



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA
DE MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERÍA

DISEÑO E INTEGRACIÓN DE UNA RED
DE TRANSPORTE PARA UNA EMPRESA DE
TELECOMUNICACIONES USANDO EQUIPOS
DWDM EN EL ANILLO PRINCIPAL

T E S I S
QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE
INGENIERO MECÁNICO ELECTRICISTA
ÁREA ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA
P R E S E N T A
JUAN DE DIOS GONZÁLEZ JARAMILLO

DIRECTOR DE TESIS: ING. ROMAN VICTORIANO OSORIO COMPARAN



CIUDAD UNIVERSITARIA, D.F.

OCTUBRE 2005

Dedicatorias

- A mis padres.*** Porque con este trabajo de tesis damos término a muchos años de lucha y esfuerzo en mi preparación profesional, estoy muy agradecido con ustedes por su apoyo para lograrlo, pero sobre todo por la formación que me han dado en casa, son los mejores padres del mundo. Los amo.
- A mis hermanos.*** Podría describir para cada uno de ustedes la manera en que me han ayudado para lograr esta meta, pero somos muchos, así que sólo les digo gracias por todo el apoyo y los momentos que han compartido conmigo. Los amo.
- A Rodrigo.*** El más pequeño de mis hermanos.
- A María.*** Por el impulso y el apoyo que me has brindado para desarrollar este trabajo, pero sobre todo por la etapa que estamos viviendo, eres una esposa maravillosa. Te amo.
- A mis amigos.*** Jesús, Daniel y Víctor, por la amistad que me brindan y por todas las aventuras que hemos pasado juntos, sin duda con ustedes he vivido una de las etapas más bonitas de mi vida.

Agradecimientos.

A la UNAM. Particularmente a la Facultad de Ingeniería, por los conocimientos brindados en sus aulas.

Ing. Román Osorio. Por el tiempo y la asesoría en el desarrollo de este trabajo.

M. A. Víctor Pinilla. Por el apoyo brindado en la culminación de mi carrera.

CONTENIDO.

CAPITULO 1	Introducción	
1.1	Objetivo.	2
1.2	Introducción.	2
1.3	Marco histórico.	3
CAPITULO 2	La fibra óptica y el comportamiento de las señales ópticas	
2.1	La fibra óptica.	8
2.2	Comportamiento de la luz.	9
2.2.1	Reflexión de las ondas luminosas.	9
2.2.2	Refracción de las ondas luminosas.	10
2.2.3	Difracción de las ondas luminosas.	11
2.2.4	Atenuación.	13
2.2.5	Dispersión.	14
2.2.6	Dispersión cromática.	15
2.2.7	Dispersión por modo de polarización.	17
2.2.8	No linealidad de la fibra óptica.	18
2.3	Tipos de Fibra óptica.	19
2.3.1	Fibras multimodo.	19
2.3.2	Fibras monomodo.	21
CAPITULO 3	Sistemas de Comunicación por Medio de Fibra Óptica.	
3.1	Sistema de comunicación por fibra óptica.	24
3.2	Transmisores ópticos	25
3.2.1	Diodo emisor de luz	25
3.2.2	Diodo láser	26
3.3	Receptores ópticos	28
3.3.1	Fotodiodo PIN	29
3.3.2	Fotodiodo APD	29
3.4	Amplificadores ópticos	29
3.4.1	Amplificador Raman	31
3.4.2	Amplificador EDFA	32
3.5	Multiplexores y Demultiplexores.	34
3.6	Modulación.	36
3.6.1	Modulación en los sistemas de fibra óptica.	37
CAPITULO 4	Redes de transporte.	
4.1	Concepto de red.	39
4.2	Clasificación de las redes.	39
4.3	Redes auxiliares en redes de telecomunicaciones.	42
4.3.1	Red de sincronía.	42
4.3.2	Red de gestión.	44

4.4	Red PCM	46
4.4.1	Formación del PCM.	46
4.4.2	Estructura de la trama PCM.	48
4.5	Redes PDH	50
4.5.1	Estándares internacionales PDH.	50
4.5.2	Desventajas de las redes PDH.	52
4.6	Redes SDH	53
4.6.1	Estructura de la trama SDH	53
4.7	Elementos de la red SDH.	57
4.7.1	Equipamiento de los elementos SDH.	58
4.8	Topologías de redes SDH.	59
4.9	Esquemas de protección en redes SDH.	60
4.10	Sincronización de una red SDH.	62
4.11	Gestión de una red SDH.	64
CAPITULO 5 EI DWDM		
5.1	EI DWDM.	66
5.2	SDH a través de DWDM.	68
5.3	Componentes de un sistema DWDM.	69
5.4	Esquema de funcionamiento de un DWDM.	70
5.5	Topologías de redes DWDM.	71
5.6	Esquemas de protección en redes DWDM.	75
5.7	Gestión de los sistemas DWDM.	77
CAPITULO 6 Aplicación, puesta en marcha de una red DWDM		
6.1	Antecedentes.	80
6.2	Elección del equipo DWDM.	80
6.3	Caracterización de la fibra óptica.	81
6.4	Proceso de ingeniería.	85
6.5	Proceso de instalación.	86
6.6	Pruebas y resultados.	90
CAPITULO 7 Conclusiones.		
7.1	Conclusiones.	98
APÉNDICES		
Apéndice A	Acrónimos.	102
Apéndice B	Glosario.	103
ANEXOS		
Anexo I	Formato de inspección de sitio.	106
BIBLIOGRAFÍA		109

CAPITULO I

INTRODUCCIÓN

DISEÑO E INTEGRACIÓN DE UNA RED DE TRANSPORTE PARA UNA EMPRESA DE TELECOMUNICACIONES USANDO EQUIPOS DWDM EN EL ANILLO PRINCIPAL

1.1 Objetivo.

Hacer la descripción del diseño y la integración de una red de transporte haciendo uso de equipos DWDM “Dense Wavelength Division Multiplexing” (Multiplexación Densa por División de Longitud de Onda) en el anillo principal de la red, teniendo conectado a este anillos colectores formados de equipos SDH.

1.2 Introducción.

La tecnología actual avanza día con día de acuerdo a las necesidades con que se va enfrentando el hombre en su vida cotidiana, es el caso de las telecomunicaciones en general y específicamente en las comunicaciones por fibra óptica, la cual se encuentra en una etapa de evolución constante. Desde su entrada en el mercado comercial en la década de 1970, la fibra óptica ha madurado y encontrado aceptación en las telecomunicaciones.

La aparición de la fibra óptica, con su gran capacidad en ancho de banda con respecto al convencional cable eléctrico, constituyó en su momento un parte aguas tecnológico de relevantes consecuencias pues se considera posible, en un futuro más o menos cercano, un entorno realmente virtual y global basado en el despliegue de la tecnología multimedia accesible a todos y en cualquier lugar del mundo y así lograr constituir la llamada “Sociedad de la Información Global”.

En un principio la fibra óptica solo se usaba para transmitir voz y una cantidad no muy significativa de datos. Con la innovación tecnológica se generan nuevas posibilidades de mercado y es así como se vislumbra aprovechar la ventaja en términos de ancho de banda de la fibra óptica para transmitir simultáneamente voz, datos y vídeo, lo que se conoce como tecnología multimedia.

Los servicios demandados en la actualidad son muy diferentes a los que existían cuando muchas redes de fibra óptica fueron construidas, ello ha motivado la necesidad de más capacidad y ancho de banda sobre las fibras, esto para optimizar al máximo cada fibra instalada en las redes actuales. Es en este contexto donde aparece la tecnología DWDM, que es la tecnología que se ha desarrollado como una respuesta natural a las redes de alto tráfico a nivel mundial.

Por red de transporte se entiende a todos aquellos medios tecnológicos que sirven para aproximar la información desde su punto de entrada al de salida, pero no realizan la "entrega" de la información al usuario final. La red de acceso es la parte restante de la infraestructura que permite la comunicación, encargada de "entregar" la información.

Las redes de transporte juegan un papel muy importante en las telecomunicaciones de la actualidad, son las encargadas del envío y multiplexación de diversos tipos de información en diferentes formatos tanto analógicos como digitales. Su evolución ha sido gradual, desde las primeras redes analógicas, las digitales, hasta las redes ópticas. Así tenemos las redes como E1/T1 e ISDN basadas en líneas de cobre, así como las redes de transporte basadas en fibras ópticas como ATM, B-ISDN, SONET/SDH, y DWDM.

A principios de la década de 1980 los sistemas digitales se hicieron cada vez más complejos, tratando de satisfacer las demandas de tráfico de esa época. La demanda fue tan alta que en Europa se tuvieron que aumentar las jerarquías de tasas de transmisión de 140 Mbps a 565 Mbps. El problema era el alto costo del ancho de banda y de los equipos digitales. La solución era crear una técnica de modulación que permitiera la combinación gradual de tasas no síncronas, lo cual derivó al término que se conoce hoy en día como PDH. Jerarquía Digital Plesiócrona, (Plesiochronous Digital Hierarchy).

La primera red de transporte fue desarrollada con infraestructura PDH. La infraestructura PDH es conocida ampliamente por los estándares de transmisión de banda amplia T1, E1 y J1. Con el paso del tiempo la red PDH se convirtió en una red de acceso para la red de transporte SDH/SONET, Jerarquía Digital Síncrona/Red Óptica Síncrona, (Synchronous Digital Hierarchy/Synchronous Optical Network), que son definidas por la ITU-T (International Telecommunications Union – Telecommunications Sector) y por la ANSI (American National Standards Institute) respectivamente.

Los equipos SDH/SONET siguen teniendo mucho uso para formar redes de transporte, pero poco a poco se han convertido en redes de acceso para redes de transporte que usan tecnología DWDM, sobre todo en las grandes ciudades, en anillos metropolitanos y en las comunicaciones de larga distancia.

1.3 Marco histórico.

En esta tercera parte de este capítulo se hace un breve recuento histórico de los acontecimientos que han permitido el desarrollo de las telecomunicaciones por medio de fibra óptica y el desarrollo de la misma hasta llegar a las actuales redes basadas en tecnología DWDM.

Como una necesidad de poder comunicarse con sus semejantes el hombre ha creado a través de la historia diferentes medios para lograrlo, algunos de ellos son el lenguaje y la escritura, que se realizan mediante sonidos y símbolos. Los medios utilizados por el hombre para cubrir la necesidad de comunicarse han ido evolucionando, a continuación se enlistan los acontecimientos que han dado lugar al desarrollo de las telecomunicaciones hasta nuestros días.

1844, inauguración del primer sistema de telégrafo entre Washington D.C. y Baltimore, inventado por Samuel Morse

1876, Alexander Graham Bell patenta el teléfono.

1880, Alexander G. Bell construyó el fotófono que enviaba mensajes vocales a corta distancia por medio de la luz. Sin embargo, no es viable por la falta de fuentes de luz. Las ondas de luz son una forma de energía electromagnética y la idea de transmitir información por medio de luz, como portadora, tiene más de un siglo de antigüedad.

1892, se logra el primer intercambio telefónico automático usando marcación sin operadora

1894, Marconi efectúa la transmisión de señales inalámbricas a través de una distancia de 2 millas.

1899, el día 28 de marzo Marconi asombra con la primera comunicación por radio entre Inglaterra y Francia a través del Canal de la Mancha.

1901, en diciembre Marconi asombra con la primera comunicación inalámbrica a través del Atlántico, desde Inglaterra a Estados Unidos y viceversa.

1927, primer enlace continental mediante radio de onda corta.

1928, el físico alemán Paul Nipkow, inventor de la televisión realiza la primera transmisión inalámbrica de imágenes.

1935, se construyen los primeros cables coaxiales y multiplex para propósitos de comunicación.

60's., invención del láser. Volvió a tomar idea la posibilidad de utilizar la luz como soporte de comunicaciones fiables y de alta potenciabilidad de información, debido a su elevada frecuencia portadora 10¹⁴ Hz. Por entonces, empezaron los estudios básicos sobre modulación y detección óptica.

60's, invención de la fibra óptica. El empleo de fibras de vidrio como medio guía no tardó en resultar atractivo: tamaño, peso, facilidad de manejo, flexibilidad y coste. En concreto, las fibras de vidrio permitían guiar la luz mediante múltiples reflexiones internas de los rayos luminosos, sin embargo, en un principio presentaban elevadas atenuaciones.

1966, se produce un gran hito para las que serán las futuras comunicaciones por fibra óptica, y es la publicación por Kao y Hockman de un artículo en el cual se señalaba que la atenuación observada hasta

entonces en las fibras de vidrio, no se debía a mecanismos intrínsecos sino a impurezas originadas en el proceso de fabricación. A partir de entonces se implementa y usa la fibra óptica como una alternativa a los cables de cobre.

1969, nacimiento de internet, gracias al desarrollo de la red de computadoras ARPANET por VP Algora

1970, se uso oficialmente el método de Multiplexación por División de Tiempo (TDM) para intercambio telefónico

1970, Corning obtiene fibras con atenuación de 20 dB/km.

1970, primer láser de AlGaAs capaz de operar de forma continua a temperatura ambiente. Sin embargo, el tiempo de vida medio era de unas pocas horas. Desde entonces, los procesos han mejorado y hoy es posible encontrar diodos láser con más de 1,000,000 horas de vida media.

1971, C.A. Burrus desarrolla un nuevo tipo de emisor de luz, el LED, de pequeña superficie radiante, idóneo para el acoplamiento en fibras ópticas. Por lo que se refiere a los foto detectores, los diodos PIN y los de avalancha a base de silicio (Si), fueron desarrollados sin dificultades y ofrecían buenas características. Sin embargo, no podían aplicarse en longitud de onda >1100 nm. El germanio (Ge) era un buen candidato a ser utilizado para trabajar entre 1100 y 1600 nm, y ya en 1966 se disponía de ellos con elevadas prestaciones eléctricas. Sin embargo, la corriente de oscuridad (ruido) del Ge es elevada y da motivo a ensayos con fotodiodos con materiales como el InGaAsP. El primer PIN de InGaAs se realiza en 1977.

1972, fibra óptica con núcleo líquido con atenuación 8 dB/km.

1973, Corning obtiene fibra óptica de SiO_2 de alta pureza con atenuación de 4 dB/km y deja obsoletas a las de núcleo líquido.

1976, NTT y Fujikura obtienen fibra óptica con atenuación de 0.47 dB/km en 1300 nm, muy próximo al límite debido a factores intrínsecos.

1979, se alcanzan atenuaciones de 0.12 dB/km con fibras monomodo en 1550 nm. También en 1975 se descubría que las fibras ópticas de SiO_2 presentan mínima dispersión en torno a 1300 nm, lo cual suponía disponer de grandes anchos de banda para la transmisión, en cuanto a la dispersión del material de la fibra constituye un factor intrínseco limitativo. Las nuevas posibilidades que ofrecían las fibras ópticas también estimularon la investigación hacia fuentes y detectores ópticos fiables, de bajo consumo y tamaño reducido.

1981, invención del amplificador óptico.

80's, a finales de esta década aparece WDM usando dos longitudes de onda 1310nm y 1550 nm.

90's, a principios de esta década aparece la segunda generación de WDM usaba hasta ocho longitudes de onda con una separación de 400GHz. A mediados de esta década surgen los sistemas DWDM con capacidad de transportar 16 a 40 longitudes de onda con espaciamiento de 100 a 200 GHz. A finales de los 90's surgen los sistemas DWDM con capacidad para transportar hasta 160 canales con una separación de 25 a 50 GHz.

En la actualidad el uso de la fibra óptica junto con los equipos DWDM satisfacen la demanda de mayor capacidad de transporte de información, es decir de un mayor ancho de banda, el crecimiento de usuarios de internet, nuevos equipos de redes de datos y el uso de archivos de un gran tamaño cuentan con la capacidad del DWDM y otros equipos que trabajan en base a fibra óptica para poder ser transmitidos.

CAPITULO II

LA FIBRA ÓPTICA Y EL COMPORTAMIENTO DE LAS SEÑALES ÓPTICAS.

En el presente capítulo se hace una descripción de la fibra óptica y el comportamiento de las señales luminosas al ser transportadas por los diferentes tipos de fibras ópticas existentes.

2.1 La fibra óptica

Las fibras ópticas son filamentos de forma cilíndrica, formados por dos componentes que son: un núcleo y un revestimiento de vidrio, como se muestra en la figura 2.1. Este vidrio puede ser formado por cristales naturales o por cristales artificiales (plástico).

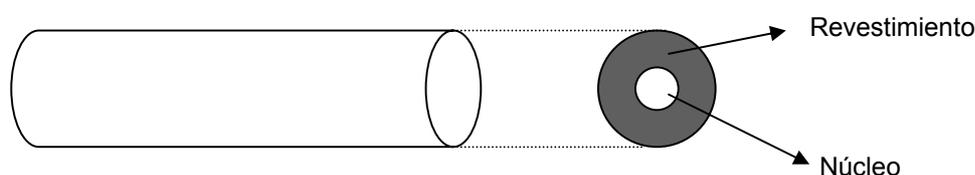


Figura 2.1 Perfil de la fibra óptica

1. El núcleo es la parte más interna de la fibra y es la que guía la luz. Consiste en una o varias hebras delgadas de vidrio o de plástico con diámetro de 50 a 125 micras.
2. El revestimiento es la parte que rodea y protege al núcleo. Su función principal es reflejar la luz hacia el centro de la fibra, atrapándola dentro del núcleo.

El conjunto de núcleo y revestimiento está a su vez rodeado por un forro o funda de plástico u otros materiales que lo resguardan contra la humedad, el aplastamiento, los roedores y otros riesgos del entorno.

Actualmente, los cables de fibra óptica pueden ser más finos que un cabello humano y más resistentes que el acero.

Se puede decir que el objetivo principal del uso de la fibra óptica es transmitir una gran cantidad de información con la menor pérdida posible. La cantidad de información que puede ser transmitida a través de la fibra óptica no depende en sí de la propia fibra sino de los dispositivos capaces de generar esta cantidad de información.

Algunas ventajas de la fibra óptica son las siguientes:

- No conduce electricidad. Con ello no hay peligro de descarga eléctrica.
- Inmune a campos electromagnéticos.
- No conduce radiación infrarroja. Ello significa que no se conduce calor a través del sistema de fibra óptica, lo cual puede resultar una ventaja para algunos circuitos muy sensibles al calor.
- La fuente de luz que será transportada a lo largo de la fibra se encuentra fuera del sistema de fibra óptica.
- Tiene un ancho de banda amplio.
- Baja atenuación, lo que se traduce en pérdidas menores por esta causa y mayor distancia entre repetidores.
- Por su tamaño y poco peso, soporta grandes tensiones, posee gran flexibilidad
- Amplia capacidad de multiplexaje. Pueden viajar varias señales de diferente frecuencia por la misma fibra.

2.2 Comportamiento de la luz

Para entender como viaja la información a través de una fibra óptica es necesario conocer el comportamiento de la luz al propagarse por este medio de transmisión. La luz que es considerada como una onda electromagnética se ve afectada en su propagación por los fenómenos de reflexión, refracción y difracción.

2.2.1 Reflexión de las ondas luminosas.

Una característica de la luz es la propiedad de reflexión, esto es que al hacer incidir un rayo luminoso en cualquier cuerpo, este refleja parte de la luz que incide sobre el, es decir devuelve parte de la luz recibida.

La ley de la reflexión dice que el ángulo del rayo incidente, "i", en una superficie es igual al ángulo reflejado, "r". Ver figura 2.2.

El rayo incidente, el rayo reflejado y la normal están en un mismo plano. El rayo incidente define con la normal en el punto de contacto, un plano. El rayo reflejado estará en ese plano y no se irá ni hacia delante ni hacia atrás.

La reflexión se presenta si se hace incidir la luz sobre una superficie plana o curva, figura 2.2, que separa a dos medios dieléctricos con distinto índice de refracción, se obtiene que: parte de la energía se refleja (rebota con un ángulo de reflexión igual de incidencia) y parte se refracta (atraviesa la superficie variando el ángulo de incidencia).

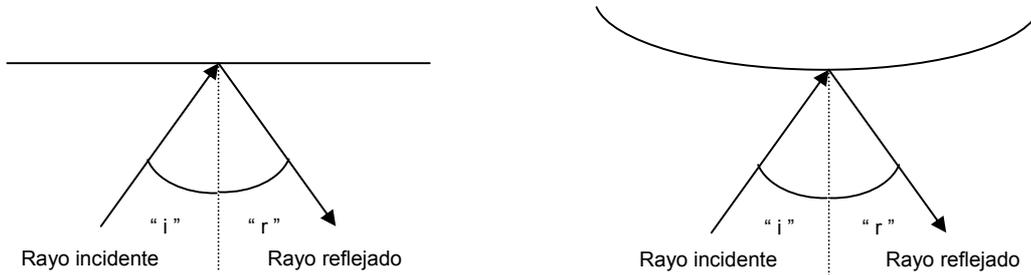


Figura 2.2 Reflexión de onda luminosa.

2.2.2 Refracción de las ondas luminosas.

La refracción es el cambio de dirección que experimenta un rayo de luz cuando pasa de un medio transparente a otro también transparente. Este cambio de dirección se origina por la distinta velocidad de la luz en cada medio. Fig.2.3

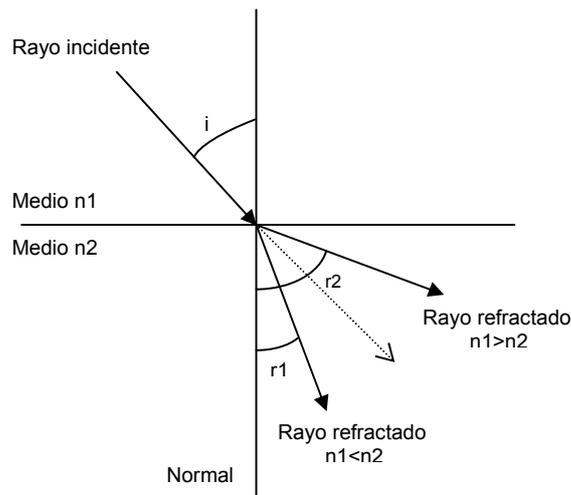


Figura 2.3 Refracción de la luz.

La magnitud del ángulo refractado depende de la relación entre los índices de refracción de los medios en que ésta se produce. Se llama índice de refracción “n” al cociente entre la velocidad de la luz en el vacío “C” y la velocidad que tiene la luz en ese medio “v”.

Un rayo se refracta (cambia de dirección) cuando pasa de un medio a otro en que viaja con distinta velocidad. El rayo incidente, el rayo refractado y la normal están en un mismo plano.

Cuando la luz se refracta cambia de dirección porque se propaga con distinta velocidad en el nuevo medio. Como la frecuencia de la vibración no varía al pasar de un medio a otro, lo que cambia es la longitud de onda de la luz como consecuencia del cambio de velocidad.

Si n_2 es mayor que n_1 , como en el caso de la luz cuando pasa desde el aire ($n_1 = 1$) al vidrio ($n_2 = 1.5$), el rayo refractado se curva y se acerca a la normal tal como muestra la figura 2.3. En el caso contrario, es decir, si el rayo de luz pasa del medio 2 (vidrio) al medio 1 (aire) se aleja de la normal.

Cuando el rayo de luz pasa de un medio más lento a otro más rápido se aleja de la normal.

A un determinado ángulo de incidencia le corresponde un ángulo de refracción de 90° y el rayo refractado saldrá "rasante" con la superficie de separación de ambos medios. Este ángulo de incidencia se llama ángulo límite o ángulo crítico.

Para ángulos de incidencia mayor que el ángulo crítico, el ángulo de refracción será mayor de 90° y el rayo no será refractado, ya que no pasa de un medio a otro, entonces se produce una reflexión total interna. En la fibra óptica la luz se propaga por reflexión total interna. En las múltiples reflexiones siempre supera el ángulo límite y el rayo se mantiene dentro de la fibra.

Para evitar pérdidas por dispersión de luz debido a impurezas de la superficie de la fibra, el núcleo de la fibra óptica está recubierto por una capa de vidrio con un índice de refracción mucho menor; las reflexiones se producen en la superficie que separa la fibra de vidrio y el recubrimiento.

2.2.3 Difracción de las ondas luminosas.

Este fenómeno se presenta siempre que de la luz emitida por una fuente se separa una fracción interponiendo un cuerpo opaco y esto es lo que da origen a su nombre que es división en fracciones, el cual consiste en que la trayectoria de la propagación en línea recta experimenta un cambio en su dirección. Para comprender en que forma la fibra óptica de material transparente logra encaminar la luz para guiarla, hemos de hablar del ángulo de aceptación.

Al incidir un rayo luminoso sobre una superficie de separación entre dos medios de distinto índice de refracción (núcleo y revestimiento en una fibra óptica), una parte del rayo se refleja y otra se refracta. Dependiendo de los índices de refracción de los materiales, existe un ángulo máximo de incidencia de la luz sobre el extremo de la fibra para el cual toda la luz incidente se propaga. Este ángulo se llama ángulo de aceptación y su seno se conoce como apertura numérica (AN). Cualquier onda que entre con un ángulo mayor que el de aceptación escapará a través del revestimiento.

El concepto de apertura numérica se usa para describir la potencia colectora de luz de la fibra y para calcular la eficiencia de acoplo fuente - fibra. Está definido como se muestra en la siguiente formula:

$$AN = \text{sen } \alpha_{\max} \sqrt{n_n^2 \times n_r^2}$$

En donde α_{\max} , representa el máximo ángulo de aceptación, n_n y n_r son los índices de refracción del núcleo y del revestimiento respectivamente.

Si se hace girar el ángulo de aceptación alrededor del eje de la fibra óptica, hasta formar un círculo, se formará lo que se conoce como cono de aceptación, el cual se muestra en la figura 2.4.

A medida que aumenta la AN de la fibra, más eficiente será el acoplamiento del emisor y la fibra, la cual sólo conducirá los rayos cuyo ángulo con el eje, sea menor al que se forma con el llamado cono de aceptación.

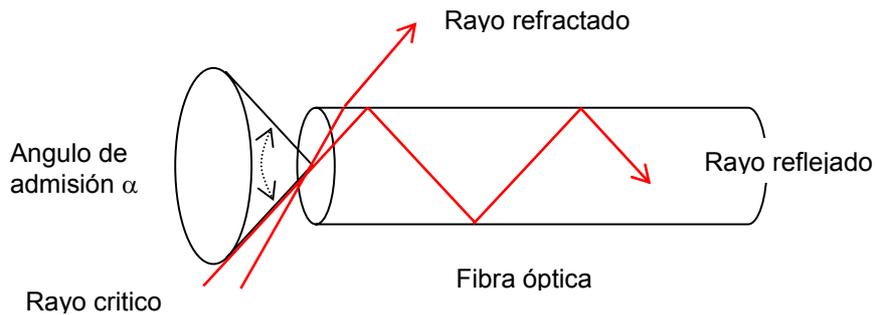


Figura 2.4 Apertura numérica

2.2.4 Atenuación.

La atenuación en la fibra óptica es la pérdida de potencia de la señal, la cual es medida en dB y dB/km. Estas pérdidas pueden ser de carácter intrínseco o extrínseco.

Los factores intrínsecos dependen de la composición de material con que este fabricada la fibra óptica, en el cual puede haber impurezas que no se pueden eliminar. Las ondas de luz viajan en el vacío sin ninguna perturbación, pero al viajar por un medio distinto sufre atenuación por dispersión, debida a dos factores como es la absorción, en donde la luz es absorbida por el material transformándose en calor y la difusión donde la energía se dispersa en todas direcciones. Esto ocasionará que parte de la señal se vaya perdiendo en su trayecto, por lo que estará atenuada al final de un tramo de fibra.

La absorción afecta a longitudes de onda mayores y se incrementa de forma dramática en longitudes de onda superiores a 1700 nm, mientras que la difusión afecta más a las longitudes de onda cortas que a las grandes, por lo cual limita el uso de longitudes menores a los 800 nm. Por estas dos razones las longitudes de onda mas usadas en comunicaciones ópticas son 1310 nm y 1550 nm.

Los factores extrínsecos son debidos al tendido que se haga de la fibra o de la calidad de sus empalmes, así como el uso de conectores en la ruta que sigue la señal óptica. La atenuación por curvatura se produce cuando existen en el tendido de la fibra curvas con una radio menor a 5 cm, cuando sucede esto la señal logra escapar del núcleo, por superar el ángulo máximo de incidencia admitido para la reflexión total interna.

Cuándo se hace un empalme entre fibras se produce una variación del índice de refracción lo que genera reflexiones y refracciones diferentes ocasionando atenuación, lo mismo ocurre cuando existe un conector en la ruta de la fibra.

En la figura 2.5 podemos ver que la atenuación aumenta conforme aumenta la longitud de onda y que existen cinco rangos de frecuencia llamadas ventanas en donde la atenuación es mínima y fuera del alcance de los picos de absorción, OH debidos al ión hidroxilo, estas ventanas son:

- Primera ventana, va de los 800 nm a los 900 nm aproximadamente, en dónde la señal puede tener una pérdida de 2 a 3 dB/km.
- Segunda ventana (Banda S), va de los 1300 a los 1310 nm aproximadamente, en dónde tenemos una pérdida de señal menor a los 0.35 dB/km.

- Tercera ventana (Banda C), va de los 1310 a los 1550 nm aproximadamente, es en ésta donde se tiene la mínima atenuación cercana a los 0.20 dB/km.
- Cuarta ventana (Banda L), va de los 1570 a los 1625 nm aproximadamente, la atenuación es muy similar a la tercera ventana 0.20 dB/km.
- Quinta ventana, esta ventana esta en etapa de experimentación.

Debido a que la mayoría de las fibras son de silicio el comportamiento de la atenuación de una señal para diferentes longitudes de onda en este tipo de fibra como se presenta en la figura 2.5.

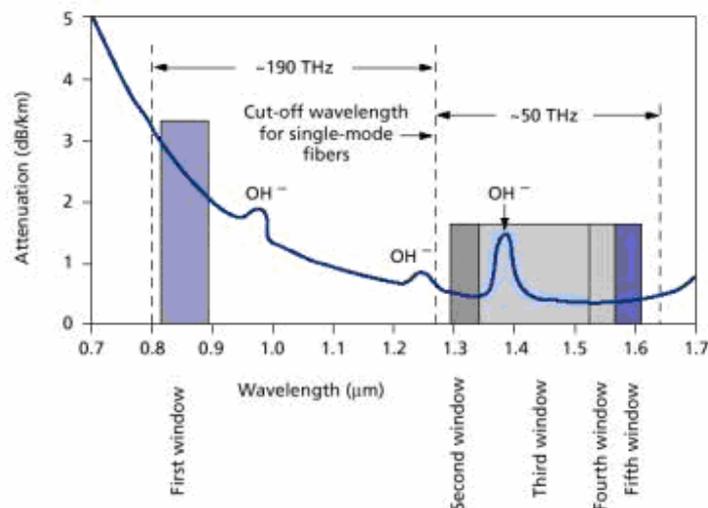


Figura 2.5 Atenuación y diferentes ventanas de operación de la luz.

2.2.5 Dispersión.

La dispersión, es el ensanchamiento y sobre posición de los pulsos ópticos en el tiempo al propagarse a través del medio óptico, lo cual limita el ancho de banda de transmisión.

El ancho de banda es función de la dispersión del pulso de luz y se puede definir como la mayor velocidad de transmisión para la cual los pulsos son aún reconocidos por el receptor.

La dispersión trae como consecuencia la pérdida de información, lo que puede limitar el ancho de banda de la fibra. Para que la información que viaja a través de la fibra óptica sea útil, es necesario que la atenuación de la luz no sea tan grande, y además que la información pueda distinguirse de una señal alta o

baja. Cuando se presenta dispersión, el ensanchamiento de la duración de los pulsos ocasionará la mezcla entre pulsos sucesivos perdiéndose así la información que es transmitida. Esto origina que se aumente el tiempo de envío entre dos pulsos sucesivos. Figura 2.6.

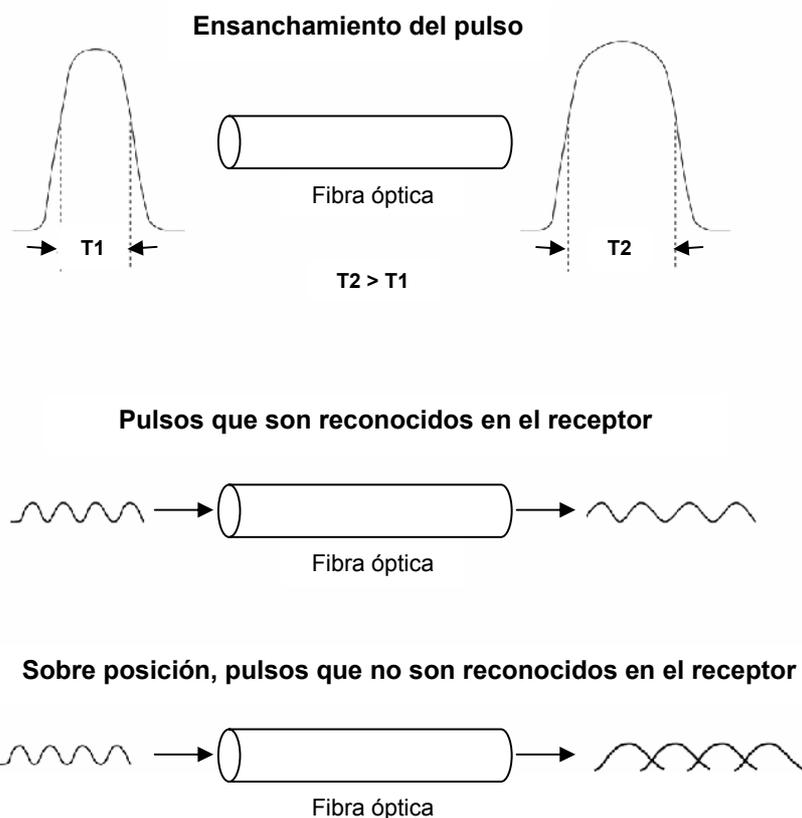


Figura 2.6 Dispersión.

El ensanchamiento y el desfase en los pulsos transmitidos es conocido como dispersión modal. Existen dos tipos de dispersión que afectan a los equipos DWDM que son la dispersión cromática y la dispersión por modo de polarización.

2.2.6 Dispersión cromática.

La velocidad de propagación de la luz en un medio distinto al vacío depende del valor de la longitud de onda, por ello dos señales luminosas con distinta longitud de onda que sean enviados por una misma fibra óptica no llegarán al mismo tiempo al recorrer una misma distancia en la fibra. Una fuente de luz no coherente, es decir que no tiene una frecuencia única de luz, propiciará que un pulso angosto y con cierta potencia que sea inyectado a una fibra óptica llegue al

otro extremo con mayor ancho y menor amplitud. Esta dispersión se mide en picosegundos por kilómetro y por nanómetro. Figura. 2.7



Figura 2.7 Dispersión cromática

La dispersión cromática está formada por dos componentes, la dispersión material y la dispersión por guía de onda.

La dispersión del material, tiene un valor mínimo en las cercanías de los 1300 nm para fibras de silicio puro, la cual puede ser variada dependiendo de los materiales usados en la construcción del núcleo. Esto es efectivo tanto para fibras monomodo como multimodo, sin embargo, para estas últimas, en la vecindad de las ondas de transmisión, el valor de la dispersión del material es despreciable en comparación con la dispersión modal.

La dispersión de guía de onda, se presenta de manera más importante en fibras monomodo. Esta es causada por la distribución del modo entre el núcleo y el revestimiento de la fibra, la cual es función de la longitud de onda y la diferencia de los índices de refracción, ver figura 2.8.

A mayor longitud de onda, una mayor proporción del modo fundamental se desplazará del núcleo a la envoltura. Como esta última tiene un menor índice de refracción, el modo se propagará a una mayor velocidad que otro con una menor longitud de onda y con una mayor porción en el núcleo.

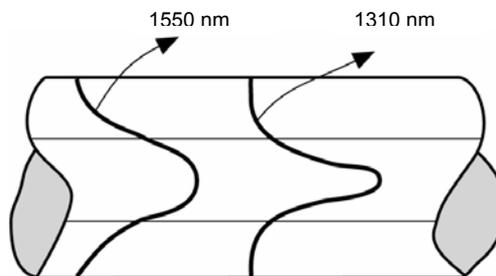


Figura 2.8 Dispersión de guía de onda

La dispersión cromática en fibras monomodo, está determinada por la suma de las dispersiones del material y de guía de onda.

Una forma de minimizar la dispersión cromática, es usando emisores de luz de menor ancho espectral. En longitudes de onda donde la dispersión cromática es alta, los pulsos ópticos tienden a expandirse en el tiempo y provocar interferencia.

2.2.7 Dispersión por modo de polarización.

La polarización es la propiedad de la luz la cual está relacionada con la dirección de sus vibraciones, el viaje de la luz en una fibra típica puede vibrar en dos modos de polarización de la onda, vertical y horizontal. Ver figura 2.9. Cuando una onda luminosa es inyectada en una fibra óptica su polarización no se mantiene constante durante todo su recorrido, por lo cual ocurren interacciones entre los pulsos, ocasionando que la señal llegue deteriorada al otro extremo.

Este tipo de dispersión PMD "Polarization Mode Dispersion" (Polarización por Modo de Polarización), se debe al proceso de fabricación de la fibra óptica y la forma de instalar la fibra, que al ser tendida sufre deformaciones y tiende a adquirir una forma ovalada, esta deformación es variable con el tiempo de vida de la fibra. Para velocidades menores a 10 Gbps el PMD no representa ningún problema. Su medición es importante en equipos DWDM ya que estos superan en mucho esta velocidad.

El PMD puede producir errores excesivos en los bits de transmisión en sistemas digitales y pueden distorsionar señales de video transmitidos usando formato de modulación de amplitud analógico.

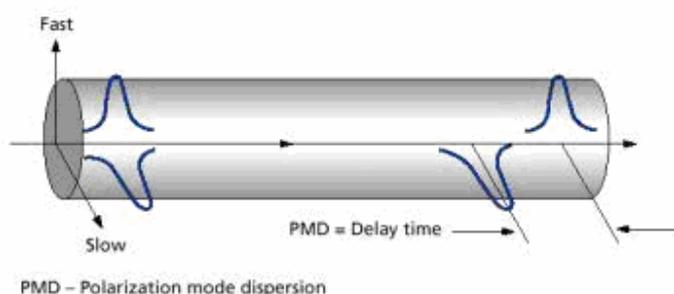


Figura 2.9 Polarización por Modo de Polarización

2.2.8 No linealidad de la fibra óptica.

Los niveles altos de potencia de las señales ópticas, como es el caso de los sistemas DWDM, provoca que estas interactúen con la fibra óptica, adquiriendo una gran variedad de efectos no lineales, con carácter acumulativo, que sino son controlados de manera adecuada pueden afectar en forma adversa el funcionamiento de los sistemas.

Los efectos no lineales son mecanismos que limitan la cantidad de datos que se pueden transmitir por una fibra óptica, estos efectos se pueden dividir en dos categorías: dispersión estimulada e índices de fluctuación refractivos.

La dispersión estimulada (Estimated Scatering) ocurre en sistemas de modulación intensos cuando las señales ópticas interactúan con las ondas acústicas o con vibraciones moleculares en la fibra de silicio. Esta interacción dispersa la luz y la cambia a una longitud de onda mayor. Hay dos formas de dispersión estimulada: “Stimulated Brillouin Scattering” (Dispersión Brillouin) y “Stimulated Raman Scattering” (Dispersión Raman).

Los índices de fluctuación refractivos están relacionados con el índice de refracción, el cual se mantiene constante a baja potencia pero en niveles de alta potencia se ve afectado variando la intensidad de la señal. Existen tres categorías de efectos de índices refractivos, dos son las modulaciones “Self-Phase” y “Cross-Phase” el tercer efecto es “Four-Wave Mixing” (Mezcla de Cuatro Ondas), este último es el que mas afecta a los sistemas DWDM.

Las interacciones entre las diferentes longitudes de onda de un sistema DWDM provocan la creación de bandas laterales que pueden causar interferencia. En la interacción de tres señales se provoca la mezcla de una cuarta, figura 2.10, que trae como consecuencia diafonía y una disminución de la relación señal a ruido. El fenómeno “Four-Wave Mixing”, limita la capacidad de canales de un sistema DWDM, este fenómeno no se ha podido eliminar eléctrica u ópticamente, y aumenta a medida que aumenta la longitud de la fibra. Una forma de reducir este fenómeno es el uso de la fibra NZ-DSF, “Non Zero Dispersion Shifted Fiber” (Fibra con Dispersión Sin Cero), la cual tiene la característica de aprovechar la pequeña cantidad de dispersión cromática que se presenta en ella y así contrarrestar el “Four-Wave Mixing”.

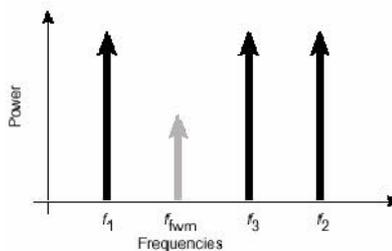


Figura 2.10 Mezcla de cuatro ondas.

2.2 Tipos de fibra óptica.

Por la composición del núcleo y revestimiento, existen tres tipos de fibra óptica, todas ellas construidas de vidrio ó plástico ó una combinación de ambos materiales:

- El núcleo de plástico y cubierta de plástico.
- El núcleo de vidrio con cubierta de plástico, conocida como PCS "Plastic Cover Silicon" (Sílice Cubierta de Plástico).
- El núcleo de vidrio y cubierta de vidrio, conocida como SCS "Silicon Cover Silicon" (Sílice Cubierta de Sílice).

Las fibras ópticas de plástico tienen ciertas ventajas respecto a las de vidrio ya que son más flexibles y más fuertes, fácil de instalar, resisten la presión, son menos costosas y su peso es un 60% menor. Su desventaja es que presentan una alta atenuación, ya que no propagan la luz de una forma tan eficiente como la de vidrio, por lo cual se limitan a longitudes cortas de cable.

Por el modo de propagación de la luz dentro de las fibras ópticas estas se clasifican en multimodo y monomodo.

2.3.1 Fibras multimodo.

Las fibras multimodo son llamadas así ya que en ellas se pueden presentar múltiples modos de propagación de la luz, esto es debido a que el índice de refracción no es constante en el trayecto de la fibra, tienen un diámetro mayor a los 50 μm .

Este tipo de fibra generalmente opera en las ventanas de 850 nm y 1300 nm, y es recomendada para usos en transmisión de datos, voz y video, en distancias no superiores a los tres kilómetros. Su alta apertura numérica y el diámetro de su núcleo, permiten una fácil conexión y el uso de emisores de luz de mayor ancho espectral, por lo cual, la fibra multimodo es una solución de bajo costo para transmisiones en cortas distancias y con pequeños anchos de banda.

Las fibras multimodo se dividen en fibras de índice escalonado y fibras de índice gradual.

- *Fibras de índice escalonado:* En este tipo de fibra, el núcleo tiene un índice de refracción constante, por lo cual sólo se presenta, de manera abrupta, un cambio en el índice de refracción del núcleo y la cubierta de la fibra. Las señales cuyo ángulo de incidencia sea inferior a la apertura numérica provocan la aparición de una multitud de rayos y ángulos de reflexión que se propagan a través de la fibra, como se muestra en la figura 2.11, lo cual trae como consecuencia

que estos lleguen al receptor con un desfase en el tiempo. Este desfase es conocido como dispersión modal, fenómeno que ocasiona que la señal transmitida sea de baja calidad, y que la distancia a la cual se puede transmitir sea limitada, por esta razón este tipo de fibra es usada para distancias cortas, hasta 1 km., en redes locales.

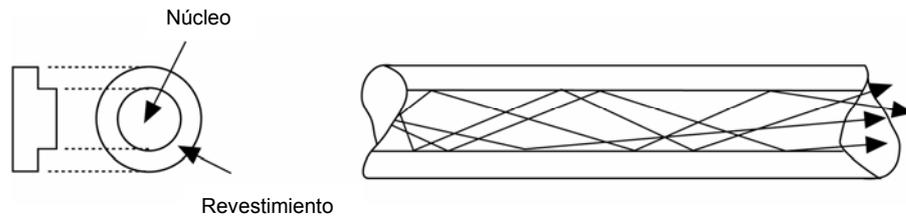


Figura 2.11 Fibra de índice escalonado.

- *Fibras de índice gradual:* En este tipo de fibras provocan menos modos de propagación que las de índice escalonado, además el índice de refracción del núcleo disminuye en forma gradual, produciendo que los modos que recorren una mayor distancia se aceleren a medida que se acercan a la cubierta del núcleo, mientras que los que viajan en forma mas recta lo hacen a menor velocidad debido a la menor densidad, permitiendo así, que los tiempos de desplazamiento para las distintas formas de propagación tiendan a igualarse, disminuyendo la dispersión modal, figura 2.12. Este tipo de fibras se usa para distancias de hasta 10 km.

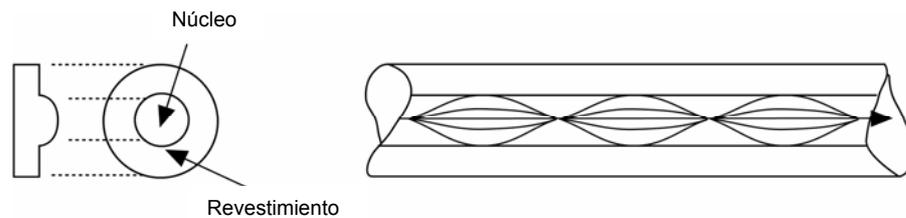


Figura 2.12 Fibra de índice gradual

2.3.2 Fibras monomodo.

Las fibras monomodo se caracterizan por tener un índice de refracción constante, además tienen un núcleo con un diámetro menor a $10\ \mu\text{m}$ por lo que permiten transmitir un solo modo de propagación, figura 2.13, eliminándose así el efecto de dispersión modal. Estas características, si bien hacen que este tipo de fibra óptica sea de alta capacidad de transmisión de datos y baja atenuación, haciéndola especialmente adecuada para transmisiones en sistemas de gran distancia, también traen como consecuencia una importante reducción en su apertura numérica, debiendo utilizarse fuentes emisoras de bajo ancho espectral, además de tener una mayor sensibilidad a errores mecánicos, malos tratos y empalmes defectuosos.

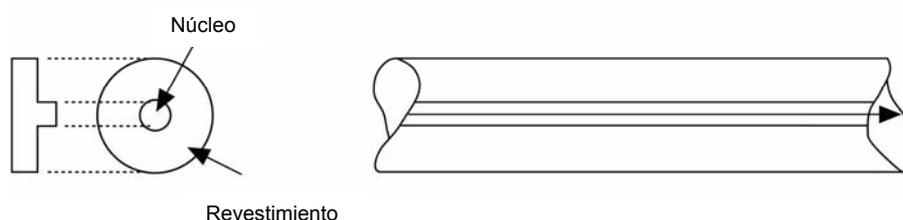


Figura 2.13 Fibra monomodo.

Debido a la capacidad de estas fibras para transmitir grandes cantidades de información y bajas pérdidas, son muy usadas para aplicaciones de gran ancho de banda y largas distancias, como lo es el DWDM.

Existen diferentes tipos de fibra óptica monomodo como son:

- *Fibra de dispersión sin cambios: NDFS "Non Dispersion Shifted Fiber", recomendación ITU-T G.652.* Diseñada para disminuir la dispersión cromática, la cual tiene un valor casi nulo en la segunda ventana cerca de los $1310\ \text{nm}$, es una de las fibras más usadas, incluso en la tercera ventana. En la ventana de $1550\ \text{nm}$ tiene una dispersión cromática de $+17\ \text{ps/nm/km}$ y una pérdida de alrededor de $0.2\ \text{dB/km}$. Se puede usar en DWDM con compensadores de dispersión. Puede soportar 10 Gigabit Ethernet hasta $300\ \text{m}$.
- *Fibra de dispersión con cambios: DSF "Dispersion Shifted Fiber", recomendación ITU-T G.653.* Debido a que en los enlaces a través de fibra óptica fueron requiriendo un mayor ancho de banda y una mayor distancia, hubo la necesidad de explotar la tercera ventana, llamada Banda C, que ofrece algunas ventajas como son, una baja atenuación y una misma frecuencia de operación con el EDFA "Erbium Doped Fiber Amplifier" (Amplificador de Fibra Dopado de Erblio), del cual hablaremos más adelante. La dispersión cromática

en este caso era un inconveniente, pues su magnitud era alta, al diseñar DSF se eliminó este problema, pues en 1550 nm la dispersión cromática es mínima. Podemos decir que este tipo de fibras es ideal para sistemas que operan a 1550 nm, pero no para el DWDM, pues se presenta efectos no lineales en la fibra.

- *1550 nm Fibra óptica con pérdida mínimas: 1550 nm Loss Minimized Fiber.* Es una fibra especial del tipo NDFS que presenta pérdidas muy bajas, menos de 0.18 dB/km, en la ventana de 1550 nm, esto se debe a que su núcleo está hecho de silicio puro con un muy buen dopaje.
- *Fibra con dispersión sin cero: NZ DSF (Non Zero Dispersion Shifted Fiber), recomendación ITU G.655.* Este tipo de fibra fue diseñada especialmente para amplificadores de gran ancho de banda, como lo es el DWDM, y en redes muy extensas, terrestres y submarinas. Presenta un valor máximo y un valor mínimo de dispersión cromática en la región de los 1550 nm, se encuentra normalmente dentro del rango de 4 a 8 ps/nm/km, de cierta manera controlable, lo cual permite reducir los efectos no lineales de la fibra, que perjudican el desempeño del DWDM.
- *Fibras de Nueva Generación.* Estas nuevas fibras permiten que la luz viaje en el revestimiento creando una pequeña cantidad de dispersión lo cual sirve para contrarrestar los efectos no lineales de la fibra como es la mezcla de cuatro ondas.

CAPITULO III

SISTEMAS DE COMUNICACIÓN POR MEDIO DE FIBRA ÓPTICA.

En el presente capítulo se hace una descripción del funcionamiento de los sistemas de comunicación a través de fibra óptica y de cada uno de los elementos que lo forman.

3.1 Sistema de comunicación por fibra óptica.

Un sistema de comunicación está formado por tres elementos que son el transmisor, el medio de transmisión y el receptor. El transmisor es el elemento que transforma o codifica el mensaje en una señal, el medio de transmisión es el elemento por donde viaja esta señal, la cual puede ser modificada en su trayecto antes de llegar al receptor, que es el elemento que recibe la señal y que debe tener la capacidad de decodificar la señal recibida.

En un sistema de comunicación basado en fibra óptica, existen los tres elementos mencionados en el párrafo anterior y están formados como sigue:

1. El transmisor, está formado por una fuente que emite la señal en el rango óptico del espectro electromagnético, es decir, una fuente que transforma las ondas electromagnéticas en señales luminosas.
2. El medio de transmisión por donde se propaga y transmite esta señal luminosa, es la fibra óptica.
3. El receptor, colocado al final de la fibra capta la señal luminosa emitida por la fuente, transformando la señal luminosa en una onda electromagnética, similar a la original.

En DWDM, además de los bloques, transmisor, medio de transmisión y receptor, hay un cuarto elemento que adquiere una importancia crucial, es el amplificador óptico.

El bloque transmisor en DWDM está constituido por diodos láser que emiten señales luminosas a diferentes longitudes de onda; estos diodos son normalmente del tipo DFB "Distributed Feedback" (Retroalimentación Distribuida), el bloque de medio de transmisión en un sistema DWDM está formado por la fibra NZ DSF y el bloque receptor que conforma el sistema DWDM está constituido por el conjunto de fotodetectores que reciben la radiación luminosa que ha viajado a través de la fibra.

3.2 Transmisores ópticos.

Un transmisor óptico es un dispositivo cuya función es convertir una señal eléctrica en una señal óptica, la cual puede ser enviada a través de la fibra óptica, es un convertidor electro – óptico (E/O), esta señal óptica es modulada antes de ser enviada, la modulación usada en fibra óptica se explica al final de este capítulo.

En un sistema de comunicación por fibra óptica el transmisor puede emplear como fuente de luz y elemento de salida un LED “Light Emission Diode” (Diodo Emisor de Luz) o un LD “Laser Diode” (Diodo Láser), LASER significa: “Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation” (Luz Amplificada por Emisión Estimulada de Radiación). Estas dos fuentes de luz son las más usadas debido a las siguientes características:

- Pueden modularse a altas velocidades de transmisión.
- Consumo bajo de energía.
- Alta potencia de salida.
- Buen desempeño durante los cambios de temperatura.
- Dimensiones pequeñas.

El láser presenta una mayor ganancia del sistema que el LED, debido a su mayor potencia de salida y a un mejor acoplamiento de la señal luminosa dentro de la fibra. La principal ventaja del diodo LED es su bajo costo, se usan cuando la ganancia no es un factor importante en el desempeño del sistema. El láser ofrece mejor rendimiento en anchos de banda grandes y largas distancias, para anchos de banda menores y cortas distancias se suele usar el LED.

Para cualquier transmisor un factor importante es el ruido (señales aleatorias indeseables que se suman a la señal debido al emisor de luz y a los circuitos electrónicos) y la relación señal-ruido (S/N). Las fibras ópticas son casi inmunes a todo tipo de interferencias, sin embargo, no así el transmisor y por ello debe ser diseñado con sumo cuidado para evitar este fenómeno.

Las fuentes de luz LED y diodo láser generan los pulsos luminosos a partir de la señal eléctrica, son diodos semiconductores en los que la radiación luminosa está basada en la emisión de fotones debido a la recombinación de pares electrón hueco provocada al circular una corriente por la unión p-n.

3.2.1 Diodo emisor de luz (LED).

En los diodos LED la emisión de la unión p-n es espontánea, son diodos que para emitir luz se polarizan de forma directa. La luz se emite a 360° que corresponden a una radiación esférica, aunque en la práctica esto queda limitado por la construcción mecánica del diodo, la reflexión de la luz en el material metalizado y la absorción en el metal semiconductor.

La apertura numérica puede variar desde 0.9 para un LED de gran ángulo hasta 0.2 para uno de estrecho ángulo. Aunque la apertura numérica de 0.2 es bastante pequeña, el área de emisión es grande comparada con la de un láser. La baja densidad de potencia resultante provoca que la potencia de salida sea pequeña comparada con la del láser.

Un ancho de banda típico para un buen diodo es de 200MHz, con un rendimiento de 50 μ W/mA, y no requiere corriente de umbral.

El LED presenta un espectro más ancho que el láser, así un LED de 850nm tiene un ancho entre 30 y 50nm.

Existe un LED de Galio, Arsénico/Galio, Aluminio y Arsénico, que trabaja en la zona de los 850nm, diseñado para acoplar el máximo posible de potencia en una fibra de pequeño núcleo. A 100mA ofrece potencias de salida en la fibra de 300mW, adecuadas para comunicaciones digitales con velocidades de 70 Mbps y alcances de hasta 7 km.

El LED presenta una gran fiabilidad en su desempeño, un buen tiempo de vida y un bajo costo.

De las características mencionadas en los párrafos anteriores se deduce que la aplicación idónea del LED está en sistemas de fibra óptica con:

- Fibras multimodo de apertura numérica alta.
- Baja velocidad de transmisión.
- Pequeña sección de regeneración.
- Baja velocidad de modulación.
- El LED no es usado en sistemas DWDM.

3.2.2 Diodo láser.

El proceso de generación de luz es similar al del LED. Las diferencias radican en el volumen de generación, más pequeño en los diodos láser, y en una alta concentración de portadores inyectados. Se consigue así una ganancia óptica alta y un espectro muy estrecho que da lugar a luz coherente, y no aleatoria como en el caso del LED, es decir los trenes de onda que emergen del láser están siempre en fase. A partir de una cierta densidad de corriente en la zona activa, la ganancia óptica excede a las pérdidas y la emisión pasa de espontánea a estimulada. La corriente a la que se produce el cambio se denomina umbral. Esta corriente es baja en el láser y su valor se encuentra entre 50mA y 150mA.

El láser puede ser modulado a velocidades más altas que el LED. El espectro de un láser es muy parecido al de un LED, siendo la ganancia típica de 5 μ W/mA menor que la ganancia típica de un LED.

La luz del láser puede acoplarse fácilmente a una fibra multimodo ya que el ancho del haz de luz es menor que el diámetro del núcleo de la fibra. También puede acoplarse a una fibra monomodo.

Actualmente existe una gran variedad de láser semiconductores para trabajar a longitudes de onda de 850nm. La pérdida considerablemente más baja, así como la mejor disposición de fibras ópticas de 1310nm y 1550nm han adelantado el rápido desarrollo de diodos láser que operen a esas longitudes de onda. Los de mayor éxito se basan en aleaciones de semiconductores de los elementos Indio, Fósforo/Galio, Indio, Arsénico, Fósforo.

Debido a sus características los diodos láser son utilizados en sistemas de fibra óptica con:

- Alta potencia óptica de salida.
- Fibras monomodo y multimodo
- Altas velocidades de transmisión.
- Baja dispersión.

El diodo láser que tiene un costo más elevado que el LED es utilizado en los sistemas DWDM como fuente de luz.

Existen varios tipos de diodos láser, el que se utiliza en sistemas DWDM es el de retroalimentación distribuida (DFB), ya que emite una luz casi monocromática, lo cual le permite alcanzar una gran velocidad y tiene una favorable relación señal a ruido (S/N). También tiene la ventaja de tener una frecuencia central en las regiones de los 1310 nm y 1550 nm, longitudes de onda compatibles con el EDFA.

En un sistema DWDM se usan varios diodos láser para generar señales con diferente longitud de onda, se trata de conseguir un arreglo de diodos láser en un solo bloque para reducir costos y ahorrar espacio. Estas diferentes longitudes de onda emitidas por los diodos láser se multiplexan mediante un equipo multiplexor y se transfieren a la fibra óptica por la cual viajan todas al mismo tiempo dando lugar a diferentes canales. Actualmente, el número de canales en los sistemas instalados puede ser hasta de 160.

Clasificación de la luz láser:

- *Clase 1.* Láser de baja potencia, es seguro e inofensivo al ser humano.
- *Clase 2.* Láser visible entre 400 y 700 nm, a estas longitudes de onda el ojo se protege con el propio parpadeo (0.25 seg.). Estos láser tienen máximo 1mW de potencia.

- *Clase 3.* Láser de potencia mediana: puede ser peligroso con o sin instrumentos ópticos (por ejemplo lupa o lente de joyero). Se divide en dos subclases: láser 3A (luz visible) y 3B (luz invisible).
- *Clase 4.* Láser de muy alta potencia, puede ocasionar lesiones oculares aunque sea de un rayo directo reflejado en forma especular o difusa. Esta clase de láser puede lesionar la piel y ocasionar incendios, se usa en la industria para corte y perforación de metales.

3.3 Receptores ópticos.

Un receptor óptico es un dispositivo cuya función es convertir una señal óptica en una señal eléctrica, es decir convierte los fotones en electrones. Es un convertidor ópto-eléctrico (O/E), esta señal es demodulada después de pasar por el detector óptico.

Muchos receptores tienen circuitos de control automático de ganancia (CAG) para mantener el mismo nivel de salida sin importar cual sea el nivel de entrada. Dado que el rango del nivel de entrada está limitado por el fotodetector, hay una potencia máxima sobre la cual se satura y una potencia mínima que representa la mínima detectable.

Otras consideraciones para los receptores analógicos son la relación señal/ruido y la tasa de error de bit, BER (Bit Error Rate), para receptores digitales, la fuente principal de ruido en el receptor es la etapa amplificadora que sigue al fotodetector.

Los fotodetectores más usados en los sistemas de transmisión por fibra óptica son: el fotodiodo PIN "Positive Intrinsic Negative" (Positivo-Intrínseco-Negativo), y el fotodiodo APD "Avalanche Photo Diode" (Foto Diodo de Avalancha).

El principio de operación de los fotodetectores es similar al del LED, la diferencia entre ellos es que el fotodetector no emite luz sino que la absorbe y los fotones son convertidos a electrones. En el fotodiodo PIN su relación de ganancia es 1 a 1, mientras que los APD proporcionan una ganancia a través de un proceso de amplificación, en donde un fotón actúa en el dispositivo liberando varios electrones.

El fotodiodo PIN tiene un buen desempeño y es muy fiable en su operación, además su costo es menor que el APD, en el cual la sensibilidad a la recepción y susceptibilidad a la temperatura son mayores que en el fotodiodo PIN. Los fotodiodos APD poseen velocidades de respuesta mayores, por lo tanto permiten la transmisión de mayores tasas de información y los fotodiodos PIN requieren circuitos de polarización más simples, pues trabajan a menores tensiones.

3.3.1 Fotodiodo PIN.

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

El diodo PIN se compone básicamente de una zona p y una zona n que son altamente conductoras junto a una zona intrínseca poco conductiva. Los fotones entran en la zona intrínseca generando pares electrón-hueco. El diodo se polariza inversamente para acelerar las cargas presentes en esta zona intrínseca, que se dirigen a los electrodos, donde aparecen como corriente. El proceso es rápido y eficiente. Como no hay mecanismo de ganancia, la máxima eficiencia es la unidad y el producto ganancia por ancho de banda coincide con ésta última.

Una estructura típica del fotodiodo PIN, tiene, como material absorbente de luz, a un compuesto de Indio, Galio, Arsénico.

3.3.2 Fotodiodo APD.

Los APD también son diodos polarizados en inversa, pero en este caso las tensiones inversas son elevadas, originando un fuerte campo eléctrico que acelera los portadores generados, de manera que estos colisionan con otros átomos del semiconductor y generan más pares electrón-hueco. Esta ionización por impacto determina la ganancia de avalancha.

La ganancia de un APD tiene influencia sobre el ancho de banda. El máximo ancho de banda se da para ganancia 1. Con ganancias mas elevadas, el ancho de banda se reduce debido al tiempo necesario para que se forme la foto avalancha. El producto ganancia por ancho de banda en un APD es máximo en dispositivos y materiales, en los que el tiempo de tránsito efectivo es menor.

3.4 Amplificadores ópticos.

Como se ha mencionado anteriormente una señal al viajar a través de una fibra óptica es atenuada en su recorrido, si este es muy largo es probable que la señal no sea entendible al llegar al receptor, es así como surgen los amplificadores, cuya misión en un sistema de comunicación es incrementar la potencia de la señal para que pueda llegar en forma integra a su destino final. Al viajar una señal largas distancias además de ser atenuada, es deformada a causa de la dispersión, por lo que las señales además de ser amplificadas muchas veces son regeneradas.

Los primeros amplificadores usados en sistemas de fibra óptica eran conversores opto-electro-ópticos, ya que la señal óptica era convertida a una señal eléctrica la cual se amplificaba, una vez amplificada nuevamente era convertida en señal óptica para ser inyectada a la fibra con una mayor potencia, este proceso ocasiona que la señal sufra retardos debido al uso de componentes electrónicos, este problema se soluciona con los amplificadores ópticos.

Además, el amplificador óptico no deforma las señales, las amplifica idénticas. Esta propiedad subsiste en condiciones extremas de funcionamiento. Por ejemplo, con una potencia de entrada demasiado elevada disminuye la ganancia pero la señal no se distorsiona, a diferencia del caso de los amplificadores electrónicos.

En la actualidad, los repetidores de fibra óptica están separados entre sí unos 100 km, frente a aproximadamente 1.5 km en los sistemas eléctricos. Los amplificadores de fibra óptica recientemente desarrollados pueden aumentar todavía más esta distancia.

Los amplificadores ópticos no compensan la dispersión ni quitan el ruido de la señal, ya que el ruido y la dispersión son acumulativos. Cuando la dispersión y el ruido llegan a los límites permitidos, entonces se debe regenerar la señal. En la figura 3.1 se muestra la diferencia entre una señal amplificada y una regenerada.

Los amplificadores ópticos en la actualidad tienen la capacidad de poder amplificar todas las longitudes de onda transmitidas. La gama de frecuencias que acepta un amplificador llega a ser del orden de Terahertz. Pueden ser utilizados para uniones ópticas, después de multiplexar una señal o antes de demultiplexarla.

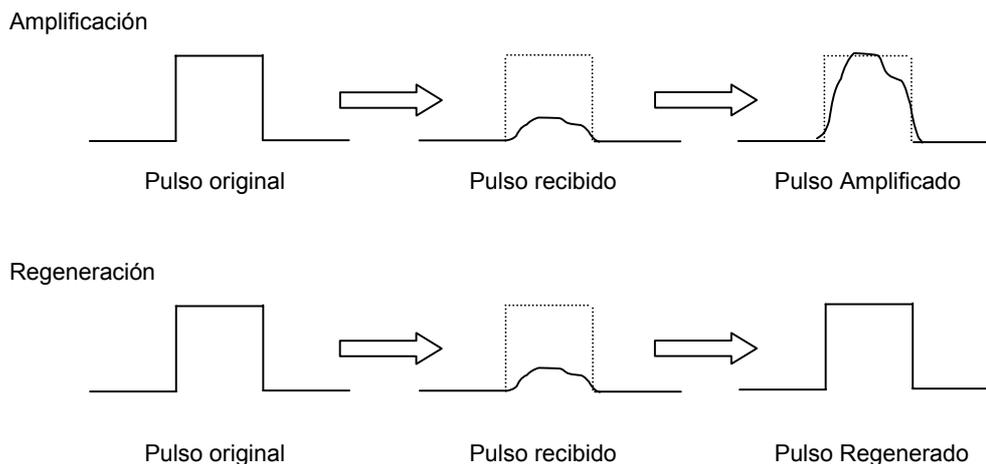


Figura 3.1 Comparación entre amplificador y regenerador.

Los amplificadores pueden ser colocados en diferentes puntos del sistema, según el lugar donde se coloquen adquieren un nombre:

- *Post-Amplificador*: es colocado después del multiplexor, a la salida del transmisor, puede ser que dé el alcance necesario para llegar al otro extremo sin necesidad de tener un sitio intermedio.
- *Amplificador de línea*: Se coloca en el trayecto del medio de transmisión, que es la fibra óptica, recibe una señal con un nivel de potencia bajo la cual es amplificada a una potencia mucho mayor.
- *Pre Amplificador*: Se coloca a la entrada del receptor antes del demultiplexor, son muy sensibles, tienen un nivel de ruido bajo y una ganancia alta.

En los sistemas de comunicación por fibra óptica, como es el DWDM, los amplificadores más utilizados son el amplificador de fibra dopada con erbio (EDFA) y el amplificador Raman, el cual se usa principalmente para comunicaciones a larga distancia. Una tercera opción para algunos sistemas de comunicación por fibra es el uso de la combinación de estos dos amplificadores, es decir un sistema híbrido con el cual se obtienen mejores resultados.

3.4.1 Amplificador Raman.

La dispersión Raman es una propiedad no lineal de la fibra óptica, en donde entra una pequeña cantidad de luz, la cual cambia su frecuencia, esto depende del material con el que esta fabricada la fibra y es independiente de la señal luminosa que desea transmitirse. Este efecto es aprovechado para transferir una potencia mayor a una señal débil mediante una bomba láser.

Los amplificadores Raman están basados en el efecto no lineal del mismo nombre, utilizan la potencia de un rayo láser en la amplificación de las longitudes de onda de las señales que se transmiten a través de la fibra óptica. Para obtener ganancias en la banda de 1550 nm, se debe bombear a longitudes de onda aproximadas a los 1455 nm. El láser de bombeo utilizado tiene una potencia de entre 500 y 700 mW.

En los amplificadores Raman la señal es amplificada hasta sus máximos niveles de potencia y es enviada a través de la fibra óptica. La atenuación inherente a las señales transmitidas por una fibra puede ser combatida en la misma fibra. En el diseño de este amplificador se usa una señal de láser de onda continua, que típicamente es enviada por la fibra desde el extremo del receptor, bombeando la fibra, y convirtiendo la misma fibra en un amplificador.

Con el uso de los amplificadores Raman se mejora la relación señal a ruido (S/N), y aumenta el ancho de banda de amplificación, logrando así una mejor calidad en la transmisión y aumento de capacidad en los sistemas.

3.4.2 Amplificador EDFA.

El amplificador mas utilizado en los sistemas DWDM es el EDFA. Al dopar una sección de la fibra con un metal raro como el erbio, el cual al ser excitado emite luz alrededor de los 1550nm, la señal es amplificada sin la necesidad de convertirla en señal eléctrica.

El principio de operación de un EDFA es el siguiente: La señal que se desea amplificar pasa por una sección de la fibra dopada con erbio, los átomos de erbio contenidos en la fibra se excitan por medio de un diodo láser auxiliar que los “bombea” a un estado de energía superior, cuando los átomos regresan a su estado original liberan la energía en forma de luz, alrededor de 1550nm, esta energía es cedida a la señal que desea amplificarse la cual adquiere una potencia muy elevada, esta potencia se multiplica por un factor que va de 100 a 10000.

La fibra dopada con erbio mide de 10 a 50 m de longitud, la luz que emite el diodo láser auxiliar tiene una frecuencia de 980nm o 1480nm, al proceso de inyección de luz de este láser se le conoce como bombeo (pumping).

El EDFA tienen la cualidad de que la ganancia, es decir el factor de amplificación, es insensible a la polarización de la señal incidente (la polarización caracteriza la dirección en la que vibra el campo eléctrico asociado a la onda luminosa). Es una ventaja esencial, ya que el estado de polarización de las señales se modifica de forma aleatoria a medida que se propagan por la fibra. En la figura 3.2 podemos ver en forma básica el funcionamiento del EDFA.

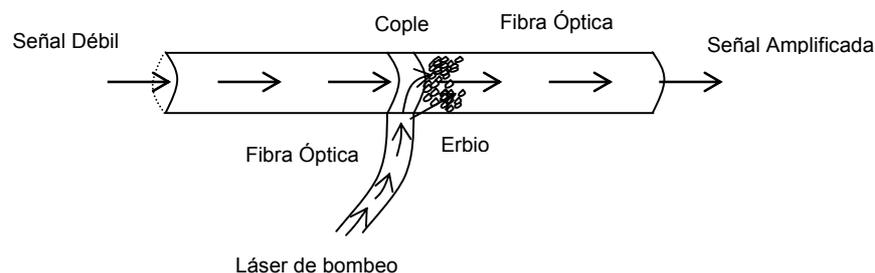


Figura 3.2 Funcionamiento del EDFA

Debido a que el EDFA es de emisión espontánea también agrega una señal de ruido, que es un parámetro que se toma en cuenta en el diseño de estos amplificadores tratando de evitarlo, por esta razón cada receptor lleva asociado un filtro óptico sintonizable que permite eliminar las señales no deseadas (es decir, seleccionar un solo canal / longitud de onda) y minimizar el ruido generado por el amplificador EDFA.

Además de los niveles de ruido otros parámetros que se toman en cuenta para los diseños de estos amplificadores son la ganancia y la potencia de salida. La potencia de salida se determina básicamente por la potencia del láser de bombeo, de ahí el hecho de la investigación que se está haciendo continuamente en el desarrollo de diodos láser más potentes, y las pérdidas internas que se pueden presentar en el amplificador. La ganancia debe ser totalmente plana para lograr una amplificación uniforme de la señal. Esta señal esta formada por varias longitudes de onda ó canales en un DWDM.

Muchos de los amplificadores EDFA están basados en una construcción a base de silicio y cuentan con dos secciones: una optimizada para canales de longitud de onda larga mayores que 1565 nm (banda L) y la otra optimizada para canales convencionales de 1525-1565 nm (banda C).

En la tabla 3.3 se muestran las características de los amplificadores Raman y EDFA.

Característica	EDFA	Raman
Amplificación de Banda	Trabaja en las bandas "C" y "L" (alrededor de 1550nm); no trabajan en el rango de 1300nm.	Depende de la disposición de bombas de longitud de onda; funciona en todas las bandas.
Ganancia	20dB ó más depende de la concentración de los iones, la longitud de la fibra y la configuración de las bombas.	De 4 a 11 dB, proporcional a la intensidad de la bomba y la efectividad de la longitud de la fibra.
Potencia de saturación	Depende de la ganancia y las constantes del material.	Se aproxima a la potencia de las ondas de la bomba.
Ruido	Amplifica el ruido.	No amplifica el ruido.
Longitud de onda de la bomba	980 nm. ó 1480 nm.	Aproximadamente 100 nm más abajo que la longitud de onda de la señal en ganancia pico.
Número de amplificadores	Alrededor de 6.	Alrededor de 12.
Espaciamiento	80 a 100 Km.	Alrededor de 65 Km.
Característica	Configuración Híbrida EDFA y Raman	
Número de amplificadores	Alrededor de 12.	
Espaciamiento	80 a100 Km.	

Tabla 3.3 Amplificadores Raman y EDFA

3.5 Multiplexores y Demultiplexores.

Un multiplexor (mux), es un dispositivo que tiene varias entradas y una salida, su función es recibir varias señales que desean transmitirse de manera simultánea por un solo canal de comunicación de tal forma que las acopla en una sola señal hacia la salida, esta señal llega al demultiplexor (dmux) el cual realiza la función contraria al mux, es decir recibe una sola señal y la separa en las señales que inicialmente entraron al mux.

Como se mencionó anteriormente un sistema DWDM puede transmitir hasta 160 señales o canales de manera simultánea, para lograr esto se requiere de un multiplexor al cual entran las diferentes longitudes de onda y las acopla en una sola señal, que en la parte de la recepción entra al demultiplexor que se encarga de separar las diferentes longitudes de onda que componen la señal recibida. El demultiplexaje se lleva en el receptor antes de que la señal llegue al detector óptico.

La principal ventaja del multiplexaje es la de reducción de los costos de la red al minimizar el número de enlaces de comunicación entre dos puntos.

Existen diferentes técnicas de multiplexaje como son:

- *Multiplexaje por División de Frecuencia (FDM, Frequency Division Multiplexing)* En esta técnica toda la banda de frecuencias disponible en el enlace de comunicaciones es dividida en sub-bandas o canales individuales. Las señales viajan en paralelo sobre el mismo canal de comunicaciones, pero están divididos en frecuencia, es decir, cada señal se envía en una diferente porción del espectro. Como la frecuencia es un parámetro analógico, el uso actual de esta técnica de multiplexaje es para aplicaciones de televisión.
- *Multiplexaje por División de Tiempo (TDM, Time Division Multiplexing)*. Esta técnica apareció después de FDM. Un multiplexor basado en TDM empaqueta un conjunto de información (tramas de bits) de diferentes fuentes en un solo canal de comunicación en ranuras de tiempo diferentes. En el otro extremo estas tramas son demultiplexadas y llevadas a su respectivo canal. Debido a que los multiplexores TDM manejan tramas de bits, son capaces de comprimir la información al eliminar redundancias en los paquetes, su mayor uso se da en aplicaciones de voz.
- *Multiplexaje por División de Longitud de Onda (WDM, Wavelength Division Multiplexing)*. Esta técnica conceptualmente es idéntica a FDM, con la diferencia de que involucra haces de luz a través de fibras ópticas. La idea es la misma, combinar diferentes señales de diferentes frecuencias, sin embargo aquí las frecuencias son muy altas y por lo

tanto se manejan comúnmente en longitudes de onda. La diferencia entre WDM y DWDM es que DWDM maneja más de dos señales y WDM solo dos, existe además CWDM “Coarse Wavelength Division Multiplexing” (Multiplexión Ligera por División de Longitud de Onda), el cual tiene la capacidad de multiplexar hasta 4 señales ópticas.

Por medio de multiplexores y demultiplexores, los sistemas WDM combinan multitud de canales ópticos sobre una misma fibra, de tal modo que pueden ser amplificados y transmitidos simultáneamente. Cada uno de estos canales, a distinta longitud de onda, puede transmitir señales de diferentes velocidades y formatos. Las redes DWDM pueden transportar 80 canales de 2.5 Gbps (un total 200 Gbps), ó 40 canales de 10 Gbps (un total de 400 Gbps). En algunos casos se pueden transportar 160 canales.

Los multiplexores optimizan el canal de comunicaciones, son parte importante en las redes de transporte y ofrecen las siguientes características:

- Permiten que varios dispositivos compartan un mismo canal de comunicaciones.
- Útiles para rutas de comunicaciones paralelas entre dos puntos.
- Minimizan los costos de las comunicaciones, pues por un solo par de fibra óptica se pueden enviar hasta 160 señales.
- Los datos de varios dispositivos pueden ser enviados en un mismo circuito por un multiplexor. El demultiplexor separa y envía los datos a los destinos asignados.
- Capacidad para compresión de datos que permite la eliminación de bits redundantes para optimizar el ancho de banda.
- Capacidad para detectar y corregir errores entre dos puntos que están siendo conectados para asegurar que se mantenga la integridad y precisión de los datos transmitidos.

El OADM “Optical Add/Drop Multiplexer” (Multiplexor Óptico de Inserción y Extracción), es uno de los multiplexores usados en los sistemas DWDM. El OADM es básicamente un acoplador con la capacidad de insertar y extraer longitudes de onda en cualquier punto de la red, este esquema se muestra en la figura 3.4. Son totalmente ópticos no requieren de una conversión opto-eléctrica o viceversa.

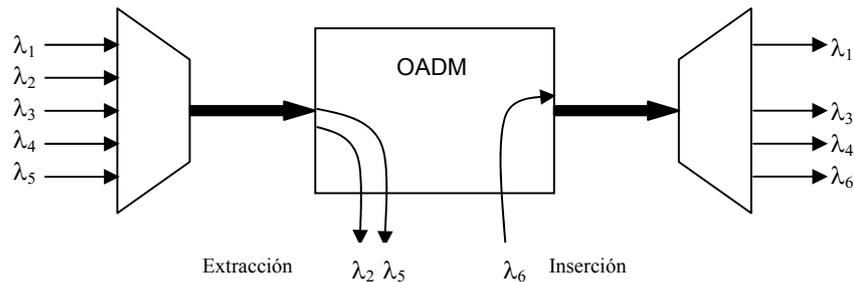


Figura 3.4 OADM

3.6 Modulación.

Para poder transmitir de manera simultánea varias señales por un mismo canal de comunicación es necesario cambiar alguna característica de la señal. Para llevar a cabo este cambio se recurre a una señal auxiliar (portadora), de la cual se modifica alguna característica, ya sea la amplitud, la frecuencia o la fase, al agregarle la información que desea transmitirse; a este proceso se le conoce como modulación. La modulación se lleva a cabo en el transmisor del sistema. La información puede ser analógica o digital, teniendo así dos tipos de modulación:

- *Modulación analógica.* En este tipo de modulación las ondas portadora y moduladora son señales analógicas, dependiendo del parámetro que se modifique en la portadora, se tienen los siguientes tipos de modulación:
 - AM “Amplitude Modulation” Modulación de amplitud.
 - FM “Frequency Modulation” Modulación de frecuencia.
 - PM “Phase Modulation” Modulación de fase.
- *Modulación digital.* En este tipo de modulación la onda portadora es analógica y la moduladora digital. Dependiendo de la característica que sea modificada en la portadora, se tienen los siguientes tipos de modulación.
 - ASK “Amplitude Shift Keying” Modulación digital de amplitud.
 - FSK “Frequency Shift Keying” Modulación digital de frecuencia.
 - PSK “Phase Shift Keying” Modulación digital de fase.

Al llegar al receptor las señales transmitidas sufren el proceso contrario a la modulación, que es la demodulación, mediante la cual se recupera la señal original. Existen dos tipos de demodulación.

- *Detección de envolvente.* El detector recibe la señal modulada y en base a las variaciones que esta presenta obtiene la señal original (moduladora). Este tipo de demodulación es usado en AM y ASK.

- *Detección síncrona.* Al detector le es proporcionada la onda modulada y la de referencia generada. La composición de ambas reproduce la señal primitiva. Este tipo de demodulación es usado comúnmente para ondas moduladas en frecuencia o en fase.

3.6.1 Modulación en los sistemas de fibra óptica.

La mayor parte de los sistemas por fibra óptica utilizan modulación digital, el tipo de modulación utilizado es el de amplitud, modulando la intensidad de luz generada por el transmisor. Las no linealidades de los transmisores y receptores al convertir las señales eléctricas a ópticas y viceversa, así como las fuentes de ruido que se superponen a la señal en los sistemas típicos de fibra óptica hacen que este sistema sea especialmente apropiado para la transmisión de señales digitales, no obstante también es posible transmitir señales analógicas.

La señal de información puede transmitirse de las siguientes formas:

- Modulación directamente en forma de banda base (D-IM, Direct Intensity Modulation).
- Incorporada en una subportadora eléctrica modulada en amplitud. (AM-IM, Amplitude Modulation – Intensity Modulation).
- Incorporada a una subportadora eléctrica modulada en frecuencia o fase (FM-IM, Frequency modulation – Intensity Modulation, PM – IM, Phase Modulation – Intensity Modulation).
- Modulando un tren de impulsos, que actúa como subportadora, en amplitud, duración, posición y modula el haz luminoso.

CAPITULO IV

REDES DE TRANSPORTE.

En el presente capítulo se presenta la evolución que han experimentado las redes de transporte en las telecomunicaciones, desde las primeras que eran a base de cobre hasta las actuales basadas en fibra óptica. Se muestra como ha ido creciendo la capacidad de transmisión en las telecomunicaciones.

4.1 Concepto de red.

Tradicionalmente las redes se han definido por el tipo de servicio que brindan, así se tienen entre otras, redes de telefonía, radio, TV y datos; puede decirse que eran redes independientes que incluían el acceso, el transporte y la conmutación, los tres elementos esenciales de cualquier red de telecomunicaciones, y que lograban una comunicación entre ellas haciendo uso de equipos intermedios que las interconectaban. Esto se presentaba con la tecnología analógica, actualmente con la digitalización no es necesario el uso de los equipos intermedios de interconexión.

Por lo anterior se puede decir que una red de telecomunicaciones es un conjunto de dispositivos interconectados entre sí, con el objetivo de transmitir y compartir información entre ellos.

La información que pueden intercambiar los dispositivos de una red puede ser de lo más variada: correos electrónicos, vídeos, imágenes, música, registros de una base de datos y voz entre otros. La transmisión de esta información se produce a través de un medio de transmisión o combinación de distintos medios: cables de cobre, fibra óptica, tecnología inalámbrica y enlaces vía satélite.

4.2 Clasificación de las redes.

Por su tamaño las redes se clasifican en LAN, MAN y WAN.

- *LAN* “Local Area Network” (Red de Área Local), es una red local dentro de una empresa o de un departamento de la misma, ver figura 4.1. En esta red se pueden conectar todo tipo de anfitriones (host) como por ejemplo estaciones de trabajo, servidores, impresoras u otros recursos compartidos. Debido a sus limitadas dimensiones, son redes muy rápidas en las cuales cada estación se puede comunicar con el resto. Las características fundamentales de LAN son:
 - Área geográfica limitada a 2 Km.
 - Número de anfitriones (host) inferior a 300
 - El ancho de banda habitual es de 10 Mbps, aunque también puede ser más alta, en la actualidad existe ya un Ethernet Rápido (Fast Ethernet) a 100 Mbps. y el Gigabit Ethernet a 1000 Mbps.
 - El retardo en la transmisión es inferior a 10 ms.
 - Para conectar entre sí diversas LAN se usa un enrutador o un conmutador.

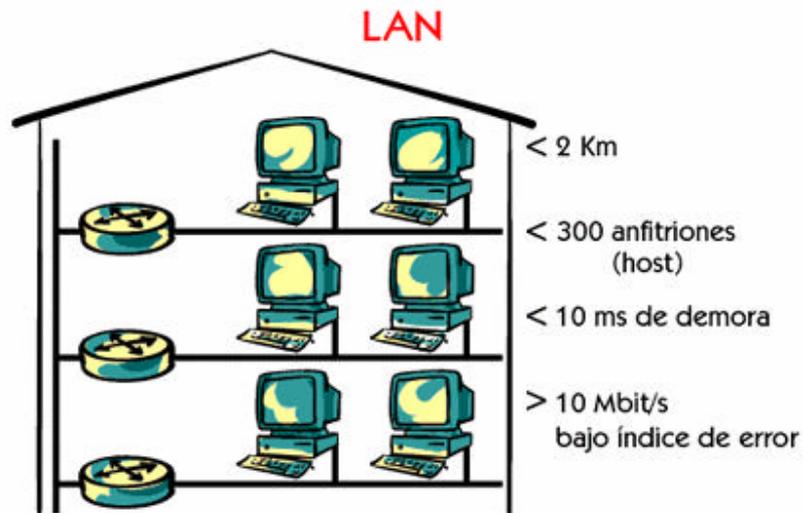


Figura 4.1 Red LAN

- MAN “Metropolitan Area Network” (Red de Área Metropolitana), es una red urbana que conecta diferentes LAN en una misma ciudad, FDDI “Fiber Distributed Data Interface” (Interfaz de Datos Distribuidos mediante Fibra) es la técnica habitual utilizada en esta red. Ver figura 4.2

Las características fundamentales de MAN son:

- Área geográfica de hasta 100 Km.
- Número de anfitriones (host) inferior a 1000.
- El ancho de banda habitual es superior a 100 Mbps.
- El retardo en la transmisión es inferior a 100 ms.
- Actualmente la red MAN esta basada en técnicas con mayor ancho de banda, como por ejemplo ATM “Asynchronous Transfer Mode” (Modo de Transferencia Asíncrona) que funciona a 622 Mbps.

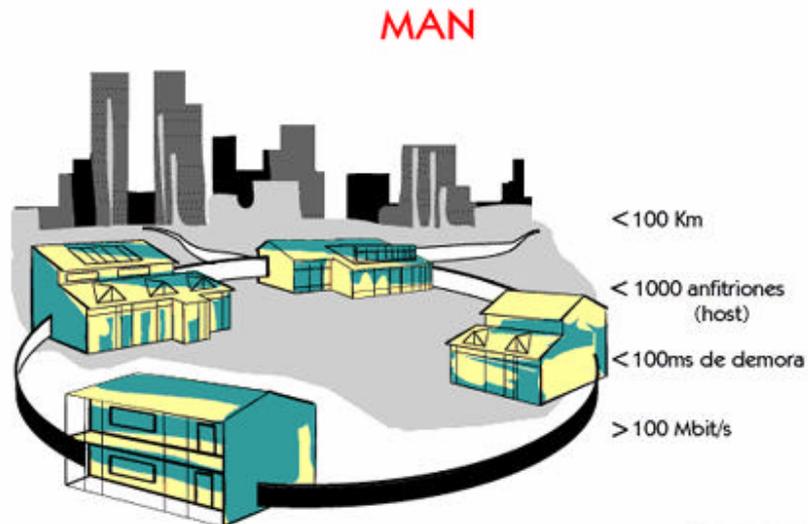


Figura 4.2 Red MAN

- WAN "Wide Area Network (Red de Área Amplia), cubre grandes áreas geográficas. Figura 4.3. Si una empresa quiere conectar entre sí diversas sucursales locales situadas en distintas ciudades debe utilizar la red WAN Existen diversos ejemplos de técnicas WAN: X.25, Frame Relay y ATM. Las características fundamentales de WAN son:
 - Área geográfica ilimitada.
 - El ancho de banda habitual es 2 Mbps.
 - Fuertes demoras en la transmisión, más de 100 ms.

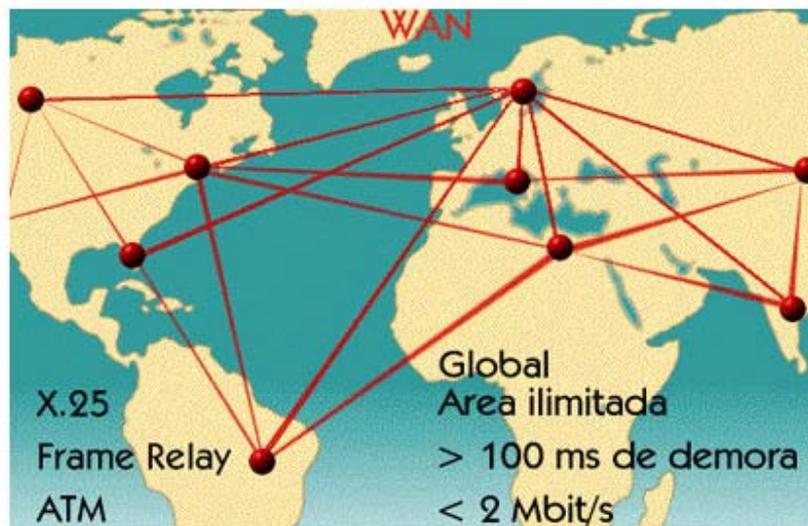


Figura 4.3 Red WAN

4.3 Redes auxiliares en redes de telecomunicaciones.

Para que las redes de telecomunicaciones tengan un mejor desempeño, se hace uso de dos redes muy importantes: la red de sincronía y la red de gestión, las cuales se describen a continuación.

4.3.1 Red de sincronía.

La sincronía en una red de telecomunicaciones se requiere debido a que en ella están involucrados equipos de transmisión, acceso, conmutación y datos, entre otras. Cada uno de estos equipos se encuentra interactuando entre sí, mediante enlaces con diferentes tipos de señal. En estos enlaces se van a interconectar desde los elementos de red dentro de un mismo nodo, varios nodos que se encuentran dentro de una misma ciudad, varias ciudades en un mismo país, y hasta ciudades de diferentes países. De igual forma estas interacciones no se realizan únicamente dentro de una misma red de telecomunicaciones ya que existen varios puntos de interconexión entre diferentes redes. Es por esto que en cada servicio que se está ofreciendo, siempre van a estar involucrados varios elementos de red, nodos e incluso redes de diferentes operadores.

Las señales ópticas al ser transmitidas presentan un corrimiento ó una variación en la fase, estas variaciones de fase son llamadas "jitter" y "wander". Figura 4.4. Cuando la variación es mayor a 10 Hz se llama "jitter" y cuando es menor a 10 Hz es llamada "wander". Figura 4.5

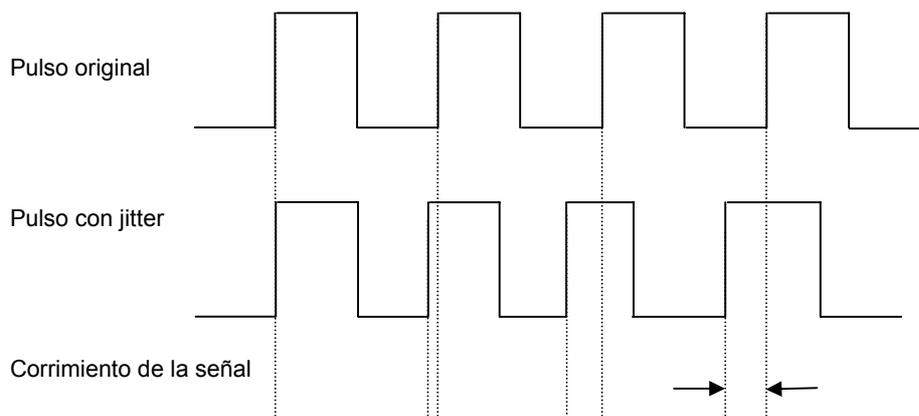


Figura 4.4 Corrimiento de la una señal.

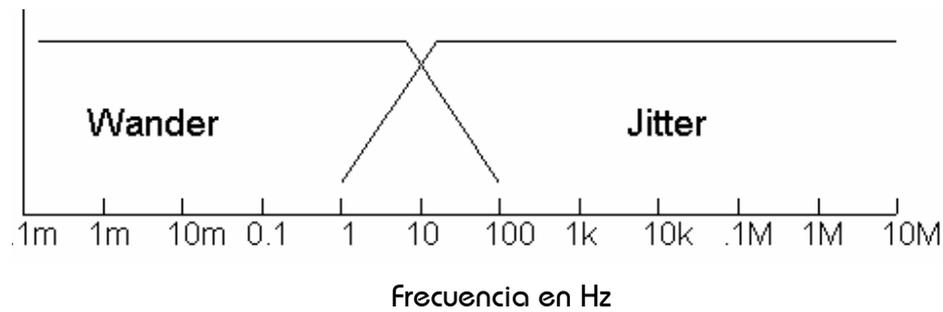


Figura 4.5 Jitter y Wander

Entre las principales razones por las que se originan los fenómenos de jitter y wander en una red, se encuentran:

- Los elementos de red generalmente cuentan con un oscilador de baja estabilidad
- El paso de la señal a través de varios elementos de red
- Variaciones en temperatura tanto en el interior como exterior de un nodo
- Interconexión entre redes de transporte de diferentes tecnologías.
- Ruido impulsivo, como diafonía.
- Mecanismos de compensación de buffer, como movimientos de apuntador y bits de justificación.

Estos fenómenos van a causar finalmente problemas en los servicios ofrecidos, como por ejemplo:

- Ruido en servicios de voz.
- Mala transmisión de faxes.
- Retardos en las redes de datos.
- Pérdida de llamadas
- Congelamiento de la imagen en servicios de video.

Conforme la velocidad de transmisión es mayor y la tecnología utilizada involucra un mayor procesamiento de datos los problemas en sincronía cobran una mayor importancia.

Al contar con una red de sincronía adecuada se logra minimizar todos estos fenómenos para así lograr un alto desempeño en la red, y poder ofrecer servicios libres de problemas e incluso poder migrar a redes de nueva generación como DWDM.

Para realizar la sincronización de una red primeramente es necesario contar con una o varias fuentes de reloj maestros con un alto nivel de calidad. En donde sus principales funciones son:

- Proveer una señal de reloj libre de *Jitter* y *Wander* que cumpla con los estándares de calidad de las recomendaciones de los organismos internacionales de estandarización.
- Contar con un alto desempeño de Holdover (Retención), para así mantener el nivel de calidad de las salidas aún perdiendo su referencia primaria.
- Distribuir la señal de reloj hacia todos los elementos de la red que se encuentran en el nodo (Sincronización Intra-Edificios).
- Distribuir la señal de reloj hacia otras fuentes de reloj esclavos que se encuentran en otros nodos (Sincronización Inter-Edificios).

4.3.2 Red de gestión.

La red de gestión de telecomunicaciones (TMN, Telecommunications Management Network), tiene gran importancia, ya que con ella se puede tener de forma remota un monitoreo en tiempo real de cada uno de los elementos que forman la red, con lo cual se evita tener a una persona en los nodos para realizar alguna actividad en los equipos que están gestionándose, pues vía remota se pueden realizar actividades de operación, administración, mantenimiento y puesta en servicio de la red.

Debido a que una red existen equipos de diferentes marcas de diferentes fabricantes la ITU-T publicó en 1986 las recomendaciones de la serie M.3000, en la cual se establecen los estándares para que todos los equipos puedan ser gestionados desde una sola red.

De acuerdo con la recomendación ITU-T M.3010, para una red de transporte, son cuatro las principales tareas que se llevan a cabo mediante una red de gestión:

1. Gestión de Sistema BML (Business Management Layer), para modelos de largo plazo, planes de servicios y tarifas.
 2. Gestión de Servicio SML (Service Management Layer), para la administración de órdenes de servicio.
 3. Gestión de Red NML (Network Management Layer), para gestión de alarmas, tráfico, performance y configuración de la red.
 4. Gestión de Elemento de Red EML (Element Management Layer), gestión de alarmas, tráfico, performance y configuración del equipo.
 - Gestión Local del Elemento de Red NEL (Network Element Layer) para las funciones locales de gestión.
-

En una red de gestión existen varios elementos que ayudan a realizar las tareas de gestión, entre ellos destaca la red de comunicación de datos, DCN (Data Communications Network), a esta se conectan todos los elementos de una red para ser gestionados, La DCN puede ser una red LAN cuando la gestión se lleva a cabo a nivel local ó una red WAN cuando la gestión es a nivel nacional.

La gestión de un elemento puede llevarse a cabo mediante algunas de las cuatro formas que a continuación se describen o con las cuatro.

- *Gestión Local.* Se realiza conectándose directamente al elemento mediante alguna interfaz.
- *Gestión Remota entre equipos del mismo enlace.* Al gestionar de forma local a un elemento se pueden gestionar elementos conectados a este.
- *Gestión Remota por Medio de una Red LAN.* Si los elementos están conectados a una red LAN estos pueden ser gestionados en un centro de gestión local.
- *Gestión Remota por Medio de una Red WAN.* Si los elementos están conectados a una red LAN y esta a su vez esta conectada a una red WAN los elementos pueden ser gestionados desde un centro de gestión nacional.

4.4 PCM.

El desarrollo de las redes de transmisión fue impulsado por la necesidad del crecimiento de las redes telefónicas, pues resulta muy costoso mantener enlaces de transmisión en estas. Por lo que se ahorra mucho al aumentar la capacidad de transmisión por un mismo canal de comunicaciones. Es así como surgen las redes de transporte basadas en diferentes técnicas de multiplexaje, entre las cuales destacan FDM y TDM, que en sus inicios se utilizaron para transmitir varios canales de voz por un mismo par de hilos de cobre.

FDM, técnica de multiplexaje analógica fue empleada durante mucho tiempo en las transmisiones de conversaciones telefónicas, en donde la separación entre canales era de 4 KHz. Después surgió la primera técnica digital llamada TDM con tres canales digitales transmitidos por la misma línea, con estos tres canales de 64 Kbps se obtenía una velocidad de transmisión de 192 Kbps

Posteriormente surgió el sistema de transmisión PCM "Pulse Code Modulation" (Modulación por Pulsos Codificados), el cual permite transmitir de manera simultánea 32 señales de 64 Kbps que al ser multiplexados dan como resultado una señal con una velocidad de 2048 Kbps.

4.4.1 Formación del PCM.

La formación del PCM se lleva a cabo a partir de los pasos que se requieren para digitalizar una señal que son: muestreo, cuantización y codificación, los cuales se explican a continuación, partiendo de la premisa de que lo que se desea digitalizar es una señal de voz que es analógica y tiene un ancho de banda es de 3400 Hz.

- **Muestreo:** Es un proceso de toma de lecturas o muestras de manera seguida de una señal, en este caso una conversación, en la medida de que tan seguido se tomen las muestras se tendrá un valor mas cercano a la señal original, para lograr esto se debe cumplir con el teorema de muestreo que estipula que la frecuencia de muestreo (f_s), debe ser mayor que dos veces la frecuencia mas alta de la señal original (en este caso 3400 Hz), por lo que la frecuencia de con que deben tomarse las muestras es de 8000 Hz es decir cada $125\mu s$. Figura 4.6. El resultado del muestreo es una señal PAM "Pulse Amplitude Modul" (Modulada por Amplitud de Pulso), donde cada pulso corresponde directamente al valor de la amplitud en la curva de la señal de voz.

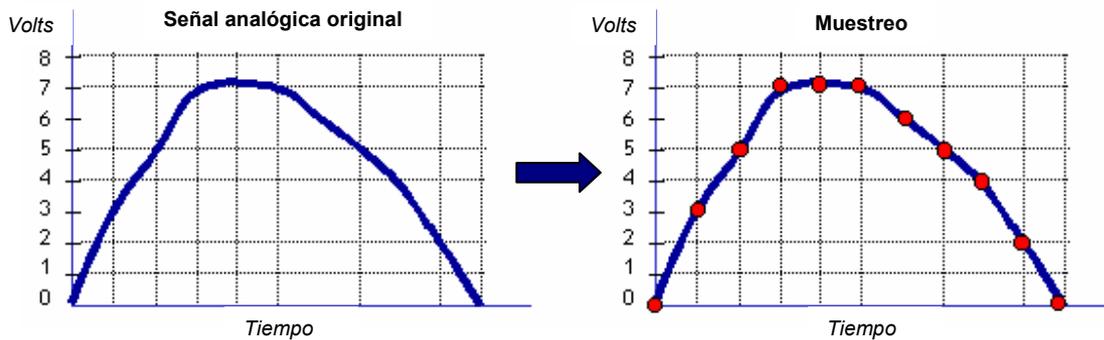


Figura 4.6 Muestreo de una señal analógica.

- **Cuantización.** Una vez que se tiene la señal muestreada (PAM), se mide la amplitud de cada pulso dándole un valor numérico, para no tener un valor infinito de valores numéricos los niveles de amplitud se dividen en intervalos, todas las muestras que caen dentro de determinado intervalo obtienen el mismo valor, figura 4.7. Para obtener un número de intervalos finitos se hace uso de un modelo conocido como la ley A en la cual se establece que una señal puede tomar 256 valores posibles.
- **Codificación.** Los 256 posibles valores obtenidos en el paso anterior, se enumeran con pulsos binarios, es decir pulsos con solo dos valores, uno y cero, llamados bits. Ocho bits son suficientes para formar un código para cada valor del intervalo ya que $2^8 = 256$. Figura 4.7.

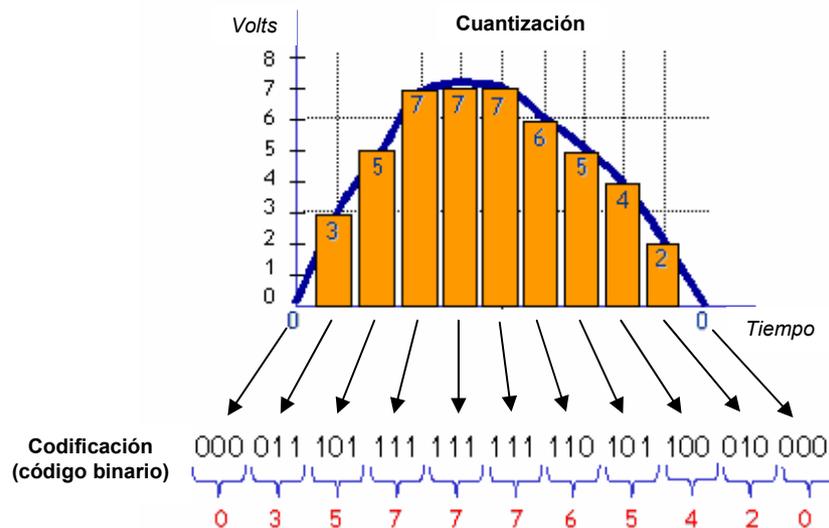


Figura 4.7 Cuantización y codificación de una señal analógica

Todo este proceso es conocido como PCM, en donde una señal con el muestreo es medida 8000 veces por segundo, con la cuatización se le asigna a cada muestra uno de 256 valores y con la codificación cada valor cuantizado recibe un código binario de 8 bits. Cada palabra formada por 8 bits es equivalente a 1 byte. Cada palabra PCM corresponde a una muestra, se generan 8000 palabras PCM por segundo, entonces para cada conversación o cada canal, dentro de un enlace digital la transferencia de bits es de $8 \times 8000 = 64000$ bits por segundo.

4.4.2 Estructura de la trama PCM.

El espacio que existe entre cada canal PCM es llamado "Time Slot" (Ranura de Tiempo), la figura 4.8 muestra los time slots para los 32 canales, que juntos forman lo que es denominado trama PCM. Cada trama contiene una palabra PCM para cada uno de los 32 canales.

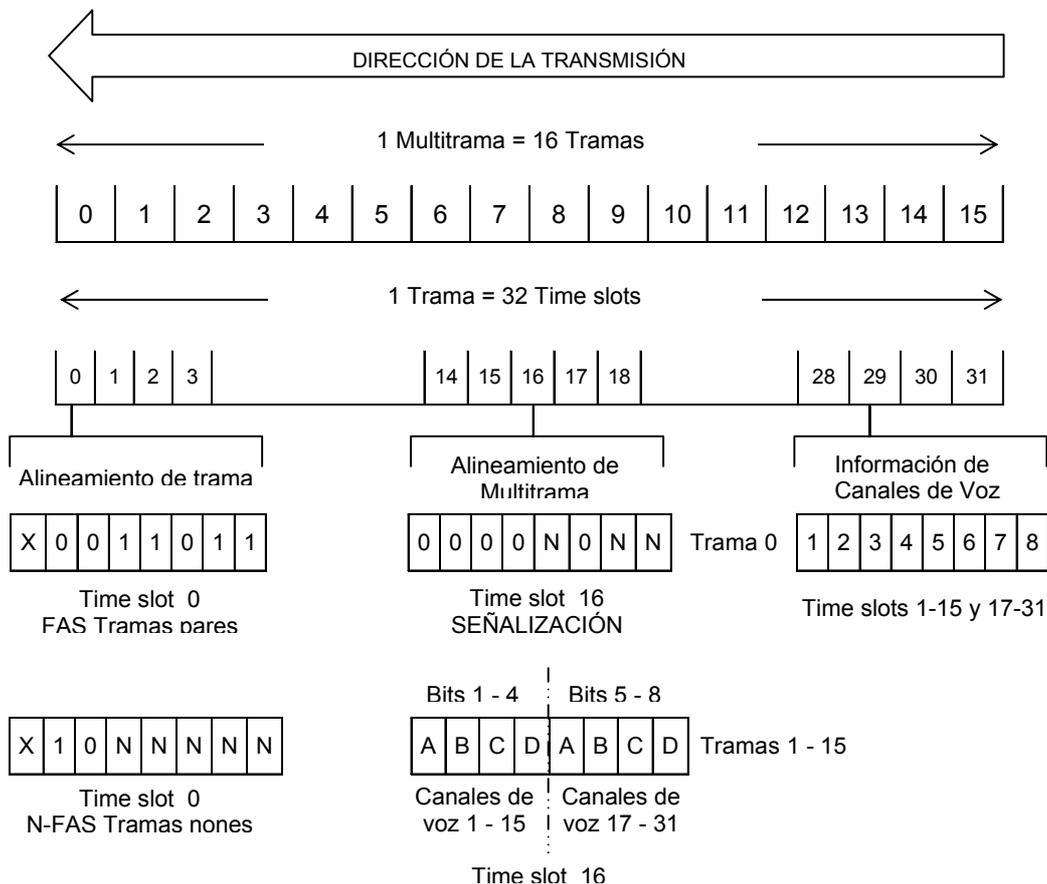


Figura 4.8 Estructura de la trama de una señal PCM.

De los 32 canales que forman la trama PCM, solo 30 son usados como canales de voz, ya que los time slots 0 y 16, tienen otros usos. El time slot cero se usa para sincronizar el flujo de información, de tal manera que el transmisor y el receptor detecten cuando termina y cuando empieza una trama, entonces cuando el receptor recibe al time slot cero detecta el inicio de una trama. El time slot 16 es usado para señalización entre el transmisor y el receptor, la señalización es necesaria pues ella incluye todas las señales requeridas para el establecimiento de enlaces de comunicación.

El time slot 16 de una trama también es usado para la alineación de una multitrama, la cual se forma por 16 tramas, es decir el time slot 16 indica cuando inicia una nueva multitrama.

El sistema de transmisión de 32 canales, con una velocidad total de 2.048 Mbps, es el estándar europeo y se usa también en México, existe otro estándar de transmisión usado en Estados Unidos y Japón que es de 24 canales en el cual se tiene una velocidad de transmisión de 1.544 Mbps. Estas dos velocidades de transmisión son conocidas como primer orden.

4.5 Redes PDH

La Jerarquía Digital Plesiócrona conocida como PDH (Plesiochronous Digital Hierarchy), surgió después de PCM por la necesidad de aumentar la capacidad de transmisión de información mediante equipos digitales. El término Plesiócrono se deriva del griego plesio “cercano o casi” y chronos “tiempo” y se refiere al hecho de que las redes basadas en PDH están casi pero no sincronizadas completamente. Es decir los relojes están cercanos el uno al otro en tiempo, pero no exactamente en el mismo.

La tecnología PDH, permite la transmisión de información que, nominalmente, está funcionando a la misma velocidad (bit rate), pero se permite una variación alrededor de la velocidad nominal.

En PDH se utiliza el método de multiplexación por división de tiempo (TDM), la idea básica es hacer una serie de multiplexaciones con señales, que pueden provenir de diferentes fuentes, y así formar una señal común con una velocidad superior. Haciendo determinada cantidad de multiplexaciones se van logrando diferentes jerarquías propias de PDH. Dichas jerarquías están estandarizadas pero los estándares no son los mismos alrededor del mundo, así Estados Unidos tiene un estándar, Japón otro y Europa junto con América Latina y México tienen otro.

4.5.1 Estándares internacionales PDH.

En el estándar europeo el primer nivel jerárquico llamado E1, se forma a partir de la multiplexación de 32 señales de 64 Kbps, dando como resultado una señal con una velocidad de 2.048 Mbps (conocida como una señal de 2 megas). A esta velocidad se le permite una variación de +/- 50 pulsos por millón. De estas 32 tributarias que entran al multiplexor de primer orden una es usada para señalización y otra para sincronía.

El segundo nivel jerárquico E2, se forma al ingresar al multiplexor de segundo orden cuatro tributarias de 2.048 Mbps. La multiplexación se lleva a cabo tomando un bit de la primera tributaria, seguido por un bit de la segunda, luego otro de la tributaria tres y finalmente otro de la cuatro. El multiplexor además añade bits de justificación y de alineamiento de trama.

El uso de los bits de justificación se debe a que las tributarias no funcionan a la misma velocidad por lo cual es necesario hacer algunas compensaciones. Para esto el multiplexor asume que las cuatro tributarias trabajan a la máxima velocidad permitida, si en algún momento el multiplexor detecta la falta de un bit señala (mediante bits de justificación), al demultiplexor la falta de ese bit, y este se encargará de reconstruir la señal y así tener el flujo correcto de dos megas y sus velocidades plesiócronas correctas.

Los bits de alineamiento de trama permiten al transmisor y al receptor trabajar de forma sincronizada, la pérdida de alineamiento de trama "LOF" (Loss Of Frame), se produce cuando se detectan con error cuatro palabras consecutivas. Para la recuperar la alineación de la trama se deben leer correctamente tres palabras consecutivas, mientras dure la falta de alineamiento, la señal de las tributarias será reemplazada por una señal de indicación de alarma AIS (Alarm Indication Signal). La palabra de alineamiento de trama está formada por diez bits (11110100 00AN), el bit N se encuentra reservado para uso nacional, si no se usa se le asigna un 1, el bit A indica el estado de alarma remota, A=1 para alarma y A=0 para estado normal. De todo el proceso descrito anteriormente resulta que la velocidad de salida del multiplexor de segundo orden sea de 8.448 Mbps, lo que se conoce como 8 megas.

Con procedimientos semejantes al descrito anteriormente se llega a obtener el tercer y cuarto orden jerárquico. Así tenemos que al multiplexor de tercer orden E3 entran cuatro tributarias de 8.448 Mbps para obtener una señal de 34.368 Mbps, 34 megas. De la misma manera al introducir al multiplexor de cuarto orden E4, cuatro tributarias de 34 megas se obtiene una señal de 139.264 Mbps, 140 megas. También existe una señal de quinto orden la cual se obtiene al multiplexar cuatro señales de 140 megas, la cual tiene una velocidad de 565 Mbps, pero no se encuentra estandarizada, por lo cual no es muy utilizada, pues no es compatible entre lo diferentes fabricantes de equipos PDH. En la figura 4.9 se muestra de manera esquemática las diferentes etapas de multiplexación en los distintos niveles jerárquicos PDH del estándar europeo.

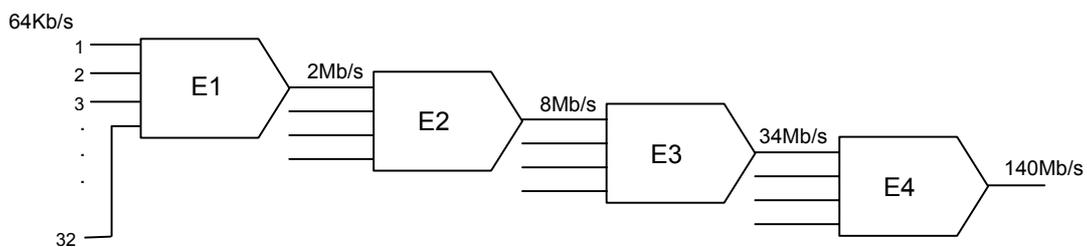


Figura 4.9 Niveles jerárquicos en PDH estándar europeo.

En el estándar norteamericano el primer nivel jerárquico es el T1 cuya velocidad es de 1.544 Kbps se obtiene a partir de la multiplexación de 24 canales de 64 Kbps, el segundo nivel se forma a partir de la multiplexación de cuatro T1's para obtener una señal de 6.312 Kbps y el tercer nivel jerárquico se obtiene a partir del multiplexaje de 7 señales de segundo orden para obtener una de 44.736 Kbps.

El estándar de PDH japonés recupera el valor de 6.312 Kbps, para su primer nivel jerárquico J1, y el segundo al multiplexar cinco señales de primer orden obteniendo una señal de 32.064 Kbps y por último su tercer nivel jerárquico de 97.728 Kbps al multiplexar tres señales de 32.063 Kbps.

En la tabla 4.10 se muestran los diferentes niveles jerárquicos, con la velocidad y el número de canales que manejan para los estándares europeo y norteamericano de la tecnología PDH.

Jerarquía	Símbolo	Velocidad Mb/s	No. de Canales
<i>Europa y México</i>			
Primera	E1	2.048	30
Segunda	E2	8.448	120
Tercera	E3	34.368	480
Cuarta	E4	139.268	1920
<i>USA</i>			
Primera	DS1	1.544	24
Segunda	DS2	6.312	96
Tercera	DS3	44.736	674

Tabla 4.10 Estándares PDH.

Estas velocidades pueden ser transmitidas por medio de cable de cobre o de fibra óptica.

4.5.2 Desventajas de las redes PDH.

La principal cualidad de las redes PDH es que con estas se logró incrementar considerablemente la cantidad de información en los sistemas de transmisión, pero también tiene muchas desventajas, algunas de ellas son:

- No existe un estándar mundial, pues los estándares europeo, japonés y norteamericano son incompatibles entre si.
- La interconexión entre equipos que no manejan el mismo estándar se vuelve complicada y costosa.
- La interconexión entre los equipos con diferentes estándares a nivel óptico es imposible.
- Las redes PDH no son flexibles, pues fueron desarrolladas para transmisiones punto a punto.
- La “montaña” de multiplexaje es muy amplia. Para poder transmitir un canal de 64 Kbps se debe demultiplexar toda la señal PDH hasta llegar al mismo, lo que representa el uso de una gran cantidad de hardware puesto que se requiere una cadena considerable de multiplexores y demultiplexores, además de una gran cantidad de cableados y conectores, lo que representa un gran costo.

4.6 Redes SDH

Como necesidad de contar con un estándar mundial para la transmisión de velocidades mayores a 140 Mbps a través de fibra óptica, alrededor de 1985 los dos organismos más importantes de estandarización en telecomunicaciones a nivel mundial como son la ANSI en Estados Unidos y la CCITT (hoy ITU-T) en Europa acordaron crear este estándar, fue así como surge SONET y SDH.

SONET "Synchronous Optical Network" (Red Óptica Síncrona) es el estándar para Estados Unidos, mientras que SDH "Synchronous Digital Hierarchy" (Jerarquía Digital Síncrona), se utiliza en el resto del mundo incluido México, por esta razón en el presente trabajo se hará un mayor énfasis en SDH y en específico del equipo del proveedor Ericsson.

SDH es un protocolo de comunicación basado en niveles jerárquicos y diseñados para enlaces digitales de alta velocidad, basado en TDM, usa como medio principal de transmisión fibra óptica.

Las principales ventajas de SDH son:

- Primer estándar mundial para la transmisión digital.
- Primer interfase óptica.
- Compatible con PDH.
- Técnicas de multiplexaje y demultiplexaje simplificadas.
- Extracción e inserción directa de tributarias de baja velocidad sin necesidad de multiplexar y demultiplexar toda la trama.
- Facilidad en la operación, administración y mantenimiento de la red.

4.6.1 Estructura de la trama SDH.

La estructura básica de la trama SDH es el STM "Synchronous Transport Modul" (Modulo de Transporte Síncrono), que en el primer nivel tiene una velocidad de 155.520 Mbps.

Esta estructura básica tiene una duración de 125 microsegundos y corresponde a un arreglo matricial de 9 filas y 270 columnas, donde cada elemento esta formado por 8 bits, de lo cual se deduce que: $9 \times 270 \times 8 = 19440$ bits y como la duración es de 125 microsegundos, es decir se repite 8000 veces por segundo su velocidad final será de: $19440 \times 8000 = 155520$ Kbps

Los contenedores (C), son la unidad de carga básica en SDH, transportan la información del usuario final y tienen diferentes capacidades que los hacen compatibles con las diferentes velocidades de PDH.

Los contenedores se identifican con la letra "C", seguidos de un número, dependiendo de esos números, se agrupan como se enlista en la tabla 4.11

Nivel	Contenedor	Señal
1	C11	1.5 Mbps
	C12	2 Mbps
2	C2	6 Mbps
3	C3	34 ó 45 Mbps
4	C4	140 Mbps

Tabla 4.11 Niveles de los Contenedores SDH

Un contenedor virtual (VC), esta formado por un contenedor, más la información de control apropiada, llamada Cabecera de Trayecto POH (Path OverHead). Las funciones que se incluyen en el POH, están la supervisión del trayecto, señales para mantenimiento e indicaciones del estado de alarma. Esto es entre el punto de inserción de la señal tributaria y su punto de extracción.

El POH consta de un byte para señales de 1.5, 2 y 6 Mbps, y de nueve bytes para señales de 34,45 y 140 Mbps.

Una Unidad Tributaria (TU) consta de un contenedor virtual (VC) más un Puntero de Unidad de Tributaria, el cual consta de una cadena de información que proporciona una alineación dinámica al VC dentro de la trama TU. La alineación dinámica significa que el VC puede flotar en la trama TU. El Puntero TU identifica el inicio del Contenedor con el que forma la TU.

Las Unidades Tributarias se pueden multiplexar dentro de un Grupo de Unidad Tributaria (TUG) de un orden superior o del mismo orden de los conjuntos TU. Se pueden formar TUG de alta velocidad de 34 Mbps ó 45 Mb/s (TUG3) y de baja velocidad 6 Mbps (TUG2). Se pueden multiplexar TUG de baja velocidad, en TUG de orden superior.

Una Unidad Administrativa (AU) consta de un VC de orden superior más un Puntero de Unidad Administrativa, el cual consta de una cadena de información que indica la desviación entre el puntero y el inicio de los VC reunidos en la AU.

Una Unidad Administrativa de Grupo (AUG) se forma al multiplexar Unidades Administrativas. Se pueden multiplexar tanto una AU-4 como tres AU-3 dentro de cada AUG.

Al conjunto de las AU se añade información de control llamada Cabecera de Sección (SOH) "Section OverHead", para crear la trama síncrona STM-1.

SOH consta de una cadena de 72 bytes y contiene información sobre la trama de SDH, como calidad de la sección, supervisión de errores y control de

conmutación de protección, además de proporcionar una comunicación de datos de la sección y canales de servicio para comunicación de voz.

La estructura de la trama STM-1 se ilustra en la figura 4.12

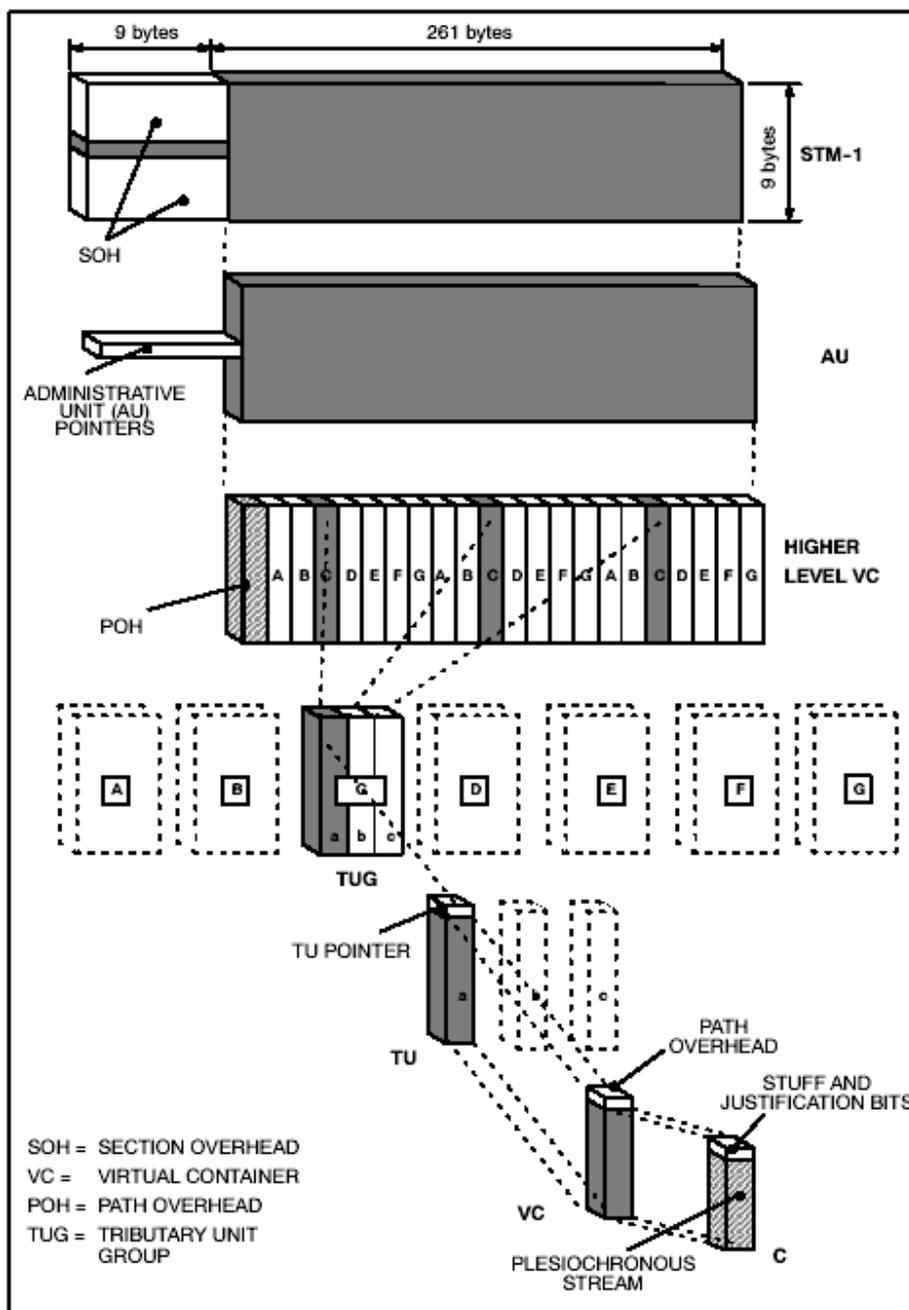


Figura 4.12 Estructura de la trama STM1

En la figura 4.13 se puede observar la estructura del multiplexaje de una trama STM-1, en donde las señales de entrada a los contenedores pueden ser síncronas o plesiócronicas.

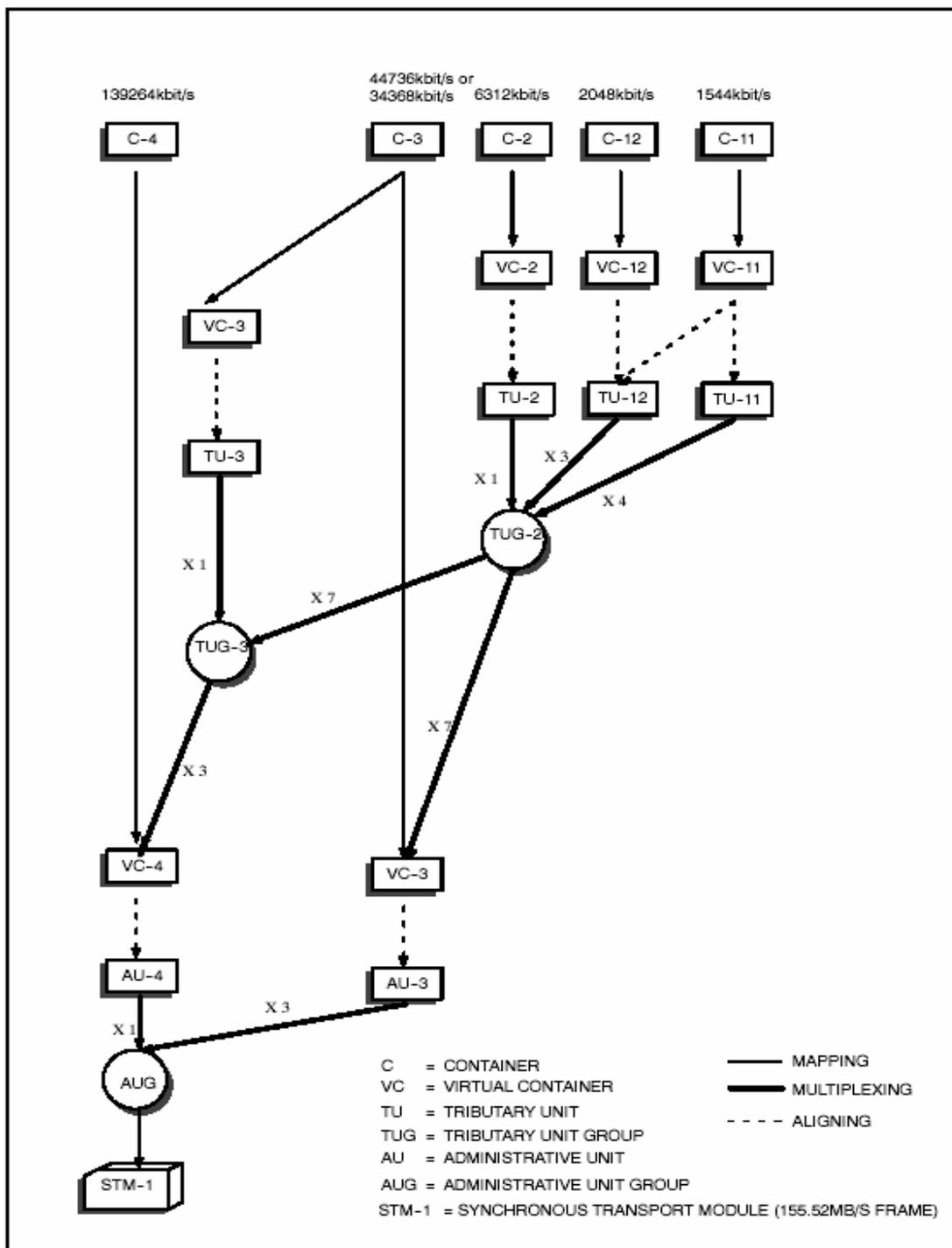


Figura 4.13 Estructura de multiplexación STM1

Además del STM-1 existen otros niveles de transmisión en SDH, los cuales son múltiplos de 155.52 Mbps estos se ilustran en la tabla 4.14 junto con los diferentes niveles para SONET.

SONET		SDH	VELOCIDAD Mbps
Señal Eléctrica	Señal Óptica		
STS-1	OC-1	-----	51.84
STS-3	OC-3	STM-1	155.52
STS-9	OC-9	-----	466.08
STS-12	OC-12	STM-4	622.08
STS-18	OC-18	-----	933.12
STS-24	OC-24	-----	1244.16
STS-36	OC-36	-----	1866.32
STS-48	OC-48	STM-16	2488.32
STS-192	OC-192	STM-64	9953.28

Tabla 4.14 Niveles jerárquicos en SDH y SONET.

Comúnmente se considera que STM-1, STM-4, STM-16 y STM-64 tienen velocidades de 155 Mbps, 620 Mbps, 2500 Mbps y 10 Gbps respectivamente.

4.7 Elementos de la Red SDH.

Un elemento de una red de transporte SDH puede funcionar como: Regenerador, Multiplexor y DXC "Digital Cross Connect" (Cross Conector Digital). A su vez existen dos tipos de multiplexores: Terminal y Add/Drop. (Inserción/Extracción). A continuación se describen cada uno de los elementos.

- **Regenerador (IR):** Regenera las señales de línea STM-N (N=1, 4,16,64), cuando estas han sido degradadas, normalmente se usan en enlaces de grandes distancias.
- **Multiplexor Terminal (TM):** Multiplexa y demultiplexa las señales tributarias en las interfaces de línea. Son usados en los puntos finales de los enlaces.
- **Multiplexor Add/Drop (ADM) :** Extrae, inserta y retransmite señales tributarias desde las interfaces de línea. Estos equipos son usados para insertar o extraer tributarias en cualquier punto de la red sin necesidad de hacer una multiplexación o demultiplexación física de una señal de mayor jerarquía para llegar a una de menor jerarquía o viceversa.

- **Cross Connect (DXC):** Es el equipo mas avanzado de los elementos de red SDH es usado para enrutamiento a fin de hacer cambios necesarios durante las condiciones normales y para la protección de la conmutación en el caso de un cable abierto. Un cross-connect puede tener interfaces para el equivalente de cientos de STM-1s.

Todos los equipos SDH son multiplexores y tienen la capacidad de hacer cross conexiones, aunque el DXC es usado especialmente para ello.

4.7.1 Equipamiento de los elementos SDH.

Los elementos SDH STM-N tienen como equipamiento común lo siguiente:

- **Unidad de Comunicación y Control.** Proporciona el control del equipo a través de la interfaz F a nivel local e interfaz Q a nivel remoto. En ella se genera una base de datos de la configuración del equipo.
- **Unidad de Alarmas.** Proporciona una indicación visual de las alarmas y emite tierras por contactos de relevador hacia algún dispositivo remoto.
- **Unidad de Conmutación o Matriz de Tráfico.** Gestiona las cross conexiones a nivel de los VC's. Además gestiona el reloj de sincronización del equipo.

Los multiplexores SDH se podrán equipar con tarjetas tributarias de acuerdo a la capacidad de transmisión de sus tarjetas de línea.

- STM-1: 2Mbps, 34Mbps, 45 Mbps y 140 Mbps.
- STM-4: 2Mbps, 34Mbps, 45 Mbps, 140 Mbps, STM-1 eléctrico y STM-1 óptico.
- STM-16: 2Mbps, 34Mbps, 45 Mbps, 140 Mbps, STM1 eléctrico, STM-1 óptico y STM-4
- STM-64: 140 Mbps, STM-1 eléctrico, STM-1 óptico, STM-4 y STM16.

Algunos multiplexores SDH pueden tener como tributarias tarjetas de Ethernet.

4.8 Topologías de redes SDH.

Existen tres configuraciones básicas para redes SDH que son:

Punto a Punto. Esta se forma por un enlace de dos equipos, los cuales funcionan como multiplexores terminales, aunque pueden conectarse a cualquier nivel de STM lo más usual es el de nivel 1. Figura 4.15

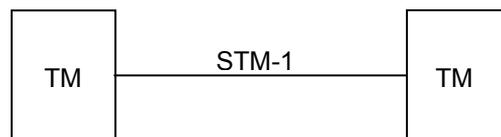


Figura 4.15 Topología Punto a Punto SDH

Bus. Esta topología se forma por más de dos elementos y puede contener cualquier tipo de elemento SDH. Figura 4.16

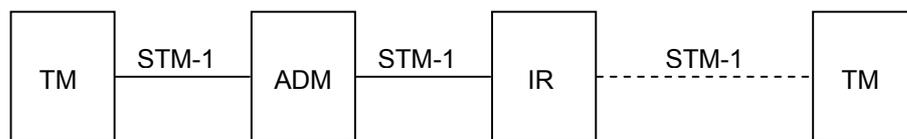


Figura 4.16 Topología Bus SDH.

Anillo. Se forma con más de dos elementos, la principal ventaja de esta topología es la protección que tiene contra las posibles fallas. En esta configuración se pueden conectar equipos de cualquier nivel STM y del tipo ADM, ya que en cada uno de los elementos se insertan y se extraen señales. En un anillo se encuentran trabajando de manera simultanea los dos lados de un equipo Este y Oeste Figura 4.17

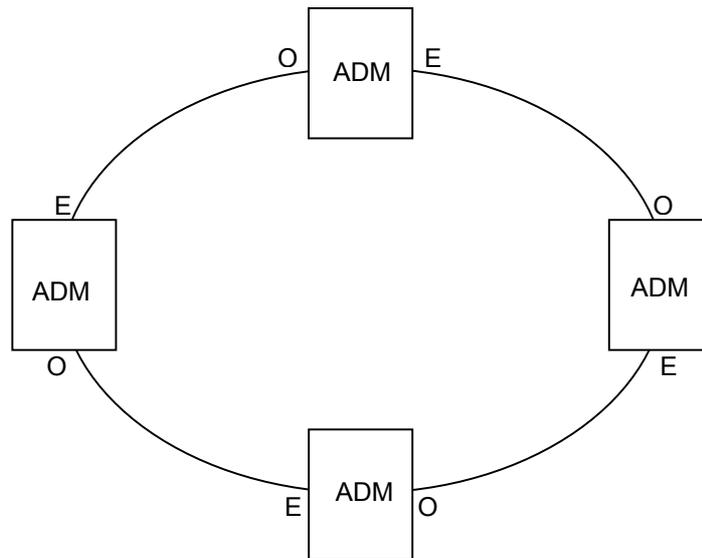


Figura 4.17 Configuración Anillo SDH.

4.9 Esquemas de protección en redes SDH.

Los sistemas de comunicaciones son susceptibles a sufrir fallas que pueden afectar la información que cursa por ellos, de ahí la importancia de contar con esquemas de protección que reduzcan el riesgo de afectación de los sistemas, en cuanto más protegido tendrá un mayor nivel de disponibilidad. Para las redes SDH existen distintos esquemas de protección:

Protección de equipo. Es la protección que tiene el equipo en sus diferentes sistemas. Algunos sistemas son redundantes si se tiene un sistema de trabajo y uno de respaldo, el cual también puede ser usado para funciones de mantenimiento del equipo.

Protección de alimentación. El equipo se alimenta con dos fuentes de alimentación independientes, durante el funcionamiento normal trabajan en paralelo y comparten la carga, si falla una, la otra toma la carga completa.

Protección de comunicación y control. Si falla esta tarjeta de manera automática entra a trabajar la de respaldo. Si la protección se configura como reversible una vez reparada la tarjeta de trabajo tomará nuevamente el control y si no el control permanecerá en la de respaldo.

Protección de matriz de tráfico. El tráfico de entrada y de salida se conecta a dos tarjetas de matriz, una de trabajo y una de respaldo, si falla la de trabajo automáticamente la de respaldo toma el control del tráfico y de la señal de reloj.

Esta protección no es reversible, ya que al conmutar de una tarjeta a otra existe afectación al tráfico.

Protección de Tributarias. Esta protección puede configurarse como reversible o no reversible. Existen dos tipos de protección de tributarias la primera es 1:N; en esta la tarjeta de respaldo se configura para proteger a cualquiera de las N tarjetas tributarias que pudiera fallar, la segunda es 1:1 en esta la tarjeta de respaldo sólo protege a una de las N tarjetas tributarias.

Protección de la Red. Los procedimientos de protección de red son empleados cuando ocurren fallas en el enlace entre dos o más elementos de la red. Las fallas pueden ocurrir en propio elemento o en la línea de transmisión. Existen varias opciones de protección para las distintas configuraciones de red. La protección de red se ejecuta al presentarse alguna de las siguientes alarmas:

- a) LOS "Loss Of Signal" (Pérdida de Señal).
- b) LOF "Loss Of Frame" (Pérdida de alineamiento de Trama).
- c) MS-AIS "Multiplex Section Alarm Indication Signal" (Señal de Indicación de Alarma Sección Multiplexora).
- d) B2-EXC. Tasa de Error de Bit Excesiva $\geq 10^{-3}$
- e) B2-DEG. Señal Degradada que excede un umbral preestablecido dentro del rango 10^{-5} a 10^{-9}

Protección de la Sección Multiplexora MSP (Multiplex Section Protection). Los equipos cuentan dos líneas, una de trabajo y otra de protección, cuando ocurre una falla en la línea de trabajo el tráfico se conmuta a la línea de protección, si la protección se configura como reversible cuando la línea de trabajo se reestablezca el tráfico se conmutará a esta línea. Esta protección opera entre nodos adyacentes.

Protección de Conexión de Subred. SNCP (Subnetwork Connection Protection). Este tipo de protección funciona básicamente para configuraciones de anillo. En ella solo se protegen los VC's que tengan prioridad para ser protegidos, si un elemento del anillo presenta alguna falla en el lado oeste los VC's seleccionados se conmutarán a la línea este, esta última debe tener capacidad para transportar el tráfico conmutado.

Protección Compartida de la Sección Multiplexora MS-SPRing (Multiplex Section Shared Protection). Este esquema de protección funciona para configuraciones en anillo, la mitad de capacidad de transporte del anillo esta asignada como trabajo y la otra mitad a protección, a diferencia de SNCP en este esquema se protege toda la sección de trabajo. Existen dos tipos de protección MS-SPRing: el de dos y el de cuatro fibras.

En MS-SPRing a dos fibras, los dos lados del equipo este y oeste transportan los canales de trabajo y los de protección, los canales de trabajo del lado oeste se protegen con los canales de protección del lado este y viceversa los

canales de trabajo del lado este se protegen con los canales de protección del lado oeste.

El MS-SPRing a cuatro fibras requiere de dos interfaces de línea en cada lado de los equipos que forman el anillo una funciona como línea de trabajo y la otra como protección, es similar al MS-SPRing a dos fibras y funciona de la siguiente manera: si la línea de trabajo del lado oeste falla, el tráfico se conmuta a la línea de protección del mismo lado, si esta llegara a fallar el tráfico se conmutara a la línea de trabajo del lado este y si esta también tuviera alguna falla el tráfico se conmutara a la línea de protección del lado este.

4.10 Sincronización de una red SDH

Para llevar a cabo la sincronización de una red SDH se hace uso de relojes que distribuyen la señal de sincronía a los diferentes elementos que componen dicha red. Dependiendo de la calidad de la señal de sincronía los relojes se clasifican de acuerdo a estándares de la ITU-T en:

- *PRC*, “Primary Reference Clock” (Reloj de Referencia Primaria), son los relojes maestros de la red los cuales cuentan con el nivel más alto de calidad. Recomendación ITU-T G.811, son relojes atómicos fabricados a base de cesio, trabajan a una frecuencia de precisión típica de 1×10^{-11} y 1×10^{-12} . A su vez, estos relojes se usan para sincronizar a relojes esclavos que tienen un nivel de calidad inferior.
- *SSU*, “Synchronization Supply Unit” (Unidad Fuente de Sincronización), son relojes esclavos cuyo nivel de calidad esta definido de acuerdo a la recomendación de la G.812 de la ITU-T, que trabajan a una frecuencia típica de precisión de 1×10^{-9} y 1×10^{-8} . Estos relojes son fabricados a base de rubidio.
- *SEC*, “SDH Equipment Clock” (Reloj del Equipo SDH), es un reloj que poseen los equipos SDH cuyo nivel de calidad atiende a recomendación G.813 de la ITU-T, operan a una frecuencia de precisión típica de 1×10^{-5} y 1×10^{-6} . Son fabricados a base de cristales de baja calidad, en comparación con el cesio y rubidio.

El método usado para sincronizar una red SDH es el maestro - esclavo, en la red un elemento es considerado como maestro primario, MP, este elemento recibe una señal con calidad PRC y la distribuye a los demás elementos de la red. Esta señal puede ser una señal de 2MHz, 2Mbps (sin tráfico).

En una red que usa el método de sincronización maestro - esclavo, con excepción del maestro primario, todos los elementos son maestros y esclavos ya que reciben una señal de un maestro, y a su vez la distribuyen a otro elemento, como se puede ver en la figura 4.18. Para lograr esto los equipos cuentan con

entradas para recibir la señal y salidas para poderla distribuir la señal de sincronía a otros elementos.

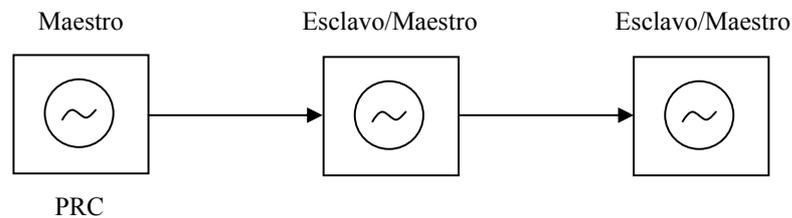


Figura 4.18 Sincronía maestro-esclavo.

La señal de sincronía puede llegar a cada uno de los elementos de la red de diferentes formas: por una señal externa, por medio de la línea de transmisión o por el reloj propio que poseen los equipos.

Existen tres modos de trabajo para sincronizar un elemento de red:

1. Modo Cerrado (Locked Mode), en este tipo de sincronización las salidas son controladas por una señal de entrada que es una referencia externa, las salidas tienen la misma calidad de la señal de referencia.
2. Modo de Retención (Holdover), este modo de sincronización se presenta cuando el reloj ha perdido la señal de referencia y es controlado por los datos que almaceno mientras estuvo operando en modo cerrado.
3. Modo de Flujo Libre (Free Running), en este modo de sincronización el equipo trabaja con su propio reloj, las salidas son controladas internamente, el reloj nunca ha sido conectado a una referencia externa.

Cuando se diseña una red de transporte SDH también debe diseñarse un plan para que esta sea sincronizada, esto se hace de acuerdo al número de elementos y nodos que intervengan en ella. Como la red no puede quedarse sin señal de sincronía debe pensarse en una señal de trabajo y una de protección.

Para realizar el plan de sincronía se hace uso de una tabla de prioridad y calidad, en esta tabla se plasma la calidad de las señales y la prioridad que le corresponden a cada uno de los elementos de la red, buscando que la primera prioridad sea una señal de calidad PRC, si esta llegará a fallar la siguiente señal para sincronizar el equipo será una con calidad SSU.

4.11 Gestión de la red SDH.

Las principales actividades que se pueden realizar mediante la gestión de un equipo SDH son: conocer el inventario del equipo, configuración de las características del equipo, construcción de circuitos lógicos, habilitación de las protecciones, carga de software, reporte de alarmas, pruebas del equipo y conexiones, ejecución de reporte de datos y administración de los accesos y seguridad.

La gestión de redes SDH se puede realizar de cuatro formas diferentes:

1. *Gestión Local.* Esta se lleva a cabo conectándose directamente al elemento de la red desde el LC "Local Controller" (Controlador Local), por medio de la interfaz F, recomendación V.24 de la ITU-T, parecido al RS-232, se trata de un conector DB-9. El protocolo de comunicación es propio de cada fabricante.
2. *Gestión remota entre equipos del mismo enlace.* Desde un elemento de la red se puede tener acceso a otros elementos de la misma, estos deben formar parte del mismo enlace los cuales están comunicados entre si por medio de las líneas de transmisión. Esta comunicación se logra por medio del DCC "Data Communication Channel"(Canal de Comunicación de Datos), estos canales son parte de la trama básica del sistema SDH.
3. *Gestión por medio de una red LAN.* Los elementos de la red se conectan a una DCN local por medio de la interfaz Q, esta interfaz en los equipos SDH es del tipo Q3/B3 y atiende a la recomendación ITU-T Q.513, que especifica que la salida es LAN Ethernet. Los equipos SDH disponen de una interfaz física de conexión AUI que permite acceder al equipo mediante una LAN (10BaseT o 10Base2). En esta interfaz se conecta un transceiver Ethernet con coaxial BNC (10Base2) o RJ45 (10BaseT). Todos los equipos a ser gestionados por la DCN deben ser interconectados mediante esta LAN. Cada uno de los equipo debe tener una dirección MAC distinta. La gestión se lleva a cabo en una estación de trabajo, que se encuentra localizada comúnmente en el Centro de Gestión Local.
4. *Gestión por medio de una red WAN.* En un país pueden existir varios centros de gestión local, los cuales se encuentran a su vez gestionados por uno o más centros de gestión a nivel nacional. Esto se lleva a cabo por medio de una red DCN del tipo WAN.

CAPITULO V

EL DWDM.

En el presente capítulo se hará una descripción del funcionamiento del equipo DWDM y los componentes que lo forman. También se dará una explicación del funcionamiento de una red DWDM. Existen varios fabricantes de estos equipos entre ellos Ericsson el cual será tomado como referencia para explicar la puesta en marcha de red DWDM.

5.1 EI DWDM.

Sin duda alguna la demanda del mercado genera un creciente desarrollo tecnológico, en todos los mercados ocurre esto y el de las telecomunicaciones no es la excepción. La demanda de un mayor ancho de banda ha dado lugar a la aparición del DWDM “Dense Wavelength Division Multiplexing” (Multiplexación Densa por División de Longitud de Onda), que es una tecnología con la cual se puede incrementar el ancho de banda en las redes ópticas existentes.

La demanda del aumento en el ancho de banda en las redes se debe principalmente al tráfico de datos en especial el de Internet, el cual tiene un aumento constante. Existen tres opciones para aumentar el ancho de banda en las redes ópticas que son: la instalación de nuevas fibras ópticas, aumento en la velocidad de transmisión en los equipos TDM y transmitir varias señales por una misma fibra óptica.

La instalación de fibra óptica nueva además de ser costosa conlleva ciertos problemas, como son el tiempo para realizar esta actividad, trámites de carácter administrativo como es la solicitud de permisos gubernamentales para realizar el tendido de la fibra.

Con los equipos SDH se puede obtener actualmente una velocidad máxima de 10 Gbps, para aumentar la velocidad en este tipo de equipos se requieren circuitos electrónicos que resultan muy complejos y caros. Además de restricciones técnicas que dificultan un adecuado desempeño de la fibra óptica, pues por ejemplo para transmisiones a nivel STM-64 la fibra monomodo se ve muy afectada por la dispersión cromática, hay introducción de efectos no lineales y el PMD limita la distancia a la que puede transmitirse la luz.

Existe una tecnología llamada DWDM la cual permite transmitir varias señales ópticas de manera simultánea por una misma fibra óptica, estas señales van desde 2.5 hasta 40 Gbps. Actualmente existen equipos DWDM con capacidad de transmitir 16,32, 128 y 160 señales diferentes.

WDM “Wavelength Division Multiplexing” (Multiplexación por División de Longitud de Onda), es el antecedente del DWDM, su desarrollo data de finales de la década de 1980.

Las señales transmitidas por WDM tienen una longitud de onda diferente entre sí, en el ambiente WDM se usa el término longitud de onda en vez de frecuencia, también se usan los términos λ y canal en vez de longitud de onda.

El sistema de multiplexaje WDM es muy parecido a la emisión del sistema radiofónico, en donde cada una de las señales de radio tienen una frecuencia diferente y tienen entre sí una separación determinada para evitar interferencias entre ellas. Dado que cada canal es distinto se puede elegir cada uno de ellos con un sintonizador.

En TDM las distintas señales son transportadas en una sola señal de jerarquía superior y ya en la recepción son demultiplexadas, en WDM las señales son transportadas de manera independiente, esto significa que cada señal tiene su propio ancho de banda, todas las señales llegan al mismo tiempo a lado de la recepción. En WDM no existen conversiones de señal eléctrica a óptica y viceversa evitando pérdidas por esta causa. En WDM se pueden transportar todo tipo de señales ópticas sin importar el protocolo y formato de la señal.

La diferencia entre WDM y DWDM es la capacidad de transmisión de longitudes de onda, esto es debido al espaciamiento que existe entre ellas. En DWDM existe un menor espacio entre longitudes de onda. Con WDM se transmiten 2 canales, mientras que con DWDM actualmente se pueden transmitir de 16 a 160 canales o más. Existe también CWDM con el cual se pueden transmitir hasta 8 canales.

El desarrollo del WDM inició a finales de la década de 1980 usando dos canales muy espaciados 1310nm y 1550nm, lo cual era llamado WDM de banda ancha, después surgió el WDM de banda estrecha en el cual se pueden transmitir hasta ocho canales espaciados entre sí en un intervalo de 400 GHz en la ventana de 1550 nm. A mediados de la década de 1990 se desarrolló el DWDM el cual podía transportar de 16 a 40 canales con un espacio entre ellos de 100 a 200 GHz, los sistemas DWDM han evolucionado de tal manera que actualmente pueden transmitir más de 160 canales con un espacio entre ellos de 50 a 25 GHz. En la tabla 5.1 se muestra la evolución de los sistemas DWDM.

Aparición	Denominación	Número de canales	Separación entre canales	Ventana de operación
Finales de 1980's	WDM	2	240 nm	2 ^a y 3 ^a
Principio de 1990's	CWDM	2-8	400 GHz (3.2 nm)	3 ^a
Mediados de 1990's	DWDM	16-40	100 a 200 GHz (0.8 -1.6 nm)	3 ^a
Finales de 1990's	DWDM	64-160	25 a 50 GHz (0.2-0.4 nm)	3 ^a y 4 ^a

Tabla 5.1 Evolución del DWDM.

Las principales ventajas del DWDM son:

- Aumento del ancho de banda.
- Incrementa la capacidad de la fibra óptica existente.
- Es un sistema transparente ya que puede transportar una gran variedad de señales ópticas al mismo tiempo como TDM, ATM, Gigabit Ethernet, ESCON, Fiber Chanel, FDDI y señales asíncronas.
- Permite un crecimiento gradual de la capacidad a medida que se vaya demandando, es decir pueden habilitarse canales de forma gradual.
- El aprovisionamiento de circuitos es rápido, simple y dinámico de manera que los proveedores puedan suministrar servicios de banda ancha en días en vez de meses.

5.2 SDH a través de DWDM.

Como se mencionó anteriormente el DWDM surge como una necesidad de incrementar el ancho de banda, lo cual con TDM resulta muy complicado y costoso. Se podría pensar que las redes basadas en SDH tienden a ser desplazadas por las redes DWDM, esto no es del todo cierto ya que los flujos de tráfico generados en cualquiera de los niveles STM en los equipos SDH pueden ser transportados a través del DWDM. Los flujos provenientes del SDH son multiplexados a longitudes de onda asignadas para ser transportadas sobre una fibra óptica. Por lo que las inversiones hechas en SDH prosperan y pueden operar en conjunto con DWDM y así optimizar la capacidad de la fibra existente.

Una señal óptica es atenuada conforme viaja por una fibra y en algunos casos deben ser regeneradas y/o amplificadas. En redes SDH una señal de 2.5 Gbps, requiere un regenerador eléctrico cada 60 a 100 km, si son varias fibras transportando este tipo de señales el número de regeneradores requeridos aumenta, lo que resulta muy costoso no solo por el precio de regeneradores sino el número de ellos y la infraestructura requerida para su instalación. En DWDM como se transportan varias señales en una sola fibra óptica, se requiere de menos equipo y no se necesitan regeneradores. Un solo amplificador óptico amplifica todas las señales y a un bajo costo. Dependiendo del diseño de la red, de las condiciones y del tipo fibra óptica las señales pueden ser transmitidas a más de 600 km sin necesidad de regeneración.

Si se agrega un nuevo canal al sistema este será amplificado sin necesidad de agregar un amplificador más, ya que solo se agrega equipamiento en los extremos de la fibra. Los amplificadores son usados normalmente en redes de larga distancia y no en redes metropolitanas donde las distancias entre nodos son relativamente cortas.

5.3 Componentes de un sistema DWDM.

Los componentes de un sistema DWDM son los que integran un sistema de comunicaciones ópticas y lo podemos dividir en tres bloques que se muestran en la figura 5.2 y se explican a continuación:

- **Transmisor:** En el se generan las señales mediante una fuente de luz láser que suministra una luz estable dentro de un ancho de banda específico. El multiplexor se encarga de combinar las señales para generar una sola.
- **Medio de Transmisión:** El medio de transmisión es la fibra óptica, la que se recomienda usar en estos sistemas es la fibra NZ-DSF.
- **Receptor:** Formado por el demultiplexor que se encarga de separar las señales, cada una de estas es recibida por el fotodetector.

Un cuarto elemento en el sistema y el cual no se muestra en la figura 5.2 es el amplificador, el cual tiene su posición dentro del sistema de acuerdo al diseño de la red.

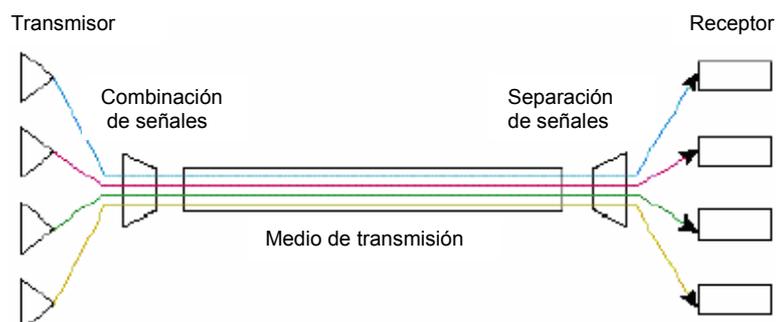


Figura 5.2 Bloques del sistema DWDM.

Un elemento fundamental del DWDM es el transponder, existen dos tipos, TET "Transmit End Transponder" (Transponedor de Transmisión) y RET "Recive End Transponder" (Transponedor de Recepción).

El TET convierte la señal óptica proveniente del cliente a una señal eléctrica y genera a partir de esta una señal óptica con diferente longitud de onda cuyo valor se encuentra dentro de las ventanas de operación del DWDM, además el TET realiza las funciones 3R "Reshape, Retime, Retransmit" (Reconforma, Resincroniza, Retransmite). Después de que las señales pasan por el TET asignado son multiplexadas de forma óptica. En la recepción del DWDM se lleva a cabo el proceso inverso, las longitudes de onda son demultiplexadas y entran al RET que convierte la señal en la longitud de onda de la señal del cliente.

5.4 Esquema de funcionamiento de un DWDM.

Para explicar el funcionamiento de un sistema DWDM debe observarse la figura 5.3 la cual representa un diagrama de los bloques que componen dicho sistema.

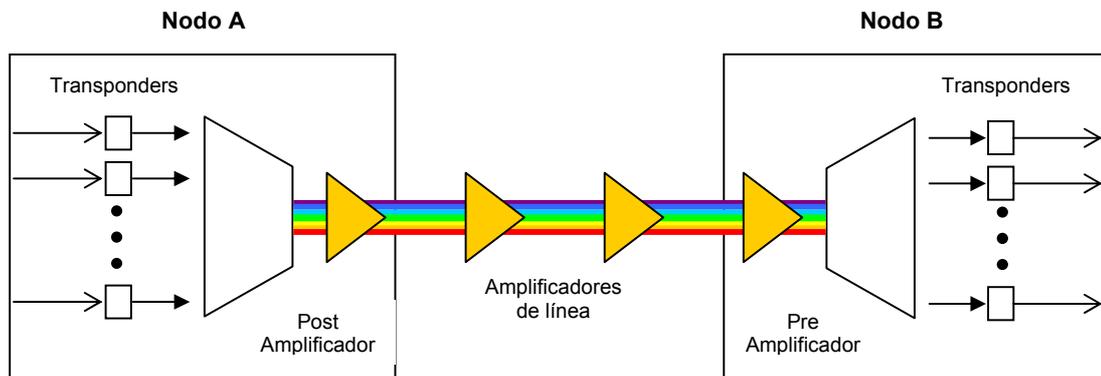


Figura 5.3 Esquema de funcionamiento del DWDM.

Del lado izquierdo de la figura 5.3 en el nodo A se tienen las señales de entrada al sistema y los pasos que sigue cada una de las señales son los siguientes:

1. Cada uno de los TET's recibe una señal, pueden ser hasta 160 esto depende de la capacidad del sistema, las señales pueden ser de distinto protocolo y de tipo de tráfico diferente, por ejemplo SDH/SONET, ATM, Gigabit Ethernet, ESCON, IP y FDDI.
2. Cada lambda es mapeada a una longitud de onda DWDM, de acuerdo al transponder que le corresponda En la tabla 5.4 se muestran las diferentes longitudes de onda, estandarizadas por ITU-T.
3. Después de que las longitudes de onda que salen de los TET's son multiplexadas y enviadas por la misma fibra óptica a través del multiplexor.
4. Si se requiere que la señal sea amplificada se coloca un amplificador (post-amplificador), a la salida del sistema. Esto va a depender de la distancia entre los nodos adyacentes.
5. Dependiendo de la distancia que recorra la señal entre un punto y otro puede ser necesario el uso de amplificadores intermedios.
6. Si la señal que viaja del nodo A al B, al llegar a este último es muy débil puede usarse un amplificador (pre-amplificador).

7. La señal de entrada al nodo B es demultiplexada y las señales resultantes son enviadas a través de los RET's.
8. Las señales demultiplexadas son mapeadas a su longitud de onda que tenían antes de ingresar al nodo A.

Los pasos también aplican en el sentido opuesto es decir de B hacia A, ya que los sistemas comunes de DWDM son bidireccionales.

Frecuencia (THz)	Longitud de Onda (nm)	Frecuencia (THz)	Longitud de Onda (nm)	Frecuencia (THz)	Longitud de Onda (nm)
196.2	1528.77	194.6	1540.56	193.1	1552.52
196.0	1529.55	194.5	1541.35	193.0	1553.33
195.9	1530.33	194.4	1542.14	192.9	1554.13
195.8	1531.12	194.3	1542.94	192.8	1554.94
195.7	1531.91	194.2	1543.73	192.7	1555.75
195.6	1532.70	194.1	1544.53	192.6	1556.56
195.5	1533.49	194.0	1545.32	192.5	1557.36
195.4	1534.28	193.9	1546.12	192.4	1558.17
195.3	1535.07	193.8	1546.92	192.3	1558.98
195.2	1535.86	193.7	1547.72	192.2	1559.79
195.1	1536.65	193.6	1548.51	192.1	1560.61
195.0	1537.44	193.5	1549.32	192.0	1561.42
194.9	1538.23	193.4	1550.12	191.9	1562.23
194.8	1539.02	193.3	1550.92	191.8	1563.05
194.7	1539.81	193.2	1551.72	191.7	1563.86

Tabla 5.4 Longitudes de onda estandarizadas por la ITU-T.

5.5 Topologías de redes DWDM.

Los equipos DWDM han sido utilizados principalmente para enlaces de larga distancia, en la actualidad también están teniendo mucho uso en redes metropolitanas y muy pronto estarán utilizándose en redes LAN, como puede ser un campus universitario.

Las redes de larga distancia comunican ciudades que pueden estar separadas cientos o miles de kilómetros, estas redes han estado basadas tradicionalmente en tecnología SDH/SONET, y debido a la demanda de un mayor ancho de banda se encuentran al límite de su capacidad, de ahí la necesidad de ser reemplazadas por la tecnología DWDM. La función principal de estas redes es transportar grandes cantidades de información, y no parece una necesidad importante conmutar o enrutar el tráfico en este tipo de redes. Actualmente existen en México redes de larga distancia de diferentes "carriers" y de fabricantes diferentes; así se tiene que la empresa Protel cuenta con dos redes de larga que van desde la Ciudad de México hasta la Ciudad de Laredo Texas usando equipos

DWDM Marconi y Siena, Bestel cuenta con una red que va desde la ciudad de México hasta San Antonio Texas con equipos DWDM Pirelli, Avantel usa equipos DWDM Alcatel en su red que va de la ciudad de México a Monterrey el operador mas grande de México que es Telmex cuenta en su red con sistemas de diferentes proveedores, como son Ericsson, Alcatel y Nortel entre otros.

El uso de los equipos DWDM en la redes de larga distancia ha beneficiado de manera muy importante a los operadores de telecomunicaciones, ya que con la demanda de un mayor ancho de banda se han ahorrado la instalación de cientos de kilómetros de fibra óptica, lo cual resulta muy costoso, se ha reducido el uso de amplificadores y regeneradores y con esto ahorro de infraestructura en cuanto a inmuebles y gastos de operación de estos. En la figura 5.5 se hace una comparación del uso de equipo en un enlace de larga distancia entre tecnologías SDH y DWDM.

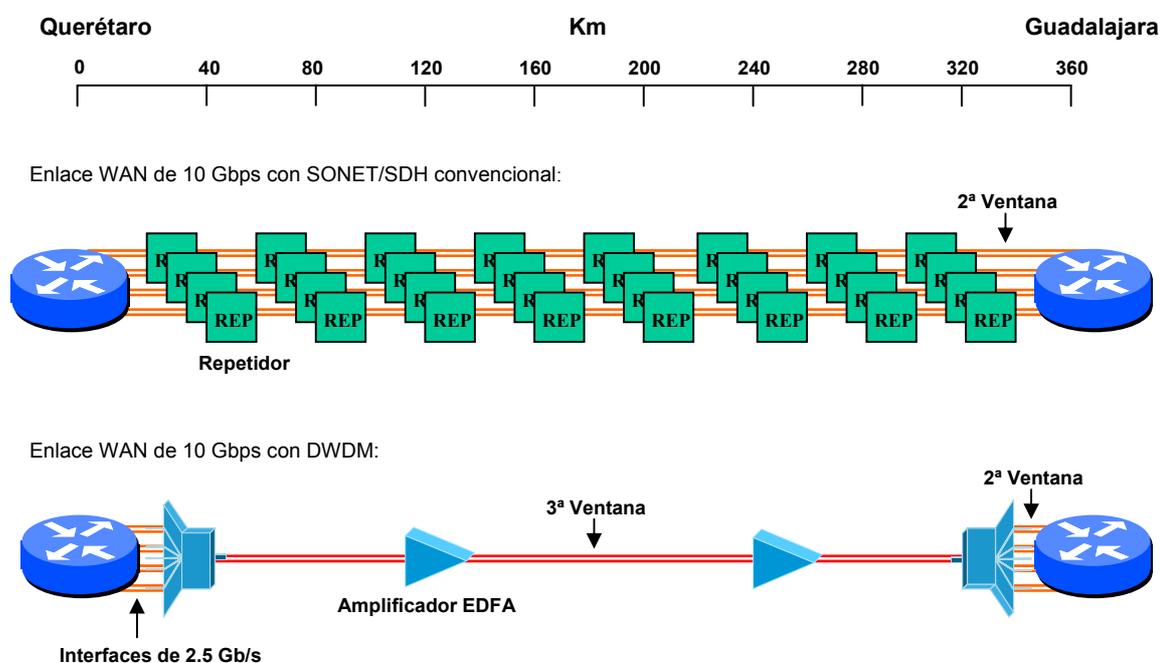


Figura 5.5 Comparación de equipamiento SDH y DWDM en un enlace.

El uso del DWDM no se ha reducido solo a largas distancias, en la actualidad tiene mucho uso en redes metropolitanas en donde cada día es necesario la optimización del uso de la fibra, y como las distancias no son muy grandes no se requiere el uso de amplificadores a menos de que la fibra sea vieja y este muy deteriorada. En las MAN se transporta cualquier tipo de tráfico, por lo que los flujos provenientes de los equipos SDH/SONET pueden ser transportados por los equipos DWDM, con lo cual se sigue haciendo uso de los equipos SDH/SONET, que es la tecnología en la que están basadas la mayoría de las redes de transporte metropolitanas.

Equipos con pocos canales, de cuatro a ocho lambdas, son usados en redes pequeñas, de menos de diez kilómetros.

Las topologías usadas en DWDM son muy parecidas a las que se pueden construir con equipos SDH, además de que existe una similitud ya que también se consideran dos lados del equipo este y oeste así se tienen las siguientes topologías:

Punto a Punto. Esta topología se forma por un enlace entre dos equipos, la distancia entre los equipos en las redes de larga distancia puede alcanzar varios kilómetros, si se requieren pueden usarse amplificadores intermedios, el número de amplificadores se ve limitado por efectos de dispersión, normalmente deben usarse menos de diez amplificadores. En las redes metropolitanas normalmente no se requiere el uso de amplificadores intermedios. En la figura 5.6 se muestra la topología punto a punto.

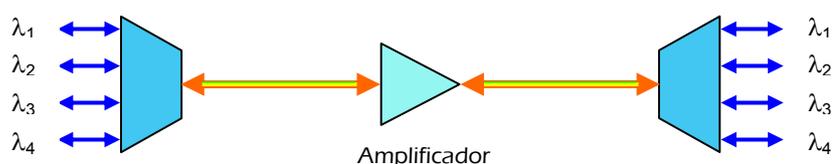


Figura 5.6 Topología punto a punto en DWDM.

Bus. Esta topología incluye el enlace de mas de dos elementos DWDM, los elementos intermedios pueden ser OADM “Optical Add Drop Multiplexor” (Multiplexor Óptico de Inserción/Extracción) y amplificadores. En los elementos configurados como OADM se pueden extraer o insertar las lambdas que se requieran en ese punto, esto se hace sin convertir la señal a formato eléctrico, a su paso por OADM las señales sufren una pequeña atenuación por lo cual no se recomienda el uso de muchos OADM's. En la figura 5.7 se muestra un ejemplo de esta topología.

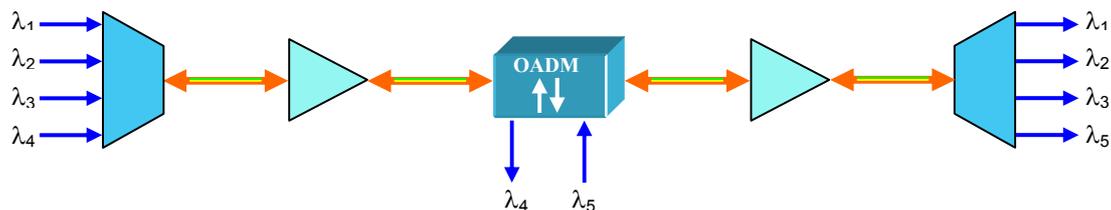


Figura 5.7 Topología Bus en DWDM.

Anillo. La topología en anillo esta mas enfocada a enlaces de tipo metropolitano, los elementos que forman un anillo son OADM's, y en cualquier punto de los elementos se pueden insertar o extraer canales. Se debe recordar que el uso de OADM's atenúa las señales y en determinado caso debe contemplarse el uso de amplificadores.

La mayoría de los fabricantes para llevar a cabo esta topología se basan en enlaces punto a punto en un anillo cerrado, al igual que los equipos SDH los DWDM tienen su lado Oeste y Este. El fabricante Ericsson dentro de su gama de productos ERION (Ericsson Optical Networking), tiene la patente del llamado Flexring (anillo flexible), el cual esta diseñado exclusivamente para trabajar en la configuración de anillo pudiendo tener hasta una circunferencia máxima de 500 km con seis nodos.

En los anillos DWDM pueden trabajar anillos SDH superpuestos, comportándose como un medio de transporte transparente para los equipos SDH que siguen teniendo su propia gestión y esquemas propios de protección. En la figura 5.8 se muestra la topología en anillo.

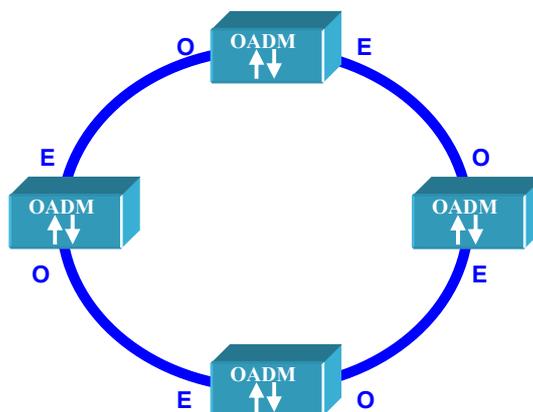


Figura 5.8 Topología en anillo DWDM.

Mallada. La topología de redes malladas son el futuro de las redes ópticas, es una topología más robusta que las mencionadas anteriormente, los elementos fundamentales para estas redes son los conmutadores y cross conectores ópticos (OXC), que servirán como complemento a los elementos fijos de los DWDM, estas redes deben tener la capacidad para enlazarse con las formadas mediante otras topologías, por ejemplo mediante un enlace punto a punto puede unirse con un anillo con una red mallada en la figura 5.9 un ejemplo de una conexión de una red mallada.

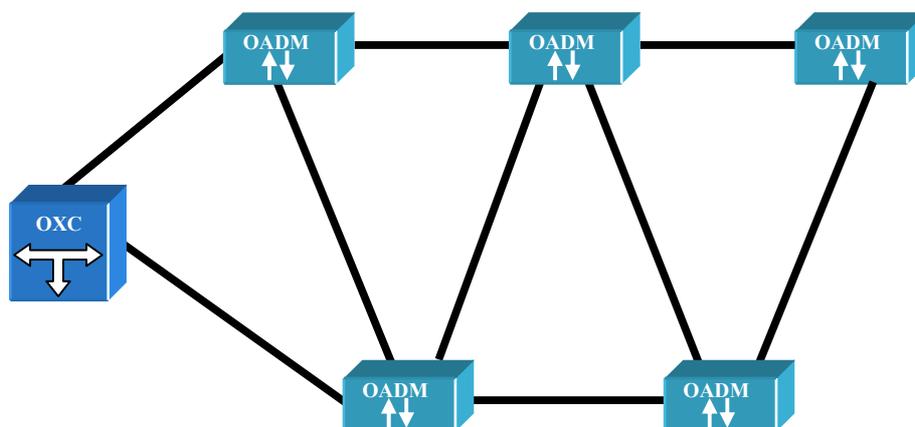


Figura 5.9 Topología de una red mallada.

5.6 Esquemas de protección en redes DWDM.

Como todo sistema de comunicaciones, los equipos DWDM son susceptibles a presentar fallas, por lo cual es necesario contar con algunos esquemas de protección de los equipos que son los siguientes:

Protección de Equipo. En los equipos DWDM la protección más común en cuanto a equipamiento es la protección de alimentación, cuenta con dos fuentes de alimentación independientes conectadas en paralelo, cuando las dos trabajan comparten la carga que demanda el sistema, en caso de que una llegará a fallar la que queda trabajando toma toda la carga.

Protección de Red. Los procedimientos de protección de red son empleados cuando ocurren fallas en el enlace entre dos o más elementos de la red. Las fallas pueden ocurrir en propio elemento o en la línea de transmisión.

En un enlace punto a punto existen dos maneras de protección:

- Existen dos líneas, una de trabajo y una de protección, en caso de que falle una línea la conmutación a la línea de protección la hacen los sistemas que se conectan al DWDM, como por ejemplo un equipo SDH, o un enrutador. Esto es en equipos de primera generación.
- Para equipos de segunda generación la protección la hace el propio DWDM que cuenta con redundancia de algunas tarjetas, como son multiplexores, demultiplexores, transponders y CPU.

En las configuraciones de anillo, la mayoría de los fabricantes de DWDM manejan un esquema de protección con fibra redundante, es decir si en un tramo del anillo existe una falla el tráfico conmuta a la línea de protección en ese mismo tramo.

El sistema Flexring de Ericsson cuenta con una forma distinta de protección, el anillo trabaja normalmente con una sección inactiva, en esta sección no cursa tráfico, aunque a todos los elementos llega el tráfico requerido, si en alguna de las otras secciones activas del anillo llegará a ocurrir una falla, esta sección tomaría el papel de sección inactiva y la que en un inicio estaba en este estado se vuelve activa haciendo que el tráfico curse nuevamente por todos los elementos. Para realizar este tipo de protección no se requiere redundancia en las tarjetas de los sistemas. Este funcionamiento se muestra en la figura 5.10.

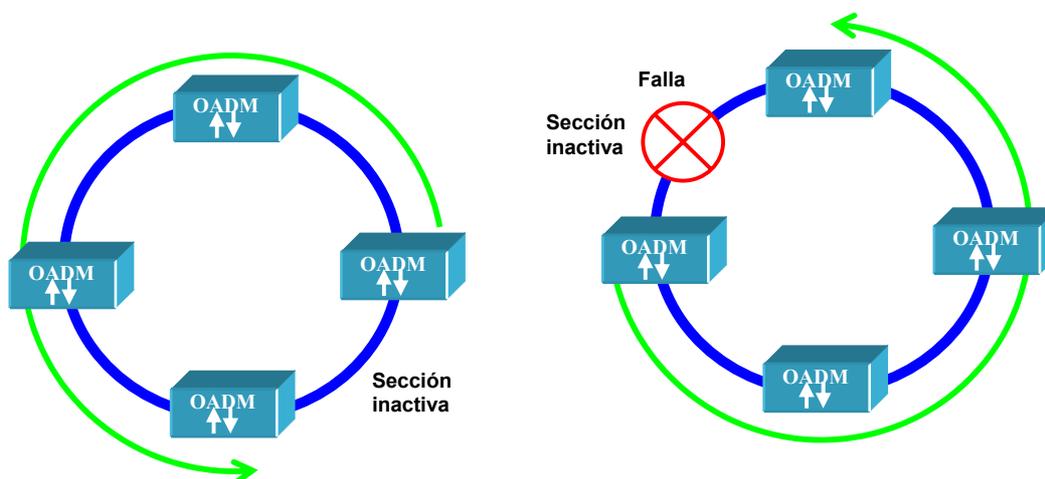


Figura 5.10 Protección en Flexring.

La conmutación de la sección inactiva puede hacerse de forma manual mediante el sistema de gestión lo cual resulta útil para fines de mantenimiento.

Otro producto de la gama ERION de Ericsson es el sistema Metro, con el cual se forman enlaces punto a punto, las topologías en anillo se van formando con enlaces de este tipo hasta cerrar el anillo. En este producto la protección la llevan a cabo los equipos que se conectan a este, como puede ser un SDH. Este producto no cuenta con elementos activos, como amplificadores, multiplexores y demultiplexores, la selección de las longitudes de onda se hace mediante filtros ópticos.

5.7 Gestión de los sistemas DWDM.

La gestión de los sistemas DWDM permite realizar las siguientes actividades: supervisar la red desde la capa física, supervisión de los circuitos ópticos, supervisión de secciones de la red con fallas o degradación de las señales, obtener inventarios de hardware y software, inventario de las longitudes de onda, configurar los parámetros del sistema, gestión de alarmas y configuración de las mismas, y en forma general realizar la supervisión del desempeño de la red.

La gestión de los equipos DWDM se lleva comúnmente mediante algún protocolo de red, puede ser uno desarrollado por el fabricante. Las formas de gestionar los equipos DWDM son similares a las de SDH. Los equipos forman una pequeña red y a cada uno se le asigna una dirección de red IP o NSAP fija.

1. *Gestión Local.* Esta se lleva a cabo conectándose directamente al elemento de la red desde el LC "Local Controller" (Controlador Local), por medio de la interfaz Q3.
2. *Gestión remota entre equipos del mismo enlace.* Desde un elemento de la red se puede tener acceso a otros elementos de la red, estos deben formar parte del mismo enlace los cuales están comunicados entre si por medio de las líneas de transmisión, y al conocer la dirección de red que le pertenece a cada uno se puede acceder a ellos. La gestión entre equipos se lleva a cabo mediante el OSC "Optical Supervision Chanel" (Canal de Supervisión Óptico), la señal del OSC se transporta entre los elementos de la red a través de una señal óptica de 1510 nm, fuera de la banda de la sección de tráfico con una velocidad de 2 Mbps.
3. *Gestión por medio de una red LAN.* Los elementos de la red se conectan a una DCN local por medio de la interfaz Q, es del tipo Q3/B3 y atiende a la recomendación ITU-T Q.513, que especifica que la salida es LAN Ethernet. Los equipos DWDM disponen de una interfaz física de conexión AUI que permite acceder al equipo mediante una LAN (10BaseT o 10Base2). En esta interfaz se conecta un transceiver Ethernet con RJ45 (10BaseT). Todos los equipos a ser gestionados por la DCN deben ser interconectados mediante esta LAN. Cada uno de los equipos debe tener una dirección IP o

NSAP fija distinta. La gestión se lleva a cabo en una estación de trabajo, que se encuentra localizada comúnmente en el Centro de Gestión Local.

4. *Gestión por medio de una red WAN.* En un país pueden existir varios centros de gestión local, los cuales se encuentran a su vez gestionados por uno o más centros de gestión a nivel nacional. Esto se lleva a cabo por medio de una red DCN del tipo WAN.

Los equipos DWDM no requieren de sincronía para operar para el DWDM el tráfico que cursa por el es transparente, por lo cual los equipos que lo generan deben proporcionar la sincronía cuando así se requiera.

CAPITULO VI

APLICACIÓN, PUESTA EN MARCHA DE UNA RED DWDM.

En el presente capítulo se abordará el procedimiento a seguir en el desarrollo de un proyecto real de una red de DWDM en la ciudad de Guadalajara Jalisco. Este proceso incluye el estudio de ingeniería, el montaje, la prueba y la puesta en marcha de los equipos que forman la red DWDM.

6.1 Antecedentes.

La compañía TELGUAD cuenta con una red de transporte en la zona metropolitana de la ciudad de Guadalajara basada en tecnología SDH, en ella destacan cuatro nodos Chapultepec (CHA), Monumento (MON), Parian (PAR) y Ejercito (EJE), por los cuales circula la mayoría del tráfico de esta compañía en la esta ciudad.

Los enlaces por medio de fibra óptica, con tecnología SDH han crecido de tal manera que todas las fibras ópticas que comunican a estos cuatro nodos están prácticamente agotadas. Existen las siguientes formas para seguir creciendo en enlaces y su capacidad de transmisión en cuanto ancho de banda: instalar nueva fibra óptica, aumentar la velocidad de los equipos de transmisión o bien realizar la instalación de equipos DWDM.

Después de hacer un análisis se ha optado por instalar equipos DWDM para cubrir la escasez de fibra óptica existente en la red. Las consideraciones principales que se han tomado en cuenta para esta elección son:

- Es la solución mas barata.
- La fibra óptica existente es compatible con el equipo.
- La migración del tráfico de las redes SDH hacia el DWDM es transparente.

6.2 Elección del equipo DWDM.

TELGUAD desea migrar sus actuales anillos SDH hacia una red DWDM, manteniendo todas las características de la red SDH, actualmente trabajando. Específicamente TELGUAD desea conservar el uso de la protección MS-SPRing, así como su distribución de tráfico. Así pues, la nueva red ocupará los mismos nodos usados por equipo SDH. No solo serán señales de esta tecnología las que se transmitan a través del DWDM ya que se prevé transmitir IP y ATM sin necesidad de pasar por SDH. Por la importancia que representa para TELGUAD el tráfico que cursa por esta red el anillo DWDM tendrá un anillo de respaldo.

Después de hacer un análisis de los diferentes proveedores de equipos DWDM, se ha tomado la decisión de que sea el proveedor Ericsson el encargado de suministrarlos ya que dentro de su gama de equipos ERION existe uno que cubre las necesidades de la red requerida

El equipo elegido es el Flexring, que cubre las necesidades de TELGUAD en su red de transporte en esta zona metropolitana, y que además de cumplir con las características generales de la mayoría de los equipos de distintos fabricantes, tiene la capacidad de autoprotgerse en su configuración de anillo.

6.3 Caracterización de la fibra óptica.

Con el fin de conocer el equipamiento de cada uno de los equipos que se deben instalar en cada uno de los nodos se deben hacer las mediciones de la fibra óptica, esto se conoce como caracterización de la fibra, estas mediciones son las siguientes: atenuación, PMD, dispersión cromática y número de empalmes. En la figura 6.1 se muestran las distancias entre los cuatro nodos involucrados en la red DWDM en TELGUAD.

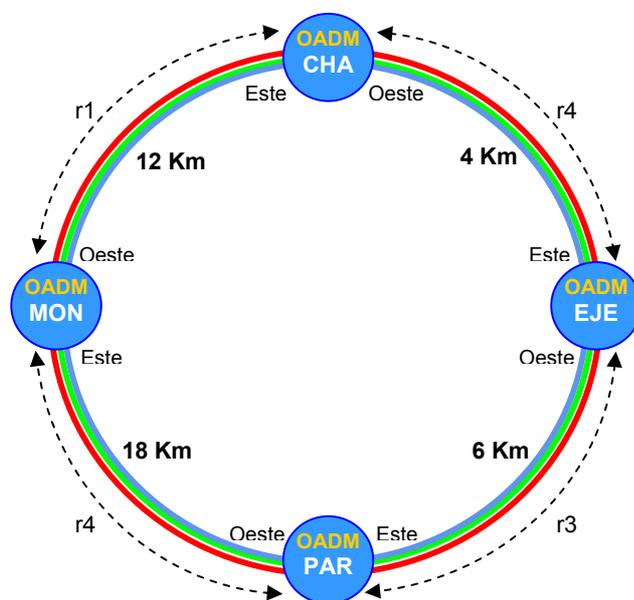


Figura 6.1 Nodos de la red DWDM en Guadalajara.

La atenuación de la potencia óptica se considera el factor más importante en la caracterización de la fibra óptica. Para medir la atenuación dentro de una fibra óptica se usa un OTDR "Optical Time Domain Reflectometer" (Reflectómetro Óptico en el Dominio del Tiempo), con el cual se puede obtener la siguiente información: longitud de la fibra, ubicación de los empalmes, ubicación de conectores.

La atenuación de cada sección de la fibra se calcula considerando los siguientes factores:

- **Atenuación de la fibra.** Esta atenuación es originada por el paso de la señal a lo largo de la ruta de fibra óptica. El valor típico de esta pérdida es 0.25 dB/Km.
- **Atenuación de los conectores.** La pérdida que se considera en cada es de 0.5 dB por conector.
- **Atenuación por empalme.** La atenuación por empalme ha sido considerado como 0.05 dB; normalmente cada cuatro kilómetros es necesario hacer un empalme para unir dos bobinas de fibra óptica diferentes.
- **Atenuación por otros factores.** Esta sección considera 0.5 dB por reflexión y dispersión cromática de la fibra.
- **Atenuación por edad de la fibra.** Con la finalidad de asegurar un correcto comportamiento del sistema se considera una pérdida de 2 dB durante la vida útil del sistema.

En el sistema Flexring la atenuación en cada sección debe ser menor a 6 dB, de no ser así se debe hacer uso de una amplificador. En la tabla 6.2 se muestran los valores de atenuación que se obtuvieron entre cada uno de los nodos y las distancias entre ellos.

La medición de la dispersión puede realizarse mediante un OSA “Optical Spectrum Analyzer” (Analizador de Espectro Óptico), para el diseño de esta red se considera que el valor de la dispersión es de 17 ps/nm/km. En la tabla 6.2 se muestra el valor de la dispersión el cual se obtiene al multiplicar el valor de la distancia en km por 17 ps/nm/km.

Enlace	Distancia Km	Anillo A (Trabajo)			Anillo B (Respaldo)		
		Dispersión ps/km	Atenuación dB		Dispersión ps/km	Atenuación dB	
			Fibra 1	Fibra 2		Fibra 1	Fibra 2
MON - CHA (r1)	12	204	4.2	5.2	204	4.2	5.2
MON - PAR (r2)	18	306	6.3	7.3	306	6.3	7.3
PAR - EJE r3	6	102	2.1	3.1	102	2.1	3.1
EJE - CHA r4	4	68	1.4	2.4	68	1.4	2.4
Total anillo	40	680	14	18	680	14	18

Tabla 6.2 Mediciones de la fibra óptica para el anillo Flexring.

De las mediciones plasmadas en la tabla 6.2 se deduce lo siguiente:

- Se requiere un amplificador entre los nodos MON y PAR.
- Se requiere de transponders TET del tipo “ Médium – Haul Bite Rate”, que cuenta con una capacidad de dispersión de 6000 ps/nm, existen otros con capacidad de mayor dispersión pero este satisface las necesidades de esta red.

El transponder RET que se va usar en esta red es aquella que soporta señales de 100 a 2500 Mbps, puesto que las señales que se tienen planeadas transportar son SDH cuyo máximo nivel será STM-16.

Con la caracterización de la fibra óptica se ha determinado el equipamiento que debe tener cada uno de los nodos. En la primera etapa solo se planean 16 canales en la red, el crecimiento a 32 canales se tiene previsto para un futuro. En la tabla 6.3 se presenta la distribución de los canales para cada uno de los nodos.

Canal	Nodo	Canal	Nodo	Canal	Nodo	Canal	Nodo
1	EJE	5	EJE	9	MON	13	MON
1	CHA	5	CHA	9	PAR	13	PAR
2	CHA	6	CHA	10	PAR	14	PAR
2	MON	6	MON	10	EJE	14	EJE
3	MON	7	CHA	11	EJE	15	EJE
3	PAR	7	PAR	11	CHA	15	CHA
4	PAR	8	MON	12	CHA	16	MON
4	EJE	8	EJE	12	MON	16	PAR

Tabla 6.3 Distribución de los canales en los nodos.

En la figura 6.4 se muestra gráficamente como quedará la red DWDM y los equipos que se comunicaran a través de ella.

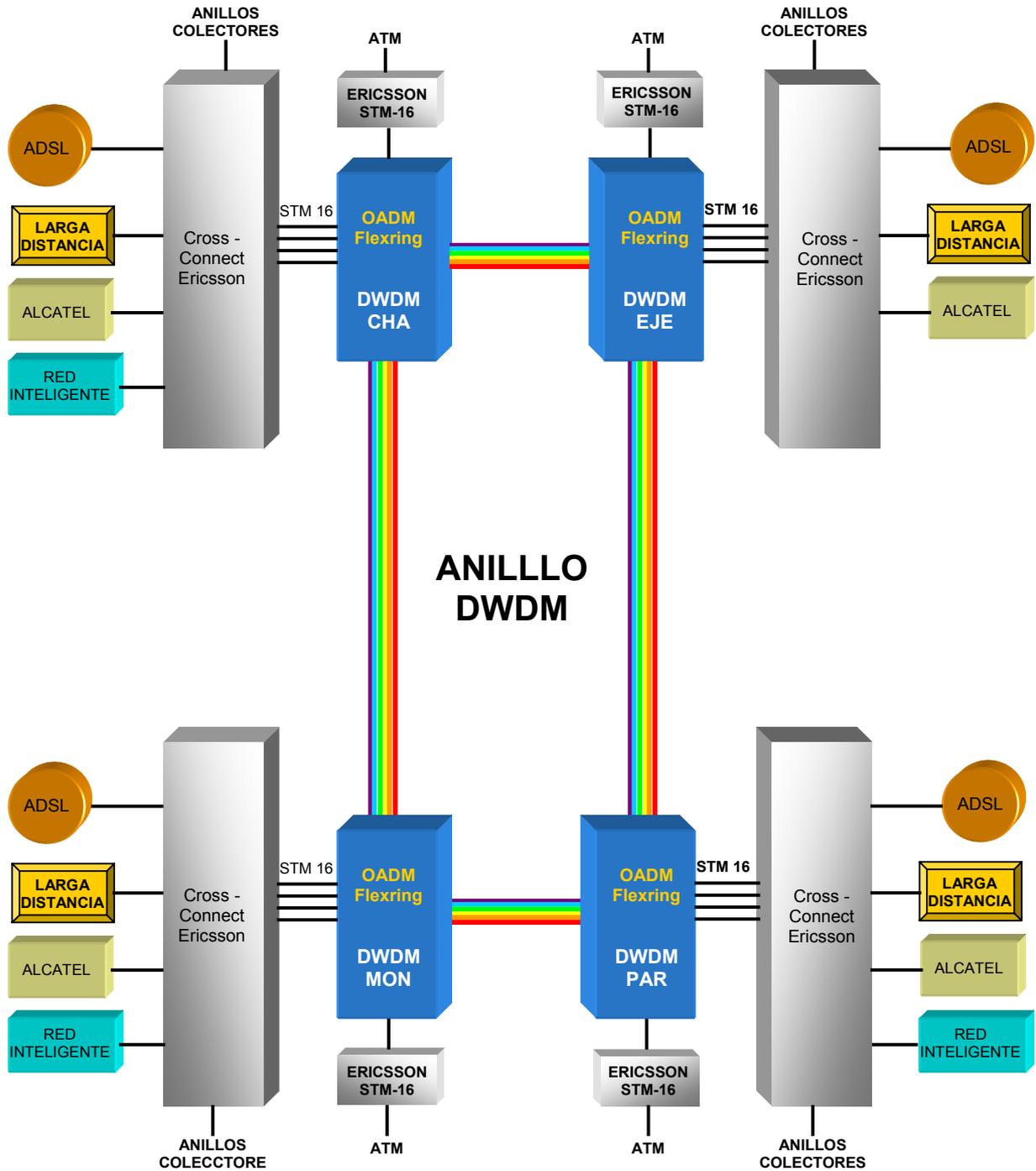


Figura 6.4 Red DWDM de TELGUAD.

6.4 Proceso de ingeniería.

Una vez que se ha hecho la caracterización de la fibra óptica y se tiene el equipamiento que va a tener cada uno de los nodos, se procede por parte del departamento de ingeniería a hacer la visita a cada uno de los nodos para determinar lo siguiente:

- Posición dentro de la sala de transmisión para instalar el equipo DWDM.
- Posiciones de alimentación en el GLT (Gabinete Lateral de Tensiones), tanto de trabajo como respaldo.
- Tomar la lectura de voltaje en las posiciones asignadas del GLT.
- Posiciones en el DFO (Distribuidor de Fibra Óptica), para conectar las líneas de fibra óptica este y oeste.
- Posiciones en el DFO para conectar los canales DWDM.
- Medir las distancias de la posición donde se va a instalar el equipo DWDM hacia al GLT y DFO's correspondientes.

En el anexo 1 se encuentra el documento de inspección de sitio, en el se muestran todos los datos que deben obtenerse durante la visita a cada nodo.

Una vez hecha la inspección de los sitios se procede a elaborar la lista y solicitud del material mecánico que se va a usar en la instalación de cada equipo.

Posteriormente se lleva a cabo la memoria técnica, la cual incluye toda la documentación necesaria para realizar la instalación del equipo, en ella queda asentado las posiciones de instalación del equipo y el resultado de todas las pruebas realizadas. A continuación se enlistan los documentos que se incluyen en la en la memoria técnica:

- Topología.
- Plano de Sitio.
- Frentes de Gabinetes.
- Frente de Subrack (Espacio donde se alojan las tarjetas del DWDM).
- Distribución en DFO.
- Distribución en GLT.
- Distribución de Gabinetes/repisas.
- Configuración de Líneas.
- Configuración de Protección.
- Configuración de la Gestión (Direcciones NSAP de cada equipo).
- Matriz de Tráfico.

6.5 Proceso de instalación.

Para dar inicio a la etapa de instalación, el coordinador del proyecto se pone de contacto con su parte correspondiente en TELGUAD para acordar las fechas de inicio y termino del proyecto, en lo que se refiere a las etapas de instalación, prueba y entrega.

La etapa de instalación inicia con la recepción en cada nodo de los materiales solicitados por ingeniería al departamento de logística, se hace un reporte de faltantes, si es que los hubiera. La instalación se lleva a cabo de acuerdo a la documentación entregada por ingeniería. Se monta y fija el gabinete que contiene el DWDM en la posición señalada en el plano del sitio, se tienden los cables que van alimentar al equipo hacia el GLT, se debe tomar la lectura de voltaje la cual debe estar en el rango de -43 a -52 Volts de corriente continua. Algo que resulta muy importante es la conexión de los gabinetes a la tierra física, para evitar daños por alguna descarga eléctrica al equipo que contiene.

Posteriormente se deben tender los cables ópticos de la líneas, este y oeste del DWDM, hacia el DFO son dos cables por lado uno de transmisión y otro de recepción. También se tienden los cables ópticos hacia el DFO para los canales del equipo. Los cables ópticos que se usan deben tener conectores FC de acuerdo a las norma de TELGUAD, se recomienda que tengan un pulido extra.

El personal que realiza la instalación tiene una certificación emitida por Ericsson, con esto se garantiza que la instalación tenga un alto nivel de calidad.

El equipo Flexring llega normalmente equipado de origen, esto significa que el gabinete ETSI llega con los subracks que lo componen con todo el cableado interno, eléctrico y óptico, listo. En caso de no ser así el personal de montaje se encargará de realizar las conexiones de todo el cableado eléctrico y el personal de prueba realizará lo mismo con el cableado óptico.

En la figura 6.5 se muestran dimensiones del gabinete ETSI y de los elementos que se alojan en el, como son el panel de alarmas, los paneles de fusibles, los ventiladores y los subracks maestro y su extensión. Todo este equipamiento es la parte mecánica del DWDM.

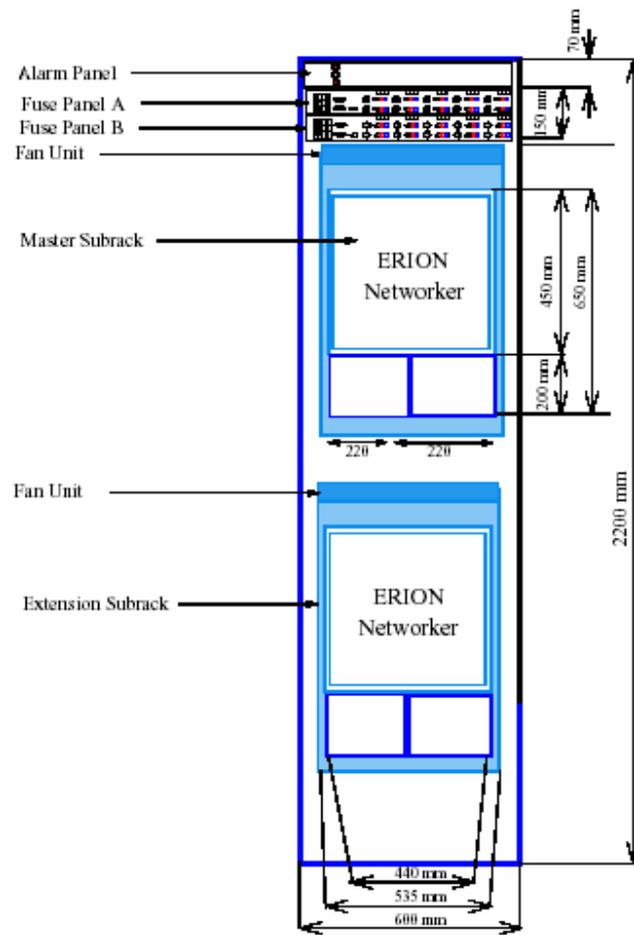


Figura 6.5 Dimensiones de los elementos que forman el DWDM.

En la figura 6.6 se muestra el equipamiento de cada uno de los subracks. El subrack maestro aloja las siguientes tarjetas: demux, control, pre amplificadores, amplificadores (cuando se requieran), mux, y los canales 1 al 7 (un canal se forma por una TET y una RET), el subrack de extensión aloja los canales del 8 al 16.

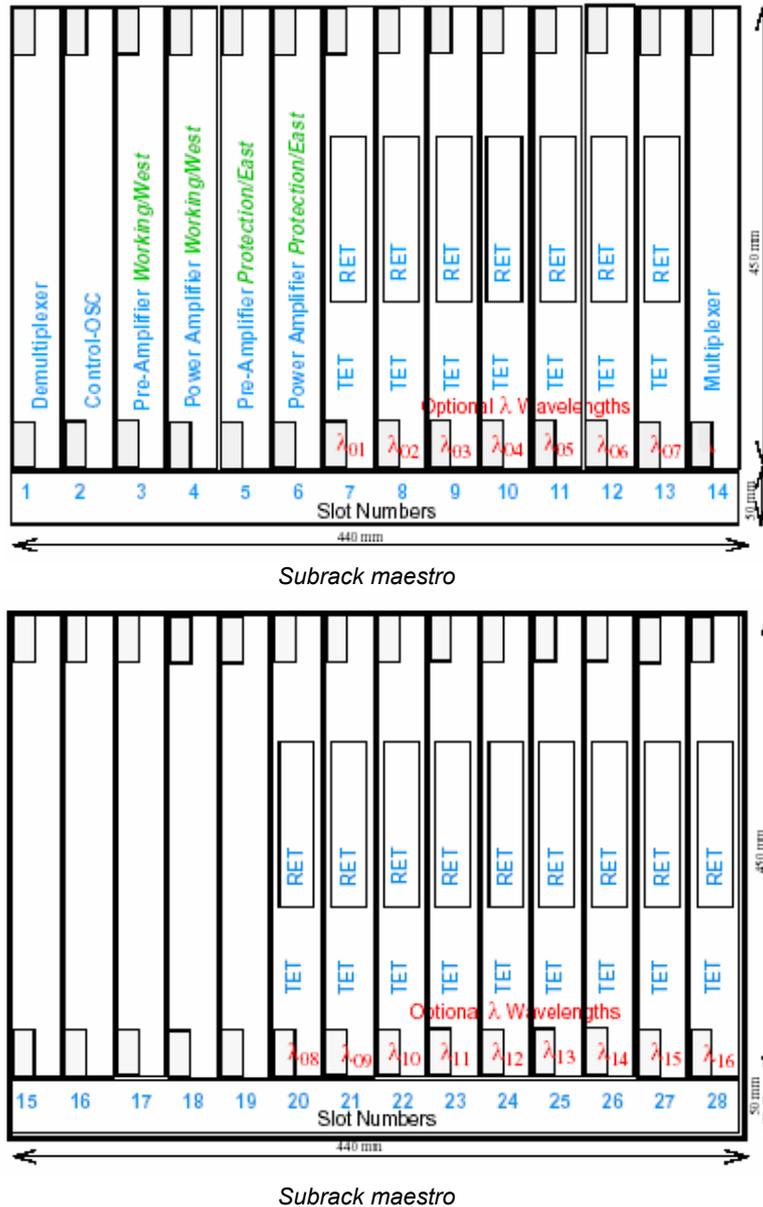


Figura 6.6 Equipamiento del subrack maestro y su extensión.

En la figura 6.7 se muestra el campo de conexión eléctrico, en este se realizan las conexiones eléctricas, las principales son: hacia el subrack de extensión, al panel de alarmas, a los ventiladores, al teléfono de servicio y la conexión para la gestión local o a una red LAN.

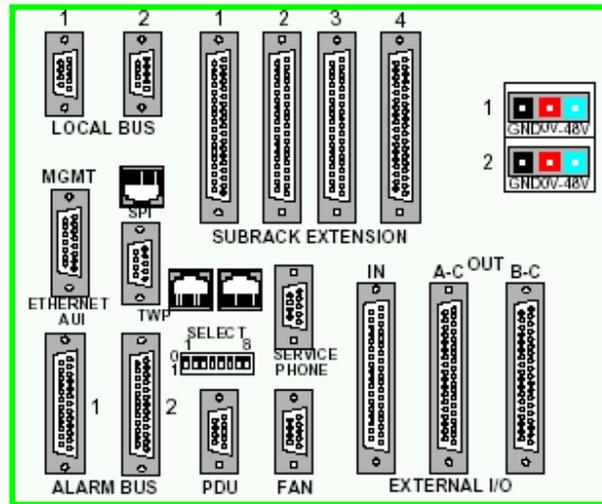


Figura 6.7 Campo de conexión eléctrico del DWDM Flexring.

6.6 Pruebas y resultados.

Una vez terminada la instalación del equipo el responsable de realizar la prueba y entrega del mismo, debe verificar que no existan pendientes en el montaje y que todo este listo y en buen estado para el inicio de la prueba.

A continuación se hace una lista del equipo necesario para realizar las pruebas del DWDM.

- Computadora personal con el software de aplicación e interfaz.
- Multímetro Digital.
- Medidor de potencia óptica.
- Generador y analizador SDH.
- Analizador de espectros óptico.
- (Cable óptico) "Jumpers ópticos" FC-FC, SC-SC, FC-SC, SC-SC2.
- Acopladores FC-SC.
- Atenuadores de 2, 5, 10, 15 y 20 dB.
- Microscopio óptico.
- Paquete de limpieza de fibra óptica.
- Equipo antiestático (pulsera, bata y taloneras).
- Herramienta de mano.

Antes de encender el equipo, se debe tomar la lectura del voltaje, si cumple con lo requerido se enciende el equipo.

Las pruebas inician con la configuración del equipo, esto se hace mediante el software de aplicación, llamado "Local Controller" (Controlador Local), cada uno de los nodos se debe configurar como OADM, se debe actualizar la fecha y horario en cada uno de los equipos, las tarjetas son dadas de alta y configuradas para trabajar de acuerdo al diseño de la red.

Una vez configurados los cuatro nodos se precede a cerrar el anillo, a tomar las lecturas de potencia que llega a cada uno de los nodos y se revisa que no existan alarmas en cada una de las tarjetas, si llegase a existir una alarma se revisa la causa y se resuelve en el momento. Las alarmas se pueden presentar por dos factores principales: defectos de fabricación en algún componente, cuando presentan este tipo de fallas deben ser sustituidos, alarma debido a que la versión de software es diferente a la que debe operar, en este caso se soluciona realizando una actualización del software.

En la tabla 6.8 se presentan los valores que deben presentar cada una de las tarjetas:

Tarjeta	Potencia de entrada dBm		Potencia de salida dB		Corriente de polarización mA	Temperatura del láser °C	Relación señal a ruido dB
	Nominal	Recomendado	Nominal	Recomendado			
Amplificador			Total 0 a 16 Por canal 4.5	Total 0-16.5 Por canal 2	0 a 130	Pump 1 21 a 28 Pump 2 26 a 23	
Pre amplificador	0 a -30	Total -18 a -22 con amplificador Total 3 a 6 sin amplificador				Pump 1 21 a 28 Pump 2 26 a 23	> 23
TET	-5 a -17	-10 a -3					
RET	-20 a -10	-15	-10.5 a -8.5	-9			
DMUX			-20 a -10	-15		55 a 80	
MUX						55 a 80	

Al cerrar el anillo se tomo la lectura de potencia óptica a la entrada de los pre amplificadores, y hubo necesidad de usar atenuadores de 5 dB entre LOP y PAR ya que la potencia medida en PAR era de -15 dB y en LOP de -14.5, con esto las potencias de entrada de los preamplificadotes quedaron dentro de la recomendación del producto. Tabla 6.8

A continuación se enumeran los pasos que se hacen en el proceso de prueba una vez que se han configurado los equipos y que estos están sin alarmas.

Inventario del equipo instalado. Este inventario debe incluir, la descripción de cada una de las tarjetas, código del fabricante, número de serie y versión del software. Se elabora una tabla con estos datos.

Prueba de lámparas. Mediante el LC se activa el encendido de todas las lámparas del equipo (LED's en las tarjetas y ventiladores y focos indicadores del panel de alarmas). En la figura 6.9 se muestra el frente de un subrack con sus tarjetas y los LED's en ellas. Si se enciende el rojo indica alarma urgente y si se enciende el verde esta en buen funcionamiento, si este mismo verde se pone en amarillo indica una alarma menor.

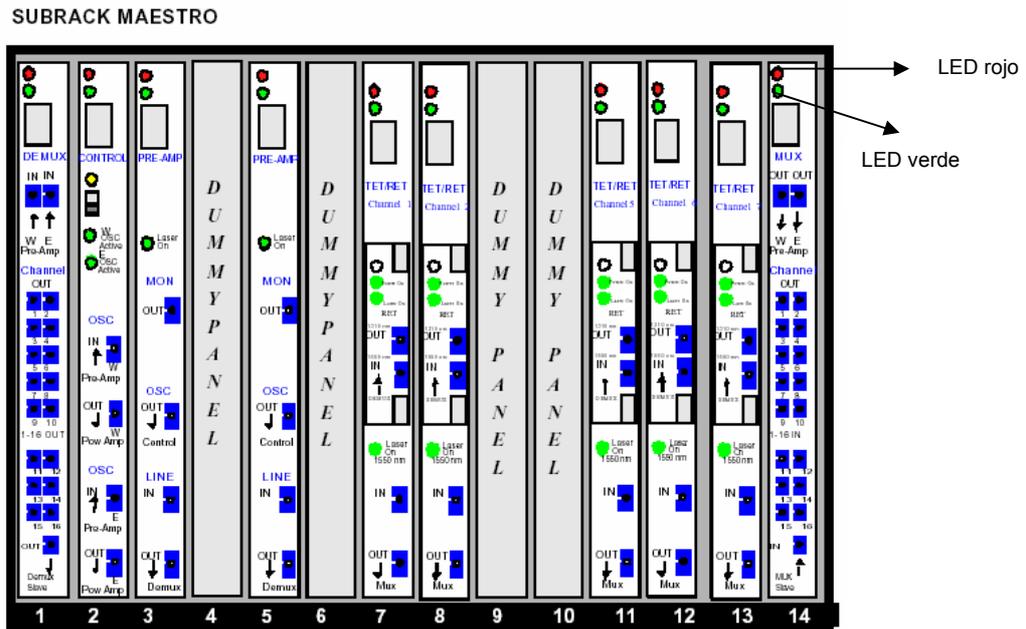


Figura 6.9 Lámparas de las tarjetas.

Prueba de alimentación. Esta prueba consiste en apagar una fuente de alimentación, la de respaldo debe tomar toda la carga, y en LC debe reflejarse una alarma no urgente, posteriormente se hace lo mismo con la fuente de respaldo.

Medición de la corriente de polarización. Mediante el LC se verificar el valor de la corriente de polarización en los amplificadores, el cual debe estar dentro del rango de 0 a 130 mA.

Medición de la temperatura del láser. Haciendo uso del LC se debe verificar el valor de la temperatura del láser en las siguientes tarjetas: mux, demux, pre amplificador y amplificador. En la tabla 6.10 se muestran los rangos en que debe estar la temperatura del láser para cada tarjeta. El amplificador y el pre-amplificador tienen dos fuentes láser por lo cual se muestran dos rangos para estas tarjetas.

Tarjeta	Rango °C
Multiplexor	55 - 80
Demultiplexor	55 - 80
Preamplificador	P1= 21-28 P2= 26-33
Amplificador	P1= 21-28 P2= 26-33

Tabla 6.10 Valores de temperatura del láser.

Medición de la potencia de salida en cada canal. El valor de la potencia de salida se mide en la tarjeta RET. Para llevar a cabo esta medición se realiza la conexión mostrada en la figura 6.11. La señal SDH es a nivel STM16

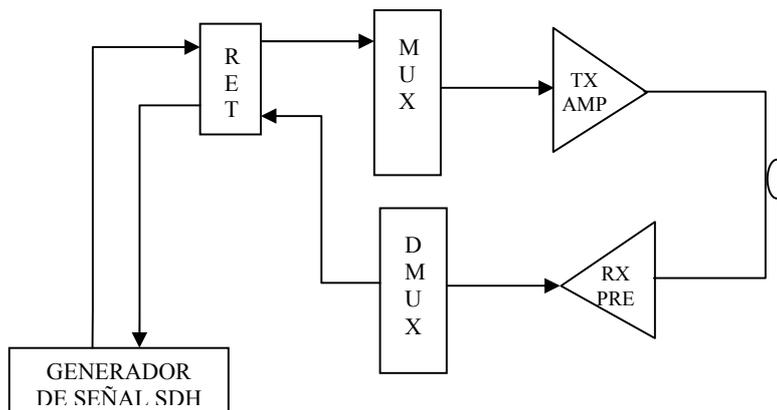


Figura 6.11 Medición de la potencia en la RET.

El valor que debe obtenerse en la potencia de salida de cada canal, medido en la tarjeta RET es de -10.5 a .8.5 dB.

Medición de la potencia de entrada y salida del amplificador. Haciendo uso de la conexión mostrada en la figura 6.10 se inserta una señal STM16 en cada tarjeta TET, se debe anotar la potencia de entrada y la de salida del amplificador, primero con una canal, después con dos, luego con tres y así sucesivamente hasta tener una señal en cada uno de los canales. En los resultados se puede observar que la potencia de salida va aumentando conforme van aumentando el número de canales con señal.

Medición de la potencia óptica a la salida del DWDM y Verificación de la protección automática del láser, APSD (Automatic Power ShutDown). Llevando a cabo la conexión de la figura 6.12 se debe llevar a cabo la medición de la potencia óptica a la salida del DWDM con y sin la activación del APSD que se hace desde el LC.

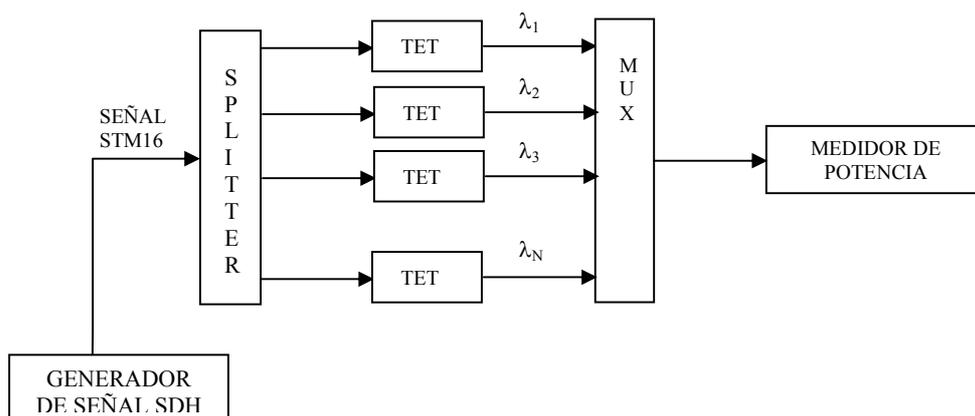


Figura 6.12 Medición de potencia con y sin APSD.

El valor de la medición de la potencia óptica cuando el APSD está activado debe tener un valor menor a -30 dB y cuando el APSD está desactivado el rango va desde -1 dB a 14dB, 17dB o 24dB dependiendo del valor del amplificador que se use, para este caso es uno amplificador de 17 dB.

Medición de la relación señal a ruido en los pre-amplificadores. Para hacer esta medición se debe insertar una señal STM-N en cada TET, se debe medir a la salida de cada pre-amplificador con el Analizador de Espectros Óptico (OSA), la relación señal a ruido OSNR. El valor obtenido debe ser mayor a 23 dB.

Medición de la longitud de onda. Esta medición se lleva a cabo insertando una señal STM-N en cada TET y conectando el OSA a la salida del amplificador. EL valor de la longitud debe coincidir con el valor de la longitud de onda de cada canal permitiendo una variación de ± 0.15 nm.

Protección del anillo. Una vez que se ha cerrado el anillo, desde un nodo se debe acceder a los demás mediante el LC, se debe insertar con un analizador SDH una señal STM-16 que recorra todos los nodos que forman el anillo, posteriormente mediante el LC se debe hacer la conmutación de la sección inactiva el tiempo de recuperación de la señal óptica STM-16 debe ser menor a 50 mseg, esta medición se hace con el mismo analizador SDH. En la figura 6.13 se muestran los cuatro nodos median el LC y la sección inactiva que debe conmutarse.



Figura 6.13 Sección inactiva entre Chapultepec y Monumento.

Durante la prueba de protección del anillo, se conectaron al DWDM cuatro equipos SDH STM-16 Ericsson, uno en cada nodo, y se hicieron pruebas de protección MS-SPRing, las cuales resultaron satisfactorias.

Prueba de calidad del sistema. Esta prueba consiste en insertar una señal SDH STM-16 en el anillo y medir el BER durante 72 horas, tiempo en el cual no debe existir ningún error de bit, para que toda la señal pase por cada uno de los canales se lleva a cabo la configuración hecha en la figura 6.14. Como se puede observar, el equipo de medición se pone en el nodo Monumento.

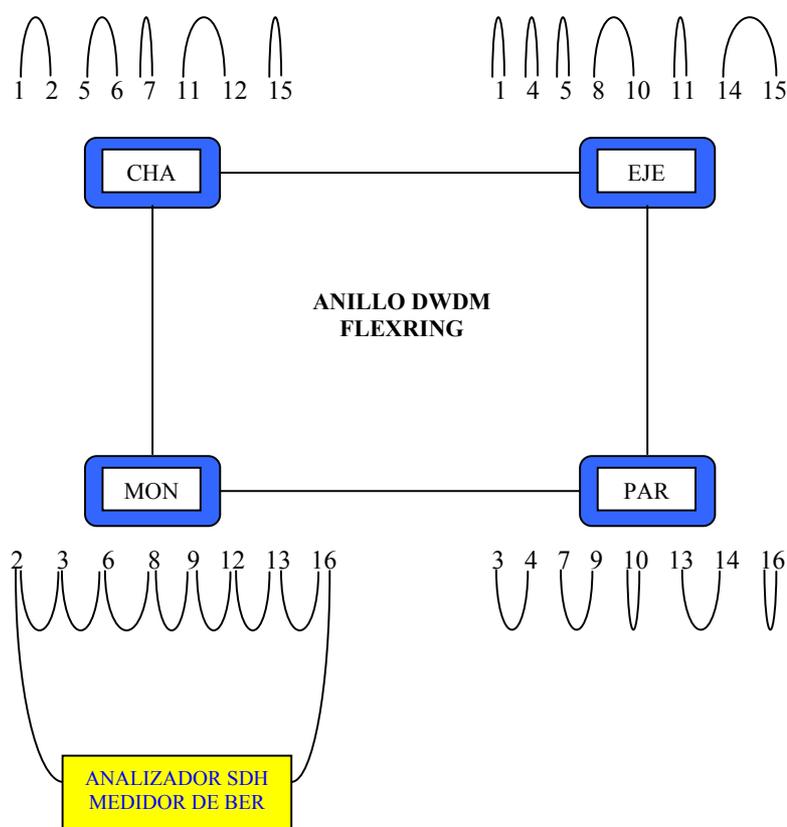


Figura 6.14 Esquema de conexión para la prueba de BER en el anillo Flexring.

Una vez que se ha cumplido con la prueba de BER y todas las pruebas antes mencionadas se lleva a cabo la firma del protocolo entre el representante de TELGUAD y el representante del proveedor en este caso es Ericsson. Con esta firma da por concluido el proyecto, y la red DWDM esta lista para entrar en servicio de acuerdo a las necesidades de TELGUAD.

CAPITULO VII
CONCLUSIONES.

7.1 Conclusiones.

En el presente trabajo se ha descrito la evolución que han tenido las telecomunicaciones por medio de la fibra óptica. La capacidad de transmisión demandada por los nuevos servicios que prestan las empresas de telecomunicaciones esta limitada por los dispositivos electrónicos que hasta la fecha se han desarrollado.

En las dos últimas décadas, la capacidad de transmisión de los sistemas experimentales y de los sistemas desplegados se ha incrementado a una tasa de velocidad de transmisión de 100 veces cada 10 años, tasa que excede el incremento de velocidad de los circuitos integrados. En 1996, los primeros sistemas con capacidad de transmitir a velocidades del orden de Tbps (Tera bits por segundo, es decir un millón de millones de bits por segundo), se demostraron en varios laboratorios de investigación, lo que conduce a la idea, con base en las tendencias históricas, de que con la llegada del presente siglo se desplegarán sistemas de Terabit a nivel comercial. Debido al cuello de botella de la electrónica, estos sistemas se lograrán mediante la multiplexación por longitud de onda sobre fibra óptica. Se introducirá una mayor funcionalidad en la capa óptica, transformando los sistemas de transmisión de punto a punto convencionales en redes ópticas flexibles. Habrá una gran demanda de nuevos componentes ópticos a fin de satisfacer las necesidades de tales sistemas. El desarrollo de nuevos dispositivos fotónicos está creciendo a una gran velocidad y la integración de estos componentes con la electrónica continuará reduciendo los costos e incrementando la funcionalidad de estos dispositivos.

La nueva red DWDM puesta en servicio en la empresa TELGUAD cumplió el objetivo de liberar las fibras ópticas que estaban a punto de ocuparse en su totalidad. La red de transporte, que tenía la empresa anteriormente, formada por equipos SDH se convirtió en una red de acceso y ahora la información que manejan es transportada por medio de la red DWDM, con la cual es compatible. Además de transportar el tráfico que circula en anillos formados por equipos instalados en los cuatro nodos que la forman, esta siendo utilizada como transporte de anillos colectores, los cuales solo tocan en un nodo a la red DWDM que es donde se accede a ella.

La preocupación de toda empresa de telecomunicaciones, de brindar la mayor calidad en sus servicios con el menor tiempo de pérdida de tráfico, este aspecto quedó cubierto con los equipos DWDM puesto que permiten que la protección MS -SPRing la sigan llevando al cabo los equipos SDH. Además de que el anillo de trabajo DWDM cuenta con un anillo de respaldo. La aportación más importante de haber seleccionado como proveedor a Ericsson y en especial el equipo Flexring es la capacidad que tiene este equipo de formar anillos autorecuperables al presentar alguna falla en la línea de transmisión, es decir la capacidad del equipo Flexring de proteger el tráfico con la conmutación del tráfico hacia la sección inactiva.

La red DWDM de TELGUAD tiene la capacidad de transportar 16 señales ópticas por el mismo anillo, los canales se van a ocupar de acuerdo a las necesidades de TELGUAD, pudiendo transportar diferentes tipos de señales como lo es SDH, ATM, IP y Gigabit Ethernet. No es necesario que los 16 canales se den de alta al mismo tiempo, ya que se pueden dar de alta uno por uno en la medida que se requiera acceder una nueva señal que deberá ser transportada por la red. La red esta preparada para seguir creciendo en cuanto a equipamiento y en un momento dado aumentar a 32 canales.

La atenuación es un aspecto que debe cuidarse mucho en el diseño de una red DWDM, y en general en las redes de transporte, entre menos conectores se usen al formar un anillo será mucho mejor para el desempeño de la red; durante el desarrollo de la red DWDM de TELGUAD se detectó que debido a que los nodos que la forman no son contiguos, entre ellos existen algunos mas, se hicieron trasposos con cables ópticos que llevan conectores y así cerrar el anillo, lo que se recomienda en estos casos es hacer uso de empalmes de fusión de la fibra óptica para tener un mejor desempeño de la red.

Aunque la red quedó diseñada para que los equipos hagan una protección por si mismos del tráfico, las posiciones asignadas en los DFO's pueden afectar el correcto desempeño de la red, ya que las posiciones para los anillos de trabajo y respaldo pertenecen al mismo cable óptico de 24 hilos, por experiencia se sabe que cuando se daña un cable no sólo se daña un hilo, normalmente se dañan todos los que lo forman, la recomendación es que se busque una ruta alterna de protección que vaya por diferente camino a la de trabajo y desde luego en diferente cable óptico.

A continuación se muestra una lista con las condiciones que deben de tenerse en cuenta para dar un adecuado mantenimiento a la red.

1. Se debe tener una memoria técnica que contenga toda la información del diseño de la red y los valores medidos registrados en la tabla 6.8, esta memoria debe ser actualizada cada vez que se haga algún cambio en la red.
2. Hacer un respaldo de la información de cada nodo de manera periódica.
3. Los valores mostrados en la tabla 6.8 deben ser medidos en cualquiera de los siguientes casos:
 - Corte de fibra.
 - Cambio de trayectoria de cables de fibra óptica.
 - Cambio del cable actual por uno nuevo en la trayectoria existente.
 - Cambio de transponder.

- Cambio de amplificador.
- Cambio de pre amplificador.

Se debe procurar que todos los valores sean similares a los iniciales.

4. Cuando existan reparaciones de cable de fibra óptica los empalmes se deben hacer con un nivel aceptable de calidad y hacerse nuevamente mediciones con el OTDR en ambos sentidos.
5. Cuando se lleve acabo alguna intervención, los equipos deben estar en condición de conmutación forzada para evitar que se revierta la protección y exista perdida de información.

Gracias a mi formación en la UNAM y especialmente en la Facultad de Ingeniería, pude desarrollar este trabajo de tesis en el que he podido reflejar parte de los conocimientos obtenidos a lo largo de la carrera que curse (IME área eléctrica y electrónica, modulo de comunicaciones), complementándolos con una investigación cumplí con el objetivo de desarrollar una aplicación real del diseño de una red de transporte para una empresa de telecomunicaciones usando tecnología que esta a la vanguardia.

Mi formación como universitario ha sido integral ya que me ha permitido tener un crecimiento en mi desarrollo como profesionista pero sobre todo como persona, de esta manera he podido afrontar los retos que se me han presentado a lo largo de mi vida. Para dar continuidad a mi desarrollo como ingeniero debo estar actualizado en los constantes cambios tecnológicos sin descuidar el aspecto humano para ser cada día mejor persona.

Apéndices.

APÉNDICE A.
ACRÓNIMOS.

3R	Reconforma Resincroniza y Retransmite (Reshape, Retime, Retransmit).
ADM	Multiplexor de Inserción y Extracción (Add Droop Multiplexer)
AIS	Señal de Indicación de Alarma (Alarm Indication Signal).
AM	Modulación de Amplitud (Amplitude Modulation).
AM-IM	Subportadora Eléctrica Modulada en Amplitud (Amplitude Modulation – Intensity Modulation).
AN	Apertura Numérica.
ANSI	Instituto Nacional de Estándares Americanos (American National Standards Institute).
APD	Foto Diodo de Avalancha (Avalanche Photo Diode).
APSD	Protección Automática de Láser (Automatic Power ShutDown).
ASK	Modulación Digital de Amplitud (Amplitude Shift Keying)
ATM	Modo de Transferencia Asíncrona (Asynchronous Transfer Mode).
AU	Unidad Administrativa (Administrative Unit).
AUG	Unidad Administrativa de Grupo (Administrative Unit Group).
BER	Taza de Error de Bit (Bit Error Rate).
B-ISDN	Red Digital de Servicios Integrados de Banda Ancha (Broadband Integrated Service Digital Network).
BML	Gestión del Sistema ((Business Management Layer).
C	Contenedor (Container).
CCITT	Comité Consultivo de Telegrafía y Telefonía Internacional (Consultative Comité of International Telegraphy and Telephony).
cm	Centímetros.
dB	Decibeles
dB/km	Decibeles por kilómetro
DCN	Red de Comunicación de Datos (Data Communications Network).
DFB	Retroalimentación Distribuida (Distributed Feedback).
D-IM	Moduladora Directamente en Base (Direct Intensity Modulation).
DSF	Fibra de Dispersión con Cambios (Dispersion Shifted Fiber).
DWDM	Multiplexación Densa por División de Longitud de Onda (Dense Wavelength Division Multiplexing).
DXC	Cross Conector Digital (Digital Cross Connect)
E/O	Electro-Óptico.
E1	Primer nivel jerárquico PDH.
E2	Segundo nivel jerárquico PDH.
E3	Tercer nivel jerárquico PDH.
E4	Cuarto Nivel jerárquico PDH.
EDFA	Amplificador de Fibra Dopado de Erblio (Erbium Doped Fiber Amplifier).
EML	Gestión de Elemento de Red (Element Management Layer).
FDDI	Interfaz de Datos Distribuidos mediante Fibra (Fiber Distributed Data Interface)
FDM	Multiplexaje por División de Frecuencia (Frequency Division Multiplexing).
FM	Modulación de Frecuencia (Frequency Modulation).
FM-IM	Subportadora Eléctrica Modulada en Frecuencia (Frequency Modulation – Intensity Modulation)
FSK	Modulación Digital de Frecuencia (Frequency Shift Keying).
Gbps	Giga bits por segundo.
GHz	Giga Hertz
IP	Protocolo de Internet (Internet Protocol).
ISDN	Red Digital de Servicios Integrados (Integrated Service Digital Network)
ITU-T	Unión Internacional de Telecomunicaciones Sector Telecomunicaciones (International Telecommunications Union – Telecommunications Sector)

km	Kilómetros.
LAN	Red de Área Local (Local Area Network).
LD	Diodo Láser (Laser Diode).
LED	Diodo Emisor de Luz (Light Emitter Diode).
LOF	Pérdida de Alineación de la Trama (Loss Of Frame).
mA	mili Amper.
MAN	Red de Área Metropolitana (Metropolitan Area Network).
Mbps	Mega bits por segundo.
MHz	Mega Hertz.
mW	mili Watts
NDFS	Fibra de Dispersión Sin Cambios (Non Dispersion Shifted Fiber).
NEL	Gestión Local de Elemento de Red (Network Element Layer).
nm	Nanometros
NML	Gestión de Red (Network Management Layer).
NSAP	Punto de Acceso de Servicio de Red (Network Service Access Point).
NZ DSF	Fibra con dispersión sin cero (Non Zero Dispersion Shifted Fiber).
O/E	ópto-eléctrico.
OADM	Multiplexor Óptico de Inserción y Extracción (Optical Add/Drop Multiplexer).
OSA	Analizador de Espectro Óptico (Optical Spectrum Analyzer).
OTDR	Reflectómetro Óptico en el Dominio del Tiempo (Optical Time Domain Reflectometer)
PAM	Señal Modulada por Amplitud de Pulso (Pulse Amplitude Modul).
PCM	Modulación por Pulsos Codificados (Pulse Code Modulation)
PDH	Jerarquía Digital Plesiócrona, (Plesiochronous Digital Hierarchy).
PIN	Positivo-Intrínseco-Negativo (Positive Intrinsic Negative).
PM	Modulación de Fase (Phase Modulation).
PMD	Polarización por Modo de Polarización (Polarization Mode Dispersion).
PM-IM	Subportadora Eléctrica Modulada en Fase (Phase Modulation – Intensity Modulation)
POH	Cabecera de Trayecto (Path OverHead).
PSK	Modulación Digital de Fase (Phase Shift Keying).
RET	Transponder de Recepción (Receive End Transponder).
S/N	Relación Señal a Ruido.
SDH	Jerarquía Digital Síncrona (Synchronous Digital Hierarchy).
SML	Gestión del Servicio (Service Management Layer).
SOH	Cabecera de Sección (Section OverHead).
SONET	Red Óptica Síncrona (Synchronous Optical Network).
STM	Modulo de Transporte Asíncrono (Synchronous Transport Modul).
TCP	Protocolo de Control de Transferencia(Transfer Control Protocol).
TDM	Multiplexación por División de Tiempo (Time Division Multiplexing).
TET	Transponder de Transmisión (Transmit End Transponder).
TMN	Red de Gestión de Telecomunicaciones (Telecommunications Management Network).
TU	Unidad Tributaria(Tributary Unit).
TUG	Grupo de Unidad Tributaria (Tributary Unit Group).
VC	Contenedor Virtual (Virtual Container)
W/mA	Watts por mili Amper.
WAN	Red de Área Amplia (Wide Area Network)
WDM	Multiplexación por División de Longitud de Onda (Wavelength Division Multiplexing).
μm	Micrómetros .
μW/mA	Micro Watts por mili Amper.

APÉNDICE B.**GLOSARIO.****Ancho de Banda.**

Es la diferencia entre la frecuencia máxima y la frecuencia mínima de una señal, por esto se dice que es la capacidad de transmitir información de un canal de comunicaciones, en los sistemas analógicos se mide en Hertz y en los sistemas digitales en bps.

Carrier.

En telecomunicaciones es la empresa que se dedica a dar el servicio de transporte de información, mediante la renta de equipos y medios de transmisión.

Diafonía.

Es el efecto por el cual una señal induce ruido en alguna otra provocando interferencia.

Gabinete.

Es la estructura cubierta que sirve para alojar equipos electrónicos de menor tamaño.

Nodo.

Es el punto en el cual se ubican equipos de procesamiento en una red, y a los cuales están conectados los enlaces de la misma.

Relación Señal a Ruido.

Es la relación que existe entre el nivel de potencia de una señal y el nivel de ruido, esta relación proporciona una idea de la calidad de la señal en un determinado punto de la red, a mayor relación señal a ruido mayor calidad de la señal.

Subrack.

Se llama subrack al dispositivo, que se aloja dentro de un gabinete, usado para alojar tarjetas o equipos electrónicos.

Tributaria.

Es una señal que ingresa a un equipo de mayor jerarquía para ser transportada.

Anexos.

ANEXO I**FORMATO DE INSPECCIÓN DE SITIO DWDM**

**Nombre del
Sitio:** _____

Dirección	Ciudad
Estado	

Representante del Cliente:

Cliente:	
Responsable.	
Departamento.	
Dirección.	Ciudad
Estado.	Teléfono.
E-mail.	

Representante del proveedor.

Proveedor.	
Responsable	
Departamento	
Dirección	Ciudad
Estado	Teléfono
E-mail.	

Datos de la Red:

Topología	
Distancia al sitio Oeste del anillo	
Distancia al sitio Este del anillo	
Notas	

Distancia DWDM a :	Longitud	Comentarios
Distribuidor de fuerza		
Distribuidor de fibra óptica línea		
Distribuidor de fibra óptica canales		
Barra de tierra		
Corriente alterna 110V		
Panel de alarmas		

Características de sala	Comentarios
Tipo de piso	
Tipo de pared	
Tipo de techo	
Distancia entre piso y herraje	
Distancia entre gabinete y canal de cables	

Ubicación de sala	Ubicación	Comentarios
Colocación gabinete 1		
Colocación gabinete 2		

Aire acondicionado y condiciones de operación de sala	Clima $10^{\circ} \text{C} \leq t \leq 35^{\circ} \text{C}$ Humedad $10 \leq \Phi \leq 80 \% \text{ Rh}$ $1.5 \leq x \leq 20 \text{ g H}_2\text{O/m}^3 \text{ dry air}$
Existe aire acondicionado en la sala de acuerdo a el requerimiento	
Máxima temperatura en la sala	
La sala cuenta con protección contra polvo	
Promedio de humedad en la sala	

Asignación en distribuidores de fuerza	Número de breaker	
Gabinete 1	Trabajo	
Gabinete 1	Respaldo	
Gabinete 2	Trabajo	
Gabinete 2	Respaldo	

Asignación de posiciones en DFO	Distribuidor	Número de Fibra
Línea Este		
Línea Oeste		
Canal Número:		

Firma de acuerdos	
Responsable cliente	Responsable Proveedor
Nombre/Firma/Fecha	Nombre/Firma/Fecha

Bibliografía.

Govind P. Agrawal, Fiber-Optic Communication Systems, segunda edición, Jhon Wiley & Sonss Inc., Estados Unidos, 1997

Regis J. "Bud" Bates. Optical Switching and Networking Handbook, McGraw-Hill, Estados Unidos, 2001

Jardón Aguilar Roberto, Sistemas de Comunicaciones por Fibras Ópticas, Alfaomega, México, 1995.

Hoss, Robert y Lacy, Edward. Fiber Optics. Segunda edición, Prentice Hall, Estados Unidos, 1993

Keiser, Gerd. Optical Fiber Communications. Segunda edición, McGraw-Hill, Estados Unidos, 1991

Manual del curso Seminario de Telefonía, Ericsson Telecom, México, 1998.

Manual del equipo multiplexor digital de inserción/extracción síncrono de 2.5 Gbps. Ericsson Infocom, España, 1999.

Manual del equipo Cross Connect Digital Síncrono AXD 4 /1-2, Ericsson Telecom, México 1995.

ERION™ Networker System Manual Dense Wavelength Multiplexing, Ericsson AB, Estocolmo, 1999.

Manual del curso ERION™ Flex Ring 2.2, Ericsson Telecom, México, 2001.

Introduction to DWDM for Metropolitan Networks, Cisco Systems Inc.

Direcciones de paginas web.

<http://sayu.4t.com/catalog.html...historia>

<http://www.eveliux.com/articulos/redtransporte.html>

http://fmc.axarnet.es/redes/tema_01_m.htm

<http://es.wikipedia.org>

<http://www.lucent.com/>

<http://www.edu.aytolacoruna.es/aula/fisica/fisicaInteractiva/OptGeometrica/>

<http://www.ebosa.co.cl/Tecnico/tecnolog.htm>

<http://www.ericsson.com>

<http://www.alcatel.com>

<http://www.ciena.com>

<http://www.ispjae.cu/gicer/Boletines/2/bol44.htm>