entrada que puede ser redistribuida hacia la salida.

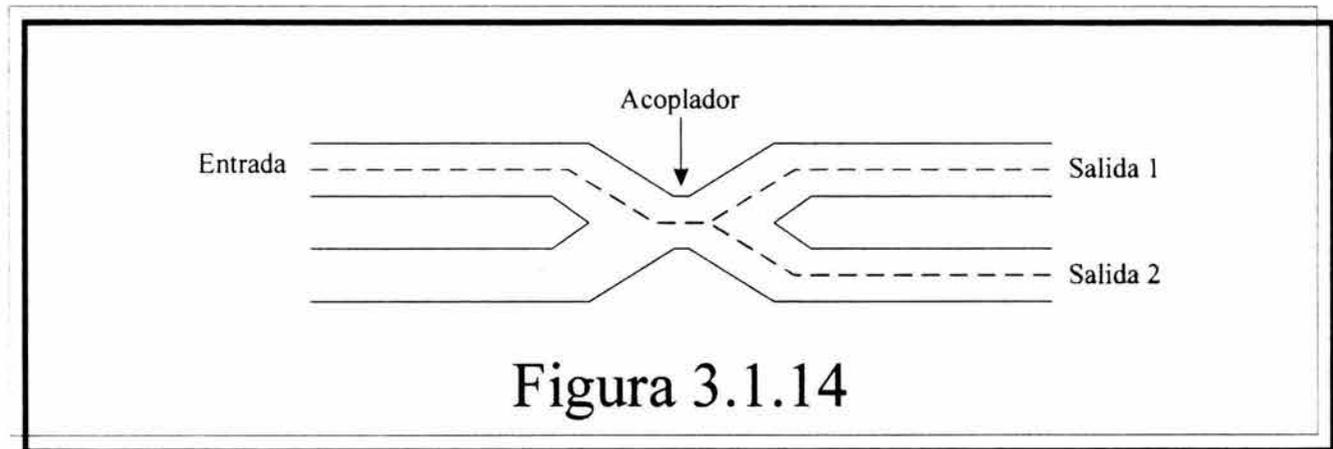


Figura 3.1.14

Figura 3.1.14 La fusión de las fibras redistribuye la señal de entrada hacia las salidas de la fibra

Arreglos como el del acoplador junto con rejillas de Bragg se pueden utilizar para extraer longitudes de onda individuales desde sistemas multicanales WDM o DWDM o agregar nuevos canales a lo largo de la red. Estos dispositivos son completamente pasivos y tienen bajas pérdidas, por lo que el uso de grandes arreglos es factible económicamente.

Dispositivos ópticos integrados

Los dispositivos ópticos integrados utilizados en MUX/DEMUX son el equivalente óptico a los circuitos electrónicos integrados. Generalmente consisten de guías de onda ópticas de núcleo rodeado de materiales con revestimientos de capas de silicio o litio, para integrarlos se utilizan muchas de las técnicas empleadas en los dispositivos electrónicos LSI (gran escala de integración). El resultado final es un pequeño paquete conteniendo muchos componentes ópticos que pueden ser fabricados en cantidades significativas utilizando técnicas totalmente automáticas.

Algunos de los dispositivos que comúnmente se producen incluyen:

- Acopladores
- Switches
- Moduladores
- Amplificadores de fibra óptica dopados con Erblio (EDFAs),
- Rejillas de fibra Bragg

El analizador de espectro óptico

Un ejemplo de la aplicación de la óptica es en los equipos analizadores de espectro óptico (OSA). En la figura 3.1.15 se muestra una solución del proveedor EXFO para extraer las longitudes de onda que son transportadas en la fibra óptica.

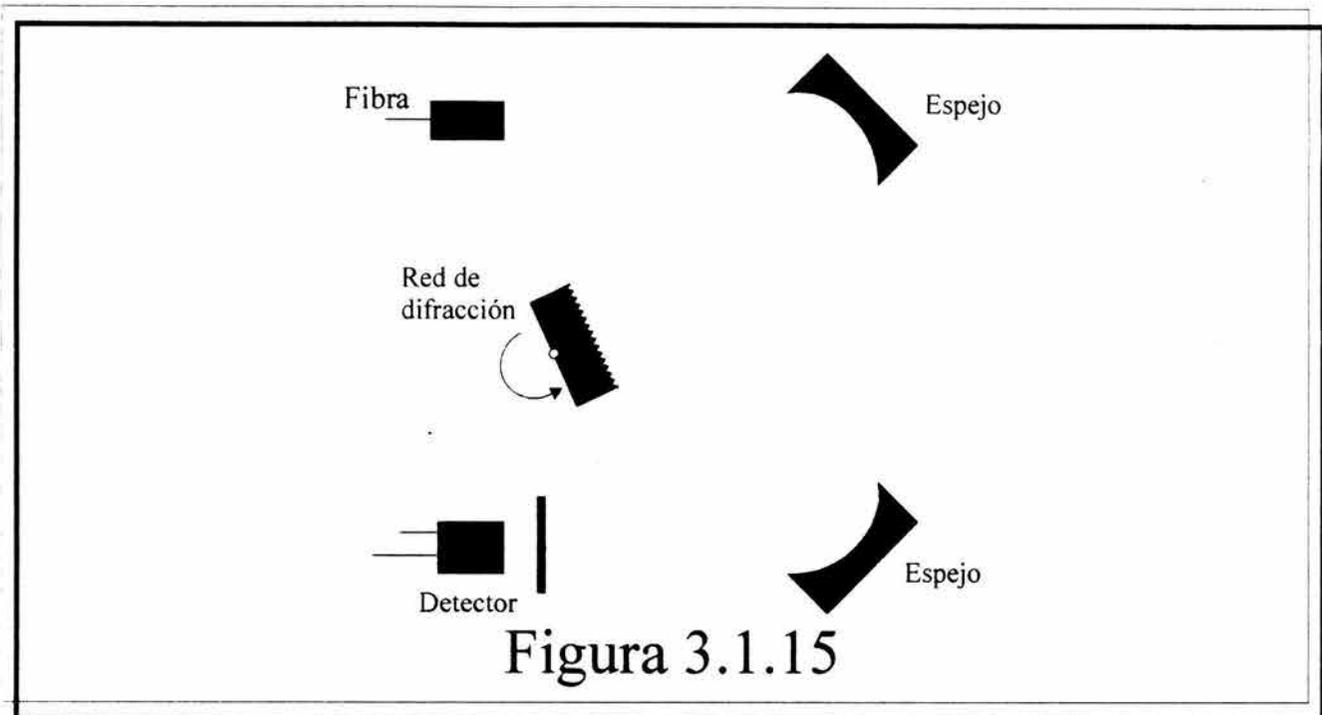


Figura3 .1.15 Principio de medición de un OSA

Por medio de una red de difracción se alinea una sola longitud de onda, que es enviada hacia el detector para ser medida; para realizar la medición de la siguiente longitud de onda se mueve la red de difracción para alinear con otra longitud de onda. Esta aplicación bien podría considerarse como un demultiplexor, ya que podemos separar de manera individual cada una de las longitudes de onda para medirlas individualmente.

3.1.3 Fibras ópticas para WDM

Introducción

El cable de fibra óptica es uno de los componentes más críticos de una red óptica. De ahí la importancia en la selección de la fibra a utilizar en las actuales redes de transporte de alta velocidad, a continuación

va a diferenciar entre los tipos de fibras utilizados para la transmisión de información a grandes distancias.

Una manera de diferenciar entre los diferentes tipos de fibra es por su dispersión cromática.

La dispersión cromática es un fenómeno lineal que causa que las diferentes longitudes de onda viajen a través de la fibra a velocidades ligeramente diferentes, ocasionando el ensanchamiento del pulso.

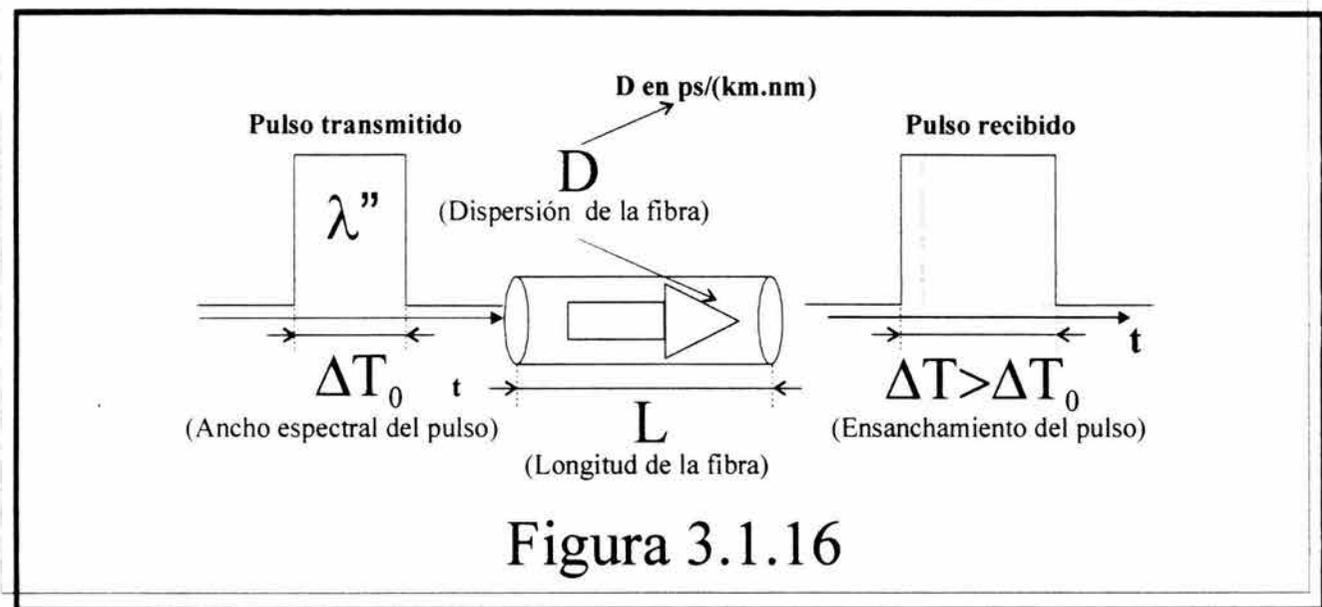


Figura 3.1.16 Dispersión cromática de la fibra

El ensanchamiento del pulso recibido (ΔT) depende de:

- El ancho espectral del pulso transmitido (ΔT_0)
- La longitud de la fibra (L)
- La característica de dispersión de la fibra (D)

Se pueden relacionar mediante la siguiente expresión:

$$\Delta T = \Delta T_0 * L * D$$

Dispersión cromática de fibras

La dispersión puede limitar las velocidades de transmisión y distancia, pero una pequeña cantidad de dispersión es necesaria para reducir algunos efectos no lineales perjudiciales tales como el efecto FWM y la modulación de fase cruzada. En la figura 3.1.17 se observa que:

- Las fibras MSF (Fibra monomodo dispersión normal) fueron diseñadas para operar con dispersión cero para la longitud de onda de 1310 nm.

- Las fibras con dispersión corrida (DSF) fueron diseñadas para operar con dispersión cero para la longitud de onda de 1550 nm.
- Las fibras de dispersión corrida no cero NZDSF fueron diseñadas para operar cerca de la ventana de 1550 nm con una pequeña cantidad de dispersión.

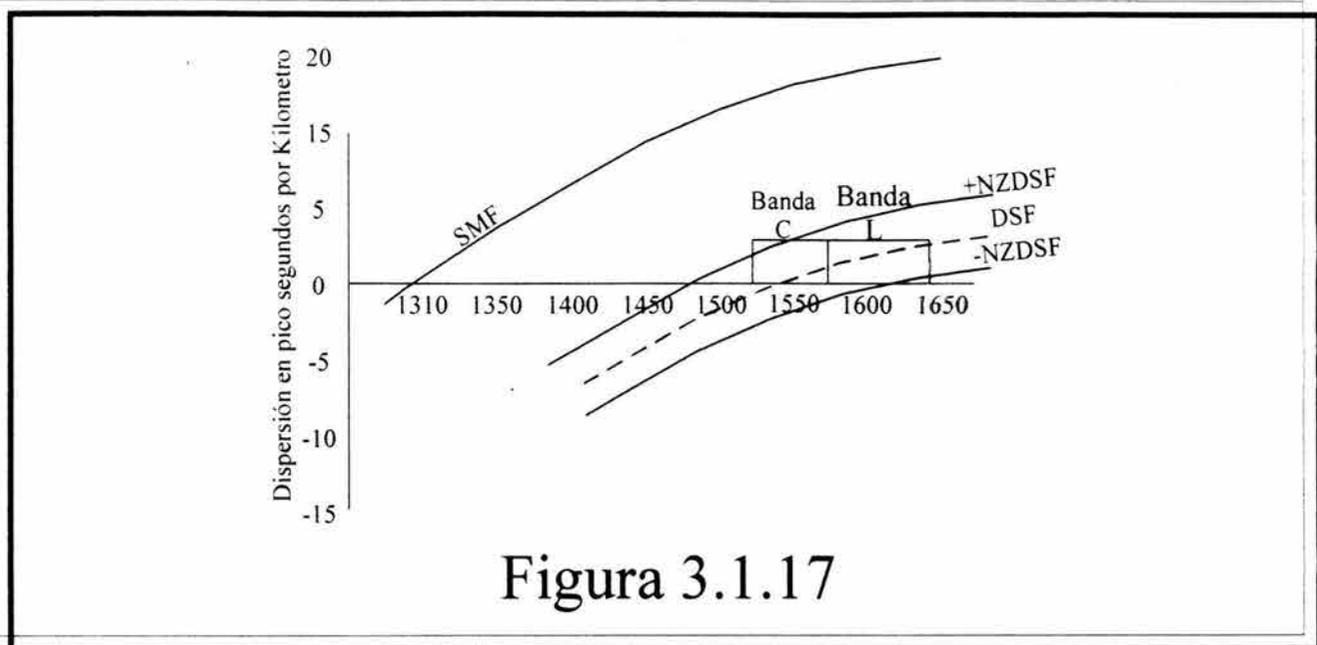


Figura 3.1.17

Figura 3.1.17 Dispersión cromática para fibras SMF, DSF y NZDSF

Otros parámetros de la fibra

En adición a la dispersión cromática existen otros parámetros de la fibra Óptica que impactan en el desempeño de la red:

- *Atenuación* es la disminución de la potencia óptica entre dos secciones transversales de una fibra óptica. Sus causas principales son el esparcimiento (dispersión) y la absorción, así como las pérdidas ópticas en conectores y empalmes.
- *Dispersión del modo de polarización (PMD)* ocurre cuando las dos polarizaciones ortogonales del pulso óptico viajan con diferentes velocidades, apareciendo un tiempo de retardo entre ellas conocido precisamente como PMD.
- *Área efectiva* de la fibra se puede definir brevemente como la región que transporta la luz en la fibra. Esta característica crítica determina la cantidad de potencia óptica que puede ser introducida en la fibra antes de que los efectos no lineales limiten la velocidad de transmisión y la distancia.

Fibras recomendadas por la UIT-T

La UIT-T recomienda el uso de las siguientes fibras:

- **Fibra G.652** describe una fibra monomodo cuya longitud de onda de dispersión nula está situada en torno a 1310 nm, optimizada para uso en la región de longitud de onda de 1310 nm.
- **Fibra G.653** describe una fibra monomodo con dispersión desplazada, con longitud de onda de dispersión nula nominal próxima a 1550 nm. Esta fibra está optimizada para uso a longitudes de onda en la región entre 1550 nm y 1600 nm.
- **Fibra G.655** describe una fibra monomodo cuya dispersión cromática (valor absoluto) tiene que ser mayor que algún valor diferente de cero en toda la gama de longitudes de onda de la utilización prevista. Esta dispersión suprime el efecto no lineal conocido por mezcla de cuatro ondas, que puede ser particularmente perjudicial en una multiplexación por división de longitud de onda (WDM, *wavelength - division multiplexing*) densa. La fibra está optimizada para uso en una región prescrita entre 1500 nm y 1600 nm.

Tipos de fibras comerciales

SMF-28 (Single Mode Fiber) Fibra de dispersión normal para uso regional y local de telefonía y redes de televisión por cable esta fibra es fabricada por Corning.

DSF (Dispersión Shifted Fiber) Fibra de dispersión corrida con longitud de onda de dispersión nula nominal próxima a 1550 nm.

NZDSF (Non Zero Dispersion -Shifted Fiber) Fibra de dispersión corrida no cero la dispersión cromática tiene que ser mayor que algún valor diferente de cero en toda la gama de longitudes de onda de la utilización prevista.

LS (Long Span) Fibra para tramos largos NZDSF para redes de larga distancia en aplicaciones de alta capacidad y alta velocidad optimizada para aplicaciones WDM.

LEAF (Large Effective Area Fiber) Es una fibra tipo NZDSF del fabricante Corning para redes de larga distancia en aplicaciones de alta capacidad y alta velocidad optimizada para aplicaciones DWDM y tecnologías de redes ópticas. **Combina la baja atenuación y baja dispersión con una área efectiva de 32% más grande que las fibras convencionales NZDSF.**

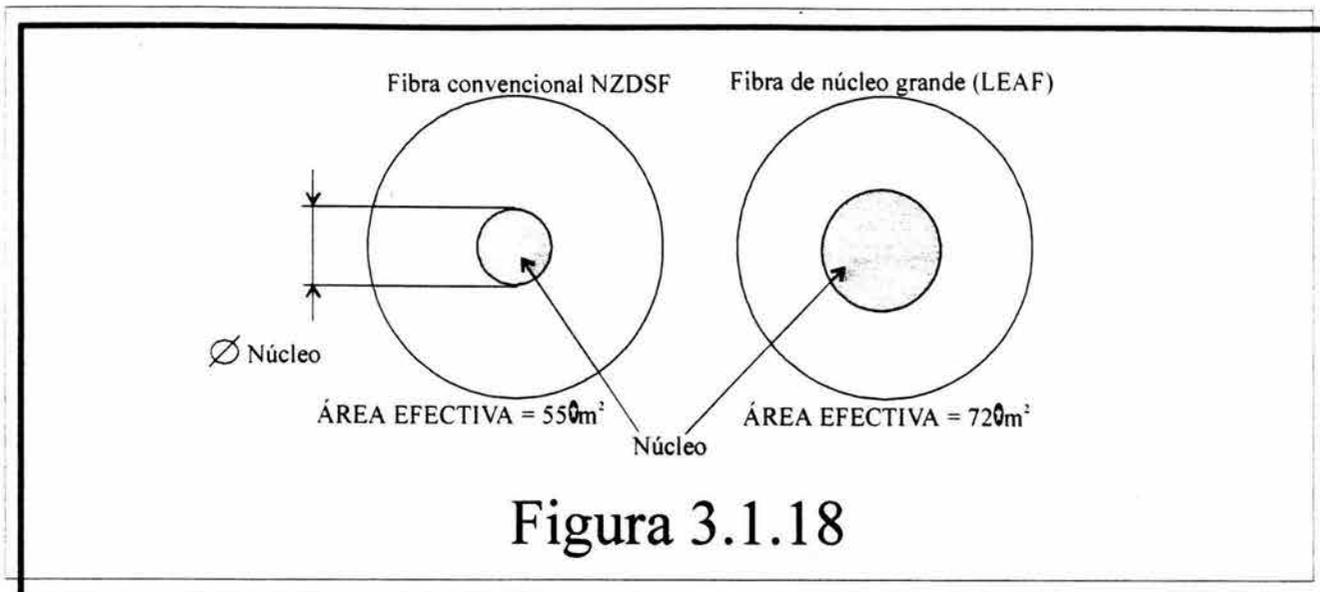


Figura 3.1.18

Figura 3.1.18 Diferencia de área entre la fibra LEAF y fibra normal

Fibras instaladas en Telmex

En las siguientes páginas se muestra tablas comparativas de fibras ópticas utilizadas en TELMEX y las recomendadas para WDM.

A continuación se listan los tipos y usos de las fibras instaladas actualmente en la planta telefónica de Telmex y su equivalente con la UIT- T.

La clasificación Telmex es por el uso, pero se tienen solo tres tipos de fibras de acuerdo a las recomendaciones de la UIT-T. Tabla 3.1.2

CABLES UTILIZADOS EN TELMEX			
TIPO	Tipo UIT-T	USO	DISPERSIÓN
TM-1	G.652	Subterráneo	NORMAL (SMF-28)
TM-3	G.652	Interior	NORMAL (SMF-28)
TM-4	G.652	Directamente Enterrado	NORMAL (SMF-28)
TM-5	G.653	Aéreo	CORRIDA (DSF)
TM-6	G.652	Aéreo	NORMAL (SMF-28)
TM-7	G.653	Subterráneo	CORRIDA (DSF)
TM-8	G.653	Directamente Enterrado	CORRIDA (DSF)
TM-10	G.653	Interior	CORRIDA (DSF)
TM-11	G.655	Subterráneo	NO CERO (NZDSF) LS
TM-12	G.655	Interior	NO CERO (NZDSF) LS
TM-13	G.655	Subterráneo	NO CERO (NZDSF) LEAF
TM-14	G.655	Interior	NO CERO (NZDSF) LEAF
TM-15	G.655	Aéreo	NO CERO (NZDSF) LEAF
TM-16	G.655	Directamente Enterrado	NO CERO (NZDSF) LEAF

Tabla 3.1.2

Fibras de dispersión normal y corrida

En la tabla 3.1.3 se muestran las características de fibras instaladas en Telmex, las fibras SMF-28 se utilizan en sistemas TDM de transmisión local y las SMF / DS se utilizan en sistemas TDM para Larga distancia.

Es importante aclarar que aunque estas fibras están optimizadas para su uso en las longitudes de onda de 1310 Y 1550 nm. Se pueden utilizar en sistemas WDM, el fabricante del equipo debe especificar las frecuencias centrales de canal que va a utilizar de acuerdo al tipo de fibra y las consideraciones sobre las limitaciones en cantidad de longitudes de onda y la velocidad que cada longitud de onda debe transportar. La UIT- T en la recomendación G.692 establece separación de canales dependiendo el tipo de fibra a utilizar.

Recuerda que uno de los objetivos en el desarrollo de la tecnología WDM es el uso de la red de fibra existente, el fabricante provee en sus equipos un módulo de compensación de dispersión lo cual asegura que se pueda utilizar en cualquier tipo de fibra, sólo es necesario asegurar que la fibra se encuentre en buenas condiciones y cumpla con las características que se listan en la tabla 3.1.3

Cuadro comparativo de las características de las fibras ópticas		
Característica	Tipo de fibra monomodo	
	SMF-28 (TM-1, TM-3, TM-4, TM-6)	SMF/DS (TM-5, TM-7, TM-8, TM-10)
Dispersión	18 ps / nm-Km	5 ps/nm-Km
Área efectiva	80 μm^2	55 μm^2
Atenuación a 1310 nm	< 0.40 dB/Km	< 0.35 dB/Km
Atenuación a 1550 nm	< 0.30 dB/Km	< 0.25 dB/Km
Diámetro de modo de propagación a 1310 nm	9.3 μm	
Diámetro de modo de propagación a 1550 nm	10.5 μm	8.1 μm
Longitud de onda de dispersión cero	1310	1550
PMD en fibra	0.2 ps/ $\sqrt{\text{Km}}$ Max. 0.1 ps/ $\sqrt{\text{Km}}$ Enlace	0.5 ps/ $\sqrt{\text{Km}}$ Max.

Tabla 3.1.3

Fibras de dispersión no cero

En Telmex se tienen instaladas fibras NZDSF-LS para aplicaciones WDM, y la actualización de las redes y las nuevas redes de fibra óptica se construyen utilizando fibras NZDSF-LEAF, las cuales son ampliamente recomendadas para sistemas WDM ya que evitan la mayoría de los fenómenos no lineales que se presentan en las fibras convencionales (Dispersión normal y corrida).

TELMEX actualmente instala los nuevos tipos de cables de fibra TM-13 al TM-16 para aplicaciones WDM con las características indicadas en la tabla 3.1.4

Cuadro comparativo de las características de las fibras ópticas		
Característica	Tipo de fibra monomodo	
	NZDSF-LS (TM-11, TM-12)	NZDSF-LEAF (TM-13, TM-14, TM-15, TM-16)
Dispersión	-01 a -3.5 ps/nm-Km sobre un rango de 1530 a 1560 nm.	2 a 6 ps/nm-Km para el rango de 1530 a 1565 nm 4.5 a 11.2 ps/nm-Km para el rango de 15655 a 1625 nm -17.4 ps/nm-Km a 1310 nm
Área efectiva	55 μm^2	72 μm^2
Atenuación a 1310 nm	0.38 dB/Km	≤ 0.34 dB/Km
Atenuación a 1550 nm	< 0.25 dB/Km	≤ 0.25 dB/Km ≤ 0.25 dB/Km a 1625 nm
Diámetro de modo de propagación a 1310 nm		6.67 μm
Diámetro de modo de propagación a 1550 nm	8.4 μm	9.2 a 10 μm
Longitud de onda de dispersión cero	diferente de 1550	diferente de 1550
PMD en fibra	0.2 ps/ $\sqrt{\text{Km}}$ Max. 0.08 ps/ $\sqrt{\text{Km}}$ Enlace	0.5 ps/ $\sqrt{\text{Km}}$ Max.

Tabla 3.1.4

3.1.4 Multiplexaje por división de longitud de onda de gran densidad (DWDM)

Introducción

Cuando el número de longitudes de onda que se multiplexan son ocho o más, algunos fabricantes denominan a la multiplexación de longitudes de onda como "Dense Wavelength Division Multiplexing" ó DWDM (Multiplexación por división de longitud de onda de gran densidad), sin embargo existen otros fabricantes que aun a sistemas de 32 longitudes de onda siguen denominándolos WDM.

A finales de los 90, los sistemas densos WDM (DWDM) llegaron a ser una realidad cuando gran número de servicios y multitud de longitudes de onda comenzaron a coexistir en la misma fibra, llegando a enviar 32 / 40 / 64 / 80 / 96 longitudes de onda cada una con la capacidad de transportar velocidades de 2.5 Gb/s ó 10 Gb/s.

Aun así pronto veremos los sistemas ultra-densos (UDWDM) con una capacidad de 128 y 256 longitudes de onda a 10 Gb/s ó 40 Gb/s por canal, para lo cual será necesario utilizar completamente las bandas e y L con espaciamentos de 25 GHz (0.19 nm).

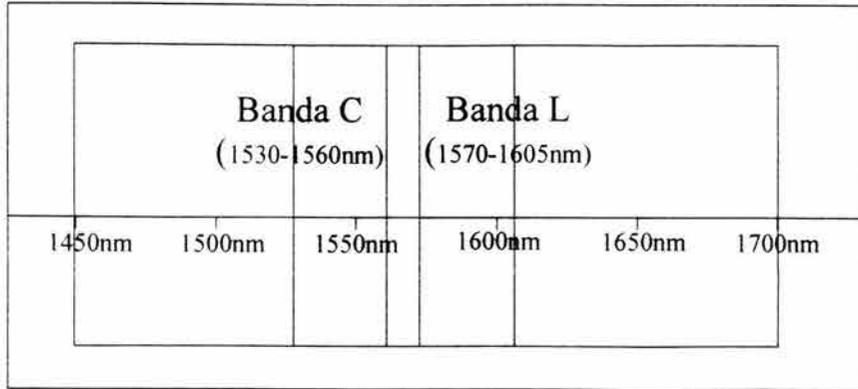


Figura 3.1.19

Figura 3.1.19 Rango de longitudes de onda para DWDM

Ubicación de DWDM en el modelo OSI

El modelo OSI es un modelo de 7 capas para redes de datos, como DWDM se utiliza como transporte físico de los datos *por convención algunos fabricantes* lo ubican en la capa que han denominado capa óptica o capa 0, según se indica en la figura 3.1.20. *sin embargo sigue perteneciendo a la capa física o capa 1 ya que corresponde al medio físico de transporte:*

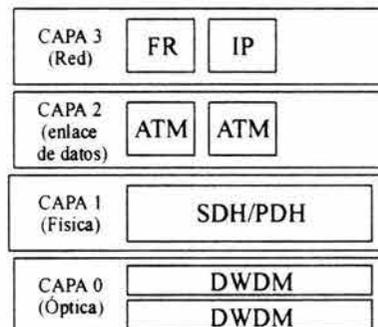


Figura 3.1.20

Figura 3.1.20 Ubicación de DWDM en el modelo OSI

Sistema DWDM bidireccionales

Anteriormente habíamos comentado que existen soluciones DWDM que se pueden configurar como unidireccionales o bidireccionales como es el caso de las soluciones de Nortel. A continuación mostramos en forma genérica la implementación de un sistema bidireccional DWDM punto a punto de

Nortel:

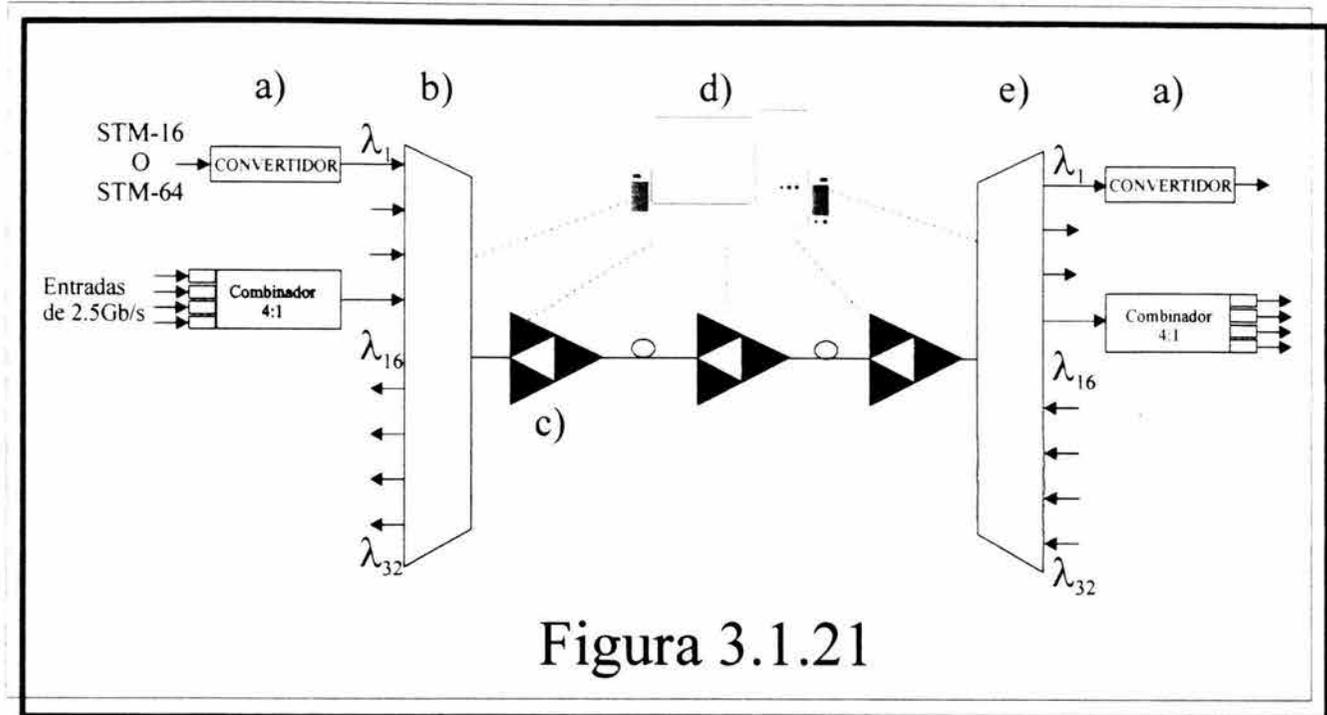


Figura 3.1.21

Figura 3.1.21 Solución OPTERA LH de Nortel

El OPTETRA LH de Nortel mostrado en la figura 3.1.21 es un sistema configurado bidireccionalmente, obsérvese que se transmiten 16 longitudes de onda y se recibe otro tanto, dando un total de 32 longitudes dentro de una sola fibra óptica, y fundamentalmente se constituye por:

- a) Transponder
- b) , e) MUX/DEMUX DWDM
- c) Repetidor óptico bidireccional de múltiples longitudes de onda (MOR)
- d) Sistema de supervisión

Implementación del DWDM

En la tabla 3.1.5 se resume la función de cada elemento del DWDM bidireccional.

Tabla 3.1.5

Elemento	Función
a) Convertidores de longitud de onda (Transponder Multi-rate)	Ya habíamos comentado que los transponder son módulos adaptadores de longitud de onda que se utilizan para cambiar la longitud de onda de los equipos transmisores (SDH), es decir en este bloque se "colorean las señales de entrada", las técnicas pueden ser por conversión de longitud de onda o por combinación de longitud de onda. Los convertidores de longitud de onda (transponder) son dispositivos <i>óptico/eléctrico/óptico</i> es decir la longitud de onda de entrada se convierte a eléctrica y la señal se modula nuevamente con la longitud de onda de salida. El único requisito es que la longitud de onda de entrada al transponder se encuentre dentro del rango especificado por el fabricante que puede ser incluso en el rango de 1270 a 1570 nm. En cuanto a la

a)
Convertidores de longitud de onda
(Transponder Multi-rate)

longitud de onda de salida de cada transponder debe ser de un valor especificado en el plan de distribución de longitudes de onda de acuerdo a la UIT.

La máxima velocidad que puede soportar el transponder también es especificada por el fabricante. Los convertidores de longitud de onda son Multi-rate, es decir permiten diferentes velocidades a la entrada/salida de los sistemas DWDM, por ejemplo la familia ERION de Ericsson permite velocidades de 100 Mb/s a 10 Gb/s, y puede transportar señales ATM, SONET/SDH, IP, Giga Ethernet, async/PDH, etc.

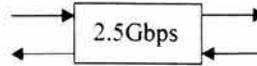


Figura 3.1.22 Conversión de longitud de onda 1:1

En la técnica de combinación de longitud de onda varias señales de entrada son empaquetadas en una señal de una sola longitud de onda y a una velocidad de 10 Gb/s. Internamente existe una conversión óptica a eléctrica y una multiplexación, para posteriormente modular la señal compuesta con la longitud de onda correspondiente. En la figura 3.1.23 se muestra un ejemplo de un combinador 4:1, existen también otro tipo de versiones como 8:1.

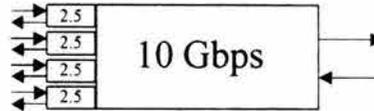


Figura 3.1.23 Ejemplo combinador de longitud de onda 4:1

Recuerda que el transponder de lado receptor es necesario solo si el receptor del extremo remoto (SDH) no es compatible con la longitud de onda que se genere en el transponder de transmisión o si los transponder de transmisión y recepción requieren el envío y recepción de señales de supervisión entre ellos, también deben usarse en el lado recepción si se utilizan los del tipo de combinador de longitud de onda.

Elemento	Función
----------	---------

b), e) MUX/DEMUX	La etapa de MUX es un dispositivo óptico pasivo el cual combina las señales "coloreadas" y transmite una señal compuesta hacia la dirección oeste.
----------------------------	--

b), e)
MUX/DEMUX

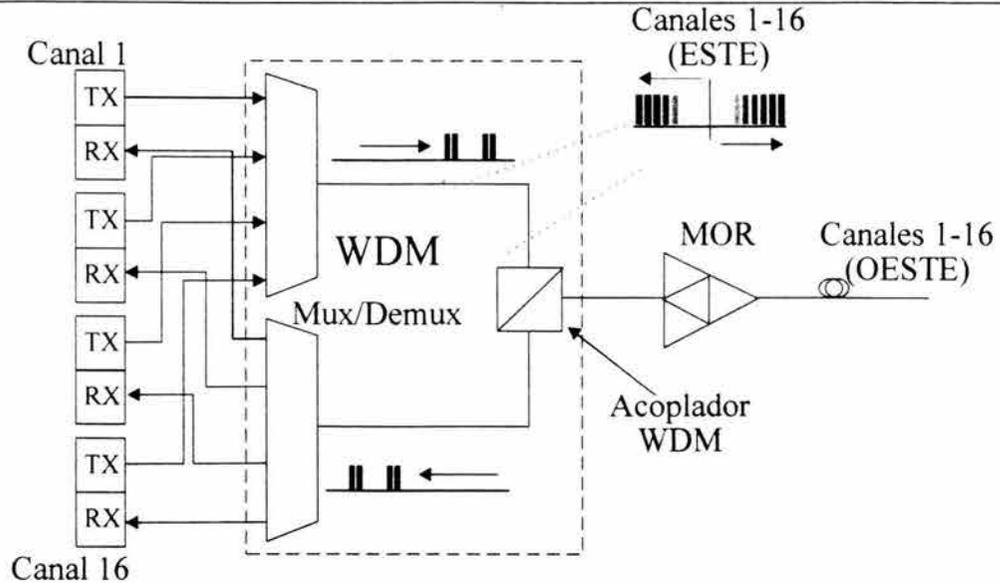


Figura 3.1.24 Detalle MUX/DEMUX del sistema OPTERA LH

En la etapa de DEMUX se extraen las señales originales de la señal compuesta de entrada (ESTE) hacia la dirección de recepción.

c) Repetidor
óptico
bidireccional de
múltiples
longitudes de
onda (MOR)

Por tratarse de un sistema bidireccional se requiere de un repetidor óptico bidireccional de múltiples longitudes de onda (MOR Multiwavelength Optical Repeater). Este equipo reduce significativamente la cantidad de equipo necesario en los sitios de repetición.

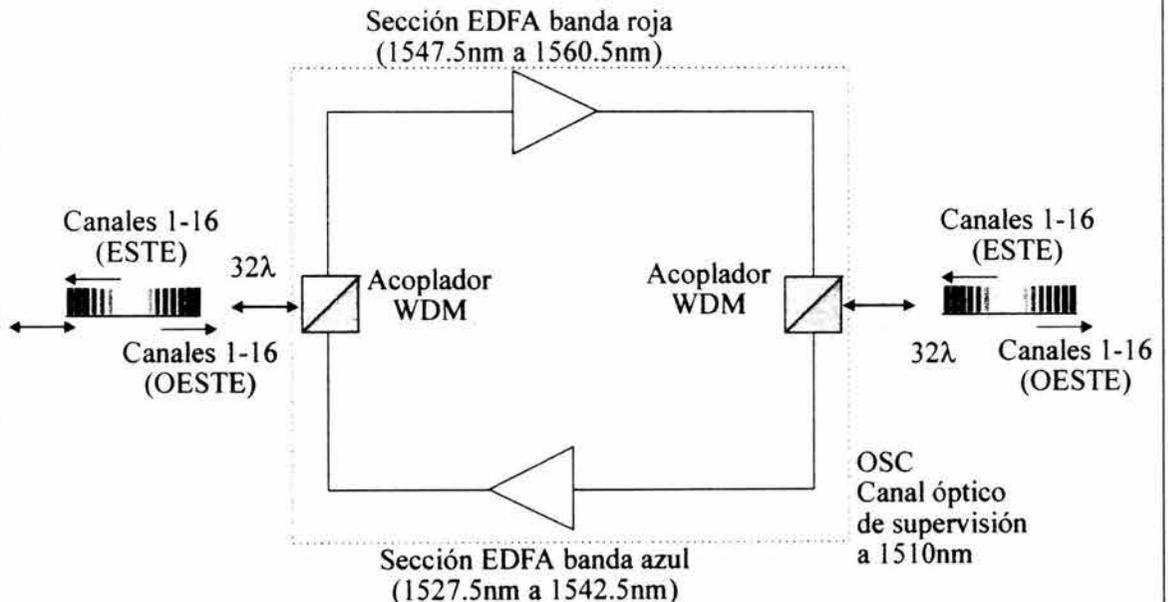


Figura 3.1.25 Detalle del MOR del sistema OPTERA LH

Se observa que el MOR básicamente se compone de dos EDFA's donde uno trabaja en la banda roja y el otro en la azul, enviándose en las direcciones ESTE y OESTE a la fibra óptica a través de acopladores WDM.

d) Sistema de

La supervisión del sistema se realiza utilizando el canal de supervisión óptica (OSC) a

Supervisión	través del intercambio de mensajes entre los terminales WDM los repetidores y el sistema de gestión, se monitorean principalmente los parámetros internos de los repetidores como son la regulación de potencia, el encendido de las bombas láser, etc.
-------------	---

Separación de canales en DWDM

La separación de los canales WDM es la separación mínima que debe de existir entre las longitudes de onda central de canales adyacentes en un sistema WDM, en la figura 3.1.26 se muestra el espectro óptico de 8 longitudes de onda y con los cursores 1 y 2 se indican la separación o espaciamiento entre canales WDM, los portadores ópticos se grafican como se indica en la figura, cada pico representa un canal donde la potencia se indica en el eje vertical y la longitud de onda en el eje horizontal.

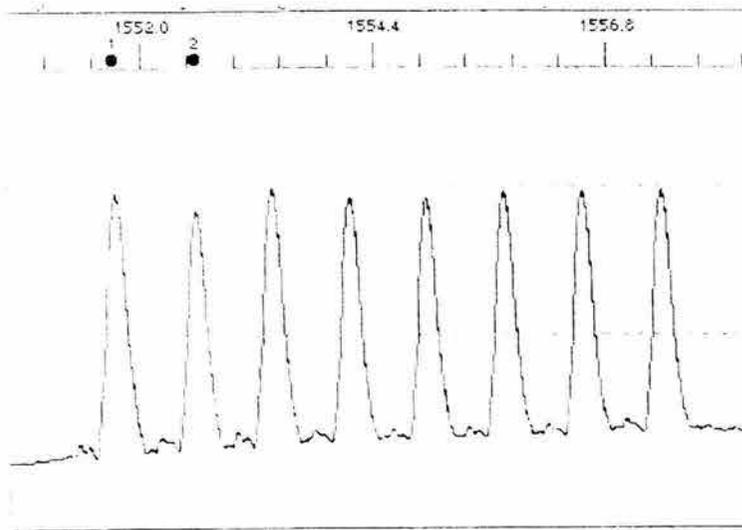


Figura 3.1.26

Figura 3.1.26 Espectro óptico de 8 longitudes de onda donde se indica la separación entre longitudes de onda centrales.

La separación de los canales depende de la calidad de láser utilizado por los fabricantes en el diseño del transmisor lo que permitirá el uso de separaciones de 100 GHz, 50 GHz e inclusive de 25 GHz para los sistemas de alta densidad según la recomendación G.692 de la UIT-T, en la tabla 3.1.6 continuación se listan las separaciones recomendadas:

Tabla 3.1.6

Separación en frecuencia	Equivalente en longitud de onda
100 G Hz	0.78nm
50 GHz	0.39nm
25 GHz	0.19nm

Es importante notar que el avance de la tecnología en el desarrollo de láseres permite separaciones de canales menores a 1 nm, es una gran ventaja comparada con las separaciones de canales de los primeros sistemas WDM que eran de 70 nm.

Frecuencias centrales para canales DWDM

La recomendación G.692 de la UIT-T propone el plan de frecuencias centrales para los canales DWDM a utilizar en fibras ópticas monomodo dispersión normal y dispersión corrida (G.652 y G.653) así como dispersión no nula (G.655).

La frecuencia que se toma como referencia es el valor de 193.1 THz (1552.52 nm) asignándose separaciones de longitud de onda central de 100 GHz (0.78 nm), en el rango de 1528.77 nm (196.1 THz) y 1560.61 nm (192.1 THz).

Se presenta el cuadro III.1/G.692 donde se listan las frecuencias centrales de canal para aplicaciones basadas en fibras G.652/G.655 (Fibras de dispersión normal "SMF" y fibras de dispersión no cero "NZDSF" equivalentes en Telmex).

En el cuadro IV.1/G.692 se listan las frecuencias centrales de canal para aplicaciones de 4 u 8 canales en fibras G.653 (Fibras de dispersión corrida "DSF" equivalente en Telmex).

Hay que hacer notar que los cuadros III y IV /G.692 listan espaciamientos de canal en la banda C y que no cubre el plan de distribución de canales para la banda L donde se tendrán que distribuir los sistemas DWDM de más de 128 longitudes de onda.

Frecuencia central de canales DWDM para fibras SMF y NZDSF

Cuadro III.1/G.692 - Frecuencias centrales de canal para aplicaciones basadas en fibras G.652/G.655

El valor de "c" (velocidad de la luz) que se utilizo para la conversión entre Frecuencia y longitud de onda es de $2,99792458 \times 10^8$ m/s.

Frecuencia en THz.	Separación 100 GHz (8 canales o más)	Separación 200 GHz (4 canales o más)	Separación 400 GHz (sólo 4 canales)	Separación 500/400 GHz (sólo 8 canales)	Separación 600 GHz (sólo 4 canales)	Separación 1000 GHz (sólo 4 canales)	Longitud de onda en el vacío en nm
196.1		*					1528,77
196.0	*						1529,55
195.9	*	*					1530,33
195.8	*						1531,12
195.7	*	*					1531,90
195.6	*						1532,68
195.5	*	*			*	*	1533,47
195.4	*						1534,25
195.3	*	*		*			1535,04
195.2	*						1535,82
195.1	*	*					1536,61
195.0	*						1537,40
194.9	*	*			*		1538,19
194.8	*			*			1538,98
194.7	*	*					1539,77
194.6	*						1540,56
194.5	*	*				*	1541,35
194.4	*						1542,14
194.3	*	*		*	*		1542,94
194.2	*						1543,73
194.1	*	*					1544,53
194.0	*						1545,32
193.9	*	*	*	*			1546,12
193.8	*						1546,92
193.7	*	*	*				1547,72
193.6	*						1548,51
193.5	*	*	*			*	1549,32
193.4	*			*			1550,12
193.3	*	*	*	*			1550,92
193.2	*						1551,72
193.1	*	*	*		*		1552,52
193.0	*			*			1553,33
192.9	*	*	*				1554,13
192.8	*						1554,94
192.7	*	*	*				1555,75
192.6	*						1556,55
192.5	*	*	*	*	*	*	1557,36
192.4	*						1558,17
192.3	*	*	*				1558,98

192.2	*						1559,79
192.1	*	*			*		1560,61

Frecuencia central de canales DWDM para fibras DSF

El cuadro IV.I/G.692 muestra algunas posibles frecuencias centrales de canal para aplicaciones con fibra G.653. Algunas aplicaciones pueden imitarse por la mezcla de cuatro ondas si se utiliza la misma separación entre todos los canales. Una forma de mitigar esta situación consiste en utilizar una separación irregular entre canales.

Frecuencia en THz	Separación de 100 GHz (8 canales o más)	Separación de 200 GHz (4 canales o más)	Separación alterna de 200 GHz (4 o 8 canales) desplazamiento de 25 GHz	Separación alterna de 200 GHz (4 o 8 canales) desplazamiento de 50 GHz	Longitud de onda en el vacío en nm
	Separación irregular en la rejilla de frecuencia nominal		Separación irregular por desplazamiento de la rejilla de frecuencia nominal		
196.1	*				1528,77
196.0	*				1529,55
195.9	*	*			1530,33
195.8	*				1531,12
195.7	*	*			1531,90
195.6	*				1532,68
195.5	*	*			1533,47
195.4	*				1534,25
195.3	*	*			1535,04
195.2	*				1535,82
195.1	*	*			1536,61
195.0	*				1537,40
194.9	*	*			1538,19
194.8	*				1538,98
194.7	*	*			1539,77
194.6	*				1540,56
194.5	*	*		(194,45)	1541,35
194.4	*				1542,14
194.3	*	*		(194,2)	1542,94
194.2	*				1543,73
194.1	*	*			1544,53
194.0	*				1545,32
193.9	*	*	*		1546,12
193.8	*				1546,92
193.7	*	*	(193,675)	*	1547,72
193.6	*				1548,51
193.5	*	*	(193,525)		1549,32
193.4	*				1550,12
193.3	*	*	(193,35)	*	1550,92
193.2	*				1551,72
193.1	*	*	*	*	1552,52
193.0	*				1553,33
192.9	*	*	*		1554,13
192.8	*				1554,94
192.7	*	*	(192,625)	(192,75)	1555,75
192.6	*				1556,55
192.5	*	*	*	(192,45)	1557,36
192.4	*				1558,17

192.3	*	*		*	1558,98
192.2	*				1559,79
192.1	*	*			1560,61

Ejemplo 1 de distribución de frecuencias de canal WDM

En el cuadro de la figura 3.1.27 se muestra el plan de asignación de frecuencias centrales de canal que se van a utilizar en los sistemas WDM en Telmex, del proveedor Nortel y que utilizan el repetidor óptico bidireccional de múltiples longitudes de onda (MOR).

Observemos que:

- La distribución de las frecuencias centrales es diferente dependiendo del tipo de fibra que se va a utilizar.
- Las frecuencias se distribuyen en la Banda e agrupando los canales que van en un sentido (ESTE) de la fibra en la banda azul (Banda short) y los del otro sentido (OESTE) en la banda roja (Banda Long).
- Que se van a cargar con más longitudes de onda las fibras de dispersión normal (SMF) y de dispersión no cero (NZDSF).
- Que la separación de canales no es necesariamente uniforme, pero si se respetan las frecuencias centrales propuestas por la UIT -T.

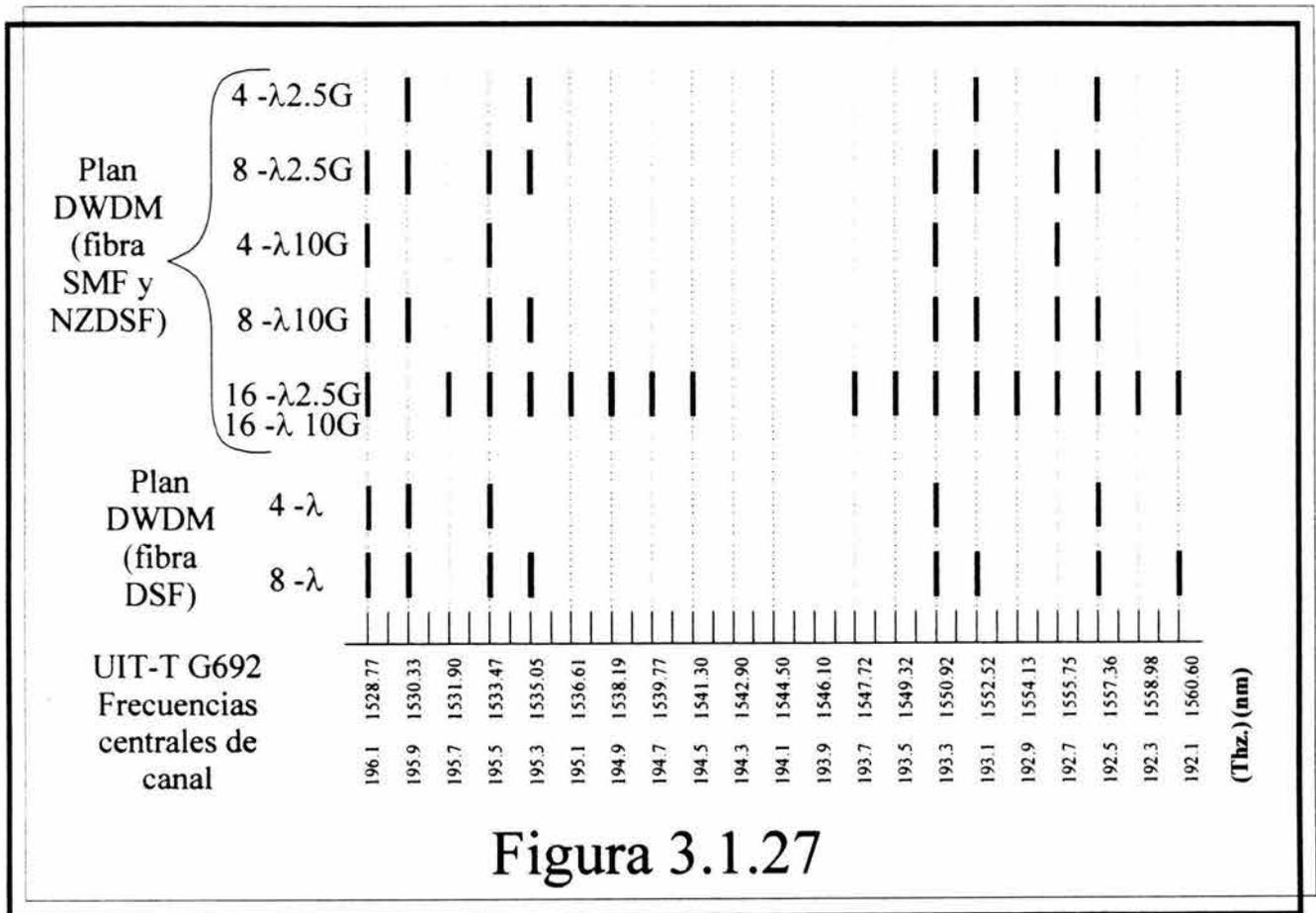


Figura 3.1.27 Asignación de frecuencias centrales para uso con el MOR

Ejemplo 2 de distribución de frecuencias de canal WDM

Otra de las soluciones WDM que se están implementando en Telmex es el sistema de multiplexación por división de longitud de onda 1686 WM de Alcatel del cual mostramos a continuación el plan de asignación de frecuencias centrales basados en un espaciamiento mínimo de canal de 200 GHz y de acuerdo a las frecuencias centrales propuestas por UIT-T.

Observa que:

- Es un sistema unidireccional y se pueden emplear de 1 a 16 canales.
- Los números de canal se asignan de acuerdo al valor de la frecuencia central. Ejemplo para la frecuencia central 192.300 se le asigna el número de canal 23 y así sucesivamente.
- La tolerancia de desviación de longitud de onda para este equipo es de $\pm 0.25\text{nm}$.

Plan de asignación nominal de frecuencias centrales			
Banda	Número de canal	Frecuencia central (THz)	Longitud de onda (nm), desviación de longitud de onda $\pm 0.25\text{nm}$
Long	23	192.300	1558.98
	25	192.500	1557.36
	27	192.700	1555.75
	29	192.900	1554.13
	31	193.100	1552.52
	33	193.300	1550.92
	35	193.500	1549.32
	37	193.700	1547.72
Short	43	194.300	1542.94
	45	194.500	1541.35
	47	194.700	1539.77
	49	194.900	1538.19
	51	195.100	1536.61
	53	195.300	1535.04
	55	195.500	1533.47
	57	195.700	1531.90

3.1.5 Transmisores

Introducción

En DWDM los transmisores láser se utilizan en los transponder para generar una longitud de onda salida de compatible con un canal óptico de acuerdo al plan de distribución de longitudes de onda según la UIT-T.

Los transmisores son transductores electro-ópticos es decir fuentes de señales de luz cuya intensidad puede ser modulada por la señal eléctrica de entrada. Los desarrollos más recientes integran el chip Láser, el modulador y el amplificador óptico de estado sólido en un paquete "caja negra". Los láser incorporan moduladores externos al chip, modulación de alta velocidad de bit, bajo Chirp (*El Chirp es un cambio en la característica de Frecuencia óptica de un dispositivo en función del tiempo*), etc.

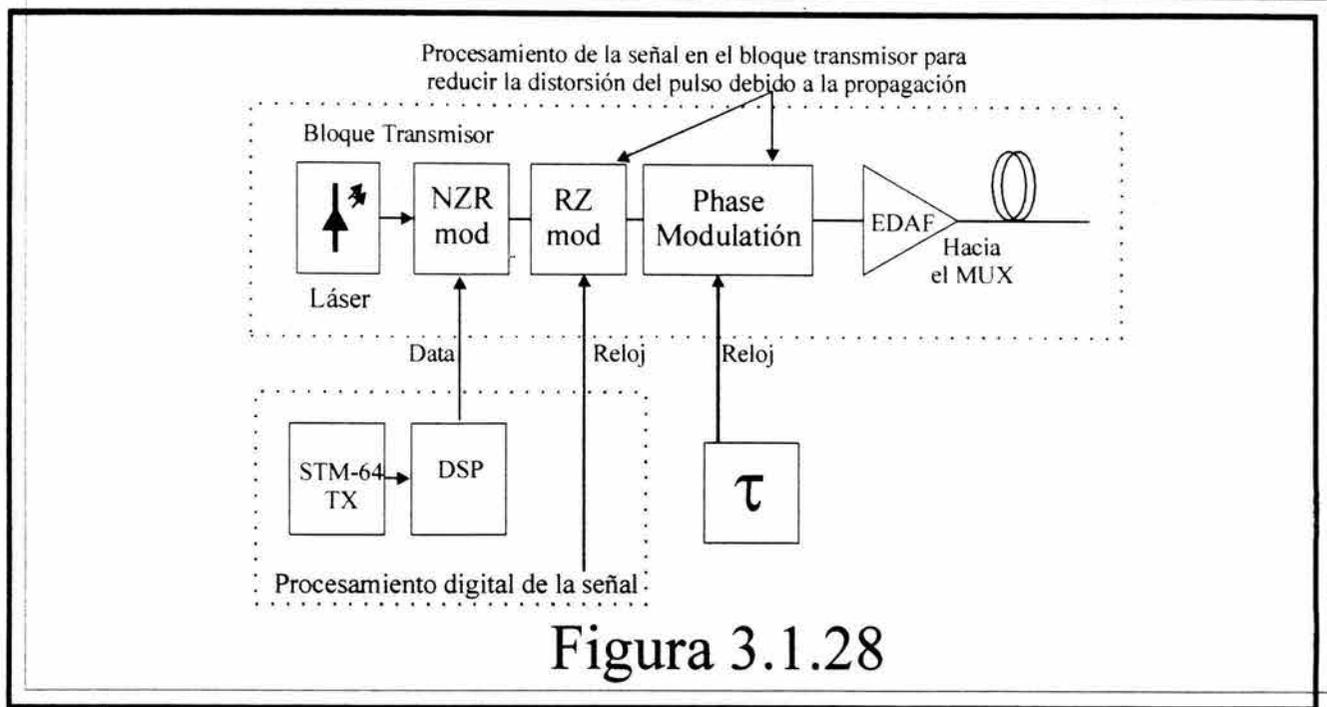


Figura 3.1.28 Procesamiento de la señal en el transmisor.

En la figura 3.1.28 se muestran las etapas de modulación en el transmisor que emplea ALCATEL en sus equipos terminales WDM para enlaces submarinos. En el módulo DSP (Procesamiento digital de la señal) se procesa la señal óptica procedente del transmisor STM-64 y se recupera el reloj.

La modulación hasta de 10 GB/s es la velocidad más alta hasta la fecha disponible a nivel comercial, se espera que pronto se alcancen las velocidades para 40, 80 Y 100 GB/s, para lo cual los nuevos láseres deberán satisfacer esas también esas necesidades de conmutación.

Láser DFB

El láser DFB se utiliza como fuente de luz en la salida de los transponder (adaptadores de longitud de onda) DWDM. En este dispositivo la cavidad láser de dos espejos Fabry-Perot es reducida y controlada y se genera el valor exacto de longitud de onda a través de retroalimentación óptica realizada por una rejilla longitudinal construida dentro del chip Láser. El efecto de la rejilla es forzar la emisión de un único rayo longitudinal en una línea muy estrecha. Un atenuador variable que cubre la banda del modulador algunas veces se monta a la salida del láser para poder ajustar a un valor específico de potencia.

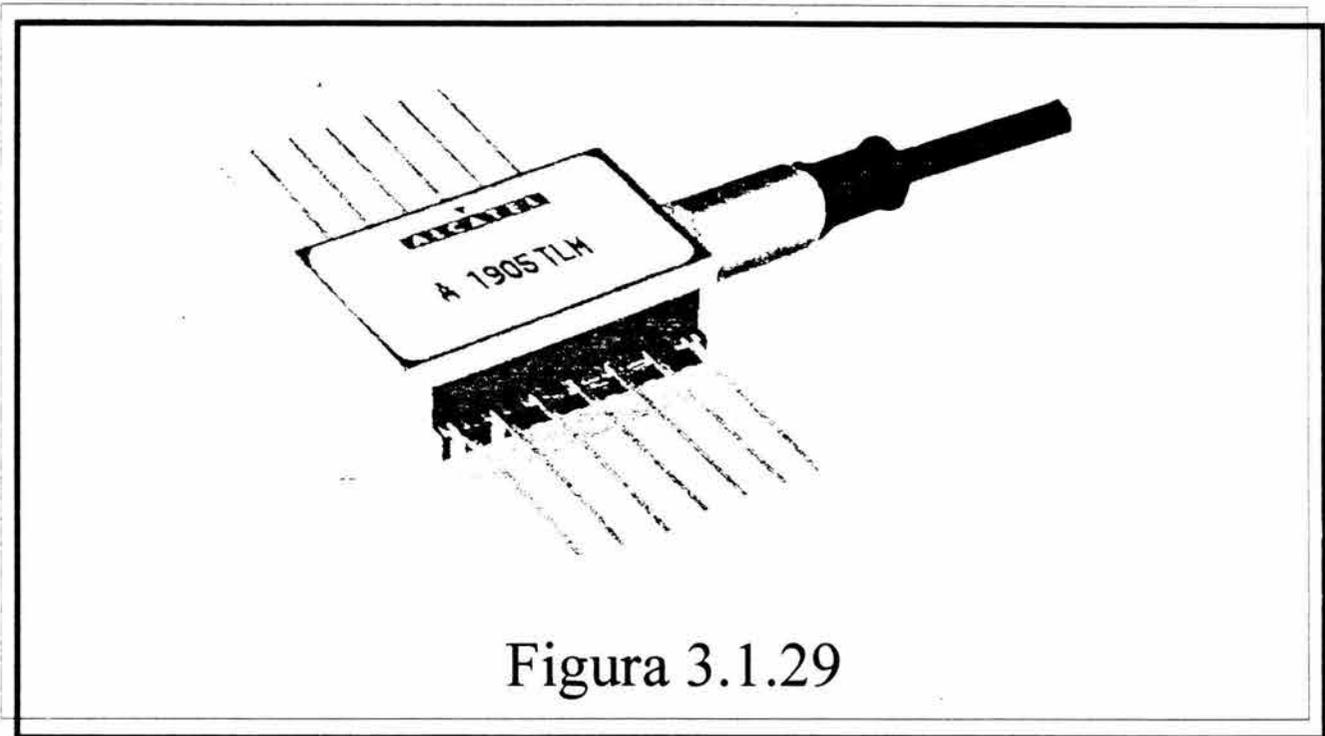


Figura 3.1.29

Figura 3.1.29 Módulo láser 1905 TLM de Alcatel.

Construcción del transmisor DFB

del transmisor El transmisor típico para un solo canal (longitud de onda) se construye DFB utilizando un láser de distribución de retroalimentación DFB (Distributed feedback) de 0 dBm (1mW) y conectado a un modulador. Consta de una conexión de alta velocidad eléctrica, puede incluir un enfriador termoeléctrico, sensor de temperatura, aislador óptico y foto diodo para monitoreo. La eficiencia de salida es totalmente aceptable, y la potencia de 0 dBm es producida con una corriente de polarización de cerca de 40 mA.

Con el uso del EDFA o de un amplificador óptico de semiconductor (SOA) después del modulador el transmisor láser puede transmitir a más de + 16 dBm, justo abajo de la potencia de + 17 dBm que marca el límite de potencia de seguridad para el láser clase IIIb. Se han propuesto nuevas clases de seguridad láser para obtener potencias superiores, ejemplo la nueva clase 1M para +20 dBm y más.

Espectros de potencia del láser

En la figura 3.1.30 se muestra que el ancho espectral de los láseres actuales del tipo DFB son mucho menores a 1 nm. requisito indispensable para el diseño de sistemas DWDM con separaciones de longitud de onda de 0.78, 0.39 Y 0.19 según la recomendación G.692 de la UIT-T.

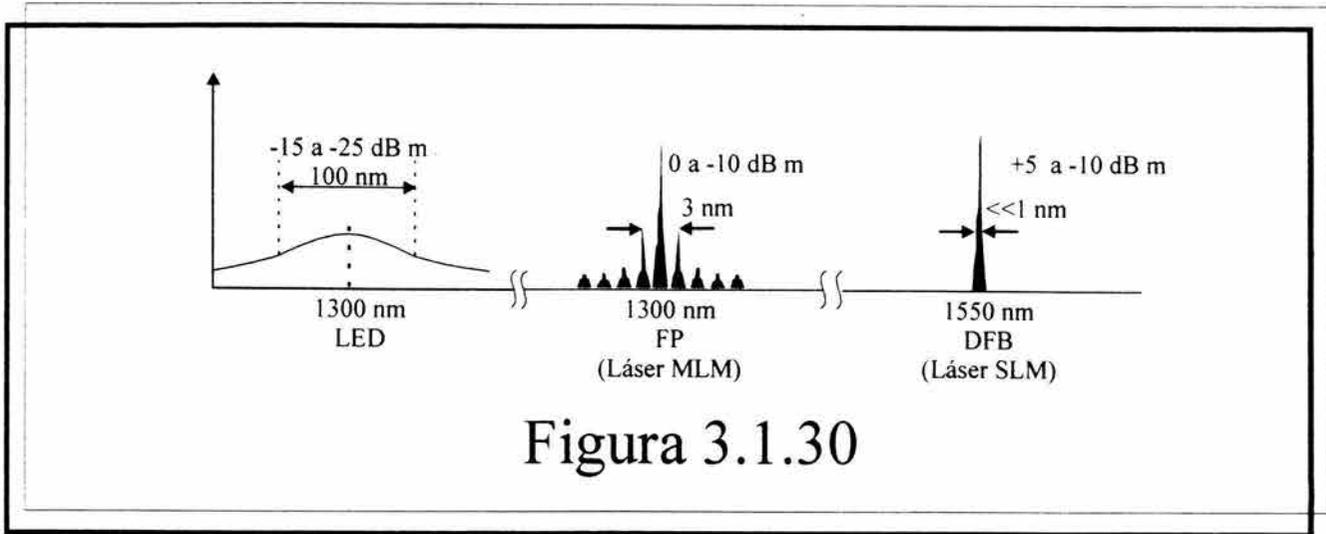


Figura 3.1.30 Comparación de espectros de potencia del diodo láser y el LED

- El diodo LED (Light Emisor Diode) se utiliza en aplicaciones de cortas distancias y bajas velocidades, por ejemplo en redes LAN de baja velocidad su ancho espectral es muy grande aproximadamente 100 nm lo que lo hace no apto para DWDM.
- El láser Fabri-Perot (FP) se utilizan en la red local de Telmex, también se le conoce como MLM (Multi-Longitudinal Mode) es decir se generan algunas longitudes de onda más aparte de la longitud de onda central su ancho espectral es de aproximadamente 3 nm.
- El láser DFB ó SLM (Single-Longitudinal Mode) solamente genera una longitud de onda y es muy utilizado en aplicaciones de larga distancia y DWDM ya que su ancho espectral es mucho menor a 1nm

3.1.6 Fotodetectores

Introducción

En DWDM los foto detectores se utilizan a la entrada de los transponder. lo que permite que cualquier longitud de onda en el rango de 1270 nm a 1560 nm por ejemplo, pueda más adelante por medio de un transmisor convertirse en una longitud de onda de salida compatible con un canal óptico de acuerdo al plan de distribución de longitudes de onda según la UIT-T. *Esto es posible gracias al uso de receptores de amplio rango espectral.*

La conversión de las señales ópticas en señales electrónicas se realiza mediante foto detectores de avalancha (APD) o de tipo PIN (Positivo Intrínseco Negativo). La señal resultante debe ser amplificada electrónicamente (agregando la menor cantidad de ruido posible), además puede ser necesario el filtraje electrónico para uniformar la respuesta en frecuencia de la unidad.

Aplicaciones PIN y APD

El dispositivo PIN opera a niveles de voltajes lógicos estándar (5V), pero es menos sensible y cubre un ancho de banda más angosto que el modelo de avalancha, a continuación diferenciamos sus

aplicaciones:

- *PINs de alta velocidad se pueden utilizar en aplicaciones de 10 Y 40 Gb/s pero se recomienda más el uso de los APD.*
- *Los APD se encuentran principalmente en aplicaciones de larga distancia donde su alto costo y la gran complejidad de su circuiteria se justifica.*

Importancia de los parámetros del receptor

La selección de parámetros críticos para los receptores incluyen:

- Respuesta espectral (En función de la longitud de onda especialmente en relación al detector utilizado, pueden ser de amplio rango espectral, para aceptar un rango amplio de longitudes de onda como en el transponder),
- Sensibilidad (Es una medición del nivel hacia el cual el ruido intrínseco en el detector no supera un valor previsto para un BER determinado).
- El filtrado óptico es necesario para reducir la amplificación de emisión espontánea (ASE).

La complejidad de la demodulación depende del proceso de modulación usado. Por ejemplo la información de temporización debe ser extraída si el canal utiliza TDM, y también son requeridos varios esquemas de recuperación y detección de errores en este nivel.

Respuesta espectral del foto detector PIN

En la figura 3.1.31 se observa el rango espectral de operación de los detectores típicos:

- Los detectores de silicio (Si) son los más utilizados en el rango de luz visible de 400 a 1000 nm.
- El detector de Germanio (Ge) cubre las tres ventanas y se recomienda para aplicaciones que trabajen en las longitudes de onda de 750 a 1600 nm.
- El detector de Indio, Galio, Arsénico (InGaAs) (Diodo PIN) es ideal para aplicaciones de longitudes de onda mayores a 1000 nm (especialmente en la tercera ventana óptica) debido a que en esta región se tiene una respuesta casi plana hasta los 1700 nm.

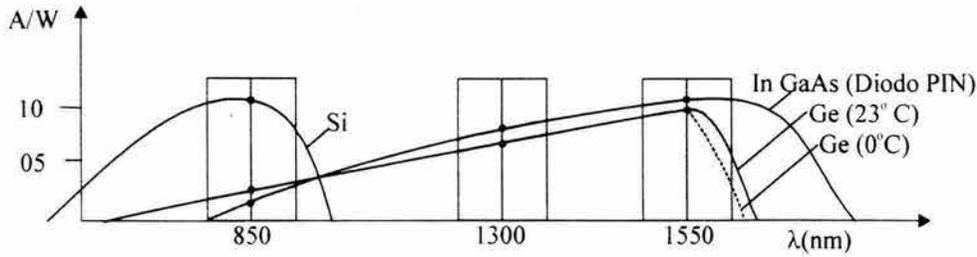


Figura 3.1.31

Figura 3.1.31 Respuesta espectral de los detectores típicos

Las unidades A/W del eje vertical provienen del significado de sensibilidad (habilidad para transformar potencia óptica en señal eléctrica), es decir A/W es (Intensidad de corriente generada) entre (Potencia óptica incidente) (Amps/Watts).

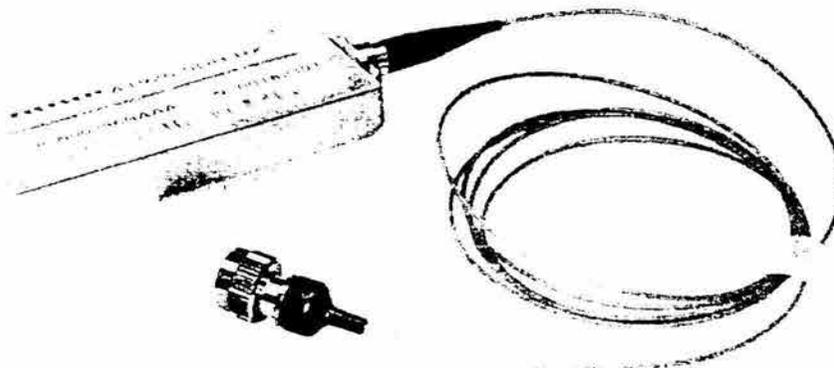


Figura 3.1.32

3.1.32 Módulo receptor SDH A 1926 de Alcatel

Aplicación de fotodetector y del láser en el transponder

En los transponder por ejemplo el WLA (Wavelength adaptor unit) del 1686 WM de ALCATEL en el módulo receptor se utiliza un fotodetector de amplio rango espectral a la entrada para tener un rango de entrada de longitudes de onda de 1270 a 1580 nm.

En el módulo transmisor se utiliza un diodo láser para convertir la longitud de onda de entrada en un valor específico de acuerdo al plan de distribución de longitudes de onda de la UIT-T.

La velocidad máxima que puede transportar la longitud de onda de entrada de cada transponder la especifica el fabricante, en este caso es de 2.5 Gb/s.

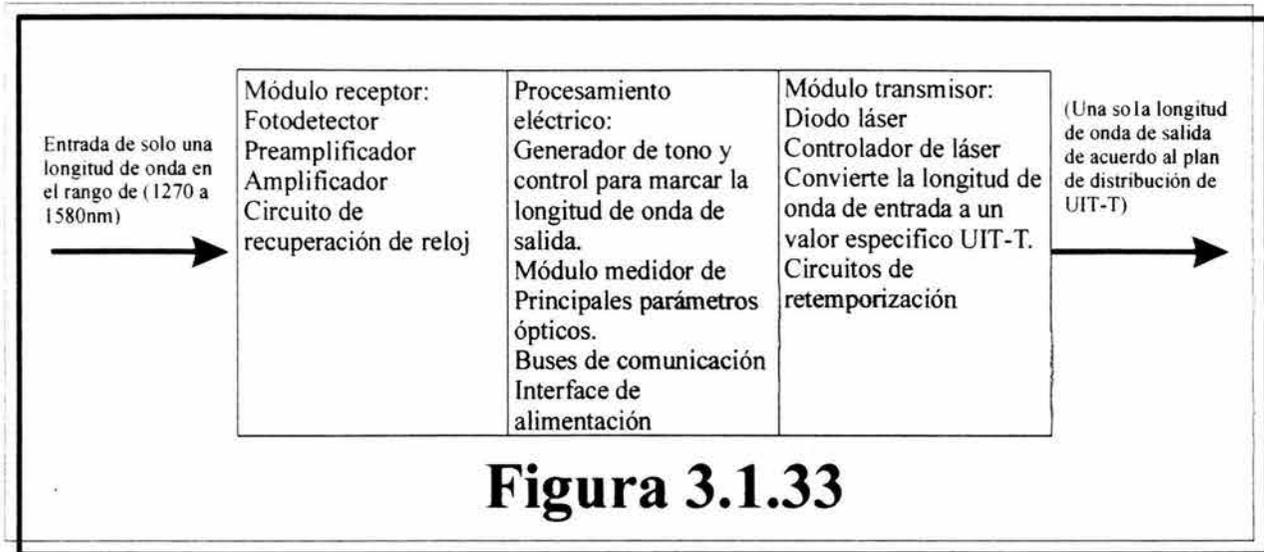


Figura 3.1.33 Principales elementos de un transponder

3.2 Amplificador óptico

3.2.1 Regenerador electro-óptico

Introducción

Los regeneradores electro-ópticos se utilizan para extender el alcance de la ruta óptica. Un regenerador electrónico tradicional restaura el nivel de las señales ópticas que se han atenuado a lo largo del tramo de fibra, extrayendo la señal de información de la fibra y convirtiéndola a pulsos eléctricos amplificándolos y reinsertándolos en la siguiente sección de fibra.

Primero se describirá brevemente el funcionamiento de un regenerador electro-óptico, para hacer una comparación con el amplificador óptico que se describe más adelante. Este regenerador ayudará a la eliminación de la atenuación y a disminuir el ruido ambos creados a lo largo de la línea óptica.

Elementos del regenerador Electro-óptico

Un regenerador electro-óptico esta constituido fundamentalmente por:

- Conversar opto-eléctrico (foto receptor)
- Regenerador electrónico
- Conversar electro-óptico (Láser semiconductor)

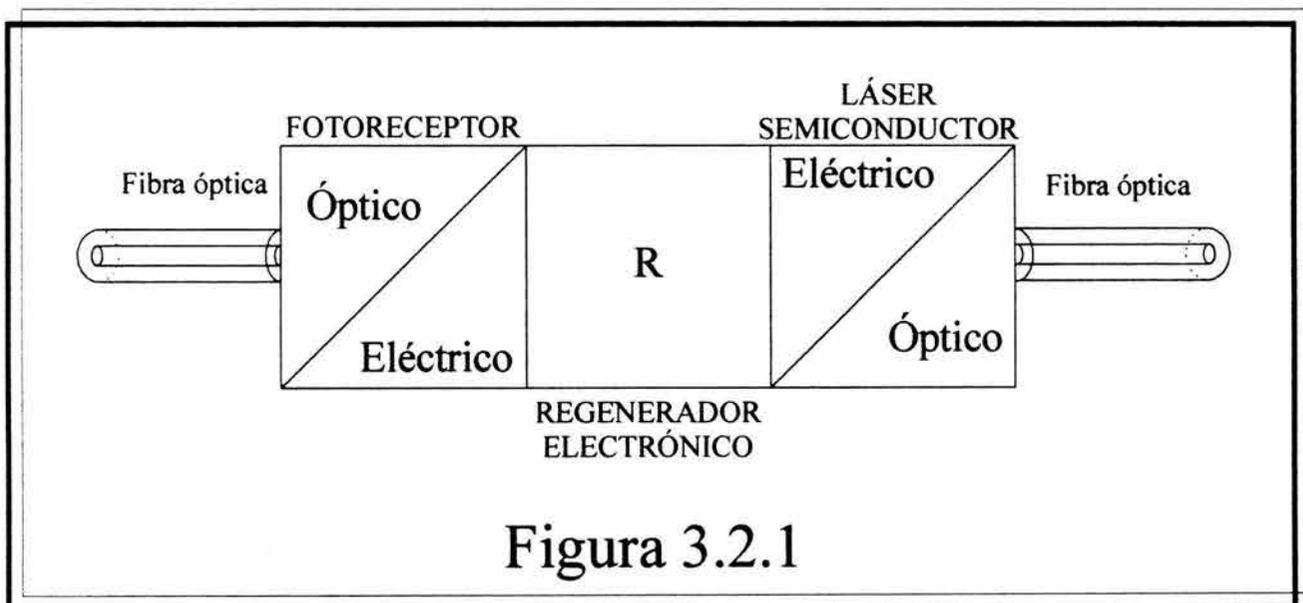


Figura 3.2.1 Regenerador electro-óptico

Funcionamiento del regenerador electro-óptico

En la tabla 3.2.1 se describe brevemente el funcionamiento del regenerador electro-óptico:

Tabla 3.2.1

Etapa	Función	
a) Conversor Opto-eléctrico	<p>En esta etapa:</p> <ul style="list-style-type: none"> Se detectan los niveles lógicos de las señales de entrada mediante un detector de umbral (Fotodiodo), convirtiéndose ópticas a eléctricas. Se preamplifican señales 	<p>Figura 3.2.2 Etapa de conversor Opto-eléctrico</p>
b) Regenerador electrónico	<p>En esta etapa:</p> <ul style="list-style-type: none"> Se genera una "nueva" señal, eliminando el ruido o deformaciones de la señal de entrada. Se amplifican y ecualizan las señales. Se recupera la señal de reloj. En redes SDH el regenerador extrae el encabezado de sección de regeneración e inserta un encabezado actualizado. 	<p>Figura 3.2.3 Etapa regenerador electrónico</p>
c) Conversor electro-óptico	<p>En esta etapa:</p> <ul style="list-style-type: none"> Se modula la fuente de luz Láser generalmente del tipo DFB. La señal óptica se reinserta en la siguiente sección de fibra. 	<p>Figura 3.2.4 Etapa conversor electro-óptico</p>

Alcance del regenerador electro-óptico

Las distancias de cobertura de los regeneradores electro-ópticos dependen de:

- La atenuación propia de la fibra óptica.
- La dispersión de la señal en la fibra óptica.
- Potencia óptica de la fuente y rango dinámico del fotodetector.

En el caso de L.D. en Telmex se tienen distancias promedio de 75 Km en línea terrestre y en el caso de los sistemas locales (promedio de 10 Km) no es necesario emplear regeneradores.

Algunos regeneradores de SDH pueden tener alcances de 80 Kilómetros y cuando se equipan con amplificadores de alta potencia se puede extender el alcance hasta 160 Km.

3.2.2 Amplificadores ópticos

Introducción

En contraste con los regeneradores electro-ópticos, los amplificadores ópticos utilizan EDFA's y son transparentes para las longitudes de onda que transportan, sus características principales son:

- No depende del protocolo de señal transportada.
- No importa el formato o velocidad de bit transportados en cada canal óptico.
- No recupera el reloj ni actualiza encabezados de sección de regeneración de las longitudes de onda transportadas.
- Puede ser conectado directamente a una amplia variedad de tecnologías, tales como los switches ATM (Modo de Transferencia Asíncrona), protocolo Internet (IP), WDM etc., sin que exista peligro de que sus componentes ópticos interfieran con los formatos de las señales transportadas.
- El único requisito es que las longitudes de onda que se quieren transportar se encuentre dentro de su rango de amplificación (1530 a 1560 nm).
- Tiene una longitud de onda asignada específicamente para el canal óptico de supervisión (OSC).
- Los amplificadores ópticos pueden ser bidireccionales, es decir transmitir y recibir longitudes de onda en una sola fibra óptica empleando un EDFA en cada sentido.

Estas características son las principales ventajas para utilizarse en DWDM. Sin embargo el uso de EDFA's en una red óptica involucra nuevas consideraciones, especialmente el tratamiento apropiado de la ganancia no uniforme de las longitudes de onda amplificadas y la emisión espontánea amplificada (ASE) que se agrega como ruido al sistema.

Tipos de amplificadores

En las aplicaciones de los amplificadores ópticos en los sistemas DWDM, básicamente se distinguen tres tipos diferentes de amplificador óptico, según su ubicación en el sistema.

Tabla 3.2.2

Tipo	Función
Los post-amplificadores (Booster)	<p>También son llamados post-amplificadores ya que aumentan la potencia óptica acoplada en el lado del transmisor y permiten que el primer repetidor se instale lo más lejos posible del terminal.</p> 

<p>Los amplificadores de distribución en la línea:</p>	<p align="center">Figura 3.2.5 Post-amplificador (elevador)</p> <p>Compensan las pérdidas de distribución de la fibra su característica es de que amplifica lo más posible la señal sin agregar mucho ruido.</p>  <p align="center">Figura 3.2.6 Amplificador de línea</p>
<p>Los pre-amplificadores:</p>	<p>Mejoran la OSNR (Relación señal a ruido óptica) de los receptores ópticos amplificando el bajo nivel de la señal óptica que llega al final del enlace, son amplificadores de muy bajo ruido.</p>  <p align="center">Figura. 3.2.7 Pre-amplificador</p>

En la figura 3.2.8 se observa la ubicación de los tipos de amplificadores descritos anteriormente, se trata de la solución WDM de Fujitsu para el transporte de 320 Gb/s con un sistema de 32 longitudes de onda cada uno transportando un STM-64.

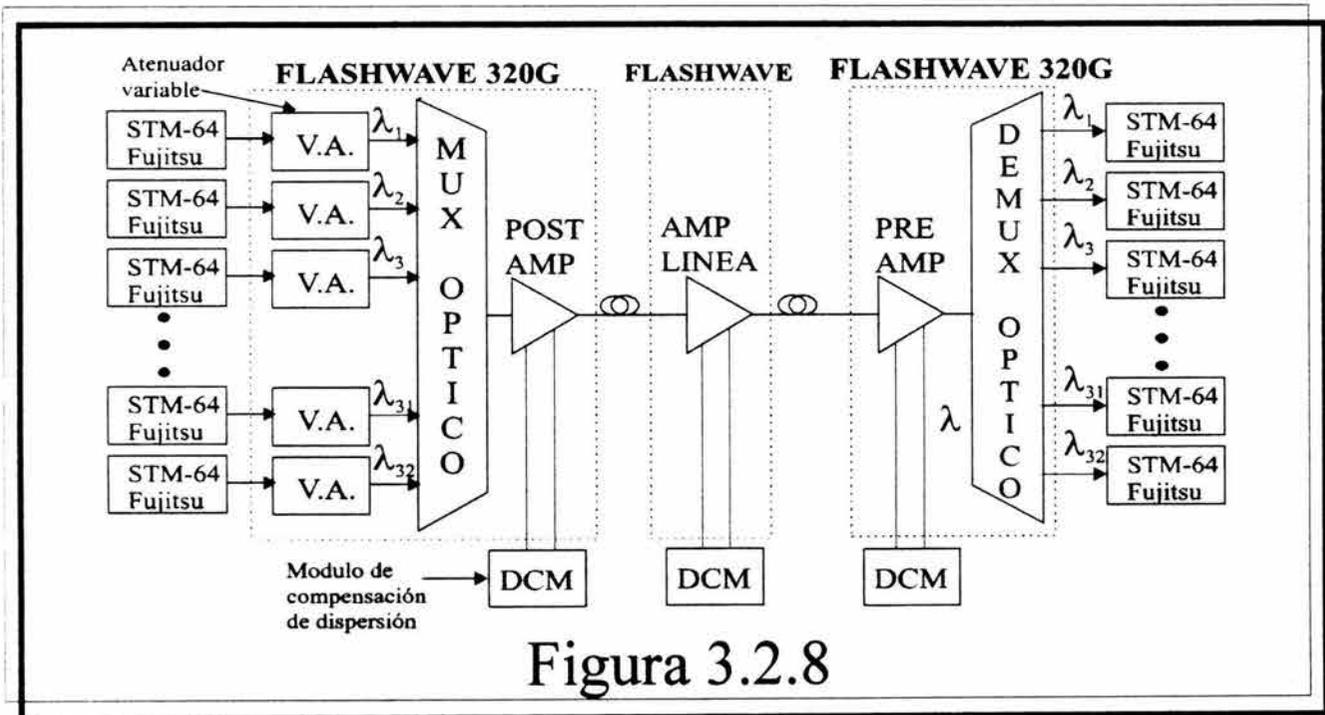


Figura 3.2.8 Solución WDM Fujitsu de 32 longitudes de onda

Se observa también en esta solución el uso de atenuadores variables de fibra que se utilizan para compensar la uniformidad de potencia de salida de los portadores ópticos. También observamos el uso de módulos compensadores de dispersión en los amplificadores ópticos.

De acuerdo a la G.692 el canal de supervisión óptico (OSC, *optical supervisor y channel*) es un canal que se puede acceder en cada amplificador óptico de línea y se utiliza con fines de mantenimiento, incluye la información de alarmas en ubicaciones distantes, las comunicaciones necesarias para la localización de fallos y el canal de órdenes. El canal de supervisión óptico no transporta tráfico.

La longitud de onda nominal preferida del canal de supervisión óptico fuera de banda es 1510 nm otra alternativa es la longitud de onda de 1480nm.

La opción de OSC dentro de banda está destinada a aplicaciones en las que se transportan varias longitudes de onda a través de uno o más amplificadores de línea a la mayor distancia posible entre amplificadores y con una gran capacidad por canal. Para estas aplicaciones, los EDFA hacen uso de su máxima potencia de bombeo manteniéndose dentro de los límites de fiabilidad del láser de bombeo.

Construcción del amplificador óptico

La construcción del amplificador óptico de distribución en línea incluye un EDFA para la transmisión y otro para la recepción con sus respectivos láseres de bombeo de longitudes de onda de 1480 ó de 980 nm, también se recupera el canal de supervisión y se procesa en cada nodo, para su alimentación puede ser remota por ejemplo para los amplificadores de cable submarino. En la figura 3.2.9 se observa un amplificador óptico para una configuración unidireccional, es decir un sistema que utiliza una fibra de transmisión y otra de recepción.

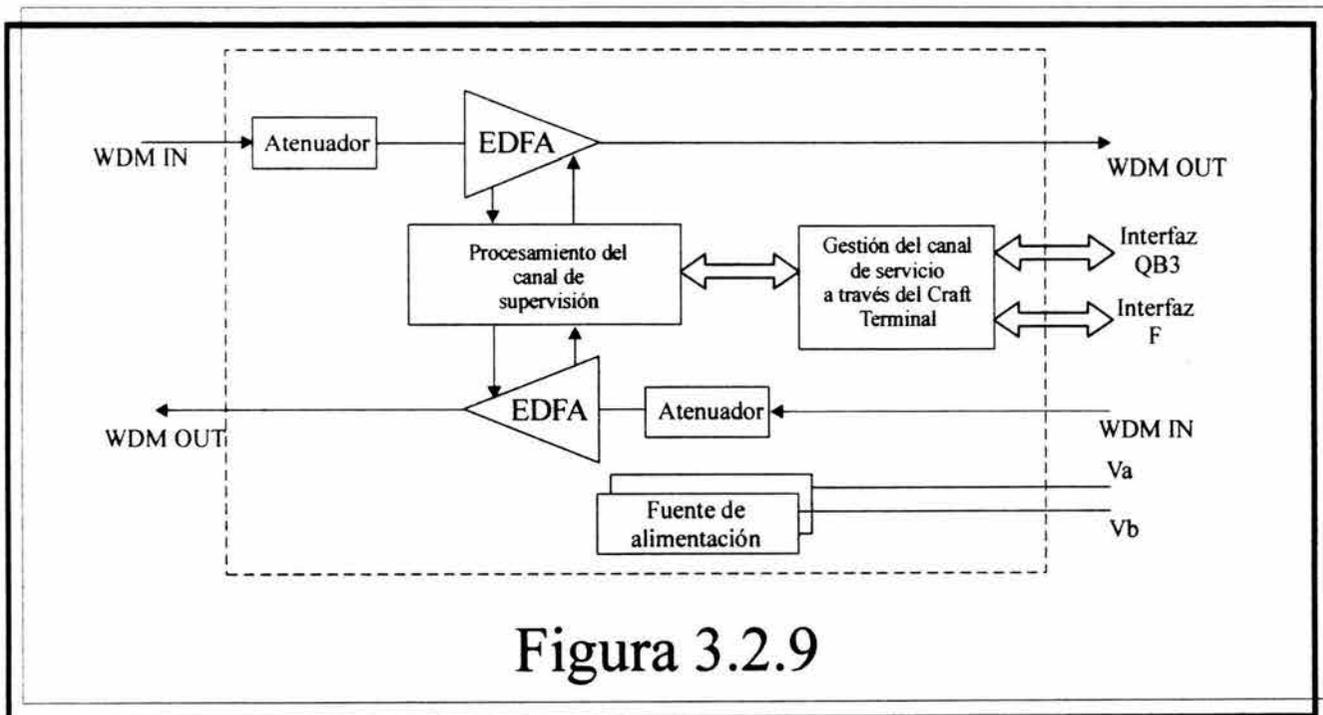


Figura 3.2.9

Figura 3.2.9 diagrama a bloques del repetidor de línea 1686WM tipo "1924 OFA" de Alcatel.

Recuerda que el Módulo EDFA Amplifica en el rango de longitudes de onda de la banda e (1530 a 1560 nm), que la amplificación de las longitudes de onda que portan tráfico es totalmente óptica, sin embargo tiene circuitería electrónica para proveer las acciones de mantenimiento del canal de servicio y del láser de bombeo.

Otro tipo de configuración de los amplificadores ópticos en línea es el amplificador bidireccional es decir el que utiliza una sola fibra para la transmisión y recepción. En la figura 3.2.10 se muestra un amplificador bidireccional de la solución MOR (MOR Multiwavelength Optical Repeater) de Nortel.

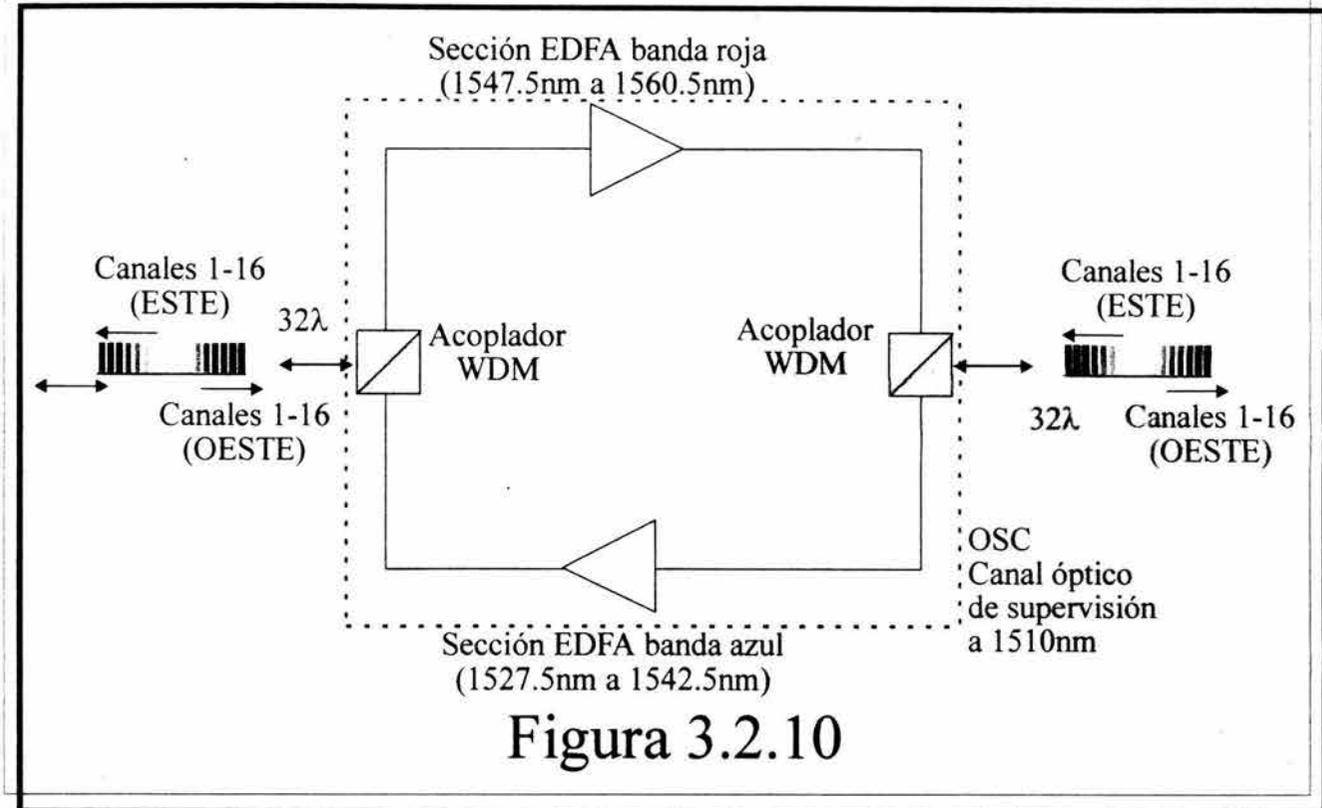


Figura 3.2.10 Ejemplo de amplificador óptico bidireccional

Se observa que:

- Consta de un amplificador EDFA para cada sentido.
- Los amplificadores trabajan solo en la banda roja o azul correspondiente.
- Para enviar ó recibir los canales ESTE y OESTE hacia la fibra se utiliza un acoplador WDM.
- Se indica también la longitud de onda de 1510 nm, utilizada para el canal de supervisión (OSC).

3.2.3 Principios de funcionamiento del EDFA

Diagrama fundamental de un EDFA

El amplificador EDFA es el elemento principal de los amplificadores ópticos. Un amplificador de fibra dopado con erbio (EDFA) contiene una corta sección de fibra (aproximadamente 10 metros) la cual tiene una pequeña sección de elemento de tierra rara. Esto se ilustra en la siguiente figura:3.2.11.

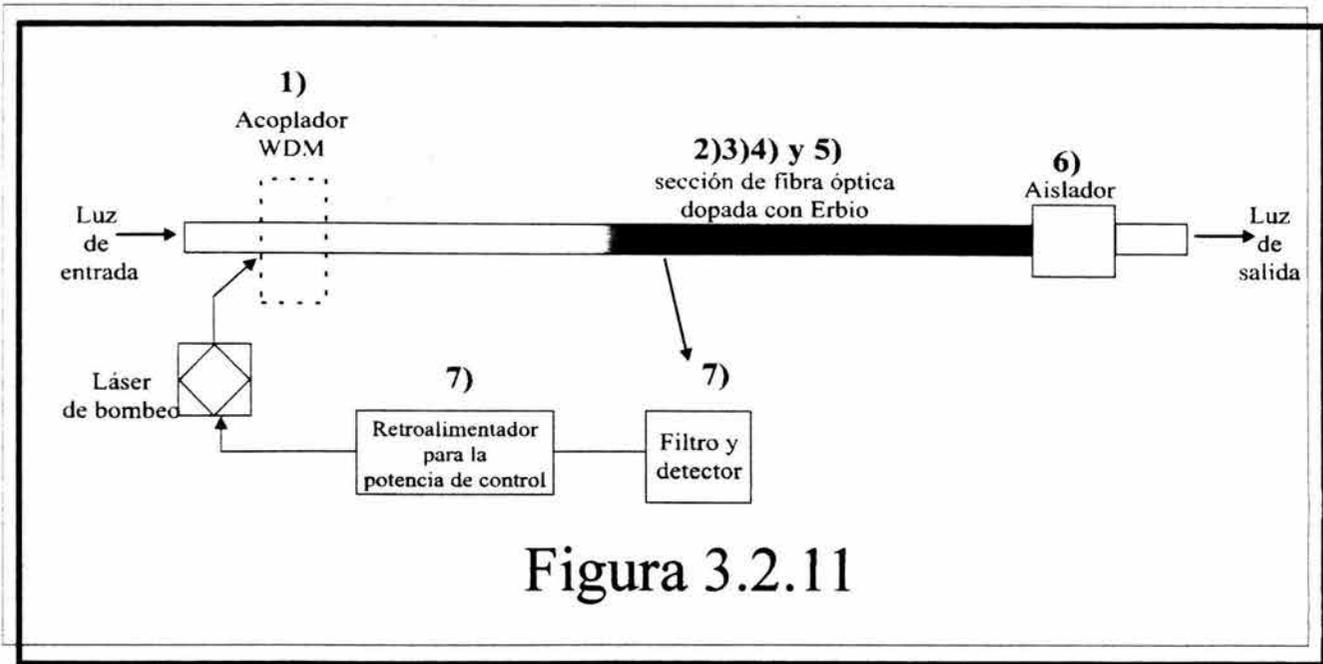


Figura 3.2.11

Figura 3.2.11 Amplificador EDFA

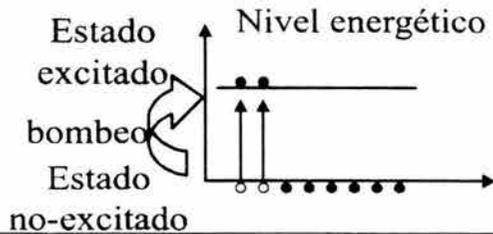
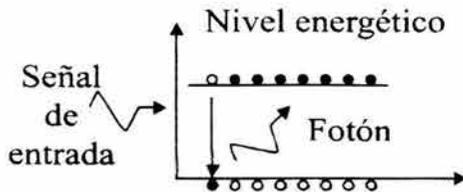
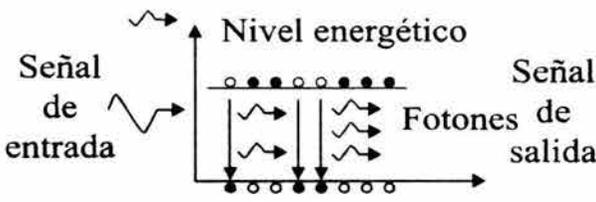
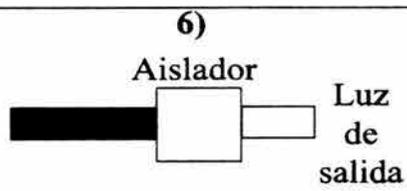
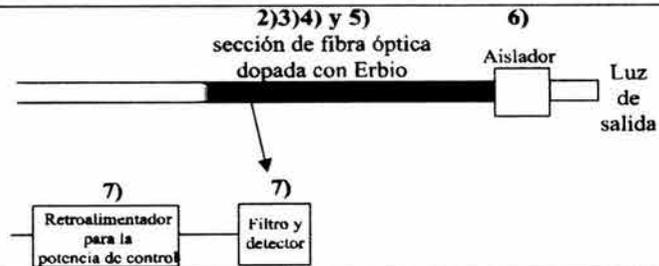
Nota:

Todo el dispositivo es alimentado eléctricamente, el proceso de amplificación es totalmente óptico y toma lugar dentro de la corta sección de fibra monomodo de tierra rara (Erbio).

Operación básica del EDFA es como se muestra en la tabla 3.2.3

Tabla 3.2.3

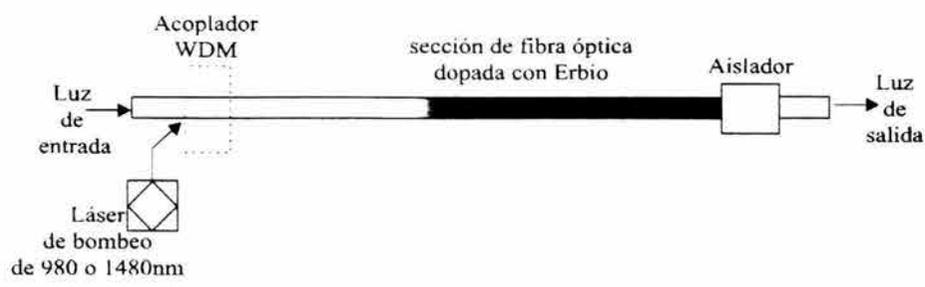
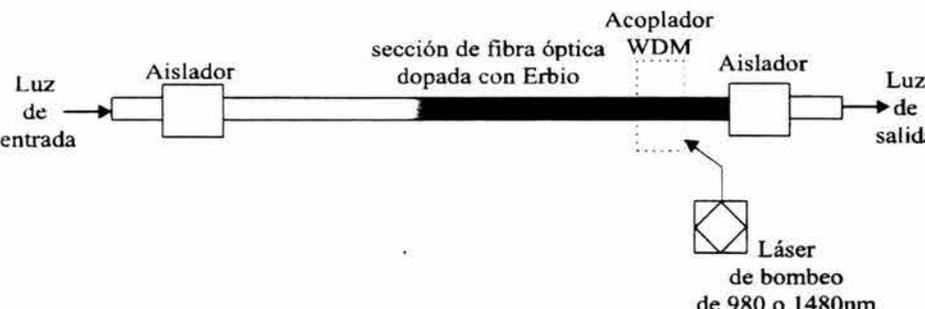
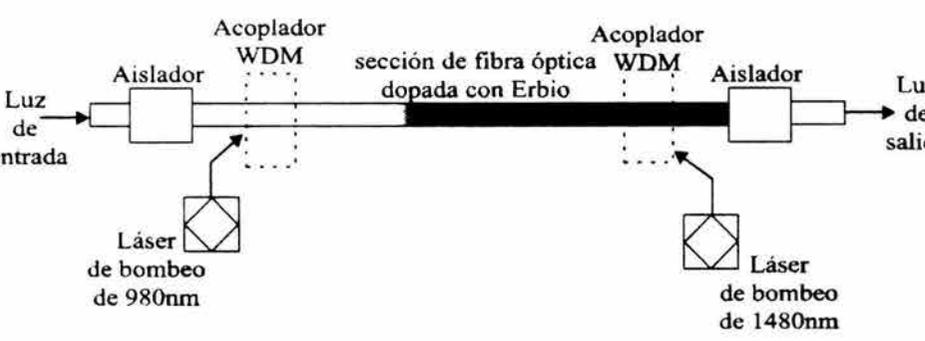
Etapa	Acción	
1	Un rayo de luz de alta potencia (láser de bombeo) es mezclado con la señal de entrada usando un acoplador selectivo WDM. Las longitudes de onda de los láser pueden ser de 980 o 1480nm, debido a que ambas longitudes de onda corresponden con los niveles de energía de los iones excitados y por lo tanto se absorben bien en la fibra dopada con Erbio.	
2	La luz mezclada es guiada dentro de una sección de la fibra con los iones de erbio incluidos en el núcleo, los cuales se encuentran en su estado no excitado.	

<p>3</p>	<p>Esta luz de alta potencia excita los iones de erbio a su estado de mayor nivel energético</p>	 <p>Estado excitado Estado no-excitado bombeo</p> <p>Nivel energético</p>
<p>4</p>	<p>Cuando los fotones pertenecientes a la señal (a diferentes longitudes de onda) reconocen los átomos excitados de erbio, los átomos de erbio ceden algo de su energía a la señal regresando a su estado de menor energía liberando fotones. Produciéndose dos tipos de emisión: 1. <i>Emisión espontánea</i> 2. <i>Emisión estimulada</i></p>	 <p>Señal de entrada Fotón</p> <p>Nivel energético</p> <p><i>Emisión espontánea.</i>- Los fotones liberados tienen cualquier longitud de onda y fase. Esto es regeneración de ruido.</p>
<p>5</p>	<p>Un punto significativo es que el erbio da su energía en forma de fotones adicionales los cuales son exactamente de la misma fase y dirección cuando la señal esta siendo amplificada. Así que la señal es amplificada solamente a lo largo de la dirección de viaje. De esta manera toda la potencia de señal adicional es guiada en el mismo modo de la fibra que el de la señal de entrada.</p>	 <p>Señal de entrada Fotones de salida Señal de salida</p> <p>Nivel energético</p> <p><i>Emisión estimulada.</i>- Los fotones liberados tienen la misma longitud de onda y fase que los fotones de las longitudes de onda en el rango de 1530 a 1560nm produciendo amplificación en esta región.</p>
<p>6</p>	<p>Es usual situar un aislador a la salida para evitar retornos de reflexiones hacia la fibra, tales reflexiones perturban la operación del amplificador y en caso extremo pueden causar que el amplificador se comporte como un láser.</p>	 <p>6) Aislador Luz de salida</p>
<p>7</p>	<p>En la figura 3.2.11 se observa también la etapa de retroalimentación que estabiliza la señal de bombeo (potencia láser) hacia la fibra óptica de erbio</p>	 <p>2)3)4) y 5) sección de fibra óptica dopada con Erbio 6) Aislador Luz de salida 7) Retroalimentador para la potencia de control 7) Filtro y detector</p>

Esquemas de bombeo

A continuación se describen las características de los esquemas de bombeo utilizados en los EDFA's para amplificar las señales de entrada. tabla 3.2.4

Tabla 3.2.4

Esquemas de bombeo láser	Características
 <p>Figura 3.2.12 Bombeo láser hacia adelante</p>	<ul style="list-style-type: none"> • El bombeo láser en la dirección hacia delante, provee <i>él más bajo ruido</i>. • Puede proveer un máximo de + 16 dBm de potencia de salida. La potencia típica es de + 15 dBm.
 <p>Figura 3.2.13 Bombeo láser hacia atrás</p>	<ul style="list-style-type: none"> • El bombeo hacia atrás provee <i>la mayor potencia (saturación)</i>. • Puede proveer un máximo de + 16 dBm de potencia de salida. La potencia típica es de + 15 dBm.
 <p>Figura 3.2.14 Combinación de bombeo láser</p>	<ul style="list-style-type: none"> • La combinación de los dos esquemas de bombeo anteriores proporciona la máxima eficiencia, es decir utilizar el láser de bombeo de 1480nm en la dirección hacia atrás y el de 980nm en la dirección hacia adelante. <p>Al usar simultáneamente los láseres de bombeo se puede proveer típicamente hasta + 26 dBm de potencia de salida.</p>

Ejemplo de láser de bombeo

En la figura 3.2.15 se observa la configuración de los amplificadores de línea de alta eficiencia y gran alcance fabricados por Alcatel:

Se observa que:

- Se tiene un amplificador de línea en cada sentido.
- Se detecta el canal de supervisión, se convierte a eléctrico, se procesa en cada sentido y se vuelve a reinsertar a través del láser de bombeo.
- Se tienen duplicadas las bombas de 980 y 1480nm en configuración 1 + 1.
- El control y el láser de bombeo son controlados por señales eléctricas.

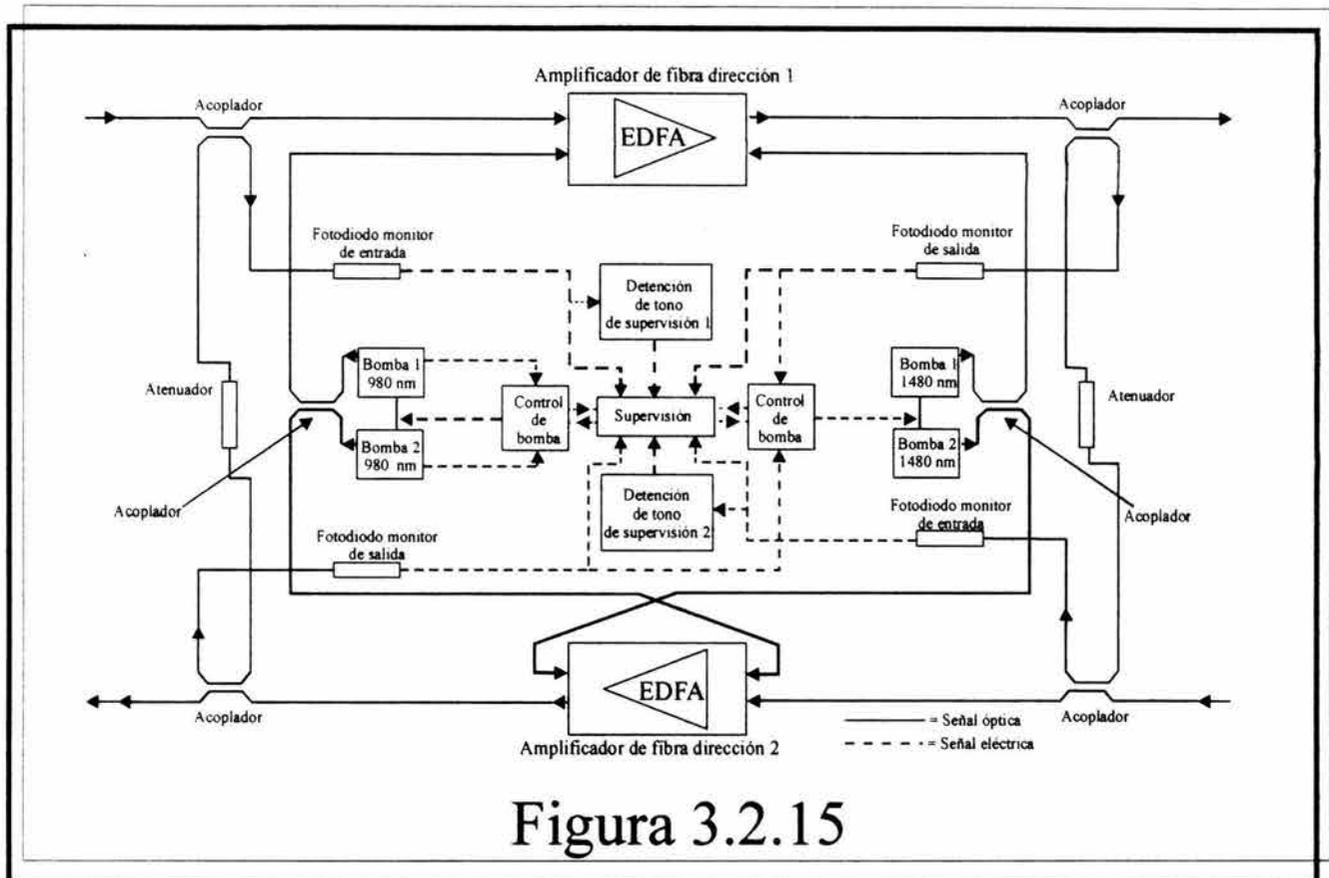


Figura 3.2.15

Figura 3.2.15 Detalle de amplificador óptico fabricado por Alcatel

3.2.4 Ganancia no uniforme y ASE

Introducción

Anteriormente ya habíamos comentado que uno de los principales problemas en el uso de los EDFA's era la amplificación no uniforme de las longitudes de onda, actualmente existen varias técnicas para hacer más plana la ganancia y expandir la ventana de amplificación para 40 nm o más.

El EDFA debe de proporcionar ganancia plana, para eliminar la distorsión de amplificación de señales a través de la cascada de EDFA's a largo de la fibra.

Espectro de amplificación del EDFA

En la figura 3.2.16 se muestra la curva de ganancia de un EDFA construido con fibra de silicio dopada con Erblio. Se observa una ganancia adecuada en el rango de 1530 a 1560nm, pero la curva de ganancia no es plana a lo largo de la ventana óptica y no es adecuado para WDM.

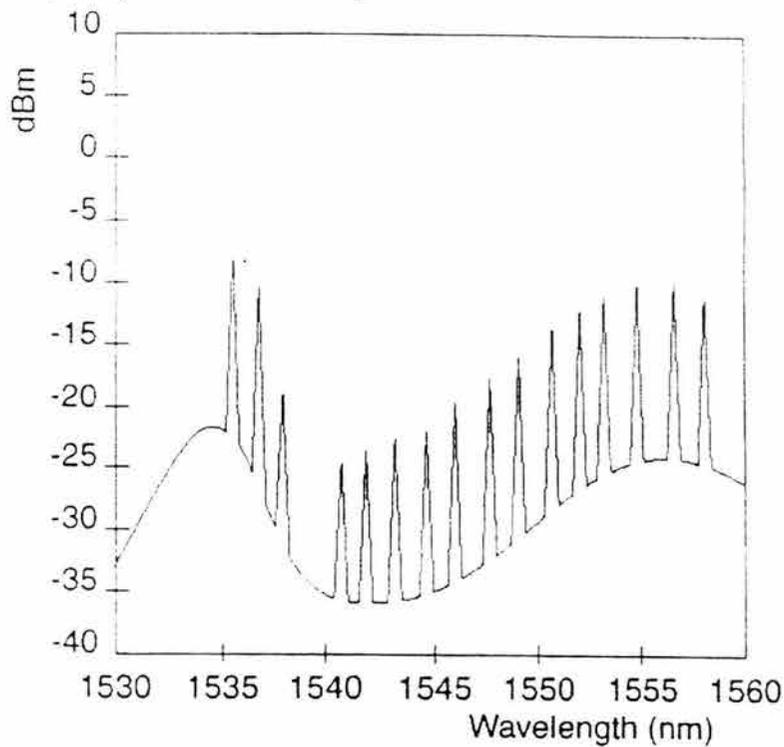


Figura 3.2.16

Figura 3.2.16 Gráfico del proveedor EXFO sobre la amplificación del EDFA

Compensación de ganancia del EDFA

Actualmente se utilizan componentes internos para proveer la operación confiable del EDFA. Los componentes incluyen:

- Aisladores para evitar la propagación de la ASE y sensibles reflexiones a lo largo de la línea de EDFA's, y prevenir efectos residuales de la energía proporcionada por los láseres de bombeo.
- Módulos compensadores de dispersión, especialmente en EDFA's de doble etapa y ecualizar el

retardo de propagación de las longitudes de onda en sistemas DWDM.

En la figura 3.2.17 se observa el espectro de amplificación casi plano de los EDFA's actuales que utilizan fibra de fluoruro y filtros de mejor rendimiento para proporcionar ganancia plana.

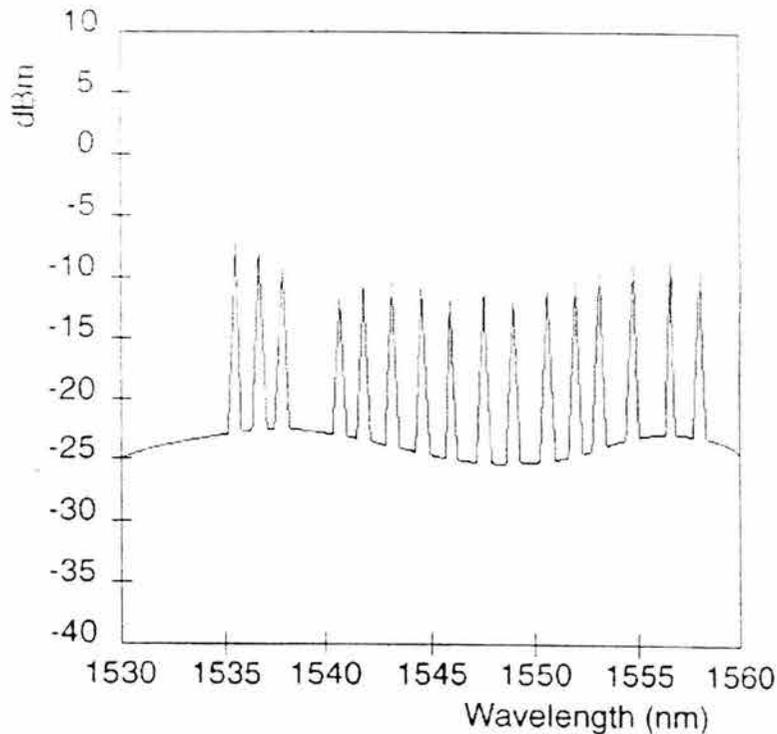


Figura 3.2.17

Figura 3.2.17 Gráfico de EXFO de un EDFA compensado

3.2.5 Otras técnicas de amplificación

Introducción

Actualmente se han propuesto otros tipos de amplificadores debido principalmente al estrecho rango de amplificación del EDFA actual (1530 a 1560 nm) y para eliminar la relativa complejidad y el consiguiente costo de diseño del EDFA.

Es muy importante conocer estas nuevas técnicas ya que serán la base para la construcción de los nuevos sistemas DWDM que trabajaran en el rango de la banda L (1570 a 1605nm). Cabe mencionar que actualmente no se encuentran optimizados como para sustituir en el corto plazo a los EDFA' s.

Amplificador PDFFA

El PDFFA (Amplificador de Fibra de Fluoruro Dopado con Praseodimio) es un amplificador que utiliza

fibra dopada con praseodimio, y provee amplificación en la región de 1310nm. Sus características principales son:

- Baja distorsión
- Bajo ruido
- Alta potencia de salida
- No tiene la misma eficiencia que el EDFA actual

Amplificador de efecto Raman

La amplificación Raman se basa en el efecto de "Dispersión estimulada Raman" (SRS "Stimulated Raman Scattering").

La SRS es la dispersión de luz por moléculas, en la cual la luz dispersada es desplazada de la luz entrante por una frecuencia característica de las moléculas.

En el amplificador Raman, una portadora óptica (varias longitudes de onda), interactúa coherentemente con las moléculas del sílice (dióxido de silicio " SiO_2 ") de una fibra óptica, dichas moléculas han sido excitadas por una bomba láser de alta potencia. El resultado es la amplificación de la portadora óptica.

Características del amplificador Raman

A continuación listamos las principales características del amplificador Raman:

- La amplificación Raman reduce el ruido amplificado en la red óptica, esto trae ventajas potenciales como mayores distancias entre amplificadores ópticos (por ejemplo 300 Km.), espaciamientos de canal más estrechos o transmisión a altas velocidades.
- Los amplificadores Raman pueden ser totalmente versátiles debido a que la ganancia Raman puede ser generada en todos los tipos de fibra (SMF, DSF y NZ-DSF).
- La amplificación Raman permite dar ganancia a un amplio espectro de longitudes de onda con solo variar la longitud de onda de la bomba Raman.
- Debido a las bombas láser de alta potencia requeridas y otras razones técnicas los amplificadores Raman no han sido capaces de competir con los EDFA's.

Aunque la amplificación Raman se ha investigado en los laboratorios por más de una década no se ha extendido comercialmente su uso, las aplicaciones se han limitado a repetidores de sistemas submarinos.

Amplificador óptico de semiconductor (SOA)

El (SOA) amplificador óptico de semiconductor de estado sólido basa su funcionamiento en la emisión estimulada de fotones por la recombinación de pares electrón-hueco en un semiconductor a través de la inyección directa de corriente suficiente para ser bombeada a una fibra óptica dopada con erbio. Esta

nueva tecnología ha despertado creciente interés debido a las promesas de alto desempeño y flexibilidad, sin embargo los dispositivos actuales tienen las siguientes desventajas:

- Generan mayor ruido que los amplificadores descritos anteriormente.
- Se recomienda el uso en aplicaciones de conmutación y conversión de longitudes de onda.
- Presentan problemas de acoplamiento con la fibra debido a las dimensiones de la guía de onda.

3.3 Parámetros críticos de DWDM

3.3.1 Parámetros de transmisores

Introducción

Los sistemas DWDM deben su ventaja de ancho de banda al uso de múltiples canales a diferentes longitudes de onda. Todas estas longitudes de onda deben estar dentro del rango de longitudes de onda del EDFA y deben controlarse adecuadamente las características de las fuentes de luz para cada canal.

Requerimientos de los transmisores

Existen parámetros técnicos muy especializados de los transmisores láser que sólo el fabricante del equipo DWDM puede controlar durante el diseño, también existen otros que se consideran durante la Homologación y Evaluación del sistema antes de instalarse en la planta telefónica. A continuación listamos algunos de estos requerimientos:

- El corrimiento espectral típico en los láseres DFB debe ser menor a 0.1 nm/oC y 0.01 nm/mA.
- El corrimiento por envejecimiento no debe ser mayor a 0.001 nm/año.
- La sensibilidad típica dependiente de la temperatura es de 0.002 nm/°C.
- El transmisor debe permanecer dentro del ancho de banda de diseño y no debe de desplazarse de su longitud de onda central con el paso del tiempo.
- La potencia de salida debe de permanecer estable a través de tiempo.
- El láser debe estar aislado ópticamente y no debe de ser afectado por reflexiones transitorias del medio de transmisión especialmente las que provienen del primer amplificador de línea.

En conclusión los parámetros de diseño deben de proveer un láser altamente estable para evitar en el corto plazo el costoso cambio de módulos transmisores.

En los módulos de conversión de longitud de onda la luz láser debe ser modulada con la señal a ser transportada en esa longitud de onda. Esta modulación debe ser lo suficientemente lineal para evitar la generación de excesivos armónicos y distorsión de intermodulación. Esto es una gran ventaja para efectos de deterioro a través de la red, o interferir con la extracción de información (demodulación) en el receptor al final del enlace.

La técnica de modulación de intensidad es la más utilizada. Para velocidades hasta de 2.5 GB/s se utiliza la modulación directa de los pulsos de corriente. Para velocidades más altas una compuerta de alta conmutación provee el encendido y apagado de la luz láser.

Parámetros prácticos

Los parámetros prácticos y más críticos de los diodos láser en las aplicaciones DWDM son:

- La longitud de onda central.
- La potencia de salida.

Longitud de onda central

La longitud de onda central del láser es muy importante ya que nos indica con precisión la capacidad de la fuente de luz de comunicarse fielmente con el receptor. Este valor se debe medir durante:

- La instalación para verificar que se cumple con las especificaciones del fabricante y con la recomendación G.692.
- Debe monitorearse durante los programas de mantenimiento para detectar corrimientos del valor central.
- Debe monitorearse sobre todo en los sistemas con espaciamentos muy estrechos (0.78 y 0.39 nm).

La longitud de onda central se define como longitud de onda en el punto medio de 3 dB abajo del pico de potencia. Tal como se indica en la figura 3.3.1:

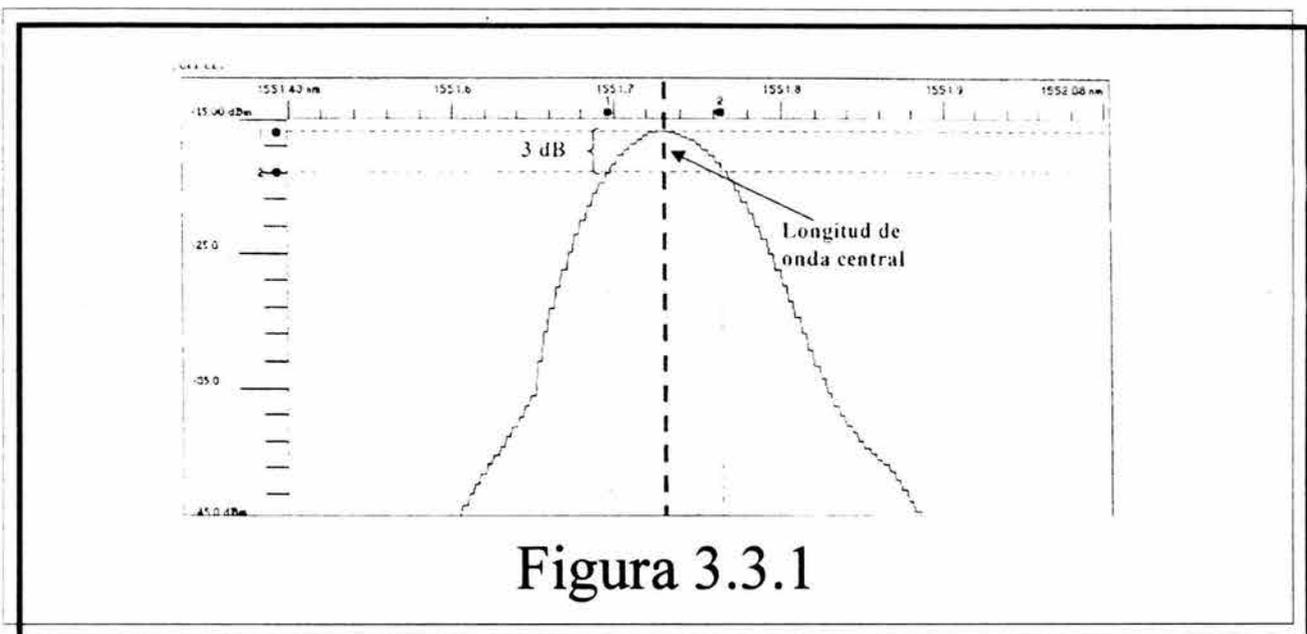


Figura 3.3.1 Interpretación de la longitud onda central.

Es importante considerar que no todos los picos de potencia son simétricos en algunos casos muestran un rizo, por lo que es importante la referencia de 3 dB para obtener el punto medio y determinar la longitud de onda central.

Normalmente se utiliza un analizador de espectros ópticos (OSA). En la figura anterior el cursor vertical indica la longitud de onda central del láser DFB.

Potencia de salida

La potencia de salida se debe medir utilizando un medidor de potencia o un analizador de espectros ópticos (OSA) y de ser necesario a través de un atenuador variable, considerando las pérdidas de

inserción del equipo de medición.

Se debe verificar este valor de acuerdo a las especificaciones del fabricante del equipo. De ser posible debe medirse en cada convertidor de longitud de onda.

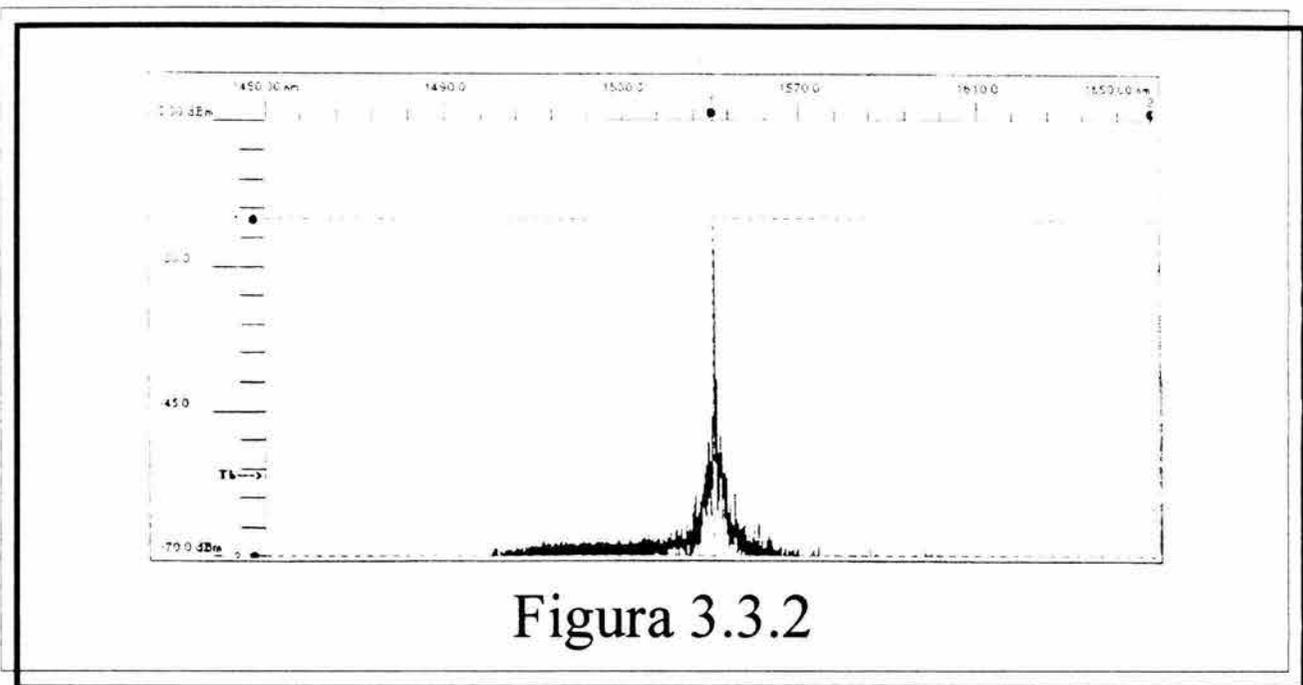


Figura 3.3.2 Potencia del Láser DFB.

En la figura 3.3.2 se indica el valor del pico de potencia del láser DFB en la intersección de los cursores.

Recuerda que en DWDM el diodo láser se utiliza a la salida de los transponder para proveer la longitud de onda de uno de los canales especificados en el plan de asignación de longitudes de onda de acuerdo a la UIT-T.

3.3.2 Parámetros de receptores

Introducción

La función del receptor es proveer al demodulador con la señal eléctrica lo más limpia posible. El desempeño del receptor se mide por la tasa de errores (BER) que entrega para una señal de recepción dada.

El desempeño total de un receptor se describe mediante una curva de sensibilidad, en la cual se gráfica el BER en función de la potencia recibida para una velocidad determinada. Estas curvas aplican solo para condiciones de operación particulares y dependen de cada proveedor.

Parámetros críticos

Los parámetros críticos que se relacionan con los detectores son:

- La *sensibilidad* es el parámetro más importante de los receptores y se mide utilizando un medidor de BER, un atenuador, y un medidor de potencia. Se debe comprobar que el sistema no introduzca errores para una tasa de errores determinada y a un nivel mínimo de potencia. Por ejemplo el equipo 1686WM de Alcatel tiene una sensibilidad de -26 dBm para un BER de 10^{-12} . Esta prueba la realiza el fabricante para determinar la calidad de sus detectores en función de la velocidad que va a trabajar el transponder.
- La *diafonía óptica* por canal es una indicación de la contribución de energía no deseada en un canal debido a la potencia de los otros canales, este valor se recomienda verificar una vez que se haya completado todo el enlace del sistema. Para medir la diafonía óptica utilizando un analizador de espectro óptico se debe cortar la transmisión de un canal óptico en el sistema DWDM, y en el extremo remoto verificar en el espectro la influencia de los otros canales sobre el canal que se está probando. Es importante verificar que este parámetro se encuentre dentro de las especificaciones del fabricante, para que el detector tenga una tasa de errores adecuada.

Nota:

Recuerda que el fotodetector se utiliza a la entrada de los transponder, y que en caso de utilizar transponder en el extremo de recepción, a la salida del transponder se tiene el canal UIT-T correspondiente, en esta salida es donde se puede medir la diafonía óptica.

En caso de no utilizar transponder la salida del DEMUX DWDM se acopla directamente al receptor SDH el único requisito es que el receptor sea de amplio rango espectral, es decir que el receptor pueda detectar entre otras la longitud de onda proveniente del DEMUX.

3.3.3 Parámetros de multiplexores y demultiplexores

Introducción

El desempeño de los MUX y DEMUX dependen de la capacidad que tienen para aislar los canales entrantes o salientes. A continuación listamos los parámetros más importantes que involucran a los MUX/DEMUX:

- Longitud de onda central de canales.
- Espaciamiento de canal.
- Ancho de banda de canal.
- Diafonía.
- Uniformidad de la potencia de salida.
- Pérdida de inserción.
- Pérdida óptica de retorno.
- Relación señal a ruido óptica OSNR.

Longitud de onda central de canales.

Los canales transmitidos deben de estar operando cerca del valor nominal de longitud de onda,

usualmente una de las longitudes de onda de la recomendación UIT-T. Se interpreta como se explico en los parámetros del transmisor.

Espaciamiento de canal.

En las redes existentes se utilizan espaciamientos regulares y espaciamientos irregulares, para los espaciamientos regulares el más común es el de 100 GHz de acuerdo a la UIT-T. Las separaciones irregulares de canales se utilizan para minimizar o predecir la aparición de efectos no lineales tales como el FWM, apareciendo diafonía con longitudes de onda en espaciamientos irregulares causando ruido entre canales.

Reglas de seguridad

Los equipos DWDM manejan potencias ópticas altas es decir valores hasta de +15 dBm, por lo que es importante tener las siguientes precauciones:

- Cumplir con las reglas de seguridad que impone el fabricante del equipo.
- Aceptar las restricciones de seguridad cuando el equipo se encuentra en operación.
- Asegúrate de utilizar atenuador óptico durante las mediciones en caso necesario.
- Sólo personal técnico especializado con los conocimientos y experiencia necesarios puede realizar funciones de operación y mantenimiento en equipos DWDM.

En la figura 3.3.3 se muestra la separación irregular de canales para un sistema de 3 canales. Esta separación puede deberse al uso de fibras de dispersión corrida y para evitar los efectos no lineales.

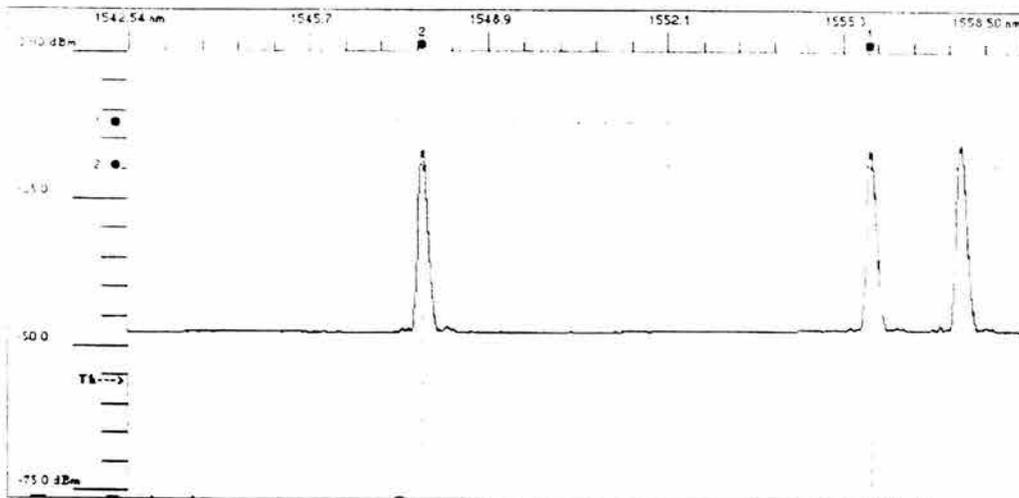


Figura 3.3.3

Figura 3.3.3 Separación irregular de canales.

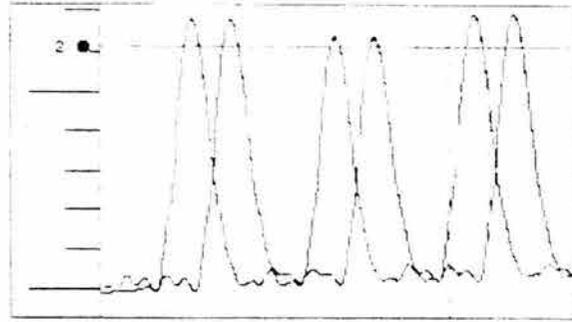


Figura 3.3.5

Figura 3.3.5 Canales con corrimiento de longitud de onda presentando diafonía.

Uniformidad de la potencia de salida

La uniformidad de la potencia de salida de un multiplexor es la variación pico a pico en las potencias de todos los canales medidos con un analizador de espectros. La máxima variación permitida es de 3 dB para evitar introducir serias inconsistencias entre las características de las diferentes señales de los canales. En la figura 3.3.6 se muestra un espectro de 8 longitudes de onda y se observa que entre todas ellas se tiene una diferencia dentro del rango de los 3 dB, por lo se considera buena la uniformidad de canales.

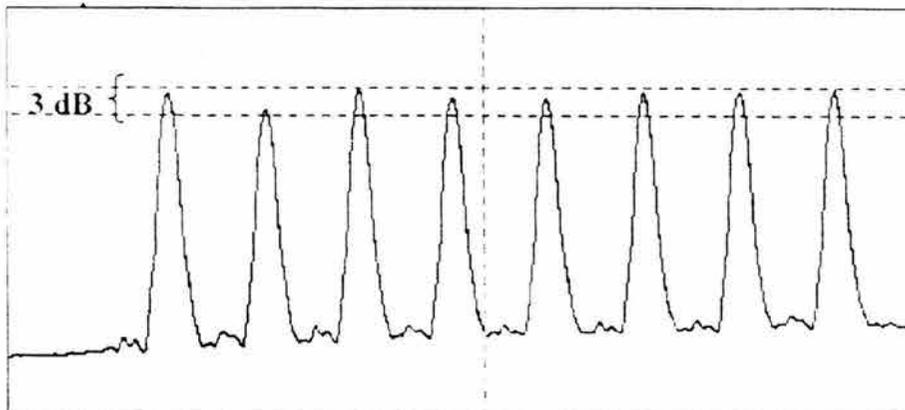


Figura 3.3.6

Figura 3.3.6 Uniformidad de la potencia de salida.

Pérdida de inserción

La pérdida de inserción de un componente es la diferencia entre la potencia de entrada y la de salida, con esto se cuantifica la pérdida de potencia en el dispositivo para una longitud de onda en particular o sobre una región espectral dada.

La pérdida de inserción debe ser la más baja posible y debe de controlarse en el presupuesto de pérdidas que aplica el fabricante en el diseño.

Pérdida óptica de retorno (Reflectancia)

Cuando la luz se inyecta a un componente de fibra óptica, tal como un conector, un multiplexor, empalme o incluso la misma fibra, parte de la energía es transmitida, parte es absorbida y otro tanto es reflejada. La potencia óptica reflejada es indeseable debido principalmente a:

- Contribuye en las pérdidas de potencia total.
- Los transmisores láser de alto desempeño utilizados en DWDM son muy sensibles a la luz reflejada la cual puede contribuir significativamente a la degradación de la estabilidad del láser y la relación señal a ruido del sistema. En una situación extrema una fuerte reflexión puede dañar el láser.
- Las reflexiones ocurren dentro del amplificador óptico EDFA, especialmente la interferencia por multitrayectorias puede contribuir a la amplificación del ruido.

Los valores de reflectancia deben de estar por abajo de los -50 dBr para el caso de los MUX y DEMUX.

Relación señal a ruido óptica (OSNR)

La relación señal a ruido óptica (OSNR) determina el BER del sistema y es recomendable medir una vez que se tenga el enlace completo DWDM.

Este valor es una indicación de la legibilidad de la señal recibida; es un parámetro de creciente interés como el límite para las aplicaciones de larga distancia, ya que al incrementar la cantidad de amplificadores de línea la plataforma de ruido se acerca más a la señal de información.

El valor medido a la salida del primer multiplexor debe ser mayor a +40 dB para todos los canales, este valor se ve afectado por los amplificadores ópticos a lo largo del enlace, pero el valor medido en cualquier punto del enlace debe ser siempre *mayor a +18 dB*. Un EDFA no debe de degradar la OSNR en valores mayores a 3 o 7 dB.

Para medir la OSNR en un espectro óptico es necesario medir desde la parte más alta del pico de potencia hasta la plataforma de ruido de cada canal recibido. En la figura 3.3.7 se indica el valor OSNR para el canal 1.

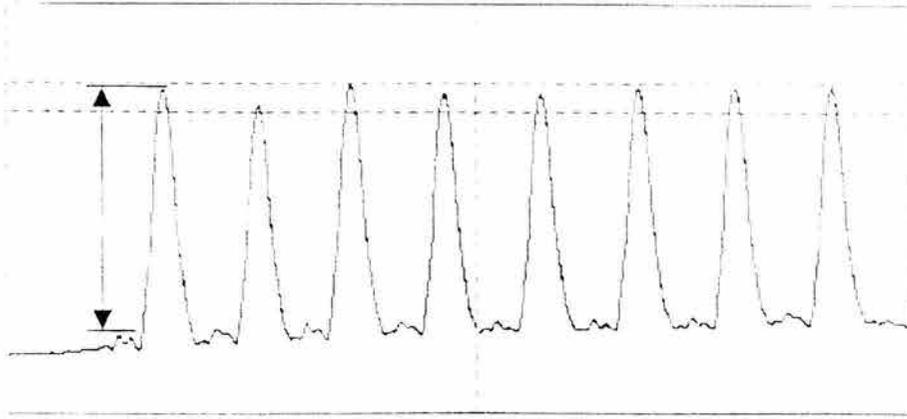


Figura 3.3.7

Figura 3.3.7 OSNR del canal 1.

3.3.4 Parámetros de la fibra óptica

Introducción

A continuación listamos los parámetros que limitan más el desempeño de la fibra óptica en los sistemas DWDM:

- Dispersión cromática
- Dispersión del modo de polarización (PMD)
- No linealidades

Dispersión cromática

¿Qué es la dispersión cromática?

Todo el vidrio incluyendo el utilizado para fabricar fibra, tiene dispersión del material debido a que el índice de refracción varía con la longitud de onda. Además en una fibra óptica monomodo, la forma geométrica y el perfil de índice de refracción contribuyen significativamente para la dependencia de longitud de onda con la velocidad de propagación de los pulsos de información transportados en la fibra, que es la que se conoce como dispersión de guía de onda. Juntas la dispersión del material y la dispersión de guía de onda forman la dispersión cromática de la fibra.

¿Qué problema ocasiona?

La dispersión cromática ocasiona que el ancho del pulso se incremente al pasar a través del enlace de fibra. La dispersión cromática de un enlace de fibra es acumulativa con la distancia, y es el cambio en el retardo de grupo por unidad de longitud de onda se expresa en ps/nm, en las especificaciones de la fibra se da un coeficiente de retardo en unidades de ps/(nm.Km).

¿Qué incrementa la dispersión cromática?

- Al incrementar el número y longitud de los tramos de fibra del enlace óptico.
- El incremento en la velocidad de bit.
- No se afecta con el incremento del número de canales ni con la disminución del espaciamiento de canales.

¿Cómo disminuir los efectos de la dispersión cromática?

- Disminuir el valor absoluto de la dispersión cromática de la fibra.
- Compensar la dispersión, utilizando módulos compensadores de dispersión en los amplificadores ópticos.
- La dispersión cromática requiere mas atención en sistemas WDM que utilizan fibra tipo G.652 debido a que la dispersión es alta en la región de 1550nm.

Dispersión del modo de polarización (PMD)

¿Qué es el PMD?

Los pulsos ópticos viajan en una fibra mono modo en dos modos de polarización. En el mundo ideal, los dos modos viajan a la misma velocidad. *En el mundo real, los dos modos viajan a velocidades ligeramente diferentes. Esto se llama Dispersión del Modo de Polarización (PMD).* Esta diferencia en las velocidades se traduce en una diferencia de tiempo de tránsito a través de la fibra, provocando el ensanchamiento del pulso (dispersión). Esta diferencia en tiempo de tránsito se llama Retardo de Grupo Diferencial (DGD).

El PMD es un parámetro muy importante cuando se pretende instalar sistemas DWDM usando las fibras G.652 que fueron instaladas en los años ochenta (Alrededor de 80 millones de kilómetros de fibra óptica fueron instalados en el mundo), no es tan crítico para los sistemas que se quieran instalar usando las nuevas fibras G.652, G.653 y G.655.

En los ochentas el efecto del PMD no se reconocía o no se entendía. El mezclar fibras de los ochentas con las nuevas ocasiona serios problemas de PMD cuando se pretende actualizar la capacidad de las redes a STM-64. Especialmente cuando los canales DWDM transportan sistemas STM-16 y STM-64 a través de enlaces de L.D. que tienen muchas secciones de F.O..

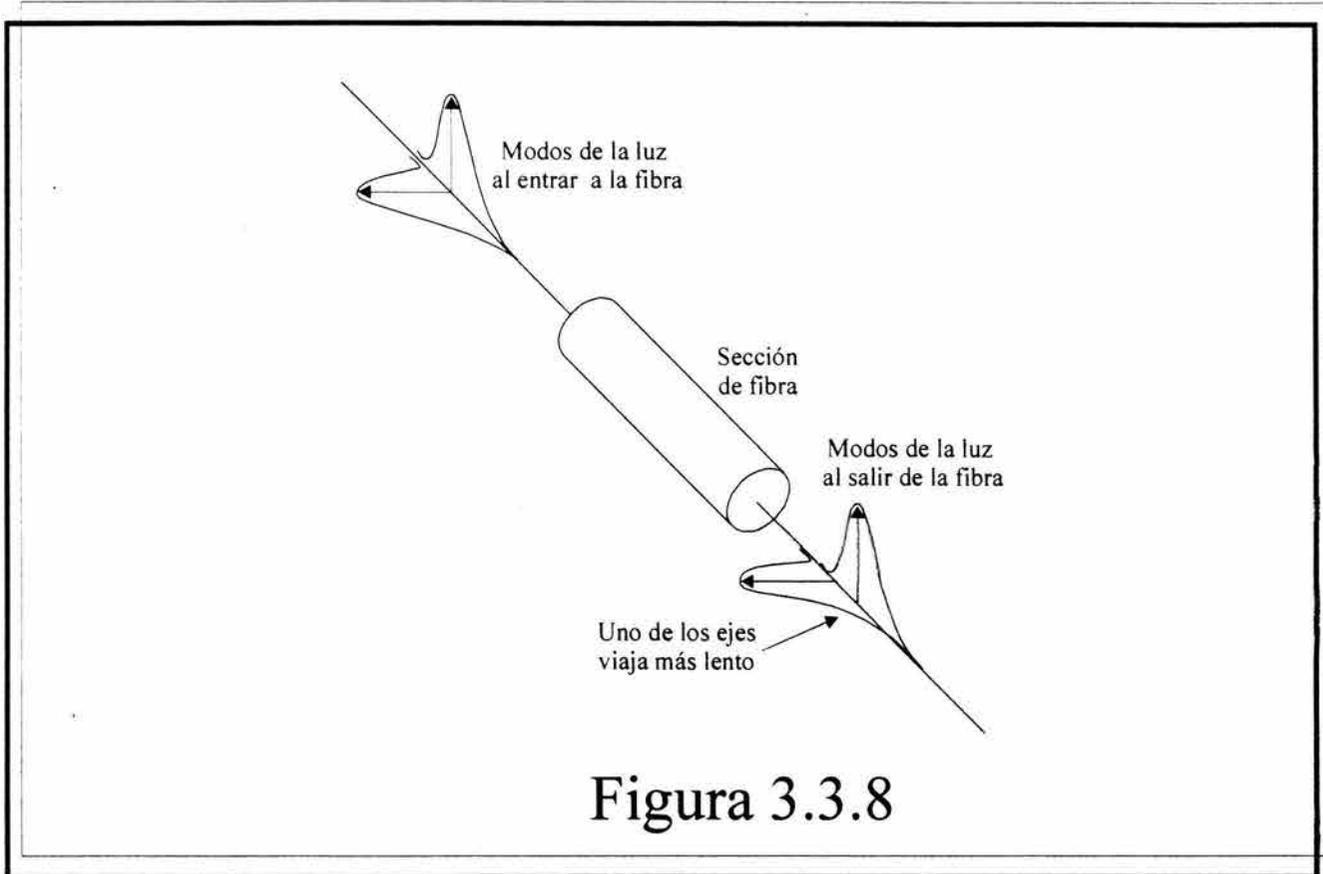


Figura 3.3.8

Figura 3.3.8 Efecto PMD en las secciones de fibra.

¿Qué provoca la aparición de PMD en la fibra?

Las causas que ocasionan el PMD son los esfuerzos en el núcleo de la fibra debidos a:

La construcción de la fibra:

- Núcleo elíptico de la fibra en algunos tramos
- Material del núcleo no homogéneo

Causas externas a la fibra:

- Diseño del cable de fibra
- El método de instalación

Cambios ambientales (la temperatura, vibración, etc.)

¿Que problemas ocasiona el PMD en las redes DWDM?

Los esfuerzos que se realizan en el núcleo de la fibra ocasionan birrefringencia (Es una propiedad por la cual la velocidad de propagación efectiva de una onda de luz en un medio depende de la orientación del campo eléctrico "estado de polarización" de la luz), ocasionando el ensanchamiento de los pulsos de información transportados, lo cual impacta directamente en la capacidad del receptor para identificar los pulsos correctamente.

- El PMD es un fenómeno crítico que limita la velocidad de transmisión.
- A mayor velocidad transportada el ensanchamiento del pulso es mayor y el receptor produce un BER alto.

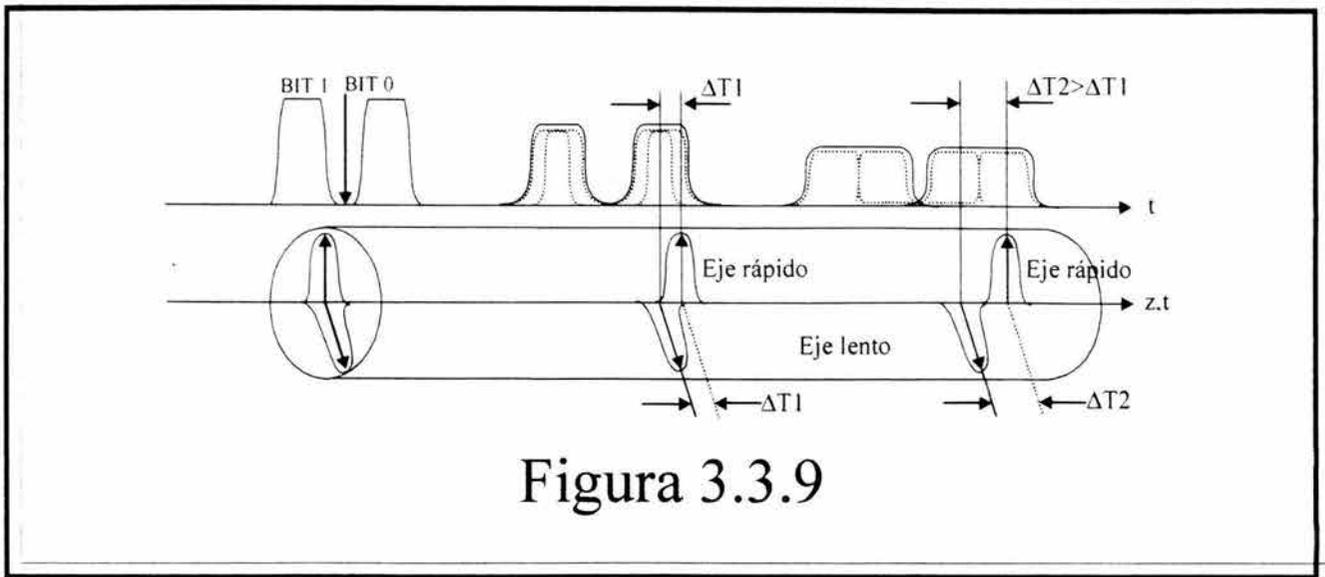


Figura 3.3.9

Figura 3.3.9 Efecto del PMD en la transmisión de los pulsos de luz.

En la figura 3.3.9 se muestra de manera gráfica el fenómeno de PMD, observa que:

- Al viajar más despacio uno de los ejes el pulso se ensancha
- Si la birrefringencia es muy alta o la velocidad de transmisión es alta (igual o mayor a 2.5 Gb/s.) a lo largo de la fibra los pulsos se acercan entre sí más cada vez.
- Si el enlace es muy grande al final los pulsos prácticamente estarán sobrepuestos imposibilitando su interpretación en el receptor.

¿ Cómo se mide el PMD?

El valor instantáneo de PMD para una longitud de onda particular variará con el tiempo de manera aleatoria debido a los esfuerzos cambiantes en la fibra (la temperatura, vibración, etc.) y el acoplamiento de los modos de polarización a lo largo del tramo de fibra.

El PMD se mide en pico segundos (ps) para un segmento de fibra instalada. Las unidades que aparecen en las especificaciones de la fibra óptica son el coeficiente que caracteriza la propia fibra y se da en $\text{ps}/\sqrt{\text{Km}}$

Regla de la concatenación para determinar el PMD de un enlace, se deben promediar los valores medidos de las secciones del enlace de acuerdo a la siguiente expresión:

$$\text{PMD} = \sqrt{\text{PMD}_1^2 + \text{PMD}_2^2 + \dots + \text{PMD}_n^2}$$

Donde el PMD total se obtiene extrayendo la raíz cuadrada de la suma de los cuadrados de los PMD de cada segmento.

Por ejemplo para determinar el PMD total de un enlace de 7 secciones de fibra como el que se muestra en la figura 3.3.10.

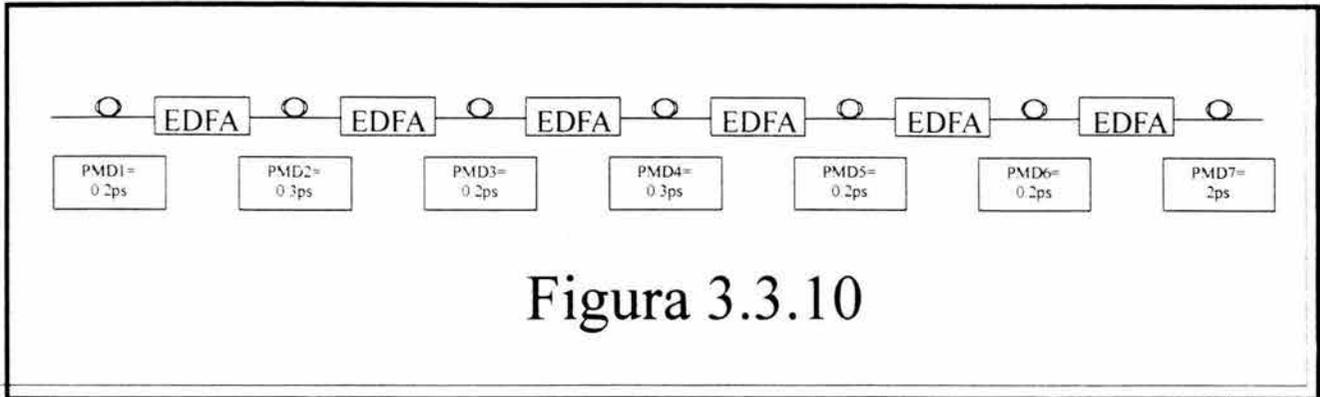


Figura 3.3.10

Figura 3.3.10 PMD medido en los siete segmentos de un enlace de fibra.

Se tiene:

$$PMD = \sqrt{PMD1^2 + PMD2^2 + \dots + PMDn^2}$$

$$PMD = \sqrt{0.2^2 + 0.3^2 + 0.2^2 + 0.3^2 + 0.2^2 + 0.2^2 + 2^2}$$

$$PMD = 2.08 \text{ ps}$$

En el ejemplo se tienen 6 segmentos con valores muy cercanos (0.2 y 0.3) pero el séptimo tiene un PMD de 2 ps, el PMD total es de 2.08 ps. Observa que la sección con alto PMD predomina en el valor total de PMD. Siempre deben de medirse todos los tramos de fibra para verificar que todos los valores sean congruentes.

¿ Con qué se mide el PMD?

Para medir el PMD se utiliza un analizador de PMD y una fuente de luz láser sintonizada a 1550nm. La fuente de polarización se conecta en el extremo remoto de la fibra y el analizador en el extremo cercano. No es necesaria la comunicación entre los dos puntos, pero la fuente debe encenderse antes de arrancar la adquisición. Para obtener el coeficiente de PMD se debe introducir el valor de distancia que se mide con el OTDR.

El valor instantáneo de PMD para una longitud de onda específica puede variar con respecto al tiempo, sin embargo los equipos de medición incorporan técnicas que en el campo muestran un valor de PMD relativamente estable.

¿Cuáles son los valores permitidos de PMD?

La UIT-T propone los siguientes valores máximos de PMD en función de la velocidad que se transporta en el canal óptico y poder mantener una tasa de errores aceptable:

- Para 2.5 Gb/s (STM-16) el PMD máximo es de 40 ps.
- Para 10 Gb/s (STM-64) el PMD máximo es de 10 ps.

El Proveedor Nortel utiliza el siguiente criterio práctico para sus presupuestos de PMD en un enlace:

- Para 2.5 Gb/s (STM-16) el PMD debe ser menor de 13 ps.
- Para 10 Gb/s (STM-64) el PMD debe ser menor de 4 ps.

Estos valores corresponden al PMD del enlace total y se calculan utilizando la regla de concatenación. Nortel asegura que ha tenido éxito utilizando este criterio en la instalación de más de 1000 terminales STM-64.

¿Cómo disminuir el PMD de un enlace de F.O.?

Es importante verificar el adecuado valor del PMD, sobretodo si el PMD total se encuentra cerca de los límites tolerados o existen demasiadas conmutaciones al equipo de protección de los sistemas STM-16, STM-64 o DWDM que transporte estas velocidades. Las soluciones para los casos de PMD alto se listan a continuación:

1. Reducir los presupuestos de potencia de las secciones de fibra
 - Para PMD entre 4 y 9 ps , reducir el presupuesto de potencia por 1 dB en cada sección.
 - Para PMD entre 9 y 14 ps , reducir el presupuesto de potencia por 2 dB en cada sección.
2. Para PMD mayor a 14 ps. las terminales deben tener circuitos de corrección de errores FEC (sólo para el STM-64), e incorporar protección en el sistema considerando que por lo menos va a existir un corte al año.
3. Reducir el número de secciones.
4. Para PMD mayores a 22 ps el BER es peor que 10^{-8} , por lo que lo recomendable es cambiar secciones de cable de fibra óptica o todos los cables de la fibra del enlace.

Efectos no lineales

Es importante entender los principales efectos no lineales que aparecen en las fibras ópticas para comprender la necesidad de los nuevos tipos de fibra que se requieren para que los sistemas DWDM trabajen adecuadamente.

Los efectos no lineales en las fibras ópticas tienen efectos similares como los comportamientos no lineales en otros sistemas físicos, sean mecánicos o electrónicos. Causan la generación de falsos armónicos por la suma y diferencia de frecuencias. Estas señales agregadas causan pérdidas inesperadas en las redes ópticas de comunicaciones.

Los efectos no lineales que más perjudican el desempeño de la fibra óptica son:

- Modulación de auto-fase.
- Modulación de fase cruzada.
- Mezclado de cuatro ondas (FWM).

Modulación de auto-fase

Es la modulación sobre la propia fase de la señal óptica cuando la intensidad de la señal láser es demasiado alta. Esta modulación ensancha o comprime la señal, dependiendo del signo (positivo o negativo) de la dispersión cromática.

En DWDM el ensanchamiento espectral creado por la modulación de auto-fase en un canal óptico interfiere con los canales adyacentes.

La modulación de auto-fase se incrementa con:

- Un incremento en la potencia inyectada en el canal.
- Incremento en la velocidad del canal.
- Dispersión cromática negativa.

En DWDM la modulación de fase es más problemática en fibras G.692 (dispersión cero a 1310nm) que en las fibras de dispersión corrida o en las NZDSF.

La modulación de auto-fase se decrementa con:

- Dispersión cromática cero o con un pequeño valor positivo.
- Incrementando el área efectiva de la fibra.
- Compensando la dispersión.

Modulación de fase cruzada

En este tipo de modulación en la fibra óptica la señal de un canal modula la fase del canal adyacente.

La modulación de fase cruzada es sensible a los mismos factores que la modulación de auto-fase, así como al incremento en el número de canales, no se afecta por la disminución en el espaciado de canales.

La modulación de fase cruzada se disminuye con:

- El incremento del área efectiva.
- Compensación de la dispersión.

La modulación de fase cruzada no es tan importante cuando los sistemas DWDM se instalan en fibras de área efectiva grande como la fibra tipo LEAF.

Efecto FWM

El mezclado de cuatro ondas (Four wave mixing) es uno de los efectos no lineales que ocasionan más trastornos en los sistemas WDM. ya se había comentado en el capítulo 3.1 que se produce cuando la intensidad de la señal láser alcanza niveles críticos y aparecen señales fantasmas en el espectro óptico una vez que la señal pasa a través de la fibra de dispersión cero. Estas señales pueden confundirse con los verdaderos canales y ocasionar graves problemas de interferencia en el receptor.

Es muy crítico en sistemas que utilizan fibras de dispersión corrida G.653. Su efecto se anula utilizando fibras de dispersión no cero NZDSF (G.655) y fibras de área efectiva grande (Ejemplo utilizando fibras LEAF del fabricante Corning).

3.3.5 Parámetros de amplificadores ópticos

Introducción

Los amplificadores ópticos EDFA's son muy importantes para la operación económica de las redes DWDM. Debido a que proveen amplificación transparente para todos los canales sin considerar los esquemas de modulación o protocolos de las señales que transportan. El amplificador óptico permite que la señal óptica se transmita a través de largas distancias sin necesidad de recuperar y regenerar la señal transportada.

La ganancia es la función esencial de un amplificador, la **amplificación óptica** es uno de los parámetros más importantes medir. La ganancia depende de muchos parámetros que, **separadamente o juntos**, pueden modificar la actuación del dispositivo. La ganancia varía con la longitud de onda de la señal, estado de polarización de entrada, y potencia. Los parámetros más críticos de un amplificador óptico son:

- Ganancia
- Potencia de salida
- Emisión amplificada espontánea (ASE)
- La figura de ruido (NF)

Ganancia

La ganancia varía con la longitud de onda de la señal, estado de polarización de entrada, y potencia. En la curva de ganancia de la figura 3.3.11 se muestran las características de ganancia a través del espectro de 8 canales, el cual cambia dependiendo de la relativa potencia de entrada de cada canal.

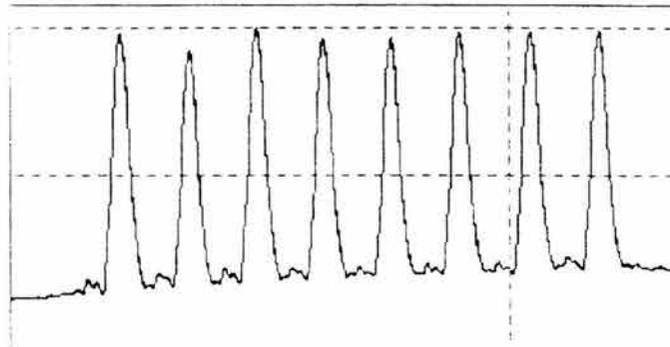


Figura 3.3.11

Figura 3.3.11 La ganancia puede variar de un pico a otro

La ganancia se obtiene mediante la relación de la potencia de salida menos la potencia de ruido (ASE) dividida entre la potencia de entrada al amplificador.

Potencia de salida

Para altas potencias de entrada el amplificador óptico trabaja en la región de saturación del amplificador donde para un rango de niveles de potencia de entrada se tiene una potencia de salida constante. En la figura 3.3.12 se muestra que a partir del nivel de entrada de -9 dBm la potencia de salida es constante.

La región de compresión de amplificación permite la regulación de las bajas potencias de entrada cuando se produce una redistribución temporal de la potencia de entrada debido a la inserción o extracción de un canal en el sistema DWDM.

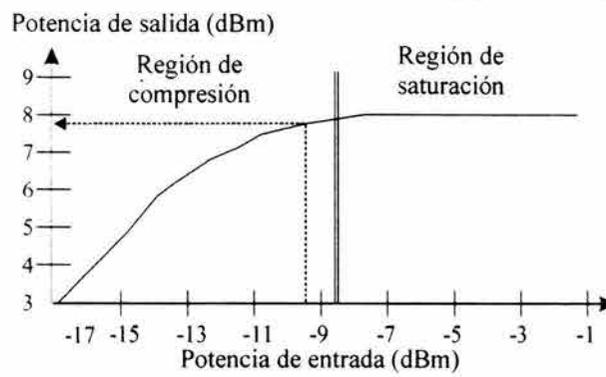


Figura 3.3.12

Figura 3.3.12 Relación de la potencia de entrada y salida de amplificador

En la figura 3.3.13 se observa que la potencia óptica disminuye a lo largo de la fibra y que los puntos de amplificación óptica compensan las pérdidas en la fibra óptica.

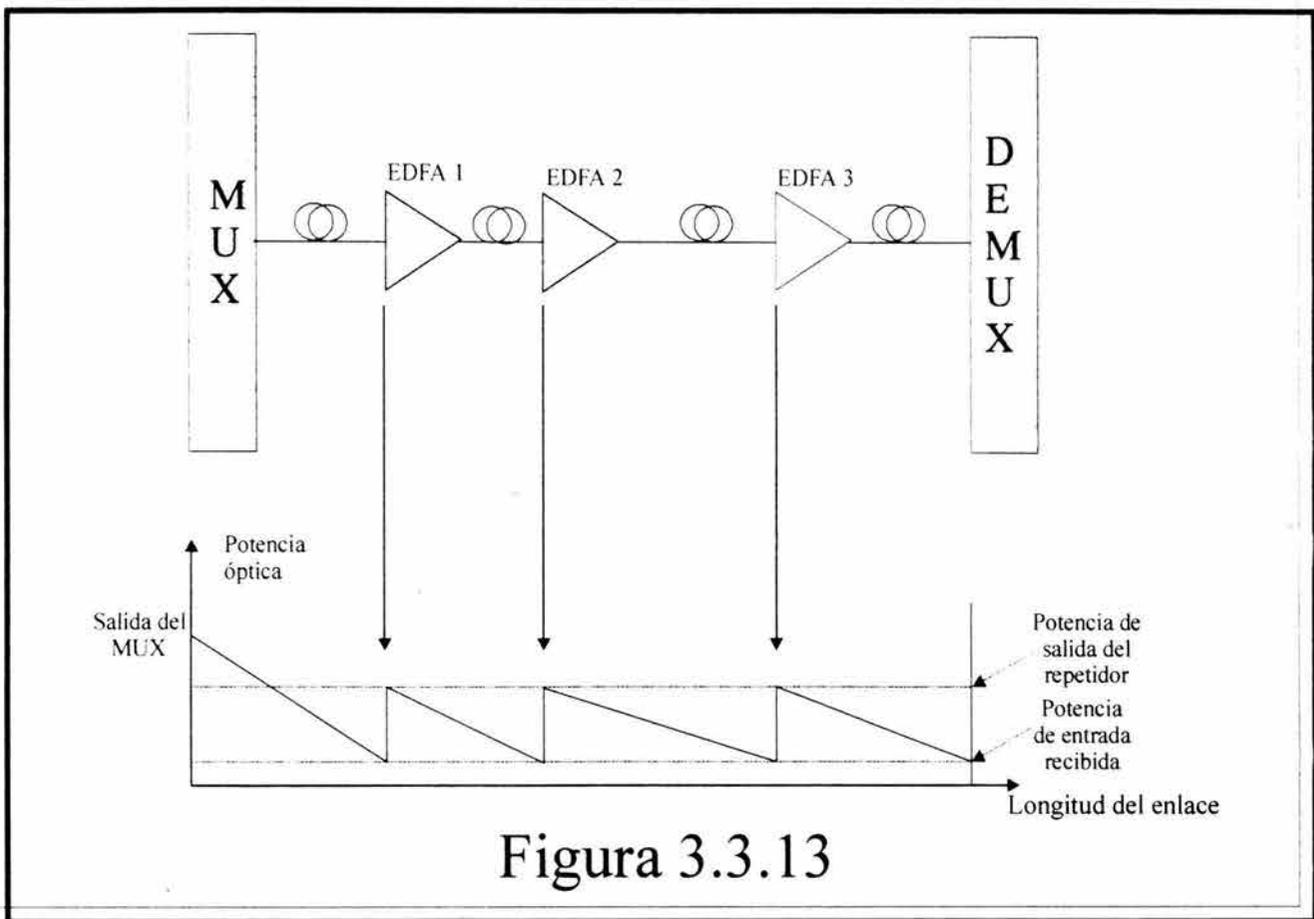


Figura 3.3.13

Figura 3.3.13 Potencia óptica a través del enlace óptico

Amplificación de emisión espontánea (ASE)

La principal fuente de ruido de un amplificador óptico es la amplificación de emisión espontánea (ASE). Esta emisión de ruido es producida cuando se logra la amplificación en la fibra dopada con erbio y se transmite en ambas direcciones dentro de la fibra.

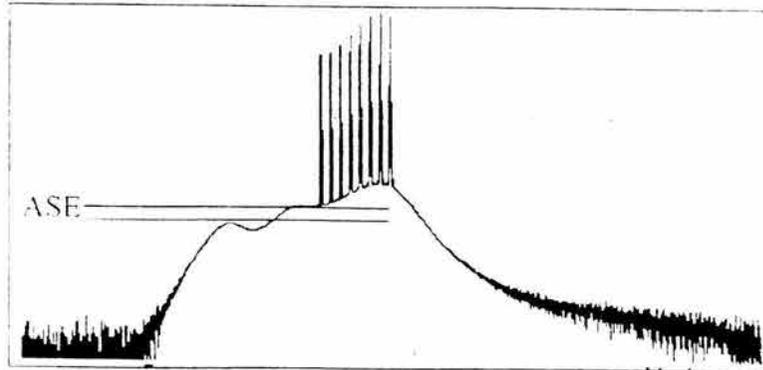


Figura 3.3.14

Figura 3.3.14 Relación de la potencia de entrada y salida de amplificador

La contribución de la ASE en las regiones de operación de un amplificador óptico no es significativa, sin embargo en un enlace muy largo donde se tenga una gran cantidad de repetidores la contribución de ruido puede ser significativa y limitaría el alcance máximo.

Figura de ruido

La figura de ruido (Noise Figure NF) se define como la degradación de la SNR (relación señal a ruido) de la señal después de pasar a través del amplificador óptico. Frecuentemente existe confusión en este punto ya que la SNR a que se refiere es en términos de la radio frecuencia (RF), es decir la banda base de la señal que lleva la información, y no directamente la relación señal a ruido óptica (OSNR) de la portadora óptica que se observa con el analizador de espectros ópticos.

Este valor es una especificación del fabricante del amplificador, y normalmente se tiene valores menores a 8 dB.

3.3.6 Análisis de espectros ópticos

Introducción

Ya hemos definido los principales parámetros críticos de todos los elementos de un sistema DWDM. Ya tenemos una noción clara de los efectos que inducen en el sistema y como podemos corregirlos. Es un buen momento para hacer una recapitulación de dichos parámetros de una manera más clara.

En este apartado describiremos la interpretación del espectro óptico de las señales en un sistema DWDM.

¿Qué es un espectro óptico?

El espectro óptico es una representación gráfica de los portadores ópticos (longitudes de onda) de un sistema multicanal DWDM. Se analiza con un Analizador de Espectros Ópticos (OSA).

El analizador de espectros (OSA) puede dividir una señal de luz compuesta por varias longitudes de onda y medir la potencia de estas longitudes de onda. Los resultados de la medición son desplegados gráficamente con la longitud de onda sobre el eje horizontal y la potencia sobre el eje vertical.

En la figura 3.3.15 se muestra una pantalla típica de un analizador de espectros ópticos:

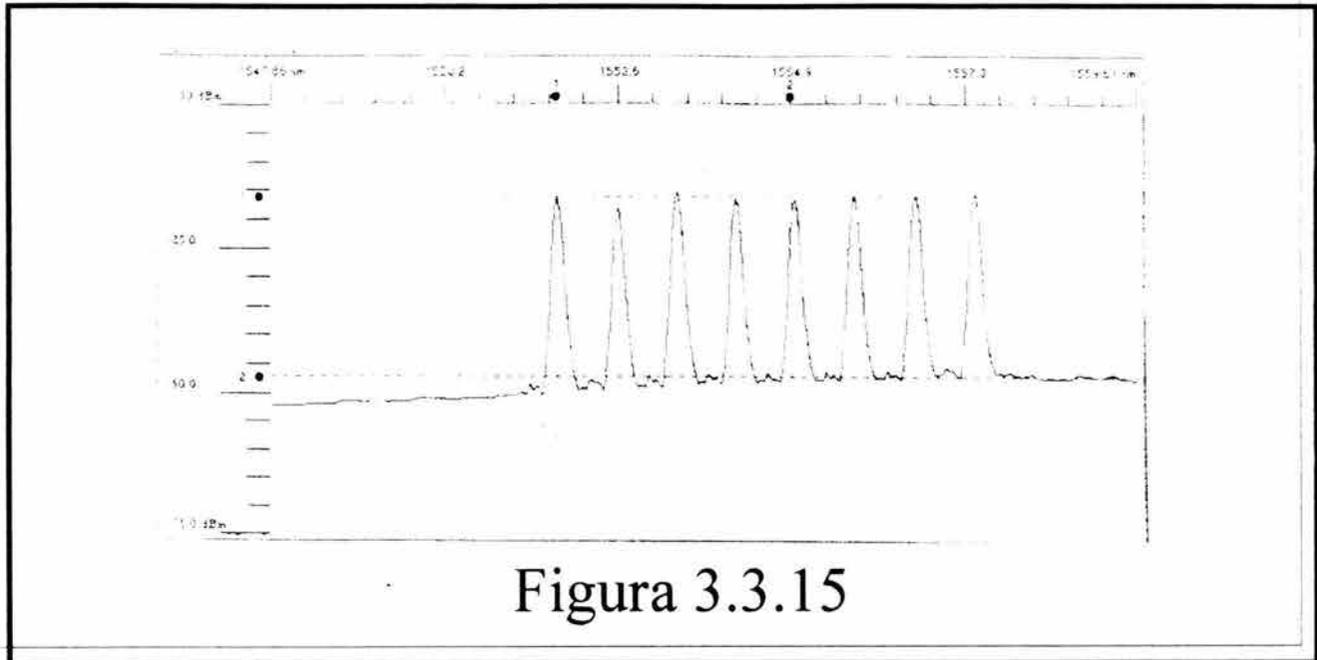


Figura 3.3.15 Espectro óptico DWDM de 8 longitudes de onda

¿Para que sirve analizar un espectro óptico?

Nos permite identificar las características propias de cada uno de los canales ópticos para que basándose en esto se pueda determinar el mal funcionamiento de algún elemento del sistema DWDM.

¿En qué partes del sistema DWDM puedo analizar el espectro óptico?

El espectro se puede analizar en cualquier punto a lo largo del enlace DWDM, tal como se muestran en la figura 3.3.16

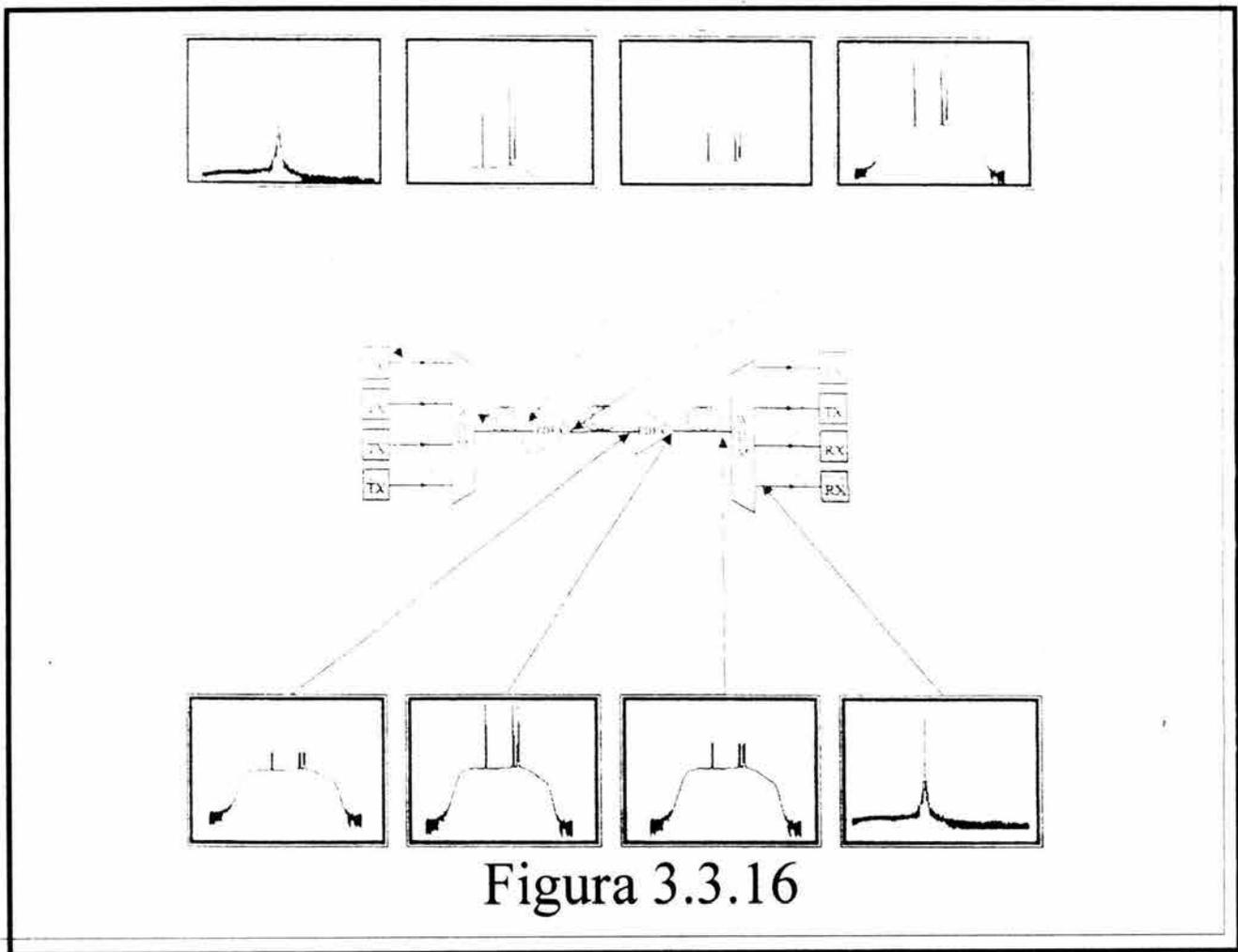


Figura 3.3.16

Figura 3.3.16 Puntos en los que se puede monitorear el espectro óptico.

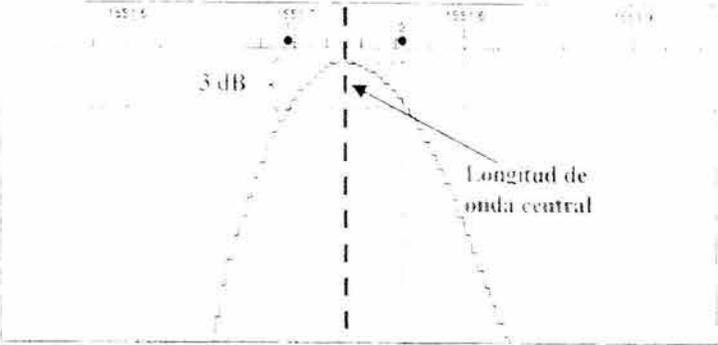
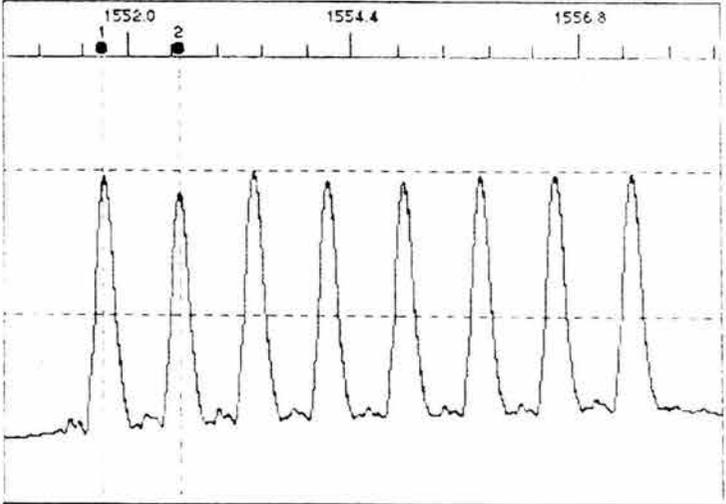
¿Qué mediciones puedo hacer con el OSA?

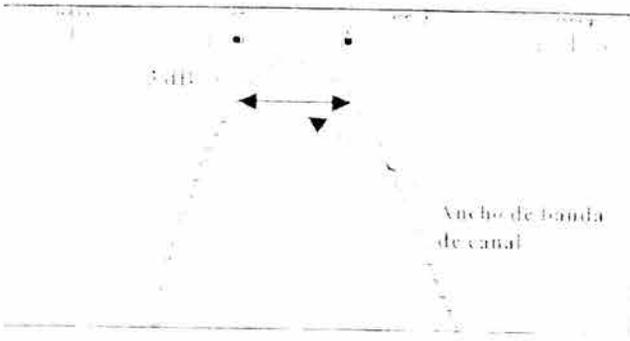
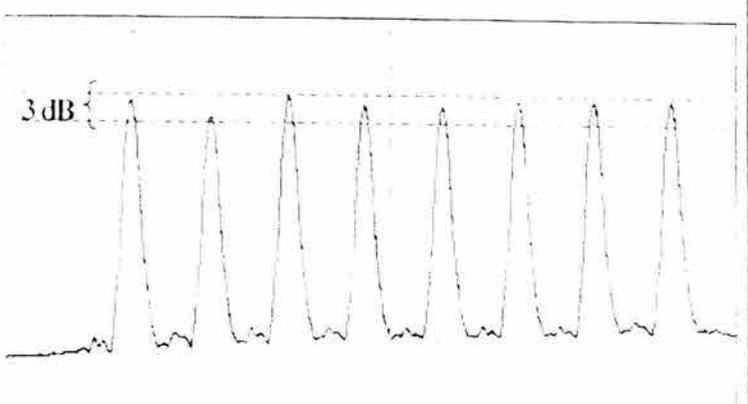
A continuación listamos las mediciones que con este equipo podemos realizar.

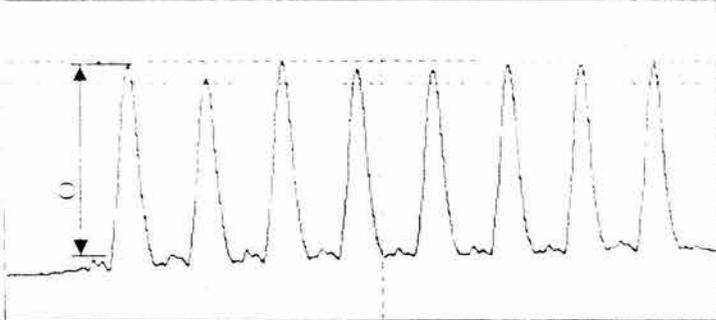
- Longitud de onda central de cada canal
- Espaciamiento de canales
- Ancho de banda de canal
- Uniformidad de canales
- Relación señal a ruido óptica (OSNR)
- Diafonía
- Potencia de cada canal
- Potencia óptica total

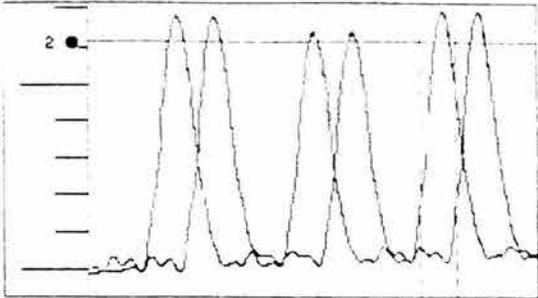
¿Qué valores típicos espero medir con un OSA?

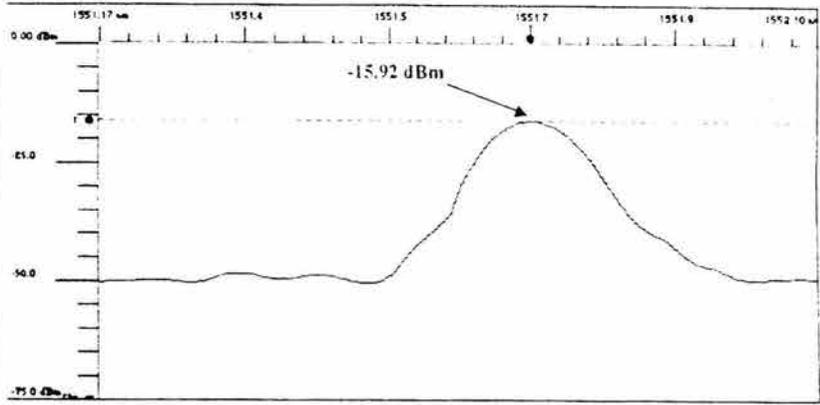
A continuación listamos los valores típicos que se deben de medir cuando se utiliza el OSA.

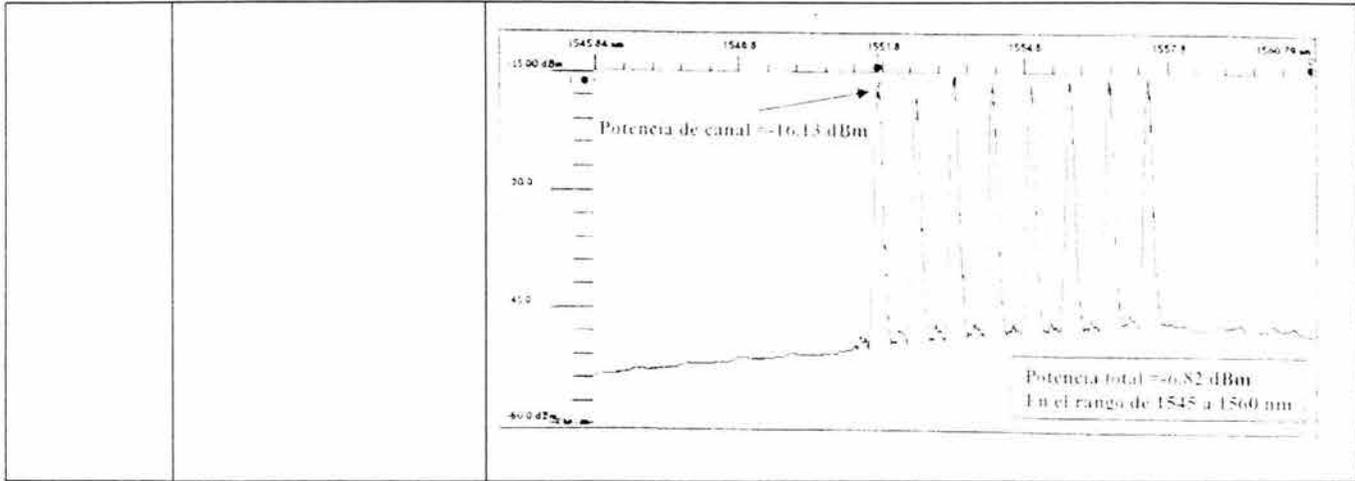
Parámetro	Valores típicos	Gráfico
Longitud de onda central de cada canal	<ul style="list-style-type: none"> • De acuerdo al plan de frecuencias elegido por el fabricante según la recomendación G.692 de la UIT-T. • La desviación permitida también la especifica el fabricante. 	<p>La longitud de onda central se define como longitud de onda en el punto medio de 3 dB abajo del pico de potencia. Tal como se indica en la siguiente figura:</p> 
Espaciamiento de canales	<p>De acuerdo a la UIT-T G.692</p> <ul style="list-style-type: none"> • 100 GHz ó 0.78nm • 50 GHz ó 0.39nm • 25 GHz ó 0.19nm • También se pueden utilizar separaciones irregulares de valores mayores. 	<p>La separación de los canales WDM es la separación mínima que debe de existir entre las longitudes de onda central de canales adyacentes en un sistema WDM.</p> 

Parámetro	Valores típicos	Gráfico
El ancho de banda de canal	<ul style="list-style-type: none"> El valor debe ser mucho menor que el espaciamiento de canal, por ejemplo en el caso de un espaciamiento de 0.78 nm (0.8nm) el ancho espectral debe ser menor que 0.2 nm. 	<p>El ancho de banda de cada canal se refiere al ancho espectral situado a 3 dB abajo del pico de potencia.</p> 
Uniformidad de canales	<ul style="list-style-type: none"> La máxima variación permitida es de 3dB. 	<p>La uniformidad de la potencia de salida de un multiplexor es la variación pico a pico en las potencias de todos los canales medidos con un analizador de espectros.</p> 

Parámetro	Valores típicos	Gráfico
Relación señal a ruido óptica (OSNR)	<ul style="list-style-type: none"> Mayor a + 18 dB en cualquier punto de salida del sistema DWDM. El Fabricante especifica los valores en cada punto. 	<p>Para medir la OSNR en un espectro óptico es necesario medir desde la parte más alta del pico de potencia hasta la plataforma de ruido de cada canal recibido.</p> 

		El ruido óptico no se puede medir en forma directa por eso se obtiene en función de dos puntos de prueba seleccionados dentro de la longitud de onda.
Diafonía	<ul style="list-style-type: none"> Cuando es necesario medir la diafonía se debe utilizar una fuente láser sintonizable de alta precisión y verificar la inducción sobre la longitud de onda seleccionada. El fabricante especifica el valor de diafonía máxima 	<p>Verificando que no existan corrimientos de la longitud de onda central de cada canal y que el ancho espectral de cada canal sea el correcto se asegura que la diafonía entre canales sea mínima. Cuando se sospecha que un canal tiene diafonía se debe apagar el canal y observar en la longitud de onda central del canal a investigar si aparecen inducciones de otros canales.</p> 

Parámetro	Valores típicos	Gráfico
Potencia de cada canal	Se debe verificar este valor de acuerdo a las especificaciones del fabricante del equipo.	<p>La potencia de cada canal se debe medir utilizando el analizador de espectros ópticos (OSA) y de ser necesario a través de un atenuador variable, considerando las pérdidas de inserción del equipo de medición.</p> 
Potencia óptica total	Se debe verificar este valor de acuerdo a las especificaciones del fabricante del equipo.	La potencia óptica total se obtiene sobre un rango de longitudes de onda como si fuera un medidor de respuesta plana. En esta medición también se incluye la potencia del nivel de ruido.



¿Cuál es el periodo de mantenimiento recomendado para sistemas DWDM?

Los componentes de los sistemas DWDM son muy confiables debido a que en la actualidad el transporte de información ya ha superado los 1.3 Tb/s. Sin embargo es recomendable verificar las etapas más críticas del sistema de acuerdo a la siguiente recomendación.

- Pruebas de alarma cada 4 meses
- Niveles del sistema y prueba de EDFA cada 6 meses
- MUX/DEMUX prueba cada 12 meses
- Prueba de Transmisores y Receptores cada 16 o 18 meses.

Es muy importante también el monitoreo constante del sistema a través de los sistemas de gestión desde los centros de administración correspondientes CNS o CAR.

3.4 Soluciones de DWDM

3.4.1 Solución DWDM "ERION" del proveedor Ericsson

Introducción

La solución DWDM "ERION" consiste de un completo rango de productos DWDM que minimiza costos ya que permite el uso de equipo de transporte existente mediante la multiplexación de la capacidad por fibra óptica y además ofrece protección integral de la capa óptica.

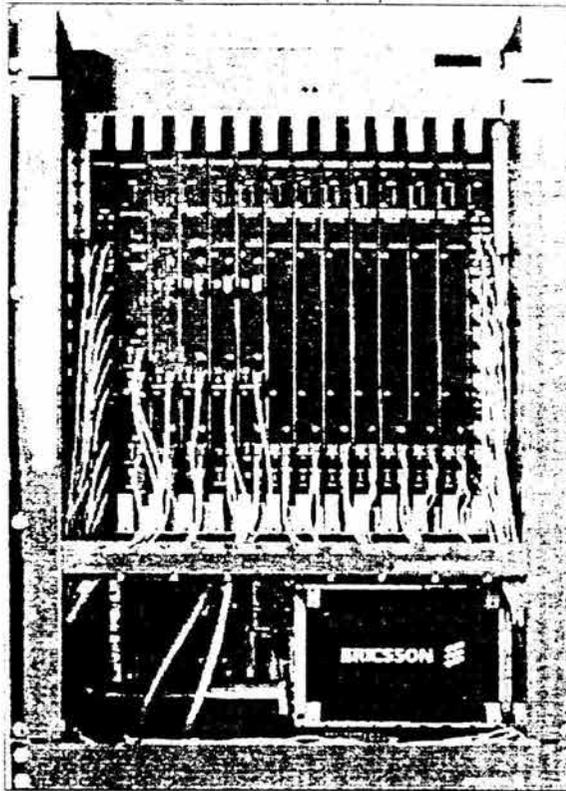


Figura 3.4.1

Figura 3.4.1 Frente de bastidor Solución Erion

Es totalmente compatible con las interfaces de fibra de Telmex como son PDH y SDH.

Provee un rango de soluciones que van desde accesos metropolitanos hasta aplicaciones de larga distancia. Ofrece características dinámicas tales como Cross conexión óptica y ADM's ópticos, habilitando la entrada a una red realmente óptica. Ofrece la siguiente línea de productos:

- ERION Linear
- ERION Metro
- ERION Flex ring
- ERION OXC.

ERION Linear

Diseñado para aplicaciones punto a punto, bus y anillo. Puede multiplexar y demultiplexar hasta 64 señales SDH/SONET, switch ATM. Routers IP, etc.

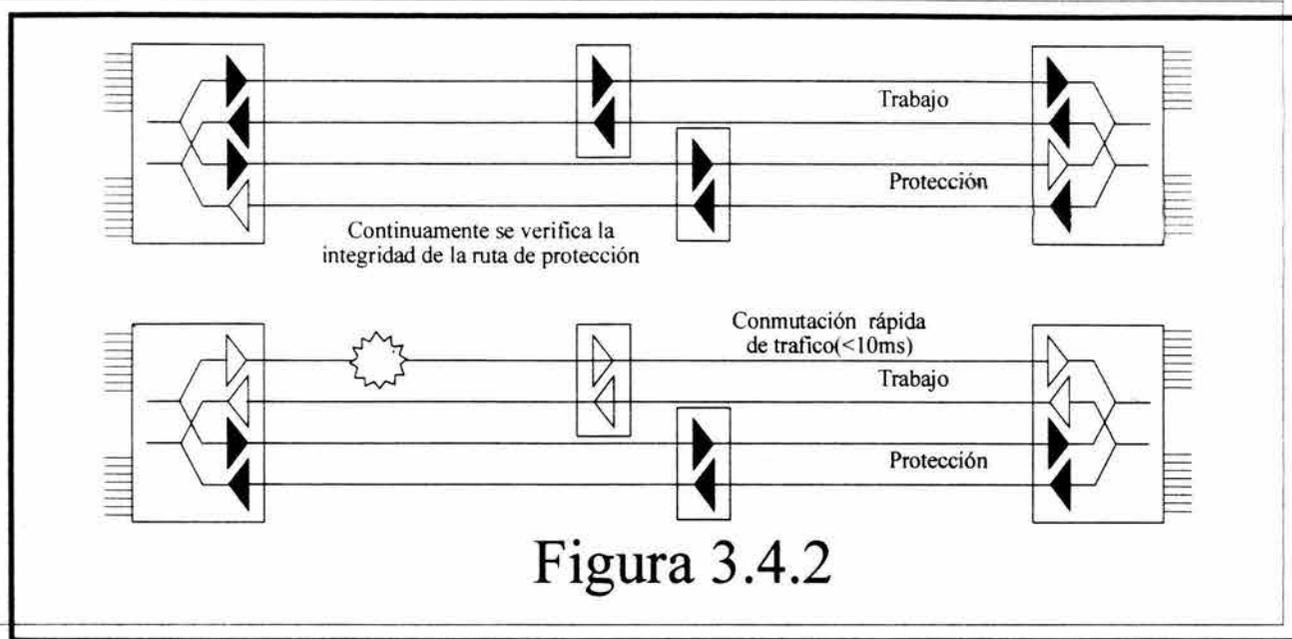


Figura 3.4.2

Figura 3.4.2 Protección de la sección de multiplex óptico 1+1 para Erion Linear

Las características principales se listan a continuación:

- Protección de la sección de multiplex óptico 1+1.
- Longitud de la ruta de alcance medio 300 Km Y hasta 600 Km de largo alcance sin conexión en cascada. Con conexión en cascada permite distancias hasta de 2000 Km,
- Canal óptico de supervisión a 1510 nm de acuerdo a la recomendación G.692 de la UIT-T.
- Plataforma común para aplicaciones de corta, media y larga distancia.
- Sin afectación del tráfico por la adición de señales de nuevos clientes.
- Modular para 16, 32, 48 Y 64 canales;
- Regulación avanzada de potencia de canal.
- Transponder multirate de 100 Mb/s, 2.5 Gb/s, 10 Gb/s, ATM, SONET/SDH, IP, Giga Ethernet, PDH, etc.
- Gestión local avanzada y gestión de red DWDM.

ERION Metro

ERION metro es una aplicación donde las longitudes y circunferencias de los anillos son cortas (típicamente de 10 a 100 Km). La principal diferencia con ERION Linear y FlexRing es la ausencia de amplificadores ópticos. Se ofrecen los siguientes sistemas:

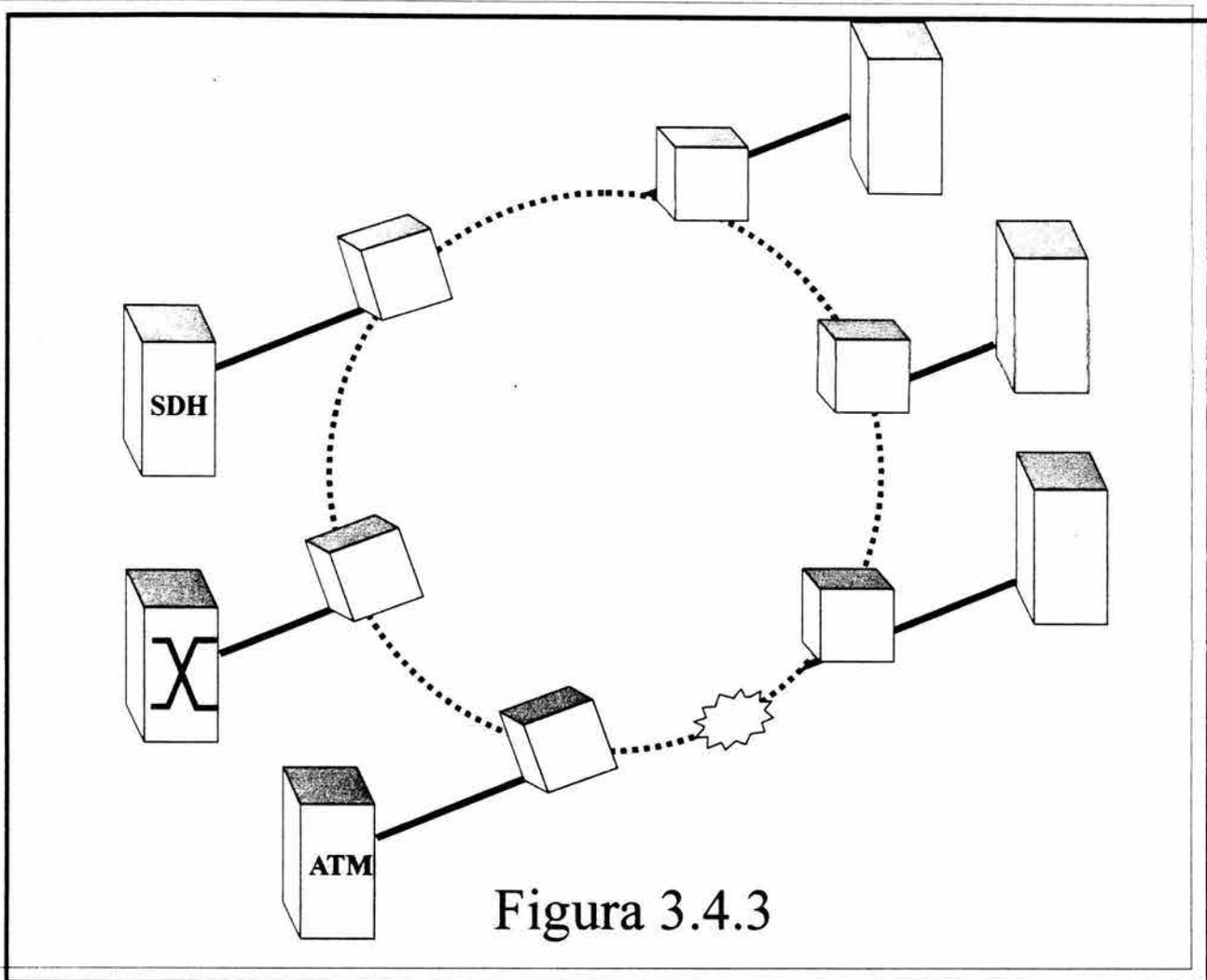


Figura 3.4.3 Solución Erion Metro

- *Super Compact OADM* para nodos donde la densidad de tráfico es baja.
- *Médium Access OADM* para nodos donde el tráfico es relativamente alto o para anticipar la demanda de extracción de más tráfico.
- *Hub* el sistema permite que todo el tráfico del anillo sea extraído en un sitio.

Se pueden utilizar amplificadores ópticos para incrementar la circunferencia del anillo. A continuación se listan las características principales:

- 8 a 10 nodos dependiendo del patrón de tráfico.
- Circunferencia de anillo hasta de 100 Km.

- Canal de supervisión óptico opcional a 1510 nm.
- Canal de protección óptico selectivo.
- Máximo 32 canales dentro de la banda C.
- Longitudes de onda reutilizables en nodos OADM.
- Sin afectación del tráfico por adición de nodos.
- Transponder multirate de 100 Mb/s, 2.5 Gb/s, 10 Gb/s, ATM, SONET/SDH, IP, Giga Ethernet, PDH, etc.
- Gestión local avanzada y gestión de red DWDM.

ERION FlexRing

Es una solución de anillo de 2 fibras ópticas, los canales de tráfico se pueden insertar y extraer en cualquier nodo del anillo. El concepto FlexRing aumenta la confiabilidad de los anillos OADM. Todas las longitudes de onda o canales son enrutados simultáneamente alrededor del anillo de esta manera se eliminan restricciones en el patrón de tráfico aplicado. El nodo recibe desde ambas direcciones, así aunque exista un segmento de anillo inactivo se asegura que una trayectoria exista entre los puntos finales de un canal.

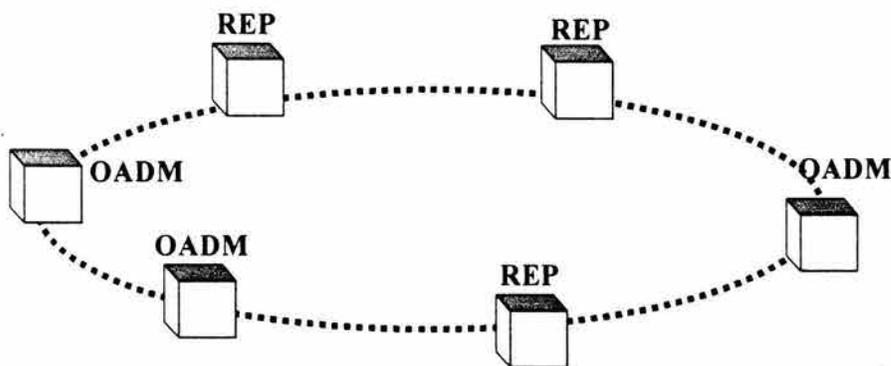


Figura 3.4.4

Figura 3.4.4 Solución Erion FlexRing

Cuando un segmento de anillo físico es desactivado el anillo se convierte en un bus lógico. La localidad del segmento inactivo es controlada por el OADM y puede ser cambiada alrededor del anillo, por lo tanto se generan diferentes rutas de tráfico alrededor del anillo. El anillo se reconfigura a sí mismo, de esta manera el segmento inactivo rodea la falla.

A continuación se listan las principales características de FlexRing:

- Protección de anillo óptico y autónomo.

- 3 a 8 nodos hasta de 530 Km. de circunferencia.
- Supervisión óptica en el canal de 1510 nm de acuerdo a la G.692.
- Sin afectación del tráfico al adicionar o remover señales de clientes y al agregar o extraer en todo el anillo.
- Esquema de regulación avanzada de potencia óptica por canal.
- Transponder multirate de 100 Mb/s, 2.5 Gb/s, 10 Gb/s ATM, SONET/SDH, IP, Giga Ethernet, PDH, etc.
- Gestión local avanzada y gestión de red DWDM.

ERION OXC

En su primer etapa tiene como objetivo interconectar y restaurar subredes metropolitanas con la línea de productos ERION.

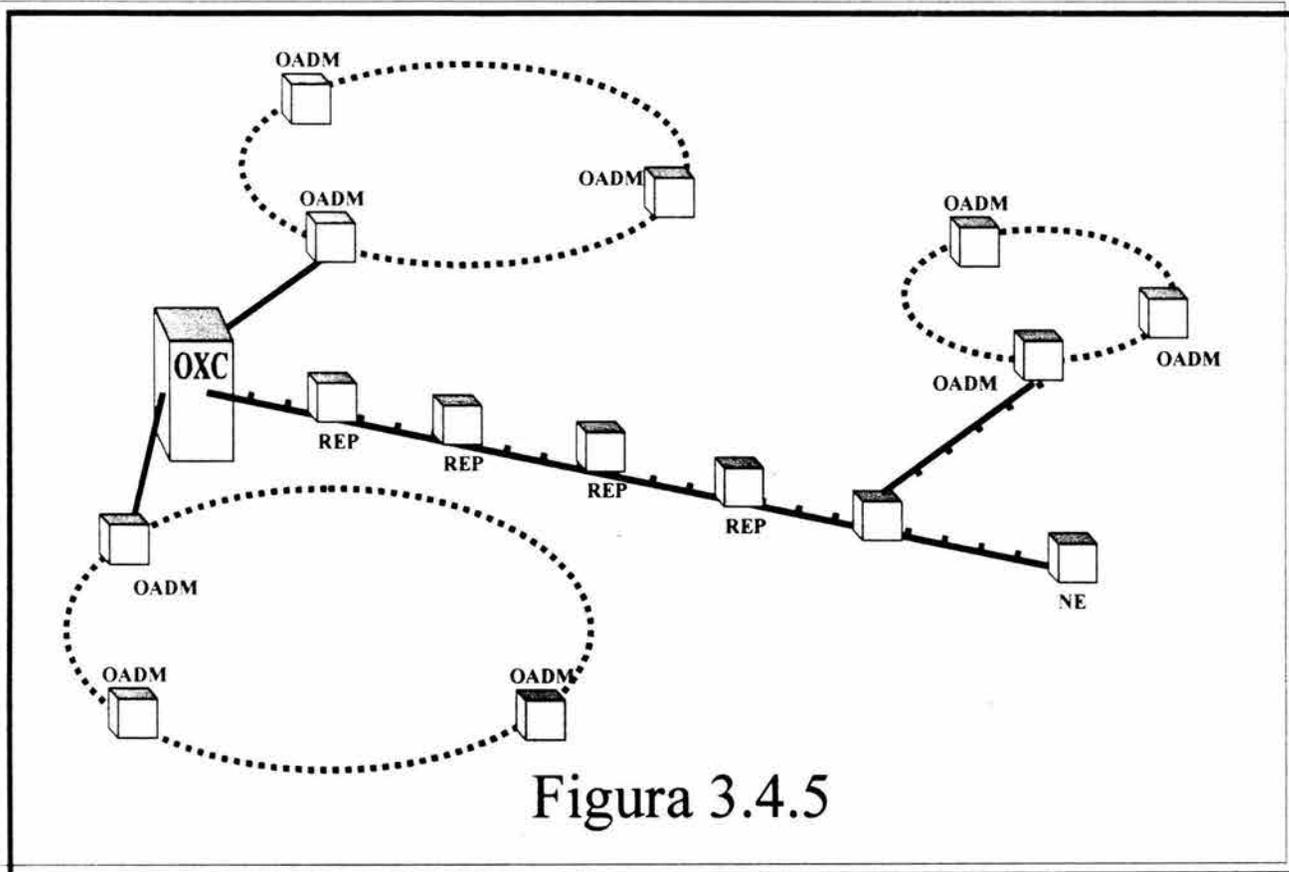


Figura 3.4.5 Solución Erion OXC

Tiene las siguientes características básicas:

- Extremadamente compacto y confiable.
- Interfaces ópticas.
- Núcleo conmutador eléctrico con 16 interfaces bidireccionales.
- Velocidad de bit transparente.

- Núcleo conmutador duplicado.

Datos técnicos

A continuación se listan los principales datos técnicos del sistema "ERION".

Sistema	Características	
ERION Linear	Capacidad, max	320 Gb/s (32 x 10 Gb/s)
	Espaciamiento de canales	100 GHz/50 GHz (UIT-T G.692)
	Cantidad de canales	16/32/48/64
	Configuraciones	corta longitud 100 Km. media longitud 300 Km. larga distancia 600 Km.
ERION FlexRing	Capacidad, max	320 Gb/s (32 x 10 Gb/s)
	Espaciamiento de canales	100 GHz/50 GHz (UIT-T G.692)
	Cantidad de canales	16/32
	Configuraciones	hasta 500 Km de circunferencia
ERION Metro	Capacidad, max	320 Gb/s (32 x 10 Gb/s)
	Espaciamiento de canales	200 GHz/100 GHz (UIT-T G.692)
	Cantidad de canales	16/32
	Configuraciones	hasta 100 Km de circunferencia

Fibras soportadas

Monomodo G.652

Fibra de dispersión no cero G.655

Dispersión corrida G.653

BER del sistema

La tasa de errores de sistema es menor a $1 \cdot 10^{-12}$

Acceso al cliente

A continuación se listan las características de interfaz abierta para el cliente:

Acceso	Descripción
Tipo de fibra del cliente	Monomodo o multimodo
Longitud de onda aceptada	1260-1580 nm
Velocidades aceptadas	100 Mb/s-2.5 Gb/s, 10 Gb/s (transponder multirate).
Señales soportadas	SONET (OC-3, OC-12, OC-48, OC-192) SDH (STM-1, STM-4, STM-16, STM-64) PDH (140 Mb/s, 565 Mb/s) Datacom (Giga Ethernet, ESCON, IP, ATM, etc.)

Gestión

Para la gestión de elemento y de red se utiliza el Gestor de redes IMA ERION de Ericsson.

OAM&P

Para el aprovisionamiento, operación, mantenimiento y Gestión se tienen las siguientes facilidades:

- Desempeña monitoreo G.826, de la trayectoria a través de B1/J0 sobre un STM-16.
- Inventario de longitud de onda
- Visor de capa óptica
- Gestión de falla, configuración, desempeño y seguridad.
- Carga y descarga de configuración.
- Inventario de red.
- Descubrimiento automático de nodo.
- Descarga de conmutación.

Alarmas

Unidad de alarmas externas 32 entradas, 16 puertos de salida.

Canal de servicio telefónico

Canal óptico de supervisión (OSC) a 1510 nm.

3.4.2 Solución DWDM “OPTERA Long Jul 1600” de “NORTEL”

Especificaciones técnicas

Otro de los proveedores que actualmente ofrecen soluciones para DWDM es NORTEL con el sistema OPTERA Long Haul 1600.

A continuación se listan las especificaciones técnicas de este sistema, donde igual que en la solución "ERION" de Ericsson se provee principalmente las siguientes facilidades:

- Interfaces de cliente abiertas
- La protección óptica del sistema
- Interfaces de gestión local y a través de redes de datos
- Configuraciones en anillo y punto a punto
- Alarmas ambientales

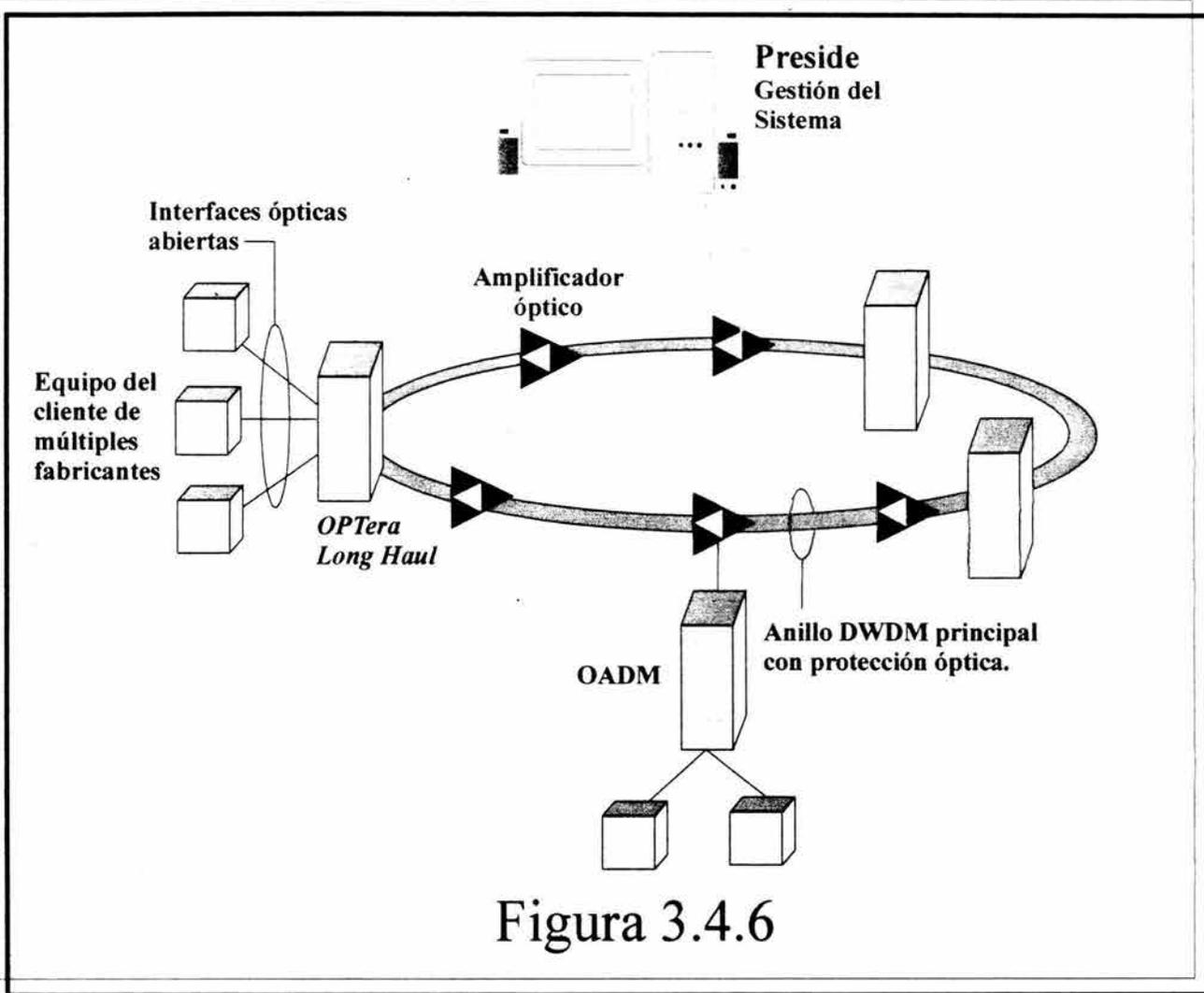


Figura 3.4.6

Figura 3.4.6 Arquitectura de la solución OPTERA Long Haul.

Servicios soportados

- Hasta 160 x 10 Gbps = 1.6 Tb/s
- Hasta 640 x 2.5 Gbps, maximizados mediante combinadores en una sola tarjeta y velocidad de 10 Gps.
- Hasta 1280 x 1.25 Gbps (Giga-Ethernet) maximizado para 10 Gbps.
- Hasta 160 x 10 Giga-Ethernet
- Soporta empaquetadores de datos digitales

Configuraciones soportadas y protección

A continuación listamos las configuraciones soportadas por la solución OPTERA Long Haul:

- Bidireccionales y unidireccionales
- Protección óptica unidireccional 1 + 1 no revertiva

- Punto a punto sin protección
- Anillos SONET/SDH
- Conectividad con la familia OPTERA.

Conectores ópticos

- Fibra monomodo conectores FC, ST y SC

Sincronización

- Mensajes de estado de sincronización
- Protección de temporización 1 + 1 no revertiva
- Temporización de BITS
- Interfase de sincronización externa (ESI)
- Detección de desviación de temporización
- Permite hasta cinco fuentes de temporización.

Interfaces de mantenimiento

- Gestión local puerto RS232 DB9
- Interfase TL1
- Canal de servicio con puerto PSTN y Ethernet
- Alarmas de bastidor, indicadores visuales y contacto NA y NC
- Alarmas de telemetría de entrada y salida
- Interfaces de operación TL1 sobre X.25 Ethernet TCP/IP

3.4.3 Solución DWDM "1686 WM" de Alcatel

Introducción

El Alcatel 1686 WM es un sistema de transmisión punto a punto para redes de larga distancia con capacidad de amplificación óptica en línea. Provee la capacidad de multiplexación de 16 canales STM-16. Cada canal se asocia con una longitud de onda fija dentro de la tercera ventana (1550 nm). En un repetidor con una unidad OADM se pueden insertar o extraer canales.

Los componentes básicos de un sistema de línea 1686 WM son:

- Equipo terminal de línea (LTmcs)
- Equipo repetidor óptico (nrREP)
- Equipo repetidor OADM (OADM_REP)

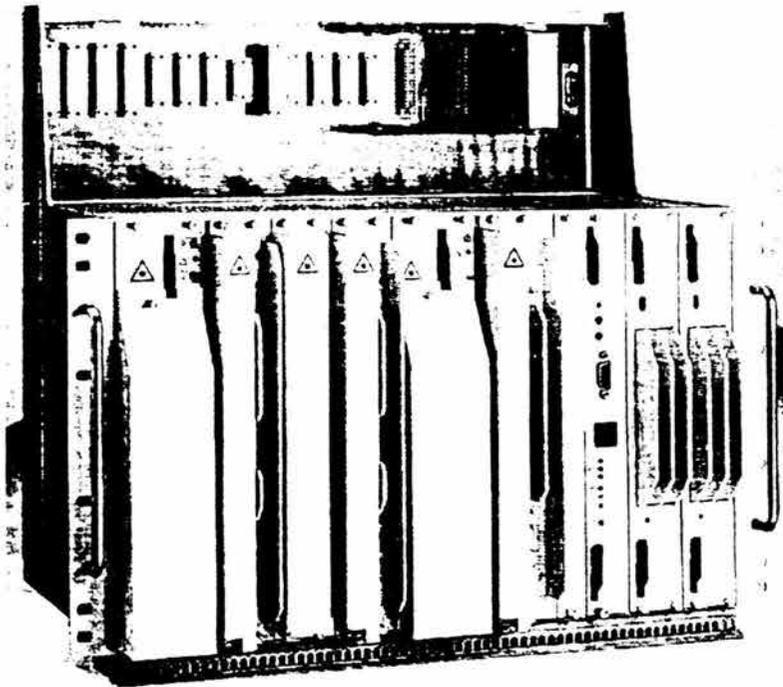


Figura 3.4.8

Figura 3.4.8 Frente de repisa principal del Alcatel 1686 WM.

Configuración del 1686 WM

El 1686 WM puede ser usado en diferentes modos de configuración tal y como se muestra en las

figuras 3.4.9, 3.4.10 y 3.4.11.

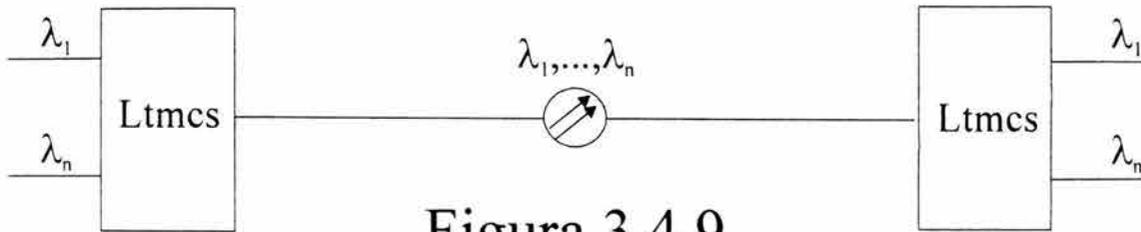


Figura 3.4.9

Fig. 3.4.9 Configuración punto a punto sin repetidor

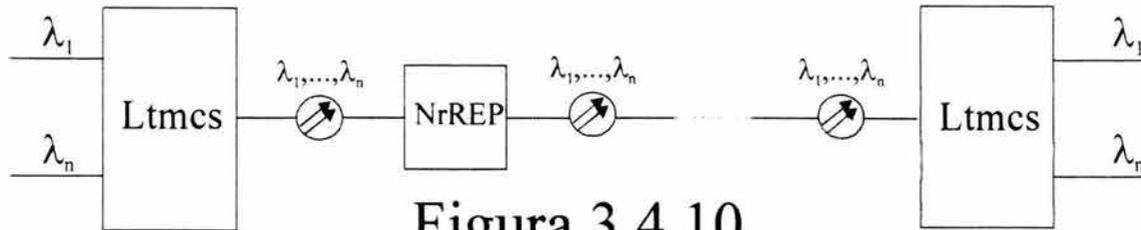


Figura 3.4.10

Fig. 3.4.10 Configuración punto a punto con repetidor

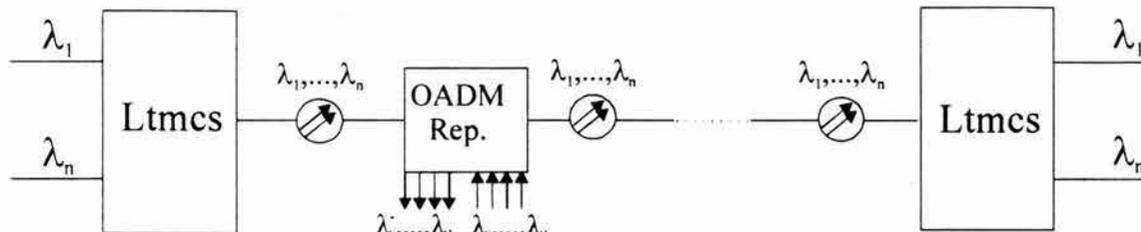


Figura 3.4.11

Fig. 3.4.11 Configuración punto a punto con repetidor OADM

Características principales

A continuación se listan las principales características del 1686 WM:

- Arquitectura modular.
- Los transponder aceptan diferentes velocidades de transmisión síncronas o asíncronas.
- Provee amplificadores de dos etapas con compensación de dispersión y OADM.
- Sistema escalable y flexible para satisfacer la demanda creciente de ancho de banda.
- Los nuevos canales se aprovisionan sin necesidad de interrumpir el tráfico.
- Gestión local y centralizada a través de una red de datos.
- Utiliza los sistemas Alcatel 1353 SH y 1354 RM para la gestión centralizada.

3.4.4 Gestión de sistemas DWDM

Introducción

La gestión de múltiples longitudes de onda incluye herramientas de diagnóstico, operaciones centralizadas, plataformas abiertas e interfaces gráficas de usuario comunes (GUI).

En un principio la gestión de los sistemas DWDM se realizará a través de los sistemas de gestión propietarios de cada proveedor del equipo, para posteriormente migrar a una gestión global que permita la gestión independientemente del proveedor del equipo.

Como ejemplo de sistema propietario de gestión, describiremos la gestión de sistemas SDH y DWDM que emplea Alcatel.

¿Qué es la gestión?

La gestión es la administración de la red que facilita la toma de decisiones y reducción del tiempo en los procesos, ya que permite realizar óptimamente acciones de mantenimiento, monitoreo de desempeño de la red, altas de nuevos servicios, habilitar trayectos de emergencia, facturación, etc.

La arquitectura funcional de la red de gestión de telecomunicaciones TMN se divide en capas lógicas

- Capa de gestión de negocio
- Capa de gestión de servicio
- Capa de gestión de red
- Capa de gestión de elemento
- Capa de elemento de red

¿Qué capas lógicas gestionan DWDM?

Las capas que gestionan directamente al sistema DWDM de acuerdo a la arquitectura de Alcatel es como se indica en la figura 3.4.12:

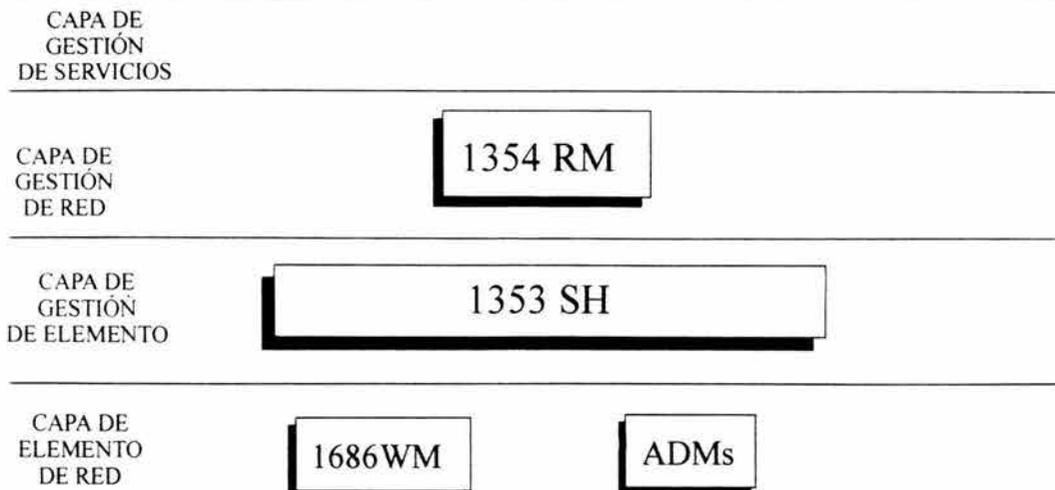


Figura 3.4.12

Figura 3.4.12 Capas lógicas de gestión DWDM

¿Cuál es la función de las capas lógicas?

En la tabla 3.4.1 se describe brevemente la función de las capas que gestionan DWDM.

Tabla 3.4.1

Capa	Función
Capa de elemento de red	<p>La gestión en esta capa se realiza a través de una terminal local que se conecta directamente al elemento de red mediante una interfaz tipo F. El software de comunicación entre el nodo y la terminal corre en una computadora personal (PC). Sus funciones básicas son:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Monitoreo de alarmas • Mediciones • Memoria de mantenimiento • Inventario remoto • Carga de software • Funciones administrativas • Configuración de equipo • Configuración de tabla de enrutamiento
Capa de gestión de elemento	<p>La gestión en esta capa se realiza a través del 1353 SH de Alcatel durante la instalación del elemento de red (NE), configuración y mantenimiento e incluye lo siguiente:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Declaración del elemento de red (NE) (Nombre, dirección, tipo). • Carga de la configuración de funcionamiento de los NE's. • Creación del mapa específico del operador. • Monitoreo de desempeño y fallas del NE.

Tiene capacidad para supervisar los siguientes equipos:

- ADM (SDH)
- DWDM
- SLTE (Equipo terminal de línea submarina)
- PFE (Equipo de alimentación de energía para cable submarino)
- Repetidores

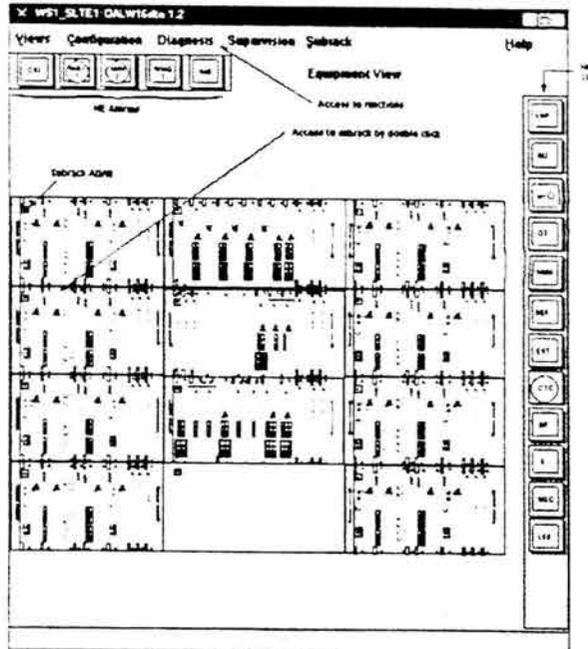


Figura 3.4.13

Figura 3.4.13 Pantalla de un NE con el 1353 SH

Capa de gestión de red

La gestión en esta capa se realiza a través de la interfaz gráfica de usuario del Alcatel 1354 RM proporcionando al usuario el control total de las redes SDH y DWDM. Se utiliza en el CNS y CAR's para monitorear el estado de la capa de red, disponibilidad y desempeño.

Durante la construcción se utiliza para:

- Carga de recursos desde NE's, Puertos y Puntos de acceso a la red.
- Construcción de topologías lógicas y físicas.
- Creación de mapas y submapas
- Configuración de carga útil en cada enlace de conexión.

En combinación con el 1353 SH, el 1354 RM provee gestión para:

- ADM Y terminales SDH (STM-1 a STM-64).
- Sistema DWDM terrestres y amplificadores ópticos.
- El cross-connect Alcatel SDH.
- Equipos de radios de microondas Alcatel.
- Codecs de video Alcatel.

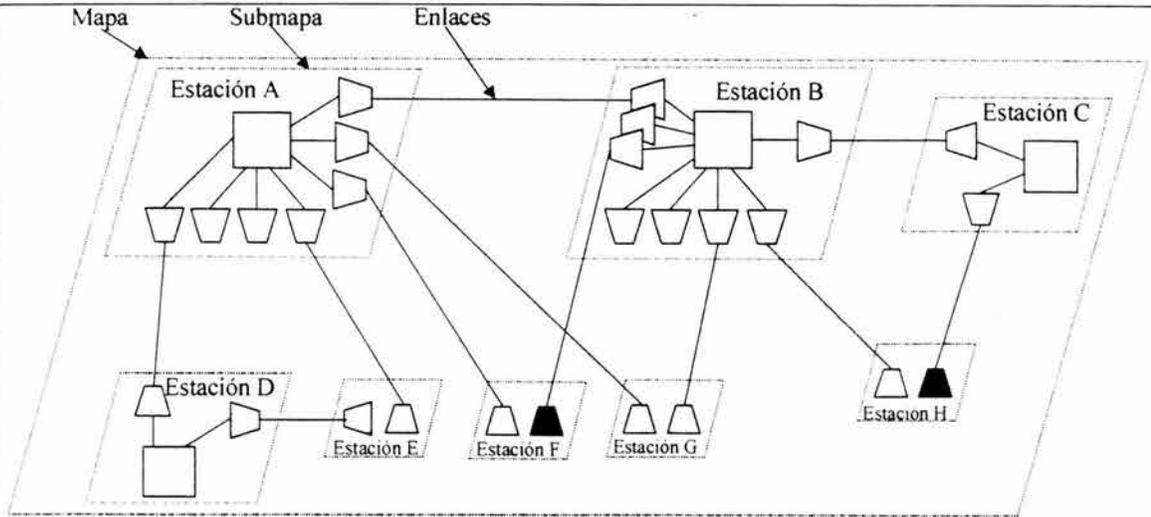


Figura 3.4.14

Figura 3.4.14 Consulta de submapas de redes

¿ Cómo se conectan los equipos de gestión en una estación?

En la figura 3.4.15 se observa la interconexión entre los sistemas de gestión para el sistema 1686 WM de Alcatel.

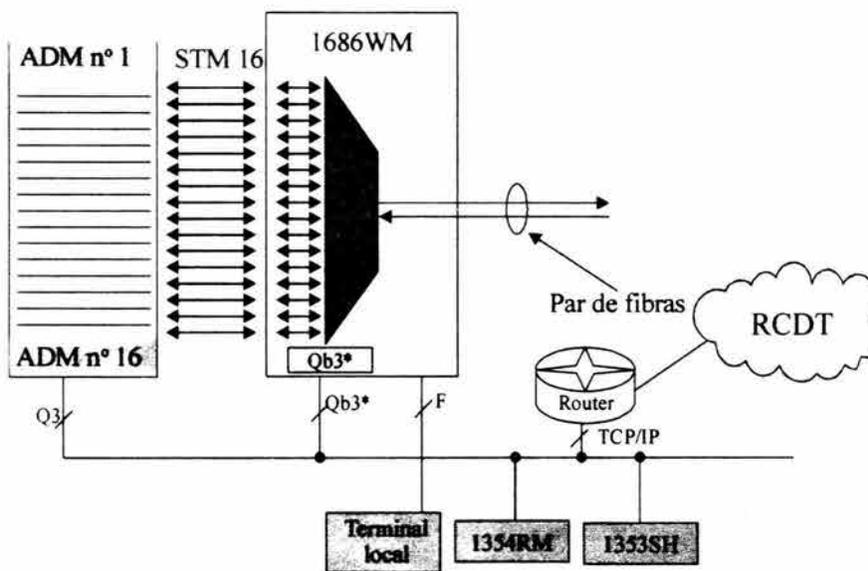


Figura 3.4.15

Figura 3.4.15 Interconexión del sistema de gestión para el 1686 WM

Observa que:

Se tiene la conexión de terminal local (Craft terminal "Interfase F").

La red de gestión es independiente de la red de transporte DWDM:

La gestión se puede realizar utilizando una red LAN o remotamente a través de la RCDT.

La interfaz Q3 ó QB3 permite establecer conexión con el sistema operativo de gestión, se define como una compuerta de conexión, su función es el intercambio de mensajes con los canales de comunicación de datos (DCC) de la red de gestión a través de un protocolo Físicamente se puede identificar como un conector DB 15 (hembra) conocido como conector AUI en el cual se conecta un módulo adaptador para convertir puerto AUI a RJ-45 y establecer la conexión con una red de datos de tecnología de acceso Ethernet.

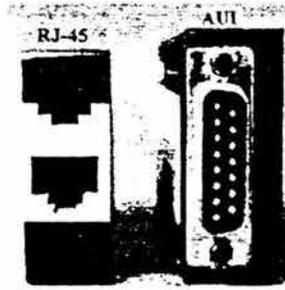


Figura 3.4.16

Figura 3.4.16 Detalle de convertidor de puertos AUI RJ-45

¿Cómo se establece la comunicación en la gestión?

En el ejemplo de la figura 3.4.17 se muestra la comunicación entre un operario y el sistema de gestión.

El operario trabaja en la estación y quiere interrogar uno de los terminales DWDM con el 1353 SH. El operario consulta el estado de uno de los terminales DWDM.

1. La estación de presentación transmite su requerimiento hacia el servidor
2. El servidor interroga al terminal DWDM y colecta la respuesta a través de la Red corporativa de datos (RCDT). La estación de presentación no participa en el dialogo durante este paso.
3. La estación de presentación recupera el resultado desde el servidor.

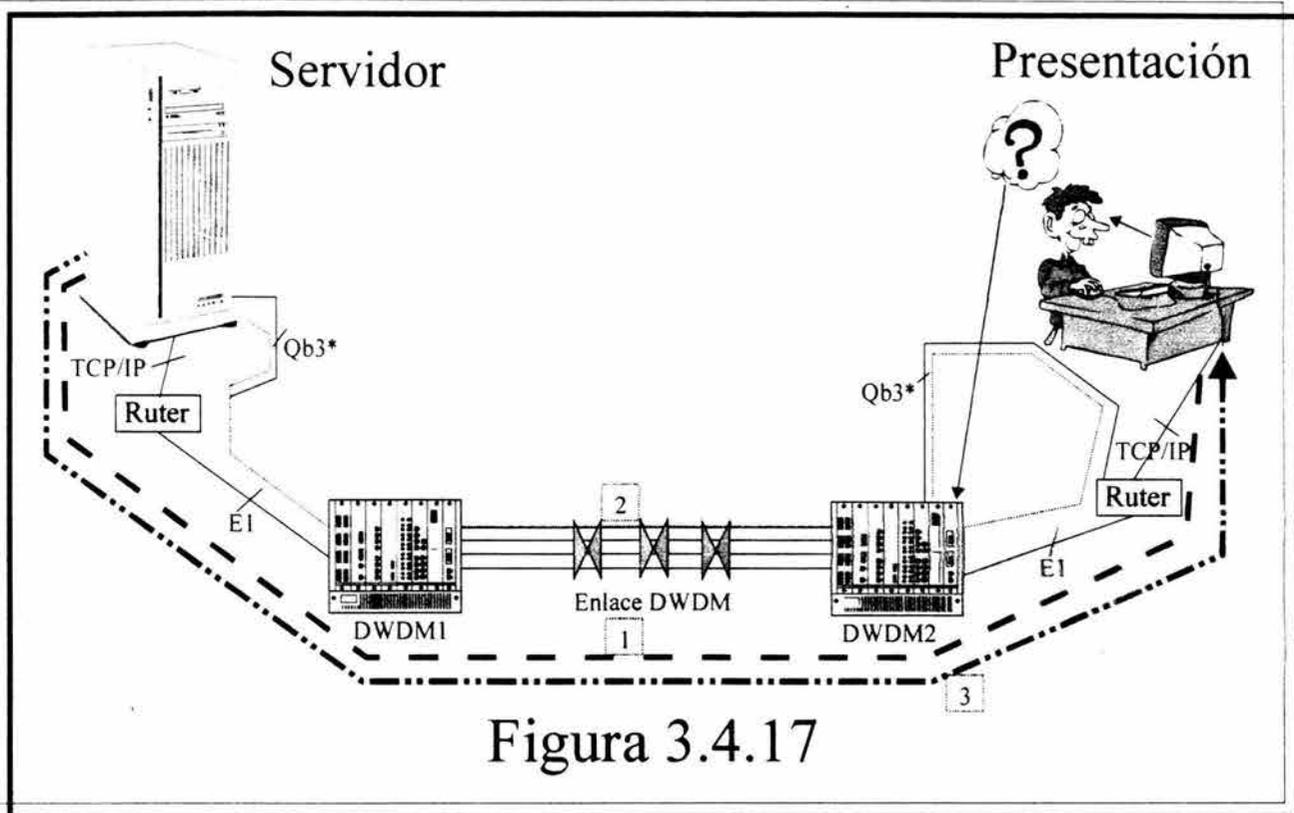


Figura 3.4.17

Figura 3.4.17 Comunicación entre operario y sistema de gestión.

Ahora el operador puede leer el estado del terminal DWDM.

¿Cuál es el papel del OSC durante la gestión?

Durante la gestión el canal de supervisión óptico OSC transporta mensajes de información de alarmas y de mantenimiento entre los terminales y los repetidores.

3.4.5 Nuevos estándares para DWDM

Introducción

Los estándares de emergencia para la tecnología DWDM son un signo seguro de que la tecnología ha progresado significativamente en su evolución desde su nacimiento hasta su extendido uso. Los estándares son una guía para los fabricantes durante sus desarrollos.

Los estándares son muy importantes para poder tener equipos compatibles independientemente del proveedor, pero como en toda nueva tecnología los avances tecnológicos superan a los estándares establecidos y los hacen insuficientes.

¿Quién define los estándares?

Los estándares internacionales en la industria de telecomunicaciones son definidos por dos organizaciones:

- La UIT-T se encarga de la definición de estándares de aplicación.
- IEC (International Electrotechnical Commission), se encarga de estándares de producto.

Ambas trabajan con agencias de estandarización regionales tales como la TIA (Telecommunications Industry Association) de Estados Unidos y en Europa la ETSI (European Telecommunication Standard Institute).

¿ Cuáles son las organizaciones que desarrollan estándares DWDM?

El muy rápido desarrollo de la tecnología DWDM y la urgente necesidad de brindar sus beneficios en el campo han involucrado a muchas organizaciones internacionales encargadas de desarrollar los estándares necesarios para estandarizar las instalaciones actuales y guías para desarrollos futuros.

En Estados Unidos (USA):

- La TIA
- Telcordia Technologies (formada por Bellcore)
- IEEE (Institute of Electrical and Electronics Engineers)

En Suiza:

- UIT-T
- IEC

¿Cómo trabajan estas organizaciones'?

Se organizan en grupos de estudio con participantes de varios países y organizaciones industriales y científicas. Para DWDM se proponen recomendaciones sobre:

- Terminología y simbología.
- Equipo de prueba y calibración para fibra óptica.
- Cables de fibra óptica.
- Dispositivos ópticos pasivos.
- Sistemas y dispositivos activos a través de fibra óptica.
- Métodos de prueba.
- Amplificadores ópticos

3.4.6 Perspectiva futura

Introducción

La tendencia de las redes de nueva generación es de proporcionar una red totalmente óptica para el

transporte de la gran cantidad de información que se genera actualmente y el gran volumen que se predice con el creciente número de proveedores de servicios de Internet, que necesitan de un gran rango de longitudes de onda para la conexión de sus enrutadores a través de la red troncal, con conexiones de longitudes de onda que pueden establecerse y deshacer automáticamente.

Para los servicios de telefonía de larga distancia Telmex ha adoptado DWDM como tecnología para enfrentar la rápida y creciente demanda de ancho de banda. Ya que el número de canales ópticos transportados en una fibra óptica ha aumentado, ha sido necesario gestionar y restablecer estos canales ópticos de una forma más rentable que en los niveles STM-1. Esto ha llevado a la tecnología de la interconexión óptica.

¿ Qué es la capa fotónica?

Es una red multiservicios diseñada para gestionar el crecimiento y el límite de las redes superpuestas y mejorar la eficiencia del ancho de banda. Además, la capa fotónica hará posible implementar una nueva clase de servicios de longitud de onda de extremo a extremo de **grandes beneficios** para clientes que quieran flexibilidad total de sus necesidades de ancho de banda. El reto es ofrecer flexibilidad en las redes locales, con velocidad binaria y transparencia de protocolo, al tiempo que se aumenta la eficiencia de la gestión del ancho de banda en las redes de larga distancia.

En las principales redes de larga distancia, los desarrollos de la tecnología fotónica se dirigirán a permitir de una manera más eficiente reagrupar las longitudes de onda, encaminar y proteger/restablecer la red. Se muestra en la figura 3.4.17 el Proyecto Optinex, solución para la red fotónica del proveedor Alcatel.

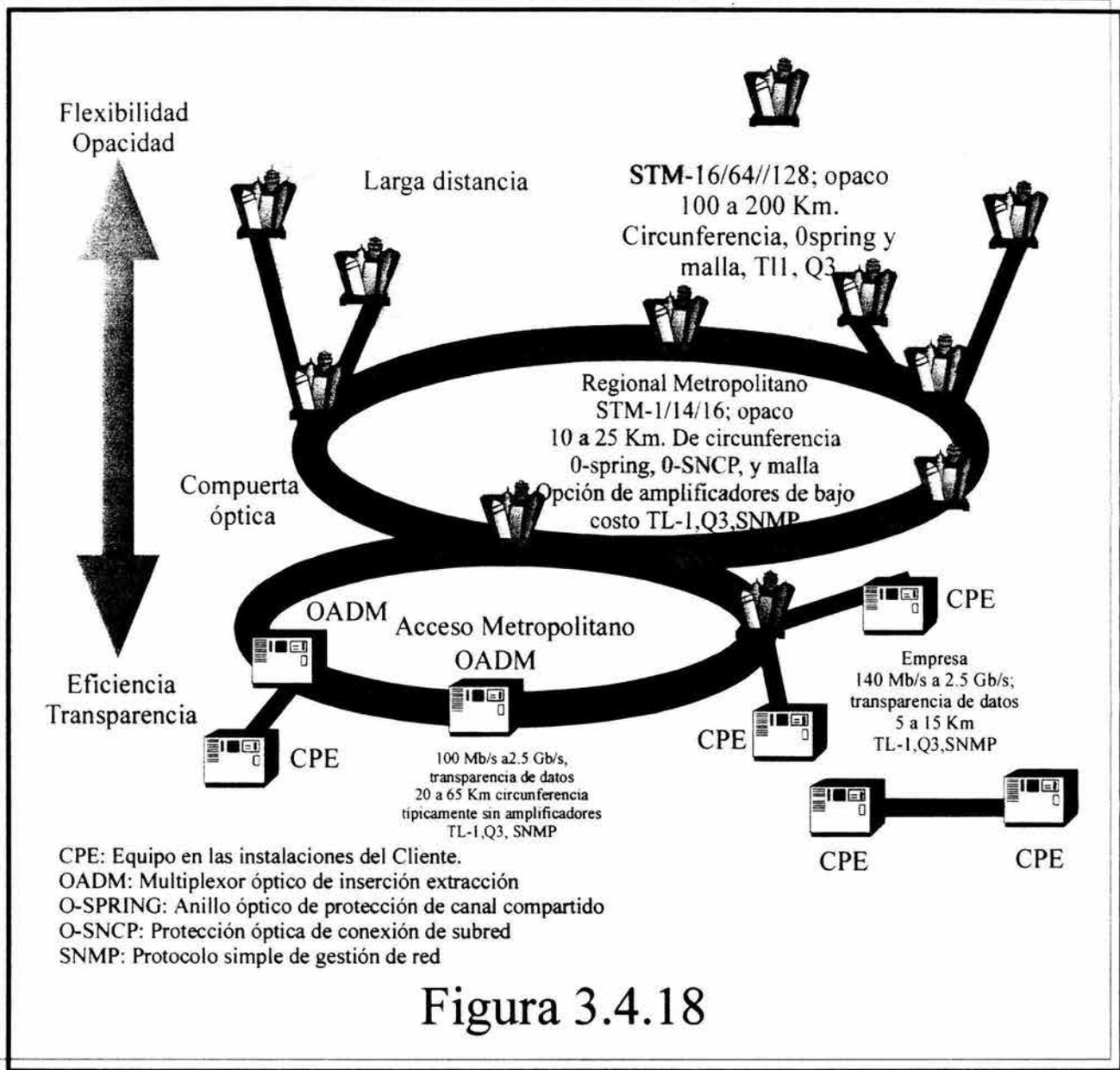


Figura 3.4.18 Visión Optinex (Alcatel) de-la red óptica.

¿Qué son los servicios de longitud de onda?

Es la venta de longitudes de onda de extremo a extremo entre ciudades en diferentes lugares del mundo, o entre diferentes proveedores de servicio.

Los beneficios son:

Al vender longitudes de onda en lugar de fibras obscuras, el operador se puede beneficiar del gran capital invertido en su planta de fibra sin ceder estos activos de fibra a los clientes.

Los clientes se benefician por tener el control total del contenido y formato de la información a

transmitir sobre su red sin el costo de una infraestructura de red privada.

¿Cuales son los elementos de interconexión de la capa fotónica?

Se espera que los interconectores ópticos (OXC Cross-conectores ópticos) sean el elemento principal de la capa fotónica, proporcionando opciones más dinámicas y flexibles para la construcción de una topología de supervivencia de red. Estos dispositivos se instalarán en todas las áreas de la red, primero en la red de larga distancia.

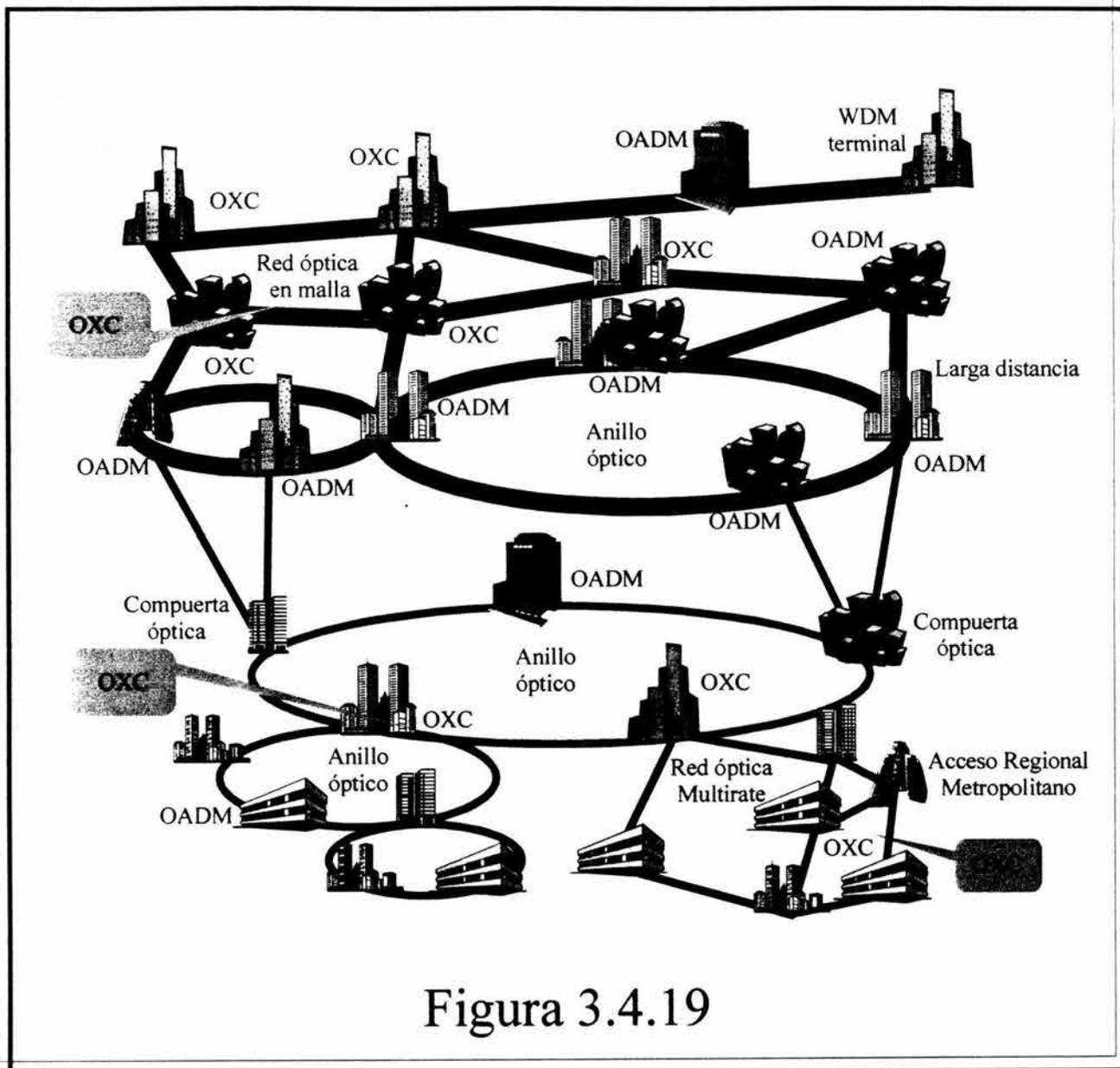


Figura 3.4.19

Figura 3.4.19 Ubicación del OXC en la red fotónica

¿Cual es la función del OXC?

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

Los OXC's están provistos para:

- La gestión de la conexión y del ancho de banda, para suministrar conexiones de canales libres (para servicios de longitud de onda de línea privada).
- La reagrupación de la longitud de onda, para mejorar la utilización de la infraestructura instalada.
- La protección/restablecimiento, a nivel de longitud de onda, para aumentar al máximo la eficiencia y fiabilidad de la infraestructura de la red.
- Enrutamiento e interconexión a nivel de longitud de onda, como un repartidor óptico automatizado con acceso integrado, reemplazando así algunos paneles de conmutación de fibra.
- Asignación dinámica de longitud de onda, acoplando el OXC con un núcleo de routers para realizar una solución rentable frente a los cambiantes requisitos de ancho de banda.

¿Qué facilidades proporcionan los OXC?

Las facilidades que deben proporcionar los OXC independientemente de la posición que ocupen en red son:

- *Puerto para una sola longitud de onda.*- Los puertos OXC en un principio serán de una sola longitud de onda, no obstante según evolucione la capa fotónica, los puertos serán compatibles con WDM.
- *Conectividad total en un modo estrictamente no bloqueado.*- 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 multidistribución.*- Las conexiones de multidistribución (al menos 1x2) se deben soportar desde cualquier grupo de salidas, ninguna restricción (Enrutar una longitud de onda a diferentes destinos)
- *Tiempos rápidos de conmutación para suministro y restablecimiento.* Se espera que tenga un segundo de restablecimiento.
- *Supervivencia mediante redundancia total (1+1) del centro conmutación y de la plataforma de control.*

¿Que tipos de interconectores existen?

La mayoría de los interconectores ópticos como los de Ciena, Cisco, Sycamore tienen sistemas electrónicos y no ópticos en su núcleo y procesan señales en las cuales la mayor velocidad binaria es la eléctrica de 2.5 Gb/s. La razón es de que las señales ópticas que entran y salen del OXC van a través de interfaces ópticas como eléctricos.

Los puntos de conmutación de 10 Y 40 Gb/s no se encuentran disponibles comercialmente y nuevos materiales continúan en estudio. Los modelos económicos nos dicen que un sistema totalmente basado en un núcleo eléctrico con interconexiones eléctrico será más caro que uno totalmente óptico.

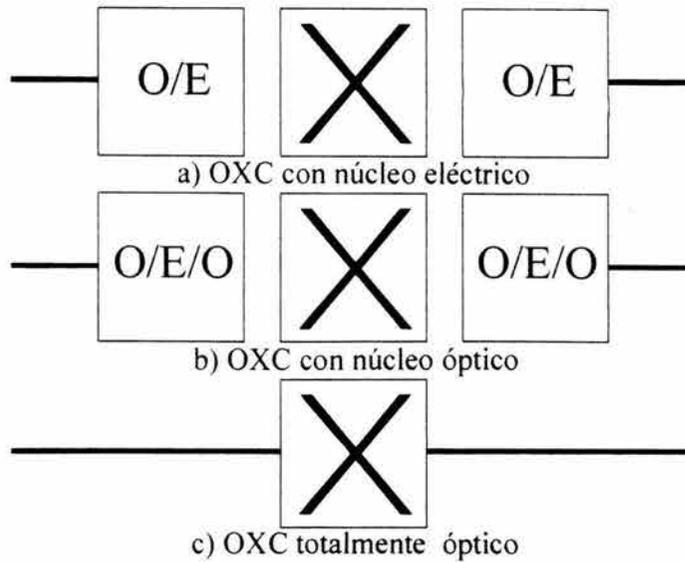


Figura 3.4.20

Figura 3.4.20 Tipos de interconectores ópticos.

En la actualidad el más popular es el de núcleo óptico (O/E/O), el totalmente óptico es caro.

¿Cuales son los tipos de interconectores con núcleos ópticos?

Aunque se han obtenido resultados prometedores con los interconectores totalmente ópticos, los interconectores con núcleo óptico O/E/O son los que más se utilizan. Entre otras facilidades que presentan se tiene que suministran traducción de longitud de onda, permiten enrutamiento/conmutación en la capa fotónica de sistemas WDM y simplifican la gestión de la red.

Hasta hoy se han definido 3 tipos de interconectores con núcleo óptico (O/E/O) como se indica en la tabla 3.4.2

Tabla 3.4.2

Tipo	Función	Diagrama
Interconector de conmutación de fibra (FXC)	Conmuta todos los canales de Longitud de onda desde una fibra entrada a una fibra de salida, actuando como un BDFO (bastidor distribuidor de fibra óptica) automatizado. Los FXC son menos complejos y se espera sean	<p>Figura 3.4.21 Interconector FXC</p>

	más baratos que un interconector de selección de longitud de onda o de intercambio de longitud de onda.	
Interconector de selección de longitud de onda (WSXC)	Puede conmutar un subconjunto de longitudes de onda (canales) desde una fibra de entrada a una fibra de salida, requiere demultiplexación de las longitudes de onda de entrada. Permite el suministro de servicios de longitud de onda.	<p>Figura 3.4.22 Interconector WSXC</p>
Interconector de intercambio de longitud de onda (WIXC)	Es un WSXC con la facilidad añadida de traducir o cambiar la longitud de onda del canal a otra o de traducida a la misma longitud de onda incluso.	<p>Figura 3.4.23 Interconector WIXC</p>

¿Qué características tienen los OXC comerciales?

Como ejemplo vamos a describir las características del cross conector óptico de ALCATEL el 1660 (Cross light photonic cross-connect)

El "Cross light photonic cross connect" enruta longitudes de onda a través de una matriz de conmutación totalmente óptica, eliminando la conversión óptica/eléctrica. La matriz de conmutación transparente permite la independencia de la velocidad de bit transportados, es posible incrementar la velocidad de entrada/salida sin incrementar el tamaño de la matriz.

- Provee una matriz de conexión de 512 puertos expandible a 4000.
- Permite asignación dinámica de ancho de banda utilizando MPLS
- Es independiente del protocolo y velocidad transportadas
- Gestión unificada para red óptica y capas IP
- Tiene funcionalidad DWDM sin necesidad de algún otro sistema.

CONCLUSIONES

Con la llegada de nuevos negocios soportados por Internet, las redes de Telecomunicaciones tienen que afrontar nuevos retos. Los sistemas WDM y DWDM han establecido el camino para dar respuesta a la demanda continua de nuevos servicios que requieren más capacidad, resultando finalmente a una gran demanda de ancho de banda.

Ciertamente, existe una tendencia para llevar IP sobre SONET, esto definiría también el camino hacia una red completamente óptica.

Todavía no está muy claro si esta red totalmente óptica, será un hecho en el futuro cercano, ya que muchos expertos siguen pensando que cada bit deberá ser monitorizado y comprobado electrónicamente. Sin embargo, el desarrollo técnico actual en componentes, sistemas y subsistemas WDM es una clara indicación de que la carrera hacia una red totalmente óptica está, sin lugar a dudas, totalmente abierta.

La utilización de técnicas WDM en los enlaces ópticos supone el primer paso hacia las futuras redes totalmente ópticas (all optical networks- AON), denominadas también redes ópticas transparentes. En estas redes los canales son conmutados basándose en su longitud de onda y las señales conservan su naturaleza óptica a lo largo de todo el trayecto, sin necesidad de reconversiones optoelectrónicas. Este avance supone una mejora sustancial de las características de capacidad y flexibilidad de las redes de comunicaciones, proporcionando transparencia a los formatos de modulación y a los protocolos utilizados y evitando el cuello de botella debido a las limitaciones en la velocidad de la electrónica asociada a la conmutación. Esto supone una gran ventaja para los usuarios extremo a extremo, al eliminarse los requerimientos de conversión de protocolos en las interfaces de transporte a lo largo de la ruta. Las actuales redes que incluyen WDM utilizan la tecnología óptica para realizar enlaces punto a punto de larga distancia, que no suelen multiplexar más de 40 longitudes de onda centradas entorno de 1550 nm. En estas redes las labores de encaminamiento, multiplexación y regeneración son realizadas por los equipos electrónicos de SONET (Synchronous Optical Network), JDS o ATM. Dos ejemplos de enlaces punto a punto utilizando WDM son los instalados por la compañía British Telecom entre las ciudades de Edimburgo y Newcastle y Belfast y Carlisle, que utilizan 16 longitudes de onda con 2,44 Gbps cada uno

El uso de WDM en los enlaces punto a punto permite que la capa óptica soporte transmisiones de señal de varios protocolos diferentes, aunque el encaminamiento se realiza en el dominio electrónico y de forma separada para cada uno de ellos, utilizando equipos específicos para cada tipo de transmisión.

El paso siguiente es permitir la conexión sin reconversión electrónica de enlaces ópticos formando estructuras más complejas, como anillos o buses. Para ello son necesarios dispositivos selectivos en longitud de onda, como los multiplexores ópticos de add/drop (OADM), que ya son comerciales. Los OADM extraen la información que llega en su longitud de onda de trabajo y transmiten una nueva señal en el mismo canal, eliminando la necesidad de reconvertir al dominio eléctrico todos los canales para extraer la información de uno de ellos. El proyecto PROMETEO, llevado a cabo por Telecom Italia, Pirelli y Ericsson, y operativo en Roma desde julio de 1996, utiliza tres OADM en una red de 4 x 2, 5 Gbps. Los OADM programables, que permiten reconfigurar la longitud de onda de trabajo del multiplexor, tardarán todavía un par de años en llegar al mercado de forma masiva. El último paso para lograr la flexibilidad completa de las redes es la aparición de los crossconnects ópticos (OXC), que redireccionan los canales entre varias fibras de entrada y salida en función de la longitud de onda. Estos componentes permitirán implementar redes totalmente reconfigurables en las que las distintas longitudes de onda podrán ser encaminadas y trasladadas. Los OXC actuales están todavía en fase experimental, y se prevén al menos tres años antes de lograr equipos fiables y económicamente viables.

Será ya en la próxima década cuando estos equipos se extiendan de forma habitual por las redes de comunicaciones. Por el momento, el uso de OXC se limita a algunas redes experimentales, como las de los proyectos OPEN (Optical Pan-European Network) y PHOTON (Pan-European Photonic Transport Overlay Network) de la Unión Europea, que utilizan conmutación óptica en una red WDM de 16 canales para transportar señales JDS de 10 Gbps, aunque también admiten otros protocolos digitales. Utilizando OXC, la tecnología WDM puede ofrecer un servicio de transporte universal y transparente a las capas superiores electrónicas, ya sea JDS/SONET o ATM. El empleo de redes transparentes se extenderá en la medida en que las técnicas DWDM se implanten en áreas locales (LAN) y metropolitanas (MAN), con distancias cortas y gran número de clientes de alto volumen de tráfico. Para hacer rentable la multiplexación en longitud de onda en las LAN y MAN es necesario que la demanda de ancho de banda de estas redes sea suficientemente grande, lo que parece asegurado con la aparición de nuevos servicios como la televisión de alta definición o la telemedicina. El uso de DWDM en aplicaciones de corta distancia, como la comunicación entre conmutadores dentro de un nodo de encaminamiento de red o en el sector de las redes de datos, ha hecho que aparecieran dispositivos de WDM con precios reducidos específicos para redes MAN. Una ventaja añadida de las redes WDM con conmutación óptica es su capacidad para restaurar la comunicación en milisegundos tras la aparición de un fallo en el nivel óptico del sistema, de modo que el restablecimiento de la conexión se realice en la capa óptica, sin que los niveles superiores se vean implicados. En las redes con conmutación electrónica el proceso de restablecimiento parcial del servicio lleva segundos y puede tardarse horas enteras en conseguir reanudar el servicio completo.

Las tecnologías más maduras, como ATM o JDS/SONET tienen ya estándares muy detallados. Por el contrario, los estándares de las nuevas tecnologías, como es el caso de WDM, están muy poco desarrollados. El uso potencial de WDM para la creación de redes ópticas hace que organismos reguladores, como la ITU-T, estén comenzando a impulsar la creación de estándares específicos para las futuras redes ópticas. Las especificaciones para las nuevas redes AON deberán definir las interacciones de estas redes con diversos tipos de tráfico (JDS, JDP, ATM,...) y topologías físicas mucho más complejas que los actuales enlaces ópticos punto-punto. El trabajo comenzó en octubre 1996 con el borrador de la recomendación G.809 "Arquitectura de las redes ópticas de transporte", realizado por el grupo de trabajo 13 de la ITU-T. La recomendación, basada en una idea de British Telecom, propone tres capas ópticas, correspondientes a las tres capas JDS. El estandarizar la arquitectura de encaminamiento en longitud de onda como una serie de capas por debajo de los protocolos de comunicación actuales ATM, TCP/IP, JDP y JDS, supone hacer la nueva arquitectura de red compatible con los equipos terminales ya existentes, y dotar a las AON de transparencia. Además de la arquitectura de red también se han publicado ya recomendaciones acerca de otros aspectos como los requerimientos técnicos de las redes WDM, las funciones de administración o las características básicas de los componentes ópticos utilizados. No obstante, la propia tecnología está todavía en desarrollo, por lo que la definición de estándares completos resulta complicada.

El primer gran problema que presentan actualmente las redes totalmente ópticas es su escasa madurez. Los dispositivos necesarios para la implementación de sistemas WDM son recientes, y muchos de ellos, como los OXC, están todavía en fase experimental. La dispersión cromática y las no linealidades de la fibra, la acumulación de diferencias de ganancia para distintas longitudes de onda en redes con amplificadores ópticos en serie, la diafonía de los componentes ópticos, o los problemas para realizar conversiones de unas longitudes de onda a otras son algunos ejemplos de las dificultades que han de afrontar las llamadas redes transparentes. Esta falta de desarrollo se traduce en un elevado costo de este tipo de redes. Además de esta desventaja fundamental, existen otros dos problemas graves que las redes ópticas han de superar. El primero es la falta de métodos efectivos de administración y gestión de las redes. Esto no suponía un problema en los enlaces punto a punto utilizados hasta el momento, por lo

que el nivel de desarrollo de los sistemas de gestión es mínimo. El segundo problema existente es la dificultad de monitorización de todos los canales en el nivel óptico, mucho más simple de realizar en los actuales sistemas JDS. Cabe destacar también la dificultad añadida que supone la transmisión de servicios de conmutación de paquetes, como es el caso de transmisión directa de ATM sobre las capas ópticas. La conmutación de paquetes obliga a disponer de buffers de almacenamiento en los nodos ópticos y presenta rápidos tiempos de sintonía de los transmisores y receptores. Los dispositivos sintonizables necesarios para la realización de estas redes, además de ser extremadamente caros, tienen rangos de sintonía bajos, por lo que el número de canales que se pueden multiplexar sobre una misma red se reduce. Esto hace que las redes ópticas de conmutación de paquetes implementadas hasta el momento hayan sido en su mayor parte redes multisalto, en las que los transmisores y receptores operan a una longitud de onda fija, y en cada nodo intermedio los mensajes son transformados al dominio eléctrico, encaminados y retransmitidos en una longitud de onda distinta

La arquitectura de las redes ópticas DWDM ha sido definida como una serie de capas ópticas que incluyen interfaces con las capas superiores IP, ATM, JDP o SONET. Esto posibilita la incorporación de diferentes tipos de tráfico sobre la misma red, evitando los **problemas de reconversión de protocolos** en los nodos intermedios de red. La evolución de las actuales redes de conmutación electrónica hacia redes ópticas transparentes, que incluirán una mezcla de técnicas WDM y TDM, va a estar marcada por la obtención de métodos de administración eficientes y por la reducción del coste de los equipos asociados a estas redes. La conmutación óptica, a pesar de ser una tecnología prometedora, está todavía en las primeras fases de desarrollo, y las redes ópticas de comunicaciones instaladas en la actualidad utilizan de forma casi exclusiva conversiones optoelectrónicas para realizar las tareas de encaminamiento. Las técnicas WDM se limitan a aumentar la capacidad de transmisión de enlaces punto a punto de larga distancia, campo en el que se han resultado ser muy económicas, desaprovechando la capacidad de conmutación óptica que presentan. Únicamente algunas redes de carácter experimental, diseñadas por grandes laboratorios y consorcios, incluyen routers ópticos. A medida que los dispositivos necesarios para realizar este tipo de conmutación adquieran mayor madurez y bajen sus precios, y que las limitaciones impuestas por las reconversiones electro ópticas actuales se hagan más problemáticas, las redes totalmente ópticas se harán competitivas con las actuales e irán adentrándose en el mercado.

Para Telmex DWDM significa potentes soluciones para actualizar sus redes de fibra óptica. ya que incrementa el ancho de banda de la red, disminuye los costos de transporte, proporciona soluciones escalables, alta confiabilidad de la red, calidad de servicio, tiempos muy cortos de puesta en servicio y gestión avanzada de redes. Telmex tendrá que actualizar sus redes de conmutación de circuitos a redes de conmutación de paquetes, implementando un nuevo modelo de central de alta velocidad que integre toda la funcionalidad para el transporte de datos utilizando ruteadores, conmutadores A TM y conmutadores de longitud de onda.

Glosario

Acopladores

En su forma más simple los acopladores de fibra óptica consisten de un par de fibras ópticas monomodo que se han fusionado longitudinalmente. La luz que entra a la región fusionada desde una de las fibras de la izquierda es redistribuida en varios modos al cruzar la unión. Una vez separadas las fibras los modos son reconvertidos dentro del núcleo en cada una de las fibras de salida.

Amplificador Raman

En el amplificador Raman, una portadora óptica (varias longitudes de onda), interactúa coherentemente con las moléculas del sílice (dióxido de silicio "SiO₂") de una fibra óptica, dichas moléculas han sido excitadas por una bomba láser de alta potencia. El resultado es la amplificación de la portadora óptica.

APD

Foto detectores de avalancha.

ASE

Amplificación de emisión espontánea.

ATM

Modo de transferencia asíncrono tecnología de transporte que permite transmitir datos a una velocidad de 25 Mbps, 155 Mbps y 622 Mbps. Se basa en la conmutación de celdas donde una celda es una unidad mínima de datos.

Backbone

Columna vertebral de la red.-" Es una red de transporte de información de alta capacidad igualo mayor a 2.5 Gb/s

BER

Tasa de errores de bit

Birefringencia

Diferencia de índices de refracción en un mismo material.

Booster

También son llamados post-amplificadores ya que aumentan la potencia óptica acoplada en el lado del transmisor y permiten que el primer repetidor se instale lo más lejos posible del terminal.

CAR

Centro de Administración de la red.

CAS

Centro de Atención de Servicios

Chirp

El Chirp es un cambio en la característica de frecuencia óptica de un dispositivo en función del tiempo.

Conmutación de circuitos

Establecen una conexión virtual antes de transmitir sus datos, uno de los servicios más utilizados es la RDSI.

Conmutación de paquetes

Cada paquete de datos se transmite separadamente, y cada uno puede tomar un camino distinto a través de la malla de trayectos de red que componen la red de conmutación de paquetes, maneja mejor el tráfico de ráfagas. Los más populares son X.25 y Frame Relay.

CPE

Equipo en las instalaciones del cliente.

DCM

Módulo de Compensación de Dispersión.

DFB

El transmisor típico para un solo canal (longitud de onda) se construye utilizando un láser de distribución de retroalimentación DFB (Distributed feedback) de 0 dBm (1mW) y conectado a un modulador.

DGD

Retardo de Grupo Diferencial

Dispersión

Ensanchamiento de la señal; originada por fluctuaciones microscópicas de la densidad del vidrio, que desvían, de su dirección, una parte de la luz conducida. La dispersión se incrementa hacia las longitudes de ondas cortas, de acuerdo a la ley de dispersión de Rayleigh.

Dispersión cromática

La dispersión cromática es un fenómeno lineal que causa que las diferentes longitudes de onda viajen a través de la fibra a velocidades ligeramente diferentes, ocasionando el ensanchamiento del pulso.

DSF

DSF (Dispersión Shifted Fiber) Fibra de dispersión corrida con longitud de onda de dispersión nula nominal próxima a 1550 nm.

DSP

Módulo de Procesamiento Digital de la Señal

E1

Velocidad básica de 2.048 Mb/s para PDH.

EDFA

Amplificador de Fibra Dopado con Erbio.

ERION

Solución DWDM implementada por Ericsson para redes metropolitanas y de larga distancia.

ESI

Interface externa de sincronización

Ethernet

Tecnología de acceso a redes de datos

ETSI

European Telecommunication Standard Institute

F

Interfaz F establece conexión local a través de una terminal para gestión local, utiliza un puerto serie RS-232 y un protocolo de comunicaciones.

Fast Ethernet

Tecnología de acceso a redes de datos a la velocidad de 100 Mb/s

FEC

Circuito de corrección de errores (Corrector de errores hacia adelante).

Filtro óptico

Un filtro óptico es un dispositivo que cambia la composición espectral ó la energía de la onda luminosa que incide en ellos sin alterar (ó casi sin alterar) la forma de su frente.

FP

Fabri-Perot

FWM

El efecto FWM se produce cuando la intensidad de la señal láser alcanza niveles críticos y aparecen señales fantasmas en el espectro óptico una vez que la señal pasa a través de la fibra de dispersión cero.

FXC

Conmuta todos los canales de longitud de onda desde una fibra de entrada a una fibra de salida, actuando como un BDFO (bastidor distribuidor de fibra óptica) automatizado

Giga Ethernet

Tecnología de acceso a redes de datos de 1 Gb/s

GUI

Interfaz Gráfica de Usuario.

IEC

Intemational Electrotechnical Commision

IEEE

Institute of Electrical and Electronics Engineers.

Índice de Refracción (n)

Factor que expresa la reducción del valor de la velocidad de la luz en un material ópticamente denso (por ejemplo vidrio) con respecto al vacío.

IP

El Protocolo Internet (IP) es la implementación más popular de un esquema de direccionamiento de red jerárquico. IP es el protocolo de red que usa

Internet. IP determina la forma del encabezado del paquete IP (que incluye información de direccionamiento y otra información de control) pero no se ocupa de los datos en sí (acepta cualquier información que recibe desde las capas superiores).

LAN

Red de datos de acceso local.

LEAF

LEAF (Large Effective Area Fiber) Es una fibra tipo NZDSF del fabricante Corning para redes de larga distancia en aplicaciones de alta capacidad y alta velocidad optimizada para aplicaciones DWDM y tecnologías de redes ópticas. Combina la baja atenuación y baja dispersión con una área efectiva de 32% más grande que las fibras convencionales NZDSF

LED

Diodo Emisor de Luz

LS

LS (Long Span) Fibra para tramos largos NZDSF para redes de larga distancia en aplicaciones de alta capacidad y alta velocidad optimizada para aplicaciones WDM.

LSI

Gran escala de integración

Modo

Distribución de la energía electromagnética en una fibra óptica la cual satisface las ecuaciones de Maxwell; trayectoria seguida por la luz en una fibra óptica.

Modulación de auto-fase

Es la modulación sobre su propia fase de la señal óptica cuando la intensidad de la señal láser es demasiado alta. Esta modulación ensancha o comprime la señal, dependiendo del signo (positivo o negativo) de la dispersión cromática

Modulación de fase cruzada

En este tipo de modulación en la fibra óptica la señal de un canal modula la fase del canal adyacente.

MOR

Es un repetidor óptico bidireccional de múltiples longitudes de onda (MOR Multiwavelength Optical Repeater).

MPLS

Multiprotocol Label Switching.

NE

Elemento de red.

NF

Figura de ruido de amplificadores.

NZDSF

Las fibras de dispersión corrida no cero NZDSF fueron diseñadas para operar cerca de la ventana de 1550 nm con una pequeña cantidad de dispersión.

OADM

Multiplexores ópticos de inserción extracción

OAM&P

Operación, Administración (Gestión), mantenimiento y aprovisionamiento.

OC-1

Contenedor óptico -nivel 1 que transporta una-velocidad de 51.84 Mb/s equivale al STM-O.

OC-3

Contenedor óptico nivel 3 que transporta una velocidad de 155.52 Mb/s equivale al STM-1.

OC-12

Contenedor óptico nivel 12 que transporta una velocidad de 622.08 Mb/s equivale al STM-4.

OC-48

Contenedor óptico nivel 48 que transporta una velocidad de 2488.32 Mb/s equivale al STM-16.

OC-192

Contenedor óptico nivel 192 que transporta una velocidad de 9953.28 Mb/s equivale al STM-64

OEM

Onda electromagnética.

OSA

Analizador de espectro óptico

OSC

Canal de supervisión óptica (OSC)

OSI

El modelo OSI es un modelo de 7 capas para redes de datos

O-SNCP

Protección óptica de conexión de subred.

OSNR

Relación señal a ruido óptica

O-SPRING

Anillo óptico de protección de canal compartido.

OXC

Sistema de enrutamiento óptico (Optical Cross Connect, OXC) para el encaminamiento de las señales hacia diferentes trayectorias en la red óptica

PDFFA

Amplificador de Fibra de Fluoruro Dopado con Praseodimio.

PDH

Jerarquía Digital Plesiócrona.

PFE

Equipo Alimentador de Potencia para cable submarino.

PIN

El fotodiodo PIN es el detector más utilizado en los sistemas de comunicación óptica. Es relativamente fácil de fabricar, altamente fiable, tiene bajo ruido y es compatible con circuitos amplificadores de baja tensión. Además, es sensible a un gran ancho de banda debido a que no tiene mecanismos de ganancia.

PMD

Dispersión del modo de polarización (PMD) ocurre cuando las dos polarizaciones ortogonales del pulso óptico viajan con diferentes velocidades, apareciendo un tiempo de retardo entre ellas conocido precisamente como PMD

Q3

La interfaz Q3 ó QB3 permite establecer conexión con el sistema operativo de gestión, se define como una compuerta de conexión, su función es el intercambio de mensajes con los canales de comunicación de datos (DCC) de la red de gestión a través de un protocolo.

RCDT

RCDT (Red Corporativa de datos Telmex) es la Red de Datos Corporativa utilizada para la transmisión de información de las aplicaciones críticas de negocio de la empresa.

Rejilla de difracción

Una rejilla de difracción es un dispositivo que refleja y refracta luz en cantidad variada de longitudes de onda, se construye básicamente por un espejo dentro del cual son grabados Surcos de un espacio extremadamente angosto, una distancia típica (d) es $0.8 \mu\text{m}$ (1200 líneas por mm).

Rejillas de fibra Bragg

Una rejilla de fibra Bragg se construye dopando apropiadamente una fibra con una sustancia como el germanio para posteriormente modificar el índice de refracción exponiéndola a luz ultravioleta. Si la exposición a la luz ultravioleta se realiza durante un patrón periódico, la fibra se convierte en una rejilla.

RF

Radio Frecuencia

Ruteador

Determina la mejor trayectoria para que un paquete de datos alcance su destino.

SDH

Jerarquía Digital Síncrona.

SLTE

Equipo terminal de línea submarina

SMF

Fibra monomodo dispersión nominal.

SMF-28

SMF-28 (Single Mode Fiber) Fibra de dispersión normal para uso regional y local de telefonía y redes de televisión por cable esta fibra es fabricada por Coming.

SNR

Relación señal a ruido eléctrica.

SOA

Amplificador óptico de semiconductor basa su funcionamiento en la emisión estimulada de fotones por la recombinación de pares electrón-hueco en un semiconductor a través de la inyección directa de corriente suficiente para ser bombeada a una fibra óptica dopada con erbio.

SNMP

Protocolo-simple--de gestión de red

SRS

La SRS "Stimulated Raman Scattering" es la dispersión de luz por moléculas, en la cual la luz dispersada es desplazada de la luz entrante por una frecuencia característica de las moléculas.

STM-1

Módulo de transporte síncrono nivel 1 velocidad de 155 Mb/s

STM-16

Módulo de transporte síncrono nivel 16 velocidad de 2.5 Gb/s

STM-256

Módulo de transporte síncrono nivel 256 velocidad de 40 *Gb/s*

STM-4

Módulo de transporte síncrono nivel 4 velocidad de 622 *Mb/s*

STM-64

Módulo de transporte síncrono nivel 64 velocidad de 10 *Gb/s*

TDM

Multiplexación por división de tiempo

Tera

Prefijo que significa 10^{12}

TIA

Telecommunications Industry Association

TCP

Protocolo de control de transferencia es un protocolo de la Capa 4 del modelo OSI (capa de transporte) ofrece un circuito virtual entre aplicaciones de usuario final.

TL-1

TL1 (Transaction Language One - Lenguaje de transacción Uno) es un protocolo de comunicaciones que se usa para integrar alarmas, estados, controles, desempeños, pruebas y aprovisionamiento de información desde una red de telecomunicaciones. Este protocolo es un mensaje estilo ASCII diseñado para que la información pueda ser leída por personas al transferirla desde un elemento de red o un dispositivo de mediación a un sistema de operaciones. En Telmex se utiliza para transferir las alarmas desde los equipos PDH a la plataforma de gestión NMA.

Transponder

En este bloque se "colorean las señales de entrada", las técnicas pueden ser por conversión de longitud de onda o por combinación de longitud de onda.

WDM

Multiplexación por división de longitud de onda

WIXC

Es un WSXC con la facilidad añadida de traducir o cambiar la longitud de onda del canal a otra o de traducida a la misma longitud de onda incluso.

WSXC

Puede conmutar un subconjunto de longitudes de onda (canales) desde una fibra de entrada a una fibra de salida, requiere demultiplexación de las longitudes de onda de entrada.

Bibliografía

EXFO

Guide to WDM Technology & Testing
EXFO Electro-Optical Engineering Inc.

Alcatel

Proyectos de enlaces submarinos:
360 Americas
Flag Atlantic
Tera 10

Alcatel

Technical & Operator's Handbooks::
SLTE OALW64
Alcatel 1686WM

Alcatel

Optical cross-connects the newest element of the optical backbone network.
(White paper)

UIT-T

Recomendación G.652,G.653,G.655 y G.692

Acterna

DWDM

<http://www.acterna.com>; Sección de recursos técnicos
Wavetek Wandel & Golterman

Acterna

OSA-155

<http://www.acterna.com>; sección de productos
Wavetek Wandel & Golterman

Nortel

Folleto "OPTERA Long Haul" de Nortel Networks
<http://www.nortelnetworks.com>

Ericsson

Folleto "ERION" de Ericsoon

Corning

Advanced optical fiber for long distance telecommunication networks
<http://www.corning.com>