



Universidad de San Carlos de Guatemala
Facultad de Ingeniería
Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica

IP SOBRE WDM

José Darwin Tábor Padilla

Asesorado por el Ing. Enrique Edmundo Ruiz Carballo

Guatemala, febrero de 2007

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

IP SOBRE WDM

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA

POR

JOSÉ DARWIN TÁBORA PADILLA

ASESORADO POR EL ING. ENRIQUE EDMUNDO RUIZ CARBALLO

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERO ELECTRÓNICO

GUATEMALA, FEBRERO DE 2007

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
VOCAL I	Inga. Glenda Patricia García Soria
VOCAL II	Inga. Alba Maritza Guerrero de López
VOCAL III	Ing. Miguel Ángel Dávila Calderón
VOCAL IV	Br. Kenneth Issur Estrada Ruiz
VOCAL V	Br. Elisa Yazminda Vides Leiva
SECRETARIA	Inga. Marcia Ivonne Véliz Vargas

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

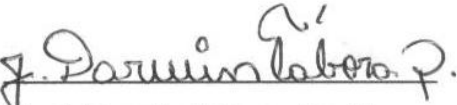
DECANO	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
EXAMINADOR	Ing. Francisco Javier González López
EXAMINADOR	Ing. Julio Cesar Solares Peñate
EXAMINADOR	Ing. Enrique Edmundo Ruiz Carballo
SECRETARIA	Inga. Marcia Ivonne Véliz Vargas

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

Cumpliendo con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

IP SOBRE WDM,

tema que fuera asignado por la dirección de la Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica, con fecha 4 de septiembre de 2006. Ref. EIME. 177.2006.


José Darwin Tábora Padilla

AGRADECIMIENTOS A:

Dios

Por culminar este trabajo de graduación, dándome la fuerza y el entendimiento necesario.

La Universidad de San Carlos de Guatemala

Por ser el medio que hizo posible la meta de llegar a ser un profesional.

Al claustro de catedráticos de la Escuela de Ingeniería de Mecánica Eléctrica

Por su dedicación en la enseñanza y apoyo hacia mi persona y formación profesional.

Mis familiares, amigos y maestros.

Porque siempre me han dado su apoyo incondicionalmente.

ACTO QUE DEDICO A:

MIS PADRES

José Ovidio Táborá Díaz.
Zoila Marina Padilla Soleno.

MI ESPOSA E HIJA

Milexis Gissel y Marina Yisel

MIS HERMANOS

Ewart, Ovidio y Zoila.

TODA MI FAMILIA

Abuelos, tíos y primos.

MIS AMIGOS

Carlos, Emanuel, Rolando,
Rubio, Eduardo, Fernando,
Oscar, Tito, Renato, Paco,
German, Jorge, Kelvin y José.

LOS FALLECIDOS

Mi Abuelo Aurelio, Mi Tío Otilio
y Rosa.

Guatemala, 29 de Enero de 2,007

Señor Ingeniero
Julio Cesar Solares
Coordinador Área de Electrónica
Escuela de Mecánica Eléctrica
Facultad de Ingeniería
Universidad de San Carlos de Guatemala

Señor Coordinador:

Por este medio tengo el gusto de informar a usted, que he concluido con el asesoramiento del trabajo de graduación del estudiante **José Darwin Tábora Padilla**, con carné **200180042** el desarrollo de esta investigación como trabajo previo a su graduación se titula **IP sobre WDM**. Después de revisar detenidamente su contenido final, considero su aprobación como trabajo científico de graduación.

Por lo tanto, el autor del trabajo de graduación y yo su asesor, nos hacemos responsables por el contenido y conclusiones de la misma.

Atentamente,



Ing. MsEE PhD (cand) Enrique Edmundo Ruiz
Colegiado No. 2225

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS
DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERIA

Guatemala, 05 de febrero 2007.

Señor Director
Ing. Mario Renato Escobedo Martínez
Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica
Facultad de Ingeniería, USAC.

Señor Director:

Me permito dar aprobación al trabajo de Graduación titulado: **IP sobre WDM, desarrollado por el estudiante; José Darwin Tabora Padilla**, por considerar que cumple con los requisitos establecidos para tal fin.

Sin otro particular, aprovecho la oportunidad para saludarle.

Atentamente,

ID Y ENSEÑAD A TODOS



Ing. Julio César Solares Peñate
Cóordinador Area de Electrónica

JCSP/sro

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS
DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERIA

El Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica, después de conocer el dictamen del Asesor, con el Visto Bueno del Coordinador de Área, al trabajo de Graduación del estudiante; José Darwin Tàbora Padilla titulado: **IP sobre WDM**, procede a la autorización del mismo.

Ing. Mario Renato Escobedo Martínez

DIRECTOR



GUATEMALA, 6 DE FEBRERO 2,007.

Universidad de San Carlos
de Guatemala



Facultad de Ingeniería
Decanato

Ref. DTG.032.07

El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica, al trabajo de graduación titulado: **IP SOBRE WDM** presentado por el estudiante universitario **José Darwin Tábora Padilla**, procede a la autorización para la impresión del mismo.

IMPRÍMASE.

Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
DECANO



Guatemala, febrero de 2007

/cc

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES	VII
GLOSARIO	XIII
RESUMEN	XXIII
OBJETIVOS	XXV
INTRODUCCIÓN	XXVII
1. INTRODUCCIÓN A LOS SISTEMAS DE COMUNICACIÓN ÓPTICOS	1
1.1. Fibra óptica	1
1.1.1. Dispersión	3
1.1.2. Tipos de fibra óptica	5
1.1.3. Aplicaciones	8
1.2. Estructura de un Sistema de comunicación	11
1.2.1. Elementos de un Sistema de comunicación	11
1.2.2. La Modulación	15
1.2.2.1 Tipos de modulación	16
1.3. Estructura de un Sistema de comunicación óptica	17
2. INTRODUCCIÓN A LOS MÉTODOS DE MULTIPLEXACIÓN	E IP 21
2.1. Métodos de Multiplexación Tradicionales	21
2.1.1 Multiplexación por División del Espacio (SDM)	22
2.1.2 Multiplexación por División de Frecuencia (FDM)	23
2.1.3 Multiplexación por División de Tiempo (TDM)	24
2.1.4 Multiplexación por dirección	26

2.2. Estructura SDH	28
2.2.1 SDH	29
2.2.2 Terminología	32
2.2.3 Estructura de multiplexación	34
2.3. Introducción al método de Multiplexación por Longitud de onda	37
2.4. Protocolo de Internet (IP)	42
2.4.1 El Paquete IP	43
2.5. ¿Por qué IP Y por qué WDM?	45
3. LAS REDES ÓPTICAS	47
3.1. OTDM (Multiplexación por División de Tiempo Óptico)	49
3.1.1 TOAD (Demultiplexor Asimétrico Óptico Terahertz)	53
3.1.2 Etiquetado TDM	56
3.2. OCDM (Multiplexación por División de Código Óptico)	57
3.2.1 Etiquetado OCDM	61
3.3. WDM (Multiplexación por División de Longitud de Onda)	62
3.3.1 Etiquetado WDM	69
3.4. DWDM (Multiplexación por División de Longitud de Onda Densa)	69
3.5. UDWDM (Multiplexación por División de Longitud de Onda Ultra Densa)	75
3.5.1. Ventajas y Desventajas de UDWDM	81
4. COMPONENTES ÓPTICOS WDM	85
4.1. Componentes pasivos	85
4.1.1 Filtros	85
4.1.2 Aisladores y Circuladores	88
4.1.3 Conectores	90
4.1.4 Acopladores	91
4.1.4.1 Acoplador direccional <i>Tunable</i> 2 x 2	93

4.1.4.2 <i>Gratings</i> (Rejillas)	94
4.1.4.3 Arreglo Enrejado (<i>Grating</i>) de Longitud de onda (AWG)	94
4.1.4.4 <i>Fabry-Perot Tunable Filters</i> (FPF)	95
4.1.5 Multiplexores / Demultiplexores	96
4.1.5.1 Multiplexor	97
4.1.5.2 Demultiplexor	97
4.2. Componentes activos	98
4.2.1 Transmisores	98
4.2.1.1 Diodos emisores de luz	100
4.2.1.2 Láser	101
4.2.2 Receptores	107
4.2.2.1 Fotodiodo PN	108
4.2.2.2 Fotodiodo PIN	109
4.2.2.3 Fotodiodos de Avalancha (APD)	110
4.2.3 Amplificadores	112
4.2.3.1 Amplificadores de Fibra Dopada de Erblio (EDFA)	113
4.2.3.2 Amplificador Semiconductor Óptico	118
5. IP SOBRE WDM	121
5.1 ¿Por qué IP sobre WDM?	122
5.2 Longitud de onda	127
5.2.1 Switch/Routers y Conmutación	127
5.2.1.1 Ruteamiento y Asignación de Longitud de onda	132
5.2.1.2 Algoritmo RWA	133
5.2.2 Conversores de Longitud de Onda	134
5.2.3 Multiplexor de Inserción/Extracción óptico (OADM)	137
5.2.3.1 La evolución de OADM	139
5.2.4 Conmutador óptico (OXC)	143

5.2.5 Tecnología de switch	148
5.2.5.1 Sistema Micro-Electro-Mecánico (MEMS)	150
5.2.5.2 Switch de burbuja	153
5.2.5.3 Switch guía de onda Termo-óptico	154
5.2.5.4 Switch de cristal líquido	156
5.2.5.5 El Switch Acusto-óptico	157
5.2.5.6 Hologramas	158
5.2.5.7 Comparación de tecnologías OXC	159
5.3 Tendencias y variantes de IP/WDM	160
5.3.1 IP sobre ATM sobre SDH para transmisión WDM	164
5.3.2 IP sobre ATM directamente en WDM	165
5.3.3 IP sobre SDL directamente sobre WDM	166
5.3.4 IP sobre SDH, Paquetes sobre SONET (POS)	166
6. RED DE TRANSPORTE DWDM PARA CENTROAMERICA	169
6.1 Descripción equipos que hacen parte del proyecto	170
6.1.1 SURPASS hiT7070 Sistema Multiplexor SDH de nueva generación	170
6.2 Información adicional de equipos DWDM y Sistemas de gestión	175
6.2.1 SURPASS hiT7300 Sistema de Transporte DWDM para Redes de Media/Larga Distancia	175
6.2.1.1 Aplicaciones de Red y topologías	177
6.2.1.2 Beneficios para la operadora	178
6.2.1.3 Detalles del sistema	181
6.2.1.4 Normas aplicables	186
6.2.2 Sistema de gestión TNMS Core	187
6.2.2.1 Sistema de gestión TNMS-C	187
6.2.2.2 Principales funcionalidades	189

6.3 Solicitud del cliente	190
6.4 Descripción de la solución propuesta	195
6.4.1 Características esenciales de la red para el sistema DWDM	197
6.4.2 Posibilidades de expansión	199
6.4.3 Lista de repuestos	202
6.4.4 Confiabilidad de la red	203
6.5 Sistema de gestión TNMS core	204
6.5.1. Escalabilidad de la solución de gestión	207
CONCLUSIONES	211
RECOMENDACIONES	215
BIBLIOGRAFÍA	217
ANEXOS	219

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	Estructura de la fibra óptica	2
2.	Rayos de Luz dentro de la fibra óptica	3
3.	Traslape debido a la dispersión	3
4.	Distancias diferentes debida a los modos	5
5.	Diámetro externo y del núcleo para dos fibras comunes multimodo y monomodo	6
6.	Elementos de un Sistema de Comunicación	12
7.	Estructura de un Sistema de Comunicación Óptico	17
8.	Multiplexación por Division de Frecuencia	24
9.	Multiplexación por Division de Tiempo	25
10.	Multiplexación Estadística por Division del Tiempo	27
11.	Multiplexación PDH Europeo	29
12.	Estructura de Multiplexión SDH	35
13.	Formación STM-1 a partir de PDH (E4)	36
14.	Estructura de Multiplexión SDH	37
15.	Espectro electromagnético	39
16.	TDM vrs WDM	40
17.	Red Óptica WDM Punto a punto	41
18.	Formato Paquete IP	43
19.	Árbol de Generación Óptico	48

20.	Multiplexación por División de Tiempo Óptico	50
21.	Fuente Óptica de Pulsos	52
22.	TOAD (Demultiplexor Asimétrico Óptico Terahertz)	54
23.	TOAD basado en Mach-Zehnder	56
24.	Etiquetado TDM	57
25.	Autocorrelación y Salida de Correlación Cruzada	60
26.	Etiquetado OCDM	61
27.	Sistema WDM	62
28.	Tendencias Protocolares en la Capa de Transporte	65
29.	Elementos de Red WDM	66
30.	Amplificadores de Érbio	67
31.	Conmutador Óptico	68
32.	Etiquetado WDM	69
33.	Esquema de un sistema DWDM	72
34.	Esquema de un sistema DWDM	74
35.	Comparación TDM vrs DWDM	75
36.	Bandas de las variantes de WDM	76
37.	Sistema UDWDM de 320 Canales	79
38.	Ancho de banda en canales	81
39.	Separación de canales en DWDM y UDWDM	82
40.	Banda de Paso	87
41.	Aislador, Circulador; Esquema Lógico de tres puertos Circuladores	89
42.	Circuladores en el Mercado	89
43.	Conectores	90
44.	Acopladores	92
45.	Concepto de Acoplador Tuneable	93
46.	Piezas de Fibra Bragg Gratings	94
47.	Fibra Bragg Gratings	95
48.	Operación FPF	95

49. Multiplexor / Demultiplexor por multirreflexiones	96
50. Funcionamiento de un Multiplexor Óptico	97
51. Funcionamiento de un Demultiplexor Óptico	98
52. LED	100
53. Espectros emitidos por LED y LD	102
54. Estructura Modulador – Fuente	103
55. Funcionamiento del Láser	104
56. Comparación de Láser	105
57. Fotodiodo PN	108
58. Fotodiodo PIN	109
59. Diseño de EDFA	113
60. Esquema de niveles EDFA	114
61. Estructura EDFA	115
62. Diferentes Estructuras de bombeo EDFA	116
63. Amplificador Semiconductor Óptico (SOA)	118
64. Transporte de Paquetes IP sobre Longitudes de Onda	121
65. Nodo de Red Multicapas	123
66. Ruteador 4x4	129
67. Enrutamiento por Conmutación de λ	130
68. Red con Router de Longitud de Onda	131
69. Principio de Convertidor de Longitud de Onda	136
70. OADM	138
71. OADM fijo	139
72. OADM Configurable	141
73. OADM Dinámico Re-Configurable	142
74. OXC	143
75. Arquitecturas de OXC	145
76. Matriz OXC	146
77. Topología de Mallas OXC	147

78. Taxonomía de Fabricación de Switch	149
79. Tecnología MEMs	150
80. MEM 3-Ds	151
81. Construcción de Switch basado en MEMS	152
82. Switch de Burbuja	153
83. Switch Termo-Óptico	155
84. Filtro Acústico-óptico <i>Tunable</i>	157
85. Switch Electro-Holograma	158
86. Optimización de la Capacidad	160
87. Red de Capas	161
88. Capas	162
89. Ejemplo de IP sobre WDM	163
90. IP sobre ATM sobre SDH	164
91. Esquema SDL	166
92. IP sobre SDH en WDM	167
93. Propuesta del Proveedor	170
94. SURPASS hiT7070	171
95. Interfaces de hiT7070	172
96. Arquitectura SURPASS hiT7070	174
97. SURPASS hiT7300	175
98. Aplicaciones y topologías SURPASS hiT7300	177
99. ODU/OTU SURPASS hiT7300	178
100. Estructura de un sistema Terminal	181
101. Estructura de un sistema OADM	182
102. Estructura de un nodo de amplificación	182
103. Shelf y Rack	186
104. TNMS Core	187
105. Propuesta del Cliente al Proveedor	191
106. Topología en Guatemala	192

107. Alternativas Solicitadas por el Cliente	193
108. Alternativa del Cliente para Guatemala	194
109. Solución para Guatemala	196
110. Nodo OADM BOL	199
111. Nodo OADM	200
112. OADM 10 Lambdas	200
113. OADM 16 Lambdas	201
114. OADM 32 Lambdas	201
115. Centro de Gestión Principal	205

TABLAS

I	Jerarquías y Velocidades SDH	30
II	Desarrollo de Canales y Velocidades DWDM	70
III	Estándar de la ITU a 100 GHz (50 canales) DWDM	71
IV	Comparación de Elementos de Varios Métodos	83
V	Características Comunes de Fotodiodos PIN	110
VI	Características Comunes de Fotodiodos APD	111
VII	Características EDFA-SOA	119
VIII	Comparación de Fabricación de Switch	159
IX	Granularidad de hiT7070	171
X	Disponibilidad y Factor de Corrección	202
XI	Capacidad de Gestión de TNMS	209

GLOSARIO

APD	(fotodiodo de avalancha) Se trata de una unión PN polarizada fuertemente en inversa cerca de la región de ruptura, lo que origina un efecto multiplicativo de la corriente generada.
ASCII	(<i>American Standard Code for Information Interchange</i>), código definido por el Instituto ANSI, el cual es capaz de representar en sistema binario de 8 bits, los caracteres alfanuméricos, y otros caracteres de control.
<i>Backbone</i>	Es un enlace de gran caudal o una serie de nodos de conexión que forman un eje de conexión principal. Todos los sistemas que tengan conexión al <i>backbone</i> (columna vertebral) pueden interconectarse entre sí, aunque también puedan hacerlo directamente o mediante redes alternativas.
<i>Bandwidth</i>	Transferencia máxima de una red o un dispositivo.
Bit	Es el acrónimo de (<i>Binary digit</i>). Un bit es un dígito del sistema de numeración binario.

Byte	Se describe como la unidad básica de almacenamiento de información, generalmente equivalente a ocho bits, pero el tamaño del byte depende del código de caracteres o código de información en el que se defina, también llamado octeto.
Conmutación	Mecanismo por el cual los paquetes o mensajes son enviados entre diferentes sistemas centrales sin que exista una ruta previamente establecida.
Crosstalk	Diafonía, efecto que se presenta en un sistema que trabaja con varias señales.
Decibel	Se denomina decibelio a la unidad empleada en Acústica y Telecomunicación para expresar la relación entre dos potencias, acústicas o eléctricas.
Dispersión	Tendencia de la luz a viajar a distintas velocidades en un medio de transmisión.
DWDM	<i>(Dense Wavelength Division Multiplexing)</i> es WDM de banda angosta, que generalmente involucra ocho o más longitudes de onda de luz. El primer sistema DWDM fue diseñado para aplicaciones de intercambio de una red long-haul.

E1	Es un estándar europeo que provee una interfase de 2.048 Mbps, que es lo mismo que 30 canales utilizables de 64 Kbps c/u; con los que se pueden transmitir audio, datos y video.
EDFA	<i>(Erbium-Doped Fiber Amplifier)</i> . Permiten amplificar la señal óptica en ruta sin tener que convertirla al dominio eléctrico. Esto reduce mucho el costo de WDM.
FDM	Multiplexación que se basa en la división de las señales entrantes por medio de la frecuencia a la que está trabajando. Cada señal tiene su propia frecuencia que la diferencia de las demás.
<i>Frame Relay</i>	Tecnología de transmisión de datos que consiste en la conmutación de unidades de datos de tamaño variable denominadas tramas.
GMPLS	<i>(Generalized Multiprotocol Label)</i> define un conjunto de protocolos de control que realizan tres funciones principales: Gestión de enlaces, Descubrimiento de topología, recursos y señalización.

H.323	Estándar de la ITU-T para voz y videoconferencia interactiva en tiempo real en redes de área local, LAN, e Internet.
IP	Protocolo de Internet. Conjunto de reglas que regulan la transmisión de paquetes de datos a través de Internet. La versión actual es Ipv6. También se refiere a las direcciones de red Internet (IP Address).
Ipv6	IP versión 6. Es la evolución del protocolo Ipv4. El objetivo de la evolución es permitir el crecimiento de las redes IP, tanto en volumen de tráfico como en número de nodos conectados.
ITU	<i>(Internacional Telecommunications Union)</i> Unión Internacional de Telecomunicaciones. Agencia de las Naciones Unidas que coordina los diversos estándares nacionales de telecomunicaciones de forma que las personas pueden comunicarse entre sí independientemente del país donde vivan.
ITU-T	<i>(International Telecommunications Union-Telecommunications Standards Sector)</i> ha estandarizado la escala de longitudes de ondas a usar en los sistemas de WDM y en DWDM.

Estas escalas son también llamadas planes de longitud de onda.

Kbps

(Kilobits per second) Kilobits por segundo, unidad de medida de la capacidad de transmisión de una línea de telecomunicación. Un Kbps corresponde a 1.000 bits por segundo.

LÁSER

(Light Amplification by Estimulated Emision of Radiation). Es un dispositivo de alta potencia y por tanto utilizado para grandes distancias, además de tener un precio más elevado que el del LED. Su aplicación se centra en segunda ventana (1300 nm) en fibras monomodo.

LED

Es un emisor de baja potencia y precio relativamente económico que se utiliza para cortas y medias distancias. En general, se utiliza en primera ventana (850nm) y segunda ventana (1300 nm) en fibras multimodo.

Luz coherente

Tipo de luz que está compuesta por una sola longitud de onda.

Luz no coherente

Tipo de luz que está compuesta por varias longitudes de onda. Por ejemplo, la luz emitida por un LED o un bombillo incandescente convencional.

MPLS	<i>(MultiProtocol Label Switching)</i> . Conmutación mediante etiquetas multiprotocolo. Técnica de control de flujos de datos IP en conmutación mediante el etiquetado de éstos.
Multimodo	Fibra óptica capaz de transmitir dos o más modos en distintos ángulos de entada.
NRZ	<i>(Non return to zero)</i> , código de transmisión digital.
O-E-O	<i>(Optic electric optic)</i> , la conversión Óptico-Eléctrico-Óptico en cada nodo es más fácil de implementar que un Switch óptico.
OADM	<i>(Optical Add Drop Multiplexer)</i> son básicamente acopladores de WDM con la capacidad de añadir o entregar lambdas en un punto intermedio de la red.
ODU	<i>(Optical Channel Data Unit)</i> permite al usuario soportar TCM <i>(Tandem Connection Monitoring)</i> , PM <i>(Path Monitoring)</i> y APS. También es posible la supervisión del camino extremo a extremo y la adaptación del cliente vía el OPU.

OXC	(<i>Optical Cross Connect</i>) la función consiste básicamente en conmutar longitudes de onda a gran velocidad de una fibra a otra con base a las necesidades de tráfico.
PDH	(<i>Plesiochronous Digital Hierarchy</i>), es una tecnología usada en telecomunicación para transportar grandes cantidades de información mediante equipos digitales de transmisión que funcionan sobre fibra óptica, etc.
PIN	Se trata de una versión mejorada de una unión PN elemental que trabaja polarizado en inversa. Son utilizadas de forma general en 850 nm y 1300 nm, con independencia del tipo de F.O.
QoS	(<i>Quality of Service</i>). Calidad de Servicio. Término genérico para definir el conjunto de parámetros que definen el tipo y la calidad del servicio proporcionado. Medida de rendimiento de un sistema de transmisión que refleja su calidad de transmisión y disponibilidad del servicio.
Refracción	Efecto óptico, cambio de dirección de la luz al chocar con medios de diferentes índices de refracción.

Router	Dispositivo que distribuye tráfico entre redes. La decisión sobre a donde enviar los datos se realiza en base a información de nivel de red y tablas de direccionamiento.
SDH	<i>(Synchronous Digital Hierarchy)</i> Estándar europeo que define una serie de tasas y formatos normalizados que se transmiten usando señales sobre fibra óptica, con una tasa básica de 155.52 Mbps, diseñado en STM1. Técnica de transmisión síncrona usada en las redes ATM.
SONET	<i>(Synchronous Optical Network)</i> , Standard a nivel físico que define el transporte de tráfico telefónico a través de enlaces de larga distancia de fibra óptica. Las velocidades básicas de SONET comienzan por 51.84 Mbps y llegan a 2.5 Gbps. El nivel de SONET OC-3 <i>(Optical Carrier, transporte óptico)</i> es equivalente al SMT-1 del ITU-T.
STDM	Multiplexación estadística por división de tiempo, opera similar al TDM excepto que asigna dinámicamente los espacios de tiempo <i>(time slots)</i> .

Switch	Es un dispositivo de red que selecciona el camino o el circuito (basándose en la dirección de destino de cada trama) para enviar una unidad de data a su próximo destino.
TCP/IP	Sistema de protocolos en los que se basa buena parte Internet. El primero se encarga de dividir la información en paquetes. El segundo la dirige adecuadamente a través de la red.
TDM	<i>(Time Division Multiplex)</i> tipo de multiplexación que se basa en la división de las señales entrantes por medio del tiempo. Cada señal es ubicada en diferentes espacios de tiempo <i>(time slot)</i> .
TOAD	<i>(Terahertz Optical Asymmetric Demultiplexer)</i> sugieren que se trata del conmutador completamente óptico más versátil y de mayores prestaciones que existe. La arquitectura básica de este dispositivo consiste en un interferómetro de Sagnac en el cual se coloca un SOA de forma asimétrica.
UDWDM	<i>(Multiplexing Wavelength Division Ultra Dense)</i> , multiplexación que se basa en la división de las señales entrantes por medio de la longitud de onda a la que está trabajando la señal.

Cada señal tiene su propia longitud de onda que la diferencia de las demás. Un sistema con UDWDM puede transportar hasta 1022 canales en una misma fibra óptica.

WADM

Consiste en un demultiplexor seguido de un conjunto de conmutadores 2x2 (un conmutador por cada lambda) y seguido de un multiplexor.

WaRP

(*Wavelength Routing Protocol*) elige la ruta óptima, en caso de fallo se busca un camino alternativo con tiempos de recuperación similares a SONET/SDH (50 ms), de momento el único protocolo de routing que hay en el mercado es el WaRP Cisco es propietario.

WDM

(*Multiplexing Wavelength Division*), multiplexación que se basa en la división de las señales entrantes por medio de la longitud de onda a la que está trabajando la señal. Cada señal tiene su propia longitud de onda que la diferencia de las demás. Un sistema con WDM puede transportar hasta 8 canales en una misma fibra óptica.

RESUMEN

El tema de la multiplexación en fibra óptica crece cada día más a nivel mundial. A medida que la población crece, los sistemas de comunicación digitales deben perfeccionarse para poder aprovechar al máximo la capacidad que los materiales ofrecen.

En el presente trabajo de graduación se da a conocer la nueva técnica IP sobre WDM, sus aplicaciones y características de funcionamiento, esta técnica esta siendo usada para transporte de cantidades de información. Se ve que aunque la técnica WDM es muy buena sigue creciendo su desarrollo, como DWDM o UDWDM. WDM es un tipo de multiplexación con aplicaciones en redes a nivel nacional, e internacional de grandes distancias. Por esto, se hace necesario como una de las características importantes el uso de amplificadores dopados con Erblio que también son estudiadas aquí.

En el primer capítulo, se da una pequeña introducción a los sistemas de comunicación ópticos que son mas utilizados hoy en día que los eléctricos, hablando de la fibra óptica que es un medio de transmisión que vino a revolucionar la transmisión por medio de cables, los tipos de fibra, las aplicaciones etc. También se mencionan los elementos que conllevan un sistema de comunicación como tal.

En el segundo capítulo se definen algunos métodos de Multiplexación tradicionales como TDM, FDM etc., se trata de tocar un poco el punto de SDH, y un poco sobre el tema de IP.

El tercer capítulo, consiste en una serie de redes ópticas que han ido evolucionando como OTDM, OCDM hasta llegar a la que es de nuestro interés en el presente trabajo, como lo es la Multiplexación por División de Longitud de Onda y sus mejoras DWDM y UDWDM.

En el cuarto capítulo ya entramos de lleno a los componentes usados en WDM como ser componentes pasivos y activos, los filtros, conectores, acopladores, y los necesitados para la Multiplexación, mux y demux, los Fotodiodos que sin ellos no sería real la transmisión en forma de luz, y amplificadores.

En el capítulo cinco lo que hemos estado esperando el famoso IP sobre WDM aquí en este capítulo, se da una pequeña respuesta a la interrogante por qué IP sobre WDM, además se toman temas como Switch, OADM y conmutadores necesarios para que esta tecnología sea capaz de funcionar, se habla también de las tecnologías usadas para dichos switch como la conocida MEMS, el cristal líquido etc., además se mencionan algunas variantes de IP sobre WDM.

En el capítulo final el sexto se describe una red para Centro América utilizando esta tecnología, que sería su hija DWDM, se describe el equipo a usar el territorio que ha de recorrer el anillo de fibra, y el sistema de gestión que utilizaría.

OBJETIVOS

General

Conocer a profundidad los fundamentos del sistema de multiplexación por división de longitud de onda WDM, así como poner en evidencia los avances, ventajas y aplicaciones que tiene actualmente.

Específicos

1. Investigar las tendencias de WDM, posibles avances, ventajas y aplicaciones de ésta.
2. Estudiar el desarrollo que han tenido los sistemas de multiplexación en longitud de onda.
3. Conocer el fundamento teórico de un sistema de comunicaciones ópticas.
4. Realizar una introducción de otros sistemas de multiplexación.
5. Estudiar los aspectos relevantes del sistema WDM, funcionamiento, partes, equipo utilizado y principales aplicaciones.
6. Conocer cómo se hace una red usando esta tecnología.
7. Conocer los componentes ópticos usados en WDM

INTRODUCCIÓN

El crecimiento exponencial de los servicios ofrecidos por el Internet y la intensa demanda por los servicios de ancho de banda ha estado provocando una necesidad cada vez más crítica de ampliar la banda y velocidades de transmisión. Al mismo tiempo, la evolución de IP en el sentido de ofrecer mejor calidad de servicio (QoS) y seguridad hace que las compañías opten por usar el tráfico IP cada vez más.

El desarrollo de tecnologías como WDM (Multiplexación por División de Longitud de Onda) ha estado aumentando mucho el tráfico de información en redes ópticas, mientras hacen una optimización del uso de las fibras existentes. Los componentes como OADM (Multiplexor Add/Drop Óptico) y OXC (Conmutador Óptico), estos operan directamente en la capa óptica

En el presente estudio, WDM se usa en comunicaciones de punto a punto y la técnica empleada para enviar el tráfico usa IP. La eliminación de una capa intermedia reduce los costos en los interfaces, simplifica el funcionamiento y aumenta la eficiencia en el uso de banda. Es precisamente esto lo que se busca, la eliminación de la capa SDH/SONET.

Originalmente, el punto-a-punto era la única topología usada en el despliegue de WDM que no constituía una capa óptica, sino una tecnología aislada para reforzar la capacidad exhausta en las rutas con fibra insuficiente. Los nuevos multiplexores ópticos de inserción/extracción (OADM) con capacidades de protección y un número elevado de canales/longitudes de onda de adición/extracción (típicamente hasta 32) ya están disponibles.

La red óptica posee actualmente nuevos retos, la esencia de la red óptica es que la fibra debe llevar más longitud de onda sobre distancias cada vez más largas. Desde su comercialización en los años 70's ciertas fibras ópticas han encontrado su uso en aplicaciones determinadas. Hoy las nuevas demandas impuestas por las redes ópticas han resultado en la perfección y especialización de las fibras ópticas.

Existen varias derivaciones de este método WDM. Algunos de ellos son DWDM (*Dense Wavelength Division Multiplexing*) y UDWDM (*Ultra Dense Wavelength Division Multiplexing*). Este sistema permite la transmisión de datos a una alta velocidad y con ancho de banda bastante amplio.

En la técnica DWDM el espaciado entre longitudes de onda es de aproximadamente 1.6 nm. La técnica DWDM es una de las más caras, ya que es necesario la implementación de equipo mucho más desarrollado, esto por el espaciamiento entre la longitud de onda de las señales. Los emisores deben ser mucho más finos para poder diferenciar las señales a transmitir. Además no se permiten variaciones significativas, ya que pueden causar la pérdida de información debido al acople de las señales.

En la actualidad, los sistemas de información buscan enviar la mayor cantidad posible de datos a una mayor velocidad. El sistema de multiplexación UDWDM permite utilizar al máximo la fibra óptica ya que permite trabajar con una amplia gama de longitudes de onda. Se logra enviar una gran cantidad de información utilizando un solo canal de fibra óptica con la ventaja de que la velocidad a la cual opera es bastante alta. En sistemas de gran distancia y para la transmisión de voz e información este método puede ser utilizado. Redes metropolitanas, redes de área local, y transmisión de cable TV.

1. INTRODUCCIÓN A LOS SISTEMAS DE COMUNICACIÓN ÓPTICOS

1.1. Fibra Óptica

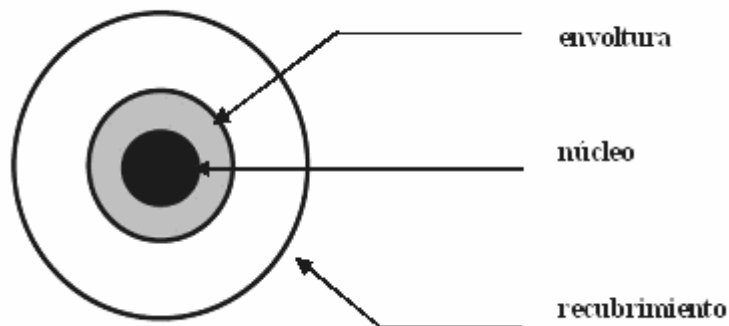
En 1966 surgió la propuesta de utilizar una guía óptica para la comunicación. Se trata en realidad de una onda electromagnética de la misma naturaleza que las ondas de radio, con la única diferencia que la longitud de las ondas es del orden de micrómetros en lugar de metros o centímetros. La fibra óptica es una hebra muy fina, de un vidrio especial. Esta hebra de vidrio tiene aproximadamente el mismo grosor que un cabello humano (125 micras). Se ha demostrado que las ondas electromagnéticas que conforman la luz tienden a viajar a través de una región que posea un índice de refracción alto. Por tanto, se hace el centro de la hebra de vidrio el núcleo (cristal de silicio) de esa clase de materiales. Algunas fibras de vidrio tienen un diámetro de núcleo de únicamente 50 micras, y tiene un índice de refracción de tipo gradual. La importancia de contar con un núcleo de este tipo es conseguir un núcleo que posea un ancho de banda algo mayor que el que tendría otro cuyo índice de refracción fuera idéntico en todas partes. Las fibras ópticas no conducen señales eléctricas por lo tanto son ideales para incorporarse en cables sin ningún componente conductor y pueden usarse en condiciones peligrosas de alta tensión. Tienen la capacidad de tolerar altas diferencias de potencial sin ningún circuito adicional de protección y no hay problemas debido a los cortos circuitos.

Originalmente, la fibra óptica fue propuesta como medio de transmisión debido a su enorme ancho de banda; sin embargo, con el tiempo se ha planteado para un amplio rango de aplicaciones además de la telefonía, automatización industrial, computación, sistemas de televisión por cable entre otros.

La estructura de la fibra óptica esta compuesta de 3 partes (figura 1):

- El núcleo; es por donde se transmiten las ondas de luz.
- La envoltura; la cual al tener un menor índice de refracción que el núcleo, permite que las ondas se reflejen y confinen en este último.
- El recubrimiento; tiene como fin proteger y dar más resistencia a la fibra.

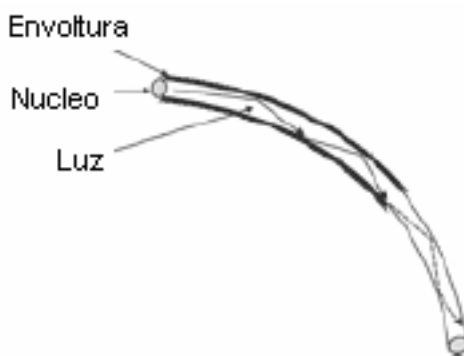
Figura 1. Estructura de la fibra óptica



La fibra óptica está compuesta por dos capas de vidrio, cada una con distinto índice de refracción. Éste índice del núcleo es mayor que el del revestimiento, razón por la cual, y debido a la diferencia de índices de refracción, la luz introducida al interior de la fibra se mantiene y propaga a través del núcleo. Se produce por ende el efecto denominado de Reflexión Total, tal como se ilustra en la figura 2. La luz inyectada en el núcleo choca en las interfaces núcleo-envoltura con un ángulo mayor que el ángulo crítico

reflejándose hacia el núcleo. Desde que los ángulos de incidencia y reflexión son iguales, el rayo de luz continúa en zigzag sobre toda la longitud de la fibra. La luz es atrapada en el núcleo. La Luz que golpea las interfaces núcleo-envoltura con un grado menor al ángulo crítico se pierde en la envoltura.

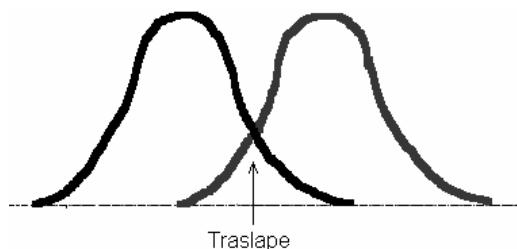
Figura 2. Rayos de Luz dentro de la fibra óptica



1.1.1. Dispersión

Hay dos tipos diferentes de dispersión en las fibras ópticas, intramodal y dispersión intermodal. Intramodal, o cromático, ocurre en todos los tipos de fibras. Intermodal, o modal, sólo ocurre en fibras multimodo. Cada tipo de mecanismo de dispersión hace que el pulso se extienda, Como un pulso se extiende, la energía se traslapa. Esta condición se muestra en figura 3.

Figura 3. Traslape debido a la dispersión



- La Dispersión Intramodal

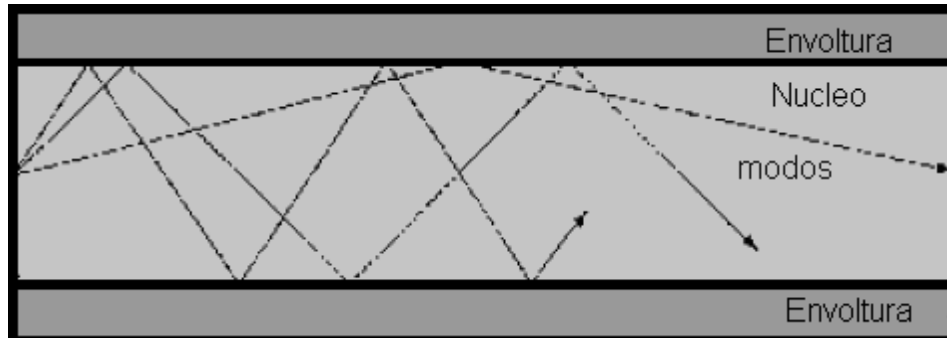
Intramodal, o cromático, la dispersión depende principalmente de los materiales de la fibra. La dispersión cromática describe la tendencia para diferentes longitudes de onda que viajan a diferentes velocidades en una fibra. En longitudes de onda donde la dispersión cromática es alta, los pulsos ópticos tienden a expandirse en el tiempo y provocan interferencia, lo cual puede producir una inaceptable velocidad del bit. La dispersión cromática de una fibra consiste de dos componentes, Material y Guía de Onda, 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.

- La Dispersión Intermodal

La entrada del pulso es hecha en un grupo de modos. Cuando los modos se propagan a lo largo de la fibra, la energía distribuida entre los modos tarda diferentes cantidades de tiempo.

El pulso se extiende porque cada modo se propaga a lo largo de la fibra a diferentes velocidades. Los modos viajan en direcciones diferentes, algunos modos viajan más tiempo y distancias. La dispersión modal ocurre porque cada modo viaja una diferente distancia en el mismo tiempo, como es mostrado en la figura 4. Esta condición es la causa que el pulso sea extendido. Como la longitud de la fibra aumenta, la dispersión modal aumenta también.

Figura 4. Distancias diferentes debida a los modos



La dispersión modal es la fuente dominante de dispersión en fibras multimodo, esta dispersión no existe en las fibras monomodo, estas sólo propagan el modo fundamental. Por consiguiente, las fibras monomodo exhiben la cantidad más baja de dispersión total. Las fibras monomodo también exhiben un ancho de banda más alto.

1.1.2. Tipos de fibra óptica

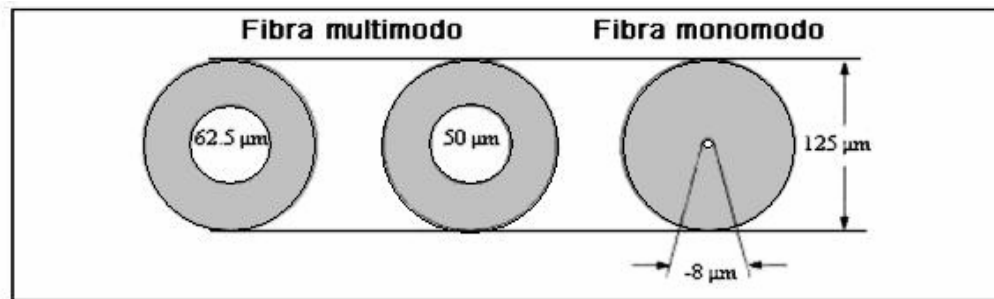
Existen dos tipos de fibras que se utilizan en el mercado, las fibras ópticas monomodo y multimodo.

La fibra óptica monomodo, se podría decir que la fibra monomodo es más difícil de fabricar y por su diámetro mínimo no es fácil el acoplamiento óptico. La ventaja que tiene, es su mayor ancho de banda, ya que sólo tiene un único modo y, por lo tanto, desaparece la dispersión modal. Esta ventaja se aprecia cuando también se puede mantener pequeña la dispersión del material, pero la dispersión del material decrece con longitudes de ondas mayores y alcanza su mínimo con una longitud de onda alrededor de 1300 nm, un resultado de poca importancia, y se obtiene ensanchamiento de impulso de solamente 0.025 ps/nm-km.

Los retardos relativos ocasionan ensanchamiento de impulso debido a que los impulsos se hacen mayores con rutas de transmisión más largas. De ello resulta una limitación de la longitud de las fibras ópticas para la transmisión óptica.

La fibra multimodo, tiene un diámetro de núcleo de $50\ \mu\text{m}$, como se muestra en la figura 5. Fue usado originalmente para largas distancias, pero fue rápidamente desplazada por la fibra monomodo para aplicaciones de telecomunicaciones, porque este tipo de fibra presenta una baja atenuación óptica y una gran capacidad de transmisión de información.

Figura 5. Diámetro externo y del núcleo para dos fibras comunes multimodo y monomodo



Los términos monomodo y multimodo poseen un significado importante con respecto a la transmisión de la luz a través de la fibra óptica. Se ha definido que si la fibra óptica tiene un diámetro muy pequeño de orden de millonésimas de metro, y que en ciertas condiciones pueden implicar la utilización de un material u otro para el núcleo y la cubierta, los rayos de luz seguirán prácticamente el mismo camino a lo largo del núcleo, desde un extremo de la fibra al otro. Esta es llamada transmisión monomodo, en ella no es necesario mantener la

polarización de entrada, pero sí es posible hacer que esta polarización permanezca constante durante la transmisión a través de la fibra óptica.

Si la fibra es “deformada” adecuadamente durante su fabricación, es decir, el núcleo de la fibra se fabrica de forma que no provoque un gran cambio de la polarización de la luz durante la transmisión, se habla entonces de transmisión multimodo. Una fibra óptica multimodo tiene un núcleo mayor y los rayos de luz viajarán siguiendo muchos caminos diferentes entre la entrada y la salida, según sean sus frecuencias y ángulo de inserción. Existen dos tipos de fibras, de índice abrupto, que significa un cambio abrupto en el índice de refracción del núcleo y la cubierta de la fibra y el otro tipo es de índice gradual, que expresa un cambio gradual en el índice de refracción del núcleo que se consigue modificando el material que forma el núcleo de una manera gradual, desde su centro hasta la frontera con la cubierta.

Se ha descubierto que con un índice de refracción gradual en el material de la fibra, podría conseguirse una especie de transmisión monomodo. De esta manera, se conserva el formato de los impulsos, su número y la información se transmite fielmente, ya que la señal se propaga uniformemente a lo largo de la fibra óptica, teniendo pérdidas, pero es posible que no exista una importante distorsión del impulso. Pero si se trata de una fibra que opera en multimodo, al ser alta la frecuencia de entrada, entonces se puede obtener algunos elementos de la señal, tales como los de frecuencia, viajando por la fibra a una velocidad superior a otros elementos, y lo que aparecerá será un problema de distorsión por dispersión.

1.1.3. Aplicaciones

- **Internet**

El servicio de conexión a Internet por fibra óptica, elimina la mayor limitación del ciberespacio: su lentitud. El ciberespacio es un mundo lento hasta el desespero. Un usuario puede pasar varios minutos esperando a que se cargue una página o varias horas tratando de bajar un programa de la Red a su PC. Esto se debe a que las líneas telefónicas, el medio que utiliza la mayoría de los 50 millones de usuarios para conectarse a Internet, no fueron creadas para transportar videos, gráficas, textos y todos los demás elementos que viajan de un lado a otro en la Red. Pero las líneas telefónicas no son la única vía hacia el ciberespacio. Recientemente un servicio permite conectarse a Internet a través de la fibra óptica. La fibra óptica hace posible navegar por Internet a una velocidad de dos millones de bps, en el que la mayoría de usuarios se conecta a 28.000 0 33.600 bps.

- **Redes.**

La fibra óptica se emplea cada vez más en la comunicación, debido a que las ondas de luz tienen una frecuencia alta y la capacidad de una señal para transportar información aumenta con la frecuencia. En las redes de comunicaciones se emplean sistemas de láser con fibra óptica. Hoy funcionan muchas redes de fibra para comunicación a larga distancia, que proporcionan conexiones transcontinentales y transoceánicas. Una ventaja de los sistemas de fibra óptica es la gran distancia que puede recorrer una señal antes de necesitar un repetidor para recuperar su intensidad hasta 70 Km. sin repetidores., frente a

aproximadamente 1,5 Km. en los sistemas eléctricos. Los amplificadores de fibra óptica recientemente desarrollados pueden aumentar todavía más esta distancia. Otra aplicación cada vez más extendida de la fibra óptica son las redes de área local. Al contrario que las comunicaciones de larga distancia, estos sistemas conectan a una serie de abonados locales con equipos centralizados como ordenadores (computadoras) o impresoras. Este sistema aumenta el rendimiento de los equipos y permite fácilmente la incorporación a la red de nuevos usuarios. El desarrollo de nuevos componentes electro ópticos y de óptica integrada aumentará aún más la capacidad de los sistemas de fibra.

Red de área local o LAN, conjunto de ordenadores que pueden compartir datos, aplicaciones y recursos (por ejemplo impresoras). Las computadoras de una red de área local (LAN, Local Área Network) están separadas por distancias de hasta unos pocos kilómetros, y suelen usarse en oficinas o campus universitarios. Una LAN permite la transferencia rápida y eficaz de información en el seno de un grupo de usuarios y reduce los costos de explotación.

- **Telefonía**

Para la conexión de un teléfono es completamente suficiente con los conductores de cobre existentes. Precisamente con la implantación de los servicios en banda ancha como la videoconferencia, la videotelefonía, entre otros, la fibra óptica se hará imprescindible para el abonado. Según la estrategia elaborada, los servicios de banda ancha posteriormente se ampliarán con los servicios de distribución de radio y de televisión en una red de telecomunicaciones integrada en banda ancha.

- **Otras Aplicaciones**

Las fibras ópticas también se emplean en una amplia variedad de sensores, que van desde termómetros hasta giroscopios. Su potencial de aplicación en este campo casi no tiene límites, porque la luz transmitida a través de las fibras es sensible a numerosos cambios ambientales, entre ellos la presión, las ondas de sonido y la deformación, además del calor y el movimiento. Las fibras pueden resultar especialmente útiles cuando los efectos eléctricos podrían hacer que un cable convencional resultara inútil, impreciso o incluso peligroso. También se han desarrollado fibras que transmiten rayos láser de alta potencia para cortar y taladrar materiales.

La aplicación más sencilla de las fibras ópticas es la transmisión de luz a lugares que serían difíciles de iluminar de otro modo, como la cavidad perforada por la turbina de un dentista.

También pueden emplearse para transmitir imágenes; en este caso se utilizan haces de varios miles de fibras muy finas, situadas exactamente una al lado de la otra y óptimamente pulidas en sus extremos. Cada punto de la imagen proyectada sobre un extremo del haz se reproduce en el otro extremo, con lo que se reconstruye la imagen, que puede ser observada a través de una lupa. La transmisión de imágenes se utiliza mucho en instrumentos médicos para examinar el interior del cuerpo humano y para efectuar cirugía con láser, en sistemas de reproducción mediante facsímil y fotocomposición, en gráficos de ordenador o computadora y en muchas otras aplicaciones.

1.2. Estructura de un Sistema de Comunicación

Un sistema típico está formado de numerosas y diversas partes y sistemas, conversión de la energía, teoría de redes, electrónica y teoría electromagnética. Para empezar, definimos a la comunicación como un proceso por medio del cual la información se transfiere de un punto llamado fuente, en espacio y tiempo, a otro punto que es el destino. Un sistema de comunicación es la totalidad de mecanismos que proporcionan el enlace para la información entre fuente y destino.

Hay muchas clases de fuentes de información, incluso hombres y máquinas; por eso, los mensajes aparecen en muchas formas; una secuencia de símbolos o letras discretas; una magnitud sencilla variando con el tiempo, varias funciones del tiempo y otras variables. Pero, sea cual fuere el mensaje, el objeto de un sistema de comunicación, es proporcionar una réplica aceptable de él en su destino.

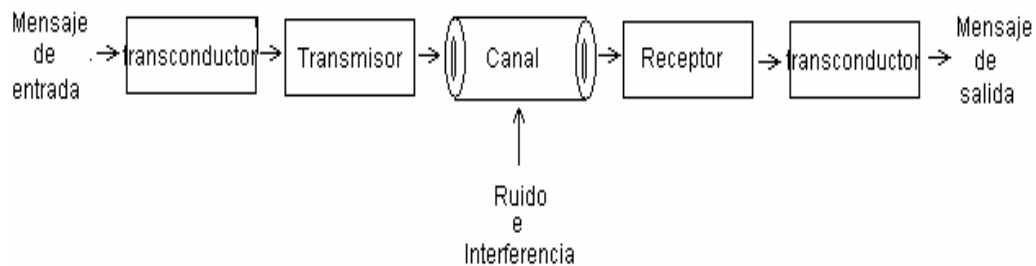
Se puede decir que el mensaje producido por una fuente no es eléctrico y, por lo tanto, es necesario un transductor de entrada. Este transductor convierte el mensaje en una señal, una magnitud eléctrica variable, tal como un voltaje o una corriente. Similarmente, otro transductor convierte la señal de salida a la forma apropiada del mensaje. En lo sucesivo, los términos señal y mensaje se usarán indistintamente.

1.2.1. Elementos de un Sistema de Comunicación

Omitiendo los transductores, hay tres partes esenciales en un sistema de comunicación eléctrica, el transmisor, el canal de transmisión y el receptor. Cada uno con su función característica.

La figura 6 muestra los elementos funcionales de un sistema completo de comunicación.

Figura 6. Elementos de un Sistema de Comunicación



a) Transmisor

El transmisor pasa el mensaje al canal en forma de señal. La señal le llega al transmisor después de ser convertida o transformada por el transconductor en forma generalmente de voltaje. Para lograr una transmisión eficiente, se deben desarrollar varias operaciones de procesamiento de la señal. La más común e importante de estas operaciones es la modulación, un proceso que se distingue por el acoplamiento de la señal transmitida a las propiedades del canal, por medio de una onda portadora.

b) Canal de Transmisión

El canal de transmisión o medio es el enlace eléctrico entre el transmisor y el receptor, siendo el puente de unión entre la fuente y el destino. Puede ser un par de alambres, un cable coaxial, el aire en el caso de una onda de radio y fibra óptica si la señal es un rayo de luz.

Todos caracterizados por la atenuación, la disminución progresiva de la potencia de la señal conforme aumenta la distancia.

c) Receptor

La función del receptor es extraer del canal la señal deseada y entregarla al transductor de salida, como las señales son frecuentemente débiles, resultado de la atenuación, el receptor debe tener varias etapas de amplificación.

d) Ruido e Interferencias

Durante la transmisión de la señal ocurren ciertos efectos no deseados. Uno de ellos es la atenuación, la cual reduce la intensidad de la señal; sin embargo, son más serios la distorsión, la interferencia y el ruido, los cuales se manifiestan como alteraciones de la forma de la señal. Estos efectos se clasifican de la manera siguiente:

- **Distorsión**

Es la alteración de la señal debida a la respuesta imperfecta del sistema a ella misma. A diferencia del ruido y la interferencia, la distorsión desaparece cuando la señal deja de aplicarse.

- **Interferencia**

Es la contaminación, por señales extrañas, generalmente artificiales y de forma similar a las de la señal. La solución al problema de

interferencia es eliminar en una u otra forma la señal interferente o su fuente.

- Ruido

Se le llama así a las señales aleatorias e impredecibles de tipo eléctrico originadas en forma natural dentro o fuera del sistema. Cuando estas variaciones se agregan a la señal portadora de la información, ésta puede quedar en gran parte oculta o eliminada totalmente. El ruido no suprimible es uno de los problemas básicos de la comunicación eléctrica.

Pero ¿Por qué es inevitable el ruido? , la respuesta proviene de la teoría cinética. Cualquier partícula a una temperatura diferente de cero absoluto, posee una energía térmica que se manifiesta como movimiento aleatorio o agitación térmica. Si la partícula es un electrón, su movimiento aleatorio origina una corriente aleatoria. Luego, si esta corriente aleatoria ocurre en un medio conductor, se produce un voltaje aleatorio conocido como ruido térmico o ruido de resistencia. Mientras el ruido de resistencia es solo una de las posibles fuentes en un sistema, muchos otros están relacionados, en una u otra forma, al movimiento electrónico aleatorio. Más aún, como era de esperarse de la dualidad onda partícula, existe ruido térmico asociado con la radiación electromagnética.

En consecuencia, como no podemos tener comunicación eléctrica sin electrones u ondas electromagnéticas, tampoco podemos tener comunicación eléctrica sin ruido. Las variaciones de ruido típicas son muy pequeñas, del orden de los microvoltios. Si las variaciones de la señal son sustancialmente mayores, el ruido puede ser ignorado.

En realidad, en sistemas ordinarios bajo condiciones ordinarias, la relación señal a ruido es bastante grande para que el ruido no sea perceptible. Pero en sistemas de alto régimen o de potencia mínima, la señal recibida puede ser tan pequeña como el ruido o más. Cuando esto suceda, la limitación por ruido resulta muy real.

Es importante señalar que si la intensidad de la señal es insuficiente, añadir más pasos de amplificación en el receptor no resuelve nada; el ruido será amplificado junto con la señal, lo cual no mejora la relación señal a ruido. Aumentar la potencia transmitida ayuda, pero la potencia no se puede incrementar en forma indefinida por razón de problemas tecnológicos.

En el análisis final, dado un sistema con ancho de banda y relación señal a ruido fijo, existe un límite superior definido, al cual puede ser transmitida la información por el sistema. Este límite se conoce con el nombre de capacidad de información y es uno de los conceptos centrales de la teoría de la información. Como la capacidad es finita existe una relación finita entre tiempo de transmisión, potencia transmitida, ancho de banda y relación señal a ruido.

1.2.2. La Modulación

La modulación es la alteración sistemática de una onda portadora de acuerdo con el mensaje (señal moduladora) y puede ser también una codificación. Existen muchas formas de comunicación no eléctricas, que también encierran un proceso de modulación, y la voz es un buen ejemplo.

Cuando una persona habla, los movimientos de la boca ocurren de una manera más bien lenta, del orden de los 10 Hz, que realmente no pueden producir ondas acústicas que se propaguen. La transmisión de la voz se hace por medio de la generación de tonos portadores, de alta frecuencia, en las cuerdas vocales, tonos que son modulados por los músculos y órganos de cavidad oral. Lo que el oído capta como voz, es una onda acústica modulada.

1.2.2.1. Tipos de modulación

Es posible identificar dos tipos básicos de modulación en relación a la clase de onda portadora: la modulación de onda continua (CW), en la cual la portadora es simplemente una forma de onda senoidal, y la modulación de pulsos, en la cual la portadora es un tren periódico de pulsos. Puesto que la modulación de onda continua es un proceso continuo, es posible adaptarla a señales que están variando constantemente con el tiempo. Generalmente la portadora senoidal es de mayor frecuencia que cualquiera de las componentes de frecuencia contenidas en la señal moduladora. El proceso de modulación se caracteriza pues por una traslación de frecuencia, es decir el espectro del mensaje se corre hacia arriba a otra banda de mayor frecuencia.

La modulación de pulsos es un proceso discontinuo, en el sentido de que los pulsos aparecen sólo en ciertos intervalos de tiempo. Por eso la modulación de pulsos se adapta mejor a los mensajes que son discretos por naturaleza. Tanto en los telégrafos como en los teletipos, la modulación de pulsos y la codificación van de la mano.

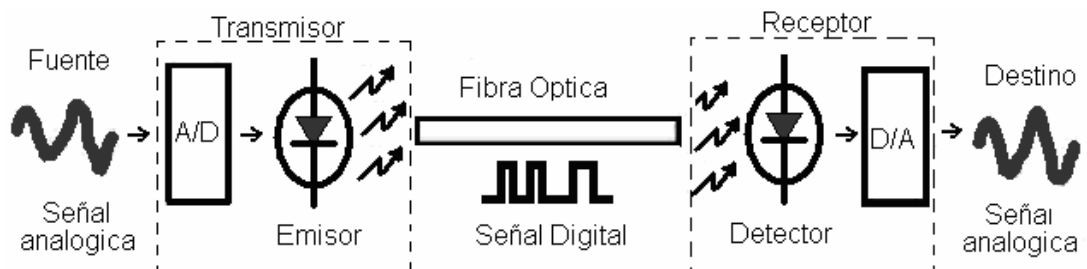
Como alternativa a la clasificación anterior, algunas veces es preferible designar a la modulación como analógica o codificada (digital). Esto es cierto en los sistemas más complejos que emplean ambas técnicas (modulación CW y pulsada), haciendo distinción de su tipo indefinido de portadora. La diferencia entre analógica y digital es la siguiente; en la primera, el parámetro modulado varía en razón directa a la señal moduladora. En la modulación codificada, ocurre una transformación digital, por medio de la cual el mensaje se cambia de un lenguaje simbólico a otro.

Si el mensaje es originalmente una función continua de tiempo, debe ser muestreado y digitalizado (cuantificado) antes de ser codificado. Independientemente del tipo CW o pulsada analógica o codificada la modulación debe ser un proceso reversible, de tal manera que el mensaje pueda ser recuperado en el receptor por medio de la operación complementaria de desmodulación.

1.3. Estructura de un Sistema de Comunicación Óptica

Un sistema de comunicaciones óptica está constituido por cinco partes elementales: una fuente, un transmisor, un medio de transmisión, un receptor y un destino.

Figura 7. Estructura de un Sistema de Comunicación Óptico



Existen dos tipos de sistemas ópticos, los guiados y los no guiados. Los guiados son aquellos que cuentan con un medio de propagación que guía la onda enviada. Por otro lado los sistemas no guiados son aquellos que se basan en transmisiones atmosféricas. Sin embargo, estos últimos no resultaron ser los mejores sistemas ya que se tienen dificultades en la atmósfera así como precipitaciones, contaminación y turbulencias. Basando nuestro análisis de los sistemas ópticos en la configuración básica de los sistemas de comunicaciones, como lo mencionamos anteriormente, tenemos bloques funcionales elementales.

Las fuentes utilizadas para los sistemas de comunicaciones ópticas son los diodos emisores de luz o comúnmente llamados LED. Estos dispositivos producen luz del tipo no coherente. O sea, con varias longitudes de onda. Además se utilizan los diodos emisores láser que producen luz coherente; o sea, de una sola longitud de onda. Este dispositivo, el LED, es muy utilizado debido a su bajo costo y su resistencia al uso. A diferencia del diodo láser, el LED no puede conmutar a altas velocidades y emite una potencia baja.

Como medio de propagación tenemos en nuestro caso a la fibra óptica. Luego de enviar una señal por este medio, la señal se atenúa y distorsiona con la distancia debido a los fenómenos de la reflexión, absorción y dispersión. Un aspecto importante a tomar en cuenta a la hora de trabajar con la fibra óptica es la eficiencia de la interconexión. Se debe calcular debidamente y así se sabrá si la señal emitida y transmitida llegará al lugar de destino. En nuestro caso, el receptor del sistema de comunicaciones ópticas consiste en un fotodetector. Estos son los dispositivos asociados a la amplificación y restauración de la señal. Los fotodetectores son los dispositivos encargados de convertir la señal óptica en una señal eléctrica.

Finalmente, tomando en cuenta la atenuación y distorsión que presenta la señal transmitida por la fibra óptica se debe tener un repetidor para amplificar y reconfigurar la señal. El repetidor consiste en un receptor y un transmisor que se colocan a intervalos a lo largo del sistema de acuerdo con las pérdidas esperadas.

- **Introducción al Láser**

La característica más original del Láser es que emite luz coherente, mientras que una fuente ordinaria de luz emite luz incoherente de longitudes de onda variadas. Un haz de luz coherente puede ser enviado sobre largas distancias, con mucho menos divergencia que un haz incoherente., así como puede ser enfocado a una mancha muy pequeña de extremadamente alta intensidad. Los usos de la luz coherente son numerosos y aparecen nuevas aplicaciones cada día. La cirugía médica en el ojo es rutinaria con Láser. Los Láser se usan en la industria para soldar, cortar y taladrar. Además se usan en el laboratorio para proyectos como investigación de fusión y análisis de espectro-gráfico.

Debido a que los Láser tienen la capacidad de portar miles de mensajes simultáneamente, ellos se han vuelto imprescindible en telecomunicaciones por fibra óptica. Los Láser han hecho posible la tecnología de discos compactos, un medio de grabación que digitalmente almacena audio, vídeo y texto. Un reproductor de disco compacto emplea un Láser semiconductor para "leer" la información almacenada en el disco compacto. La luz coherente también será la clave en el desarrollo de procesadores basados ópticamente, que usarán luz en vez de corrientes eléctricas como portadores de información.

Debido a que los rayos de luz no se afectan uno con otro, aún cuando ellos se atraviesen, serán posibles arreglos más densos de circuitería en un procesador óptico que en un procesador electrónico. Como los fotones viajan más rápido y generan menos calor que los electrones, el procesador óptico será más rápido y más eficiente que su contraparte electrónica. Miles de haces de luz pasan simultáneamente a través de una lente simple dentro del procesador óptico, un procesador electrónico procesa una señal a la vez. Un computador basado en procesador óptico operará mil veces más rápido que un supercomputador convencional. Una tecnología aún en sus inicios, sin embargo, los procesadores ópticos no tendrán potencial comercial por muchos años.

2. INTRODUCCIÓN A LOS MÉTODOS DE MULTIPLEXACIÓN E IP

2.1. Métodos de Multiplexación Tradicionales

El multiplexado consiste en transportar por un mismo soporte físico, en este caso la fibra óptica, las señales destinadas a un gran número de abonados. La conmutación es una operación de direccionamiento a nivel de la red global, gracias a la cual cada destinatario recibe al final de la línea la información que se le envía. Anteriormente el multiplexado más utilizado era el llamado temporal. En la recepción, cada canal temporal es demultiplexado y dirigido luego a su destinatario.

Las funciones de multiplexado/demultiplexado temporal se pueden realizar electrónicamente por medio de circuitos integrados ultrarrápidos. No obstante, el costo prohibitivo de estos circuitos para caudales muy elevados sugiere efectuar el multiplexado temporal por medios puramente ópticos, una vía actualmente muy explorada.

Existe una relación muy cercana entre multiplexación y conmutación. La multiplexación es definida por ser el proceso por el cual múltiples canales de información comparten un común medio de transmisión. Mientras que conmutación toma estos multiplexados canales de información del medio de transmisión y los re-ordena o direcciona, es decir cumple la función de nodo de entrada y salida, el cual conmuta la posición de diferentes canales de información multiplexados en la entrada del conmutador (*switch*) a otro con diferente posición.

La Multiplexación es usada para la transmisión de una pluralidad de canales de información sobre un simple medio de transmisión. Un canal de información puede ser un canal de voz, un canal de datos o un canal para transportar imágenes. El número de canales de voz que pueden ser multiplexado por un simple medio, dependerá del ancho de banda máximo del medio de transmisión, por ejemplo un par alambrado puede transmitir 24, 48 o hasta 96 canales de voz, un coaxial varios miles canales de voz, un radio de microondas desde cientos hasta varios miles, un satélite puede llevar desde varios cientos hasta varios miles canales de voz, así como la fibra, este numero varia dependiendo de las características del medio. Pero para realizar este proceso de llevar desde algunos cuantos a varios miles canales de voz, es necesario realizar diferentes métodos de multiplexación. Los métodos más comunes de multiplexación son FDM (*Frequency Division Multiplex*) y TDM (*Time Division Multiplex*), pero existen otros no tan comunes.

Existen cuatro diversos tipos de multiplexación, los cuales son: Espacio, Frecuencia, Tiempo y Dirección, cada uno de estos métodos o tipos de multiplexación serán enumerados y detallados a continuación.

2.1.1. Multiplexación por División del Espacio (SDM)

La división del espacio significa físicamente separados. Originalmente la red telefónica era en su totalidad el mejor ejemplo de división de espacio, lo cual no era práctico, como evidencia existen las viejas fotografías de las grandes ciudades donde el cielo estaba repleto de cables telefónicos debido a que cada usuario tenía un par alambrado asignado hasta la oficina central de comunicaciones.

Otro ejemplo fue el comienzo de las comunicaciones de datos donde cada terminal estaba conectada con el computador central por medio de un cable. El uso de este tipo de multiplexación ya no existe, debido a que se usan otros métodos que realizan eficientemente el mismo trabajo.

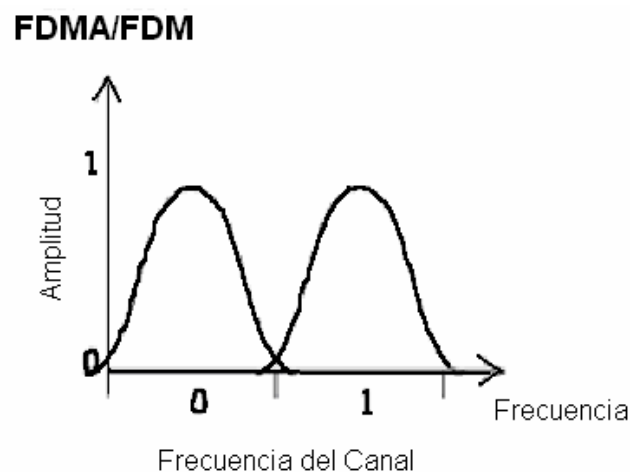
2.1.2. Multiplexación por División de Frecuencia (FDM)

Fue descubierto que varias comunicaciones analógicas podrían ser multiplexadas dentro de un mismo cable, o radio espectro, modulando cada señal a una frecuencia. El espectro de frecuencia de la señal de banda base fue entonces colocado en separadas bandas de frecuencias. Este método fue un marcado incremento de eficiencia y trabajo razonablemente bien para señales analógicas. Aunque este tipo de multiplexación tienen grandes problemas de ruido, distorsión e interferencia entre canales cuando se sobre carga el medio, por lo que la hace complicada para las comunicaciones de datos.

Sin embargo este tipo de multiplexación sigue siendo muy usada en medios como el satélite. Este tipo de multiplexación fue ampliamente usado como método análogo de adición de canales de voz dentro de un gran numero de circuitos de grupos para su transporte de alta velocidad. Por ejemplo, FDM multiplexa 12 canales de voz dentro de una portadora de 48 Khz. (12 x 4 Khz.) de ancho de banda, de lo cual se denomina en telefonía Grupo, este Grupo a su vez era multiplexado junto a otros Grupos creando un *Master* Grupo el cual representa 24 Grupos. De allí estos *Master* Grupos eran transmitidos vía microondas o cualquier otro medio que soportara ese ancho de banda como el cable coaxial.

En el ejemplo de la figura 8, se muestra como dos portadoras son colocada en diferentes frecuencias, lo que muestra que una esta trasladada en frecuencia con respecto a la otra, este mismo proceso ocurre cuando se crea un Grupo o *Master* Grupo. Una analogía en el presente a este proceso de multiplexación es el de WDM (Multiplexación por División de Longitud de Onda) y últimamente DWDM (Multiplexación por Densidad de División de Longitud de Onda) y en un futuro muy cercano UDWDM (Multiplexación por División de Longitud de Onda Ultra Densa), donde son usadas ampliamente en la fibra óptica en vez de coaxial o sistema de microondas.

Figura 8. Multiplexación por División de Frecuencia



2.1.2. Multiplexación por División de Tiempo (TDM)

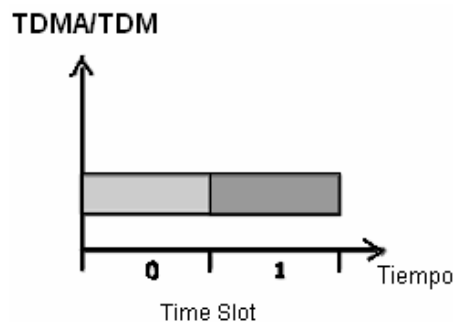
Esta técnica usó los emergentes dispositivos electrónicos de estado sólido, por lo que por primera vez la información analógica era convertida a digital para ser transmitida. Al comienzo esta tecnología y método era bien costoso, pero aun así valía la pena, debido a que el costo de

reemplazar los cables existentes era mucho mayor que utilizar esta técnica. Desde entonces, TDM ha venido a prevalecer como método de multiplexación en las redes de telecomunicaciones modernas. Ahora se puede garantizar que cada conversación de voz es convertida a datos computarizados, transmitido una distancia arbitraria y entonces convertidos de regreso a una señal audible.

La consecuencia es que la calidad de una llamada de voz transportada por TDM digital es ahora esencialmente independiente de la distancia. La comunicación de información de dato es más sensible que la de una señal de voz, pero ha sido increíblemente beneficiada desde el desarrollo de infraestructura de TDM en las redes públicas. En teoría TDM puede ser aplicada a señales análogas; sin embargo este tipo de aplicación no fue nunca ampliamente usada.

En la figura 9 se muestra un ejemplo de una Multiplexación por División de Tiempo, en ella se puede notar que cada uno de los canales contenidos en diferentes tiempos o *Time Slot*, es decir están continuamente en función del tiempo ocupando uno o múltiplos de *Time Slots* de duración .

Figura 9. Multiplexación por Division de Tiempo



2.1.4. Multiplexación por dirección

La Multiplexación por dirección fue inventada en la era de la pobre calidad de FDM en las transmisiones análogas. Un nombre común dado para la Multiplexación por Dirección, fue Multiplexación por División de Tiempo Asíncrona (ATDM). Debido a los altos costos de transmisión existía una necesidad por compartir esta entre muchos usuarios de data, donde la información era dividida en paquetes y cada uno de estos paquetes consistían en una dirección destino, que cada nodo interpretaba en información útil, esta información era transportada cuando existía paquetes o información útil que transmitir, por lo que convierte este tipo de transmisiones en una transmisión Asíncrona.

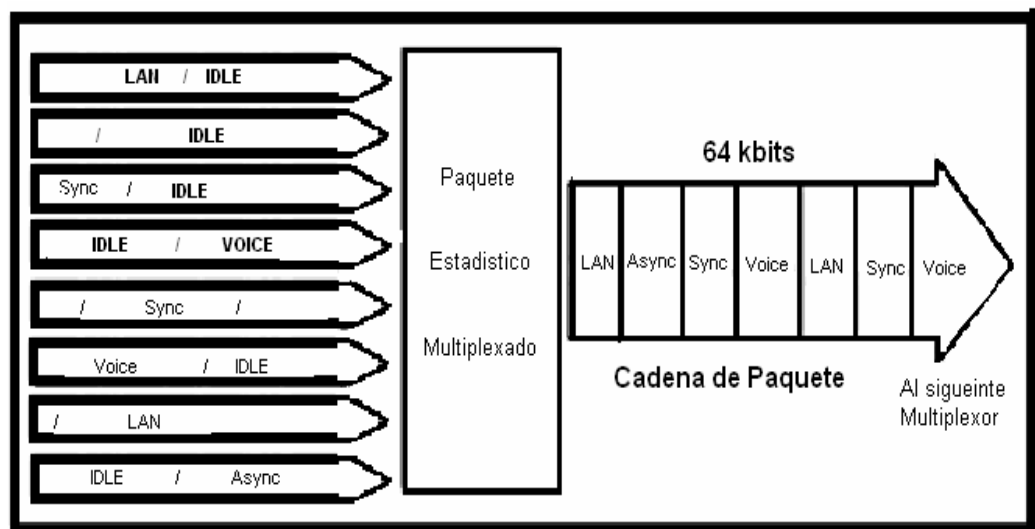
El mejor ejemplo de Multiplexación por Dirección se encuentra en los Multiplexores Estadísticos. La Multiplexación Estadística, también llamada Multiplexación por División de Tiempo Estadística (STDM), o Multiplexación por División de Tiempo Asíncrona (ATDM), opera similar a TDM, excepto que esta asigna dinámicamente los *Time Slots* solamente para los usuarios que necesitan transmitir datos.

La eficiencia puede alcanzar una relación de 4:1 con respecto al normal TDM, debido a que no desperdicia el tiempo de silencio que normalmente existe en una conversación telefónica o de transmisión de dato.

Otro tipo de Multiplexación Estadística es Multiplexación Estadística de Paquetes (SPM), la cual es una combinación de la conmutación de paquetes X.25 con la multiplexación estadística del STDM.

El SPM opera similar al STDM, con la diferencia en que esta no puede transmitir efectivamente información sensitiva a retardo tales como vídeo y voz. Un ejemplo de Multiplexación por Dirección es mostrado en la figura 10, donde diferentes canales son multiplexados dependiendo de la dirección a que pertenecen así como la velocidad en que son transmitidas.

Figura 10. Multiplexación estadística por division de tiempo



Los sistemas digitales se fueron convirtiendo mucho más complejos a principios de los años 80. Esto gracias al aumento en la demanda que se presentaba en esa época. Se presentaron problemas con respecto al costo en el ancho de banda y por lo tanto en el equipo que se utilizaría. Con esto vino la creación de un nuevo sistema, el PDH.

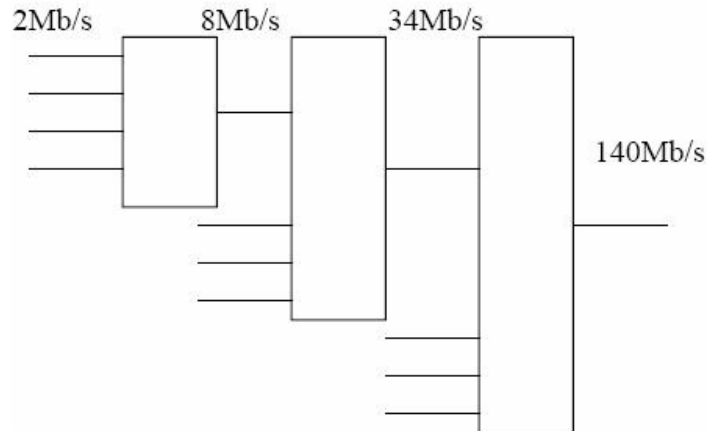
2.2. Estructura SDH

Las redes de transporte actuales incluyen estas dos principales estructuras PDH y SDH. La estructura PDH se define por los estándares E1, T1 y J1; mientras que SDH son definidas por la ITU-T (*Internacional Telecommunications Union Telecommunications Sector*) y por la ANSI (*American Nacional Standards Institute*). PDH Es una red de transmisión la cual no ha sido diseñada para una operación síncrona, las entradas al multiplexor digital no necesariamente pueden estar sincronizadas pero tienen el mismo valor nominal de tasa de transferencia. Este es un sistema pleosíncrono, llamado así porque permite la combinación gradual de tasas no síncronas. La palabra pleosíncrono tiene su origen en el griego y significa casi con el mismo reloj. Entonces, PDH define un conjunto de sistemas de transmisión que utiliza dos pares de alambres (uno para transmitir y otro para recibir) además de un método de multiplexación TDM para interpolar múltiples canales de voz y de datos digitales.

Los tres estándares a nivel internacional para PDH son;

- 1) T1, estándar de Norteamérica, consiste en 24 canales de 64 kbps dando una capacidad total de 1.544 Mbps.
- 2) E1, Europeo definido por la ITU-T, utilizado en el resto del mundo. Consiste en 30 canales de 64 kbps y 2 canales reservados para la señalización y sincronía, con capacidad total de 2.048 Mbps, en la figura 11 se muestra un ejemplo de Multiplexación PDH de este tipo.
- 3) J1, japonés, consiste en 24 canales de 64 kbps, con capacidad total de 1.544 Mbps. Con longitud de trama de 193 bits (24x8 canales de voz y/o datos más un bit de sincronización) y transmitido a una tasa de 8000 tramas por segundo.

Figura 11. Multiplexación PDH Europeo



PDH presentó varias deficiencias;

- Estándar mundial en formato digital no existía (Tres estándares incompatibles; Europeo, Norteamericano y Japonés).
- No existía estándar en interfaces ópticas, la comunicación de red es imposible a nivel óptico.
- Estructura de multiplexado era rígida y asincrónica.
- Capacidad de manejo limitada Debido a la debilidad presentada por PDH, era necesaria la introducción de un nuevo método. Aparece entonces SDH.

2.2.1. SDH

SDH y el equivalente norteamericano SONET son las tecnologías dominantes en la capa física de transporte de las actuales redes de fibra óptica de banda ancha. Su misión es transportar y gestionar gran cantidad de tipos de tráfico diferentes sobre la infraestructura física.

Esencialmente, SDH es un protocolo de transporte (primera capa en el modelo OSI) basado en la existencia de una referencia temporal común (Reloj primario), que multiplexa diferentes señales dentro de una jerarquía común flexible, y gestiona su transmisión de forma eficiente a través de fibra óptica, con mecanismos internos de protección.

En palabras simples, podemos considerar a las transmisiones SDH como tuberías las cuales portan tráfico en forma de paquetes de información. Estos paquetes son de aplicaciones tales como PDH, ATM o IP. SDH permite el transporte de muchos tipos de tráfico tales como voz, video, multimedia, y paquetes de datos como los que genera IP. Para ello, su papel es, esencialmente, el mismo: gestionar la utilización de la infraestructura de fibra esto significa gestionar el ancho de banda eficientemente mientras porta varios tipos de tráfico, detectar fallos y recuperar de ellos la transmisión de forma transparente para las capas superiores.

Tabla I. Jerarquías y Velocidades SDH

SDH	SONET	B(Mb/s)	Llamadas
	OC-1	51.84	672
STM-1	OC-3	155.52	2,016
STM-4	OC-12	622.08	8,064
STM-16	OC-48	2,488.32	32,256
STM-64	OC-192	9,953.28	129,024

Las principales características que encontramos en cualquier sistema de red de transporte SDH implementado al día de hoy son las siguientes;

-Multiplexión digital: Éste término fue introducido hace 20 años y permitió que las señales de comunicaciones analógicas sean portadas en formato digital sobre la red. El tráfico digital puede ser portado mucho más eficientemente y permite monitorización de errores, para propósitos de calidad.

-Fibra óptica: Éste es el medio físico comúnmente desplegado en las redes de transporte actuales. Tiene una mucha mayor capacidad de portar tráfico que los coaxiales o los pares de cobre lo que conduce a una disminución de los costes asociados al transporte de tráfico.

-Esquemas de protección: Éstos han sido estandarizados para asegurar la disponibilidad del tráfico. Si ocurriera una falla o una rotura de fibra, el tráfico podría ser conmutado a una ruta alternativa, de modo que el usuario final no sufriera interrupción alguna en el servicio.

-Topologías en anillo: Éstas están siendo desplegadas cada vez en mayor número. Esto es porque, si un enlace se perdiera, hay un camino de tráfico alternativo por el otro lado del anillo. Los operadores pueden minimizar el número de enlaces y fibra óptica desplegada en la red. Esto es muy importante ya que el coste de colocar nuevos cables de fibra óptica sobre el terreno es muy caro.

-Gestión de red: La gestión de estas redes desde un único lugar remoto es una prestación importante para los operadores. Se ha desarrollado

software que permite gestionar todos los nodos y caminos de tráfico desde un único computador. Un operador puede ahora gestionar una variedad grande de funciones tales como el aprovisionamiento de capacidad en respuesta a la demanda de clientes y la monitorización de la calidad de una red.

-Sincronización: Operadores de red deben proporcionar temporización sincronizada a todos los elementos de la red para asegurarse que la información que pasa de un nodo a otro no se pierda. La sincronización es de creciente concierto entre los operadores, con avances tecnológicos cada vez más sensibles al tiempo. La sincronización se está convirtiendo en un punto crítico, proveyendo a SDH un camino ideal de filosofía de red.

SDH presenta muchas ventajas:

- Primer estándar en formato digital.
- Primeras interfaces ópticas.
- Compatibilidad transversal reduce costos en la red.
- Estructura flexible de multiplexación sincrónica.
- Tráfico fácil y costo eficiente.
- Capacidad de manejo poderoso.
- Arquitectura de red nueva totalmente flexible.

2.2.2. Terminología

1) Contenedor (C-n): Estructura de información con capacidad de transmisión estándar para transportar señales PDH u otras.

Este contiene tanto bits de información como de justificación para sincronizar la señal PDH al reloj de frecuencia SDH, al igual que otros bits con función de relleno.

2) Contenedor Virtual (VC-n): Estructura de información con soporte para la interconexión en la capa de trayecto que consiste en carga útil de información y POH para administrar el trayecto de VC. Por ejemplo, VC-2, VC-11 y VC-12 son contenedores virtuales de orden inferior con carga útil C-2, C-11 y C12 respectivamente.

VC-3 y VC-4 son los de orden superior con carga útil C-3 y C-4 respectivamente o combinación de varias capas de orden inferior. A este proceso se le llama comúnmente “mapear”.

3) Unidad Tributaria (TU-n): Estructura de información cuya función consiste en proveer adaptación entre un VC de orden inferior y uno de orden superior. Esta consiste en un VC de orden inferior y un puntero TU el cual se encarga de mostrar el desplazamiento entre el comienzo de la trama VC de orden inferior y el de la trama VC de orden superior. A esto también se le llama “alineamiento” (*aligning*).

4) Grupo de Unidades Tributarias (TUG-n): Se encarga de combinar una o varias unidades tributarias (TU). Por ejemplo, un TUG-2 puede combinar un solo TU-2 o un grupo homogéneo de TU-1s idénticos y un TUG-3 puede combinar un TU-3 o un grupo homogéneo de TUG-2.

5) Unidad Administrativa (AU-n): Estructura de información cuya función consiste en proveer adaptación entre una carga útil de un VC de orden superior y un STM-N.

Esta consiste de un VC de orden superior y un puntero AU el cual se encarga de mostrar el desplazamiento entre el comienzo de una trama VC de orden superior y el de una trama STM-N. Por ejemplo, AU-4 consiste de un VC-4 y un puntero AU, mientras que AU-3 consiste de un VC-3 y un puntero AU.

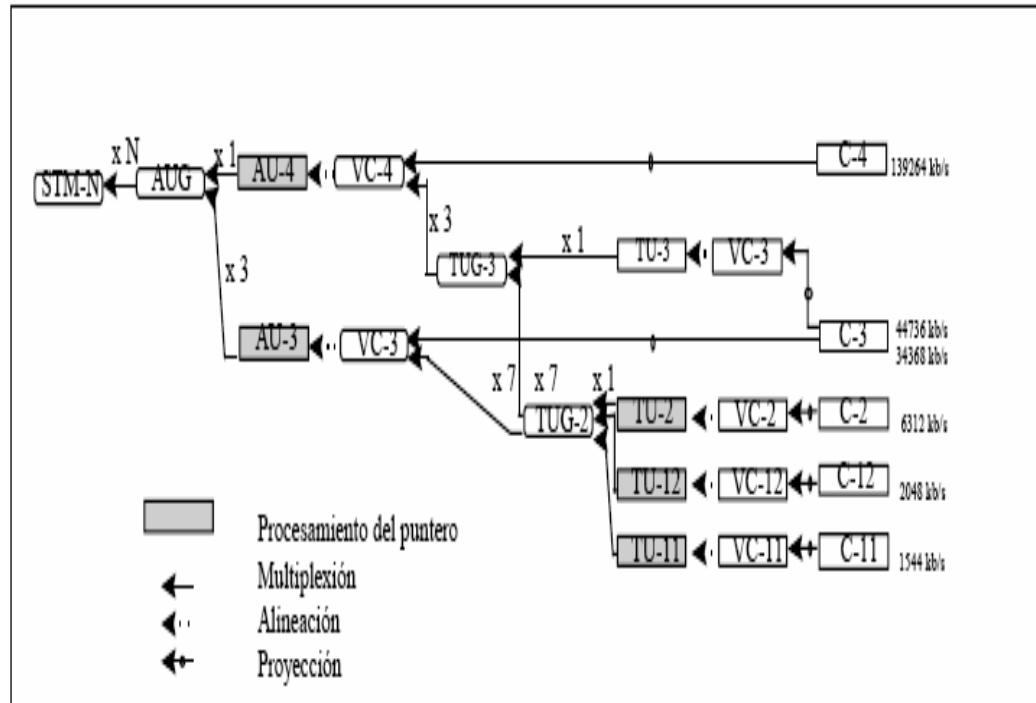
6) Grupo de Unidad Administrativa (AUG): Grupo homogéneo de un AU-4 o tres AU-3 combinados por multiplexión por intercalación de bytes.

7) Módulo de Transporte Síncrono (STM-N): Estructura de información con soporte para conexión de estrato de sección que consiste en carga útil de información y tara de sección (SOH) para gestión de sección. 155,52 Mb/s es lo definido como un STM básico. En STM-N, la velocidad es determinada por N, donde este representa un múltiplo entero de 155,52 Mb/s.

2.2.3. Estructura de Multiplexación

Hay dos formas de formar una señal STM-N. Una es a través de AU-3, usada en Estados Unidos, Japón y algunos otros países. La otra es a través de AU-4, usada en todos los demás países. Para interconectar estos dos estándares, se utiliza normalmente un TUG-2 ver figura 12.

Figura 12. Estructura de Multiplexión SDH



Fuente: Rosas Fernández, J. B.

Sistemas de Transmisión SDH.

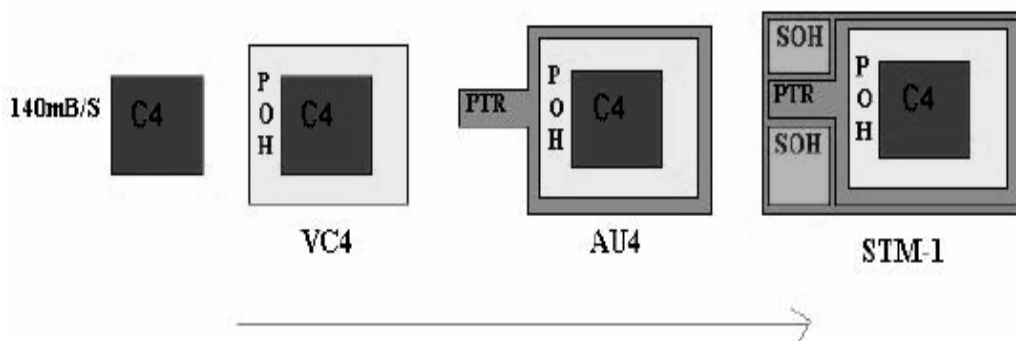
Página 10

La estructura SDH; La señal STM-1, el elemento básico del SDH, comprende 2430 bytes de información. Esto está distribuido en 270 columnas por 9 filas. Dentro de ellos están contenidos la carga útil del STM-1, los punteros y las cabeceras de sección.

La construcción del área de carga STM es definida por la estructura mapeada SDH. Las tasas de transmisión de los clientes son mapeadas en contenedores (C) y una cabecera de camino (POH) añadida para dar lugar a un contenedor virtual (VC). Estos formarán Unidades Tributarias (TU) las cuales consisten en contenedores virtuales más el puntero.

El puntero indica la posición de contenedor virtual dentro de la unidad tributaria. La unidad tributaria es empaquetada en Grupos de Unidades Tributarias (TUGs) y finalmente en Grupos de Unidades Administrativas (AUGs) de acuerdo a las reglas de estructura de multiplexión SDH que podemos observar en la figura 13. Resaltar que este empaquetado secuencial puede realizarse anidando pequeños contenedores virtuales junto con otros mayores.

Figura 13. Formación STM-1 a partir de PDH (E4)

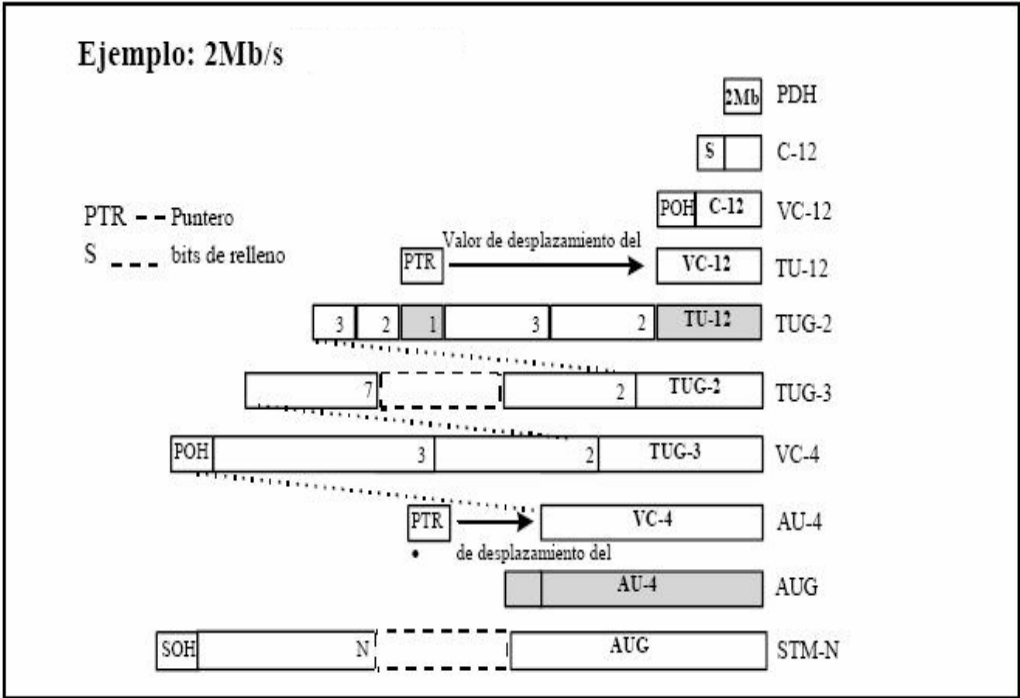


Las reglas SDH de multiplexión aseguran que la posición exacta de un contenedor virtual contenido en el área de carga útil puede ser identificada por cada nodo. Esto tiene la ventaja de que cada nodo puede directamente acceder a un contenedor virtual de la carga útil sin necesitar desmontar y volver a construir la estructura de carga. Las montañas de multiplexores que aparecían en las redes PDH no son requeridas.

Cuando son necesarias tasas de transmisión mayores que STM-1, éstas son obtenidas usando un simple esquema de concatenación de bytes, alcanzando tasas de 622 Mbps (STM-4), 2.5 Gbps (STM-16) y 10

Gbps (STM-64). A continuación en la figura 14 se presenta un ejemplo de cómo se va formando un STM-N con los encabezados y punteros a partir de PDH de 2 Mbps.

Figura 14. Estructura de Multiplexión SDH



Fuente: Rosas Fernández, J. B.
Sistemas de Transmisión SDH.
 Página 10

2.3. Introducción al Método de Multiplexación por Longitud de Onda

Ya es una realidad que la mayoría de las redes están convergiendo hacia IP (*Internet Protocol*). Para cumplir con esta demanda de nuevos servicios, se hace necesaria la disponibilidad de un gran ancho de banda. Es aquí, donde hace su aparición la tecnología WDM (*Wavelength Division Multiplexing*), la cual entrega este gran ancho de banda necesario para

correr estas aplicaciones, por ejemplo: Video, Audio, Servicios Multimediales, etc. WDM incrementa la capacidad de transmisión en el medio físico (fibra óptica), asignando a las señales ópticas de entrada, específicas frecuencias de luz (longitudes de onda o λ s), dentro de una banda de frecuencias inconfundible. Una manera de asemejar esta multiplexación es que cada canal corresponde a un diferente color, y varios canales forman un “arco iris”.

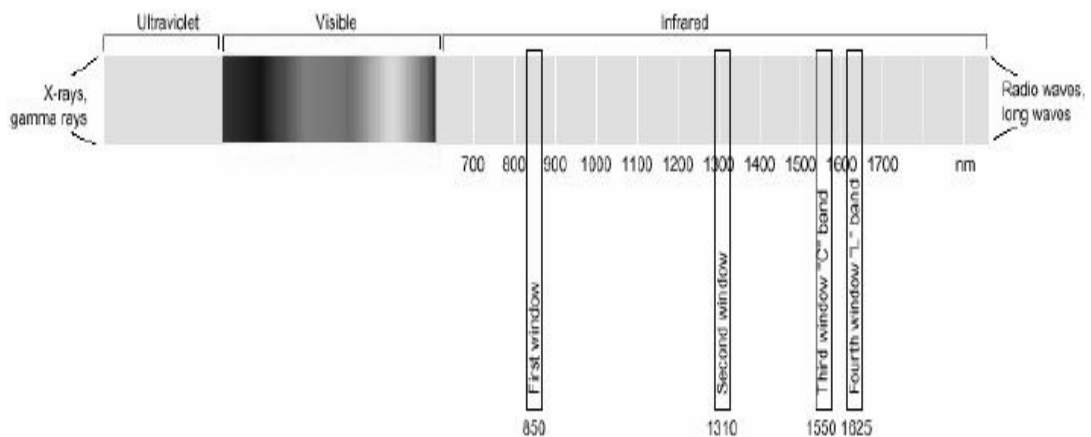
En un sistema WDM, cada longitud de onda es enviada a la fibra y las señales son demultiplexadas en el receptor. En este tipo de sistema, cada señal de entrada es independiente de las otras. De esta manera, cada canal tiene su propio ancho de banda dedicado; llegando todas las señales a destino al mismo tiempo. La gran potencia de transmisión requerida por las altas tasas de bit (*Bit Rates*) introduce efectos no-lineales que pueden afectar la calidad de las formas de onda de las señales.

Es importante tener en cuenta que WDM utiliza fibra mono-modo para enviar múltiples ondas de luz de diferentes frecuencias. No se debe confundir con una transmisión multi-modo, en la cual la luz es introducida en una fibra a diferentes ángulos, resultando diferentes “modos” de luz. Una sola longitud de onda es usada en transmisión multi-modo.

El auge de la fibra óptica está estrechamente ligado al uso de una región específica del espectro óptico donde la atenuación óptica es baja. Estas regiones, llamadas ventanas, se ubican en áreas de alta absorción. Los primeros sistemas en ser desarrollados operan alrededor de los 850 nm, la primera ventana en fibra óptica basada en Silicio.

Una segunda ventana (Banda S), a 1310 nm, se comprobó que era superior, por el hecho de tener menor atenuación. La tercera ventana (Banda C), a 1550 nm, posee la menor pérdida óptica de manera uniforme. Hoy en día, una cuarta ventana (Banda L), cerca de los 1625 nm, está bajo desarrollo y en sus primeros usos. Estas cuatro ventanas se pueden observar en el espectro electromagnético mostrado en la Figura 15.

Figura 15. Espectro electromagnético

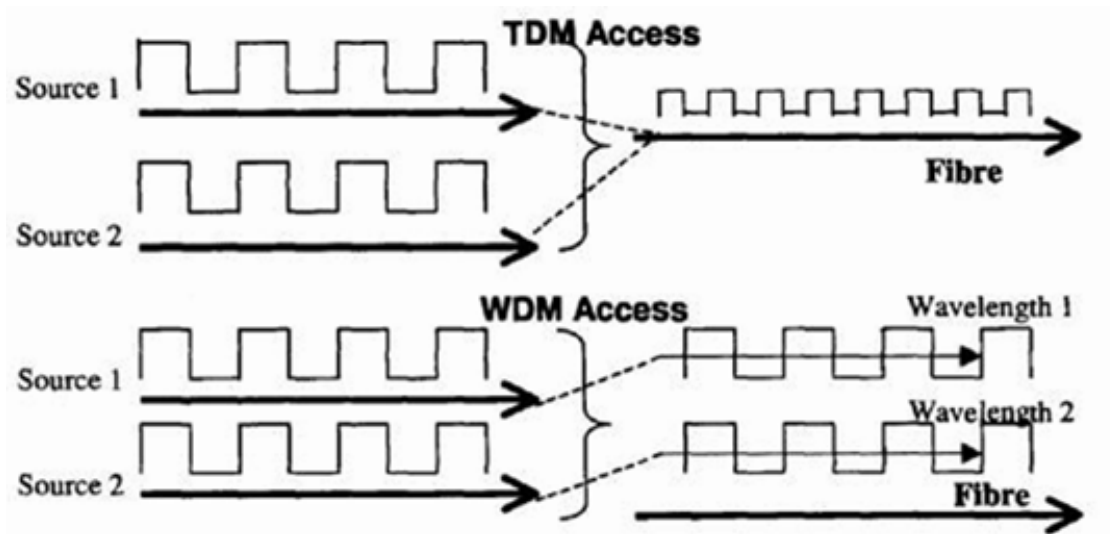


Los primeros comienzos de WDM, a fines de la década de los 80's, utilizaban dos longitudes de onda ampliamente espaciadas en las regiones de los 1310 nm y 1550 nm (o 850 nm y 1310 nm), algunas veces llamadas WDM banda ancha (*Wideband WDM*).

A comienzos de los 90's floreció una segunda generación de WDM, algunas veces llamada WDM Banda estrecha (*Narrowband WDM*), en la cual se utilizaban entre dos a ocho canales, que estaban separados a intervalos de aproximadamente 400 GHz en la ventana de los 1550 nm.

Hay una demanda continua para el ancho de banda en la construcción de la Internet. Dos técnicas de Multiplexación se han desarrollado como se muestra en la Figura 16.

Figura 16. TDM vrs WDM



Fuente: Liu, Kevin H.

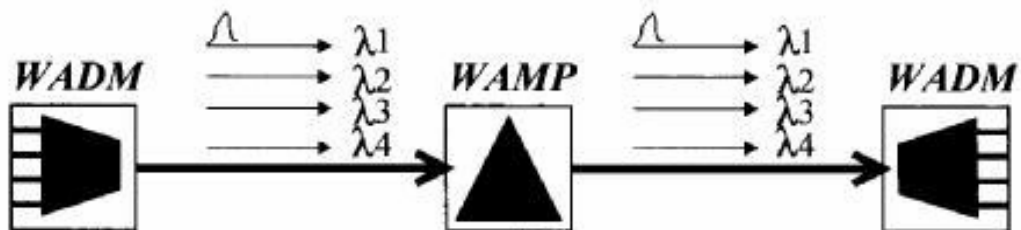
IP over WDM

Página 2

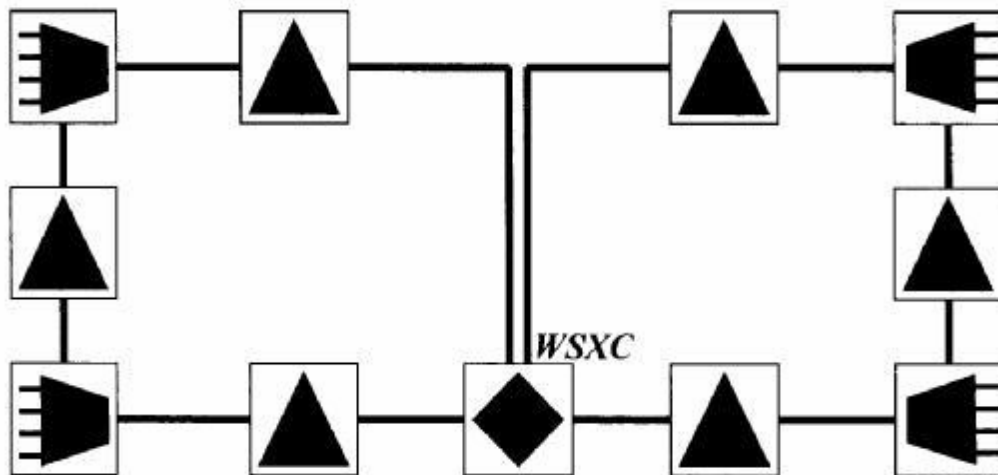
La Multiplexación por División de Tiempo (TDM) se logra a través de Multiplexación de muchas cadenas de datos de baja velocidad en una cadena de velocidad más alta a una tasa de bit más alta por medio del no traslape, hay hendiduras asignadas a las cadena de datos originales. La Multiplexación por División de Longitud de Onda (WDM) se usa para transmitir los datos simultáneamente a las longitudes de onda de los portadores múltiples a través de una sola fibra que es análogo a usar la Multiplexación por División de Frecuencia (FDM). WDM requiere canales de transmisión paralelos de longitudes de onda diferentes dentro de una sola fibra física.

No sólo las demandas sofisticaron el equipo, también los aumentos de la probabilidad de interferencia entre canales. A partir del 2001, los switch ópticos WDM comerciales pueden soportar 256 canales de longitud de onda cada uno de los cuales puede soportar una rata de datos OC-192 (10 Gbps). En un punto a punto el sistema de transmisión óptico WDM consiste en, Multiplexor de Longitud de Onda *Add/Drop* (WADM) y Amplificador de Longitud de Onda (WAMP) vea la Figura 17 (a).

Figura 17. Red Óptica WDM Punto a punto



a) Sistema de Transmisión WDM para cuatro longitudes de onda



b) Red WDM doble anillo de cuatro longitudes de onda

Fuente: Liu, Kevin H.

IP over WDM

Página 3

En una red óptica WDM empleada punto a punto, la transmisión del sistema WDM requiere los llamados Conmutador Selector de Longitud Onda (WSXC) estos son capaces de cambiar la señal entrante hacia una fibra diferente y una frecuencia óptica diferente. Un ejemplo de red WDM de doble anillo de cuatro longitudes de onda se muestra en la Figura 17(b).

En la industria de la red óptica, WADM, WSXC, y WAMP son también conocidos como Multiplexor Add/Drop Óptico (OADM), Conmutadores Ópticos (OXC), y Amplificador Óptico (OAMP). Nosotros usamos las siglas WADM, WSXC, y WAMP para dar énfasis a los elementos de red en una red óptica WDM.

2.4. Protocolo de Internet (IP)

Se trata de un protocolo de nivel 3 no orientado a la conexión, permitiendo el intercambio de datos sin el establecimiento previo de la llamada. Una característica fundamental es que soporta las operaciones de fragmentación y desfragmentación, por medio de las cuales un datagrama se subdivide y segmenta en paquetes más pequeños para ser introducidos a la red, y luego en el destino se reconstruyen en su formato original para entregarlos al nivel superior, la otra operación que revista importancia es el enrutamiento, el cual se implementa por medio de un esquema de direccionamiento.

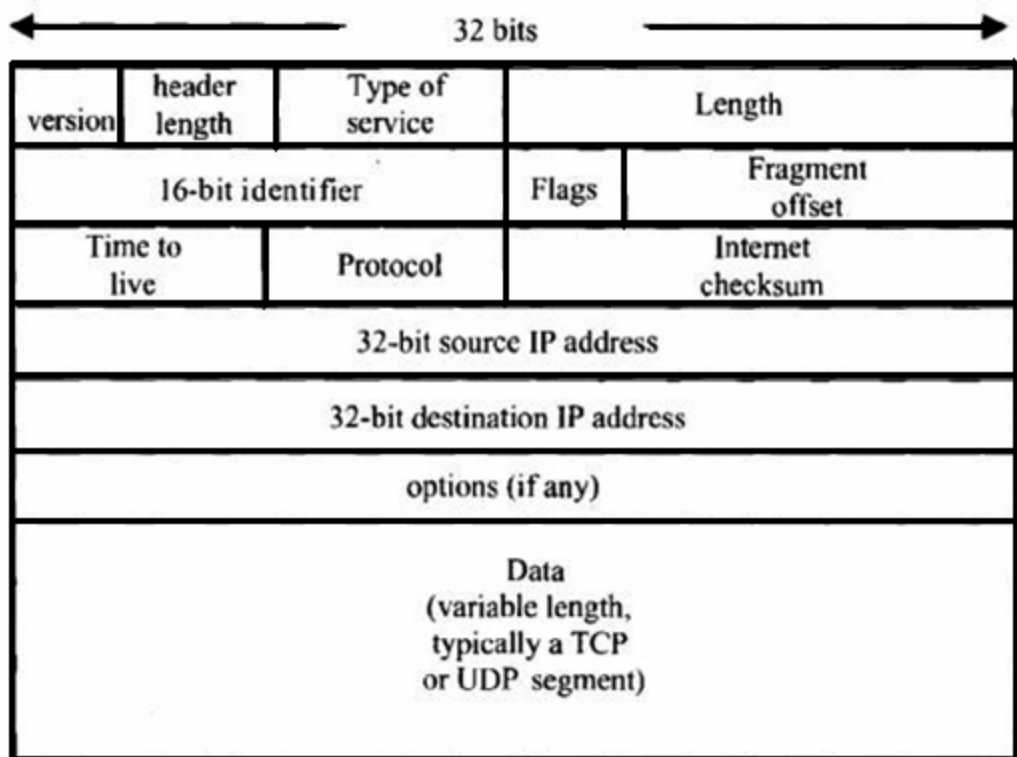
El Protocolo de Internet es el responsable de la comunicación entre las máquinas en una estructura, él proporciona la capacidad de comunicación entre cada elemento. Las funciones más importantes logradas por IP son la atribución de un contorno de dirección independiente de la dirección e independiente de la propia topología usada, además de la capacidad de

rutear y para tomar decisiones del ruteamiento para el transporte de los mensajes entre los elementos que se interconectan.

2.4.1. El Paquete IP

IP define la unidad básica de transmisión que es el paquete IP. En este paquete la información pertinente a enviar se pone en este paquete para llegar al destino. El paquete IP posee el formato descrito en la figura 18.

Figura 18. Formato Paquete IP



Fuente: Dixit, Sudhir.

IP over WDM: Building the Next Generation Optical Internet

Página 37

Los campos más importantes para proceder se describen a continuación;

1. VERSIÓN - Informa la versión de IP que se esta usando.
2. LONGITUD DIRECTOR - Informa el tamaño del director IP en grupos de 4 bytes.
3. TIPO DE SERVICIO - Informa como el paquete debe tratarse, de acuerdo con la prioridad y el tipo de servicio.
4. IDENTIFICACIÓN - sólo Identifica el paquete IP entre los otros transmitidos por la máquina. Este campo se usa para identificar el paquete IP en el caso de que este fragmentado.
5. BANDERAS (3 *bytes*) - un byte identifica este datagrama si es el último fragmento de un paquete IP o existen más.
6. FRAGMENTO COMPENSADO - Informa al paquete respecto al posicionamiento del fragmento IP de que es parte.
7. TIEMPO DE VIDA - Este valor es el decremento a cada 1 segundo que el paquete pasa y a cada entrada por el que va. este limita la duración del paquete IP y evita que un paquete sea eterno.
8. EL PROTOCOLO – Informa las reglas a seguir. IP puede llevar los mensajes UDP, TCP, ICMP, y varios.
9. INTERNET *CHECKSUM* - Valor que ayuda a garantizar la integridad del título del paquete.
10. DIRECCIÓN FUENTE – IP del origen de la máquina de donde viene el paquete.
11. DIRECCIÓN DESTINO - IP del destino de la máquina a donde va el paquete.

2.5. ¿Por qué IP y por qué WDM?

En condiciones de volumen, el tráfico de los datos ha superado ya el tráfico de voz. La inversión en soluciones IP es natural desde que es la capa de integración generadora común que es transparente a la capa 2 diferente a las tecnologías de la capa física. Mientras muchas soluciones de QoS para IP todavía están esperando la madurez y éxito del comercio, este problema se ha aliviado más, debido a la explosión rápida en la disponibilidad de ancho de banda que las redes ópticas proporcionan. Debido a esto, el tiempo real, los servicios multimedios incluso ya están volviéndose posible con un buen esfuerzo de Internet.

Las redes públicas basadas en paquetes requieren routers fiables y escalables, multiplexores *add/drop*, conmutadores, etc. Si la capacidad del ancho de banda continúa aumentando sobre la fibra, los elementos de la red anteriormente mencionados deben poder procesar los datos a una tasa de línea, preferiblemente óptico totalmente. Para comprender esta visión, la arquitectura de la red debe cambiarse. Debe apoyarse la red basada en servidores, aplicaciones, y la Web. Todo esto necesita pasarse con el menor costo posible. Afortunadamente, las redes ópticas proporcionan el más bajo costo por bit que otros medios de comunicación de no fibra que se usaron en el pasado. El acceso de banda ancha es crítico para la capacidad del espinazo óptico para ser totalmente utilizable y benéfico, además de económico. Aumentando la eficacia de la red se requerirán menos capas de red y el apoyo integrado por IP. Eso requiere una capa de adaptación al desarrollo entre las capas IP y WDM. Si la tasa se localiza en 2.5 o 10 Gbps en cada canal en la fibra óptica, la capa de transporte óptica debe estar en ese rango, cambiar un paquete a una tasa más baja es mucho más caro en el dominio óptico que en el dominio eléctrico.

Finalmente, concatenando 155-Mbps, 622-Mbps, y 2.5-Gbps interfaces con luz SONET/SDH se idea que la trama sea monitoreada de una forma fácil. El aumento del numero de usuarios, el desarrollo de tecnologías de acceso de banda ancha y el incremento de nuevos servicios y aplicaciones multimedia con requisitos de entrega en tiempo real están dejando obsoletas las redes existentes, que deberán aumentar el ancho de banda para hacer frente a las exigencias actuales y futuras. Se hace necesario el desarrollo de nuevas tecnologías de transmisión y conmutación de alta velocidad, y en su búsqueda partimos de la base de utilizar sistemas de comunicaciones ópticas, cuyos beneficios son bien conocidos y muy eficientemente explotados desde la aparición de la tecnología de Multiplexación por división de longitud de onda (WDM, *Wavelength División Multiplexing*).

Las redes WDM surgen como una nueva tecnología de conmutación candidata al soporte de las redes troncales de nueva generación, por ser capaz de proporcionar un gran numero de canales o longitudes de ondas de alto ancho de banda (del orden de los gigabits por segundo) en una única fibra óptica. Esta tecnología aumenta la capacidad de las redes existentes en más de dos órdenes de magnitud.

Por otro lado, el protocolo IP de Internet se vislumbra como la plataforma más importante para transportar datos por la red, cualquiera sea la naturaleza de la fuente. La evolución de Internet se centra pues en desplegar el protocolo IP sobre redes totalmente ópticas WDM mediante el desarrollo de arquitecturas y protocolos en las capas superiores que permitan explotar ese enorme ancho de banda proporcionado en el nivel físico.

3. LAS REDES ÓPTICAS

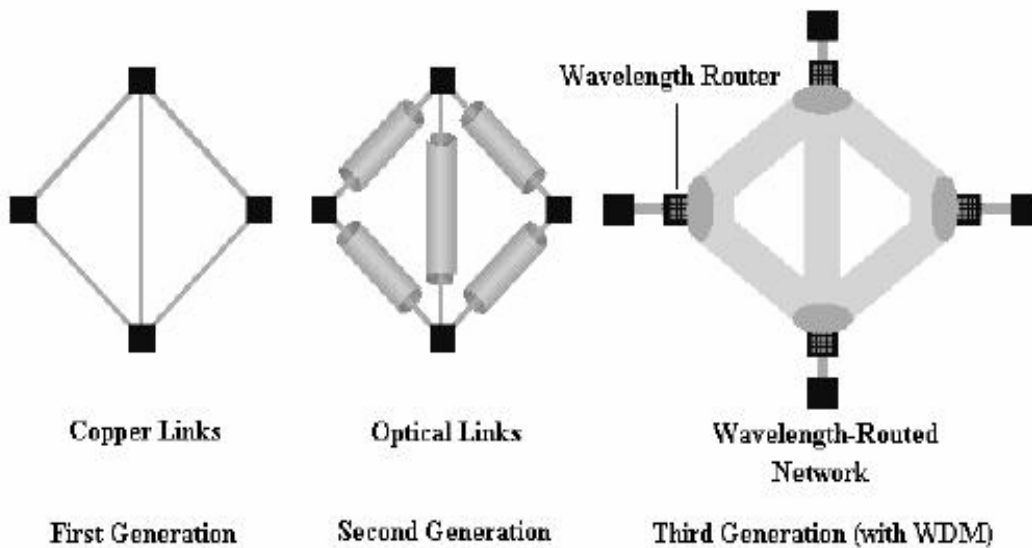
Las redes totalmente ópticas son aquellas en el que el camino entre los nodos de fin a fin es completamente óptico. Los caminos son hechos por rayos de luz. Cada rayo de luz puede ser amplificado ópticamente o tiene su longitud de onda alterada debida al camino, pero este es un camino completamente óptico. Como la tecnología *optoelectronica* para construir las redes ópticas se han acercado a una viabilidad funcional y económica, cada vez más grupos mundiales está estudiándolos como una posible base para construir las redes del futuro, para el área metropolitana y los medios de distribución de áreas locales. En la luz los adelantos potenciales y recientes, las redes totalmente ópticas son a menudo consideradas el candidato principal para constituir la base que llevará el trafico de datos globales cuyo volumen ha estado creciendo a proporciones impresionantes.

Según la tecnología física empleada, uno puede identificar tres generaciones de redes (Figura 19). Redes construidas antes de la emergencia de tecnología de fibra óptica son la primera generación, conecta una red de computadoras (es decir las redes se basaron en alambre de cobre o radio). La segunda generación conecta una red de computadoras empleando fibras en arquitecturas tradicionales. La opción de fibra es debida a su ancho de banda grande, proporción de error baja, fiabilidad, disponibilidad, y facilidad de mantenimiento. Aunque algunas mejoras de la actuación pueden lograrse empleando fibras, la actuación para esta generación está limitada por la velocidad máxima de electrónica (unos Gbps) empleado en los switch y fin de nodos. Este fenómeno se llama el cuello de botella de la electrónica.

Para satisfacer los requisitos del ancho de banda crecientes de aplicaciones emergentes, se emplean nuevos acercamientos para aprovecharse el inmenso ancho de banda (aproximadamente 30Thz en la región de pérdida baja de fibra monomodo en la ventana cerca de 1500nm) disponible en estas fibras. Por consiguiente, las redes de tercera generación se diseñan como todo óptico para evitar el cuello de botella de la electrónica. Es decir, se lleva la información en el dominio óptico (sin enfrentar cualquier conversión electro-óptica) a través de la red hasta que alcance su último destino.

La emergencia de fibras monomodo, amplificadores de ancho de banda totalmente ópticas, couplers ópticos, láser (transmisores)/filtros (receptores), multiplexores *add/drop* ópticos y los Conmutadores, ópticos hacen que la tercera generación conecte una red de computadoras.

Figura 19. Árbol de Generación Óptico



Para hacer uso del inmenso ancho de banda disponible sin experimentar el cuello de botella de la electrónica, puede introducirse la concurrencia entre transmisiones de usuarios múltiples. En las redes ópticas, pueden proporcionarse las concurrencias a través de hendiduras de tiempo OTDM (Multiplexación de División de Tiempo Óptico), forma de onda OCDM (Multiplexación de División de Código Óptico) o longitud de onda como WDM (Multiplexación de División de Longitud de Onda), DWDM (Multiplexación de División de Longitud de Onda Densa), UDWDM (Multiplexación de División de Longitud de Onda Ultra Densa).

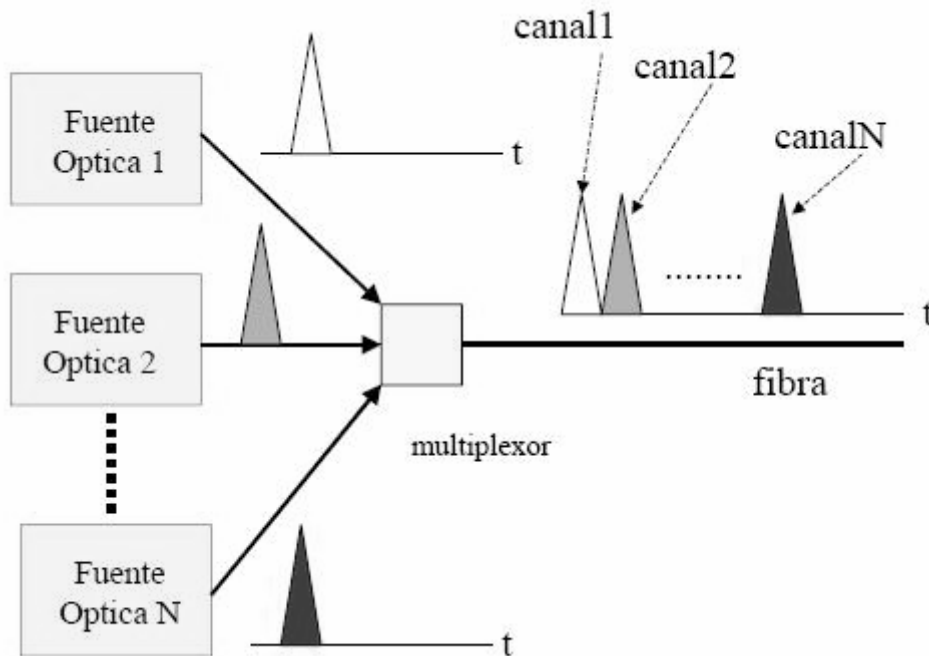
3.1. OTDM (Multiplexación por División de Tiempo Óptico)

En Multiplexación por División de Tiempo Óptico (OTDM), muchos canales de velocidad baja, cada uno transmitido en la forma de pulsos ultra cortos, son entrelazados en intervalos de tiempo para formar un solo canal de gran velocidad. Con este método, puede mejorarse la información que lleva una capacidad de red a 100 Gbps o superior sin experimentar el cuello de botella de la electrónica. Para evitar la interferencia entre canales, los transmisores deben ser capaces de generar pulsos ultra cortos que se sincronizan perfectamente al canal deseado (*time slot*), y los receptores deben tener una sincronización perfecta al canal deseado (*time slot*). OTDM es una técnica de Multiplexación prometedora, pero todavía está en el nivel de investigación. Es Similar a TDM, la única diferencia es que OTDM es más rápida, y los dispositivos usados en las redes de OTDM son ópticos.

Las ventajas principales de esta técnica de Multiplexación es que sólo una fuente se requiere y el equipo en el nodo es más simple en una sola arquitectura de canal. Los problemas de OTDM son asociados con la inmadurez de dispositivos totalmente ópticos.

Se necesitan láser más rápidos y el cronometrado de sincronización y alineación todavía son problemas. Adicionalmente, aunque los sistemas eran técnicamente factibles, no sería económicamente viable. Otra debilidad es que OTDM no es una técnica de multiplexación transparente. La multiplexación por división de tiempo óptico (OTDM) es similar en su concepción a la correspondiente al dominio eléctrico y se ilustra en la figura 20.

Figura 20. Multiplexación por División de Tiempo Óptico



Se trata de transmitir N canales ópticos digitales de velocidad B (bit/s), denominados tributarios, por el mismo medio de transmisión. Para ello, se forman tramas de N bits, entrelazando sucesivamente en el tiempo un bit correspondiente a cada uno de los canales que se desea transmitir, cada $1/B$ segs ha de formarse una nueva trama, de forma que cada uno de los tributarios que hay que transmitir proporciona un bit a la trama de

transmisión cada $1/B$ segs, o lo que es lo mismo, la información de cada tributario se transmite a la velocidad requerida de B (bit/seg). La velocidad de línea, es decir, la correspondiente a la trama completa, es superior que la correspondiente a cada tributario individual, ya que se necesita transmitir N bits cada $1/B$ s, por lo que en consecuencia, la velocidad en línea es de NB (bit/s).

Los objetivos de OTDM se orientan hacia la consecución de sistemas con velocidades en línea de 100 Gb/s, formados bien por 10 canales de 10 Gb/s cada uno de ellos o por 5 canales de 20 Gb/s por canal. En la actualidad los resultados más sobresalientes se enmarcan en la demostración experimental de sistemas a 40 Gb/s, formados por la multiplexación de 4 canales de 10 Gb/s.

La transmisión empleando OTDM requiere la generación de pulsos ópticos estrechos y, preferentemente con formato de retorno a cero (RZ). Bajo condiciones de propagación reales, ello implica que este tipo de sistemas serán en principio bastante vulnerables a la dispersión cromática, lo que constituye una desventaja, ya que será necesario emplear técnicas de compensación de dispersión. Una alternativa que comienza a ser explorada sin embargo, consiste en el empleo de solitones para la implementación de sistemas OTDM. Esta solución alivia en principio los estrictos requisitos impuestos por la dispersión cromática.

Otro aspecto importante es el que atañe a la longitud de onda de las fuentes empleadas por los tributarios. Si estas fuentes son diferentes, hay que tener sumo cuidado en que la diferencia de retardos entre las longitudes de onda centrales de dichas fuentes, no superen una determinada fracción f de la velocidad total de línea, para no alterar la posición temporal de los

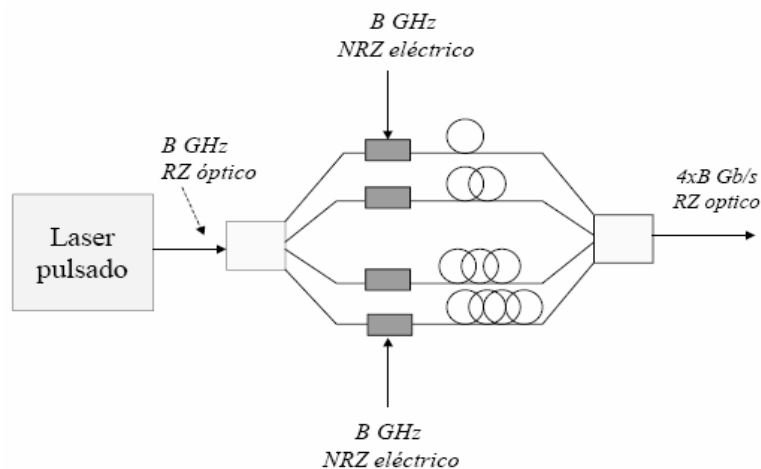
canales entrelazados dentro de una trama. Si por ejemplo, D representa al parámetro de dispersión cromática de la fibra, L la longitud del enlace, NB la velocidad de línea, entonces la separación de longitudes de onda correspondientes a las fuentes de dos tributarios contiguos, ha de ser:

$$\Delta\lambda < f / (NBDL)$$

Para un caso típico de interés con $L=100$ Km., $NB=40$ Gb/s, $D= 1$ ps/(Km. x nm) y $f = 10\%$, se obtiene $Df < 0.025$ nm, o lo que es lo mismo, alrededor de 3 GHz a 1550nm de longitud de onda. Claramente, este requisito es muy restrictivo, aunque no imposible de conseguir con el estado actual de la tecnología.

Para evitar la limitación anterior, es costumbre proponer el empleo de una única fuente maestra para generar la señal óptica base (pulsada) de todos los tributarios. En la figura 21 se muestra un esquema basado en dicha solución, que integra además un multiplexor o combinador temporal para un sistema de cuatro canales.

Figura 21. Fuente óptica de Pulsos



Su funcionamiento en esencia es el siguiente: Una fuente óptica genera un tren periódico de pulsos ultracortos RZ, de forma que el inverso del periodo de repetición de los pulsos es B GHz. La señal generada por la fuente se divide en potencia por igual entre los tributarios de la red (en este caso 4) a través de un acoplador $1 \times N$ pasivo. Cada una de estas ramificaciones constituye la señal maestra de un tributario. La modulación de cada tren periódico se realiza mediante un modulador externo propio de cada tributario que opera a una velocidad de B Gb/s que imprime así la información que éste desea enviar. A continuación se realiza el proceso de entrelazado de bits, para lo cual, la salida de la señal del tributario " i " se retarda una cantidad $1/NB$ con respecto a la del tributario " $i-1$ " mediante el empleo de una línea óptica de retardo.

Para finalizar sin embargo hay que apuntar que la técnica OTDM es la que abre con mayor claridad, las puertas hacia una posible implementación de futuras redes ópticas que funcionen mediante conmutación de paquetes. Además ha de resaltarse el hecho de su compatibilidad y posibilidad de combinación con otras técnicas de multiplexación, en concreto con WDM.

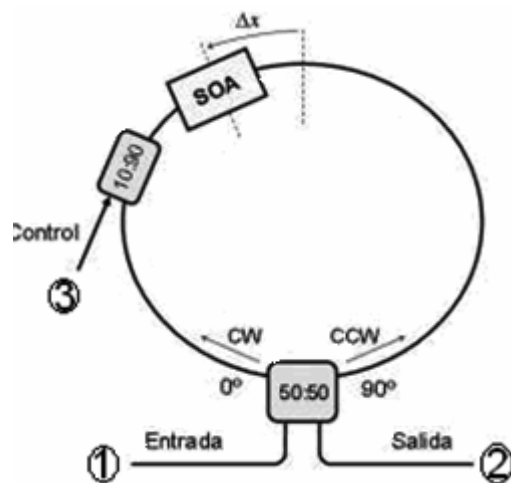
Al igual que los canales ópticos se combinan o multiplexan directamente en el dominio óptico, es necesario disponer de mecanismos para demultiplexar o seleccionar directamente en el dominio óptico la información correspondiente a un tributario deseado.

3.1.1. TOAD (Demultiplexor Asimétrico Óptico Terahertz)

Las características del TOAD (*Terahertz Optical Asymmetric Demultiplexer*) sugieren que se trata del conmutador completamente óptico más versátil y de mayores prestaciones que existe, la arquitectura

básica de este dispositivo consiste en un interferómetro de Sagnac en el cual se coloca un SOA (Amplificador Óptico Semicondutor) de forma asimétrica (figura 22).

Figura 22. TOAD (Demultiplexor Asimétrico Óptico Terahertz)



Cuando se introduce en el bucle un pulso de control por el puerto 3, el índice de refracción del SOA puede cambiarse rápidamente y, por lo tanto, la fase de las señales que lo atraviesan. En ausencia de pulso de control, un pulso de entrada por el puerto 1 se divide en dos pulsos en el acoplador 50:50 de la entrada, éstos recorren el bucle en sentidos contrarios y alcanzan de nuevo el acoplador con las mismas fases. El SOA es un dispositivo bidireccional que afecta por igual a ambos pulsos. Dado que el acoplador óptico tiene un comportamiento similar a un híbrido de 180° , la interferencia entre ambos pulsos hace que la señal vuelva a salir por el puerto 1.

Sin embargo, ajustando el cambio de fase que produce el pulso de control sobre uno de los pulsos que atraviesan el SOA, es posible

modificar el comportamiento interferométrico y que el pulso de entrada salga por el puerto 2.

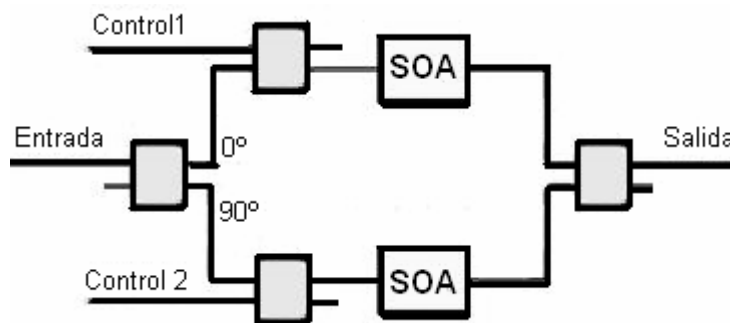
La clave de esto se encuentra precisamente en la posición asimétrica del SOA en el interior del bucle y que permite que los pulsos que circulan por el mismo en sentidos contrarios atraviesen el SOA en instantes de tiempo diferentes. Luego el pulso de control puede aplicarse al SOA después de que haya pasado el pulso CW (*clockwise*) y antes de que llegue el pulso CCW (*counter-clockwise*) para inducir en este último el cambio de fase adecuado. El pulso de control suele aplicarse con una polarización diferente a la de la señal para poder eliminarlo fácilmente a la salida del dispositivo.

Empleando esta arquitectura se ha demostrado una ventana de conmutación de tan sólo 1,5 ps que permite una capacidad de 660 Gbit/s. La duración temporal de esta ventana se encuentra limitada por fenómenos internos del SOA, si bien se espera obtener ventanas del orden de cientos de femtosegundos empleando dispositivos integrados. La tasa de repetición depende del tiempo de recuperación del SOA tras el pulso de control, el cual es del orden de cientos de picosegundos. Mediante técnicas de polarización se han conseguido tasas de repetición superiores a los 100 GHz.

Otra ventaja del TOAD es que requiere pulsos de control de baja energía, ya que el elemento no lineal es un dispositivo activo. Así, se ha demostrado la demultiplexación con pulsos de control de tan sólo 250 fJ que se encuentran por debajo del umbral para inducir efectos no lineales en la fibra. Como efecto negativo, la emisión espontánea del SOA degrada la relación señal a ruido de la señal demultiplexada.

La figura de ruido típica del SOA es de 6 dB. Adicionalmente, el TOAD puede funcionar como conmutador de paquetes simplemente cambiando la duración de la ventana de conmutación. Aunque se ha comentado la estructura de TOAD basada en el interferómetro de Sagnac, existen también otro tipo de configuraciones de interferómetro que consiguen conmutar y demultiplexar señales de alta velocidad, como por ejemplo aquellas basadas en el interferómetro Mach-Zehnder (figura 23).

Figura 23. TOAD basado en Mach-Zehnder



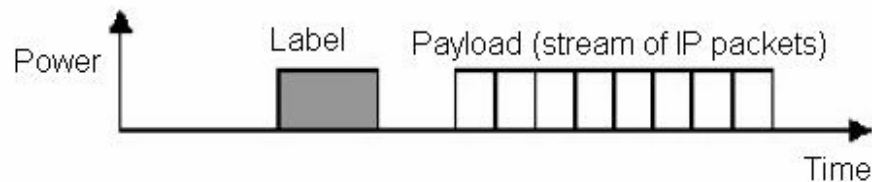
En este caso, la señal de datos se separa en los dos brazos del interferómetro y vuelve a combinarse a la salida del mismo empleando acopladores. Dependiendo del desfase producido sobre la señal en cada uno de los brazos, ésta puede conmutarse a una u otra de las dos salidas del dispositivo.

3.1.1. Etiquetado TDM

En el etiquetado TDM, también conocido como etiquetado en serie, la información de la etiqueta se junta en el dominio temporal, poniéndola delante del propio paquete de información. Este paquete de datos con su correspondiente etiqueta se codifica en la misma longitud de onda. Por lo

tanto, datos y etiqueta quedan codificados en la misma longitud de onda. Eso hace que deban utilizarse bandas de guarda y bits de sincronización.

Figura 24. Etiquetado TDM



Las ventajas de esta técnica vienen dadas por el hecho de transmitir toda la información por un mismo canal, de modo que se simplifica el posterior algoritmo de enrutamiento en los nodos. Como desventaja debemos argumentar el estricto nivel de sincronización que debemos asegurar tanto en el proceso de inserción de etiquetas como en el proceso de borrado y reescritura de etiquetas. Hay que notar también que la tasa de bit usada para la etiqueta puede ser la misma que para la información (TDM sincrónico), o menor (TDM asíncrono). Este segundo caso es el de mayores ventajas ofrece puesto que nos permite utilizar equipo electrónico de baja velocidad para el procesamiento de las etiquetas.

3.2. OCDM (Multiplexación por División de Código Óptico)

En Multiplexación por División de Código Óptico (OCDM), cada canal se asigna una única sucesión de código que se usa para poner en código los datos de baja velocidad. Los canales se combinan y transmiten en una sola fibra sin interferir entre sí. Esto es posible porque la sucesión de código de cada canal es escogido tal que su correlación cruzada entre las sucesiones de código de los otros canales es pequeña, y el espectro de la sucesión de código es más grande que el ancho de banda señalado, por

consiguiente, es posible tener una capacidad de red agregada más allá de la velocidad límite de electrónica.

Como OTDM, OCDM requiere la tecnología de pulso corto, y sincronización a un tiempo para su detección. Sumariamente, en OCDM cada código óptico (canal) se asigna así mismo un camino independiente (OCP), pueden transmitirse Células con OCPs diferente al mismo tiempo en la misma fibra. OCDM es transparente y no se necesita sincronización entre los canales diferentes. OCDM usando además WDM puede mejorar la capacidad de comunicación de la red notablemente, también puede usarse para mejorar la seguridad de comunicación.

En esta ocasión cada comunicación que se transmite sobre el mismo medio utiliza un código distinto. Así se podrá extraer la señal deseada, que será la que esté codificada de un modo concreto, y rechazar todo lo demás como si se tratara de un ruido superpuesto. Cada tiempo de bit se subdivide en m intervalos más cortos, el número de intervalos en cada bit dependerá del número de comunicaciones que se pretendan transmitir sobre el mismo medio, cada comunicación tiene asignada una secuencia código concreta con m dígitos, que servirá para codificar un 1 lógico. Cuando quiera transmitir un 1 envía esta secuencia y cuando quiera transmitir un 0 envía la secuencia complementaria. Estas secuencias tienen la particularidad de ser ortogonales en pares. Así que el producto escalar normalizado de dos secuencias distintas de chips siempre resultará 0.

Cuando se transmiten simultáneamente varias comunicaciones sus señales se suman linealmente. Para recuperar información de una comunicación en concreto el receptor debe conocer la secuencia de chips de su interlocutor.

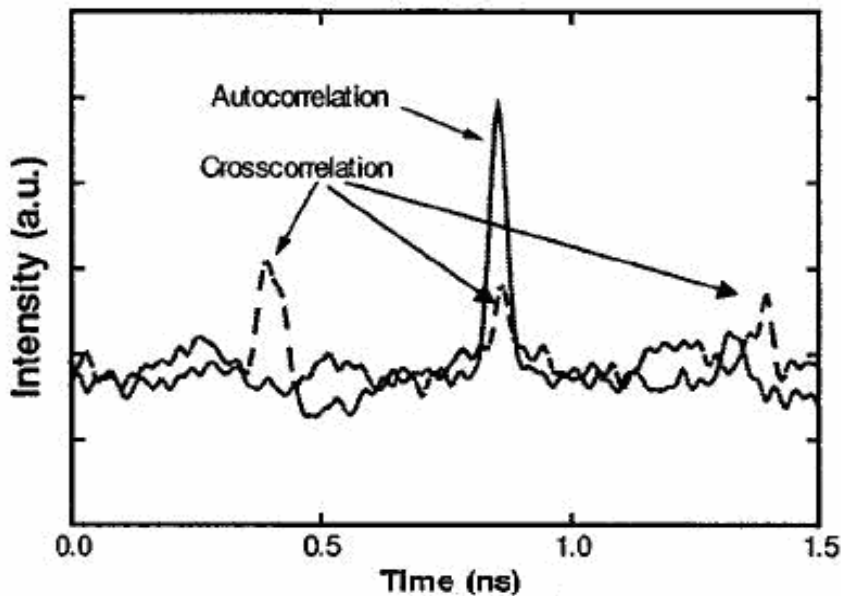
El receptor calcula el producto escalar normalizado de la secuencia de chips recibida, que será la superposición de todas las transmitidas, con la secuencia código del transmisor. Esto, por la propiedad de linealidad, equivale a realizar el producto de cada secuencia transmitida por separado y luego sumar los resultados. Si se realizara por separado el producto de la secuencia de cada comunicación con la secuencia código daría 0 en todos los casos en los que no coincidieran ambas. Por tanto si el resultado del producto escalar que realiza el receptor es 0 se transmitió un 0, si el resultado es 1 se transmitió un 1.

Para conseguir que este método funcione bien lo primero será conseguir una correcta sincronización de las transmisiones involucradas. Habrá también que limitar los efectos del ruido, por ejemplo utilizando secuencias de chips suficientemente largas y usando códigos correctores de errores. Señalar que los niveles de potencia recibidos de todas las comunicaciones deben ser iguales. Esta potencia dependerá de la distancia entre emisor y receptor. Si se utiliza CDMA en el enlace radio de una red de telefonía móvil, el móvil tendrá que modificar la potencia con la que emite en función de la distancia que lo separa de la estación base.

OCDM es una técnica atractiva en la que se aprovecha el ancho de banda enormemente (casi 25 THz) en fibras monomodo aleatorias entre muchos usuarios, libre del mando de la red. Cada usuario se le asigna una sucesión de código específica. A través de una opción apropiada de OCDM, pueden hacerse señales de todos los nodos de la red que no interfieran mutuamente. En OCDM incoherente, un codificador traza cada bit "1" de información de la fuente en una rata de bit alto óptico de pulsos de luz ultra cortos. La señal codificada es transmitida a todos los receptores del nodo.

En el receptor, la señal óptica se pone en correlación con el código local en un filtro que reconstruye la señal. Un detector de umbral se usa para detectar el pico máximo de autocorrelación ver figura 25. Este acercamiento a Multiplexación permite la transmisión sin retraso y se ocupa de interferencia de multiaccesos como una parte íntegra del esquema de Multiplexación.

Figura 25. Autocorrelación y Salida de Correlación Cruzada



Para mejorar su propiedad de correlación cruzada, los sistemas de OCDM incoherentes convencionales emplean el código esparcido con un número pequeño de códigos en la familia. Esto produce un número pequeño de nodos que operan y usuarios simultáneos y, más importante, una señalización para una tasa de datos particular. Cada pulso dentro de la sucesión del código se transmite a una longitud de onda diferente según un algoritmo de brincado. En el receptor, la señal original se recupera por un *matched-filter* correlacionador que es el conjugado del filtro de la transmisión.

Desde que cada longitud de onda sólo ocurre una vez en cada modelo de brincado, para una sucesión del primer brinco de orden ρ la autocorrelación está a un máximo de ρ en el tiempo de cambio cero y lóbulos laterales que está completamente ausente, mientras la correlación cruzada da coincidencias individuales de por lo menos uno. Para el peor caso de la correlación cruzada, la varianza media se muestra muy baja.

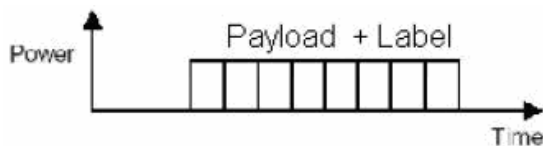
$$\sigma^2 = \frac{1}{2p} \left(1 - \frac{1}{2p} \right)$$

Por consiguiente, se espera que el número de estaciones en la red y el número de usuarios simultáneos sea aumentado grandemente. El número de códigos ortogonales en la familia también incrementada para ρ se aumenta en los primeros códigos.

3.2.1. Etiquetado OCDM

La etiqueta se inserta mezclando la información con un código específico que contiene la información de la etiqueta. Pese a que el OCDM es una de las técnicas de etiquetado que permite el reconocimiento de etiquetas para el enrutado, sin necesidad de mirar tablas de operaciones, su implementación es complicada. Si por ejemplo un canal soporta N códigos OCDM, se requiere un banco de N autocorreladores ópticos por canal. De todos modos, el etiquetado OCDM ofrece la posibilidad de ser combinado con WDM (WDM con sub-bandas).

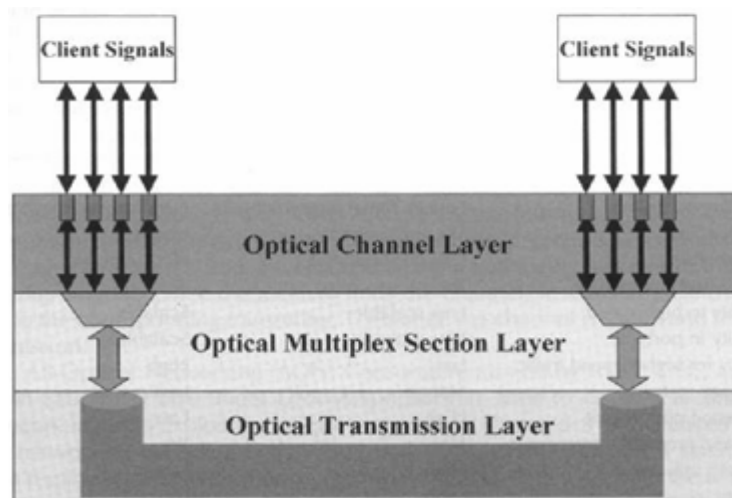
Figura 26. Etiquetado OCDM



3.3. WDM (Multiplexación por División de Longitud de Onda)

La ITU tiene una red de transporte óptica modelo, de capa que claramente describe un sistema WDM. La figura 27 muestra tres capas mayores en un sistema WDM, definido por ITU. La capa del fondo es la sección de transmisión óptica que representa el camino de fibra físico entre los elementos de la red dentro de un sistema WDM. La capa del medio es la sección de Multiplexación óptica que representa el camino de la señal. La capa de encima es la capa del canal óptico que representa el camino de cualquier longitud de onda individual a través del sistema WDM. El cliente como Gigabit Ethernet, SONET, ATM, IP, etc. se asigna a las longitudes de onda en la capa del canal óptico y entonces se transporta a través de la red en la capa de transmisión óptica. WDM es la opción favorita encima de OTDM, y OCDM, Esto es debido al *hardware* complejo y la sincronización de OTDM y OCDM.

Figura 27. Sistema WDM



Fuente: Liu, Kevin H.

IP over WDM

Página 27

La Multiplexación por División en Longitud de onda (WDM) es una técnica surgida en 1995 que multiplexa/demultiplexa ópticamente varias señales, convertidas en señales ópticas a distintas longitudes de onda, en una sola fibra óptica. Esta técnica óptica de multiplexación carece de los inconvenientes de los circuitos electrónicos de MDT (múltiplex por división en el tiempo), como la necesidad de sincronización, de reloj, y de circuitería de buffering.

El principio de funcionamiento de WDM (*Wavelength Division Multiplexing*) se basa en el transporte de varios flujos de información, cada uno codificado sobre una longitud de onda distinta y multiplexada dentro de una única fibra. De esta manera se logra incrementar de manera considerable la capacidad de red de la fibra óptica. Este aumento de capacidad se puede lograr generalmente de varias formas distintas:

- Incrementando el número de longitudes de onda incluidas en una fibra y, con ello, el número de canales transportados por la misma.
- Aumentando la velocidad de transmisión soportada por cada una de las longitudes de onda.

A esto contribuye la fabricación de unas fibras de cada vez mayor calidad, pero existe un límite físico determinado por su dispersión. Actualmente se trabaja con valores de 2,5 Gbit/s (STM 16 / OC 48), llegando en algunos casos a 10 Gbit/s (STM 64 / OC 192). La utilización de tecnologías WDM aporta otra serie de ventajas importantes.

- WDM trae consigo una reducción de costos en la instalación de fibra óptica. Al ser mayor su capacidad, debido principalmente al hecho de que se pueden transportar varias longitudes de onda dentro de una sola

fibra, será necesario desplegar un número menor de fibras, o aprovechar la ya instalada, para atender una demanda de tráfico creciente.

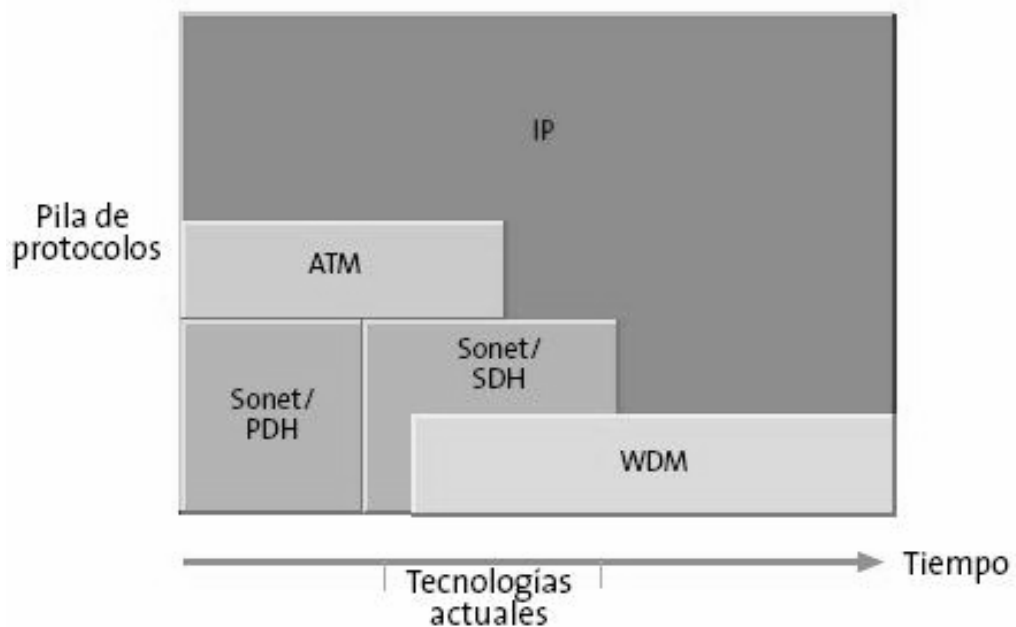
- Permite a los operadores aumentar la capacidad de sus redes de manera incremental. Para ello, les basta con instalar la fibra e ir activando sus diferentes longitudes de onda de manera progresiva conforme se vayan necesitando.
- Cada una de las longitudes de onda puede incluir información transmitida a diferentes velocidades y con distinto formato. Es decir, que WDM permite transportar información de diversas naturalezas y procedente de aplicaciones distintas dentro de una misma fibra.
- Se puede aumentar la capacidad de la fibra para adaptarse a incrementos de la demanda con sólo cambiar las interfaces de los equipos de transmisión. Por ejemplo, se puede pasar de 16 STM 16 a 80 STM 16 con sólo cambiar las tarjetas de dichos equipos.
- En WDM, las funciones de gestión se simplifican en gran medida, puesto que la propia capa óptica en sí goza de una mayor sencillez. La eficiencia del sistema de gestión óptico pasa porque la mayoría de las tareas se puedan realizar en el dominio óptico, sin necesidad de realizar ninguna conversión optoelectrónica.

En todo caso parece evidente que este tipo de tecnologías desplazarán en un futuro a las redes de transmisión SDH/SONET. De hecho, la ITU ha iniciado la estandarización de lo que será su evolución, bajo el nombre de OTN la evolución fundamental se basa en que OTN incorpora el uso de WDM en la estructura de transmisión, añadiendo una subcapa (canal óptico,

correspondiente a cada longitud de onda) a la estructura básica de SONET/SDH.

La unidad de transporte de información en estos sistemas será el Módulo de Transmisión óptica OTM, que puede transportar varios canales ópticos de diferentes velocidades. Paralelamente, se están desarrollando los protocolos de señalización para permitir el uso automatizado de las capacidades de transporte de OTN por parte de las redes de nivel superior (voz, ATM o IP). La Figura 28 muestra la evolución temporal de los distintos tipos de red, según es aceptada por la mayor parte de los analistas.

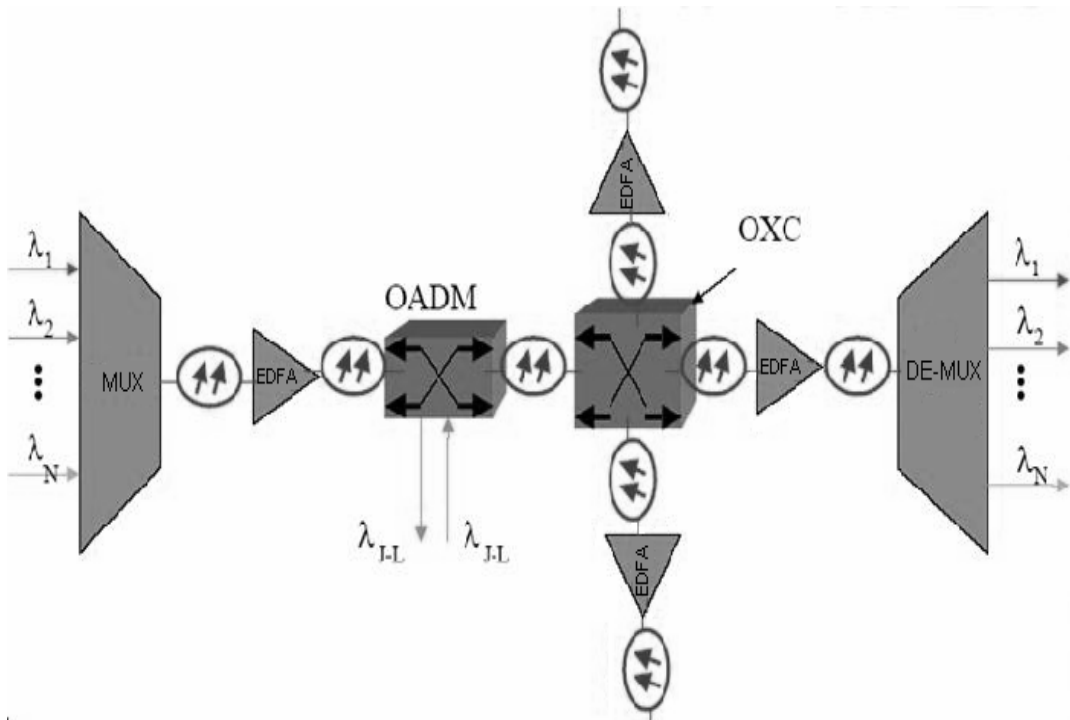
Figura 28. Tendencias Protocolares en la Capa de Transporte



Avances significativos se han hecho al respecto con la invención de amplificadores ópticos EDFA (*Erbium Doped Fiber Amplifiers*), OADMs (*Optical Add/Drop Multiplexers*) y OXCs (*Optical CrossConnects*).

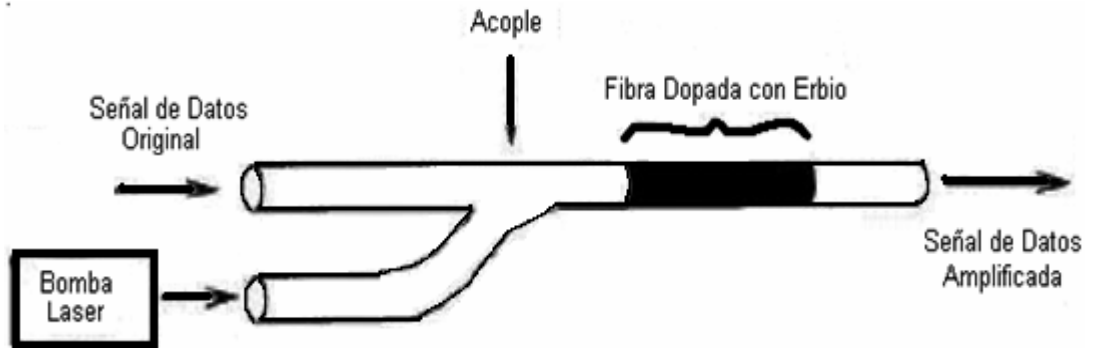
En la figura 29 se muestran los dispositivos nombrados anteriormente.

Figura 29. Elementos de Red WDM



- Amplificadores Ópticos EDFA (Erbium Doped Fiber Amplifiers). La fibra, como todo medio de transmisión, introduce una determinada atenuación que provoca la necesidad de emplear amplificadores o regeneradores cuando los enlaces superan una cierta longitud. Los amplificadores de fibra dopada son un pedazo de fibra drogada con un elemento de tierra rara y eso hace que se pueda amplificar la luz. El elemento de dopaje más común es el Érbio que mantiene ganancias de longitudes de onda entre 1525nm y 1560nm. El funcionamiento de ese tipo del amplificador se ilustra en la ilustración 30.

Figura 30. Amplificadores de Érbio



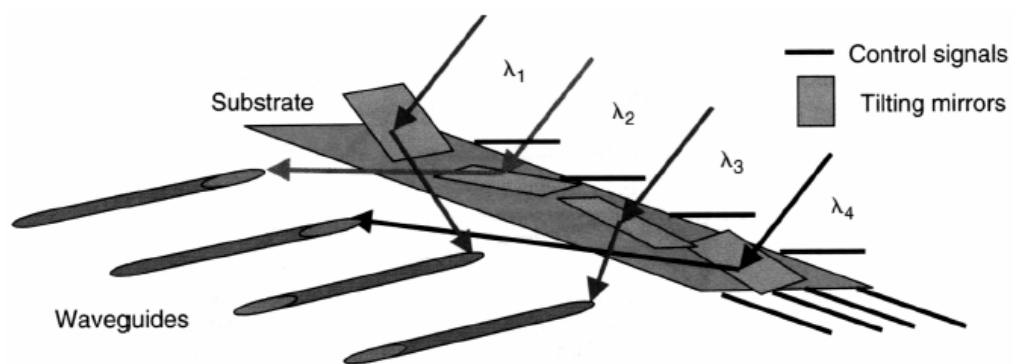
Experimentalmente, este tipo de amplificador ha estado alcanzando ganancias de hasta 51 dB, siendo las ganancias máximas limitadas por dispersión Rayleigh, en el que una parte de la energía luminosa de la señal se dispersa en la fibra y es manejada en la dirección de la fuente de la señal. Un limitante de factor para la amplificación óptica son las ganancias desiguales de los amplificadores. Otro punto negativo es que los amplificadores ópticos también amplifican el ruido en la misma proporción que la señal de datos, el área activa del amplificador puede emitir espontáneamente los fotones que causan el ruido (vea el capítulo 4).

- Multiplexores de Inserción/Extracción (OADM). Estos dispositivos son capaces de extraer la información contenida en cualquiera de las longitudes de onda de la fibra en cualquier punto intermedio de la misma. Además de la extracción, también permiten introducir canales a mitad de fibra (ver Cáp. 5).
- Conmutadores Ópticos (OXC). Las versiones más sencillas presentan matrices de conmutación de 16x16. El desarrollo de todos estos dispositivos supone un primer paso hacia las redes “todo óptico” en las que se consigan eliminar todas las tareas que actualmente se realizan en

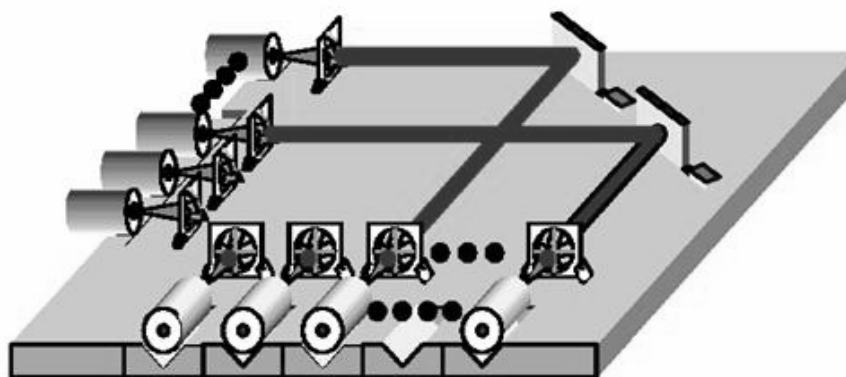
el dominio eléctrico, puesto que suponen una gran tasa en velocidad y en eficiencia integrado en un solo Chip de Silicio, es independiente de la longitud de onda, rata de bit, protocolo, polarización, modulación, bi-direccional, mono-modo o multi-modo, sin conversión óptica – eléctrica.

En la figura 31 se muestran dos formas de entender como funciona un conmutador óptico (ver capítulo 5).

Figura 31. Conmutador Óptico



a) Conmutador Óptico Teórico

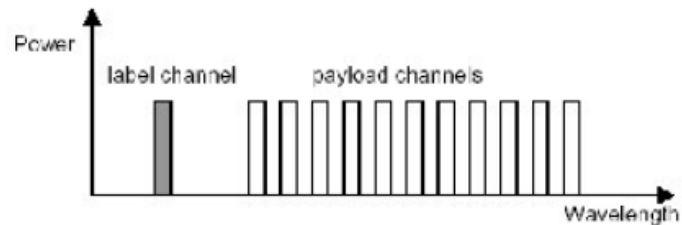


a) Conmutador Óptico Práctico

3.3.1. Etiquetado WDM

Las etiquetas de cada canal pueden multiplexarse y mandarse vía un canal separado dedicado específicamente para este propósito. Esto significa por lo tanto que debe existir un sistema de sincronización bastante estricto, pues de otro modo no va a ser posible identificar que etiqueta corresponde a cada canal. La dispersión cromática tiene a.C. un papel importante, pues este efecto introduce diferencias en las velocidades de grupo entre los canales que contienen información, y el que contiene las etiquetas.

Figura 32. Etiquetado WDM



3.4. DWDM (Multiplexación por División de Longitud de Onda Densa)

La diferencia entre WDM y DWDM (*Dense Wavelength Division Multiplexing*) es fundamentalmente el rango, cuando el número de longitud de onda multiplexados es superior a 8, se está hablando de DWDM; permite alcanzar altas densidades de empaquetado de portadoras dentro de una sola fibra óptica, en ella son típicos los valores de 16 ó 32 longitudes de onda por fibra, pudiendo llegar en el caso de enlaces sub marinos hasta 128 o incluso 256.

DWDM espacia las longitudes de onda más estrechamente que WDM, por lo tanto tiene una gran capacidad total, para estos sistemas el intervalo entre canales es igual o menor que 3.2 nm. La ITU (*Internacional Telecommunication Union*) ha estandarizado este espaciamento, normalizando una mínima separación de longitudes de onda de 100 GHz (0.8 nm), también está la posibilidad de separación de 200 GHz (1.6 nm) y 400 GHz (3.2 nm), es importante tener en cuenta que WDM y DWDM utilizan fibra monomodo para enviar múltiples ondas de luz de diferentes frecuencias, no se debe confundir con una transmisión multimodo, en la cual la luz es introducida en una fibra a diferentes ángulos, resultando diferentes “modos” de luz, una sola longitud de onda es usada en transmisión multimodo.

Tabla II. Desarrollo de Canales y Velocidades DWDM

Canales/velocidad	Distancia	Empresa/Año	Velocidad
1 λ × 40 Gbps	65 Km	Alcatel 1998	40 Gbps
32 λ × 5 Gbps	9300 Km	1998	160 Gbps
64 λ × 5 Gbps	7200 Km	Lucent 1997	320 Gbps
100 λ × 10 Gbps	400 Km	lucent 1997	1 Tbps
16 λ × 10 Gbps	6000 Km	1998	160 Gbps
132 λ × 20 Gbps	120 Km	NEC 1996	2.64 Tbps
70 λ × 20 Gbps	600 Km	NTT 1997	1.4 Tbps
80 λ × 40 Gbps	60 Km	Siemens 2000	3.2 Tbps
64 λ × 40 Gbps	4000 Km	Lucnet 2000	2.56 Tbps
1022 λ en una sola fibra	-	1999	-

El término DWDM, muy utilizado últimamente, hace referencia a sistemas WDM donde las longitudes de onda han de estar muy próximas debido al estrecho rango de longitudes de onda que pueden ser amplificadas, no aporta ningún concepto nuevo al término WDM. Lo que sí es necesario en cuanto empiezan a desarrollarse los sistemas WDM comerciales es la estandarización del elemento de red más importante; la longitud de onda, las longitudes de onda están estandarizadas por la ITU: 100 GHz de separación a partir de 196.5 THz hasta 191.6 THz (50 canales) (0.8 nm entre 1525.66 y 1564.68 nm) ver tabla 3.

Tabla III. Estándar de la ITU a 100 GHz (50 canales) DWDM

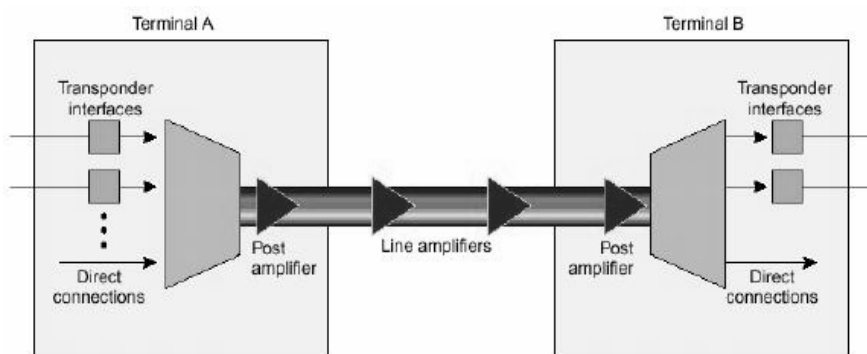
Frecuencia(Thz)	Longitud de Onda(nm)	Frecuencia(Thz)	Longitud de Onda(nm)
196,1	1528,77	194,0	1546,32
196,0	1529,55	193,9	1546,12
195,9	1530,33	193,8	1546,92
195,8	1531,12	193,7	1547,72
195,7	1531,90	193,6	1548,51
195,6	1532,68	193,5	1549,32
195,5	1533,47	193,4	1550,12
195,4	1534,25	193,3	1550,92
195,3	1535,04	193,2	1551,72
195,2	1535,82	193,1	1552,52
195,1	1536,61	193,0	1553,33
195,0	1537,40	192,9	1554,13
194,9	1538,19	192,8	1554,94
194,8	1538,98	192,7	1555,75
194,7	1539,77	192,6	1556,55
194,6	1540,56	192,5	1557,36
194,5	1541,35	192,4	1558,17
194,4	1542,14	192,3	1558,98
194,3	1542,94	192,2	1559,79
194,2	1543,73	192,1	1560,61
194,1	1544,53		

La principal ventaja de DWDM es que ofrece una capacidad de transmisión prácticamente ilimitada, aparte del ancho de banda, DWDM ofrece otras ventajas:

- Transparencia; Debido a que DWDM es una arquitectura de capa física, puede soportar transparencia en el formato de señal, tales como ATM, GbE (*Gigabit Ethernet*), TDM, IP y *Fiber Channel*, con interfaces abiertas sobre una capa física común, por lo mismo, puede soportar distintos Bit Rates.
- Escalabilidad; puede apalancar la abundancia de fibra obscura en redes metropolitanas y empresariales, para rápidamente satisfacer la demanda de capacidad en enlaces punto-a-punto y en tramos de anillos ya existentes.
- Iniciación Dinámica; Rápida, simple y abastecimiento dinámico en las conexiones de redes, dada la habilidad de proveedores de proveer servicios de alto ancho de banda en días, antes que en meses.

Diseños futuros incluyen interfaces pasivas, las cuales aceptan los estándares de luz de la ITU directamente de un switch o router incluido, con una interfaz óptica.

Figura 33. Esquema de un sistema DWDM

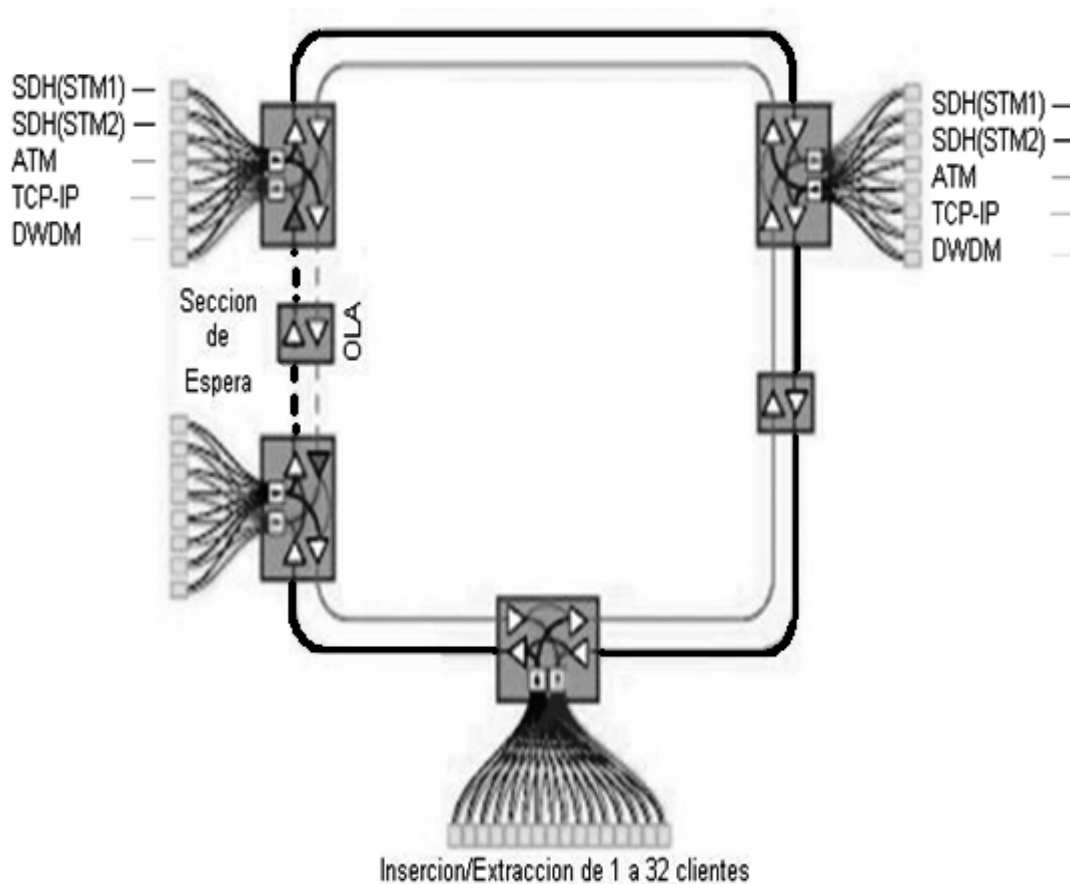


Los siguientes pasos explican el sistema mostrado en la Figura 33.

1. El transpondedor acepta entradas en la forma estándar de láser monomodo o multimodo. La entrada puede llegar desde diferentes medios físicos, de distintos protocolos y tipos de tráfico.
2. La longitud de onda de cada señal de entrada es identificada a una longitud de onda DWDM.
3. Las longitudes de onda DWDM provenientes del transpondedor son multiplexadas dentro de una sola señal óptica y lanzadas dentro de la fibra. El sistema puede también incluir la habilidad de aceptar señales ópticas directas para ser multiplexadas.
4. Un post-amplificador, amplifica la potencia de la señal óptica, del mismo modo que emigra el sistema (opcional).
5. Amplificadores ópticos son utilizados cada cierta distancia de enlace, de ser necesarios (opcional).
6. Un pre-amplificador, amplifica la señal antes de que ésta entre en el nodo receptor (opcional).
7. La señal recibida es demultiplexada en lambdas individuales DWDM (o longitudes de onda).
8. Las longitudes de onda individuales DWDM son identificadas para el tipo de salida requerido (por ejemplo, 2.5Gbps fibra monomodo) y enviadas a través del transpondedor.

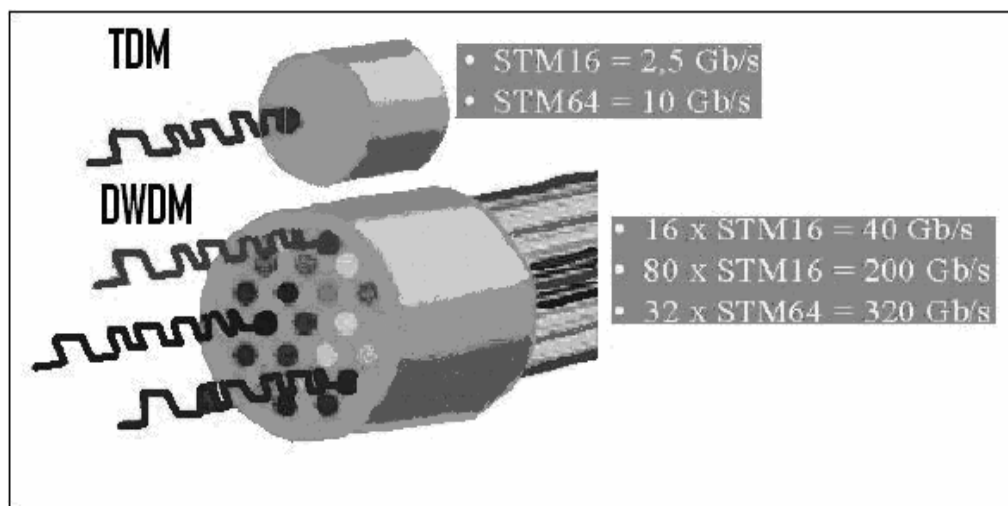
DWDM es una tecnología donde las señales que transportan la información, en las longitudes de onda ópticas diferentes, se combinan en un multiplexor óptico y transportan a través de un solo par de fibras, con el objetivo de aumentar la capacidad de transmisión y, por consiguiente, para usar el ancho de banda de la fibra óptica de una manera más apropiada. Los sistemas que usan esta tecnología, junto con los amplificadores ópticos, que pueden aumentar significativamente la capacidad de transmisión de una ruta sin necesidad de aumentar el número de fibras. Las señales a ser transmitidas en longitudes de onda diferentes pueden poseer formatos o tasas de transmisión diferentes, esto se muestra en la figura 34.

Figura 34. Esquema de un sistema DWDM



Más de 100 canales pueden ser multiplexados en una sola fibra con la tecnología actual, (este es el hecho de renombrarla de WDM a DWDM). La figura 35 ilustra una comparación entre TDM y DWDM, mientras muestra como DWDM tiene una capacidad de transmisión más grande.

Figura 35. Comparación TDM vrs DWDM



3.5. UDWDM (Multiplexación por División de Longitud de Onda Ultra Densa)

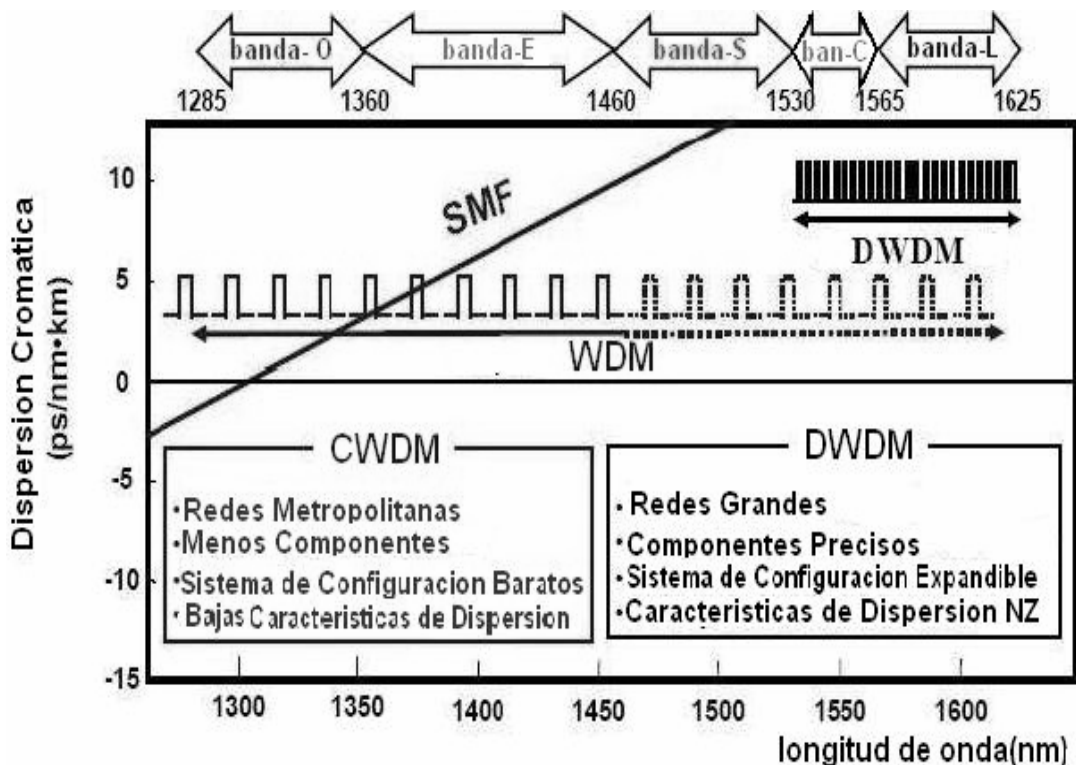
DWDM y UDWDM, ambas versiones de WDM densa y ultra densa, han venido a incrementar el número de señales portadoras por fibra, actualmente se puede hablar de más de 160 señales portadoras en cada fibra. Por medio de WDM y sus variantes aplicadas a las redes existentes, los operadores de redes pueden rápidamente ampliar la capacidad de la red a un costo mucho menor a largo plazo que el haber instalado nuevas fibras ópticas en el sistema. Así como el desempeño de las redes y los instrumentos aumenta, hacer posible que cada vez más señales sean

procesadas en un dominio óptico, mantiene la complejidad aumentando tan rápido como sea posible.

En el caso de las variantes de WDM, DWDM y UDWDM, se disponen de las bandas C y L de la fibra óptica. Éstas son correspondientes a las longitudes de onda situadas entre 1530 y 1625 nm, por ser estas longitudes de onda de la actuación de los amplificadores EDFA.

Se han hecho diversos experimentos de utilizar a la vez ambas bandas pero aún se intenta perfeccionar la técnica, el espaciado en la técnica Ultra densa UDWDM es muy pequeño, en la figura 36 se muestran las bandas usadas.

Figura 36. Bandas de las variantes de WDM



En sistemas convencionales de DWDM, los canales ópticos pueden acarrear o transmitir amplios rangos de información, típicamente 2.5 o 10 Gbits/seg. Investigadores aún estudian la tecnología de sistemas de 40 Gbits/seg y 50 Gbits/seg. Un gran grupo de investigadores están trabajando en un acercamiento alternativo, llamado WDM Ultra Denso (UDWDM), también llamado súper denso, o Hiper denso.

En lugar de transmitir canales de alta velocidad con espaciamentos de 50 o 100GHz, el WDM Ultra Denso transmite señales poco más lentas en canales mucho menos espaciados, en otras palabras, con una densidad de canales mucho más alta. El espaciamiento más estrecho de canales en estos sistemas posee serios retos ópticos, y la más lenta tasa de datos por transmitir requiere más canales para poder transmitir la misma capacidad.

La más lenta tasa de información simplifica la electrónica requerida para los transmisores y receptores, además evita la necesidad de adicionar distintas etapas de multiplexación por división de tiempo, también evita los serios problemas de dispersión sufridos por las señales transmitidas a muy alta velocidad, particularmente a 40Gbits/seg.

Para los sistemas de multiplexación ultra densos se debe contar con las siguientes etapas:

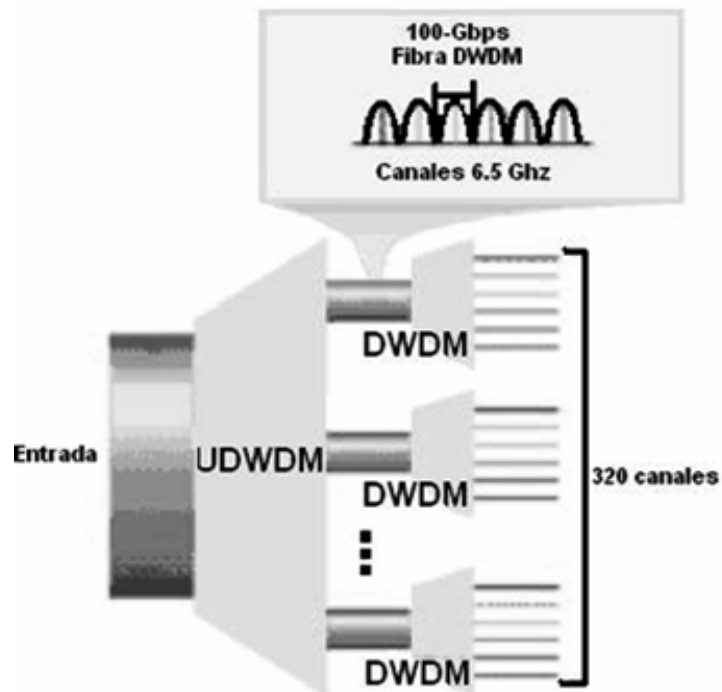
- Fuentes ópticas; Convierten la señal eléctrica en energía luminosa y la emiten con diferentes longitudes de onda, esta etapa la componen los láser.
- Multiplexores Ópticos; combinan la energía luminosa emitida por las fuentes ópticas para alimentarla a la fibra.

- Medio de transmisión; Esta etapa la compone la fibra óptica, debe contar con características especiales como baja atenuación en las zonas de las longitudes de onda deseadas.
- Demultiplexores Ópticos; Dispositivos que separan la energía luminosa que llega a través de la fibra por medio de la longitud de onda.
- Fotodetectores: Se encarga de hacer la conversión de energía luminosa a señal eléctrica.
- Bloque amplificador; los llamados EDFA (*Erbium Doped Fiber Amplifier*), este bloque es sumamente importante ya que para grandes distancias es necesario reconstruir la onda o señal cada cierto tramo.

En sistemas de UDWDM se habla de hasta 1022 distintos canales, esto se logra con espaciamientos entre canales muy pequeños como se ha mencionado en secciones anteriores, el bloque de fotodetección, conformado por fotodetectores, se encarga de recibir la información en radiación luminosa que se transmite en la fibra. Cada receptor lleva asociado un filtro óptico sintonizable que permite eliminar las señales que no se desean. Los amplificadores basados en el bombeo sobre la fibra dopada con Erblio (EDFA) básicamente amplifican toda una ventana óptica y por consiguiente, todos los canales (longitudes de onda) incluidos en esa ventana (típicamente desde 1525nm hasta 1565nm), para los sistemas WDM y sus variantes se utiliza fibra tipo monomodo. Varias tecnologías ópticas pueden multiplexar y demultiplexar canales con espaciamiento bastante pequeño. Se han reportado grandes avances en cuanto a la disminución de la dispersión cromática ya que ésta aumenta inversamente al espaciamiento de los canales.

Además, se ha propuesto el uso de un demultiplexor ultra denso que puede ser combinado con unos convencionales DWDM para separar largas cantidades de canales. En la figura siguiente se tiene un dispositivo para 16 canales de WDM Ultra Densos (UDWDM) que separa canales entrantes en 16 diferentes salidas con 6,25 GHz de separación. Los canales del 1 al 16 van a diferentes salidas, luego el 17 es direccionado a la misma salida del 1, y así sucesivamente. Cada bloque de 16 canales esta a 100 Gbits/seg. Sistemas convencionales DWDM son la siguiente etapa, estos separan los múltiples canales que entran a cada una de las 16 salidas Ultra Densas en 20 salidas separadas en sus propios canales a 100 GHz. (Vea figura 37).

Figura 37. Sistema UDWDM de 320 Canales



Los mismos principios fundamentales que aplican para WDM son aplicados en UDWDM.

La tasa máxima de información posible en un canal óptico depende de la modulación del ancho de banda del transmisor y el ancho del canal óptico. La acción de modulación inevitablemente amplía el ancho de línea de una señal portadora, pura y nominal. La modulación aumenta el ancho de banda de una señal portadora nominal. La modulación con una simple señal NRZ a 10 Gbits/seg produce un par de bandas laterales que abren o esparcen la señal en un rango de 20 GHz centrada en una frecuencia portadora. La magnitud de la dispersión cromática aumenta con el cuadrado de la tasa de bits porque depende de ambos, el intervalo de bits y el ancho de la fuente espectral, los cuales individualmente incrementan con la tasa de bits.

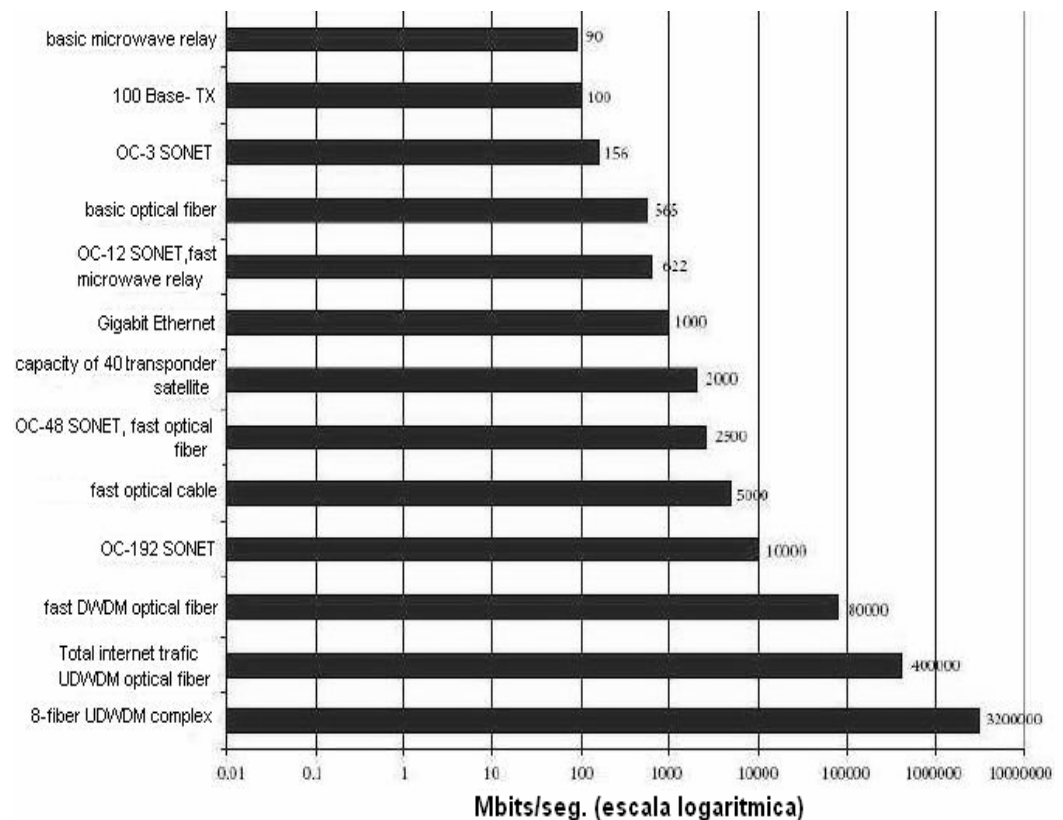
El enviar canales más lentos por medio de más y pequeños espacios del espectro requiere más componentes, sistemas ópticos mucho más complejos, y una estabilización más cuidadosa de fuentes que los necesarios para transmitir en menores cantidades de canales de 40 Gbits/seg. Aún así, WDM Ultra Denso (UDWDM) ofrece importantes atracciones. Como se mencionó antes, entre más lentos sean los canales, aunque se utilicen más componentes, estos utilizan fuentes y receptores de producción en masa mucho más baratos.

En consecuencia, a menores velocidades de tasas de información, problemas de dispersión menos importantes y necesidad de potencia mucho menor en los recibidores. Cuando el espaciamiento de canales se acerca al nivel ultra denso (UDWDM) en dimensiones de 25 GHz, el ancho de banda del filtro óptico se compara con 10 Gbits/seg del ancho de banda espectral de señales NRZ. Un filtro óptico para UDWDM muestra mayor ruido ASE (*amplified spontaneous emission*), mayor debilidad en sistemas amplificados ópticamente comparado con un sistema de filtro con espaciamiento de 50 GHz. Un filtro para UDWDM puede presentar alta dispersión.

3.5.1. Ventajas y Desventajas de UDWDM

Se ha hecho énfasis en la capacidad de transmisión de los sistemas UDWDM (WDM Ultra Denso). Se habla actualmente de una capacidad de hasta 1022 canales en una misma fibra. Sin duda esta es una gran ventaja para futuras aplicaciones en las telecomunicaciones. El hecho de poder transmitir mayor información en un mismo medio de transmisión como es la fibra óptica, hace posible el aprovechamiento y el surgimiento de nuevas aplicaciones para éste nuevo espacio. Aún más cuando se trata de un medio de transmisión ya existente y de, aparte de su fácil instalación, se cuenta con una amplia red mundial en este material.

Figura 38. Ancho de banda en canales



El poder ampliar la gama de espacio en la fibra óptica permite a las empresas de telecomunicaciones poder ampliar la escala de sus aplicaciones. Sin duda, es mucho mejor ampliar la capacidad del medio de transmisión existente y no tener que instalar mucho más fibra a lo largo de los mismos tramos para poder transmitir más información. La figura 38 hace una comparación de la capacidad de ancho de banda entre distintos métodos de transmisión de información. El espaciamiento más estrecho de canales en el sistema UDWDM posee serios retos ópticos, y requiere más canales para poder transmitir la misma capacidad. La más lenta tasa de información simplifica la electrónica requerida para los transmisores y receptores, además evita la necesidad de adicionar distintas etapas de multiplexación por división de tiempo.

Por otro lado, el hecho de transmitir a la velocidad de 40 Gbits/seg como en DWDM, que es clasificada como alta, reduce el número de componentes necesarios por canal, pero requiere de sofisticados componentes para operar a esas altas velocidades. Se debe tomar en cuenta también que el enviar canales más lentos por medio de más y pequeños espacios del espectro (UDWDM) requiere más componentes, sistemas ópticos mucho más complejos, y una estabilización más cuidadosa de fuentes en comparación con los necesarios para transmitir en menores cantidades de canales de 40 Gbits/seg (DWDM) vea figura 39.

Figura 39. Separación de canales en DWDM y UDWDM

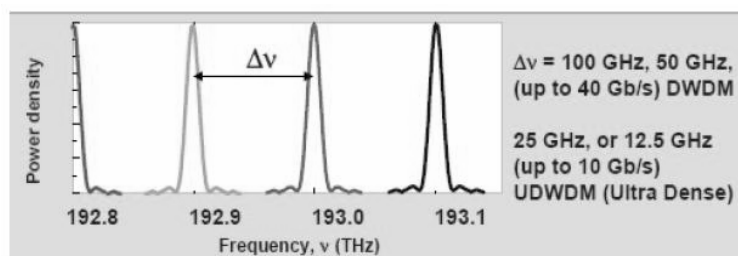


Tabla IV. Comparación de Elementos de Varios Métodos

Aplicación/ parámetro	CWDM/ MAN	DWDM/ WAN	DWDM Largo alcance	UDWDM Largo alcance
Canales por fibra	4-16	32-80	80-160	Aprox. 1024
Espectro Utilizado	O,E,S,C, L	C,L	C,L,S	C,L
Espaciado entre canales	2500 GHz	100 GHz	50 GHz	Hasta 10 GHz
Capacidad por canal	2.5 Gbits/s	10 Gbits/s	10-40 Gbits/s	< 40 Gbits/s
Capacidad de la fibra	20-40 Gbits/s	100-1000 Gbits/s	< 1 Tbits/s	>1 Tbits/s
Tipo de Láser	Uncooled DFB	Cooled DFB	Cooled DFB	ECDL
Tecnología de Filtros	TFF	TFF,AWG ,FBG	TFF,AWG,F BG	FBG
Distancia	Hasta 80 Km.	Cientos de Km.	Miles de Km.	Miles de Km.
Costo	Bajo	Medio	Alto	Alto
Amplificación Óptica	Ninguna	EDFA	EDFA,rama n	EDFA

Se debe hacer un balance general económico a la hora de hablar de UDWDM. Este método de multiplexación requiere más transmisores y recibidores que el convencional DWDM (WDM Denso).

Es una inquietud abierta, entre bajo costo y disponibilidad inmediata de los dispositivos en UDWDM y la compensación por dispersión necesaria y altos costos en transmisores y receptores de 40 Gbits/s o más. Los usuarios finales son los que deben escoger entre mantenerse con señales más lentas compatibles con equipo existente, o multiplexar a altas velocidades con el costo que esto implica. Esto variará con las aplicaciones y necesidades de cada usuario.

4. COMPONENTES ÓPTICOS WDM

La explotación de WDM como un mecanismo de gestión de redes donde las señales son ruteadas, switcheadas, y seleccionadas basadas en diferentes longitudes de onda son el alba de una nueva era en las comunicaciones ópticas. Habilitar la explotación de una nueva, inmensa y versátil dimensión de longitud de onda tuvo que surgir, nuevas tecnologías tuvieron que ser desarrolladas y demostradas. Las fuentes ópticas y receptores que operan a una longitud de onda fija no daban el ancho de banda adecuado. Nuevos componentes que pueden ejercer la selección, switcheo, y ruteo basado en longitud de onda son necesitados y como resultado, componentes como filtros, Aisladores, Circuladores, multiplexores y demultiplexores de longitud de onda han surgido.

4.1. Componentes pasivos

4.1.1. Filtros

Hay ciertos requisitos generales para los filtros ópticos de longitud de onda en los sistemas WDM dados por la ITU-T. Primero, tienen que ser diseñados para un cierto número de canales de WDM que tienen una frecuencia dada espaciada a (200 GHz, 100 GHz, etc.). Otros requisitos necesarios son:

- Sobre la banda de paso, alrededor de la frecuencia central nominal, es necesaria una pérdida y variación pequeña.

- Adyacente a las bandas de paso, el aislamiento del *Crosstalk* de los canales de señales vecinas debe ser alto (típicamente, >25 dB). También, el aislamiento para el *Crosstalk* acumulado total de los otros canales deben ser bajos (típicamente, >21 dB). Con un número grande de canales, con esto se ponen los requisitos de aislamiento de *crosstalk*, por lo menos para canales no adyacentes.
- Se requiere dependencia de polarización baja.
- Para tasas de señales altas, la dispersión, polarización y modo de dispersión deben tener valores lo suficientemente bajos.

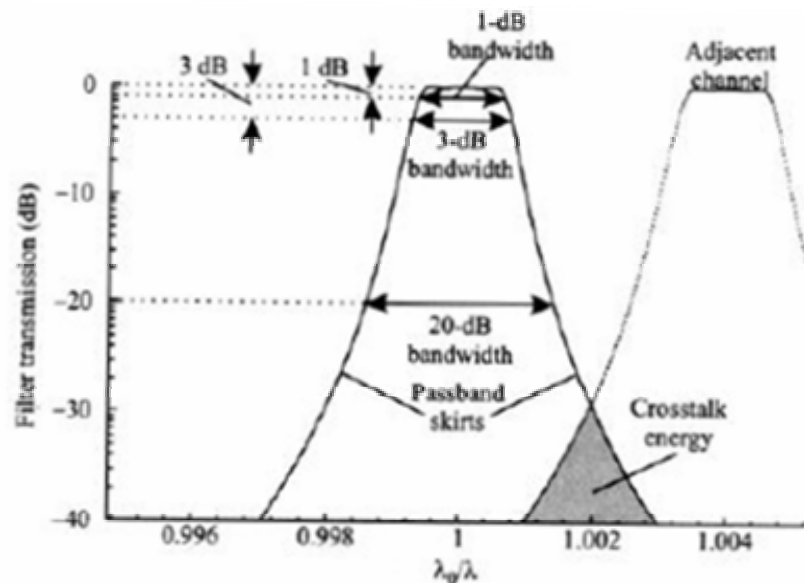
Filtros de banda de paso multicapas de una película dieléctrica delgada han sido la opción más popular para los filtros de WDM. Éstos son manufacturados aumentando las capas alternadas de alto y bajo índice dieléctrico refractivo (normalmente, óxido de tantalium y silicio, respectivamente). En el campo se ha instalado un número muy grande de filtros WDM espaciados a 200 GHz. Para lograr la banda de paso, se necesitan tres cavidades de filtros. Esto consiste en tres capas ópticas que tienen la longitud de onda media de espesor, separado y rodeado por reflectores que consisten en pilas multicapas bajas alternadas y capas de cuarto de longitud de onda de alto índice.

El crecimiento de las películas delgadas era más desafiante que cualquier aplicación de capa óptica, debido a las tolerancias muy bajas por el espesor y las variaciones del índice refractivo. Para espacios de 100 GHz, se necesitan cuatro o cinco estructuras de cavidad. El número total de capas en un filtro paso banda es 100 a 200.

La evaporación emitida electrónicamente y emisión de iones son las técnicas usadas, con un constante monitoreo óptico. La aplicación de los filtros paso banda dieléctricos, son multiplexores para regular las técnicas microópticas de ensamblaje.

Los parámetros más importantes de los filtros son pérdida de inserción y de banda de paso. Las pérdidas de inserción deben ser bajas e independientes de la polarización y temperatura. La banda de paso debe ser delgada y las líneas de corte de la banda de paso deben ser tan afiladas como sea posible. La figura 40 muestra una señal que ilustra esta situación.

Figura 40. Banda de paso



Permiten seleccionar una o varias longitudes de onda de portadora (Canales), existen filtros sintonizables y fijos, requieren de un mecanismo de selección de longitud de onda.

Propiedades de un buen filtro:

- Amplio rango de selección.
- *Crosstalk* despreciable.
- Mecanismo rápido de selección de canal.
- Baja pérdida de inserción.
- Insensibilidad a la polarización.
- Estabilidad independiente del ambiente.
- Bajo costo de producción

4.1.2. Aisladores y Circuladores

Un aislador (*Isolator*) es un dispositivo óptico no recíproco destinado a bloquear la transmisión en una dirección, presentando pérdidas de inserción mínimas en el sentido de transmisión deseado. Suelen basar su funcionamiento en el bloqueo de un *Estado de Polarización (SOP)* de la luz que los atraviesa. Su aplicación es evitar reflexiones en los sistemas que utilizan láser y amplificadores.

La figura 41 a, muestra un aislador, típicamente la pérdida de inserción, es decir la pérdida en dirección hacia delante está alrededor de 1 dB y el aislamiento (la pérdida en la dirección inversa), es aproximadamente 40 a 50 dB. Cumplen la función de un diodo, alta atenuación > 50 dB, Baja inserción de pérdidas < 0.7 dB.

Se podría decir que es un dispositivo pasivo que permite la transmisión en una sola dirección, se utiliza generalmente después de un láser o un amplificador para evitar que señales reflejadas afecten el rendimiento del sistema.

Un circulator (*circulator*) es un dispositivo similar a un aislador, pero con los puertos múltiples. La figura 41 b, muestra el circulator con 3 entradas y puertos de salida. Una señal de cada puerto se dirige al próximo puerto inmediato y bloquea los otros puertos, como se ve en la figura 41 c), pueden usarse los circuladores como componentes en multiplexores ópticos de inserción / extracción y Conmutadores ópticos.

Figura 41. a) Aislador, b) Circulator; c) Esquema lógico de tres puertos circuladores

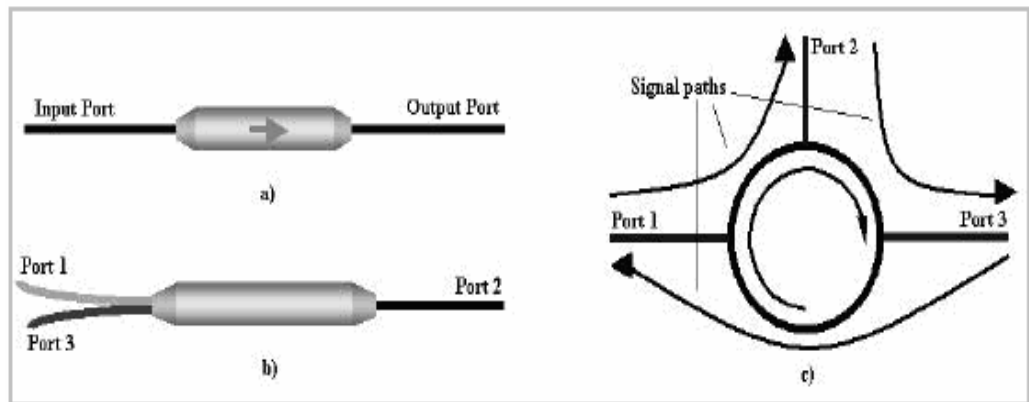
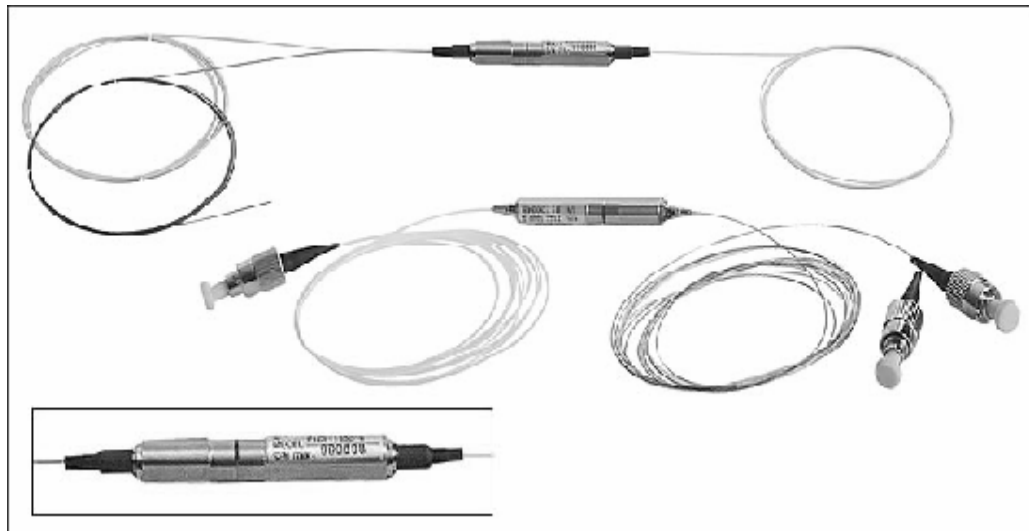





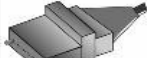

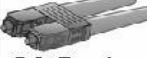

Figura 42. Circuladores en el mercado.



4.1.3. Conectores

El objetivo es unir dos puntas de distintas fibras para establecer un enlace, busca establecer una buena conexión entre las fibras para reducir las pérdidas en los empalmes. Por ejemplo el tipo ST “*Straight Tip*” que tiene un mecanismo de sujeción en forma de bayoneta, que fija la conexión al dar un cuarto de vuelta, otro es el SC “*Subscription Channel*” que es de tipo “*Push Pull*”. El LC “*Lucent Connector*” tiene un tamaño pequeño para aplicaciones de alta densidad, incorpora un único mecanismo de cierre generando estabilidad en el sistema de montaje en *racks*. En la figura 43 se muestran una lista de conectores con sus pérdidas de inserción.

Figura 43. Conectores

Conector	Perdida de Inserción	Repeteabilidad	Tipo Fibra	Aplicaciones
 FC	0.50-1.00 dB	0.20 dB	SM, MM	Datacom, Telecommunications
 FDDI	0.20-0.70 dB	0.20 dB	SM, MM	Fiber Optic Network
 LC	0.15 dB (SM) 0.10 dB (MM)	0.2 dB	SM, MM	High Density Interconnection
 MT Array	0.30-1.00 dB	0.25 dB	SM, MM	High Density Interconnection
 SC	0.20-0.45 dB	0.10 dB	SM, MM	Datacom
 SC Duplex	0.20-0.45 dB	0.10 dB	SM, MM	Datacom
 ST	Typ. 0.40 dB (SM) Typ. 0.50 dB (MM)	Typ. 0.40 dB (SM) Typ. 0.20 dB (MM)	SM, MM	Inter-/Intra-Building, Security, Navy

4.1.4. Acopladores

Permiten el enfrentamiento de dos conectores ópticos para el correcto alineamiento de las fibras, cuando se ponen varios acopladores juntos, se habla de *rack*, vea figura 44 c. En su forma más simple, un acoplador óptico consiste en dos fibras fundidas juntas, componente pasivo (no selectivo en longitud de onda) con tres o más puertos que comparten la potencia óptica entre sus puertos de una forma previamente determinada sin realizar ninguna amplificación, conmutación u otra modulación activa.

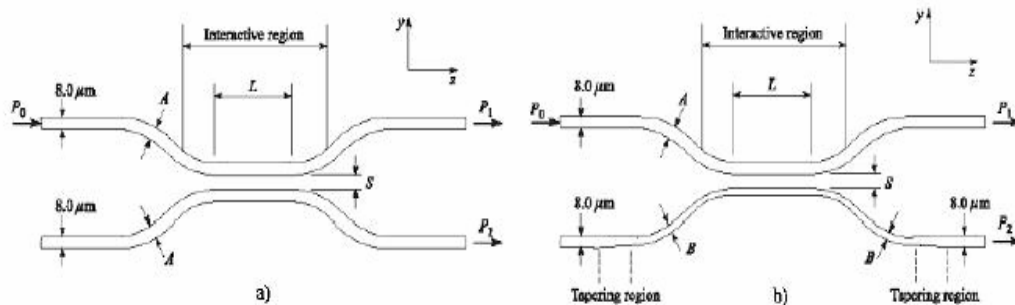
Se caracterizan los acopladores por los parámetros siguientes:

- La pérdida de *splitting* (ranura): El nivel de potencia a la salida del acoplador contra el nivel de potencia a su entrada, moderado en decibelios.
- La pérdida de la inserción: pérdidas de potencia resultan de las imperfecciones del proceso industrial. Típicamente, este valor va de 0 a 1 dB.
- Directividad: Los acopladores son dispositivos muy direccionales, con el parámetro de directividad que alcanza de 40 a 50 dB.

Son componentes ópticos simples que se usan para dividir o combinar las señales. Un acoplador consiste de n entradas y m puertos de salida. Un acoplador de $1 \times n$ es llamado un *splitter* (divisor) y uno de $n \times 1$ es llamado *combiner* (combinador).

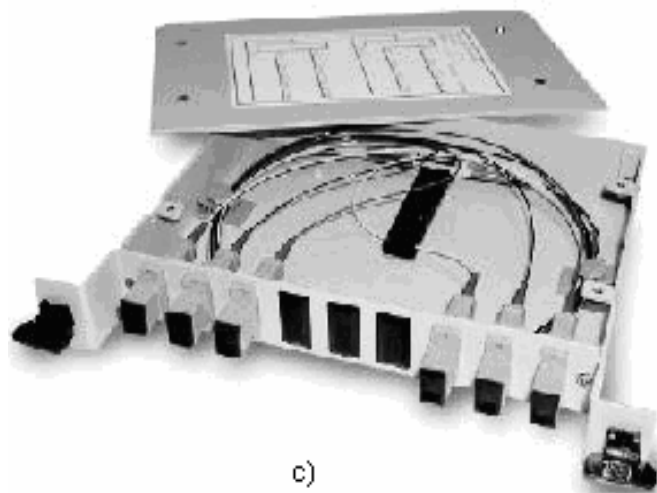
En la Figura 44 a, se describe un acoplador 2 x 2, una parte de la señal de entrada 1, es dirigida al puerto de salida 1, y el resto al puerto 2. De una manera similar una parte de la entrada de la señal de entrada 2 es guiada a ambos puertos. Los fragmentos dirigidos a los puertos pueden ser iguales o no iguales (Figura 44 b). Los acopladores funcionan como bloques de construcción de otros componentes. Un acoplador también puede usarse para medir la separación de un fragmento pequeño de señal para este propósito.

Figura 44. Acopladores



a) Iguales

b) no iguales



c) Rack (varios acopladores)



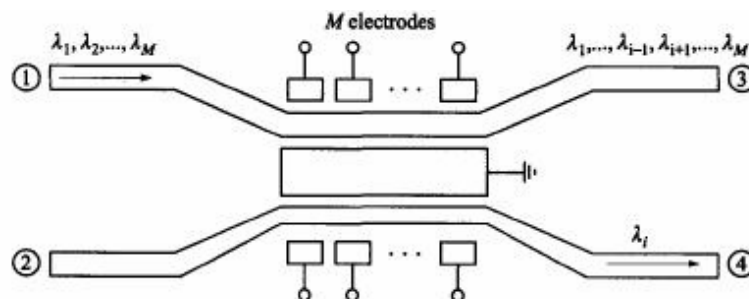
d) Vista de un acoplador

4.1.4.1. Acoplador direccional *Tunable* 2 x 2

Acopladores *tunable* 2 x 2 direccionales tienen electrodos de mando múltiples puestos en guías de onda de acoplamiento. La figura 45 ilustra un multielectrodo acoplador direccional asimétrico fabricado en un cristal de LiNbO donde un brazo es más delgado que el otro. Para una aplicación de eliminación de longitud de onda, se usa este dispositivo, las M longitudes de onda entran en la entrada del puerto 1. Aplicando un voltaje específico a los electrodos cambia el índice refractivo de guías de onda, mientras selecciona una de las longitudes de onda, vea λ_i , acoplado a la segunda guía de onda, para que salga a través del puerto 4.

Las $M-1$ longitudes de onda restantes pasan a lo largo del dispositivo y salen a través del puerto 3. Para insertar una longitud de onda y combinarla con un *stream* de la entrada en el puerto 1, uno inserta el λ_i en el puerto 2, para que se acople por la guía de onda en la cima. Así, salen por el puerto 3 junto con las otras longitudes de onda $\lambda_1, \dots, \lambda_{i-1}, \lambda_i, \lambda_{i+1}, \dots, \lambda_M$ que entraron en el puerto 1.

Figura 45. Concepto de Acoplador *Tunable*



4.1.4.2. *Gratings* (Rejillas)

Trabajan basadas en el principio de difracción dónde una señal se guía a unos agujeros pequeños en muchas direcciones. Porque unos caminos en el viaje de la longitud de onda son más largos que otros, que se agregan en fase. La fibra *Bragg Gratings* figura 46 en ella se modifican piezas de fibra que refleja una longitud de onda y deja pasar todas las otras, son simples de fabricar y usar y tienen pérdida de inserción baja.

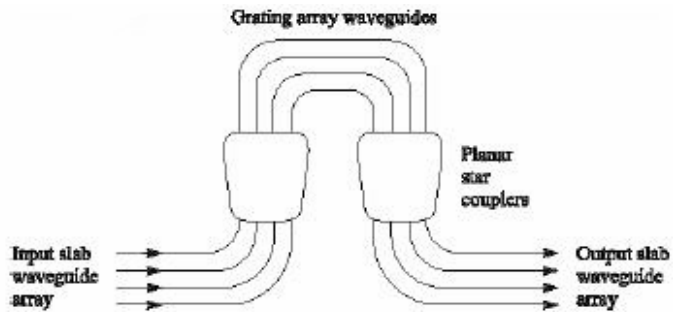
Figura 46. Piezas de Fibra Bragg Gratings



4.1.4.3. Arreglo enrejado (*Grating*) de Longitud de onda (AWG)

En AWG (Figura 47) la idea es que la señal con muchas longitudes de onda, se copian a varias fibras con longitudes diferentes y en cada fibra, menos una longitud de onda. En principio la idea es igual que en el gratings: las longitudes de onda diferentes consiguen fases diferentes, tardándose diferentes tiempos. AWGs son dispositivos prometedores, estos pueden usarse en circuitos ópticos integrados, y pueden combinarse fácilmente con otras funciones. Adicionalmente, pueden usarse como un multiplexor y un demultiplexor, la desventaja es su coeficiente de temperatura alto.

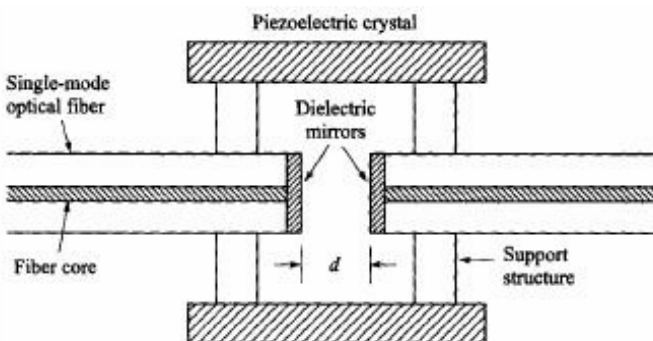
Figura 47. Fibra Bragg Gratings



4.1.4.4 *Fabry-Perot Tunable Filters (FPF)*

Son cavidades micro-ópticas, figura 48, en que se ponen dos espejos paralelos. Cuando las señales se reúnen en un espejo, una parte de ellas continúa y la otra parte se refleja. Las señales son reflejadas directamente al otro espejo y se atrasan, agregandose en fase a través del mismo espejo que la longitud de onda λ . La ventaja de filtros *Fabry-Perot* comparada a muchos otros tipos de filtros es su habilidad para filtrar longitudes de onda diferentes.

Figura 48. Operación FPF

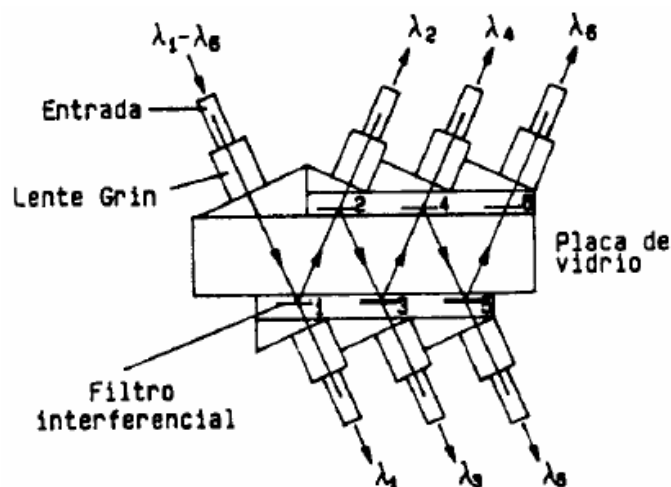


4.1.5. Multiplexores / Demultiplexores

El multiplexor es un dispositivo que combina varias señales con longitudes de onda diferentes en una fibra. Respectivamente un demultiplexor consigue una señal como una entrada, separando las longitudes de onda diferentes en la fibra, ordena cada longitud de onda a su propia fibra en la figura 49 se muestran los antes nombrados. El propósito de estos dispositivos es aumentar la capacidad de una fibra aumentando el número de canales por fibra de uno a centenares.

Dispositivo de derivación selectivo en longitud de onda utilizado en sistemas de transmisión WDM (*wavelength division multiplexing*) en el que las señales ópticas pueden transferirse entre dos puertos predeterminados dependiendo de la longitud de onda de la señal. Objetivo; Introducir diferentes longitudes de onda en la misma fibra óptica, con esto se logra WDM, es importante que presenten bajo *crosstalk*.

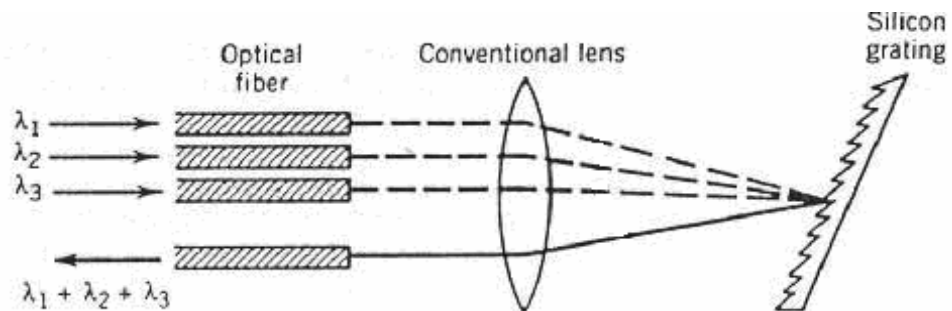
Figura 49. Multiplexor / Demultiplexor por multirreflexiones



4.1.4.1. Multiplexor

Dispositivo de derivación con dos o más puertos de entrada y un puerto de salida en el que la señal luminosa en cada puerto de entrada se limita a longitud de onda previamente seleccionada y la salida es la combinación de las señales luminosas procedentes de los puertos de entrada. En general todos los multiplexores ópticos pasivos consisten en una multiplicidad de fibras de entrada, cada una transportando una señal óptica a diferentes longitudes de onda. Todas las longitudes de onda son enfocadas al mismo punto focal y son acopladas a una sola fibra como se muestra en la figura 50.

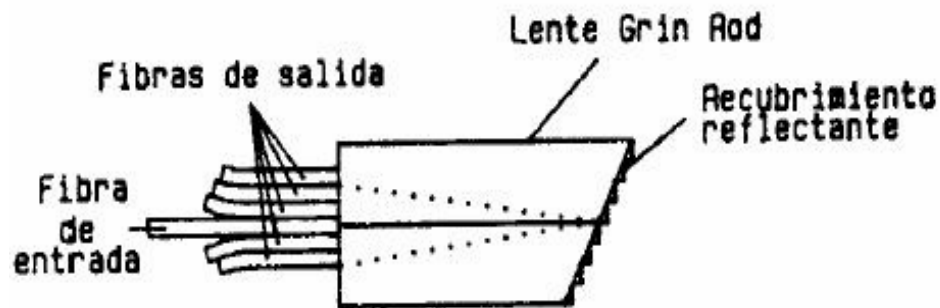
Figura 50. Funcionamiento de un Multiplexor Óptico



4.1.4.2. Demultiplexor

Dispositivo que lleva a cabo la operación inversa del multiplexor, en el que la entrada es una señal óptica que comprende dos o más longitudes de onda y la salida de cada puerto es una gama de longitudes de onda preseleccionada distinta. Normalmente se usa una grilla de dispersión para separar las distintas longitudes de onda vea figura 51.

Figura 51. Funcionamiento de un Demultiplexor Óptico



4.2. Componentes activos

4.2.1. Transmisores

Muchas de las propiedades del láser no pueden aun ser explotadas, por ejemplo, el pequeño ancho de banda y la coherencia de luz del mismo. En la actualidad los láser son usualmente fabricados a partir de materiales semiconductores (Diodo láser, LD).

Además de los láser, también se usan los diodos emisores de luz, LED. Ellos fueron desarrollados en la década de los 70's y son sencillos y baratos. Lamentablemente emiten una luz de gran ancho de banda y como irradian en forma esférica, solamente una pequeña parte de la potencia puede ser introducida en la fibra. A continuación una lista de transmisores frecuentemente usados.

- LED a 1300 nm de Láser Diode.
- LED a 1550 nm de Opto Speed.
- Láser *Fabry-Perot* en Primera Ventana.

- Láser *Fabry-Perot* en Segunda Ventana.
- Láser *Fabry-Perot* en Tercera Ventana.
- Láser DFB en Tercera Ventana y Modulación digital.
- Láser DFB en Tercera Ventana a 2.5 Gb/s y larga distancia con modulador de Electroabsorción integrado.
- Láser DFB MQW para empleo con modulador externo electro-óptico.
- Láser DFB para modulación directa a 2.5 Gb/s.
- Láser DFB para transmisión a 10 Gb/s con modulador de Electroabsorción externo integrado.
- Láser DFB en Segunda Ventana.

Los diodos láser DFB son los más usados y se componen de semiconductor InGaAsP que son fuentes simples de modo longitudinal. Estos se desarrollaron para el uso dentro de la ventana de pérdida mínima de la fibra monomodo a 1.55 μm en la que hay dispersión sustancial. Con estas fuentes, la atenuación limita la transmisión a una rata de 2.5 Gbps. Para servir como fuentes de WDM, el requisito principal era tenerlos a longitudes de onda definidas.

Los láser DFB tienen dependencia de temperatura de longitud de onda de aproximadamente 0.1 nm/°C. Así ellos necesitan refrigerantes termoeléctricos para mantener las longitudes de onda específicas. Las tolerancias en la tecnología WDM permiten el control de la longitud de onda actualmente en unos 100 GHz en sistema espaciado a una rata del canal de 2.5 Gbps que usa sólo control de temperatura de fuentes. A menudo, la buena exactitud de la longitud de onda ha sido un requisito y por consiguiente, se han usado técnicas de longitud de onda óptica *locking*.

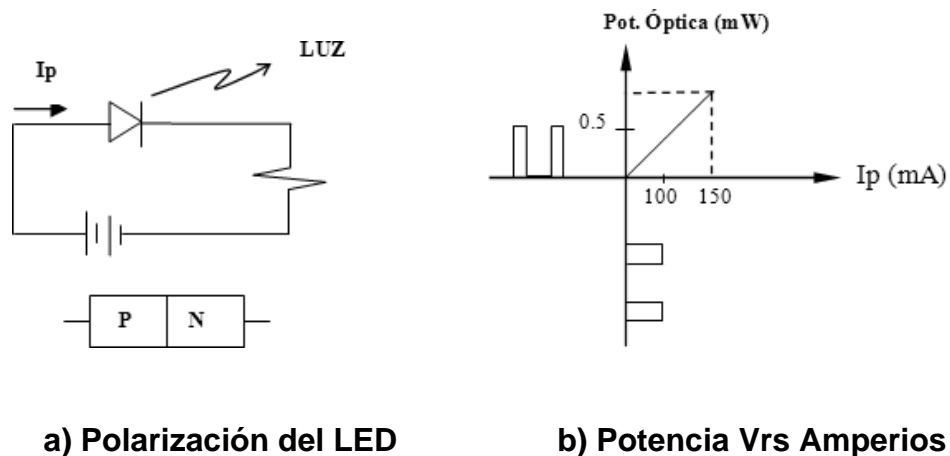
Éstos usan una porción pequeña fuera del láser a una longitud de onda del elemento selectivo que proporciona dos señales a los detectores basado en que la regeneración mantiene la longitud de onda con precisión.

Los transmisores que actualmente se han desarrollado aparecen como una gran alternativa por su funcionamiento y potencia.

4.2.1.1. Diodos emisores de luz

Son fuentes de luz con emisión espontánea o natural (no coherente), son diodos semiconductores de unión p-n que para emitir luz se polarizan directamente, ver figura 52.

Figura 52. LED



En la figura anterior vemos la representación característica de potencia óptica-corriente de polarización. La energía luminosa emitida por el LED es proporcional al nivel de corriente de la polarización del diodo.

Existen dos tipos de LED:

- LED de superficie que emite la luz a través de la superficie de la zona activa.
- LED de perfil que emite a través de la sección transversal (este tipo es más direccional).

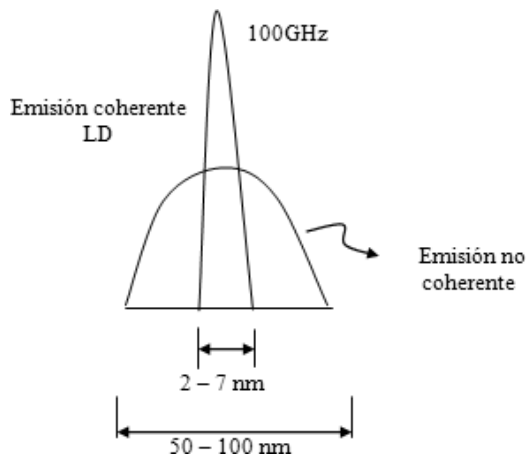
Es un emisor de baja potencia y precio relativamente económico que se utiliza para cortas y medias distancias. En general, se utiliza en la primera ventana (850nm) y segunda ventana (1300 nm) en fibras multimodo.

Los LED tienen una ancha banda de paso y la potencia de rendimiento baja. La potencia de rendimiento típica es de -20 dBm que es baja comparado a la potencia de rendimiento de los láser, de 0-10 dBm.

4.2.1.2. Láser

Son fuentes de luz coherente de emisión estimulada con espejos semireflejantes formando una cavidad resonante, la cual sirve para realizar la retroalimentación óptica, así como el elemento de selectividad (igual fase y frecuencia). La emisión del LD es siempre de perfil, estos tienen una corriente de umbral y a niveles de corriente arriba del umbral la luz emitida es coherente, y a niveles menores al umbral el LD emite luz incoherente como un LED. La figura 53 muestra una comparación de los espectros emitidos por un LED y un LD.

Figura 53. Espectros Emitidos por LED y LD

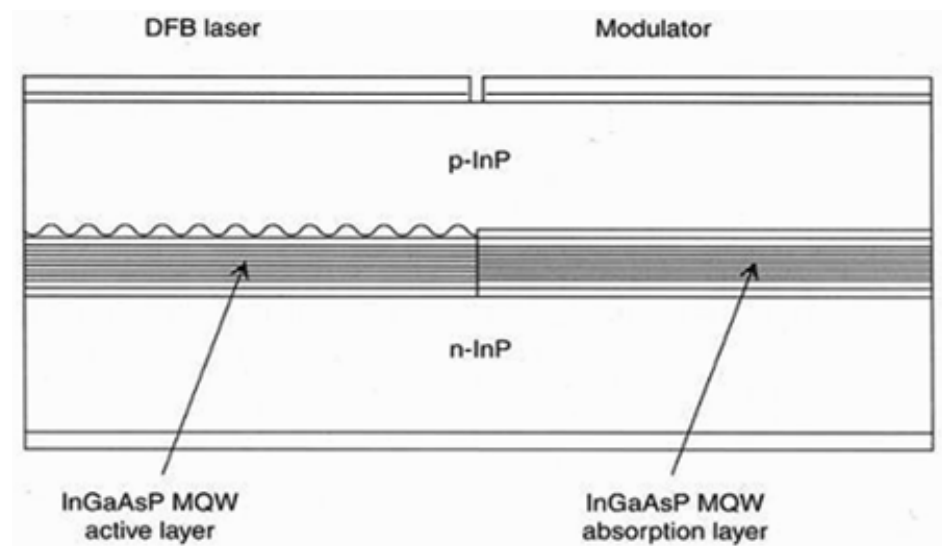


Como las características de los espejos son funciones tanto de la temperatura, como de la operación; la característica potencia óptica y corriente de polarización es función de la temperatura y sufre un cierto tipo de envejecimiento.

Con el ancho de línea de unos megahertz, los láser DFB pueden lograr la transmisión óptica por más que 500 Km. en fibra normal monomodo a 2.5 Gbps. Esto los hace satisfacer la aplicación de WDM con los amplificadores ópticos. Sin embargo, debido a los cambios de la longitud de onda, no pueden lograrse los tramos de transmisión largos usando la modulación directa. Así que, las técnicas de modulación externas son esenciales para los sistemas WDM. También, los anchos de banda de la modulación de láser DFB están limitados, y pueden lograr 10 Gbps usando la modulación directa. El Modulador externo de LiNbO_3 fue la primera tecnología tomada en uso para la modulación externa y todavía está en uso por lograr el *performance* más alto. Se fabrican las guías de onda ópticas en sustrato de cristal LiNbO_3 con intercambio de protones.

La luz se propaga lateralmente en la guía de onda. Hay un efecto electro óptico fuerte en el LiNbO_3 , para que la modulación de índice refractivo en áreas de la guía de onda pueda lograrse con el campo eléctrico producido por una superficie de electrodos de una película delgada. La velocidad de la modulación está limitada por la estructura del electrodo, una tasa de modulación de 40 Gbps puede lograrse. Los moduladores/demoduladores multi *quántum* de electro absorción, es ilustrado en la Figura 54.

Figura 54. Estructura Modulador-Fuente



Fuente: Dixit, Sudhir.

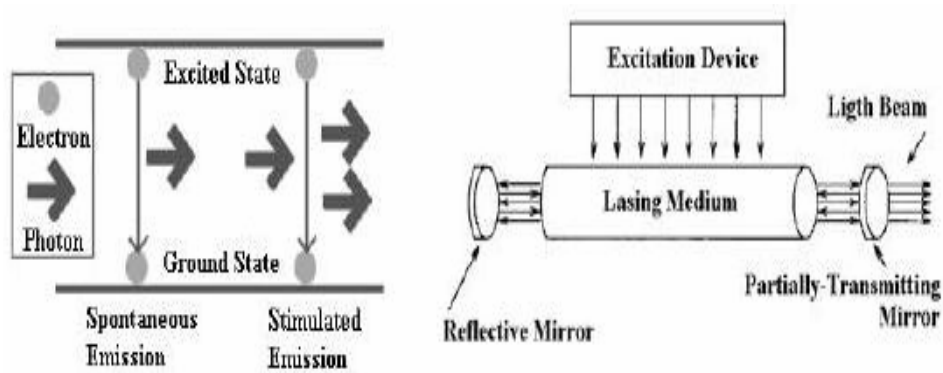
IP over WDM: Building the Next Generation Optical Internet

Página 71

Actualmente, los transmisores moduladores/demoduladores integrados se han tomado ampliamente en uso para la transmisión de larga distancia a tasas de 2.5 y 10 Gbps. En estos láser DFB se usan los procesos industriales similares a aquéllos usados para los diodos de láser discreto.

En la emisión estimulada un fotón actúa recíprocamente con el átomo que está en el estado de energía más alto. Los electrones emitidos al estado más bajo de energía sueltan una cantidad igual de energía. Debido a la estimulación fotónica, el nuevo fotón producido tiene la misma dirección, fase y longitud de onda exactamente como el primero. La emisión estimulada es una necesidad para el funcionamiento de un láser. En la figura 55 a, se ilustra la emisión estimulada.

Figura 55. Funcionamiento del Láser



a) Emisión Estimulada

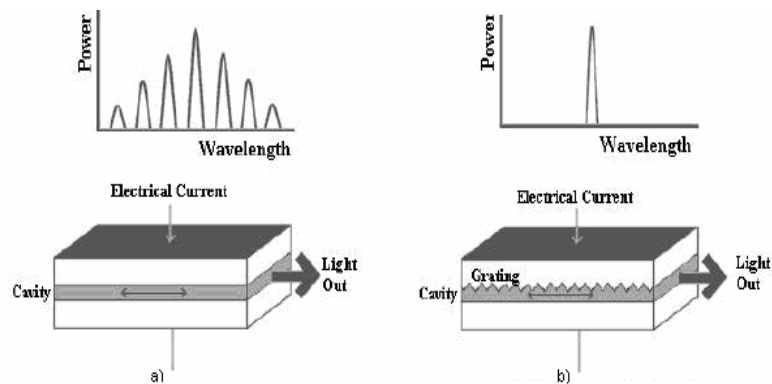
b) Estructura General de un láser

Adicionalmente, una fuente de energía, una cavidad llena del material conveniente y dos espejos se necesitan para la emisión, esto se muestra en la figura 55 b. El material puede ser sólido, líquido o gas. Es conveniente para un láser particular si la diferencia de energía entre el más bajo y el estado más alto del átomo es correcto tal que un fotón con la longitud de onda deseada podría producirse por la emisión estimulada. Para producir una luz coherente con el láser, se guía la energía a una cavidad llena del material particular, los electrones se elevan entonces al estado de energía más alto y se emiten los fotones espontáneamente.

La mayoría de los fotones emitidos a la salida pasan a través de las paredes de la cavidad. Algunos de ellos, sin embargo, confrontan el espejo con cierto ángulo y se reflejan. Cuando los fotones se encuentran, una parte de ellos continúa y una parte se refleja y estimula los nuevos fotones. Hay fotones suficientes que viajan en la cavidad, y una gran cantidad de luz también se dirige a través del espejo.

Además de las condiciones mencionadas, la longitud de la cavidad tiene que ser un múltiplo de la mitad de longitud de onda de la salida. Por consiguiente la luz de salida consiste en sólo un número limitado de longitudes de onda. Sin embargo, la salida de los láser debe ser tan estrecha como sea posible y para mejorar el láser todas estas longitudes de onda deben rechazarse excepto una. Esto puede hacerse filtrando o usando la cavidad externa, otra alternativa es usar una cavidad muy corta. Hoy los láser *Fabry-Perot* simples (Figura 56 a), como el discutido previamente, se reemplaza a menudo con los láser de regeneración distribuida (DFB) (Figura 56 b).

Figura 56. Comparación de Láser



a) Láser *Fabry-Perot*

b) Láser de Regeneración Distribuida

Los láser de cavidad externos pueden funcionar como los láser *tunable* lentos, si la longitud de la otra cavidad puede cambiarse, normalmente esto se hace moviendo el espejo o formando rejillas en la cavidad externa, una manera más rápida es cambiando la corriente, esto cambia el índice refractivo.

La desventaja de esta proximidad es la variación en la potencia, la otra es usar dos corrientes independientes, uno por controlar la potencia de salida y otro por controlar la longitud de onda del láser.

Los tipos de láser típicos son:

- *Fabry-Perot/MQW*; EL tipo de láser menos costoso, tiene un ancho de línea típicamente de 1 ó 4 nm. (Nótese que el ancho de línea está referido a nm, en lugar de MHz o GHz. El factor de conversión es 1 nm = 125 GHz.).
- *Standard DFB*; tiene ancho de línea de 0.1 nm, o 12 GHz. A tasas de Gigabits, puede ser una limitación para distancias de más de 50 km.
- *Screened DFB*; Es básicamente igual al diseño de Standard DFB, sin embargo ha sido escogido para anchos de línea típicamente de 0.01 a 0.05 nm, 1-5 GHz. Permite mayores distancias.
- *External Modulator/DFB*; Tiene un ancho de línea bastante pequeño (1-2 MHz) opera en CW (*continuous wave*). Un modulador externo hace la función de encender o apagar la luz.

- VCSEL; El “*Vertical Cavity Surface-Emitting Láser*” es el más nuevo en su clase. Éste emite la luz en forma vertical y tiene una cavidad vertical. Tiene capas de 20 a 30 átomos de espesor.

4.2.2. Receptores

El propósito del receptor óptico es extraer la información contenida en una portadora óptica que incide en el fotodetector. En los sistemas de transmisión analógica el receptor debe amplificar la salida del fotodetector y después demodularla para obtener la información. En los sistemas de transmisión digital el receptor debe producir una secuencia de pulsos (unos y ceros) que contienen la información del mensaje transmitido.

En las comunicaciones por fibra óptica se usan como detectores de luz, principalmente los fotodiodos. El comportamiento de estos semiconductores ha sido constantemente mejorado, especialmente en los que se refiere al tiempo de elevación del pulso y sensibilidad, en la actualidad se presentan en tamaños adecuados para ser acoplados en las fibras ópticas. El principal componente del Rx es el fotodetector, que convierte la luz en electricidad a través del efecto fotoeléctrico.

Entre los principales requerimientos del fotodetector figuran:

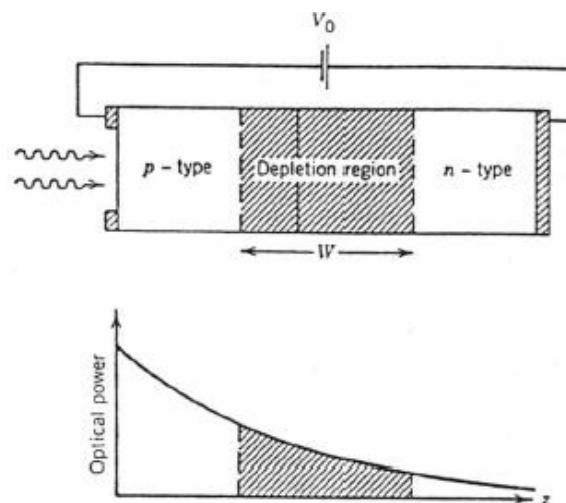
- Alta sensibilidad.
- Respuesta rápida.
- Bajo ruido.
- Bajo costo.
- Tamaño compatible con el del núcleo de la fibra óptica.

Estos requisitos son eficientemente atendidos con fotodetectores basados en materiales semiconductores, hay tres tipos de fotodiodos semiconductores; Los fotodiodos PN, PIN y fotodiodos APDs.

4.2.2.1. Fotodiodo PN

En la juntura de materiales p-n, polarizada inversamente, los electrones son atraídos hacia la región n, de manera que cuando se genera un par hueco-electrón (por absorción de un fotón) en la región de vaciamiento (*depletion*), éste es arrastrado hacia esa región, vea la figura 57. Si la absorción ocurre fuera de la región de agotamiento se le llama difusión.

Figura 57. Fotodiodo PN



El ancho de banda de un fotodiodo p-n, está limitado por su tiempo de transición. Debido a que el proceso de difusión es más lento que el de arrastre se produce una distorsión en los pulsos a la salida del fotodetector, esto se soluciona haciendo la región de

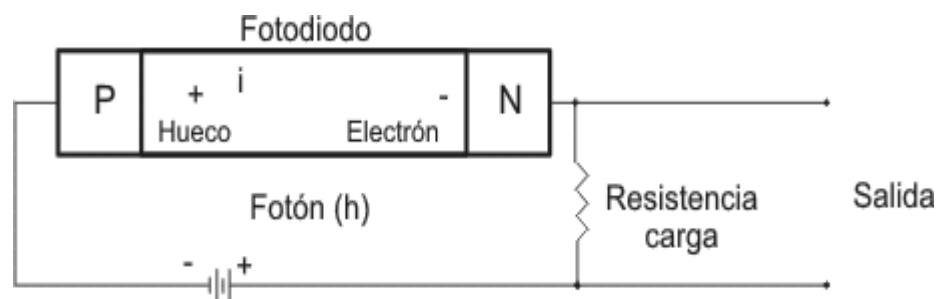
vaciamiento (*depletion*) más grande, en fotodiodos modernos se pueden lograr tasas de transmisión de hasta 40 Gb/s.

4.2.2.2. Fotodiodo PIN

Una manera simple de aumentar el ancho W de la región de vaciamiento, consiste en una capa de material semiconductor ligeramente contaminado, la cual se coloca entre dos capas de material semiconductor, una tipo N y otra tipo P (vea figura 58).

Genera un solo par electrón-hueco por fotón absorbido, son los más comunes y cuando se le aplica una polarización inversa al fotodetector, se crea una zona desértica (libre de portadores) en la región intrínseca en la cual se forma un campo eléctrico. Donde un fotón en la zona desértica con mayor energía o igual a la del material semiconductor, puede perder su energía y excitar a un electrón que se encuentra en la banda de valencia para que pase a la banda de conducción. Este proceso genera pares electrón–hueco que se les llama fotoportadores.

Figura 58. Fotodiodo PIN



En tal dispositivo, por cada fotón incidente, un electrón subirá a un estado alto. Esto es satisfactorio para los sistemas de rango más corto y tasas de bit más bajas, sin embargo, si una señal se ha debilitado significativamente, un tipo más avanzado de detector puede ser exigido. En la tabla 5 se muestran algunas características de los PIN.

Tabla V. Características Comunes de Fotodiodos PIN

Parameter	Symbol	Unit	Si	Ge	InGaAs
Wavelength	λ	μm	0.4–1.1	0.8–1.8	1.0–1.7
Responsivity	R	A/W	0.4–0.6	0.5–0.7	0.6–0.9
Quantum efficiency	η	%	75–90	50–55	60–70
Dark current	I_d	nA	1–10	50–500	1–20
Rise time	T_r	ns	0.5–1	0.1–0.5	0.02–0.5
Bandwidth	Δf	GHz	0.3–0.6	0.5–3	1–10
Bias voltage	V_b	V	50–100	6–10	5–6

4.2.2.3. Fotodiodos de Avalancha (APD)

Presenta ganancia interna y genera más de un par electrón-hueco, debido al proceso de ionización de impacto llamado ganancia de avalancha. Cuando a un fotodetector se le aumenta el voltaje de polarización, llega un momento en que la corriente crece por el fenómeno de avalancha, si en esta región se controla el fenómeno de avalancha limitando la corriente (antes de la destrucción del dispositivo), la sensibilidad del fotodetector se incrementa. Cuando se aplican altos voltajes de polarización, los portadores de carga libres se desplazan rápidamente, con mayor energía y liberan nuevos portadores secundarios, los cuales también son capaces de producir nuevos portadores.

Este efecto se llama multiplicación por avalancha. Gracias a la ionización de impacto se pueden generar más electrones que ayuden a la fotodetección; esto se refleja en la mayor responsividad del fotodetector, requiere menor potencia óptica para funcionar, pero cuatro veces mayor voltaje de alimentación (~100 V).

Con APD se logra alta ganancia, pero con bajo ancho de banda y mucho ruido, esto se mejora con SAM (*separate absorption and multiplication regions*) APD que logra bajar el ruido, y con SAG (*grading*) M APD que aumenta el ancho de banda. Se logran tasas de transmisión > 30 Gb/s.

Desgraciadamente, APDs tienen sus propios problemas, primero, la cantidad de amplificación está limitada. Segundo, los APDs son ruidosos porque la acción térmica puede promover un electrón al azar a la banda de conducción. Y finalmente, la acción avalancha toma tiempo para ocurrir, el dispositivo tiene un cierto tiempo de reacción.

Tabla VI. Características Comunes de Fotodiodos APD

Parameter	Symbol	Unit	Si	Ge	InGaAs
Wavelength	λ	μm	0.4–1.1	0.8–1.8	1.0–1.7
Responsivity	R_{APD}	A/W	80–130	3–30	5–20
APD gain	M	—	100–500	50–200	10–40
k -factor	k_A	—	0.02–0.05	0.7–1.0	0.5–0.7
Dark current	I_d	nA	0.1–1	50–500	1–5
Rise time	T_r	ns	0.1–2	0.5–0.8	0.1–0.5
Bandwidth	Δf	GHz	0.2–1	0.4–0.7	1–10
Bias voltage	V_b	V	200–250	20–40	20–30

4.2.3. Amplificadores

El amplificador óptico es un componente de importancia estratégica en la implementación de enlaces ópticos de gran distancia y alta velocidad, pero no es menos importante su ámbito de aplicación en sistemas de difusión, donde su misión es compensar las pérdidas de distribución. En cualquiera de sus versiones y tecnologías posibles de implementación, el amplificador óptico pretende restaurar el nivel de potencia de la señal óptica, mermado a consecuencia de su propagación a través de la fibra óptica y de los diversos componentes del enlace sin necesidad de realizar conversiones opto-electrónicas y electro-ópticas intermedias.

Una señal óptica se atenúa conforme va propagándose. Si la señal es demasiado débil, por ejemplo, en una distancia larga sin regeneración, el receptor no puede detectar la señal. Un amplificador óptico se usa para fortalecer la señal óptica a través de la amplificación. Un dispositivo relacionado al amplificador es el repetidor que se ha usado extensivamente en el pasado completamente regenera una señal después de una cierta distancia.

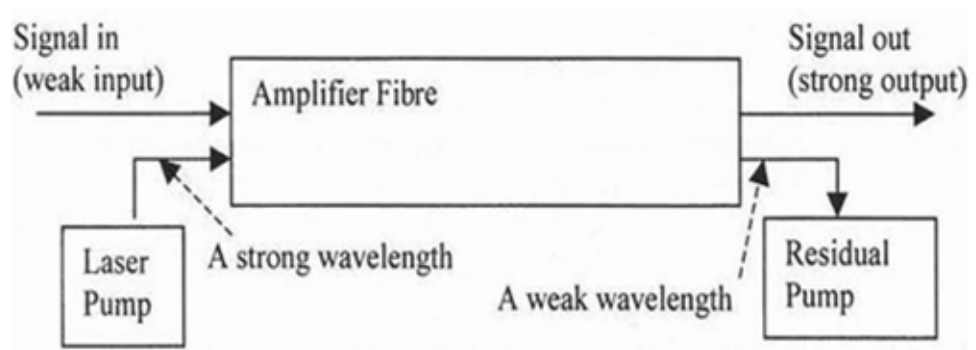
Un repetidor es un dispositivo O-E-O (óptico-eléctrico-óptico), para que la señal no sólo se regenere, si no también sea reformada, en un repetidor-regenerado la señal es limpia pero su proceso es caro. Un repetidor tiene un circuito receptor conversor O-E-O, circuito transmisor-controlado y una fuente de luz. Una señal óptica se convierte en una señal eléctrica al entrar al repetidor; la señal eléctrica regenerada se convierte a una señal óptica a través de los circuitos del transmisor, lo cual hace más lenta la transmisión.

Hay varios tipos de amplificadores ópticos, como el Amplificador de Fibra Dopada de Erblio (EDFA), el Amplificador de Fibra dopada de *Praseodymium* (PDFA), y el Amplificador Óptico Semiconductor (SOA). Entre ellos, EDFA es el amplificador óptico ampliamente usado. Hoy pueden transmitirse y amplificarse señales ópticas sobre distancias más largas sin conversión a la forma eléctrica. Comparado con los regeneradores, los amplificadores ópticos son más flexibles a los cambios en la rata de bit. Adicionalmente, ellos pueden usarse para amplificar varias longitudes de onda al mismo tiempo.

4.2.3.1. Amplificadores de Fibra Dopada de Erblio (EDFA)

Un EDFA se diseña como ya habíamos mencionado en capítulos anteriores, equipando una fibra monomodo común con erbio en su fabricación, esto se muestra en la figura 59, la fibra amplificadora es aproximadamente más de 10 m. de larga.

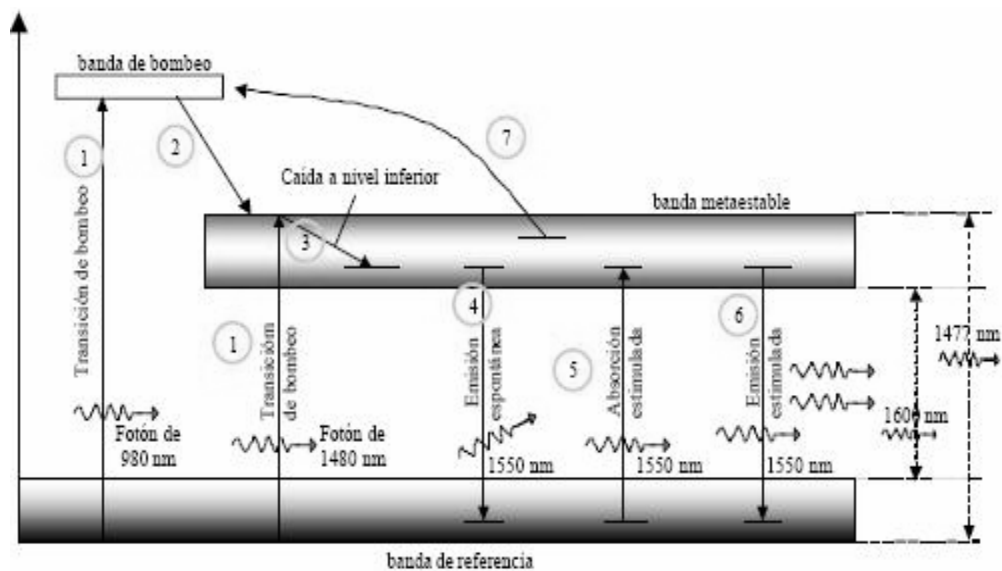
Figura 59. Diseño de EDFA



Fuente: Liu, Kevin H.
IP over WDM
Página 102

Se bombea en la sección del amplificador una longitud de onda fuerte, por ejemplo 980 nm, con la señal de entrada. Los iones de erbio en la fibra EDFA se promueven a un estado de energía más alto por el láser que es bombeado. Cuando la señal de entrada, por ejemplo 1550 nm, sea alcanzada por los iones de erbio promovidos, se transferirá energía a la señal de entrada ver figura 60. Los iones de erbio terminan con un nivel más bajo de energía, pero la señal se ha fortalecido. También, 'el ruido' será amplificado en ambas secciones de la fibra amplificadora, este ruido debe quitarse para reducir el ruido acumulado en la señal.

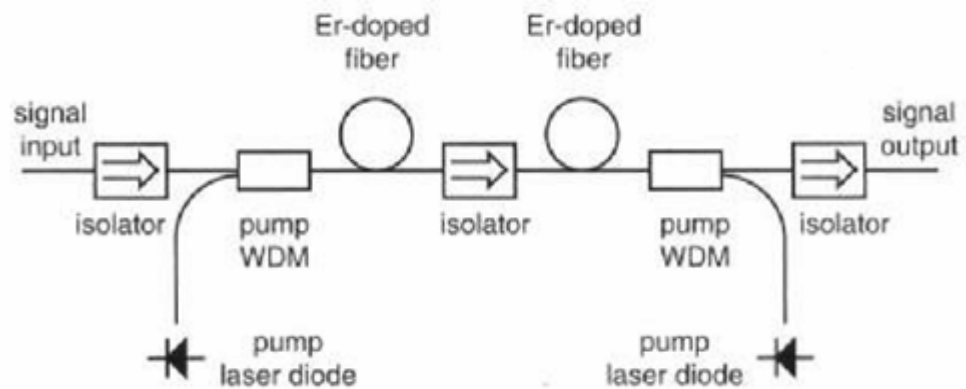
Figura 60. Esquema de niveles EDFA



En contraste, un OAMP es más barato y más simple que un repetidor y también es más fuerte en lo que se refiere a su ambiente. Un repetidor requiere una tasa de bit específica y forma de modulación, pero un OAMP es insensible a la tasa de bit o forma de la señal.

Un ejemplo de una estructura de EDFA se muestra en la figura 61, la fibra dopada de erbio puede bombearse codireccionalmente, contradireccionalmente, o como la mostrada aquí, bidireccionalmente, en la figura 62 se muestran las diferentes configuraciones que se usan para el bombeo.

Figura 61. Estructura EDFA



Fuente: Dixit, Sudhir.

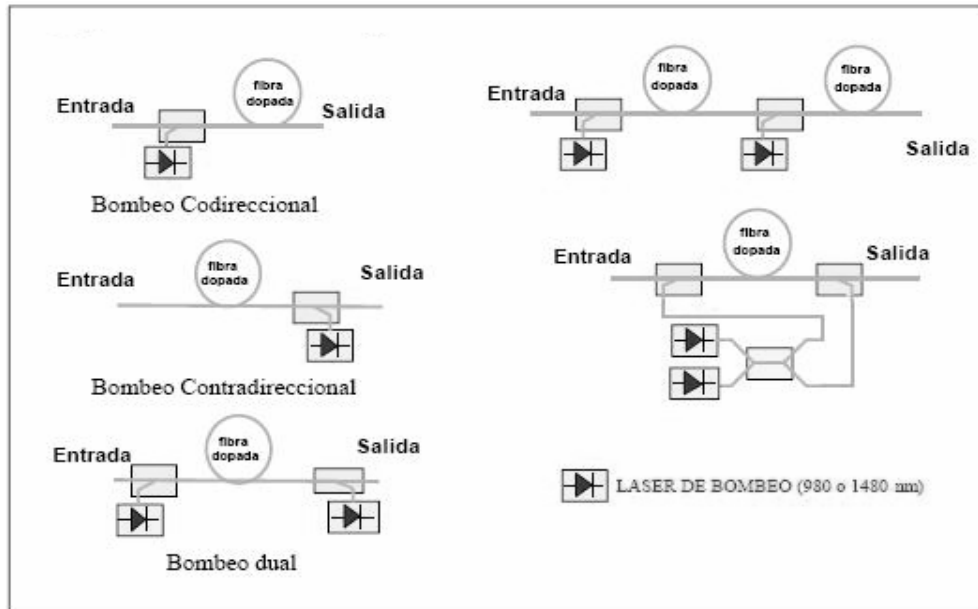
IP over WDM: Building the Next Generation Optical Internet

Página 79

Se usan aisladores ópticos por que permiten la transmisión a través de EDFA en sólo una dirección, y así evitar reflexión múltiple amplificada que puede deteriorar el desempeño e incluso puede llevar a la oscilación del láser amplificador. Se usan acopladores de tapa ópticos típicamente para acoplar porciones pequeñas de la entrada y la salida para señales de monitoreo y EDFA de propósitos de control. Las EDFA ópticas son ensambladas por fusión de varios componentes de fibra óptica, y empaquetada en un bloque paquete de ganancia.

La electrónica adicional se necesita para manejar la bomba del láser, supervisar su rendimiento óptico, controlar la temperatura, para lo cual se usa un refrigerador termoeléctrico, supervisar la entrada y salida óptica, y generalmente, para controlar el funcionamiento de EDFA.

Figura 62. Diferentes Estructuras de bombeo EDFA



A continuación se mencionan las ventajas y desventajas de los amplificadores EDFA.

Ventajas:

- Bajas pérdidas de acoplo.
 - Ganancia alta (>40 dB).
 - Realimentación y rizado bajo en la banda.
 - Figura de ruido 3.5-12 dB.

- Insensible a la polarización.
- Almacenamiento de energía alto.
 - Funciona en saturación.
 - Baja diafonía.
- Potencia de saturación alta (>10 dBm). Pout (1-4000 mW).
- Ancho de banda insensible a la temperatura.
- Ancho de banda de ganancia reproducible 1520-1570 nm.

Desventajas:

- Ancho de banda estrecho.
- Bombeo con DL

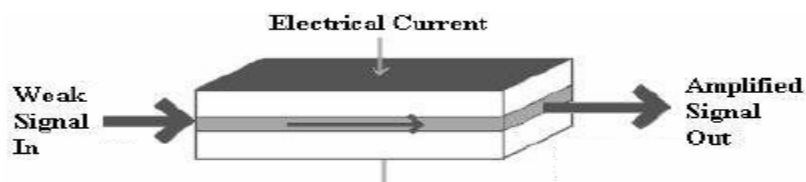
Los EDFAs tienen muchas propiedades buenas mucho más que los LED al usarlos en grandes sistemas ópticos de transmisión:

- Operación en $1.55 \mu\text{m}$, pérdida mínima de transmisión en la ventana normal de las fibras monomodo.
- Disponibilidad de ganancia alta, ruido bajo, y potencia de salida ópticos altos.
- Naturalmente aplicable para la transmisión WDM, la operación se logra por un extenso ancho de banda óptico (típicamente, 30 nm).
- Debido al extenso tiempo de vida de estado de excitación, la dinámica de inversión de población es lenta, y hay un *crosstalk* insignificante entre varias señales WDM a altas tasas de bit usadas en la comunicación óptica.
- Alta potencia de conversión eficientemente logable.
- Dependencia de polarización y sensibilidad de temperatura baja.

4.2.3.2. Amplificador Semiconductor Óptico

El Amplificador Semiconductor Óptico (SOA) es basado de forma semejantemente a la emisión estimulada como en EDFAs. La diferencia es que en lugar de cambio de niveles de energía de átomos dopados, el proceso es basado en electrones, y el electrón agujerea el semiconductor. El amplificador consiste en dos semiconductores separados con un hueco de banda como se muestra en la figura 63.

Figura 63. Amplificador Semiconductor Óptico (SOA)



Actualmente, los amplificadores SOAs no son buenos como EDFAs, tienen el ancho de banda más grande, es decir ellos pueden usarse para amplificar más longitudes de onda. Sin embargo, su potencia de salida es más débil, hay más polarización y pérdidas de acople. Los SOAs son pequeños comparado a EDFA, y esto los hace conveniente para la construcción de otros dispositivos.

Ventajas:

- Control por corriente.
- Tecnología en uso.
- Compactos e integrables.
- Buen Ancho de banda.

Desventajas:

- Sensibilidad a la polarización.
- Diafonía.
- Pérdidas de acoplo.
- Factor de ruido relativamente alto.
- Potencia de saturación pequeña.

En la tabla 7 se muestra una comparación de EDFA y SOA.

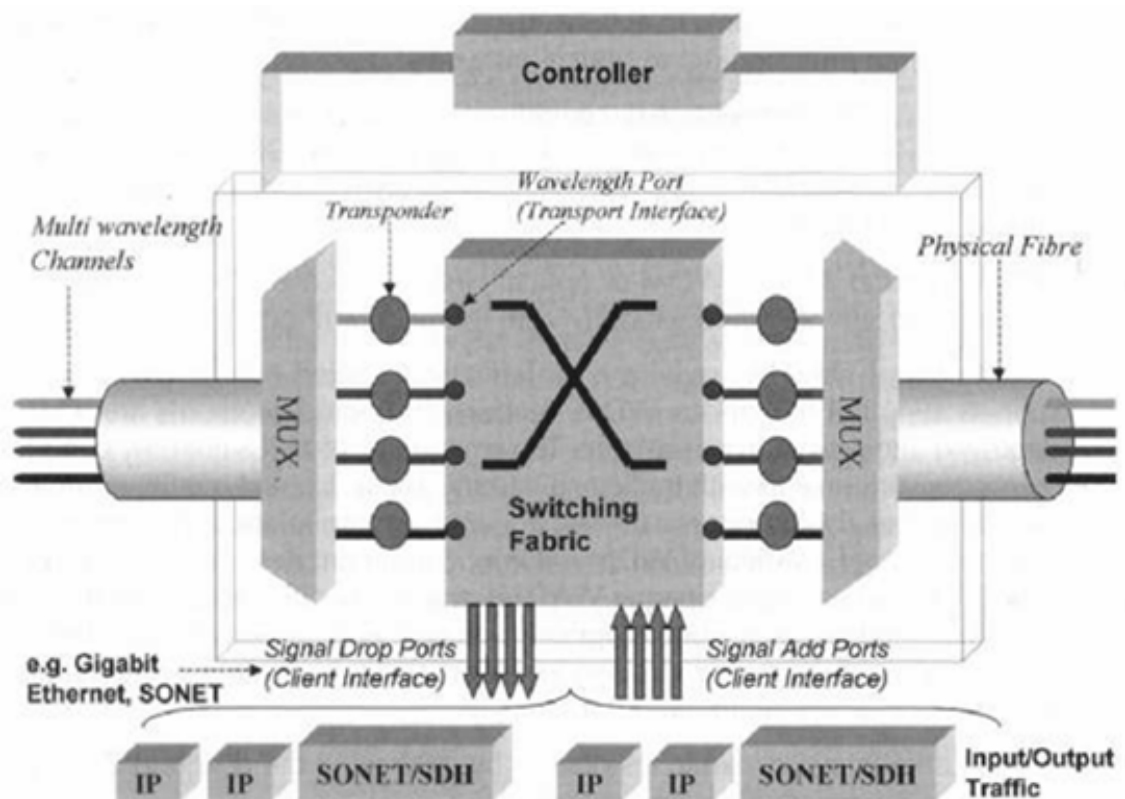
Tabla VII. Características EDFA-SOA

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

5. IP SOBRE WDM

La red IP/WDM es designada para transmitir tráfico IP en una red óptica WDM por influencia de ambos, la conectividad universal de IP y la masiva capacidad de ancho de banda de WDM. La Figura 64 muestra la transportación de paquetes IP o señales SONET/SDH sobre redes WDM.

Figura 64. Transporte de Paquetes IP sobre Longitudes de Onda



Fuente: Liu, Kevin H.
IP over WDM
Página 8

Un software director controla el cambio de tejido IP, como una tecnología de capa de red, confía en una capa *datalink*:

- Tramas (como en SONET o Ethernet);
- Detección de Error (como Chequeo de Redundancia Cíclica, CRC);
- Recuperación de Error (como Requerimiento Automático de Repetición, ARQ).

5.1. ¿Por qué IP sobre WDM?

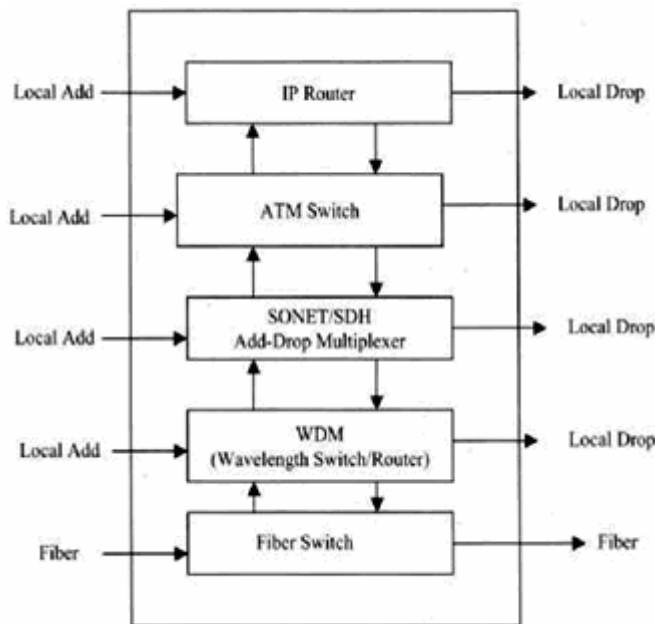
WDM existe porque la fibra existe y está en el lugar. WDM proporciona mucho ancho de banda, e IP ofrece gran convergencia que es una combinación premiada. IP estará en la red porque es una capa rédito-generadora, considerando que WDM es una capa reductora de costos que también proporciona alta capacidad. ATM y SONET/SDH no agregan mucho valor al transporte de datos, porque SONET/SDH se diseñó para circuitos de switcheo mundial, donde granularmente el ancho de banda básico era 64 kbps, cuando los datos no eran tan predominantes como en la actualidad. El valor de ATM y SONET/SDH también se minimiza porque IP entrega la calidad de servicio en forma potencial. WDM apoya los buenos rasgos de SONET/SDH, y los nodos podrán procesar la información a ratas de línea. Habiendo dicho esto, debe notarse que ATM, SONET/SDH, y WDM continúan desplegándose en el centro de la Internet y redes metropolitanas por el hecho que ellas ofrecen varios niveles de granularidad, protección, y capacidad.

La pregunta no es si IP sobre WDM es una solución a largo plazo, más bien cuánto tiempo tomaría para desplegarse a larga escala. Estrechamente asociado con esta tendencia, GMPLS está surgiendo como un control común y protocolo de señalización para tener el cuidado de switchear y

rutear la fibra, la longitud de onda, los paquetes, e incluso el nivel de *slot*. Mientras esta evolución toma lugar, SONET/SDH y la alta capacidad de tráfico IP coexistirá en la vértebra óptica de WDM. SDH o SONET podrían ser los multiplexores en redes WDM en longitudes de onda individuales, para que puedan insertarse las longitudes de onda y/o extraerse en los nodos ópticos. Similarmente, un router IP con un interfaz WDM con láser podría conectarse directamente con un switch óptico o un router óptico.

Conceptualmente, es bastante posible construir un nodo de red que *switchea* a diferentes capas de la pila protocolar. Este tipo de plataforma que podría *switchear* capas múltiples de la pila protocolar, ya puede construirse en la actualidad (Figura 65).

Figura 65. Nodo de Red Multicapas



Fuente: Dixit, Sudhir.

IP over WDM: Building the Next Generation Optical Internet

Página 11

Por ejemplo, la capa más baja, podría tener una fibra en conexión cruzada. En una capa más alta, estaría un conmutador de longitudes de onda de una fibra entrante a una fibra saliente. A una capa aun más alta, podría switchearse ATM con la interfaz de SONET/SDH. Algunas de las longitudes de onda podrían llevar tráfico SONET/SDH, que tendrá ATM en las cargas útiles. Otra capa podría tener un switch IP.

IP sobre WDM involucra la capa superior IP en problemas de integración protocolar. Por ejemplo, un desafío es encontrar las técnicas para router la longitud de onda y asignación de longitud de onda para construir redes ópticas basadas en *lightpath*. La fiabilidad de la red y los cambios de protección también son problemas mayores para las redes WDM. Otro problema es cómo acceder a los canales. SONET/SDH puede usarse para el acceso del canal, pero la meta global es minimizar la conversión eléctrico-óptica (E/O) y óptico-eléctrico (O/E). La magnitud de transparencia óptica también es todavía incierta. Es decir, hasta que punto uno debe hacer O-E o la conversión E-O depende de la cantidad de carga de tráfico y la habilidad de llevar el tráfico transparente ópticamente tanto como sea posible.

Se cree ampliamente que IP proporciona la única capa de convergencia en la Internet global. IP, un protocolo de capa 3, se diseña para dirigir redes al nivel de interoperabilidad y rutear sobre sub-redes con diferentes capas. Sobre la capa IP, hay una gran variedad de servicios IP y aparatos que esperan que evolucionen de su infancia. Un ejemplo se encuentra en la casa, conectando una red que interconecta una gama amplia de dispositivos electrónicos. Debajo de la capa IP, se encuentra la fibra óptica usando WDM, es la tecnología de línea de cables más prometedora, mientras ofrecen una enorme capacidad de red exigida por el

crecimiento continuo de Internet. La tecnología WDM se pondrá más atractiva como baje el precio de sistemas WDM.

Con el despliegue mundial continuo en la fibra óptica y la madurez de WDM, se han desplegado no sólo las redes ópticas en el metro basadas en WDM, también regional y redes de acceso. El plano de control es responsable por transportar los mensajes de control para intercambiar la habilidad de alcance e información de disponibilidad, computar y preparar los caminos que siguen los datos. El plano de datos es responsable por la transmisión de usuario y aplicación de tráfico.

Una convención del sistema de red de control WDM usa un canal de control separado, también conocido como una Red de Comunicación de Datos (DCN), por transportar los mensajes de control. Para direccionar, estos sistemas emplean una jerarquía de dirección. Combinando IP y WDM, en el plano de datos, pueden asignarse los recursos ópticos de la red a WDM y a IP el tráfico eficazmente, y en el plano de control, puede construirse un plano de control centralizado. IP sobre WDM es también direccionado en todos los niveles de interoperabilidad.

La motivación antes mencionada de IP sobre WDM puede resumirse a continuación:

- Las redes ópticas WDM pueden direccionarse con el crecimiento continuo del tráfico de Internet aprovechándose de la infraestructura de fibra existente. El uso de tecnología WDM puede aumentar el uso del ancho de banda de la fibra significativamente.

- La mayoría del tráfico de datos que cruza las redes es IP. Casi todas las aplicaciones de datos de usuario final usa IP. El tráfico de voz convencional también puede ser paquetizado con técnicas de voz sobre IP.
- IP/WDM hereda la flexibilidad y adaptabilidad que ofrecieron los protocolos de control de IP.
- IP/WDM puede lograr o puede apuntar para lograr la demanda en ancho de banda dinámica (tiempo real) en las redes ópticas.

- Desarrollo convencional, centralizadas controladas en una red óptica distribuida, auto controlada, la red IP/WDM integrada no sólo reduce el costo de operación, también puede proporcionar asignación de recurso dinámico y en demanda.

- IP/WDM espera dirigir a WDM o el Elemento de Red óptico (NE), el vendedor y el servicio interoperará con ayuda de protocolos IP.

- Las redes ópticas WDM requieren un plano de control escalable y unificado por subredes proporcionado por varios vendedores de WDM. La emergencia de MPLS no sólo complementa el convencional IP con ingeniería de tráfico y una calidad de servicio diferente, también propone un IP céntrico unificado.

- La existencia de una variedad de equipo WDM exige al vendedor interoperabilidad. Por ejemplo, WADMs oscuro requiere formatos de señales específicas como SONET/SDH señales en insertar/extraer (add/drop) en interfaz con el cliente.

- IP/WDM puede lograr una restauración dinámica palanqueando los mecanismos de control implementados en la red.
- Desde el punto de vista de servicio, las redes IP/WDM pueden aprovecharse de las armazones de QoS, modelos, políticas, y mecanismos.

La integración de IP/WDM se traducirá en el futuro en un transporte de red óptico eficaz que reduce el costo de tráfico IP (costo por bit/milla) y aumentando la utilización de la red óptica.

5.2. Longitud de onda

5.2.1. Switch/Routers y Conmutación

Un Router de Longitud de onda es un dispositivo usado en redes WDM. Tiene una o más entradas y puertos de salida que se conectan a otros router de longitud de onda y/o fin de nodos, usando una o más fibras se une a cada fibra vecina. Los router deben poder dirigir las señales en longitudes de onda diferentes a puertos de entrada diferentes o (posiblemente) a puertos de salida diferentes independiente de las señales en otros puertos de entrada y en otras longitudes de onda. Según la matriz presente de asignación de ruta hay cuatro tipos mayores de arquitecturas de router de longitud de onda: Multiplexores de inserción/extracción, Conmutadores Ópticos, Router Estáticos de Longitud de onda y Router Reconfigurable de Longitud de Onda.

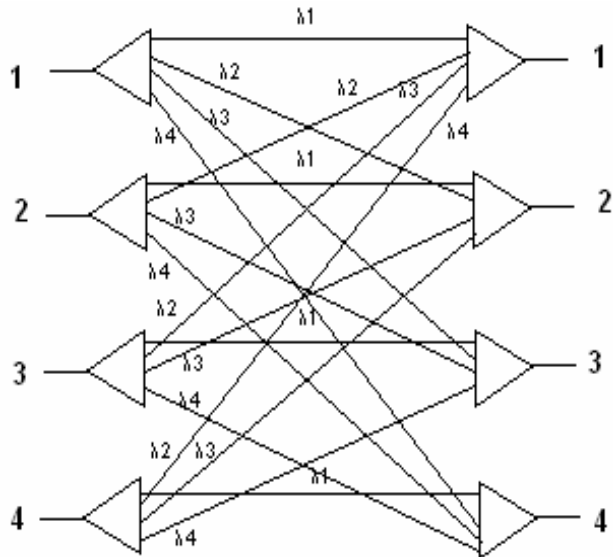
El Switch óptico puede diseñarse para conectar marcos de capa 2, por ejemplo un OXC. Un OXC utiliza un paradigma de circuito de

switchero en el que hay un DCN funcionando como el canal de mando, y hay un arreglo de conexión. Una vez una conexión es fijada, funciona como un eslabón o conduce por líneas, y el tráfico fluye dentro y fuera. Los routers por longitud de onda eligen una λ libre para cada línea y convierten el flujo de datos a la nueva λ en caso necesario. Se trata realmente de un servicio de conmutación de circuitos. La selección se puede hacer de forma manual o automática, mediante un protocolo de ruteo.

Un dispositivo de ruteamiento de longitud de onda puede rutear señales en fibras de entrada diferentes en el dispositivo para fibras diferentes de salida basado en la longitud de onda de señales. El ruteamiento de longitud de onda es hecho de la manera siguiente: primero varias longitudes de onda de cada puerto de entrada son demultiplexadas, después pueden ser opcionalmente conmutadas separadamente y después son multiplexadas en cada puerto de salida. El dispositivo puede ser reconfigurable o no. En dispositivos reconfigurables, la función de ruteamiento del switch puede controlarse electrónicamente.

Un ruteador de comprimiento de onda no reconfigurable puede construirse con un grupo de demultiplexores que separa cada una de las longitudes de onda que llegan en una fibra, seguido de un grupo de multiplexores que recombinan las longitudes de ondas de varias entradas en una sola salida. Se unen las salidas de los demultiplexores a las entradas de los multiplexores como se muestra en la figura 66.

Figura 66. Ruteador 4x4



La máxima versatilidad en WDM se consigue con los denominados routers por longitud de onda. Se trata de dispositivos que permiten la selección dinámica de la ruta óptica por la red, eligiendo una λ libre para cada parte del trayecto. Los routers por longitud de onda utilizan un protocolo de ruteo dinámico, el *Wavelength Routing Protocol* o WaRP. El WaRP les permite elegir la ruta óptima y en caso de fallo en algún punto de la red reencaminan los circuitos afectados con tiempos de recuperación comparables a los de SONET/SDH (50 ms) que son mucho menores que los habituales en OSPF o incluso en PNNI. De momento el único protocolo de ruteo que hay en el mercado es el WaRP (*Wavelength Routing Protocol*) y Cisco es el propietario.

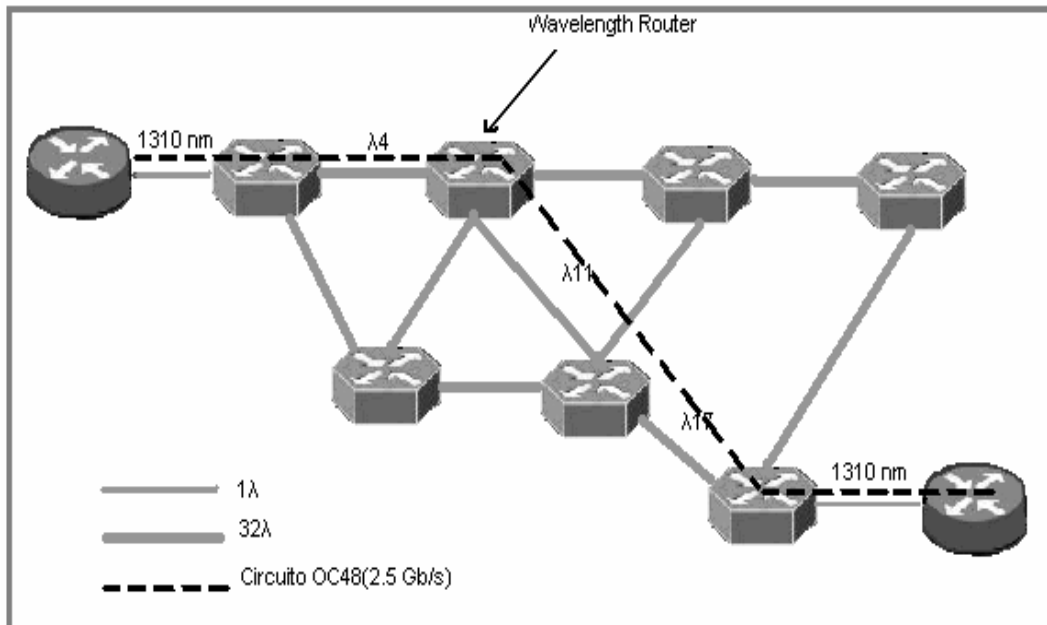
Características de WaRP:

- WaRP elige la ruta óptima.

- La asignación de λ se hace de forma muy similar a la asignación de VPI/VCI en ATM.
- Una vez elegida una ruta la λ utilizada en cada parte del trayecto queda reservada.
- WaRP equivale a un PNNI que establece circuitos virtuales conmutados ATM CBR.
- En caso de fallo se busca un camino alternativo con tiempos de recuperación similares a SONET/SDH (50 ms), mucho menores que los de PNNI.

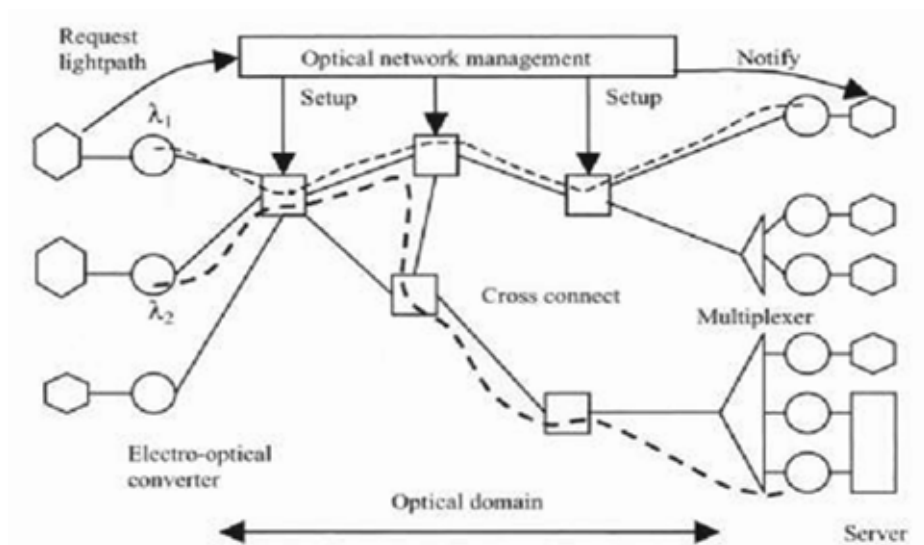
La selección de λ para el trayecto óptico se realiza, el valor elegido para cada parte del trayecto dependerá de los valores ya utilizados, y puede ser (y normalmente será) diferente para cada parte del trayecto ver figura 67.

Figura 67. Enrutamiento por Conmutación de λ



Una red WDM escalable puede construirse tomando varios WDM *Links* y conectándolos a un nodo por un subsistema Switch. Estos nodos (también Routers de longitud de onda) se interconectan por fibras para generar topologías diversas y complejas. Cada Router de longitud de onda toma su decisión de asignación de ruta basada en el puerto de entrada y longitud de onda de señal que llega. La misma señal llevada por la longitud de onda λ_1 será ruteada similarmente por los Routers intermedios hasta que alcance el último puerto de su destino (vea Figura 68). Una conexión fin-a-fin es llamada *Light path* (camino de longitud de onda) de una red de un router de Longitud de onda (WR Wavelength Routed). Al mismo tiempo, la misma longitud de onda puede re-usarse en alguna otra parte de la red para otro *Light Path* de fin-a-fin con tal de que dos o más caminos de luz que corresponden a la misma longitud de onda no fluyan a través de la misma fibra.

Figura 68. Red con Router de Longitud de Onda



Fuente: Dixit, Sudhir.

IP over WDM: Building the Next Generation Optical Internet

Página 363

Tal espacio reusado de longitudes de onda imparte la escalabilidad más alta a la red WR para transmisión y selección en redes WDM. Si la conexión de fin a fin se establece por diferentes longitudes de onda en cascada proporcionando una facilidad de conversión de longitud de onda, se dice que la conexión ha sido establecida por un camino de *semi-lightpath* o [Virtual Wavelength Path (VWP)] y el nodo se designa como de tipo [Wavelength Interchanging (WI)].

5.2.1.1. Ruteamiento y Asignación de Longitud de onda

Uno de los requisitos importantes en el plano de control de una red óptica de longitud de onda ruteada (WRON) es subir y bajar conexiones ópticas, que se establecen por caminos de luz entre nodos de la fuente al destino. Un camino de luz (*Lightpath*) es un camino totalmente óptico que conecta una fuente y un destino tal que cada eslabón del camino use la misma longitud de onda (continuidad de longitud de onda). Esto es verdad cuando los OXC en la WRON no tienen la capacidad de conversión de longitud de onda.

Al contrario, cuando la asignación del camino de luz se hace *link* por *link* para que el camino óptico sea una cadena de caminos de luz de longitudes de onda diferentes, se llama un VWP. Esto es consecuencia del hecho que los OXCs en WRON proporcionan la facilidad adicional de conversión de λ . Distinguimos entre caminos (*lightpath*) estáticos y dinámicos, dependiendo de la naturaleza del tráfico en la red. Cuando la naturaleza del modelo de tráfico es estática, un tipo de *lightpath* se establece y permanecerá en la red por un período largo de tiempo.

Cuando es estático es pertinente en un plan inicial y fase, planear el estado, y el objetivo es maximizarlo a través de la red (es decir, maximizar el número de *lightpaths* establecidos con los recursos de la red dados). Para el escenario de tráfico dinámico donde el modelo de tráfico cambia rápidamente, la red tiene que responder para demandas de tráfico rápidamente y económicamente. Un *lightpath* es fijado para cada demanda de conexión requerida según va llegando, y el *lightpath* se suelta después de algún tiempo finito. A esto se le llama el Establecimiento Dinámico de *lightpath*. Dado un número de longitudes de onda, es necesario determinar las rutas sobre los *lightpath* que serán establecidos y las longitudes de onda que serán asignadas a estas rutas. Este problema es llamado RWA, una asignación de ruta y asignación de longitud de onda.

5.2.1.2. Algoritmo RWA

El problema de RWA se ve como un subproblema de asignación de ruta y un subproblema de asignación de longitud de onda.

- Subproblema Ruteo; El subproblema de asignación de ruta se categoriza como estático o adaptable y normalmente emplea el estado de la información global o local.
- Camino de Ruteo Fijo/Fijo-alternativo; En la asignación de ruta fija, una sola ruta fija se predetermina para cada camino de fuente al destino y guardará en una lista fuente en el nodo. Cuando la demanda de conexión llega, una ruta se selecciona por las rutas precomputadas.

- Ruteo Adaptable; Por el aprovechamiento del ruteo adaptable, la probabilidad de conexión de camino puede ser mejorada proporcionando a la red la información de estado global. Esto puede organizarse centraladamente o en una moda distribuida. En un algoritmo centralizado, el gerente de la red mantiene el estado de la información completa y es responsable de encontrar la ruta y preparar el *lightpath* para las demandas de conexión.

En este caso, no es necesario un alto grado de coordinación entre los nodos, pero la entidad centralizada es posible que falle en un solo punto. En asignación de ruta adaptable distribuida basada en el acercamiento del estado del *Link*, cada nodo debe mantener el estado de información de la red completa. La información que es recargada o movida en cualquier establecimiento de un *lightpath* debe ser transmitida por los nodos para ponerse al día.

El segundo tipo de asignación de ruta adaptable es basado en un vector de distancia o asignación de ruta distribuida en que cada nodo mantiene una tabla de asignación de ruta para cada destino y cada longitud de onda, dando indicaciones del próximo salto al destino. El esquema requiere las tablas de asignación de ruta y la actualización.

5.2.2. Conversores de Longitud de onda

Convierten la longitud de onda de la portadora óptica de una señal a otra distinta. La conversión de longitud de onda es necesaria para el aprovechamiento total de la dimensión de la longitud de onda en las redes WDM.

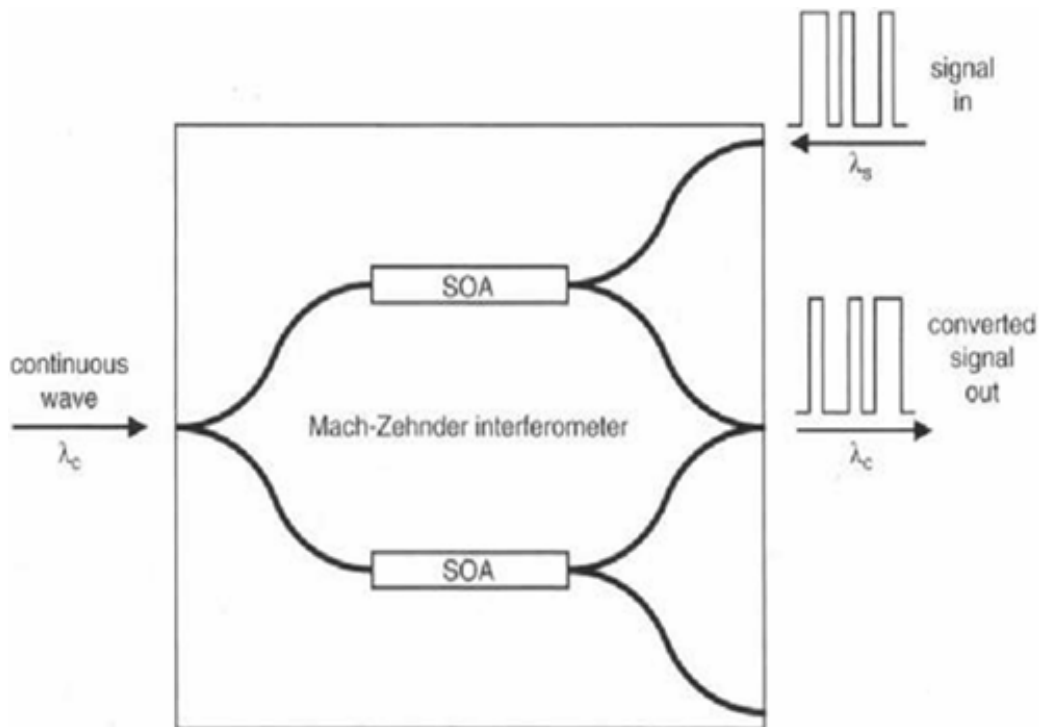
Los conversores de longitud de onda realizan la adaptación de la longitud de onda a las interfaces de la red. Se usan para evitar un bloqueo en la longitud de onda en OXC, facilitar la asignación de caminos de la longitud de onda para cada *link*, generalmente permite direccionar más fácil los recursos y escalabilidad arquitectónica de la red, y en la realización de asignación de ruta funciona en combinación con filtros ópticos.

Hay varias propuestas para los conversores de longitud de onda, la conversión optoelectrónica es la más simple, se trata de un transponders WDM. Además de optoelectronicos pueden ser basados en gating óptico o un mezclador de onda. Hoy, la única alternativa totalmente óptica es la utilización de modulación de fase cruzada utilizada en una estructura de un Amplificador Semiconductor Óptico (SOA).

Las estructuras Interferometricas son usadas para convertir la modulación de fase cruzada en modulación de intensidad. Comparado con un interferometro Michelson, un Interferometro Mach-Zehnder (MZI) se ha vuelto más popular debido a la separación de la entrada y además las señales de salida son opuestas a la propagación (vea figura 69).

Estos conversores de longitud de onda de interferometro operan típicamente con longitud de onda de entrada fija y longitud de onda de salida variable o con longitud de onda de salida fija y de entrada variable. Se usan los conversores de longitud de onda por convertir la longitud de onda de una señal entrante a una longitud de onda diferente. Estos pueden usarse por ejemplo como una parte de un switch o conmutador en regeneradores.

Figura 69. Principio de Convertidor de Longitud de Onda



Fuente: Dixit, Sudhir.

IP over WDM: Building the Next Generation Optical Internet

Página 87

La longitud de onda de salida es determinada por la Onda Continúa (CW) externa, la fuente de modulación es la estructura SOA. Tales conversores son buenos ejemplos de alto nivel monolítico de integración óptica de dispositivos de guía de onda.

La variación de densidad de portadores en el SOA con la intensidad de la señal de entrada produce un cambio en el índice de refracción, que a su vez, provoca la modulación de fase de la señal de control. Ésta es convertida en modulación de intensidad en un interferómetro Mach-Zehnder.

Sus características son:

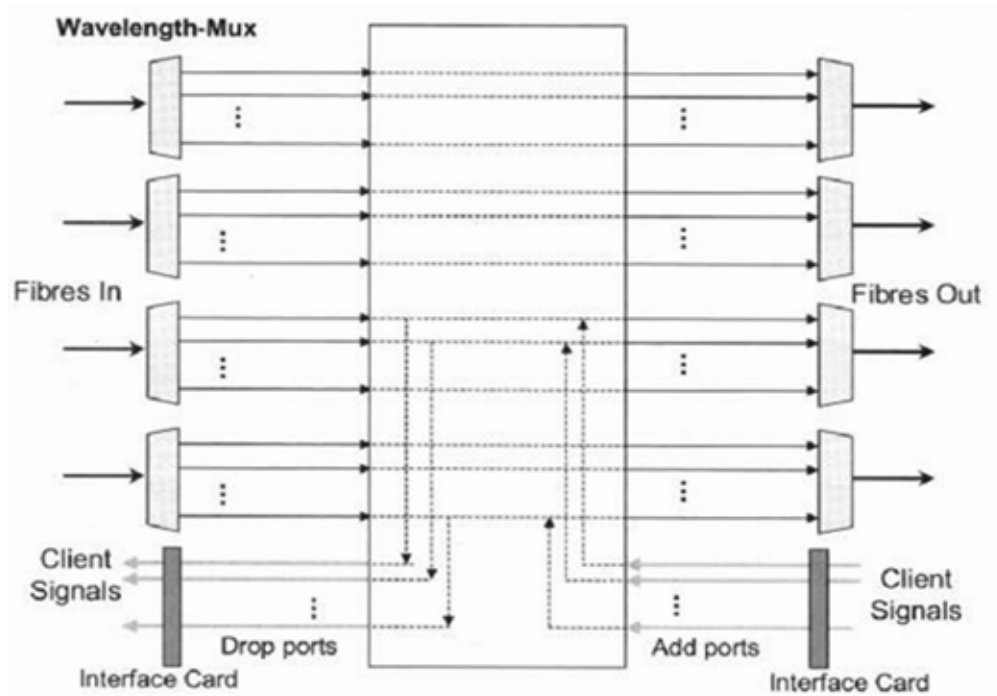
- Convierten una λ_e de entrada a una λ_s de salida posiblemente diferente, dentro del conjunto de canales que permite el sistema.
- Necesario en dispositivos de encaminamiento cuando es preciso cambiar la λ (porque la de origen está ocupada).
- Aumentan la posibilidad de reuso de λ_s entre un 10% y un 40%.
- Transparente a tasas de bit y formatos de señal.

5.2.3. Multiplexor de Inserción/Extracción Óptico (OADM)

OADM y OXC son los dos dispositivos de gestión de redes ópticas más comunes. De hecho, el funcionamiento de OADM y OXC puede ser implementada en una sola pieza de equipo de la red. Hablaremos de OADM y OXC separadamente para propósitos de ilustración. El nombre implica, que la función principal de un OADM es el acceso, extracción, o paso de la longitud de onda a través de los canales en una red óptica WDM.

La figura 70 muestra una posible estructura de un OADM. En la figura, hay cuatro entrada y salidas de fibras cada una de las cuales soportan n longitudes de onda. Una señal óptica entrante sobre la fibra de entrada es demultiplexada a través de un demux. Cada uno de los canales de longitud de onda empareja un puerto.

Figura 70. OADM



Fuente: Liu, Kevin H.
IP over WDM
Página 103

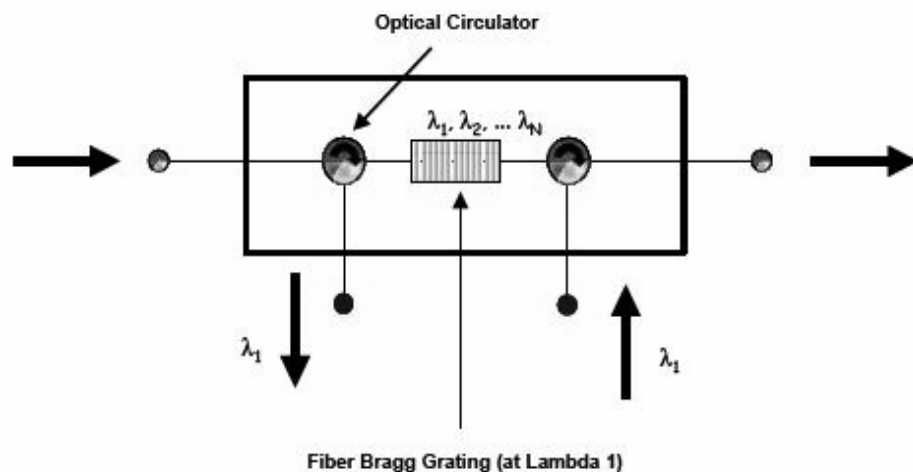
La señal demultiplexada puede propagarse directamente a través del tejido sin que cambie la longitud de onda. O puede extraerse hacia uno de los puertos a través de la configuración física de los filtros. Igualmente, una longitud de onda puede agregarse a través de un puerto configurando los filtros correspondientes. Las longitudes de onda salientes son multiplexadas hacia las fibras que salen a través de un mux. Los puertos *add/drop* representan los puntos que entran y salen de la red WDM. Para ocuparse de ciertos clientes, las correspondientes tarjetas de interfaz son empleadas en los puertos *add/drop*. Estas interfaces de cliente representan la idea de aplicación de la transmisión correspondiente a la tecnología.

5.2.3.1. La evolución de OADM

En una red óptica, el OADM se usa para extraer una o muchas longitudes de onda a un sitio específico. Las longitudes de onda en una misma fibra que no han llegado a su destino atraviesan al OADM transparentemente. Este tráfico está conocido como el tráfico express, y no debe haber ninguna atenuación dada por el OADM. Cada longitud de onda puede estar a una tasa de bit diferente y puede insertarse o extraerse sin necesidad de multiplexar/demultiplexar.

Esencialmente, se usa la tecnología OADM para acceder a parte del ancho de banda rentablemente en el dominio óptico con una cantidad mínima de electrónica. Hay varias generaciones de OADMs en fases diferentes de desarrollo, cada uno con sus beneficios individuales y desventajas. En el OADM más simple, las longitudes de onda pueden ser insertadas o extraídas por pre-selección, estos dispositivos son llamados fijos ver figura 71.

Figura 71. OADM fijo



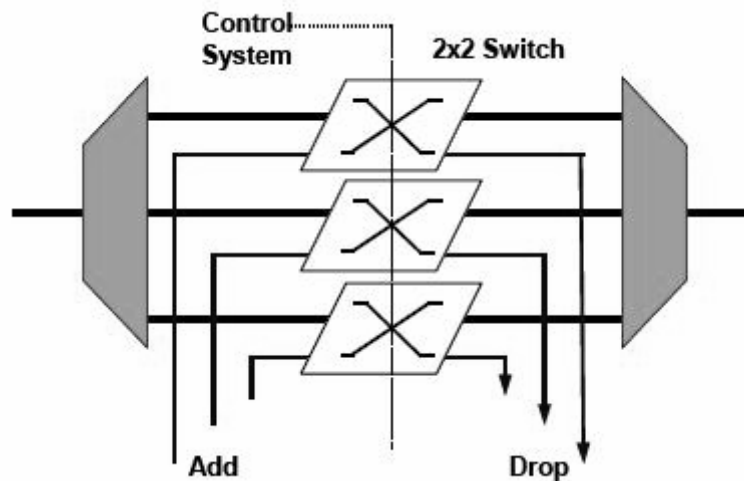
Los OADMs fijos son simples, protocolo independiente, rata de bit transparente y bajo costo del dispositivo. No es necesario un director de red para inserción o extracción de longitud de onda. Porque se predeterminan las longitudes de onda dentro de cada dispositivo, significa que antes del despliegue de la red se exige especificar qué longitudes de onda serán extraídas y donde. Una vez diseñado, el sistema es permanentemente estático a menos que el operador de la red realice una actualización fuera de servicio. Además, los OADMs fijos tienen factores de pérdida de 4-6 dB.

El OADM fijo puede introducir un problema de inventario de magnitud extraordinaria si uno exige flexibilidad completa en las longitudes de onda. Este problema es gobernado por el número de permutaciones de longitudes de onda y el número de extracciones a cada sitio en un cálculo de magnitud factorial. Claramente ésta no es una solución factible para proveedores de la red o fabricantes de equipo. En cambio, los fabricantes han limitado el número y situaciones de longitudes de onda que pueden extraerse. Por todas las razones anteriores, los OADMs fijos se están volviendo obsoletos.

La emergente generación de OADMs, están actualmente bajo el desarrollo y ensayos del campo, es el OADM configurable en el que cualquier longitud de onda dada puede extraerse y puede insertarse a cualquier sitio dado. Estos nuevo OADMs permitirán que el software remoto aprovisione ópticamente una inserción o extracción de manera similar a los ADM de SONET. El sistema puede diseñarse para que sea escalable y graduable a OADM de canales de cuentas más altas.

Y, cuando totalmente se configuraron las inserciones y extracciones en todas las longitudes de onda en una fibra dada, un OADM configurable se vuelve un dispositivo de WDM ver figura 72.

Figura 72. OADM Configurable



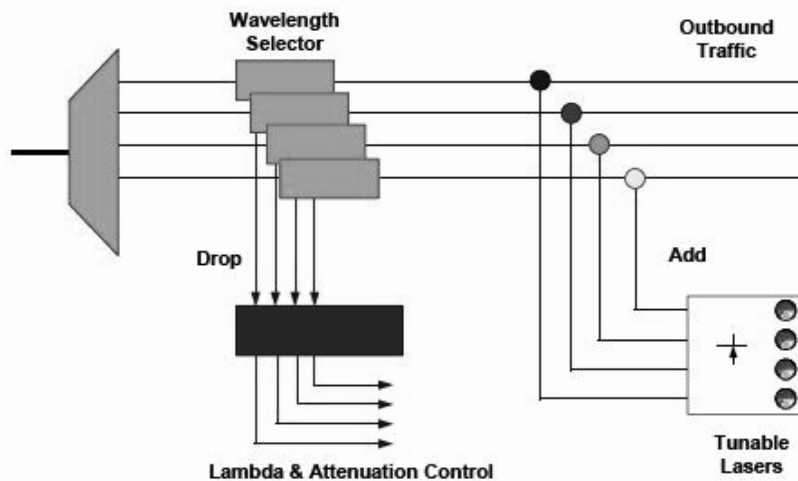
Los OADMs configurable son fáciles de aprovisionar, y la reconfiguración puede repararse. Y, las desventajas son mínimas:

- Aproximadamente 17 dB de pérdida hace necesario el uso de ganancia y amplificación.
- Las longitudes de onda son arregladas a que soporte WDM y no se perfecciona para el tráfico dinámico.

Esto es muy caro y lo hace impropio para las aplicaciones metropolitanas, pero crea una mejora significativa a los sistemas de WDM de larga distancia permitiendo un poco de flexibilidad a los puntos de regeneración intermedios.

Una mejora significativa en el OADM configurable es el OADM dinámico reconfigurable. Ésta es la última encarnación de OADM, proporciona flexibilidad completa y total en la inserción y extracción de longitudes de onda, así como el número de longitudes de onda extraídas. Este plan usa filtros *tunable* y tecnologías de láser *tunable* que se controlan electrónicamente y se configuran dinámicamente de forma remota ver figura 73.

Figura 73. OADM Dinámico Re-Configurable



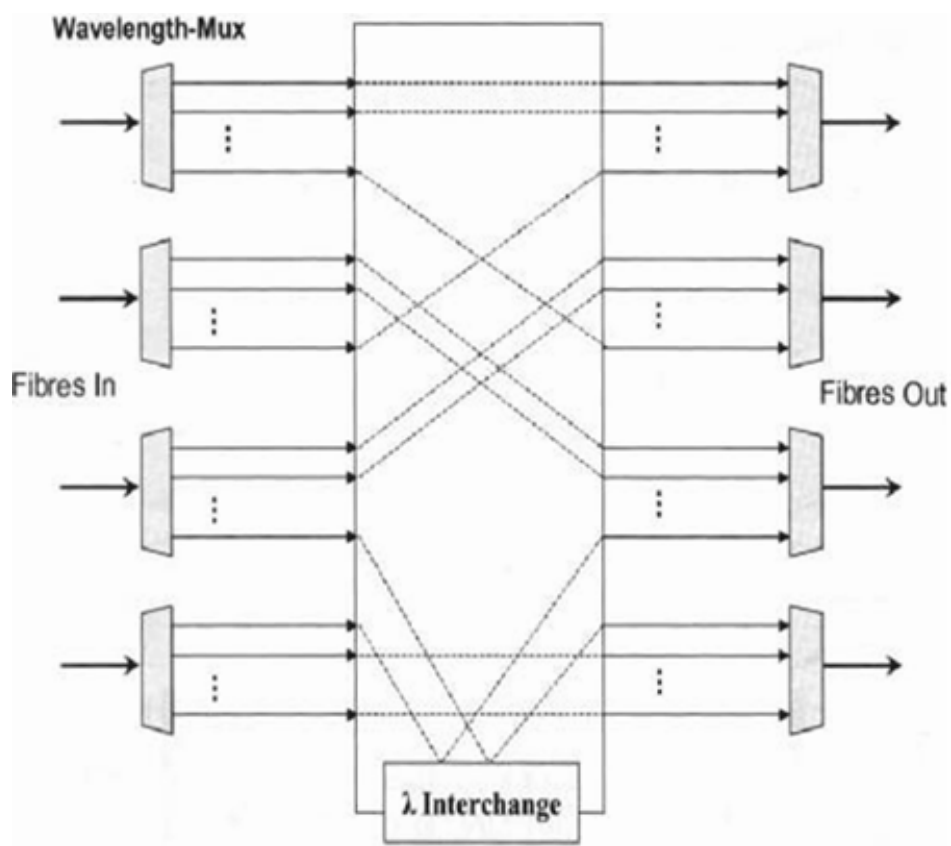
El OADM creado con estos componentes tiene una pérdida de inserción muy baja, no necesitan amplificación en aplicaciones de corta longitud. La disponibilidad de este tipo de OADM hará viable la longitud de onda en aplicaciones metropolitanas resolviendo la regeneración eléctrica y problemas de granularidad.

Otros beneficios de OADMs dinámicamente reconfigurables son la independencia de la longitud de onda a los componentes, los resultados substancialmente reducen el uso de tarjetas y componentes.

5.2.4. Conmutador Óptico (OXC)

Un OADM aísla las longitudes de onda para acceder a un canal de longitud de onda selectivamente. Sin embargo, otra función útil es reestructurar las longitudes de onda de fibra a fibra dentro de una red WDM, esto se proporciona en un OXC. Un OXC proporciona el switcheo nivelado de longitud de onda. La figura 74 muestra una posible estructura de un OXC.

Figura 74. OXC



Fuente: Liu, Kevin H.
IP over WDM
Página 104

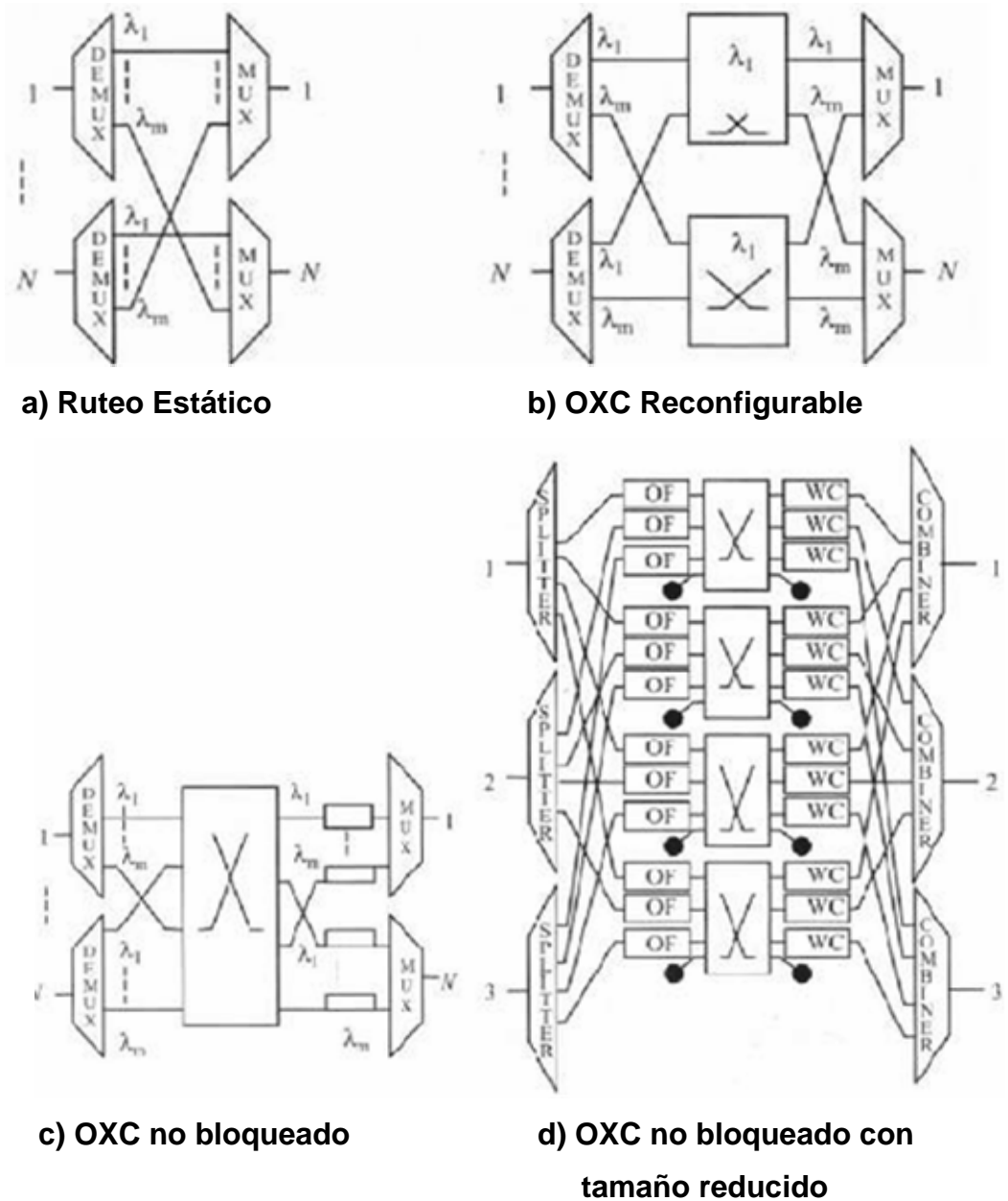
En la figura, hay cuatro entradas y salidas de fibras cada una de las cuales tienen varias longitudes de onda. A través del demux, las señales pueden alcanzar los puertos, dependiendo de la posición del switch, una señal sobre una cierta longitud de onda en una fibra puede conectarse a la misma longitud de onda pero en una fibra saliente diferente. De hecho, es probable que más de una señal compita para un canal de longitud de onda en una fibra saliente. Para aliviar este problema, el intercambio de longitud de onda es introducido según, que una longitud de onda puede ser dirigida a una fibra con una frecuencia óptica diferente. El intercambio de longitud de onda es costoso y puede degradar la calidad de la señal en la conversión óptica total de λ , sólo debe usarse cuando sea necesario.

Además de switchear la longitud de onda, el OXC puede también soportar switcheando bandas de ondas y fibras. La banda de ondas switcheadas conecta un subconjunto de longitudes de onda simultáneamente de una fibra entrante a una fibra saliente. La fibra switchcada, conmuta una fibra entera incluyendo todos los canales de longitudes de onda en una fibra saliente. La longitud de onda switchcada proporciona granularidad más fina que switcheando la banda de ondas y fibra.

Otro problema de OXC es su arquitectura. Este soporta un largo tamaño switchcado con varios puertos, esto exige al OXC arquitectura escalable. La escalabilidad también debe dirigirse en términos de tasa de datos de conexión para cada puerto. Varias arquitecturas designadas a la aplicación de nodos son realizadas con OXCs. Un OXC proporciona la asignación de ruta de canales individuales que vienen de cualquier puerto de entrada hacia cualquier puerto de salida.

La figura 75 muestra varias arquitecturas posibles.

Figura 75. Arquitecturas de OXC



Fuente: Dixit, Sudhir.

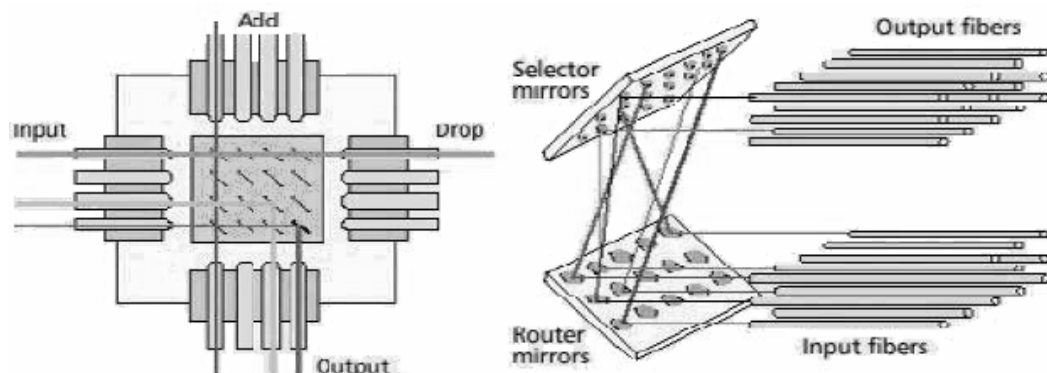
IP over WDM: Building the Next Generation Optical Internet

Página 364

La configuración simple de la figura 75 a corresponde a ruteo fijo (o estático). Un switch de división de espacio se introduce en la figura 75 b permite cualquier longitud de onda para cualquier fibra de entrada a ser ruteada a cualquier fibra de salida que ya no usa esa longitud de onda. Una realización estrictamente no bloqueadora OXC es vista en la figura 75 c, donde la facilidad de trasladar la longitud de onda permite dos canales con dos fibras diferentes de salida a la misma longitud de onda, ruteada en un mismo camino. Esta configuración, aunque presenta complejidad en el ruteo en la estructura del nodo, permite que la longitud de onda pueda ser reusada. Finalmente, una realización estrictamente no bloqueadora OXC con dimensiones más bajas de espacio puede comprenderse como el mostrado en la figura 75 d, donde el canal de selección se logra con una combinación pasiva de *power splitter* y filtros *tunable* (OFs).

Un OXC consiste en un conmutador matricial de fibras ópticas de dimensión $M \times N$, donde M es el número de fibras de entrada que conmutan a/desde N fibras de salida, todo ello en base a un proceso completamente óptico, es decir, sin ningún tipo de conversión electro-óptica u opto-electrónica esto se muestra en la figura 76.

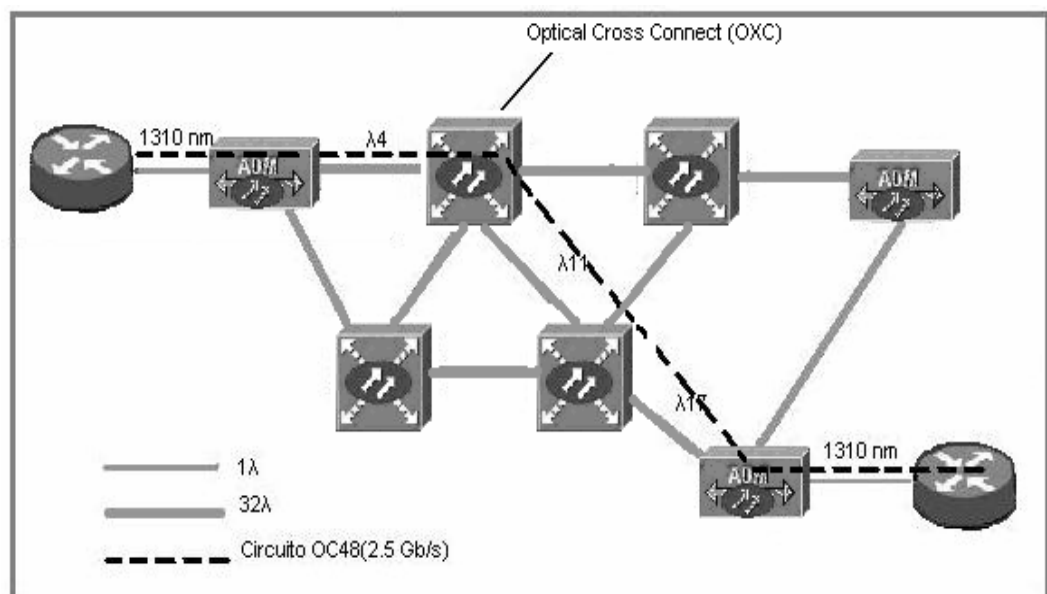
Figura 76. Matriz OXC



Desde un punto de vista más abstracto y puramente conceptual, un OXC se puede definir como un dispositivo que hace que una señal en determinada punto A se dirija a un punto B o a un C. Así, se observa que la función del OXC consiste básicamente en conmutar longitudes de onda a gran velocidad de una fibra a otra en base a las necesidades de tráfico. De momento, la primera aplicación que aparece ya definida suficientemente es la restauración (en caso de cortes en la fibra y fallos en el nodo).

Para la interconexión de anillos WDM o para constituir topologías más complejas se utilizan OXC, que equivalen en WDM a los Digital Cross-Connect de SONET/SDH. Con OXC se puede fijar la ruta para un determinado circuito de forma que viaje por la parte de la red que se considere más adecuada, por ejemplo la ruta más corta o la que tenga mas λ libres, vea figura 77.

Figura 77. Topología de Mallas OXC



El valor de λ puede variar a lo largo del trayecto en función de los canales que haya libres en cada tramo, por lo que fijar la ruta de un circuito a través de la red es algo bastante similar a definir un PVC en una red ATM o Frame Relay. Una vez fijada la ruta esta no es modificable dinámicamente.

Un OXC, opera directamente en el dominio óptico, pero en lugar de simplemente insertar o extraer canales como OADM, este switchea la entrada en fibras de salidas diferentes. Aunque constantemente están desarrollándose nuevos acercamientos al switcheo óptico, pueden ser clasificados aproximadamente en siete categorías: opto-mecánico, termo-óptico, cristal-liquido, micro-eléctrico mecánico, basado en gel o aceite, electro-óptico y otros como el SOA y ferromagnético.

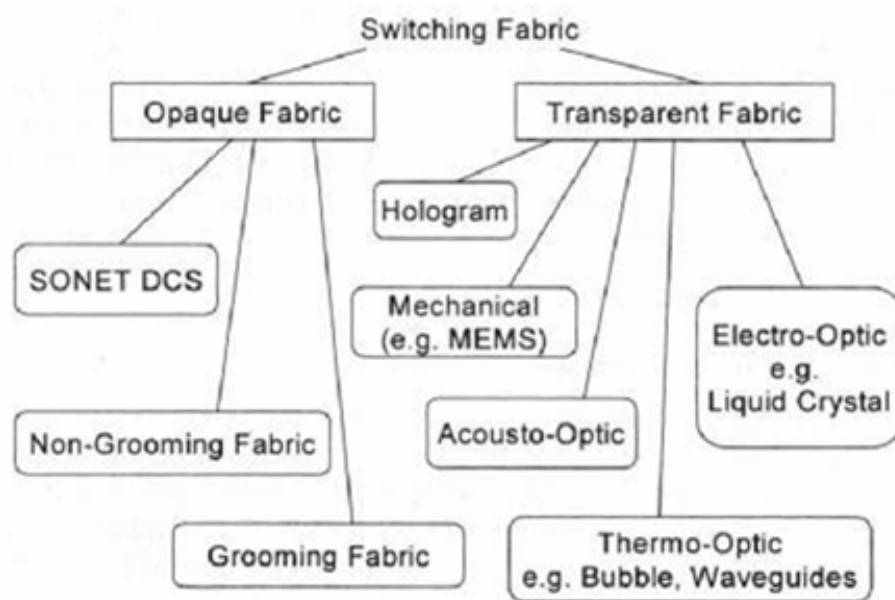
5.2.5. Tecnología de Switch

Uno de los componentes ópticos más importantes de las redes ópticas es la fabricación de switch. Los portadores prefieren usar switch llevados a cabo por fabricación eléctrica porque son más maduros y fiables que los totalmente ópticos. Además, puede obtenerse información de dirección fácilmente a través del equipo O-E-O. Sin embargo hay portadores competitivos que están desplegando redes totalmente ópticas.

La figura 78 muestra una taxonomía de fabricación de switch. Una fabricación eléctrica está conocida como una fabricación opaca, considerando que la fabricación totalmente óptica es llamada transparente.

En la fabricación opaca, se convierten los pulsos de luz en señales eléctricas para que sus rutas puedan ser usadas por el switch por la convención ASICs (Aplicación Especifica de Circuitos Integrados).

Figura 78. Taxonomía de Fabricación de Switch



Fuente: Liu, Kevin H.
IP over WDM
Página 105

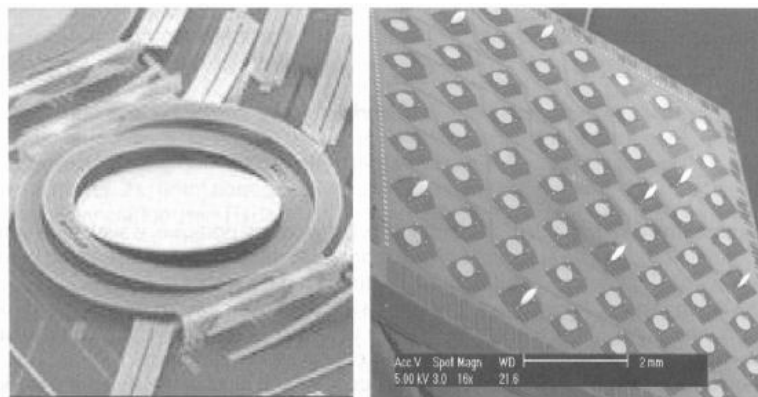
Desde que la fabricación eléctrica puede encontrarse en casi todos los niveles de Switch y Router son usadas por décadas, y el proceso eléctrico ha estado manejando la revolución de información, normas y más pretenciosamente, los productos comerciales están extensamente disponibles. Esto se traduce sobre el costo y facilidad de desarrollo para los vendedores de equipo de red ópticos. También, redes formadas por fabricación opaca son más fáciles de manejar y controlar. Sin embargo, los switch opacos son difíciles de escalar en lo que se refiere al número de puertos (tamaño de fabricación) y rata de datos.

Aplicaciones de gran velocidad que usan la fabricación opaca requieren el consumo de potencia muy alta e introducen costos de proceso altos. Los opacos requieren un cierto formato de señalización y esto demanda esfuerzo extra en el caso de actualización protocolar y apoyo de multiprotocolo. Evitando las conversiones de O-E-O, las fabricaciones transparentes, teóricamente, pueden escalar a un número grande de puertos sin agregar lotes de complejidad.

5.2.5.1. Sistema Micro-Electro-Mecánico (MEMS)

La corriente que lleva la tecnología de fabricación de switcheo óptico usa los Sistemas Electromecánicos Microscópicos (MEMS) que cuenta con procesos industriales en silicio para construir series pequeñas exageradas de switch. Estos switch usan estructuras mecánicas diminutas de silicio para mover espejos pequeños, para que la función de switcheo pueda realizarse reflejando la luz de la fuente de la entrada al destino de salida.

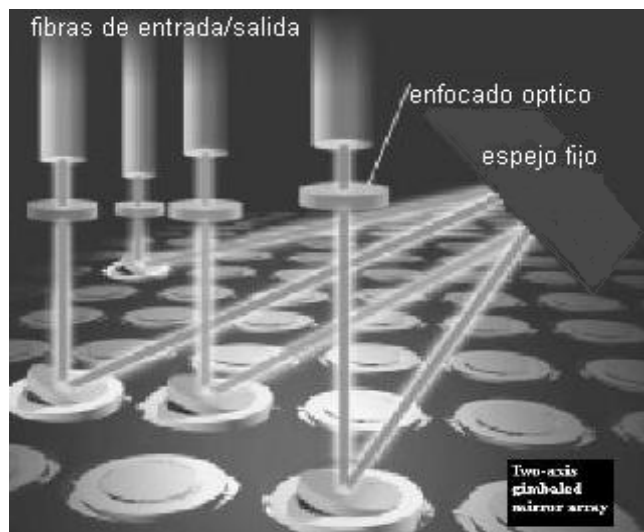
Figura 79. Tecnología MEMS.



Fuente: Liu, Kevin H.
IP over WDM
Página 108

Un ejemplo del espejo MEMS se muestra en la figura 79 (Izquierda). Él espejo tiene sólo dos posiciones, *on* y *off*, MEMS forma una arquitectura 2-D, también conocido como un switch digital. La figura 79 (derecha) muestra un ejemplo de MEMS 8 x 8 con un tamaño de chip de 1 x 1 cm. Si el espejo puede ajustar sus posiciones según la configuración, es decir más de dos posiciones, el MEMS forma una arquitectura 3-D, también conocido como un switch analógico figura 80. Un 2-D es más fácil de implementar, más fiable y tiene baja pérdida de inserción, pero no es tan escalable como el 3D. Para soporte de configuraciones de switch grandes, varios espejos se interconectan para relevar la luz reflejada. Hay varias estructuras de interconexión: *Crossbar*, Planar de n estados, dos estados, y tres estados.

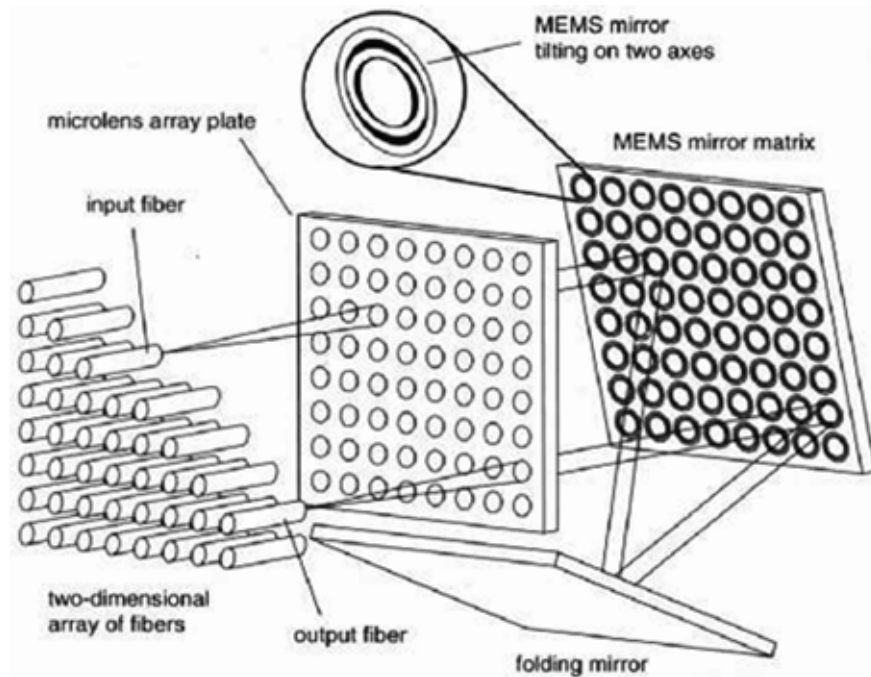
Figura 80. MEM 3-Ds.



Se sugiere para uso tecnológico la integración híbrida polímero-silicio, combinando las ventajas de ambos materiales para la integración de circuitos ópticos.

Como una alternativa a lo termo-óptico, pueden fabricarse estructuras de guía de onda similares usando tecnología LiNbO₃, que era la base para los moduladores/demoduladores externos. Puede lograrse un switcheo muy rápido en el régimen de nanosegundos, y a matrices de 16x16, pero hay problemas con la dependencia de polarización, y complicaciones con fabricarlos a larga escala. Más recientemente, soluciones micromecánicas han surgido como una tecnología más ventajosa que integra las ópticas para la realización de matrices de switch de larga escala. Una solución híbrida interesante combina circuitos de onda de luz de silicio planar con switcheo basado en reflexión interior total de una burbuja generada en fluido por un actuador térmico.

Figura 81. Construcción de Switch basado en MEMS



Fuente: Dixit, Sudhir.

IP over WDM: Building the Next Generation Optical Internet

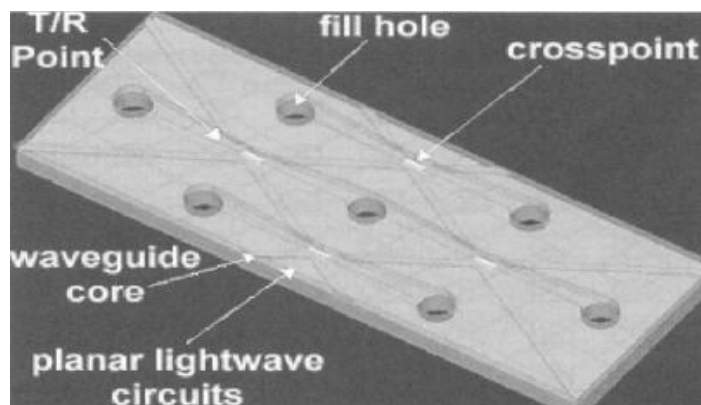
Página 86

Como un ejemplo del potencial MEMS óptico, una matriz 112 x 112 (112 fibras de entrada conectadas a 112 fibras de salida) se fabricó usando 224 microespejos en una oblea de silicio. Estos espejos pueden inclinarse alrededor de dos ejes que usan actuación electrostática, y pueden switchear los rayos al espacio libre. El switcheo no bloqueado se logra con un número de espejos $2N$, donde N es el número de fibras de entrada/salida: dos espejos en cada camino de switcheo. La figura 81 ilustra la construcción del switch

5.2.5.2. Switch de burbuja

Las impresoras de inyección usan burbujas. Ésta es una tecnología simple y barata debido a la alta reflectividad de las burbujas. La misma tecnología puede aplicarse para la luz en circuitos de switch. La figura 82 muestra un circuito de switch de burbuja con caminos ópticos múltiples, por ejemplo, guías de onda o cañerías de luz.

Figura 82. Switch de burbuja



Fuente: Liu, Kevin H.

IP over WDM

Página 109

Estos caminos se interceptan a algunos puntos cruzados donde la luz viaja a través de un fluido. Un pulso óptico viajará directamente a través de la unión, a menos que necesite ser switchado a lo largo de otra ruta. En la tecnología de inyección, una burbuja es insertada en la unión, que causa que la luz sea reflejada a lo largo de un nuevo camino, por eso el switch de información contiene el destino correcto. El switch de burbuja óptico tiene las mismas propiedades de índice reflejados como guías de onda. La burbuja es insertada o removida por el mecanismo de cabezal de impresión. Un switch de burbuja es pequeño, rápido, y eficiente pero este no es escalable como MEMS.

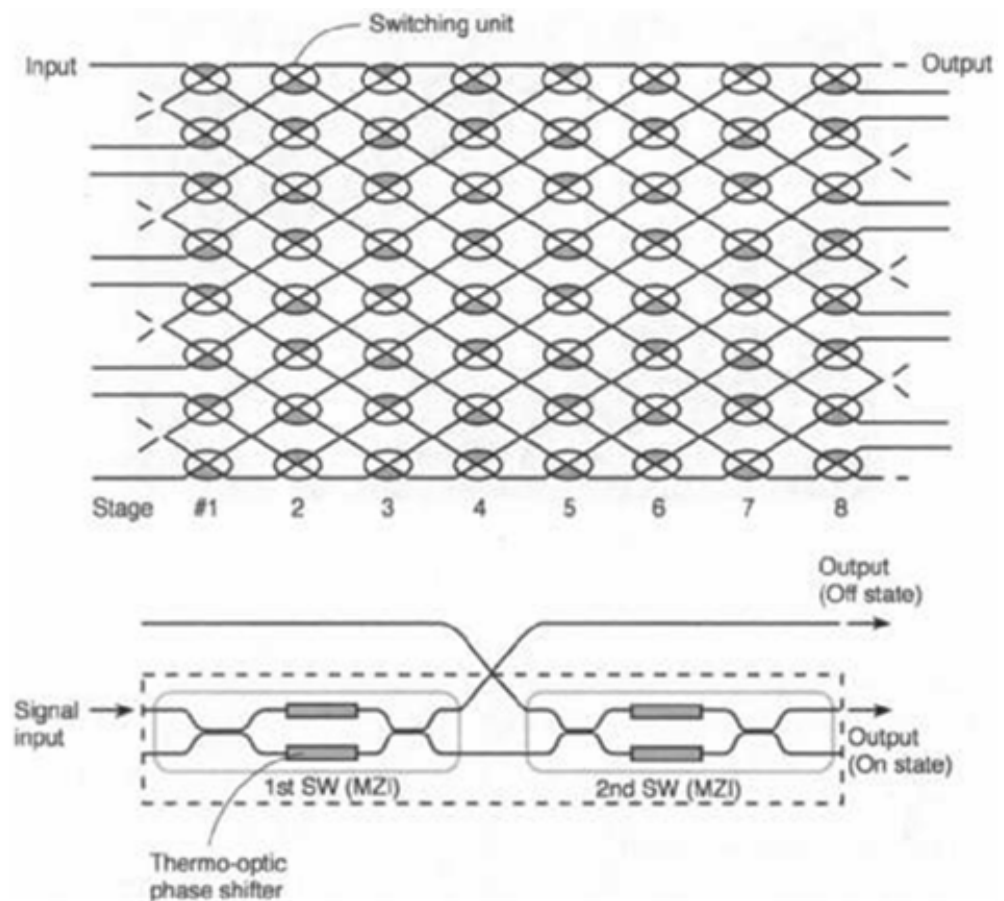
5.2.5.3. Switch guía de onda Termo-óptico

Las llamadas guías de onda se refieren a caminos en un circuito integrado que tiene todas las propiedades de fibras ópticas, esto para que puedan considerarse 'fibra en un chip'. Una guía de onda también tiene un centro y un revestimiento hechos de vidrio con índices reflectivos diferentes. Los efectos termo-ópticos ocurren cuando se aplican cambios de temperatura aplicados a la guía de onda, mientras ocurre el cambio de fase de la luz. Cambiando la fase causa que la luz pueda switchearse a una guía de onda en un camino diferente.

La figura 83 (abajo) muestra una unidad de switch. Usa un Interferómetro Mach-Zehnder con cambios de fase termo-óptico que funciona como componentes de switch. La unidad tiene una guía de onda de entrada y dos posibles guías de onda de salida. Hay otras dos guías de onda entre los interiores que se cortan en la entrada de la señal.

A través de calentar el *splitter*, el índice refractivo se cambia para alterar la manera en que divide las longitudes de onda entre una salida y otra. La figura 83 (arriba) muestra un switch óptico de una matriz 8 x 8 que comprende 64 unidades de switcheo. Las guías de onda termo-ópticas son pequeñas, estas pueden hacerse en lotes grandes como en la producción en masa de circuitos integrados, el costo puede ser muy bajo. Sin embargo, este tipo de switch no es escalable.

Figura 83. Switch Termo-Óptico



Fuente: Liu, Kevin H.

IP over WDM

Página 110

Actualmente los switch grandes de este tipo tienen solo 16 x 16 que incluye sobre 500 elementos de switcheo en una oblea de silicio. Los interruptores termo-ópticos son pequeños en tamaño pero tienen una desventaja de tener características de potencia de impulso altas y problemas en la actuación óptica. Un switch termo-óptico de 2X2 típico tiene una pérdida de inserción <2.5 dB, una relación de extinción >35 dB (para dos switch en forma de cascada), y una velocidad de switcheo de 1-3 ms.

5.2.5.4. Switch de Cristal Líquido

La fabricación de cristal líquido switchea la luz según el cambio en la polarización de señales ópticas cuando los cristales son aplicados con un voltaje eléctrico. La misma tecnología se usa en un despliegue de pantalla de escritorio dónde aplicando un voltaje eléctrico, se cambia la orientación de las moléculas, esto cambia las propiedades ópticas de cada píxel.

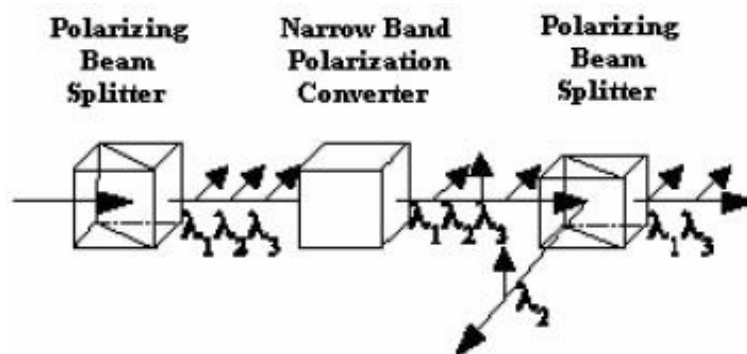
Un switch de cristal líquido tiene dos componentes activos: una célula de cristal líquido y un desplazador, la célula se forma poniendo cristales líquidos entre dos platos de vidrio. El vidrio es transparente y revestido con materiales de óxido, para que pueda aplicarse un voltaje. La función de la célula es reorientar la luz polarizada que entra en ella cuando un voltaje es aplicado. En la ausencia de voltaje, la entrada de luz pasa a través de la célula y esta golpea al desplazador. La polarización de luz es cambiada y sacada a través del camino predefinido en el desplazador. En presencia de un voltaje, la entrada de luz polarizada se cambia, por ejemplo por 90 % en la célula.

La luz polarizada entra en los desplazadores y usan un segundo camino de salida. Su desventaja, es bastante lento (sobre todo a temperaturas bajas dónde switchea a tiempos de cientos de ms); es difícil de integrar con otros componentes ópticos; y tiene pérdidas de luz relativamente altas.

5.2.5.5. El Switch Acusto-Óptico

Los switch Acusto-ópticos usan las ondas para desviar una línea de luz, por ejemplo, de una fibra a otra, para proporcionar switcheo. Este tipo de switch no tiene ninguna parte mecánica, por eso es fiable. El switch se usa electrónicamente y se controla por computadora el deflector acusto óptico puesto que puede conectarse a los canales al azar a una sola fibra, la línea óptica produce switcheo en tiempos rápidos de unos microsegundos.

Figura 84. Filtro Acusto-óptico *Tunable*



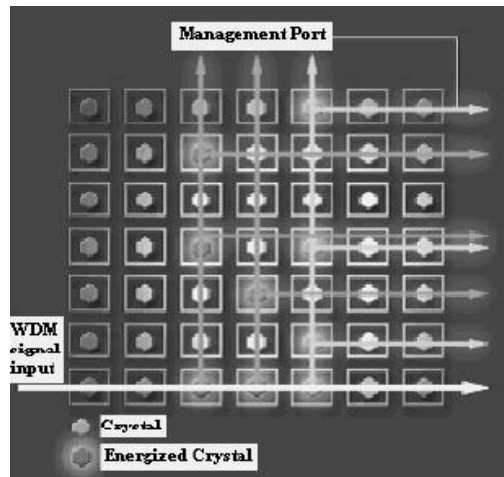
El filtro Acusto óptico Tunable AOTF (Figura 84), utiliza modos de polarización TM y TE. En AOTF, después de pasar el *splitter* de polarización, todas las señales tienen la misma polarización.

Para las señales de longitud de onda seleccionadas, se inyecta en un dispositivo conversor de polarización. Finalmente, las señales seleccionadas son extraídas por el segundo dispositivo. El AOTF puede usarse por un dispositivo combinador para construir un multiplexor multi-longitud de onda configurable *add/drop*.

5.2.5.6. Hologramas

Un switch de holograma tiene un energizador eléctrico *Bragg Grating*, que dentro del cristal dónde el *Bragg Grating* comprende una serie de rayas de materiales de índices refractivos diferentes, cada uno de los cuales reflejan una longitud de onda específica. En la presencia de un voltaje, el *Bragg Grating* desvía la luz al puerto de salida, sin el voltaje la luz puede atravesar el cristal directamente. Cada fibra de entrada requiere una fila de cristales, uno para cada longitud de onda en la fibra. Un switch de holograma proporciona velocidades de nanosegundos para que pueda usarse en paquetes por paquetes para switchear en router ópticos.

Figura 85. Switch Electro-Holograma



En la figura 85 las filas corresponden a fibras individuales, y cada columna es para una longitud de onda diferente.

5.2.5.7. Comparación de tecnologías OXC

La Tabla 8 muestra una comparación de fabricación de switcheo con respecto a la escalabilidad, velocidad de switcheo, consumo de potencia, fiabilidad, pérdida de potencia en la señal, calidad de degradación de la señal, y costo.

Tabla VIII. Comparación de Fabricación de Switch

Switch fabric name	Scalability	Switching speed	Power consumption	Reliability	Signal power loss	Signal quality GI degradation
MEMS-2D	Medium	Slow (10ms)	Low	Low to Medium	Low	Low
MEMS-3D	Very Good	Slow (10ms)	Medium	Low	High	Low
Bubble switch	Medium	Slow (10ms)	High	Low	Medium	Medium
Electro-optic (e.g. liquid crystal)	Good	Medium (6 ms)	Very low	High	Medium	Medium
Acousto-optic	Good	Fast (1ms)	Medium	Medium	Low	Low
Hologram	Very Good	Very fast (5 ms)	High	NA	Medium	Low
Thermo-optical waveguides (e.g. Silica)	Poor	Medium (6ms)	Low	Low	Low	Medium

Fuente: Liu, Kevin H.

IP over WDM

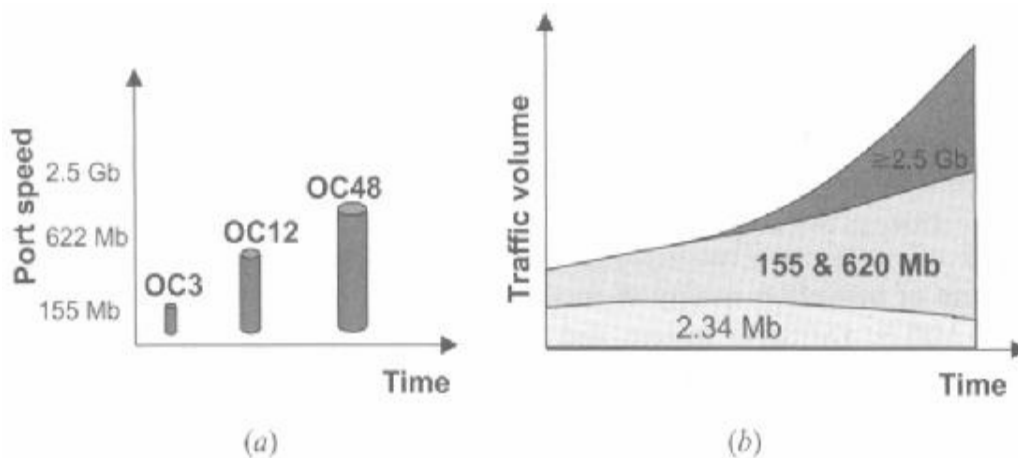
Página 112

La única conclusión que puede tomarse de este análisis es que las tecnologías de switch son numerosas y convenientes para los diferentes tipos de aplicaciones.

5.3. Tendencias y Variantes de IP/WDM

Antes la industria tenía interfaces de 155 Mbps, ahora la demanda es mayor, hay también demanda para OC-48 (2.5 Gbps) al usuario final. Los nuevos servicios basados en IP están en aumento, y esto lleva a la evolución de alta capacidad de IP. Ambos switch ATM y router IP son interfaces directos de SONET/SDH, no hay necesidad de granular en orden más bajos. WDM es la solución actual, que es básicamente los portadores de señal SONET/SDH en una longitud de onda. Con el tiempo, la granulación ha estado aumentando de OC-3 a OC-12 a OC-48 (figura 86).

Figura 86. Optimización de la Capacidad



a) Velocidad de Datos

b) Volumen de datos

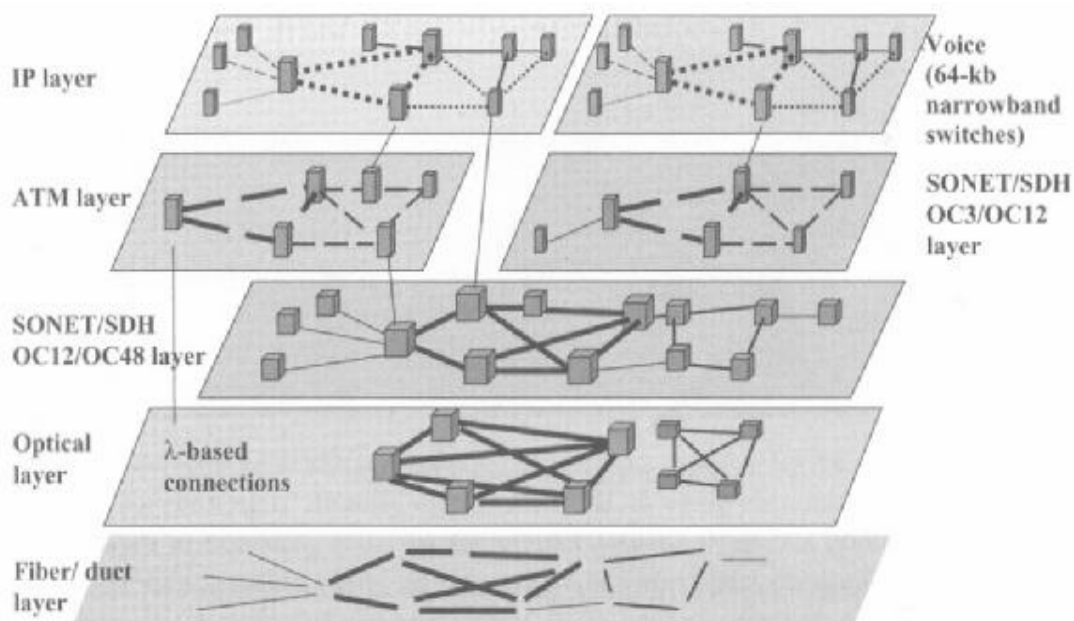
Fuente: Dixit, Sudhir.

IP over WDM: Building the Next Generation Optical Internet

Página 6

Típicamente, la red consiste en capas múltiples, para IP al ATM a SONET/SDH a la fibra (Figura 87). Cada una de estas capas ofrece su propia flexibilidad, ventajas, y rasgos.

Figura 87. Red de Capas



Fuente: Dixit, Sudhir.

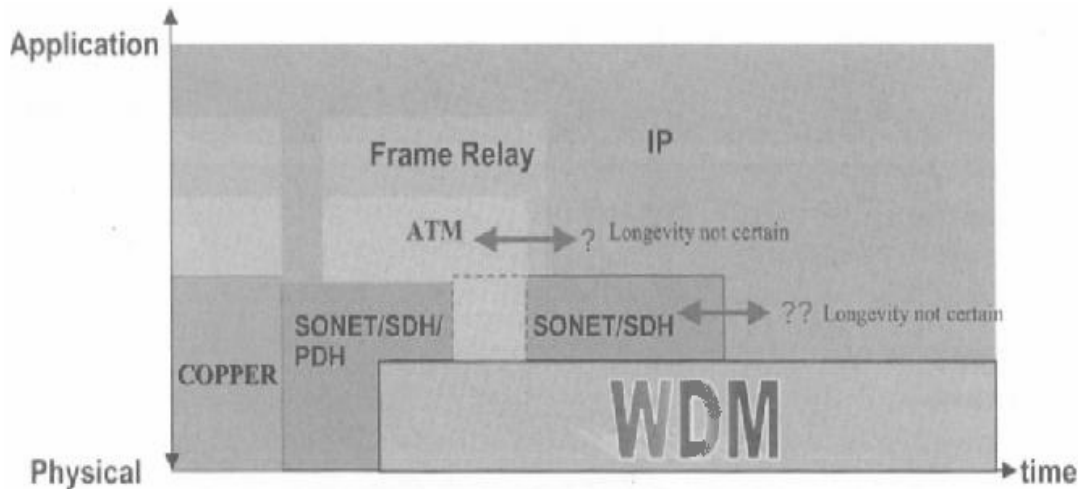
IP over WDM: Building the Next Generation Optical Internet

Página 7

La meta es optimizar la red para aprovechar las capacidades de una capa particular en una cierta parte de la red. Hay demasiadas capas actualmente en la pila protocolar. IP está caminando sobre Frame Relay y/o capas de ATM. SONET/SDH que es bastante dominante también está incluido aquí. Ahora se espera la emergencia de resultados de WDM en IP sobre ATM sobre WDM o IP sobre SDH sobre WDM.

La figura 88 muestra el tipo de evolución que la industria está experimentando. La multiplicidad de estas capas realmente es una coincidencia histórica y generalmente es el resultado de la necesidad de ser compatibles.

Figura 88. Capas



Fuente: Dixit, Sudhir.

IP over WDM: Building the Next Generation Optical Internet

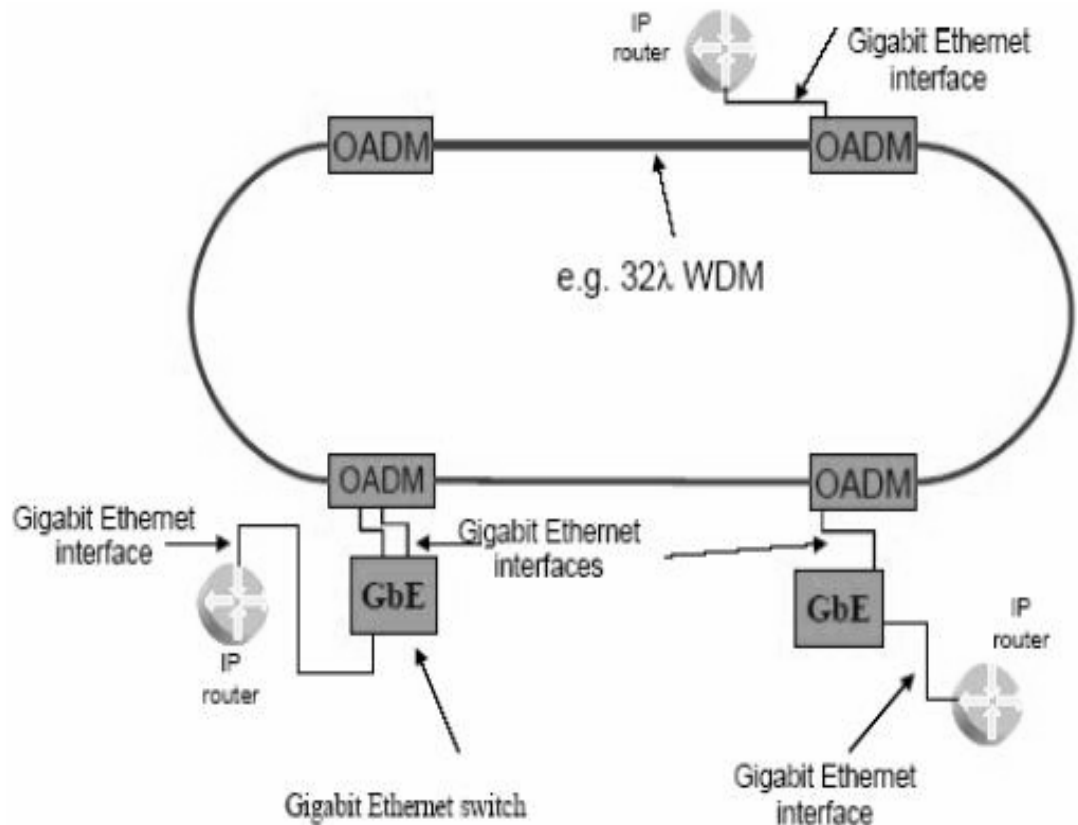
Página 8

Las redes actuales utilizan distintas tecnologías en cada nivel del sistema, garantizando que la demanda de la aplicación sea satisfecha debidamente. Esto implica que la coordinación entre los distintos mecanismos se hace necesaria en cualquier red actual.

Si en una red se presentan tiempos de retardo amplios o pérdidas de paquetes de información, el audio y video de cualquier señal se degrada y es entonces cuando el servicio que se está dando al usuario deja de ser operativo. Éste problema se puede deber a la congestión entre los routers y se puede eliminar ampliando el ancho de banda existente entre los mismos o redireccionando parcialmente el tráfico de la red.

Es aquí donde entra en juego el buen aprovechamiento del ancho de banda de la fibra óptica con métodos de multiplexación como WDM.

Figura 89. Ejemplo de IP sobre WDM



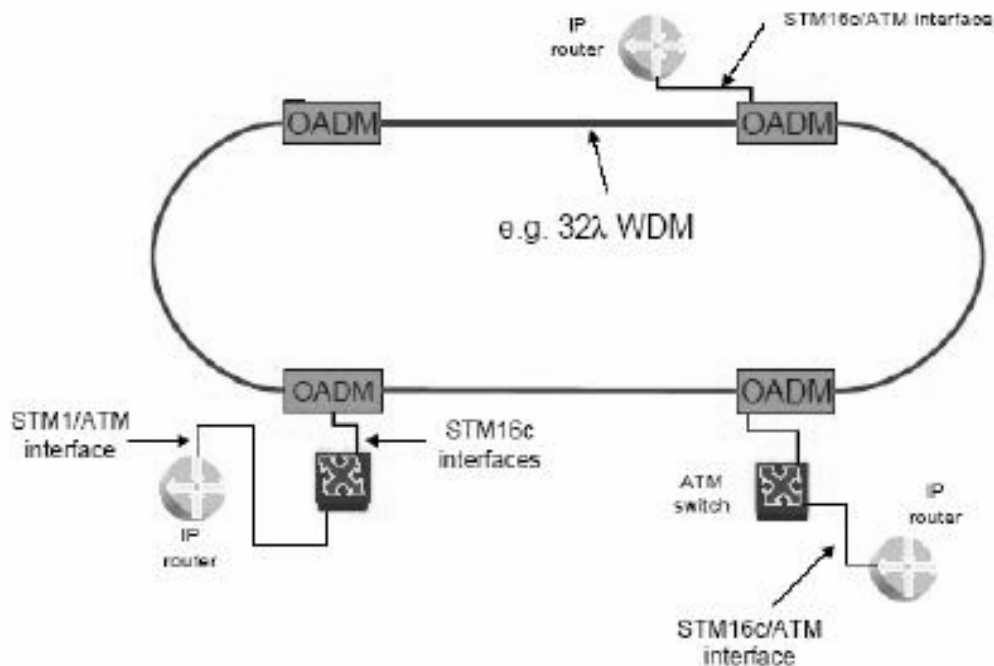
La figura 89 muestra un servicio IP transportado en una red tipo anillo WDM con interfaces de Ethernet de alta velocidad y con amplificadores ópticos (OADM). En un futuro se espera que las redes WDM pasen a ser UDWDM por la amplia demanda de ancho de banda. Se mencionarán a continuación algunas tendencias para WDM y sus variantes.

- IP sobre ATM sobre SDH para transmisiones WDM
- IP sobre ATM directamente en WDM
- IP sobre SDH, Paquetes sobre SONET (POS)
- IP sobre SDL directamente sobre WDM.

5.3.1. IP sobre ATM sobre SDH para transmisión WDM

ATM sobre SONET/SDH: La visión original de ATM era mantener una sola infraestructura switchheada de paquete inteligente para voz y datos, pero las nuevas generaciones de router de IP proporcionaron rápidamente y más barato la tasa de la línea de interfaz óptica. Hoy, más bits se envían en paquetes que en circuitos. El paquete de datos trae beneficios mundiales cuando las cañerías son más grandes y los recursos son compartidos. En ésta configuración se tienen paquetes IP que son segmentados en celdas ATM y asignadas a diferentes conexiones virtuales por SDH/ATM en el router IP. Las celdas ATM son empacadas en esquemas SDH, los cuales pueden ser enviados a un switch ATM o directamente a un transpondedor WDM para ser transportado en un nivel óptico designado. La figura 90 muestra ésta configuración de trabajo sobre una red WDM.

Figura 90. IP sobre ATM sobre SDH



5.3.2. IP sobre ATM directamente en WDM

ATM se desarrolló en los finales de 1980, y se especificó totalmente en el 2000. La infraestructura entera ATM (usuario final a usuario final) sería ATM basado y apoyado en todas las clases de tráfico con los requisitos de QoS. Inicialmente no había ningún esfuerzo para soportar IP. Sin embargo, el éxito grande de Internet cambió todo, y los diseñadores de ATM empezaron a desarrollar especificaciones de interoperabilidad de IP sobre ATM.

Desgraciadamente, IP y ATM difieren grandemente, los dos se desarrollaron independientemente con objetivos y visiones diferentes. Por ejemplo, ellos usan las estructuras de dirección diferentes; IP confía en la asignación de ruta salto por salto, considerando que la solución ATM es punto a punto. Ésta configuración es idéntica a la anterior desde la perspectiva de la arquitectura. La única diferencia es que las celdas ATM no son encapsuladas en esquemas SDH, en vez de esto, son enviadas directamente por el medio físico utilizando niveles físicos basados en celdas ATM. Los mecanismos físicos basados en celdas han sido desarrollados específicamente para transportar protocolo ATM.

Algunas ventajas de utilizar ésta configuración son:

- Técnica simple de transmisión, para ATM las celdas son enviadas directamente por el medio físico.
- Menor capa física, alrededor de 16 veces menor que para SDH.
- Como ATM es asincrónico, no existe mecanismo de tiempo en la red.

5.3.3. IP sobre SDL directamente sobre WDM

SDL (*Simple Data Link*) es un método de esquema propuesto por Lucent Technologies Inc., y puede reemplazar los esquemas para paquetes encapsulados del tipo PPP (protocolo de punto a punto). El esquema SDL empieza con la longitud del paquete enviado. Esto es ventajoso a altas tasas donde la sincronización con la secuencia bandera es difícil.

Figura 91. Esquema SDL



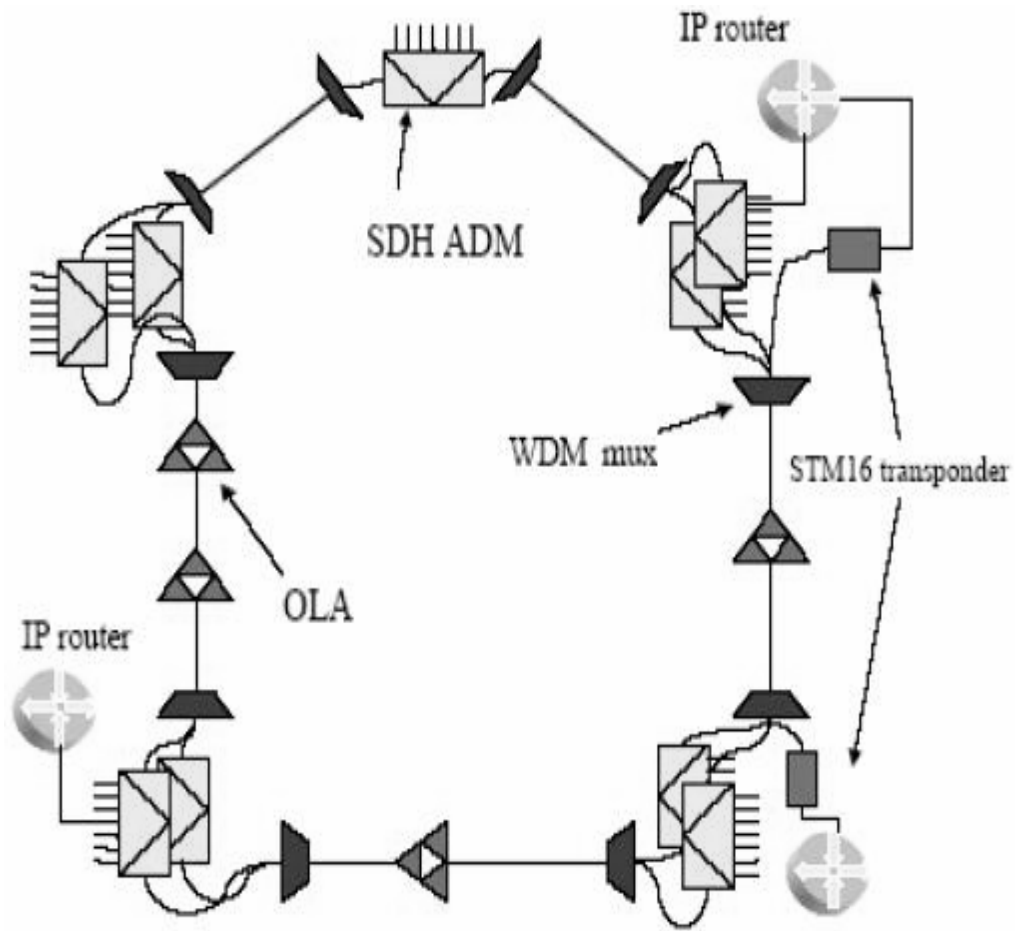
Lo principal de estas configuraciones es que se demanda mucho ancho de banda para poder suplir todas las aplicaciones a las que el usuario desea acceder. El planeta tiene redes ya instaladas de fibra óptica interoceánica e intercontinentales. Éstas deben ser aprovechadas al máximo ya que el costo de pensar en instalar nueva fibra óptica es inmenso. Es mucho mejor convertir las redes existentes en UDWDM y aprovechar el ancho de banda que una fibra soporta. Se habla que una fibra monomodo tiene la capacidad de soportar un ancho de banda de hasta 50 THz, característica que se debe aprovechar al máximo.

5.3.4. IP sobre SDH, Paquetes sobre SONET (POS)

Ha habido recientemente, mucho interés y preferencia para IP sobre SONET/SDH mientras se elimina la capa ATM completamente. El paquete sobre aplicaciones SONET/SDH es un camino punto a punto entre routers en lugar de las topologías de anillo.

Es posible usar simplemente formatos SDH para encapsular esquemas IP en transmisiones WDM. SDH puede ser utilizado para proteger los enlaces de tráfico IP contra rompimientos en el cable por APS (*Automatic Protection Switching*). La señal entonces es apta para ser transportada en fibra óptica ya sea en un elemento SDH de la red, un router IP o un transpondedor WDM para posterior transmisión ver figura 92.

Figura 92. IP sobre SDH en WDM



6. RED DE TRANSPORTE DWDM PARA CENTROAMERICA

Acontinuacion se presenta una posible red de Transporte DWDM para Centroamérica (Guatemala, El Salvador, Honduras y Nicaragua). Teniendo en cuenta el nuevo diseño de la plataforma DWDM con el sistema hiT 7300 el cual combina la alta tecnología con la modularidad y escalabilidad que exigen las redes locales.

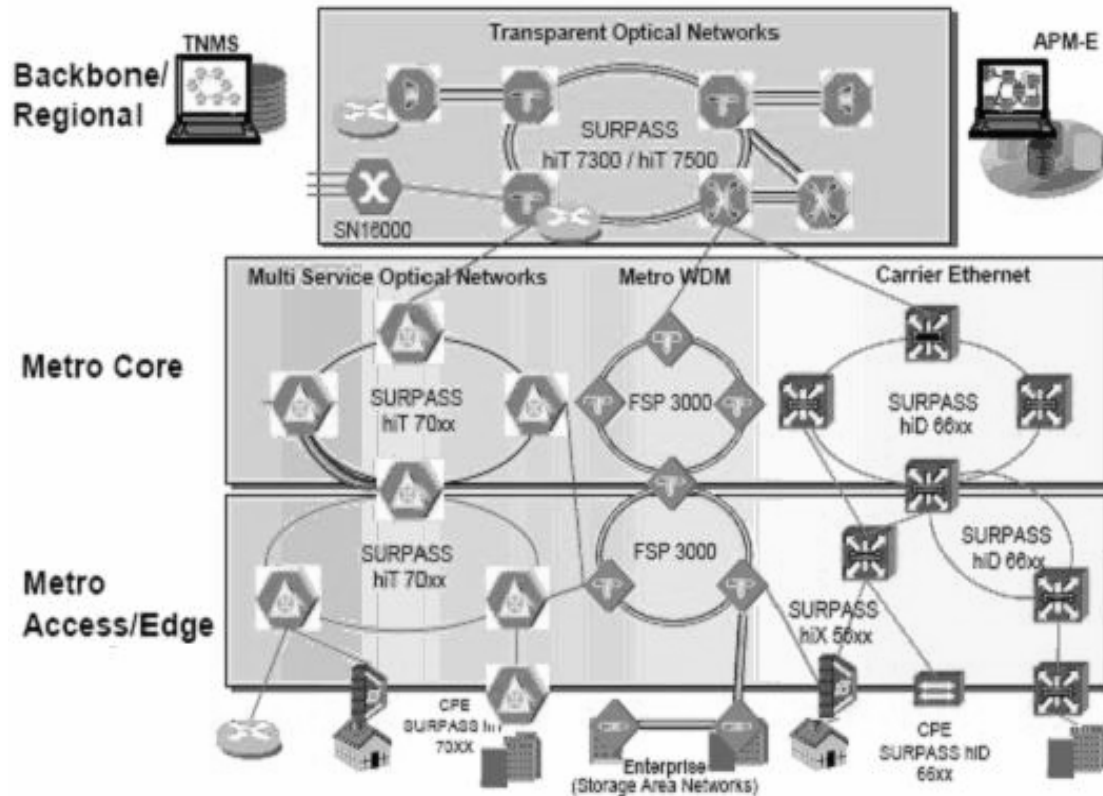
La tecnología utilizada por el Proveedor en su portafolio de equipos, habilita a los clientes de forma eficiente y con calidad para mantener la atención a la creciente demanda de tráfico consecuencia de las aplicaciones de próxima generación, que son los requisitos mínimos de clientes.

Además, el Proveedor también entiende que para fortalecer a los clientes de forma más eficiente, se debe conocer y respetar el histórico de inversiones realizados en la red.

Teniendo en cuenta lo anterior, el Proveedor presenta en esta oferta su solución para la evolución de las redes.

A través de un portafolio de productos integrado siempre soportado por la plataforma de gestión *Telecommunication Network Management System* (TNMS), el Proveedor ofrece una completa, solución de transporte integrada y gestionada para corresponder a los más sofisticados requisitos del Cliente.

Figura 93. Propuesta del proveedor



6.1. Descripción equipos que hacen parte del proyecto

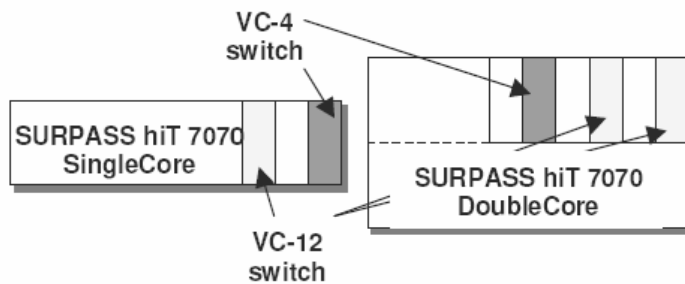
6.1.1. SURPASS hiT7070 Sistema Multiplexor SDH de nueva generación

Como sistema de nueva generación SDH, tanto el SURPASS hiT 7070 *Double Core* y *Single Core* poseen switch fabric TDM y de paquetes. El Switch fabric TDM posee dos granularidades, VC 4 y VC 12/3.

Tabla IX. Granularidad de hiT7070

	VC4	VC12/3
Double Core	160 Gbps	10 Gbps
Single Core	110 Gbps	10 Gbps

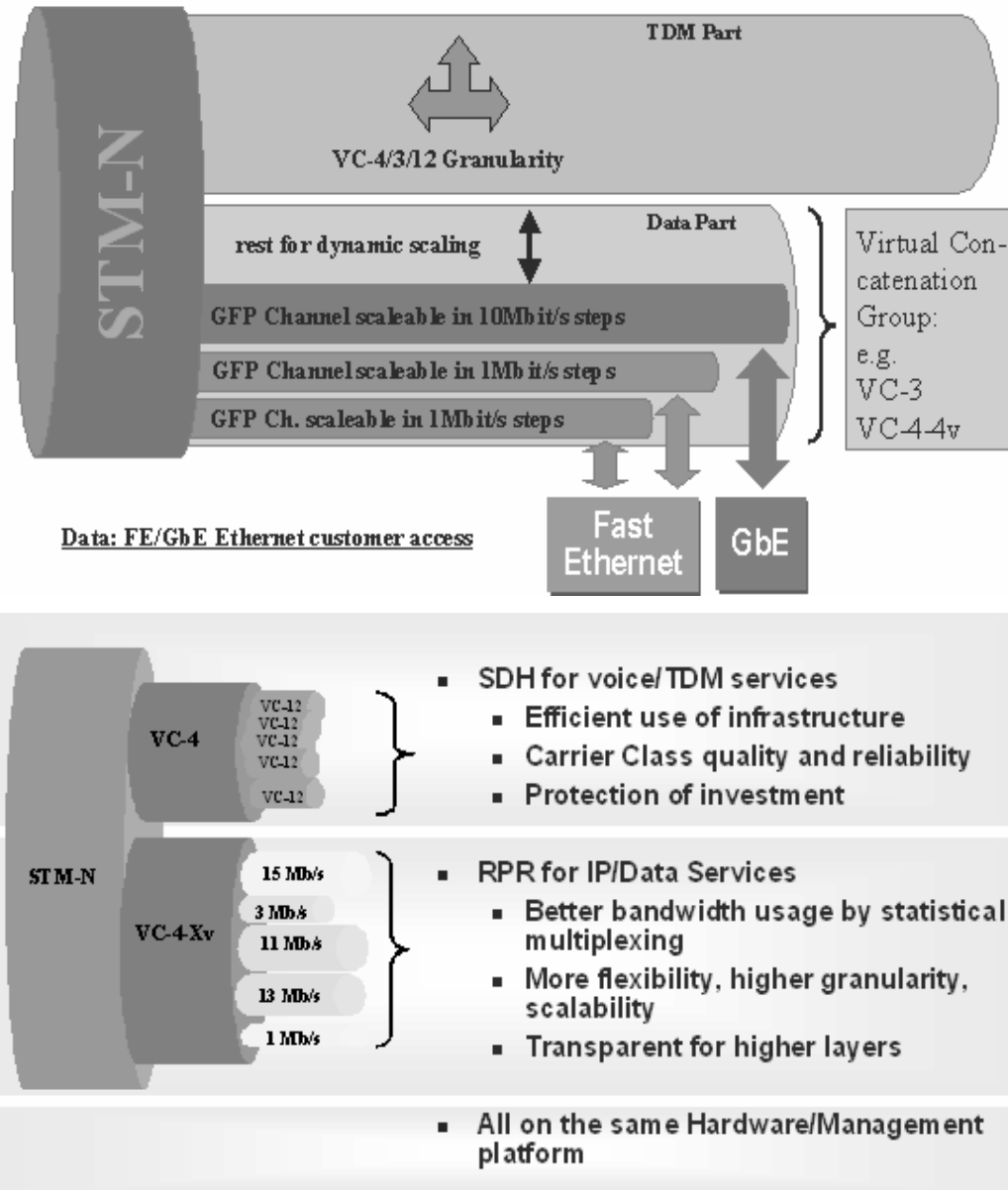
Figura 94. SURPASS hiT7070



En adición al Switch fabric TDM, el SURPASS hiT7070 puede ser equipado con un Switch fabric RPR 2,5 Gbps o una tarjeta L2; este opera como un Switch de capa 2, determina los VCs, extrae los frames Ethernet de los VCs y conmuta los frames de acuerdo con el puerto destino basado en las direcciones MAC.

Aparte de las tradicionales tarjetas PDH y SDH, SURPASS hiT7070 cuenta con interfaces GFP, *Generic Framing Procedure* y LCAS, *Link Capacity Adjustment Scheme*, que son nuevos mecanismos genéricos pero estandarizados para encapsular datos en redes SDH. GFP/LCAS o ITU-T G.7041/7042, fueron definidos para adaptar los protocolos de datos actuales a redes de bytes alineados como lo son las redes SDH; GFP soporta protocolos LAN/MAN como Ethernet implementa servicios de nueva generación con LCAS ver figura 95.

Figura 95. Interfaces de hiT7070



Características Principales.

- Matriz conmutación tipo 'Non-Blocking' con granularidades VC-4 y VC-12 y capacidades 160G a VC-4 y 10G a VC-12.

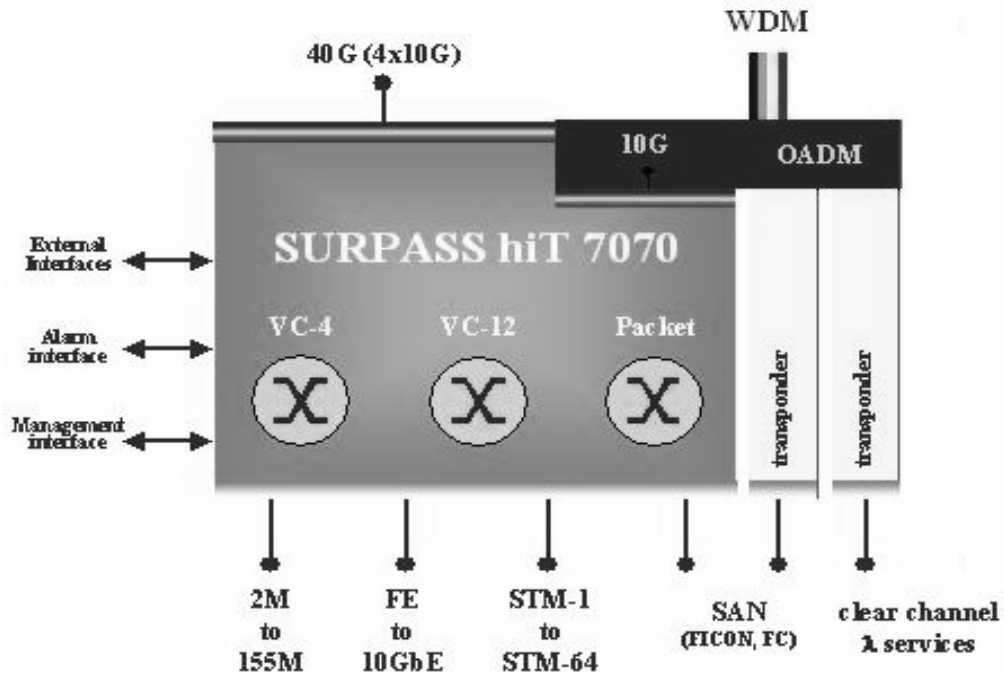
- Matriz de conmutación con funciones de paquetes (*Resilient Packet Ring – RPR*).
- Plataforma multiservicio: 2M, 34/45M, 155M, STM-1/4/16/64, 40G, GFP para interfaces 10/100BT, GbE, 10GbE, SAN (FICON, Fiber Channel).
- Soporte de Servicios Concatenados (VC-4-4c, VC-4-16c, VC-4-64c).
- Transparencia para transporte SONET (OC-3c, OC-12c, OC-48c, OC-192c).
- Variedad de Interfaces STM-64 incluyendo interfaz “colored WDM” para metro WDM y regional DWDM.
- Características de Protección (SNCP, MSP, BSHR 2f/4f, Hardware).
- Soporte de tráfico de baja prioridad.
- SURPASS hiT7070 Shelf, variantes: Single Row y Double Row.
- Soluciones Extension Shelf (PDH MicroShelf).
- Gestión por medio de TNMS-Core.
- Interconexión de Anillo en todos los puertos de tráfico.
- Función ALS ‘*Automatic láser shutdown*’ en caso de interrupción (*fiber break*) acc. to ITU–T G.664 e ITU–T G.958.
- NE “*Auto-link Detection*” e “*Easy Equipping*”.
- Amplio rango de interfaces para servicios adicionales y canales de datos incluyendo EOW y procesamiento de DCC.

El equipo SURPASS hiT7070 puede ser empleado en varios escenarios, tales como:

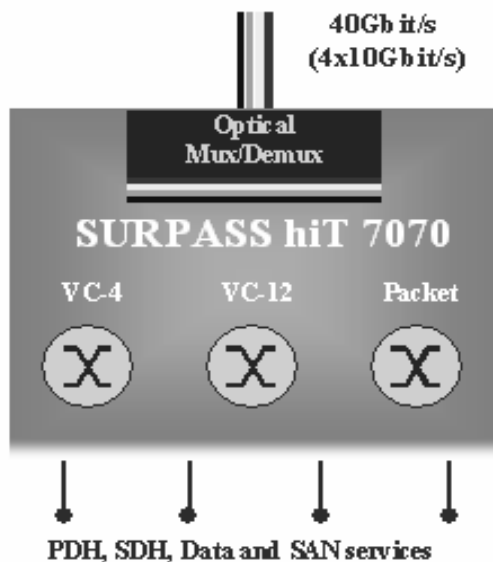
- Terminal *Multiplexer*.
- *Add/Drop Multiplexer*.
- Local *Cross Connect*.

- Metro WDM Operation/Region DWDM Operation.
- 40 Gbps Operation.

Figura 96. Arquitectura SURPASS hiT7070



40Gbit/s interface for Metro applications



Traffic Interfaces:

Single Core SC – up to 11 slots
 Double Core DC – up to 16 slots

	ports/card
2M	63 (in SC)
155M	8
STM-1opt.	8
STM-4opt.	4
STM-16opt.	1 / 4
STM-64opt.	1
10/100B. Tx	8
GbE Tx	4
GbE SX/LX	4
10GbE	1
SAN bitrates	2 / 8

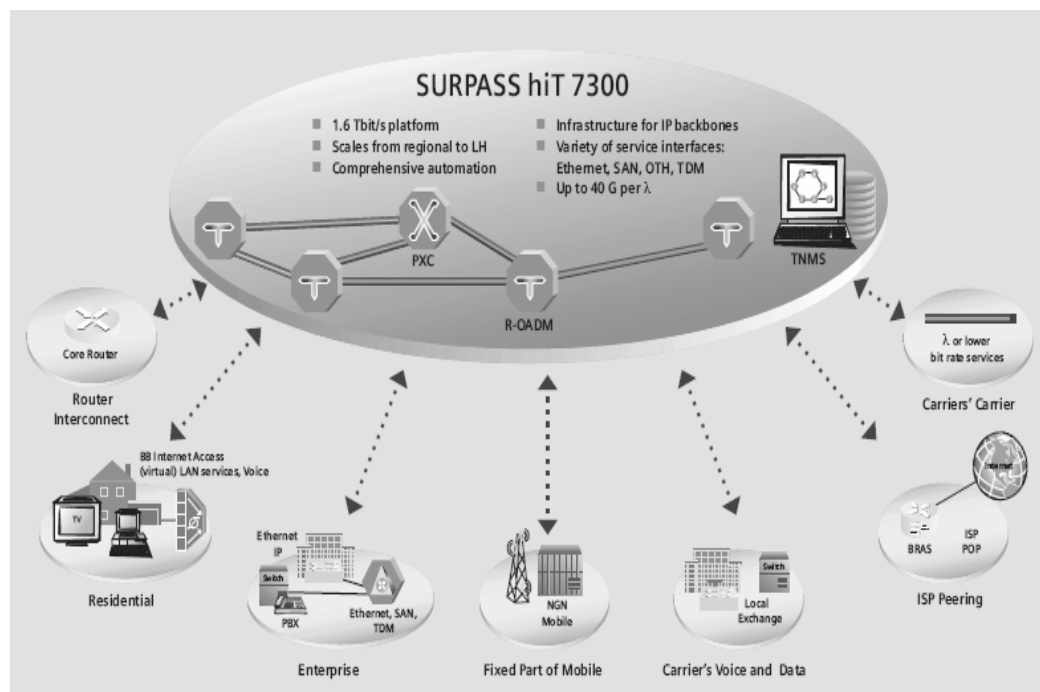
6.2. Información adicional de equipos DWDM y Sistemas de gestión

6.2.1. SURPASS hiT7300 Sistema de transporte DWDM para redes de Media/Larga distancia

Surpass hiT7300 traduce las redes ópticas transparentes de nueva generación. Un equipo compacto, escalable, *future-proof* que trae el estado del arte en comunicaciones ópticas.

Basándose en el hiT7500 y en las décadas construyendo el desarrollo de la tecnología óptica, el Proveedor propone un equipo que transporte por miles de kilómetros los varios protocolos de comunicación de forma robusta y automática, bajando el CAPEX y OPEX del operador de telecomunicaciones.

Figura 97. SURPASS hiT7300



Las características principales del equipo son:

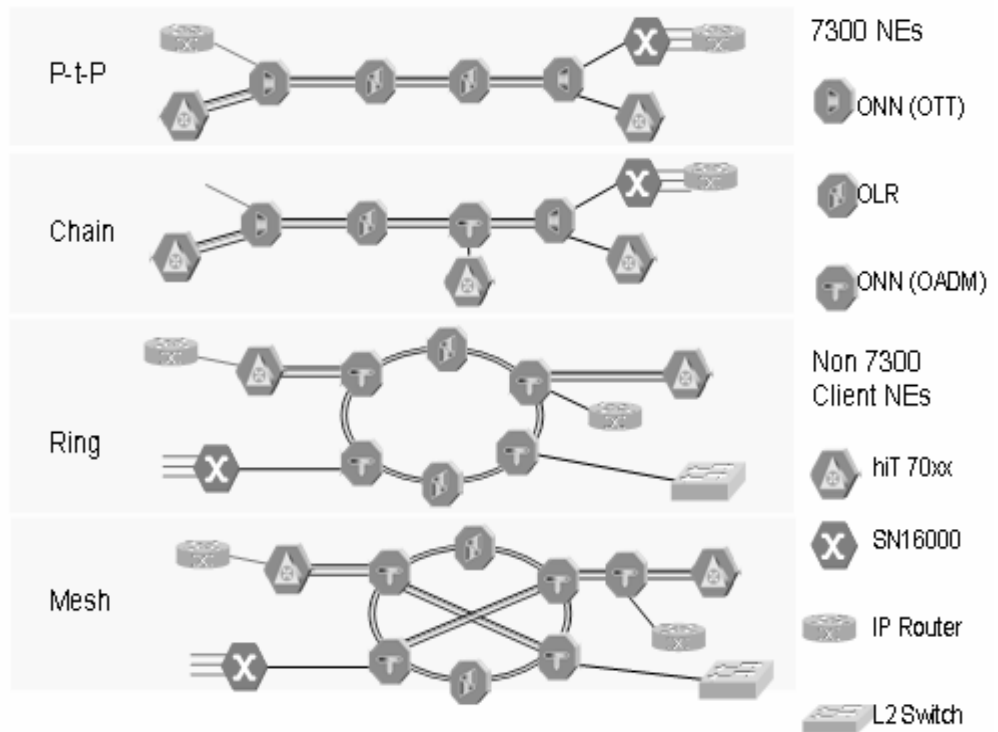
- Automatización de la puesta en servicio, aprovisionamiento de servicios y *software upgrade*.
- Configuración y operación “customizada” de la red (parámetros “default”, parámetros de comisionamiento y configurables).
- Capacidad de 40 canales con alcance máximo de 1,800 Km. sin regeneración a hasta 40 Gbit/s por canal.
- Soporte de todas las topologías de red como punto a punto, anillo, redes en malla, además de todos los elementos de red como terminal multiplexor óptico, repetidor óptico de línea y multiplexor óptico add/drop.
- Todo el rango de interfaces cliente posibilitando Ethernet (GE, 10GE), SAN, TDM y servicios OTH.
- Disponibilidad de transponders y muxponders.
- Interfaces de gestión del tipo SNMP y TL-1.
- 100% OADM y ROADM.
- Protección del tipo OMS, por canal (OMSP y OSNCP) o en la capa cliente.
- El desarrollo completo según la G.709 posibilita la implementación de funcionalidades OTH incluso aprovisionamiento y monitoreo fin a fin de longitudes de onda y supervisión de lambdas entre redes multi-vendor.
- Amplificadores Raman y EDFA para mayor alcance con los mecanismos de ALS necesarios.
- Capacitado para enlaces “*ultra long haul*” y “*hut skipping*”.
- Transponders con láser sintonizables (toda la banda C) para aprovisionamiento fin a fin rápido y transparente de servicios y reducción de repuestos.

- Ayuda *on-line* interactiva para todos los elementos de red (con documentación comprensiva).
- Montaje en rack ETSI/ANSI.
- Terminación remota de red.
- Cumple con NEBS 3.
- Voltaje de alimentación de -48 voltios con fuentes duplicadas.

6.2.1.1. Aplicaciones de red y topologías

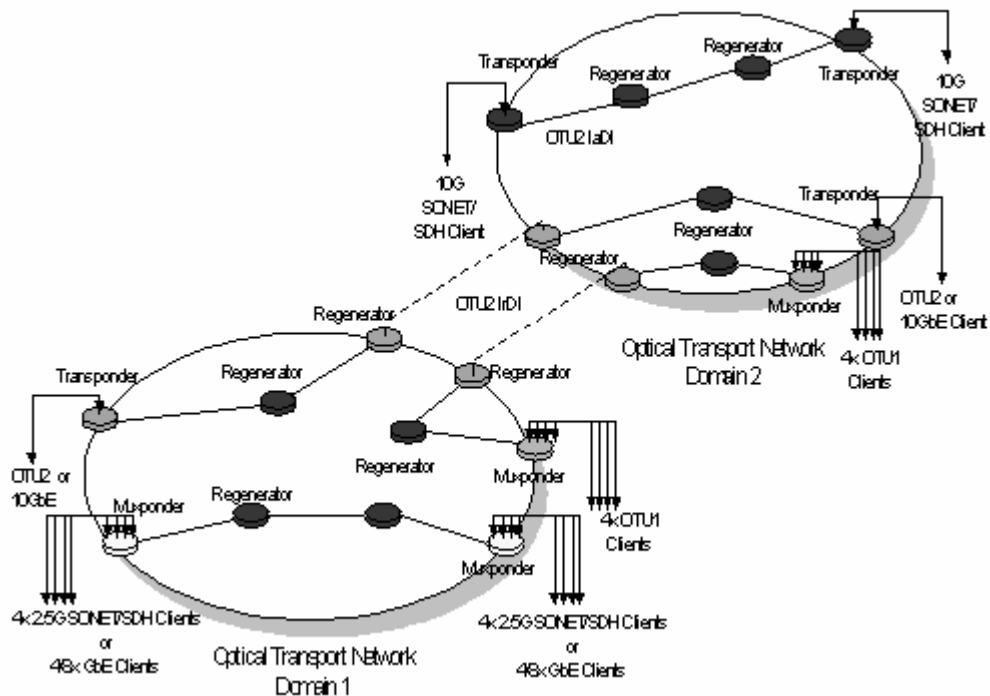
Las siguientes topologías de red pueden ser implementadas con el SURPASS hiT7300: enlaces ópticos transparentes punto a punto, cadena óptica, anillos ópticos y redes en malla.

Figura 98. Aplicaciones y topologías SURPASS hiT7300



La figura de abajo presenta la visión de red de la capa ODU/OTU provista por la solución Mux/transponder en el SURPASS hi7300;

Figura 99. ODU/OTU SURPASS hiT7300



SURPASS hiT7300 soporta una gran variedad de servicios ofreciendo una plataforma DWDM flexible y *future-proof*.

6.2.1.2. Beneficios para la operadora

Para ofrecer la mejor relación costo por longitud de onda a lo largo de cientos, miles de kilómetros se requiere un producto modular y con características ópticas desarrolladas y orientadas a las aplicaciones.

SURPASS hiT7300 y los demás equipos del portafolio óptico fueron diseñados para superar los límites de ancho de banda x distancia x economía.

A continuación los beneficios de la creación de una red con SURPASS hiT7300.

- Largo Alcance – Amplificadores ópticos de alto desempeño, láseres de bombeo adicionales y amplificación Raman opcional sumada al *Enhanced Forward Error Correction* (EFEC) para enlaces con la más alta disponibilidad y valores de performance.
- Amplificadores optimizados – introducción de amplificadores de baja potencia (LAS) optimizados para aplicaciones regionales donde la compensación de dispersión no sea necesaria en todos los sitios.
- Modularidad – hasta la capacidad máxima (40 canales) en incrementos de pocos canales, una estrategia “*pay as you grow*”.
- Menores costos de red – Sistemas de alto desempeño reducen el número de sitios regeneradores eléctricos y ópticos.
- Escalabilidad – Todo en SURPASS hiT7300 es escalable, desde el amplificador óptico (vía módulos de bombeo externo), concepto de multiplexor/demultiplexor escalable, hasta el número de canales de add/drop. La solución de Gestión de red es también altamente escalable y puede ser especificada según la demanda del cliente.
- Compacto – La alta densidad del equipo resulta en una solución compacta con la necesidad de 1 solo sub-rack para cualquier aplicación.

- Diseño simplificado de la red– El reducido numero de equipos y variedad de módulos reduce el costo de soporte y mantenimiento.
- Control óptico avanzado – SURPASS hiT7300 emplea varias técnicas para garantizar la calidad de la señal final; ganancia dinámica y control automático de potencia para ajustar las fluctuaciones de potencia, pre-enfasis fin a fin para sintonía fina de la OSNR del canal.
- Flexibilidad de tipos de fibra – Disponible para operación con cualquier tipo de fibra, i.e. SSMF, NZDSF y DSF. Compensación de dispersión integrada y específica para cada tipo de fibra.
- Herramientas de planeación de red – La herramienta de planeamiento *TransNet* usa del estado del arte en simulaciones ópticas para determinar los componentes necesarios para la instalación del sistema en forma optimizada.
- Flexibilidad OADM – Soluciones son customizadas según la necesidad de tráfico actual y futura del cliente, escalables desde 1 a la total capacidad de canales add/drop.
- Flexibilidad de servicios – Amplio rango de interfaces soportadas.
- Analizador de desempeño óptico – capacidad de monitoreo óptico de la OSNR y potencia por canal.
- Supervivencia – contra falla en la fibra o equipos, protecciones OMSP u OSNCP está disponible para mayor robustez de la red.
- Gestión de Red – En forma similar a los demás equipos del portafolio de transmisión óptico del Proveedor, el sistema SURPASS hiT7300 es gestionado por medio del sistema TNMS Core, utilizando la última tecnología en arquitectura de red y de gestión. Para mantenimiento y redes medianas y pequeñas se cuenta con el sistema de gestión básico TNMS CT el cual puede

funcionar en modos *Local & Network Craft Terminal* LCT/NCT ó Web LCT.

- Evolución – El sistema SURPASS hiT7300 es una evolución natural en la línea de productos del sistema SURPASS hiT7500. Así, el sistema SURPASS hiT7300 ofrece años de experiencia e incluye las especificaciones del producto que han sido probadas en campo con los operadores mismos.

6.2.1.3. Detalles del sistema

hiT7300, está básicamente dividido en 3 configuraciones:

- Optical Network Node* (ONN): Configurable en OTM/OADM.
- Optical Line Repeater* (OLR): Para los nodos de amplificación óptica.
- Stand-alone Optical Node* (SON): Para funciones de feeder en sistemas existentes.

Parte de estas configuraciones y sus componentes básicos se muestran a continuación en las siguientes figuras, 100-102.

Figura 100. Estructura de un sistema Terminal

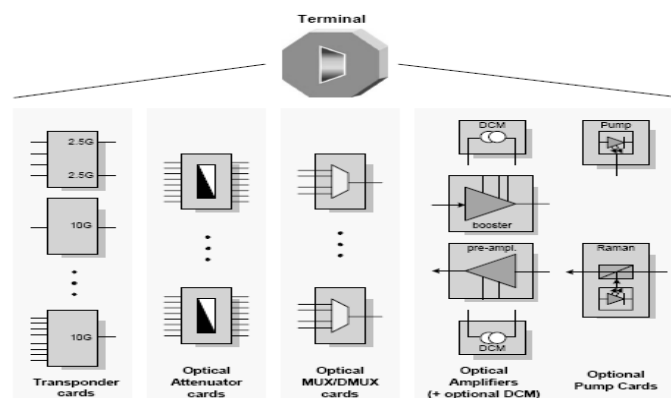


Figura 101. Estructura de un sistema OADM

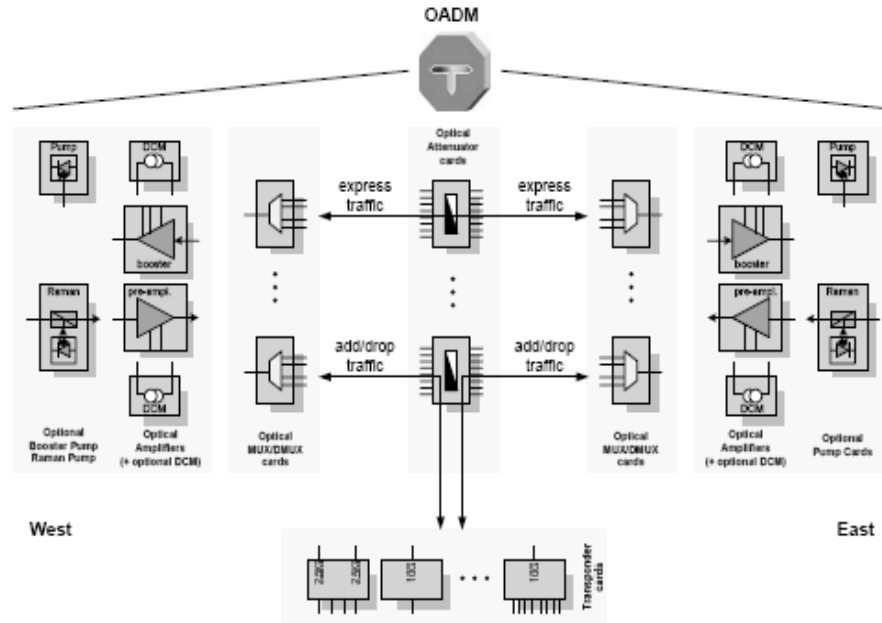
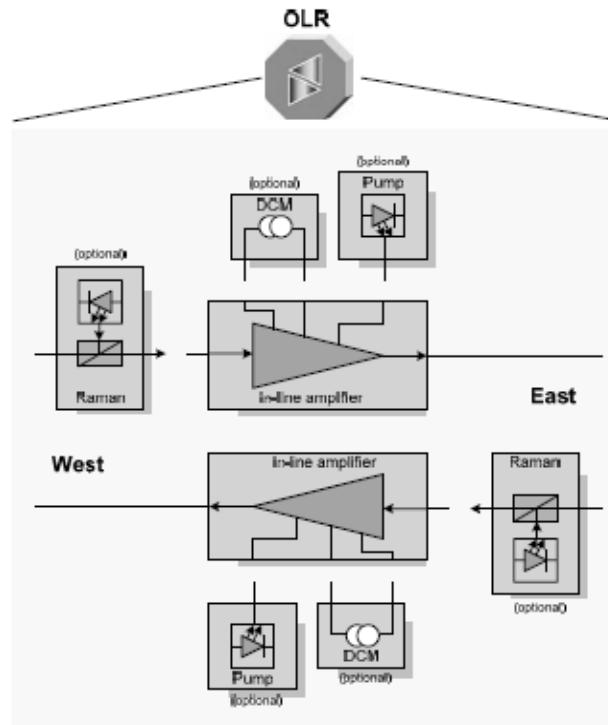


Figura 102. Estructura de un nodo de amplificación



- **Multiplexación/Demultiplexación**

Con un conjunto de filtros ópticos prácticos y modulares se permite la configuración inicial de un bajo número de canales (4 lambdas) y crecimiento a hasta 40 longitudes de onda (80 longitudes de onda en Roadmap).

En primer lugar la posibilidad de un bajo CapEx con solo 4 canales BOL: Esta tarjeta permite la expansión sin interrupción de tráfico hasta 40 longitudes de onda. En el caso que se inicie con una gran cantidad de canales BOL considere la opción siguiente, utilizándose filtros basados en la tecnología AWG.

Estas tarjetas permiten configuración de un PXC (*photonic cross-connect*) de hasta 6° grado. Además, permiten la reducción de OpEx con la reducción del tiempo de activación de servicios y errores humanos en las configuraciones.

- ***Transponders / Muxponders***

4 tipos de transponders están disponibles en el equipo:
Universal transponders Card (I04T2G5-1).

- ***Optical Channel Power Monitoring Cards***

Permite el monitoreo y el constante control para la ecualización de la potencia en todos los canales de la red, además de una mejor configuración de los equipos garantizando un mejor performance, está disponible el OPMC.

A través de la salida de monitoreo de los amplificadores esta tarjeta equipable en cualquier *slot* del equipo, permite gran control de la red por el centro de gestión.

- **Automatización**

El hiT7300 fue completamente desarrollado basándose en la norma G.709 de la ITU-T estando 100% preparado para la implementación de GMPLS en versiones futuras. La razón para no implementarse en el presente momento es la indefinición en cuanto a las funcionalidades que quedarán en la capa SDH y en la capa óptica. Cuando los estándares estén más maduros dichas funcionalidades serán implementadas.

A pesar de que GMPLS no se está implementado en la capa DWDM, muchas de las funcionalidades que están previstas en los estándares pertinentes del ITU/IETF ya están implementadas en este sistema; funcionalidades para el reconocimiento de tarjetas, auto-provisionamiento de canales, los bytes GCC de la G.709 para la implementación del plano de control, entre otras funcionalidades.

Por ejemplo, con la herramienta de planeación Transplan – Producto disponible para el cliente y las funcionalidades disponibles en los elementos de red se posibilita: Planeación de la red, cálculos ópticos y generación de una materialización; Para la instalación de los equipos las configuraciones de los amplificadores son previstas por Transplan, que sumado al láser sintonizable y al ROADM, el comisionamiento se hace rápido, simplemente cargándose en el elemento de red, un *file* que es *output* del propio Transplan;

Para las nuevas ampliaciones y planeamiento futuro, el TNMS busca todas las informaciones pertinentes a la configuración de la red y exporta en un *file* TNX para cargar en el Transplan;

Transplan reconoce las configuraciones de los elementos y permite el correcto dimensionamiento de los *links*, creación de “*business cases*” y planeamientos futuros.

- ***Shelf design***

Dimensiones: 500/533/280 (Altura / Ancho / Profundidad).

Los *slots* son *multi-purpose* y completamente configurables con las tarjetas amplificadoras, transpondedoras y filtros permitiendo total flexibilidad y escalabilidad según la necesidad de crecimiento.

- ***Rack design***

-Terminal con hasta 8 canales (10G) en un solo *shelf*.

-Terminal con hasta 12 canales (2.5G) en un solo *shelf*.

-OADM con hasta 7 canales de add/drop (10G) en un solo *shelf*.

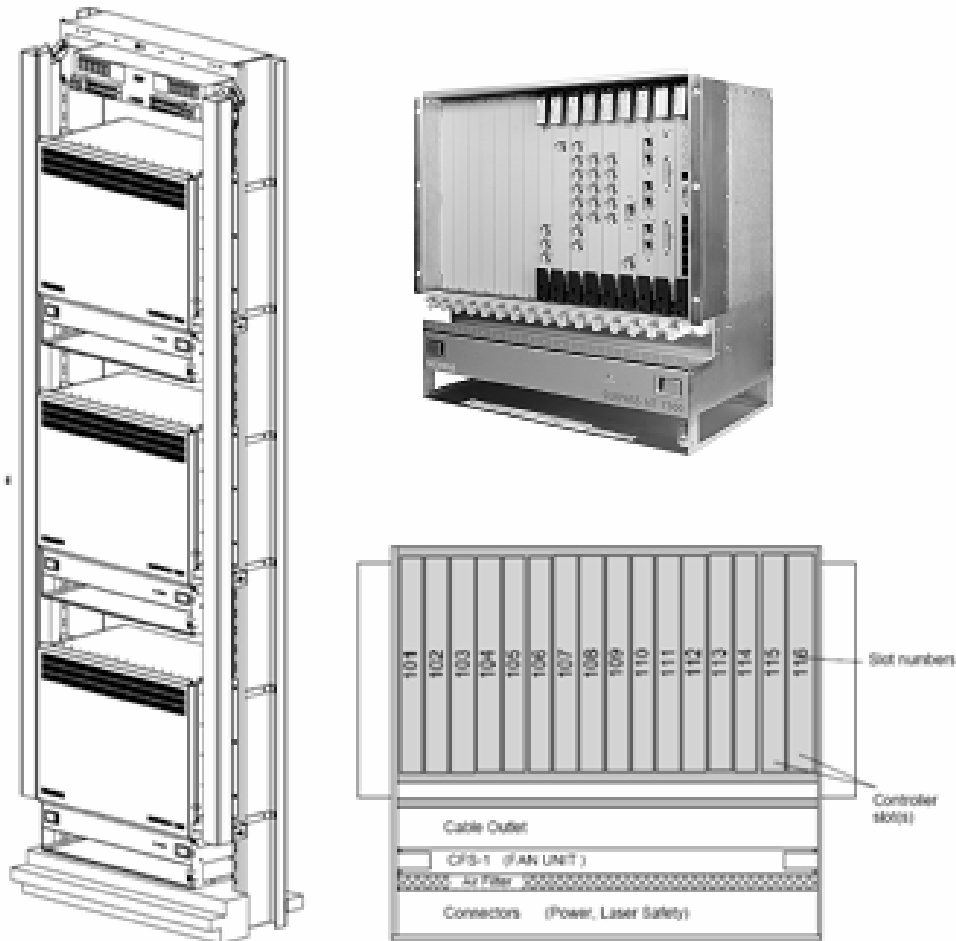
-OADM con hasta 10 canales de add/drop (2.5G) en un solo *shelf*.

-Terminal OADM con hasta 32 (add/drop) en un solo *rack*.

-OADM con hasta 2x40 canales de add/drop en 3 *racks*.

Ambos el estante y el *rack* se muestran en la figura 103.

Figura 103. Shelf y Rack



6.2.1.4. Normas Aplicables

G.661, G.662, G.663, G.671, G.681, G.692, G.694.1, G.707, G.709, G.798, G.872, G.959.1, G.8251, GR 383-CORE.

- **Probado sobre fibras**

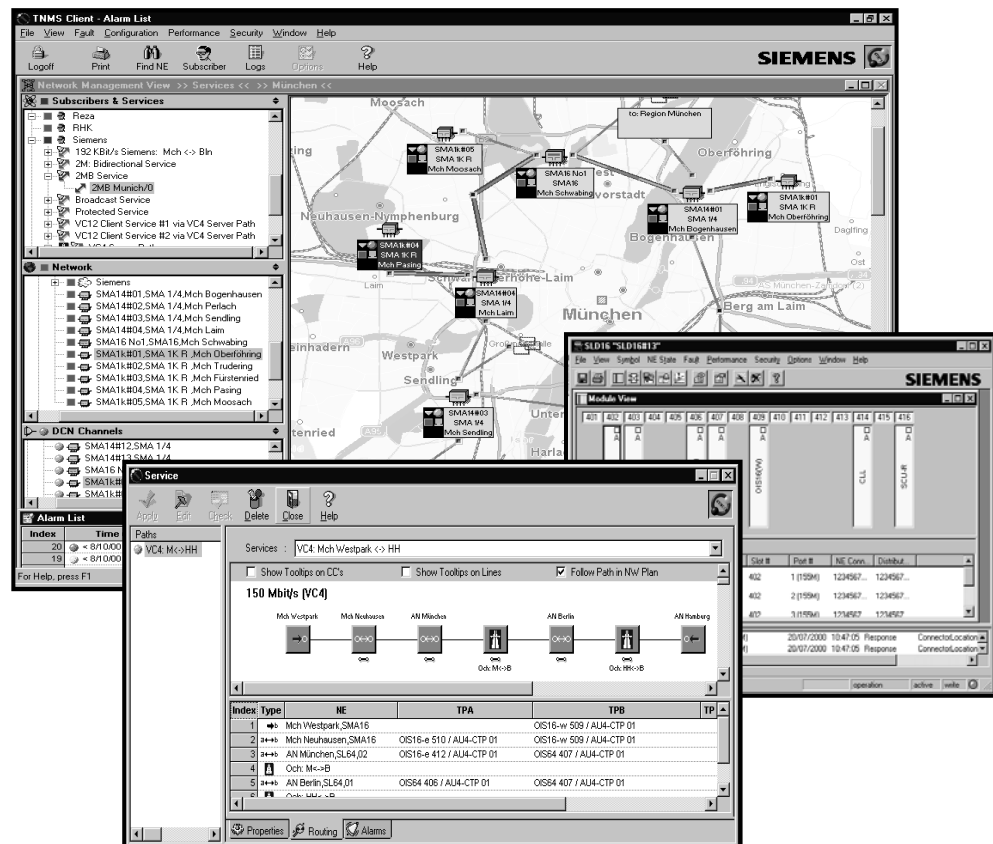
G.652, G.653, G.655, G.656.

6.2.2. Sistema de gestión TNMS Core

6.2.2.1. Sistema de gestión TNMS-C

Uno de los aspectos claves para lograr el máximo aprovechamiento posible de la funcionalidad ofrecida por las redes de transporte, es su sistema de gestión. El sistema de gestión TNMS, es el producto de TMN de próxima generación para implementar una gestión integrada de la totalidad de la red óptica, incluyendo sistemas DWDM, (NG) SDH, IP, SAN, PDH/Acceso, así como soportar *Automatic Switched Transport Network*. (ASTN).

Figura 104. TNMS Core



La familia de productos TNMS Core provee una serie de funcionalidades de gestión que abarcan todos los aspectos necesarios para un eficiente control de las redes de transporte.

- Configuración.
- Fallas.
- Performance.
- Seguridad.

Funcionalidades de capa de red y *business*, esenciales para una eficiente operación y gestión de la totalidad de la red de transporte.

El TNMS Core ofrece una nueva dimensión operativa a través de excelentes características de visibilidad de red y facilidades de navegación intuitiva, basada en un entorno Microsoft-Windows, que ha probado su enorme valor en más de 200 instalaciones alrededor de más de 40 países. El sistema operativo a utilizar es Windows 2003 para Server y NetServer y XP para Clientes.

El resultado que se logra es una mayor eficiencia, ya que es posible efectuar operaciones de rutina libres de errores y reducir tiempos de entrenamiento de personal; lo que conduce directamente a una reducción de costos generales.

Una característica saliente de la interfaz de usuario es la gestión de red orientada a servicio, la cual ofrece la posibilidad de un rápido aprovisionamiento de servicios extremo a extremo mediante procedimientos de ruteo manuales o automáticos, así como una

sencilla supervisión de la red mediante una gestión de fallas y *performance* por servicio.

6.2.2.2. Principales funcionalidades

TNMS Core provee una solución óptima para la supervisión y control de las redes ópticas del Proveedor, entre los sistemas más importantes que gestiona, se pueden mencionar:

- DWDM SURPASS hiT75xx/73xx para redes *backbone Long Haul*.
- DWDM FSP para redes corporativas, *feeder* y redes metropolitanas.
- Plataformas Multiservicio de próxima generación (SURPASS hiT70xx).
- Todo el espectro de multiplexores SDH y equipos de línea (desde STM-1 a STM 64).
- *Cross Conectores* de alta capacidad (SXA, SXD).
- *Cross Conectores* de alta capacidad con ASTN/GMPLS (SN16000).
- Elementos de acceso PDH (FMX II, CMX y ULAF+).
- Radios SRAL, SRA, SRT, etc.

Además de las funcionalidades generales de gestión definidas en ITU-T M.3010, el TNMS Core ofrece las siguientes funcionalidades.

- Soporte de elementos de red y funcionalidades de capa de red y de servicios, en una única plataforma.

- Gestión de redes multitecnología, que incluyen sistemas DWDM, (NG) SDH, PDH, Radios, IP y SAN.
- Gestores de elemento de red integrados que otorgan el mismo ambiente de trabajo que la *Local Craft Terminals* (LCT).
- Arquitectura de HW y SW escalable para ser aplicable a redes desde pequeñas hasta extra grandes.
- Procesamiento optimizado de bases de datos de alta *performance*.
- Amigable *interfaz de usuario gráfica* (GUI) basada en tecnología Microsoft.
- Interfaces *northbound* y *southbound* basadas en standards (TMF CORBA, SNMP) para ambientes de gestión multivendor.
- Conformidad con los estándares internacionales (ITU-T, ETSI, TMF).

6.3. Solicitud del cliente

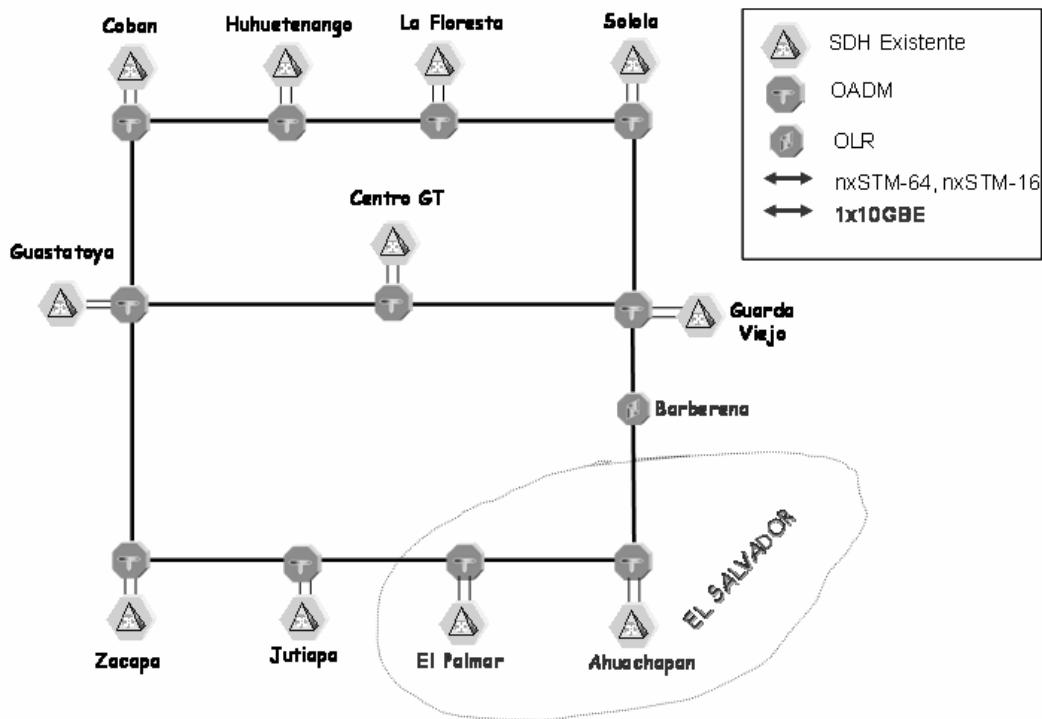
Como propuesta el Cliente solicita al Proveedor un diseño preliminar tomando en cuenta los siguientes criterios.

Diseño de red de transporte DWDM como Anillo Centroamericano del Cliente en Guatemala, El Salvador, Honduras y Nicaragua en 2076 kms sobre fibra óptica con tecnologías de nueva generación DWDM.

En el siguiente diagrama se muestra la topología.

Diseño de una red de transporte DWDM como Anillo Local del Cliente en Guatemala, en 682 Kms sobre fibra óptica con tecnologías de nueva generación DWDM. La figura 106 muestra la topología.

Figura 106. Topología en Guatemala



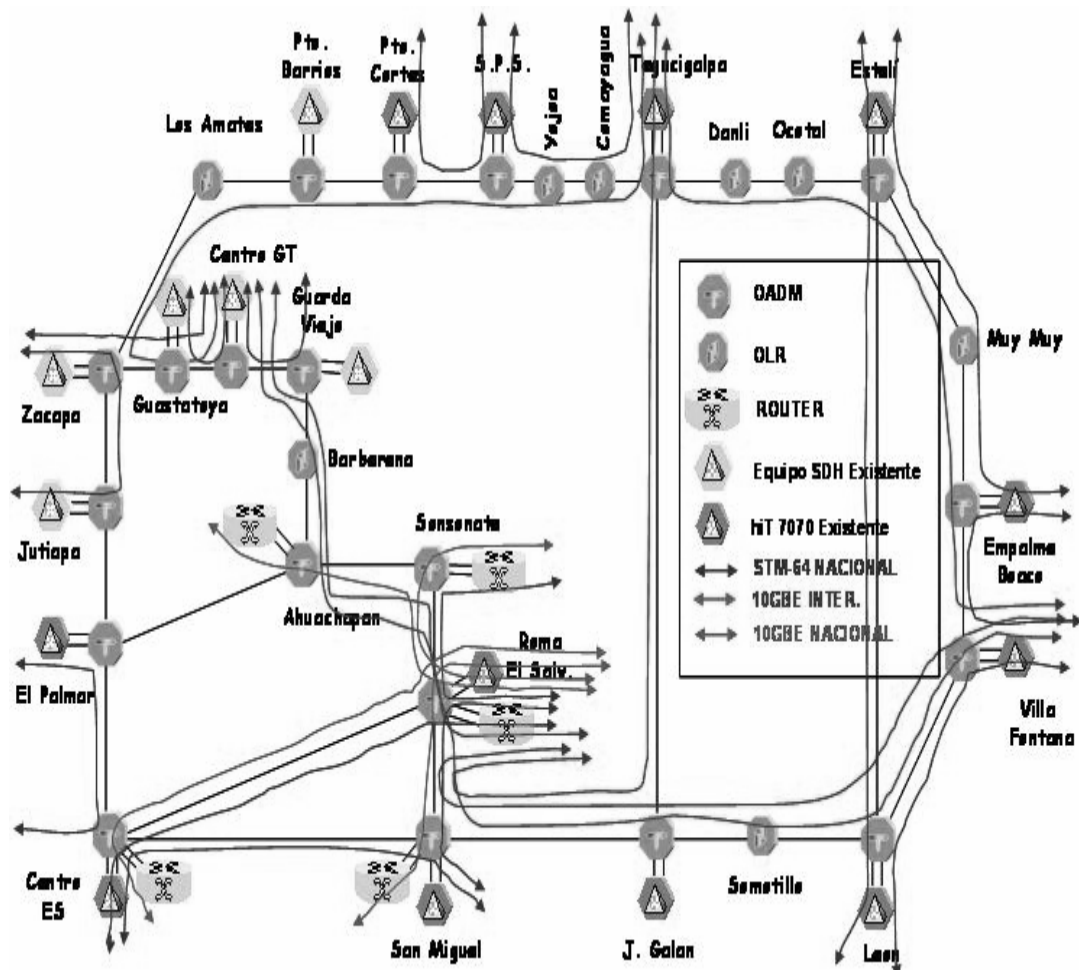
El sistema DWDM con 32 lambdas de 10 G, el Proveedor ofrece el sistema DWDM equipado con 4 lambdas inicialmente, con la posibilidad de subir hasta 32 lambdas sin interrupción de servicios.

El Cliente solicita la red en las siguientes alternativas:

Alternativa Anillo Centroamericano del Cliente, la red estará conformada por 27 nodos según se muestra en la figura 107. Según se observa en la figura mencionada, habrá 19 nodos OADM (León, Jícaro

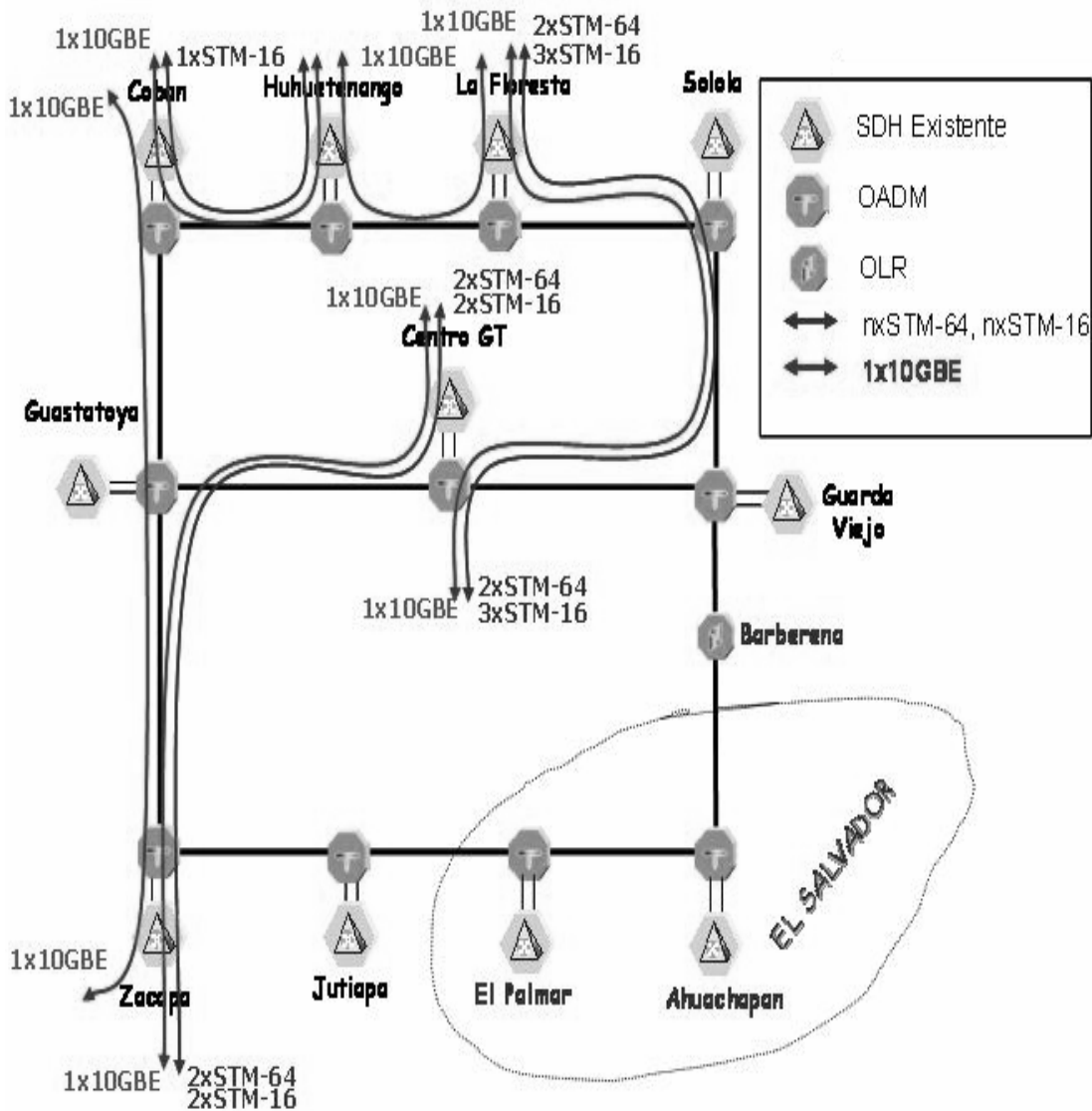
Golán, San Miguel, Centro ES, El Palmar, Roma Es, Sonsonate, Ahuachapan, Jutiapa, Zacapa, Centro GT, Guarda Viejo, Puerto Barrios, Puerto Cortes, San Pedro Sula, Tegucigalpa, Estela, Empalme Baoco y Villa Fontana) y habrá 8 nodos OLR solamente (Somotillo, Barberena, Los Amates, Yojoa, Comayagua, Danlí, Ocotal y Muy Muy). Entre las ciudades principales de Centro GT, Centro ES, Tegucigalpa y Villa Fontana se transportara una interface de 10GE con redundancia y entre nodos OADM interfaces STM-64 como *add/drop* entre nodos. Además se transportarán interfaces de 10GE entre nodos principales en cada País.

Figura 107. Alternativas solicitadas por el cliente



Alternativa anillo local de Guatemala. La red estará conformada por 7 nodos según se muestra en la figura 108. Según se observa en la figura mencionada, habrá 8 nodos OADM (Cobán, Huehuetenango, La Floresta, Solola, Guarda Viejo, Centro GT, Guastatoya y Zacapa) los cuales comparten tráfico nxSTM-64, nxSTM-16 y nx10GE entre los nodos mostrados en la figura, garantizando la protección de este tráfico.

Figura 108. Alternativa del cliente para Guatemala



6.4. Descripción de la solución propuesta

Con el fin de cumplir con las especificaciones técnicas del Cliente y al mismo tiempo ofrecer una solución competitiva, el Proveedor propone lo siguiente:

SURPASS hiT7300 para la capa WDM de la red. Con capacidad y funcionalidades de un equipo de larga distancia el hiT7300 mantiene la flexibilidad y modularidad de un sistema metropolitano. Las ventajas de esta solución están en su reducido Opex, CapEx inicial y su crecimiento escalable sin interrupción de tráfico.

SURPASS hiT7070 para la capa SDH. Se trata de un equipo SDH de nueva generación que está en condiciones de transportar interfaces tributarias no solo PDH y SDH, sino también interfaces de datos utilizando mecanismos de mapeo como GFP y LCAS de acuerdo con la ITU-T con funcionalidades de un Switch L2/L3 integradas.

El hiT7070 tiene interfaces coloreadas según la ITU-T que interoperan con los equipos DWDM. En este proyecto la interconexión con el equipo DWDM se hará con interfaces coloreadas del equipo hiT7070, sin necesidad de equipar módulos transponders en la plataforma DWDM.

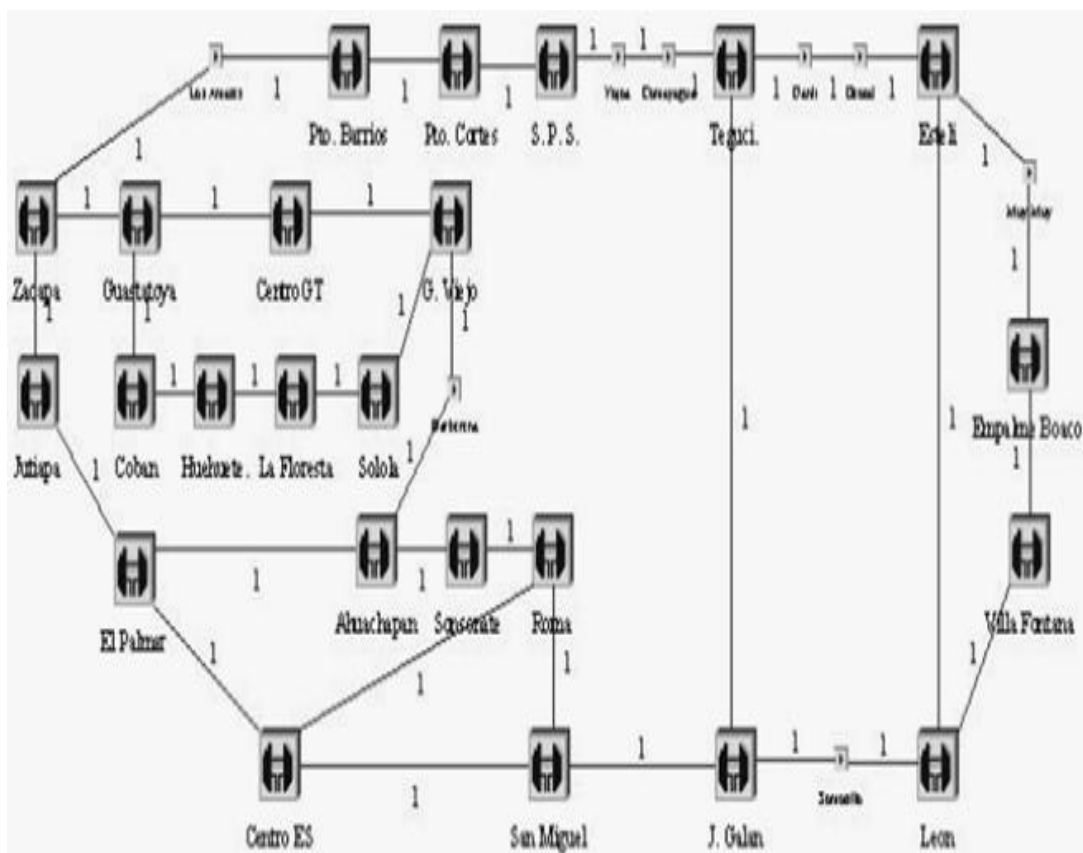
TNMS CORE como sistema de gestión del sistema. El TNMS Core es un sistema de gestión de altas prestaciones, diseñado de acuerdo con las normas de M.30xx de la ITU-T ofreciendo avanzadas funcionalidades en la gestión de servicios permitiendo la reducción de Opex y mayor robustez de la red para componer la solución del Proveedor.

Proponiendo la mejor solución para el Cliente a corto, medio y largo plazo, se describen a continuación las ventajas y particularidades de la solución del Proveedor.

Teniendo en cuenta las altas prestaciones de potencia de los equipos hiT7300, es posible ahorrar puntos de repetición óptica, generando de esta forma un ahorro significativo en CAPEX y OPEX.

En la figura 109 se observa la solución propuesta por el Proveedor para la red de transporte para las alternativas anillo local de Guatemala y anillo Centroamericano del Cliente, respectivamente.

Figura 109. Solución para Guatemala



6.4.1. Características esenciales de la red para el sistema DWDM

Los nodos del sistema hiT7300 cuentan con sub-*rack*, tarjeta controladora y tarjeta de amplificación común a cualquier configuración sea esta OADM u OLR. Además, para los nodos OADM (es decir, los nodos donde se bajan *lambdas*) los amplificadores de línea pueden ser re-programados por SW como pre-amplificadores si es necesario.

El sub-*rack* utilizado puede ser equipado según la necesidad específica del nodo. Teniendo en cuenta los *slots* “*Multi-purpose*” y la posibilidad de crecimiento sin interrupción de tráfico, esta configuración permite al Cliente crecer hasta 40 longitudes de onda de la siguiente manera;

Hasta 12 canales con la simple inserción de tarjetas y hasta 32 canales y 32 longitudes de onda, adicionando 2 *shelves* adicionales, todo en un único bastidor.

El Proveedor garantiza la implementación de todos los trayectos de la red sin necesidad de repetición intermedia, para una capacidad de hasta 32 *lambdas* de 10 G.

La plataforma DWDM se ha equipado con *lambdas* de 2,5 Gbps para el tráfico del anillo local de Guatemala entre los nodos de Zacapa–Centro GT con 2xSTM-16, Cobán–Huehuetenango con 1xSTM-16 y La Floresta–Centro GT con 3xSTM-16. Estas *lambdas* son bajadas (función *Add/Drop*) entre los nodos mencionados DWDM con función OADM. La conexión entre la plataforma DWDM y SDH se realizará a través de las interfaces STM-64 ya equipadas en el sistema hiT 7070.

Como opcional se pueden usar las interfaces coloreadas en los equipos hiT7070, la cual es sintonizable. Esto permite ahorrar los transponders en los equipos DWDM.

Las estaciones con repetidor óptico OLR, debido a la versatilidad del diseño de la plataforma DWDM con hiT7300 permite convertir este elemento en OADM para la conexión futura a una plataforma SDH.

Para el sistema SDH de Nueva Generación:

En cada una de las estaciones en donde el Cliente ya tiene instalados los equipos hiT7070 (plataforma NG SDH), tiene la ventaja de usar las funcionalidades L2 (switching) ya integradas en el equipo, los cuales pueden manejar, por ejemplo, IGMP *Snooping* permitiendo la implementación de *Multicast* y servicios de *triple-play* sobre la red SDH sin la necesidad de swicths Metro-Ethernet adicionales.

- **Consideraciones generales del proyecto**

Se darán adicionalmente los criterios de diseño siguientes; El Proveedor incluye en la oferta el presupuesto para un sistema de sincronismo compuesto de:

En cada uno de los nodos que hacen parte de la Propuesta, en donde se instalarán equipos, el Cliente suministrará la energía (-48VDC), espacio físico para la instalación de equipos, aire acondicionado.

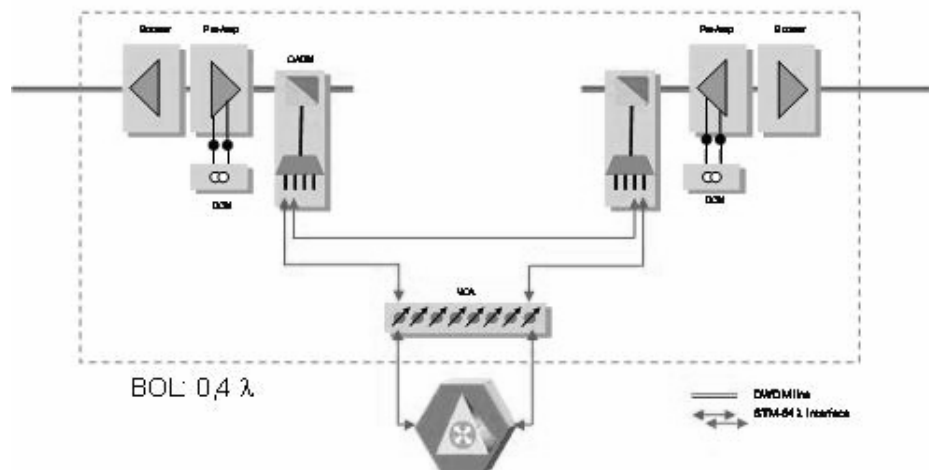
Así mismo el Cliente proporcionará paneles de distribución DC y barrajes de tierra. El Proveedor ha incluido como una sola oferta técnica ambas alternativas, debido a que el anillo local DWDM de Guatemala comparte varios nodos del anillo Centroamericano del Cliente, lo cual representa una ventaja para Guatemala, ya que se esta economizando y optimizando el equipamiento en estos nodos DWDM.

6.4.2. Posibilidades de expansión

Posibilidades de Expansión plataforma DWDM, en la configuración inicial el Proveedor propone el siguiente equipamiento:

- Nodos OADM: Capacidad BOL de 4 lambdas (ver figura 110).

Figura 110. Nodo OADM BOL



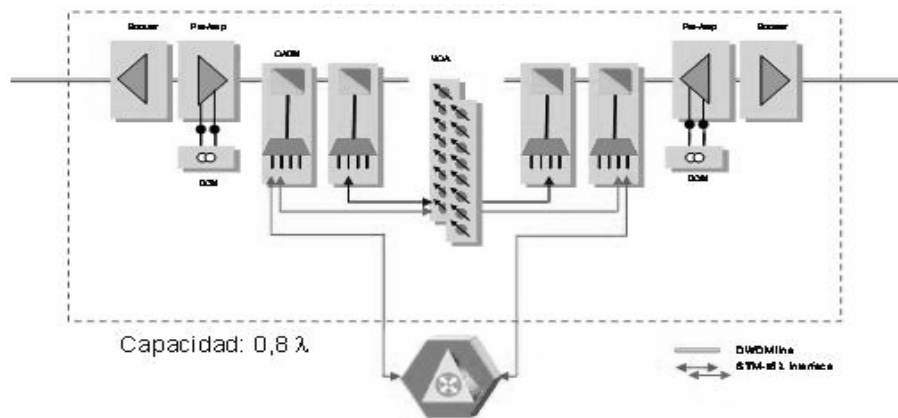
Los nodos OADM indicados arriba necesitan solamente un *shelf* en la mayoría de los nodos a excepción de algunos nodos donde necesitamos un *shelf* adicional debido al equipamiento de amplificadores

de largo alcance y donde ya garantizamos el espacio para eventuales láseres de bombeo.

- Nodos OADM; Crecimiento para 8 lambdas sin interrupción de tráfico:

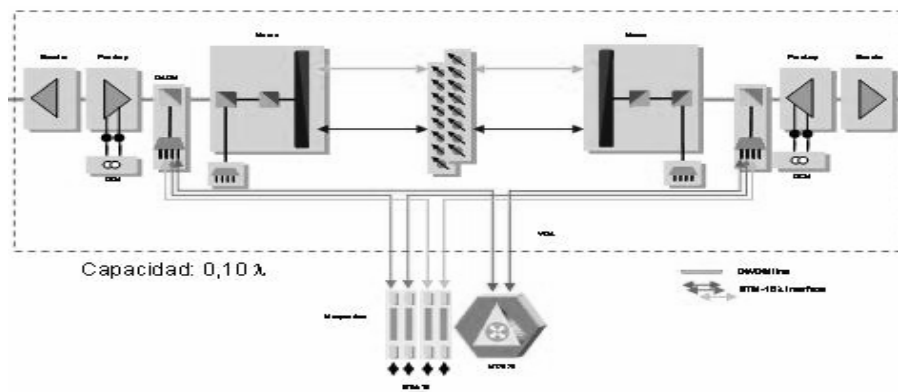
Hay dos posibilidades para dicho crecimiento. Si la expectativa de crecimiento para más de 8 lambdas es lejana, conviene la siguiente configuración;

Figura 111. Nodo OADM



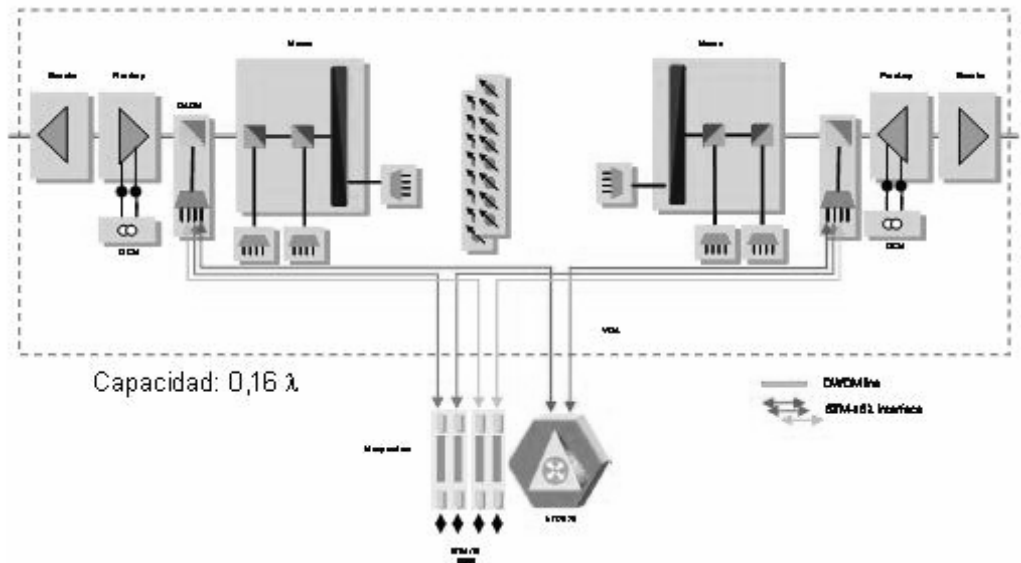
En el caso que se prevea el crecimiento inmediato para más de 8 lambdas se propone;

Figura 112. OADM 10 Lambdas



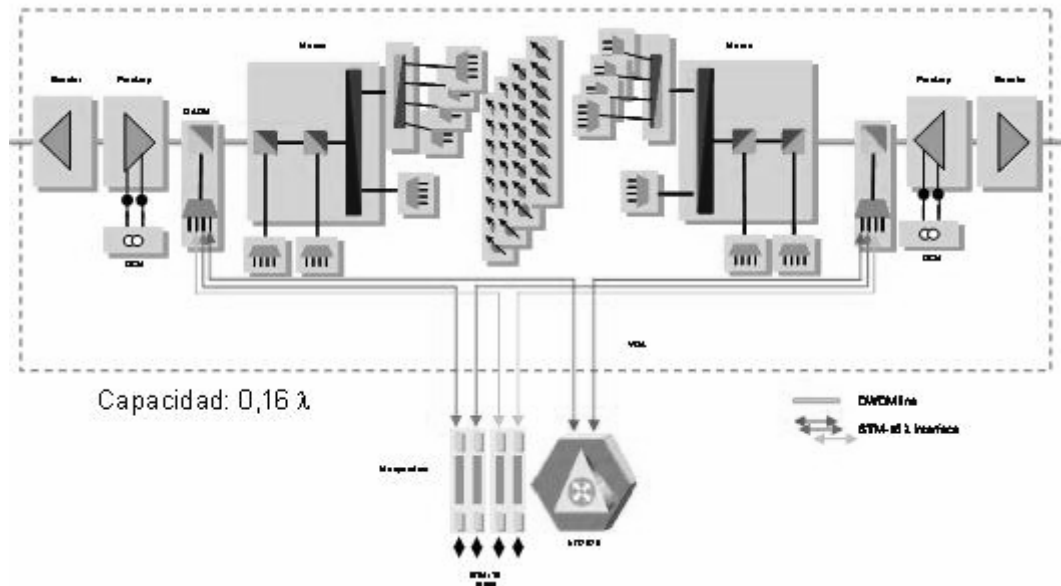
- Nodos OADM: Capacidad de 16 lambdas, crecimiento sin interrupción de tráfico:

Figura 113. OADM 16 Lambdas



- Nodos OADM: Capacidad de 32 lambdas:

Figura 114. OADM 32 Lambdas



Para los 32 canales EOL serían necesarios solamente 3 *shelves* siendo suficiente 1 solo bastidor ETSI para equiparlos. Hay que tener en cuenta que todo el crecimiento es hecho sin interrupción de tráfico. El sistema puede ser ampliado hasta 40 lambdas. Además, distintas configuraciones son posibles.

6.4.3. Lista de repuestos

El listado de repuestos puede ser generado a partir de los parámetros MTBF (*Mean Time Between Failures*) de los módulos de los equipos y utilizando una fórmula para cálculo basada en parámetros adicionales de entrada.

$$Quantity = InUse * \frac{ART}{MTBF} + C * \sqrt{InUse * \frac{ART}{MTBF}}$$

-*Quantity*: Resultado que indica la cantidad de repuestos requerida (siempre se redondea al valor del entero siguiente).

-*InUse*: Cantidad de elementos equipados y en uso en la red.

-*ART*: “*Active repair time*”, dado en años.

-*MTBF*: *Mean Time Between Failure*, dado en años.

-*C*: Factor de corrección, depende de la disponibilidad (para MS Excel: C=NORMINV (disponibilidad; 0; 1))

Tabla X. Disponibilidad y factor de corrección

Disponibilidad	C
50%	0
90%	1,28
95%	1,65
98%	2,054
99%	2,33
99,50%	2,576
99,90%	3,09

6.4.4. Confiabilidad de la red

El cálculo del MTBF anexo muestra los valores que han sido obtenidos para cada uno de los componentes incluidos en la oferta. Esta medición se realiza utilizando el software EXAR del Proveedor y utilizando las metodologías de calculación de acuerdo con los estándares internacionales en IEC 61709, MIL HDBK-217F.

Para realizar el calculo del MTBF de la red ofrecida, se deben tomar como base los valores incluidos en la oferta, sin embargo no se incluye un valor de MTBF global o por nodo porque este valor es relativo a las estaciones entre las cuales se quiere realizar la calculación, al tráfico agregado y a la topología misma de la red.

Para mayor claridad, si se quiere por ejemplo calcular la disponibilidad de la ruta A-N, se debe tomar un puerto modelo (por ejemplo. un STM-1 óptico) y calcular el MTBF de las estaciones DWDM y SDH que componen las diferentes rutas que interconectan las estaciones mencionadas (en este caso es una línea sin protección) y adicionalmente se suma el valor MTBF de los equipos agregadores en cada estación terminal.

Si contáramos con un esquema 1+1 a lo largo de la línea se puede tener una disponibilidad de la red del orden del 99,997 % o superior. Hay que tener en cuenta que el cálculo también depende del desempeño de la fibra óptica.

6.5. Sistema de gestión TNMS core

- Gestión local

Se ha equipado un LCT para las actividades de configuración, supervisión y puesta en funcionamiento en el ámbito local.

El software de gestión local se suministra uno por cada equipo portátil, independientemente de la cantidad de multiplexores en la red.

- Gestión remota

El sistema de Gestión TNMS-C permite gestionar todos los productos de transporte, tanto WDM como SDH. El TNMS-C provee monitoreo centralizado y configuración completa de la red, como así también la provisión de servicios *end-to-end* tanto en forma manual como automática.

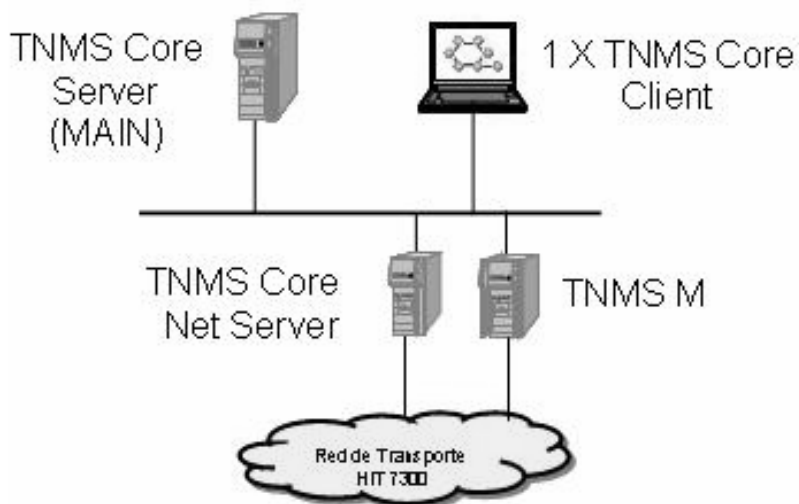
Además el TNMS-C incluye en forma embebida las aplicaciones de gestión de elemento (*Element Managers*) para los equipos hiT70xx, como también para los equipos DWDM LH (hiT7500, hiT 7540c, y hiT 7300) y Metro DWDM (FSPs) entre otros. En este nivel de gestión de elemento, el TNMS-C soporta completamente las áreas funcionales de fallas, configuración, *Performance* y Seguridad.

La plataforma TNMS-C propuesta, para la gestión de la red DWDM objeto de la presente oferta, está compuesta de; Un TNMS-C *NetServer* (NetServidor Fujitsu con 1xCPU y 1GB RAM – Windows XP) para cada centro de Gestión, ya que en los cuatro países se esta instalado el TNMS Core.

SW + Licencia básica para TNMS-C V10.x

A continuación el diagrama del sistema de gestión:

Figura 115. Centro de gestión principal



- Sistema de gestión

Las plataformas de hardware están compuestas de la siguiente manera:

- TNMS Core NetServer - Fujitsu Celsius M440
- Pentium IV 3.0GHz
- 1GB RAM
- 80GB HD SCSI
- 3.5" FD
- DVD-ROM
- 2xPlaca de red Fast /GB Ethernet (3COM)

- Mouse
- Monitor de 17" TFT
- Windows 2003 Server o XP Profesional

- Software.

El Software del TNMS Core consiste de las aplicaciones: *NetServer*

De acuerdo con la configuración del sistema el paquete de SW del TNMS-C puede comprender entre otros de los siguientes componentes OEM:

- Microsoft Internet Explorer.*
- IONA Orbix for CORBA.*
- PrismTech OpenFusion for CORBA.*
- Sun JRE for CORBA.*
- Emanate SNMP Agent.*
- Citrix Metaframe for WEB clients.*

- Licenciamiento del Sistema TNMS-C:

El licenciamiento del sistema se divide de la siguiente manera:

- Licencias de conexión por Nes/placas/transponders.
- Licencias adicionales por aplicaciones opcionales (ej. Lic. para Citrix).
- Metaframe para *Web Client* o lic. Para Acceso SQL Server 2000 para más de cinco clientes conectados al Server, etc.

Estas licencias están asociadas con el tamaño o categoría de la red a controlar. Para calcular la categoría o tamaño de la red, cada NE (ej. hiT7300) o placa (en el caso del hiT7070) tienen asociado un peso/factor (denominado NEWF - *Network Element Weighting Factor*), el cual debe ser sumado para todos los NE/placas involucrados. Dependiendo del valor total de NEWF, la categoría de red asociada a las funcionalidades opcionales pueden ser A, B o C.

En algunas funcionalidades Opcionales, como ser la interfaz CORBA agente o la interfaz SNMP, se requiere SW y licencias OEM separadas adicionales.

6.5.1. Escalabilidad de la solución de gestión

La arquitectura del Sistema de Gestión de Telecomunicaciones TNMS Core se divide en tres módulos funcionales:

- *TNMS Server*: Constituye la entidad responsable por el procesamiento de todo el sistema. En este módulo se encuentra la base de datos de la capa de red.
- *TNMS NetServer*: Es la entidad responsable de la comunicación entre el sistema de gestión y los elementos de red, o entre el gestor de red y los gestores de elementos. Posee todos los *drivers* de comunicación con los elementos de red o los *driver* de las interfaces para comunicación con los gestores de elementos.
- *TNMS Client*: Es la interfaz gráfica de operación del sistema.

Dependiendo del tamaño de la red, estos módulos funcionales pueden estar localizados en uno o más servidores de forma de conseguir el correcto dimensionamiento del sistema (que tenga en cuenta la carga de procesamiento, carga de disco, etc.). De esta forma se consiguen tres configuraciones posibles del sistema;

-*Small*: apropiada para redes pequeñas, donde las tres aplicaciones (TNMS Server, NetServer y Cliente) corren en una misma máquina PC.

-*Medium*: apropiada para redes medianas, donde las aplicaciones TNMS Server y NetServer corren en una misma PC y en forma separada (PCs) corren de uno hasta veinticinco (1-25) TNMS Clientes.

-*Large*: apropiada para redes grandes, donde cada una de las tres aplicaciones corre en máquinas separadas distribuidas, un (1) TNMS Server, de uno a diez (1-10) TNMS NetServers y de uno a cuarenta (1-40) Clientes TNMS.

Para dimensionar la capacidad de un sistema de gestión (*small*, *medium* o *large*) se debe conocer el número de 'SMA1 equivalentes' total de la red. El 'SMA 1 equivalente' es un parámetro de referencia consistente en los recursos necesarios para gestionar un multiplexor SDH a nivel STM-1.

La tabla siguiente ilustra la capacidad de gestión del sistema TNMS Core en sus tres configuraciones posibles:

Tabla XI. Capacidad de Gestión de TNMS

V10 Configuration	NCE	SMA1 Eq.	Services	Clients
Small	50	100	1000	n.a.
Medium	350	400	5.000	25
Large	400	3.000	20.000	30
Large with enhanced HW (*)	400	4.000	35.000	40

Donde los parámetros de la tabla anterior se calculan como sigue;

-Capacidad de procesamiento en la capa de red: El sistema TNMS Core V10 (TNMS *Server*) soporta distintos máximos de SMA-1 equivalentes (100 – 4000) dependiendo de su configuración (ver tabla anterior). Cada NE (hiT7050/60/30/20) o placa (en el caso del hiT7070) tiene asociado un peso/factor dado en SMA-1 equivalentes. Se entiende por SMA-1 equivalente, a la carga de performance de un elemento de red equivalente a la carga de procesamiento para gestionar el sistema SMA 1/4 *Single Row full* equipado. La suma total de esos pesos/factores para toda la red a gestionar define la cantidad de TNMS *Servers* necesarios, teniendo en cuenta el máximo antes mencionado.

-Capacidad de los TNMS *NetServers*: Cada TNMS Core V10 (TNMS *Server*) soporta distintas cantidades de TNMS *NetServers* (de 1 hasta 10) dependiendo de la configuración, y a su vez cada TNMS *NetServer* soporta de 50 hasta 400 NCE también dependiendo de la configuración (ver tabla anterior). El factor NCE es igual a 1 para todos los elementos de red que disponen de una interfaz en la placa controladora.

Es decir, es igual a uno para cada uno de los NE involucrados en la presente oferta. La suma total de esos pesos/factores para toda la red a gestionar define la cantidad de TNMS *NetServers* necesarios, teniendo en cuenta el máximo antes mencionado. Adicionalmente a este factor, se recomienda que cada Netservidor no supere el 90% de la memoria principal disponible (esto es, por ej. 900Mbytes máx. en caso de una PC con una memoria RAM de 1 Gbyte).

-Cantidad de servicios gestionados: Cada TNMS Core V10 (TNMS *Server*) soporta entre 1000 y 35.000 servicios (circuitos no protegidos con 5 *hops*) registrados en su base de datos dependiendo de la configuración utilizada.

-Cantidad de Clientes: Dependiendo de la configuración el TNMS *Server* puede soportar desde 1 a 40 Clientes.

La configuración adoptada con la utilización del concepto de objetos distribuidos, sumada a la versatilidad del sistema Windows XP o 2003, permite una alta escalabilidad al sistema de gestión TNMS Core V10. Por ejemplo, se puede comenzar gestionando una red mediana (hasta aprox. 350 NE's), estando compuesto por un TNMS Core *Server Large*, un *Netserver* y uno a 25 TNMS Core Clientes, permitiendo futuras expansiones del sistema, simplemente agregándole nuevas plataformas de hardware (TNMS Core *Netservers*) de forma de realizar una distribución/balanceo de los procesos entre las mismas y el Server, siempre respetando los máximos descritos en la tabla arriba. También se pueden agregar nuevos Clientes, respetando los máximos indicados arriba.

CONCLUSIONES

1. Un sistema de comunicación óptico WDM está constituido en su forma básica por las siguientes etapas: Fuente óptica, Multiplexor óptico, fibra óptica, demultiplexores ópticos, fotodetectores y el bloque amplificador dopado con Erblio.
2. El protocolo IP contiene por sí solo las características de corrección de errores y de enrutamiento, por lo que no es necesario contar con otras capas que hagan lo mismo.
3. Existen varios tipos de fibra óptica, la técnica WDM utiliza las fibras monomodo ya que son capaces de transmitir modos de distintas frecuencias y longitudes de onda con un mismo ángulo de entrada y por ser utilizadas en aplicaciones de alta velocidad y distancias mucho más largas.
4. La madurez del protocolo IP y el desarrollo de la tecnología WDM proporcionará la aparición de nuevas aplicaciones donde el problema del ancho de banda no será la barrera principal.
5. Dos aspectos que limitan las transmisiones WDM en la fibra óptica son, la dispersión en todos sus distintos modos y la atenuación de la señal transmitida a lo largo del recorrido a través de la fibra. Estos aspectos limitan el desempeño y por tanto la velocidad de transmisión en la fibra óptica.

6. La tecnología WDM se basa en frecuencias definidas por láser (*Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation*). En UDWDM los láseres deben ser capaces de emitir longitudes de onda diferenciadas hasta de 10GHz (0.08nm).
7. Una característica importante en los sistemas WDM es la necesidad de amplificadores cada cierta distancia a lo largo del sistema. Los llamados EDFA's (*Erbium Doped Fiber Amplifier*), que se encargan de regenerar la señal que va perdiendo potencia a lo largo del recorrido en la fibra óptica, son característicos de los sistemas ópticos debido a las largas distancias de sus aplicaciones. Actualmente, se tienen pruebas en laboratorio donde se han logrado multiplexar hasta 1022 canales distintos simultáneamente en una sola fibra óptica.
8. Las diferencias básicas entre los sistemas WDM, DWDM y UDWDM es el espaciamiento entre los canales que son transmitidos y la velocidad de transmisión.
9. Otras tecnologías exigen el uso de prismas u otro tipo de longitud de onda, algunas tecnologías tienen pérdidas excesivas y son muy complejas. Por ejemplo, en las tecnologías MEMs, cada longitud de onda tiene que usar su longitud de onda específica. Esto aumenta la complejidad y costo de esta solución y severamente afecta su flexibilidad.
10. Se ha visto que se precisan algunos cambios en las configuraciones del *hardware* para hacer los routers capaces de manejar los paquetes a velocidades de Gigabit, así como el uso de switch fabricados en vez de buses. Por lo tanto, IP sobre WDM/DWDM es la mejor opción para las futuras redes.

11. El trabajo ha mostrado algunas de las posibilidades de las cuales WDM puede dar en términos de funcionalidad, la posibilidad de conexión cruzada y enrutar los flujos IP con la ayuda de las longitudes de onda y de tal modo de conseguir una menor latencia en la red.
12. La tecnología WDM viene a resolver el problema de la capacidad de transmisión en redes ópticas, aunque antes de su descubrimiento existían protocolos de transmisión de información como SONET/SDH, los cuales trabajan con alta velocidad, WDM hace que se puedan transmitir varias de estas señales por un solo enlace de fibra óptica.
13. Los equipos actuales soportan 32 longitudes de onda y están siendo liberados equipos que soportan 80 longitudes de onda en un solo enlace de fibra óptica.

RECOMENDACIONES

1. Combinando WDM con otras tecnologías de multiplexación se puede lograr aumentar aún más la capacidad de transmisión de la fibra óptica. Como posible aplicación de este método de multiplexación se puede tomar en cuenta las transmisiones interoceánicas existentes.
2. Urge la realización de una investigación más especializada y detallada en cuanto a las aplicaciones de esta tecnología WDM, ya que como se mencionó en este trabajo de graduación, este método trae consigo una solución en cuanto al tráfico y demanda de ancho de banda.
3. La comunicación entre continentes es una de las que más demanda el ancho de banda, por lo que puede ser tema de investigación más a fondo. Con UDWDM se podría aprovechar la fibra instalada existente sin necesidad de ser sustituida.
4. Las ventajas que ofrece la multiplexación ultra densa en cuanto a la compatibilidad de la velocidad a la que trabaja con la de los equipos existentes merecen ser tomadas en cuenta. Se aconseja hacer un estudio acerca de la relación costo-aprovechamiento de los sistemas WDM.

BIBLIOGRAFÍA

1. Dixit, Sudhir S. **IP over WDM: Building the Next Generation Optical Internet**. Canada, Editorial John Wiley & Sons, LTD.
2. Kevin, H. Liu. **IP over WDM**. Canada, Editorial John Wiley & Sons, LTD.
3. León Lossi, Edwin Alfonso. Diseño E Implementación de una Red de Fibra Óptica PDH. Tesis Ingeniero Electrónico, Universidad de San Carlos De Guatemala, Facultad de Ingeniería, 2006. 251 p.
4. López Morales, Héctor Rolando. Análisis entre un enlace de cable de Fibra Óptica Submarina y un enlace Satelital. Tesis Ingeniero Electrónico, Universidad de San Carlos De Guatemala, Facultad de Ingeniería, 2004. 60 p.
5. Ronquillo Leiva, Reynaldo Antonio de Jesús. Tendidos exteriores de Fibra Óptica en la región Metropolitana y su Impacto Ambiental. Tesis Ingeniero Industrial, Universidad de San Carlos De Guatemala, Facultad de Ingeniería, 2003. 105 p.
6. Rosas Fernández, J. B. Sistemas de Transmisión SDH.

Referencias Electrónicas

7. http://paginas.fe.up.pt/~mricardo/01_02/cursoip/ipwdm.pdf, agosto de 2006
8. http://www.alcatel.com/18804_DataAwareTrans_swp_tcm172-188821635.pdf, septiembre de 2006.
9. <http://www.alcatel.com/telecom/tsd>, agosto de 2006.
10. http://www.eee.ufg.br/cepf/pff/2002/ee_09.pdf, octubre de 2006.
11. <http://www.ee.uta.edu/vasilyev/projects/OADM.htm>, enero de 2007
12. <http://www.eie.ucr.ac.cr/proyectos/proybach/pb0424t.pdf>, octubre de 2006.

13. <http://www.fdi.ucm.es/profesor/jseptien/WEB/Docencia/AVRED/Documentos/Tema5.pdf>, diciembre de 2006.
14. http://www.iec.uia.mx/proy/titulacion/proy04/capitulo_ii.htm, septiembre de 2006.
15. <http://www.lucent-optical.com>, agosto de 2006.
16. <http://www.monografias.com/trabajos33/telecomunicaciones/telecomunicaciones.shtml>, septiembre de 2006.
17. <http://www.monografias.com/trabajos-pdf/ip-redes-integradas/ip-redes-integradas.pdf>, noviembre de 2006.
18. <http://www.nortelnetworks.com/products/optical>, octubre de 2006.
19. http://www.paginas.fe.up.pt/~hsalgado/pstfc/Proyecto_IP_WDM_Final.pdf, octubre de 2006.
20. <http://www.personales.alumno.upv.es/~jormaso/WDM/protocolos.htm>, septiembre de 2006
21. http://www.pucp.edu.pe/fac/cing/telecom/docs/T6_tendencias.pdf, octubre de 2006.
22. http://www.radioptica.com/Fibra/componentes_fotonicos.asp?pag=2, diciembre de 2006
23. http://www.radioptica.com/Fibra/demux_switch_II.asp, noviembre de 2006
24. https://www.rediris.es/jt/jt2004/archivo/ficheros/adolfo_garcia-redes-opticas.pdf, septiembre de 2006.
25. <https://www.rediris.es/jt/jt2001/archivo/redesopticas.pdf>, octubre de 2006.
26. http://www.tdx.cesca.es/TESIS_UPC/AVAILABLE/TDX-0115104-104218//01PART1.pdf, agosto de 2006.
27. http://www.telefonica.es/sociedaddelainformacion/pdf/publicaciones/telecomunicacionesng/capitulos/06_la_red_de_transito.pdf, agosto de 2006.

ANEXOS

Parámetros MTBF

Los valores FIT (MTBF) son valores estadísticos y sólo se basarán en la proporción de fracaso aleatorio que corresponde al componente llano de la curva de la bañera típica. El método de cálculo esta en acc. Con IEC 61709!				
Artículo S N°	Código N°	Descripcion	FIT total	MTBF total (años)
SI78-10.10	S42024-L5433-A20	D0340SMF	249	458,4
SI78-10.20	S42024-L5433-A40	D0680SMF	249	458,4
SI78-10.30	S42024-L5433-A60	D1020SMF	249	458,4
SI78-10.40	S42024-L5433-A80	D1360SMF	249	458,4
SI78-10.50	S42024-L5433-A100	D1700SMF	249	458,4
SI78-12.10	S42024-L5434-A20	D0340LEF	249	458,4
SI78-12.20	S42024-L5434-A30	D0510LEF	249	458,4
SI78-12.30	S42024-L5434-A40	D0680LEF	249	458,4
SI78-13.110	S42024-L5430-A110	F04MDU-1, SUBBAND C01	643	177,5
SI78-13.115	S42024-L5430-A115	F04MDU-1, SUBBAND C02	643	177,5
SI78-13.120	S42024-L5430-A120	F04MDU-1, SUBBAND C03	556	205,3
SI78-13.125	S42024-L5430-A125	F04MDU-1, SUBBAND C04	556	205,3
SI78-13.130	S42024-L5430-A130	F04MDU-1, SUBBAND C05	556	205,3
SI78-13.135	S42024-L5430-A135	F04MDU-1, SUBBAND C06	556	205,3
SI78-3.140	S42024-L5430-A140	F04MDU-1, SUBBAND C07	556	205,3
SI78-13.145	S42024-L5430-A145	F04MDU-1, SUBBAND C08	556	205,3
SI78-13.150	S42024-L5430-A150	F04MDU-1, SUBBAND C09	556	205,3
SI78-13.155	S42024-L5430-A155	F04MDU-1, SUBBAND C10	556	205,3
SI78-13.210	S42024-L5430-A210	F04MDN-1, SUBBAND C01	184	620,4
SI78-13.215	S42024-L5430-A215	F04MDN-1, SUBBAND C02	184	620,4
SI78-13.220	S42024-L5430-A220	F04MDN-1, SUBBAND C03	184	620,4
SI78-13.225	S42024-L5430-A225	F04MDN-1, SUBBAND C04	184	620,4
SI78-13.230	S42024-L5430-A230	F04MDN-1, SUBBAND C05	184	620,4
SI78-13.235	S42024-L5430-A235	F04MDN-1, SUBBAND C06	184	620,4
SI78-13.240	S42024-L5430-A240	F04MDN-1, SUBBAND C07	184	620,4
SI78-13.245	S42024-L5430-A245	F04MDN-1, SUBBAND C08	184	620,4
SI78-13.250	S42024-L5430-A250	F04MDN-1, SUBBAND C09	184	620,4
SI78-13.255	S42024-L5430-A255	F04MDN-1, SUBBAND C10	184	620,4
SI78-13.310	S42024-L5431-A310	F08SB-1	566	201,6
SI78-13.410	S42024-L5443-A310	F16SB-1 (BLUE)	1.287	88,6
SI78-13.415	S42024-L5443-A340	F16SB-1 (RED)	1.287	88,6
SI78-14.10	S42024-L5432-A80	O08VA-1	1.945	58,6
SI78-20.10	S42024-L5435-A100	I04T2G5-1	2.230	51,1
SI78-25.100	S42024-L5437-A100	I01T10G-1, LONG HAUL	4.347	26,2
SI78-25.200	S42024-L5437-A200	I01T10G-1, REGIO, MASTER ORDER NUMBER	3.447	33,1
SI78-35.10	S42024-L5424-A100	CCEP-1 (70MM)	4.049	28,1
SI78-35.30	S42024-L5424-A200	CCMP-1 (40MM)	3.320	34,3

Los valores FIT (MTBF) son valores estadísticos y sólo se basarán en la proporción de fracaso aleatorio que corresponde al componente llano de la curva de la bañera típica. El método de cálculo esta en acc. Con IEC 61709!				
Artículo S N°	Código N°	Descripcion	FIT total	MTBF total (años)
SI78-35.50	S42024-L5425-A100	CCSP-1 (40MM)	2.391	47,7
SI78-5.330	S42025-A179-B12	EOW HANDSET MTS	375	304,4
SI78-50.110	V50017-U343-K500	STM-16 MODULE I-16.1	500	228,3
SI78-50.115	V50017-U340-K500	STM-16 MODULE S-16.1	400	285,3
SI78-50.120	V50017-U341-K500	STM-16 MODULE L-16.1	500	228,3
SI78-50.15	V50017-U363-K500	1000BASELX OPT. MODULE	500	228,3
SI78-50.25	V50017-U368-K500	SFP GBE ZX	500	228,3
SI78-55.10	V50017-U770-K500	XFP, 1300NM, 2KM FOR STM64, 10KM FOR 10GBASE-L	500	228,3
SI78-55.20	V50017-U772-K500	XFP, 1500NM,40KM FOR STM64 AND 10GBASE-E	500	228,3
SI78-8.110	S42024-L5426-A400	LALBC-1	4.479	25,4
SI78-8.120	S42024-L5426-A700	LALPC-1	4.129	27,6
SI78-8.130	S42024-L5426-A100	LALIC-1	4.770	23,9
SI78-8.220	S42024-L5427-A700	LAMPC-1	2.846	40,1
SI78-8.230	S42024-L5427-A100	LAMIC-1	3.436	33,2
SI78-8.310	S42024-L5428-A400	LASBC-1	3.067	37,2
SI78-9.10	S42024-L5429-A100	PRC-1	3.896	29,3
SM10-1.11	S42023-L5025-A1	SUBRACK HIT 7070 SC	2.891	39,4
SM10-1.12	S42024-L5223-B110	SCOH, HIT 7070, (SYSTEM CONTROLLER AND OVERHEAD)	4.415	25,8
SM10-1.21	S42023-L5024-A1	SUBRACK HIT 7070 DC	2.768	41,2
SM10-1.32	S42024-L5223-B200	SCOH WITH OH MODULE, HIT 7070, (SYSTEM CONTROLLER AND OVERHEAD)	5.474	20,8
SM10-1.36	S42024-L5223-R100	OH MODULE KIT, HIT 7070	1.059	107,7
SM10-1.37	S42025-Z467-A5	HANDSET FOR EOW, HIT 7050/70	500	228,3
SM10-1.72	S42024-L5223-B100	SCOH, HIT 7070, (SYSTEM CONTROLLER AND OVERHEAD)	4.415	25,8
SM10-10.1	S42024-L5221-A100	PACKET FABRIC 2.5G RPR, HIT 7070, (PF2G5)	3.582	31,8
SM10-12.1	S42024-L5213-A100	OPT. MUX/DEMUX FOR 40G INTERFACE, HIT 7070, (IFS40G-MX)	550	207,5
SM10-12.5	S42024-L5207-A349	STM-64 CARD 1538.19NM FOR 40G INTERFACE, HIT 7070, (IFS10G WDM)	3.286	34,7
SM10-12.6	S42024-L5207-A357	STM-64 CARD 1539.77NM FOR 40G INTERFACE, HIT 7070, (IFS10G WDM)	3.286	34,7
SM10-12.7	S42024-L5207-A365	STM-64 CARD 1541.35NM FOR 40G INTERFACE, HIT 7070, (IFS10G WDM)	3.286	34,7
SM10-12.8	S42024-L5207-A373	STM-64 CARD 1542.94NM FOR 40G INTERFACE, HIT 7070, (IFS10G WDM)	3.286	34,7
SM10-14.1	S42024-L5208-A309	STM-64 METRO WDM CARD, 1530.33NM, HIT 7070, (IFS10G-M)	3.317	34,4
SM10-14.10	S42024-L5208-A405	STM-64 METRO WDM CARD, 1549.32NM, HIT 7070, (IFS10G-M)	3.317	34,4
SM10-14.11	S42024-L5208-A413	STM-64 METRO WDM CARD, 1550.92NM, HIT 7070, (IFS10G-M)	3.317	34,4
SM10-14.12	S42024-L5208-A421	STM-64 METRO WDM CARD, 1552.52NM, HIT 7070, (IFS10G-M)	3.317	34,4
SM10-14.13	S42024-L5208-A437	STM-64 METRO WDM CARD, 1555.75NM, HIT 7070, (IFS10G-M)	3.317	34,4
SM10-14.14	S42024-L5208-A445	STM-64 METRO WDM CARD, 1557.36NM, HIT 7070, (IFS10G-M)	3.317	34,4

Los valores FIT (MTBF) son valores estadísticos y sólo se basarán en la proporción de fracaso aleatorio que corresponde al componente llano de la curva de la bañera típica. El método de cálculo esta en acc. Con IEC 61709!				
Artículo S N°	Código N°	Descripcion	FIT total	MTBF total (años)
SM10-14.15	S42024-L5208-A453	STM-64 METRO WDM CARD, 1558.98NM, HIT 7070, (IFS10G-M)	3.317	34,4
SM10-14.16	S42024-L5208-A461	STM-64 METRO WDM CARD, 1560.61NM, HIT 7070, (IFS10G-M)	3.317	34,4
SM10-14.17	S42024-L5208-A509	STM-64 METRO WDM CARD, 1570.42NM, HIT 7070, (IFS10G-M)	3.317	34,4
SM10-14.18	S42024-L5208-A517	STM-64 METRO WDM CARD, 1572.06NM, HIT 7070, (IFS10G-M)	3.317	34,4
SM10-14.19	S42024-L5208-A525	STM-64 METRO WDM CARD, 1573.71NM, HIT 7070, (IFS10G-M)	3.317	34,4
SM10-14.2	S42024-L5208-A317	STM-64 METRO WDM CARD, 1531.90NM, HIT 7070, (IFS10G-M)	3.317	34,4
SM10-14.20	S42024-L5208-A533	STM-64 METRO WDM CARD, 1575.37NM, HIT 7070, (IFS10G-M)	3.317	34,4
SM10-14.21	S42024-L5208-A549	STM-64 METRO WDM CARD, 1578.69NM, HIT 7070, (IFS10G-M)	3.317	34,4
SM10-14.22	S42024-L5208-A557	STM-64 METRO WDM CARD, 1580.35NM, HIT 7070, (IFS10G-M)	3.317	34,4
SM10-14.23	S42024-L5208-A565	STM-64 METRO WDM CARD, 1582.02NM, HIT 7070, (IFS10G-M)	3.317	34,4
SM10-14.24	S42024-L5208-A573	STM-64 METRO WDM CARD, 1583.69NM, HIT 7070, (IFS10G-M)	3.317	34,4
SM10-14.25	S42024-L5208-A597	STM-64 METRO WDM CARD, 1588.73NM, HIT 7070, (IFS10G-M)	3.317	34,4
SM10-14.26	S42024-L5208-A605	STM-64 METRO WDM CARD, 1590.41NM, HIT 7070, (IFS10G-M)	3.317	34,4
SM10-14.27	S42024-L5208-A613	STM-64 METRO WDM CARD, 1592.10NM, HIT 7070, (IFS10G-M)	3.317	34,4
SM10-14.28	S42024-L5208-A621	STM-64 METRO WDM CARD, 1593.79NM, HIT 7070, (IFS10G-M)	3.317	34,4
SM10-14.29	S42024-L5208-A637	STM-64 METRO WDM CARD, 1597.19NM, HIT 7070, (IFS10G-M)	3.317	34,4
SM10-14.3	S42024-L5208-A325	STM-64 METRO WDM CARD, 1533.47NM, HIT 7070, (IFS10G-M)	3.317	34,4
SM10-14.30	S42024-L5208-A645	STM-64 METRO WDM CARD, 1598.89NM, HIT 7070, (IFS10G-M)	3.317	34,4
SM10-14.31	S42024-L5208-A653	STM-64 METRO WDM CARD, 1600.60NM, HIT 7070, (IFS10G-M)	3.317	34,4
SM10-14.32	S42024-L5208-A661	STM-64 METRO WDM CARD, 1602.31NM, HIT 7070, (IFS10G-M)	3.317	34,4
SM10-14.4	S42024-L5208-A333	STM-64 METRO WDM CARD, 1535.04NM, HIT 7070, (IFS10G-M)	3.317	34,4
SM10-14.5	S42024-L5208-A349	STM-64 METRO WDM CARD, 1538.19NM, HIT 7070, (IFS10G-M)	3.317	34,4
SM10-14.6	S42024-L5208-A357	STM-64 METRO WDM CARD, 1539.77NM, HIT 7070, (IFS10G-M)	3.317	34,4
SM10-14.7	S42024-L5208-A365	STM-64 METRO WDM CARD, 1541.35NM, HIT 7070, (IFS10G-M)	3.317	34,4
SM10-14.8	S42024-L5208-A373	STM-64 METRO WDM CARD, 1542.94NM, HIT 7070, (IFS10G-M)	3.317	34,4
SM10-14.9	S42024-L5208-A397	STM-64 METRO WDM CARD, 1547.72NM, HIT 7070, (IFS10G-M)	3.317	34,4
SM10-15.11	S42024-L5207-A130	STM-64 CARD L-64.2B/3, HIT 7070, (IFS10G)	3.286	34,7
SM10-15.12	S32011-Q110-C800	OB-2 OPT. BOODTER 11DBM	2.127	53,6

Los valores FIT (MTBF) son valores estadísticos y sólo se basarán en la proporción de fracaso aleatorio que corresponde al componente llano de la curva de la bañera típica. El método de cálculo esta en acc. Con IEC 61709!				
Artículo S N°	Código N°	Descripcion	FIT total	MTBF total (años)
SM10-15.13	S42024-L5014-A4	DCM64-20 DISPERSION COMPENSATING MODULE 64, 20KM	30	3.805,1
SM10-15.2	S42024-L5207-A120	STM-64 CARD S-64.2B/3B, HIT 7070, (IFS10G)	3.286	34,7
SM10-15.3	S42024-L5207-A110	STM-64 CARD S-64.1, HIT 7070, (IFS10G)	3.286	34,7
SM10-15.4	S42024-L5207-A100	STM-64 CARD I-64.1, HIT 7070, (IFS10G)	3.061	37,2
SM10-15.81	S42024-L5207-A140	STM-64 CARD V-64.2A/3, HIT 7070, (IFS10G)	3.436	33,2
SM10-15.83	S42024-L5014-A2	DCM64-80 DISPERSION COLMPENSATING MODULE 64, 80KM	30	3.805,1
SM10-15.84	S32011-Q1111-C801	OP64-2 OPT. PREAMPLIFIER	2.291	49,8
SM10-15.903	S42024-L5207-B110	STM-64 CARD S-64.1, EBG, HIT 7070, (IFS10G)	3.287	34,7
SM10-20.1	S42024-L5209-A100	STM-16 BOARD, 4 X STM-16 OPT., HIT 7070, (IFQ2G5)	4.122	27,6
SM10-20.11	V50017-U342-K500	STM-16 MODULE L-16.2/3	500	228,3
SM10-20.12	V50017-U341-K500	STM-16 MODULE L-16.1	500	228,3
SM10-20.13	V50017-U340-K500	STM-16 MODULE S-16.1	400	285,3
SM10-20.14	V50017-U343-K500	STM-16 MODULE I-16.1	500	228,3
SM10-20.913	V50017-U340-K550	STM-16 MODULE S-16.1, EBG, HIT 7050/70	500	228,3
SM10-21.1	S42024-L5210-A100	STM-16 CARD S-16.1, 1 X STM-16 OPT., HIT 7070, (IFS2G5)	1.689	67,5
SM10-21.2	S42024-L5210-C400	STM-16 CARD JE 33DB-16.2/3, 1 X STM-16 OPT., HIT 7070, (IFS2G5)	2.709	42,1
SM10-21.6	S42024-L5210-D100	STM-16 BOARD, 1 X STM-16 OPT., HIT 7070, (IFS2G5B)	2.480	46,0
SM10-22.1	S42024-L5210-D301	STM-16 WDM CARD 1528.77NM, HIT 7070, (IFS2G5-WDM)	2.859	39,9
SM10-22.10	S42024-L5210-D337	STM-16 WDM CARD 1535.82NM, HIT 7070, (IFS2G5-WDM)	2.859	39,9
SM10-22.11	S42024-L5210-D341	STM-16 WDM CARD 1536.61NM, HIT 7070, (IFS2G5-WDM)	2.859	39,9
SM10-22.12	S42024-L5210-D345	STM-16 WDM CARD 1537.40NM, HIT 7070, (IFS2G5-WDM)	2.859	39,9
SM10-22.13	S42024-L5210-D349	STM-16 WDM CARD 1538.19NM, HIT 7070, (IFS2G5-WDM)	2.859	39,9
SM10-22.14	S42024-L5210-D353	STM-16 WDM CARD 1538.98NM, HIT 7070, (IFS2G5-WDM)	2.859	39,9
SM10-22.15	S42024-L5210-D357	STM-16 WDM CARD 1539.77NM, HIT 7070, (IFS2G5-WDM)	2.859	39,9
SM10-22.16	S42024-L5210-D361	STM-16 WDM CARD 1540.56NM, HIT 7070, (IFS2G5-WDM)	2.859	39,9
SM10-22.17	S42024-L5210-D365	STM-16 WDM CARD 1541.35NM, HIT 7070, (IFS2G5-WDM)	2.859	39,9
SM10-22.18	S42024-L5210-D369	STM-16 WDM CARD 1542.14NM, HIT 7070, (IFS2G5-WDM)	2.859	39,9
SM10-22.19	S42024-L5210-D373	STM-16 WDM CARD 1542.94NM, HIT 7070, (IFS2G5-WDM)	2.859	39,9
SM10-22.2	S42024-L5210-D305	STM-16 WDM CARD 1529.55NM, HIT 7070, (IFS2G5-WDM)	2.859	39,9
SM10-22.20	S42024-L5210-D377	STM-16 WDM CARD 1543.73NM, HIT 7070, (IFS2G5-WDM)	2.859	39,9
SM10-22.21	S42024-L5210-D401	STM-16 WDM CARD 1548.51NM, HIT 7070, (IFS2G5-WDM)	2.859	39,9

Los valores FIT (MTBF) son valores estadísticos y sólo se basarán en la proporción de fracaso aleatorio que corresponde al componente llano de la curva de la bañera típica. El método de cálculo esta en acc. Con IEC 61709!				
Artículo S N°	Código N°	Descripcion	FIT total	MTBF total (años)
SM10-22.22	S42024-L5210-D405	STM-16 WDM CARD 1549.31NM, HIT 7070, (IFS2G5-WDM)	2.859	39,9
SM10-22.23	S42024-L5210-D409	STM-16 WDM CARD 1550.12NM, HIT 7070, (IFS2G5-WDM)	2.859	39,9
SM10-22.24	S42024-L5210-D413	STM-16 WDM CARD 1550.92NM, HIT 7070, (IFS2G5-WDM)	2.859	39,9
SM10-22.25	S42024-L5210-D417	STM-16 WDM CARD 1551.72NM, HIT 7070, (IFS2G5-WDM)	2.859	39,9
SM10-22.26	S42024-L5210-D421	STM-16 WDM CARD 1552.52NM, HIT 7070, (IFS2G5-WDM)	2.859	39,9
SM10-22.27	S42024-L5210-D425	STM-16 WDM CARD 1553.33NM, HIT 7070, (IFS2G5-WDM)	2.859	39,9
SM10-22.28	S42024-L5210-D429	STM-16 WDM CARD 1554.13NM, HIT 7070, (IFS2G5-WDM)	2.859	39,9
SM10-22.29	S42024-L5210-D433	STM-16 WDM CARD 1554.94NM, HIT 7070 (IFS2G5-WDM)	2.859	39,9
SM10-22.3	S42024-L5210-D309	STM-16 WDM CARD 1530.33NM, HIT 7070, (IFS2G5-WDM)	2.859	39,9
SM10-22.30	S42024-L5210-D437	STM-16 WDM CARD 1555.75NM, HIT 7070, (IFS2G5-WDM)	2.859	39,9
SM10-22.31	S42024-L5210-D441	STM-16 WDM CARD 1556.55NM, HIT 7070, (IFS2G5-WDM)	2.859	39,9
SM10-22.32	S42024-L5210-D445	STM-16 WDM CARD 1557.37NM, HIT 7070, (IFS2G5-WDM)	2.859	39,9
SM10-22.33	S42024-L5210-D449	STM-16 WDM CARD 1558.17NM, HIT 7070, (IFS2G5-WDM)	2.859	39,9
SM10-22.34	S42024-L5210-D453	STM-16 WDM CARD 1558.98NM, HIT 7070, (IFS2G5-WDM)	2.859	39,9
SM10-22.35	S42024-L5210-D457	STM-16 WDM CARD 1559.79NM, HIT 7070, (IFS2G5-WDM)	2.859	39,9
SM10-22.36	S42024-L5210-D461	STM-16 WDM CARD 1560.60NM, HIT 7070, (IFS2G5-WDM)	2.859	39,9
SM10-22.37	S42024-L5210-D465	STM-16 WDM CARD 1561.42NM, HIT 7070, (IFS2G5-WDM)	2.859	39,9
SM10-22.38	S42024-L5210-D469	STM-16 WDM CARD 1562.23NM, HIT 7070, (IFS2G5-WDM)	2.859	39,9
SM10-22.39	S42024-L5210-D473	STM-16 WDM CARD 1563.05NM, HIT 7070, (IFS2G5-WDM)	2.859	39,9
SM10-22.4	S42024-L5210-D313	STM-16 WDM CARD 1531.12NM, HIT 7070, (IFS2G5-WDM)	2.859	39,9
SM10-22.40	S42024-L5210-D477	STM-16 WDM CARD 1563.86NM, HIT 7070, (IFS2G5-WDM)	2.859	39,9
SM10-22.5	S42024-L5210-D317	STM-16 WDM CARD 1531.90NM, HIT 7070, (IFS2G5-WDM)	2.859	39,9
SM10-22.6	S42024-L5210-D321	STM-16 WDM CARD 1532.68NM, HIT 7070, (IFS2G5-WDM)	2.859	39,9
SM10-22.7	S42024-L5210-D325	STM-16 WDM CARD 1533.47NM, HIT 7070, (IFS2G5-WDM)	2.859	39,9
SM10-22.8	S42024-L5210-D329	STM-16 WDM CARD 1534.25NM, HIT 7070, (IFS2G5-WDM)	2.859	39,9
SM10-22.9	S42024-L5210-D333	STM-16 WDM CARD 1535.04NM, HIT 7070, (IFS2G5-WDM)	2.859	39,9
SM10-23.1	S42024-L5211-B100	STM-4 BOARD, 4 X STM-4 OPT., HIT 7070, (IFQ622M)	2.731	41,7

	Los valores FIT (MTBF) son valores estadísticos y sólo se basarán en la proporción de fracaso aleatorio que corresponde al componente llano de la curva de la bañera típica. El método de cálculo esta en acc. Con IEC 61709!			
Artículo S N°	Código N°	Descripcion	FIT total	MTBF total (años)
SM10-23.11	V50017-U332-K500	STM-4 MODULE L-4.2/3, HIT 7050/70	500	228,3
SM10-23.12	V50017-U331-K500	STM-4 MODULE L-4.1, HIT 7050/70	500	228,3
SM10-23.13	V50017-U330-K500	STM-4 MODULE S-4.1, HIT 7050/70	500	228,3
SM10-23.912	V50017-U331-K550	STM-4 MODULE L-4.1, EBG, HIT 70**	500	228,3
SM10-24.1	S42024-L5212-B100	STM-1 BOARD, 8 X STM-1 OPT., HIT 7070, (IFQ155M)	2.919	39,1
SM10-24.11	V50017-U325-K500	STM-1 MODULE L-1.2/3, HIT 7050/70	500	228,3
SM10-24.12	V50017-U324-K500	STM-1 MODULE L-1.1, HIT 7050/70	500	228,3
SM10-24.13	V50017-U323-K500	STM-1 MODULE S-1.1, HIT 7050/70	500	228,3
SM10-24.911	V50017-U325-K550	STM-1 MODULE L-1.2/3, EBG, HIT 7050/70	500	228,3
SM10-24.912	V50017-U324-K550	STM-1 MODULE L-1.1, EBG, HIT 7050/70	500	228,3
SM10-24.913	V50017-U323-K550	STM-1 MODULE S-1.1, EBG, HIT 7050/70	500	228,3
SM10-25.12	S42024-L5218-A200	LSU CARD, 63 X E1, 120OHM, HIT 7070, (LSU-120R)	850	134,3
SM10-25.2	S42024-L5217-A200	IF2M CARD, 63 X E1, 120OHM, HIT 7070, (IF2M-120R)	4.016	28,4
SM10-25.32	S42024-L5218-A100	LSU CARD, 63 X E1, 75OHM, HIT 7070, (LSU-75R)	850	134,3
SM10-25.4	S42024-L5217-A100	IF2M CARD, 63 X E1, 75OHM, HIT 7070, (IF2M-75R)	4.032	28,3
SM10-27.1	S42024-L5232-B100	STM-1 CARD, 8 X STM-1 EL., HIT 7070, (IFO155M-E)	4.784	23,8
SM10-3.11	S42023-L5026-A1	EXTENSION PDH MICRO SHELF, HIT 7070	1.301	87,7
SM10-30.1	S42024-L5214-A100	1000BASEFX BOARD, 4 PORTS OPT., HIT 7070, (IFQGBE)	3.287	34,7
SM10-30.11	V50017-U363-K500	1000BASELX OPT. MODULE	500	228,3
SM10-30.12	V50017-U362-K500	1000BASESX OPT. MODULE	500	228,3
SM10-32.1	S42024-L5216-A100	10/100BASETX CARD, 8 PORTS EL., HIT 7070, (IFOFE-E)	2.735	41,7
SM10-32.2	S42024-L5233-A100	10/100BASETX CARD, 8 PORTS EL., VC-12 VCAT, HIT 7070, (IFOFES-E)	2.773	41,1
SM10-33.1	S42024-L5229-A100	1000BASETX CARD, 4 PORTS EL., HIT 7070, (IFQGBE-E)	3.449	33,0
SM10-38.1	S42024-L5231-B100	STM-64 LH DWDM CARD, HIT 7070, (IFS10G-R)	4.129	27,6
SM10-38.42	S42024-L5284-B100	STM-64 LH WLS CARD, HIT 7070, (IFS10G-WLS)	4.129	27,6
SM10-4.11	S42024-L5235-A100	EXTENSION LINK BOARD FOR PDH MICRO-SHELF, HIT 7070	1.683	67,8
SM10-4.3	S42024-L5236-A100	LNQ622M BOARD, EXTENSION LINK, HIT 7070, (LNQ622M)	2.807	40,6
SM10-45.11	S32011-B10-X100	SLD/T16B ONE-LINED (SRL)	831	137,3
SM10-45.12	S42024-L5006-B1	CLOCK UNIT CLL64-2	1.968	58,0
SM10-45.13	S42024-D5012-A100	SYNC. CONTROL UNIT (SCU R2E)	3.301	34,5
SM10-45.3	S42023-L5002-A1	DCM64 SHELF	0	
SM10-45.4	S42023-L5028-A1	DCM64 SHELF	0	
SM10-5.1	S42024-L5222-A100	CLU, HIT 7070, (CLOCK UNIT)	1.942	58,7
SM10-6.3	S42024-L5230-A100	SWITCH FABRIC, VC-12, HIT 7070, (SF10G)	4.398	25,9
SM10-8.1	S42024-L5219-A100	SWITCH FABRIC, VC-4, HIT 7070, (SF160G)	1.755	65,0
SM11-12.5	S42024-L5267-A349	STM-64 CARD 1538,19NM FOR 40G INTERFACE, HIT 7070, (IFS10GB WDM)	3.350	34,0

Los valores FIT (MTBF) son valores estadísticos y sólo se basarán en la proporción de fracaso aleatorio que corresponde al componente llano de la curva de la bañera típica. El método de cálculo esta en acc. Con IEC 61709!				
Artículo S N°	Código N°	Descripcion	FIT total	MTBF total (años)
SM11-12.6	S42024-L5267-A357	STM-64 CARD 1539,77NM FOR 40G INTERFACE, HIT 7070, (IFS10GB WDM)	3.350	34,0
SM11-12.7	S42024-L5267-A365	STM-64 CARD 1541,35NM FOR 40G INTERFACE, HIT 7070, (IFS10GB WDM)	3.350	34,0
SM11-12.8	S42024-L5267-A373	STM-64 CARD 1542,94NM FOR 40G INTERFACE, HIT 7070, (IFS10GB WDM)	3.350	34,0
SM11-15.11	S42024-L5267-A130	STM-64 CARD L-64.2B/3, V-64.2A/3, HIT 7070, (IFS10GB)	3.500	32,6
SM11-15.12	S42024-L5266-A100	IFSOB-PDC CARD, OPTICAL BOOSTER + DCM	2.803	40,7
SM11-15.141	S42024-L5267-A437	STM-64 CARD 1555.75NM FOR 40G INTERFACE, HIT 7070, (IFS10GB WDM)	3.800	30,0
SM11-15.142	S42024-D5030-A200	OPTICAL COUPLER SFM RED	82	1.392,1
SM11-15.152	S42024-D5030-A300	OPTICAL COUPLER SFM BLUE	7	16.307,8
SM11-15.2	S42024-L5267-A120	STM-64 CARD S-64.2B/3B, HIT 7070, (IFS10GB)	3.350	34,0
SM11-15.3	S42024-L5267-A110	STM-64 CARD S-64.1, HIT 7070, (IFS10GB)	3.350	34,0
SM11-15.4	S42024-L5267-A100	STM-64 CARD I-64.1, HIT 7070, (IFS10GB)	3.125	36,5
SM11-15.5	S42024-L5267-A140	STM-64 CARD P1L1-2D2, HIT 7070 (IFS10GB)	3.500	32,6
SM11-15.72	S42024-L5265-A100	IFSOB CARD, OPTICAL BOOSTER	2.642	43,2
SM11-15.82	S42024-L5264-A100	IFSOA-PDC CARD, OPTICAL BOOSTER, PREAMPLIFIER + DCM	3.369	33,8
SM11-15.92	S42024-L5263-A100	IFSOA CARD, OPTICAL BOOSTER,PREAMPLIFIER	3.219	35,4
SM11-20.1	S42024-L5259-A100	STM-16 BOARD, 4X STM-16 OPT., HIT 7070, (IFQ2G5B)	4.178	27,3
SM11-23.14	V50017-U333-K500	STM-4 MODULE V-4.2/3, HIT 7050/70	500	228,3
SM11-26.11	S42024-L5269-A100	34/34M CARD, 3 X E3/T3, HIT 7070, (IF345M)	2.952	38,6
SM11-26.12	S42025-P140-C1	LOSS CONNECTOR	15	7.610,3
SM11-26.22	S42025-P140-B1	MOS-SWITCH	345	330,8
SM11-27.2	S42023-L5030-A1	EXTENSION PROTECTION SHELF, HIT 7070	2.780	41,0
SM11-27.2	V39118-Z4005-A29	CIRCUIT BREAKER 2A FOR S42023P362A*	2.780	41,0
SM11-30.2	S42024-L5260-A100	1000BASEFX BOARD, 4 PORTS OPT., GBE CONC., HIT 7070, (IFQGBEB)	3.311	34,4
SM11-31.1	S42024-L5215-A100	100BASEFX BOARD, 8 PORTS OPT., FE, HIT 7070 R3, (IFOFE)	3.111	36,6
SM11-31.11	V50017-U364-K500	100BASEFX OPT. MODULE, FE, HIT 7070 R3	500	228,3
SM11-33.2	S42024-L5261-A100	1000BASEFX BOARD, 4 PORTS EL., GBE CONC., HIT 7070, (IFQGBEB-E)	3.547	32,1
SM11-45.6	S42024-D5030-A100	OPTICAL SPLITTER SET SFM 50/50	41	2.784,2
SM11-45.7	V50017-Q434-K841	OPTICAL SPLITTER SET SFM 50/50	50	2.283,1
SM25-1.12	S42024-L5294-A1	SYSTEM CONTROLLER	1.983	57,5
SM25-1.14	S42024-L5349-A1	POWER MODULE	1.605	71,1
SM25-1.26	S42023-L5049-A1	CHASSIS ASSEMBLY W/O POWER MODULE, R3.2	4.265	26,7
SM25-10.1	S42024-L5295-A1	SWITCH FABRIC, XCT (HO 70G/LO 5.0G)	6.224	18,3
SM25-10.2	S42024-L5405-A1	SWITCH FABRIC, XCT (HO 25G/LO 10G) +1 X STM-16/4	3.884	29,3
SM25-12.3	S42024-L5397-A1	STM-64 CARD, 1X STM-64 OPT. (L64.2) 80KM	4.067	28,0

	Los valores FIT (MTBF) son valores estadísticos y sólo se basarán en la proporción de fracaso aleatorio que corresponde al componente llano de la curva de la bañera típica. El método de cálculo esta en acc. Con IEC 61709!			
Artículo S N°	Código N°	Descripcion	FIT total	MTBF total (años)
SM25-12.4	S42024-L5398-A1	STM-64 CARD, 1X STM-64 OPT. (S64.2) 40KM	3.767	30,3
SM25-12.5	S42024-L5399-A1	STM-64 CARD, 1X STM-64 OPT.(SR-1) 12KM	3.267	34,9
SM25-13.1	S42024-L5331-A1	STM-16 BOARD, 1 X STM-16 OPT.	2.021	56,4
SM25-14.1	S42024-L5332-A1	STM-4/1 BOARD, 4 X STM-4/1 OPT.	1.977	57,7
SM25-15.1	S42024-L5299-A1	STM-1 BOARD, 4 X STM-1 OPT.	1.978	57,7
SM25-15.2	S42024-L5300-A1	STM-1 BOARD, 2 X STM-1 OPT.	903	126,4
SM25-16.1	S42024-L5402-A1	BOOSTER OA (18 DBM)	1.444	79,0
SM25-16.10	S42024-L5357-A1	DISP. COMP. MOD., DCM G.652 (80KM, 10DB)	100	1.141,5
SM25-16.2	S42024-L5401-A1	BOOSTER OA (15 DBM)	1.214	94,0
SM25-16.3	S42024-L5400-A1	BOOSTER OA (13 DBM)	1.214	94,0
SM25-16.4	S42024-L5403-A1	PRE-AMP (20DB)	1.214	94,0
SM25-16.7	S42024-L5354-A1	DISP. COMP. MOD., DCM G.652 (20KM, 4DB)	100	1.141,5
SM25-16.8	S42024-L5355-A1	DISP. COMP. MOD., DCM G.652 (40KM, 6DB)	100	1.141,5
SM25-16.9	S42024-L5356-A1	DISP. COMP. MOD., DCM G.652 (60KM, 8DB)	100	1.141,5
SM25-2.12	S42024-L5408-A1	SYSTEM CONTROLLER W/ BACKUP	2.033	56,1
SM25-2.16	S42023-L5051-A1	CHASSIS ASSEMBLY W/O POWER MODULE	4.265	26,7
SM25-2.21	S42023-L5084-A1	CHASSIS ASSEMBLY W/O POWER MODULE, WITH DOOR, R4.0	4.365	26,1
SM25-2.22	S42024-L5318-A1	SYSTEM CONTROLLER	1.983	57,5
SM25-21.1	S42024-L5302-A1	2M CARD, 21 X E1 (75 OHM)	968	117,9
SM25-21.2	S42024-L5303-A1	2M CARD, 21 X E1 (120 OHM)	968	117,9
SM25-21.3	S42024-L5304-A1	2M CARD, 42 X E1 (75 OHM)	1.223	93,3
SM25-21.4	S42024-L5305-A1	2M CARD, 42 X E1 (120 OHM)	1.223	93,3
SM25-21.5	S42024-L5333-A1	2M CARD, 21 X E1/DS1	2.188	52,1
SM25-21.6	S42024-L5404-A1	2M CARD, 8 X E1 (75 OHM)	954	119,6
SM25-21.7	S42024-L5418-A1	2M CARD, 21 X E1, (75 OHM), WITH RETIMING	1.443	79,1
SM25-21.8	S42024-L5419-A1	2M CARD, 21 X E1, (120 OHM) WITH RETIMING	1.443	79,1
SM25-22.12	S42024-L5321-A1	63 X E1 PADDLE (75 OHM)	3.394	33,6
SM25-22.22	S42024-L5322-A1	63 X E1 PADDLE (120 OHM)	3.394	33,6
SM25-22.3	S42024-L5320-A1	2M CARD, 63 X E1 (W/P)	4.461	25,5
SM25-22.42	S42024-L5416-A1	63 X E1 PADDLE (75 OHM)	3.490	32,7
SM25-22.52	S42024-L5417-A1	63 X E1 PADDLE (120 OHM)	3.490	32,7
SM25-22.6	S42024-L5409-A1	2M SET,63 X E1, (W/P), WITH RETIMING	3.401	33,5
SM25-23.1	S42024-L5306-A1	34/45M CARD, 3 X E3/DS3	1.120	101,9
SM25-24.12	S42024-L5308-A1	3 X E3/DS3 PADDLE 1	682	167,3
SM25-24.2	S42024-L5307-A1	34/45M CARD, 3 X E3/DS3 (W/P)	889	128,4
SM25-24.32	S42024-L5335-A1	3 X E3/DS3 PADDLE 2	682	167,3
SM25-25.12	S42024-L5310-A1	4 X STM-1E PADDLE 1	1.274	89,6
SM25-25.2	S42024-L5309-A1	STM-1 CARD, 4 X STM-1E (W/P)	1.787	63,8
SM25-25.32	S42024-L5336-A1	4 X STM-1E PADDLE 2	1.274	89,6
SM25-26.1	S42024-L5342-A1	6 X FXS, CARD	2.186	52,2
SM25-26.2	S42024-L5343-A1	24 X FXO, CARD	3.530	32,3
SM25-26.3	S42024-L5344-A1	4 X V.35, CARD	2.243	50,8
SM25-31.11	S42024-L5312-A1	2 X GE + 8 X FE RPR BOARD	3.647	31,3
SM25-31.21	S42024-L5337-A1	2 X GE + 8 X FE/A BOARD	2.278	50,1

Los valores FIT (MTBF) son valores estadísticos y sólo se basarán en la proporción de fracaso aleatorio que corresponde al componente llano de la curva de la bañera típica. El método de cálculo esta en acc. Con IEC 61709!				
Artículo S N°	Código N°	Descripcion	FIT total	MTBF total (años)
SM25-31.31	S42024-L5444-A1	2 X GE + 8 X FE / AE BOARD	2.278	50,1
SM25-32.1	S42024-L5313-A1	2 X GE /T BOARD	2.278	50,1
SM25-33.1	S42024-L5314-A1	8 X FE /T CARD	740	154,2
SM25-33.2	S42024-L5315-A1	6 X FE /L2 CARD	1.089	104,8
SM25-34.1	S42024-L5316-A1	6 X FX /L2 BOARD	1.089	104,8
SM25-34.2	S42024-L5345-A1	2 X FE/A CARD	912	125,1
SM25-35.1	S42024-L5323-A1	8 X E1 + 4 X FE/C CARD	1.741	65,5
SM25-4.111	S42023-L5034-A1	CHASSIS ASSEMBLY (AC)	3.646	31,3
SM25-4.112	S42024-L5327-A1	MAIN BOARD (E) W. 2XSTM-1	2.748	41,5
SM25-4.122	S42024-L5328-A1	MAIN BOARD (E) W. 2XSTM-4	2.194	52,0
SM25-4.211	S42023-L5035-A1	CHASSIS ASSEMBLY (DC)	3.277	34,8
SM25-46.1	S42025-L5107-A1	STM-16 MODULE, (L16.2 80KM E-SFP)	700	163,0
SM25-46.2	S42025-L5128-A1	STM-16 MODULE, (L16.1 40KM E-SFP) W/ LOS ADJUST	600	190,2
SM25-46.3	S42025-L5129-A1	STM-16 MODULE, (S16.1 15KM E-SFP) W/ LOS ADJUST	400	285,3
SM25-46.4	S42025-L5141-A1	STM-16 MODULE,(L16.2 E-SFP FOR 120KM) W/ LOS Adjust	750	152,2
SM25-46.5	S42025-L5142-A1	STM-16 MODULE,(L16.2 E-SFP FOR 160KM) w/LOS Adjust	800	142,6
SM25-47.1	S42025-L5130-A1	STM-4 MODULE, (L4.2 80KM E-SFP)	350	326,1
SM25-47.2	S42025-L5131-A1	STM-4 MODULE, (L4.1 40KM E-SFP)	300	380,5
SM25-47.3	S42025-L5132-A1	STM-4 MODULE, (S4.1 15KM E-SFP)	200	570,7
SM25-48.1	S42025-L5113-A1	STM-1 MODULE, (L1.2 80KM)	350	326,1
SM25-48.2	S42025-L5114-A1	STM-1 MODULE, (L1.1 40KM)	300	380,5
SM25-48.3	S42025-L5115-A1	STM-1 MODULE, (S1.1 15KM)	200	570,7
SM25-48.4	S42025-L5121-A1	STM-1E MODULE, (ELECTRICAL SFP)	120	951,2
SM25-49.1	S42025-L5116-A1	GE-SX MODULE, (850NM 500M)	100	1.141,5
SM25-49.2	S42025-L5136-A1	GE-ZX MODULE, (1550NM 80KM E-SFP) W/ LOS ADJUST	370	308,5
SM25-49.3	S42025-L5137-A1	GE MODULE, (1310NM 35KM E-SFP) W/ LOS ADJUST	320	356,7
SM25-49.4	S42025-L5138-A1	GE-LX MODULE, (1310NM 10KM E-SFP)	220	518,8
SM25-49.5	S42025-L5120-A1	100FX MODULE, (1310NM KM10)	200	570,7
SM25-49.6	S42025-L5122-A1	100FX MODULE, (850NM 500M)	100	1.141,5
SM25-5.11	S42023-L5055-A1	CHASSIS ASS. (AC) 2 X STM-1 + 8 X E1/75	3.379	33,7
SM25-5.12	S42023-L5057-A1	CHASSIS ASS. (AC) 2 X STM-1 + 8 X E1/75 + 4 X FE/L2	4.573	24,9
SM25-5.13	S42023-L5063-A1	CHASSIS ASS. (AC) 2 X STM-1 + 8 X E1/75 + 4 X FE/T	4.418	25,8
SM25-5.14	S42023-L5059-A1	CHASSIS ASS. (AC) 2 X STM-1 + 8 X E1/120	3.379	33,7
SM25-5.15	S42023-L5061-A1	CHASSIS ASS. (AC) 2 X STM-1 + 8X E1/120 + 4 X FE/L2	4.573	24,9
SM25-5.16	S42023-L5065-A1	CHASSIS ASS. (AC) 2 X STM-1 + 8X E1/120 + 4 X FE/T	4.418	25,8
SM25-5.21	S42023-L5054-A1	CHASSIS ASS. (DC) 2 X STM-1 + 8 X E1/75	3.217	35,4
SM25-5.22	S42023-L5056-A1	CHASSIS ASS. (DC) 2 X STM-1 + 8 X E1/75 E1/75 + 4 X FE/L2	4.411	25,8
SM25-5.23	S42023-L5062-A1	CHASSIS ASS. (DC) 2 X STM-1 + 8 X E1/75 + 4 X FE/T	4.256	26,8
SM25-5.24	S42023-L5058-A1	CHASSIS ASS. (DC) 2 X STM-1 + 8 X E1/120	3.217	35,4

	Los valores FIT (MTBF) son valores estadísticos y sólo se basarán en la proporción de fracaso aleatorio que corresponde al componente llano de la curva de la bañera típica. El método de cálculo esta en acc. Con IEC 61709!			
Artículo S N°	Código N°	Descripcion	FIT total	MTBF total (años)
SM25-5.25	S42023-L5060-A1	CHASSIS ASS. (DC) 2 X STM-1 + 8X E1/120 + 4 X FE/L2	4.411	25,8
SM25-5.26	S42023-L5064-A1	CHASSIS ASS. (DC) 2 X STM-1 + 8X E1/120 + 4 X FE/T	4.256	26,8
SM25-5.31	S42023-L5067-A1	CHASSIS ASS. (AC) 2 X STM-4/1 + 8X E1/75	3.379	33,7
SM25-5.32	S42023-L5071-A1	CHASSIS ASS. (AC) 2X STM-4/1 + 8X E1/75 + 4 X FE/L2	4.573	24,9
SM25-5.33	S42023-L5075-A1	CHASSIS ASS. (AC) 2X STM-4/1 + 8X E1/75 + 4 X FE/T	4.418	25,8
SM25-5.34	S42023-L5069-A1	CHASSIS ASS. (AC) 2X STM-4/1 + 8X E1/120	3.379	33,7
SM25-5.35	S42023-L5073-A1	CHASSIS ASS. (AC) 2 X STM-4/1 + 8 X E1/120 + 4 X FE/L2	4.573	24,9
SM25-5.36	S42023-L5077-A1	CHASSIS ASS. (AC) 2 X STM-4/1 + 8 X E1/120 + 4 X FE/T	4.418	25,8
SM25-5.41	S42023-L5066-A1	CHASSIS ASS. (DC) 2 X STM-4/1 + 8X E1/75	3.317	34,4
SM25-5.42	S42023-L5070-A1	CHASSIS ASS. (DC) 2 X STM-4/1 + 8 X E1/75 + 4 X FE/L2	4.511	25,3
SM25-5.43	S42023-L5074-A1	CHASSIS ASS. (DC) 2 X STM-4/1 + 8 X E1/75 + 4 X FE/T	4.356	26,2
SM25-5.44	S42023-L5068-A1	CHASSIS ASS. (DC) 2 X STM-4/1 + 8 X E1/120	3.317	34,4
SM25-5.45	S42023-L5072-A1	CHASSIS ASS. (DC) 2X STM-4/1 + 8 X E1/120 + 4 X FE/L2	4.511	25,3
SM25-5.46	S42023-L5076-A1	CHASSIS ASS. (DC) 2X STM-4/1 + 8 X E1/120 + 4 X FE/T	4.256	26,8
SM25-59.1	S42024-L5353-A1	EOW VOIP PHONE	1.500	76,1

Fuente: Oferta del Proveedor
Anexos finales