

ESCUELA POLITECNICA NACIONAL

ESCUELA DE INGENIERÍA

**ESTUDIO Y DISEÑO DE UN BACKBONE DE FIBRA ÓPTICA
PARA UN CARRIER CON TECNOLOGÍA DWDM Y SOPORTE
GMPLS (GENERALIZED MULTIPROTOCOL LABEL SWITCHING)**

**PROYECTO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO EN
ELECTRÓNICA Y TELECOMUNICACIONES**

PABLO SEGUNDO FUERTES RIVERA

DIRECTOR: ING. CARLOS HERRERA

Quito, julio de 2006

DECLARACIÓN

Yo, Pablo Segundo Fuertes Rivera, declaro bajo juramento que el trabajo aquí descrito es de mi autoría; que no ha sido previamente presentada para ningún grado o calificación profesional; y, que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

A través de la presente declaración cedo mis derechos de propiedad intelectual correspondientes a este trabajo, a la Escuela Politécnica Nacional, según lo establecido en la Ley de Propiedad Intelectual, por su Reglamento y por la normatividad institucional vigente.



Pablo Segundo Fuertes Rivera

CERTIFICACIÓN

Certifico que el presente trabajo fue desarrollado por Pablo Segundo Fuertes Rivera, bajo mi supervisión.

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'C. Herrera', is written over a horizontal line. Below the line, there are two more horizontal lines, one above and one below the signature, creating a signature box.

Ing. CARLOS HERRERA
DIRECTOR DEL PROYECTO

DEDICATORIA

El presente trabajo está dedicado a Dios porque siempre me acompaña en todos los instantes de mi vida.

A mis padres, por su apoyo incondicional y cariño, a mis hermanos quienes han estado siempre pendientes de mí.

CONTENIDO

CAPÍTULO 1: FUNDAMENTOS DE LAS TECNOLOGÍAS DWDM Y GMPLS 1

1.1 PRINCIPIOS DE TRANSMISIÓN EN LAS COMUNICACIONES ÓPTICAS.. 1

1.1.1	Propagación de la luz en la fibra óptica	2
1.1.2	Tipos de fibras ópticas.....	6
1.1.2.1	Fibra multimodo de índice escalonado.....	6
1.1.2.2	Fibra multimodo de índice gradual	7
1.1.2.3	Fibra monomodo	8
1.1.3	Características de la transmisión en una fibra óptica	9
1.1.3.1	Efectos independientes de la intensidad de la señal	10
1.1.3.2	Efectos dependientes de la intensidad de la señal	14
1.1.3.2.1	Dispersión estimulada de Raman (SRS)	15
1.1.3.2.2	Dispersión estimulada de Brillouin (SBS)	15
1.1.3.2.3	Modulación de fase cruzada (XPM).....	15
1.1.3.2.4	Auto modulación de fase (SPM)	15
1.1.3.2.5	Mezclado de cuatro ondas (FWM).....	16
1.1.4	Sistemas de transmisión y recepción ópticos	16
1.1.4.1	Modelo de transmisión y recepción óptico	16
1.1.4.2	Emisores ópticos	17
1.1.4.3	Detectores ópticos	18

1.2 FUNDAMENTOS DE LA TECNOLOGÍA DWDM 20

1.2.1	Desarrollo de la tecnología DWDM.....	20
1.2.2	Tipos de multiplexación	22
1.2.2.1	Multiplexación por División de Tiempo (TDM)	23
1.2.2.2	Multiplexación por División de Longitud de Onda (WDM).....	25
1.2.2.3	Variedades de WDM.....	29
1.2.2.3.1	CWDM.....	29
1.2.2.3.2	DWDM.....	32
1.2.2.3.3	Rejilla UIT.....	38
1.2.3	Sistemas DWDM.....	38
1.2.3.1	Funciones del sistema DWDM	38
1.2.3.2	Parámetros de transmisión en sistemas DWDM	40
1.2.3.2.1	Espaciamiento del canal	40
1.2.3.2.2	Dirección de la señal	41
1.2.3.2.3	Ancho de banda de la señal	41
1.2.3.2.4	Potencia de la señal	42
1.2.3.2.5	Codificación	42
1.2.3.2.5	Tasa de bit errado (BER).....	43
1.2.3.2.5	Relación señal a ruido óptico	43
1.2.3.3	Componentes de un sistema DWDM	44
1.2.3.3.1	Transponders	44
1.2.3.3.2	Multiplexor y Demultiplexor	44
1.2.3.3.3	Fibra óptica.....	46
1.2.3.3.4	Amplificador óptico	47
1.2.3.3.5	El receptor	50

1.2.3.4	Topologías de red en sistemas DWDM.....	53
1.3	FUNDAMENTOS DE LA TECNOLOGÍA GMPLS.....	56
1.3.1	Antecedentes	56
1.3.1.1	Multiprotocol Label Switching (MPLS)	56
1.3.1.1.1	Elementos básicos de la arquitectura MPLS	57
1.3.1.1.2	Nivel de control.....	59
1.3.1.1.3	Nivel de transmisión.....	62
1.3.1.1.4	Esquema de funcionamiento	63
1.3.2	Evolución de MPLS a GMPLS	65
1.3.3	Razones para GMPLS	66
1.3.3.1	Evolución del modelo de capas.....	66
1.3.3.2	Múltiples tipos de conmutación y jerarquías de envío.....	67
1.3.3.3	Extensión del plano de control MPLS	69
1.3.3.4	Extensiones clave de GMPLS a MPLS-TE.....	73
1.3.3.5	Mejoras en la escalabilidad	74
1.3.4	Arquitectura GMPLS	75
1.3.4.1	Etiqueta generalizada	75
1.3.4.2	El plano de control GMPLS	79
1.3.4.2.1	Protocolos de GMPLS.....	82
1.3.4.2.2	Rutas conmutadas mediante etiquetas (LSP)	85
1.3.4.2.2.1	Jerarquías de los LSPs.....	85
1.3.4.2.3	Enrutador de conmutación de etiquetas (LSR)	87
1.3.4.3	Interfaces de red	88
1.4	COMPARACIÓN DE GMPLS/DWDM CON OTRAS TECNOLOGÍAS DE RED	89

CAPÍTULO 2: REDES ÓPTICAS CON INFRAESTRUCTURA DWDM Y GMPLS..... 100

2.1	INGENIERÍA DE TRÁFICO EN LAS REDES GMPLS	100
2.1.1	Enrutamiento en GMPLS	101
2.1.1.1	Protocolo OSPF.....	101
2.1.1.2	Protocolo IS-IS	106
2.1.1.3	Mejoramiento de los protocolos de enrutamiento OSPF e IS-IS para GMPLS.....	109
2.1.1.3.1	LSPs jerárquicos para TE (LDP TE).....	112
2.1.1.3.2	Enlaces no numerados.....	113
2.1.1.3.3	Enlaces agrupados	114
2.1.1.3.4	Tipos de protección del enlace	115
2.1.1.3.5	Grupo de enlace de riesgo compartido.....	117
2.1.1.3.6	Descriptor de capacidad de conmutación de interfaz.....	117
2.1.2	Señalización en GMPLS	118
2.1.2.1	Protocolo RSVP	118
2.1.2.2	Protocolo CR-LDP	120
2.1.2.3	Mejoramiento de los protocolos de señalización RSVP-TE y CR-LDP para GMPLS.....	122

2.1.2.3.1	Señalización en los LSP jerárquicos	122
2.1.2.3.2	Mejoramiento de etiquetas	124
2.1.2.3.2.1	Solicitud de etiqueta generalizada.....	124
2.1.2.3.2.2	Conjunto de etiquetas.....	128
2.1.2.3.2.3	Etiqueta sugerida.....	129
2.1.2.3.3	Codificación del ancho de banda	129
2.1.2.3.4	LSPs bidireccionales	129
2.1.2.3.5	Notificación de error de etiqueta.....	131
2.1.2.3.6	Control de etiqueta explícito	131
2.1.2.3.7	Información de protección	132
2.1.2.3.8	Información de Estado Administrativa	132
2.1.2.3.9	Separación de los canales de datos y control	132
2.2	GESTIÓN DEL ENLACE EN GMPLS	133
2.2.1	Protocolo LMP	133
2.2.1.1	Gestión del canal de control	134
2.2.1.2	Verificación del enlace.....	135
2.2.1.3	Correlación de la propiedad del enlace	136
2.2.1.4	Gestión de fallos.....	136
2.2.1.5	Autenticación	137
2.3	MECANISMOS DE PROTECCIÓN Y RESTAURACIÓN EN GMPLS	137
2.3.1	Esquemas de protección del enlace.....	139
2.3.2	Esquemas de restauración del enlace	140
2.4	GESTIÓN DE RED.....	141
2.5	CONSIDERACIONES DE SEGURIDAD	143
2.6	COMPONENTES ÓPTICOS DE UNA RED GMPLS/DWDM.....	143
2.7	APLICACIONES DE GMPLS EN LAS REDES ÓPTICAS	147
2.8	ESTUDIO DE LAS TECNOLOGÍAS DWDM Y GMPLS EN LOS PROVEEDORES DE TELECOMUNICACIONES	149
2.9	FUTURO DE DWDM Y GMPLS EN LAS REDES ÓPTICAS	153
 CAPÍTULO 3: DISEÑO DEL BACKBONE DE FIBRA ÓPTICA PARA UN CARRIER CON LAS TECNOLOGÍAS DWDM Y GMPLS		
3.1	INTRODUCCIÓN.....	156
3.2	DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO DE DISEÑO	156
3.3	REQUERIMIENTOS DEL CARRIER	159

3.4 ESTUDIO DE LOS FACTORES DE PROPAGACIÓN QUE AFECTAN AL DISEÑO DE LOS SISTEMAS ÓPTICOS DWDM	161
3.5 CRITERIOS TÉCNICOS PARA EL DISEÑO DE LA RED DWDM.....	171
3.5.1 Estudio topológico del área y de la demanda.....	171
3.5.1.1 Localización geográfica y cobertura de la red	178
3.5.2 Determinación de la topología de la red.....	181
3.5.3 Análisis de tráfico.....	182
3.5.4 Detalle de la ruta y recorrido de la fibra.....	185
3.5.5 Criterios para la selección de la fibra óptica	187
3.5.6 Criterios para la selección de los equipos	191
3.5.7 Especificaciones técnicas de los enlaces en los anillos.....	195
3.5.7.1 Anillo norte	195
3.5.7.2 Anillo centro.....	196
3.5.7.3 Anillo sur.....	198
3.5.8 Selección de las longitudes de onda en el diseño.....	200
3.5.9 Descripción de los nodos	201
3.5.10 Especificaciones del plano de control GMPLS.....	202
3.5.10.1 Elección del protocolo de enrutamiento.....	203
3.5.10.2 Elección del protocolo de señalización	203
3.5.10.3 Elección del protocolo de gestión del enlace	204
3.5.10.4 Mecanismos de protección y restauración	204
3.5.11 Especificaciones para la administración de la red.....	208
3.5.12 Definición de los servicios a prestarse	209
3.5.12.1 Calidad de Servicio y Acuerdo de Nivel de Servicio (SLA).....	209
3.6 DESCRIPCIÓN DEL COSTO DE LOS EQUIPOS PARA EL DISEÑO	213
CAPÍTULO 4: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	219
4.1 CONCLUSIONES.....	219
4.2 RECOMENDACIONES.....	225
BIBLIOGRAFÍA	227
ANEXOS	229
ANEXO 1: Rejilla UIT-T G.694.1	
ANEXO 2: Mapas topológicos	
ANEXO 3: Características técnicas del equipo Alcatel 1678 MCC	
ANEXO 4: Ruta de la fibra óptica para el Backbone	

RESUMEN

La presente Tesis: "Estudio y diseño de un backbone de fibra óptica para un carrier con tecnología DWDM y soporte GMPLS (Generalized Multiprotocol Label Switching)", permite que las redes ópticas de los portadores de servicios de telecomunicaciones, realicen de una manera eficiente el transporte, la conmutación, y el enrutamiento de los grandes volúmenes de datos que se transportan. Éste trabajo se desarrolla de la siguiente manera:

Capítulo Primero. Trata de los principios de transmisión en las comunicaciones ópticas, los fundamentos de las tecnologías DWDM y GMPLS, seguidamente, presenta las comparaciones de dichas tecnologías con otras utilizadas en las redes ópticas como son: WDM, CWDM, SONET, SDH y MPLS.

Capítulo Segundo. Contempla la Ingeniería de Tráfico que GMPLS hace en las redes ópticas, mediante los protocolos de enrutamiento, señalización y gestión del enlace; los mecanismos de protección y restauración, la gestión de la red, consideraciones de seguridad, los componentes ópticos de una red GMPLS/DWDM, las aplicaciones de GMPLS en las redes ópticas, un breve estudio de las tecnologías DWDM y GMPLS en los portadores de telecomunicaciones, finalmente se describe el futuro de dichas tecnologías en las redes ópticas.

Capítulo Tercero. Muestra los aspectos relacionados con el diseño de un backbone de fibra óptica para un carrier en la ciudad de Quito, utilizando DWDM y GMPLS. Para ello se hace una descripción del proyecto de diseño, los requerimientos del carrier, un estudio de los factores de propagación que afectan al diseño de los sistemas ópticos DWDM y finalmente se tiene todos los criterios técnicos involucrados en el diseño de la red GMPLS/DWDM.

Capítulo Cuarto. Contiene las principales conclusiones y recomendaciones que se puede ofrecer, como resultado de la realización de éste trabajo.

PRESENTACIÓN

Los proveedores de servicios de telecomunicaciones enfrentan muchos retos hoy en día, como son: más demanda para servicios de redes, actualización de la infraestructura existente y más demanda de ancho de banda. Todo esto por el gran incremento que ha tenido la transferencia de datos, ocasionado principalmente por el drástico crecimiento en el uso de Internet, así como también, la proliferación de redes privadas virtuales (VPNs). En consecuencia, ha originado que los proveedores de servicios busquen soluciones que permitan manejar este gran volumen de tráfico de la manera más eficiente.

La calidad de servicio ofrecida por la tecnología MPLS (Multiprotocol Label Switching), unida a la extraordinaria capacidad soportada por las redes ópticas basadas en DWDM (Dense Wavelength Division Multiplexing), aparece como la combinación ideal para afrontar el reto de los proveedores en sus redes de telecomunicaciones. Esta combinación se refleja en lo que se llama, GMPLS (Generalized Multiprotocol Label Switching).

Pero más allá de la solución tecnológica, GMPLS también resuelve el factor económico al posibilitar una arquitectura de red más optimizada para manejar grandes volúmenes de tráfico que las actuales. Además, DWDM ofrece un transporte efectivo optimizando el costo del multiplexado y de la conmutación para un volumen de tráfico elevado.

Con estas consideraciones, el modelo propuesto en el presente trabajo se basa en una red óptica implementada mediante conmutadores ópticos interconectados con enlaces DWDM y un plano de gestión como GMPLS.

ABREVIATURAS

ATM	Modo de transferencia asincrónica (<i>Asynchronous Transfer Mode</i>)
AWG	Matriz de rejilla de guía de onda (<i>Arrayed Waveguide</i>)
BER	Tasa de bit errado (<i>Bit Error Rate</i>)
CLI	Interfaz de línea de comando (<i>Command Line Interface</i>)
CR-LDP	Protocolo de distribución de etiquetas con enrutamiento basado en restricciones (<i>Constraint Based Routing Label Distribution Protocol</i>)
CWDM	Multiplexación por división de longitud de onda gruesa (<i>Coarse Wavelength Division Multiplexing</i>)
DSF	Fibra de dispersión modificada (<i>Dispersion Shifted Fiber</i>)
DWDM	Multiplexación por división de longitud de onda densa (<i>Dense Wavelength Division Multiplexing</i>)
EDFA	Amplificador de fibra dopada de Erblio (<i>Erbium Doped Fiber Amplifier</i>)
FA	Adyacencia de envío (<i>Forwarding Adjacencies</i>)
FDDI	Interfaz de datos distribuidos por fibra (<i>Fiber Distributed Data Interface</i>)
FDM	Multiplexación por división de frecuencia (<i>Frequency Division Multiplexing</i>)
FSC	Capaz de conmutar fibras (<i>Fiber Switch Capable</i>)
FWM	Mezclado de cuatro ondas (<i>Four-Wave Mixing</i>)
GE	Gigabit Ethernet
GMPLS	Conmutación de etiquetas multiprotocolo generalizado (<i>Generalized Multiprotocol Label Switching</i>)
IETF	Fuerza de Tareas de Ingeniería de Internet (<i>Internet Engineering Task Force</i>)
IP	Protocolo de Internet (<i>Internet Protocol</i>)
IS-IS	Sistema intermedio a sistema intermedio (<i>Intermediate System-Intermediate System</i>)
L2SC	Capaz de conmutar en capa 2 (<i>Layer 2 Switch Capable</i>)
LASER	Emisión de radiación estimulada por amplificación de luz (<i>Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation</i>)
LED	Diodo emisor de luz (<i>Light Emissor Diode</i>)

LMP	Protocolo de gestión del enlace (<i>Link Management Protocol</i>)
LSA	Anuncio del estado del enlace (<i>Link State Advertisements</i>)
LSC	Capaz de conmutar longitudes de onda (<i>Lambda Switch Capable</i>)
LSP	Ruta conmutada de etiquetas (<i>Label Switched Path</i>)
LSR	Ruteador de conmutación de etiquetas (<i>Label Switched Router</i>)
MAN	Redes de área metropolitana (<i>Metropolitan Area Network</i>)
MEMS	Sistemas Mecánicos Micro Electrónicos (<i>Micro-Electro-Mechanical Systems</i>)
MPLS	Conmutación de etiquetas multiprotocolo (<i>Multiprotocol Label Switching</i>)
NMS	Sistemas de Administración de red (<i>Network Management Systems</i>)
NNI	Interfaz red-red (<i>Network to Network Interface</i>)
NZ-DSF	Fibra de dispersión desplazada no nula (<i>Non-Zero Dispersion Shifted Fibre</i>)
OADM	Multiplexor óptico de inserción/extracción (<i>Optical Add/Drop Multiplexer</i>)
OSNR	Relación señal a ruido óptico (<i>Optical Signal to Noise Ratio</i>)
OSPF	Abrir primero la trayectoria más corta (<i>Open Shortest Path First</i>)
OTDR	Reflectómetro óptico en el dominio del tiempo (<i>Optical Time Domain Reflectometer</i>)
OTN	Red de transporte óptico (<i>Optical Transport Network</i>)
OXC	Conector cruzado óptico (<i>Optical Cross Connect</i>)
PMD	Dispersión por modo de polarización (<i>Polarization Mode Dispersion</i>)
PSC	Capaz de conmutar paquetes (<i>Packet Switch Capable</i>)
QoS	Calidad de servicio (<i>Quality of Service</i>)
RFA	Amplificador de fibra de efecto Raman (<i>Raman Fiber Amplifier</i>)
RSVP	Protocolo de reservación de recursos (<i>Resource Reservation Protocol</i>)
SBS	Dispersión estimulada de Brillouin (<i>Stimulated Brillouin Scattering</i>)
SDH	Jerarquía Digital Sincrónica (<i>Synchronous Digital Hierarch</i>)
SNMP	Protocolo sencillo de administración de redes (<i>Simple Network Management Protocol</i>)
SONET	Red óptica sincrónica (<i>Synchronous Optical Network</i>)
SPM	Auto modulación de fase (<i>Self-Phase Modulation</i>)
SRLG	Grupo de enlace de riesgo compartido (<i>Shared Risk Link Group</i>)

SRS	Dispersión estimulada de Raman (<i>Stimulated Raman Scattering</i>)
TDM	Multiplexación por división de tiempo (<i>Time Division Multiplexing</i>)
TE	Ingeniería de tráfico (<i>Traffic Engineering</i>)
TFF	Filtros de película delgada (<i>Thin Film Filter</i>)
TLV	Tipo/Longitud/Valor (<i>Type/Length/Value</i>)
UIT	Union Internacional de Telecomunicaciones (<i>International Telecommunication Union</i>)
UNI	Interfaz usuario-red (<i>User to Network Interface</i>)
VPN	Redes privadas virtuales (<i>Virtual Private Networks</i>)
WDM	Multiplexación por división de longitud de onda (<i>Wavelength Division Multiplexing</i>)
XPM	Modulación de fase cruzada (<i>Cross-Phase Modulation</i>)

CAPÍTULO 1: FUNDAMENTOS DE LAS TECNOLOGÍAS DWDM Y GMPLS

Las tecnologías DWDM (Dense Wavelength Division Multiplexing) y GMPLS (Generalized Multiprotocol Label Switching) se aplican a las redes ópticas para aprovechar mucho más las capacidades de la fibra óptica y crear un modelo de red con un gran desempeño, flexibilidad y escalabilidad integrando en la conmutación diferentes tipos de tecnologías mediante un sistema de gestión diseñado para manejar los recursos ópticos de una manera más simple.

Por lo cual, en este capítulo se describen los principios de transmisión en las comunicaciones ópticas y los fundamentos de las tecnología DWDM y GMPLS.

1.1 PRINCIPIOS DE TRANSMISIÓN EN LAS COMUNICACIONES ÓPTICAS

Estamos viviendo una época de liberalización de las telecomunicaciones. Están apareciendo nuevos actores en escena: nuevos operadores, tecnologías más modernas, de las que se van a describir en este proyecto de titulación, nuevos servicios, así como multitud de demandas de los usuarios en lo que se refiere a mayores anchos de banda, calidad de servicio, etc.

En los últimos años la fibra óptica ha pasado a ser una de las tecnologías más utilizadas como medio de transmisión. Los logros con este medio de transmisión han sido más que satisfactorios: proporciona mayor velocidad de transmisión, disminuye el efecto de los ruidos e interferencias y multiplica la capacidad de transmisión.

La fibra óptica es un medio de transmisión de señales en forma de luz. En la fibra óptica las señales luminosas son guiadas por un filamento de vidrio fabricado con Dióxido de Silicio (SiO_2) o plástico. En otros medios de transmisión como el cable coaxial las señales son transmitidas por un material de cobre y en el aire el medio de transmisión es simplemente el espacio libre. Sin embargo la fibra óptica supera

ampliamente en muchos aspectos al coaxial y al aire, principalmente en ancho de banda, velocidad de transmisión, inmunidad a las interferencias y en la reducción de la atenuación.

La propagación de ondas electromagnéticas en forma de luz hace que la fibra óptica no necesite voltajes ni corrientes, esto lo convierte en un medio de comunicación 100% inmune a todo tipo de interferencias electromagnéticas a su alrededor y, por lo tanto, es un medio de comunicación altamente confiable y seguro.

La comunicación digital por fibra óptica utiliza la luz como portadora de información, dicha portadora está en el orden de los THz (10^{12} Hz). En términos de longitud de onda, para que un rayo de luz pueda propagarse por la fibra óptica debe estar en el rango de 800nm y 1800nm.¹

1.1.1 PROPAGACIÓN DE LA LUZ EN LA FIBRA ÓPTICA

La fibra óptica es un filamento de vidrio de alta pureza extremadamente compacto, con un grosor similar al de un cabello humano.

Se fabrican a altas temperaturas a base de silicio, su proceso de elaboración es controlado, para permitir que el índice de refracción de su núcleo, que es la guía de la onda luminosa, sea uniforme y evite las desviaciones.

El cable de fibra óptica se constituye principalmente de un núcleo (core) rodeado de un revestimiento (cladding), (Figura 1.1). La diferencia entre sus *índices de refracción* (indicados con n), es lo que hace que el haz de luz se mantenga dentro del núcleo (siempre que el haz haya entrado con el ángulo apropiado y el n del núcleo sea mayor que el del revestimiento).

¹ RAMOS, Francisco, "Tipos de fibra óptica". www.radioptica.com/Fibra/tipos_fibra_optica.asp

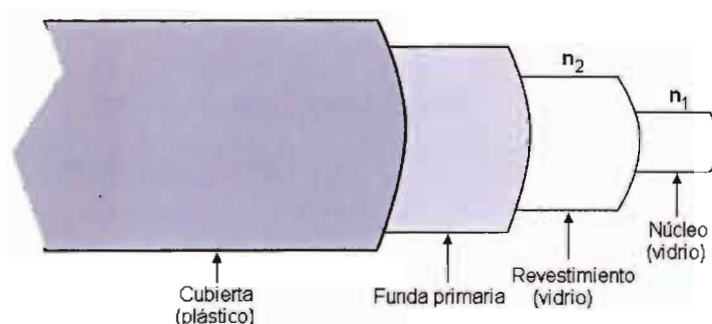


FIGURA 1.1 Estructura de un cable de fibra óptica

Dependiendo de la calidad y del costo de los cables de fibra óptica, estos se pueden fabricar de la siguiente manera:

- núcleo y revestimiento de plástico
- núcleo de vidrio y revestimiento de plástico (PCS = Plastic Clad Silica)
- núcleo y revestimiento de vidrio (SCS = Silica Clad Silica)

Los conductores de fibra óptica comúnmente utilizados en transmisión de datos tienen dimensiones entre los 8 y los 100 μm (micrones) para el núcleo, y el revestimiento entre 125 y 140 μm .

La capacidad de transmisión de información que tiene una fibra óptica depende de tres características fundamentales:

- a. Del diseño geométrico de la fibra.
- b. De las propiedades de los materiales empleados en su elaboración (diseño óptico)
- c. De la anchura espectral de la fuente de luz utilizada. Cuanto mayor sea esta anchura, menor será la capacidad de transmisión de información por esa fibra².

La luz se propaga en el vacío a una velocidad de 3×10^8 m/s, sin embargo, cuando se propaga por cualquier otro medio, la velocidad es menor. De esta manera, si la

² ROBLES, Guillén y MARLON, Wilson, Diseño de un anillo de fibra óptica para la ciudad de Manta, Tesis EPN, Pág. 5.

luz pasa de propagarse de un medio a otro medio, su velocidad cambia, sufriendo además efectos de reflexión y refracción. Reflexión es cuando un rayo de luz incide sobre un objeto o superficie y parte del rayo se refleja, permaneciendo en el medio de donde provenía inicialmente y la refracción se da cuando la luz golpea una superficie frontalmente y parte del rayo será reflejado y parte será absorbido.

Los principios básicos de comunicación por fibra óptica son explicados o modelados usando los conceptos presentados de reflexión y refracción de luz, y haciendo uso de la óptica geométrica, la cual es válida si consideramos que $a \gg \lambda$, siendo a , la medida del núcleo de la fibra óptica y λ , la longitud de onda de la luz que se propaga por el núcleo.

Para que la comunicación por la fibra óptica sea posible, es necesario que $n_1 > n_2$, donde n_1 es el índice de refracción del núcleo (medio más interno de la fibra) y n_2 es el índice de refracción del recubrimiento (material con el cual se rodea al núcleo).

Para que un rayo de luz permanezca confinado en el núcleo de la fibra, es necesario que el rayo incida con un ángulo mayor que el crítico θ_c . Dicha condición se ilustra en la Figura 1.2.

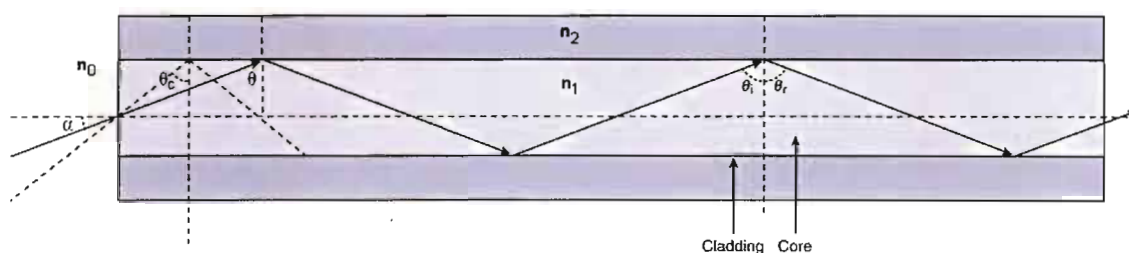


FIGURA 1.2 Reflexión interna total³

De la figura anterior, y teniendo en cuenta la ley de Snell, se tiene que:

³ ALWAYN, Vivek, Optical Network Design and Implementation, 1era. Edición, Cisco Press, Indianápolis-USA, 2004.

$$n_0 \text{sen}(\alpha) = n_1 \text{sen}(90^\circ - \theta) \quad (1.1)$$

de donde

$$\text{sen}(\alpha) = \frac{n_1}{n_0} \cos(\theta)$$

luego

$$\text{sen}(\alpha) = \frac{n_1}{n_0} \sqrt{1 - \text{sen}^2(\theta)} \quad (1.2)$$

y dado que

$$\text{sen}(\theta) = \frac{n_2}{n_1} \quad (1.3)$$

entonces

$$\text{sen}(\alpha) = \frac{1}{n_0} \sqrt{n_1^2 - n_2^2} \quad (1.4)$$

El valor del $\text{sen}(\alpha)$ en la ecuación 1.4 se llama apertura numérica de la fibra óptica. Los valores típicos de apertura numérica están entre 0.14 y 0.20 (14% y 20%). El máximo valor del ángulo α se conoce como ángulo de aceptación de la fibra.

El cono de aceptación, que es igual a dos veces el ángulo de aceptación y se lo puede ver en la Figura 1.3.

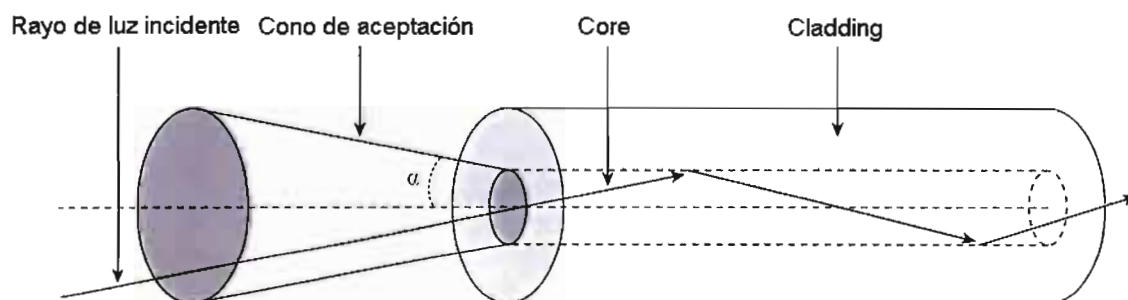


FIGURA 1.3 Cono de aceptación⁴

⁴ ALWAYN, Vivek, Optical Network Design and Implementation, 1era. Edición, Cisco Press, Indianápolis-USA, 2004.

Si cualquier rayo de luz está dentro del cono de aceptación, entonces se propagará sin problemas en la fibra óptica, es decir, se producirá reflexión interna total entre el núcleo y el manto.

1.1.2 TIPOS DE FIBRAS ÓPTICAS

Según la variación del índice de refracción dentro del núcleo, y según la cantidad de “modos” (haces de luz), se tiene los siguientes tipos de fibras:

- Multimodo de índice escalonado
- Multimodo de índice gradual
- Monomodo (índice escalonado)

1.1.2.1 Fibra multimodo de índice escalonado

Las fibras multimodo de índice escalonado están fabricadas a base de vidrio o de plástico. El núcleo está constituido por un material uniforme cuyo índice de refracción es claramente superior al de la cubierta que lo rodea. El paso desde el núcleo hasta la cubierta conlleva por tanto una variación radical del índice, de ahí su nombre de índice escalonado. Debido a esto la trayectoria del rayo no se modifica hasta que choca con el revestimiento y allí se refleja. El proceso se repite indefinidamente hasta que el rayo alcanza el otro extremo de la fibra⁵.

Además el núcleo de una fibra de este tipo consiste en una robusta línea, paralela al eje horizontal y es suficientemente grande para soportar un gran número de modos. La Figura 1.4 ilustra una fibra multimodo con índice escalonado:

⁵ FUERTES, Walter, Folleto: Diseño de redes de fibra óptica, CEC, 2004, Pág.11.

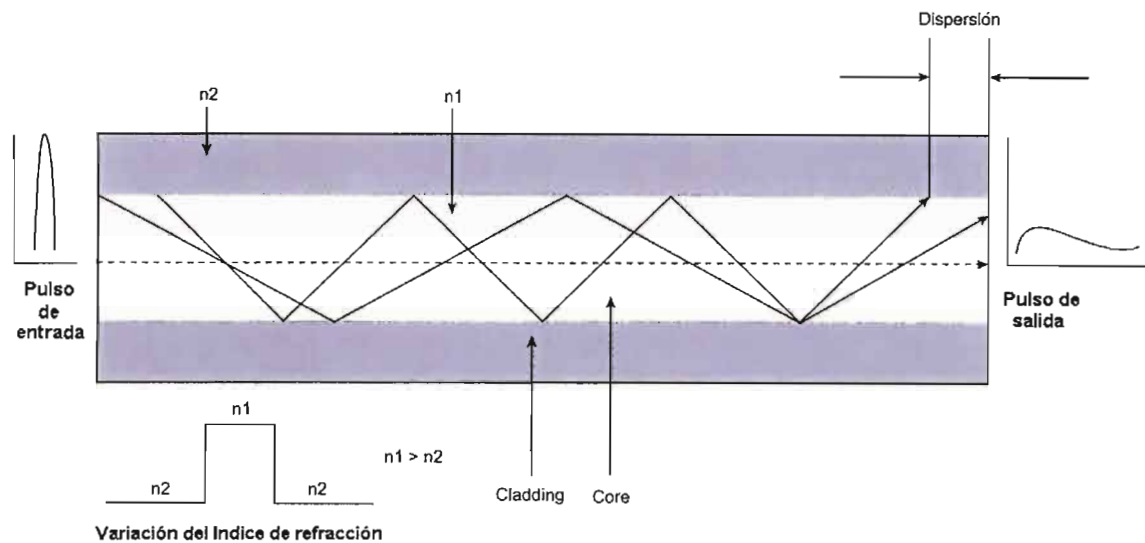


FIGURA 1.4 Fibra multimodo de índice escalonado⁶

Algunas ventajas de la fibra multimodo de índice escalón son: la apertura numérica es alta, el acoplamiento a la fuente de luz es fácil de realizar y su costo es bajo. Por otro lado las desventajas son: la dispersión de la señal es alta, el ancho de banda es menor que el de la fibra multimodo de índice gradual.

1.1.2.2 Fibra multimodo de índice gradual

En este tipo de fibra, el índice de refracción del núcleo varía en función de la distancia al eje (decrece cuando se desplaza del eje hacia la cubierta). En ésta fibra los tiempos de desplazamiento para los distintos rayos luminosos tienden a igualarse, pues las trayectorias se confinan cerca al núcleo, esto permiten reducir la dispersión entre los diferentes modos de propagación a través del núcleo de la fibra.

Debido a la variación del índice de refracción los rayos de luz sufren una modificación en su trayectoria regresando hacia el centro del núcleo antes de chocar con el revestimiento.

⁶ ALWAYS, Vivek, Optical Network Design and Implementation, 1era. Edición, Cisco Press, Indianápolis-USA, 2004.

Además, las fibras multimodo de índice gradual no presentan problemas de acoplamiento con los emisores y receptores y posee características de ancho de banda superiores y menos dispersión que las fibras multimodo de índice escalón.

Generalmente la fibra multimodo de índice gradual tiene dimensiones del núcleo/diámetro de la cubierta de 62,5/125 μm y de 50/125 μm .⁷

La Figura 1.5 ilustra una fibra multimodo con índice gradual:

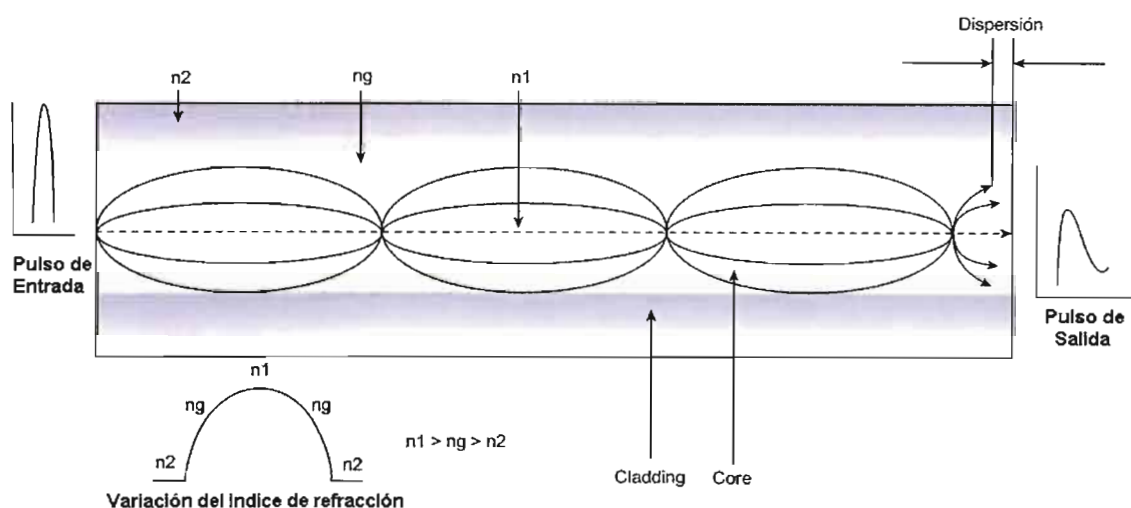


FIGURA 1.5 Fibra multimodo de índice gradual⁸

1.1.2.3 Fibra monomodo

En una fibra de este tipo, el diámetro del núcleo es tan pequeño que solo se permite que un solo rayo viaje a través de la fibra. Generalmente el núcleo es de 5 a 10 micras de diámetro. Mientras que el revestimiento tiene un diámetro mucho mayor. El rayo de luz viaja prácticamente paralelo al eje.

Entre las ventajas que tenemos al utilizar este tipo de fibra óptica, están: La dispersión de la señal es mínima, es muy útil para enlaces de largas distancias y

⁷ RAMOS, Francisco, "Tipos de fibra óptica". www.radioptica.com/Fibra/tipos_fibra_optica.asp

⁸ ALWAYN, Vivek, Optical Network Design and Implementation, 1era. Edición, Cisco Press, Indianápolis-USA, 2004.

es apropiada para la transmisión a grandes velocidades. Y entre las desventajas se tiene: la apertura numérica es baja, el acoplamiento a la fuente de luz es difícil de lograr, la alineación en los empalmes es difícil de realizar y el costo de la fibra monomodo es alto. En la Figura 1.6 se ilustra una fibra monomodo:

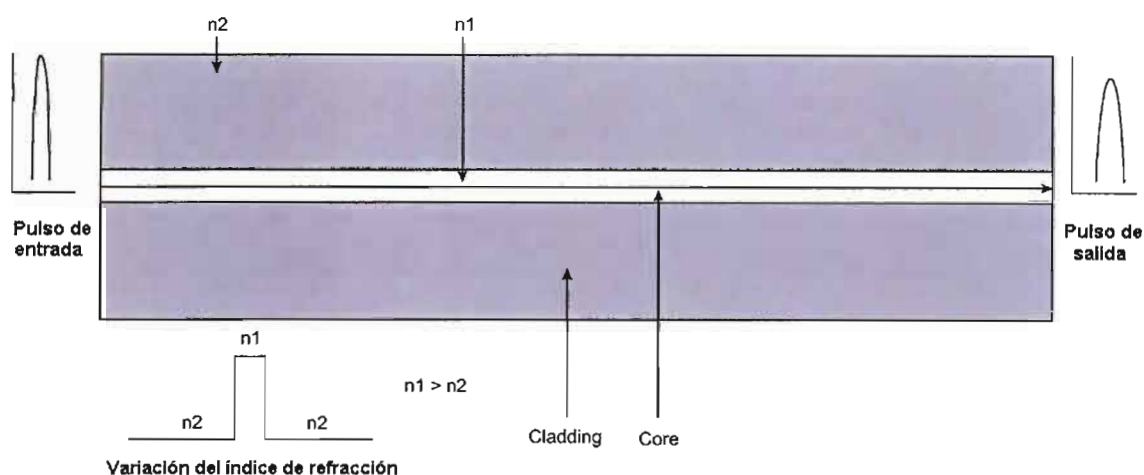


FIGURA 1.6 Fibra monomodo⁹

1.1.3 CARACTERÍSTICAS DE LA TRANSMISIÓN EN UNA FIBRA ÓPTICA

La transmisión de señales en una fibra óptica está acompañada de algunos factores que contribuyen a la degradación de la información en este medio de propagación. Se trata de las pérdidas debidas a la atenuación intrínseca y extrínseca, a los fenómenos de dispersión y a los efectos no lineales producidos por mayores potencias ópticas de transmisión.

Estas características de transmisión son tomadas en cuenta en la parte que se refiere al diseño del backbone de fibra óptica propuesto en el capítulo 3, en donde se estudia los factores técnicos y de propagación que afectan a las redes ópticas DWDM y que deben ser considerados en su diseño.

⁹ ALWAYN, Vivek, Optical Network Design and Implementation, 1era. Edición, Cisco Press, Indianápolis-USA, 2004.

1.1.3.1 Efectos independientes de la intensidad de la señal

Los efectos independientes de la intensidad de la señal se refieren a los factores que contribuyen a la degradación de la información y pérdida de energía de la señal en los procesos normales de transmisión en donde no se involucra altos niveles de potencia de transmisión. Estos factores se los puede clasificar en dos grupos:

- Factores de atenuación, y
- Factores de dispersión.

En los *factores de atenuación* es importante señalar lo que es la atenuación. En la fibra, la atenuación se define como la pérdida óptica acumulada desde una fuente a un destino a lo largo de un enlace de fibra. Es el parámetro más importante y determina la máxima distancia de transmisión para que la señal pueda ser restaurada. El coeficiente de atenuación α es expresado en dB por kilómetro y representa la pérdida en dB por kilómetro de fibra.

La potencia en las señales ópticas en una fibra decrecen exponencialmente con la distancia. Esto puede ser escrito como:

$$P(z) = P(0)e^{-\alpha z} \quad (1.5)$$

Consecuentemente,

$$\alpha = -\frac{10}{z} \log \frac{P(z)}{P(0)} \quad (1.6)$$

Donde $P(z)$ es la potencia a una posición z desde el origen, $P(0)$ es la potencia en la fibra en el origen¹⁰. Los valores típicos en una fibra monomodo son 0.25 dB por kilómetro en la banda de 1550 nm y 0.5 dB por kilómetro en la banda de 1310 nm¹¹.

¹⁰ POWERS, John, An Introduction to Fiber Optic Systems, Segunda Edición, McGRAW-HILL, 2001.

¹¹ GUMASTE, Ashwin; ANTHONY, Tony, DWDM Network Desings and Engineering Solutions, 1era. Edición, Cisco Press, Indianápolis-USA, 2002.

En la fibra óptica se da dos tipos de atenuación: la intrínseca y la extrínseca. La primera depende de la composición del vidrio y de las impurezas en la fibra (defectos introducidos en el proceso de fabricación). Este tipo de atenuación ocurre por la interacción de las impurezas con la luz que viaja al través de la fibra.

La atenuación intrínseca involucra dos fenómenos: la absorción debida a rayos ultravioleta e infrarrojos y al esparcimiento del material (Scattering Rayleigh).

- La *absorción infrarroja* se debe a la interacción existente entre los fotones que viajan por la fibra y las moléculas que componen el núcleo. La energía fotónica es transmitida en parte a las moléculas de silicio por los fotones que las encuentran en su camino, produciendo vibraciones en las mismas. La absorción debida a la componente de radiación ultravioleta decrece exponencialmente con la longitud de onda y empieza a ser despreciable a partir de los 1000nm. La debida a los rayos infrarrojos se origina por las vibraciones entre los átomos de silicio y oxígeno, creciendo exponencialmente con la longitud de onda, pero no se aprecia hasta los 1400nm.
- El *scattering Rayleigh* es un fenómeno de esparcimiento que se produce cuando la luz encuentra en su camino partículas extrañas cuyo diámetro es mucho menor que la longitud de onda de la señal. La difracción resultante absorbe parte del espectro energético de la señal y produce una pérdida de energía que decrece en función de la longitud de onda. Afecta a las longitudes de onda entre 400 y 1100nm.

La atenuación extrínseca se produce debido a los defectos externos a los materiales de la fibra, por ejemplo:

- Por las curvaturas dadas a la fibra óptica durante el proceso de cableado ya que siempre que se somete a la fibra a una curvatura por bobinado o tendido, se origina una atenuación adicional por el hecho de que la interfaz núcleo-recubrimiento deja de ser geoméricamente uniforme. La luz se

refleja con ángulos diferentes a los previstos y puede ocurrir que deje de aparecer en algunos el principio de reflexión interna total. Esto sucede cuando el radio de curvatura disminuye por debajo de un valor crítico.

- Por las microcurvaturas, que son los errores producidos en el proceso de fabricación de la fibra y consiste en las irregularidades entre el núcleo y el recubrimiento, originándose fluctuaciones del diámetro y consecuentemente provocando tortuosidades del eje de la fibra.
- Por las pérdidas que se dan en el acople de la fuente emisora de luz y la fibra, así como también por la atenuación en conectores y empalmes.

Los *factores de dispersión* en los sistemas de transmisión digital por fibra óptica producen interferencia intersímbolo (ISI) y esto consiste en el solapamiento de las componentes de un pulso con los adyacentes, es decir, los pulsos de luz tienden a sufrir un esparcimiento durante la propagación en la fibra y cuando éstos se ensanchan tienden entonces a mezclarse, convirtiendo la información en señales indistinguibles lo cual introduce errores en el proceso de detección en la parte del receptor (Figura 1.7).

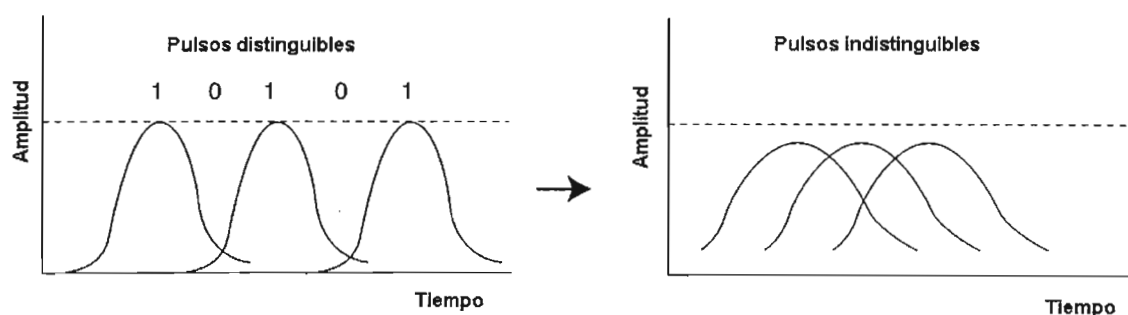


FIGURA 1.7 Interferencia intersímbolo

En las comunicaciones ópticas están presentes diferentes tipos de dispersión, entre ellas tenemos: dispersión cromática, que consiste de dos componentes, la dispersión material y de guía de onda, tenemos también la dispersión modal, la dispersión de perfil y la dispersión por modo de polarización.

La dispersión cromática ocurre en todo los tipos de fibra. Cuando el emisor no emite una sola frecuencia, entonces puede haber tiempos de propagación diferentes para las diferentes frecuencias transmitidas. Estos retardos pueden ser causados por el material de la fibra (dispersión de material) o por los efectos de transporte dentro de la fibra óptica (dispersión por guía de onda).

La dispersión de material ocurre cuando la velocidad de fase de una onda plana no varía linealmente con la longitud de onda, en otras palabras, cuando las diferentes longitudes de onda viajan a diferentes velocidades en la fibra óptica. Con la distancia, la variación en la velocidad de las longitudes de onda causa la dispersión de los pulsos de luz en el tiempo.

La dispersión de guía de onda ocurre por las irregularidades geométricas del núcleo de la fibra óptica, esto provoca que algunos modos de propagación lleguen más rápido que otros al receptor.

La dispersión modal se da en las fibras multimodo, en la cual, los diferentes modos que constituyen un pulso viajan a lo largo del canal con diferentes velocidades debido a que no siguen las mismas trayectorias. En consecuencia el ancho del pulso a la salida de la fibra depende del retardo que tengan los diferentes modos que se propaguen en la fibra.

La dispersión de perfil es debida a la variación del índice de refracción en función del radio. Es así que solamente está presente en las fibras ópticas de índice gradual.

La dispersión por modo de polarización (PMD) podemos apreciar en la Figura 1.8, en donde se muestra los dos modos principales de una fibra asimétrica que es uniforme a lo largo de su longitud. El modo en el eje X es arbitrariamente etiquetado con un modo rápido, mientras que en el eje Y es etiquetado en el modo lento. La diferencia en los tiempos de arribo en los modos de dispersión por

polarización (PMD), es típicamente medida en picosegundos. Esta variación temporal causa errores en interpretación de la señal en el receptor¹².

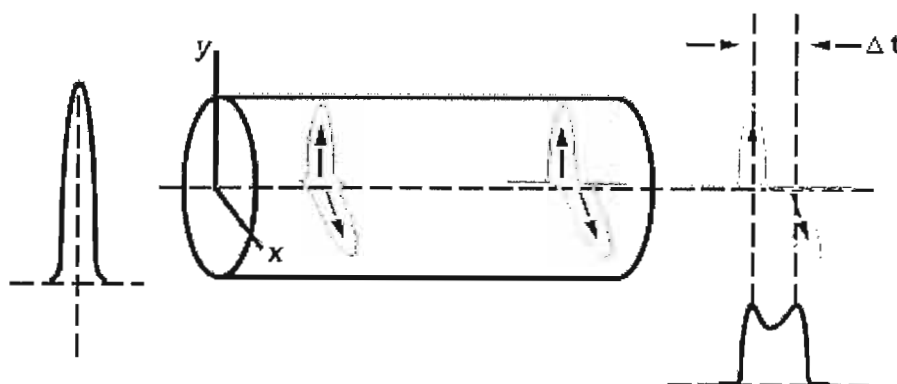


FIGURA 1.8 Dispersión por modo de polarización (PMD)¹³

1.1.3.2 Efectos dependientes de la intensidad de la señal

Los altos niveles de potencia que se utilizan en la transmisión de información, provocan señales que interactúan con la fibra, en la cual se produce una variedad de efectos no lineales. Estas no linealidades de la fibra producen interferencia, distorsión y atenuación adicional sobre las señales que se propagan, conduciendo finalmente a degradaciones en el sistema.

Entre los fenómenos no lineales más conocidos que se producen en las fibras ópticas de silicio se destacan:

- Dispersión estimulada de Raman (Stimulated Raman Scattering, SRS)
- Dispersión estimulada de Brillouin (Stimulated Brillouin Scattering, SBS)
- Modulación de fase cruzada (Cross-Phase Modulation, XPM)
- Auto modulación de fase (Self-Phase Modulation, SPM)
- Mezclado de cuatro ondas (Four-Wave Mixing, FWM)

¹² RAMOS, Francisco, "Efectos no lineales en dispositivos fotónicos".

www.radioptica.com/Fibra/efectos.asp

¹³ ACTERNA, "Dense Wavelength Division Multiplexing Pocket Guide". www.acterna.com

1.1.3.2.1 Dispersión estimulada de Raman (SRS)¹⁴

Este fenómeno se refiere a la interacción que sufren las ondas ópticas con las vibraciones moleculares del material. Las ondas incidentes se dispersan al chocar con las moléculas y experimentan una reducción de su frecuencia óptica. Este desplazamiento de frecuencia coincide precisamente con la frecuencia de vibración de las moléculas (llamada frecuencia de Stokes).

1.1.3.2.2 Dispersión estimulada de Brillouin (SBS)

Es un proceso no lineal similar al SRS, salvo que el SBS depende de ondas sonoras en lugar de vibraciones moleculares. En este aspecto, ambos procesos involucran tres ondas según las cuales la onda óptica incidente (bombeo) se convierte en una onda de Stokes de mayor longitud de onda por medio de la excitación de una vibración molecular (SRS).

1.1.3.2.3 Modulación de fase cruzada (XPM)

Es producida por el índice de refracción no lineal, el cual, afecta solamente a la fase de la señal que se propaga por la fibra y da lugar a una modulación de fase inducida por la portadora o por el canal vecino.

1.1.3.2.4 Auto modulación de fase (SPM)

Se presenta en los sistemas monocanales, aquí, los efectos no lineales se producen por una modulación de fase de la señal óptica inducida por la potencia óptica de la propia señal.

Los fenómenos de SPM y XPM en fibras estándar se producen debido a la existencia de una componente del índice de refracción dependiente de la intensidad de las señales ópticas (efecto Kerr).

¹⁴ RAMOS, Francisco, "Efectos no lineales en dispositivos fotónicos".
www.radioptica.com/Fibra/efectos.asp

1.1.3.2.5 Mezclado de cuatro ondas (FWM)¹⁵

Se produce básicamente cuando dos portadoras ópticas se mezclan y esto da lugar a la aparición de nuevas frecuencias a la salida del medio de transmisión. Por ejemplo: consideremos que se propagan dos portadoras a frecuencias ópticas f_1 y f_2 por una misma fibra, el proceso no lineal generará dos nuevas bandas laterales a frecuencias $2f_1 - f_2$ y $2f_2 - f_1$.

1.1.4 SISTEMAS DE TRANSMISIÓN Y RECEPCIÓN ÓPTICOS

Los sistemas de transmisión ópticos son capaces de transmitir voz, datos y video a grandes velocidades, volumen y fiabilidad. Para esto el sistema cuenta con un conjunto de dispositivos que ayudan a conseguir este fin.

1.1.4.1 Modelo de transmisión y recepción óptico

Un sistema de transmisión por fibra óptica (Figura 1.9), básicamente tiene la función de convertir una señal eléctrica en una óptica, la cual puede estar formada por pulsos de luz (digital) o por un haz de luz modulado (analógico). Luego, la señal saliente del transmisor, se propaga por la fibra óptica hasta llegar al receptor, en el cual se convierte la señal nuevamente a eléctrica.

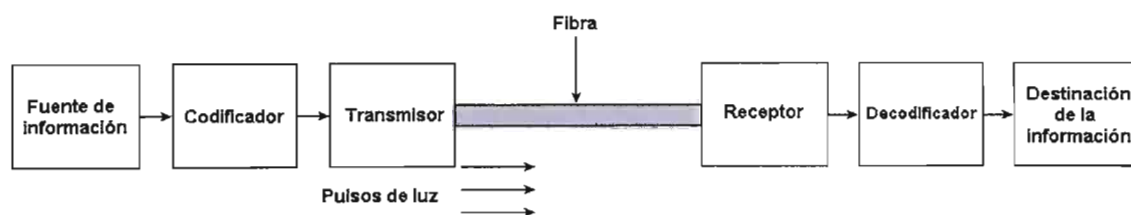


Figura 1.9 Sistema de comunicaciones ópticas

¹⁵ RAMOS, Francisco, "Efectos no lineales en dispositivos fotónicos".
www.radioptica.com/Fibra/efectos.asp

1.1.4.2 Emisores ópticos

El fundamento de transmisión por fibra se basa en convertir las señales eléctricas en un código óptico, para que a través de dicha fibra, transporte la información con mayor integridad y garantía posible. Para esto, el transmisor debe tener básicamente las siguientes características:

- a) La superficie de emisión debe tener dimensiones comparables a la del núcleo de la fibra óptica.
- b) Debe emitir luz en el rango de longitudes de onda de la ventana de trabajo de la fibra óptica (850nm, 1300 nm y 1550 nm).
- c) La potencia de salida debe sobrepasar todas las pérdidas del trayecto, de preferencia que sea más de 1 mwatt.
- d) El convertidor electro-óptico debe ser eficiente y tiene que proporcionar una salida estable.
- e) El emisor óptico debe tener un adecuado tiempo de vida útil y ser capaz de operar en condiciones de temperatura ambiente.
- f) El transmisor debe utilizar dispositivos basados en tecnología de emisión con semiconductores.

Generalmente se utiliza dos dispositivos semiconductores para convertir señales eléctricas a pulsos de luz en sistemas de telecomunicaciones por fibra óptica, estos son:

- El Diodo LED (Light Emissor Diode), y
- El Diodo LASER (Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation), LD.

El diodo LED, emite energía luminosa provocada por la recombinación electrón - hueco en la zona activa (juntura p-n) del diodo polarizado directamente.

Este dispositivo emite radiación entre una región espectral relativamente amplia, evidentemente ocasionado una gran dispersión de luz. Debido a esto son usados

típicamente cuando se requiere realizar transmisiones a cortas distancias y con poca potencia de salida, por ejemplo, en las redes LAN.

Para aplicaciones prácticas en telecomunicaciones y por razones de velocidad y capacidad de transmisión, se desarrollaron los siguientes tipos de Leds:

LED con emisión de superficie y LED con emisión en el borde (ELED). Los primeros emiten luz perpendicular al plano de la unión p-n, a través de la superficie, por lo que gran parte de la radiación queda absorbida en el sustrato. En los ELED la luz se emite en el plano de la unión, con lo que la absorción es muy pequeña. Esta estructura permite un mejor rendimiento cuántico externo y un mejor acoplamiento a las fibras¹⁶.

El LASER, es básicamente un diodo semiconductor que cuando se polariza directamente emite una luz coherente (monocromática y con la misma diferencia de fase) y muy estrecha en su ancho espectral, (alrededor de 1 a 5 nm).

Debido al estrecho espectro, la luz no se dispersa tanto como la luz producida por un diodo LED, por lo que se puede emplear eficientemente para transmisiones a mucha distancia y a frecuencias muy superiores a los 300 MHz.

Esto hace que la luz laser pueda ser extremadamente intensa, muy direccional, y con una gran pureza de color (frecuencia)

1.1.4.3 Detectores ópticos

En el extremo final de la fibra óptica se encuentra el detector óptico (fotodetector). Este sistema permite primero convertir la señal lumínica en una señal eléctrica (corriente) y luego amplificarla y convertirla en una señal de voltaje. Los detectores en los sistemas ópticos deben tener básicamente las siguientes características:

¹⁶ ROBLES, Guillén y MARLON, Wilson, Diseño de un anillo de fibra óptica para la ciudad de Manta, Tesis EPN, Pág. 11.

- a) Alta sensibilidad en la longitud de onda de operación (ventana de trabajo).
- b) Gran respuesta eléctrica a la señal óptica recibida.
- c) Ancho de banda compatible con las señales en la fibra óptica.
- d) Adecuada relación señal a ruido (S/N) y adecuado Bit Error Rate (BER).
- e) Estable, independiente de cambios en las condiciones ambientales.
- f) Áreas de detección compatibles con las dimensiones de los núcleos de las fibras ópticas.
- g) Bajo costo.

Los fotodiodos son diodos semiconductores que operan polarizados inversamente. Durante la absorción de la luz, cuando un fotodiodo es iluminado, los fotones son absorbidos generando pares electrón-hueco, que en presencia de un campo eléctrico producen una corriente.

Generalmente se utiliza dos dispositivos fotodetectores para convertir señales ópticas a pulsos eléctricos, estos son:

- Diodos PIN (Positive-Intrinsic-Negative)
- Diodos APD (Avalanche Photodiodes).

El diodo PIN, es el tipo de detector más utilizado en los sistemas de comunicaciones por fibra óptica. Se compone básicamente de unas zonas p y n altamente conductoras junto a una zona intrínseca poco conductiva. Los fotones entran en la zona intrínseca generando pares electrón-hueco. El diodo se polariza inversamente para acelerar las cargas presentes en esta zona intrínseca, que se dirigen a los electrodos, donde aparecen como corriente.

Este diodo, es relativamente fácil de fabricar, tiene bajo ruido. Además es sensible a un gran ancho de banda debido a que no tiene mecanismo de ganancia.

Los elementos más utilizados para la fabricación de este tipo de detectores son el Germanio, GaAs, GaInAs e InP.

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

Los fotodiodos PIN tienen muchas ventajas, incluido su costo y su fiabilidad, pero los APDs tienen mayor sensibilidad de recepción y mayor exactitud

Algunas otras diferencias entre estos dos fotodiodos se indican a continuación:

- Los diodos ADP son más complejos y por lo tanto más caros que los PIN.
- Los diodos PIN presentan tiempos de vida útil mayores.
- Los diodos ADP son más sensibles a las variaciones de la temperatura.
- Los diodos APD poseen velocidades de respuestas mayores por lo tanto permiten la transmisión de mayores tasas de información.
- Los diodos PIN requieren circuitos de polarización más simples, que trabajan con voltajes menores.
- El diodo PIN, es más lineal y menos ruidoso que el diodo APD.

1.2 FUNDAMENTOS DE LA TECNOLOGÍA DWDM

1.2.1 DESARROLLO DE LA TECNOLOGÍA DWDM

Alexander G. Bell ensayó en 1880 con un dispositivo llamado "photophone" y la luz solar con el fin utilizar las ondas de luz para las comunicaciones. La utilización de un haz de luz incoherente -luz compuesta por múltiples longitudes de onda- en un medio como el aire no dio un resultado aceptable para las comunicaciones a larga distancia, por lo que el invento quedó en el olvido y hubo que esperar hasta la década de los 60 y de los 70 en que aparecieron los láseres y la fibra óptica, que eliminaron estas barreras. A partir de entonces, el desarrollo de la electro-óptica ha sido espectacular y se han alcanzado grandes éxitos con la aplicación de esta técnica para la construcción de todo tipo de dispositivos que permiten

transmitir una gran cantidad de información a gran distancia, con total fiabilidad y seguridad¹⁷.

La culminación de todos estos desarrollos es la técnica conocida como WDM (Wavelength Division Multiplexing) o Multiplexación por División de Longitud de onda que permite la transmisión simultánea de diferentes longitudes de onda (canales) por la misma fibra óptica. Y DWDM (Dense Wavelength Division Multiplexing), nace de la tecnología WDM, la cual empezó a finales de la década de 1980 usando las dos longitudes de onda muy espaciadas, 1310 nm y 1550 nm, a veces llamado WDM de banda ancha. Una de las fibras se usa para transmitir en un sentido y la otra en el sentido contrario (Figura 1.10).

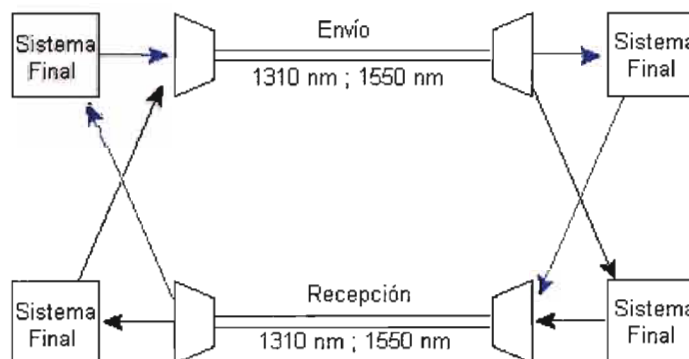


FIGURA 1.10 WDM con dos canales

A principios de la década de 1990 se da la segunda generación de WDM, a veces llamada WDM de banda estrecha en que se usaban de 2 a 8 canales. Ahora estos canales están espaciados en un intervalo de unos 400 Ghz en la ventana de 1550 nm. A mediados de la década de 1990 los sistemas DWDM que estaban emergiendo consistían de 16 a 40 canales y un espaciado de 100 a 200 Ghz. A finales de la década de 1990 los sistemas DWDM han evolucionado hasta el punto de que son capaces de tener de 64 a 160 canales en paralelo y espaciados cada 25 o 50 Ghz.

En la Figura 1.11 se muestra un esquema de la evolución de esta tecnología:

¹⁷ BTWSA, "WDM. Multiplexación por división de onda". www.btwsa.com.ar/siteDocs/_wdm.asp

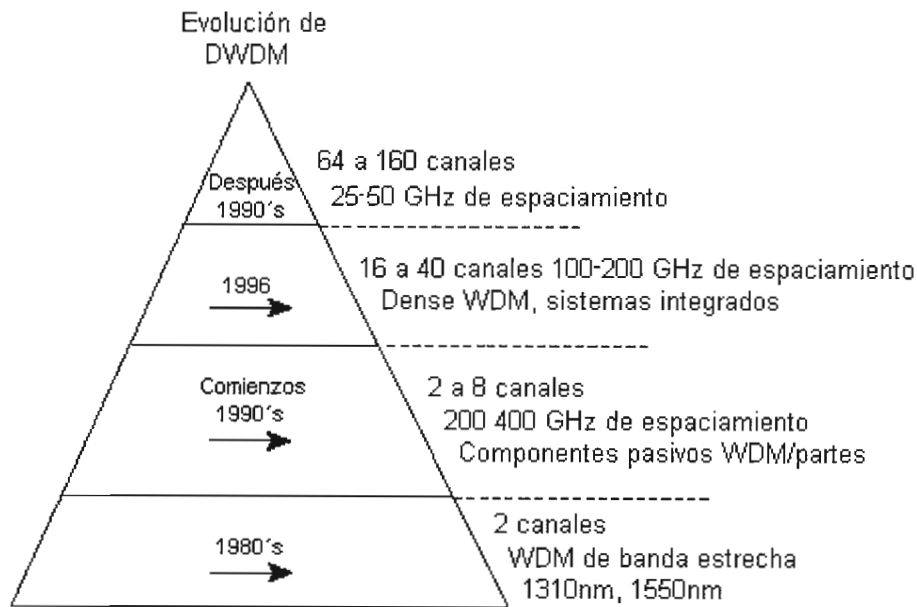


FIGURA 1.11 Evolución de la tecnología DWDM

El desarrollo de las redes ópticas desde su inicio está ligado a los requerimientos de los mercados de telecomunicaciones, y consecuentemente, el desarrollo de DWDM se ha debido a tres factores colocados por orden de importancia:

- Agotamiento de la fibra en la red metropolitana
- Necesidad de aprovechar las capacidades de las redes ópticas existentes
- Habilidad de proveer servicios y sumar nuevos

1.2.2 TIPOS DE MULTIPLEXACIÓN

La multiplexación consiste en transportar varias señales en una sola por un mismo canal de transmisión. La Figura 1.12 muestra la función de multiplexación en su forma más simple. Existen n entradas a un multiplexor, que se conecta a un demultiplexor mediante un único enlace de datos. El enlace es capaz de transportar n canales de datos independientes. El multiplexor combina (multiplexa) los datos de las n líneas de entrada y los transmite a través de un enlace de datos de capacidad superior. El demultiplexor capta la secuencia de

datos multiplexados, separa, (demultiplexa) los datos de acuerdo con el canal y los envía hacia las líneas de salida correspondientes¹⁸.

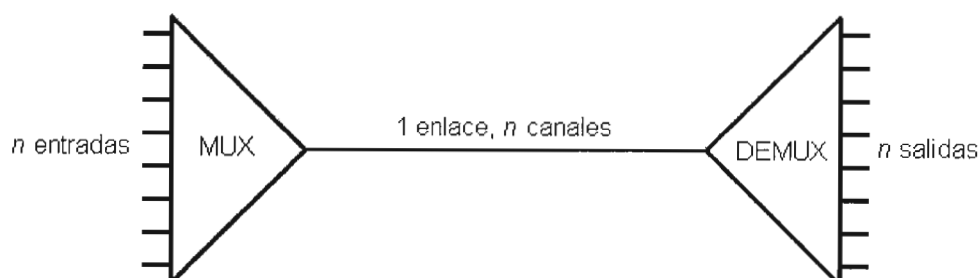


FIGURA 1.12 Esquema básico de multiplexación

El objetivo de la multiplexación es hacer un uso eficiente de las líneas de transmisión de alta velocidad. Las técnicas de multiplexación permiten que varias fuentes de transmisión compartan una capacidad de transmisión sobre un mismo enlace.

En los circuitos ópticos encontramos la multiplexación por división de tiempo (TDM, Time Division Multiplexing) y la multiplexación por división de longitud de onda (WDM, Wavelength Division Multiplexing) con sus variantes: La multiplexación por división de longitud de onda gruesa (CWDM, Coarse Wavelength Division Multiplexing) y la multiplexación por división de longitud de onda densa (DWDM, Dense Wavelength Division Multiplexing).

1.2.2.1 Multiplexación por División de Tiempo (TDM)

El TDM (Multiplexación por División en el Tiempo) se inventó como una forma de maximizar la cantidad de tráfico de voz que se podía transportar en un medio. En las redes telefónicas, antes de la multiplexación, cada llamada telefónica necesitaba su propia línea física. Esta solución es cara y no es escalable. Con la multiplexación se podía enviar más de una llamada por una línea física.

¹⁸ STALLINGS, William, Comunicaciones y redes de computadores, 6ta. Edición, Prentice Hall, 2000, Pag. 222

El TDM se puede explicar en base a la analogía con una autopista. Para transportar todo el tráfico de cuatro pueblos a una ciudad, se puede hacer enviándolo por un solo carril, y accediendo el tráfico de cada pueblo de forma sincronizada a dicho carril. Así si cada pueblo pone un coche en la autopista cada 4 segundos, en la autopista entraría un coche cada segundo. Como la velocidad de los coches es sincronizada, no hay colisiones. En el destino los coches pueden dejar la autopista e ir a los pueblos por el mismo mecanismo de sincronización pero al revés.

Este es el principio usado para el TDM síncrono cuando se envían bits por un enlace. TDM aumenta la capacidad de transmisión de un enlace dividiendo el tiempo en intervalos más pequeños de forma que los bits de las múltiples entradas se puedan transportar por el enlace aumentando el número de bits transmitidos por segundo (Ver Figura 1.13).

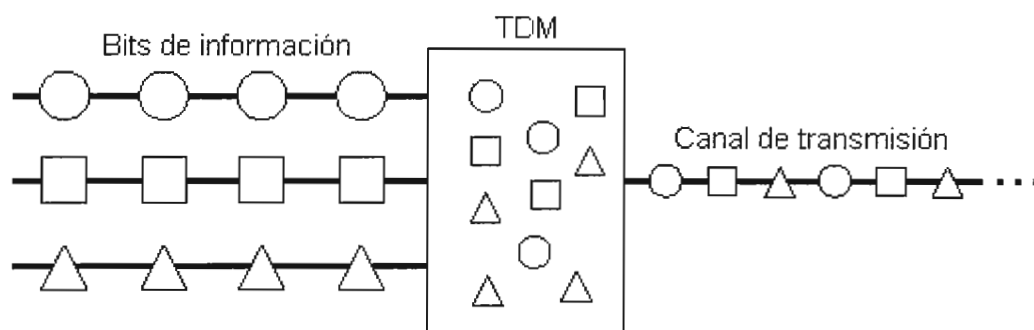


FIGURA 1.13 Concepto de TDM

La técnica TDM síncrona se denomina síncrona no porque se emplee transmisión síncrona, sino porque las ranuras temporales se preasignan y fijan a las distintas fuentes. Las ranuras temporales asociadas a cada fuente se transmiten tanto si éstas tienen datos que enviar como si no. En este caso se desaprovecha la capacidad a costa de simplificar la implementación. Sin embargo, un dispositivo TDM síncrono puede gestionar fuentes a distintas velocidades incluso cuando se hacen asignaciones fijas de las ranuras temporales. Por ejemplo, al dispositivo de entrada más lento se le podría asignar

una ranura por ciclo, mientras que a los más rápidos se podrían asignar varias ranuras por ciclo¹⁹.

1.2.2.2 Multiplexación por División de Longitud de Onda (WDM)

Los sistemas basados en WDM aumentan la capacidad de transporte del medio físico (fibra óptica) usando un método completamente diferente del TDM. WDM asigna las señales ópticas entrantes a longitudes de onda específicas dentro de una determinada banda. Esta multiplexación se parece mucho a las emisiones radiofónicas en que cada una de ellas emplea una longitud de onda específica sin interferir con las demás (Figura 1.14). Dado que cada canal funciona a una frecuencia distinta, se pueden seleccionar con un sintonizador. Otra manera de ver el WDM es que cada canal funciona con un color de luz distinto; varios canales hacen un arco iris.

Se usa el término longitud de onda en vez de frecuencia para evitar confusiones. También se usa en vez de longitud de onda los términos λ y canal.

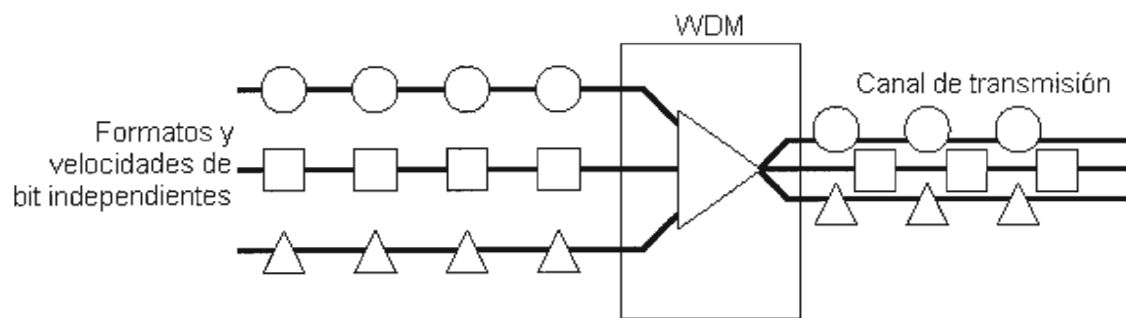


FIGURA 1.14. Concepto de WDM

En un sistema WDM, cada longitud de onda es enviada a la fibra y las señales son demultiplexadas en la recepción. Como el TDM, la capacidad resultante es una agregación de las señales de entrada pero WDM transporta cada señal de forma independiente de las demás señales. Esto significa que cada canal tiene su

¹⁹ STALLINGS, William, Comunicaciones y redes de computadores, 6ta. Edición, Prentice Hall, 200, Pag. 230

propio ancho de banda dedicado; todas las señales llegan al mismo tiempo en vez de ser fragmentadas y transportadas en ranuras de tiempo.

La Figura 1.15, muestra el esquema de un sistema WDM. Este sistema tiene n interfaces de servicio y n longitudes de onda son transmitidas por una sola fibra óptica. Cada longitud de onda (λ) opera a una diferente frecuencia.

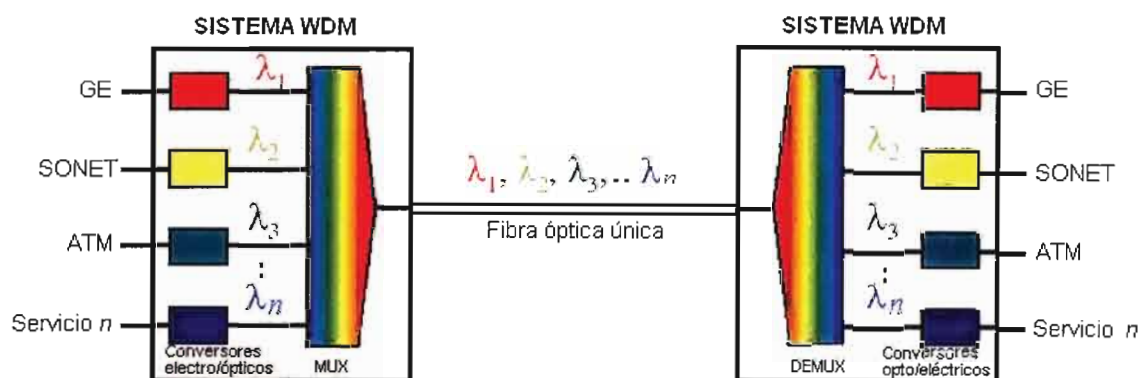


FIGURA 1.15 Esquema de WDM

WDM usa longitudes de onda para transmitir datos en paralelo, por bit, o serial, por carácter. A cada señal que entra al sistema WDM, se le asigna una frecuencia específica (longitud de onda) dentro de una ventana de frecuencias designada. Cada señal entrante, puede ser una portadora de diferente velocidad (OC-3/STM-1 o 155.52 Mbps, OC-48/STM-16 o 2488.32 Mbps, etc) y pueden tener un formato diferente (SONET/SDH, ATM, GE, etc).²⁰

La multiplexación por división de longitud de onda (WDM), puede ser considerada como una forma de multiplexación por división de frecuencia (FDM) acoplado con la multiplexación por división de tiempo (TDM).

En FDM, toda la banda de frecuencias disponible en el enlace de comunicaciones es dividida en subbandas o canales individuales. Cada usuario tiene asignada una frecuencia diferente. Las señales viajan en paralelo sobre el mismo canal de

²⁰ ALWAYN, Vivek, Optical Network Design and Implementation, 1era. Edición, Cisco Press, Indianápolis-USA, 2004.

comunicaciones, pero están divididos en frecuencia, es decir, cada señal se envía en una diferente porción del espectro. Esto puede verse en la Figura 1.16.

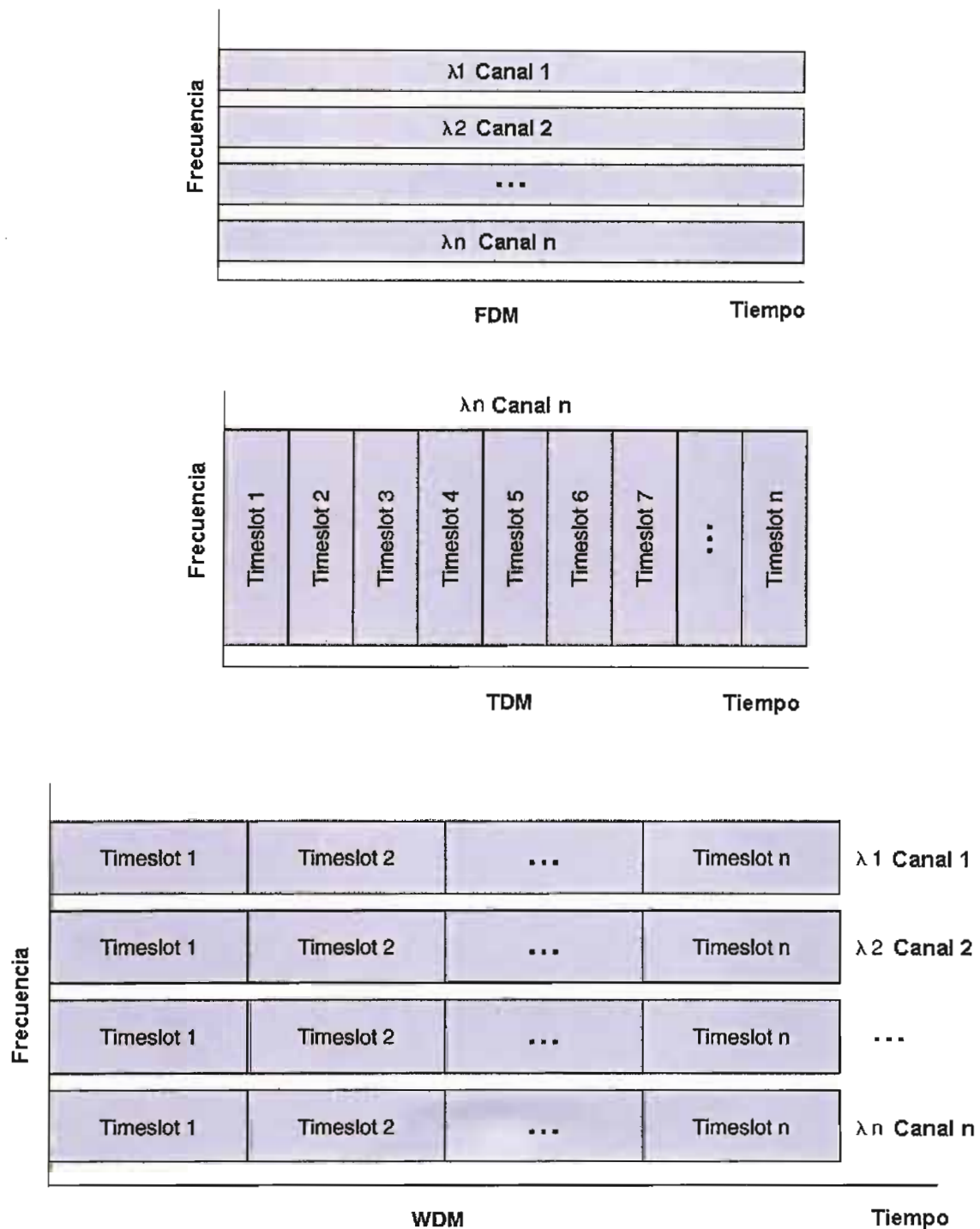


FIGURA 1.16 WDM como una combinación de FDM y TDM²¹

²¹ ALWAYN, Vivek, Optical Network Design and Implementation, 1era. Edición, Cisco Press, Indianápolis-USA, 2004.

Las bandas de longitudes de onda ópticas usadas por varios sistemas xWDM se indica en la Tabla 1.1.

Banda	Rango de longitud de onda
O (original)	1260 nm a 1360 nm
E (extendida)	1360 nm a 1460 nm
S (longitud de onda corta)	1460 nm a 1530 nm
C (convencional)	1530 nm a 1565 nm
L (longitud de onda larga)	1565 nm a 1625 nm
U (longitud de onda ultra larga)	1625 nm a 1675 nm

Tabla 1.1 Bandas de longitud de onda usadas en xWDM²²

Los sistemas WDM, se pueden clasificar en unidireccionales y bidireccionales. Un sistema WDM unidireccional (Figura 1.17), multiplexa un número de longitudes de onda para transmitirlos en una dirección por una sola fibra óptica. Por ejemplo, señales a varias longitudes de onda en la banda C son multiplexadas juntas para transmitirlos sobre una misma fibra óptica (fibra 1). El dispositivo final WDM, es el responsable de demultiplexar dichas longitudes de onda, y si es necesario enviar de regreso información multiplexada por la otra fibra óptica (fibra 2).

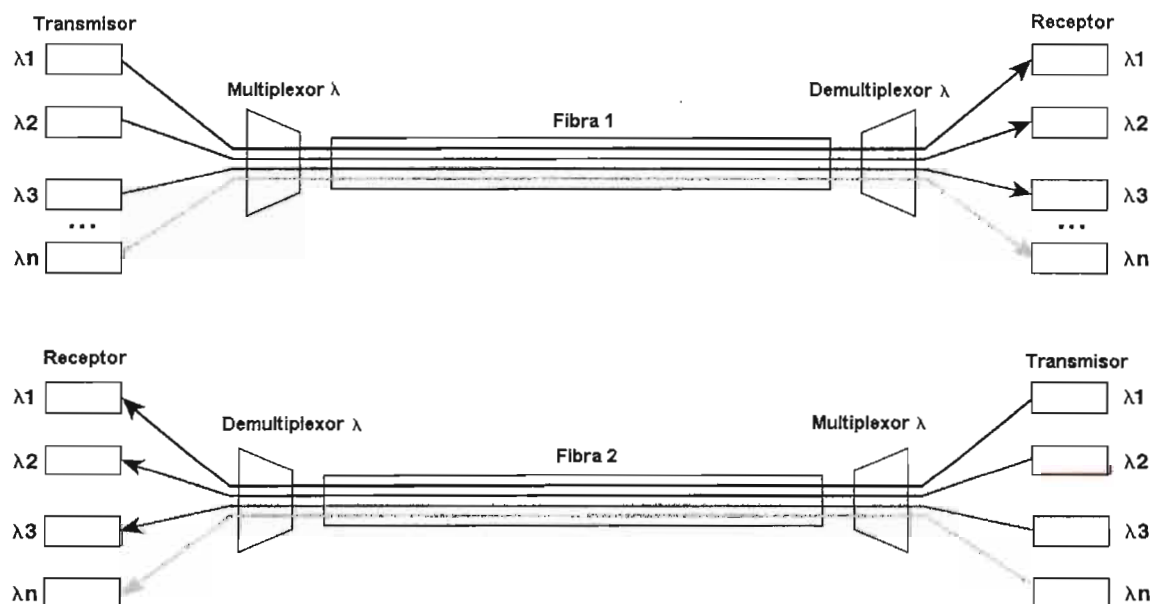


FIGURA 1.17 Sistema WDM unidireccional

²² ALWAYN, Vivek, Optical Network Design and Implementation, 1era. Edición, Cisco Press, Indianápolis-USA, 2004.

Un sistema bidireccional WDM transmite y recibe múltiples longitudes de onda sobre una misma fibra óptica. Por ejemplo, señales de varias longitudes de onda en la banda de 1550nm son multiplexadas juntas para transmitir las sobre una misma fibra. El sistema WDM final es el responsable de multiplexar y demultiplexar las longitudes de onda para su respectiva transmisión y recepción. En la Figura 1.18 se muestra un sistema WDM bidireccional.

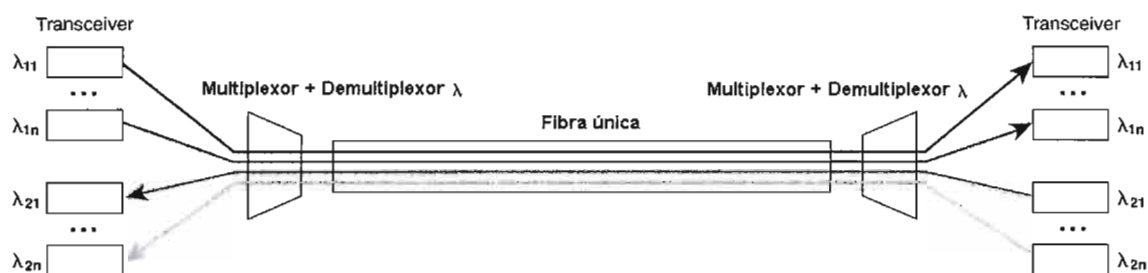


FIGURA 1.18. Sistema WDM bidireccional

1.2.2.3 Variedades de WDM

1.2.2.3.1 CWDM

La tecnología CWDM (Coarse Wavelength Division Multiplexing), fue utilizada comercialmente por primera vez a principios de los años 80 para transportar señales digitales de vídeo a través de fibras multimodo. Inicialmente se creó un sistema de 4 longitudes de onda que operaban en la ventana de 800nm con 4 canales, cada una operando a 140 Mbps. Estos sistemas fueron usados principalmente en conexiones CATV (Televisión por Cable). Sin embargo, CWDM no generaban gran interés entre los proveedores de servicios hasta ahora, en donde está cada vez más aceptada como una importante arquitectura de transporte.

Actualmente los sistemas CWDM, son utilizados para el transporte de datos, voz, video y servicios multimedia. Estos sistemas son ideales para infraestructuras de fibra con tramos cortos de 50 km o menos y que no necesitan regeneradores de señal o la presencia de amplificadores ópticos.

Los sistemas CWDM usan láseres que tienen una velocidad de bit de 2.5 Gbps (OC-48/STM-16) y pueden multiplexar hasta 18 longitudes de onda. Esto provee un máximo de 45 Gbps sobre una fibra óptica. El transmisor y el receptor láser están típicamente integrados en un solo dispositivo llamado transceiver.

En la Figura 1.19, se muestra un esquema de multiplexación para CWDM, en éste se observa un espaciamiento de 20nm que fue especificado por la UIT en la recomendación G.694.2. La elección de este valor no es algo accidental, sino que es el resultado de un minucioso estudio económico que asegura una reducción significativa en los costos de los transmisores y de los filtros ópticos, así como un número razonable de canales por fibra óptica

La tabla de frecuencias CWDM propuesta por la UIT es definida en términos de separaciones de longitud de onda. Ésta es hecha para un espectro de 18 longitudes de onda definidas en el rango de 1270nm a 1610nm.

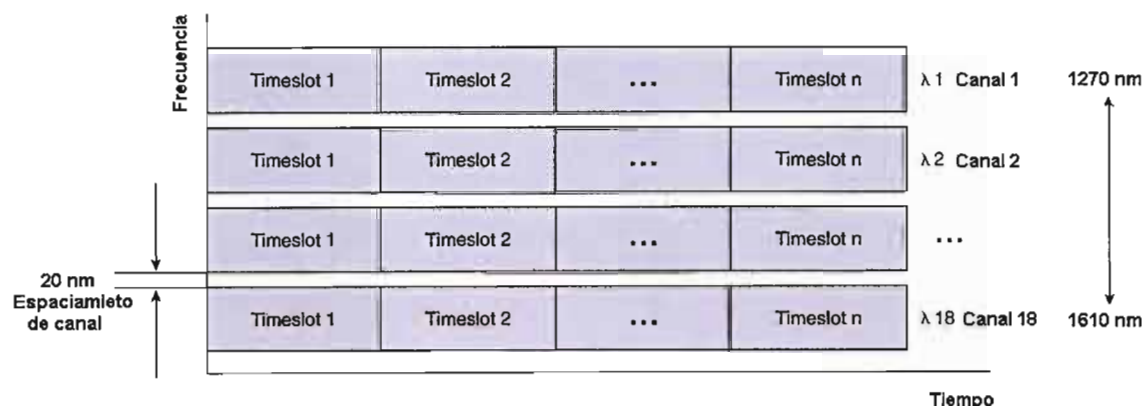


FIGURA 1.19 Esquema de CWDM²³

Entre las *ventajas y aplicaciones* de los sistemas CWDM tenemos las siguientes:

- a) Los sistemas CWDM tienden a ser menos costosos porque involucran una tecnología con un hardware mas barato, un menor consumo energético y reducido volumen de los equipos, aunque matizado con una capacidad de transmisión por la fibra óptica menor, así como también distancias

²³ ALWAYS, Vivek , Optical Network Design and Implementation, 1era. Edición, Cisco Press, Indianápolis-USA, 2004.

relativamente cortas y pocos canales de multiplexación comparado con DWDM.

- b) El CWDM es una solución ideal ante las necesidades de un incremento de ancho de banda dentro de las arquitecturas LAN (Local Area Network). Con más del 90% de las LANs que utilizan fibras multimodo, los sistemas CWDM se pueden implementar a un costo relativamente bajo. Con la migración de Ethernet al siguiente nivel, 10Gbps y los requerimientos de ancho de banda, la utilización de CWDM se incrementa drásticamente.

- c) CWDM constituye una opción atractiva en las redes metropolitanas. Por ejemplo, los sistemas de acceso de banda ancha sobre redes HFC (redes Híbridas Fibra-Coaxial) requieren a menudo la transmisión de tráfico de retorno desde los nodos HFC hacia la cabecera situada a unos 75 km de distancia de éstos, siendo CWDM un candidato ideal para esta aplicación. El alcance de las transmisiones digitales banda base sobre CWDM es de hasta 75 km, si bien en el caso de retorno analógico se tiene un alcance más reducido debido a los requisitos de relación señal a ruido. La estandarización de esta aplicación está llevándola a cabo en USA la SCTE (Society of Cable Television Engineers). Los sistemas de acceso de bucle de abonado FTTC (fiber to the curb), FTTB (fiber to the building) o FTTH (fiber to the home), caracterizados por alcances de hasta 20 km, constituyen otro campo de aplicación donde CWDM puede ser beneficioso²⁴.

- d) La mayoría de sistemas CWDM que ya se encuentran implantados en la actualidad transportan tráfico de almacenamiento SAN (Storage Area Networking) de las redes de grandes empresas. Esta aplicación se encuentra en auge últimamente y los sistemas CWDM son un candidato ideal debido a su bajo costo, por lo que nadie se preocupa de desperdiciar un canal CWDM completo para transportar un flujo ESCON de 200 Mbit/s.

²⁴ RAMOS, Francisco, "Redes ópticas basadas en CWDM". www.radioptica.com/Fibra/cwdm.asp

1.2.2.3.2 DWDM

DWDM (Dense Wavelength Division Multiplexing) es una técnica usada para incrementar la capacidad de transmisión de una fibra óptica, esto se logra transmitiendo múltiples señales en diferentes longitudes de onda a través de una sola fibra.

Cada señal obtiene una única longitud de onda, o color en el espectro de colores de la luz. Después todas las señales son transmitidas juntas y combinadas como una sola señal. En la Figura 1.20 se muestra un sistema DWDM.

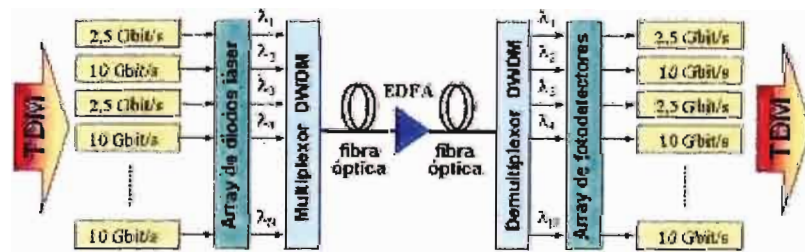


FIGURA 1.20 Sistema DWDM²⁵

Por medio de multiplexores, DWDM combina multitud de canales ópticos sobre una misma fibra, de tal modo que pueden ser amplificados y transmitidos simultáneamente. Cada uno de estos canales, a distinta longitud de onda, puede transmitir al mismo tiempo señales de diferentes formatos: SDH/SONET, IP, ATM, etc. y a distinta velocidad: OC-48/STM-16 de 2,5 Gbps, OC-192/STM-64 de 10 Gbps, etc. (Ver figura 1.20).

Los EDFA (Erbium Doped Fiber) que se muestran en la figura son amplificadores ópticos que se utilizan en DWDM para aumentar la ganancia del sistema.

DWDM y TDM trabajan en conjunto para optimizar la capacidad de la fibra. TDM genera los flujos de bits de la forma más rápida. Este tren de bits, ya sea

²⁵ RAMOS, Francisco, "Redes ópticas DWDM (Dense Wavelength Division Multiplexing)". www.radioptica.com/Fibra/dwdm.asp

sincrónico o asincrónico, es ingresado a un sistema DWDM, en conjunto con otros flujos multiplexados. Estos flujos que provienen de un sistema TDM son multiplexados a longitudes de onda asignadas para ser transportadas sobre una fibra óptica. Cada proceso incrementa el total de la capacidad del enlace. Veamos una ilustración de esto en la Figura 1.21.

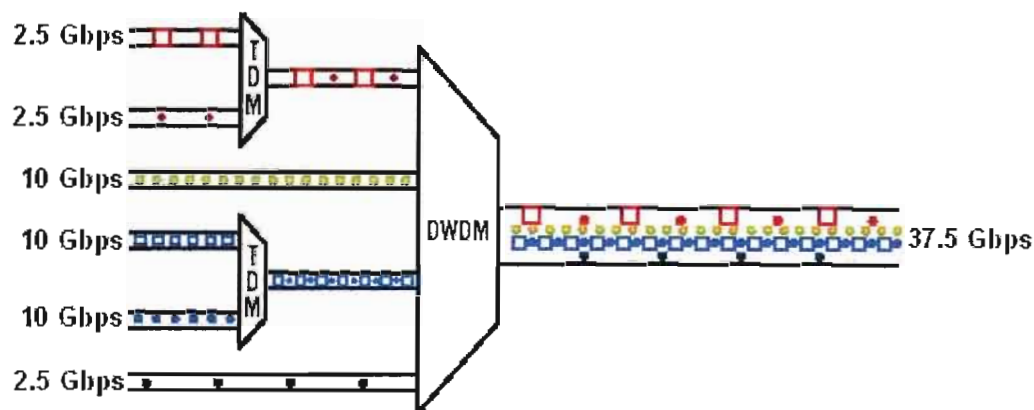


FIGURA 1.21 Incremento de la capacidad combinando TDM y DWDM

Los sistemas DWDM (Dense Wavelength Division Multiplexing) son ideales en infraestructuras ópticas de largo y pequeño alcance (*long-haul* y *short-haul*), las primeras con distancias mayores a 100 km y las segundas con distancias inferiores a 100 km. Entonces estos sistemas son apropiados en las redes metropolitanas o en las troncales en donde la demanda de capacidad es extremadamente alta.

En redes *long-haul*, la combinación de DWDM y los amplificadores de línea nos brindan una transmisión costo efectiva muy buena, ya que se pueden transmitir tasas de bit agregadas a través de una sola fibra en largas distancias. Las largas distancias en redes *long-haul* hacen prácticamente imposible el colocar mayor cantidad de fibra óptica. Y los proveedores de servicios de larga distancia ganan capacidad adicional utilizando infraestructura DWDM.

Los típicos sistemas DWDM usan lasers que tienen un velocidad de bit de 10 Gpbs (OC-192/STM-64) y pueden multiplexar a 240 longitudes de onda. Esto provee un máximo de 2.4 Tbps sobre una sola fibra óptica. Los nuevos sistemas

DWDM serán capaces de soportar velocidades de 40 Gbps por cada longitud de onda con 300 canales multiplexados, resultado de esto se podrá transmitir 12 Tbps de ancho de banda sobre una misma fibra.

La Figura 1.22, muestra el esquema de multiplexación en DWDM. Los sistemas Metro DWDM hoy en día utilizan 100 GHz a 200 GHz de espaciamento de frecuencia. Los espaciamentos comunes pueden ser de 200, 100, 50, 25 o 12.5 GHz con un canal que alcanza 300 o más canales a distancias de algunos miles de kilómetros con amplificadores y regeneradores a lo largo de la ruta²⁶.

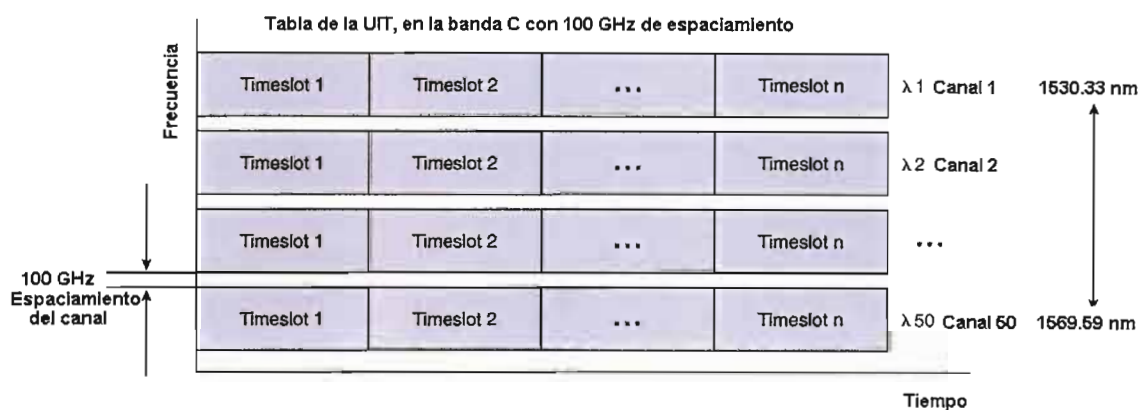


FIGURA 1.22. Esquema de DWDM

Entre las *ventajas y aplicaciones* de los sistemas DWDM tenemos las siguientes:

- a) **Transparencia.** Porque DWDM es una arquitectura de nivel físico, que puede transportar transparentemente TDM y formatos de datos tales como ATM, Gigabit Ethernet, ESCON y SONET/SDH con interfaces abiertas sobre un nivel físico común. Es posible utilizar diferentes longitudes de onda para enviar información sincrónica o asincrónica, analógica o digital a través de la misma fibra.
- b) **Escalabilidad.** DWDM puede hacer que la abundancia de fibra en las MAN y redes empresariales, permita cubrir rápidamente los aumentos de

²⁶ ALWAYN, Vivek, Optical Network Design and Implementation, 1era. Edición, Cisco Press, Indianápolis-USA, 2004.

demanda de ancho de banda de los enlaces punto a punto o de los anillos SONET/SDH actuales.

- c) Aprovisionamiento dinámico. El aprovisionamiento rápido, simple y dinámico de las conexiones de red dan a los proveedores la posibilidad de suministrar servicios de banda ancha en días en vez de meses.
- d) Modularidad. Esto permite crear una infraestructura conocida como "*grow as you go*" (crezca como usted vaya), que se basa en añadir nuevos canales ópticos de forma flexible en función de las demandas de los usuarios. Así, los proveedores de servicio pueden reducir los costos iniciales significativamente, al tiempo que desarrollan progresivamente la infraestructura de red que les servirá en el futuro.
- e) Permite incrementar las velocidades de transmisión. Ya que con la tecnología DWDM se puede multiplicar la capacidad por 4, por 8, por 16, 32 o incluso por mucho más, alcanzando (con 128 canales STM-64 ó 9953.28 Mbps) más de 1 Tbit/s sobre una única fibra.
- f) Al considerar el número de canales que DWDM puede alojar, nos sorprendemos inmediatamente. Sin embargo, no es el número de canales lo más importante, sino la velocidad que cada uno de ellos puede alcanzar y la flexibilidad que esta tecnología ofrece a los operadores en términos de escalabilidad. Por poner un ejemplo, un sistema cuya estrategia de crecimiento sea gradual, podrá iniciar implementando DWDM a 100Mbps por canal e incrementar la capacidad de cada uno hasta más de 40Gbps²⁸.
- g) Transmite una gran variedad de señales ópticas diferentes. Cada una de las señales puede ser a una velocidad distinta (STM-1/OC-3, STM-16/OC-48, STM-64/OC-192, etc.) y con un formato diferente (ATM, Frame Relay, FDDI, ESCON, FICON, y/o Ethernet).

²⁸ CINIT, "WDM. Una Tecnología con Fibra". www.cinit.org.mx/articulo.php?idArticulo=1

- h) La construcción de anillos ópticos flexibles encuentra en DWDM una tecnología muy apropiada ya que se puede enviar la misma información en dos longitudes de onda distintas y monitorizar en el receptor el resultado; si se producen errores en un canal se conmuta al otro de forma inmediata. El resultado es similar al que se obtiene en SDH con un anillo doble, pero utilizando dos longitudes de onda en lugar de dos fibras, lo que resulta más económico, aunque evidentemente si la fibra se rompe la comunicación se corta.

- i) La propuesta de DWDM es sencillamente aumentar la capacidad de la fibra existente, y mantener la tecnología instalada, simplemente es añadir equipos con esta tecnología en puntos estratégicos e inmediatamente tener mucha más capacidad de transporte, a un costo accesible, y con la facilidad de disminuir los precios al usuario. De esta manera se construye una ventana de oportunidades tanto a empresas del sector corporativo como a *carriers* de volverse más competitivos en sus negocios y hacer uso de aplicaciones demandantes de grandes anchos de banda.

- j) Para las redes *long-haul*, similares a las redes WAN en cuanto a cobertura, esta tecnología es de suma importancia, debido a que muchos de los proveedores de servicios de telecomunicaciones estaban muy limitados al crecimiento, porque el expandir sus redes era sumamente costoso y tardado.

- k) DWDM es el claro ganador en las redes de área metropolitana (MAN). Muchos proveedores de servicios tratando de acomodar la creciente demanda de las MANs, se han encontrado que las capacidades del SONET no son escalables con suficiente rapidez. Mientras que SONET no puede exceder generalmente de los 2,5 Gbps, los proveedores de servicios están inundados con demandas de Gigabit Ethernet, así como de servicios DS3, OC-3 y OC-12, y DWDM cumple perfectamente con estas demandas. Lo que le da valor añadido en el mercado metropolitano, es su rápido y flexible aprovisionamiento de tráfico, transparencia en cuanto a la

velocidad, servicios protegidos, junto a la posibilidad de ofrecer nuevas y más altas velocidades a menor costo.

- l) Las aplicaciones que actualmente se están usando con esta tecnología incursionan en el sector de la educación que se compone de escuelas distritales, universidades, colegios, etc. En este sector se ha visto que las aplicaciones más comunes son las redes de telecomunicaciones para voz, datos y video. Con esto se destacan aplicaciones como educación a distancia entre diferentes campus de las universidades, efectuando investigaciones y trabajando en diferentes sitios sobre un mismo archivo al mismo tiempo. Otra aplicación que también se destaca es la de tener un sitio espejo para contingencias en donde se tiene una réplica de las bases de datos tanto académicas como de la biblioteca.
- m) En el sector gubernamental que se compone de instituciones federales, estatales y municipales. Aquí las aplicaciones que se ven beneficiadas con esta tecnología son:
- Redes convergentes de voz, datos y video, en donde se mejoran las comunicaciones gubernamentales con los ciudadanos y entre las diferentes dependencias.
 - Aplicaciones de SAN (*Storage Area Network*), que con DWDM es posible interconectar dispositivos de almacenamiento masivo y verlos como una sola entidad.
- n) En el sector financiero que se compone de todas las instituciones de crédito y financieras. Haciendo referencia al atentado del 11 de septiembre de 2001 en Estados Unidos, surge la necesidad de contar con sitios de contingencia y con un plan de recuperación de desastres, esta es una aplicación típica para DWDM, debido a que se forma un anillo de fibra óptica entre dos centros de datos y se mantienen operado en línea ambos sitios. En caso de que uno falle el otro continúa con la operación.

- o) En el sector de la salud compuesto por hospitales e instituciones de salud. Esta tecnología permite la distribución de imagenología, expedientes médicos, así como intervenciones quirúrgicas a distancia.

1.2.2.3.3 Rejilla UIT²⁷

Según las especificaciones de la UIT en la recomendación G.694.1, los sistemas DWDM son caracterizados por una rejilla en donde consta una gama de frecuencias con un espaciamiento de canal de 100 GHz. Esto con el fin de permitir la interoperabilidad de equipos de diferentes fabricantes, ellos pueden elegir que longitudes de onda de la rejilla quieren utilizar, pero solo deben utilizar longitudes de onda que se encuentran en la rejilla. Tomando únicamente canales pares o impares se dispone de una rejilla con espaciado de 200 GHz, o uno de cada cuatro una rejilla de 400 GHz.

Además de la rejilla con 100 GHz de separación hay otra con separación de 50 GHz, para sistemas que soporten una mayor densidad de canales. La rejilla de 100 GHz es adecuada para sistemas de 16 a 40 canales, la de 200 GHz para 8 a 16 y la de 400 GHz para sistemas de 2 o 4 canales.

En el mercado existen sistemas que utilizan separaciones de 25 GHz, pero este espaciado de canales aun no esta estandarizado por la ITU.

En el Anexo 1, se encuentra la rejilla de frecuencias establecida por la UIT para DWDM especificada en la recomendación G.694.1.

1.2.3 SISTEMAS DWDM

1.2.3.1 Funciones del sistema DWDM

El sistema DWDM consta de un pequeño número de funciones de nivel físico. En la Figura 1.23 se indica este sistema y a continuación se describe las funciones principales.

²⁷ MONTAÑANA, Rogelio, "Redes Ópticas". www.uv.es/~montanan/mondragon/mgn2002-RO.ppt

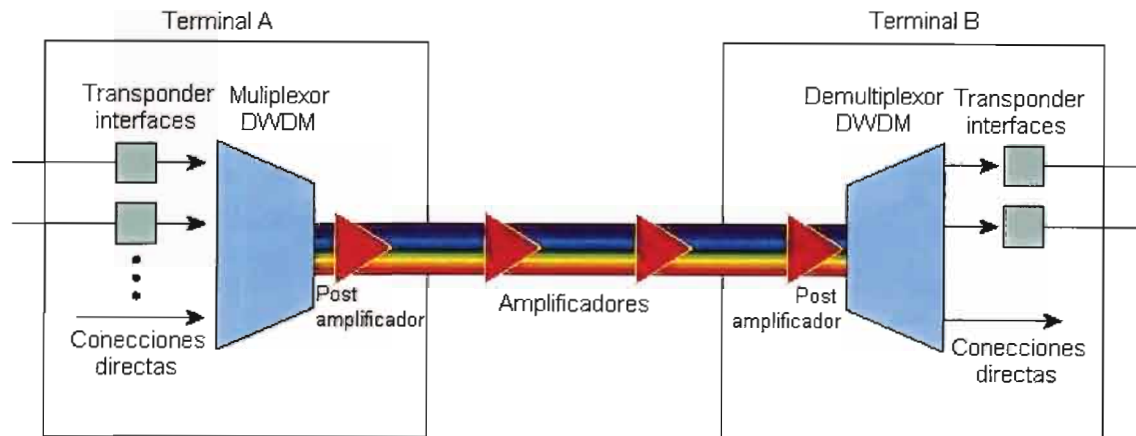


FIGURA 1.23 Funciones del sistema DWDM

- 1.- El transponder o trasladador de longitud de onda, acepta la entrada en la forma de un láser estándar monomodo o multimodo. La entrada puede venir de distinto medio físico y con diferentes tipos de tráfico. La longitud de onda de cada señal de entrada es mapeada a una longitud de onda DWDM.
- 2.- Luego se produce una combinación de señales, para esto se usa los multiplexores. Las longitudes de onda DWDM del transponder son multiplexadas en una sola señal óptica y enviada a la fibra. El sistema puede incluir la posibilidad de aceptar señales ópticas directas al multiplexor, tales señales pueden venir, por ejemplo, de un satélite.
- 3.- Hay alguna pérdida inherente asociada a la multiplexación y demultiplexación. Esta pérdida depende del número de canales pero se puede mitigar con amplificadores ópticos que amplifican todas las longitudes de onda a la vez sin conversión eléctrica. Para esto se utiliza un post-amplificador a la salida del sistema.
- 4.- El siguiente paso es la transmisión de señales que se lo hace por la fibra óptica, sin embargo, los efectos de diafonía y la degradación o pérdida de la señal óptica deben ser considerados en la transmisión por la fibra. Estos efectos pueden ser minimizados mediante el control de las variables tales como el espaciado entre canales, la tolerancia de la longitud de onda, y los

niveles de potencia del láser. En un enlace óptico se usan amplificadores ópticos para una amplificación de la señal.

- 5.- Un pre-amplificador refuerza la señal antes de que entre en un extremo del sistema.
- 6.- Inmediatamente viene la separación de las señales recibidas. En el lado del receptor, las señales multiplexadas deben ser separadas en lambdas (longitudes de onda) individuales. Aunque esta tarea parece ser simplemente el opuesto a la combinación de señales, en la actualidad es técnicamente más difícil.
- 7.- Finalmente está la recepción de señales, en donde la señal demultiplexada es recibida por un fotodetector y cada lambda individual es mapeada según el tipo de salida requerido. Si el cliente tiene servicio de fibra óptica sus equipos deben estar equipados con interfaces para recibir la señal. Esta función la pueden realizar por ejemplo los transivers ópticos (convertidores optoelectronicos).

1.2.3.2 Parámetros de transmisión en sistemas DWDM

Los sistemas DWDM tienen una gran importancia en la capa óptica, ésta es responsable del transporte de las señales a través de la red. Algunos parámetros básicos concernientes a la transmisión óptica son explicados a continuación.

1.2.3.2.1 Espaciamento del canal

El espaciamento del canal es la mínima frecuencia de separación entre las diferentes señales multiplexadas en la fibra, como ya se dijo anteriormente pueden ser de 200, 100, 50, 25 o 12.5 GHz. Los espaciamientos que actualmente

están estandarizados por la UIT son los de 50 y 100 GHz y constan en la recomendación G.694.1.²⁹

Cuanto menor sea el espaciado, mayor será la diafonía. Además el impacto de algunas no linealidades de la fibra, tales como FWM (Mezclado de cuatro ondas), las incrementa. Y dependiendo de los equipos, a medida que el espaciado disminuye también se limita la máxima velocidad de datos por longitud de onda que se desea transmitir.

1.2.3.2.2 Dirección de la señal

Los sistemas DWDM pueden ser implementados de dos formas, unidireccionales y bidireccionales. En los sistemas unidireccionales todas las longitudes de onda viajan en una misma dirección en la fibra y se necesitan dos de estas para la transmisión en ambos sentidos. Por otro lado, en los sistemas bidireccionales, el canal es subdividido en dos bandas, una para cada dirección. Esto quita la necesidad de una segunda fibra, pero se reduce la capacidad del ancho de banda a transmitirse.

1.2.3.2.3 Ancho de banda de la señal

Los sistemas DWDM son capaces de transportar señales ópticas con grandes anchos de banda. Los típicos sistemas DWDM usan láseres que tienen una velocidad de bit de 10 Gpbs (OC-192/STM-64) y pueden multiplexar a 240 longitudes de onda, esto provee un máximo de 2.4 Tbps sobre una sola fibra óptica. Los nuevos sistemas DWDM serán capaces de soportar velocidades de 40 Gbps (OC-768/STM-256) por cada longitud de onda con 300 canales multiplexados, resultado de esto se podrá transmitir 12 Tbps de ancho de banda sobre una misma fibra. Todo esto obviamente condicionado a la posibilidad de transmisión de la fibra óptica y de los sistemas de conmutación.

²⁹ ALWAYN, Vivek, Optical Network Design and Implementation, 1era. Edición, Cisco Press, Indianápolis-USA, 2004.

1.2.3.2.4 Potencia de la señal

Según la ecuación 1.5, la potencia de la señal en los sistemas ópticos, decrece exponencialmente con la distancia. La potencia de entrada es proporcionada directamente por el láser emisor y la potencia de salida es el resultado de una amplia gama de sucesos que se presentan a lo largo del enlace óptico como son: atenuación, dispersión, efectos no lineales en las fibras ópticas, amplificación óptica, conversión optoelectrónica, etc.

1.2.3.2.5 Codificación³⁰

Las señales eléctricas que las diferentes portadoras de información llevan son codificadas cuando son convertidas a señales ópticas para su transmisión y son decodificadas en el receptor óptico donde serán nuevamente convertidas a señales eléctricas. Los tipos de codificación más utilizados en el dominio óptico son: no retorno a cero (NRZ) y retorno a cero (RZ).

La codificación NRZ o *no retorno a cero* (Figura 1.24) es un método de transmisión donde se hace las siguientes asignaciones a partir de la señal de datos:

- Un 1 representa una señal de luz para un período de bit
- Un 0 representa una ausencia de luz para un período de bit.

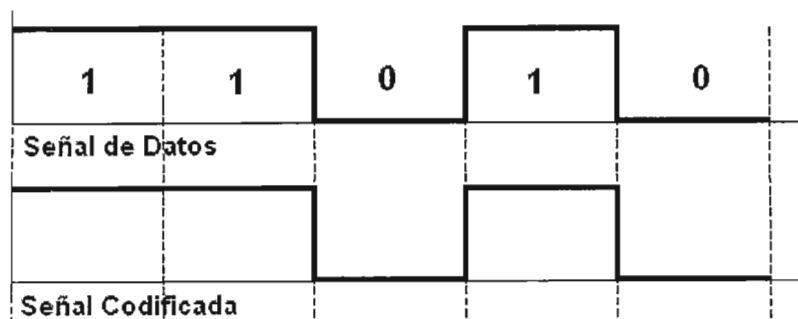


FIGURA 1.24 Codificación no retorno a cero

³⁰ GUMASTE, Ashwin; ANTHONY, Tony, DWDM Network Designs and Engineering Solutions, 1era. Edición, Cisco Press, Indianápolis-USA, 2002.

La codificación RZ o *retorno a cero* (Figura 1.25), es un método de transmisión donde se hace las siguientes asignaciones a partir de la señal de datos:

- Para un 1 hay la presencia de un pulso de luz en un medio período de bit
- Para un 0 no hay presencia de luz para un período completo de bit.

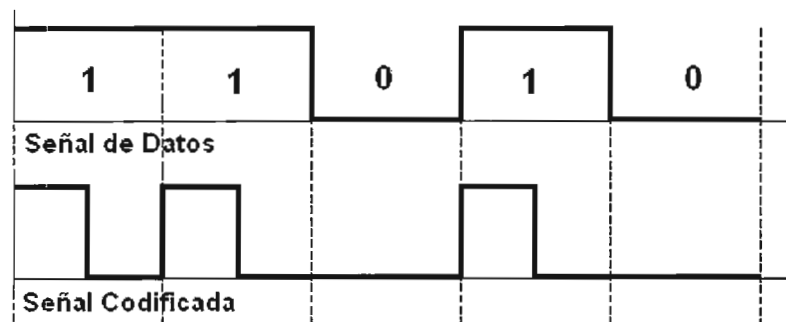


FIGURA 1.25 Codificación retorno a cero

1.2.3.2.6 Taza de bit errado (BER)³¹

La tasa de bits errados (BER) es la tasa de bits errados en un total de bits transmitidos. Típicamente valores de BER de 10^{-12} son característicos de SONET y 10^{-15} para redes DWDM especialmente en redes long haul. El valor de 10^{-15} quiere decir 1 bit errado en 10^{15} bits transmitidos.

1.2.3.2.7 Relación señal a ruido óptico

El ruido se presenta en sistemas ópticos que incluyen procesos de amplificación. El OSNR (relación señal a ruido óptico) especifica la razón entre la potencia neta de la señal, P_s (dB) y la potencia neta del ruido P_n (dB). Matemáticamente se la expresa de la siguiente manera:

$$OSNR = 10 \log \frac{P_s}{P_n} \quad (1.7)$$

1.2.3.3 Componentes de un sistema DWDM

³¹ FUJITSU, "Prerequisite Training, Tutorial DWDM".
www.fujitsu.com/downloads/TEL/fnc/pdfservices/dwdm-prerequisite.pdf

Las redes ópticas DWDM, consisten básicamente en 5 componentes, los cuales son: transponders, multiplexores y demultiplexores, fibra óptica, amplificadores ópticos, y el receptor.

1.2.3.3.1 Transponders

Los transponders cambian la señal de un formato eléctrico (bits) a pulsos ópticos a una frecuencia específica. Se usan los lasers como fuentes de luz para éste propósito. Los láseres emiten un pulso de luz coherente, es decir a una misma frecuencia y fase; pueden emitir luz con un ancho espectral estrecho y mayor potencia luminosa por unidad de área que los LEDs.

1.2.3.3.2 Multiplexor y Demultiplexor

Los multiplexores ópticos combinan las diferentes longitudes de onda discretas para ser enviadas por la fibra óptica en donde viajarán simultáneamente. Cada longitud de onda lleva su propia información y representa un canal. El demultiplexor en cambio se encarga de hacer el proceso inverso del multiplexor.

Una forma simple de multiplexar y demultiplexar la luz se puede hacer con un prisma. En la Figura 1.26, se muestra un caso de demultiplexación. Un rayo paralelo de luz policromática incide en la superficie de un prisma, cada componente de longitud de onda es refractado de forma distinta; es el efecto arco iris. En la luz de salida, cada longitud de onda se distingue del siguiente mediante un ángulo, entonces una lente enfoca cada longitud de onda a un punto donde necesita entrar en una fibra. Los mismos componentes se pueden usar de forma inversa para multiplexar diferentes longitudes de onda en una fibra.

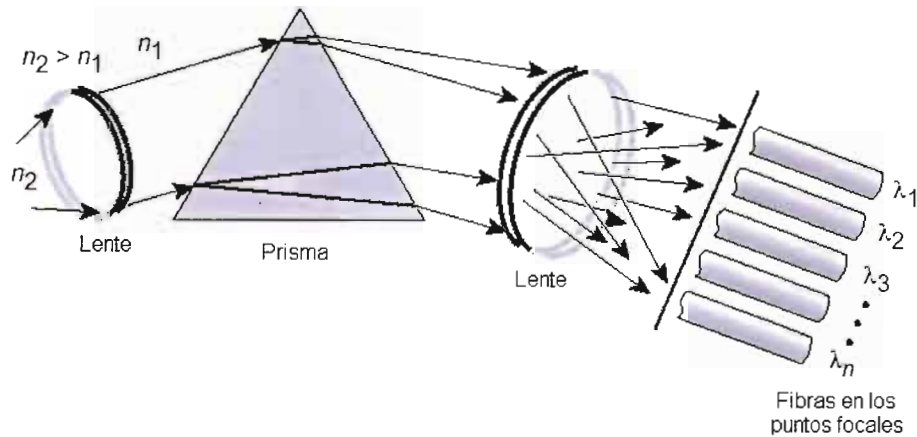


FIGURA 1.26 Esquema de demultiplexación óptica³²

Muchas tecnologías son usadas para la multiplexación y demultiplexación óptica, incluidas las siguientes: Thin Film Filter (TFF) o filtros de película delgada y Arrayed Waveguide (AWG) o matriz de rejillas de guía de onda.

Los TFF emplean varios filtros de película delgada en el camino óptico. La propiedad de cada filtro es tal que transmite una longitud de onda mientras refleja las demás. Colocando en cascada varios filtros, se pueden demultiplexar muchas longitudes de onda³³. Esto se puede ver en la Figura 1.27.

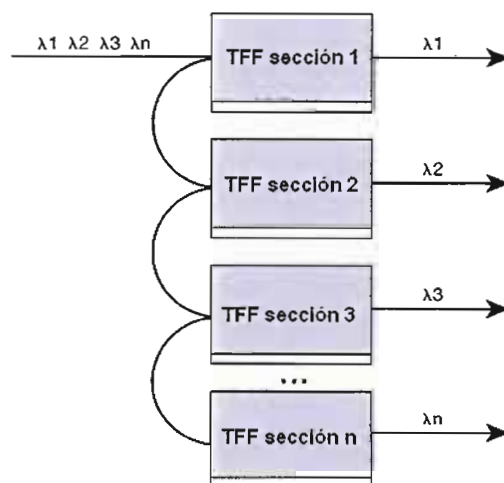


FIGURA 1.27 Filtros de película delgada

³² CISCO SYSTEMS, "Introduction to DWDM Technology".

www.cisco.com/univercd/cc/td/doc/product/mels/cm1500/dwdm/dwdm_ovr.pdf

³³ ALWAYS, Vivek, Optical Network Design and Implementation, 1era. Edición, Cisco Press, Indianápolis-USA, 2004

Las AWGs (matriz de rejillas de guía de onda) se basan en los principios de la difracción. Un dispositivo AWG, a veces llamado enrutador óptico de guía de onda o enrutador de rejilla de guía de onda, consiste en una matriz de guías de onda curvadas con una diferencia fija en la longitud del camino entre canales adyacentes. Las guías de onda están conectadas a cavidades en la entrada y la salida. Cuando la luz entra en la cavidad de entrada, es difractada y entra en la matriz de guías de onda. Allí la diferente longitud óptica de cada guía de onda introduce un desfase en la cavidad de salida, donde un conjunto de fibras está acoplado. El proceso consigue que diferentes longitudes de onda tengan la máxima interferencia en diferentes ubicaciones, que corresponden a los puertos de salida. Esto se puede ver en la Figura 1.28.

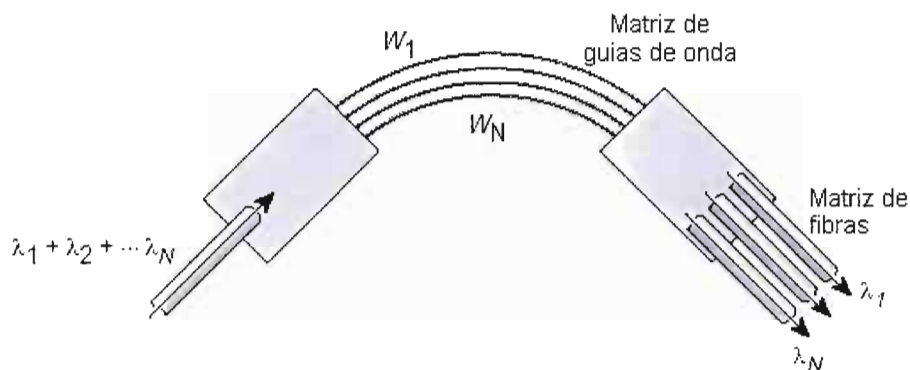


Figura 1.28 Esquema de un dispositivo AWG

1.2.3.3.3 Fibra óptica

La fibra es uno de los componentes más críticos de los sistemas DWDM, esta provee el medio físico de transporte.

En el ambiente DWDM se tiene las siguientes clases de fibra según las recomendaciones de la UIT:

- Fibra NDSF (Fibra de dispersión no desplazada); Recomendación UIT G.652
- Fibra DSF (Fibra de dispersión desplazada); Recomendación UIT G.653
- Fibra NZDSF (Fibra de dispersión desplazada no nula); Recomendación UIT G.655

La fibra denominada NDSF, es ya considerada fibra convencional o fibra estándar. El tipo de dispersión que aparece mayoritariamente aquí es la dispersión cromática, pues tiene una alta dispersión en la ventana de los 1550 nm, debido a esto, no se adapta completamente al entorno DWDM. Sin embargo no aparecen problemas mayores para alojar simultáneamente diferentes longitudes de onda, y esto resulta beneficioso para que el efecto FWM (Four Wave Mixing) no se produzca, pero es necesario controlar dos efectos no lineales que generan un nivel de distorsión apreciable como son, el SMP (Self Phase Modulation) y el XPM (Cross Phase Modulation). Además por estar diseñada para sistemas OC-48 (de 2 Gbps) no se adaptan bien a los requerimientos de 10 Gbps asociados a OC-192.

La fibra DSF corresponde a la segunda generación de la fibra óptica. Su diseño se basa en un desplazamiento de la llamada longitud de onda de dispersión cero, que en el caso de la fibra convencional G.652 es de 1300 nm (longitud de onda para la cual el parámetro de dispersión es cero). Si esa longitud de onda para la cual se tiene dispersión cero se desplaza desde 1300 a 1550 nm, lo cual se puede conseguir modificando el perfil del índice de refracción de la fibra, se tiene una dispersión de cero a 1550 nm. Este tipo de fibra se adapta bien a velocidades de hasta varios Gbps, pero es poco eficaz en los sistemas DWDM debido al efecto FWM (Four Wave Mixing) que aparece en esta fibra.

La tercera y última generación de fibras, denominadas NZDSF, está liberada completamente del efecto FWM soportando sin problemas velocidades superiores a los 10 Gbps, comunes en DWDM y con niveles de dispersión muy bajos.

1.2.3.3.4 Amplificador óptico

A causa de la atenuación, hay límites en cuanto a la longitud del segmento de fibra utilizada para la transmisión de las señales. Si se sobrepasan es necesaria una regeneración de la señal. Antes de la existencia de los amplificadores ópticos, había que poner un repetidor por cada señal transmitida. Los amplificadores ópticos han hecho posible el poder amplificar todas las longitudes de onda a la

vez y sin necesidad de conversión OEO (Óptico Eléctrico Óptico). Además de ser usados en enlaces ópticos los amplificadores también se pueden usar para aumentar la potencia de la señal después de la multiplexación o antes de la demultiplexación, dado que ambos procesos introducen pérdidas en el sistema.

Los amplificadores más usados en los sistemas DWDM son el EDFA (Erbium Doped Fiber Amplifier) y el amplificador RFA (Raman Fiber Amplifier)

En el amplificador EDFA se utiliza el erbio, este es un raro elemento que cuando se excita, emite una luz alrededor de $1.54 \mu\text{m}$, que es la longitud de onda de menor pérdida para las fibras ópticas usadas en DWDM.³⁴

En la Figura 1.29, se ve un diagrama de un EDFA. Una señal débil entra en una fibra dopada con erbio, y una luz a 980 nm o 1480 nm es inyectada mediante una bomba láser. De esta manera la luz inyectada estimula los átomos de erbio que liberan su energía almacenada como luz adicional de 1550 nm. Como este proceso continua por la fibra unos 10 a 50 m, la señal se refuerza, pero las emisiones espontáneas en el EDFA también añaden ruido a la señal.

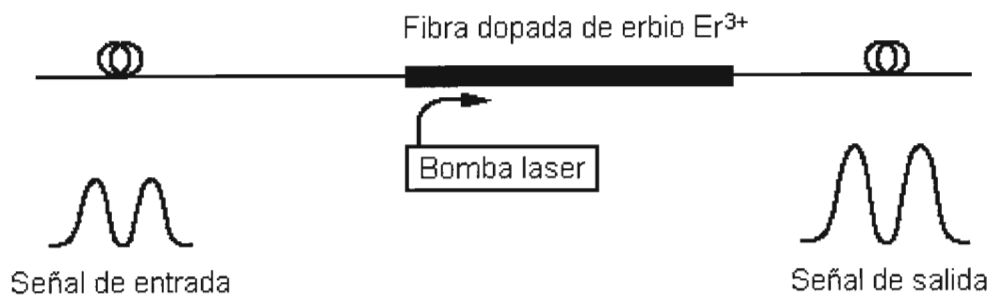


Figura 1.29 Amplificador EDFA

Los parámetros importantes de los amplificadores ópticos son la ganancia, la igualdad de ganancia, el nivel de ruido y la potencia de salida. Típicamente los EDFAs son capaces de ganancias de hasta 30 dB o más y potencias de salida de +17 dB o más. Sin embargo cuando se selecciona un EDFA, es clave el bajo ruido

³⁴ SERRANO, M, "Fibras ópticas y redes de comunicación".
<http://nmg.upc.es/~mserrano/pdf%20files/%5BNSCD%5DFOYRedesdeComunicacion.pdf>

y la igualdad de la ganancia. La ganancia debe ser plana porque todas las señales deben ser amplificadas uniformemente. El bajo ruido es también un requerimiento porque el ruido es amplificado con la señal. Dado que su efecto es acumulativo, y no se puede filtrar, la relación señal /ruido es un factor limitativo en el número de amplificadores que se pueden concatenar.

En la práctica, las señales pueden viajar hasta 120 km entre amplificadores. A distancias superiores de 600 a 1000 km la señal se debe regenerar. Esto es porque el amplificador óptico solo amplifica las señales y no realiza las funciones 3R (Restitución de la forma de la señal, Resincronización y Regeneración). Los EDFAs se pueden emplear en las bandas C y L.³⁵

Los amplificadores Raman usan los efectos de la dispersión estimulada de Raman (SRS). La amplificación Raman ocurre cuando unos potentes láseres bombean señales de baja longitud de onda (aproximadamente 100 nm) y se hacen propagar a través de una fibra en dirección opuesta (en general y, en algunos casos en ambas direcciones) a la propagación de los canales DWDM. Estos láseres, en longitudes de onda de 100 nm menores a las de la banda que se desea amplificar, proveen amplificación a las señales transmitidas, disminuyendo la atenuación del segmento de fibra y, por lo tanto, mejorando la relación señal-ruido. La amplificación Raman es un efecto no lineal, es decir, es más intenso cuanto menor es el área del núcleo de la fibra. En la Figura 1.30, se muestra gráficamente como se supera la atenuación usando los RFAs a lo largo de la fibra.³⁶

³⁵ CISCO SYSTEMS, "Introduction to DWDM Technology".
www.cisco.com/univercd/cc/td/doc/product/mels/cm1500/dwdm/dwdm_ovr.pdf

³⁶ GUMASTE, Ashwin; ANTHONY, Tony, DWDM Network Desings and Engineering Solutions, 1era. Edición, Cisco Press, Indianápolis-USA, 2002.

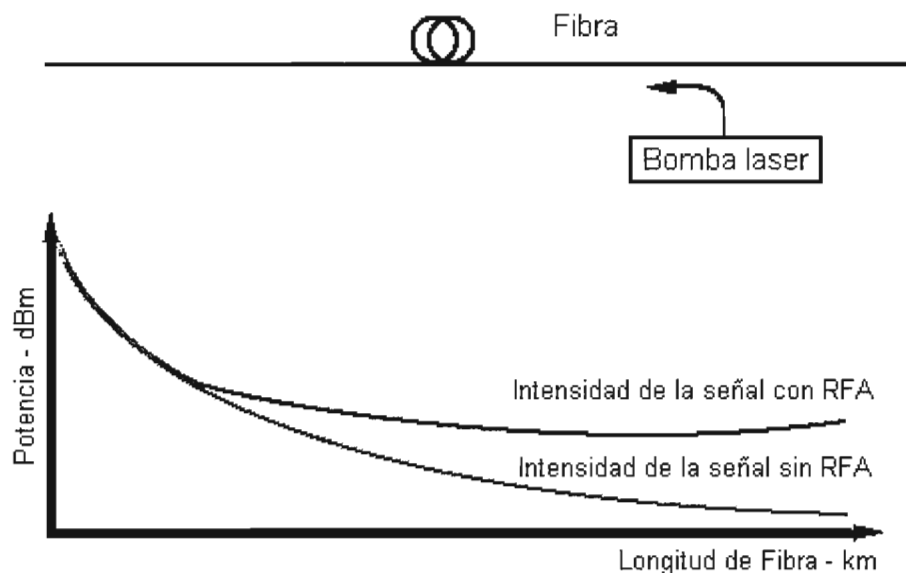


FIGURA 1.30 Mejoramiento de los niveles de potencia a través de la fibra utilizando los RFAs.

A continuación, en la Tabla 1.2 se hace una comparación de estos dos amplificadores estudiados:

Parámetro	Tipo de amplificador	
	EDFA	RFA
Ganancia	~30 dB	~20–25 dB
Potencia de salida	Alta	Alta
Potencia de entrada	Moderada	Alta
Cross Talk	Bajo	Bajo
Inclinación de ganancia	Alto	Bajo
Banda utilizada	C, L	S, C, L, U
Aplicación	Redes Metro y long haul	Redes long haul y ultra long haul

Tabla 1.2 Comparación de los amplificadores ópticos EDFA y RFA³⁷

1.2.3.3.5 El Receptor

Los receptores detectan los pulsos ópticos y los convierten a señales eléctricas (bits). Típicamente usan fotodiodos para convertir la energía de los fotones a

³⁷ ALWAYS, Vivek, Optical Network Design and Implementation, 1era. Edición, Cisco Press, Indianápolis-USA, 2004.

electrones. En la Figura 1.31, se muestra un sencillo esquema de un receptor. Los receptores usados en sistemas DWDM son mucho más complejos, porque tienen que trabajar con todas las velocidades de bit especificadas y protocolos.

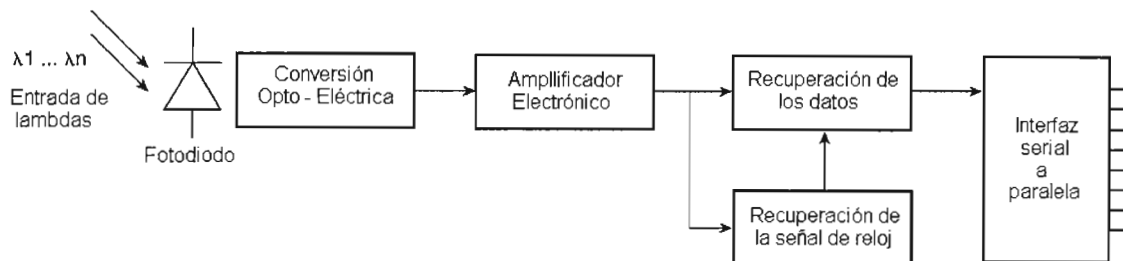


FIGURA 1.31 Esquema de un receptor óptico

Los detectores ópticos más utilizados en los receptores son los diodos PIN y APDs. Algunas características importantes de estos fotodetectores están descritas anteriormente en la sección 1.1.4.3.

Además de estos elementos de red en los sistemas DWDM, también podemos encontrar los OADM (Optical Add/Drop Multiplexer, Multiplexores ópticos de inserción/extracción) y los OXC (Optical Cross Connect, Conector cruzado óptico).

Entre puntos de multiplexación y demultiplexación de los sistemas DWDM, hay un área en la que existen múltiples longitudes de onda. A menudo es deseable remover o insertar una o más longitudes de onda en algún punto del enlace. Un multiplexador óptico add/drop (OADM) realiza esta función. Más que combinar o separar todas las longitudes de onda, los OADM pueden remover algunas mientras dejan pasar las restantes.

El 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 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. Sin embargo hay en el mercado OXCs que se basaban en conversión óptica-eléctrica-óptica (OEO) junto con una matriz electrónica para realizar la conmutación. Desde un punto de vista más

abstracto y puramente conceptual, un OXC se puede definir como un dispositivo que hace que una señal en determinado punto A se dirija a un punto B o a un punto C (Figura 1.32). Así, 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.

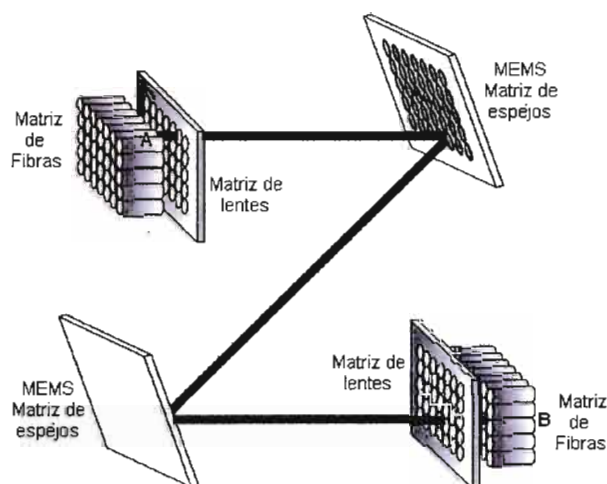


FIGURA 1.32 Funcionamiento de un conector cruzado óptico³⁸

Como se muestra en la Figura 1.33, los OXC puramente ópticos utilizan los MEMS (Sistemas Mecánicos Micro Electrónicos). Estos dispositivos consisten en una matriz de microespejos que pueden activarse por medio de señales eléctricas. Las señales ópticas de entrada viajan a la superficie donde se sitúan los espejos hasta que encuentran un espejo que las refleja y/o redirige hacia otra dirección. De este modo, controlando la posición de los espejos activos es posible conmutar las señales de las fibras de entrada hacia cada una de las fibras de salida.

Los OXC pueden ser de tres tipos: F-OXC (OXC de fibra a fibra), WR-OXC (OXC con enrutamiento de lambdas) y los WT-OXC (OXC con traslación de lambdas). A continuación en la Figura 1.33 se muestra los tipos de OXC.

³⁸ BERNSTEIN, Greg; RAJAGOPALAN, Bala; SAHA, Debanjan, Optical Network Control: Architecture, Protocols, and Standards, 1era. Edición, Addison Wesley, EE UU, Julio 2003.

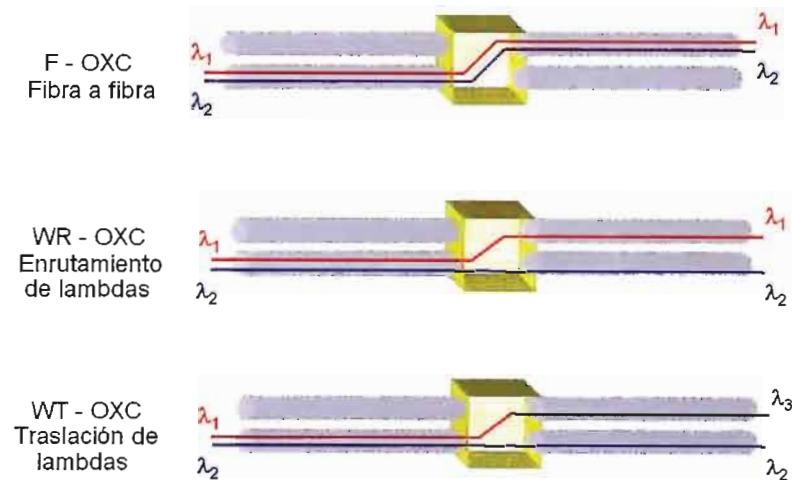


FIGURA 1.33 Tipos de OXC

Los F-OXC desvían todas las lambdas de un anillo a otro. Son los más sencillos ya que simplemente han de desviar todas las señales de una fibra a otra. Los WR-OXC permiten segregar una serie de lambdas de una fibra y meterlas en otra, manteniendo inalterado el resto de lambdas de la misma fibra. Y los WT-OXC son los más complejos. Permiten desviar una lambda como los WR-OXC pero además son capaces de modificar su longitud de onda. Esto permite meter una señal que viaja por una fibra en otra aún en el caso de que la lambda de la señal original ya se encuentre utilizada en la fibra de destino.

En las redes GMPLS/DWDM el OXC es un elemento integrado en el nodo de red, que permite la interconexión de los enlaces ópticos en el backbone y los mecanismos de señalización y enrutamiento.

1.2.3.4 Topologías de red en sistemas DWDM

Las topologías red se basan en muchos factores, incluyendo tipos de aplicaciones y protocolos, distancias, uso y formas de acceso, y topologías de redes antiguas. En el mercado metropolitano podemos encontrar por ejemplo:

- Topologías punto a punto, las cuales se pueden usar para conectar distintas ubicaciones de empresas.

- Topologías en anillo para conectar sucursales entre si, y para accesos residenciales.
- Topologías malladas que se pueden usar para conexiones entre POP (Punto de Presencia) y conexiones al backbone.

Hoy las principales topologías que se instalan son punto a punto y en anillo. Con los enlaces punto a punto sobre DWDM entre grandes centros empresariales, solamente hay necesidad como premisa de usuario, convertir el tráfico de aplicación a longitudes de onda específicas y su multiplexación.

Las topologías punto a punto se pueden implementar con o sin OADM multiplexor óptico add/drop descrito anteriormente. Estas redes se caracterizan por las ultra velocidades por canal (10 a 40 Gbps), alta integridad y fiabilidad de la señal. En la Figura 1.34, podemos ver el modelo de esta red.



FIGURA 1.34 Topología DWDM punto a punto

La topología en anillo es la más común en las redes metropolitanas. Las configuraciones en anillo se pueden instalar con uno o más sistemas DWDM, soportando cualquier tipo de tráfico, o pueden tener un concentrador y unos o más nodos OADMs. En el nodo del concentrador el tráfico se origina, se termina y se controla, y a su vez da conectividad con otras redes establecidas. En los nodos OADMs, las longitudes de onda seleccionadas son removidas o añadidas, mientras que las demás pasan de forma transparente (Figura 1.35). De esta manera, las arquitecturas en anillo permiten que los nodos suministren acceso a

elementos de red como ruteadores, conmutadores o servidores con añadir o remover canales de longitud de onda en el dominio óptico. Sin embargo incrementando el número de OADMs, la señal tiene más pérdidas y se puede necesitar amplificación.

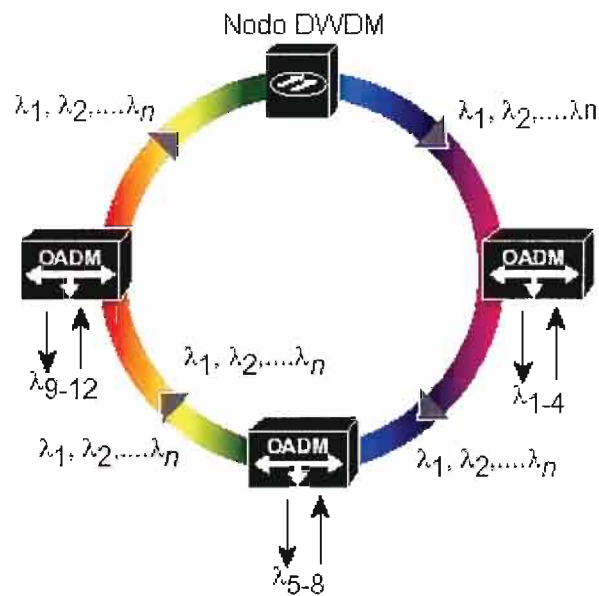


FIGURA 1.35 Topología DWDM en anillo

Las topologías malladas son el futuro de las redes ópticas. A medida que las redes evolucionan, las arquitecturas punto a punto y en anillo aún tendrán cabida, pero la malla suministra una topología más robusta. Figura 1.36.

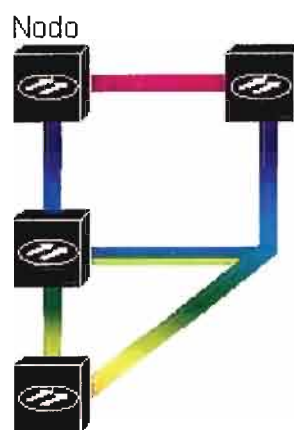


FIGURA 1.36 Topología tipo malla

Las redes malladas requieren un alto grado de inteligencia para realizar las funciones de enrutamiento, señalización y gestión de la red, es por eso que se necesita un software adecuado de gestión. Y precisamente el conjunto de protocolos de GMPLS (Generalized Multiprotocol Label Switching, Multiprotocolo de distribución de etiquetas generalizado) están diseñados para ésto.

1.3 FUNDAMENTOS DE LA TECNOLOGÍA GMPLS

1.3.1 ANTECEDENTES

1.3.1.1 Multiprotocol Label Switching (MPLS)

El problema fundamental que presentaban las diferentes soluciones de conmutación IP era la falta de interoperatividad entre los productos de diferentes fabricantes. Además de esto, la mayoría de estas soluciones usaban ATM como transporte, pues no podían operar sobre infraestructuras de transmisión mixtas.

Se quería obtener un estándar que pudiera funcionar sobre cualquier tecnología de transporte de datos en el nivel de enlace. De aquí el Grupo de Trabajo de MPLS que se estableció en el IETF (Internet Engineering Task Force) en 1977 se propuso como objetivo la adopción de un estándar unificado e interoperativo (RFC 3031).

Los objetivos establecidos por este grupo en la elaboración del estándar eran:

- MPLS debía funcionar sobre cualquier tecnología de transporte, no sólo ATM.
- MPLS debía soportar el envío de paquetes tanto bajo demanda unidifusión (unicast) como multidifusión (multicast).
- MPLS debía ser compatible con el Modelo de Servicios Integrados del IETF, incluyendo el protocolo RSVP (Resource Reservation Protocol).
- MPLS debía permitir el crecimiento constante de la Internet.

- MPLS debía ser compatible con los procedimientos de operación, administración y mantenimiento de las actuales redes IP.

La principal característica que distingue al MPLS es que combina las capacidades de ejecución o rendimiento (performance) de la conmutación de Capa 2 (Capa de enlace de datos), con la escalabilidad del ruteo de la Capa 3 (Capa de red).

Se le llama un "Multiprotocolo" porque sus técnicas son aplicables a cualquier protocolo de capa 3 (Red).

En una red IP tradicional, un router conmuta los paquetes de una interfaz de entrada a una interfaz de salida; además, actualiza la información de enrutamiento. Para enviar los paquetes, debe examinar la cabecera del paquete IP para cada paquete. Estas dos funciones, envío y enrutamiento, tienen lugar en cada salto que realiza un paquete para cada uno de los paquetes que atraviesan la red. Lo que se busca con MPLS a este respecto es llevar las funciones de enrutamiento únicamente a los equipos exteriores del dominio MPLS, de forma que en el interior de dicho dominio no sea necesario realizar labores de enrutamiento, sino sólo de conmutación mediante la consulta de unas etiquetas añadidas a cada paquete en el momento de entrada al dominio.

1.3.1.1.1 Elementos básicos de la arquitectura MPLS

Una red MPLS está compuesta por los siguientes elementos:

1.- El LSR (*Label Switched Router*) es un nodo MPLS y representa el núcleo de la red (*backbone*) y es capaz de enviar paquetes de capa 3. El LSR es un router de gran velocidad y sus principales funciones son: participar en el establecimiento de los circuitos extremo-extremo de la red o LSP (*Label Switched Path*) usando un protocolo de señalización apropiado y conmutar rápidamente el tráfico de datos entre los caminos establecidos.

2.- Los LER (*Label Edge Router*) son los routers situados en la frontera de la red. Son responsables de enviar el tráfico entrante a la red MPLS utilizando un

protocolo de señalización de etiquetas y distribuir el tráfico saliente hacia las distintas redes destino. Los LER se clasifican en nodos de entrada (*ingress node*) y nodos de salida (*egress node*).

3.- La Etiqueta; en su forma más simple, identifica la trayectoria que un paquete debe seguir. Una etiqueta es acarreada o encapsulada dentro de un encabezado de Capa 2 junto con el paquete. El ruteador que recibe el paquete, examina el contenido de la etiqueta para determinar el siguiente salto. Una vez que un paquete ha sido etiquetado, el resto del viaje del paquete a través de la red se basa en conmutación de etiquetas. El valor de una etiqueta es estrictamente de significado local, es decir que pertenece únicamente a saltos entre LSRs. El formato que la etiqueta MPLS tiene se puede apreciar en la Figura 1.37.

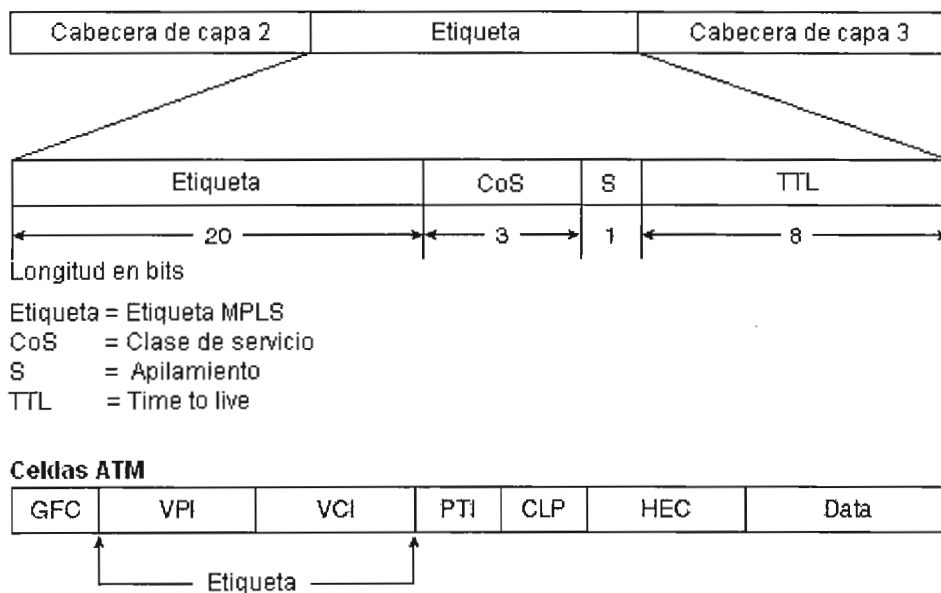


FIGURA 1.37 Etiqueta MPLS

3.- El FEC (*Forwarding Equivalence Class*) o clase de envío equivalente, es una representación de un grupo de paquetes que comparten los mismos requerimientos para su transporte; todos los paquetes de este grupo tienen el mismo trato en la ruta hacia su destino. Al contrario de lo que pasa en el tradicional envío de paquetes en IP, en MPLS, la asignación de un paquete a una FEC en particular se realiza solo una vez, en el momento en que el paquete entra

en la red. La definición de una FEC se basa en los requerimientos de servicio que posea un conjunto de paquetes dado, o simplemente por el prefijo de una dirección IP. Cada LSR construye una tabla para especificar que paquete debe ser enviado; esta tabla, llamada base de información de etiquetas (LIB), se construye con uniones FEC/etiqueta.

4.- El LSP (*Label Switched Path*) es un camino través de uno o más LSRs en un nivel de jerarquía que sigue un paquete de un FEC en particular. Este camino puede establecerse tanto mediante protocolos de enrutamiento como manualmente.

1.3.1.1.2 Nivel de control

Este nivel comprende la generación de tablas de enrutamiento que establecen los LSPs así como la distribución de la información sobre las etiquetas a los LSRs.

Las tablas de enrutamiento se calculan utilizando bases de datos de estado de enlace así como políticas de control de tráfico (topología, características de los enlaces, patrón de tráfico, etc). Los protocolos de enrutamiento más extendidos en este ámbito son OSPF (*Open Shortest Path First*, abrir primero la trayectoria más corta) e IS-IS (*Intermediate System-Intermediate System*, sistema intermedio a sistema intermedio) ampliados a transportar información de políticas y recursos. MPLS crea un camino de etiquetas para cada ruta IP a base de concatenar las etiquetas de entrada/salida en cada tabla de los LSRs.

Con respecto a los protocolos de enrutamiento en MPLS, tanto OSPF como IS-IS utilizan el algoritmo de ruteo de estado de enlace.

En los algoritmos de estado de enlace, un conjunto de redes físicas es dividido en un número de áreas. Dentro de cada área un ruteador aprende cuales son sus vecinos y estima el costo del enlace con cada uno de ellos. El costo de un enlace puede utilizar diferentes métricas: tipo de servicio (retardo, desempeño, confiabilidad), distancia física, ancho de banda, etc. El ruteador construye un paquete que contiene el estado de cada uno de los enlaces con sus vecinos y sus

respectivos costos, el cual es distribuido a cada ruteador dentro del área en forma confiable. Cada ruteador dentro del área recibe una copia de un paquete perteneciente a otro ruteador presente dentro de su misma área. De esta forma el ruteador puede construir una representación de toda la topología del área a la que pertenece y calcular la distancia más corta a cada destino dentro de la misma, la cual será la ruta más óptima para entregar un datagrama. Conociendo la ruta más corta a cada destino, el ruteador crea la tabla de ruteo para cada tipo de métrica que utilice, en la cual asigna a cada destino con el siguiente salto hacia delante a lo largo de la ruta más corta. Los protocolos de estado de enlace únicamente envían actualizaciones del estado de sus enlaces cuando algún evento inesperado a ocurrido en la red³⁹.

Además, es necesario un protocolo encargado de distribuir estas etiquetas. La arquitectura MPLS no asume un único protocolo de distribución de etiquetas. LDP (*Label Distribution Protocol*) es un protocolo desarrollado por el IETF para este propósito. Sin embargo, también soporta otros estándares como RSVP (*Resource Reservation Protocol*) del modelo de Servicios Integrados (IntServ) del mismo organismo. Cuando se quiere dar QoS, los protocolos empleados son, bien CR-LDP (*Constraint Based Routing Label Distribution Protocol*) creado explícitamente para MPLS, o una extensión de RSVP.

A continuación se explica con más detalle los protocolos utilizados en MPLS, tanto para el enrutamiento, señalización y distribución de etiquetas.

El protocolo OSPF, *Abrir la ruta más corta primero*, es un algoritmo de estado de enlace de enrutamiento IGP (Protocolo de Gateway Interior) jerárquico propuesto como sucesor del RIP (Protocolo de Información de Enrutamiento) en la comunidad de la Internet. Entre las características de OSPF se incluyen enrutamiento más económico, enrutamiento multiruta y equilibrio de carga. Reconoce tres tipos de conexiones y redes: líneas punto a punto entre dos ruteadores, redes multiacceso con difusión, redes multiacceso sin difusión (por ejemplo la mayoría de WANs de conmutación de paquetes).

³⁹ HIDALGO, Pablo. Folleto de Telemática, Abril del 2004, pags. 71, 72.

El OSPF, distingue cuatro clases de ruteadores: ruteadores internos que están contenidos en una sola área, ruteadores de borde de área que conectan dos o más áreas, ruteadores de backbone que están en el backbone y ruteadores de frontera de AS (Sistema Autónomo) que hablan con los ruteadores de otras AS.

El protocolo IS-IS (Sistema Intermedio a Sistema Intermedio), es también un protocolo de estado de enlace que ofrece similares servicios que el OSPF. IS-IS sin embargo fue desarrollado por ISO como una parte de la arquitectura de red OSI (Interconexión de Sistema Abierto).

El protocolo LDP o protocolo de distribución de etiquetas, es un conjunto de procedimientos por los cuales un LSR informa a otro de la relación etiqueta/FEC que ha hecho. Dos LSR, que usan un protocolo de distribución de etiquetas para intercambiar la información de la etiqueta/FEC se les conoce como “puertos de distribución de etiquetas” respecto a la información que intercambian. Si dos LSR son puertos de distribución de etiquetas, se habla de que hay una “distribución de etiquetas adyacentes” entre ellos. El LDP también abarca las negociaciones en el que dos puertos de distribución de etiquetas necesitan comunicarse con el fin de aprender de las posibilidades MPLS del otro.

En cuanto al proceso de distribución de etiquetas, se plantean conceptos que indican la dirección en que éste ocurre: *upstream* y *downstream*. Por ejemplo: tenemos dos LSRs, R1 y R2, y estos concuerdan en atar la etiqueta L a la FEC Z, para paquetes enviados de R1 a R2. Entonces se dice que con respecto a esta unión, R1 es el LSR *upstream* y R2 es el LSR *downstream*. Cuando se dice que un nodo es *upstream* y otro es *downstream* con respecto a una unión, significa “únicamente” que etiqueta en particular representa a una FEC en paquetes que viajan del nodo *upstream* al nodo *downstream* (significancia local de la etiqueta). Esto no significa que todos los paquetes del tal FEC tienen que ser necesariamente ruteados del nodo *upstream* al nodo *downstream*⁴⁰.

⁴⁰POSTIGO, Marcos. www.tdx.cesca.es/TESES_UPC/AVAILABLE/TDX-0508103-103947//TESIS.pdf

El RSVP o protocolo de reservación de recurso es un método diseñado por el IETF en 1977, que fue creado para adaptar el concepto de reservación de recursos antes de la transmisión de datos, antes utilizado en telefonía, y que está contemplado por los requerimientos QoS. El protocolo fue diseñado para especificar requerimientos de ancho de banda y de condiciones de tráfico, para una trayectoria definida. Si el ancho de banda requerido está disponible, entonces se establece el enlace necesario para la transmisión.

MPLS propone extensiones a este protocolo para la implementación de la ingeniería de tráfico, a la que se llama RSVP-TE (*RSVP Traffic Engineering*) o RSVP con ingeniería de tráfico, el cual es especificado en el RFC 2205. El usar esta extensión, no significa que deba ser totalmente implementado el protocolo RSVP por los LERs y los LSRs con los que cuenta la red MPLS. RSVP-TE es un protocolo de "estado suave" (soft state) que usa datagramas UDP o IP como mecanismos de señalización en el establecimiento de los LSPs.

El protocolo CR-LDP o *Constraint-Based Routing Label Distribution Protocol* es un encaminamiento basado en restricciones (Constraint-based routing). Esta extensión del LDP se basa en el cálculo de trayectorias que están sujetas a ciertas restricciones: ancho de banda, los requisitos de calidad de servicio QoS, retardo (delay), variación de retardo o jitter, o cualquier otro requisito asociado al trayecto que defina el operador de la red. Esta es una de las herramientas más útiles para controlar el dimensionamiento del tráfico y el QoS en la red que pueden ofrecer a sus clientes y/o usuarios.

1.3.1.1.3 Nivel de transmisión

El envío de paquetes se implementa mediante el intercambio de etiquetas en los LSPs. El algoritmo de intercambio de etiquetas requiere la clasificación de los paquetes a la entrada del dominio MPLS para que el LSR pueda hacer la asignación de etiquetas. Una vez asignada la etiqueta, no vuelve a consultarse el contenido de la cabecera IP hasta el momento de la eliminación de dicha etiqueta,

con lo que la información contenida en el paquete queda completamente enmascarada.

Un paquete entra a la red MPLS a través de un LSR de entrada, que hace de frontera entre el dominio MPLS y el exterior. El paquete atravesará una serie de LSRs interiores hasta llegar al LSR de salida, que también actúa como ruteador frontera. Estos ruteadores frontera son los encargados de añadir/eliminar etiquetas, mientras que los interiores sólo cambian unas por otras. Los LSRs interiores intercambian las etiquetas según una tabla de envío (la Base de Información de Etiquetas) que se construye a partir de la información de encaminamiento proporcionada por la componente de control. En la Figura 1.38 se muestra la tabla de envío de un LSR.

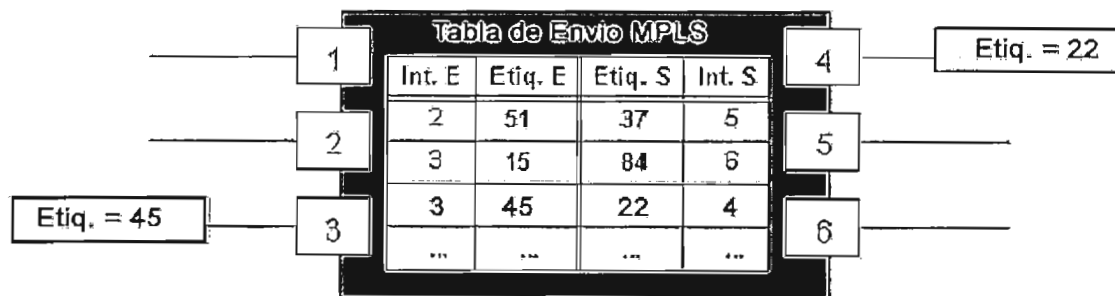


Figura 1.38 Tabla de envío en un LSR

Cada entrada de la tabla contiene un par de etiquetas entrada/salida correspondientes a cada interfaz de entrada/salida, que se utilizan para acompañar a cada paquete que llega por esa interfaz y con la misma etiqueta.

1.3.1.1.4 Esquema de funcionamiento⁴¹

En primer lugar, se construyen las tablas de encaminamiento, mediante protocolos internos. A continuación se crean los LSPs mediante tablas de intercambio de etiquetas entre LSRs adyacentes y se distribuye a los LSRs del

⁴¹ GONZÁLEZ, Ana, MPLS: Convergencia entre el Nivel de Transmisión y el Nivel de Enrutamiento.
[http:// suma ldc.usb.ve/~G5/mpls](http://suma ldc.usb.ve/~G5/mpls)

LSP. Antes de cualquier envío de paquetes, es necesario que los LSRs cuenten con un acuerdo acerca de la relación existente entre las etiquetas y los LSPs. Esto se consigue utilizando el Protocolo de Distribución de Etiquetas (LDP, Label Distribution Protocol). Siempre que la topología de la red experimente un cambio se determinarán nuevos trayectos y el LDP proporcionará una nueva relación de etiquetas a los LSPs. Sobre esta base:

- 1.- Un LSR de acceso recibe un paquete IP, analiza tanto la cabecera IP como el puerto de entrada y determina el destino.
- 2.- Cada paquete se clasifica, basándose principalmente en la dirección destino y la interfaz de entrada.
- 3.- Este LSR de acceso añade una etiqueta al paquete IP que identifica el trayecto orientado hacia el destino (LSP) y envía el paquete hasta el siguiente LSR del backbone.
- 4.- El siguiente LSR conmuta el paquete basándose únicamente en la etiqueta. No inspecciona en absoluto la cabecera IP. Debido a que los valores de la etiqueta sólo tiene un significado local, puede ser que el LSR tenga que intercambiar la etiqueta recibida por otra que sea válida en el enlace con el LSR siguiente.
- 5.- Cuando el paquete alcanza el LSR de salida, éste elimina la etiqueta y lo envía al siguiente salto según el enrutamiento específico de la red a la que se entrega dicho paquete.

La Figura 1.39 muestra el esquema global de funcionamiento de MPLS, donde quedan reflejadas las diversas funciones en cada uno de los elementos que integran la red MPLS.

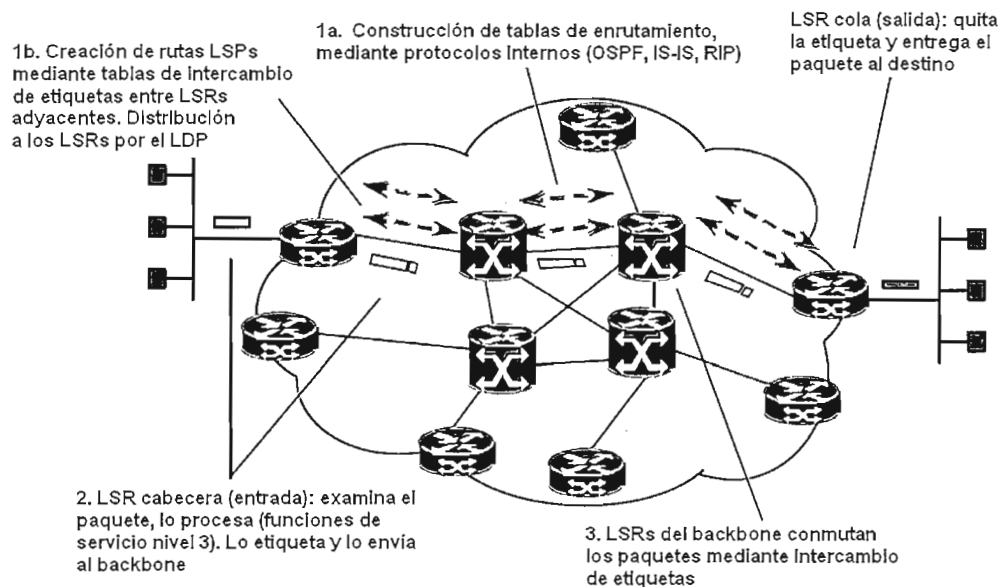


FIGURA 1.39 Esquema global de funcionamiento de MPLS

1.3.2 EVOLUCIÓN DE MPLS A GMPLS

La noción de un plano de control centrado en IP para las redes ópticas se describió primero formalmente en un borrador del IETF en noviembre de 1999. Esto fue después de que varios fabricantes ya habían introducido el concepto. Esta arquitectura se basó en la aplicación de los conceptos de control del MPLS (Multiprotocol Label Switching) a las redes ópticas. Primero se le llamó MPλS (Multiprotocol Lambda Switching), pero más tarde se reconoció que los mismos conceptos se podían generalizar al control de cualquier red de conmutación de circuitos, incluidas las interfaces TDM (Time Division Multiplex), con capacidad de conmutación de lambda y de fibra. Así el término MPLS generalizado o GMPLS se usa ahora para describir la aplicación de los protocolos MPLS para controlar otras redes. Sin embargo en la actualidad se siguen haciendo nuevas extensiones y mejoras a los protocolos del MPLS en lo referente a señalización y encaminamiento, y, paralelamente a esto se ha consolidando nuevos protocolos característicos de GMPLS como por ejemplo el LMP (Link Management Protocol).

En definitiva GMPLS aparece como una extensión del MPLS para cubrir las tecnologías de conmutación óptica tales como DWDM, TDM, SONET y SDH,

integrando en un mismo plano de control la red IP y los conmutadores ópticos, de forma que el operador vea el encaminamiento óptico como una funcionalidad más de los ruteadores, haciendo de esta forma más eficientes a las redes de datos.

1.3.3 RAZONES PARA GMPLS

1.3.3.1 Evolución del modelo de capas

Las arquitecturas de redes tradicionales están compuestas de cuatro capas: la capa física de fibra, la capa de multiplexación óptica, la capa de conmutación ATM y la capa de enrutamiento IP. Con el fin de optimizar el funcionamiento de las redes y los costos se ha desarrollado la tecnología GMPLS. Esta ha simplificado el modelo de cuatro capas integrando varias tecnologías en una sola infraestructura y manejándola con un conjunto de protocolos, algunos de ellos desarrollados a partir de MPLS.

Una arquitectura de red óptima está basada en dos capas, una capa de control IP y una capa de transmisión óptica (Figura 1.40). En esta red los ruteadores toman decisiones sobre los paquetes, mientras que la capa de transmisión proporciona rutas de conexión flexibles entre los ruteadores. Los nodos de transmisión, tales como OXCs, se encargan de las labores de conmutación entre las fibras, longitudes de onda individuales, o incluso ranuras temporales del interior de las longitudes de onda si la funcionalidad SDH se encuentra integrada en ellos. La conexión entre las capas IP y óptica se realiza mediante GMPLS.

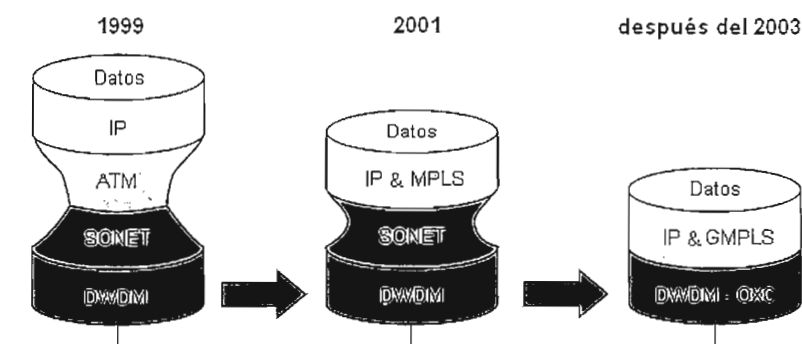


FIGURA 1.40 Arquitectura de red de 4 capas reducida a 2 capas usando GMPLS

1.3.3.2 Múltiples tipos de conmutación y jerarquías de envío

La tecnología GMPLS difiere del MPLS tradicional en que soporta múltiples tipos de conmutación, por ejemplo, conmutación por TDM, lambda y fibra (puerto). En otras palabras, GMPLS tiene una completa serie de capacidades que pueden utilizarse para unir diversas partes de la red diseñadas para transportar múltiples tipos de tráfico. La Figura 1.41, representa esquemáticamente la jerarquía de interfaces conmutadas de GMPLS. De este modo, sobre una misma fibra podemos por ejemplo transportar simultáneamente longitudes de onda opacas o transparentes, canales SONET/SDH o paquetes IP, conmutando y gestionando todos estos servicios en los nodos ópticos de una forma completamente flexible.

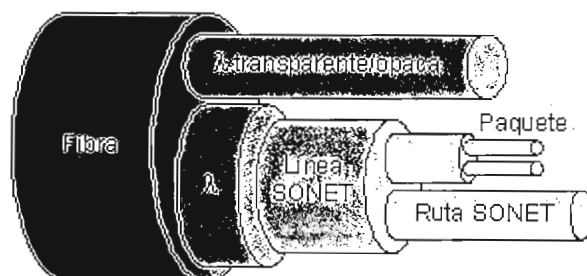


FIGURA 1.41 Jerarquía de Interfaces conmutadas en GMPLS⁴²

El soporte para los tipos adicionales de conmutación ha llevado al GMPLS a ampliar determinadas funciones básicas del MPLS tradicional y, en algunos casos, a añadir funcionalidad. Estos cambios y adiciones impactan en las propiedades básicas del camino LSP, de que forma son solicitadas y comunicadas las etiquetas, la naturaleza unidireccional de los caminos LSP, como se propagan los errores, y la información suministrada para la sincronización de los LSR de entrada y salida. En GMPLS se amplía la arquitectura MPLS original para que los LSR incluyan dispositivos donde la decisión de envío se basa en ranuras de tiempo, longitudes de onda o puertos físicos. Así el nuevo conjunto de LSR, o con más precisión las interfaces de estos LSR, se pueden subdividir en las siguientes clases:

⁴² RAMOS, Francisco, "Redes ópticas basadas en GMPLS". www.radioptica.com/Fibra/gmpls.asp

1. Interfaces Capaces de Conmutar Paquetes (PSC-Packet Switch Capable)

Aquí, las interfaces reconocen los extremos del paquete y pueden enviar datos basados en el contenido de la cabecera del paquete. Ejemplos incluyen las interfaces de los ruteadores que envían datos basados en el contenido de la cabecera IP y las interfaces de los ruteadores que envían datos basados en el contenido de la cabecera de MPLS.

2. Interfaces Capaces de Conmutar a Nivel 2 (L2SC-Layer 2 Switch Capable)⁴³

Son interfaces que reconocen los extremos de la trama/celda y pueden enviar datos basados en el contenido de la cabecera de trama/celda. Los ejemplos incluyen las interfaces de los puentes Ethernet que envían datos basados en el contenido de la cabecera MAC y las interfaces de los enrutadores LSR de ATM que envían datos basados en los VPI/VCI de ATM.

3. Interfaces Capaces de Multiplexación por División por Tiempo (TDM-Time Division Multiplex Capable)

Las interfaces que envían datos basados en la ranura de tiempo de datos en un ciclo repetitivo. Un ejemplo de estas interfaces es la de un Conector Cruzado (XC) SDH/SONET, un Multiplexador de Terminal (TM), o un Multiplexador Add-Drop (ADM). Otros ejemplos incluyen las interfaces que proveen capacidades TDM de G.709 (el "digital wrapper") y las interfaces PDH (Jerarquía Digital Plesiocrona).

4. Interfaces Capaces de Conmutar Lambdas (LSC-Lambda Switch Capable)

Son interfaces que envían datos basados en la longitud de onda en la que los datos son recibidos. Dentro de una fibra, su ancho de banda disponible puede ser dividido por frecuencias (longitud de onda o lambda). Un ejemplo de éstas interfaces es la de un Conector Cruzado Fotónico (PXC) o un Conector Cruzado

⁴³ MANNIE, Eric. "Generalized Multi-Protocol Label Switching (GMPLS) Architecture". IETF RFC 3945, Octubre 2004

Óptico (OXC) que pueden operar a nivel individual de longitud de onda. Los ejemplos adicionales incluyen interfaces de los conmutadores ópticos que pueden operar a nivel de un grupo de longitudes de onda, por ejemplo, un waveband y las interfaces G.709 con capacidades ópticas.

La conmutación waveband representa una generalización de la conmutación lambda, en esta, se agrupa un conjunto de lambdas y se conmutan como un bloque único.

5. Interfaces Capaces de Conmutar Fibras (FSC-Fiber Switch Capable)⁴⁴

Son interfaces que envían datos basados en la posición de los datos en los espacios físicos del mundo real. Es decir, son interfaces que envían información basada en la posición física espacial que ésta tiene. Por ejemplo, la interfaz de un conmutador en la cual toda la información que arriba en una fibra (entrante) es conmutada para ser transmitida hacia otra fibra saliente. Un ejemplo real de esto son las interfaces de un conmutador óptico OXC que puede operar a nivel de una sola fibra o múltiples fibras.

Un circuito se puede establecer entre, o a través, de interfaces del mismo tipo. Dependiendo de la tecnología usada por la interfaz, puede recibir diferentes nombres: circuito SDH, camino óptico, camino de luz, etc. En el contexto del GMPLS, todos estos circuitos se nombran con un nombre común: Label Switched Path (LSP).

1.3.3.3 Extensión del plano de control MPLS

En las redes MPLS podemos hacer ingeniería de tráfico, denominándose a esto MPLS-TE (Traffic Engineering MPLS). El objetivo de la ingeniería de tráfico es evitar que un subconjunto (enlaces, equipos, etc) de la red se sature mientras otro

⁴⁴ FUENMAYOR, Carlos, "Conmutación de etiquetas multiprotocolo generalizada en redes ópticas". www.ahciet.net/comun/portales/1000/10002/10007/10378/docs/08.pdf

subconjunto de la misma se encuentra infrautilizado, evitando así posibles cuellos de botella y mejorando el rendimiento de la red global.

La evolución de MPLS a GMPLS ha extendido al MPLS-TE en sus protocolos de señalización: RSVP-TE, CR-LDP y en sus protocolos de enrutamiento OSPF-TE e IS-IS-TE. Las extensiones hacen que éstos se acomoden a las características TDM/SONET y las redes ópticas.

Por definición, un enlace de ingeniería de tráfico (TE) es una representación de los anuncios del estado de enlace IS-IS/OSPF y en la base de datos del estado de enlace de determinados recursos físicos y sus propiedades entre dos nodos GMPLS. Los enlaces de ingeniería de tráfico (TE) son usados por el plano de control del GMPLS (enrutamiento y señalización) para el establecimiento de los caminos LSP.

El GMPLS está verdaderamente basado en las extensiones de la Ingeniería de Tráfico (TE) del MPLS o MPLS-TE. Esto es porque la mayoría de las tecnologías que se pueden usar por debajo del nivel PSC requieren algún tipo de ingeniería de tráfico. La colocación de los caminos LSP en estos niveles necesita por lo general tomar en consideración varias restricciones (tales como entramado, ancho de banda, capacidad de protección, etc).

Como ya es conocido el GMPLS soporta cinco clases de interfaces (que les podríamos llamar también niveles). En la actual definición, el GMPLS es muy adecuado para controlar cada nivel de forma independientemente. El plano de control del GMPLS está hecho de varios bloques constructivos que se describen con mayor detalle más adelante. Estos bloques constructivos se basan en protocolos de señalización y enrutamiento ya conocidos que han sido ampliados y/o modificados para soportar GMPLS. Usan direcciones IPv4 y/o IPv6. Solamente se requiere un nuevo protocolo especializado para soportar las operaciones del GLMPS, un protocolo de señalización para la gestión del enlace que viene a ser el LMP (Link Management Protocol).

En definitiva, se necesitan las extensiones a los protocolos y algoritmos de enrutamiento tradicionales para codificar uniformemente y transportar la información de ingeniería de tráfico del enlace, y de las rutas explícitas (por ejemplo, rutas desde el origen) que se requieren para la señalización. Además ahora la señalización debe ser capaz de transportar los parámetros requeridos del circuito LSP tales como el ancho de banda, el tipo de señal, la protección deseada y/o la restauración, la posición en una determinada multiplexación, etc. La mayoría de estas extensiones ya han sido definidas para la ingeniería de tráfico PSC y L2SC para MPLS. Primariamente el GMPLS define extensiones adicionales para la ingeniería de tráfico de TDM, LSC y FSC. Así el GMPLS amplía los dos protocolos de señalización definidos para la señalización MPLS-TE como el RSVP-TE y CR-LDP. Sin embargo el GMPLS no especifica cuales de estos dos protocolos de señalización se deben usar. Es un papel de los fabricantes y operadores evaluar en su caso las dos posibles soluciones. Ya que el GMPLS está basado en RSVP-TE y CR-LDP, envía una asignación y distribución de etiquetas "descendente bajo demanda", con un control ordenado iniciado en la entrada. Normalmente se usa la retención liberal de etiquetas, pero también se puede usar el modo conservador de retención de etiquetas. Además no hay restricción en cuanto a la estrategia de asignación de etiquetas, se pueden basar en solicitud o señalización (obviamente en las tecnologías de conmutación de circuitos), basada en tráfico o datos, o incluso basada en la topología. Tampoco hay restricción en la selección de la ruta; normalmente se usa el enrutamiento explícito (estricto o suelto) pero también se puede usar el enrutamiento salto a salto.⁴⁵

El uso de tecnologías como DWDM (Dense Wavelength Division Multiplexing) implica que ahora podemos tener un número muy grande de enlaces paralelos entre dos nodos adyacentes (cientos de longitudes de onda, o aún miles de longitudes de onda si se usan múltiples fibras). Así originalmente no se consideró un número muy grande de enlaces para un plano de control IP o MPLS, aunque

⁴⁵ MANNIE, Eric. "Generalized Multi-Protocol Label Switching (GMPLS) Architecture". IETF RFC 3945, Octubre 2004

se pudo hacer. Así se requieren algunas ligeras adaptaciones de este plano de control si queremos reusarlo mejor en el contexto GMPLS.

Por ejemplo el modelo tradicional de enrutamiento IP asume el establecimiento de una adyacencia de enrutamiento sobre cada enlace conectando dos nodos adyacentes. Habiendo tantas adyacencias no escala bien. Cada nodo necesita mantener cada una de sus adyacencias una por una, y la información de enrutamiento del estado de enlace debe fluir a través de la red. Para resolver esta cuestión, se introdujo el concepto de agrupación del enlace. Por otra parte la configuración manual y el control de estos enlaces, aunque sean sin numerar, no es nada práctico. Se ha especificado el protocolo LMP para resolver estas cuestiones.

Cabe señalar que cuando dos ruteadores pueden intercambiar entre sí información de enrutamiento, se considera que han establecido una relación de adyacencia. Por ejemplo, las redes punto a punto sólo tienen dos ruteadores, de modo que forman automáticamente una adyacencia

El protocolo LMP corre entre nodos adyacentes del plano de datos y se usa para gestionar los enlaces con ingeniería de tráfico. Específicamente el protocolo LMP suministra mecanismos para mantener la conectividad del canal de control (IP Control Channel Maintenance), verificar la conectividad física de los enlaces de datos (Verificación del Enlace), correlacionar la información de propiedad del enlace (Link Property Correlation), y gestionar los fallos de enlace (Localización del Fallo y Notificación del Fallo). Una característica única del protocolo LMP es que puede localizar los fallos en las redes opacas y transparentes (por ejemplo, independiente del esquema de codificación y de la velocidad usada para los datos).

1.3.3.4 Extensiones clave de GMPLS a MPLS-TE⁴⁶

A continuación se subrayan algunas extensiones traídas por el GMPLS al MPLS-TE. Algunas de ellas son ventajas clave del GMPLS para el control de los niveles TDM, LSC y FSC.

- En MPLS-TE, los enlaces atravesados por un camino LSP pueden incluir una mezcla de enlaces con codificaciones heterogéneas de etiquetas (por ejemplo, enlaces entre ruteadores, enlaces entre ruteadores y LSR de ATM, y enlaces entre LSR de ATM). El GMPLS amplía esto incluyendo enlaces donde la etiqueta se codifica como una ranura de tiempo, o una longitud de onda, o una posición en el espacio físico del mundo real.
- En MPLS-TE, un camino LSP que transporta el protocolo IP tiene que empezar y terminar en un ruteador. El GMPLS amplía esto, requiriendo que un camino LSP empiece y acabe en un tipo similar de ruteador LSR.
- El tipo de datos que pueden ser transportados en GMPLS por un camino LSP se amplía para permitir datos como SONET/SDH, G.709, 1 ó 10Gb Ethernet, etc.
- El uso de Adyacencias de Envío (FA - *Forwarding Adjacencies*), provee un mecanismo que puede mejorar la utilización del ancho de banda, cuando la asignación de ancho de banda se puede realizar solamente en unidades discretas, así como un mecanismo para agregar el estado de envío, permitiendo así que el número de etiquetas requeridas sea reducido.
- El GMPLS permite que una etiqueta sea sugerida por un nodo ascendente con el fin de reducir la latencia inicial. Esta sugerencia se puede superponer por el de un nodo descendente pero, en algunos casos, al costo de un tiempo inicial más alto del camino LSP.

⁴⁶ MANNIE, Eric. "Generalized Multi-Protocol Label Switching (GMPLS) Architecture". IETF RFC 3945, Octubre 2004

- El GMPLS se amplía con la noción de restringir el rango de etiquetas que se pueden seleccionar por un nodo descendente. En GMPLS, un nodo ascendente puede restringir las etiquetas a lo largo de un camino LSP ya sea de un solo salto o a lo largo de un camino entero LSP. Esta característica es útil en las redes ópticas donde la conversión de la longitud de onda puede que no esté disponible.
- Mientras que los caminos LSP tradicionales basados en ingeniería de tráfico (y aún basados en LDP) son unidireccionales, el GMPLS soporta el establecimiento de caminos LSP bidireccionales.
- El GMPLS soporta la finalización de un camino LSP en un determinado puerto de salida, por ejemplo, la selección del puerto en el lado de destino.
- El GMPLS con RSVP-TE soporta un determinado mecanismo RSVP para una rápida notificación de fallo.

1.3.3.5 Mejoras en la escalabilidad

Los niveles TDM, LSC y FSC introducen nuevas restricciones en los modelos de direccionamiento y enrutamiento IP ya que ahora varios cientos de enlaces físicos paralelos (por ejemplo, longitudes de onda) pueden conectar dos nodos. La mayoría de los carriers ya tienen hoy varias decenas de longitudes de onda por fibra entre dos nodos. La nueva generación de sistemas DWDM permitirá varios centenares de longitudes de onda por fibra. Llega a ser mas bien poco práctico asociar una dirección IP a cada extremo de cada enlace físico, representar cada enlace como una adyacencia separada de enrutamiento, y anunciar y mantener los estados del enlace para cada uno de estos enlaces.

Con este fin el GMPLS mejora los modelos de enrutamiento y direccionamiento MPLS para incrementar su escalabilidad. Se pueden usar dos mecanismos opcionales para incrementar la escalabilidad del direccionamiento y el enrutamiento, esto es, haciendo uso de los enlaces no numerados y los enlaces

agrupados, que se los analiza más adelante. También se pueden combinar estos dos mecanismos. Ellos requieren extensiones para los protocolos de señalización (RSVP-TE y CR-LDP) y enrutamiento (OSPF-TE y IS-IS-TE).

1.3.4 ARQUITECTURA GMPLS

1.3.4.1 Etiqueta generalizada

En MPLS, los LSR extremos dentro de una sesión acuerdan cómo deben identificar determinado flujo de información. Para esto, ellos usan una etiqueta (hasta 32 bits), asignada por uno de los LSRs, y distribuida hacia el resto, utilizando los mensajes de señalización (protocolos) respectivos. Una vez que estos LSRs han acordado este número, ellos también acuerdan que el flujo respectivo de información en cuestión, lleva ese número (etiqueta) en todos los paquetes, y por lo tanto deben ser conmutados de la misma manera.

La premisa de GMPLS es que este concepto de etiqueta se puede generalizar hacia cualquier cosa que sea suficiente para identificar un flujo de tráfico, y para esto se utiliza la etiqueta generalizada, ésta, amplía la etiqueta tradicional MPLS permitiendo la representación de no solo etiquetas con paquetes de datos asociados, sino también etiquetas que identifican ranuras de tiempo, longitudes de onda y posiciones (fibra-puerto). Por ejemplo, la etiqueta generalizada puede identificar: una sola fibra de una agrupación, una sola longitud de onda dentro de una fibra, una sola longitud de onda dentro de un waveband (o fibra), o un conjunto de ranuras de tiempo dentro de una longitud de onda (o fibra). También puede ser una etiqueta genérica MPLS, una etiqueta Frame Relay, o una etiqueta ATM (VCI/VPI).

GMPLS extiende así el concepto de etiqueta, de un número de 32 bits, a un arreglo de bytes de longitud variable, en otras palabras, el formato de una etiqueta puede ser tan simple como un valor entero tal como una etiqueta de longitud de onda o puede ser más elaborada tal como una etiqueta SDH/SONET o G.709. SDH y SONET definen cada uno de ellos una estructura multiplexada. Estas

estructuras multiplexadas se usarán como árboles con nombres para crear etiquetas únicas. Esta etiqueta identificará la posición exacta (ranura(s) de tiempo) de una señal en una estructura multiplexada. Ya que la estructura multiplexada SONET se puede ver como un subconjunto de la estructura multiplexada SDH, se usa el mismo formato de etiqueta para SDH y SONET.

A continuación se describe cada una de las etiquetas generalizadas:

- Etiquetas de toda una fibra (*Whole Fiber Labels*). Un enlace entre LSRs puede consistir de una agrupación de fibras ópticas. Los LSRs pueden elegir la asignación de toda una fibra a un flujo de datos y así simplemente necesitan acordar que fibra (dentro de la agrupación) usar. En este caso el valor etiqueta es el número de la fibra seleccionada dentro de la agrupación. La interpretación de los números fibra/puerto es un asunto local para los LSRs del enlace directamente involucrados⁴⁷.
- Etiquetas de longitud de onda (*Wavelength Labels*). En fibras donde exista WDM, un LSR óptico puede escoger una λ o longitud de onda para cursar un tráfico. En este caso, el valor de la etiqueta es el de la λ seleccionada.
- Etiquetas para conjuntos de λ s (*Waveband Labels*). Si se agrupan longitudes de onda consecutivas dentro de una banda (waveband), de tal forma que todas puedan ser conmutadas de la misma forma, el valor de la etiqueta es un número que identifica a esta banda (waveband ID), y existe un par de números (identificadores de canal) que identifican las λ s extremas (superior e inferior) de esta banda.
- Etiquetas de ranuras de tiempo (*Timeslot Labels*). Donde el ancho de banda de una fibra óptica se subdivide en ranuras de tiempo por TDM (Time Division

⁴⁷ MINOLI, Daniel; JOHNSON, Peter; MINOLI, Emma, SONET – Based Metro Area Networks: Planning and Designing the Next-Generation Provider Network, 1era Edición, McGraw-Hill, EE. UU. 2000.

Multiplexing), un conmutador óptico puede satisfacer una determinada solicitud de flujo de datos asignando una o más ranuras de tiempo en este flujo.

En general un valor de etiqueta TDM debe ser suficiente para especificar la ranura(s) de tiempo asignada. Los detalles exactos de la representación de etiqueta TDM depende de la jerarquía TDM en uso, por ejemplo, SONET o SDH.⁴⁸

La etiqueta generalizada es de longitud variable y transporta la información de etiqueta. (Figura 1.42). La interpretación de este campo depende del tipo de enlace sobre el que se usa la etiqueta.

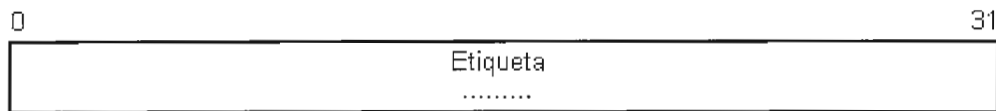


FIGURA 1.42 Formato de la etiqueta generalizada

En lo referente a las etiquetas de puerto y longitud de onda; algunas configuraciones de conmutación de fibra (FSC) y conmutación de lambda (LSC) usan múltiples canales de datos/enlaces controlados por un único canal de control. En estos casos la etiqueta indica el canal de datos/enlace a ser usado por el LSP.

El formato de una etiqueta de Puerto y Longitud de onda es como se muestra en la Figura 1.43:

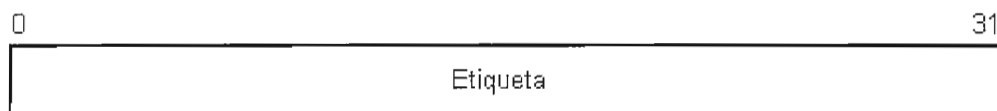


FIGURA 1.43 Formato de la etiqueta puerto y longitud de onda

⁴⁸ FUENMAYOR, Carlos, "Conmutación de etiquetas multiprotocolo generalizada en redes ópticas". www.ahciet.net/comun/portales/1000/10002/10007/10378/docs/08.pdf

Como se observa esta Etiqueta consta de un arreglo de 32 bits e indica el puerto/fibra o lambda a ser usado, Los valores usados en este campo solo tienen significado entre dos vecinos, y el receptor puede necesitar convertir el valor recibido en un valor que tenga significado local.

Como se describió anteriormente la etiqueta generalizada también puede ser una etiqueta genérica MPLS, una etiqueta Frame Relay, o una etiqueta ATM (VCI/VPI). Es así que las etiquetas genéricas MPLS y las etiquetas Frame Relay están codificadas justificadas a la derecha alineadas en 32 bits. Las etiquetas ATM están codificadas con la VPI justificadas a la derecha en los bits 0-15 y con la VCI justificadas a la derecha en los bits 16-31.

Para el caso de la *conmutación waveband* que es un caso especial de conmutación de lambda, un waveband representa un conjunto de longitudes de onda consecutivas que se pueden conmutar de la misma forma.

Un caso especial en el que es útil la etiqueta waveband es en los OXC cuando conmutan óptimamente múltiples longitudes de onda como una unidad. Todo esto con fines de optimización, reduciendo la distorsión con respecto a las longitudes de onda individuales y permitiendo una separación más estrecha de las longitudes de onda individuales.

Naturalmente la conmutación waveband introduce otro nivel de jerarquía de etiqueta y como tal la waveband es tratada de la misma forma que todas las otras etiquetas de nivel superior. La etiqueta generalizada, en el contexto de conmutación waveband tiene el siguiente formato (Figura 1.44).

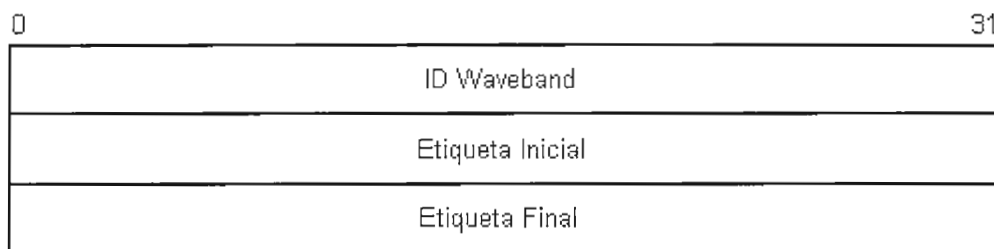


FIGURA 1.44 Formato de la etiqueta en la conmutación waveband

Como se muestra en la figura, el ID Waveband es de 32 bits y es un identificador de waveband. El valor es seleccionado por el emisor y reutilizado en todos los mensajes relacionados subsiguientes. La etiqueta inicial es de 32 bits e indica el identificador de canal del valor más bajo de la longitud de onda que forma parte de la waveband, desde la perspectiva del emisor. Y finalmente la etiqueta final, también de 32 bits, indica el identificador de canal del valor más alto de la longitud de onda que forma parte de la waveband.

Una etiqueta SONET/SDH se representa como una secuencia de cinco números, conocidos como S, U, K, L y M, que seleccionan ramas de la jerarquía TDM SONET/SDH y ayudan a identificar las señales en la multiplexación SONET/SDH. En la Figura 1.45 se muestra el formato de esta etiqueta.

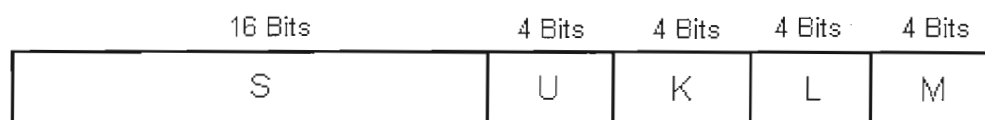


FIGURA 1.45 Formato de la etiqueta SONET y/o SDH en el dominio GMPLS

1.3.4.2 El plano de control GMPLS

El plano de control óptico está diseñado para aprovisionar los recursos ópticos de una manera más simple, rápida y flexible. El MPLS original se enfoca sobre el plano de información (data plane) que es donde se cursa el tráfico. En cambio, GMPLS se enfoca sobre el plano de control, el cual desempeña la gestión de conexión para este *data plane*, tanto para interfaces PSC, como para las no conmutadas en paquetes (TDM, LSC, FSC). Este plano de control es responsable de mantener actualizada la topología de la red y el estado de sus recursos, así como el establecimiento, mantenimiento y desconexión de los circuitos.

En general, las principales funciones un plano de control son las siguientes:⁴⁹

⁴⁹ BERNSTEIN, Greg; RAJAGOPALAN, Bala; SAHA, Debanjan, *Optical Network Control: Architecture, Protocols, and Standards*, 1era. Edición, Addison Wesley, EE UU, Julio 2003.

- *Descubrimiento del vecino:* En términos sencillos, el descubrimiento del vecino es una función mediante la cual un elemento de red determina automáticamente los detalles de su conectividad a todos sus vecinos del plano de datos. Estos detalles incluyen la identidad de los vecinos, la identidad de las terminaciones del enlace y así sucesivamente. El descubrimiento del vecino se aplica tanto a la UNI (User Network Interface) como a los varios NNI (Network Network Interface).
- *Encaminamiento:* Ampliamente el encaminamiento cubre dos aspectos del control. Primero es la topología automática y el descubrimiento de recursos, segundo es la computación del camino. La primera función permite a los agentes de control crear una visión local de la conectividad del plano de datos y la disponibilidad de los recursos en la red. Normalmente este procedimiento implica un mecanismo para propagar la información de conectividad del enlace perteneciente a un elemento de la red a todos los agentes de control de la red. Qué información se tiene que propagar y cómo se representa la información en cada agente de control, depende del tipo de esquema de encaminamiento. La computación del camino es un procedimiento mediante el cual un agente de control determina un camino para una conexión usando la topología disponible y la información de los recursos.
- *Señalización:* La señalización indica la sintaxis y la semántica de la comunicación entre los agentes de control en el establecimiento y mantenimiento de las conexiones. La señalización implica el uso de protocolos de comunicación estándar a través de la UNI y la NNI.
- *Gestión de recursos locales:* Esto se refiere a la representación y a la contabilidad de los recursos localmente disponibles controlados por un agente de control. La representación concisa de los recursos es esencial para la escalabilidad de los mecanismos de encaminamiento.

En la Figura 1.46 se muestra una arquitectura simple de un nodo del plano de control, el conector cruzado del plano de datos, representa el hardware que provee las conexiones.

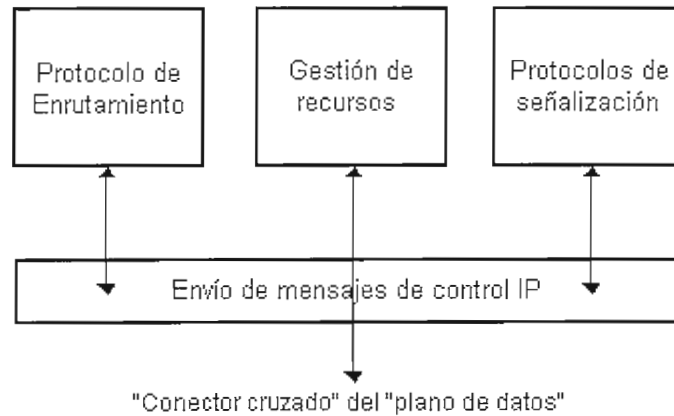


FIGURA 1.46 Arquitectura de un Plano de Control

Para lograr las funciones y servicios descritos en este plano de control, se debe contar con un conjunto de protocolos que permita la interoperabilidad entre los diferentes desarrollos del Mercado. GMPLS es uno de éstos, ya que él define la descripción funcional de cómo extender la señalización original MPLS para soportar sistemas basados en interfaces no conmutadas en paquetes y mantener un control total de los dispositivos de la red (Figura 1.47).

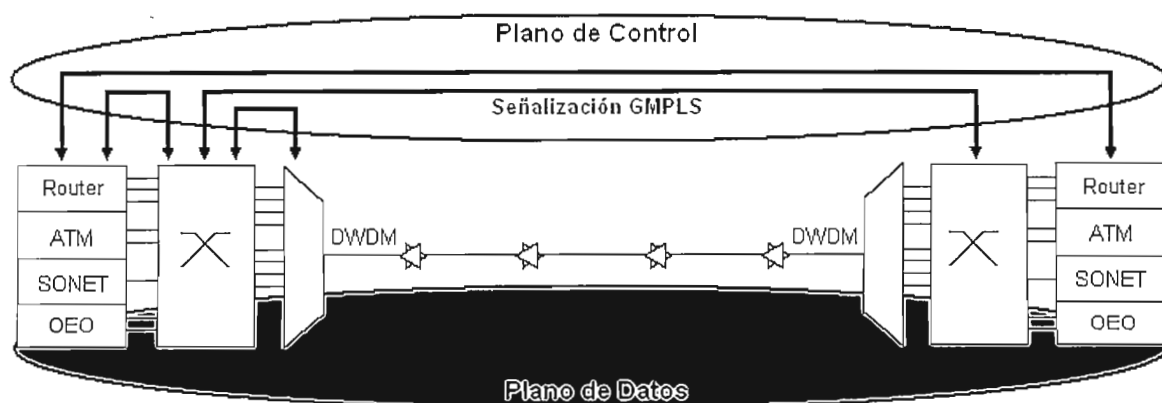


FIGURA 1.47 Plano de control GMPLS

Las funciones que proporciona el plano de control GMPLS son:

- *Descubrimiento de vecinos (Neighbor Discovery)*: Con el fin de poder gestionar la red de manera integral, la red GMPLS debe conocer todos los dispositivos que la conforman. Para descubrir los dispositivos y negociar sus funciones, utiliza un nuevo protocolo conocido como LMP (Link Management Protocol).
- *Distribución del estado de los enlaces (Dissemination of Link Status)*: La información sobre el estado de la red (operación) se distribuye a través de protocolos de encaminamiento, tales como OSPF o IS-IS modificados.
- *Gestión del estado de la tipología (Typology State Management)*: Los protocolos OSPF e IS-IS, pueden ser usados para controlar y gestionar la tipología del estado del enlace.
- *Gestión de trayecto (Path Management)*: Para establecer los trayectos extremo a extremo puede usar LDP, CR-LDP o RSVP.
- *Gestión del Enlace (Link Management)*: En GMPLS se requiere tener capacidad para establecer y agregar canales ópticos. LMP extiende las funciones de MPLS en el plano óptico donde la construcción de los enlaces mejora la escalabilidad.
- *Protección y Recuperación (Protection and Recovery)*: En GMPLS en lugar de tener un anillo de respaldo (backup) para el anillo primario como mecanismo de protección, la red crea una red en malla que permite tener diferentes caminos alternos.

1.3.4.2.1 Protocolos de GMPLS

Como ya se ha mencionado anteriormente, los protocolos usados en GMPLS, son el OSPF e IS-IS modificados (OSPF-TE y IS-IS-TE), el CR-LDP, RSVP y LMP (Figura 1.48).

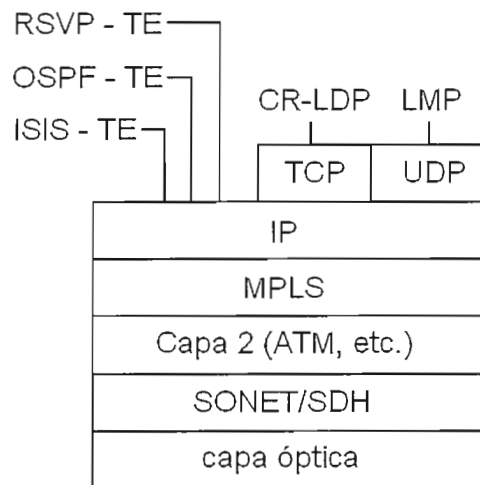


FIGURA 1.48 Pila de protocolos GMPLS

A continuación se muestra la Tabla 1.3, en la cual consta un resumen de los protocolos utilizados por GMPLS en lo que se refiere a enrutamiento, señalización y gestión del enlace.

Protocolos		Descripción
Enrutamiento	OSPF-TE, IS-IS-TE	<p>Los protocolos de enrutamiento son para el auto descubrimiento de la topología de la red, para anunciar la disponibilidad de los recursos (por ejemplo, ancho de banda, tipo de protección). Las características más importantes son las siguientes:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1.- Anuncio del tipo de protección del enlace (1+1, 1:1, no protegido, tráfico extra). 2.- Implementación de enlaces derivados (adyacencias de envío) para una mejor escalabilidad. 3.- Aceptación y anuncio de enlaces sin direcciones IP. 4.- Identificadores (ID) de las interfaces entrantes y salientes.

Tabla 1.3 Protocolos GMPLS

Protocolos		Descripción
Enrutamiento	OSPF-TE, IS-IS-TE	5.- Descubrimiento de la ruta para respaldo (back-up) que es diferente del camino primario.
Señalización	RSVP-TE, CR-LDP	<p>Los protocolos de señalización son para el establecimiento de la ingeniería de tráfico de los LSPs. Las características más importantes son:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1.- Intercambio de etiquetas para incluir a redes no conmutadas en paquetes (etiquetas generalizadas). 2.- Establecimiento de LSPs bidireccionales. 3.- Señalización para el establecimiento de los caminos de respaldo o back-up (protección de la información). 4.- Permiten la separación de los planos de control y de datos. 5.- Soporte para la conmutación Waveband.
Gestión del Enlace	LMP	<ol style="list-style-type: none"> 1.- Gestión del canal del control: Establecido por parámetros de negociación del enlace (por ejemplo, frecuencia en el envío de mensajes keep-alive) y asegurando el estado del enlace (hello protocol). 2.- Verificación de la conectividad del enlace: Asegura la conectividad física de el enlace entre los nodos vecinos usando un PING como un mensaje de test. 3.- Correlación de las propiedades del enlace: Identificación de las propiedades del enlace de los nodos adyacentes (por ejemplo, mecanismos de protección). 4.- Aislamiento de la falla: Aísla una o múltiples fallas en el dominio óptico.

Tabla 1.3 Protocolos GMPLS (Continuación)

Los detalles de estos protocolos y sus mejoras son analizadas más ampliamente el capítulo 2.

1.3.4.2.2 *Rutas conmutadas mediante etiquetas (LSP)*

El concepto de LSP en GMPLS es similar al propuesto en MPLS. Es así que un LSP es un circuito extremo a extremo establecido por los nodos GMPLS usando los protocolos de señalización como el RSVP-TE y el CR-LDP para conmutar rápidamente el tráfico de etiquetas entre los caminos establecidos. Además un LSP debe iniciar y terminar sobre enlaces con las misma capacidad de conmutación (interfaces del mismo tipo). En la Figura 1.49, podemos apreciar esto.

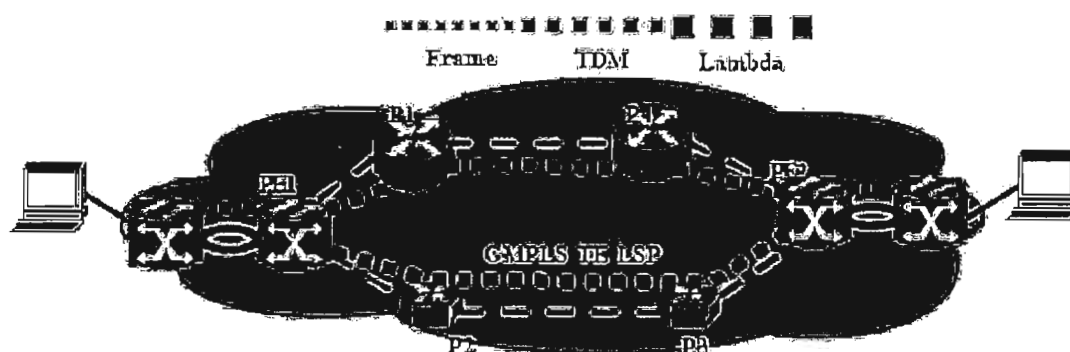


FIGURA 1.49 LSP en redes GMPLS

1.3.4.2.2.1 *Jerarquías de los LSPs*

El concepto de LSPs jerárquicos (nested LSPs), o sea, LSP dentro de otro LSP, ya disponible en el MPLS tradicional, permite aquí, en GMPLS, el poder construir una verdadera jerarquía de envío, es decir, una jerarquía de LSPs. Esta jerarquía de LSPs puede ocurrir sobre una misma interfaz, o entre diferentes interfaces. Ésto se consigue considerando un LSP como un enlace en la base de datos de estado de enlace de IS-IS o OSPF.

En la parte superior de esta jerarquía se encuentran las interfaces FSC, seguida por las LSC, las TDM, y luego las PSC. De esta manera un LSP que comienza y

termina en una interfaz PSC, puede estar incluido dentro de otro LSP que comienza y finaliza en una interfaz TDM. Este LSP, a su vez, pudiera estar incluido (en conjunto con otros LSPs) dentro de otro LSP que comienza y termina en una interfaz LSC, éste a su vez se puede incluir dentro de otro LSP que comienza y termina en una interfaz FSC⁵⁰. Figura 1.50.

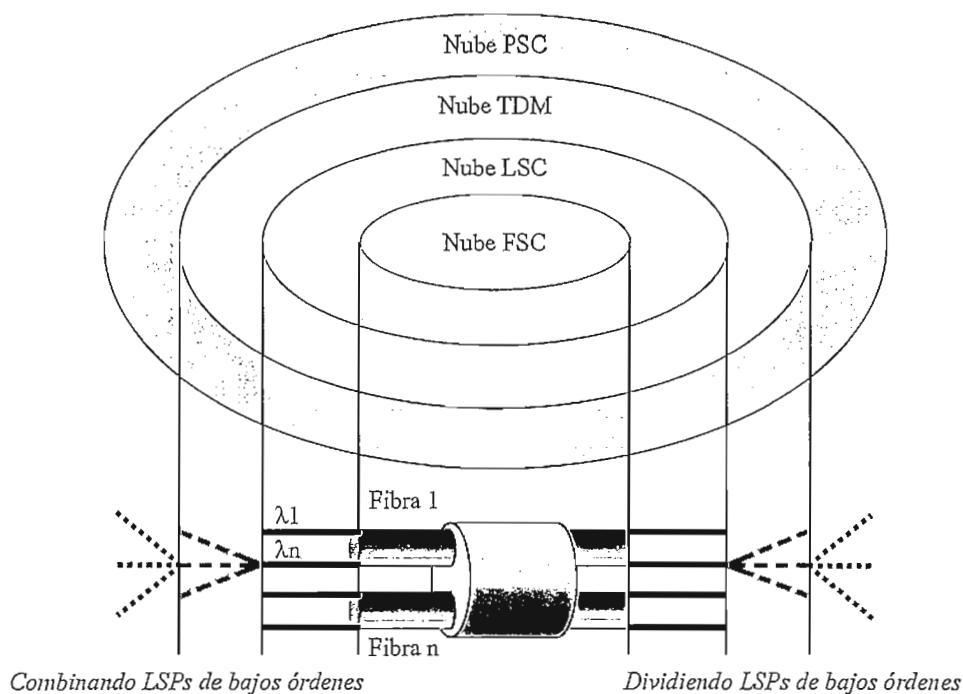


FIGURA 1.50 Jerarquía de LSPs

Los círculos representan las interfaces de los dispositivos de naturaleza similar. Por ejemplo, el círculo FSC consta de conmutadores fotónicos capaces de conmutación de fibras enteras. El círculo LSC consta de OXCs capaces de conmutación de longitudes de onda. El círculo TDM consta de conectores cruzados ATM o SONET. Finalmente, el círculo PSC consta de ruteadores.

⁵⁰ FUENMAYOR, Carlos, "Conmutación de etiquetas multiprotocolo generalizada en redes ópticas". www.ahciet.net/comun/portales/1000/10002/10007/10378/docs/08.pdf

1.3.4.2.3 Enrutador de conmutación de etiquetas (LSR)

Con la misma concepción como en MPLS, los LSRs son ruteadores de gran velocidad en el backbone de la red GMPLS, cuyas principales funciones son el participar en el establecimiento de los circuitos extremo a extremo de la red o LSP usando protocolos de señalización y enrutamiento apropiados.

Sin embargo como ya se ha venido diciendo, los LSRs en GMPLS están integrados con interfaces capaces de conmutar paquetes, ranuras de tiempo, longitudes de onda y fibras.

En GMPLS se contempla la existencia de matrices de conmutación óptica, OXC, que descargan a los ruteadores de gran parte del tráfico que no va destinado a ellos. Además, y aquí reside la esencia del GMPLS, los OXC se consideran como un apéndice o elemento integrado de los ruteadores, de forma que el conjunto de ruteador más OXC se considera a nivel lógico como un único elemento de red, y los procesos de señalización se realizan desde una misma plataforma de control y gestión. En la Figura 1.51, se muestra lo dicho anteriormente y se presenta un esquema descriptivo de un LSR GMPLS. El análisis más detallado de este dispositivo de red, se analiza en el segundo capítulo donde se estudia la arquitectura del conmutador GMPLS.

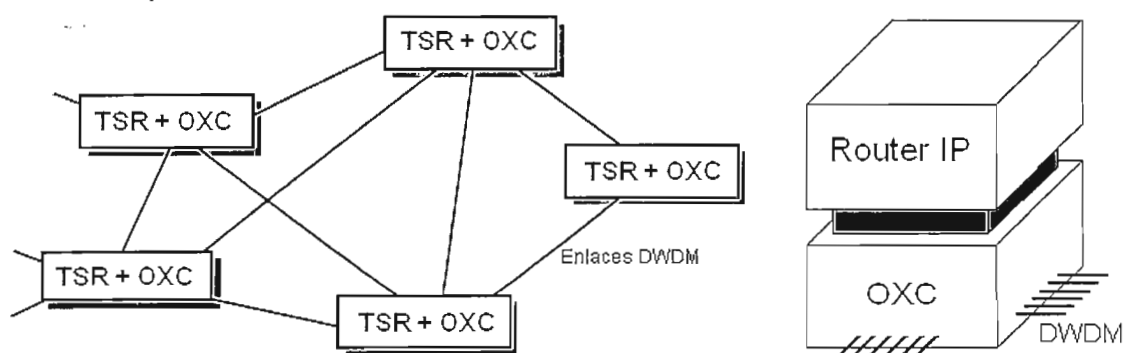


FIGURA 1.51 Esquema de red GMPLS y representación de un LSR GMPLS

Notar además en la figura que TSR quiere decir Terarouters para capacidades de terabit (10^{12} bit), también pueden ser Gigarouters (GSR) para capacidades de gigabit (10^9 bit).

1.3.4.3 Interfaces de red

El OIF (Optical Internetworking Forum), inspirándose en las recomendaciones del UIT y añadiendo ciertas extensiones a los protocolos del IETF para GMPLS, ha desarrollado las especificaciones:

- UNI (User to Network Interface) o interfaz usuario-red
- NNI (Network to Network Interface) o interfaz red-red, de la cual pueden distinguirse la I-NNI (Interior Network-Network Interface) y la E-NNI (Exterior Network-Network)

En la Figura 1.52, podemos apreciar las diferentes interfaces presentes en la red óptica.

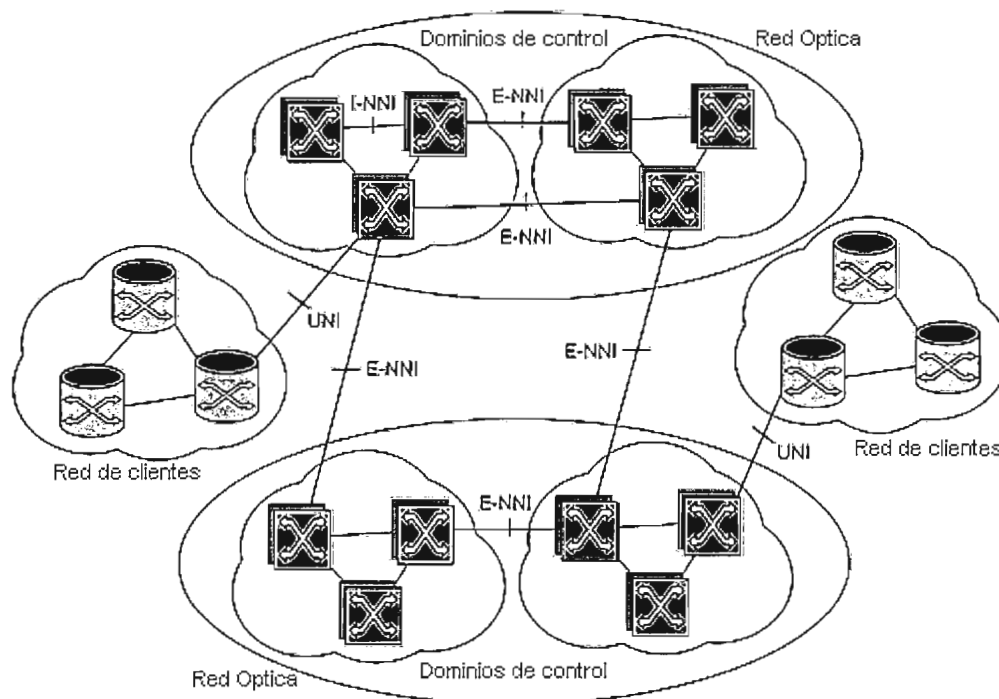


FIGURA 1.52 Interfaces del plano de control de la red óptica⁵¹

⁵¹ BERNSTEIN, Greg; RAJAGOPALAN, Bala; SAHA, Debanjan, Optical Network Control: Architecture, Protocols, and Standards, 1era. Edición, Addison Wesley, EE UU, Julio 2003.

La UNI es la interfaz de control entre un nodo de la red del cliente y un nodo de la red óptica separando totalmente la red óptica del proveedor de la red del usuario. Aspectos como la topología, direccionamiento, recursos y señalización son completamente transparentes para el cliente. A través de ésta interfaz el cliente podrá conocer los servicios disponibles e iniciar una conexión solicitando un determinado ancho de banda, clase de servicio, etc. La especificación del OIF añade ciertas extensiones a LMP para el descubrimiento de nodos y servicios disponibles, y a LDP y RSVP para la señalización.

La I-NNI o Interfaz red-red interna, es la interfaz de control entre dos nodos del mismo dominio de control.

Y finalmente la E-NNI o Interfaz red-red externa, es la interfaz de control entre dos nodos en diferentes dominios de control.

1.4 COMPARACIÓN DE GMPLS/DWDM CON OTRAS TECNOLOGÍAS DE RED

En lo que respecta a los sistemas de multiplexación por longitud de onda como WDM y CWDM ya descritos en las secciones 1.2.2.2 y 1.2.2.3.1 se puede hacer una comparación con DWDM de la siguiente manera:

DWDM espacia las longitudes de onda menos que el WDM, por tanto tiene una capacidad global mayor. Los típicos sistemas DWDM usan láseres que tienen una velocidad de bit de 10 Gpbs (OC-192/STM-64) y pueden multiplexar a 240 longitudes de onda. Esto provee un máximo de 2.4 Tbps sobre una sola fibra óptica. Para el año 2008 o 2009 se prevee que los sistemas DWDM serán capaces de soportar velocidades de 40 Gpbs (OC-768) por cada longitud de onda con 300 canales multiplexados, resultado de esto se podrá transmitir 12 Tbps de ancho de banda sobre una misma fibra.

Con respecto a CWDM y su comparación con DWDM se analiza con ayuda de la Tabla 1.4 mostrada a continuación:

Aplicación/parámetro	CWDM acceso/MAN	DWDM MAN/WAN	DWDM largo alcance
Canales por fibra	4-16	32-80	80-160
Espectro utilizado	O, E, S, C, L	C, L	C, L, S
Espaciado entre canales	20 nm (2500 GHz)	0,8 nm (100 GHz)	0,4 nm (50 GHz)
Capacidad por canal	2,5 Gbit/s	10 Gbit/s	10-40 Gbit/s
Capacidad de la fibra	20-40 Gbit/s	100-1000 Gbit/s	>1 Tbit/s
Tipo de láser	uncooled DFB	cooled DFB	cooled DFB
Tecnología de filtros	TFF	TFF, AWG, FBG	TFF, AWG, FBG
Distancia	hasta 80 km	cientos de km	miles de km
Costo	bajo	medio	Alto
Amplificación óptica	ninguna	EDFA	EDFA, Raman

Tabla 1.4 Comparación de DWDM con CWDM⁵²

Como se observa el sistema CWDM ofrece algunas ventajas clave sobre los sistemas DWDM para aplicaciones que requieren hasta 16 o menos canales. Estos beneficios incluyen costos, requerimientos de energía y tamaño.

Antes de analizar un poco más estas comparaciones, hay que hacer algunas aclaraciones: el DFB (distributed-feedback) es un láser utilizado para la transmisión y para enlaces CWDM no necesita refrigeración (uncooled).

Los FBG (Fiber Bragg Grating), al igual que los TFF, AWG descritos anteriormente, son tecnologías utilizadas para la multiplexación y demultiplexación de lambdas. Un *bragg grating* está hecho de una pequeña sección de fibra que puede ser modificada por la exposición de radiación ultravioleta para crear cambios periódicos en el índice de refracción de la fibra.

Con respecto al costo, los sistemas CWDM proporcionan ahorro en el orden de 35 a 65%. El ahorro proporcionado por CWDM se debe a la reducción de costos de los láseres sin necesidad de control de temperatura y al menor precio de los multiplexores y demultiplexores pasivos. Básicamente, la mayor separación entre canales de los sistemas CWDM permite que las longitudes de onda de los láseres DFB puedan sufrir derivas con los cambios de temperatura, evitando de este

⁵² RAMOS, Francisco, "Redes ópticas basadas en CWDM". www.radioptica.com/Fibra/cwdm.asp

modo la necesidad de emplear controladores de temperatura. Esto trae consigo un ahorro de espacio, simplifica el empaquetamiento del láser y reduce además el consumo de potencia. Al mismo tiempo, el diseño de los filtros de película delgada (thin-film filter, TFF) es más simple puesto que se necesita depositar menos capas en comparación con aquellos para DWDM, los cuales deben cumplir unos requisitos estrictos para las bandas de paso y de guarda. Adicionalmente, se produce también un ahorro de costos en el empaquetamiento de los TFFs como consecuencia de unos requisitos de alineamiento menos severos, lo cual permite una mayor automatización de los procesos de fabricación⁵³.

Otro tipo de redes que pueden competir con DWDM son SONET/SDH. SONET y SDH son un conjunto de estándares para la transmisión o transporte de datos sincrónicos a través de redes de fibra óptica. SONET significa por sus siglas en inglés, *Synchronous Optical Network*, red óptica sincrónica; SDH viene de *Synchronous Digital Hierarchy*, jerarquía digital sincrónica.

Usando como referencia el modelo OSI, SONET y SDH son comúnmente vistos como protocolos de capa uno, es decir, protocolos de la capa física de transporte, basados en la existencia de una referencia temporal común (Reloj primario). En este papel, actúan como portadores físicos de aplicaciones de capa 2 a 4, esto es, es el camino en el cual tráfico de superiores niveles tales como IP o ATM es transportado.

Aunque ambas tecnologías sirven para lo mismo, tienen pequeñas diferencias técnicas, de manera semejante con el T1 y el E1. SONET, por su parte, es utilizada en Estados Unidos, Canadá, Corea, Taiwan y Hong Kong; mientras que SDH es utilizada en el resto del mundo. Los estándares de SONET están definidos por la ANSI (*American National Standards Institute*) y los SDH por la ITU-T (*International Telecommunications Union*). En la Tabla 1.5 se muestra la equivalencia entre SDH y SONET en cuestión de velocidades o tasas de bits.

⁵³ RAMOS, Francisco, "Redes ópticas basadas en CWDM" www.radioptica.com/Fibra/cwdm.asp

SONET		SDH	Tasa de bits (Mbps)
Nivel óptico	Nivel eléctrico	Equivalencia	
OC-1	STS-1	STM-0	51.84
OC-3	STS-3	STM-1	155.52
OC-12	STS-12	STM-4	622.08
OC-48	STS-48	STM-16	2488.32
OC-192	STS-192	STM-64	9953.28
OC-768	STS-768	STM-256	39812.12

Tabla 1.5 Equivalencia en Jerarquías Digitales SDH y SONET

En la tabla 1.5, STM quiere decir *Synchronous Transport Module*, STS es *Synchronous Transport Signal* y OC, *Optical Carrier*. Una velocidad OC-N es equivalente a una señal eléctrica STS-N. Los dispositivos de usuario finales transmiten y reciben señales eléctricas, las cuales deben convertirse a y desde señales ópticas para transmisión a través de fibras ópticas.

La tasa de bits se refiere a la velocidad de información que es transportada a través de la fibra óptica. Una porción de estos bits sobre la línea son designados como "overhead". El *overhead* transporta información que provee capacidades tales como ensamblado de tramas, multicanalización, estatus de la red, rastreo, monitoreo de desempeño y funciones conocidas como OAM&P (Operations, Administration, Maintenance and Provisioning). Los bits restantes es la carga útil, es decir el ancho de banda disponible para transportar los datos de los usuarios tales como paquetes o celdas ATM (Asynchronous Transfer Mode) o cualquier otro tipo de información.

A continuación se describe las jerarquías de multiplexación, tanto para SONET como para SDH.

La especificación SONET define una jerarquía de velocidades de datos digitales normalizadas (Tabla 1.5). En el nivel más bajo, denominado STS-1 (synchronous transport signal level 1) u OC-1 (Optical Carrier level 1), la velocidad es 51.48 Mbps. Esta velocidad se puede usar para transportar una sola señal DS-3 o un grupo de señales a velocidad inferior tales como DS1, DS2 y otras velocidades ITU-T (por ejemplo 2.048 Mbps). Además se pueden combinar varias señales STS-1 para formar una señal STS-N. La señal se crea mezclando octetos de N

señales STS-1 mutuamente sincronizadas⁵⁴. La Figura 1.53, muestra la jerarquía de multiplexación SONET.

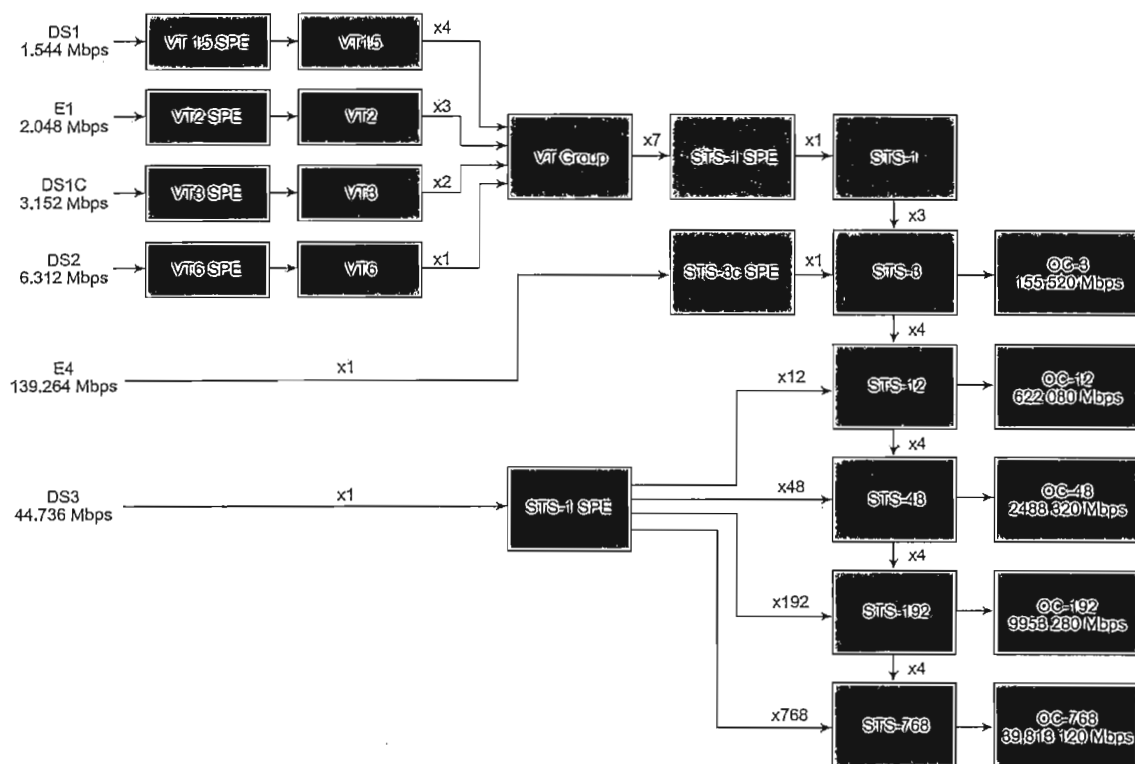


FIGURA 1.53 Jerarquía de multiplexación SONET⁵⁵

Para SDH o jerarquía digital síncrona de la UIT la velocidad menor es de 155.52 Mbps, y se denomina STM-1. Esta se corresponde con STS-3 de SONET (3 x 51.84 Mbps = 155.52 Mbps) y así sucesivamente. La Figura 1.54, muestra la jerarquía de multiplexación SDH.

⁵⁴ STALLINGS, William, Comunicaciones y redes de computadores, 6ta. Edición, Prentice Hall, 2000, Pag. 239

⁵⁵ ALWAYN, Vivek, Optical Network Design and Implementation, 1era. Edición, Cisco Press, Indianápolis-USA, 2004.

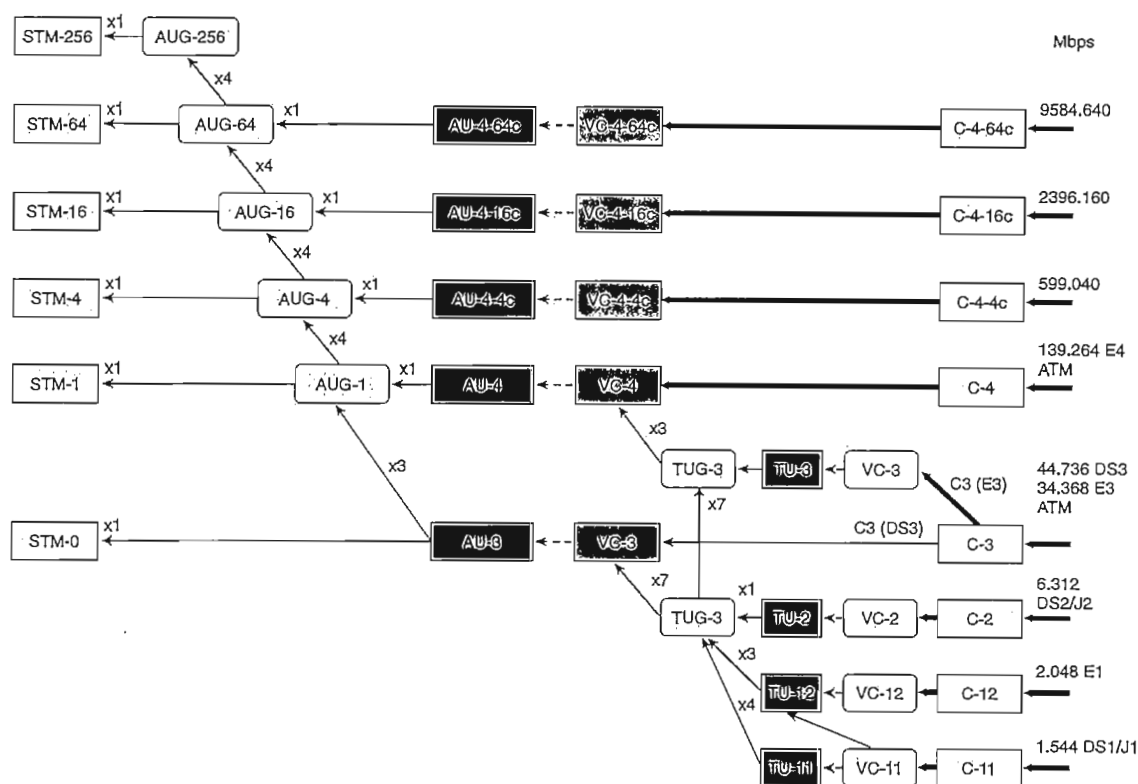


FIGURA 1.54 Jerarquía de multiplexación SDH⁵⁶

Dentro de la infraestructura de red, tanto SONET como SDH, tienen regeneradores o amplificadores que regeneran la señal deteriorada entre multiplexores. Otro elemento típico de las redes sincrónicas es el multiplexor terminal o terminales de línea, en el cual, en una dirección la señal digital tributaria es terminada, multiplexada y transmitida en una señal de mayor velocidad. En la dirección opuesta, la señal de mayor tasa de transmisión es terminada, demultiplexada y reconstruida la señal digital de tributario.

También hay los Multiplexores Add-Drop (ADM), estos equipos ofrecen la función de conexiones cruzadas junto con la de terminal de línea y multiplexación. En SDH es posible extraer (Drop) un contenedor virtual e insertar en sentido contrario (Add) otro contenedor virtual a la señal STM directamente sin necesidad de despeinarla. Esta ventaja fundamental de los sistemas sincrónicos significa que

⁵⁶ Tomado de ALWAYN, Vivek, Optical Network Design and Implementation, 1era. Edición, Cisco Press, Indianápolis-USA, 2004.

es posible conectar flexiblemente señales entre interfaces de elementos de red (agregados o tributarios).

Por otro lado, las redes sincrónicas utilizan los conectores cruzados digitales (DCS), cuya función principal es la de proporcionar supervisión de las conexiones. Todos DCS proporcionan funcionalidades de conexión cruzada, multiplexación y terminación de línea, las cuales son esenciales como interfaz entre la matriz de conexión cruzada y el resto de la red. En este sentido, puede normalmente aceptar combinaciones de entradas de 2, 155 y 622 Mbps y cross-conectar VC-12s, e incluso algunos actualmente pueden cross-conectar VC-2s, VC-3s, y VC-4s. De todos modos, estos equipos son instalados en los puntos de red donde es necesaria una reorganización de la ruta principal y de circuitos, como por ejemplo entre el núcleo de la red y redes regionales.

Con respecto a las topologías de red que pueden implementarse en SONET/SDH son: punto a punto, punto a multipunto, con un hub central, en anillo y malla.

Comparando las tecnologías SONET/SDH con GMPLS/DWDM se tiene grandes diferencias. A continuación se describe algunos puntos que hacen notar esto.

- El modo de transportar la información es completamente diferente. En SONET/SDH se lo hace en base a tramas y en GMPLS/DWDM con etiquetas generalizadas.
- SONET toma las señales sincrónicas y asíncronas y las multiplexa a una velocidad de transmisión más alta con una sola longitud de onda sobre fibra. Las señales de entrada pueden tener que ser convertidas de eléctricas a ópticas o de ópticas a eléctricas y vuelta a ópticas antes de ser multiplexadas. DWDM en cambio toma varias señales ópticas, las mapea en longitudes de onda individuales y multiplexa las longitudes de onda en una fibra.
- Otra diferencia fundamental entre las dos tecnologías es que DWDM puede transportar múltiples protocolos sin un formato común de la señal, mientras

que SONET no puede hacerlo, este transmite únicamente sus propios formatos de acuerdo a la su jerarquía de multiplexación. Lo podemos apreciar en la Figura 1.55, mostrada a continuación:

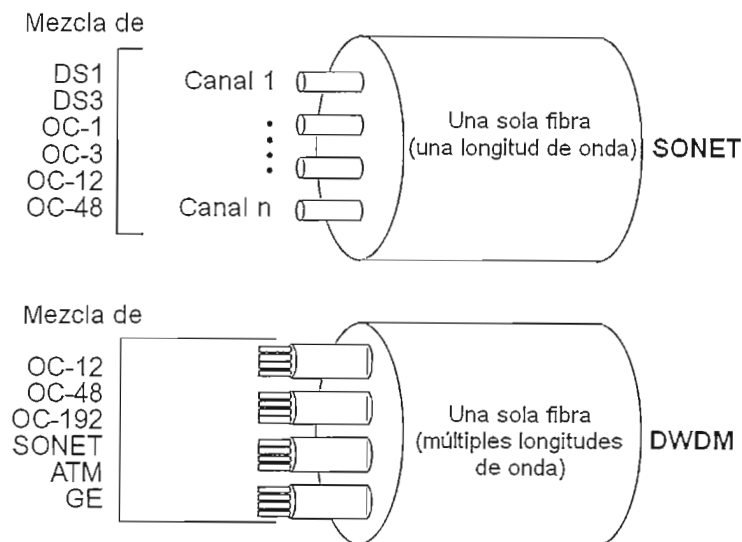


FIGURA 1.55 Interfaces en SONET y DWDM

- Los amplificadores ópticos se usan para aumentar las distancias en SONET, y para esto es necesario un amplificador para cada fibra. En DWDM, como se transportan varias señales en una sola fibra, se necesita menos equipamiento y no se necesitan los regeneradores como el caso de SONET. Un solo amplificador óptico puede amplificar todos los canales de una fibra DWDM sin demultiplexación ni procesamiento individualizado, con el costo de un simple regenerador. Lo anterior se lo aprecia en la Figura 1.56 mostrada a continuación:

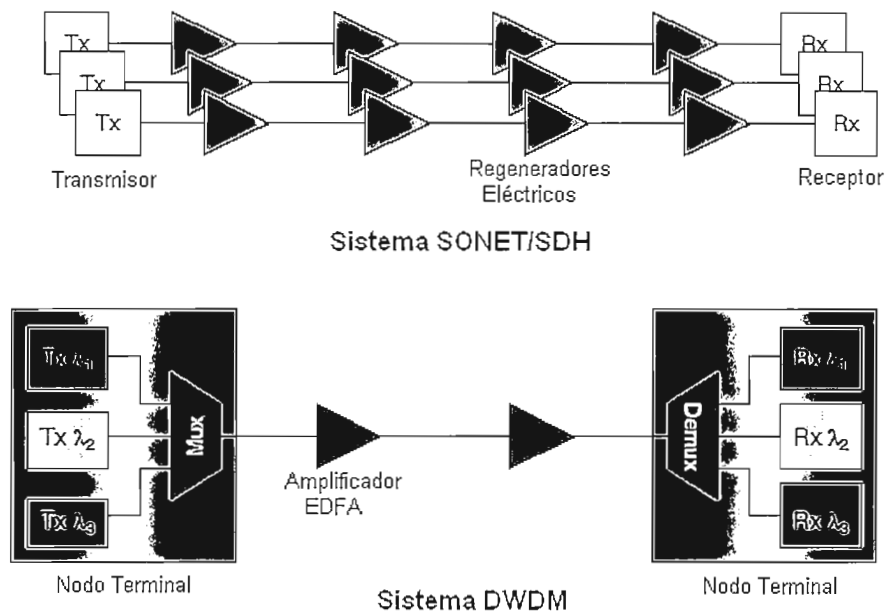


FIGURA 1.56 Comparación entre los sistemas SONET/SDH y DWDM

- Además de reducir drásticamente el costo de los regeneradores, los sistemas DWDM simplifican en mucho la expansión de la capacidad de la red. El único requerimiento es instalar interfaces adicionales o de mayor velocidad en los sistemas DWDM en el extremo de la fibra. En algunos casos solo será necesario aumentar el número de longitudes de onda de la fibra en las interfaces existentes, cosa que en SONET no se lo puede hacer.
- Con SONET no se aprovecha toda la capacidad de la fibra (ancho de banda). En DWDM si se lo hace en gran medida, multiplexando muchos canales y transmitiéndolos a grandes velocidades.
- Podemos decir que los mecanismos de señalización son muy diferentes. En SONET/SDH se lo hace en base a la información de señalización transportada en la trama. En cambio en GMPLS/DWDM se lo hace en base de etiquetas generalizadas con ayuda de los protocolos de señalización CR-LDP y RSVP-TE.

Otra importante tecnología relacionada con las redes GMPLS/DWDM es MPLS ya descrita anteriormente en 1.3.1.1, las comparaciones más relevantes que podemos hacer entre estas dos tecnologías son las siguientes:

- El MPLS Generalizado difiere del MPLS tradicional en que soporta múltiples tipos de conmutación, por ejemplo, la adición de soporte para conmutación TDM, lambda y fibra (puerto). El soporte para tipos adicionales de conmutación ha llevado al MPLS Generalizado a extender determinadas funciones base del MPLS tradicional y, en algunos casos, a añadir funcionalidad. Estos cambios y adiciones impactan en las propiedades básicas del LSP, como son solicitadas y comunicadas las etiquetas, la naturaleza unidireccional de los LSPs, como se propagan los errores, y la información suministrada para la sincronización de la entrada y la salida⁵⁷.
- Mientras que el MPLS tradicional de ingeniería de tráfico (y aún el LDP) es unidireccional, el MPLS Generalizado soporta el establecimiento de LSPs bidireccionales. La necesidad de los LSPs bidireccionales viene de las aplicaciones no PSC. También los LSPs bidireccionales tienen el beneficio de una latencia de establecimiento más baja y se requieren menos mensajes durante el establecimiento.
- El MPLS Generalizado formaliza la posible separación de los canales de control y datos. Este soporte es particularmente importante para soportar las tecnologías donde el tráfico de control no se puede enviar “in-band” con el tráfico de datos.
- Otra diferencia básica entre los tipos tradicionales de MPLS y los no PSC de los LSPs del MPLS Generalizado es que la asignación de ancho de banda para un LSP se puede realizar solamente en unidades discretas.

⁵⁷ BERGER, L. “Generalized Multi-Protocol Label Switching (GMPLS) Signaling Functional Description”. IETF RFC 3471, Enero 2003.

- En la Ingeniería de Tráfico del MPLS tradicional, los enlaces atravesados por un LSP pueden incluir una mezcla de enlaces con codificaciones heterogéneas de etiquetas. Por ejemplo, un LSP puede abarcar enlaces entre ruteadores, enlaces entre ruteadores y LSRs de ATM y enlaces entre LSRs de ATM. El MPLS Generalizado extiende esto incluyendo enlaces donde la etiqueta es codificada como una ranura de tiempo o una longitud de onda o una posición en el espacio físico del mundo real y además, haciendo que un LSP empiece y acabe en un tipo similar de LSRs.
- Como ya se había dicho anteriormente, en MPLS se usa una etiqueta de 32 bits basada en IP, en cambio en GMPLS se utiliza la etiqueta generalizada o un arreglo de bytes de longitud variable que en su contexto implica una generalización hacia cualquier cosa que sea suficiente para identificar un flujo de tráfico, por ejemplo, paquetes, ranuras de tiempo, longitudes de onda, bloques de longitudes de onda (waveband) o posiciones en el espacio físico (fibra óptica/puerto).
- El GMPLS mejora en gran medida al plano de control, ya que amplía los protocolos de señalización y enrutamiento de MPLS y añade un nuevo que es el LMP, especializado para dar soporte a la gestión de las operaciones del GMPLS.
- El concepto de LSPs jerárquicos (un LSP dentro de otro LSP), permite en GMPLS construir una verdadera jerarquía de envío entre una misma interfaz o entre todas las posibles interfaces que hay en GMPLS. Esto el MPLS no lo puede hacer.

CAPÍTULO 2: REDES ÓPTICAS CON INFRAESTRUCTURA DWDM Y GMPLS

2.1 INGENIERÍA DE TRÁFICO EN LAS REDES GMPLS

La Ingeniería de Tráfico (TE) permite mover parte del tráfico de datos, desde el camino más corto calculado por los protocolos de encaminamiento, a otros caminos físicos menos congestionados o menos susceptibles a sufrir fallos. Es decir, se refiere al proceso de seleccionar los caminos que seguirá el flujo de datos con el fin de balancear la carga de tráfico y así evitar que un subconjunto (enlaces, equipos, etc.) de la red se sature mientras otro subconjunto de la misma se encuentra poco utilizado, evitando así posibles cuellos de botella y mejorando el rendimiento de la red global.

Por ejemplo, en la Figura 2.1, Los flujos de tráfico siguen el camino más corto calculado por el algoritmo IGP correspondiente. En casos de congestión de algunos enlaces, el problema se resolvería añadiendo más capacidad a los enlaces. La ingeniería de tráfico consiste en trasladar determinados flujos seleccionados por el algoritmo IGP de los enlaces más congestionados, a otros enlaces más descargados, aunque estén fuera de la ruta más corta (con menos saltos).

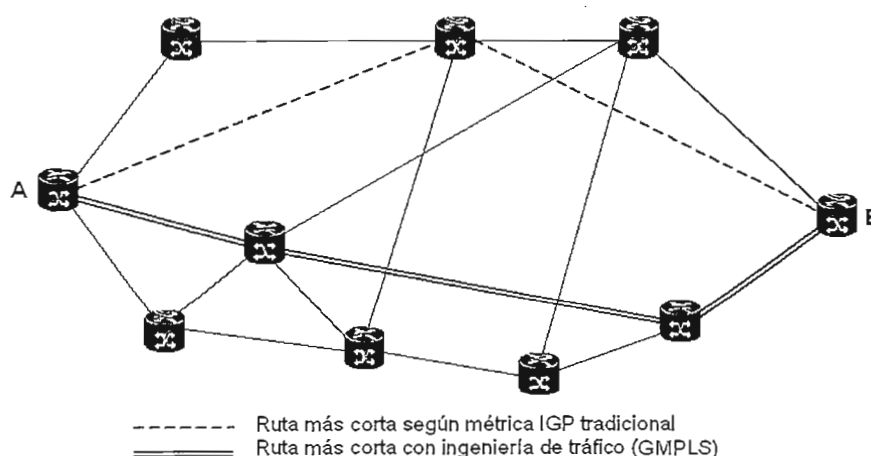


FIGURA 2.1 Selección de los caminos mediante la ingeniería de tráfico

El camino más corto entre A y B según la métrica normal IGP es el que tiene sólo dos saltos, pero puede que el exceso de tráfico sobre esos enlaces haga aconsejable la utilización del camino alternativo indicado con un salto más (o más saltos también). GMPLS es una herramienta efectiva para esta aplicación en grandes backbones.

Una propiedad importante de un enlace de ingeniería de tráfico (TE) está relacionada con la contabilidad del ancho de banda para este enlace. El GMPLS define distintas reglas contables para diferentes niveles no PSC (capaz de conmutar paquetes). Sin embargo los atributos genéricos del ancho de banda están definidos por extensiones de ingeniería de tráfico para enrutamiento y por el GMPLS, tales como el ancho de banda sin reserva, el máximo ancho de banda reservable, el máximo ancho de banda del camino LSP.

Las propiedades de ingeniería de tráfico asociadas a un enlace incluyen también características relacionadas con la protección y restauración.

En esta parte de la ingeniería de tráfico de GMPLS se describen los protocolos de enrutamiento como el OSPF e IS-IS y los protocolos de señalización RSVP y CR-LDP utilizados ya en MPLS-TE y también se describe las mejoras o extensiones de estos protocolos para su utilización en las redes ópticas GMPLS.

2.1.1 ENRUTAMIENTO EN GMPLS

2.1.1.1 Protocolo OSPF

OSPF (*Open Shortest Path First*, abrir primero la trayectoria más corta), es un protocolo de enrutamiento de estado de enlace definido en varios estándares del IETF (Fuerza de Tareas de Ingeniería de Internet). Se basa en las normas de código abierto, lo que significa que muchos fabricantes lo pueden desarrollar y mejorar.

En grandes redes, OSPF se puede configurar para abarcar varias áreas y distintos tipos de área, a esto se llama, sistemas autónomos (AS). Cada AS tiene un área de backbone y todas las áreas se conectan al backbone.

OSPF es un protocolo de estado de enlace, los cuales generan una inundación de información de ruta, que da a cada ruteador una visión completa de la topología de red. El método de actualización desencadenada por eventos permite el uso eficiente del ancho de banda y una convergencia más rápida. Los cambios en el estado de un enlace se envían a todos los ruteadores en la red tan pronto como se produce el cambio.

Los protocolos del estado de enlace utilizan la publicación de estado de enlace (LSA) que son paquetes de broadcast y contienen información acerca de los vecinos y los costos de la ruta. Los ruteadores receptores usan las LSA para mantener sus tablas de enrutamiento, con esto cada ruteador sabe de inmediato los cambios de la topología de la red.

Luego de que cada ruteador haya actualizado su base de datos, utiliza el algoritmo SPF para calcular una topología lógica sin bucles hacia cada red conocida. Se utiliza la ruta más corta con el menor costo para crear esta topología, por lo tanto, se selecciona la mejor ruta.

OSPF es en realidad el resultante de tres subprotocolos: *Hello*, *Exchange* y *Flooding*. Cada subprotocolo caracteriza a un protocolo OSPF que realiza una función distinta, por ejemplo, *Hello*, es usado para comprobar que los enlaces siguen en pie (un paquete enviado cada cierto tiempo), *Exchange*, para que dos ruteadores vecinos intercambien los contenidos iniciales de sus respectivas bases de datos, y *Flooding*, para comunicarse cambios en las bases de datos respectivas.⁵⁸

⁵⁸ MARTEY, Abe; STURGESS, Scott, OSPF Network Design Solutions, 1era. Edición, Cisco Press, EE. UU. 2002

Todos estos paquetes OSPF comienzan con una cabecera común de 24 bytes de longitud. En la Figura 2.2 se muestra esta cabecera que se emite junto con cada subprotocolo OSPF.

Version #	Type	Packet length
Router ID		
Area ID		
Checksum		AuType
Authentication		
Authentication		

FIGURA 2.2 Cabecera común de los subprotocolos OSPF

Para el propósito de ingeniería de tráfico con el protocolo OSPF, y para hacer una introducción a las extensiones de OSPF que soporten GMPLS es importante describir el subprotocolo Flooding.

El subprotocolo Flooding de OSPF es el responsable de la distribución y sincronización del estado de la base de datos de cada ruteador cuando un cambio a ocurrido en la topología de la red. Por ejemplo, si se ha perdido un enlace, el ruteador que ha experimentado los cambios envía un paquete de broadcast a toda la red para que los demás ruteadores actualicen sus tablas de enrutamiento. En la Figura 2.3 se muestra el nombre de los campos y como está estructurado el paquete para el subprotocolo flooding.

OSPF packet header
Number of advertisements
Link State advertisements ---

FIGURA 2.3 Paquete del subprotocolo flooding

Como se observa en la figura anterior el último campo del paquete corresponde al Link State Advertisements (LSA), que son las publicaciones de estado de enlace y

son enviados por medio de broadcast por un ruteador a los demás con el fin de que cada uno conozca inmediatamente los cambios ocurridos en la topología de la red.

Por ejemplo, en la Figura 2.4 una interfaz conectada al ruteador A ha detectado que una interfaz se ha dado de baja, entonces este envía un broadcast de LSAs a todos los demás ruteadores para que actualicen su base de datos y calculen nuevamente las mejores rutas.

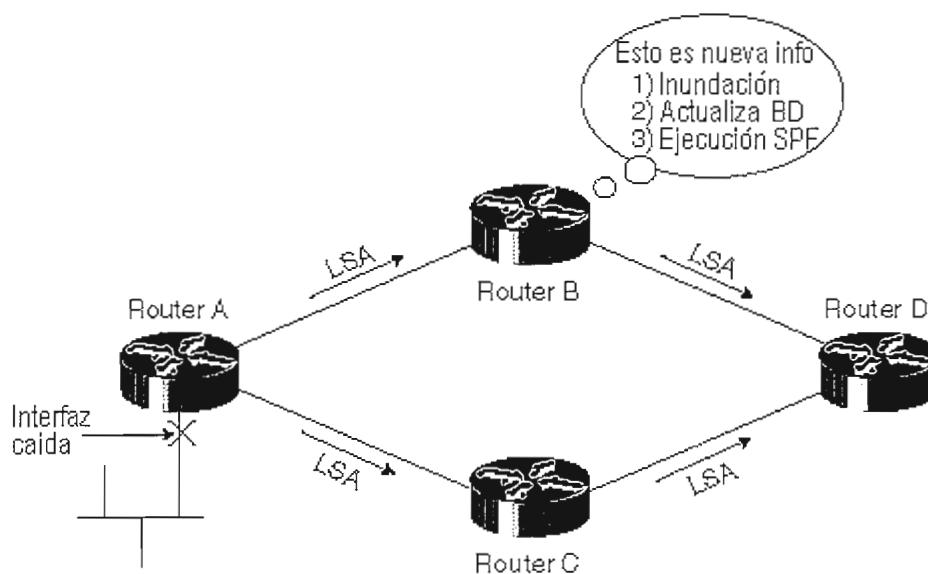


FIGURA 2.4 Ejemplo de inundación con paquetes LSA

En OSPF son definidos cinco diferentes tipos de LSAs, entre estos tenemos:⁵⁹

1. Router LSA (LSA de ruteo): Este contiene el estado y el costo de todos los enlaces punto a punto que terminan en un ruteador. Hay un solo LSA de ruteo asociado con un ruteador. Cabe señalar que en las redes ópticas todos los enlaces son punto a punto y por consiguiente se puede utilizar los LSAs de ruteo.

⁵⁹ BERNSTEIN, Greg; RAJAGOPALAN, Bala; SAHA, Debanjan, Optical Network Control: Architecture, Protocols, and Standards, 1era. Edición, Addison Wesley, EE UU, Julio 2003.

2. Network LSA (LSA de red): Este contiene una representación de cada red de broadcast, por ejemplo, ethernet. Los LSA de red no son necesarios en las redes ópticas.
3. Summary LSA (LSA de resumen): Corresponde a la información sobre los destinos alcanzables dentro de un AS a los nodos que están fuera del AS. En las redes ópticas los Summary LSA pueden ser usados en las redes ópticas con enrutamiento multiarea.
4. LSA externos y LSA ASBR: Rutas aprendidas por otros ASs son distribuidas usando los LSAs externos y LSAs ASBR (LSAs de rutas de frontera de un sistema autónomo).
5. LSA Opaco: Corresponde a un estándar desarrollado para extender a OSPF al enrutamiento en las redes ópticas.

Para los propósitos de GMPLS es importante describir el LSA Opaco. Este consiste de un header o encabezado LSA estándar (Figura 2.5), seguido por un campo de información, carga útil o *payload* que consiste en uno o más TLV (Tipo/Longitud/Valor) anidados con propósitos específicos y de escalabilidad.

El formato de cada TLV se muestra en la Figura 2.6.

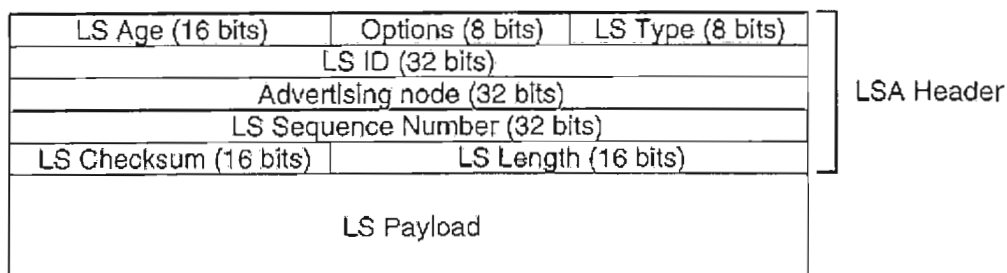


FIGURA 2.5 Formato del paquete LSA

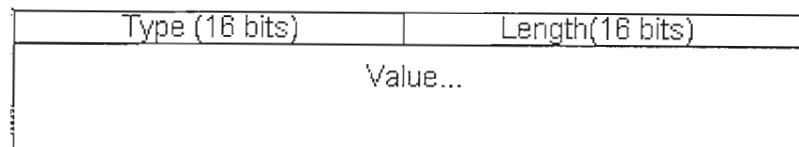


FIGURA 2.6 Formato del TLV

Este tipo de LSAs son distribuidos usando mecanismos de inundación OSPF. La manera en que los LSA opacos son inundados depende de los alcances de la inundación, para esto tenemos tres casos:

- Inundación en un enlace local: En este caso, los LSA son solamente transmitidos sobre un simple enlace punto a punto.
- Inundación en un área local: En este caso, el LSA opaco es inundado solamente en el área donde este fue originado.
- Inundación extensa en AS: En este caso, los LSAs con inundados a través de AS.

En la carga útil o payload del LSA se definen dos tipos de TLVs, los cuales son: TLV de dirección enrutada (*Router Address TLV*) y TLV de enlace (*Link TLV*)⁶⁰. En GMPLS es importante el TLV de enlace el cual está conformado de un conjunto de sub-TLVs que se describen más adelante.

2.1.1.2 Protocolo IS-IS

El protocolo IS-IS (Sistema Intermedio a Sistema Intermedio), es también un protocolo de estado de enlace que ofrece similares servicios que el OSPF. IS-IS sin embargo fue desarrollado por ISO como una parte de la arquitectura de red OSI (Interconexión de Sistema Abierto).

En términos de OSI, un sistema final (ES) se refiere a cualquier nodo de red que no realiza enrutamiento (por ejemplo, un host), mientras que en un sistema

⁶⁰ KATZ, D; KOMPPELLA, K. "Traffic Engineering (TE) Extensions to OSPF Version 2". IETF RFC 3630, Septiembre, 2003.

intermedio (IS) esta un ruteador. Así el protocolo ES-IS permite entre los ESs e ISs identificarse el uno del otro, mientras que el protocolo IS-IS permite el enrutamiento entre ISs.

IS-IS inunda periódicamente a la red con información del estado del enlace, permitiendo a cada ruteador mantener completo y actualizado el esquema de la topología de la red. Una métrica opcional que utiliza IS-IS se basa en el retardo, el costo y el error. El retardo representa la cantidad de retardo presente en el enlace, el costo se relaciona a los costos asignados a los enlaces en un camino y el error representa la tasa de error de un enlace.

Las características que presenta el protocolo IS-IS generalmente son:

- Funciona como un protocolo de enrutamiento intradominio
- Presenta una visión global de la red para optimizar las decisiones de enrutamiento.
- Provee una rápida convergencia en caso de fallas
- Hace uso eficiente de los recursos de la red, como por ejemplo, la memoria del ruteador y el ancho de banda de la red.

El formato del paquete genérico usado por todos los paquetes IS-IS es de la siguiente manera, como lo muestra la Figura 2.7.

				No. of Octets
Intradomain Routing Protocol Discriminator				1
Length Indicator				1
Version/Protocol ID Extension				1
ID Length				1
R	R	R	PDU Type	1
Version				1
Reserved				1
Maximum Area Addresses				1
Additional Header Fields				
TLV Fields				

FIGURA 2.7 Formato genérico del paquete IS-IS

El significado de cada uno de estos campos se indica a continuación.⁶¹

- Indicador del protocolo de enrutamiento intradominio (*Intradomain Routing Protocol Discriminator*): Este es el identificador de la capa de red asignado a IS-IS, fue especificado por ISO, este valor es 10000011 (en binario), 0x83 (en hexadecimal), o 131 (en decimal).
- Indicador de longitud (*Length Indicator*): Es la longitud del campo de cabecera del paquete en octetos.
- Version/Identificador de extensión de protocolo (*Version/Protocol ID Extensión*): Tiene un valor generalmente de 1.
- ID Length: Indica la longitud del campo fuente.
- Tipo de la unidad de datos de protocolo (*PDU Type*): Especifica el tipo de paquete IS-IS. Básicamente se usan tres tipos de paquetes *Hello* (hola), *Link State* (estado de enlace) y *Sequence Number* (número de secuencia).
- Versión (*Version*): El valor es 1.

⁶¹ MARTEY, Abe; STURGESS, Scott, IS-IS Network Design Solutions, 1era. Edición, Cisco Press, EE. UU. 2002

- Reservado (*Reserved*): Bits no usados, puesto a 0.
- Direcciones por área máxima (*Maximum Area Addresses*): Valores entre 1 y 254. Un valor de 0 implica un máximo de tres direcciones por área.
- Tipo/Longitud/Valor (TLV): Tipo, es un código numérico para especificar los TLVs, Longitud, indica la longitud total del TLV, Valor, es un valor que indica el contenido del TLV.

A los protocolos OSPF e IS-IS se les ha hecho algunas extensiones para que soporten ingeniería de tráfico (TE) y puedan ser utilizados en MPLS-TE y seguidamente en GMPLS-TE. Más adelante se describe este tipo de extensiones.

2.1.1.3 Mejoramiento de los protocolos de enrutamiento OSPF e IS-IS para GMPLS⁶²

Tradicionalmente, un enlace de ingeniería de tráfico (TE) es anunciado como adjunto a un enlace OSPF o IS-IS "normal". En el anuncio de un enlace se incluyen las propiedades regulares IGP del enlace (métrica SPF básicamente) y las propiedades TE del enlace.

Sin embargo el GMPLS desafía esta idea de tres formas:

- Primero, los enlaces que no son PSC (capaces de conmutar paquetes) pueden tener propiedades de Ingeniería de tráfico (TE); Sin embargo no se puede establecer una adyacencia OSPF directamente en dichos enlaces. Por definición, dos nodos tienen una adyacencia de enrutamiento (IS-IS/OSPF) si son vecinos y comparten información de enrutamiento.
- Segundo, un LSP puede ser publicado como un enlace TE punto a punto en el protocolo de enrutamiento como una adyacencia de enrutamiento (FA); Así, un enlace TE anunciado no tiene que estar entre dos vecinos OSPF directos.

⁶² MANNIE, Eric. "Generalized Multi-Protocol Label Switching (GMPLS) Architecture". IETF RFC 3945, Octubre 2004.

- Tercero, se puede anunciar una cantidad indeterminada de enlaces como un único enlace TE (p.e. para mejorar la escalabilidad), por lo que de nuevo no hay una relación uno a uno entre una adyacencia regular y un enlace TE.

Un enlace GMPLS TE tiene propiedades especiales de ingeniería de tráfico que pueden ser configuradas u obtenidas por medio de los protocolos de enrutamiento.

IS-IS-TE y OSPF-TE explican como asociar propiedades de TE a los enlaces regulares (conmutados por paquetes) y además GMPLS extiende el conjunto de propiedades de TE para explicar como asociar dichas propiedades de ingeniería de tráfico a enlaces que no son conmutados por paquetes, como son los enlaces entre OXCs.

En la figura 2.8 se muestra un enlace GMPLS TE que se extiende más allá de dos nodos adyacentes y puede incluir múltiples enlaces paralelos. Los nodos finales del enlace no pueden ser parte de una adyacencia de enrutamiento. En el contexto de MPLS, el enlace entre dos nodos adyacentes A y B forman una adyacencia de enrutamiento usando un protocolo de enrutamiento, por decir OSPF. En el contexto GMPLS, el enlace atraviesa múltiples nodos y los dos LSRs B y C. A y F no establecen una adyacencia de enrutamiento.⁶³

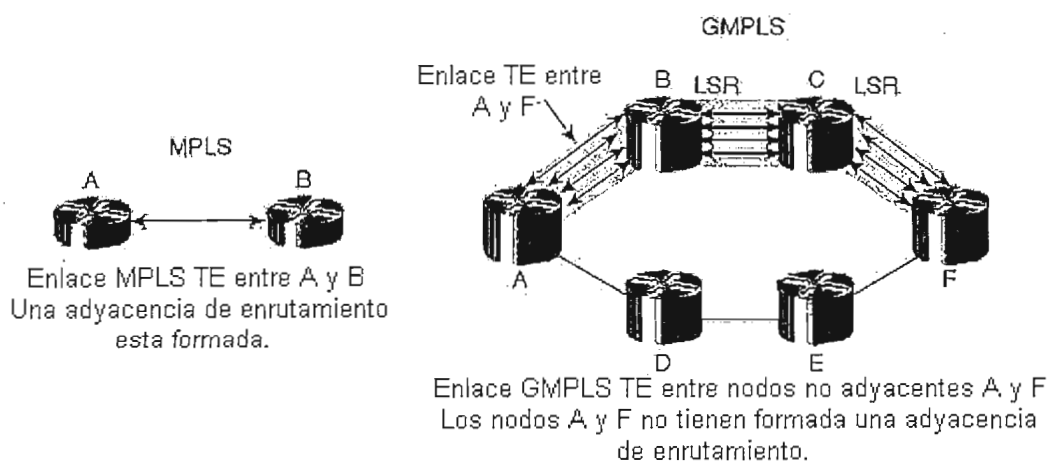


FIGURA 2.8 Enlace GMPLS TE

⁶³ HALABI, Sam, Metro Ethernet, 1era. Edición, Cisco Press, Indianápolis-USA, 2003.

A continuación se describe las extensiones que requieren los protocolos de enrutamiento para soportar GMPLS.

Como ya se describió anteriormente los objetos TLV, están anidados en el payload o carga útil del LSA. Y además se definen dos tipos de TLVs: TLV de dirección enrutada y TLV de enlace.

El TLV de enlace (*Link TLV*) es usado para los propósitos de ingeniería de tráfico en MPLS. Este se construye de un conjunto de sub-TLVs, que se describen a continuación.⁶⁴

- 1 - Tipo de enlace (1 octeto)
- 2 - ID Enlace (4 octetos)
- 3 - Dirección IP de la Interfaz local (4 octetos)
- 4 - Dirección IP de la Interfaz remota (4 octetos)
- 5 - Métrica de Ingeniería de Tráfico (4 octetos)
- 6 - Máximo ancho de banda (4 octetos)
- 7 - Máximo ancho de banda reservable (4 octetos)
- 8 - Ancho de banda no reservado (32 octetos)
- 9 - Grupo administrativo (4 octetos)

Con el propósito de reforzar a los TLVs para soportar GMPLS, en OSPF se han adicionado los siguientes sub-TLVs a los Link TLV:⁶⁵

<i>Tipo de Sub-TLV</i>	<i>Longitud</i>	<i>Nombre</i>
11	8	Identificadores del enlace Local/Remoto
14	4	Tipo de protección del enlace
15	variable	Descriptor de la capacidad de conmutación de la interfaz
16	variable	Grupo de enlace de riesgo compartido

⁶⁴ KATZ, D; KOMPELLA, K. "Traffic Engineering (TE) Extensions to OSPF Version 2". IETF RFC 3630, Septiembre, 2003.

⁶⁵ KOMPELLA, K, REKHTER, Y, "OSPF Extensions in Support of Generalized Multi-Protocol Label Switching", IETF Internet Draft, 2004.

Y con respecto al protocolo IS-IS se han adicionado los siguientes sub-TLVs a los Link TLV:⁶⁶

<i>Tipo de Sub-TLV</i>	<i>Longitud</i>	<i>Nombre</i>
4	8	Identificadores del enlace Local/Remoto
20	2	Tipo de protección del enlace
21	variable	Descriptor de la capacidad de conmutación de la interfaz
138	variable	Grupo de enlace de riesgo compartido

Haciendo uso de lo descrito anteriormente, se puede listar las mejoras que GMPLS incluye para el enrutamiento:

- LSPs Jerárquicos
- Enlaces no numerados
- Enlaces agrupados
- Tipos de protección del enlace
- Grupos de enlaces de información de riesgo compartido
- Descriptor de capacidad de conmutación de interfaz

A continuación se describe cada uno de estos puntos:

2.1.1.3.1 LSPs Jerárquicos para TE (LSP TE)

Con respecto a los LSPs Jerárquicos que ya se explicó en el capítulo anterior en la sección 1.3.4.2.2.1, se puede añadir que estos mejoraran la escalabilidad de la Ingeniería de Tráfico (TE) en GMPLS ya que puede ser útil agregar múltiples LSPs TE dentro de un LSP TE mayor, de esta manera, los nodos intermedios ven solo el camino externo LSP y ellos no tienen que mantener los estados de envío de cada camino interno LSP. Necesitan ser intercambiados menos mensajes de señalización y el camino externo LSP puede ser de alguna manera protegido en

⁶⁶ KOMPPELLA, K, REKHTER, Y, "IS-IS Extensions in Support of Generalized Multi-Protocol Label Switching", IETF Internet Draft, 2004.

vez de (o además) el camino interno LSP. Esto puede aumentar considerablemente la escalabilidad de la señalización.

2.1.1.3.2 Enlaces no numerados

Los enlaces no numerados (o interfaces) son enlaces (o interfaces) que no tienen direcciones IP. Al no estar identificados por una dirección IP, cada extremo necesita algún tipo de identificador local de cara al LSR al que pertenece el enlace. Los LSR en los dos puntos extremos de un enlace no numerado, se intercambian los identificadores que ellos asignan al enlace.

Como ya se describió anteriormente para OSPF e IS-IS, el sub-TLV, identificador de enlace Local/Remoto están dentro del TLV de enlace que a su vez forma parte de un LSA opaco. El tipo de este sub-TLV es 11, y la longitud es 8 octetos; 4 octetos para el identificador local y 4 octetos para el identificador remoto. Por lo tanto, un nodo puede comunicarse con otro vecino intercambiando LSAs opacos.

Por ejemplo, consideremos un enlace (no numerado) entre los LSR A y B. El LSR A elige un identificador para este enlace. El LSR B hará lo mismo. Desde la perspectiva del A nos referimos al identificador que A asignó al enlace como el "identificador local" (Local ID1), y al identificador que B asignó al enlace como el "identificador remoto" (RID-A). Igualmente, desde la perspectiva del B el identificador que B asignó al enlace es el identificador local (Local ID1), y el identificador que A asignó al enlace es el identificador remoto (RID-B). Esto lo podemos ver en la Figura 2.9.

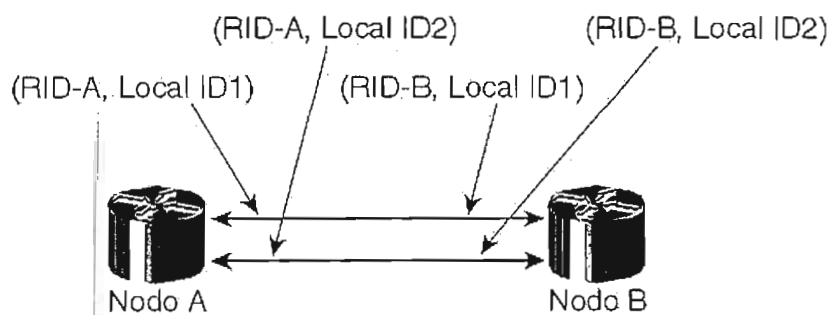


FIGURA 2.9 Enlace no numerado

El tiempo de vida del enlace agrupado se determina por el tiempo de vida de cada uno de sus enlaces de componente, un enlace agrupado esta activo cuando al menos uno de sus enlaces de componente esta activo. El tiempo de vida de un enlace de componente se puede determinar por distintas maneras, una de ellas, usando el paquete *Hello* de IS-IS o de OSPF sobre el enlace de componente.

Sin embargo, hay algunas restricciones para los enlaces agrupados. Todos los enlaces de componente de un agrupamiento deben empezar y acabar en el mismo par de LSR; y compartir algunas características o propiedades comunes como son.⁶⁷

- Tipo de enlace (p.e. Punto a punto),
- Métrica de Ingeniería de tráfico (p.e. costo),
- Conjunto de las clases de recurso en cada extremo del enlace (p.e. colores).

2.1.1.3.4 Tipos de protección del enlace

De acuerdo a las extensiones de OSPF para GMPLS se ha introducido el Sub-TLV, *Tipo de protección del enlace*, el tipo de este sub-TLV es 14, y la longitud es 4 octetos. El Link Protection Type indica la información de la clase de protección deseada del enlace. El algoritmo de cálculo del camino utiliza esta información para calcular los caminos y establecer un LSP. La información de protección también indica si el LSP es primario o secundario. Un LSP secundario es un backup para el LSP primario.

Actualmente hay definidos seis tipos de indicadores individuales de protección del enlace, entre ellos están:

- *Tráfico Extra (Extra Traffic)*: Esto significa que un enlace esta protegiendo a otro enlace o enlaces. Los LSPs que están siendo protegidos pueden fallar si falla el enlace de protección.

⁶⁷ MANNIE, Eric. "Generalized Multi-Protocol Label Switching (GMPLS) Architecture". IETF RFC 3945, Octubre 2004.

- *No protegido*: Indica que el LSP no está siendo protegido por ningún enlace de protección. Los LSPs en un enlace de este tipo estarían perdidos si el enlace falla.
- *Compartido (Shared)*: Significa que hay uno o más enlaces de tipo Tráfico Extra que están protegiendo a un enlace. Estos enlaces Tráfico Extra son compartidos entre uno o más enlaces de tipo compartido.
- *Dedicado 1:1*: Significa que hay un enlace dedicado de tipo Tráfico Extra que está protegiendo a un enlace.
- *Dedicado 1+1*: Significa que hay un enlace dedicado que está protegiendo a un enlace.
- *Mejorado (enhanced)*: Indica que se debe utilizar un esquema de protección más fiable que el esquema dedicado 1+1, por ejemplo, un esquema de protección de 4 fibras BLSR/MS-SPRING (Anillos bidireccionales de protección compartida)

En la Figura 2.11, se muestra un ejemplo de protección. El enlace A-B-D está protegido por el enlace A-C-D, entonces el enlace A-C-D está definido como un tipo de protección Tráfico Extra.

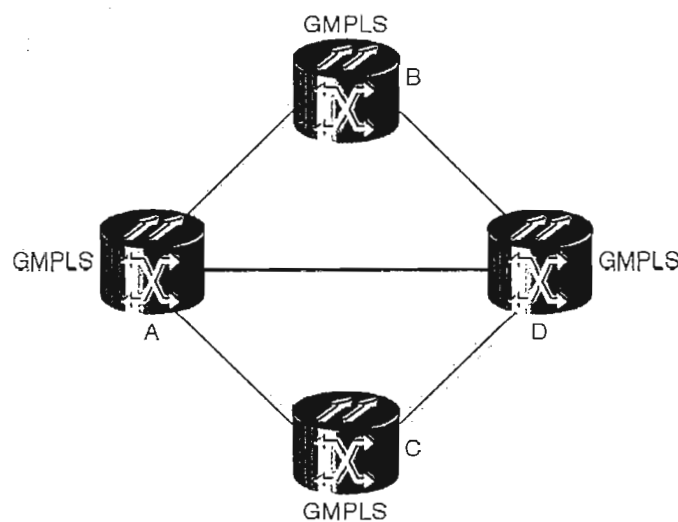


FIGURA 2.11 Protección del enlace mediante Tráfico Extra

2.1.1.3.5 Grupo de enlace de riesgo compartido

Un juego de enlaces puede constituir un grupo de enlaces de riesgo compartido (Shared Risk Link Group, SRLG) si ellos comparten un recurso cuya falla puede afectar a todos los enlaces en el grupo. Múltiples fibras en el mismo ducto, estarían constituyendo un SRLG porque la rotura del ducto puede afectar a todas las fibras.⁶⁸ (Figura 2.12).

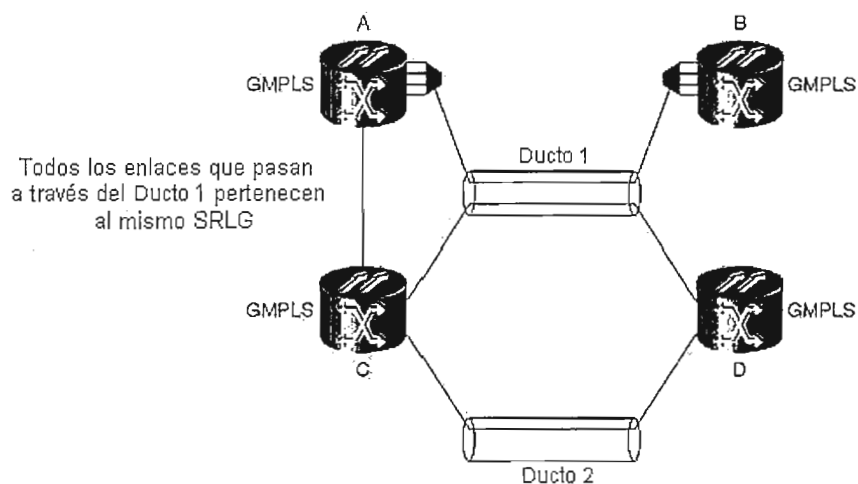


FIGURA 2.12 Grupo de enlace de riesgo compartido

Un enlace puede pertenecer a múltiples SRLGs. Así la información SRLG describe la lista de los SRLGs a los cuales el enlace pertenece. El SRLG es un sub-TLV de tipo 16 de un Link TLV. El valor asignado es una lista de números de 32 bits que son los SRLGs al cual el enlace pertenece.

2.1.1.3.6 Descriptor de capacidad de conmutación de interfaz

El descriptor de capacidad de conmutación de interfaz describe la capacidad de conmutación de una interfaz ya que en GMPLS las interfaces pueden tener diferentes capacidades de conmutación.

El descriptor de capacidad de conmutación es un sub-TLV definido en las extensiones de OSPF para GMPLS, tiene un tipo igual a 15 de un Link TLV.

⁶⁸ KOMPPELLA, K, Rekhter, Y, "Routing Extensions in Support of Generalized Multi-Protocol Label Switching", IETF Internet Draft, 2004.

Este sub-TLV lleva un campo llamado *Switching Cap* (Capacidad de conmutación) y contiene uno de los siguientes valores.⁶⁹

1	Capaz de Conmutar paquetes-1 (PSC-1)
2	Capaz de Conmutar paquetes -2 (PSC-2)
3	Capaz de Conmutar paquetes -3 (PSC-3)
4	Capaz de Conmutar paquetes -4 (PSC-4)
51	Capaz de Conmutar en Capa 2 (L2SC)
100	Capaz de Conmutar TDM (TDM)
150	Capaz de Conmutar Lambda (LSC)
200	Capaz de Conmutar Fibras (FSC)

2.1.2 SEÑALIZACIÓN EN GMPLS

2.1.2.1 Protocolo RSVP

Dentro de un modelo básico, RSVP (*Resource reServation Protocol*, protocolo de reservación de recursos) es un protocolo de señalización que para un flujo específico reserva recursos a lo largo de un camino entre el nodo origen y el nodo destino lo que le permite garantizar la QoS. Fue desarrollado con el objetivo de hacer que los *host* comuniquen los requerimientos de servicios a la red y los ruteadores puedan establecer un estado de reserva a lo largo de la ruta. Este protocolo permite que varios generadores transmitan a grupos múltiples de receptores, permite que receptores individuales conmuten canales libremente y perfecciona el uso del ancho de banda eliminando al mismo tiempo el congestionamiento. RSVP opera en el nivel superior de IPv4 o IPv6 ocupando el lugar de un protocolo del nivel transporte según el modelo OSI. Sin embargo, RSVP no transporta datos de aplicación, solamente envía mensajes de señalización para establecer la reserva de recursos.

⁶⁹ KOMPPELLA, K, Rekhter, Y, "OSPF Extensions in Support of Generalized Multi-Protocol Label Switching", IETF Internet Draft, 2004.

RSVP define siete mensajes de señalización: *Path*, *Resv*, *PathErr* (Path Error), *ResvErr* (Reserve Error), *PathTear*, *ResvTear*, *ResvConf* (Reserve Confirm). Los mensajes *Path* y *Resv* son usados para establecer reservaciones para una sesión. Los mensajes *PathTear* y *ResvTear* son usados para anular el estado de la sesión (y la reservación). *PathErr* y *ResvErr* son mensajes de notificación de error y finalmente, *ResvConf* es enviado para recibir la confirmación de una reservación.

RSVP-TE (RSVP para Ingeniería de Tráfico), es una extensión del protocolo original RSVP diseñado para ejecutar distribución de etiquetas sobre MPLS, además soporta la creación de rutas explícitas con o sin reserva de recursos. Es usado para crear, mantener y anular los LSP, permitiendo el re-enrutamiento de los túneles LSP, con el fin de dar una solución ante caídas de red, cogestión y cuellos de botella.

Dentro de los puntos clave de RSVP-TE tenemos los siguientes: el uso de los mensajes *Path* y *Resv* para la petición y asignación de etiquetas para el establecimiento del LSP, la habilidad para especificar una ruta explícita al establecer o redireccionar un LSP, la habilidad para especificar ancho de banda y otros parámetros cuando se establece un LSP, la habilidad para asociar LSPs relacionados, un nuevo protocolo Hello para mantener la adyacencia entre pares RSVP.⁷⁰

Para manejar las nuevas habilidades de RSVP-TE descritas anteriormente se han creado unos nuevos objetos RSVP-TE contenidos dentro de los mensajes, los cuales son: Label request, Label, Explicit route, Record route, LSP tunnel identification in session, y atributos de sesión. El objeto *Label Request* es llevado en el mensaje *Path* y es usado por un nodo ascendente para solicitar una etiqueta desde un vecino descendente para el túnel LSP siendo establecido. El objeto *Label* es llevado en el mensaje *Resv*, este objeto indica la etiqueta que ha sido asignada por el vecino descendente en respuesta a la etiqueta de petición recibida en el mensaje *Path*, el objeto *Explicit Route* es llevado en el mensaje

⁷⁰ BERNSTEIN, Greg; RAJAGOPALAN, Bala; SAHA, Debanjan, *Optical Network Control: Architecture, Protocols, and Standards*, 1era. Edición, Addison Wesley, EE UU, Julio 2003.

Path durante el establecimiento o re-enrutamiento de un LSP, el objeto *Record route* es llevado en el mensaje Path y es usado para grabar la actual secuencia de nodos (o interfaces) atravesados por un LSP siendo establecido, el *LSP tunnel identification in session* indica la dirección del nodo de destino en donde el LSP termina y finalmente los objetos atributos de sesión, son llevados en el mensaje Path y describen parámetros relacionados con la sesión y la QoS.

En GMPLS la utilización del RSVP-TE involucra nuevas extensiones a este protocolo, estas extensiones consisten en nuevos objetos, nuevos mensajes y nuevos procedimientos asociados a los mismos, con el propósito del establecimiento, mantenimiento y terminación de la conexión. De esta forma el protocolo RSVP-TE con todas las mejoras para GMPLS se llama *GMPLS RSVP-TE*.

Dentro de las nuevas modificaciones que GMPLS RSVP-TE trae del protocolo RSVP-TE tenemos las siguientes:

- Separación entre el plano de datos y el plano de control.
- Nuevos procedimientos de manejo de fallos que pueden aparecer cuando el canal de control es independiente del canal de datos.
- Establecimiento de LSPs bidireccionales.
- Introducción de mecanismos de notificación remoto. Los mensajes de RSVP-TE siguen el camino de conexión, sin embargo, GMPLS introduce una extensión de notificación que permite que los mensajes entre los nodos remotos no se aten al camino de conexión.

2.1.2.2 Protocolo CR-LDP

El grupo de trabajo sobre MPLS del IETF ha elaborado extensiones para que el protocolo LDP soporte el encaminamiento basado en restricciones. A esta extensión del protocolo se le denomina CR-LDP (Constraint-Based Routing Label Distribution Protocol).

Es un instrumento importante para lograr que la Ingeniería de Tráfico sea un proceso automático. CR-LDP es un conjunto de procedimientos mediante los cuales los LSRs no solo intercambian etiquetas y crean los LSP, si no también incorpora la posibilidad de realizar ruteo imponiendo ciertas restricciones: ancho de banda, los requisitos de calidad de servicios (QoS), retardo, variación de retardo o jitter, o cualquier otro requisito asociado al trayecto que defina el operador de la red.

Mediante CR-LDP, los LSP se establecen de la misma manera que con LDP. Si un LSR recibe un mensaje de solicitud (*Label Request*) y si el LSR puede soportar los parámetros de tráfico del CR-LSP, entonces el LSR reserva los correspondientes recursos para el CR-LSP. Si en una negociación de los parámetros del tráfico el LSR no puede soportar el CR-LSP, entonces el LSR debe enviar un mensaje de notificación el cual especifica el estado de recurso no disponible (*Resource Unavailable*).

Sin embargo en el entorno MPLS las principales limitaciones de este protocolo son las siguientes:

- Solo soporta LSPs punto a punto
- Solo soporta LSPs unidireccionales
- Solo soporta una única etiqueta por LSP

CR-LDP y RSVP-TE son dos protocolos de señalización que realizan funciones similares en redes MPLS. Actualmente no hay consenso sobre si uno es superior tecnológicamente al otro.

En la siguiente sección se describe las mejoras que se han hecho a estos dos protocolos de señalización por parte del IETF para soportar el GMPLS.

2.1.2.3 Mejoramiento de los protocolos de señalización RSVP-TE y CR-LDP para GMPLS

GMPLS extiende al plano de control del MPLS tradicional para soportar adicionalmente diferentes clases de interfaces, como son TDM, LSC y FSC. El soporte de estas interfaces requiere algunos cambios en la señalización, como los que se describen a continuación:

- Señalización en los LSP jerárquicos
- Mejoramiento de etiquetas
- Codificación del ancho de banda
- LSPs bidireccionales
- Notificación de error de etiqueta
- Control de etiqueta explícito
- Información de protección
- Información de estado administrativa
- Separación del canal de control y de datos

A continuación se describe las diferentes mejoras para la señalización introducidas por GMPLS.

2.1.2.3.1 Señalización en los LSP jerárquicos

Como se explicó en la sección 2.1.1.3.1, GMPLS define LSPs jerárquicos en el enrutamiento. Es importante también describir como la señalización GMPLS usa los LSPs jerárquicos.

En la Figura 2.13, se muestra el establecimiento de una serie de LSPs a lo largo de un camino que consiste de ruteadores (R0, R1, R8 y R9), switches SONET (S2 y S7), switches OEO (Ópticos Electro Óptico) WDM (O3 y O6) y switches fotónicos (P4 y P5). Entonces, un PATH request, path 1 necesitado para la formación del LSP1 entre R0 y R9, es enviado desde R0 a R1. El ruteador R1 activa la iniciación del LSP2 entre R1 y R8. El LSP1 es anidado dentro del LSP0.

Los mensajes PATH: path1, path2, y path3 continúan propagándose, y los LSPs continúan anidándose hasta el establecimiento final del LSP0 entre R0 y R9. Un LSP está establecido cuando el mensaje Path ha completado su camino dentro de los LSPs de orden superior y un mensaje RESV es recibido.

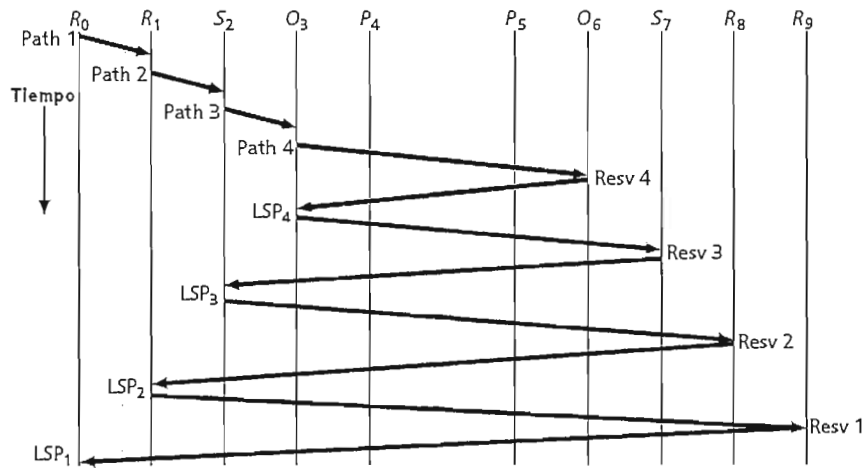


FIGURA 2.13 Señalización en la anidación de LSPs

En la Figura 2.14 se muestra como el LSP4 es el LSP de más alto nivel, y de acuerdo con la figura anterior es el que se establece primero, entonces el LSP3 es establecido dentro del LSP4, el LSP2 dentro del LSP3 y el LSP1 dentro del LSP2.

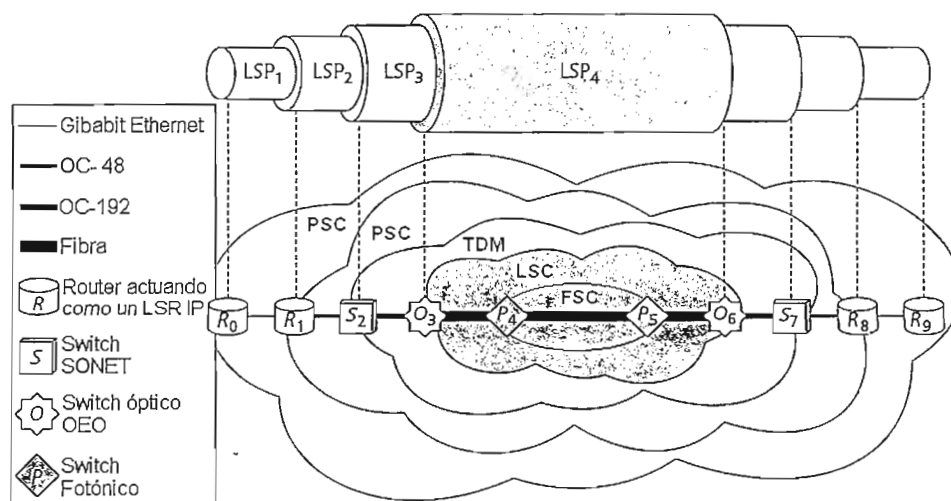


Figura 2.14 Anidación de LSPs

Notar además en el gráfico, que los enlaces R0-R1 y R8-R9 puede ser GE (1 Gbps), el enlace entre R1-S2 y R8-S7 un enlace SONET OC-48 (2.4 Gbps), el enlace S2-O3 y S7-O6 un enlace TDM OC-192 (9.6 Gbps), el enlace O3-P4 y O6-P5 un enlace de 16 lambdas OC-192 (10 Gbps) y el enlace P4-P5 un enlace de 16 fibras trasportando 16 OC-192 cada lambda.

2.1.2.3.2 Mejoramiento de etiquetas

Para ampliar al MPLS en el dominio óptico y del tiempo, se han requerido varias nuevas formas de "etiqueta". Esta nueva forma de etiqueta, se la conoce colectivamente como etiqueta generalizada que puede identificar paquetes, slots de tiempo, longitudes de onda o fibra/puerto.

Además del concepto de etiqueta generalizada, GMPLS introduce nuevos conceptos relacionados a las etiquetas como son: solicitud de etiqueta generalizada, conjunto de etiquetas y etiqueta sugerida.

2.1.2.3.2.1 Solicitud de etiqueta generalizada

La filosofía utilizada en MPLS para lograr acuerdo de valores de etiquetas, previo al establecimiento de un LSP, básicamente no varía en las redes ópticas:

- a) El LSR superior (*upstream LSR*) envía una solicitud hacia el LSR inferior (*downstream LSR*), para ello se utiliza un mensaje (*Path*) en RSVP o (*Label Request*) en CR-LDP. Esta solicitud contiene suficiente información sobre el ancho de banda y calidad de servicio requerido, para que el LSR inferior haga la selección de etiqueta.
- b) El LSR inferior recibe esta solicitud y asigna un valor de etiqueta que satisfaga los requerimientos especificados en dicha solicitud.

- c) El LSR inferior envía una respuesta al LSR superior (*Resv*) en RSVP o (*Label Mapping*) en CRLDP, el cual comunica el valor de etiqueta seleccionado.

GMPLS generaliza este mensaje de solicitud de conexión por dos razones: 1) para distinguirlo de una solicitud no generalizada, y 2) para permitirle transportar con más detalle los parámetros adicionales que especifican la solicitud. En RSVP se hace esto a través del “Objeto de Solicitud de Etiqueta Generalizada”, en vez de una solicitud de etiqueta en el mensaje *Path*, y en CR-LDP añadiendo un “TLV de Solicitud de Etiqueta Generalizada” al mensaje *Label Request*.⁷¹

La solicitud de etiqueta generalizada da tres características importantes (parámetros) necesarias para soportar el camino LSP que se está solicitando: El Tipo de codificación del camino LSP, el Tipo de conmutación que se debe usar y el Tipo de datos los datos del camino LSP.

El formato de una solicitud de etiqueta generalizada es la siguiente (Figura 1.39):

LSP Encoding Type (8 bits)	Switching Type (8 bits)	G-PID (16 bits)
-------------------------------	----------------------------	-----------------

FIGURA 2.15 Formato de la solicitud de etiqueta generalizada

LSP Encoding Type, es el tipo de codificación LSP, este parámetro indica el tipo de codificación, por ejemplo SONET/SDH, Gigabit Ethernet, etc., que se usará con los datos asociados con el LSP. El Tipo Codificación LSP representa la naturaleza del LSP, y no la naturaleza de los enlaces que el LSP atraviesa.

A continuación se muestra los valores permitidos y su significado:⁷²

⁷¹ MINOLI, Daniel; JOHNSON, Peter; MINOLI, Emma, SONET – Based Metro Area Networks: Planning and Designing the Next-Generation Provider Network, 1era Edición, McGraw-Hill, EE. UU. 2000.

⁷² BERGER, L. “Generalized Multi-Protocol Label Switching (GMPLS) Signaling Functional Description”. IETF RFC 3471, Enero 2003.

Valor	Tipo
1	Paquete
2	Ethernet
3	ANSI/ETSI PDH
4	Reservado
5	SDH ITU-T G.707 / SONET ANSI T1.105
6	Reservado
7	Digital Wrapper
8	Lambda (fotónico)
9	Fibra
10	Reservado
11	Fiber Channel

Un DS1 y DS3 son ejemplos de LSPs ANSI PDH, un E1 LSP sería ETSI PDH. El tipo de codificación Lambda se refiere a un LSP que abarca un conjunto de longitudes de onda, el tipo de codificación Fibra se refiere a un LSP que abarca todo un puerto de fibra.

Switching Type o tipo de conmutación, indica el tipo de conmutación que está siendo solicitado en un enlace. Este campo es necesario para los enlaces que anuncian más de un tipo de capacidad de conmutación.

Los valores actualmente definidos son los siguientes.⁷³

Valor	Tipo
1	Capaz de Conmutación de Paquetes-1 (PSC-1)
2	Capaz de Conmutación de Paquetes-2 (PSC-2)
3	Capaz de Conmutación de Paquetes-3 (PSC-3)
4	Capaz de Conmutación de Paquetes-4 (PSC-4)
51	Capaz de Conmutación de Nivel 2 (L2SC)
100	Capaz de Time-Division-Multiplex (TDM)
150	Capaz de Conmutación de Lambda (LSC)
200	Capaz de Conmutación de Fibra (FSC)

⁷³ BERGER, L. "Generalized Multi-Protocol Label Switching (GMPLS) Signaling Functional Description". IETF RFC 3471, Enero 2003

G-PID o Generalized PID, significa, tipo de datos del camino LSP y es un identificador de los datos transportados por un LSP, por ejemplo, un identificador del nivel cliente de este LSP. Esto se usa por los nodos de los extremos del LSP.

Los valores definidos para este campo son establecidos en el RFC 3471 y se describen a continuación:

Valor	Tipo	Tecnología
0	Desconocido	Todos
1	Reservado	
2	Reservado	
3	Reservado	
4	Reservado	
5	Mapeo asíncrono de E4	SDH
6	Mapeo asíncrono de DS3/T3	SDH
7	Mapeo asíncrono de E3	SDH
8	Mapeo de bit síncrono de E3	SDH
9	Mapeo de octeto síncrono de E3	SDH
10	Mapeo asíncrono de DS2/T2	SDH
11	Mapeo de bit síncrono de DS2/T2	SDH
12	Reservado	
13	Mapeo asíncrono de E1	SDH
14	Mapeo de octeto síncrono de E1	SDH
15	Mapeo de octeto síncrono de 31*DS0	SDH
16	Mapeo asíncrono de DS1/T1	SDH
17	Mapeo de bit síncrono de DS1/T1	SDH
18	Mapeo de octeto síncrono de DS1/T1	SDH
19	VC-11 en VC-12	SDH
20	Reservado	
21	Reservado	
22	DS1 SF Asynchronous	SONET
23	DS1 ESF Asynchronous	SONET
24	DS3 M23 Asynchronous	SONET
25	DS3 C-Bit Parity Asynchronous	SONET
26	VT/LOVC	SDH
27	STS SPE/HOVC	SDH
28	POS - No Scrambling, 16 bit CRC	SDH
29	POS - No Scrambling, 32 bit CRC	SDH
30	POS - Scrambling, 16 bit CRC	SDH
31	POS - Scrambling, 32 bit CRC	SDH
32	Mapeo ATM	SDH
33	Ethernet	SDH, Lambda, Fibra
34	SONET/SDH	Lambda, Fibra

35	Reservado (SONET deprecated)	Lambda, Fibra
36	Digital Wrapper	Lambda, Fibra
37	Lambda	Fibra
38	ANSI/ETSI PDH	SDH
39	Reservado	SDH
40	Link Access Protocol SDH (LAPS - X.85 and X.86)	SDH
41	FDDI	SDH, Lambda, Fibra
42	DQDB (ETSI ETS 300 216)	SDH
43	FiberChannel-3 (Servicios)	Fiber Channel
44	HDLC	SDH
45	Ethernet V2/DIX (solamente)	SDH, Lambda, Fibra
46	Ethernet 802.3 (solamente)	SDH, Lambda, Fibra

2.1.2.3.2.2 *Conjunto de etiquetas*⁷⁴

El Conjunto de Etiquetas se usa para restringir los rangos de etiquetas que pueden ser usadas para un determinado LSP entre dos puertos. El receptor de un conjunto de etiquetas debe restringir su opción de etiquetas a una que esté en el conjunto de etiquetas. Como con una etiqueta, un conjunto de etiquetas debe estar presente a través de múltiples saltos. En este caso cada nodo genera su propio conjunto de etiquetas de salida, posiblemente basado en el conjunto de etiquetas de entrada y las capacidades de hardware del nodo. A continuación se describe cuatro casos donde es útil un conjunto de etiquetas en el dominio óptico.

- El primer caso es donde un equipo final solo es capaz de transmitir dentro de un pequeño conjunto de longitudes de onda/bandas.
- El segundo caso es donde hay una secuencia de interfaces que no pueden soportar conversión de longitud de onda y que requiere que se use la misma longitud de onda extremo a extremo sobre una secuencia de saltos, o aún un camino entero.
- El tercer caso es donde es deseable limitar la cantidad de conversión de longitud de onda a realizar para reducir la distorsión de las señales ópticas.
- El último caso es donde dos extremos de un enlace soportan diferentes conjuntos de longitudes de onda.

⁷⁴ BERGER, L. "Generalized Multi-Protocol Label Switching (GMPLS) Signaling Functional Description". IETF RFC 3471, Enero 2003

2.1.2.3.2.3 Etiqueta sugerida

Para reducir la latencia en el establecimiento del LSP, GMPLS introduce el concepto de Etiqueta Sugerida. Cada LSR selecciona una etiqueta, la cual él cree que será la más apropiada para usar en el enlace entre él y su LSR descendente o inferior. Él señala esta etiqueta en su trayecto de señalización hacia adelante (descendiente), e inmediatamente comienza a programar su propio switch, bajo la suposición que esta etiqueta será la elegida.

Cuando se recibe la respuesta (ascendente), a esta señalización, el mensaje ya lleva una etiqueta. Si esta etiqueta confirma la escogencia sugerida en la solicitud respectiva, no se hace ya más nada, ya que el switch se encuentra programado. Cuando la programación del switch ya está totalmente estabilizada, la respuesta respectiva de señalización puede ya seguir siendo enviada en sentido ascendente.

2.1.2.3.3 Codificación del ancho de banda

Los LSPs de GMPLS soportan tráfico basado en paquetes y también tráfico no basado en paquetes. Para los caminos LSP que no son de paquetes, es útil definir valores discretos para identificar el ancho de banda del camino LSP.

Los valores de codificación de ancho de banda incluyen valores para DS0 a OC768, E1 a STM-256, 10/100/1000/10000 Mbps Ethernet, y 133 a 1062 Mbps Fiber Channel. La codificación de ancho de banda es transportada en objetos específicos de los protocolos GMPLS RSVP-TE y CR-LDP.

2.1.2.3.4 LSPs Bidireccionales

En las especificaciones originales de MPLS, las conexiones bidireccionales requerían el establecimiento de dos LSPs unidireccionales, y esto implica una cierta coordinación entre los dos puntos en cuestión. Temas relacionados con (la gestión de los mensajes y protocolos de señalización, el hecho de construir las

dos direcciones utilizando trayectos totalmente diferentes, así como la coordinación de estos dos LSPs unidireccionales, que de hecho, conformaban un circuito), son muy delicados.⁷⁵

Se logró, a tal efecto, algunas mejoras, pero aún existía el tema pendiente de que se necesitaban 4 mensajes de señalización (solicitud y respuesta en cada sentido) para el establecimiento del LSP. GMPLS extendió y mejoró este concepto, necesitando un sólo mensaje para el establecimiento de este LSP bidireccional. Esto trae obviamente como beneficio el requerir menos señalización y mejor coordinación entre las dos direcciones de flujo.

El GMPLS permite el establecimiento de caminos LSP bidireccionales simétricos (no caminos LSP asimétricos). Un camino LSP bidireccional simétrico tiene los mismos requerimientos de ingeniería de tráfico incluidos los requerimientos de destino compartido, protección y restauración, LSR, y recursos (por ejemplo, latencia y jitter) en cada dirección.

En los LSPs bidireccionales, GMPLS introduce un nuevo “objeto” en la solicitud de establecimiento de un LSP, el cual es la “Etiqueta Ascendente” (*Upstream Label*). Ésta permite que un LSR superior o ascendente señalice la etiqueta que sería usada por el LSR adyacente inferior o descendiente para enviar datos en la dirección del nodo terminador hacia el nodo iniciador.

En este caso se define “iniciador” al nodo de ingreso para referirse al nodo que inicia el establecimiento del un camino LSP, y “terminador” al nodo de egreso, para referirse al nodo que es el destino del camino LSP. Para un camino LSP bidireccional, solo hay un iniciador y un terminador.

⁷⁵ FUENMAYOR, Carlos, “Conmutación de etiquetas multiprotocolo generalizada en redes ópticas”. www.ahciet.net/comun/portales/1000/10002/10007/10378/docs/08.pdf

2.1.2.3.5 *Notificación de error de etiqueta*⁷⁶

El GMPLS define varias extensiones de señalización que permiten una notificación rápida de los fallos y otros eventos a los nodos responsables de la restauración de los caminos LSP con fallos, y la gestión del error.

Es así que en el MPLS tradicional y en el GMPLS se generan un mensaje de error que contiene la indicación "Valor de etiqueta inaceptable". Cuando ocurren estos casos, puede ser útil para el nodo que genera el mensaje de error indicar que etiquetas serían aceptables. Para cubrir este caso, GMPLS introduce la posibilidad de transportar esta información via el "Conjunto de Etiquetas Aceptables". Un Conjunto de Etiquetas Aceptables se transporta en los apropiados mensajes de error específicos de protocolo.

2.1.2.3.6 *Control de etiqueta explícito*⁷⁷

GMPLS también introduce el concepto de "Control de Etiquetas Explícitas". Esto mejora el concepto tradicional usado en MPLS, permitiendo ahora que el LSR de ingreso especifique la(s) etiqueta(s) a ser usada(s) sobre uno, algunos o todos los enlaces enrutados explícitamente, para los trayectos en ambos sentidos.

Esto puede ser útil, por ejemplo, cuando el LSR de ingreso insiste que la longitud de onda a ser usada es la misma a través de todo el LSP. También puede ser útil en Ingeniería de Tráfico (TE), donde el sistema que procesa los trayectos tiene conocimiento de las etiquetas en uso en la red, así como las capacidades de conmutación de los LSRs. En este caso, el trayecto puede ser computado para incluir las etiquetas específicas a ser usadas en cada salto. Las etiquetas explícitas son especificadas por el LSR de ingreso, como parte de la ruta explícita.

⁷⁶ MANNIE, Eric. "Generalized Multi-Protocol Label Switching (GMPLS) Architecture". IETF RFC 3945, Octubre 2004

⁷⁷ FUENMAYOR, Carlos, "Conmutación de etiquetas multiprotocolo generalizada en redes ópticas". www.ahciet.net/comun/portales/1000/10002/10007/10378/docs/08.pdf

2.1.2.3.7 Información de protección

La Información de Protección es transportada en un nuevo objeto/TLV. Se usa para indicar los atributos de protección relacionados con el enlace de un LSP solicitado. El uso de la información de protección para un determinado LSP es opcional. Normalmente la información de protección indica el tipo de protección del enlace deseado para el LSP. Si se solicita un tipo de protección determinado, por ejemplo, 1+1 o 1:N, entonces se procesa una solicitud de conexión solo si el tipo de protección deseado puede ser realizado.

Las capacidades de protección de un enlace se pueden anunciar en el encaminamiento, tal como se vio anteriormente. En consecuencia se había definido seis tipos de protección individuales y que pueden ser combinados: mejorado, dedicado 1+1, dedicado 1:1, compartido, sin protección y tráfico extra.

2.1.2.3.8 Información de Estado Administrativa

La información de estado administrativa es transportada en un nuevo objeto/TLV. Normalmente se la usa de dos formas:

- La información indica el estado administrativo con respecto a un determinado LSP. Las indicaciones de estado incluyen *up* o *down*, si está en un modo de *testing*, y si esta en proceso de eliminación.
- La información indica una solicitud de establecimiento de un estado administrativo de un LSP. Esta información siempre es retransmitida al nodo de entrada que contesta a la solicitud.

2.1.2.3.9 Separación de los canales de datos y control

En el MPLS tradicional hay una asociación implícita uno a uno de un canal de control a un canal de datos. Cuando esta asociación está presente, no se requiere información adicional o especial para asociar una determinada transacción de establecimiento del camino LSP con un determinado canal de datos.

En GMPLS el canal de control y el de datos necesitan ser separados por las siguientes razones:

- Múltiples enlaces pueden ser agrupados.
- Los canales de datos no pueden transportar in-band (en banda) información de control.
- La integridad de un canal de datos no tiene que afectar la integridad de un canal de control.

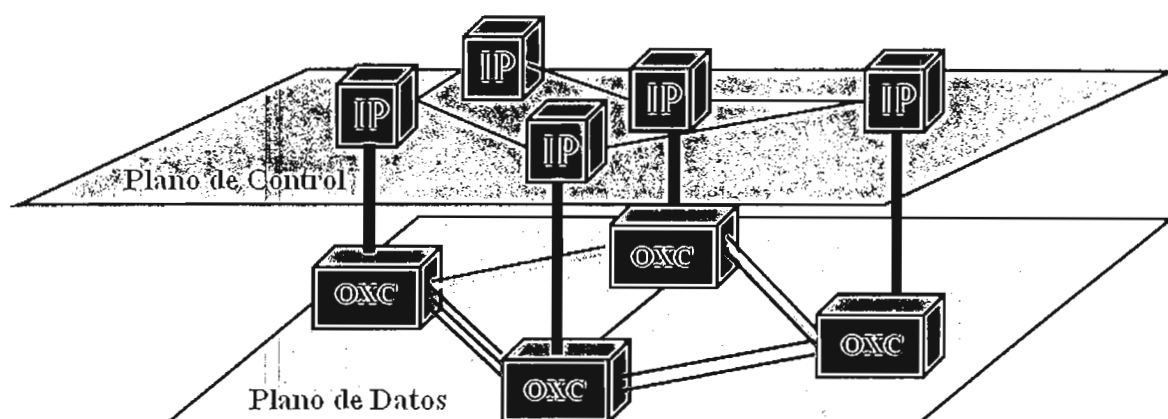


FIGURA 2.16 Separación del plano de control y de datos

De ésta manera el plano de control implementa los procesos de control con la señalización y enrutamiento basados en IP. El plano de datos consiste de OXC, longitudes de onda, fibras, tramas SONET, etc.

2.2 GESTIÓN DEL ENLACE EN GMPLS

2.2.1 PROTOCOLO LMP

En las redes GMPLS, un par de nodos, por ejemplo, un OXC se puede conectar por decenas de fibras y cada fibra se puede usar para transmitir centenares de longitudes de onda si se usa DWDM. Múltiple fibras y/o múltiples longitudes de onda también se pueden combinar en uno o más enlaces agrupados con fines de enrutamiento. Para permitir la comunicación entre nodos se debe establecer mecanismos de enrutamiento, señalización y además la gestión del enlace que

consiste en un conjunto de procedimientos útiles entre nodos adyacentes que proveen servicios locales tales como:

Gestión del Canal de Control: Describe el establecimiento, configuración y mantenimiento de un canal de control entre un par de nodos vecinos.

Verificación del Enlace: Describe la verificación de la conectividad de los enlaces de datos, junto con la determinación dinámica del mapeo entre las IDs de la interface local y remota.

Correlación de la Propiedad del Enlace: Esto es la confirmación entre nodos vecinos que los mapeos entre las IDs de las interfaces local y remota, y la agregación de múltiples enlaces de datos en enlaces de Ingeniería de Tráfico (TE) es consistente.

Gestión de Fallos: Los caminos de luz normalmente atraviesan múltiples enlaces de datos que van de la entrada a la salida. Cuando este camino de luz falla, el LMP suministra una manera de localizar que enlace de datos ha fallado.

Autenticación: Esta suministra confirmación criptográfica de la identidad del nodo vecino.

Todas estas operaciones las realiza el protocolo LMP (Link Management Protocol) creado por el IETF. A continuación se describe cada uno de los puntos citados anteriormente asociados al LMP.

2.2.1.1 Gestión del canal de control

La gestión del canal de control por el protocolo LMP se usa para establecer y mantener los canales de control entre dos nodos. Los canales de control existen independientemente de los enlaces de ingeniería de tráfico (TE), y se pueden

usar para intercambiar la información del plano de control del MPLS como por ejemplo la información de señalización, de enrutamiento y de gestión del enlace.⁷⁸

Cada canal de control negocia individualmente sus parámetros y mantiene la conectividad usando un rápido protocolo llamado *Hello*.

El protocolo *Hello* del LMP es un mecanismo ligero que reacciona rápidamente a los fallos del canal de control de forma que los *Hello*s no se pierdan y las adyacencias asociadas del estado de enlace se borren innecesariamente.

Este protocolo consta de dos fases: una fase de negociación y una fase de "keep-alive". La fase de negociación permite la negociación de algunos parámetros básicos del protocolo Hello, como la frecuencia Hello. La fase "keep-alive" consta de un intercambio rápido, ligero y bidireccional de mensajes Hello.

2.2.1.2 Verificación del enlace

La verificación de la conectividad del enlace es un procedimiento opcional que se puede usar para verificar la conectividad física de los enlaces de datos así como intercambiar los identificadores del enlace que se usan en la señalización GMPLS.

El procedimiento de verificación consiste en enviar mensajes "*Test in-band*" sobre los enlaces de datos. De esta manera, para iniciar el procedimiento de verificación del enlace, primero un nodo debe notificar al nodo adyacente que empezará a enviar mensajes *Test* sobre un determinado enlace de datos. El nodo también debe indicar el número de enlaces de datos que se van a verificar; el intervalo en el que serán enviados los mensajes *Test*; el esquema de codificación, el mecanismo de transporte que se soporta, la velocidad de transmisión de los

⁷⁸ MANNIE, Eric. "Generalized Multi-Protocol Label Switching (GMPLS) Architecture". IETF RFC 3945, Octubre 2004

mensajes *Test*; y en el caso donde los enlaces de datos correspondan a fibras, la longitud de onda sobre la que los mensajes *Test* serán transmitidos.⁷⁹

2.2.1.3 Correlación de la propiedad del enlace

El principal propósito de esta función es descubrir y acordar entre dos nodos LMP adyacentes los mapeos de las IDs de interfaces y además define el intercambio de correlación de propiedad del enlace. Este intercambio se usa para agregar múltiples enlaces de datos en un enlace agrupado e intercambiar, correlacionar o cambiar los parámetros de ingeniería de tráfico del enlace.

2.2.1.4 Gestión de fallos

La gestión de fallos incluye la detección del fallo, localización del fallo y notificación del fallo. La localización del fallo que se maneja aquí, puede usarse para soportar algunos mecanismos específicos y locales de protección y restauración.

En las nuevas tecnologías tales como la conmutación todo óptica, muchos conmutadores ópticos son transparentes, en el sentido de que propagan la señal de la luz sin ninguna interferencia. Estos pueden conmutar datos por fibra, longitud de onda o ranura de tiempo sin necesidad de examinar en absoluto la señal actual. Consecuentemente, si la señal desaparece debido a un fallo de algún sitio ascendente, el conmutador puede simplemente no enterarse.

El protocolo LMP provee un procedimiento de localización de un fallo que se puede usar para localizar rápidamente los fallos de enlace, mediante la notificación del fallo al nodo ascendente de este fallo. De esta forma, un vecino descendente del protocolo LMP que detecta fallos del enlace de datos enviará un mensaje LMP al vecino ascendente notificándole el fallo. Cuando el nodo ascendente recibe la notificación del fallo, puede correlacionar el fallo con los

⁷⁹ MANNIE, Eric. "Generalized Multi-Protocol Label Switching (GMPLS) Architecture". IETF RFC 3945, Octubre 2004

CAPÍTULO 3: DISEÑO DEL BACKBONE DE FIBRA ÓPTICA PARA UN CARRIER CON LAS TECNOLOGÍAS DWDM Y GMPLS

3.1 INTRODUCCIÓN

Las telecomunicaciones son uno de los sectores en los cuales la inversión en tecnologías es más elevada. Por esto, la observación de las grandes tendencias del mercado, el seguimiento de las tecnologías de punta, son aspectos relevantes a considerar.

Hay que analizar las tecnologías e inventar la manera de lograr mayores beneficios. Esto significa analizar tecnologías de nueva generación en el sector de las telecomunicaciones de manera que al utilizarlas garanticen que se cumplan las necesidades de los clientes, de los servicios actuales y futuros, y un buen desempeño general de la red o backbone.

Este capítulo está dedicado al diseño de la red de fibra óptica o backbone para un carrier en la ciudad de Quito, considerando las tecnologías DWDM y GMPLS. La parte de DWDM tiene que ver con el medio de transmisión y equipos que utilizan DWDM para transportar y conmutar respectivamente múltiples longitudes de onda, todas ellas asociadas a una variedad de tráfico, velocidad y anchos de banda. Por otro lado GMPLS, establece un plano de control para el enrutamiento, señalización y gestión del enlace de la red.

3.2 DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO DE DISEÑO

El proyecto de diseño de un backbone de fibra óptica para un carrier aplicado en la ciudad de Quito, propone una solución viable y escalable para el entorno metropolitano; desarrollando recientes conceptos y tecnologías válidas de redes de telecomunicaciones de alta capacidad como es DWDM y GMPLS.

Dentro de los aspectos a considerar en este diseño se tiene los factores de propagación, que influyen principalmente en la propagación del pulso de luz a través de la fibra óptica. Este tema es muy importante en las redes DWDM, porque nos permite realizar la selección adecuada de los equipos a utilizar en la red óptica. Por ejemplo, en los sistemas ópticos DWDM, no se puede utilizar cualquier tipo de fibra, si no aquella que reduzca en el mayor grado posible la dispersión, la atenuación y los efectos no lineales, ya que al transmitir diferentes señales con diferentes longitudes de onda por una misma fibra, cualquier significativa variación en la forma de los pulsos luminosos, puede ocasionar que no se los pueda detectar en el receptor y en consecuencia perder un gran volumen de información.

Para todo diseño es importante plantear los requerimientos, es decir las necesidades, en este caso de la red óptica, desde el punto de vista del backbone y también considerando las exigencias de los clientes o el mercado. También es importante examinar las necesidades futuras tanto de la red como de los clientes, es decir, realizar un diseño escalable y con planeación futura. En esta línea se tendrá los siguientes aspectos, por ejemplo: planteamiento de los servicios que se desea ofrecer y que son operables con la infraestructura de red, aquí tenemos, datos, video, voz, vpn, etc., ancho de banda, unido a mayores exigencias en las prestaciones asociadas (tiempos de respuesta, fiabilidad, privacidad, QoS, etc.). Y en cuanto al backbone, se tiene que plantearse: qué equipos se van a utilizar en la red óptica y que puedan manejar la multiplexación DWDM y un plano de control GMPLS. Además especificaciones de los nodos y de un centro de operaciones de red. Aspectos relacionados con la arquitectura de red, en cuanto al modelo de capas y al plano de control, en este se tienen mecanismos de enrutamiento, señalización y gestión de red. Adicional a esto, se tiene una descripción del trazado de la red de fibra óptica por la ciudad de Quito, indicando únicamente el recorrido del cable de fibra óptica y la ubicación de los nodos.

Como en todo proyecto es importante la parte económica, se hace una descripción de los costos de los equipos utilizados en este diseño.

En la Figura 3.1 mostrada a continuación se presenta un diagrama de bloques indicando todo lo que se va a realizar en el diseño.

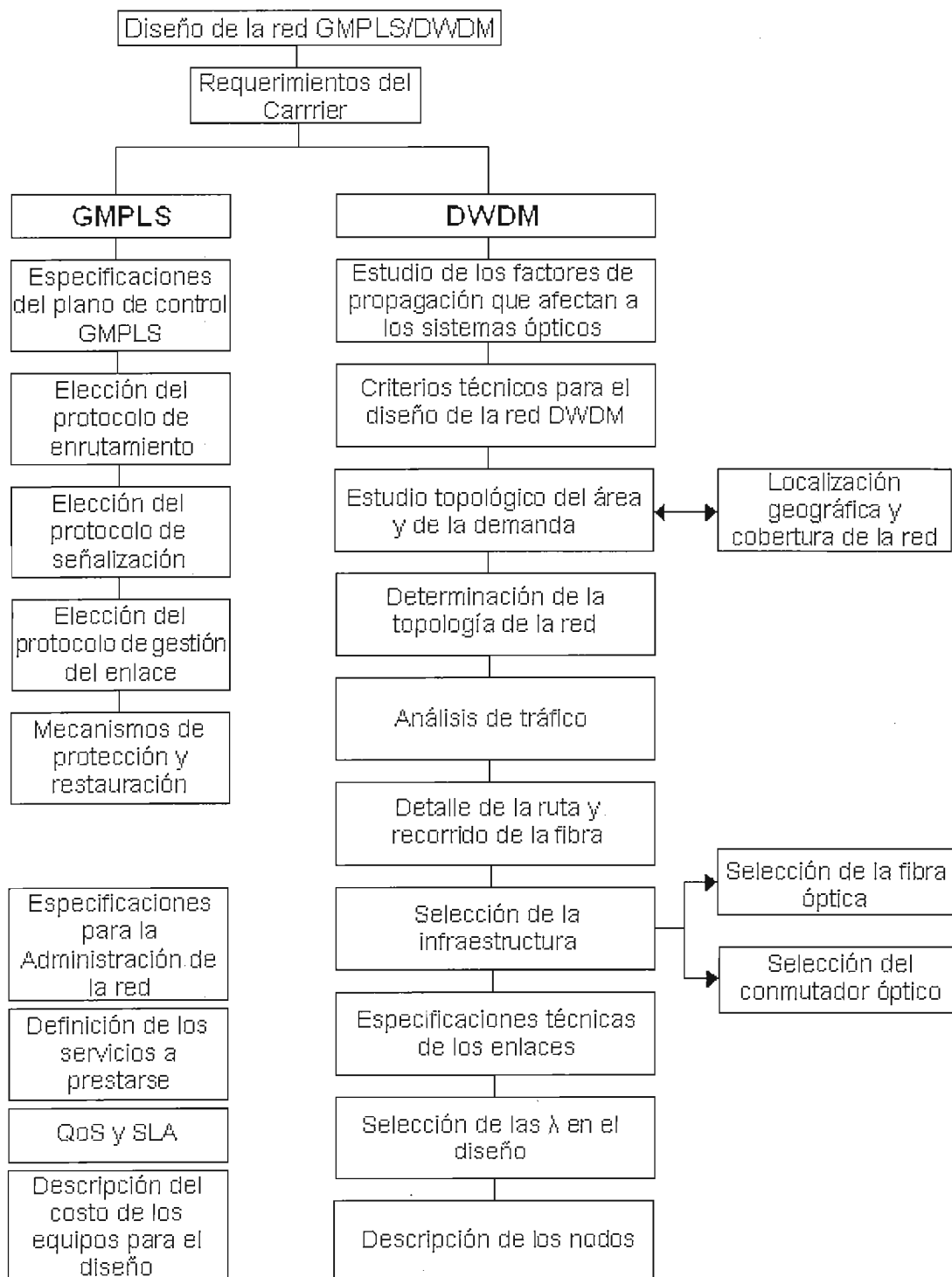


FIGURA 3.1 Diagrama de bloques para el diseño del backbone GMPLS/DWDM

3.3 REQUERIMIENTOS DEL CARRIER

Los requerimientos que se plantean para el diseño de la red de fibra óptica DWDM y GMPLS para la ciudad de Quito son los siguientes:

- Se requiere un modelo de red, escalable y flexible, de manera que se pueda ir incrementando la capacidad de la red sin la necesidad de aumentar nuevos equipos y fibra óptica.
- La red debe ser capaz de manejar cualquier tipo de servicio, entre ellos tenemos: Ethernet, SONET/SDH, TDM, ATM, servicios de λ oscura (consiste en que el operador alquila al usuario una λ determinada dentro de la fibra).
- La red propuesta debe captar la mayor cantidad de aplicaciones actuales y futuras de los usuarios, por ejemplo: datos, voz, video, servicios de vpn, video conferencia, Ipv6, etc. Captando así un amplio mercado o sectores, por ejemplo: sector bancario, educativo, industrial, médico, público y sector investigativo.
- Los equipos de conmutación que se emplearán en la red óptica deben manejar las tecnologías propuestas como GMPLS y DWDM y necesitan tener la capacidad de manejar los distintos tipos de aplicaciones antes mencionadas como Ethernet, SONET/SDH, TDM, ATM, servicios de λ oscura sin ningún tipo de restricción.
- Se requiere utilizar un medio de transmisión eficiente y con pérdidas mínimas, necesariamente debe ser fibra óptica, pero aquella que esté liberada en mayor grado de los factores de dispersión, atenuación y fenómenos no lineales. De manera que las capacidades de la fibra puedan ser aprovechadas al máximo posible.

- Los nodos del backbone constituyen elementos muy importantes dentro del mismo, por ello su instalación deberá cumplir ciertos parámetros, basándose principalmente en las recomendaciones de EIA-TIA en cableado estructurado.
- El diseño debe contar con equipos de gestión, es decir con equipos de monitoreo constante de la red.
- Los enlaces deben estar diseñados para soportar las necesidades actuales y futuras de tráfico (por ejemplo, ancho de banda y velocidad).
- El trazado de la red de fibra y la ubicación de los nodos de red debe basarse en un estudio topológico del área y de la demanda.
- En la arquitectura de red a diseñar se requiere un modelo de dos capas, la capa IP & GMPLS y la capa DWDM. Es decir una red convergente o una red formada por elementos de red capaces de conmutar en diferentes capas de tecnología, por ejemplo SDH y Ethernet. Esto con el fin de optimizar el funcionamiento de la red y los costos.
- Para gestionar redes convergentes multicapa (que son inherentemente más complejas) de un modo más rápido, más sencillo y más automatizado, se necesita tener un enfoque de la gestión radicalmente diferente del mundo del transporte y de los datos. Para esto se utilizará el plano de control GMPLS, en donde se debe especificar los protocolos de enrutamiento, protocolos de señalización, protocolos de gestión del enlace y mecanismos de protección y restauración más adecuados.
- De acuerdo a los equipos de multiplexación, a la fibra óptica y al plano de control utilizado se debe tener parámetros de rendimiento del backbone. Se propone brindar SLAs (Acuerdo del Nivel del Servicio), por ejemplo, una disponibilidad del 99.99%, con una recuperación de fallas de 50 ms

dependiendo de los métodos de protección que pueden ser utilizados en el backbone y del equipo del cliente.

- Para poder implementar distintas políticas de comportamiento en el backbone y principalmente para que el proveedor ofrezca al cliente se deben tomar en cuenta parámetros que definen la Calidad de Servicio.

3.4 ESTUDIO DE LOS FACTORES DE PROPAGACIÓN QUE AFECTAN AL DISEÑO DE LOS SISTEMAS ÓPTICOS DWDM

La transmisión de luz en fibra óptica presenta varios retos que deben tratarse. Estos caen dentro de las tres categorías siguientes: Atenuación, que es la caída de la fuerza de la señal, o pérdida de la potencia de luz, a medida que la señal se propaga por la fibra; Dispersión cromática, que es la ampliación de los pulsos de luz a medida que viaja por la fibra. Y las no linealidades que son efectos acumulativos de la interacción de la luz con el material a medida que viaja por la fibra, cuyos resultados son cambios de la longitud de onda e interacciones entre longitudes de onda.

Cada uno de estos efectos tiene varias causas, y es importante considerar en los sistemas DWDM. Si bien esto ya se mencionó en los puntos 1.1.3.1 y 1.1.3.2 del capítulo 1; aquí se realiza un estudio más detallado, con el objetivo de encontrar las soluciones más adecuadas para minimizar su efecto en el desempeño de los sistemas DWDM, por ejemplo, buscar el tipo de fibra óptica que mejor se adapte para DWDM.

La atenuación en las fibras ópticas es una causa de los factores intrínsecos, principalmente dispersión y absorción, y de factores extrínsecos, incluyendo defectos del proceso de fabricación, el entorno y la torcedura física. La forma más común de dispersión es la dispersión Rayleigh, causada por pequeñas variaciones en la densidad del cristal a medida que se enfrió. Sin embargo esto no es tan relevante en DWDM, porque afecta a longitudes de onda corta (entre 400 y 1100 nm).

La atenuación debido a la absorción es causada por propiedades intrínsecas del propio material, las impurezas del vidrio, y cualquier defecto atómico en el vidrio. Estas impurezas absorben la energía óptica, haciendo que la potencia de la luz disminuya. Y en DWDM es un aspecto importante ya que la absorción intrínseca es una cuestión de longitudes de onda más largas y aumenta dramáticamente por encima de 1700 nm.

En la Figura 3.2 se puede observar la atenuación en la fibra óptica en función de la longitud de onda. La cresta que aparece en torno a 1400 nm se debe a la absorción producida por el ión hidroxilo OH^- presente en el agua, por eso se denomina pico de agua. Sin embargo, a medida que las técnicas de fabricación de la fibra óptica mejoran se reduce la cantidad de agua presente en el vidrio y la altura de la cresta disminuye.

La Figura 3.2 también muestra la atenuación de las fibras monomodo y multimodo normales. Además, se indica las ventanas de transmisión en las fibras ópticas; recordemos que según las recomendaciones de la UIT, las ventanas más apropiadas en DWDM son la tercera y cuarta que corresponden a las bandas C y L. Todas ellas se encuentran fuera del espectro visible, en la zona del infrarrojo.

Cada ventana se caracteriza por una atenuación diferente, lo cual condiciona el alcance máximo de la señal luminosa en la fibra óptica. La fibra multimodo solo utiliza la primera y segunda ventanas, mientras que la monomodo puede utilizar todas las bandas excepto la primera ventana.

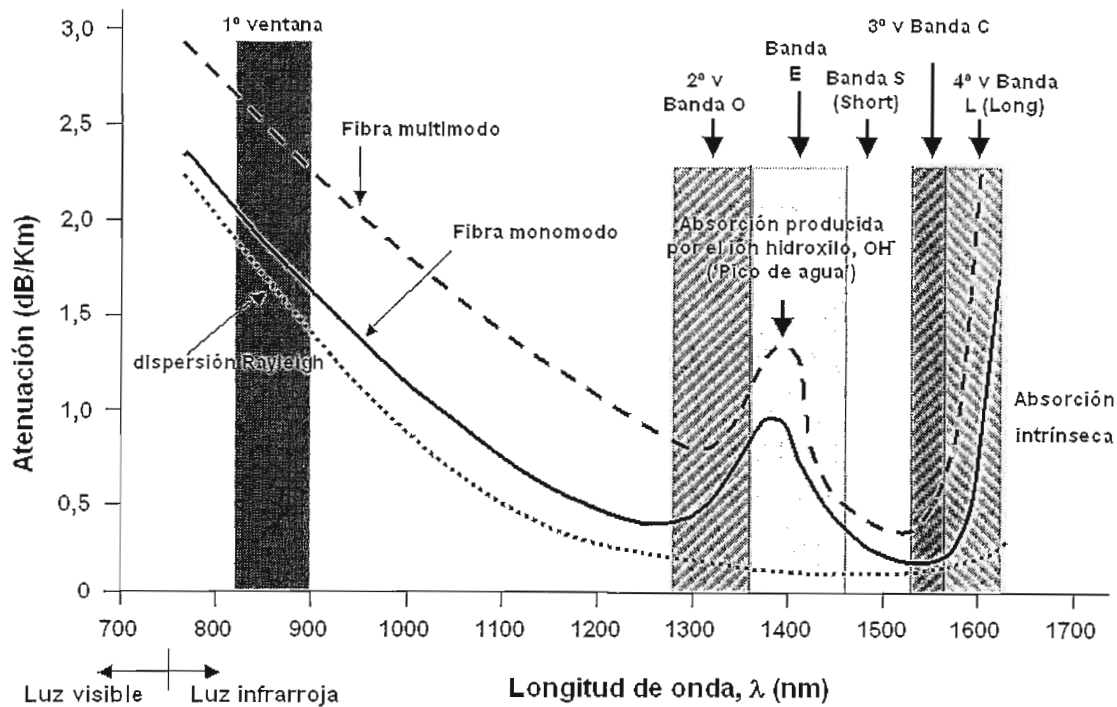


FIGURA 3.2 Atenuación de la fibra óptica en función de la longitud de onda

Otro factor importante a considerar es la dispersión, ésta, provoca el ensanchamiento de los pulsos de luz cuando se transmiten por la fibra óptica. Si el ensanchamiento es excesivo los pulsos se solapan, pudiendo llegar a producirse errores en el receptor. Actualmente la dispersión es el principal factor limitante de la capacidad de transición de datos en la fibra óptica.

Dos tipos generales de dispersión afectan a los sistemas DWDM. Uno de estos efectos, la dispersión cromática es lineal mientras que la otra, la dispersión en modo polarizado (PMD) no es lineal.

El efecto de la dispersión es proporcional a:

- La distancia física que la señal ha de recorrer en la fibra, y
- La frecuencia de los pulsos (la velocidad en bits/s)

En primer lugar, la distancia recorrida en la fibra afecta negativamente a la señal ya que todos los fenómenos que provocan dispersión se incrementan de forma

proporcional a la distancia. Una ilustración de esto lo podemos ver en la Figura 3.3.

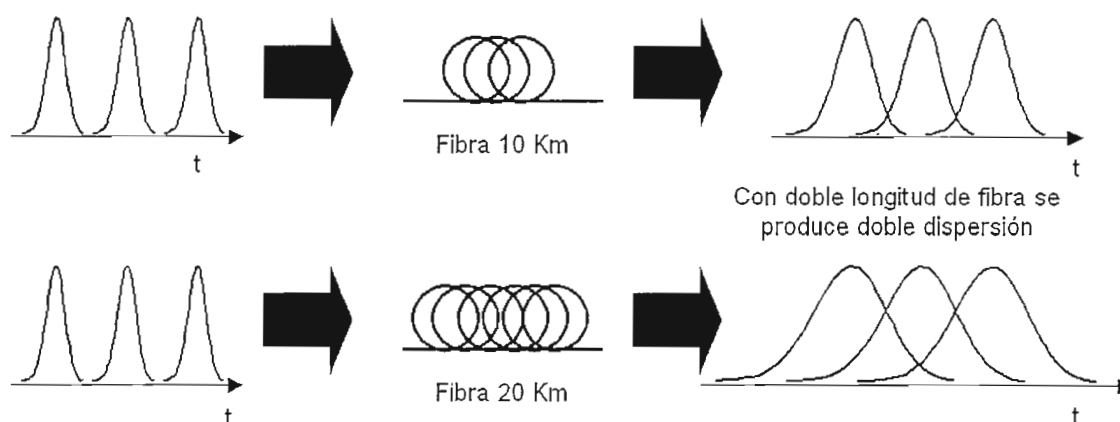


FIGURA 3.3 Dispersión en la fibra óptica debida a la distancia

Por otro lado el aumento de la velocidad provoca que los pulsos sean más cortos y por tanto sea mayor el riesgo de solapamiento entre ellos. Una herramienta muy importante para observar cualitativamente la distorsión introducida por varios fenómenos que provocan la dispersión es el diagrama de ojo.

En la Figura 3.4 se puede observar como se va degradando el diagrama del ojo mientras se va aumentando la velocidad de transmisión.

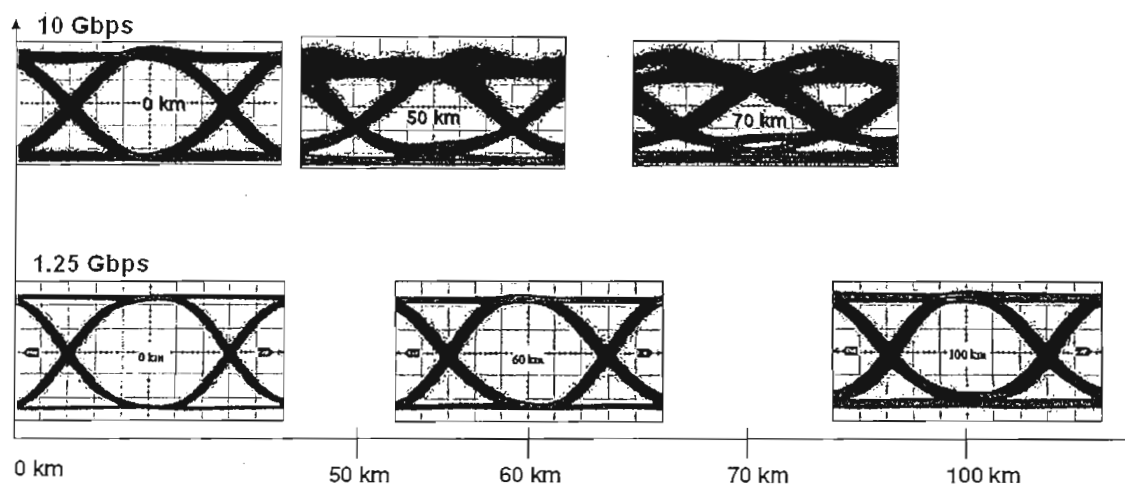


FIGURA 3.4 Distorsión debida al incremento de la velocidad⁸³

⁸³ CISCO SYSTEMS, "Design Principles for Metro Optical Networks". www.cisco.com

La dispersión cromática, como ya se mencionó en el punto 1.1.3.1 tiene dos componentes, que es la dispersión material y la dispersión de guía de onda.

Aunque la dispersión cromática no es generalmente una cuestión a tener en cuenta a velocidades por debajo de OC-48, si la tiene con velocidades mayores debido al ancho del espectro requerido, esto es el caso de DWDM. Por ello es importante la selección de fibra óptica para las aplicaciones en las cuales se desea implementar. En nuestro caso, para DWDM es preciso una fibra en la cual la dispersión total tienda a cero en la ventana de trabajo.

En lo que se refiere a la dispersión en modo de polarización (PMD), podemos decir que la mayoría de las fibras monomodo soportan dos modos de polarización perpendiculares, uno vertical y otro horizontal. Debido a que los estados de polarización no se mantienen, hay una interacción entre los pulsos y como consecuencia un ensanche de la señal. La dispersión por modo polarización es causada por la ovalidad de la forma de la fibra como resultado del proceso de fabricación o de tensiones externas.

Los efectos de dispersión PMD son evidentes en el aumento de la velocidad y el transcurso del tiempo. Se lo puede observar en la Figura 3.5, mediante el diagrama de ojo.

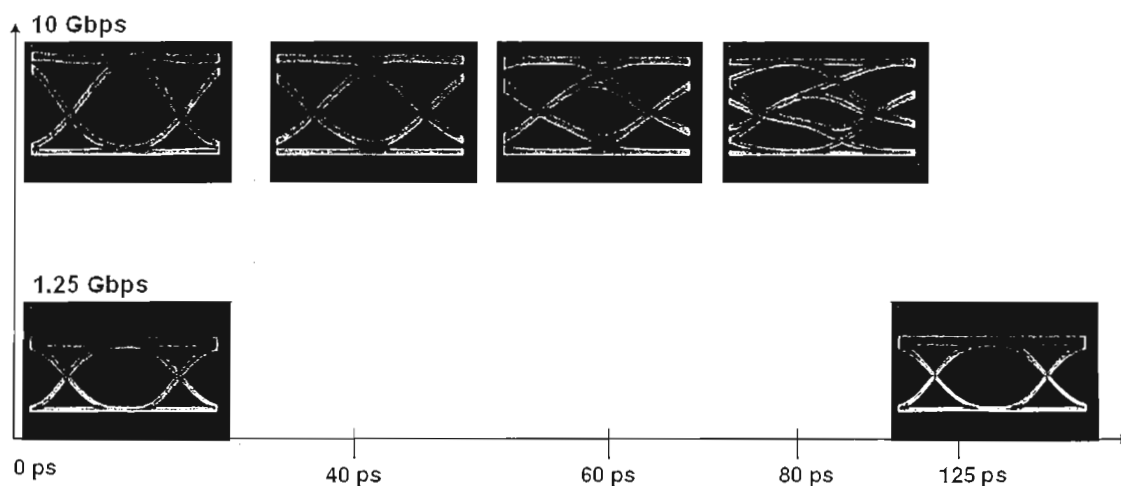


FIGURA 3.5 Distorsión por modo de polarización⁸⁴

⁸⁴ CISCO SYSTEMS, "Design Principles for Metro Optical Networks". www.cisco.com

Además de la PMD, hay otros efectos no lineales. Debido a que los efectos no lineales tienden a manifestarse cuando la potencia óptica es muy alta, llegan a ser importantes en DWDM.

Los efectos lineales tales como la atenuación y la dispersión pueden ser compensados, pero los efectos no lineales son acumulativos. Son mecanismos fundamentales que limitan la cantidad de datos que pueden ser transmitidos por fibra óptica.

En las redes DWDM, los principales efectos no lineales a tomar en cuenta son: Automodulación de fase (SPM), Modulación de fase cruzada (XPM) y Mezclado de cuatro ondas (FWM). De estas tres, la mezcla de cuatro ondas es la más crítica.

La automodulación de fase (SPM), se produce debido a la existencia de una componente del índice de refracción dependiente de la intensidad de las señales ópticas (efecto Kerr). El índice de refracción queda expresado como:

$$n(I, \omega) = n_0 + n_2 I \quad (3.1)$$

En la ecuación 3.1, n_0 es el índice de refracción a baja intensidad (y cuya dependencia con la frecuencia ω es el origen de la dispersión cromática), n_2 es el índice de refracción no lineal y, para fibras de silicio, tiene un valor aproximado de $3 \times 10^{-20} \text{ m}^2/\text{Watts}$; I es la intensidad de los pulsos transmitidos (potencia por unidad de área). A pesar de su reducido valor, las elevadas longitudes de interacción típicas de los enlaces ópticos magnifican este efecto no lineal⁸⁵. Además, la combinación de los efectos de dispersión cromática con efectos SPM contribuye a que se produzca una mayor degradación de los pulsos transmitidos y de esta forma se tiende a aumentar el ancho espectral. En la Figura 3.6, se puede observar como se degrada el diagrama del ojo a medida que se va incrementando la potencia.

⁸⁵ GROSZ, Diego, "Sistemas de Comunicación por fibra óptica de alta capacidad". <http://csi.unmsm.edu.pe/boletines/boletin51.pdf>



FIGURA 3.6 Distorsión del diagrama del ojo a causa de la SPM

Por otro lado, en sistemas DWDM, la modulación de fase cruzada (XPM) convierte las fluctuaciones de potencia óptica de un determinado canal en fluctuaciones de fase en el resto de canales, en otras palabras, la intensidad de un canal modula las fases de otros canales. Y al igual que el SPM, el XPM se produce por el índice de refracción no lineal.

En presencia de dispersión cromática, este fenómeno conduce aún más a la distorsión de los pulsos transmitidos y obviamente representa un factor limitante en el desempeño de los sistemas DWDM.

En la Figura 3.7, se muestra la distorsión del diagrama del ojo provocado por la XPM.

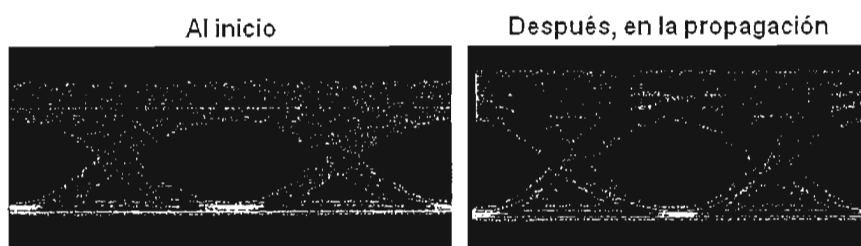


FIGURA 3.7 Distorsión del diagrama del ojo a causa de la XPM

El fenómeno de mezclado de cuatro ondas (FWM), consiste en la creación de nuevas frecuencias a partir de las frecuencias de los canales transmitidos en un sistema DWDM. Por ejemplo, si tres canales se propagan por la fibra darán lugar a la generación de nueve ondas adicionales a frecuencias $f_{ijk} = f_i + f_j - f_k$, donde i, j

y k pueden ser 1, 2 ó 3. Estos nuevos productos generados por FWM se muestran en la Figura 3.8⁸⁶.

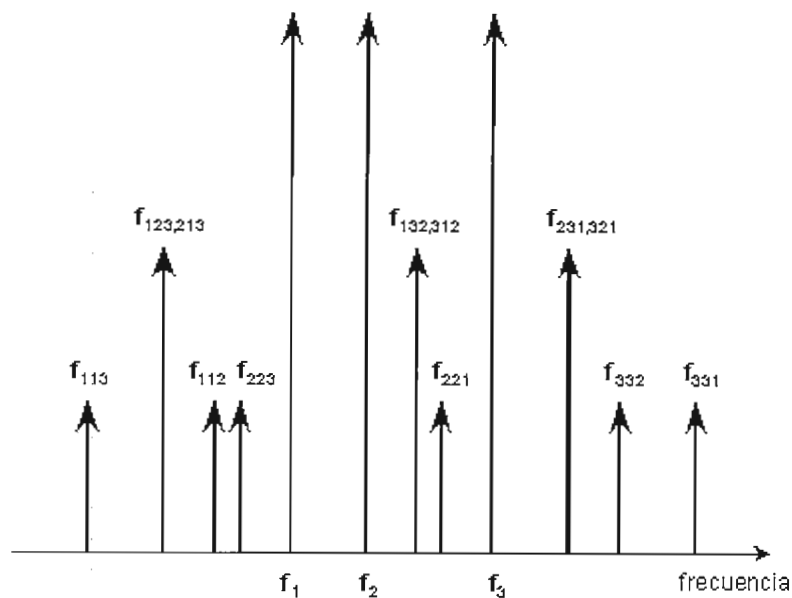


FIGURA 3.8 Productos de FWM generados por tres portadoras ópticas

La generación de nuevas frecuencias a través del mecanismo de FWM afecta al desempeño de un sistema de comunicaciones DWDM de dos formas siguientes:

- La frecuencia f_{ijk} crece a expensas de las potencias de las frecuencias transmitidas f_i , f_j y f_k .
- f_{ijk} puede coincidir con la frecuencia de un cuarto canal transmitido, interfiriendo con éste y degradando la calidad de los pulsos transmitidos al momento de la recepción.

La mezcla de las cuatro ondas no se puede filtrar, ni óptimamente ni eléctricamente, y aumenta con la longitud de la fibra. Debido a los efectos de la mezcla de cuatro ondas, no se puede emplear cualquier tipo de fibra para aplicaciones DWDM.

Otro factor importante a considerar en el diseño de los sistemas ópticos es la relación señal a ruido. La relación señal a ruido es característico de cualquier

⁸⁶ RAMOS, Francisco, "Efectos no lineales en dispositivos fotónicos".
www.radioptica.com/Fibra/efectos.asp

sistema de comunicación. En un sistema de comunicación óptico, la relación señal a ruido óptico (OSNR) es la medida del nivel de potencia óptica (dB) de una señal transmitida por el nivel de potencia del ruido existente en el sistema (dB).

La relación señal a ruido es una medida de cómo una buena señal óptica sobresale a cualquier luz que penetra por accidente en el sistema. La señal debe ser considerablemente más potente que el ruido subyacente.

La señal reduce su potencia con la distancia en una fibra óptica y debe ser necesariamente elevada en forma periódica por medio de amplificadores ópticos, no obstante la ganancia óptica asociada a esos amplificadores debe balancearse contra el ruido adicional que cada amplificador introduce.

El ruido por láser transmisores y los amplificadores ópticos. Los amplificadores ópticos amplifican la señal, pero también el ruido indeseado. Mientras menor es el nivel de la señal y mayor es el nivel de ruido, menor será el OSNR. Los receptores aceptan sólo un determinado nivel de OSNR para distinguir las señales del ruido del sistema.

La previsión de potencia óptica, o la previsión de pérdidas del enlace, es una parte crítica en la planificación de una red óptica. Los fabricantes deben suministrar pautas, o reglas de ingeniería, a emplear para sus equipos. En general hay muchos factores que pueden causar pérdidas de señal óptica. El más obvio es la distancia de la propia fibra; éste acostumbra a ser el factor más importante en el transporte a larga distancia. En las MAN, el número de nodos de acceso, tales como OADMs, es generalmente el factor que más contribuye a las pérdidas ópticas.

A continuación se describen algunas *consideraciones prácticas en una instalación DWDM* propuesta por la Empresa Cisco Systems⁸⁷.

⁸⁷ CISCO SYSTEMS, "DWDM in Metropolitan Area Networks".
www.cisco.com/univercd/cc/td/doc/product/mels/cm1500/dwdm/dwdm_ovr.pdf

La clave para un cálculo preciso de la previsión de la potencia óptica es conseguir una lectura exacta de la fibra usando un OTDR (Optical Time Domain Reflectometer). Usando un OTDR, se puede obtener la siguiente información de un vano:

- Longitud de la fibra
- Atenuación en dB del enlace, así como la atenuación de cada una de las secciones del vano
- Características de atenuación de la propia fibra
- Ubicación de los conectores, empalmes y fallos en el cable.

El objetivo del cálculo de la pérdida óptica es asegurar que la pérdida total no exceda del previsto para el vano de fibra. Los valores típicos en un vano de fibra monomodo son:

- Pérdida por conector. Es de 0,2 dB si los conectores son modernos monomodo del mismo fabricante. Si los fabricantes de los dos conectores son diferentes, entonces la pérdida media es de 0,35 dB.
- Pérdida de fibra. Es de 0,25 dB/Km debido a la atenuación.
- Pérdidas por cada empalme por fusión. Es de 0.1 dB.

El acondicionamiento de la fibra, que incluye su reconectorización, limpieza del conector, etc. también puede ser necesario para reducir pérdidas.

También es importante asegurar que el lado cliente o equipo tributario no se superpone con el láser receptor local del equipo DWDM. Esto significa que el cliente o equipo tributario debe operar dentro de las especificaciones de la interfaz cliente DWDM.

Aunque no es generalmente una cuestión de distancias en la MAN, recordar que los amplificadores ópticos amplifican toda la entrada incluido el ruido. Así la relación señal/ruido puede llegar a ser tan alta que una señal limpia no puede ser detectada en el extremo receptor.

3.5 CRITERIOS TÉCNICOS PARA EL DISEÑO DE LA RED DWDM

Los criterios técnicos a considerarse en el diseño de la red DWDM son los siguientes:

- Estudio topológico del área y de la demanda
- Localización geográfica y cobertura de la red
- Determinación de la topología de la red
- Análisis de tráfico
- Detalle de la ruta y recorrido de la fibra
- Criterios para la selección de la fibra óptica
- Criterios para la selección de los equipos de conmutación
- Especificaciones técnicas de los enlaces en los anillos
- Selección de las longitudes de onda en el diseño
- Descripción de los nodos

Además, se considera aspectos lógicos como:

- Protocolos del plano de control GMPLS
- Protección y restauración
- Especificaciones para la administración de la red
- QoS y SLA

3.5.1 ESTUDIO TOPOLÓGICO DEL ÁREA Y DE LA DEMANDA

El estudio topológico del área en la cual se va a extender la red de fibra óptica DWDM, es con el fin de conocer las características del terreno, su área y las zonas donde hay un crecimiento urbano y consecuentemente donde puede existir una ampliación de la red.

Dentro del estudio topológico, podemos decir que Quito es una ciudad larga y angosta que se extiende por el lado oriental de volcán Pichincha. Tiene 45 kilómetros de largo y su ancho varía de cinco a siete kilómetros. La ciudad está a 2800 metros sobre el nivel del mar. En Quito, la temperatura varía

significativamente a lo largo del día (entre 10°C temprano en la mañana y al caer la noche, hasta 25°C al mediodía).

Durante las dos últimas décadas, Quito y su región metropolitana han experimentado significativas transformaciones urbano-espaciales. La ciudad históricamente conformada en el valle de Quito se expande desde dentro hacia fuera, provocando un proceso de urbanización de carácter expansivo. Esta forma de crecimiento urbano ha creado una ciudad dispersa que progresivamente incorpora varios poblados entre ellos tenemos: los valles de Tumbaco-Cumbayá, Los Chillos, Calderón y Pomasqui-San Antonio de Pichincha.

El Distrito Metropolitano de Quito, es un conjunto territorial de 422.802 hectáreas. La estructura territorial del DMQ es el resultado de un proceso de organización y ocupación del suelo acaecido durante siglos, producto de las relaciones de la ciudad de Quito con los centros poblados de la periferia y el área rural. Por su parte, la estructura territorial se ha visto fuertemente condicionada en la forma de crecimiento por las características geográficas del sitio.

El estudio topológico del área en la cual se va a implementar la red de fibra óptica sirve para tener conocimiento de:

- Como se va a realizar el tendido de la fibra óptica, en la actualidad algunos carries de datos tienen sus redes de fibra óptica subterránea, esto consiste en llevar los cables de fibra óptica vía ductos o mangueras de alta presión las cuales están a 0.5 a 1 m de profundidad. Otra forma de tendido de los cables de fibra es aérea, en este caso, se utilizan los postes de alumbrado público y/o los postes que llevan los cables de energía eléctrica. Hay otros portadores que utilizan una técnica llamada Sistema de micro-cables (MCS). Esto consiste en instalar a la fibra óptica a unos 12 a 20 cm debajo de la carretera mediante una máquina que va excavando una ranura de 10 a 20 mm en el asfalto y luego ingresa una capa de arena, seguidamente una capa de un material esponjoso donde descansa la fibra óptica, luego va el cable de fibra, otra capa de material esponjoso, arena y finalmente en la

superficie el material extraído como puede ser el asfalto.

En terrenos muy irregulares, por ejemplo resulta muy difícil la instalación de fibra vía subterránea, porque involucra muchas curvaturas y esto puede provocar torceduras del cable que pueden afectar más tarde a la transmisión de los pulsos luminosos por la fibra.

Entonces, viene la pregunta, cuál es la mejor opción para el tendido de cable. Según datos referenciales, el tendido del cable con todos sus implementos para un proyecto mediano (10 km de longitud total de cable de fibra) por vía subterránea costaría un promedio de 20000 dólares, una instalación aérea, 18000 dólares y una instalación con el sistema de microcables, 23000 dólares⁸⁸.

- Otro aspecto importante del estudio topológico es ver los lugares urbanos, urbanizables y no urbanos, de manera que el área que cubre la red de fibra esté en un lugar de mayor concentración de clientes.
- Por otro lado, se puede tener pautas para la localización de los nodos de red, de manera que ellos estén en lugares estratégicos y de fácil acceso.

En el Anexo 2 se puede observar un mapa de la Ciudad de Quito y sus alrededores en donde constan las curvas de nivel y las principales vías de tránsito de la ciudad. Notar que mientras mayor agrupamiento de las curvas de nivel por área se tiene mayores elevaciones.

De acuerdo a esto, la ciudad de Quito tiene un suelo irregular pero gran parte de su área, en la zona norte, centro y sur es regular, por lo tanto, resulta más conveniente utilizar un tendido aéreo del cable de fibra óptica para el backbone.

⁸⁸ Fausto Vallejo, "Apuntes de clase en el curso: Diseño de redes de fibra óptica", CEC, EPN, Noviembre 2004.

En el Anexo 2 también se tiene un mapa de la clasificación del suelo. Se definen tres clases: suelo urbano, suelo urbanizable y suelo no urbanizable. En éste se observa que los sitios como San Antonio, Pomasqui, Calderón, Nayón Cumbayá, Tumbaco, Guangopolo y Conocoto, tienen áreas que pueden ser urbanizables, esto indica que allí puede existir a futuro un nicho de mercado para ofrecer servicios de telecomunicaciones con la red de fibra óptica.

En lo que respecta a la demanda, se puede decir que el crecimiento del mercado de las telecomunicaciones en el Ecuador ha experimentado un vertiginoso crecimiento en los últimos cinco años. Esto se debe a que se ha incrementado el número de clientes y el ancho de banda requerido para cursar las aplicaciones que día a día va creciendo, a medida que las necesidades de las empresas aumentan.

La presente red de fibra óptica debe ser capaz de soportar este crecimiento vertiginoso y así aliviar contratiempos técnicos y económicos, como puede ser congestión dentro de la red, incapacidad de soportar la demanda e inversión en nuevos equipos y fibra óptica.

Según datos estadísticos de la SUPTEL, los usuarios de servicios portadores en septiembre del 2004 fueron de 8.896 usuarios y en septiembre del año 2005 fueron de 22.096 y se identifica un crecimiento anual del 148.38 %.

En la Figura 3.9 se puede observar las estadísticas realizadas por la SUPTEL en lo que tiene que ver al número de abonados de telefonía fija a nivel nacional.⁸⁹

⁸⁹ SUPTEL, "Estadísticas de abonados de telefonía fija a nivel nacional". www.supertel.gov.ec

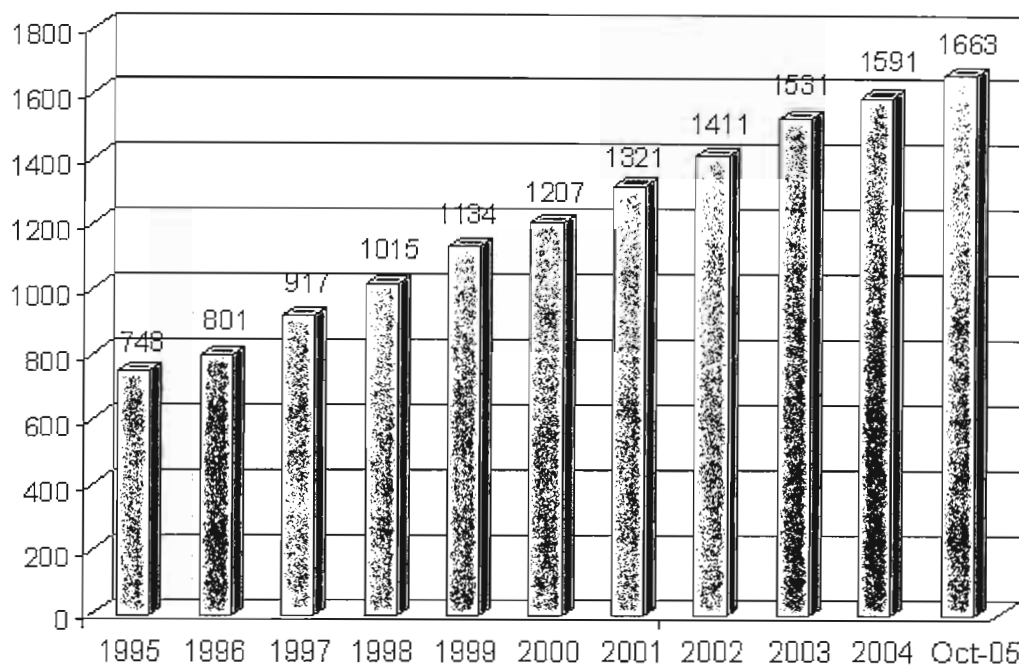


FIGURA 3.9 Número de abonados de telefonía fija a nivel nacional (miles de abonados)

Este incremento de los abonados de telefonía implica también un incremento en el acceso a internet (cuentas dial up, llamadas por internet, etc). Consecuentemente trae también un incremento en la demanda de ancho de banda. De igual manera podemos observar en la Figura 3.10, las estadísticas de los abonados de internet a nivel nacional que ha realizado la SUPTTEL.⁹⁰

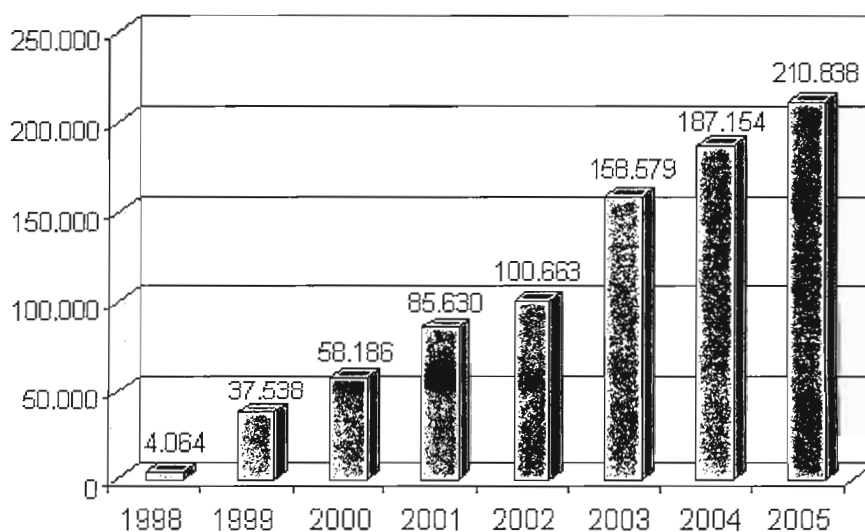


FIGURA 3.10 Abonados de Internet a nivel nacional

⁹⁰ SUPTTEL, "Estadísticas de abonados de telefonía fija a nivel nacional". www.supertel.gov.ec

Como se puede observar los abonados de internet tienen un relevante crecimiento. De acuerdo a la Figura 3.10 de 58.186 abonados en el año 2000 han pasado a 210.838 abonados en el 2005, el incremento es 3.62 veces.

Actualmente el DMQ tiene una gran variedad de clientes corporativos que necesitan la transmisión de sus datos con otros puntos de sus mismas empresas, por ejemplo tenemos los siguientes:

- Sector petrolero
- Sector bancario
- Sector educativo: Universidades, institutos y colegios
- Sector medico: Hospitales, clínicas y laboratorios
- Asociaciones financieras y de comercio
 - Cadenas de supermercados
 - Cadenas de farmacias
 - Cadenas de distribución de productos
 - Cadenas de restaurantes, etc.
- Sector público
 - Ministerios
 - Entidades públicas diversas (Aduana, Rentas internas, Superintendencias, etc.)
- Servicios de transporte
 - Aerolíneas
 - Transporte de carga nacional e internacional
- Otras.

La localización y distribución de las actividades económicas en el Distrito Metropolitano de Quito es altamente polarizada. Desde hace dos décadas la ciudad rompe con su forma tradicional de crecimiento en el Valle de Quito y se proyecta hacia los valles circundantes en un proceso de integración espacial, conformando una amplia base económica industrial y comercial articulada a las cuencas agrarias más dinámicas de la región centro-norte de la Sierra. En estos

valles se asientan importantes empresas e instalaciones industriales, agroindustriales y agropecuarias.

Por otra parte, el resto de las actividades económicas principales se ubica de modo predominante en los sectores centro norte y sur de la ciudad

Otro aspecto importante que se puede considerar en la demanda, son los futuros proyectos que el Municipio de Quito a planificado en lo que concierne al desarrollo del DMQ vinculado a las telecomunicaciones, por ejemplo tenemos:

Quito Digital⁹¹. - Desarrollo del proceso sostenido e intensivo de incorporación de las Tecnologías de la Información y las Comunicaciones en el DMQ, como una condición indispensable para la modernización económica, social e institucional. Implica la incorporación de TIC en la Administración Pública para mejorar la gestión y la atención a los ciudadanos; en el Sistema Educativo para que los niños y jóvenes tengan acceso a su conocimiento y utilización; y a nivel de los ciudadanos en general para que usen en su trabajo, negocios y hogares. Consta de los siguientes subproyectos:

- **Gobierno Digital:** información y servicios en línea.
- **Cybernarios:** telecentros comunitarios dirigidos.
- **Educ@net:** telecentros escolares y comunitarios para el aprendizaje, la investigación y servicios en línea.
- **Memoria Digital:** manejo integrado de la memoria institucional pública y privada, y preservación y difusión del acervo patrimonial.
- **Internet para Todos:** ampliación de la cobertura y accesibilidad a sistemas de comunicación y promoción del uso de computadores para negocios y uso doméstico.

⁹¹ Plan Quito Siglo XXI - 2, "Estrategias de desarrollo del DMQ al 2025", Quito, abril 2004. www.quito.gov.ec/equinoccioXXI/Plan%20Quito%20Siglo%20XXI-2%20.doc

Parque Tecnológico⁹².- Es un complejo funcional e inmobiliario que porta una combinación de condiciones logísticas e infraestructurales; empresas productoras de bienes y/o servicios de alta tecnología; servicios empresariales avanzados; y, centros de investigación aplicada. Promueve el desarrollo empresarial y lo interrelaciona con el entorno en procesos de difusión y de transferencia de conocimiento. Proyecto a localizarse en la Zona Franca Aeroportuaria.

Además de esto hay otras aplicaciones que se pueden implementar en la Ciudad de Quito en donde puede ser útil. Por ejemplo:

En la seguridad pública, puede ser útil para:

- Alerta ciudadana.
- Cámaras de circuito cerrado de alta definición y alcance cerca de bancos y en puntos estratégicos de la ciudad.

Puede también utilizarse en aplicaciones de viabilidad y tránsito:

- Cámaras de circuito cerrado para vigilar el tránsito.
- Sistemas de detección de infracciones de tránsito.
- Controladores de semáforos.
- Monitoreo de calidad ambiental.
- Aplicaciones para ingeniería de tránsito.

3.5.1.1 Localización geográfica y cobertura de la red

Dado que la tecnología elegida presenta sus mejores características como una arquitectura que permite escalabilidad, no sería recomendable implementar una red con GMPLS/DWDM en lugares en donde puede resultar innecesario, sino en aquellos que presentan mayor concentración de clientes.

⁹² Plan Quito Siglo XXI - 2, "Estrategias de desarrollo del DMQ al 2025", Quito, abril 2004. www.quito.gov.ec/equinoccioXXI/Plan%20Quito%20Siglo%20XXI-2%20.doc

De acuerdo a la descripción de la demanda que se realizó anteriormente, las actividades económicas principales se ubican de modo predominante en los sectores centro norte y sur de la ciudad. De esta manera el presente diseño debe tener cobertura en estas tres áreas, y la ubicación de los nodos tiene que ser estratégica para captar el mayor número de clientes, especialmente del sector comercial, bancario, educativo y médico.

Para cubrir una importante densidad de potenciales clientes en la zona noroeste de la ciudad de Quito, entre ellos: Agencias bancarias, instituciones educativas, empresas comerciales, etc. Se ubica un nodo por el sector de la intersección de las avenidas Diego de Vásquez y Maestro. Denominándole a éste nodo como "*Av. Del Maestro*".

Para cubrir la zona noreste de la ciudad de Quito, y donde hay una gran variedad de potenciales clientes, entre ellos: Agencias bancarias, instituciones educativas, empresas industriales y comerciales e instituciones médicas. Se ubica un nodo en el sector de la Av. Eloy Alfaro. Y por estar ubicado allí se le denominará nodo "*Eloy Alfaro*".

Se ubica también un nodo en el sector de Carcelén para cubrir las potenciales demandas que hay en el sector extremo norte de la ciudad de Quito. Con ello se puede expandir la red a sectores que actualmente están en crecimiento como es San Antonio, Pomasqui, Carapungo y Calderón e incluso hay la posibilidad con éste nodo de realizar un enlace troncal al norte del país para brindar el servicio a provincias como Imbabura y Carchi. Éste nodo se llama "*Carcelén*".

En la zona centro-norte se ubica un nodo llamado "*Brasil*", ubicado precisamente en la Av. Brasil, con éste nodo se cubre una gran variedad de agencias bancarias, instituciones educativas, empresas comerciales, aerolíneas e instituciones médicas, ubicadas en los sectores del Bosque, Av. de la Prensa, Aeropuerto, Ñaquito, etc.

En la zona centro-oeste se ubica el nodo llamado “Hospital Metropolitano” y abarca clientes de tipo comercial, educativo, médico, etc.

En la zona centro-este, por el sector del Parque de la Carolina se sitúa un nodo llamado “Carolina” que permite cubrir una gran demanda de clientes, entre ellos están: bancos, hospitales, clínicas, supermercados, farmacias, centros comerciales, etc.

En la zona centro-sur, por el sector de la Casa de la Cultura se sitúa por su nombre, un nodo llamado “Casa del al Cultura” que permite cubrir una gran demanda de clientes, especialmente bancos, hospitales, instituciones educativas y locales comerciales.

En la zona suroeste se ubica un nodo llamado “San Roque”, el cual está ubicado por este mismo sector. Con él se puede brindar servicio a una gran cantidad de clientes que se ubican en el sector del Centro Histórico, entre ellos tenemos: bancos, ministerios, entidades públicas, etc.

Finalmente los nodos “Solanda” y “Recreo” ubicados al sur y sureste de la ciudad de Quito cubren las demandas de tráfico de esos sectores.

De esta forma, los nodos (Tabla 3.1) y la red a diseñarse geográficamente (Figura 3.11) queda distribuida de la siguiente manera:

Sector	Nodo
Norte	Av. del Maestro, Eloy Alfaro, Carcelén y Brasil
Centro	Brasil, Hosp. Metropolitano, Carolina y Casa de la Cultura
Sur	Casa de la Cultura, San Roque, Solanda y Recreo

Tabla 3.1 Nodos del backbone GMPLS/DWDM para la ciudad de Quito

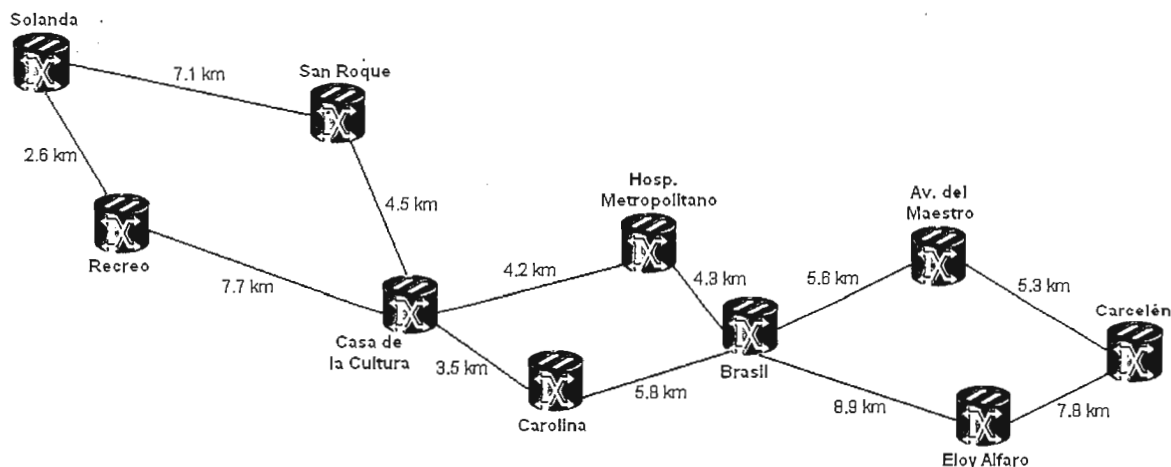


Figura 3.11 Backbone GMPLS/DWDM para la ciudad de Quito

3.5.2 DETERMINACIÓN DE LA TOPOLOGÍA DE LA RED

La topología de la red DWDM se basa en tres anillos ubicados al norte, centro y sur de la ciudad de Quito. A continuación se describen cada uno de ellos.

Anillo norte.- Esta formado por los nodos Brasil, Av. Del Maestro, Carcelén y Eloy Alfaro. En la Figura 3.12 se ilustra este anillo con sus respectivas distancias.

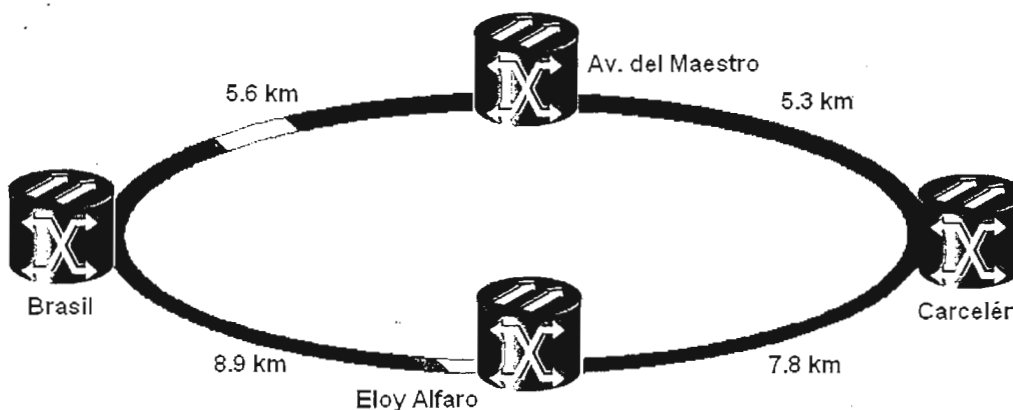


FIGURA 3.12 Anillo norte

Anillo centro.- Esta formado por los nodos Brasil, Hosp. Metropolitano, Carolina y Casa de la Cultura. En la Figura 3.13 se ilustra este anillo con sus respectivas distancias.

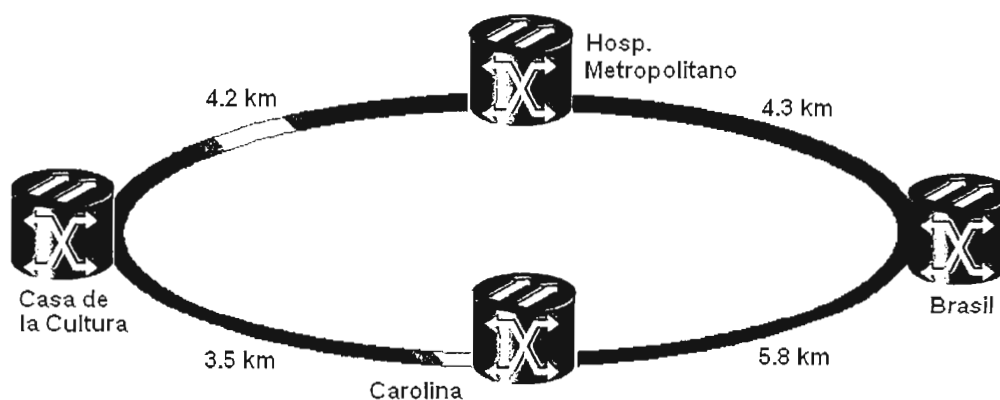


FIGURA 3.13 Anillo centro

Anillo sur.- Esta formado por los nodos Casa de la Cultura, San Roque, Solanda y Recreo. En la Figura 3.14 se ilustra este anillo con sus respectivas distancias.

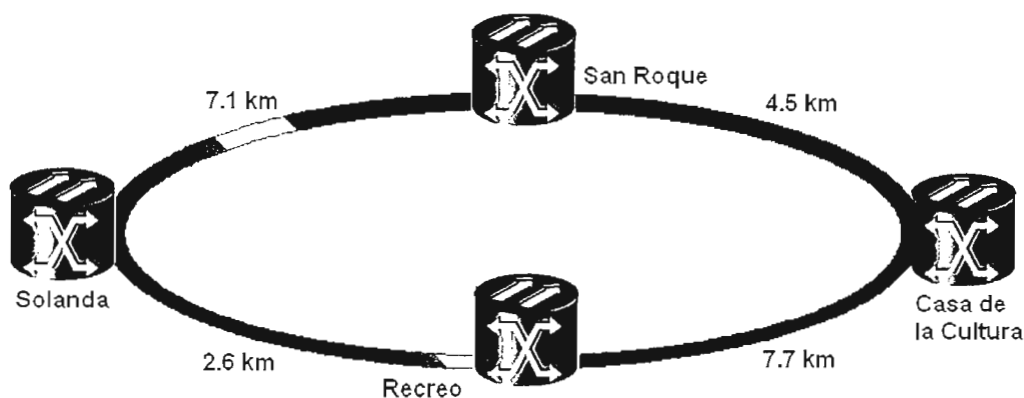


FIGURA 3.14 Anillo sur

3.5.3 ANÁLISIS DE TRÁFICO

Como ya se explicó, el backbone de fibra óptica en la ciudad de Quito está formado por tres anillos: norte, centro y sur.

En este diseño es importante dimensionar el ancho de banda que tendrán los anillos en cada sector de la ciudad (norte, centro y sur). Para ello se ha tomado como referencia una estimación de tráfico hasta el año 2015 realizada por el Ing. Ramiro Cadena, en su Tesis: "Estudio de la red óptica CWDM (Coarse Wavelength Division Multiplexing) y propuesta de una metodología de diseño". Ver Tabla 3.2.

	CARCELEN	COTOCOLLAO	EL CONDADO	GUAJALO	GUAMANI	IÑAQUITO	LA LUZ	MONJAS	MARISCAL	PINTADO	QUITO CENTRO	VILLAFLOA
CARCELEN	240,3	680,1	104			906,6	111,7		1009,2		1765,1	
COTOCOLLAO	679,3	1455,8	410,5			4136,3	812,4		1939,7		4034	
EL CONDADO	104	410,5	231,7			880,9			388,4		733,4	
GUAJALO				1191,9	221,7	938,1			855	646,8	3294,5	1034,5
GUAMANI				221,7	72,9				173,6		665,2	124,7
IÑAQUITO	906,6	4136,3	880,9	938,1		7668,8	982,9	112,2	9611,3	282,7	11246,3	987,6
LA LUZ	111,7	812,4				982,9	177,6		1097,4		1496	
MONJAS						112,2		185,5	253,4		1670,6	
MARISCAL	1009,2	1939,7	855	855	173,6	9611,3	1097,4	253,4	6557,9	1395	10735,4	1128,1
PINTADO			646,8	646,8		282,7			1395	179,7	1047,5	422,4
QUITO CENTRO	1765,1	4034	3294,5	3294,5	665,2	11246,3	1496	1670,6	10735,4	1047,5	4601,2	4024,5
VILLAFLOA				1034,5	124,7	987,6			1128,1	422,4	4024,5	1189,1

TABLA 3.2 Matriz de tráfico incluido internet 2015 (Erlangs)⁹³

⁹³ CADENA, Ramiro, Estudio de la red óptica CWDM (Coarse Wavelength Division Multiplexing) y propuesta de una metodología de diseño, Tesis EPN, 2004, Págs. 94-104.

La Tabla 3.2 es una matriz de tráfico de las distintas estaciones que dispone Andinatel S. A. en la ciudad de Quito (Estación Carcelén, Cotocollao, El Condado, Guajalo, Guamaní, Iñaquito, La Luz, Monjas, Mariscal, Pintado, Quito Centro, y Villaflora). El tráfico que se genera entre centrales esta basado en la proyección de la población al 2015 y la proyección de la densidad de tráfico telefónico y de acceso a internet al 2015. Para ello utiliza el método de Gompertz, el cual es un método matemático recomendado por la UIT y sirve para determinar la proyección de la densidad telefónica en función del tiempo.⁹⁴

Como la Tabla 3.2 es una matriz de tráfico generado entre estaciones, se puede calcular el tráfico que se genera entre las estaciones asociando por sectores (norte, centro y sur) de la ciudad de Quito, correspondiendo de esta manera a cada área de cobertura: norte, centro y sur del backbone de fibra óptica DWDM en el presente diseño. De esta forma se conoce el tráfico por sector y luego se dimensiona el ancho de banda de cada anillo asociado a dicho sector. La forma de calcular el tráfico por sector a partir de la Tabla 3.2 se lo explica a continuación:

En el sector norte se tiene las estaciones: Iñaquito, La Luz, Cotocollao y Carcelén; en el sector centro se tiene las estaciones: Quito Centro, Mariscal, Iñaquito y El Condado. Y en el sector sur se tiene las estaciones Mariscal, Villaflora, Guajaló, Guamaní, Quito Centro y Pintado. Entonces, de acuerdo a las Tabla 3.2, se suman los tráficos que se genera entre cada una de las centrales del mismo sector, por ejemplo, para el sector norte se tiene el tráfico generado entre la estación Iñaquito y La Luz (982.9 Erl), entre Iñaquito y Cotocollao (4136.3 Erl), Iñaquito y Carcelén (906.6 Erl). Ahora, el tráfico entre La Luz e Iñaquito (982.9 Erl), entre La Luz y Cotocollao (812,4 Erl), La Luz y Carcelén (111.7 Erl). A continuación el tráfico entre Cotocollao e Iñaquito (4136.3 Erl), entre Cotocollao y La Luz (812.4 Erl), Cotocollao y Carcelén (680.1 Erl). Finalmente el tráfico entre Carcelén e Iñaquito (906.6 Erl), entre Carcelén y La Luz (111.7 Erl) y, Carcelén y Cotocollao (679.3 Erl).

⁹⁴ CADENA, Ramiro, Estudio de la red óptica CWDM (Coarse Wavelength Division Multiplexing) y propuesta de una metodología de diseño, Tesis EPN, 2004, Págs. 94-104.

Luego se suma todos los valores de tráfico generados entre centrales. En este caso da un valor de 15259.2 Erl y es el tráfico total generado en el sector norte.

En la Tabla 3.3 se presenta los resultados de los cálculos del tráfico total para cada sector. Además hay que notar la transformación que se hace de erlangs a E1 y STM-1s. Este proceso se lo realiza de la siguiente forma: 30 Erlangs = 1 E1 y 64 E1 = 1 STM-1.

Por ejemplo, para el valor de tráfico total calculado en el sector norte (15259.2 Erl). Si que quiere conocer su equivalencia en E1s ($15259.2/30 = 508.64$). Su equivalencia en STM-1s ($508.64/64 = 7.95$)

	TRAFICO TOTAL (Erl)	TRAFICO TOTAL (E1)	TRAFICO TOTAL (STM-1)
Sector NORTE	15259.2	508.64	7.95
Sector CENTRO	67191.4	2239.71	34.99
Sector SUR	52294.2	1743.14	27.236

TABLA 3.3 Cálculo del tráfico para los diferentes sectores del backbone DWDM para el año 2015.

3.5.4 DETALLE DE LA RUTA Y RECORRIDO DE LA FIBRA

El trazado o ruta del cable de fibra óptica del Backbone DWDM para la ciudad de Quito se lo realiza estratégicamente por las calles y avenidas de la ciudad. Es conveniente utilizar las avenidas principales, ya que éstas, recorren grandes tramos a lo largo y ancho de la ciudad y con ello se evita tener muchas curvaturas del cable. En el Anexo 4 se presenta un mapa con las calles de Quito y se detalla el recorrido del cable de fibra óptica. Por ejemplo, para el anillo norte, la ruta de fibra involucra a las avenidas: Prensa, Diego de Vásquez, Galo Plaza Lasso, Gral. Eloy Alfaro, Río Coca, entre otras.

En del anillo centro, la ruta de fibra pasa por las avenidas: 12 de Octubre, La Coruña, República, Gral. Eloy Alfaro, Shiris, 6 de Diciembre, Gaspar de Villaroel, América y 10 de Agosto.

En del anillo sur, la ruta de fibra pasa por las avenidas: Mariscal Antonio José de Sucre, Pedro Vicente Maldonado, Napo, 24 de Mayo, Libertador Simón Bolívar, entre otras.

El tendido de la red de fibra óptica se lo ha hecho vía aérea, es decir utilizando los postes de tendido eléctrico por las calles.

Como se describió anteriormente, hay varias formas de tender la fibra óptica, tenemos: aérea, mediante postes; subterránea, vía ductos, sistema de microcables directamente bajo el pavimento y últimamente también lo están realizando vía ductos de gas, obviamente en las ciudades que disponen de esta tubería.

Sin embargo el tendido del cable de fibra aérea usando postes es más conveniente por las siguientes razones:

- Es menos costosa.
- Facilita la revisión y corrección de errores ocasionados por roturas del cable.
- La instalación de la fibra vía aérea es mucho más sencilla que las otras.
- Es de muy fácil acceso.
- Su tendido presenta menos curvaturas. En la instalación vía ductos puede haber varias curvaturas que pueden poner en riesgo a los filamentos de fibra óptica contenidos en el cable.

En la Tabla 3.4 se indica la longitud de los tramos de cable de fibra óptica entre cada nodo y el tipo de tendido.

Nodo origen	Nodo final	Distancia en kilómetros	Tipo de tendido del cable
Brasil	Av. del Maestro	5.6	Aéreo
Av. del Maestro	Carcelén	5.3	Aéreo
Carcelén	Eloy Alfaro	7.8	Aéreo
Eloy Alfaro	Brasil	8.9	Aéreo
Brasil	Hosp. Metropolitano	4.3	Aéreo
Hosp. Metropolitano	Casa de la Cultura	4.2	Aéreo
Casa de la Cultura	Carolina	3.5	Aéreo
Carolina	Brasil	5.8	Aéreo
Casa de la Cultura	San Roque	4.5	Aéreo
San Roque	Solanda	7.1	Aéreo
Solanda	Recreo	2.6	Aéreo
Recreo	Casa de la Cultura	7.7	Aéreo

Tabla 3.4 Longitud y tipo de tendido del cable en los tramos del backbone

La distancia de los tramos mostrados en la Tabla 3.4 corresponde al total de longitud de la fibra óptica en dichos tramos. Se incluye también ahí las reservas de cable que se deja pasando dos postes (150 m aproximadamente), y dicha reserva de fibra es mínimo de 5 metros. Éstas reservas van suspendidas y enrolladas en los postes, con el fin de facilitar la revisión en caso de fallas, mantenimientos o corte de fibra.

3.5.5 CRITERIOS PARA LA SELECCIÓN DE LA FIBRA ÓPTICA

La fibra óptica a utilizar en los sistemas DWDM debe minimizar los efectos anteriormente descritos en la sección 3.3.1, esto es, la dispersión cromática, la dispersión por modo de polarización y los efectos no lineales. Por esta razón no es posible utilizar cualquier tipo de fibra monomodo, por ejemplo la mayoría de fibra utilizada es la estándar monomodo (G.652) con alta dispersión en la ventana de 1550 nm, y que limita la distancia para las transmisiones de altas velocidades. Esta dispersión se puede mitigar algo mediante el empleo de compensadores de

dispersión, lo que equivale a adicionales gastos en equipos, instalación y mantenimiento.

Según las recomendaciones que propone la empresa de comunicaciones Cisco Systems y rigiéndose a las normas dictadas por la UIT en la utilización de la fibra óptica se tiene lo siguiente:

- Fibra NDSF (fibra estándar SM) – Está en el 95% de las instalaciones; útil para TDM (un canal) y usa la región de los 1310 nm o DWDM en la región de los 1550 nm (con compensadores de dispersión). Este tipo de fibra también puede soportar 10 Gigabit Ethernet hasta 300 m.
- Fibra DSF – Útil para TDM en la región de los 1550 nm pero no útil para DWDM en esta región.
- Fibra NZ-DSF – Buena para TDM y DWDM en la región de los 1550 nm.
- Fibras de nueva generación – Incluyen tipos que permiten a la energía viajar incluso en el “cladding”, creando una pequeña cantidad de dispersión para contrarrestar la mezcla de cuatro ondas, y las fibras de dispersión planas que permiten el uso de longitudes de onda mayores que la óptima sin ensanchamiento del pulso.

En la Figura 3.15 se puede observar el comportamiento de este tipo de fibras con relación a la dispersión.

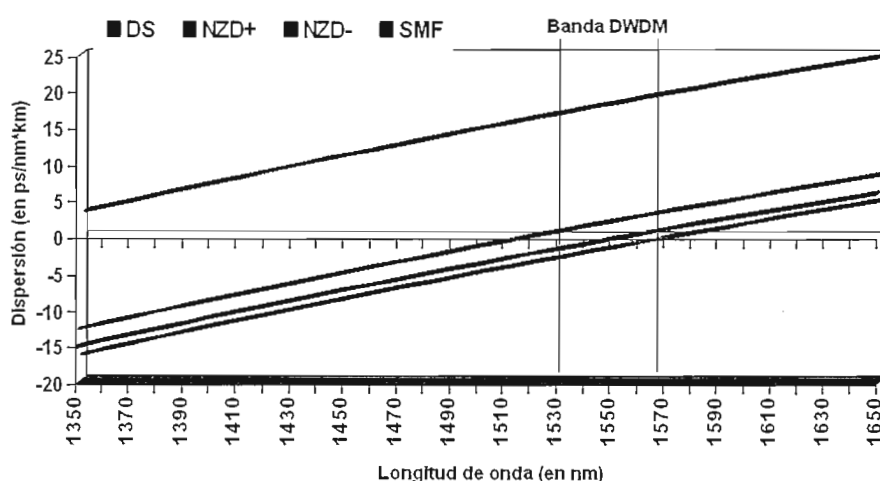


FIGURA 3.15 Comportamiento de los distintos tipos de fibra en la banda DWDM con relación a la dispersión

Notar además que la fibra DSF tienen una dispersión de cero en la región de DWDM, pero no se la utiliza porque en las longitudes de onda alrededor de los 1550 nm se ve muy afectada por el fenómeno no lineal llamado FWM o mezclado de cuatro ondas.

En la Figura 3.10, también se observa que la fibra NZDSF si es apta para la región de DWDM. Lo que se indica como NZD- y NZD+ corresponde a la fibra NZDSF que tienen dispersión cero antes y después del valor 1550 nm.

Con todo lo explicado anteriormente se concluye que la fibra óptica a utilizar en el diseño del backbone tiene que ser la fibra NZDSF. En la Tabla 3.5 se presenta las características de este tipo de fibra dictadas por la UIT-T en la recomendación UIT-T G.655.

Característica	Unidad	Valor
Atenuación		
Atenuación a 1550 nm	dB/km	≤ 0.21 dB/km (típico 0.20 dB/km)
Atenuación a 1625 nm	dB/km	≤ 0.24 dB/km (típico 0.22 dB/km)
Atenuación entre 1550 nm y 1625 nm	dB/km	≤ 0.26
Atenuación a 1450 nm	dB/km	≤ 0.25
Atenuación a 1383 nm	dB/km	≤ 0.70
PMD		
Dispersión por modo de polarización (PMD) – fibra desnuda	ps/km ^{1/2}	Max. individual ≤ 0.10
Dispersión por modo de polarización (PMD) – fibra en el cable	ps/km ^{1/2}	≤ 0.5
Dispersión cromática		
Dispersión cromática a 1440 nm	ps/nm.km	>1 (típico 2)
Dispersión cromática entre 1530 y 1565 nm	ps/nm.km	5.5 a 10 (típico 8 a 1550 nm)
Dispersión cromática entre 1565 y 1625 nm	ps/nm.km	7.5 a 13.4 (típico 12 a 1625 nm)
Longitud de onda de dispersión cero	nm	≤ 1425
Pendiente con dispersión cero a 1550 nm	ps/nm ² .km	0.052

Tabla 3.5 Características de la fibra NZDSF (Especificación UIT-T G.655)⁹⁵

⁹⁵ http://sagem.com/fileadmin/pdf/produits/cables/fibres_optiques/g655-y02-en.pdf

Medidas dimensionales		
Diámetro del campo modal a 1550 nm	μm	9.2 ± 0.5
Diámetro del revestimiento	μm	125 ± 1
No circularidad del revestimiento	%	≤ 1
Error de concentricidad núcleo/revestimiento 1550 nm	μm	≤ 0.6
Área efectiva (típica)	μm ²	≥ 65
Características mecánicas		
Prueba de tracción (alargamiento fibra)	%	< 1
Fuerza de tensión dinámica	Gpa	≥ 3.8
Valores típicos		
Índice de refracción a 1550 nm		1.4692
Longitud de onda de corte λ _{cc}	nm	≤ 1480

Tabla 3.5 Características de la fibra NZDSF (Especificación UIT-T G.655). (Continuación)

Para una buena selección del equipo, se debe tener en cuenta algunas opciones y así realizar una comparación y escoger la mejor opción. En la Tabla 3.6 se presenta una comparación de las características importantes de la fibra, de dos fabricantes: Alcatel y AllWave

PARÁMETRO	ALCATEL	ALLWAVE
	Alcatel 6911 TeraLight Metro Fiber	Fibra AllWave
Rango de longitud de onda utilizables	1510 a 1575 nm	1525 a 1575 nm
Máxima atenuación	≤ 0.03 dB/km en el rango (1510 a 1575 nm)	≤ 0.05 dB/km en el rango (1525 a 1575 nm)
Coefficiente de atenuación máximo en 1550 nm	≤ 0.05 dB/km	≤ 0.05 dB/km
Diámetro del campo modal a 1550 nm	10.2±1.0 μm	10.5 ± 1.0 μm
Diámetro del revestimiento	125.0±1.0μm	125.0 ± 1.0 μm
Dispersión cromática entre 1565 y 1625 nm	≤ 12.5 ps/nm.km	≤ 14 ps/nm.km
Índice de refracción a 1550 nm	1.4645	1.467
Fuerza de tensión dinámica	5.26 Gpa (promedio)	≥ 3.8 Gpa

Tabla 3.6 Comparación del cable de fibra óptica entre dos fabricantes

De acuerdo a la comparación de la Tabla 3.6. la fibra de Alcatel tiene valores más bajos de atenuación y dispersión y tiene una mayor tensión dinámica apropiada para el tendido aéreo.

Entonces, para el presente diseño se utiliza el cable de fibra óptica *Alcatel 6911 TeraLight Metro Fiber*⁹⁶. Es un cable de fibra óptica apropiado para entornos metropolitanos y que se adapta completamente con DWDM. Y está fabricada bajo los estándares de la UIT-T (Recomendación G.655).

Entre las ventajas y características dominantes que pone el fabricante de este producto son:

- Optimizada para operar a 10 Gbps en distancias metropolitanas sin compensadores de dispersión.
- Operación a 40 Gbps con dispositivos compensadores de dispersión comercialmente disponibles.
- Garantizada la operación a 1310 nm con baja dispersión.
- Opera en las bandas C, L y S a 10 Gbps.
- Cable especial diseñado para condiciones urbanas: agua, roedores, corrosión.
- Apta para aplicaciones que involucren ductos de gas, agua y alcantarillado.
- Se la puede utilizar con transmisores muy baratos

3.5.6 CRITERIOS PARA LA SELECCIÓN DE LOS EQUIPOS

Para una buena selección del equipo, se debe tener en cuenta varias opciones para realizar una comparación y poder escoger la mejor. En la Tabla 3.7 se presenta una comparación de las características de los equipos de conmutación que pueden ser utilizados en las redes ópticas GMPLS/DWDM. Se hace referencia a cinco fabricantes de estos equipos como son Nortel Networks, Alcatel, Corvis, Siemens y W-onesys.

⁹⁶ ALCATEL, "Alcatel 6911 TeraLight Metro Fiber". www.alcatel.com

PARAMETRO	ALCATEL	NORTEL	CORVIS	SIEMENS	W-ONESYS
Entrada de voltaje	Equipo 1678 Metro Core Connect 48 a 60 VDC	Equipo OPTera Connect HDX 48 VDC	Equipo Optical Convergence Switch (OCS) 39 a 71 VDC	Equipo SN 16000 Intelligent Switching Platform 48 VDC	Equipo PROTEUS-xWDM-TRX-3R-xG 48 VDC
Interfaces ópticas	40 Gbps (OC768/STM-256) 10 Gbps (OC-192/STM-64) 2.5 Gbps (OC-48/STM-16) 622 Mbps (STM-4/OC-12) 155 Mbps (STM-1/OC-3) 10 Gigabit Ethernet Gigabit Ethernet Ethernet/FE, ATM 140 Mb/s, 45 Mb/s, 34Mb/s, 2Mb/s, 1.5 Mb/s	40 Gbps (OC768/STM-256) 10 Gbps (OC-192/STM-64) 2.5 Gbps (OC-48/STM-16) 622 Mbps (STM-4/OC-12) 155 Mbps (STM-1/OC-3)	10 Gbps (OC-192/STM-64) 2.5 Gbps (OC-48/STM-16) 622 Mbps (STM-4/OC-12) 155 Mbps (STM-1/OC-3) Gigabit Ethernet	10 Gbps (OC-192/STM-64) 2.5 Gbps (OC-48/STM-16) 622 Mbps (STM-4/OC-12) 155 Mbps (STM-1/OC-3) 10 Gigabit Ethernet Gigabit Ethernet	10 Gbps (OC-192/STM-64) 2.5 Gbps (OC-48/STM-16) 622 Mbps (STM-4/OC-12) 155 Mbps (STM-1/OC-3) 10 Gigabit Ethernet 1.25 Gigabit Ethernet
Longitud de onda multiplexadas	Hasta 16 longitudes de onda	Hasta 80 longitudes de onda	Hasta 40 longitudes de onda	Hasta 40 longitudes de onda	Hasta 16 longitudes de onda
Longitud de onda de operación	1,310 nm y 1,550 nm para los enlaces de acceso y, longitudes de onda de la rejilla UIT DWDM con un espaciamiento dependiente del tipo de fibra a utilizar para los enlaces troncales.	1,310 nm, 1,550 nm Longitudes de onda de la rejilla UIT DWDM	1,310 nm, 1,550 nm Longitudes de onda de la rejilla UIT DWDM	1,310 nm, 1,550 nm Longitudes de onda de la rejilla UIT DWDM	850, 1310, 1550 nm para los enlaces de acceso y, longitudes de onda de la rejilla UIT DWDM con un espaciamiento de 50 GHz para los enlaces troncales.
Protección	SNCP, SNCP-I, SNCP-N, 2f/4f MS-SPRing y 2f/4f BLSR, 1+1	UPSR, SNCP, 2f/4f MS-SPRing y 2f/4f BLSR, Mesh, 1+1 y no protegido	UPSR, SNCP, 2f/4f MS-SPRing y 2f/4f BLSR, 1+1 y 1:N	UPSR, SNCP, 2f/4f MS-SPRing y 2f/4f BLSR, 1+1	UPSR, SNCP, 2f/4f MS-SPRing y 2f/4f BLSR, 1+1
Gestión/Control	GMPLS/ASON	GMPLS	GMPLS	GMPLS/ ASON, UNI/E-NNI	GMPLS
Costo (Incluye chasis)	115.000,00	150.000,00	125.000,00	123.000,00	117.000,00

Tabla 3.7 Comparación de equipos de diferentes fabricantes

El equipo a utilizar en este diseño es el *Alcatel 1678 MCC, Metro Core Connect* (Anexo 3). Si bien los equipos comparados brindan similares servicios, el equipo de Alcatel tiene las mejores características para una red óptica metropolitana. Además, Alcatel es el líder mundial en redes ópticas y se encuentra en una posición excepcional para ayudar a los proveedores de servicios a navegar por su camino con las condiciones actuales del mercado. Se han hecho enormes inversiones para convertirse en líder indiscutible en el mercado altamente competitivo del transporte óptico multiservicio. Alcatel se apoya en una base de clientes amplia y diversificada, con más de 400 clientes en 140 países.⁹⁷

El Alcatel 1678 MCC, representa una nueva generación de plataforma óptica de la empresa de comunicaciones Alcatel. Este equipo simplifica las redes integrando multiplexores add/drop (ADM), crosconectores broadband y wideband, optical transport network (OTN), multiprotocol label switching (MPLS), y conmutación de paquetes funcionando en un solo nodo con un plano de control MPLS Generalizado (GMPLS). Como resultado, los proveedores de servicio pueden reducir los gastos en un 40 % en cuanto al número de elementos requeridos en la red.

⁹⁷ ALCATEL, "Hacia un transporte convergente para redes IP core". www.alcatel.com

Además se ha seleccionado este equipo por las siguientes razones:

- Es un equipo que se adapta a cualquier tecnología y fabricante ya que tiene protocolos e interfaces estandarizadas.
- Maneja a plenitud un plano de control generalizado como GMPLS.
- Es completamente compatible con DWDM ya que tiene matrices de conmutación digital y óptica.
- Presenta capacidad cuando y donde el carrier u operador necesite, esto significa reducir el riesgo de inversión en nuevos equipos. El equipo representa una inversión a muy largo plazo; satisfaciendo los requerimientos futuros de ancho de banda y aplicaciones.
- Permite ir agregando tarjetas de conmutación a medida que se vaya necesitando.
- La familia de los productos de Alcatel que trabajan con tecnología WDM son flexibles al cambio rápido del mercado y aseguran la puesta en práctica de los nuevos servicios.
- El equipo presenta una gran variedad de interfaces que funcionan desde las velocidades más bajas hasta las más altas. Esto hace posible que se pueda tener una gran flexibilidad en las aplicaciones y velocidades de transmisión.

Como se indicó anteriormente en el Anexo 3 constan todas las características de este equipo (especificaciones del sistema, operación, mecanismos de protección, especificaciones mecánicas, rendimiento, etc). Sin embargo el fabricante considera algunas ventajas y características importantes como es:

- Gran escalabilidad y densidad.
- Rango completo de interfaces de datos.
- Gran variedad de estándares aplicados (G.709, IEEE 802.3, IETF, OIF, etc).
- Diseñado con una arquitectura modular y escalable para bajar los costos de equipamiento.

- Automatización GMPLS estandarizada para: Gestión de control multicapa, mecanismos de restauración e interoperabilidad.
- Multiplexación hasta 16 longitudes de onda.
- Para agregar fiabilidad operacional el Alcatel 1678 MCC ofrece múltiples esquemas de protección de anillos como son SNCP, 2F/4F-BLSR y MSP que son generalmente usados en anillos SDH.
- El equipo Alcatel 1678 MCC es un gateway entre diferentes capas y tecnologías en la red óptica.

En la Figura 3.16 se puede observar al equipo Alcatel 1678 MCC, Metro Core Connect. Aquí se aprecia la gran cantidad de interfaces disponibles.

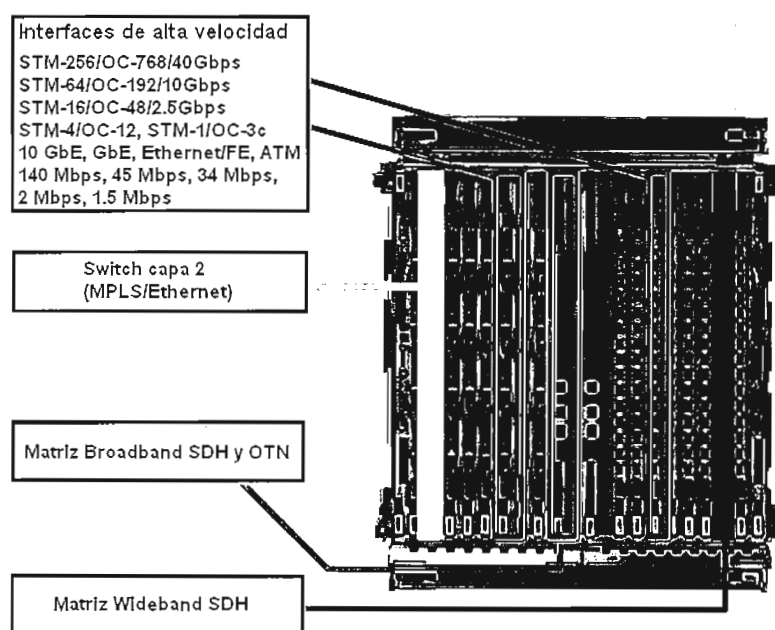


FIGURA 3.16 Alcatel 1678 MCC (vista posterior)

3.5.7 ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DE LOS ENLACES EN LOS ANILLOS

3.5.7.1 Anillo Norte

El anillo norte está formado por los siguientes nodos: Brasil, Av. Del Maestro, Carcelén y Eloy Alfaro. Según la Tabla 3.3, el total de tráfico estimado para el año

2015 en el sector norte es de 8 STM-1, de esta manera a cada enlace punto a punto que forman el anillo se le asigna dos longitudes de onda y a cada longitud de onda se le fija 1 STM-4.

Al enlace entre los nodos Av. Del Maestro y Carcelén se le asigna las longitudes de onda (λ_1 y λ_2), al enlace Carcelén - Eloy Alfaro (λ_3 y λ_4), al enlace Eloy Alfaro - Brasil (λ_5 y λ_6) y al enlace Brasil - Av. Del Maestro (λ_7 y λ_8).

Este anillo está formado por dos fibras monomodo unidireccionales, una fibra se utilizarán para transmisión y la otra para recepción. En la Figura 3.17 se puede observar como está dispuesto el anillo con sus respectivos nodos. En cada nodo hay un equipo Alcatel 1678 MCC.

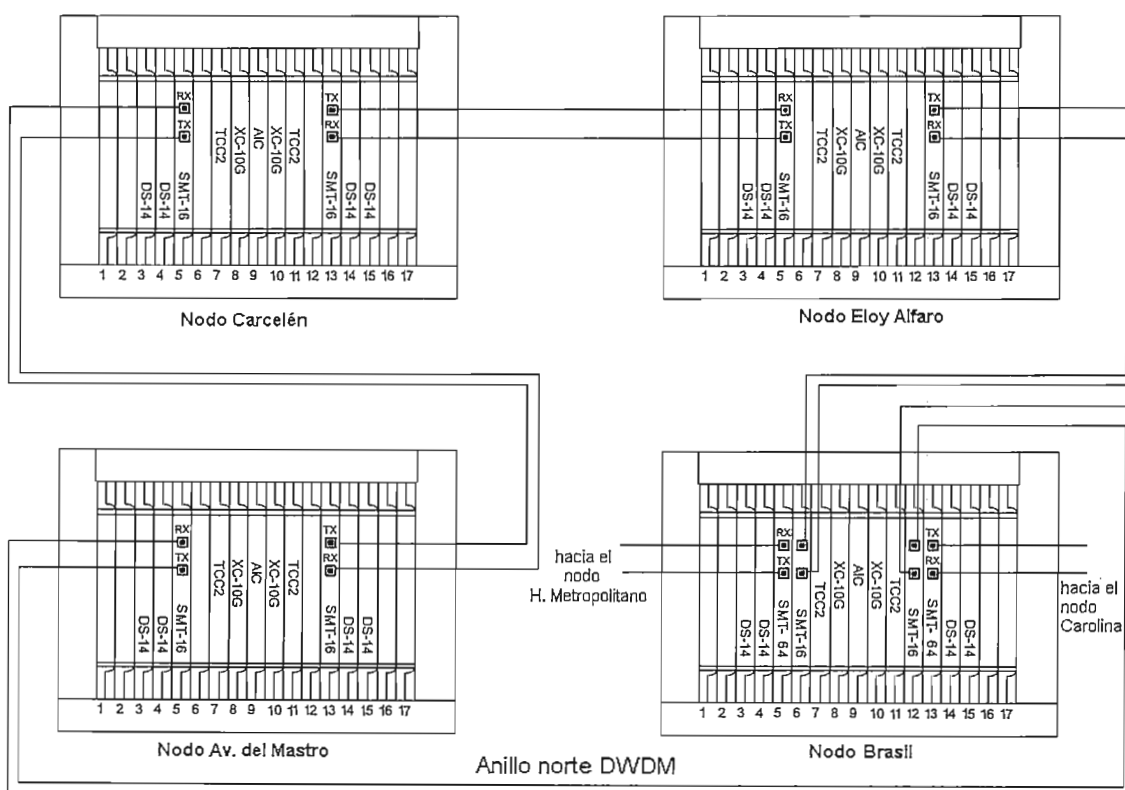


FIGURA 3.17 Configuración del Anillo Norte

3.5.7.2 Anillo Centro

El anillo centro está formado por los siguientes nodos: Brasil, Hospital Metropolitano, Carolina y Casa de la Cultura. Según la Tabla 3.3, el total de tráfico

estimado para el año 2015 en el sector centro es de 34.99 STM-1, de esta manera a cada enlace punto a punto que forman el anillo se le asigna tres longitudes de onda, a la primera y segunda lambda se le asigna 1 STM-16 y a la tercera 1 STM-4.

Al enlace entre los nodos H. Metropolitano y Brasil se le asigna las longitudes de onda (λ_9 , λ_{10} y λ_{11}), al enlace Brasil - Carolina (λ_{12} , λ_{13} y λ_{14}), al enlace Carolina - C. Cultura (λ_{15} , λ_{16} y λ_{17}) y al enlace C. Cultura - H. Metropolitano (λ_{18} , λ_{19} y λ_{20}).

Este anillo está formado por dos fibras monomodo unidireccionales, una fibra se utilizarán para transmisión y la otra para recepción. En la Figura 3.18 se puede observar como está dispuesto el anillo con sus respectivos nodos. En cada nodo hay un equipo Alcatel 1678 MCC.

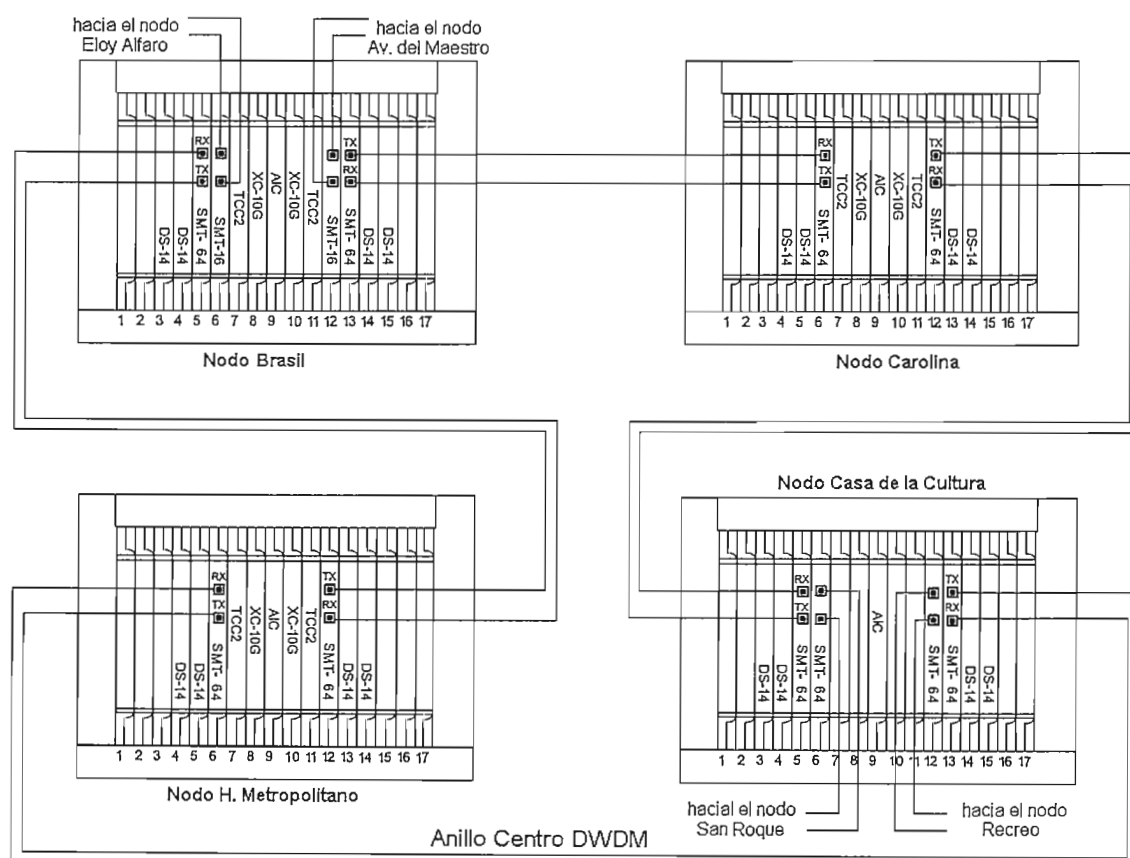


FIGURA 3.18 Configuración del Anillo Centro

Finalmente la topología completa del backbone de fibra óptica DWDM para la ciudad de Quito se la presenta en la Figura 3.20:

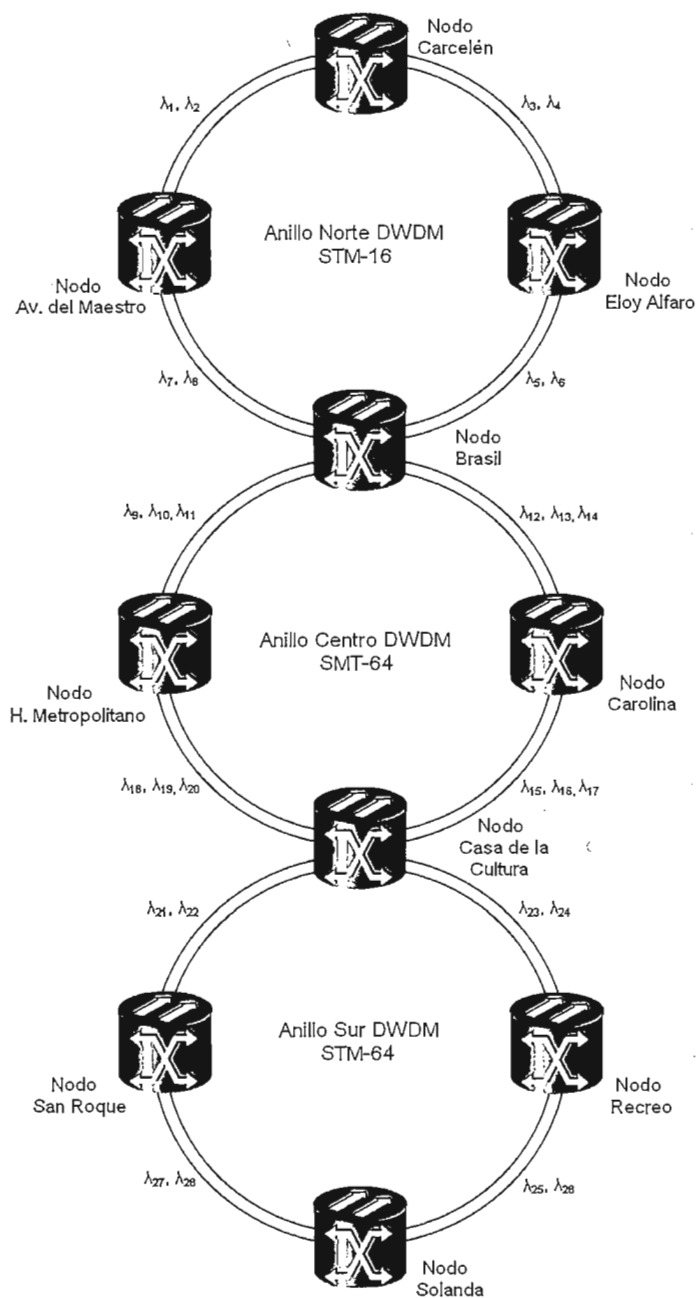


FIGURA 3.20 Topología del backbone de fibra óptica DWDM para la ciudad de Quito

3.5.8 SELECCIÓN DE LAS LONGITUDES DE ONDA EN EL DISEÑO

Las longitudes de onda asignadas a los enlaces, pueden seleccionarse de la rejilla UIT para DWDM según la recomendación G.694.1. Estas longitudes de onda deben ser configuradas en los equipos.

Según las características del equipo, en las interfaces DWDM se emplea una separación de 50 GHz en la banda C.

Por lo tanto de acuerdo a la rejilla UIT para DWDM (Anexo 1), se asigna valores a las longitudes de onda (λ) especificadas en cada enlace del backbone, de la siguiente manera: (Tabla 3.8)

λ	Valor de longitud de onda (nm)	λ	Valor de longitud de onda (nm)
λ_1	1569.18	λ_{15}	1557.77
λ_2	1568.36	λ_{16}	1556.96
λ_3	1567.54	λ_{17}	1556.15
λ_4	1566.72	λ_{18}	1555.34
λ_5	1565.90	λ_{19}	1554.54
λ_6	1565.09	λ_{20}	1553.73
λ_7	1564.27	λ_{21}	1552.93
λ_8	1563.45	λ_{22}	1552.12
λ_9	1562.64	λ_{23}	1551.32
λ_{10}	1561.83	λ_{24}	1550.52
λ_{11}	1561.01	λ_{25}	1549.72
λ_{12}	1560.20	λ_{26}	1548.91
λ_{13}	1559.39	λ_{27}	1548.11
λ_{14}	1558.58	λ_{28}	1547.32

Tabla 3.8 Asignación de valores a las λ de los enlaces

3.5.9 DESCRIPCIÓN DE LOS NODOS

Cada nodo esta equipado con el equipo conmutador Alcatel 1678 MCC. Además debe tener un equipo de respaldo eléctrico que conmute automáticamente cuando se suspenda el suministro eléctrico en el nodo.

El nodo es un cuarto de equipos y/o un espacio centralizado de uso específico para equipo de telecomunicaciones, tal como una central telefónica. Este cuarto incluye espacio de trabajo para personal de telecomunicaciones. Los cuartos de equipos deben ser diseñados y aprovisionados de acuerdo a los requerimientos de la norma EIA/TIA 569. Algunas recomendaciones son:

Las dimensiones del cuarto de equipos deben ser consideradas según la norma EIA/TIA 569. Sin embargo puede darse el caso que el cuarto de equipos en el nodo no sea propio del operador sino alquilado, en este caso se debe hacer lo posible para que se cumpla con las recomendaciones.

El número y tamaño de los ductos utilizados para acceder al cuarto de equipos varía con respecto al grosor del cable de fibra óptica utilizada, de los cables eléctricos, de las protecciones a tierra, etc. Los ductos de entrada deben de contar con elementos de retardo de propagación de incendio.

Las puertas de acceso deben ser de apertura completa, con llave y de al menos 91 centímetros de ancho y 2 metros de alto. La puerta debe ser removible y abrir hacia afuera (o lado a lado). La puerta debe abrir al ras del piso y no debe tener postes centrales.

Se debe el evitar polvo y la electricidad estática utilizando piso de concreto, loza o similar (no utilizar alfombra) y deben soportar la carga de los equipos a utilizar. De ser posible, aplicar tratamiento especial a las paredes pisos y cielos para minimizar el polvo y la electricidad estática.

La temperatura del cuarto de equipos debe mantenerse continuamente (24 horas al día, 365 días al año) entre 18 y 24 grados centígrados.

Los cuartos de equipos deben estar libres de cualquier amenaza de inundación. No debe haber tubería de agua pasando por (sobre o alrededor) del cuarto de telecomunicaciones.

Los cuartos deben de estar bien iluminados, se recomienda que la iluminación debe de estar a un mínimo de 2.6 mts. del suelo, las paredes y el techo pintados de preferencia de colores claros para obtener una mejor iluminación, también se recomienda tener luces de emergencia por si el foco se daña.

El nodo principal es el denominado Brasil y puede estar ubicado en las instalaciones de la Empresa proveedora de los servicios de telecomunicaciones u operador, en ese sitio es donde más puede exigirse el cumplimiento de las recomendaciones de las normas EIA/TIA 569 correspondiente al cuarto de equipos debido a la gran cantidad de dispositivos que puede ir albergando (servidores, ruteadores, switches, etc).

En ese mismo sitio se debe implementar un Centro de Operaciones de Red (NOC), el cual está encargado de monitorear y administrar los diferentes enlaces y equipos del backbone. Puede también implementarse un Call Center, en el cual el usuario notifica su problema en el servicio.

3.5.10 ESPECIFICACIONES DEL PLANO DE CONTROL GMPLS

El plano de control GMPLS toma como base los siguientes protocolos IP: OSPF (*Open Shortest Path First*) o IS-IS (*Intermediate System - Intermediate System*) como protocolo de descubrimiento de los recursos y topología de la red óptica, RSVP-TE (*Resource Reservation Protocol Traffic Engineering*) o CR-LDP (*Constraint Based Routing Label Distribution Protocol*) como protocolos de señalización y LMP (*Link Management Protocol*) para la gestión del enlace.

El equipo Alcatel 1678 MCC, es un dispositivo que integra los OXC para conmutar las diferentes longitudes de onda y un controlador de red que maneja los protocolos de enrutamiento, señalización y gestión del enlace a nivel de IP.

3.5.10.1 Elección del protocolo de enrutamiento

Dentro de las opciones para un protocolo de enrutamiento que funcione en el Backbone de la red están OSPF e IS-IS, dichos protocolos están basados el algoritmo de estado de enlace y tienen la capacidad de funcionar con extensiones que son utilizadas en la Ingeniería de Tráfico (GMPLS-TE).

Cada protocolo de enrutamiento tiene limitaciones para el manejo de un determinado número de rutas dentro de un mismo sistema autónomo. OSPF permite hasta 500 rutas, por su parte IS-IS permite hasta 1000 rutas.⁹⁸

Dado que la red que se está diseñando tiene apenas 10 puntos de presencia, las rutas en ningún caso superarán el valor máximo de restricción para utilizar los protocolos antes mencionados. Bajo la consideración anterior y con el requerimiento de la utilización de GMPLS-TE, el protocolo a utilizarse es OSPF dentro de un solo sistema autónomo.

Adicionalmente, este protocolo tiene la responsabilidad del descubrimiento de rutas en caso de alteraciones en los elementos y enlaces de la red, así como también en el establecimiento de LSPs jerárquicos, enlaces agrupados, etc.

3.5.10.2 Elección del protocolo de señalización

Con respecto al protocolo de señalización se configura en los equipos el RSVP-TE (Protocolo RSVP para ingeniería de tráfico con extensiones para GMPLS). Aunque se puede utilizar cualquiera de los dos protocolos: RSVP-TE o CR-LDP ya que GMPLS no especifica que protocolo se debe utilizar.

Este protocolo es importante para la señalización en los LSP jerárquicos, codificación de ancho de banda, establecimiento de LSPs bidireccionales, información de protección, etc.

⁹⁸ CISCO SYSTEM. "Cisco MPLS Control Software Configuration Guide-Quality of Service in MPLS Networks". www.cisco.com/univerred/ee/td/product/wanbu/bpx8600/mpls/9_3_1/mpls04.pdf

3.5.10.3 Elección del protocolo de gestión del enlace

El protocolo LMP (Link Management Protocol) es utilizado para la gestión del canal de control, verificación de la conectividad del enlace, corrección de las propiedades del enlace, aislamiento de las fallas y autenticación.

3.5.10.4 Mecanismos de protección y restauración

Las fuentes físicas de fallo en redes de comunicaciones pueden ser clasificadas en las siguientes categorías:

- Fibras y cables: La principal causa de fallo de fibras y cables es el daño causado por agentes externos como los trabajos de ingeniería civil y los efectos del entorno como rayos o terremotos.
- Equipamiento: Puede fallar debido a efectos del envejecimiento, forzado de componentes o la aparición de humedad
- Fallos de alimentación: Apagan el nodo cuando aparecen y que están fuera del control del operador. Los sistemas principales son provistos de reservas mediante sistemas de alimentación secundarios.
- Mantenimientos: Mantenimientos no programados y errores realizados durante el mantenimiento pueden afectar a la disponibilidad del servicio.
- Desastres causados por la acción del entorno o humana, generalmente de gran alcance y con severos efectos, tales como la destrucción de componentes principales de la red.

Para evitar o controlar estos problemas es preciso definir formas de protección y restauración. La protección abarca mecanismos automáticos con elementos de red, los cuales aseguran que los fallos sean detectados y compensados antes de que ocurra una pérdida de servicios. La protección hace uso de capacidad pre-asignada que siempre estará disponible y será accesible en un tiempo muy corto.

La restauración es un proceso automatizado o manual que se emplea para recuperar el tráfico después de la pérdida de servicio. Al detectarse el fallo, el

tráfico es reenrutado por un camino alternativo. El camino alternativo se encuentra de acuerdo con algoritmos predefinidos.

El presente proyecto está diseñado con el plano de control GMPLS y éste utiliza el protocolo OSPF-TE (Protocolo OSPF para ingeniería de tráfico con extensiones para GMPLS), el cual se encarga de dar a cada nodo una visión completa de la topología de la red. En caso de fallo de algún enlace, OSPF-TE restaura el servicio por un camino alternativo. Por ejemplo, en Figura 3.21, que corresponde al anillo norte del Backbone DWDM, si se produce una rotura de fibra en la ruta inmediata Brasil-Av. Del Maestro, OSPF reencamina el tráfico por Brasil-Eloy Alfaro-Carcelén-Av. Del Maestro.

Por otro lado, el uso de OSPF-TE permite un reparto dinámico de la capacidad. Por ejemplo si la comunicación entre los nodos Brasil y Av. Del Maestro por la ruta directa resulta insuficiente, OSPF-TE puede decidir desviar parte del tráfico por la ruta alternativa (por Brasil-Eloy Alfaro-Carcelén-Av. Del Maestro).

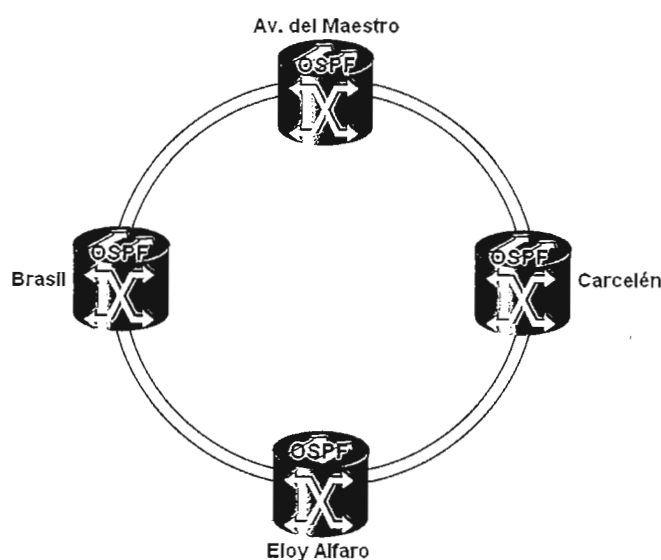


FIGURA 3.21 Restauración con OSPF-TE

En cuanto a la protección, el equipo Alcatel 1678 MCC dispone de diferentes tipos de protección como son: De línea 1+1, MSP, SNCP y 2f/4f MS-SPRing, BLSR

En la protección 1+1 de línea o punto a punto, un camino de protección dedicado porta el tráfico en una dirección y el camino operativo porta la señal a través de otra ruta diferente. El elemento de red que recibe las señales compara la calidad de los dos caminos y la señal de mayor calidad es seleccionada. Ésta será nombrada como la ruta activa. Ante un evento de fallo en la ruta activa el extremo receptor conmutará al otro camino, a la ruta de protección.

SNCP (Protección de Conexión de Subred) es similar a la protección de línea, en la cual, el camino de protección dedicado involucra conmutación en ambos extremos del camino, mientras que la conmutación SNCP puede ser iniciada en un extremo de la ruta y llegar hasta un nodo intermedio. La red puede ser descompuesta con un número de subredes interconectadas. Con cada protección de subred se proporciona un nivel de ruta y la conmutación automática de protección entre dos caminos es proporcionada en las fronteras de subred.

La selección de la señal de mayor calidad se realiza, no únicamente por el elemento de red en el extremo del camino, sino que también en nodos intermedios a la salida de cada subred que es atravesada por la ruta.

El MSP (Protección de Sección de Multiplexación) opera con una sección de tráfico ubicada entre dos nodos adyacentes. Entre estos dos nodos hay dos enlaces separados o dos diferentes fibras: la operativa y la de protección. Ante un evento de fallo del enlace, la señal entrante debe ser conmutada de la fibra activa a la de protección. MSP protege tráfico entre dos elementos de red adyacentes, pero únicamente el enlace entre esos dos nodos, no aportando protección ante un fallo total de un elemento de red. Otra limitación es que requiere de diversos caminos físicos para fibra activa y de protección. Si ambas fibras se encuentran en la misma conducción y ésta es dañada, los dos caminos, el operativo y el de protección, se perderían.

MS-SPRing (Anillos de Protección Compartida de la Sección de Multiplexación), son unos mecanismos de protección de anillo. El tráfico es enviado solo por una ruta en torno al anillo. No existe un camino de protección dedicado por cada ruta en producción, en cambio está reservada capacidad del anillo para protecciones

y esta puede ser compartida para la protección de diversos circuitos en producción. Ante un evento de fallo, todo el tráfico de la sección es conmutado.

Además de los mecanismos para la protección de la trayectoria, es indispensable la protección de equipamiento

Cada componente de los elementos de red tiene asociado una tasa de fallo con él. La disponibilidad puede ser mejorada provisionando un componente en stand-by que emplear en caso de fallo. Esta protección local es comúnmente aplicada en algunas unidades como son las de alimentación, matriz de cross-conexión y tarjetas.

Así, una tarjeta puede ser provisionada en stand-by en un elemento de red. Ante un evento de fallo de la tarjeta que se encuentra trabajando, el tráfico es automáticamente conmutado a la tarjeta de reserva de modo que no haya una interrupción de servicio para el usuario final. Las tarjetas de reserva también pueden ser usadas durante rutinas de mantenimiento. El tráfico puede ser manualmente conmutado a la tarjeta de backup mientras la tarjeta primaria sigue funcionando. Hay que tomar en cuenta que las protecciones de tarjetas son opcionales en el equipo Alcatel 1678 MCC.

Hay diferentes esquemas estándar para protecciones de equipamiento. Por ejemplo, si una tarjeta en stand-by se incluye por cada tarjeta en funcionamiento, estas tarjetas tienen protecciones 1+1.

Es también común provisionar una tarjeta de protección para diversas tarjetas operativas. Ante un evento de fallo en alguna de las tarjetas en producción, el tráfico es normalmente conmutado hacia la tarjeta de protección. A este sistema se le denomina protección 1:N.

En el siguiente diagrama de bloques (Figura 3.22) se indica los mecanismos de protección utilizados en el Backbone DWDM.

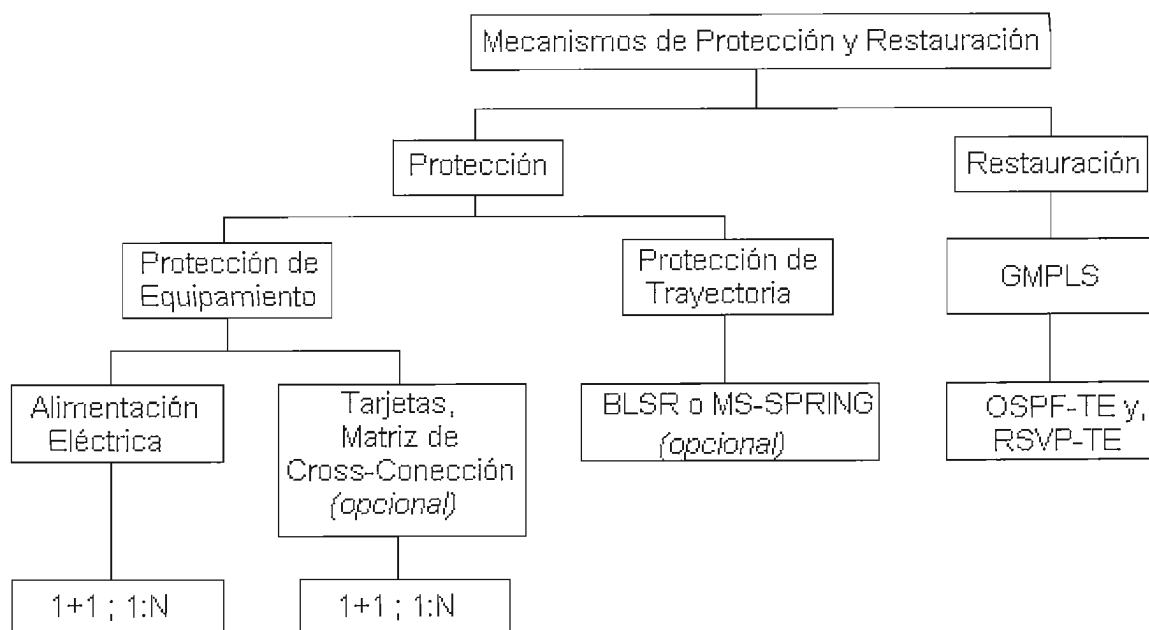


FIGURA 3.22 Mecanismos de Protección y Restauración en el Backbone DWDM

3.5.11 ESPECIFICACIONES PARA LA ADMINISTRACIÓN DE LA RED

La monitorización del funcionamiento de la red (*performance*) juega un papel fundamental en el mantenimiento de un seguimiento preciso del estado de los recursos de la red, y en última instancia proporciona una contribución clave para la eficiencia operacional y por tanto la rentabilidad de la entrega del servicio.

En el plano de Gestión de red se utiliza dos mecanismos para el monitoreo y gestión de los distintos dispositivos de la red: el protocolo SNMPv2/3 que permite obtener estadísticas, rendimiento, alarmas, polling, etc. de los elementos de la red óptica y la Interfaz de Línea de Comando (CLI), mediante el cual se puede remotamente configurar, monitorear, realizar pruebas, etc.

En la capa DWDM, los parámetros más importantes para monitorizar son la potencia total en la fibra, la potencia por canal DWDM, la relación señal a ruido óptica (OSNR), la longitud de onda de cada canal y las desviaciones de dichos parámetros. Además, es preciso monitorizar parámetros concernientes a las

características de la señal óptica como el BER (Tasa de bit errado), el jitter o los efectos de la dispersión, entre otros.

3.5.12 DEFINICIÓN DE LOS SERVICIOS A PRESTARSE

La red a diseñarse bajo la arquitectura GMPLS/DWDM tiene potencialmente todos los servicios y aplicaciones descritas en detalle en el capítulo anterior.

Como requerimientos del carrier se ha propuesto el permitir brindar SLAs, para lo cual se necesita una serie de condiciones que son descritas más adelante, sin embargo una de las más relevantes y que inmediatamente puede ser identificada es la necesidad de brindar Calidad de Servicio (QoS) para cumplir con este objetivo.

3.5.12.1 Calidad de Servicio y Acuerdo de Nivel de Servicio (SLA)

QoS es la herramienta que permite diferenciar, priorizar y jerarquizar el tráfico según las necesidades de la aplicación (ancho de banda, retardo, velocidad). Al poder transportar efectivamente los datos del cliente, se cumple el objetivo de diseñar una plataforma que permita el transporte de datos según los requerimientos de QoS de la aplicación a la cual puede ser vídeo conferencia, vídeo bajo demanda, voz sobre IP, VPNs, las cuales exigen garantías de QoS.

Una manera escalable para proveer altos niveles de calidad de servicio es implementar múltiples Clases de Servicio (CoS). De ésta manera, un proveedor de servicios ofrece tres Clases de Servicio, que según sus nombres comerciales se citan a continuación:

Clase Oro o *Premium*: Alta prioridad, baja latencia, entrega no garantizada.

Clase Plata o *Business*: Prioridad Media, baja latencia, entrega garantizada.

Clase Bronce: Prioridad Baja "*Best Effort*".

Los subscriptores del proveedor de servicios pueden usar una combinación de las clases que se ajuste a sus necesidades. Algunos subscriptores pueden usar la clase de servicio Plata u Oro para vídeo conferencia o voz y datos de alta prioridad y la clase de servicio bronce para tráfico de correo electrónico.

El contrato que especifica los parámetros de QoS acordados entre el proveedor y el usuario (cliente) se denomina SLA (*Service Level Agreement*) o acuerdos de nivel de servicio.

Los parámetros típicos de los SLAs son:

- Disponibilidad
- Ancho de banda
- Pérdida de paquetes
- Retardo
- Jitter

La disponibilidad se define en porcentaje como el tiempo en el cual el servicio está disponible en un lapso sobre un determinado tiempo de medición. Por lo general este lapso de medición es mensual. Si la disponibilidad baja más allá de la acordada en el SLA el cliente es sujeto a crédito.

En el presente proyecto se ha propuesto una disponibilidad del 99.99 % ya que las especificaciones técnicas del equipo Alcatel 1678 MCC indica un 99.999 % de disponibilidad. Además las protecciones a nivel del backbone hacen posible una recuperación de 50 ms en caso de fallas en la red. Por otro lado, los mecanismos de protección eléctrica, aseguran que todos los equipos sigan funcionando normalmente cuando se suspenda el fluido eléctrico en el lugar.

El *ancho de banda* es un requisito muy importante e indica el ancho de banda mínimo que el operador garantiza al usuario dentro de su red, por ejemplo, 2 Mbps. En el presente diseño se garantiza el ancho de banda al cliente ya que,

DWDM y GMPLS maneja grandes anchos de banda y se puede hacer ingeniería de tráfico, permitiendo de esta forma que no exista congestión de los canales.

La *pérdida de paquetes* se hace referencia al máximo de paquetes perdidos. A nivel del backbone el porcentaje de paquetes perdidos es 0 %. Sin embargo la pérdida de paquetes puede producirse en la última milla o en las redes de acceso dependiendo del medio que se utilice o también cuando el usuario excede el caudal garantizado.

Con respecto al *retardo*, la política de medición del retardo depende del proveedor de servicio, por lo general el carrier garantiza el retardo solo dentro de su red.

Por ejemplo, se puede calcular el retardo para un cliente que tenga un canal dedicado e involucra un enlace entre el centro y sur de la ciudad. Los nodos involucrados pueden ser Solanda y Carolina:

El retardo de propagación en este tramo, cuya longitud es de 13.8 km de fibra óptica NZDSF, se puede calcular de la siguiente manera:

La velocidad nominal de propagación (V_{NP}) se define como la relación entre la velocidad de la luz en el vacío y el índice de refracción en la fibra.

$$V_{NP} = \frac{c}{\text{índice de refracción}} \quad (3.2)$$

El valor de "c", es la velocidad de la luz en el vacío y es igual a 3×10^8 m/s. El índice de refracción para la fibra NZDSF de acuerdo a la Tabla 3.1 es 1.4692, entonces:

$$V_{NP} = 3 \times 10^8 \text{ m/s} / 1.4692 = 2.042 \times 10^8 \text{ m/s}$$

El retardo de propagación se lo calcula de la siguiente manera:

$$\text{Retardo de propagación} = \text{Longitud de la fibra} / V_{NP} \quad (3.3)$$

Entonces,

$$\text{Retardo de propagación} = 13.8 \times 10^3 \text{ m} / 2.042 \times 10^8 \text{ m/s} = 67.58 \mu\text{s}$$

Cada nodo Alcatel 1678 MCC tienen un retardo de procesamiento de 30 μs de acuerdo a las especificaciones técnicas en el Anexo 3.

Como el canal involucra la conmutación de cuatro nodos, el retardo total de procesamiento es $4 * 30 \mu\text{s}$, que da un valor de 120 μs .

El retardo total es igual a la suma de los dos retardos calculados anteriormente, así:

$$\text{Retardo total} = 68.56 \mu\text{s} + 120 \mu\text{s} = 188.56 \mu\text{s}$$

Esto representa un valor de retardo muy pequeño. Entonces el operador puede ofrecer por ejemplo, un retardo menor a 5 ms en el SLA.

El *jitter* es la variación de retardo en el arribo y entrega de paquetes. Igual que en el retardo, el carrier garantiza generalmente el jitter solo dentro de su red.

En el presente diseño las variaciones en el jitter están controladas si se utiliza la fibra NZDSF, porque ésta elimina con gran eficiencia los efectos producidos por la dispersión y las no linealidades. Además el equipo Alcatel 1678 MCC es de última generación y por ende tiene eficientes transmisores y detectores ópticos con ellos se puede mitigar los factores que pueden producir variaciones en el jitter.

3.6 DESCRIPCIÓN DEL COSTO DE LOS EQUIPOS PARA EL DISEÑO

El cálculo del costo, para el diseño de la red de fibra óptica con tecnología DWDM es referencial. Ya que el costo de los equipos tiene muchas restricciones para ser difundida, y además varía dependiendo del mercado y de la oferta.

En la Tabla 3.9 se presenta el detalle de los costos de los equipos que se necesita por cada anillo. Cabe indicar que este costo involucra el valor total por cada nodo. En donde el equipo Alcatel 1678 MCC tiene un precio unitario de \$115.000,00 y el conjunto (rack para el montaje de los equipos, patch panels de fibra óptica, equipo de protección eléctrica y patch cords de fibra óptica) un precio de \$2.000,00.

ANILLO	Cantidad	Precio unitario por nodo (UDS)	Precio total (UDS)
Norte	3	117.000,00	351.000,00
Centro	4	117.000,00	468.000,00
Sur	3	117.000,00	351.000,00

Tabla 3.9 Costo de los equipos

El precio del cable de fibra óptica para exteriores y de 4 hilos es de \$ 6.30 por metro. Además, la longitud total del cable de fibra óptica por anillo se lo puede calcular utilizando el diagrama mostrado en la Figura 3.11. Ahí constan las distancias de los tramos de fibra entre los diferentes nodos. La longitud de fibra en el anillo norte es de 27.6 km, en el anillo centro de 17.8 km y en el anillo sur es 21.9 km.

Con el costo de cable de fibra óptica por metro y con la longitud de fibra de cada anillo. Se calcula el precio del cable de fibra por anillo. Esto se indica a continuación en la Tabla 3.10.

ANILLO	Precio del cable (UDS)
Norte	173.880,00
Centro	112.140,00
Sur	137.970,00

Tabla 3.10 Costo de cable de fibra óptica por cada anillo

Finalmente, el precio total para la implementación de cada anillo (equipos y cable de fibra óptica) se indica en Tabla 3.11:

ANILLO	Precio total de la infraestructura (UDS)
Norte	524.880,00
Centro	580.140,00
Sur	488.970,00
TOTAL	1'593.990,00

Tabla 3.11 Precio total de la infraestructura diseñada.

Como se observa en la Tabla 3.6, el precio total de toda la infraestructura es \$1'593.990,00. Esta cantidad resulta económica frente a los beneficios a mediano y largo plazo que puede tener la implementación de estas nuevas tecnologías.

Ahora es importante realizar una descripción de los costos de instalación de éste proyecto, para ello se toma en cuenta la mano de obra técnica, se necesita de dos ingenieros a cargo que sean especialistas en infraestructura óptica para redes y networking, además técnicos en el área eléctrica y cableado, técnicos en el área de fusión de fibra óptica y técnicos encarados del tendido del cable de fibra óptica.

En la Tabla 3.12, se realiza una descripción de los costos de instalación tomando en cuenta lo citado anteriormente.

RECURSO HUMANO	DESCRIPCIÓN	VALOR	TOTAL
2	Ingenieros técnicos especialistas	18.000,00	36.000,00
3	Técnicos del área eléctrica	1.500,00	4.500,00
4	Técnicos del área de fusión de fibra óptica	1.500,00	6.000,00
5	Técnicos para el tendido del cable de fibra óptica	2.400,00	12.000,00
	Gastos varios	2.000,00	2.000,00
	TOTAL		60.500,00

Tabla 3.12 Costos de instalación.

El valor descrito en la Tabla 3.12 indica el costo por el trabajo de cada persona en el área correspondiente, así se ha previsto que los ingenieros técnicos especialistas a cargo de la ejecución del proyecto y los técnicos de tendido del cable de fibra óptica cumplan un periodo de trabajo de 6 meses, que es el tiempo que se toma para la implementación de esta nueva tecnología desde el inicio hasta la puesta en marcha.

Por otra parte los técnicos del área eléctrica y cableado, y de fusión de fibra óptica cumplirán un período de trabajo de 3 meses, pues su trabajo consta de la instalación eléctrica y cableado en cada nodo y, de la fusión de los diferentes tramos de fibra y al interior de cada nodo respectivamente.

El valor total para este proyecto que resulta del costo de los equipos que es de \$1'593.990,00 más los costos de instalación de \$60.500,00 da una suma de \$1'654.490,00.

Finalmente, aunque no es el propósito realizar un análisis económico ni una evaluación del proyecto realizado, es conveniente citar algunos aspectos importantes y recomendaciones para decidir sobre la conveniencia, planificación y ejecución de este proyecto.

Para tomar una decisión sobre un proyecto es necesario que este sea sometido al análisis multidisciplinario de diferentes especialistas. Una decisión siempre debe estar basada en el análisis de un sin número de antecedentes o la aplicación de una metodología lógica que abarque la consideración de todos los factores que participan y afectan al proyecto.

Dentro de este marco es importante, la evaluación del proyecto, que consiste en comparar los costos con los beneficios que estos generan, para así decidir sobre la conveniencia de llevarlos a cabo.

Son cuatro los estudios particulares que deberán realizarse para disponer de toda la información relevante para la evaluación: técnico, de mercado y económico.

Estudio técnico.- El objetivo aquí es el diseño del backbone de fibra óptica. Como ya se vio en el capítulo tres, en el estudio técnico se define básicamente:

- Determinación de la localización geográfica y cobertura de la red.
- Ingeniería del proyecto.
- Descripción de los equipos a utilizar y sus respectivos costos.
- Que personal es necesario para llevar a cabo este proyecto.

Además dentro del marco técnico pueden tratarse algunos puntos más generales aunque no menos importantes, como los siguientes:

- La empresa de servicios de telecomunicaciones que implementa este proyecto debe negociar con el Municipio el costo del alquiler de cada poste por medio del cual se va a realizar el tendido del cable de fibra óptica. Y además un acuerdo en el cual se establezca la permanencia de dichos

postes, para que a futuro, si éstos van a ser removidos tomar a tiempo las acciones apropiadas.

- La documentación mínima para una red de cables de fibra óptica debería incluir los dibujos esquemáticos, datos de la pérdida de empalme, mediciones de pérdida óptica de punta a punta mediante un OTDR. El propósito de esta documentación es proporcionar referencias históricas para el mantenimiento y la restauración de emergencia. Al mantener estos datos, se garantiza al operador del sistema una pronta respuesta mediante la identificación rápida, ubicación y reparación de cualquier problema que pueda ocurrir dentro de la ruta o trayectoria de un cable.
- Se recomienda probar todos los cables en su sistema con un OTDR, al menos una vez cada dos años. Una buena práctica recomendada es probarlos cada vez que quita el transmisor para su mantenimiento. La comparación de estos resultados con las pruebas de inspección inicial le permite identificar y corregir las pérdidas graduales en rendimiento antes que causen un corte.

Estudio de mercado.- Consta básicamente de la determinación y cuantificación de la demanda y la oferta, el análisis de los precios y el estudio de la comercialización. El objetivo principal de esta investigación es verificar la posibilidad de penetración del producto (en este caso los servicios de telecomunicaciones: voz, datos, video, vpn, etc) de un mercado determinado. El investigador del mercado, al final de un estudio meticoloso y bien realizado podrá "palpar" o sufrir el riesgo que se corre y la posibilidad que habrá con la venta de un nuevo servicio o con la existencia de un nuevo competidor en el mercado.

Estudio económico.- Aquí se demuestra lo importante: ¿La idea es rentable?. Para saberlo se tienen tres presupuestos: ventas, inversión, gastos. Que salieron de los estudios anteriores. Con esto se decidirá si el proyecto es viable, o si se necesita cambios, como por ejemplo, si se debe vender mas, comprar equipos mas baratos o gastar menos. Hay que recordar que cualquier "cambio" en los

presupuestos debe ser realista y alcanzable, si la ganancia no puede ser satisfactoria, ni considerando todos los cambios y opciones posibles entonces el proyecto será "no viable" y es necesario encontrar otra idea de inversión. Así, después de modificaciones y cambios, y una vez seguro de que la idea es viable, entonces, se pasará a ejecutar el proyecto.

CAPÍTULO 4: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1 CONCLUSIONES

- Desde la perspectiva técnica y económica, la posibilidad de suministrar potencialmente una capacidad de transmisión ilimitada es la ventaja más obvia de la tecnología DWDM. La actual inversión en fibra no solo puede ser preservada sino también optimizada. A medida que la demanda cambia, se puede añadir más capacidad, con el solo hecho de ir aumentando el número de longitudes de onda de la fibra sin costos adicionales.
- Mediante la técnica DWDM se puede transmitir cualquier tipo de servicio en cada longitud de onda, por ello una de las ventajas más importantes de ésta tecnología es la transparencia, es decir podemos enviar por la misma fibra y al mismo tiempo tráfico de ATM, Gigabit Ethernet, SONET/SDH, etc, asignando a cada uno de ellos una longitud de onda.
- Otro aspecto importante que tiene DWDM es simplicidad en el sentido que reduce drásticamente el uso de regeneradores de las señales ópticas, de esta manera los sistemas DWDM simplifican en mucho la expansión de la capacidad de la red. El único requerimiento es instalar interfaces adicionales o de mayor velocidad en los sistemas DWDM en el extremo de la fibra. En algunos casos solo será necesario aumentar el número de longitudes de onda de la fibra en las interfaces existentes.
- La tecnología DWDM es la opción número uno para aquellos proveedores de servicios y empresas portadoras que quieren responder más rápidamente a los cambios de demanda mediante un servicio de ancho de banda a la demanda. La posibilidad de proveer servicios rápidamente mediante el suministro de longitud de onda a la demanda, crea nuevas oportunidades de ingresos tales como alquilar longitud de onda (una alternativa al alquiler de

enlaces físicos o túneles de velocidad limitada), recuperación de desastres y VPNs ópticas.

- El transporte convergente en DWDM es el sucesor del transporte multiservicio, aportando también otro nivel de integración de tecnología. No sólo serán posibles tecnologías de multiplexión de paquetes, de tiempo y de longitud de onda en la misma plataforma, sino que también permitirá a los operadores optimizar sus redes para cualquier mezcla futura de servicios, teniendo en cuenta sus requisitos específicos en términos de conectividad, ancho de banda y calidad de servicio. El transporte convergente desdibuja las fronteras entre el transporte de nueva generación SONET/SDH, Ethernet y WDM, haciendo superfluos los debates sobre qué tecnología es la más adecuada para cada aplicación y minimizando los riesgos de inversiones de los operadores.
- La migración hacia redes DWDM transparentes y completamente ópticas se basa en consideraciones económicas, de velocidad y en la aparición de una serie de importantes tecnologías de conmutación. Entre las diferentes tecnologías existentes para la implementación de conmutadores completamente ópticos en redes DWDM, la que está captando mayor atención es la tecnología MEMS (Micro Electro Mechanical Systems), la cual integrada a la funcionalidad del OXC y bajo el control de GMPLS dota a estos dispositivos una mayor escalabilidad y velocidad de conmutación.
- El desarrollo de los sistemas de transmisión DWDM, trae consigo una verdadera revolución en el campo de la fibra óptica ya que continuamente se está buscando mejorar el desempeño de la fibra librándola de los efectos no lineales que afectan a los sistemas de transmisión ópticos con altas velocidades y con densas multiplexaciones de longitudes de onda.
- El uso de tecnologías como DWDM implica que ahora podemos tener un número muy grande de enlaces paralelos entre dos nodos adyacentes (cientos de longitudes de onda, o aún miles de longitudes de onda si se usan múltiples

fibras). Así originalmente no se consideró un número muy grande de enlaces para un plano de control MPLS. Entonces como se vio en el capítulo 2 se requieren algunas adaptaciones de este plano de control si queremos rehusarlo mejor en el contexto GMPLS.

- GMPLS consiste en una serie de extensiones de protocolo que proporcionan un control común sobre los servicios de paquetes, TDM y longitudes de onda. Estas extensiones afectan a los protocolos de señalización y de enrutamiento MPLS para actividades tales como distribución de etiquetas, ingeniería de tráfico o protección y restauración, permitiendo un rápido aprovisionamiento y gestión de los servicios de red.
- GMPLS es parte integral de las redes ópticas y de datos de próxima generación. Provee el nexo adecuado entre las capas IP y óptica, proveyendo de una evolución consecuente de la red en ambos entornos. Las funcionalidades derivadas de GMPLS permiten a los operadores escalar sus redes bastante más allá de las limitaciones actuales, derivadas implícitamente de la segregación de la red de transporte respecto a los datos que se mueven sobre esta. Las capacidades de señalización de GMPLS permitirán a los proveedores de servicio construir rápidamente infraestructuras que soporten la creación de conexiones y provisiones rápidas. Además, la flexibilidad de las capacidades de protección y restauración de GMPLS permitirán mejorar la disponibilidad de la red, además de posibilitar la inclusión de nuevos tipos de servicios.
- Las redes ópticas en la actualidad presentan un gran número de capas. Cada una de estas capas está preparada para manejar un determinado tipo de tráfico y proporcionar unos servicios específicos. Con el tiempo han surgido incluso equipos independientes que están especializados en una capa y en un tipo de tráfico como por ejemplo: ruteadores IP, conmutadores ATM y dispositivos SONET/SDH. Si bien este planteamiento permite simplificar el diseño de los dispositivos, conduce a redes complejas y difíciles de gestionar. Por esta razón, hay la necesidad de crear redes convergentes, es decir una

red formada por elementos de red capaces de conmutar en distintas capas de tecnología como SDH, Ethernet, ATM, etc. Y esto se lo puede lograr con GMPLS que es un plano de control multicapa, es decir, un plano que controla más de una capa de tecnología.

- La funcionalidad proporcionada por el GMPLS, su asociada noción generalizada de una jerarquía de LSPs y la agrupación crea suficiente flexibilidad para el soporte de la segregación o la unificación de casi cualquier paradigma operacional deseado por un operador. Con la racionalización del soporte de la multiplexación y la conmutación en una forma jerárquica y combinando la inteligencia flexible de la ingeniería de tráfico de MPLS, el valor de negocio de la conmutación óptica de GMPLS será esencial en cualquier solución que lleve a gestionar el tráfico de una forma eficiente en cuanto a costo para los proveedores de servicios.
- La Conmutación por Etiquetas Multiprotocolo MPLS representa un conjunto de tecnologías basado en estándares, la cual combina enrutamiento capa 3 con conmutación de capa 2, para el envío de paquetes, utilizando etiquetas cortas de longitud fija. Esto pretende resolver problemas presentados en las redes actuales, tales como: velocidad y retardo, escalabilidad, manejo de la calidad de servicio QoS, e ingeniería de tráfico. Y la Conmutación por Etiquetas Multiprotocolo Generalizada GMPLS, extiende el concepto MPLS hacia el mundo óptico, a través de conmutación de intervalos de tiempo TDM, hacia longitudes de onda ópticas (λ), y hacia conmutaciones espaciales entre fibras entrantes y salientes.
- Algo importante que se debe destacar en GMPLS es la separación del canal de control y de datos. En MPLS no generalizado, la distribución de etiquetas para un determinado enlace de datos está señalizado "en banda" mediante el envío de mensajes de control sobre el enlace que puede transportar los datos. En GMPLS un sistema de comunicaciones IP "fuera de la banda" se puede usar para transportar y distribuir el tráfico de control (señalización y enrutamiento) entre planos de control de los OXCs, quizás a través de canales

de supervisión dedicados (p.e., usando longitudes de onda o canales dedicados, o una red independiente IP “fuera de la banda”).

- El diseño de la red óptica GMPLS/DWDM para la ciudad de Quito representa una opción muy importante para aquellos carriers que necesitan escalabilidad, mayores anchos de banda, convergencia en las tecnologías de transporte y aprovisionamiento de los distintos servicios y aplicaciones presentes y futuras. Algunos carriers de la ciudad tienen sus redes ópticas cada uno con distintas tecnologías: SDH, Gigabit Ethernet, Frame Relay, MPLS, etc. Pero debido a la creciente demanda de ancho de banda en un no muy largo plazo la fibra óptica y los equipos ya no podrán manejar toda esa cantidad de tráfico. Se tendrá que ir añadiendo equipos, tender nuevos tramos de fibra, etc. Todo esto es un gasto económico. GMPLS/DWDM se consolida como una solución a este tipo de problema.
- En el diseño de redes DWDM es muy importante el cuidado que se ponga al seleccionar el tipo de fibra a utilizar. Si usamos las tradicionales fibras monomodo se corre el riesgo de tener retardos, pérdida de paquetes, inconsistencia en la detección de los pulsos de luz en los receptores, jitters muy elevados, etc. Por esta razón un diseño de óptico debe regirse en las normas y recomendaciones que en este campo nos las da la UIT-T.
- Los requerimientos del diseño constituyen una de las partes principales de este, porque representa el punto de partida, el camino y la llegada del proyecto. En esta parte se consideran las especificaciones que el operador necesite para la demanda actual y futura de la red propiamente dicha y de los servicios y necesidades del cliente.
- El estudio topológico del área por donde va extenderse la red de fibra y complementado con la demanda que se puede tener por distintos sectores de dicha área es otro aspecto importante del diseño. En el caso de la presente red GMPLS/DWDM para la ciudad de Quito el tendido de la fibra se lo realiza por las principales avenidas de la ciudad y la ubicación de los nodos de red en

lugares estratégicos de la misma, todo esto para que pueda ser proyectada una extensa cobertura de la ciudad y una gran variedad de clientes.

- La forma de tendido del cable de fibra óptica vía aérea es una de las opciones más recomendadas para la ciudad de Quito por diferentes razones, entre ellas, es mucho más sencilla frente a otras formas de tendido del cable, es menos costosa, es de fácil acceso para su revisión y corrección y por otra parte la ciudad cuenta con grandes avenidas que recorren gran parte de su territorio, entonces el tendido del cable puede tener menos curvaturas.
- La elección principal de la marca Alcatel para la implementación de la red GMPLS/DWDM es que Alcatel es una de las empresas que más a dedicado sus esfuerzos para crear equipos que soporten GMPLS. Así el equipo Alcatel 1678 MCC representa uno de los productos más destacados con variantes que abarcan el espectro de capacidad y necesidades de servicio. Desde finales de los noventa, Alcatel ha estado dirigiendo la estandarización de las ASONs (redes ópticas con conmutación automática) en la UIT-T y del GMPLS en el IETF, ampliando los principios del plano de control del IP/MPLS a las redes de transporte con una o más de las siguientes capacidades de conmutación: de paquete, de intervalo de tiempo, de longitud de onda, de banda de frecuencia, de fibra.
- La fibra óptica en la actualidad juega un papel importante dentro de la rama de las telecomunicaciones debido que en ocasiones es más barata que un sistema satelital e incluso que un sistema inalámbrico para determinado tipo de información que se desea comunicar. Es por ello la fibra óptica va a la vanguardia junto con la telefonía celular en el mundo de las telecomunicaciones, ya que se podrá tener todo tipo de comunicación desde cualquier parte de donde nos encontremos. Los beneficiados somos nosotros y las respectivas empresas que explotan este servicio, que día a día va agarrando mayor fuerza en nuestras actividades cotidianas.

4.2 RECOMENDACIONES

- En el diseño y posteriormente en la implementación de la red de fibra óptica es imperativo que se utilice las fibras NZDSF de acuerdo a las recomendaciones de la UIT-T en la norma G.655. Afortunadamente las fibras ópticas son más sencillas de utilizar siempre y cuando se escoja la mejor fibra. Con esto se logra también reducir en gran escala los efectos no lineales y de dispersión que afectan a los sistemas DWDM. En consecuencia no se tendrá problemas de retardos, jitter elevados y pérdida de paquetes logrando de esta manera cumplir los requerimientos del SLA con el cliente.
- Los nodos son la parte más importante del backbone, por esta razón los equipos de conmutación que se utilizarán representa un factor primordial en el diseño. Más tarde, en los procesos de implementación es recomendable aprovisionados de acuerdo a los requerimientos de la norma EIA/TIA 569.
- Ya en el proceso de implementación de la red de fibra es importante una adecuada nomenclatura. Se recomienda usar los diferentes colores que identifican a cada filamento del cable de fibra, señalizando por ejemplo, aquellos filamentos destinados al anillo, las protecciones, a las redes de acceso, a un grupo de clientes, etc.
- Como en el diseño del proyecto consta un tendido del cable vía aérea utilizando los postes de la red eléctrica se recomienda que pasando dos postes (150 m aproximadamente) se coloque una reserva de fibra de no menos 5 metros, estas reservas van suspendidas y enrolladas en los postes. Esto con el fin de facilitar la revisión en caso de fallas, mantenimientos o corte de fibra.
- Durante los tendidos del cable de fibra es recomendable utilizar un OTDR que es un reflectómetro óptico en el dominio del tiempo. Es un instrumento de medición que envía pulsos de luz, a la longitud de onda deseada para luego medir sus ecos, o el tiempo que tarda en recibir una reflexión producida a lo

largo de la fibra óptica. Además, mide atenuaciones de los diferentes tramos, atenuación de empalmes y conectores. También se utiliza para medir la distancia a la que se produjo un corte, o la distancia total de un enlace.

BIBLIOGRAFÍA

LIBROS

ALWAYN, Vivek, Optical Network Design and Implementation, 1era. Edición, Cisco Press, Indianápolis-USA, 2004.

POWERS, John, An Introduction to Fiber Optic Systems, 2da. Edición, McGraw-Hill, 2001.

GUMASTE, Ashwin; ANTHONY, Tony, DWDM Network Designs and Engineering Solutions, 1era. Edición, Cisco Press, Indianápolis-USA, 2002.

BERNSTEIN, Greg; RAJAGOPALAN, Bala; SAHA, Debanjan, Optical Network Control: Architecture, Protocols, and Standards, 1era. Edición, Addison Wesley, EE UU, Julio 2003.

MINOLI, Daniel; JOHNSON, Peter; MINOLI, Emma, SONET – Based Metro Area Networks: Planning and Designing the Next-Generation Provider Network, 1era Edición, McGraw-Hill, EE. UU. 2000.

MARTEY, Abe; STURGESS, Scott, IS-IS Network Design Solutions, 1era. Edición, Cisco Press, EE. UU. 2002.

HALABI, Sam, Metro Ethernet, 1era. Edición, Cisco Press, Indianápolis-USA, 2003.

SIVALINGAM, Krishna; SUBRAMANIAM, Suresh, Emerging Optical Network Technologies: Architectures, Protocols and Performance, 1era. Edición, Springer, EE. UU. 2005.

STALLINGS, William, Comunicaciones y redes de computadores, 6ta. Edición, Prentice Hall, 2000.

FOLLETOS

FUERTES, Walter, Folleto: Diseño de redes de fibra óptica, CEC, 2004.

HIDALGO, Pablo. Folleto de Telemática, Abril del 2004.

PAGINAS DE INTERNET

MANNIE, Eric. "Generalized Multi-Protocol Label Switching (GMPLS) Architecture". IETF RFC 3945, Octubre 2004. www.ietf.org.

- BERGER, L. "Generalized Multi-Protocol Label Switching Functional Description". IETF RFC 3471, Enero 2003. www.ietf.org
- KOMPELLA, K, Rekhter, Y, "Routing Extensions in Support of Generalized Multi-Protocol Label Switching", IETF Internet Draft, 2004. www.ietf.org.
- KOMPELLA, K, REKHTER, Y, "OSPF Extensions in Support of Generalized Multi-Protocol Label Switching", IETF Internet Draft, 2004. www.ietf.org.
- KOMPELLA, K, REKHTER, Y, "IS-IS Extensions in Support of Generalized Multi-Protocol Label Switching", IETF Internet Draft, 2004. www.ietf.org.
- KATZ, D; KOMPELLA, K. "Traffic Engineering (TE) Extensions to OSPF Part 2". IETF RFC 3630, Septiembre, 2003. www.ietf.org
- RAMOS, Francisco, "Tutoriales y artículos de fibra óptica". www.radioptica.com/Fibra/material_fib.asp
- RODRIGUEZ, Yurisay, "Fibra óptica". www.monografias.com/trabajos13/fibropt/fibropt.shtml
- MONTAÑANA, Rogelio, "Redes Ópticas". www.uv.es/~montanan/mondragon/mgn2002-RO.ppt
- ACTERNA, "Dense Wavelength Division Multiplexing Pocket Guide". www.acterna.com
- BTWSA, "WDM. Multiplexación por división de onda". www.btwsa.com.ar/siteDocs/_wdm.asp
- FUJITSU, "Prerequisite Training, Tutorial DWDM". www.fujitsu.com/downloads/TEL/fnc/pdfservices/dwdm-prerequisite.pdf
- CISCO SYSTEMS, "Introduction to DWDM Technology". www.cisco.com/univercd/cc/td/doc/product/mels/cm1500/dwdm/dwdm_ovr.pdf
- SERRANO, M, "Fibras ópticas y redes de comunicación". <http://nmg.upc.es/~mserrano/pdf%20files/%5BNSCD%5DFOYRedesdeComunicacion.pdf>
- FUENMAYOR, Carlos, "Conmutación de etiquetas multiprotocolo generalizada en redes ópticas". www.ahciet.net/comun/portales/1000/10002/10007/10378/docs/08.pdf

La Tabla A.1 muestra la rejilla UIT-T G.694.1 para sistemas DWDM con 50 GHz y 100 GHz de separación entre longitudes de onda. Nótese que el valor de “c” (velocidad de la luz) que debería utilizarse para la conversión entre frecuencia y longitud de onda es de 2.99792458×10^8 m/s.

Banda L		Banda L		Banda C		Banda C		Banda S		Banda S	
100-GHz		50-GHz		100-GHz		50-GHz		100-GHz		50-GHz	
THz	nm	THz	nm	THz	nm	THz	nm	THz	nm	THz	nm
186.00	1611.79	186.05	1611.35	191.00	1569.59	191.05	1569.18	196.00	1529.55	196.05	1529.16
186.10	1610.92	186.15	1610.49	191.10	1568.77	191.15	1568.36	196.10	1528.77	196.15	1528.38
186.20	1610.06	186.25	1609.62	191.20	1567.95	191.25	1567.54	196.20	1527.99	196.25	1527.60
186.30	1609.19	186.35	1608.76	191.30	1567.13	191.35	1566.72	196.30	1527.22	196.35	1526.83
186.40	1608.33	186.45	1607.90	191.40	1566.31	191.45	1565.90	196.40	1526.44	196.45	1526.05
186.50	1607.47	186.55	1607.04	191.50	1565.50	191.55	1565.09	196.50	1525.66	196.55	1525.27
186.60	1606.60	186.65	1606.17	191.60	1564.68	191.65	1564.27	196.60	1524.89	196.65	1524.50
186.70	1605.74	186.75	1605.31	191.70	1563.86	191.75	1563.45	196.70	1524.11	196.75	1523.72
186.80	1604.88	186.85	1604.46	191.80	1563.05	191.85	1562.64	196.80	1523.34	196.85	1522.95
	1604.03	186.95	1603.60	191.90	1562.23	191.95	1561.83	196.90	1522.56	196.95	1522.18
	1603.17	187.05	1602.74	192.00	1561.42	192.05	1561.01	197.00	1521.79	197.05	1521.40
	1602.31	187.15	1601.88	192.10	1560.61	192.15	1560.20	197.10	1521.02	197.15	1520.63
	1601.46	187.25	1601.03	192.20	1559.79	192.25	1559.39	197.20	1520.25	197.25	1519.86
	1600.60	187.35	1600.17	192.30	1558.98	192.35	1558.58	197.30	1519.48	197.35	1519.09
	1600.75	187.45	1599.32	192.40	1558.17	192.45	1557.77	197.40	1518.71	197.45	1518.32
	1600.89	187.55	1598.47	192.50	1557.36	192.55	1556.96	197.50	1517.94	197.55	1517.55
	1601.04	187.65	1597.62	192.60	1556.55	192.65	1556.15	197.60	1517.17	197.65	1516.78
	1601.19	187.75	1596.76	192.70	1555.75	192.75	1555.34	197.70	1516.40	197.75	1516.02
	1601.34	187.85	1595.91	192.80	1554.94	192.85	1554.54	197.80	1515.63	197.85	1515.25
	1601.49	187.95	1595.06	192.90	1554.13	192.95	1553.73	197.90	1514.87	197.95	1514.49
	1601.64	188.05	1594.22	193.00	1553.33	193.05	1552.93	198.00	1514.10	198.05	1513.72
	1601.79	188.15	1593.37	193.10	1552.52	193.15	1552.12	198.10	1513.34	198.15	1512.96
	1601.94	188.25	1592.52	193.20	1551.72	193.25	1551.32	198.20	1512.58	198.25	1512.19

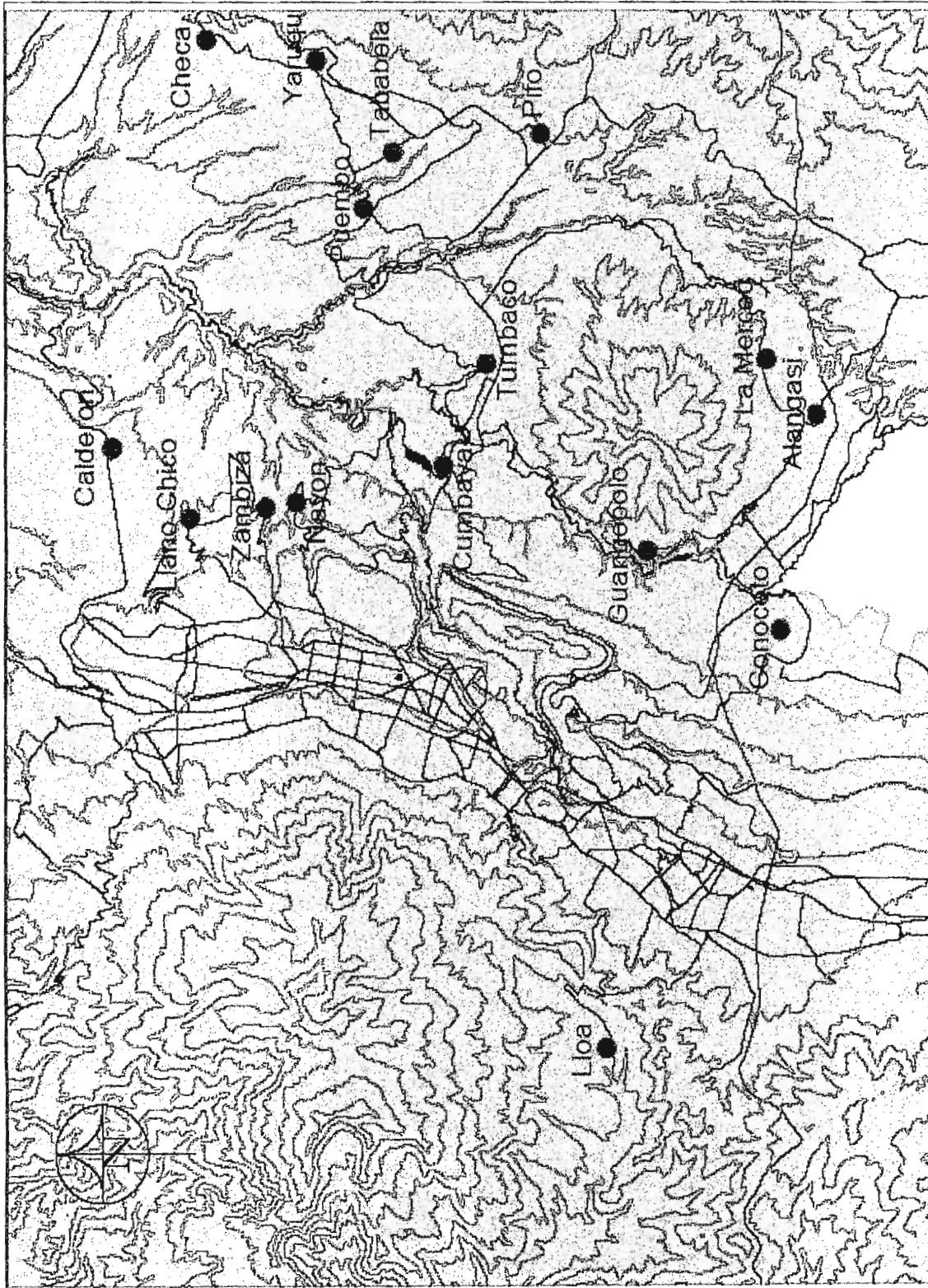
Tabla A.1 Rejilla UIT-T G.694.1

Banda L		Banda L		Banda C		Banda C		Banda S		Banda S	
100-GHz		50-GHz		100-GHz		50-GHz		100-GHz		50-GHz	
THz	nm	THz	nm	THz	nm	THz	nm	THz	nm	THz	nm
188.30	1592.10	188.35	1591.68	193.30	1550.92	193.35	1550.52	198.30	1511.81	198.35	1511.43
188.40	1591.26	188.45	1590.83	193.40	1550.12	193.45	1549.72	198.40	1511.05	198.45	1510.67
188.50	1590.41	188.55	1589.99	193.50	1549.32	193.55	1548.91	198.50	1510.29	198.55	1509.91
188.60	1589.57	188.65	1589.15	193.60	1548.51	193.65	1548.11	198.60	1509.53	198.65	1509.15
188.70	1588.73	188.75	1588.30	193.70	1547.72	193.75	1547.32	198.70	1508.77	198.75	1508.39
188.80	1587.88	188.85	1587.46	193.80	1546.92	193.85	1546.52	198.80	1508.01	198.85	1507.63
188.90	1587.04	188.95	1586.62	193.90	1546.12	193.95	1545.72	198.90	1507.25	198.95	1506.87
189.00	1586.20	189.05	1585.78	194.00	1545.32	194.05	1544.92	199.00	1506.49	199.05	1506.12
189.10	1585.36	189.15	1584.95	194.10	1544.53	194.15	1544.13	199.10	1505.74	199.15	1505.36
189.20	1584.53	189.25	1584.11	194.20	1543.73	194.25	1543.33	199.20	1504.98	199.25	1504.60
189.30	1583.69	189.35	1583.27	194.30	1542.94	194.35	1542.54	199.30	1504.23	199.35	1503.85
189.40	1582.85	189.45	1582.44	194.40	1542.14	194.45	1541.75	199.40	1503.47	199.45	1503.10
189.50	1582.02	189.55	1581.60	194.50	1541.35	194.55	1540.95	199.50	1502.72	199.55	1502.34
189.60	1581.18	189.65	1580.77	194.60	1540.56	194.65	1540.16	199.60	1501.97	199.65	1501.59
189.70	1580.35	189.75	1579.93	194.70	1539.77	194.75	1539.37	199.70	1501.21	199.75	1500.84
189.80	1579.52	189.85	1579.10	194.80	1538.98	194.85	1538.58	199.80	1500.46	199.85	1500.09
189.90	1578.69	189.95	1578.27	194.90	1538.19	194.95	1537.79	199.90	1499.71	199.95	1499.34
190.00	1577.86	190.05	1577.44	195.00	1537.40	195.05	1537.00	200.00	1498.96	200.05	1498.59
190.10	1577.03	190.15	1576.61	195.10	1536.61	195.15	1536.22	200.10	1498.21	200.15	1497.84
190.20	1576.20	190.25	1575.78	195.20	1535.82	195.25	1535.43	200.20	1497.46	200.25	1497.09
190.30	1575.37	190.35	1574.95	195.30	1535.04	195.35	1534.64	200.30	1496.72	200.35	1496.34
190.40	1574.54	190.45	1574.13	195.40	1534.25	195.45	1533.86	200.40	1495.97	200.45	1495.60
190.50	1573.71	190.55	1573.30	195.50	1533.47	195.55	1533.07	200.50	1495.22	200.55	1494.85
190.60	1572.89	190.65	1572.48	195.60	1532.68	195.65	1532.29	200.60	1494.48	200.65	1494.11
190.70	1572.06	190.75	1571.65	195.70	1531.90	195.75	1531.51	200.70	1493.73	200.75	1493.36
190.80	1571.24	190.85	1570.83	195.80	1531.12	195.85	1530.72	200.80	1492.99	200.85	1492.62
190.90	1570.42	190.95	1570.01	195.90	1530.33	195.95	1529.94	200.90	1492.25	200.95	1491.88

Tabla A.1 Rejilla UIT-T G.694.1 (Continuación)

ANEXO 2

MAPAS TOPOLÓGICOS



Anexo 2

**Mapa
topológico de la
ciudad de Quito**

VIAS

CURVAS DE
NIVEL

RIOS

●
CABECERA
PARROQUIAL

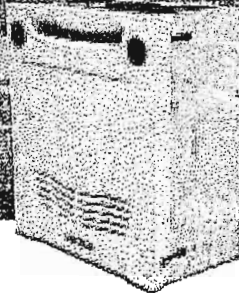
Fuente:
www4.quito.gov.ec

ANEXO 3

CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DEL EQUIPO ALCATEL 1678 MCC



Alcatel 1678 MCC Metro Core Connect



In today's market, the need to upgrade equipment and reduce cost is driving a revolution in the central office. Alcatel is addressing market requirements to collapse functionality into fewer products for reduced cost and complexity with the Alcatel 1678 Metro Core Connect (MCC). This new-generation optical platform combines broadband, wideband, optical transport network (OTN), multiprotocol label switching (MPLS), and packet-based switching functionality into a single network element. As a result, service providers can reduce CAPEX as much as 40 percent by decreasing the number of network elements required in the central office (or main exchange), while boosting network efficiency and enabling new data services.

Unbeatable Density

The Alcatel 1678 MCC aggregates and consolidates multiprotocol traffic streams from the metro network toward the core. The system's high switching capacity and high-density interfaces help to lower CAPEX and OPEX dramatically. The 1678 MCC is the most compact system on the market — providing 640 Gb/s capacity in one-third of a 300 x 600 mm (11.8 x 23.6 in.) rack. Up to six systems can be accommodated in a standard 600 x 600 mm (23.6 x 23.6 in.) rack, resulting in a capacity of 3.8 Tb/s. The system

design is based on a 16-slot architecture, each slot delivering 40 Gb/s bandwidth capacity. If additional interfaces are required, extension shelves can be used.

Unparalleled Scalability

The modular design and advanced technology used in the Alcatel 1678 MCC ensure unparalleled scalability. By providing capacity only when and where service providers need it, investment risk is reduced. Service providers can optimize their switch fabric to better match their service portfolio.

The system has a high-order (HO) matrix switching capacity ranging from 160/320 Gb/s (1 k/2 k STM-1/ STS-3) to 640 Gb/s (4 k STM-1/STS-3 equivalents) today, scalable up to 5.12 Tb/s in the future. The 20/40 Gb/s low-order (LO) matrices are optional add-on cards further expandable to 160 Gb/s (1 k STM-1/STS-3 equivalents).

A full range of LO and HO interfaces (1.5 Mb/s up to 40 Gb/s) and data interfaces (Ethernet/Fast Ethernet [FE], Gigabit Ethernet [GigE], 10 GigE) are provided. The 1678 MCC is complemented with a 20 Gb/s Layer 2 card for Ethernet/MPLS aggregation, which can be stacked up to 80 Gb/s.

Alcatel's OMSN product family provides world-class, next-generation SDH functionality and capacity through the aggregation of broadband multiprotocol traffic.

Alcatel 1678 MCC

Optimized Infrastructure

With the Alcatel 1678 MCC, service providers' networks are future-proofed, as the node supports migration toward OTN architectures for efficient lambda switching. The design of the 1678 MCC is based on a generalized multiprotocol label switching/automatic switched optical network (GMPLS/ASON) control plane for dynamic service provisioning and distributed restoration. This functionality optimizes the network infrastructure, allowing MPLS backbone consolidation. This new-generation platform supports a range of functions, such as cost-effective MPLS and packet-based switching, as well as wideband and broadband aggregation capabilities. This product can also function as an SDH/SONET gateway for wholesale services when SDH/SONET boundaries are crossed.

Leveraging Existing Assets

As an ideal transport solution for metro and core networks, the Alcatel 1678 MCC simplifies and optimizes the operation of existing and future networks. It is fully backward compatible and can be integrated into any existing network, enabling immediate cost savings.

Because of the family concept of the Alcatel optical multiservice nodes and gateways, previously installed Alcatel devices (Alcatel 1662 SMC, Alcatel 1660 SM, Alcatel 1670 SM) can be migrated completely and integrated with the Alcatel 1678 MCC.

Serving Many Needs and Applications

The Alcatel 1678 MCC is a gateway between the different layers and topologies in the optical network (see Figure 1):

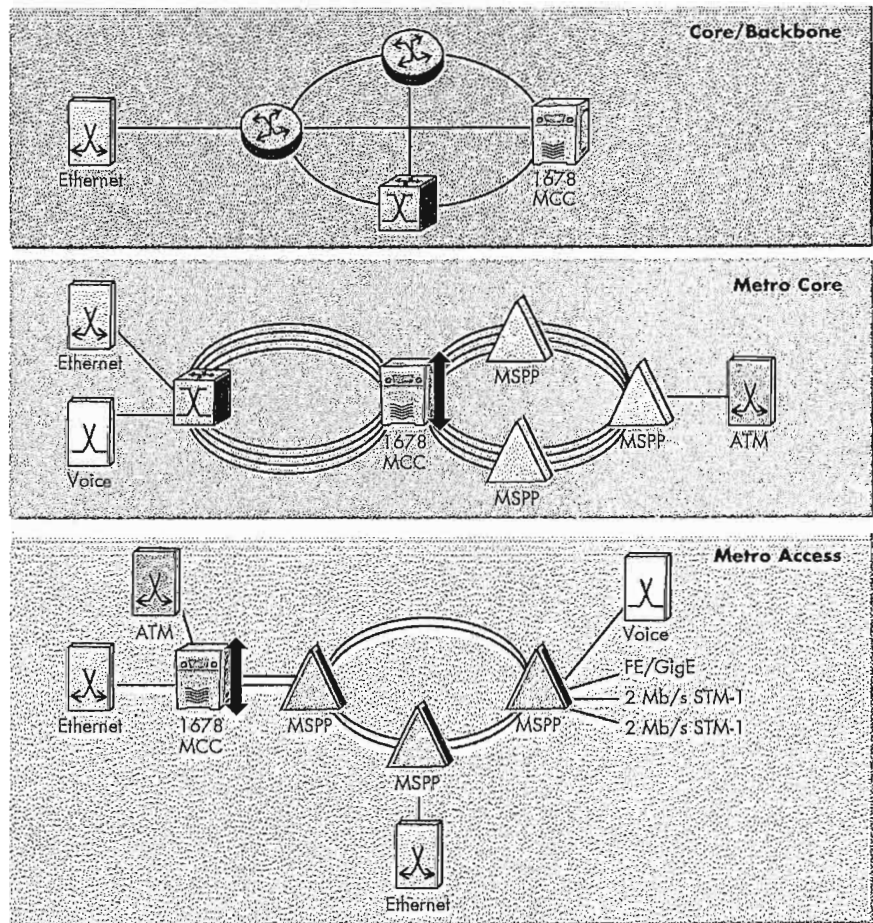
- > The core/backbone layer of the network provides meshed protection for high-capacity pipes.
- > The metro core layer is where traffic is collected and distributed between different city and regional sites.
- > The metro access layer is where the service interface to the customer

is provided and traffic aggregation takes place.

In addition to providing the functionality to collapse these layers together, the 1678 MCC supports a wide variety of network topologies as well as the interoperability among them. These topologies include hub-and-spoke, ring, and mesh networks.

The ability to support both SDH and optical transport hierarchy (OTH)

Figure 1 - Connecting Metro and Core Networks



Alcatel 1678 MCC

switching technology makes possible an easy transition into a pure optical core layer. A mesh network supporting restoration optimally demonstrates the Alcatel 1678 MCC's ability to reduce CAPEX and OPEX, as it extends the mean time to repair (MTTR).

Data-awareness and Ethernet services, such as virtual private LAN service (VPLS), are supported through Layer 2 plug-ins. Wherever there is a need for traffic aggregation or segregation, cross-connection, or dynamic rerouting, the Alcatel 1678 MCC provides the optimized solution. In the metro area, for example, many end customers have low bit-rate access traffic needs for various services that must be aggregated and transmitted to their partners' or service providers' points of presence (PoPs). The Alcatel 1678 MCC fits in ideally as an advanced multiservice node that bridges the required distances and concentrates the required capacities or services on a single node.

Intelligent Optical Networking

The growth of data applications requires corresponding interfaces, such as IP, ATM, FE, GE, and 10 GE.

The Alcatel 1678 MCC supports all the types of interfaces necessary for data applications, as well as the requirements for flexible and automatic bandwidth allocation in transport services.

The optical transmission layer is evolving to become "packet friendly" and GMPLS is the key technology in the process. The traditional centralized management of transmission networks is enhanced through the introduction of the GMPLS control plane, which allows for distributed and automatic bandwidth provisioning and service restoration. By introducing the flexibility of the IP layer into optical transport, a new era of intelligent optical networking (ION) commences. End-to-end service needs will directly affect the transport layer. New services can be automatically provisioned on the spot without network operator intervention.

Technical Summary

System Specification

- > Type of fiber: single mode, according ITU-T G.652, G.653 and G.654
- > Wavelength: 1,310 nm, 1,550 nm
- > Span length: depending on the fiber type and module version
- > Applied standards:
 - ITU-T: G.662, G.663, G.691, G.703, G.707, G.774, G.783, G.784, G.813, G.826, G.828, G.829, G.841, G.957, G.958
 - G.664, G.709, G.798, G.871, G.872, G.873, G.874, G.875, G.959.1
 - G.807, G.8080, G.7712, G.7713, G.7714, G.7715
 - Telcordia: GR-253-CORE, GR-499-CORE, GR-1063 CORE, GR-1244-CORE, GR-1339-CORE, GR-1400-CORE, GR-2914-CORE, GR-2996-CORE
 - ANSI: T1.231 [2003]

KEY VALUE-ADDED FEATURES

The Alcatel 1678 MCC is a new-generation optical platform that combines true broadband and wideband cross-connect functionality with data and SDH transport features in a single system. This product offers the following key features:

- Scalable architecture with high port density for smooth network migration
- Cost-effective interfaces for fixed network service providers, mobile network service providers, and Internet service providers (ISPs)
- High availability and flexible survivability mechanisms that migrate in line with service providers' needs
- Data aware functionality — Ethernet interfaces, virtual concatenation, generic framing procedure (GFP), link capacity adjustment scheme (LCAS), and integrated Layer 2 switching capability — to adapt the transport infrastructure to new data traffic patterns optimally
- GMPLS/ASON control plane for the efficient use of available resources and distributed service provisioning and protection in a multi-vendor and multi-operator environment
- Smooth evolution to OTH, the new additional optical network layer that meets transparency and higher bandwidth granularity requirements
- ETSI (SDH) and ANSI (SONET) standards compliance — SDH/SONET signal mapping functionality guarantees full interoperability between SDH/SONET subnetworks, so the Alcatel 1678 MCC can act as a gateway between SDH and SONET
- Future evolution to support OTN and G.709 interfaces
- Efficient network management system — the Alcatel 1350 management suite — allowing for quick service setup and monitoring



> Interface types:

- STM-256/OC768/40 Gb/s,
- STM-64/OC-192/10 Gb/s,
- STM-16/OC-48/2.5 Gb/s,
- STM-4/OC-12, STM-1/OC-3c
- 10 GigE, GigE, Ethernet/FE, ATM
- 140 Mb/s, 45 Mb/s, 34 Mb/s, 2 Mb/s, 1.5 Mb/s
- Colored interfaces: STM-16/OC-48, STM-64/OC-192 (50 GHz spacing)
- Joint engineering versions are available at STM-64/OC-192, STM-16/OC-48, STM-4/OC-12 and STM-1/OC-3 to be used with optical amplifiers and with WDM equipment

Matrix

- > HO: 160/320/640 Gb/s matrix (1024/2048/4096 STM-1/STS-3 equivalent)
- > LO: 20/40 – 160 Gb/s matrix (128/256 – 1024 STM-1/STS-3 equivalent)
- > Connectivity: VT1.5, VC-12, VC-3/STS-1, VC-4/STS-3c, VC-4-4c, VC-4-16c, VC-4-64c, VC-256c, 10 Gb cross-connection, ODU1/2
- > Fully non-blocking matrix
- > Drop-and-continue
- > Broadcast
- > Line and terminal loopback
- > Data: 20/40 Gb/s Ethernet/MPLS fabric

Synchronization on SDH/SONET

- > Compliant to SDH/SONET standards G.703, G.783, ITU-T G.812 (Type III), G.813, EN300 462-5 and Stratum 3E quality according to GR-1244
- > Input clock: T1, T3, T6, BITS
- > Output clock: T4, T5, BITS
- > Clock selection, SSM processing, compliant to EN300 417-6

Operation

- > Station alarms: Urgent, non-urgent
- > NM interface: 10/100Base-T, G.773 QB3
- > Info model: Optics-IM according to ITU-T (G.774) and ETSI specifications

> Processes:

- Remote inventory, software download
- Performance monitoring
- Configuration and provisioning
- Security
- Non-volatile databases
- > Plug-and-play
- > Hot replacements for:
 - Traffic cards and ports without disturbance on other channels
 - Central units (redundant) with no disturbance of traffic
- > Distributed configurations

Protection

- > Network protection
 - Linear 1+1
 - Single- and dual-ended MSP
 - 100 percent SNCP, SNCP-I, SNCP-N, path-switched ring
 - Dual node coupling
 - 2f/4f MS-SPRing and 2f/4f BLSR
- > Equipment protection
 - Electrical 1:N, 1+1
- > GMPLS/ASON
- > Restoration

Mechanical Specifications

- > Equipment
- Rack size**
 - > Height: 2,200 mm (86.6 in.)
 - > Width: 600 mm (23.6 in.)
 - > Depth: 300 mm (11.8 in.)
 - > Shelf size: 1 to 3 shelves housed in one rack
 - > Cooling: forced
 - > Rack cabling: front/back access
 - > Electrical connectors: IEC 807 (Sub-D), IEC 169-1 (coax. 1.0/2.3)
 - > Optical connectors: SC-PC, FC-PC
 - > Back-to-back installation

Power Specification

- > Power supply:
 - -48 to -60 V DC
 - Dual return

Environmental Specifications

- > Operating conditions
 - NEBS: 0 C to 50 C (32 F to 122 F)
 - Includes ETS 300 019, class 3.1
- > Storage conditions
 - NEBS: -40 C to 70 C (-40 F to 158 F)
 - Includes ETS 300 019, Class 1.1
- > Transportation conditions
 - NEBS: -40 C to 70 C (-40 F to 158 F)
 - Includes ETS 300 019, Class 2.2
- > Laser safety
 - ITU-T G.958 and IEC 60825-2
 - Includes Z136.1
- > EMI/EMC conditions
 - ETS 300 386-2, "Telecommunication Center"
 - GR-1089-CORE, SR-3580, US FCC part15
- > CE
 - IEC 950/ EN60950
- > Earthquake
 - NEBS GR-63-CORE: Zone 4
- > Noise
 - NEBS GR-63-CORE: max. 60dB
- > Altitude: -100 m to 5,000 m (-109 to 5467 yd)
- > Humidity 5% to 95%
- > ECMA-TR/70
- > Alcatel ecological design policy*

Performance

- > 30 μ s maximum transmission delay
- > SNCP/path switch with less than 50 ms
- > Restoration in the range of classical protection
- > Fast controller switch by hot standby
- > 99.999% reliability
- > Configurable SS-bit for SDH/SONET interworking

* Further to the feature-set itself, complying to the transmission standards, the Alcatel Environmental Policy aims at implementing ecological principles during the whole life cycle of a product. This includes product design, procurement of materials and components, production, use and end-of-life procedures.

www.alcatel.com

Alcatel and the Alcatel logo are registered trademarks of Alcatel. All other trademarks are the property of their respective owners. Alcatel assumes no responsibility for the accuracy of the information presented, which is subject to change without notice. © 03 2005 Alcatel. All rights reserved. 3CL 00469 0558 TQZZA Ed.02 18958