

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA

FACULTAD DE INGENIERÍA ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA



**AMPLIACIÓN DE LA CAPACIDAD DE LA RED DE FIBRA OPTICA
DE AT&T PERU CON TECNOLOGÍA DWDM**

INFORME DE SUFICIENCIA

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE

INGENIERO ELECTRÓNICO

PRESENTADO POR:

JUAN CARLOS PALOMINO GUERRA

**PROMOCIÓN
1992 – I**

**LIMA – PERÚ
2006**

**AMPLIACIÓN DE LA CAPACIDAD DE LA RED DE FIBRA
OPTICA DE AT&T PERU CON TECNOLOGÍA DWDM**

Dedicado a las tres razones de mi vida, mi esposa Jessica e hijos Sebastián y Camila por su apoyo natural y la permanente alegría el que me causa verlos junto a mi.

SUMARIO

El Presente informe es una recopilación de datos e información que a través de los años y la experiencia enfocan bien los beneficios que conlleva usar esta tecnología DWDM, es un estudio enfocado a mostrar los beneficios y ventajas en costos aplicados a empresas de telecomunicaciones de nuestro entorno para resolver los problemas de saturación existentes en las redes de enlaces principales entre nodos (enlaces backbone) por el rápido crecimiento de la demanda y la adición de servicios agregados que no solamente incrementan la demanda y el ancho de banda, sino que generan nuevas necesidades de canales independientes para ser atendidos a nivel metropolitano. En nuestro caso daremos una aplicación de esta tecnología en un tramo del anillo de la red (punto a punto entre nodos del anillo central en el backbone de AT&T Perú – Hoy TELMEX). Esta experiencia puede ser repetida entre todos los nodos que conforman el anillo central para obtener un enlace integro de canales DWDM en el anillo. También enfocamos la tecnologías del entorno que hacen posible la aplicación de DWDM, especialmente en la fibra óptica que ha evolucionado y se presta a estas aplicaciones con las llamadas fibras “AllWave”, “TrueWave”, “TeraLight™” , “FreeLight” las cuales grandemente optimizan el ancho de banda de estos medios para las futuras aplicaciones.

INDICE

PROLOGO	1
CAPITULO I	
CONCEPTOS BÁSICOS	2
1.1 INGENIERÍA ÓPTICA BÁSICA, CONCEPTOS IMPORTANTES	2
1.1.1 OPTICA	2
1.1.2 PROPAGACIÓN DE LA LUZ	2
1.1.3 INDICE DE REFRACCIÓN	3
1.1.4 REFLEXIÓN Y REFRACCION	4
1.1.5 LEYES DE LA REFRACCIÓN	5
1.1.6 ATENUACIÓN	5
1.1.7 ANGULO LIMITE	6
1.1.8 ANGULO CRÍTICO	6
1.1.9 APERTURA NUMÉRICA	6
1.1.10 REFLEXIÓN TOTAL INTERNA	7
1.1.11 ANCHO DE BANDA	8
1.1.12 MODOS DE PROPAGACIÓN	8
1.1.13 POLARIZACIÓN	8
CAPITULO II	
LA FIBRA ÓPTICA, FABRICACIÓN Y TECNOLOGÍAS	10
2.1 LA FIBRA ÓPTICA, PARÁMETROS IMPORTANTES	10
2.1.1 ATENUACIÓN	10
2.1.2 DISPERSIÓN CROMÁTICA	11
2.1.3 DISPERSIÓN POR EL MODO DE POLARIZACIÓN (PMD)	12
2.1.4 NO LINEALIDAD EN LA FIBRA OPTICA	13
2.2 FABRICACIÓN DE LA FIBRA ÓPTICA	14
2.2.1 MATERIALES INTEGRANTES DE LA FIBRA ÓPTICA	14
2.2.2 TECNOLOGÍA EMPLEADA	15

2.2.3	INFLUENCIA DE AGENTES EXTERNOS A LA FIBRA	18
2.3	TIPOS DE FIBRA ÓPTICA	20
2.3.1	FIBRA ÓPTICA MULTIMODO DE INDICE ESCALONADO	20
2.3.2	FIBRA ÓPTICA MULTIMODO DE INDICE GRADUAL	21
2.3.3	FIBRA ÓPTICA MONOMODO DE INDICE ESCALONADO	22
2.4	DISEÑO DE LA FIBRA MONOMODO	23
2.4.1	NDSF (Non-Dispersion-Shifted Fiber), G 652	23
2.4.2	DSF (Dispersion-Shifted Fiber), G 653	24
2.4.3	NZ-DSF (Non-Zero Dispersion-Shifted Fiber), G 655	24
2.4.3.1	TrueWave RS (Reduced Slope)	24
2.4.3.2	AllWave™ Fiber	25
CAPITULO III		
DWDM		
		28
3.1	INTRODUCCIÓN	28
3.2	EVOLUCIÓN DE DWDM	28
3.3	CLASIFICACIÓN Y CATEGORÍA DE EQUIPOS DWDM	29
3.4	CONCEPTOS DE WDM y DWDM	30
3.5	EL AMPLIFICADOR EDFA	32
3.6	INTERFACES A DWDM	33
3.6.1	OPERACIÓN DE UN TRANSPORTADOR BASADO EN SISTEMAS DWDM	34
CAPITULO IV		
APLICACIONES		
		36
4.1	INTRODUCCIÓN	36
4.2	DESCRIPCIÓN DE LA RED BACKBONE DE FIBRA OPTICA DE AT&T PERU	36
4.2.1	PLANIFICACIÓN DE LOS RECURSOS DE FIBRA EN EL BACKBONE	38
4.3	APLICACIÓN DE DWDM AL ANILLO CENTRAL	39
4.4	COSTOS COMPARATIVOS EN EL AUMENTO DE LA CAPACIDAD ENTRE NODOS – AUMENTO DE CABLE Y TECNOLOGÍA DWDM	40
4.4.1	AMPLIACIÓN MEDIANTE EL AUMENTO DE CABLE	40
	A. Costo de Materiales	41
	B. Costos de Actividades (M.O.)	41
	C. Costos de Permisos Municipales y otros	41

D. Resumen	42
4.4.2 AUMENTO CON EQUIPOS DWDM	
A. Cisco ONS 15540 Extended Service Platfor	42
B. Nortel OPTera Metro 5000	45
4.4.2 VENTAJAS COMPARATIVAS	46
CAPITULO V	
CRITERIOS A CONSIDERAR	48
5.1 CRITERIOS GENERALES	48
5.2 SELECCIÓN DE LA FIBRA OPTICA	49
5.3 SELECCIÓN DEL SISTEMA DWDM	49
CONCLUSIONES	51
BIBLIOGRAFIA	52

PRÓLOGO

En los últimos 8 años el país ha tenido una enorme transformación en el avance de las telecomunicaciones, debida a la apertura del mercado y con ello el ingreso de empresas transnacionales que invierten en este rubro, esta inversión ha hecho posible construir de cero prácticamente algunas empresas de Telecomunicaciones en nuestro medio con la ventaja de equiparse tanto en la planta interna como en la planta externa con equipos y medios de ultima generación, oportunidad que ha sido bien aprovechado por algunos y por otros lamentablemente no.

Sin embargo la tecnología de hoy permite usar muchos de los recursos de los medios de transmisión, como la fibra óptica para repotenciar el ancho de banda y con ello la capacidad de transmitir datos a altas velocidades en el ambiente METRO, que por sus cortas distancias compatibilizan en su mayoría con los sistemas DWDM METRO.

Aun no estamos en la etapa de aplicar el concepto de "METRO" en su amplitud, llegando a dar soluciones de Extremo-Extremo con esta tecnología debido a sus altos costes que en su conjunto implicarían, pero si es posible su aplicación en puntos críticos como enlaces backbone, anillos centrales, enlaces de Interconexión Telefónica (LDN, LDI) con los otros operadores, con la estación Terrena (Telepuerto) y de alto trafico en general que no necesariamente es costosa como se vera mas adelante.

Corresponde a los ingenieros dar un enfoque práctico y planificado del uso de esta y otras tecnologías que no solo se deben implantar por ser tal, sino que tienen sus tiempos y espacio donde pueden ser realmente rentables, produciendo un ahorro considerable (costo/beneficio) para las empresas.

CAPÍTULO I

CONCEPTOS BÁSICOS

1.1 Ingeniería óptica básica, conceptos importantes

1.1.1 Óptica

La óptica se ocupa del estudio de la luz, de sus características y de sus manifestaciones. La reflexión y la refracción por un lado, y las interferencias y la difracción por otro, son algunos, de los fenómenos ópticos fundamentales. Los primeros pueden estudiarse siguiendo la marcha de los rayos luminosos. Los segundos se interpretan recurriendo a la descripción en forma de onda. El conocimiento de las leyes de la óptica permite comprender cómo y por qué se forman esas imágenes; como y porque la luz se propaga en medios guiados como la fibra óptica, haciendo posible la transmisión de información a altas velocidades.

1.1.2 Propagación de la luz

La luz emitida por las fuentes luminosas es capaz de viajar a través de materia o en ausencia de ella, aunque no todos los medios permiten que la luz se propague a su través.

Desde este punto de vista, las diferentes sustancias materiales se pueden clasificar en *opacas*, *transparentes* y *traslúcidas*. Aunque la luz es incapaz de traspasar las opacas, puede atravesar las otras. Las sustancias transparentes tienen, además, la propiedad de que la luz sigue en su interior una sola dirección. Éste es el caso del agua, el vidrio o el aire. En cambio, en las translúcidas la luz se dispersa, lo que da lugar a que a través de ellas no se puedan ver las imágenes con nitidez. El papel vegetal o el cristal esmerilado constituyen algunos ejemplos de objetos translúcidos.

En un medio que además de ser transparente sea homogéneo, es decir, que mantenga propiedades idénticas en cualquier punto del mismo, la luz se propaga en línea recta. Esta característica, conocida desde la antigüedad, constituye una *ley fundamental* de la óptica geométrica. Dado que la luz se propaga en línea recta, para estudiar los fenómenos ópticos de forma sencilla, se acude a algunas

simplificaciones útiles. Así, las fuentes luminosas se consideran *puntuales*, esto es, como si estuvieran concentradas en un punto, del cual emergen *rayos de luz* líneas rectas que representan las direcciones de propagación. Un conjunto de rayos que parten de una misma fuente se denomina haz. Cuando la fuente se encuentra muy alejada del punto de observación, a efectos prácticos, los haces se consideran formados por rayos paralelos. Si por el contrario la fuente está próxima la forma del haz es cónica.

1.1.3 INDICE DE REFRACCIÓN (n)

El índice de Refracción (n) es una medida de la resistencia que opone un medio cualquiera al paso de la radiación luminosa, y se mide en relación a la resistencia que, a la misma radiación opone el vacío.

El índice de Refracción de un medio es igual al cociente:

$$n = \frac{c}{v} \quad (1.1)$$

Donde :

C : Velocidad de la Luz en el vacío

V : Velocidad de la Luz en un medio material

Como se ve (n), siempre será mayor o igual a 1, para el vacío $n = 1$ (para el aire es muy aproximado a 1).

El índice de refracción “ n ” de un medio material es función de la frecuencia (f) de la radiación, por tanto los Índices de refracción de los distintos medios se hacen todos con referencia a una misma frecuencia (f).

En el siguiente cuadro (Tabla 1.1) se pueden ver el “ n ” para diferentes medios.

Tabla 1.1 Algunos Índice de Refracción para diferentes medios

Medio	Índice de Refracción
Vacío	1
Aire	1.00029
Agua	1,33
politetrafluoretileno (TFE)	1,35
alcohol etílico	1,36
fluorita (CaF ₂)	1,43
acetato de celulosa	1,46-1,50
Vidrio	1,46-1,96
Acrílico	1,49
Polietileno	1,51-1,54
nilón (nylon)	1,52-1,53
poli-cloruro de vinilo (PVC)	1,52-1,55
sal gema (NaCl)	1,54
cuarzo (SiO ₂)	1,54
Policarbonato	1,59
poliestierno (PS)	1,59
sulfuro de carbono	1,63
Polisulfonas	1,63
espato de Islandia (CaCO ₃)	1,66
Diamante	2,42

1.1.4 Reflexión y Refracción

Si un rayo de luz que se propaga a través de un medio homogéneo incide sobre la superficie de un segundo medio homogéneo, parte de la luz es reflejada y parte entra como rayo refractado en el segundo medio, donde puede o no ser absorbido. La cantidad de luz reflejada depende de la relación entre los índices de refracción de ambos medios. El plano de incidencia se define como el plano formado por el rayo incidente y la normal (es decir, la línea perpendicular a la superficie del medio) en el punto de incidencia. El ángulo de incidencia es el ángulo entre el rayo incidente y la normal. Los ángulos de reflexión y refracción se definen de modo análogo.

Las leyes de la reflexión afirman que el ángulo de incidencia es igual al ángulo de reflexión, y que el rayo incidente, el rayo reflejado y la normal en el punto de incidencia se encuentran en un mismo plano, véase la Figura 1.1

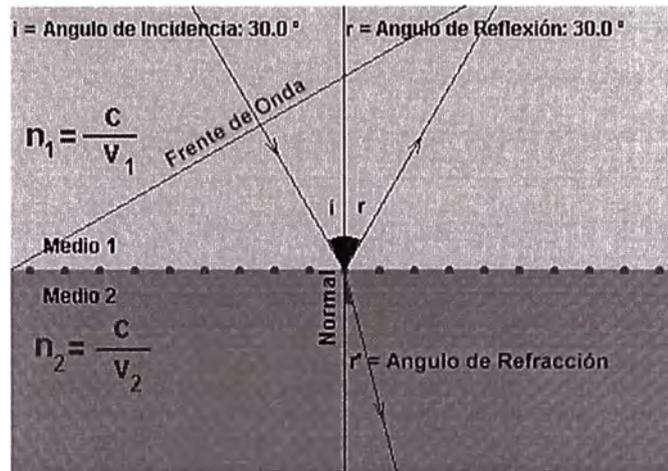


Figura 1.1 Reflexión Refracción

1.1.5 Leyes de la refracción

El rayo incidente, la normal y el rayo refractado siempre se encuentran en un mismo plano, el cual es perpendicular al plano de separación de sustancias

LEY DE SNELL.

Esta importante ley, llamada así en honor del matemático holandés Willebrord van Roijen Snell, afirma que **el producto del índice de refracción del primer medio y el seno del ángulo de incidencia de un rayo es igual al producto del índice de refracción del segundo medio y el seno del ángulo de refracción. El rayo incidente, el rayo refractado y la normal a la superficie de separación de los medios en el punto de incidencia están en un mismo plano.**

Ley de Snell:

$$n_1 \sen i = n_2 \sen r \quad (1.2)$$

1.1.6 Atenuación

La señal emitida se atenúa y distorsiona con la distancia, por ejemplo microcurvaturas de la fibra o inclusión de iones. La magnitud de la atenuación no es constante, sino que depende del material constructivo de la fibra y de la longitud de onda de la radiación guiada por ella. El efecto global se manifiesta como una reducción de la potencia óptica conforme las señales viajan a lo largo de la vía de transmisión.

La ley que rige el fenómeno es $P(z) = P(0) \cdot 10^{-az}$ siendo 'a' el factor o coeficiente de la fibra, medido normalmente en dB/Km.

1.1.7 Angulo limite (L)

Cuando un haz luminoso alcanza la superficie de separación de dos medios transparentes, en parte refracta y en parte se refleja. Si el sentido de la propagación es del medio más refringente al medio menos refringente, el rayo refractado, de acuerdo con la ley de Snell, se alejará de la normal. Eso implica que si se aumenta progresivamente el ángulo de incidencia, el rayo refractado se desviará cada vez más de la normal, aproximándose a la superficie límite hasta coincidir con ella. El valor del ángulo de incidencia que da lugar a este tipo de refracción recibe el nombre de ángulo límite L.

La determinación del ángulo límite L puede hacerse a partir de la ley de Snell. Dado que el ángulo de refracción que corresponde al ángulo límite vale 90° , se tendrá:

$$n_1 \text{ sen } L = n_2 \text{ sen } 90^\circ = n_2 ; \text{ sen } L = (n_2/n_1)$$

$$L = \text{arcsen } (n_2/n_1) \quad (1.3)$$

La expresión anterior pone de manifiesto que sólo cuando n_2 sea menor que n_1 tiene sentido hablar ángulo límite, de lo contrario ($n_2 > n_1$) el cociente n_2/n_1 sería mayor que la unidad, con lo que L no podría definirse, ya que el seno de un ángulo no puede ser mayor que uno.

Para ángulos de incidencias superiores al ángulo límite no hay refracción, sino sólo reflexión, y el fenómeno se conoce como reflexión interna total. También la reflexión total puede ser explicada a partir de la ley de Snell

1.1.8 Angulo critico

El ángulo critico (C) , para diferenciarlo del ángulo Limite, es el ángulo formado por el rayo incidente y la interfase de las superficies reflectoras y refringente; en otros términos, es el complemento del ángulo Limite.

Su valor se obtiene de la forma siguiente:

$$\text{sen } L = \cos C = (n_2/n_1) \quad (1.4)$$

1.1.9 Apertura Numérica (NA)

El ángulo que forma el haz de luz que ingresa a la fibra óptica con la normal a la superficie de ingreso tiene un valor máximo, para no obtener refracción. este

máximo valor se conoce como ángulo de aceptación, y su seno es la apertura numérica.

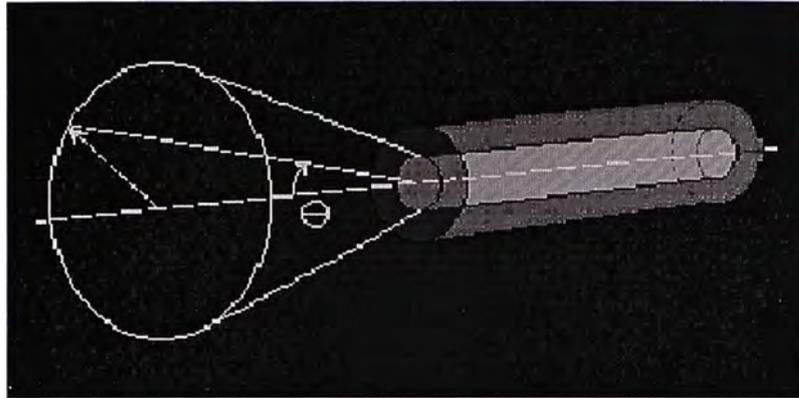


Figura 1.2 Cono de aceptación en la fibra óptica

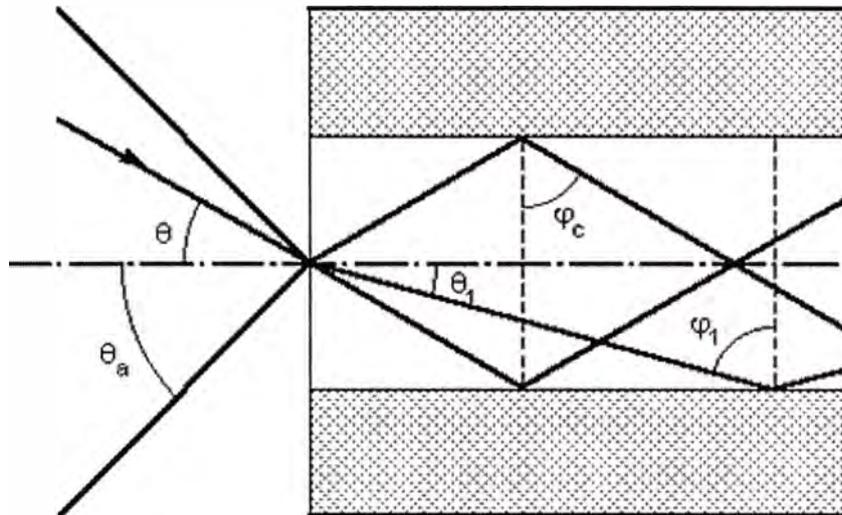


Figura 1.3 Ángulo de aceptación en vista perfil, para el cálculo de la Apertura Numérica (NA)

$$NA = \sin \theta_a = (n_1^2 - n_2^2)^{1/2}. \quad (1.4)$$

1.1.10 Reflexión total interna

Es el fenómeno que experimentan aquellos rayos luminosos cuyos ángulos de incidencia superan el ángulo límite. Los rayos luminosos se reflejan en la superficie refringente.

Si creamos un cilindro con un medio transparente (vidrio) y lo recubrimos de otro con índice de refracción menor, los rayos que se propagan con un ángulo superior

al límite o inferior al ángulo crítico quedaran encerradas dentro del cilindro; en esto consiste el principio de propagación dentro de la fibra óptica.

1.1.11 Ancho de banda

Se define a partir de la ley de variación de la potencia transmitida con la frecuencia de la señal. El ancho de banda está constituido por el conjunto de frecuencias para las cuales la potencia toma valores próximos al máximo absoluto dentro de un entorno de 6 dB. El ancho de banda disminuye con el Número de modos.

1.1.12 Modos de propagación

Las diferentes velocidades y direcciones asociadas a todas las longitudes de onda que penetran en una guía de onda como la fibra óptica, hacen que los rayos, haces o paquetes de energía de características similares en propagación se ordenen de una cierta manera, es decir, adopten formas de propagación llamados MODOS.

Cada modo transporta una cantidad discreta de energía propagándose en el seno de la fibra óptica con una trayectoria impuesto por la naturaleza y distribución de los dieléctricos que lo forman, pero diferenciándose del rayo luminoso en el hecho de que modos próximos pueden intercambiar parte de su energía, incluso pueden mezclarse.

Si bien cada modo tiene su propia trayectoria, es evidente que la dependencia del índice de refracción cada longitud de onda afectará distintamente a cada modo. Algunos se verán mermados en cierta intensidad espectral, mientras que otros la conservarán. Así mismo sobre cada sección transversal de la fibra óptica existirán distintas distribuciones modales, manifestándose individualmente o mezclados, según las trayectorias recorridas por los modos.

1.1.13 Polarización

Polarización es el fenómeno por el cual las vibraciones de un movimiento ondulatorio queda reducida a un plano (limitadas a una distribución espacial).

La Polarización es característica de las ondas transversales, lo cual sirve para demostrar que las ondas luminosas son transversales ya que se pueden polarizar.

La POLARIZACIÓN DE LA LUZ es la separación de la luz linealmente polarizada a la luz natural o polarizada parcialmente. Para este fin se utilizan

dispositivos especiales llamados POLARIZADORES. Su acción se basa en la polarización de la luz al reflejarse y refractarse en el límite de la separación de dos medios dieléctricos.

La luz ordinaria puede polarizarse por reflexión sobre superficies transparentes, por refracción a través de cristales o por dispersión producidas por pequeñas partículas.

CAPÍTULO II

LA FIBRA OPTICA, FABRICACIÓN Y TECNOLOGÍA

2.1 La fibra óptica, parámetros importantes

El concepto de las comunicaciones por ondas luminosas ha sido conocido por muchos años. Sin embargo, no fue hasta mediados de los años setenta que se publicaron los resultados del trabajo teórico. Estos indicaban que era posible confiar un haz luminoso en una fibra transparente y flexible y proveer así un canal analógico óptico de la señalización por alambres electrónicamente. El problema técnico que se había de resolver para el avance de la fibra óptica residía en las fibras mismas, que absorbían luz que dificultaba el proceso. Para la comunicación práctica, la fibra óptica debe transmitir señales luminosas detectables por muchos kilómetros. El vidrio ordinario tiene un haz luminoso de pocos metros. Se han desarrollado nuevos vidrios muy puros con transparencias mucho mayores que la del vidrio ordinario. Estos vidrios empezaron a producirse a principios de los setenta. Este gran avance dio ímpetu a la industria de las fibras ópticas. Ambos han de ser miniaturizados para componentes de sistemas fibro-ópticos, lo que ha exigido considerable labor de investigación y desarrollo lo cual a llevado a establecer algunos parámetros para la comprensión y optimización de este medio en la industria de las comunicaciones como se vera a continuación.

2.1.1 Atenuación

La figura 2.1 muestra el espectro de la curva de atenuación de una típica fibra óptica hecha de silicio. La curva tiene tres características principales. Una gran tendencia de atenuarse conforme se incrementa la longitud de onda (Dispersión Rayleigh), Atenuación en los picos de absorción asociados con el ión hidroxyl (OH-), y una tendencia por la atenuación para incrementar las longitudes de onda por arriba de los 1.6 μm , debidas a las pérdidas inducidas por la absorción del silicio.

Nuevos sistemas de transmisión usan fibras multimodo, operadas en la primera ventana de longitud de onda cercana a las .85 μm , mostrado en la (figura 2.1), y

después en la segunda ventana cerca de 1.3 μm . Una fibra de modo simple primeramente opera en la segunda ventana, donde la atenuación de la fibra es típicamente menor que 0.35 dB/Km. Sin embargo la región de menos pérdida (típicamente pérdidas cercanas a las 0.20 dB/Km) permanece en una longitud de onda amplia y los laceres y receptores operan en esa ventana cercanos a 1.55 μm , estos llegaron a ser disponibles a finales de los 80's.

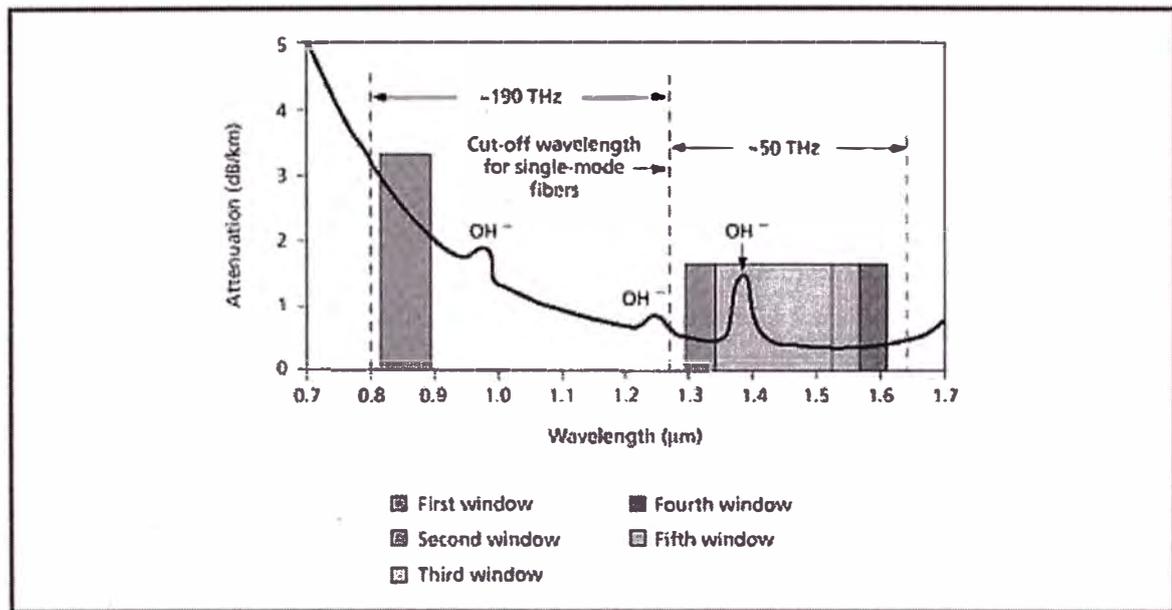


Figura 2.1 Atenuación de una Típica Fibra Óptica hecha de Silicio

2.1.2 Dispersión cromática

La dispersión cromática describe la tendencia para diferentes longitudes de onda que viajan a diferentes velocidades en una fibra. En longitudes onda donde la dispersión cromática es alta, los pulsos ópticos tienden a expandirse en el tiempo y provocar interferencia, lo cual puede producir una inaceptable velocidad del bit, la **figura 2.2** muestra como la dispersión cromática cambia con la longitud de onda para tres diferentes tipos de fibra. La dispersión cromática de una fibra consiste de dos componentes – **Material y Guía de Onda**- como se muestra en la **figura 2.3**, el componente material depende de las características de dispersión de los dopantes y del silicio de construcción. Estos materiales no ofrecen mucha flexibilidad a ajustes significantes en la dispersión de la fibra, así que ese esfuerzo se ha enfocado en alterar la dispersión de guías de ondas de las fibras ópticas.

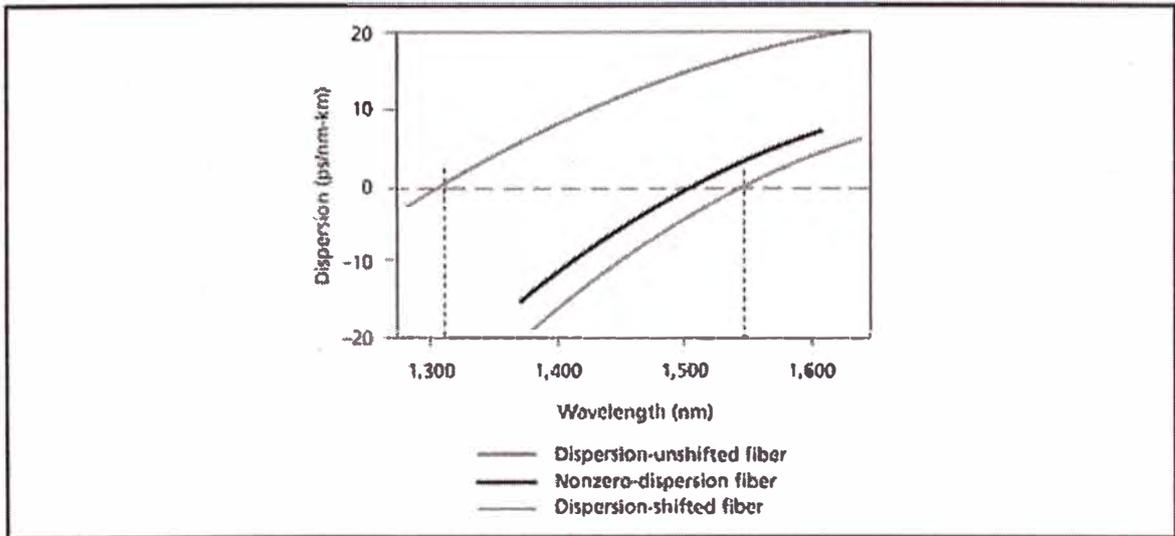


Figura 2.2 Gráfica de Dispersión Cromática contra Longitud de Onda

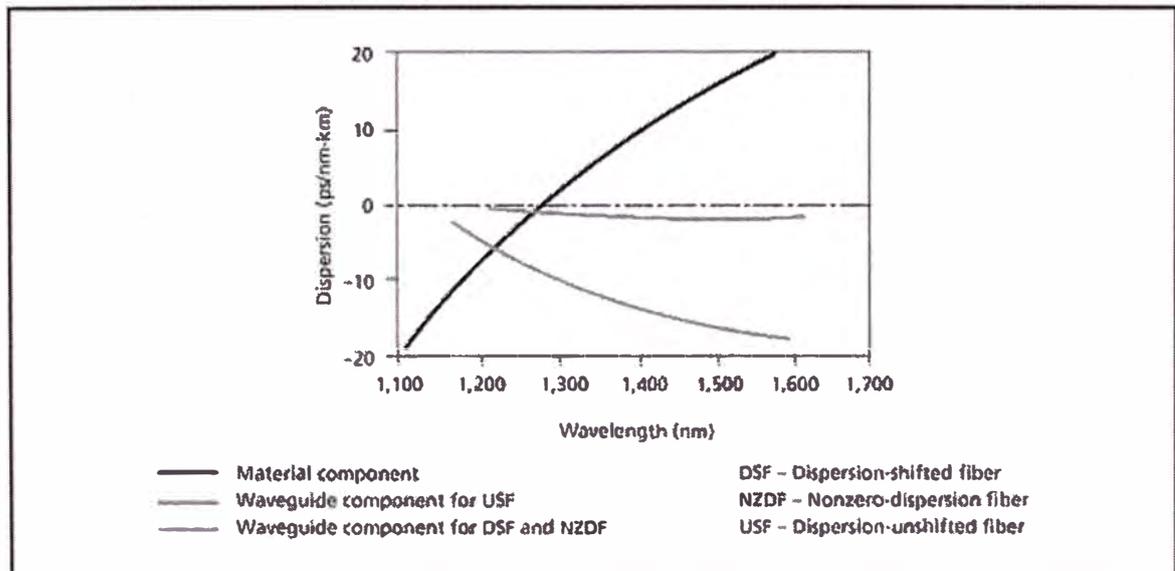


Figura 2.3 Componentes de Dispersión de los Materiales y Guías de Onda

2.1.3 Dispersión por el modo de polarización

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 uno o dos modos de polarización

La **figura 2.4** muestra los dos modos principales de una fibra asimétrica que es uniforme a lo largo de su longitud. El modo en el eje "X" es arbitrariamente etiquetado con un modo lento, mientras que en el eje "Y" es etiquetado en el modo rápido. La diferencia en los tiempos de arribo en los modos de dispersión

por polarización (PMD), es típicamente medida en picosegundos. Sino es propiamente controlado, **PMD** puede producir errores excesivos en los bits para la transmisión en sistemas digitales y que pueden distorsionar señales de video transmitidos usando formato de modulación de amplitud analógico.

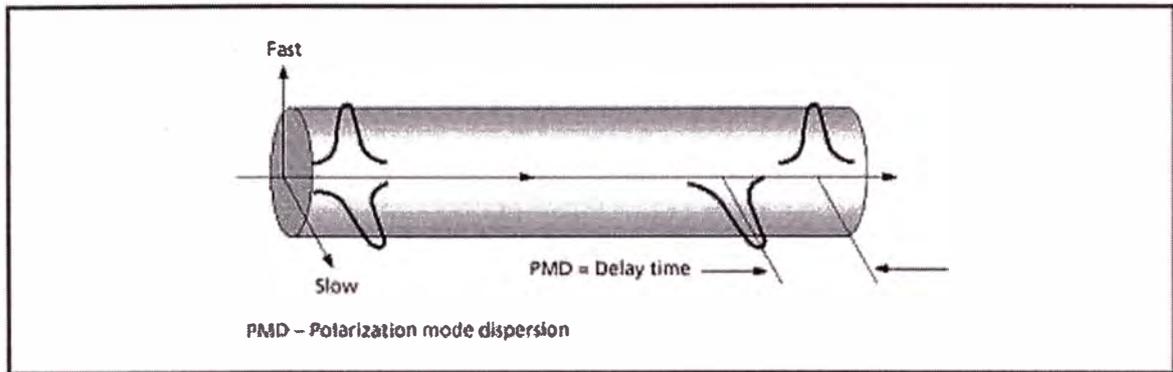


Figura 2.4 PMD en una Fibra de Modo Simple cuya asimetría es uniforme a lo largo de su longitud

Este es uno de los parámetros mas importantes que nace o se descubre por sus efectos en las aplicaciones de altas velocidades. La profundizaremos mas adelante.

2.1.4 No linealidad en la fibra óptica

Niveles de alta potencia de la fibra óptica disponibles y amplificadores ópticos provocan señales que interactúan con la fibra en las cuales produce una variedad de efectos no lineales, sino son controlados propiamente, estas no linealidades pueden afectar de forma adversa al desarrollo del sistema, las no linealidades de la fibra caen dentro de dos categorías: **-dispersión estimulada e índices de fluctuación refractivos**. Los niveles de potencia en los cuales los diferentes fenómenos no lineales se manifiestan ellos mismos, son conocidos como **thresholds**.

Dispersión Estimulada (Stimulated Scattering)

Esta no linealidad ocurre en sistemas de modulación intensos cuando las señales ópticas interactúan con las ondas acústicas o con vibraciones moleculares en la fibra de Si. Esta interacción dispersa la luz y la cambia a una longitud de onda mayor. Hay dos formas de dispersión estimulada: **-Stimulated Brillouin Scattering y Stimulated Raman Scattering-**

Índices de Fluctuaciones Refractivas (Refractive Index Fluctuations).

Aunque el índice de refracción de una fibra óptica de Si presenta una constante a bajos niveles de potencia óptica, las altas potencias relacionadas con los amplificadores ópticos pueden modular el índice variando la intensidad óptica de la señal de transmisión. Los efectos de la no linealidad de los índices refractivos caen dentro de tres categorías:-Self –Phase Modulation, Croos-Phase Modulation y Four-Wave Mixing

2.2 Fabricación de la fibra óptica

2.2.1 Materiales integrantes de la fibra óptica

Las fibras ópticas actuales están integradas por 3 tipos de materiales:

- Materiales Básicos
- Materiales Dopantes
- Materiales Residuales

El material básico es el vidrio de cuarzo o sílice (Si O_2) al cual se le agregan dopantes (impurezas) tales como las siguientes: Germanio (Ge), Fósforo (P), Boro (B), Aluminio (Al), Titanio (Ti) y otros.

El tipo y la proporción de cada uno de los materiales dopantes a emplearse en la fibra depende del índice de refracción deseado para las longitudes de onda entre 0.8 y 2 μm . Con este tipo de fibra se ha llegado a los límites teóricos de atenuación y la preocupación actual es aumentar el ancho de banda.

Las impurezas residuales son las que introducen inevitablemente durante el proceso de fabricación de la fibra, las mas indeseables, por los grandes picos de atenuación que producen, en el espectro del infrarrojo, son el radical OH y los iones metálicos de cobre, manganeso, cromo, etc. Las proporción de estas impurezas que quedan en la fibra depende de la tecnología de fabricación de la fibra.

Están en estudio otros materiales para longitudes de onda superior a 2 μm . Con posibilidades de obtener atenuaciones muy por debajo de las actuales y con mayor ancho de banda. Entre estos materiales se encuentran los vidrios haluros y calcogenuros, policristales (KC-1, KRS-5) y otros.

2.2.2 Tecnología empleada

La fabricación de la Fibra Óptica requiere de técnicas muy limpias, procesos cuidadosamente controlados y materiales de alta pureza. Las tecnologías de fabricación existentes son:

- Técnicas de Doble Crisol.
- Técnica de Preforma
- **Tecnología del Doble Crisol**

En esta tecnología se emplean dos recipientes concéntricos de platino llamados Crisoles, para fundir los materiales del núcleo y de la corteza de la fibra separadamente en cada crisol, utilizando altas frecuencias (similar a los hornos microondas). Una vez fundida los materiales se remueven con una paleta de platino a 1,500 grados centígrados. La mezcla se mantiene constante hasta que sobre la superficie aparezcan grandes burbujas. Luego se remueve hasta obtener la homogeneidad requerida, seguidamente se reduce la temperatura a unos 200 grados centígrados y se mantiene a esta temperatura por cierto tiempo para permitir que las pequeñas burbujas que se hayan formado sean absorbidas por la mezcla fundida, la mezcla total se deja enfriar a temperatura ambiente y se somete a ciclos caloríficos (calentamiento y enfriamiento) aproximadamente 24 horas. Luego fluyen los componentes por unos agujeros concéntricos en la base de los crisoles y se procede a su estiramiento formándose la fibra a medida que va solidificándose.

Las características de la fibra depende de los materiales fundidos., de la viscosidad, de los moldes colocados a la salida y de la velocidad de estiramiento. En el caso de la fibra de Índice gradual, el proceso de estiramiento a la salida de los crisoles debe dar tiempo para que se produzca la difusión de los materiales cuando aún están en estado líquido.

La tecnología utiliza vidrios compuestos porque el punto de fusión de éstos es inferior al del Dióxido de Silicio. Las fibras obtenidas con este proceso son para uso de corta distancia y poca velocidad de conmutación como los empleados en la medicina, industria, aeronáutica, iluminación etc.

- **Tecnología de Preforma**

Fabricación de la Preforma

Los cuatro procesos utilizados para fabricar la preforma son los siguientes:

- M.C.V.D. Modified Chemical Vapor Deposition

- V.A.D. Vapor Axial Deposition
- O.V.D. Outside Vapor Deposition
- P.C.V.D. Plasma Chemical Vapor Deposition

Método M.V.C.D.

Para la fabricación de la preforma se parte de un tubo de cuarzo puro en cuyo interior se deposita una serie de capas concéntricas, constituidas por la mezcla ya descrita anteriormente de dióxido de silicio y aditivos de dopado. Estas capas concéntricas, depositadas internamente, constituirán el core de la fibra óptica.

El procedimiento industrial consiste en instalar el tubo de cuarzo sobre un torno. Luego se calienta el tubo de cuarzo, mediante un quemador de oxígeno e hidrógeno, hasta que se alcanza una temperatura de 1500 grados Celsius, aproximadamente. Seguidamente, el torno comienza a girar y el quemador se desplaza longitudinalmente a lo largo del eje del tubo.

Por un extremo del mismo se introducen los aditivos de dopado que se van a necesitar mezclados con la cantidad exacta de oxígeno.

Este es el paso fundamental del proceso, pues de la proporción de los aditivos de dopado introducidos dependerá el perfil final del índice de refracción del core de la fibra óptica.

Durante la oxidación se produce la mezcla homogénea del dióxido de silicio con los aditivos de dopado depositándose en la cara interior del tubo de cuarzo en forma de capas concéntricas.

Sucesivas pasadas en ambos sentidos del quemador, a la vez que el torno continua girando, garantizan la deposición de las sucesivas capas concéntricas.

De esta forma se logra el perfil deseado con los valores de índice de refracción prefijados para el core de la fibra óptica.

Este paso del proceso recibe el nombre de sintetización del core de la fibra óptica. Todo el proceso se realiza en fábrica, en forma totalmente automática y bajo la supervisión de computadores.

El último paso del proceso consiste, una vez realizada la operación de deposición, en la maniobra de colapsado.

En esta última, el tubo de cuarzo con el dióxido de silicio en su interior, convenientemente dopado, se convierte en un cilindro macizo que constituye la preforma.

Esto se realiza mediante varias pasadas consecutivas del quemador a una temperatura de alrededor de 1750 grados Celsius.

Esta temperatura garantiza el reblandecimiento del Cuarzo con lo que el tubo se colapsa y se convierte en el cilindro macizo que constituye la preforma.

Las dimensiones geométricas de la preforma son una longitud útil de aproximadamente un metro, con un diámetro exterior de un centímetro.

Método V.A.D.

En este método las materias primas empleadas son las mismas que en la técnica M.C.D.V. y la diferencia entre ambas radica en que, mientras en el procedimiento M.C.D.V. tan sólo se depositaba el core de la fibra óptica, en la técnica V.A.D se deposita tanto core de la fibra como el cladding.

Para la fabricación de la preforma se parte de un cilindro de vidrio auxiliar que servirá de soporte para iniciar la operación.

Los materiales se van depositando ordenadamente a partir del extremo del cilindro auxiliar con lo que la "preforma porosa" va creciendo axialmente sobre dicho cilindro.

Dado que en esta técnica se deposita tanto el core como el cladding de la fibra óptica u operación de síntesis del core y del cladding, debe cuidarse que en la zona de deposición axial o core se deposite comparativamente más dióxido de germanio que en la periferia, lo que se realiza como en los otros métodos mediante el control por medio de computadores.

La preforma porosa, conforme su tasa de crecimiento, va siendo desprendida del cilindro auxiliar de vidrio.

Con este método se pueden obtener preformas en formas de varillas, comparativamente más largas que con el proceso descrito anteriormente.

El último paso consiste en la operación de colapsado, en el cual la preforma porosa es sometida a una temperatura de alrededor de 1600 grados Celsius que garantiza el reblandecimiento del cuarzo. La preforma porosa, hueca en su interior, se colapsa convirtiéndose en el cilindro macizo y transparente que constituye la preforma.

Este proceso presenta las ventajas frente al M.C.V.D. de que permite obtener preformas con mayor diámetro y mayor longitud, a la vez que requiere un menor aporte energético.

Método O.V.D.

Para la fabricación de la preforma se parte de una varilla de substrato cerámica. Los cloruros vaporosos se introducen en la llama del quemador y la llama caldea

radialmente la varilla de substrato cerámica a la vez que se desplaza longitudinalmente en su misma dirección.

De esta forma se aplican centenares de capas, comenzando inicialmente por el core para finalizar con el revestimiento de la fibra óptica.

La preforma porosa, conforme la tasa de crecimiento de la misma va siendo desprendida de la varilla de substrato cerámica que se servía de soporte.

A continuación se realiza el proceso de síntesis de la preforma, desglosable en los procesos de secado de la misma con cloro gaseoso y posterior colapsado de la preforma de manera totalmente análoga a los realizados con la técnica V.A.D.

Se logra, de esta forma, sintetizar el core y el cladding de la fibra óptica.

La tasa de deposición en ambas técnicas resulta muy ventajosa, pues aumenta con el crecimiento progresivo debido al incremento de la superficie del substrato.

Las tasas de deposición que se alcanzan son del orden de 4.3 g/min., lo que representa una tasa de fabricación de fibra óptica de 5 Km/hora una vez eliminadas las pérdidas iniciales en el estirado de la preforma.

Otra ventaja de ambas técnicas consiste en que optimizándose el proceso de secado es posible fabricar fibras de muy baja atenuación y de una gran calidad, por que los perfiles así obtenidos son lisos y sin estructura anular reconocible, motivada por la alta tasa de deposición.

Método P.C.V.D.

Este método inicia la oxidación de los cloruros de silicio y germanio obligándoles a pasar por un estado de plasma seguido de un proceso de deposición interior.

El proceso se caracteriza por la obtención de perfiles especialmente lisos sin estructura anular reconocible

2.2.3 Influencia de agentes externos a la fibra óptica

La fibra desde su salida del horno hasta su instalación y su utilización en el campo, esta sometida a una serie de interacciones con agentes externos. Estos pueden influir al enrollar la fibra sobre tambores, durante las operaciones de cableado y de colocación del cable, así como en el transcurso de su utilización. Las interacciones son mecánicas o químicas. Es importante conocer la influencia de estos agentes externos sobre las propiedades ópticas y mecánicas de la fibra, con el fin de fabricar un cable con muy buena calidad.

Influencia de agente externos sobre las propiedades mecánicas. Cuando una fibra esta sometida a una fuerza en sentido longitudinal, se dice que se ha aplicado un

esfuerzo normal a la fibra. Por la acción de este esfuerzo normal, la fibra sufre un alargamiento o una dilatación lineal relativa, este comportamiento se explica por la presencia de pequeñas fisuras en la superficie de la fibra. Cuando se aplica una elongación relativa a una fibra, esta se concentra al rededor de la fisura, la que se abre por efecto del esfuerzo. Como resultado de este fenómeno, la resistencia de una fibra a la ruptura depende mucho más del estado de la superficie y de las microfisuras que se encuentran, de las fuerzas de enlace de los átomos de vidrio. Estas microfisuras pueden tener varios orígenes; inhomogeneidades del vidrio, separación de fase del vidrio debido al tratamiento térmico que sufre la fibra durante su fabricación, interacciones con el medio ambiente externo a la superficie de la fibra a la salida del horno de formación, daños mecánicos.

Ahora se entiende el papel de la cubierta plástica sobre la fibra desde su salida del horno de formación, los daños mecánicos provocan fisuras mayores y se pueden producir al enrollar la fibra sobre un tambor. Bajo esfuerzo la fibra envejece y se rompe después de un cierto tiempo; a esto se le llama fatiga estática de la fibra. La probabilidad de ruptura de una fibra es una función del tiempo y este fenómeno de fatiga se debe al medio ambiente exterior principalmente a la humedad. Una fibra sometida a tensión en el vacío, en ausencia total de la humedad, escapa prácticamente al fenómeno de fatiga.

Influencia de las curvaturas y microcurvaturas. En una instalación real, la fibra óptica es cableada, lo que implica contacto mecánico, ya que la fibra debe ser soportada por los elementos constitutivos del cable. Además, el cable debe sufrir curvaturas para vencer obstáculos sobre el terreno.

Curvatura de la fibra. En el interior del cable, una fibra puede no seguir una trayectoria rigurosamente recta, y por el contrario sufrir curvaturas. Si la fibra esta curvada, el ángulo de reflexión ya no es constante entre una reflexión y otra.

Las pérdidas ópticas que se deben al acoplamiento modal son ocasionadas cuando los modos (rayos) que forman ángulos pequeños con el eje cambian a modos con ángulos muy grandes, los cuales no pueden mantenerse dentro de la fibra y la abandonan con el correspondiente aumento en la atenuación.

Curvaturas

Debido a que el ángulo de incidencia "y", para muchos rayos (modos), decrece considerablemente en una curvatura, y no alcanzan la condición para la reflexión total, muchos rayos abandonan el núcleo. Esta pérdida será notable si el radio de curvatura "R" es menor que 5-10 mm.

Micro curvaturas de la fibra. Además de las curvaturas continuas en la fibra, el cableado puede causar pequeñas curvaturas que se repiten a lo largo de la fibra.

Micro curvaturas

Las microcurvaturas se presentan por ejemplo, con las variaciones de temperatura, cuando la fibra y el recubrimiento tienen diferentes coeficientes de dilatación térmica. Estas microcurvaturas son especialmente desfavorables cuando sus longitudes de onda (geométrica) son menores de 1 mm, para evitar esto, se puede recubrir la fibra con una capa protectora relativamente blanda gracias a la cual los efectos de la rugosidad de las superficies en contacto con la fibra no se transmitan fácilmente a esta. Las microcurvaturas también se presentan como resultado de esfuerzos mecánicos.

2.3 Tipos de fibra óptica

En los sistemas de telecomunicaciones se emplean cuatro tipos de fibra óptica que pueden estar clasificados en dos tipos principales, Multimodo y Monomodo, dentro de los cuales se tiene de acuerdo al índice de refracción como: Multimodo de índice escalonado (o abrupto), Multimodo de índice Gradual, Monomodo de Índice Escalonado y Monomodo de índice Gradual, como se vera a continuación.

2.3.1 Fibras Ópticas Multimodo de Índice Escalonado (o abrupta)

Estas son aquellas que tienen el índice de refracción a lo largo del núcleo constante y cambian abruptamente en la frontera núcleo-cubierta óptica.

En estas fibras la propagación de la luz tienen diferentes modos que a continuación se analizaran.

Todos los rayos cuyo ángulo de incidencia (θ_1) quede entre el crítico y 90° serán atrapados dentro de la fibra.

$$\theta_c \leq \theta_1 \leq 90^\circ \quad (2.1)$$

Aquí solo se propagaran los rayos que son permitidas, los cuales corresponden a los modos de la fibra óptica. Los modos de la fibra óptica están relacionados a los modos de las cavidades resonantes y su determinación se puede hacer resolviendo las ecuaciones de Maxwell en la frontera del núcleo-cubierta óptica, lo cual no es motivo de este trabajo. Los patrones estables de interferencia se obtienen cuando el desfaseamiento de una trayectoria completa entre las fronteras es igual a un múltiplo entero de 2π .

$$\Delta \Phi = m 2\pi \quad (2.2)$$

Donde , m es un entero

Si se tiene una longitud de onda dada, se puede variar el desfase total de un ciclo de trayectoria zigzag, alterándose el ángulo de incidencia y por tanto la longitud de la trayectoria. El desfase total es igual a la suma del desfase introducido en la trayectoria, más los desfases introducidos en las dos fronteras núcleo-cubierta óptica.

Lo anterior indica que hay ciertas direcciones permitidas de propagación. Aquellas ondas que satisfagan esta condición son rápidamente disminuidas debido a la interferencia destructiva. Los rayos cuyos ángulos de incidencia son cercanos al ángulo Crítico se les denominan Modos de Alto Orden. Los rayos cuyo ángulo de incidencia son cercanos a 90° se denominan de Bajo Orden

En esta fibra los diferentes modos viajan de un lado a otro con la misma velocidad (si se supone que son monocromáticos) pero llegan al extremo opuesto en diferentes tiempos, ya que viajan diferentes distancias. Si la luz incidente tiene forma de pulso. Éste se presentará disperso en el otro extremo de la fibra. Este tipo de dispersión del pulso de la luz se denomina dispersión multimodal, y limita la máxima velocidad de transmisión. La dispersión de los pulsos esta en función de la longitud de la fibra, por lo tanto la máxima velocidad de transmisión en una Fibra Multimodo de índice escalonado o abrupto, es función de la longitud del enlace. (Véase la figura 2.5)

Una forma de reducir este tipo de dispersión (Dispersión Multimodal) es emplear un núcleo cuyo índice de refracción varíe gradualmente a lo largo de su radio.

2.3.2 Fibras Ópticas Multimodo de Índice Gradual

En este tipo de fibra se hace que el índice de refracción en el núcleo disminuya gradualmente a medida que se acerca a la cubierta óptica, ya que el índice de refracción es una medida de la disminución de la velocidad de la luz esto provoca que la velocidad de los rayos de luz crezcan a medida que estos se alejen del centro de la fibra. De esta manera se logra que los rayos de Modos Altos lleguen al mismo tiempo que los rayos de Modos Bajos en el otro extremo de la fibra óptica, resultando en una disminución de la dispersión multimodal, una representación del perfil y de las señales de entrada y salida pueden verse en la figura 2.5

2.3.3 Fibra Óptica Monomodo de Índice Escalonado

En este tipo de fibra óptica se opta por la propagación de un solo Modo, esto se logra reduciendo el Núcleo de la fibra y eligiendo la relación de Índice de refracción del núcleo y de la cubierta óptica. A este tipo de fibras se les denomina fibras ópticas monomodos.

En las fibras multimodo de índice gradual se ha reducido la dispersión multimodal con respecto a la dispersión sufrida por el pulso de luz cuando se propaga a lo largo de la fibra óptica de índice escalonado, por lo tanto si se tiene un enlace de una determinada longitud, las fibras multimodo de índice gradual pueden llevar mayor información que las fibras multimodo de índice escalonado.

En las fibras monomodo, la dispersión multimodal se ha reducido a cero, ya que solo se propaga un solo modo, y es por este motivo que las fibras ópticas monomodo pueden transmitir simultáneamente mayores volúmenes de información

En la figura siguiente se muestran las características para los diferentes tipos de fibra Figura 2.5

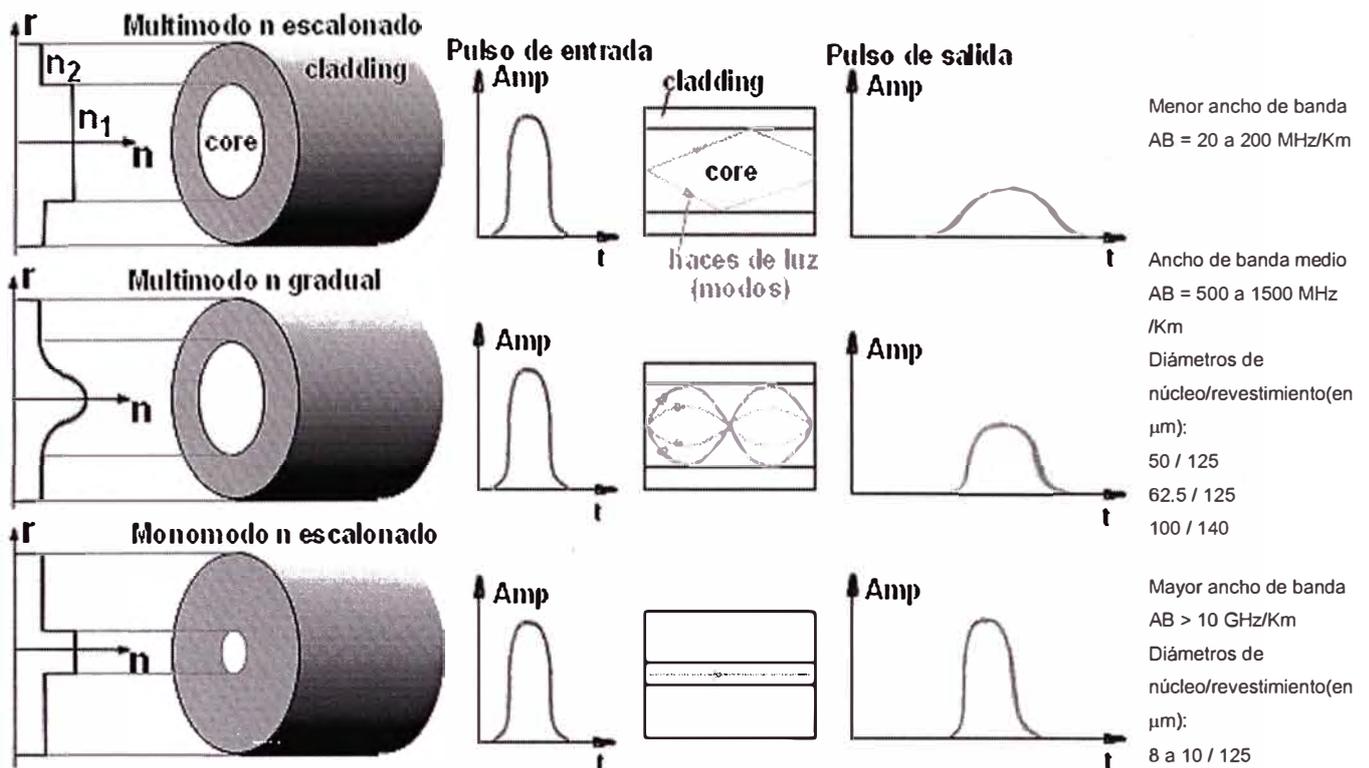


Figura 2.5 Característica de los diferentes tipos de fibra óptica

2.4 Diseño de la fibra monomodo

Los diseños de la fibra monomodo han evolucionado a medida que pasan los años. Los tres principales tipos y sus especificaciones ITU-T son:

- NDSF (Non-Dispersion-Shifted Fiber), G 652
- DSF (Dispersion-Shifted Fiber), G 653
- NZ-DSF (Non-Zero Dispersion-Shifted Fiber), G 655

2.4.1 NDSF (Non-Dispersion-Shifted Fiber), G 652

Como se sabe, hay cuatro ventanas dentro del espectro infrarrojo que ha sido explotado en la transmisión por fibra óptica. La primera ventana, cerca de los 850 nm, se usó casi exclusivamente para aplicaciones multimodo de distancias cortas. Las fibras NDSF, comúnmente llamadas la fibra monomodo estándar, se diseñó para usarla en la segunda ventana, cerca de los 1310 nm. Para optimizar el rendimiento de la fibra óptica en esta ventana, la fibra fue diseñada de forma que

la dispersión cromática fuera cercana a cero para una longitud de onda de 1310 nm.

2.4.2 DSF (Dispersion-Shifted Fiber), G 653

A medida que la fibra óptica se hacía más común y aumentaban las necesidades de un mayor ancho de banda y mayores distancias, se explotó una tercera ventana, cercana a los 1550 nm, en transmisión monomodo. La tercera ventana o banda C, ofreció dos ventajas: tenía mucha menos atenuación y su frecuencia de operación era la misma que la de los nuevos amplificadores dopados con erbio (EDFAs). Sin embargo sus características de dispersión lo limitan severamente. Esto se solucionó con el uso de láseres de una banda más estrecha y más potentes. Pero debido a que la tercera ventana tiene menor atenuación que la ventana de 1310 nm, los fabricantes se han decantado por el tipo DSF, que desplaza el punto de dispersión cero a la región de los 1550 nm. Aunque ahora esta solución significa que la atenuación óptica menor y el punto de dispersión cero coinciden con la ventana de 1550 nm, resulta que hay no linealidades destructivas en la fibra óptica cerca del punto de distorsión cero y no hay compensación efectiva a ello. Por esta limitación, estas fibras no sirven para aplicaciones DWDM.

2.4.3 NZ-DSF (Non-Zero Dispersion-Shifted Fiber), G 655

El tercer tipo, NZ-DSF, está diseñado específicamente para cubrir las necesidades de las aplicaciones DWDM. La dirección de este diseño es hacer la dispersión baja en la región de 1550 nm, pero no cero. Efectivamente esta estrategia introduce una cantidad controlada de dispersión, que cuenta los efectos no lineales tales como la mezcla de cuatro ondas que pueden perjudicar el rendimiento de los sistemas DWDM.

Dentro de este tipo de fibra tenemos muchos fabricantes como PIRELLI con la fibra "FreeLight" ; LUCENT TECHNOLOGIES con la "TrueWave RS" y "AllWave" ; ALCATEL con "TeraLight™" ; CORNING con la fibra "LEAF™" entre otra, que tiene similares características. Características que lo mostramos con las fibras de LUCENT como sigue:

2.4.3.1 TrueWave RS (Reduced Slope)

Este Fibra es de Lucent Technologies (NZ-DSFs), optimizada para la tercera ventana y lista para la cuarta, su característica principal es el de tener mas

uniformidad en la dispersión, 36% más uniforme que el estándar NZDFs y 55% más uniforme que las demás Fibras.

Tiene una mejor performance en la banda "C" y preparado para la banda "L", estas características se muestran en la figura 2.6

Dispersion Variability with Wavelength Nominal Dispersion Values for three NZDFs

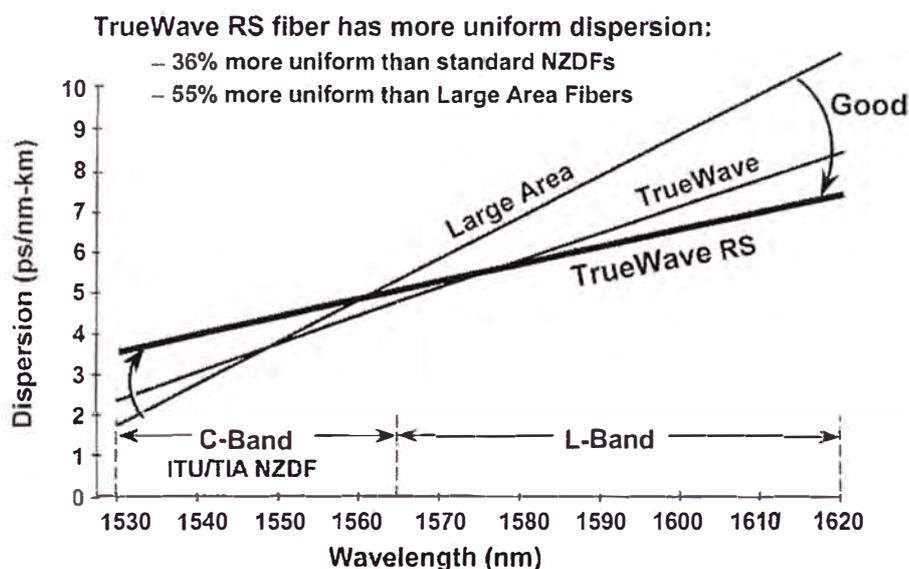


Figura 2.6

2.4.3.2 AllWave™ Fiber

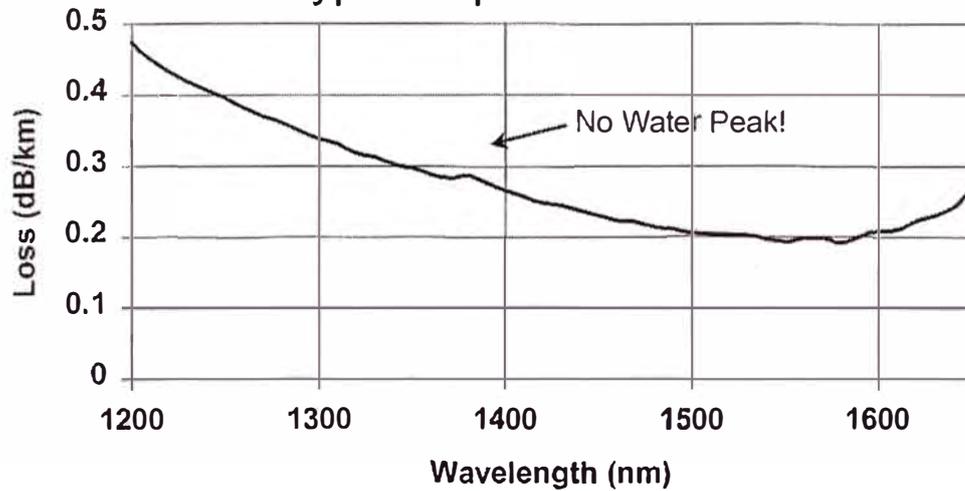
En este tipo de fibra ha logrado superar y suprimir el pico de agua, logrando así una optimización para aplicaciones en varias ventanas, AllWave ha sido desarrollado por Lucent Technologies para aplicaciones de redes ópticas Metro abriendo así la posibilidad de aprovechar al máximo el ancho de banda de estos medios.

La dispersión y otras características son idénticas a la convencional fibra mono modo con un PMD en el orden de $0.1 \text{ ps}/(\text{Km})^{1/2}$, y como dijimos sin el pico de agua, como se puede apreciar en la curva espectral típica de la figura 2.7



AllWave Fiber

Typical Spectral Loss Plot



Dispersion and other characteristics are identical to conventional matched clad singlemode fiber, but with no water peak!

Figura 2.7 Curva Espectral típica de la Fibra AllWave

La figura 2.8 muestra el potencial de la fibra con respecto al ancho de banda así como las consideraciones con la dispersión entre las fibras trueWave, AllWave.

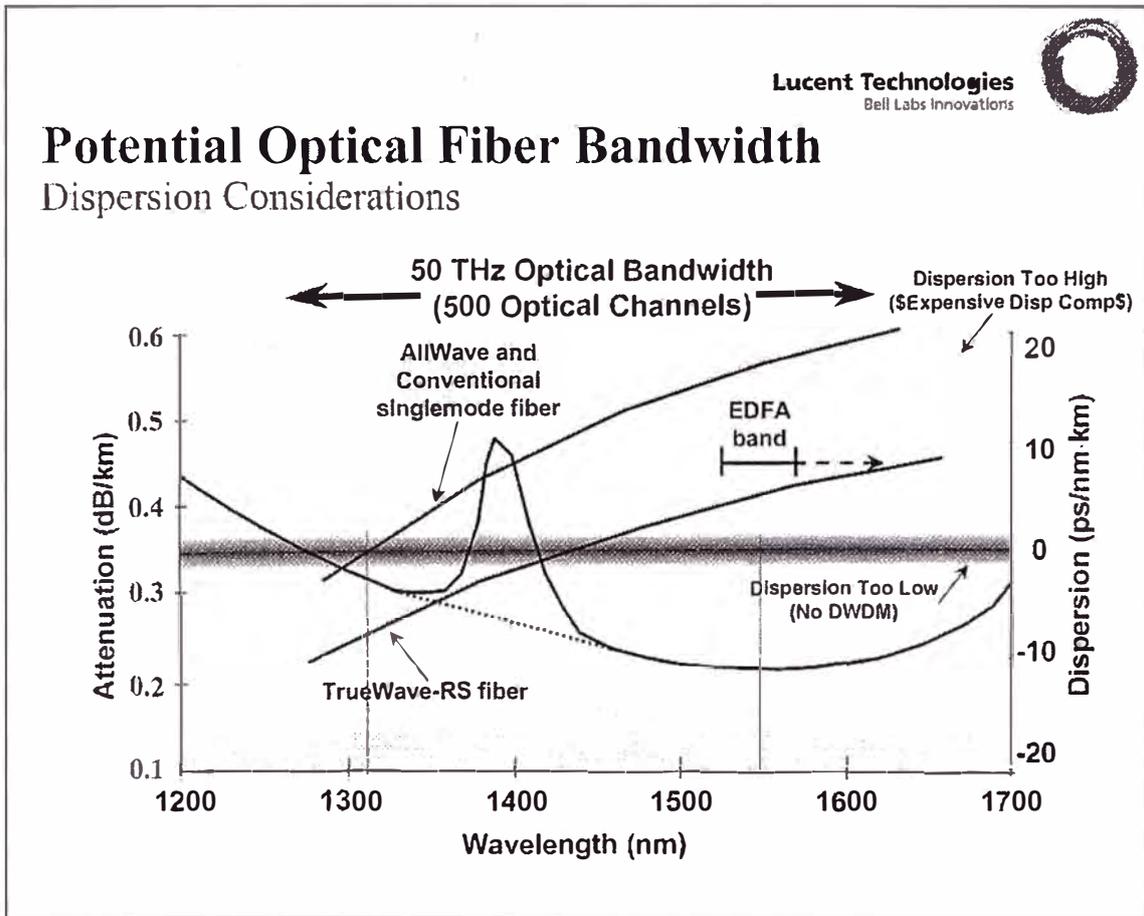


Figura 2.8 Potencial del Ancho de Banda de la Fibra y las consideraciones de Dispersión

CAPÍTULO III

DWDM

3.1 Introducción

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

DWDM puede completamente eliminar la necesidad de fibra extra, el cual es especialmente significativo para proveedores de servicios que tienen problemas de consumo de fibra, y este puede fácilmente coexistir con redes SONET o con otras existentes que operen con protocolos asíncronos. DWDM ha revolucionado la industria de las telecomunicaciones proveyendo de infraestructura para largo y denso transporte de redes ópticas.

3.2 Evolución de DWDM

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

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

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

Esta evolución se muestra representada en la figura 3.1

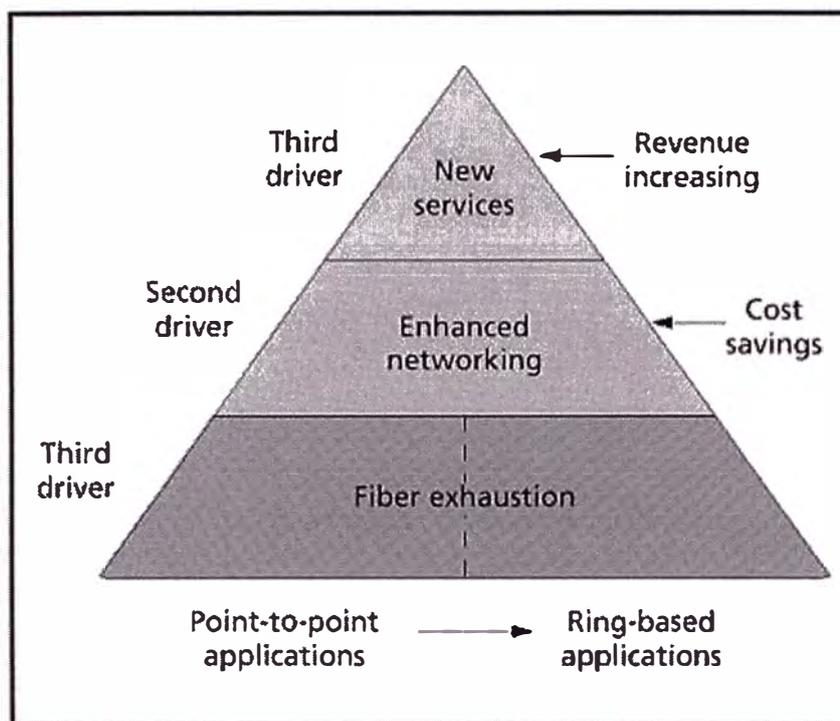


Figura 3.1 La evolución de DWDM

3.3 Clasificación y categorías de equipos DWDM

La tecnología DWDM se ha utilizado durante muchos años para aplicaciones punto a punto de grandes distancias llamadas Long Haul, esto debido al alto coste que representaban los equipos (equipos muy costosos), que en estas aplicaciones si justificaban implementarlos consiguiendo así un bajo costo por Kbit transmitido.

Hoy en día estas tecnologías pueden ser aplicables en escenarios diferentes justamente por su alto desarrollo y la reducción significativa de su coste de producción, lo cual permite ser aplicado en redes Metro y redes de Acceso.

Para el análisis de los diferentes equipos y tecnologías ópticas lo más simple es suponer una división de la red de telecomunicaciones a nivel de capa de transporte y a nivel de capa de servicios. Centrándonos únicamente en el transporte, dividimos esta capa a nivel de acceso, metro y largo alcance (long-haul). De esta forma, los equipos de transporte ópticos existentes en el mercado quedan agrupados en cuatro grandes categorías: equipos DWDM, equipos de acceso óptico, MSPPs (Multi service provisioning

platforms) y cross-connect ópticos. Por supuesto, estos equipos ópticos pueden convivir con los actuales equipos SDH. No obstante, el SDH tradicional utilizado como backbone de red presenta una serie de limitaciones importantes para el transporte masivo de datos. De hecho, se espera un crecimiento exponencial en el tráfico de datos y de ahí la necesidad de utilización de los nuevos equipos ópticos. Los equipos DWDM se dividen en tres categorías principales:

- DWDM de acceso,
- DWDM Metro y
- DWDM de largo alcance (Long-haul).

Dentro del DWDM podemos encontrar gran variedad de equipos, desde los sistemas más tradicionales con configuraciones únicamente punto a punto, hasta los equipos más modernos con plataformas software que permiten la reconfiguración dinámica de la red para topologías de red en anillo e, incluso, en malla. Los equipos metro pueden transportar transparentemente lambdas, Gigabit Ethernet, ESCON, FICON, Fiber Channel e, incluso, realizar en mayor o menor medida cierta multiplexación con el fin de transportar dentro de la misma lambda, por ejemplo, varios interfaces SDH. La categoría de Acceso Óptico engloba los sistemas FTTH (Fiber to the home) y PON (Passive Optical Networks), donde se llega al usuario final con fibra. Evidentemente, las principales características que se buscan en estos equipos son su bajo coste, la facilidad de gestión y la facilidad de configuración y mantenimiento remoto. La tercera de las categorías definidas es la de equipos MSPP. Dentro de esta categoría, caracterizada por la integración dentro del mismo equipo de varias funciones, podemos encontrar dos tipos de equipos, principalmente: los equipos SDH de siguiente generación y las redes Ethernet/IP ópticas. Por último, los cross-connects ópticos permiten la cross-conexión de grandes capacidades en los backbones DWDM y, a la vez, la creación de redes malladas al interconectarse con los equipos DWDM de transporte.

3.4 Concepto de WDM y DWDM

WDM es una tecnología óptica basada en la multiplexación de diferentes longitudes de onda generadas por diferentes emisores de luz dentro de una misma fibra óptica. De esta forma, se logra aumentar la capacidad de transmisión o ancho de banda de la fibra más allá de los límites que impone el propio material que la conforma y de forma multiplicativa en los cables. Cuando el número de longitudes de onda que se multiplexan (también conocidas como canales) es superior a 8, esta tecnología se denomina Dense Wavelength Division Multiplexing o DWDM .

Es conocido que un sistema de transmisión convencional basado en fibra óptica está conformado por tres bloques:

Fuente de Emisión

La fuente que emite la señal en el rango óptico del espectro electromagnético, es decir, una fuente que emite señales luminosas y que consiste normalmente en un diodo láser;

Medio de Transmisión

El medio físico por donde se propaga y transmite esa señal luminosa, que es el cable de fibra óptica constituido por un material de un determinado índice de refracción (el núcleo) y revestido por otro material de distinto índice de refracción (el revestimiento);

Receptor

Un dispositivo fotodetector situado en el extremo final de la fibra que capta la señal emitida por la fuente y que ha viajado a lo largo de la fibra óptica.

Básicamente, un sistema basado en DWDM extiende los componentes que integran cada bloque del esquema indicado anteriormente para describir un sistema de comunicaciones convencional basado en fibra óptica. En DWDM, además de los bloques emisor, de transmisión y de recepción, hay un cuarto que adquiere una importancia crucial: el amplificador EDFA (Erbium Doped Fiber Amplifier) aunque su aplicación es fundamental en aplicaciones de largas distancias (Long Haul), no es primordial en aplicaciones Metro.

Bloque Emisor

El bloque emisor en DWDM está constituido por una serie de diodos láser que emiten señales luminosas a diferentes longitudes de onda; estos diodos son normalmente del tipo DFB (Distributed FeedBack) . Las tendencias en este contexto se dirigen a tratar de obtener arreglos de láseres sobre un único sustrato como una solución para reducir costes fundamentalmente . Estas diferentes longitudes de onda emitidas por los láseres se multiplexan mediante un equipo multiplexador y se transfieren a la fibra óptica (el segundo bloque) dando lugar a diferentes canales que se pueden contemplar como diferentes fibras ópticas virtuales integradas dentro de la fibra óptica real . Actualmente, el numero de canales en los sistemas instalados es de 32 tras una secuencia que se inicia según algunos datos desde 1993 con 4 canales para pasar en 1996 a 8 canales y a 16 en 1997.

Bloque Transmisión

En la actualidad existen enlaces de 80 canales, llegando incluso proyectos de 160 canales.

Las velocidades obtenidas se inscriben fundamentalmente en el entorno OC-48 (Optical Carrier 48) de SONET con 2,5 Gbps, y en su equivalente STM16 del entorno SDH, lo cual ha generado que OC-48 aparezca como una tecnología madura para DWDM . Sin embargo, las tendencias se están orientando hacia niveles de Optical Carrier con velocidades asociadas más elevadas, como OC-192 de SONET y su equivalente STM64 de SDH, que proporcionan velocidades de 10 Gbps y permiten afrontar la creciente demanda de ancho de banda de una manera más eficaz . Con OC-192 se evitan los problemas y complejidad de ingeniería que supone tratar de ampliar el ancho de banda manteniéndose en OC-48 (se necesitaría en este caso aumentar considerablemente el número de elementos de red) , pero impone restricciones en lo que respecta al tipo de fibra . En este contexto, la fibra óptica que aparece como idónea es NZDSF (Non Zero Dispersion Shifted Fiber) , también conocida como G . 65X, cuyo diseño está basado en técnicas de gestión de la dispersión .

Bloque receptor

El tercer bloque 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 . Las diferentes longitudes de onda que aparecen al final de la fibra se distribuyen mediante un dispositivo que puede ser un acoplador pasivo en estrella . 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 encargado de regenerar las señales que han perdido potencia a su paso por la fibra. Estos filtros están constituidos por un etalon de Fabry-Perot que consiste en dos espejos que forman una cavidad resonante en la que se puede seleccionar la longitud de onda. Cuando se modifica la distancia entre los espejos se modifica al mismo tiempo la longitud de onda de la luz que resuena en la cavidad, lo que constituye un medio para sintonizar el filtro.

3.5 El amplificador EDFA

Un elemento crucial en el entorno DWDM es el amplificador EDFA (Erbium Doped Fiber Amplifier). Cualquier sistema de comunicaciones basado en fibra óptica utiliza amplificadores a lo largo de la fibra para generar/refrescar la señal luminosa, que va perdiendo intensidad a lo largo de su paso por la fibra. Estos amplificadores están

basados normalmente en tecnología opto electrónica que conlleva conversiones electro-ópticas y opto-electrónicas que consumen ancho de banda

EDFA constituye un avance crucial en el contexto de la amplificación de señales ópticas por tratarse de un amplificador completamente óptico sin partes electrónicas . Básicamente, un EDFA consiste en una fibra óptica dopada con iones de erbio; el erbio recibe energía procedente de la inyección de luz de un láser (efecto conocido como bombeo o pump) de longitud de onda de 980 nm o 1480 nm, lo que genera que los iones de erbio excitados cedan su energía mediante un proceso de emisión estimulada, proporcionando así la amplificación de la señal . Estos amplificadores han representado un papel crucial en el entorno del desarrollo de DWDM debido a que permiten amplificar múltiples señales simultáneamente, lo cual, unido a su carácter completamente óptico con el consiguiente aprovechamiento en ancho de banda, lo convierten en el mecanismo amplificador por excelencia en DWDM .

Otras características de EDFA son la independencia respecto del formato de modulación, del nivel de potencia o del bit rate. Estos amplificadores pueden utilizarse tanto inmediatamente después del emisor como en puntos intermedios del enlace, o como pre-amplificador antes del receptor. Las distancias de transmisión que se consiguen son considerablemente elevadas gracias a la elevada potencia que proporciona EDFA y el bajo nivel de ruido tanto para OC-48 como para OC-192 . En este contexto se puede conseguir que 32 canales en OC-48 se transmitan a lo largo de 600 Kilómetros sin necesidad de regeneración; distancia que se convierte en 320 Kilómetros para OC-192 aproximadamente.

3.6 Interfaces a DWDM

La mayoría de los sistemas DWDM soportan las interfaces estándar ópticas de corto alcance de SONET/SDH a las cuales se puede conectar cualquier dispositivo cliente compatible con SONET/SDH. En los sistemas WDM de larga distancia actuales, acostumbra a ser una interfase OC-48c/STM-16c a una longitud de onda de 1310 nm. Además también se soportan otras interfaces importantes de redes metropolitanas y de acceso: Ethernet (incluido Fast Ethernet y Giga Ethernet). ESCON, Sysplex Timer y Sysplex Coupling Facility Links, y Fibre Channel. El nuevo estándar 10 Gigabit Ethernet es soportado mediante una interface OC-192

VSR (Very Short Reach) sobre fibra multimodo entre el equipo 10 Gigabit Ethernet y DWDM.

En el lado cliente pueden haber terminales SONET/SDH o ADMs, conmutadores ATM o enrutadores. Convirtiendo la señal de entrada óptica en precisas longitudes de onda ITU-estándar que se pueden multiplexar, habitualmente los transponders son un elemento clave de los sistemas DWDM.

Dentro de un sistema DWDM, un transponder convierte la señal óptica cliente a una señal eléctrica y realiza las funciones 3R (Reshape, Retime, Retransmit). Esta señal eléctrica se usa entonces para controlar un láser WDM. Cada transponder dentro del sistema convierte su señal cliente a una longitud de onda ligeramente distinta. Las longitudes de onda de todos los transponders del sistema son entonces multiplexadas ópticamente. En la recepción del sistema DWDM, tiene lugar el proceso inverso. Las longitudes de onda individuales son filtradas desde las fibras multiplexadas y alimentan a los transponders individuales, que convierten la señal a eléctrica y la dirigen a través de un interface estándar al cliente.

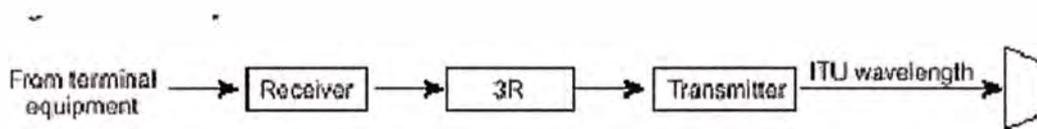
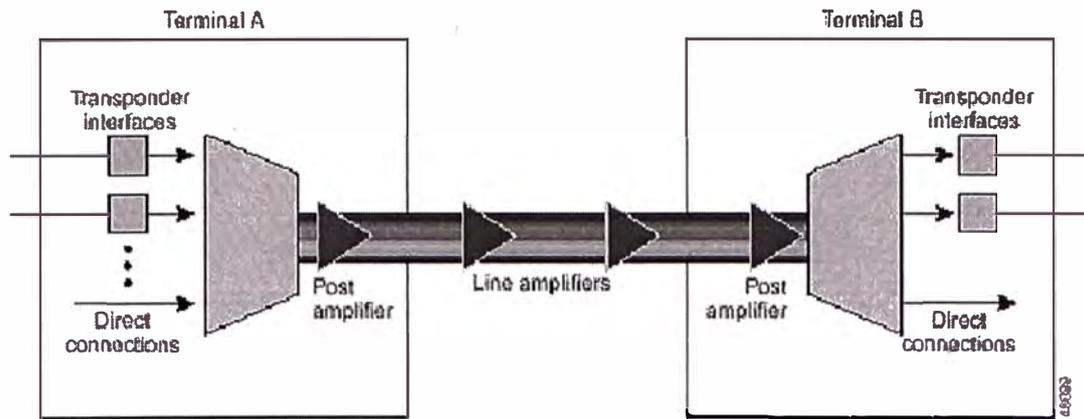


Figura 3.2 Función del Transponder

Los futuros diseños incluyen interfaces pasivas, que aceptan la luz según las normas ITU directamente de un conmutador o enrutador conectado a una interfaz óptica.

3.6.1 Operación de un Transportador basado en sistemas DWDM

La figura 3.3 muestra una operación extremo a extremo de un sistema DWDM unidireccional.



**Figura 3.3 Anatomía de un Sistema DWDM
(para el caso Metro los amplificadores no son necesarios)**

Los pasos siguientes describen el sistema de la figura anterior:

1. El transponder acepta la entrada en la forma de un láser estándar monomodo o multimodo. La entrada puede venir de distinto medio físico y diferentes protocolos y tipos de tráfico.
2. La longitud de onda de cada señal de entrada es mapeada a una longitud de onda DWDM.
3. Las longitudes de onda DWDM del transponder son multiplexados en una sola señal óptica y enviada por a la fibra. El sistema también puede incluir la posibilidad de aceptar señales ópticas directas al multiplexador; tales señales pueden venir, por ejemplo, de un satélite.
4. Un post-amplificador refuerza la señal óptica a la salida del sistema (opcional y no es necesario en el ámbito METRO)
5. Los amplificadores ópticos se usan a lo largo del enlace óptico según necesidades (opcional)
6. Un pre-amplificador refuerza la señal antes de que entre en un extremo del sistema (opcional)
7. La señal de entrada es desmultiplexada en lambdas DWDM individuales (o longitudes de onda)
8. Cada lambda individual DWDM es mapeada según el tipo de salida requerido (por ejemplo, fibra monomodo OC-48) y enviada a través del transponder.

CAPÍTULO IV

APLICACIÓN

4.1 Introducción

Dentro de las aplicaciones, se pueden mencionar muchas en lo que respecta a DWDM en el campo de las telecomunicaciones, pero nuestro punto está en una aplicación práctica que es el dar mayor capacidad en la transferencia entre los nodos (dos nodos específicos para nuestro caso) de la empresa AT&T Perú, con operaciones en Lima y en el Perú a través de una red Metropolitana de fibra óptica, que abarca la zona metropolitana de Lima y el Callao.

Si bien es cierto DWDM se está aplicando y tiene una mayor potencialidad en redes metros, totalmente ópticas dando la solución de extremo a extremo, también es posible darle una aplicación práctica punto a punto en parte de una red Backbone Metropolitana donde se requiera ampliar el ancho de banda como es el caso que vamos a presentar.

4.2 Descripción de la red backbone de fibra óptica de AT&T Peru

Actualmente la empresa AT&T Perú cuenta con 16 Nodos distribuidos en la gran Lima, a nivel Metropolitano, Estos a su vez forman 5 anillos los cuales son: Anillo Este, Oeste, Norte, Sur y el anillo Central llamado "CORE"; Los cuales dan redundancia al sistema para la transmisión de datos, internet, telefonía y otros servicios basados en una plataforma IPoATM, la distribución de sus Nodos está diseñada para conformar un anillo central "CORE" El cual es el anillo principal y soporta el mayor tráfico en el Backbone.

El Anillo CORE está formado por Cinco NODOS Principales los cuales se mencionan en la Tabla 4.1 :

Tabla 4.1 Relación de Nodos y su Numeración que conforman el anillo “Core”

<u>Nombre</u>	<u>Numérico</u>
• NODO COTABAMBAS	NODO 1
• NODO SAN FELIPE	NODO 2
• NODO CHINCHON	NODO 3
• NODO SAN MARTÍN	NODO 4
• NODO HIGUERETA	NODO 5

Para mayor facilidad se ha enumerado los Nodos de forma correlativa y en adelante haremos referencia a los Nodos por sus números.

Estos NODOS se ubican en los distritos de Lima (Cercado); Jesús María; San Isidro; Miraflores y Surco respectivamente y están unidos por un enlace principal “Backbone” de fibra óptica con capacidad de OC-12 para ello se dispone de un enlace de fibra óptica de 48 hilos (fibras) los cuales se usan según requerimiento de la Empresa o del Cliente. En su mayoría de casos estos enlaces Principales han tenido que ser reforzados debido a la saturación de hilos (saturación del cable) con cables de igual capacidad en cantidades uno o dos. Este hecho se dio a medida que se incrementaron nuevos servicios, nuevos productos, tanto para el requerimiento propio de la empresa, como enlaces SDH, telefonía IP, enlaces VISP(Virtual ISP), etc., como para el requerimiento del cliente como Enlaces de “Fibra Oscura” , VISP, etc.

Actualmente los enlaces principales se encuentra saturados por la diversidad de necesidades y esto da pie a que se plantee formas de satisfacer dichas necesidades creciente, diferente a la de aumentar cables a medida que estas se agoten, ya que hacerlo de esta forma conlleva a cambios continuos en la Planta Externa y por ende cortes de servicio que pueden ser muy frecuentes para los clientes, entre otras razones. La figura 4.1 muestra la topología de la red AT&T en Lima y Callao, en la cual se muestran los anillos secundarios y el anillo principal “CORE”

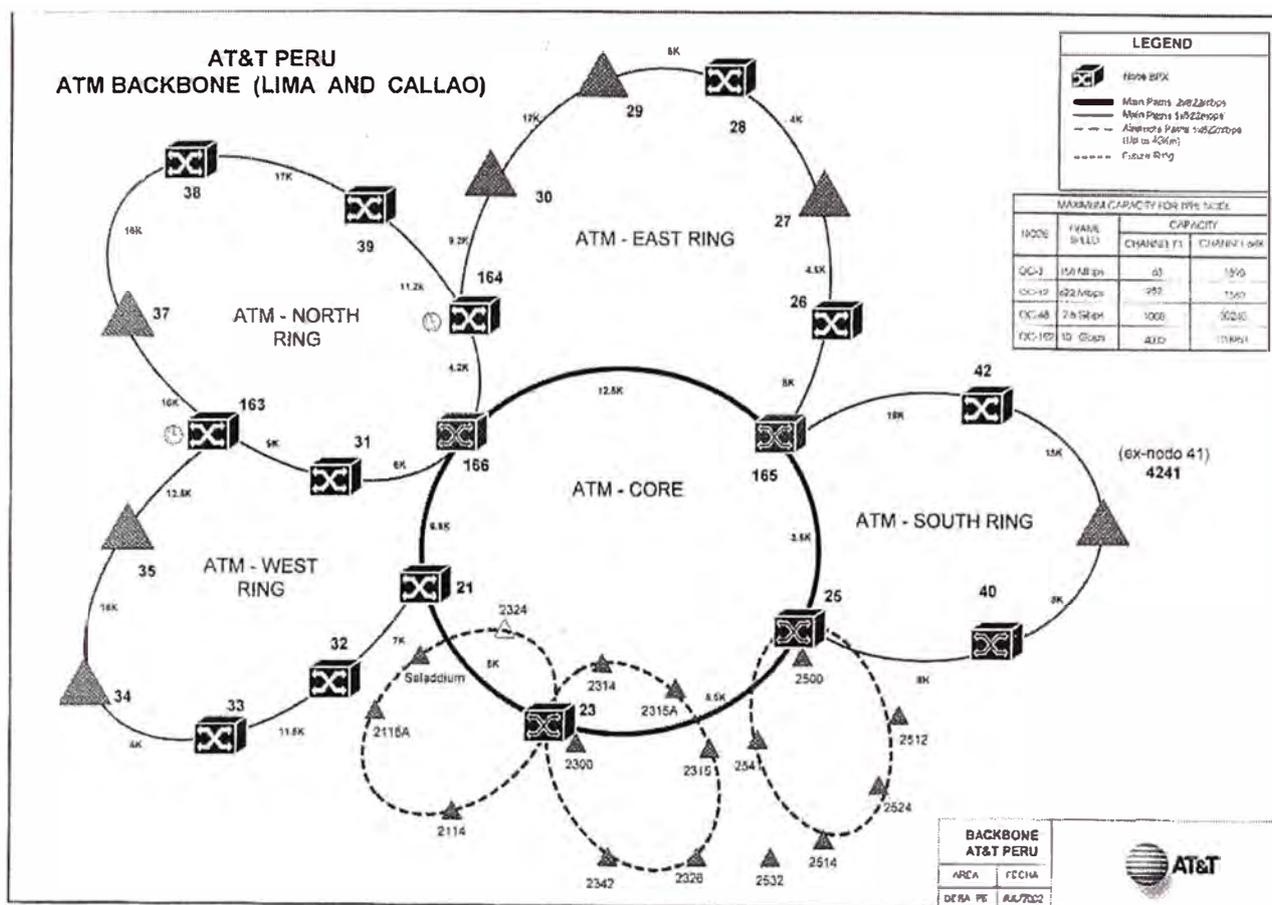


Figura 4.1 Configuración Topología de la red del Backbone de AT&T Peru

En nuestro caso nos centraremos en plantear el aumento de la capacidad de transmisión usando tecnología y equipos DWDM de uso metro entre los NODOS Chichón y San Martín (San Isidro – Miraflores), en la figura estos Nodos de muestran como Nodo 23 y Nodo 25 (que son la numeración real y que para nuestro informe se ha adoptado la numeración correlativa de la **tabla 4.1** como Nodo 3 y Nodo 4)

4.2.1 Planificación de los Recursos de fibra Óptica

En el diseño de red, debe considerarse la planificación de los recursos considerados como Críticos y estratégicos de crecimiento, y estos enmarcarlos dentro del procedimiento para el adecuado uso, acorde al crecimiento paso a paso y a los futuros servicios que se prestaran.

En la figura 4.2 se muestra una disposición planificada de los recursos de Fibra Óptica en el backbone que puede ser tomada para el inicio de las operaciones.

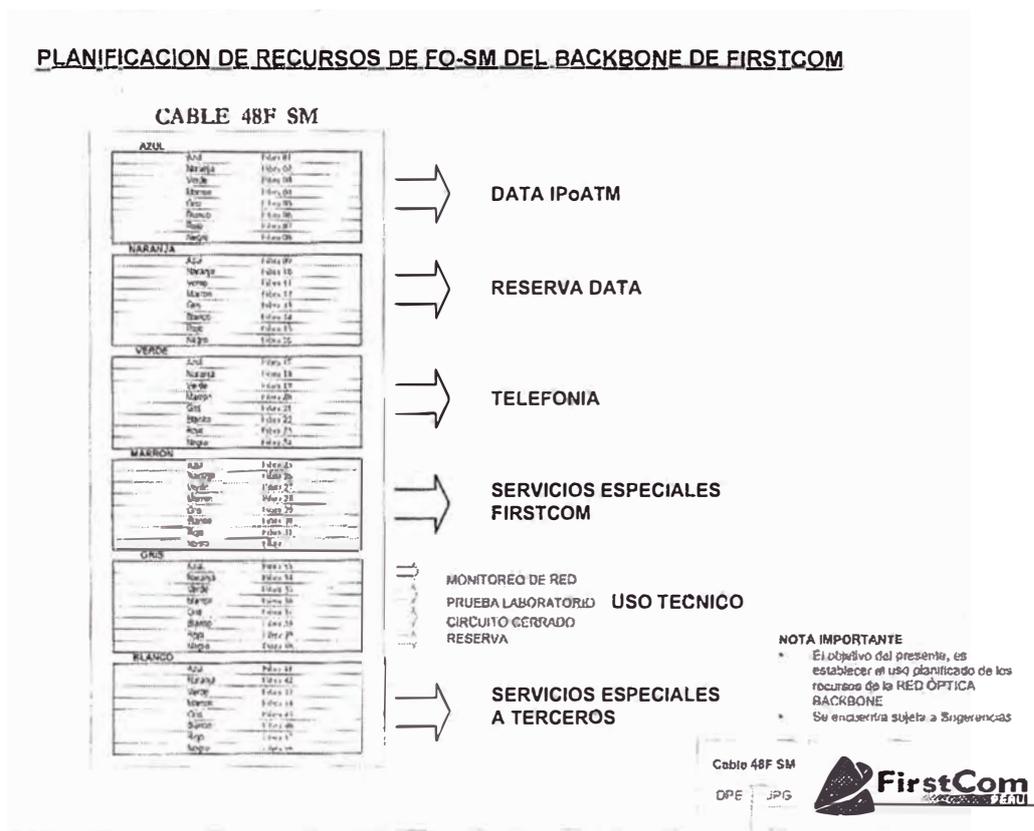


Figura 4.2 Planificación de Recursos de los recursos de F.O. en los cables del Backbone

4.3 Aplicación de DWDM al anillo central

La capacidad de transmisión actual en el anillo central esta diseñada para ser OC-12 (Optical Carrier) o su equivalente en SDH STM-4 de 622.08 Mbps esta red está soportada físicamente por uno, dos o tres cables de fibra óptica de 48 hilos (fibras) debido a la necesidad de mas canales que se fueron instalando poco a poco. Como dijimos anteriormente, el anillo central esta conformado por 5 NODOS

Estos enlaces principales entre NODOS tiene las siguientes longitudes en Km. Según se muestra en la tabla 4.2

Tabla 4.2 Distancias entre nodos del Anillo Central “Core”

TABLA DE DISTANCIAS ENTRE NODOS – ANILLO CENTRAL		
NODOS	DISTANCIA (KM)	OBSERVACION
NODO 1 – NODO 2	7.0	
NODO 2 – NODO 3	6.4	
NODO 3 – NODO 4	6.8	
NODO 4 – NODO 5	4.0	
NODO 5 – NODO 1	12.5	

4.4 Costos comparativos en el aumento de la capacidad entre nodos – aumento de cables y tecnología DWDM

En esta parte realizaremos un análisis de costos, de forma comparativa entre las dos formas de ampliar la capacidad de transmisión entre el NODO 3 y NODO 4, (Nodo Chichón – Nodo San Martín)

4.4.1 Ampliación de la capacidad mediante el aumento de cables

Esta es una de las formas de operación mas común entre los operadores en nuestro medio, esto debido al crecimiento gradual con la cual se han planificado sus redes y a medida del aumento de la demanda, aumento de los servicios y los requerimientos propios de la empresa para nuevos servicios así como las necesidades específicas de los clientes. Por ello se ve la necesidad de aumentar la capacidad punto a punto entre Nodos, para esto se aumenta los cables entre NODOS, lo cual resuelve parcialmente por un determinado tiempo la saturación de fibra.

AT&T Perú dispone de la infraestructura de planta externa totalmente canalizada para este tramo (Nodo 3 – Nodo 4), en el cual se agregará un nuevo cable de fibra óptica de 48 hilos – Monomodo de 62.5/125 um, para este caso y considerando el tipo de enlace sería una fibra de Lucent AllWave™ Fiber con los siguientes datos generales:

- Longitud de la canalización (extremo – extremo) : 6,810 M
- Numero de cámaras en la canalización : 55 Unid.
- Longitud de cable de Fibra Óptica : 7,028 M

(Considerando, reservas, empalmes, entradas

a los Nodos y desarrollos en las cámaras)

- Tramos de cable a instalar

A. Costo de materiales

ITEM	CONCEPTO	UNIDAD	CANT	PRECIO UNID.	PARCIAL
	Fibra Optica				
1	Cable de Fibra optica de 48h SM	M	7,028	9.82	69,015.0
	Cierre de Empalmes y accesorios				
2	FOSC 400 B4 NT 0 BGV	U.	2	236.77	473.5
3	FOSC-ACC-B-TRAYS-24-2 (bandeja)	U.	4	18.12	72.5
4	FOSC-ACC-CABLE-SEAL-1NW	U.	4	27.16	108.6
		U.			0.0
	Accesorios de Fusión	U.			0.0
5	PIGTAIL SC/UPC MONOMODO 2M	U.	96	11.04	1,059.8
6	SMOUV-1120-02-US	U.	192	0.64	122.9
	Accesorios adicional de P. Externa				
7	Ferreterias, cintillos ..etc (por Km)	BLOQ.	7	200	1,400.0
				Parcial en DÓLAR (US\$):	72,252.3

B. Costo de actividades (M.O)

ITEM	CONCEPTO	UNIDAD	CANT.	PRECIO UNID.	PARCIAL
	Instalación				
1	Instalación de cables de FO en ductos subter	M	6,810	0.38	2,587.8
2	PREPARACION DE CABLE PARA FUSION d	U.	6	42.05	252.3
	Fusiones ópticas				
3	FUSION DE FIBRA POR UNIDAD	U.	192	8.17	1,568.6
	Mediciones				
4	MEDIDAS DE RETROESPARCIMIENTO EN	U.	48	14.97	718.6
				Parcial en DOLARES (US\$.):	5,127.3

C. Costos de permisos municipales y otros

ITEM	CONCEPTOS		PARCIAL
	Tramites administrativos y licencias municipales, transportes y otros	20% de la obra	7,738

D. Resumen

CONCEPTO	PARCIAL
<i>COSTOS DE MATERIALES</i>	72,252.3
<i>COSTOS DE ACTIVIDADES (M.O)</i>	5,127.3
<i>COSTOS DE PERMISOS</i>	7,738.0
COSTO TOTAL (DÓLAR US\$.) :	85,117.6

4.4.2 Aumento con equipos DWDM

Los equipos disponibles se encuentran en todas las marcas y para este informe haremos mención a las mas conocidas en nuestro medio como: Cisco ONS 15540; Nortel OPTerra Metro 5000; Cisco Metro 1500; Alcatel entre otros.

Cisco ONS 15540 Extended Services Platform

Breves Referencias:

El Cisco ONS 15540 puede ser usado para altas velocidades, trafico en multiservicios, sus protocolos y bit rate es transparente, soportan una gran variedad de trafico incluido SONET/SDH y Trafico ATM en OC-3/STM-1, OC-12/STM-4, OC-48/STM-16, Gigabit Ethernet, conexión a sistemas empresariales, Fiber connection (FICON), Fiber Channel y en el futuro el OC-192c/STM-64, y 10 Gigabit Ethernet serán soportados.

Componentes del Sistema.

Consiste de un chasis, CPU; DWDM multiplexor/demultiplexor óptico, módulos de transmisión / recepción de longitudes de Onda.

Arquitectura del Sistema.

La figura 4.4 muestra un nivel alto de la Arquitectura, Este equipo soporta transparentemente servicios mas allá de 2.5 Gbps. En modo transparente , la tarjeta en línea conecta directamente al multiplexor óptico. El modulo del Transmisor / receptor es conectado al DWDM (tarjeta del multiplexor/demultiplexor óptico) a través de un cable plano

El Cisco ONS 15540 soporta hasta 32 longitudes de onda en la Banda "C" de la ITU. Véase la Figura 4.3 y 4.4

Operación, Administración, Mantenimiento y Aprovisionamiento

El sistema soporta un Canal Supervisor de mensaje, para proveer comunicación entre los elementos de la red, mensajes que viajan “hop by hop”, que pueden ser direccionados o ruteados a través de múltiples redes elementales y topológicas. Este canal puede ser usado para llevar tráfico al sistema administrador de la Red o portar otro Tráfico Inter-Nodo como, enlace de administración, fallas de fibras, performance del monitoreo, alarmas y switching de protección automática. Comunicaciones Inter.-Nodos son soportadas sobre la fibra base usando la 33va longitud de onda en la misma fibra.

Network Management

El ONS 15540 soporta el protocolo SNMP (Simple Network Management Protocol) interfase para administración de redes remotas. El sistema puede también ser operado a través de una interfase de comando-lineal local (CLI).

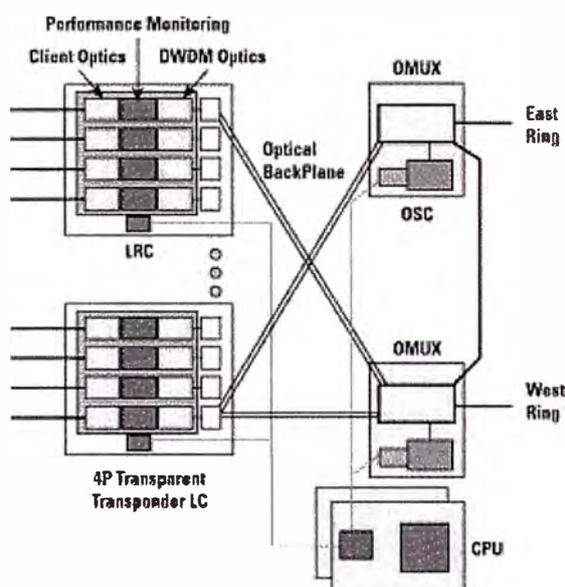


Figura 4.3 Cisco ONS 15540 Arquitectura del Sistema



Figura 4.4 ONS 15540 Chasis

CARACTERISTICAS GENERALES

Feature	ONS 15540 ESP
Optical Features	
Number of wavelengths per fiber pair	32 (C band)
Channel spacing	100 Ghz
Add drop wavelengths per shelf	Bands of 4 and/or 8
Client Interfaces (Number of channels per fiber pair)	
2.5 Gbps transparent interface	ESCON, Fibre Channel (1Gbps and 2Gdps), FICON, Fast Ethernet, Gigabit Ethernet, OC-3/STM-1,OC-12/STM-4,OC-48/STM-16
Client 1310 nm signal	Yes
Client 850nm signal	Future
Maximum Distances and Link Budget supported	
Between nodes	92 km (based upon 0.25dB / km)
Link budget - 4 lambda	23dB
Mechanical	
Chassis size for 32 wavelengths	24'x 12'x19 (HxDxW)
AC/DC power	Yes/Yes
Protected rings	Yes
Optical splitter	Yes
Line card and Y cable	Yes
Line protection 1:1	Yes

Switching time	< 50 ms
Management	
SNMP based	Yes
Per fiber (33 rd ch) management channel	Yes
Per wavelength optical performance monitoring	Yes
Protocol-dependent performance monitoring	SONET BIP, 8B10B, Disparity, Fiber Channel/ESCON sequence check
NEBS compliant	NEBS 3

COSTO PROMEDIO:

Costo promedio del equipo Dólares US\$. (variable según necesidad de \$40,000 a \$100,000)

Nortel OPTera Metro 5000

El OPTera Metro 5200 combina 32 longitudes de onda sobre una única fibra usando un multiplexor óptico (OMX) conteniendo un pasivo acoplador óptico. Siguiendo las recomendaciones de la ITU-T, el sistema soporta longitudes de onda entre 1,528.77 y 1,605.73 nm.

Además a estas tiene las características similares a los que describimos líneas arriba como son:

Servicio Flexible , independiente de los protocolos

Arquitectura confiable

Productos administrables

COSTO PROMEDIO:

Costo promedio del equipo Dólares US\$. (variable según necesidad de \$40,000 a \$100,000)

4.4.3 Ventajas comparativas

Con Tecnología DWDM

- Instalación en corto tiempo, solo se instala en los extremos
- No requiere tramites o permisos externos, municipales etc. para su instalación.
- No congestiona o satura los ductos externos de la planta externa.
- Ocupa espacio en los racks de planta interna de 20 a 40 UR (unidades de rack).
- Requiere de previo análisis de compatibilidad con la fibra en uso con equipo analizador de PMD.
- Aprovisionamiento rápido de servicios de banda ancha, en días.
- Aprovecha la abundancia de fibra óptica, produciendo ahorro a futuro.

Con aumento de cable F.O.

- Instalación toma un tiempo mayor, semana(s)
- Requiere tramite y permisos externos, pagos adicionales
- Ocupa espacio en los ductos de la planta externa, con posibilidad de hacer trabajos adicionales en Obras civiles.
- Ocupa espacio en el ODF
- Requiere pruebas con OTDR al final de la instalación.
- Aprovisionamiento lento de servicio de banda ancha, semanas o meses.
- No se aprovecha los recursos NO Usados de fibra óptica.

Como se puede apreciar, los costos que demanda realizar una nueva instalación de cable de fibra óptica representan en el orden de los 85,000 dólares en 6.8 KM es decir \$ 12,500 por Km. y este monto puede incrementarse de acuerdo a la separación entre nodos que en promedio puede estar en 12 Km. en la gran Lima, estas distancias son relativamente cortas, si consideramos los enlaces entre los demás anillos del Backbone, anillo Este, Oeste, Norte y Sur, que tienen enlaces de 20 Km. 16 Km. a menos.

Para nuestro caso, el margen comparativo de adquirir estos nuevos beneficios con la tecnología DWDM podría ser del 20% (incremento).

Es decir que:

$$85,000 + 20\%(85,000) = 102,000 \text{ Dólares} \quad (4.1)$$

Esto hace factible y beneficioso para la empresa aumentar la capacidad de transmisión entre nodos mediante la tecnología DWDM, teniendo como límite el costo de equipos hasta los \$ 102,000

Por razones obvias no se ha puesto los costos de los equipos DWDM promedios, puesto que estos varían de acuerdo a las configuraciones y adición de funciones que se soliciten, tendríamos que ser muy específicos para dar un valor ahora, lo cual no es el objetivo del presente informe, ya que los equipamientos son escalables y pueden hoy operar con las funciones básicas según se requieran.

En el tabla 4.2 se muestra los costos comparativos de acuerdo a las longitudes del enlace Backbone, en el cual puede verse que hay un rango económicamente factible

Instalando nuevo Cable de FO			Equipos DWDM en los extremos
			Considerando 02 equipos, uno a cada extremo
			De \$80,00 a \$200,000
Longitud enlace Km	Costo por Km	Costo de obra (US\$)	
6.8	12,500	85,000	
8	12,500	100,000	
10	12,500	125,000	
12.5	12,500	156,250	
14	12,500	175,000	
18	12,500	225,000	
20	12,500	250,000	

Tabla 4.3 Costos comparativos según longitud de enlace del Backbone

CAPÍTULO V

CRITERIOS A CONSIDERAR

5.1 Criterios generales

Antes de realizar algunos cambios en la estructura de una red, se deben tener presentes algunos criterios no solo técnicos sino también normativo de las diferentes instituciones, que hoy en día tiene un gran peso y que casi podríamos decir que lo técnico llega a pasar al segundo plano (por la solución que siempre se encuentra), ya que las cuestiones físicas y los problemas de ingeniería dentro de una tecnología se han llegado a superar y mas bien las relaciones humanas, el ordenamiento complejo del ser humano y las reglas sociales normativas que nos rigen llegan a ser en su momento tal que son mas costosas para la empresa, me refiero claro esta en los requisitos, permisos, y mas condiciones que hay que cumplir al hacer una obra, un mantenimiento ante las autoridades, como pueden ser, permisos municipales (local y metropolitano), permisos de transporte publico, todas están regidas con un TUPA (Tarifa Única de Procedimientos Administrativos) que puede representar del 10% hasta un 80% del costo del proyecto.

Es por ello necesario hacer un análisis radiográfico de la infraestructura disponible tanto en la planta externa como en la planta interna y aprovechar los recursos disponibles no usados, como pueden ser los cables en exceso que se instalan por algún requerimiento específico de ultimo minuto y queda ahí como parte de la red.

Un error común entre los operadores (Carriers) es que no existe un control real, logístico, actualización y que sea **permanente** de los datos que registran la infraestructura de la planta externa (principalmente), que por su gran extensión es fácil olvidar *“por donde se instalo tal enlace”, “de quien es esta canalización”, “a donde va este cable”* si no se lleva un orden y una religiosa secuencia de registro con el personal idóneo que la respete. Hoy en día se encuentran los GIS (Sistemas de información Geográfico) que son capaces de realizar toda la administración a detalle de la infraestructura completa de la planta de telecomunicaciones, a un detalle sorprendente capaz de detectar “empalmes” en la ciudad y decirnos a que cliente esta asignada un determinado circuito, óptico o de multipar, relacionada a su vez con el catastros de la

ciudad lo cual nos da una visión y control totalmente plena de lo que pasa en cada metro de red instalada. ¿Maravilloso no? pero aún así siempre existirá los datos no registrados en la planta externa y por tanto la desactualización ya que existe y existirá el error humano en sus diferentes modalidades como; olvido, falta de coordinación entre áreas de una organización, datos falsos ..etc.

5.2 Selección de la fibra óptica

Como sabemos las tecnologías empleadas en la construcción de las fibras ópticas se han desarrollado aceleradamente con el rompimiento de la barrera de la atenuación y otros parámetros que impedían la aplicación en largas distancias y altas velocidades en el campo de las comunicaciones.

Hoy en día se sigue buscando aprovechar el gran potencial que ofrecen estos medios de transmisión, apuntando hacia el futuro en la investigación de la transmisión de la onda sola "soliton" a través de la fibra y en el desarrollo de los conmutadores a nivel fotónico para aprovechar mucho más el potencial intrínseco de la fibra óptica llevándonos a límites inimaginables, lo cual nos traerá nuevos conceptos y nuevos parámetros que lo veremos en su tiempo.

Centrándonos ahora en la tecnología actual debemos decir que la selección de la fibra óptica responde a varios criterios dentro de una empresa, Financiero, Logística y Técnico en el cual nos centraremos para este informe.

A partir de las especificaciones del sistema se tiene que examinar los parámetros ópticos, mecánicos y estructurales de la fibra, para determinar cual es la adecuada según los pasos que nombramos:

- Requerimiento del sistema
- Velocidad de transmisión, longitud(es) de onda(s) de operación
- Cálculo de pérdidas de acoplamiento
- Margen de ganancia y pérdida del sistema total
- Cálculo de la dispersión y PMD
- Ancho de banda aceptable y ventanas disponibles
- Condiciones mecánicas del cable, según el tipo de instalación

5.3 Selección del sistema DWDM

En general, la utilización de multiplexores ADM de tipo SONET o WDM depende de cada caso y se decide con arreglo a criterios financieros, operacionales y relacionados con la flexibilidad técnica o con las necesidades mínimas para la operatividad desde el planeamiento estratégico de la red.

Para establecer el modo de transporte óptico más adaptado a cada situación, se tienen en cuenta numerosos parámetros:

- Características particulares de la región
- Número de puntos de servicio a los que se prestará servicio
- Distancias entre estos puntos y los encaminadores de distribución
- Tráfico previsto
- Disponibilidad de fibra óptica existente y de servicios de banda de paso existentes
- Costos de adquisición, de explotación y de los equipos

CONCLUSIONES

1. Debido al maltrato en la fibra, en estas pueden cambiar algunas propiedades físicas a nivel molecular que dificulte el rendimiento de la transmisión a altas velocidades, es por ello que se debe instruir correctamente al personal que instala directamente la fibra, haciendo énfasis en ello y esto extenderse en la cadena de producción desde el almacenaje, transporte e instalación.
2. Para aplicar la tecnología DWDM, no es necesario que ésta se aplique a toda la red, con un examen analítico de la red e identificando los puntos críticos o de falta de banda o canales de fibra se puede insertar localmente esta solución.
3. En la localidad de Lima, donde los enlaces principales no supera los 30 Km entre nodos, es posible utilizar esta tecnología sin muchas complicaciones.
4. Los equipos DWDM pueden aplicarse a la región Metro, aprovechando la escalabilidad de estos con una adecuada planificación parcial o total en donde se requieran mayor tráfico y optimizar los recursos de fibra óptica existentes.
5. Los costos del equipamiento son muy variables debido a la enorme cantidad de fabricantes, que hoy en día ofrecen sus productos y pueden encontrarse los equipos a la medida de su presupuesto.
6. Planificar de forma integral en una organización es fundamental para tomar las decisiones de incorporar nuevas tecnologías y el ahorro consistente en costos que están ocultos en la organización.
7. La expansión de las redes ópticas de los operadores en los últimos 6 años, no se han preocupado en seleccionar la fibra acorde a la tecnología entrante (DWDM). Se han estado abasteciendo del tipo de fibra monomodo estándar, lo cual es un error que tendrá sus efectos económicos en un futuro próximo.
8. Los tiempos de atención de servicio es en corto tiempo, solo se instalan equipos en los extremos.
9. No congestiona o satura los ductos externos de la planta externa, reduciendo posibles costos adicionales en obra civil, permisos y gestión municipal.

BIBLIOGRAFÍA

1. JORDON AGUILAR, Hildeberto; LINARES Y MIRANDA, Roberto, "Sistemas de comunicaciones por Fibras Ópticas", Editorial Alfaomega, Mexico 1995.
2. ANTUNEZ DE MAYOLO MÉNDEZ, Carlos. "Telecomunicaciones por fibras Ópticas", Edición del CONCYTEC 1996.
3. CALDERON B, Walter. "Manual de tecnologías ópticas", Lucent Technologies, 2001
4. CISCO. "Introducción al DWDM (Dense Wavelength División multiplexing)", Text Part Number: OL-0884-01, publicaciones www.cisco.com
5. NORTEL NETWORKS. "OPTera Metro 5000 Multiservice Platfor" 2003
6. <http://www.nortelnetworks.com/products/01/optera/metro/msp/5000/>
7. EXFO, "Catalog and Reference Guide 2002", referencias publicadas en www.exfo.com
8. Bells Labs Technical Journal, "Metro Optical Networking", January- March 1999.
9. UNIVERSIDAD DE LAS AMERICAS (UDLA), Propiedad de la Fibra Óptica, Puebla – Mexico, publicación <http://www.udlap.mx/>
10. NORTEL NETWORKS." Optical Transport Networks – Evolucion, Not Revolution" by Brent Allen and James Rouse Nortel Networks, OPTera Metro Solutions KANATA, Canada, publicade en www.nortelnetworks.com
11. CISCO. " The ONS 15540 Extended Services Platform" publicado en www.cisco.com