

ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

**FACULTAD DE INGENIERÍA ELÉCTRICA Y
ELECTRÓNICA**

**ESTUDIO DE FACTIBILIDAD PARA LA POSIBLE
IMPLEMENTACIÓN DE REDES OPS (OPTICAL PACKET
SWITCHING) ANALIZANDO PARÁMETROS DE CALIDAD DE
SERVICIO (QoS)**

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

DARWIN STALIN CHÁVEZ MERINO
Darslin007@hotmail.com

SILVIA ELIZABETH HARO VACA
lizabetharo@yahoo.com

DIRECTORA: MSc. MARÍA SOLEDAD JIMÉNEZ
sjimenez@mailfie.epn.edu.ec

Quito, marzo 2008

DECLARACIÓN

Nosotros, **DARWIN STALIN CHÁVEZ MERINO Y SILVIA ELIZABETH HARO VACA**, declaramos que el trabajo aquí descrito es de nuestra autoría; que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional; y, que hemos consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

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

CHÁVEZ DARWIN

HARO SILVIA

CERTIFICACIÓN

Certifico que el presente trabajo fue desarrollado por **DARWIN STALIN CHÁVEZ MERINO** y **SILVIA ELIZABETH HARO VACA**, bajo mi supervisión.

MSc. María Soledad Jiménez
DIRECTORA DEL PROYECTO

AGRADECIMIENTOS

A Dios por la salud, la fortaleza y la perseverancia que me han acompañado en todo el transcurso de mi vida académica, y por permitirme alcanzar todos los objetivos que me he propuesto. A la MSc. Soledad Jiménez, que con su sabiduría y carisma ha sabido guiarnos objetivamente en el desarrollo del presente trabajo de titulación. A mis amados padres que con su apoyo incondicional y su amor han sabido conducirme por el camino del bien para llegar a ser lo que ahora soy, más que un profesional una persona. Gracias a Silvia por su confianza, sus consejos y su ímpetu, pues de seguro, no habría encontrado una compañera mejor para compartir esta experiencia. A Luis por toda la ayuda brindada al igual que a su familia por acogernos en su hogar. Finalmente, mis agradecimientos para todos mis amigos y a todos quienes nos ayudaron a conseguir este triunfo.

DARWIN STALIN

AGRADECIMIENTOS

A Dios por concederme la vida y ayudarme en todo momento, a mis padres por su esfuerzo y apoyo constante, a la MSc. María Soledad Jiménez por la labor realizada durante el desarrollo del presente proyecto, a todas las empresas operadoras de servicios portadores por brindarnos la información requerida, a la familia Chávez Merino por abrirme las puertas de su cálido hogar en muchas ocasiones, a Luis por cambiar sus momentos de descanso para brindarnos su valiosa ayuda y a su familia por recibirnos en su hogar, finalmente a Darwin por la persistencia y empeño mostrado en el transcurso de este ideal.

SILVIA ELIZABETH

DEDICATORIA

El presente esfuerzo lo dedico a Dios, a mis padres y a mis tías por haber sido mi sustento y mi deseo de superación. A Silvia por caminar a mi lado durante todo este tiempo y por extenderme su mano en los momentos de flaqueza. A Danny y mis primos hermanos Willy, Juanqui y Kamy porque los quiero mucho y deseo que también alcancen sus sueños.

DARWIN STALIN

DEDICATORIA

A mis queridos padres, quienes con amor infinito se han esforzado para brindarme la oportunidad de realizar mi carrera universitaria, por enseñarme siempre a perseverar, y por sus constantes oraciones, a mis hermanos y hermanas por su apoyo incondicional, a mi querida Chochi por ser más que mi prima, la amiga que ayudó a levantarme cuando caía y a Darwin por estar siempre a mi lado.

SILVIA ELIZABETH

ÍNDICE DE CONTENIDOS

	Pag.
CAPÍTULO 1: CONMUTACIÓN ÓPTICA.....	1
INTRODUCCIÓN.....	1
1.1 TECNOLOGÍA ÓPTICA.....	2
1.1.1 MULTIPLEXACIÓN POR DIVISIÓN DE LONGITUD DE ONDA.....	4
1.1.1.1 Dense Wavelength Division Multiplexing (DWDM).....	6
1.1.1.2 Coarse Wavelength Division Multiplexing (CWDM).....	7
1.1.2 REDES DE NUEVA GENERACIÓN	8
1.2 TÉCNICAS DE CONMUTACIÓN ÓPTICA.....	10
1.2.1 CONMUTACIÓN ÓPTICA DE CIRCUITOS (OCS, OPTICAL CIRCUIT SWITCHING).....	10
1.2.1.1 Topologías lógicas en redes con enrutamiento por longitud de onda WR.....	11
1.2.1.2 Arquitectura de enrutamiento por longitud de onda WRON.....	13
1.2.1.2.1 Reconfiguración Asíncrona.....	14
1.2.1.2.2 Reconfiguración Síncrona.....	14
1.2.2 CONMUTACIÓN ÓPTICA DE RÁFAGAS (OBS, OPTICAL BURST SWITCHING).....	16
1.2.2.1 Funcionamiento básico de una red OBS.....	17
1.2.2.1.1 Conformación y segmentación de ráfagas.....	20
1.2.2.1.2 Algoritmos de conformación de ráfagas.....	21
1.2.2.1.3 Establecimiento de la conexión.....	22
1.2.2.2 Conmutación interna.....	23
1.2.3 CONMUTACIÓN ÓPTICA DE PAQUETES (OPS, OPTICAL PACKET SWITCHING).....	24
1.2.3.1 Funcionamiento de OPS.....	27
1.2.3.1.1 Arquitectura de nodo un nodo OPS.....	28
1.2.3.1.2 Modos de operación.....	29

1.2.3.1.3	Formatos del paquete.....	31
1.2.3.1.4	Resolución de contenciones.....	37
1.3	COMPARACIÓN ENTRE LAS TÉCNICAS DE CONMUTACIÓN.....	39
 CAPÍTULO 2: REDES OPS EN EL ÁREA METROPOLITANA.....		42
INTRODUCCIÓN.....		42
2.1	REDES ÓPTICAS METROPOLITANAS.....	43
2.1.1	REDES DWDM.....	44
2.1.2	DWDM EN LAS REDES ÓPTICAS METROPOLITANAS.....	47
2.1.3	REDES OPS EN EL AREA METROPOLITANA.....	48
2.1.3.1	Características de las redes OPS en el área metropolitana.....	48
2.1.3.2	Arquitectura WDM MULTI-PON.....	54
2.1.3.2.1	Protocolo MAC.....	60
2.1.3.2.2	Algoritmos de planificación.....	61
2.1.3.3	Arquitectura WDM MULTI-ANILLO.....	63
2.1.3.3.1	Protocolo MAC.....	66
2.1.3.3.2	Algoritmo de planificación.....	66
2.1.3.3.3	El proyecto DAVID.....	68
2.2	ESTUDIO COMPARATIVO DE COSTO/PRESTACIONES DE LAS ARQUITECTURAS MULTI-PON Y MULTI-RING CON SDH Y ETHERNET.....	71
2.2.1	EVALUACIÓN ENTRE MULTI-PON Y MULTI-RING.....	72
2.2.2	COMPARACIÓN DE LAS TECNOLOGÍAS SDH Y ETHERNET CON MULTI-RING.....	73
2.3	QoS EN REDES OPS.....	79
2.3.1	MECANISMOS DE DIFERENCIACIÓN DE QoS EXISTENTES PARA REDES OPS.....	81
2.3.1.1	RESOLUCIÓN DE CONTENCIONES EN REDES OPS.....	83
2.3.1.2	QoS en redes OPS sincrónicas.....	84
2.3.1.3	Diferenciación de QoS en redes OPS asincrónicas bufferless.....	86
2.3.1.3.1	Esquemas de diferenciación de QoS basado en restricción de acceso: algoritmo de asignación por longitud de onda	87

2.3.1.3.2	Esquema de diferenciación de QoS basado en priorización: política de descarte por prioridad.....	89
2.3.1.3.3	Esquema de diferenciación de QoS basado en el descarte de paquetes: paquetes descartados intencionalmente.....	90
2.3.1.4	Comparación de esquemas de diferenciación de QoS.....	91

CAPÍTULO 3: ESTUDIO DE FACTIBILIDAD TÉCNICA DE LAS REDES OPS EN EL DISTRITO METROPOLITANO DE QUITO.....93

INTRODUCCIÓN.....93

3.1 REQUERIMIENTOS PARA LA INFRAESTRUCTURA DE REDES OPS.....93

3.1.1 DISPOSITIVOS REQUERIDOS POR LAS REDES OPS.....94

3.1.1.1 Mecanismos de conmutación.....94

3.1.1.1.1 Conmutador de paquetes ópticos WDM.....96

Conmutador espacial.....97

Conmutador Broadcast and Select.....99

Conmutador KEOPS.....100

Conmutador con Buffer de recirculación....102

Conmutador de enrutamiento por longitud de onda.....103

Conmutador con almacenamiento en el ingreso.....103

Conmutador de almacenamiento en la entrada con red de distribución.....105

Conmutador WASPNET.....107

3.1.1.2 Componentes ópticos avanzados.....109

3.1.1.2.1 Láser sintonizable.....109

3.1.1.2.2 Convertidores de longitud de onda sintonizables...112

3.1.1.2.3 Amplificadores Ópticos.....113

3.1.1.2.4 Regeneradores 3R completamente ópticos.....119

3.1.2 MEDIO DE TRANSMISIÓN (fibra óptica).....122

3.1.2.1 Tipos de fibra óptica.....124

3.1.2.1.1	Fibras multimodo.....	124
3.1.2.1.2	Fibras monomodo.....	126
3.1.2.2	Especificaciones técnicas de la fibra óptica en redes OPS.....	126
3.2	INTERFACES DE RED.....	128
3.3	TRANSMISIÓN DE VOZ, DATOS Y VIDEO EN OPS.....	129
3.3.1	PERFORMANCE DE TCP CON OPS.....	131
3.4	ADAPTABILIDAD DE LA SOLUCIÓN OPS PARA UN CARRIER DE DATOS EXISTENTE.....	134
3.4.1	DESCRIPCIÓN DE LA ARQUITECTURA ACTUAL DEL CARRIER DE DATOS.....	134
3.4.1.1	Dispositivos utilizados en la red.....	135
3.4.1.2	Arquitectura del carrier con OPS.....	136
3.4.1.3	¿Técnicamente es factible?.....	142
CAPÍTULO 4: ESTUDIO DE FACTIBILIDAD ECONÓMICA Y LEGAL.....		146
INTRODUCCIÓN.....		146
4.1	FACTIBILIDAD ECONÓMICA.....	146
4.1.1	ANÁLISIS DE COSTOS.....	147
4.1.2	BENEFICIOS DE LAS REDES OPS.....	150
4.1.3	ESTUDIO DE DEMANDA.....	152
4.1.3.1	Necesidades a satisfacer.....	152
4.1.3.2	Formas de satisfacer las necesidades especificadas.....	154
4.1.3.3	Perfil de demanda para OPS.....	154
4.1.3.4	Investigación de mercado.....	156
4.2	ESTUDIO LEGAL.....	168
4.2.1	ANTECEDENTES HISTÓRICOS DE LAS TELECOMUNICACIONES EN EL ECUADOR.....	168
4.2.2	SERVICIOS DE TELECOMUNICACIONES.....	169
4.2.2.1	Servicios Finales.....	170
4.2.2.2	Servicios Portadores.....	170
4.2.3	ANÁLISIS DEL ENTORNO REGULATORIO PARA OPS.....	171
4.2.3.1	Regulación De Servicios.....	172

4.2.3.2 Acciones De Control.....	178
----------------------------------	-----

CAPÍTULO 5: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....181

5.1 CONCLUSIONES.....	181
------------------------------	------------

5.2 RECOMENDACIONES.....	186
---------------------------------	------------

ACRÓNIMOS

GLOSARIO DE TÉRMINOS

ANEXOS

BIBLIOGRAFÍA

ÍNDICE DE TABLAS

Pag.

CAPÍTULO 1: CONMUTACIÓN ÓPTICA

Tabla 1. 1: Rejilla WDM de la ITU-T.....	6
--	---

Tabla 1. 2: Ventajas y desventajas de las técnicas de conmutación.....	39
--	----

Tabla 1. 3: Comparación de las técnicas de conmutación.....	40
---	----

CAPÍTULO 2: REDES OPS EN EL ÁREA METROPOLITANA

Tabla 2. 1: Tipo de nodo y suposiciones de tráfico.....	74
---	----

Tabla 2. 2: Recursos de transporte requeridos en las diferentes arquitecturas.....	76
--	----

CAPÍTULO 3: ESTUDIO DE FACTIBILIDAD TÉCNICA DE LAS REDES OPS EN EL DISTRITO METROPOLITANO DE QUITO

Tabla 3. 1: Principales tecnologías de láser.....	110
---	-----

Tabla 3. 2: Posibles soluciones de fibra óptica para 10 GBPS.....	127
---	-----

CAPÍTULO 4: ESTUDIO DE FACTIBILIDAD ECONÓMICA Y LEGAL

Tabla 4. 1: Elementos que conforman un nodo.....	147
Tabla 4. 2: Operadoras que brindan servicios portadores.....	155
Tabla 4. 3: Ponderación de las preguntas del cuestionario de encuesta.....	165
Tabla 4. 4: Porcentaje de aceptación respecto a cada pregunta del cuestionario de encuesta.....	166
Tabla 4. 5: Matriz de priorización.....	168

ÍNDICE DE FIGURAS

	Pag.
CAPÍTULO 1: CONMUTACIÓN ÓPTICA	
Figura 1.1: Arquitectura de una red de nueva generación.....	3
Figura 1. 2: Multiplexación por longitud de onda.....	5
Figura 1. 3: Tendencia de la tecnología de gestión óptica.....	9
Figura 1. 4: Conmutación óptica de circuitos.....	11
Figura 1. 5: Ejemplo de una WRON (Wavelength-Routed Optical Networks).....	12
Figura 1. 6: Topología lógica de una WRON.....	12
Figura 1. 7: Establecimiento de la topología virtual.....	13
Figura 1. 8: Estructura básica de la red.....	17
Figura 1. 9: Arquitectura de un nodo frontera.....	18
Figura 1. 10: Ensamblado de ráfagas.....	19
Figura 1. 11: Desensamblado de ráfagas.....	20
Figura 1. 12: Mecanismo de conformación de ráfagas.....	21
Figura 1. 13: Ejemplo de separación de subredes gestionadas independientemente mediante el uso de convertidores de longitud de onda.....	27
Figura 1. 14: Red OPS con topología de malla.....	28
Figura 1. 15: Esquema de un nodo OPS.....	29
Figura 1. 16: Canal de Control Fuera de Banda.....	32
Figura 1. 17: Canal de Control dentro de la Banda.....	32
Figura 1. 18: Los datos de entrada desde las capas de cliente.....	33

Figura 1. 19: (a) Datos de entrada desde las capas de cliente, (b) Formatos síncronos, paquetes de longitud fija.....	34
Figura 1. 20: (a) Datos de entrada desde las capas de cliente (b) formatos asíncronos, paquetes de longitud variable.....	35
Figura 1. 21: (a) Datos de entrada desde las capas de cliente, (b) formatos asíncronos, paquetes de longitud variable.....	35
Figura 1. 22: Ejemplo del formato de un paquete óptico definido por KEOPS.....	36

CAPÍTULO 2: REDES OPS EN EL ÁREA METROPOLITANA

Figura 2. 1: Jerarquía de la red óptica.....	43
Figura 2. 2: Transmisión de las diferentes Tecnologías antes de DWDM.....	44
Figura 2. 3: Transmisión de varios servicios usando DWDM.....	45
Figura 2. 4: Esquema de un OXC (Optical Cross-Connector).....	46
Figura 2. 5: Topologías físicas para redes MAN.....	51
Figura 2. 6: Topologías físicas compuestas para redes MAN.....	51
Figura 2. 7: Arquitecturas consideradas en redes OPS.....	54
Figura 2. 8: WDM-PON soporte de múltiples servicios.....	58
Figura 2. 9: Arquitectura Multi-PON.....	59
Figura 2. 10: Estructura de temporización de los canales de longitud de onda.....	61
Figura 2. 11: Arquitectura del nodo PMR con separación de transmisión y recepción	64
Figura 2. 12: Arquitectura de un Nodo MR con capacidad de supresión.....	65
Figura 2. 13: Funcionamiento esquemático del Hub.....	67
Figura 2. 14: Envío de multi-ranuras en el multi-anillo.....	68
Figura 2. 15: Arquitectura de la Red Metropolitana DAVID.....	70
Figura 2. 16: Interconexión del Hub con varios anillos ópticos.....	70
Figura 2. 17.a : Esquema de un Hub y un nodo Ethernet.....	75
Figura 2. 17.b : Nodo SDH.....	76
Figura 2. 18: Costos relativos anuales, comparación entre las diferentes arquitecturas de red para los tres volúmenes de tráfico.....	78

Figura 2. 19: El modo de operación para: a) WA (Algoritmo de Asignación por Longitud de onda); b) PDP (Política de Descarte por Prioridad); c) IPD (Paquetes Descartados Intencionalmente).....	88
Figura 2. 20: El PLR como función del número de longitudes de onda reservadas para el tráfico de clase 0 (n) para el esquema WA (Algoritmo de Asignación por Longitud de onda).....	89
Figura 2. 21: El PLR como una función de la probabilidad de descarte (d) para el esquema IPD (Paquetes Descartados Intencionalmente).....	90

CAPÍTULO 3: ESTUDIO DE FACTIBILIDAD TÉCNICA DE LAS REDES OPS EN EL DISTRITO METROPOLITANO DE QUITO

Figura 3. 1: Arquitectura de un conmutador espacial.....	98
Figura 3. 2: Conmutador KEOPS con arquitectura de conmutación broadcast and select.....	101
Figura 3. 3: Conmutador con estructura broadcast and select y buffer de recirculación.....	102
Figura 3. 4: Conmutador con almacenamiento en el ingreso.....	104
Figura 3. 5: Conmutador de almacenamiento en la entrada con una red de distribución..	106
Figura 3. 6: Conmutador WASPNET.....	108
Figura 3. 7: Un amplificador óptico de semiconductor.....	116
Figura 3. 8: Amplificador de fibra dopada con erbio.....	117
Figura 3.9: Conversor/repetidor óptico con funciones 3R.....	120
Figura 3. 10: Etapas de la regeneración 3R.....	121
Figura 3. 11: Diagrama de bloques de un regenerador 3R completamente óptico.....	122
Figura 3. 12: Tipos de fibra óptica.....	124
Figura 3. 13: Propagación de varios modos de luz en una fibra multimodo.....	124
Figura 3. 14: Propagación de un modo de luz en línea recta.....	126
Figura 3. 15: Interfaz de cliente de las redes OPS.....	128
Figura 3. 16: Topología de red para el análisis de TCP.....	130
Figura 3. 17: Arquitectura de la red de conmutación óptica de paquetes con un buffer eléctrico de ingreso y tráfico de agregación.....	132
Figura 3. 18: Área de cobertura del carrier.....	137

Figura 3. 19: Red SIEMENS.....	138
Figura 3. 20: Esquema de la red portadora con OPS.....	140
Figura 3. 21: Tendencia de las tecnologías de conmutación óptica.....	143

CAPÍTULO 4: ESTUDIO DE FACTIBILIDAD ECONÓMICA Y LEGAL

Figura 4. 1: Pirámide de MASLOW.....	153
Figura 4. 2: Tecnologías utilizadas por las empresas portadoras.....	159
Figura 4. 3: Respuestas en porcentaje a la pregunta 4.....	160
Figura 4. 4: Respuestas en porcentaje a la pregunta 5.....	160
Figura 4. 5: Respuestas en porcentaje a la pregunta 6.....	161
Figura 4. 6: Respuestas en porcentaje a la pregunta 7.....	162
Figura 4. 7: Respuestas en porcentaje a la pregunta 8.....	163
Figura 4. 8: Respuestas en porcentaje a la pregunta 9.....	164
Figura 4. 9: Evolución de los organismos de regulación.....	170
Figura 4. 10: Esquema de operación de servicios portadores.....	181

RESUMEN

La tecnología OPS (*Optical Packet Switching*) constituye la mejor alternativa para soportar la gran demanda de ancho de banda que requerirá el amplio número de usuarios en las redes de transporte de datos, para la transmisión de voz, datos y video, así como aplicaciones multimedia en tiempo real. En este contexto las redes OPS basan su funcionamiento principalmente en: la multiplexación estadística que permite aprovechar más eficientemente el dominio óptico y, la utilización de una infraestructura completamente óptica, eliminando así las etapas de conversión Óptica-Eléctrica-Óptica en los nodos frontera, que son las principales causas del aglutinamiento de paquetes en el proceso de conmutación.

En el capítulo uno se analizan las tres tecnologías de conmutación ópticas: OCS (*Optical Circuit Switching*), OBS (*Optical Burst Switching*) y OPS (*Optical Packet Switching*) dando a conocer sus principales características y funcionalidades, para demostrar la razón de escoger OPS en el área metropolitana.

Las arquitecturas, multi-PON y multi-anillos para redes OPS se evalúan en el capítulo dos. También se realiza un estudio de costo/prestaciones comparando las dos arquitecturas mencionadas con SDH y ETHERNET. Además se presenta los mecanismos de diferenciación de QoS existentes para esta tecnología tales como: PDP (*Preemptive Drop Policy*), WA (*Wavelength Allocation Algorithm*) e IPD (*Intentional Packet Dropping*).

En el capítulo tres se estudia los requerimientos para la infraestructura de OPS, considerando los equipos que se utilizarán, así como los medios de transmisión de banda ancha. Se analiza la transmisión de voz, datos y video sobre estas redes, considerando principalmente el *performance* de tráfico TCP, luego se evalúa la adaptabilidad de la solución OPS para un *carrier* de datos existente, para determinar la factibilidad técnica.

La factibilidad legal y económica son aspectos que se analizan en el capítulo cuatro, para determinar si es posible o no la implementación de este tipo de redes. Finalmente se determina la aceptación que tendrían estas redes a partir de un estudio de demanda en las principales entidades operadoras de la ciudad de Quito

PRESENTACIÓN

En los últimos años el tráfico de Internet ha sufrido un crecimiento exponencial, motivado por numerosos avances tecnológicos. El aumento del número de usuarios, el desarrollo de tecnologías de acceso de banda ancha y el incremento de nuevos servicios y aplicaciones multimedia, con requisitos de entrega en tiempo real, están dejando obsoletas las redes existentes, que deberán aumentar el ancho de banda para hacer frente a las exigencias actuales y futuras.

El desafío de la futura generación de redes de telecomunicaciones apunta a pasar de la simple transmisión de señales ópticas de gran capacidad, a efectivamente conmutar y gestionar esta cantidad de datos en el dominio óptico.

Lo que se desea conseguir es reducir y simplificar las estructuras de capas de los servicios actuales mediante la introducción de un plano de control inteligente sobre la capa de transporte. Este plano de control, combinado con la nueva generación de conexiones cruzadas ópticas, transformará a las redes de transporte estáticas de hoy en día, en redes ópticas dinámicas, conmutadas en tiempo real, haciéndolas por ende, más robustas, escalables y efectivas en costo.

Se hace necesario el desarrollo de nuevas tecnologías de transmisión y conmutación de alta velocidad, y en su búsqueda se parte de la base de utilizar sistemas de comunicaciones ópticas. Los nuevos estudios para diseños de redes futuras completamente ópticas (AON, *All Optical Networks*), se orientan y buscan la supresión de los conversores O-E-O para obtener redes que trabajen únicamente en el dominio óptico, lo que supone permitirá operar con altas tasas de transmisión (del orden de terabits por segundo). Las redes AONs se dividen de acuerdo a la técnica de conmutación utilizada en: (1) *Optical Circuit Switching* (OCS), (2) *Optical Packet Switching* (OPS) y (3) *Optical Burst Switching* (OBS).

Con el objetivo de optimizar los recursos disponibles de manera automática, la implementación de la técnica de conmutación de paquetes ópticos (OPS) en las redes de transporte, pretende ser una solución válida que aproveche la multiplexación estadística directamente en el dominio óptico, para proporcionar mayor fiabilidad, alta velocidad y bajas interferencias electromagnéticas, convirtiéndose en la mejor alternativa para las redes de área metropolitana (MAN).

CAPÍTULO 1

CONMUTACIÓN ÓPTICA



CAPITULO: 1 CONMUTACIÓN ÓPTICA

INTRODUCCIÓN

La fibra óptica ha reemplazado rápidamente a los cables de cobre en los enlaces de transmisión de las redes de telecomunicaciones actuales, mejorando la confiabilidad en transmisión de datos y la relación señal a ruido; sin embargo, esto no las convierte en redes ópticas. Una red óptica es una red de telecomunicaciones con una arquitectura que permite operar de mejor manera las características ópticas de las fibras. Una red en cuya arquitectura se utilizan dispositivos ópticos y electrónicos no es una red puramente óptica, requiriéndose por tanto el proceso de conversión opto-electrónico, el mismo que impide manejar eficientemente el ancho de banda de la fibra óptica.

En las redes actuales basadas en la tecnología de multiplexación por división de longitud de onda (WDM, *Wavelength Division Multiplexing*), la señal se convierte al dominio electrónico para procesar la información, luego de lo cual se transforma nuevamente al dominio óptico para ingresar a la fibra de salida; por lo tanto, la eficiencia de las comunicaciones se ve limitada por la velocidad de los dispositivos electrónicos del sistema, así como también por la potencia consumida y lo poco económicos que resultan los conversores O-E-O (Óptico Electrónico Óptico), además de las grandes cantidades de memoria electrónica y sofisticados algoritmos de gestión de *buffers* necesarios en estas redes.

Los nuevos estudios para diseños de redes futuras completamente ópticas (AON, *All Optical Networks*), se orientan y buscan la supresión de los conversores O-E-O para obtener redes que trabajen únicamente en el dominio óptico, lo que supone permitirá operar con altas tasas de transmisión (del orden de terabits por segundo). Las redes AONs se dividen de acuerdo a la técnica de conmutación utilizada en: (1) *Optical Circuit Switching* (OCS) o redes ópticas de conmutación de circuitos, basadas en la tecnología de enrutamiento por longitud de onda (WR,

Wavelength-Routed); (2) *Optical Packet Switching* (OPS) o redes ópticas de conmutación de paquetes; y (3) *Optical Burst Switching* (OBS) o redes ópticas de conmutación de ráfagas.

Una red óptica de conmutación de circuitos (OCS, *Optical Circuit Switching*) es orientada a conexión por lo que se establecen canales de comunicación entre la fuente y destino antes que los datos sean transmitidos, asociando una longitud de onda (λ) a dicha conexión. Debido a que no se realiza el almacenamiento y reenvío de las redes de conmutación de paquetes, los datos no sufren retardo al ser enviados de transmisor a receptor.

Otra de las técnicas de conmutación es OPS (*Optical Packet Switching*), la misma que proporcionaría un uso más flexible y eficiente del ancho de banda de la capa óptica, ya que transportaría el tráfico de usuario junto con la información de control; en caso de fallo o congestión las redes de conmutación de paquetes tienen una elevada utilización y adaptabilidad, ya que aprovecha la multiplexación estadística en la red óptica de transporte.

En medio de estas dos técnicas se sitúa OBS (*Optical Burst Switching*), donde los datos de usuario son multiplexados estadísticamente para incrementar la utilización de la red y son agrupados formando ráfagas. El plano de control y el de datos están físicamente separados, antes de la transmisión de cada ráfaga se transmite un paquete de control que tiene la función de reservar recursos necesarios para que la siguiente transmisión se lleve a cabo en el dominio óptico.

1.1 TECNOLOGÍA ÓPTICA ^[1]

La infraestructura de comunicaciones se ha simplificado debido al gran desarrollo tecnológico de los productos semiconductores que han contribuido al crecimiento de redes de telecomunicaciones. Se debe mencionar entre ellas a dos grandes redes, la primera es la red telefónica conmutada pública (PSTN), basada en el

^[1] SOMANI Arun, "SURVIVABILITY AND TRAFFIC GROOMING IN WDM OPTICAL NETWORKS".

principio de conmutación de circuitos que proporciona alta calidad de servicio, bajo retardo y ancho de banda fijo, además de servicios avanzados de voz. La segunda es Internet e Internet2 basadas en la conmutación de paquetes, que facilitan a los usuarios servicios de datos y acceso a la *World Wide Web*, debido a que tiene un retardo y ancho de banda variable no garantiza la calidad de servicio en la fase inicial.

Algunos métodos para proveer calidad de servicio se han desarrollado principalmente para servicios de voz y otros en tiempo real. La investigación dentro de la fibra óptica y sus aplicaciones ha revolucionado la industria de comunicaciones a larga distancia, empleando señales de luz para transportar datos sobre canales guiados. Las características: gran ancho de banda, muy baja atenuación y tasa de bits errados, en la transmisión sobre fibra óptica la convierten en la mejor vía de comunicación de redes de nueva generación de alta velocidad.

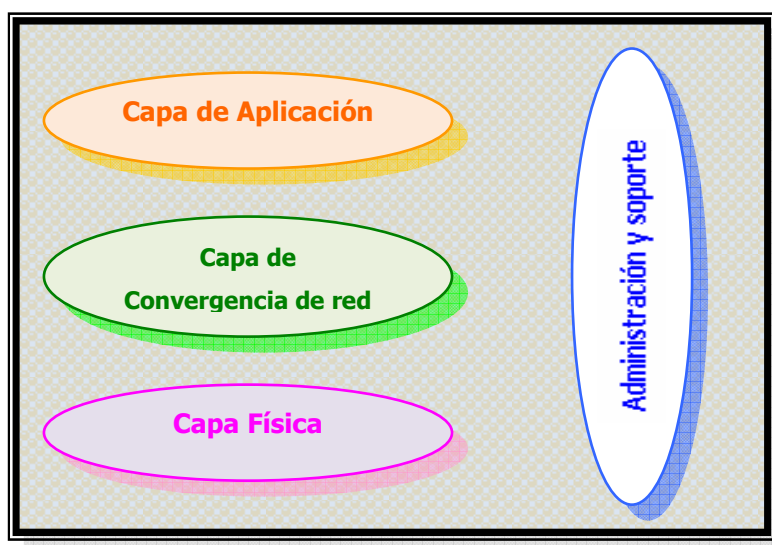


Figura 1.1: Arquitectura de una red de nueva generación. ^[1]

La arquitectura de las redes de nueva generación (NGN, *Next Generation Networks*) converge hacia una arquitectura común de alto nivel como se muestra en la figura 1.1, donde se puede observar fundamentalmente la reducción del número de capas, para reemplazar así las tecnologías tradicionales y dar lugar a

múltiples servicios integrados en una sola conexión, lo cual podría integrar diferentes redes, como: ATM (*Asynchronous Transfer Mode*), SONET (*Synchronous Optical NETWORKS*)/ SDH (*Synchronous Digital Hierarchy*), IP, etc, sin tanta complejidad.

1.1.1 MULTIPLEXACIÓN POR DIVISIÓN DE LONGITUD DE ONDA ^[2]

La multiplexación por división de longitud de onda (WDM, *Wavelength Division Multiplexing*), divide el ancho de banda disponible en múltiples y más pequeñas unidades llamadas longitudes de onda. Para la utilización eficiente del ancho de banda de la fibra, las longitudes de onda no deben estar superpuestas.

WDM tiende a ser la tecnología más prometedora para mejorar la utilización del ancho de banda en redes ópticas futuras. En la figura 1.2 se muestran los principios básicos de WDM en fibra. Cuatro fibras se unen en un combinador óptico; cada una con su energía presente a diferentes longitudes de onda. Los cuatro haces se combinan en una sola fibra compartida para transmisión a un destino distante. En el extremo, el haz se divide en tantas fibras como hayan entrado.

El núcleo de cada fibra saliente es construido especialmente, de manera que permita solamente el paso de una longitud de onda filtrando a todas las restantes. Las señales resultantes pueden enrutarse a su destino o recombinarse en diferentes formas.

En sí la multiplexación por división de longitud de onda se basa en transmitir varias señales con diferentes longitudes de onda por una misma fibra óptica. Mediante WDM se puede asignar al usuario una longitud de onda (λ) y enrutarla conmutando de forma estática, como si fuera un PVC (*Permanent Virtual Connection*) de ATM.

^[2] TANEMBAUM, Andrew "REDES DE COMPUTADORAS"

La búsqueda, desarrollo y utilización de la tecnología WDM implica un rápido cambio para satisfacer los requerimientos de ancho de banda y desarrollar nuevas redes de servicios. El concepto de redes de nueva generación proporciona sofisticados servicios de diferenciación para la emergente aplicación de datos.

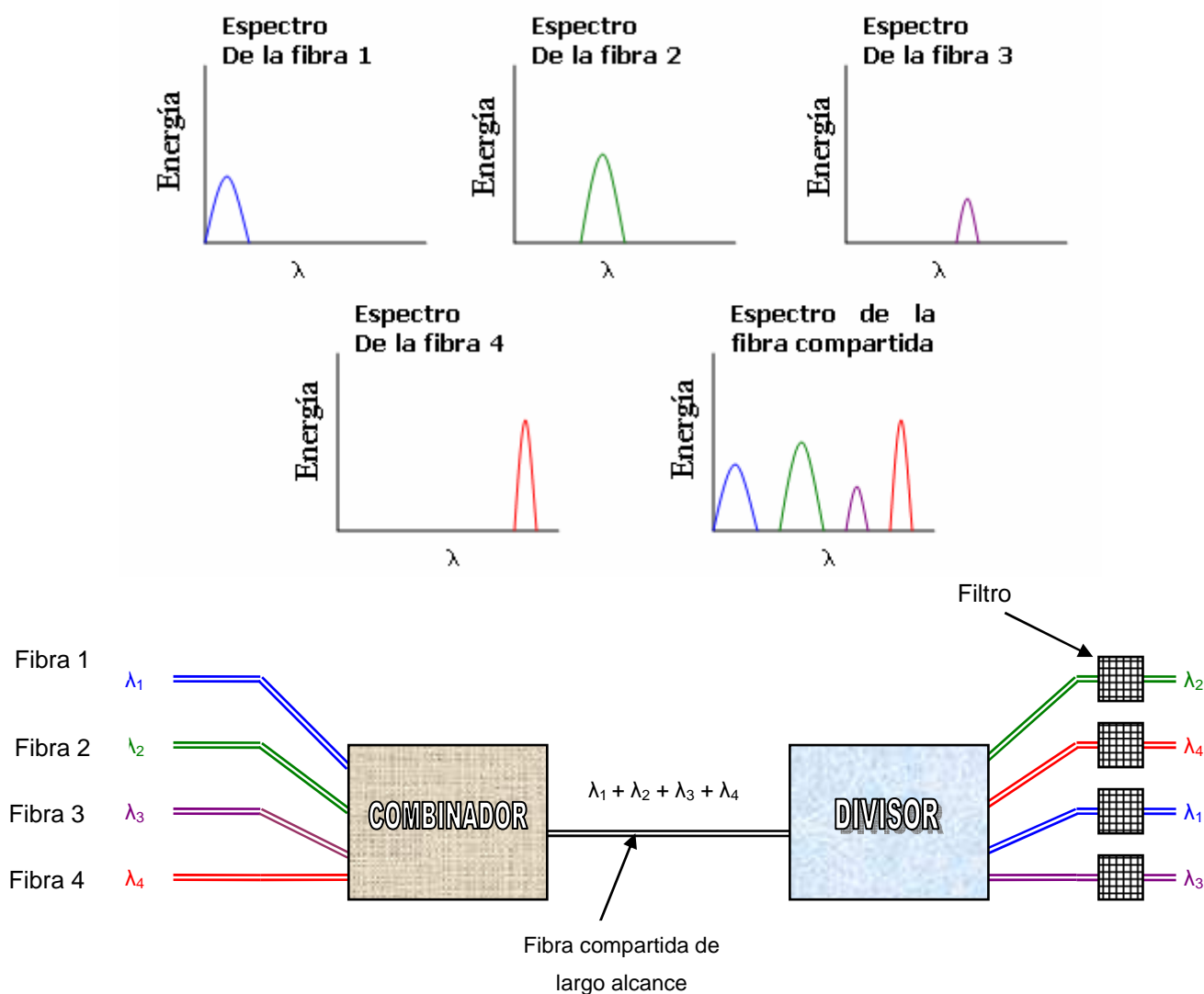


Figura 1.2: Multiplexación por longitud de onda. [2]

En la tabla 1.1 se ilustra las longitudes de onda (y frecuencias) estandarizadas por la ITU-T para WDM de tercera ventana. Corresponden a 45 canales centrados en la longitud de onda de 1553,52 nm y separados entre sí 100 GHz. También se ha estandarizado una rejilla con separaciones de 50 GHz para permitir mayor

densidad. En WDM generalmente se expresan los canales por sus respectivas longitudes de onda (en nm), mientras que las separaciones entre canales se suelen indicar en GHz.

Tabla 1.1: Rejilla WDM de la ITU-T ^[3]

Frecuencia (THz)	Long. onda (nm)	Frecuencia (THz)	Long. onda (nm)	Frecuencia (THz)	Long. onda (nm)
196,1	1528,77	194,6	1540,56	193,1	1552,52
196,0	1529,55	194,5	1541,35	193,0	1553,33
195,9	1530,33	194,4	1542,14	192,9	1554,13
195,8	1531,12	194,3	1542,94	192,8	1554,94
195,7	1531,9	194,2	1543,73	192,7	1555,75
195,6	1532,68	194,1	1544,53	192,6	1556,56
195,5	1533,47	194,0	1545,32	192,5	1557,36
195,4	1534,25	193,9	1546,12	192,4	1558,17
195,3	1535,04	193,8	1546,92	192,3	1558,98
195,2	1535,82	193,7	1547,72	192,2	1559,79
195,1	1536,61	193,6	1548,51	192,1	1560,61
195,0	1537,40	193,5	1549,32	192,0	1561,42
194,9	1538,19	193,4	1550,12	191,9	1562,23
194,8	1538,98	193,3	1550,92	191,8	1563,05
194,7	1539,77	193,2	1551,72	191,7	1563,86

1.1.1.1 Dense Wavelength Division Multiplexing (DWDM) ^{[4][5]}

La multiplexación por división de longitud de onda densa (DWDM) es una tecnología WDM; toma su nombre a partir de una designación de la Unión Internacional de Telecomunicaciones (UIT) y se refiere únicamente al

^[3] www.intec.rug.ac.be/Research/Projects/horizon/projects

^[4] Recomendación UIT-T G.694.1

^[5] Recomendación UIT-T G.671

espaciamiento requerido en la especificación UIT-T G.694.1. DWDM se utiliza en enlaces de largo alcance y gran capacidad.

El plan de frecuencias que se define en la Recomendación UIT-T G.694.1 (ANEXO A), soporta diversos espaciamentos de canal que abarcan de 12,5 GHz hasta 100 GHz y espaciamentos mayores (múltiplos enteros de 100 GHz). Asimismo, se pueden utilizar espaciamentos no uniformes entre canales. El espaciamiento de frecuencia entre canales resulta de la evolución histórica del plan inicial de 100 GHz, que se ha subdividido sucesivamente por factores de dos.

Los sistemas DWDM transportan una gran cantidad de longitudes de onda densamente concentradas, necesitan un dispositivo termoeléctrico de refrigeración para estabilizar la emisión de longitudes de onda y absorber la energía disipada por el láser. En general, los transmisores utilizados en las aplicaciones DWDM requieren un mecanismo de control que les permita cumplir con los requisitos de estabilidad de frecuencia de las aplicaciones, contrario a lo que ocurre con los transmisores CWDM que no lo necesitan.

Los dispositivos DWDM tienen una separación por canal (diferencia entre frecuencias o longitudes de ondas centrales de canales adyacentes en un dispositivo WDM) inferior o igual a 1000 GHz. Los dispositivos de este tipo pueden cubrir una o más bandas espectrales, para más información refiérase a la Rec. UIT-T G.671. Las separaciones de canal DWDM se basan en el plan de la Rec. UIT-T G.694.1. Las separaciones de canal CWDM se basan en el plan de la Rec. UIT-T G.694.2.

1.1.1.2 Coarse Wavelength Division Multiplexing (CWDM) ^{[5] [6]}

La multiplexación por división aproximada de longitud de onda (CWDM), es una tecnología que se caracteriza por un espacio más ancho entre canales que la tecnología WDM densa (DWDM).

^[6] Recomendación UIT-T G.694.2

Los sistemas CWDM se pueden utilizar en las redes de transporte metropolitanas y como plataforma integrada para una diversidad de clientes, servicios y protocolos. Admiten distancias de transmisión de hasta 50 km.

La técnica de multiplexación CWDM consta de 18 longitudes de onda definidas en el intervalo 1 270 a 1 610 nm con un espaciado de 20 nm (ver ANEXO B).

Los sistemas CWDM permiten aplicaciones rentables, gracias a una combinación de láser sin dispositivos de refrigeración, tolerancias de selección de longitudes de onda láser menos exigentes, y filtros pasa banda amplios.

Los dispositivos para WDM aproximada, tienen una separación de longitud de onda por canal inferior a 50 nm pero superior a 1000 GHz (unos 8 nm para 1550 nm y 5,7 nm para 1310 nm). Dispositivos de este tipo pueden cubrir varias bandas espectrales, para más información refiérase a la Rec. UIT-T G.671.

1.1.2 REDES DE NUEVA GENERACIÓN ^[7]

El mejor esfuerzo de las redes IP es insuficiente para satisfacer las necesidades de nuevas aplicaciones de multimedia e interactivas. El desarrollo de Internet optimizando la eficiencia de la red y con provisión efectiva de calidad de servicio, QoS, está en curso. En este sentido, las ofertas de MPLS (*Multiprotocol Label Switching*) y la arquitectura de Servicios Diferenciados pueden brindar los instrumentos necesarios para ofrecer QoS.

Uno de los principales objetivos de las redes de telecomunicaciones de nueva generación es definitivamente el desarrollo de redes ópticas con QoS. Las redes de nueva generación deben ser compatibles con las redes y servicios actuales, con soporte de múltiples servicios, con alta fiabilidad, escalabilidad y económicamente competitivas.

^[7] CAREGLIO, Davide "QoS PROVISIONING IN OPTICAL PACKET NETWORKS FOR METROPOLITAN AND WIDE AREA ENVIRONMENTS"

En esta perspectiva un intenso estudio está en curso para determinar cuál es el modelo de red óptica a adoptar, teniendo en cuenta el grado de transparencia óptica y la flexibilidad de las interconexiones. La figura 1.3 muestra la tendencia de las redes de transmisión desde las actuales redes punto a punto (IP, ATM, SDH, WDM) hacia implementaciones de las redes ópticas más flexibles.

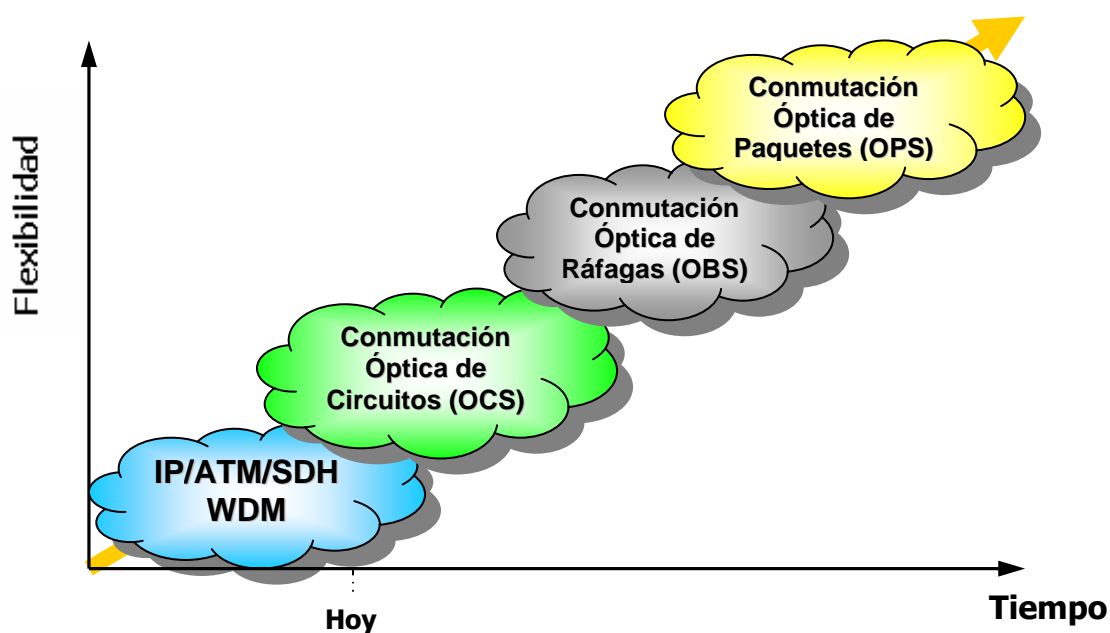


Figura 1.3: Tendencia de la tecnología de gestión óptica. ^[7]

El primer paso para las redes de nueva generación es la introducción de mecanismos flexibles en redes WDM. GMPLS (*Generalized Multiprotocol Label Switching*), es una tecnología que proporciona un plano de control inteligente en términos de señalización y enrutamiento para simplificar la operación de la red y aumentar la utilización de la misma, con una mínima interacción humana.

El desafío principal para un protocolo de control es el establecimiento, mantenimiento y direccionamiento de caminos inteligentes de tráfico para permitir el transporte eficiente de los datos de usuario desde la fuente hacia el destino.

Aún cuando los avances de la capacidad de transmisión han sido grandes, la tecnología óptica no ha penetrado mucho en la parte de administración y direccionamiento de la red, por lo que las redes todo ópticas están en sus inicios.

1.2 TÉCNICAS DE CONMUTACIÓN ÓPTICA

1.2.1 CONMUTACIÓN ÓPTICA DE CIRCUITOS (OCS, OPTICAL CIRCUIT SWITCHING) ^[3]

El modelo de conmutación óptica de circuitos estudia la funcionalidad del enrutamiento por longitud de onda (WR, *Wavelength Routed*) que proporciona la capa óptica, consiste de *routers* de longitud de onda interconectados por enlaces de fibra WDM.

La técnica OCS establece caminos ópticos (*lightpaths*), entre dos nodos no necesariamente adyacentes, como mecanismo básico de comunicación, los cuales puede llevar múltiples enlaces. La figura 1.4 ilustra los caminos inteligentes de tráfico. Los nodos de red, llamados cross-conectores ópticos (OXCs, *Optical Cross-Connect*) son básicamente conmutadores espaciales que unen los puertos de entrada y de salida en base a una longitud de onda (véase ANEXO C).

Cuando un nodo requiere establecer un nuevo camino óptico (*lightpath*) para un flujo de tráfico dado, envía una petición de señalización a lo largo de una ruta. Si la petición tiene éxito, cada OXC reserva los recursos de configuración en su matriz del conmutador.

Sin embargo, la conmutación óptica de circuitos es eficiente sólo en procesos en los que exista gran volumen de tráfico, ya que caso contrario se haría uso ineficiente de los recursos. Además, no realiza multiplexación estadística por lo que se convierte en una tecnología con acceso al ancho de banda muy poco flexible.

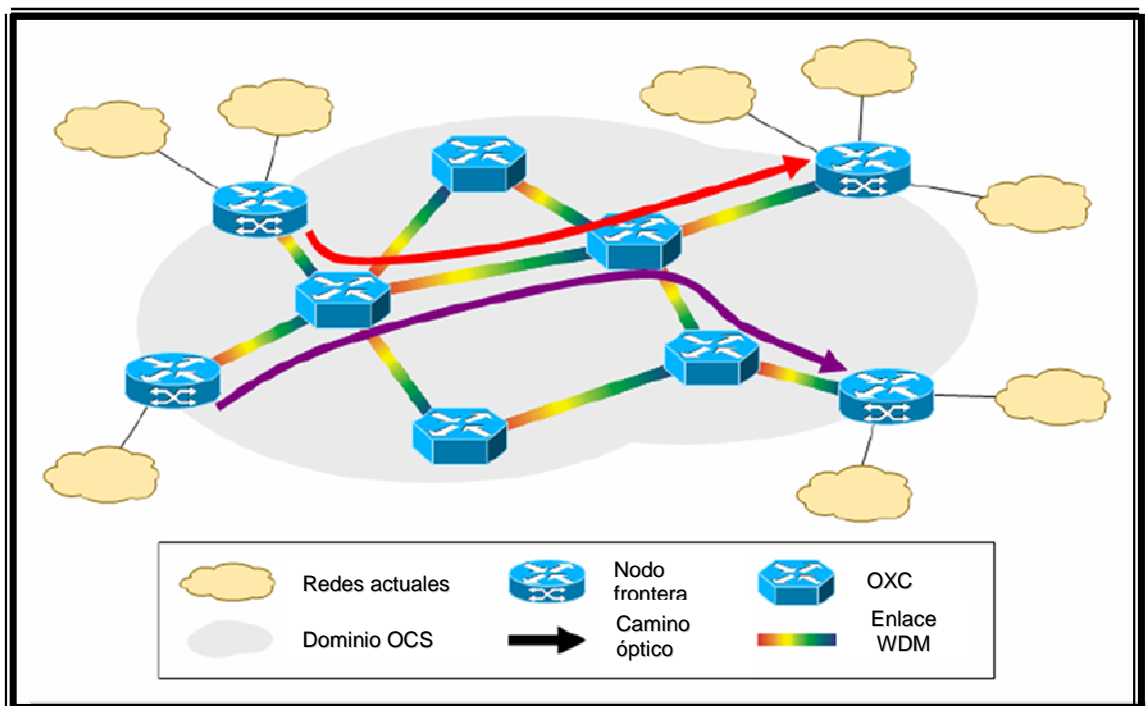


Figura 1.4: Conmutación óptica de circuitos. [7]

Existen problemas de flexibilidad y escalabilidad debido al limitado número de longitudes de onda por cada fibra, lo cual para redes grandes impide crear una malla completa de caminos ópticos (*lightpaths*) entre todos los nodos frontera. Asimismo, para un tráfico cambiante estas redes tienen baja adaptabilidad por su naturaleza quasi-estática.

1.2.1.1 Topologías lógicas en redes con enrutamiento por longitud de onda WR [8]

Las redes de enrutamiento por longitud de onda llamadas también WRONs (*Wavelength-Routed Optical Networks*), están diseñadas para aprovechar el gran ancho de banda que ofrece la fibra óptica. Estas redes son la mejor opción especialmente para redes de área extendida o regional (WAN).

[8] GONZÁLEZ Fernando, "DISEÑO DE TOPOLOGÍAS LÓGICAS EN REDES WDM CON ENCAMINAMIENTO POR LONGITUD DE ONDA".

Para cada camino óptico (*lightpath*) se asigna una longitud de onda determinada, siempre que no compartan un enlace físico es posible reutilizar las longitudes de onda, lo cual quiere decir que dos caminos ópticos pueden usar la misma longitud de onda. En la figura 1.5 se muestra un ejemplo de una red WRON con ocho caminos ópticos, utilizando tan solo dos longitudes de onda.

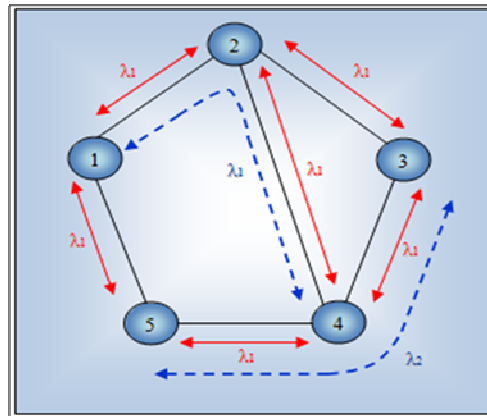


Figura 1.5: Ejemplo de una WRON (*Wavelength-Routed Optical Networks*) [8]

Los caminos ópticos permiten incorporar topologías lógicas o virtuales en topologías físicas. La figura 1.6 ilustra una topología lógica embebida en la red de la figura 1.5. Existe un enlace lógico por cada camino óptico.

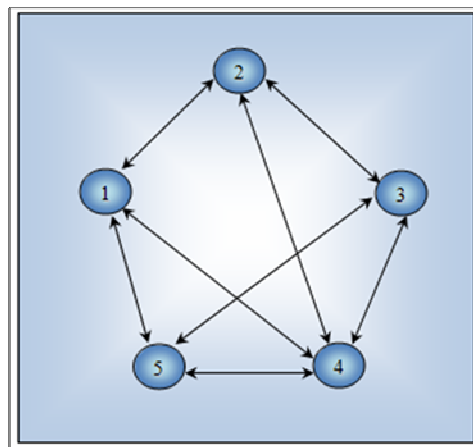


Figura 1.6: Topología lógica de una WRON. [8]

Para los operadores de redes basadas en WDM, es muy importante conocer cómo enrutar los caminos ópticos y cómo asignarles una longitud de onda, ya que de éstos dependen, entre otros parámetros, la calidad de servicio ofrecida a los usuarios.

1.2.1.2 Arquitectura de enrutamiento por longitud de onda WRON^[9]

Los caminos ópticos operan autónomamente sin interconexión con cualquier otro enlace, pueden llevar información de manera transparente desde la fuente hacia el destino, sin necesidad de conversiones en el dominio eléctrico, evitando así el cuello de botella que se genera en los nodos intermedios. Esta técnica puede ser usada para construir una nueva topología que establezca muchos caminos dentro de la red virtual, completamente diferente de la física, los cuales pueden ser reconfigurables, permitiendo así mayor adaptabilidad para la carga de tráfico, como se muestra en la figura 1.7.

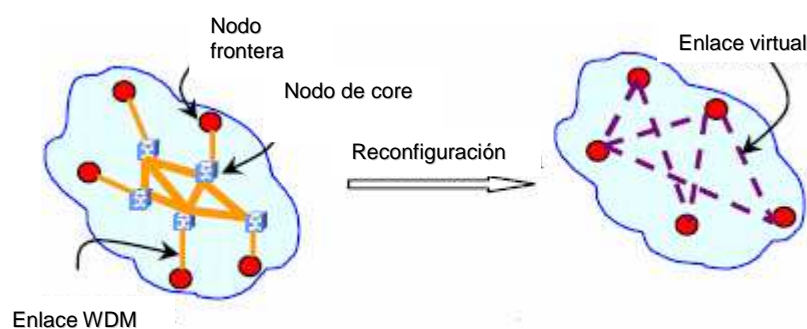


Figura 1.7: Establecimiento de la topología virtual. ^[9]

Esta idea es muy atractiva para tomar ventaja del potencial de la tecnología WDM, aunque existen aún muchos desafíos que vencer concernientes a la optimización del ancho de banda y retardos de propagación. El establecimiento de esta arquitectura se puede realizar de forma sincrónica o asincrónica.

^[9] MAACH Abdelilah y BOCHMANN Gregor, "A HYBRID ARCHITECTURE USING BOTH OPTICAL BURST SWITCHING AND ROUTED WAVELENGTH".

1.2.1.2.1 Reconfiguración Asíncronica

El administrador de la red analiza los recursos, establece un nuevo camino entre la fuente y el destino cuando un nodo frontera requiere ancho de banda para llevar información a un destino dado. El camino establecido puede atravesar muchos enlaces físicos y muchos cross-conectores, para entregar un camino óptico (*lightpath*) directo desde la fuente hacia el destino. Si existen muchas posibilidades, se tomará la óptima. El enlace virtual puede usar la misma longitud de onda o puede conmutar diferentes lambdas. Esta arquitectura presenta el problema de cómo entregar caminos ópticos de forma rentable y oportuna. Las funcionalidades requeridas en esta arquitectura son:

- **Información del estado de la red:** Para mantener el estado de recursos disponibles, la topología y el programa de recursos usados.
- **Cómputo de caminos ópticos:** Consiste de una estrategia y algoritmo usados para asignar longitudes de onda a enlaces virtuales.
- **Servicios de caminos virtuales:** La administración global de los enlaces virtuales especialmente el establecimiento de un nuevo camino, la modificación y liberación de un enlace.

Si no hay la posibilidad de establecer un camino directo, el administrador establecerá uno o más caminos ópticos de tal manera que el destino pueda almacenar la información con uno o más saltos. El objetivo general, es minimizar el número de saltos y el tráfico agregado al ancho de banda disponible.

1.2.1.2.2 Reconfiguración Sincrónica

En esta técnica todas las solicitudes de los nodos frontera son reunidas para realizar la reconfiguración al mismo tiempo, se puede realizar de forma periódica

o solamente cuando el modelo de tráfico sea muy diferente. Para esta técnica las funcionalidades necesarias son:

- **Administración de carga:** El objetivo es reunir las solicitudes de los nodos, en términos de ancho de banda y eventualmente de calidad de servicio necesaria para cada clase de tráfico.
- **Cálculo del camino óptico:** Esta función podría proveer el conjunto de caminos ópticos, dependiendo de las solicitudes para los nodos.
- **Topología del conmutador:** En este proceso todos los nodos deben ser incluidos, para conmutar al nuevo camino establecido por la función de cálculo del camino óptico, esto es posible a través de un protocolo que informa a cada nodo la configuración y el tiempo de realización.

Las solicitudes de los nodos se analizan y se calcula la mejor topología, para cuando el administrador precisa conmutar a otra configuración. El mejor escenario será establecer un enlace virtual entre cada fuente y destino, pero esto es muy difícil debido a que solo existe un número limitado de longitudes de onda y el número de nodos podría aumentar. Es importante agregar tanto tráfico como sea posible en la misma longitud de onda y evitar perder ancho de banda.

La topología virtual es una alternativa prometedora hacia una red ágil que puede ser fácilmente reconfigurada, para cualquier modelo de tráfico. Sin embargo, la sincronización de tráfico durante la reconfiguración, es uno de los desafíos de esta técnica. La solución sería dejar de transmitir información por un instante, antes de cada reconfiguración, hasta que toda la información alcance su destino. Pero esta técnica puede conducir a un desperdicio de recursos y producir cuello de botella en los nodos.

La topología virtual puede ser muy útil, con una arquitectura que disponga de una topología física regular para sincronizar y coordinar la red en su totalidad. Un inconveniente es que la complejidad aumenta rápidamente con el tamaño de la red de manera que es una excelente solución pero irrealizable.

Las redes de conmutación óptica de circuitos, pueden ofrecer garantías de transferencia y cierto grado de flexibilidad. Aún cuando son simples de operar y administrar y no se requiere de conversión de longitud de onda, para la utilización completa de la red, las redes OCS presentan algunos inconvenientes. Necesitan un retardo considerable, para confirmar el establecimiento del circuito, debido al retardo de propagación y a la reconfiguración óptica de los OXC.

La estructura de la red es compleja y heterogénea con poca escalabilidad, además del uso ineficiente de longitudes de onda y de una reconfiguración lenta. Estas desventajas desvían a los investigadores hacia soluciones mejores y capaces de ofrecer alta utilización y gran potencial.

En esta dirección la solución de OCS puede ser la técnica de Conmutación Óptica de Ráfagas (OBS) y la Conmutación Óptica de Paquetes (OPS) que son soluciones que aplican la técnica de conmutación de paquetes en la red óptica de transporte con multiplexación estadística.

1.2.2 CONMUTACIÓN ÓPTICA DE RÁFAGAS (OBS, OPTICAL BURST SWITCHING) ^[10]

En la conmutación de ráfagas a nivel óptico, existen diferentes definiciones y variantes de la tecnología, pero todas comparten dos características importantes:

- Los datos del cliente se ensamblan/desensamblan en los nodos frontera (*edge nodes*) de la red OBS, formando ráfagas de longitud variable.
- El plano de datos es independiente del plano de control; esto es, los datos de control se envían por un canal o longitud de onda, distinto al de los canales utilizados para la transmisión de la información en la ráfaga, y se

^[10] PRADIÉ Patricia "CONSTRUCCIÓN DE UNA MAQUETA DE RED OBS, DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE LAS FUNCIONALIDADES DE UN NODO FRONTERA".

procesa a nivel electrónico en todos los nodos de la red. En cambio los datos se transmiten de forma transparente en el dominio óptico.

1.2.2.1 Funcionamiento básico de una red OBS

En las redes OBS, las ráfagas no tienen una parte de datos y una cabecera a diferencia de la conmutación de paquetes, la ráfaga es equivalente a la parte de datos y cada una tiene asociada un paquete de control que contiene información propia de una cabecera.

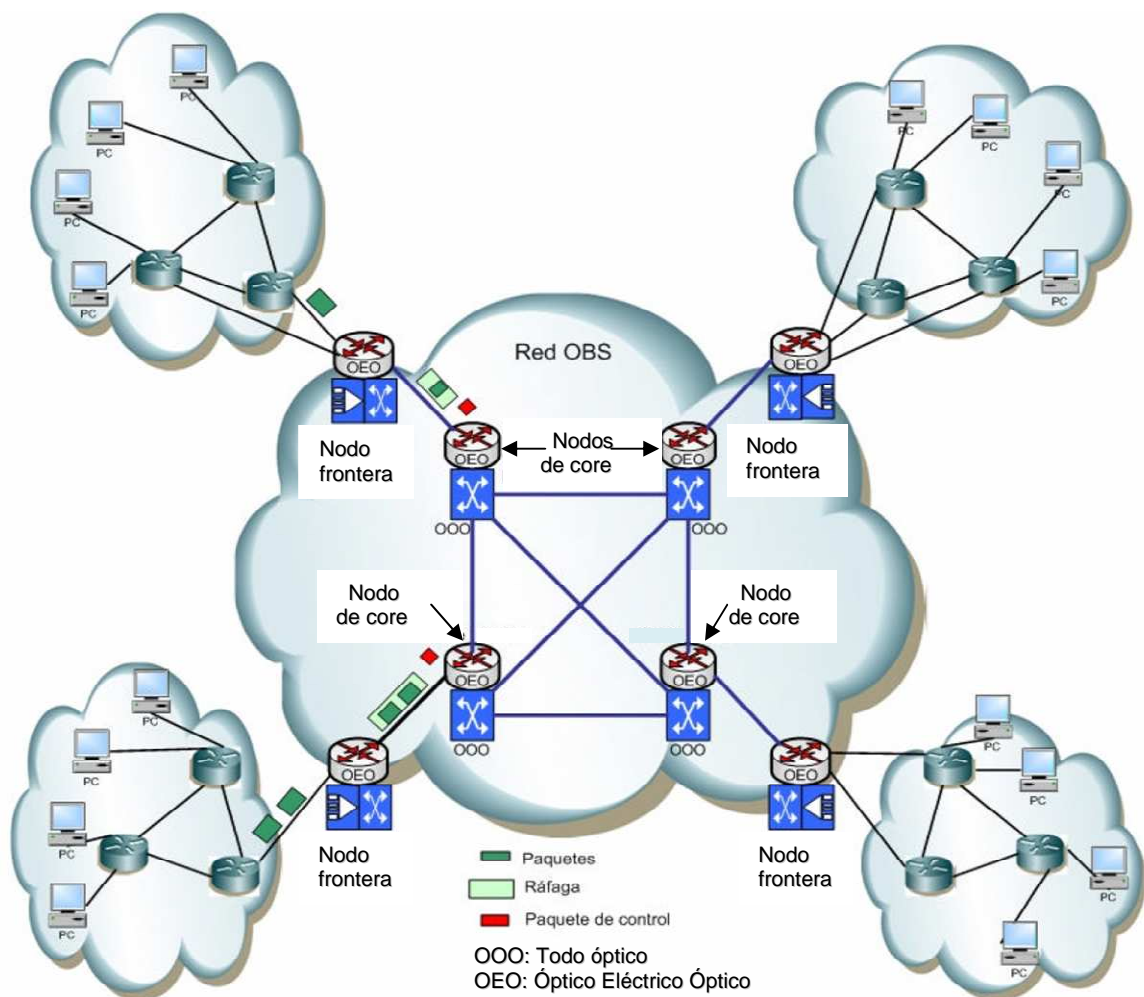


Figura 1.8: Estructura básica de la red OBS. [10]

El paquete de control tiene una longitud inferior a la de la ráfaga, se procesa en el dominio electrónico en cada nodo intermedio de la red. Debido a este mecanismo,

se prepara un camino extremo a extremo de forma que la ráfaga pueda transmitirse de manera transparente a través de la red. La figura 1.8 muestra la arquitectura de la red formada por cuatro nodos frontera, cada uno de los cuales está conectado a un nodo interno, que a su vez está interconectado con los demás nodos internos en una topología de malla. Los nodos de una red OBS se clasifican de acuerdo a las funciones que desempeñan y a la posición que ocupan.

➤ **Nodos frontera (*edge nodes*)**

Los distintos tipos de datos se agregan en los nodos frontera y son ensamblados y transmitidos a ráfagas. Estos nodos son los encargados de generar y recibir las ráfagas, así como también de generar los paquetes de control, siendo estos últimos los encargados de informar a los nodos intermedios el estado de la ruta para la transmisión de ráfagas posteriores. La figura 1.9 ilustra la arquitectura básica de un nodo frontera.

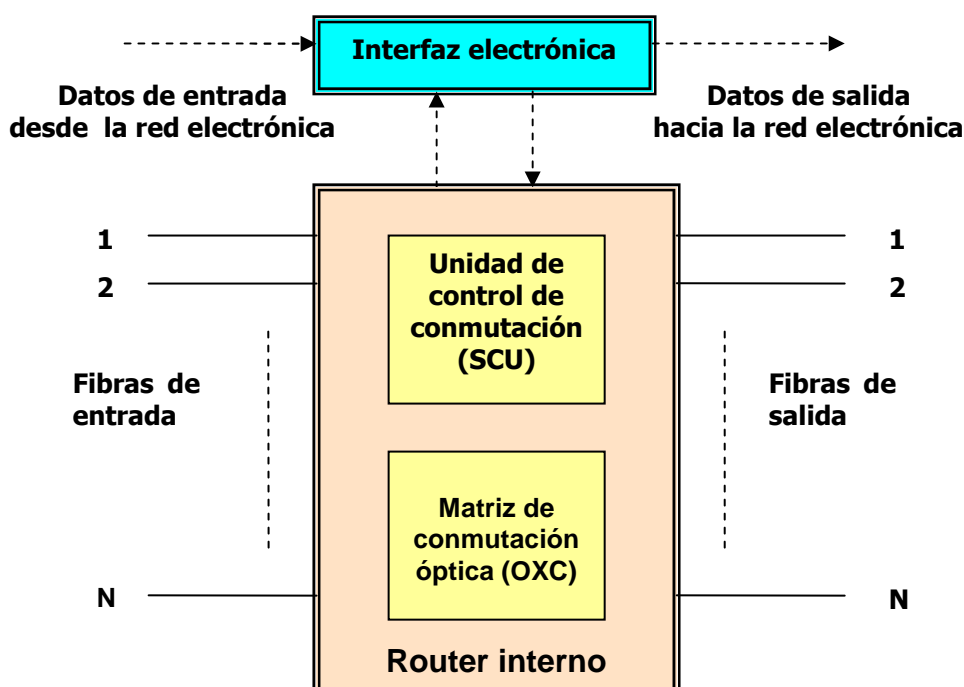


Figura 1.9: Arquitectura de un nodo frontera. ^[11]

^[11] CEREIJO Ibán, "SIMULACIÓN Y COMPARATIVA DE MECANISMOS DE CONMUTACIÓN EN REDES ÓPTICAS".

- **Nodos de ingreso (*ingress nodes*)**

Los nodos de ingreso reciben las unidades de datos de usuario procedentes de las redes conectadas a la red OBS y las agrupan en ráfagas de longitud variable. Este proceso es conocido con el nombre de ensamblado de ráfagas (*Burst assembly*). La figura 1.10 muestra este proceso.

La idea principal consiste en agrupar las unidades de usuario de acuerdo al nodo destino.

Los nodos de ingreso deben generar y transmitir el paquete de control asociado antes del envío de cada ráfaga, para reservar los recursos necesarios.

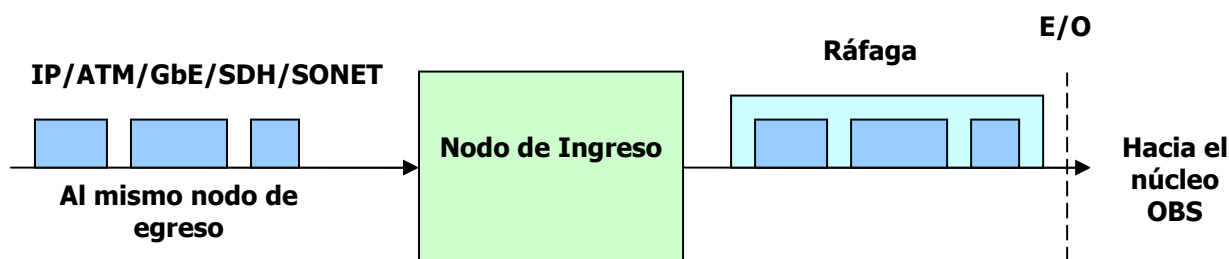


Figura 1.10: Ensamblado de ráfagas. ^[10]

- **Nodos de egreso (*egress nodes*)**

Los nodos de egreso realizan las funciones complementarias a los nodos de ingreso, reciben las ráfagas y recuperan los datos originales contenidos en ellas para transmitirlos a los usuarios finales.

Las unidades de datos originales son recuperadas en los nodos de egreso. La figura 1.11 ilustra el proceso de desensamblado de ráfagas (*burst disassembly*) en una red OBS.

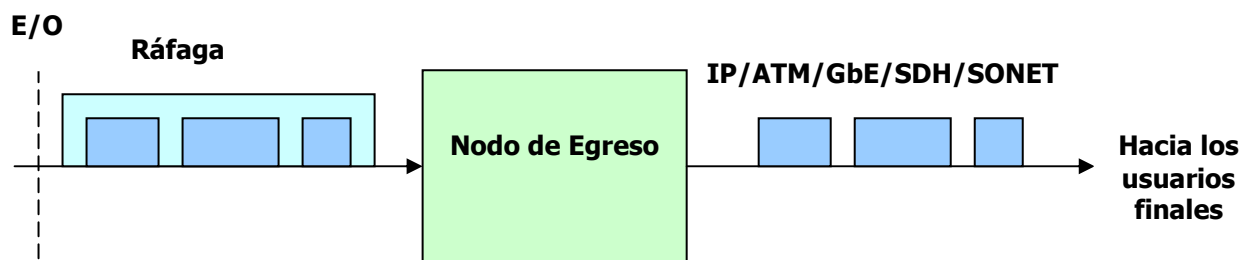


Figura 1.11: Desensamblado de ráfagas. ^[10]

➤ Nodos interiores (*core nodes*)

Las funciones de los nodos interiores son: procesar y gestionar la información de control que reciben de otros nodos interiores o directamente de los nodos frontera. Comprobar que los recursos requeridos para la transmisión de la ráfaga estén disponibles, en caso que los recursos solicitados no estén disponibles, la ráfaga se descarta cuando llega al nodo, si no se dispone de un mecanismo de resolución de contenciones.

1.2.2.1.1 Conformación y segmentación de ráfagas ^[11]

Los paquetes recibidos de las capas superiores se recolectan y ordenan en base a su dirección de destino y clase de servicio y son agregados hasta que formen ráfagas, como ilustra la figura 1.12. Un nodo frontera deberá disponer de tantos *buffers* de almacenamiento como el producto entre las clases de servicios consideradas y los posibles nodos frontera de destino.

Los nodos frontera ensamblan los paquetes provenientes de los niveles superiores y conforman una ráfaga que envían hacia el núcleo de la red. También realizan la operación inversa, recogen las ráfagas que llegan del interior de la red OBS, extraen los paquetes que las conforman y las envían a las capas superiores.

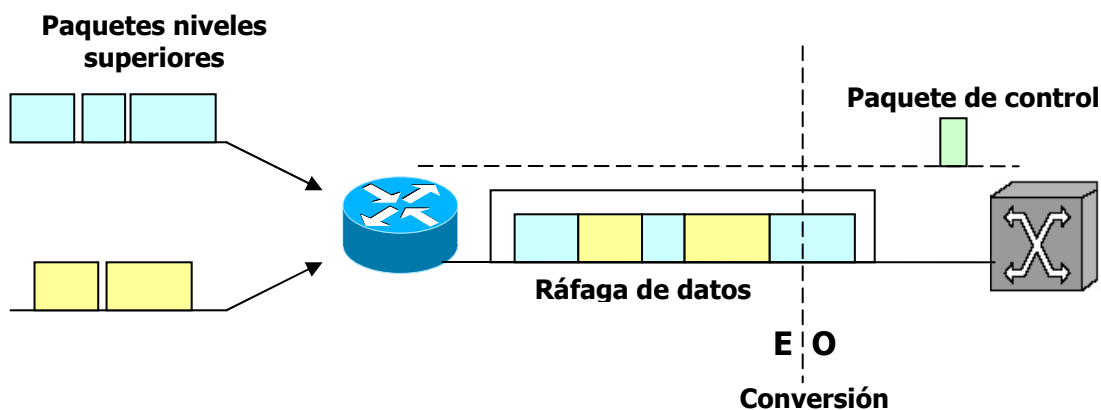


Figura 1.12: Mecanismo de conformación de ráfagas. ^[11]

1.2.2.1.2 Algoritmos de conformación de ráfagas ^[11]

Existen tres tipos de algoritmos de conformación de ráfagas a saber:

- **Basados en tiempo:** Un temporizador fijo de duración T define el ciclo de ensamblado, todos los datos que lleguen durante este tiempo son agregados en la misma ráfaga. Este tiempo es elegido de tal manera que el retardo de transmisión sea aceptable, pues de ser muy elevado el retardo sería inaceptable, y si es muy corto generaría ráfagas pequeñas y por ende más paquetes de control.
- **Basados en longitud de la ráfaga:** Este algoritmo establece un umbral para determinar la longitud mínima de ráfaga. La ráfaga está lista para ser transmitida si alcanza o supera dicho umbral.
- **Mixtos basados en temporizadores y umbral:** También llamado de ensamblado adaptable, es un mecanismo que adopta dinámicamente cualquiera de los dos esquemas anteriores, es decir la ráfaga se transmitirá si supera el umbral definido o cuando termina el tiempo del temporizador.

Para elegir el mecanismo de ensamblado se debe considerar la influencia sobre el tráfico resultante. Los algoritmos adaptativos son los que mejor se acoplan al

protocolo TCP, debido a que se basan en estimaciones hechas en tiempo real, mientras que los algoritmos basados en temporizadores suelen generar ráfagas a intervalos de tiempo constante cuando el tráfico es elevado, en tanto que los mecanismos basados en la longitud de la ráfaga pueden suavizar en cierta medida la estadística del tráfico de llegada.

1.2.2.1.3 Establecimiento de la conexión

La conmutación óptica de ráfagas es una adaptación de un estándar del ITU-T (*Internacional Telecommunication Union – Telecommunication Standardization Sector*) sobre conmutación de ráfagas en ATM, denominado ABT (*ATM Block Transfer*).

- **ABT (ATM Block Transfer) con transmisión retardada:** Mediante un mensaje de solicitud la fuente intenta reservar el ancho de banda. Si el camino puede establecerse, el destino envía un asentimiento hacia la fuente para informar que se puede enviar la ráfaga. Por el contrario si un nodo no puede alojar los recursos necesarios enviará un paquete de disentimiento. La transmisión retardada en redes ópticas es conocida como *tell-and-wait* (TAW).
- **ABT (ATM Block Transfer) con transmisión inmediata:** En este caso la fuente no envía un mensaje para reservar recursos, si no que transmite la ráfaga directamente y en cada nodo la ráfaga experimenta un retardo, mientras se conmutan los caminos posibles a seguir. Al igual que el mecanismo anterior, si la reserva de recursos falla en algún nodo intermedio se envía un mensaje de disentimiento hacia la fuente y ésta retransmitirá luego de un cierto tiempo de espera.

El esquema *Just-Enough-Time* (JET), propuesto por C. Qiao y M. Yoo, es una solución intermedia. Con este esquema se añade un retardo entre la transmisión del paquete de control y la ráfaga de datos, permitiendo que, cuando la ráfaga

llegue a un nodo, el paquete de control ya haya reservado un canal de salida, lo cual disminuye el retardo de la ráfaga y elimina el almacenamiento en los nodos intermedios. En JET el paquete de control lleva información del tiempo de llegada de la ráfaga a cada nodo, y de la longitud de la misma, información que permite conocer exactamente los instantes de llegada y partida de una ráfaga.

1.2.2.2 Conmutación interna ^[10]

El principal problema de una red OBS son las contenciones, ya que provocan pérdidas de información, por lo que es importante estudiar los mecanismos de resolución de contenciones (cuando dos o más paquetes requieren una longitud de onda que está ocupada transmitiendo otro paquete) que se mencionan a continuación:

- **Dropping:** Cuando algún paquete de control no puede reservar los recursos solicitados, la ráfaga asociada a éste será eliminada, entonces de la recuperación de la información se encargan los protocolos de capas superiores. La manera más simple de resolver las contenciones es el descarte de ráfagas.
- **Deflection:** Ante las contenciones, se trata de transmitir la ráfaga por un canal diferente al predeterminado; este mecanismo puede aplicarse en diferentes dominios como: nivel de longitud de onda, donde la ráfaga se envía con una longitud de onda distinta a la que tenía al inicio; nivel de espacio, la ráfaga se envía por un puerto diferente al predeterminado; nivel temporal en el que se retarda el envío de la ráfaga utilizando fibras auxiliares, donde se confina la ráfaga durante un tiempo determinado.

Este mecanismo puede reducir considerablemente las pérdidas, pero se debe tener en cuenta que si la ráfaga se desvía a través de una ruta con mayor número de saltos, puede producir congestión en condiciones de carga de tráfico elevada.

- **Preemption:** Asigna prioridades para determinar qué ráfaga, de las que han ingresado en estado de contienda, puede reservar los recursos. Se puede deshacer una reserva previamente realizada para ceder los recursos a una ráfaga con mayor prioridad. Éste es un mecanismo adecuado para esquemas con calidad de servicio.

Todos los mecanismos mencionados de resolución de contenciones pueden coexistir y operar conjuntamente. Por otro lado, existen propuestas basadas en prevenir la contención mediante métodos de predicción basados en las estadísticas de pérdida de ráfagas en cada longitud de onda.

1.2.3 CONMUTACIÓN ÓPTICA DE PAQUETES (OPS, OPTICAL PACKET SWITCHING) ^[12]

La convergencia de las telecomunicaciones, así como el rápido crecimiento de la demanda de usuarios, en cuanto a mayor ancho de banda, más funcionalidades y por consiguiente mayor velocidad, ha obligado a que operadores de redes, portadores y proveedores, se den prisa en adoptar nuevas tecnologías. Así también, el crecimiento masivo del tráfico generado por Internet ha marcado la actual preferencia por el Protocolo de Internet (IP), llegando a ser el protocolo dominante para comunicaciones de datos.

De esta manera IP sobre WDM ha llegado a ser un área muy importante de estudio abarcando un amplio rango de soluciones para el predominante soporte del tráfico IP sobre caminos ópticos WDM (*lightpaths*). Los *routers* IP se caracterizan por desarrollar cuatro tareas principales como:

- **Enrutamiento:** Proveen información de conectividad de la red a través de tablas de enrutamiento.

^[12] HUNTER David y ANDONOVIC Ivan, "APPROACHES TO OPTICAL INTERNET PACKET SWITCHING".

- **Direccionamiento:** Definen la salida de cada paquete entrante basándose en las tablas de enrutamiento.
- **Conmutación:** Dirigen cada paquete a su propia salida (definida por las tablas de enrutamiento).
- **Almacenamiento:** Resuelven las contenciones mediante el almacenamiento de paquetes cuando más de uno quiere ir a cierta salida al mismo tiempo, debido a la naturaleza no prevista de su arribo.

Actualmente, el gran tamaño de las tablas de enrutamiento y la frecuencia de actualización de entregas en el proceso de direccionamiento implica mayores limitaciones en el rendimiento del *router*, debido al tiempo que requiere la tabla para actualizar sus datos y buscar los destinos para el enrutamiento.

Las redes de conmutación óptica de paquetes OPS solucionan este tipo de problemas al aprovechar de mejor manera el ancho de banda disponible, proporcionando además, gran variedad de funcionalidades en cuanto a enrutamiento y flexibilidad. Características que las han convertido en las mejores candidatas para redes de Área Metropolitana de Nueva Generación, pudiendo ser mucho más dinámicas que las redes actuales, al ser integradas con otros segmentos de red, para proveer conectividad con alto rendimiento y simplicidad a usuarios extremo a extremo.

Las redes OPS basan su funcionamiento en WDM porque esta tecnología ha permitido elevar considerablemente la velocidad de transmisión a través de fibra óptica, llegando a convertirse en la alternativa efectiva para la implementación de redes completamente ópticas (*All Optical Networks*). WDM a su vez, emplea dispositivos, tales como: elementos de conmutación por longitud de onda, fuentes sintonizables, filtros sintonizables y convertidores de longitud de onda, que le garantizan un rendimiento eficaz.

Por otra parte, la técnica de conversión por longitud de onda otorga a WDM características esenciales para gestionar la gran cantidad de tráfico presente en las redes actuales, pero su funcionamiento lo hacía convirtiendo pulsos ópticos en pulsos eléctricos para luego ser transmitidos en una longitud de onda determinada hasta su destino, donde se realizaba el proceso contrario para extraer la información.

El proceso de conversión presenta el gran inconveniente de transparencia, ya que debe ser efectuado a una velocidad de transmisión binaria determinada e invariable, que por lo general no excede los 10 Gbps. Si los dispositivos son reemplazados por razones de actualización, existirá el problema de transparencia en el funcionamiento respecto a las características de la señal digital luminosa de entrada. Las redes OPS evitan el problema de transparencia ya que emplean la conversión óptica, la cual no requiere pasar al dominio eléctrico, permitiendo que la conversión por longitud de onda óptica ofrezca grandes ventajas como: interoperatividad transparente entre redes heterogéneas, enrutamiento de señales en el dominio óptico, resolución de contenciones en nodos, gran flexibilidad y utilización óptima de los recursos ópticos en una red bajo patrones dinámicos de tráfico.

Del proceso de conmutación en el dominio óptico se deriva la creación de una nueva capa, denominada capa óptica, la cual servirá a las capas más altas del protocolo. Esta capa se encuentra formada por caminos ópticos o *lightpaths* los cuales permiten que determinadas longitudes de onda ingresen a un nodo de origen y a otro de destino. De esta manera IP puede correr sobre WDM, porque muchas de las funciones de las capas más altas de la pila de protocolos se vuelven innecesarias. Otra de las ventajas que provee OPS es la disminución de contenciones debido a la utilización de dispositivos de conversión de longitud de onda. ^[13]

[13] MUÑOZ DE LA CORTE Manuel, "CARACTERIZACIÓN DE RUIDO EN CONVERTIDORES DE LONGITUD DE ONDA BASADOS EN MODULACIÓN CRUZADA DE GANANCIA CON AMPLIFICADORES ÓPTICOS DE SEMICONDUCTOR EN REDES DWDM".

La interoperabilidad también es otra de las prestaciones fundamentales que se provee al funcionar en el dominio óptico, ofreciendo además garantías en la transparencia para interconexión de sistemas heterogéneos, logrando así la gestión de red en subredes, al contar con longitudes de onda independientes en cada subred, las cuales pueden ser interconectadas por convertidores de longitud de onda como se indica en la figura 1.13.

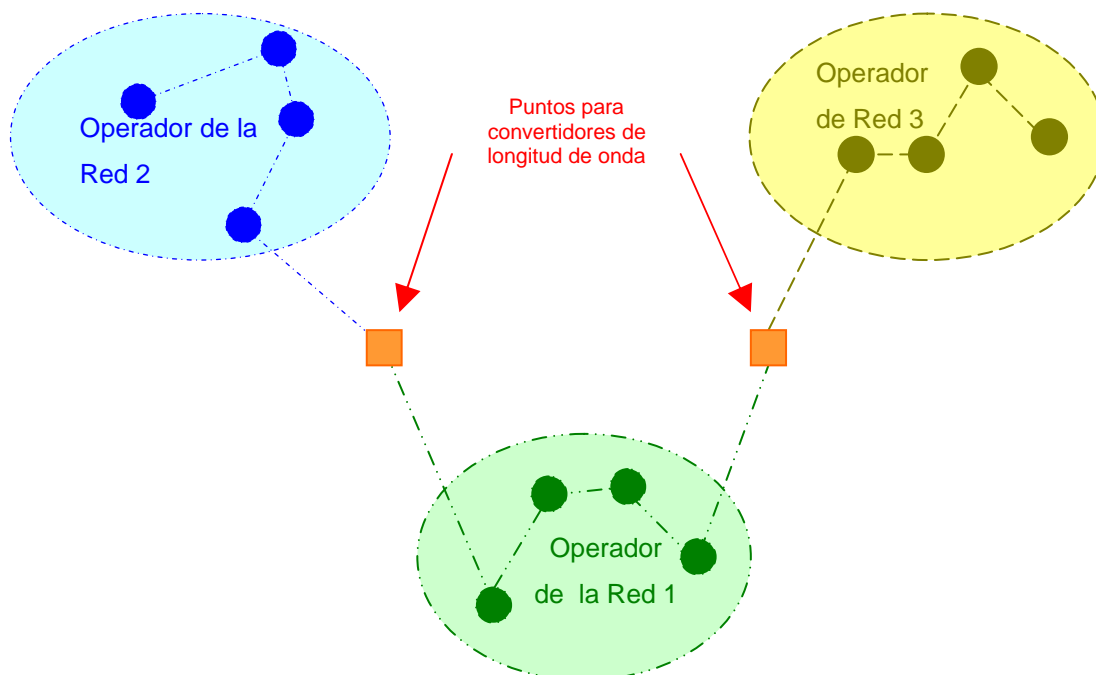


Figura 1.13: Ejemplo de separación de subredes gestionadas independientemente mediante el uso de convertidores de longitud de onda. ^[13]

1.2.3.1 Funcionamiento de OPS ^[7]

Las redes OPS basan su funcionamiento en conmutaciones minuciosas y requieren conmutadores ópticos mucho más rápidos (con tiempos de conmutación en el orden de los nanosegundos). Cada nodo frontera tiene que recolectar los datos entrantes y colocarlos en paquetes ópticos, según el formato específico adoptado por la red. Tanto la información de los datos como de control viajan en un mismo canal; cada nodo intermedio extrae los *headers* de control

para tomar decisiones de conmutación, encontrando así el camino correcto dentro de la red OPS.

Tan pronto como un paquete ha entrado en el dominio de OPS, se conmuta transparentemente por los nodos según las técnicas de multiplexación estadísticas. En cuanto el paquete haya llegado al nodo frontera de salida correcto, su volumen de datos es devuelto al formato original y entregado a la red que pertenece.

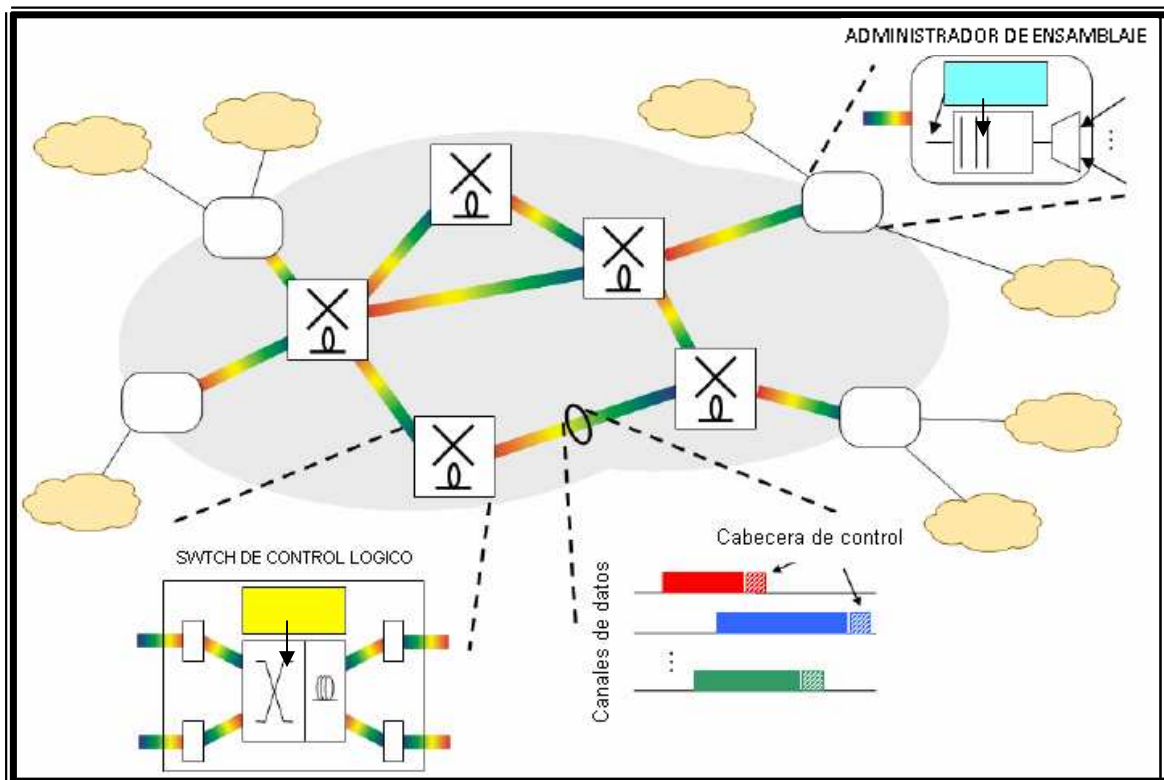


Figura 1.14: Red OPS con topología de malla. [7]

1.2.3.1.1 Arquitectura de un nodo OPS

En la figura 1.15, se ilustra un esquema genérico de un nodo OPS. La arquitectura consiste de: multiplexores, demultiplexores, interfaz de entrada,

estructura de conmutación espacial, *buffers* ópticos (líneas de fibra de retardo), convertidores de longitud de onda, interfaz de salida y una unidad de control.

Los paquetes que ingresan a una fibra de entrada primero se demultiplexan para obtener longitudes de onda individuales, luego se envían al interfaz de entrada. Entre otras funciones, el interfaz de entrada extrae el *header* del paquete óptico y lo envía a la unidad de control para su procesamiento.

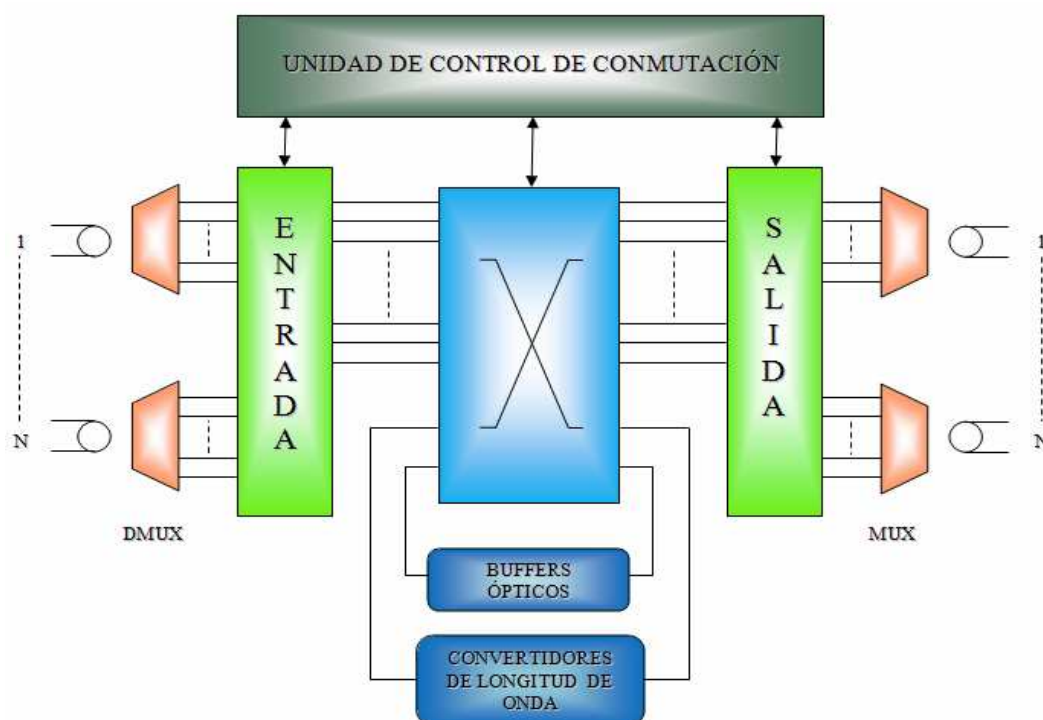


Figura 1.15: Esquema de un nodo OPS ^[10]

La unidad de control procesa la información del *header*, determina un pórtico de salida apropiado y la longitud de onda para el paquete. La estructura de conmutación se encarga de enrutar el paquete, con la información que le proporciona la unidad de control. En el proceso de enrutamiento del paquete, puede ser necesario almacenarlo y/o convertirlo a una nueva longitud de onda para evitar contenciones. La unidad de control también determina un nuevo *header* para el paquete y lo envía al interfaz de salida. Cuando el paquete llega al

interfaz de salida, el nuevo *header* se inserta al paquete y se remite en una fibra de salida hacia el siguiente nodo de su ruta.

1.2.3.1.2 Modos de operación

Las redes OPS pueden ser: ranuradas y no ranuradas.

➤ Redes Ranuradas

En los pódicos de entrada de cada nodo, de una red conformada de conmutadores individuales, los paquetes pueden llegar en diferentes tiempos puesto que la arquitectura de conmutación puede cambiar su estado, ya sea estableciendo una conexión de entrada-salida en un tiempo arbitrario ó estableciendo múltiples conexiones de entrada-salida al mismo tiempo. Lo anterior hace posible conmutar múltiples paquetes alineados a la vez o conmutar cada paquete individualmente. En ambos casos, la sincronización a nivel de bit y la recuperación rápida del reloj son necesarias para el reconocimiento del *header* del paquete y la delineación del paquete

En general en una red ranurada, todos los paquetes pueden tener el mismo tamaño, en una variación de la red ranurada es posible que los paquetes sean de longitud variable, pero cada longitud del paquete es un múltiplo entero de una ranura. Una ranura de tiempo de tamaño fijo contiene al *payload* y al *header*. El tiempo de la ranura tiene una duración más larga que todo el paquete para proveer un tiempo extra de guarda. Todos los paquetes de entrada que llegan a los pódicos de entrada necesitan ser alineados en fase entre si antes de entrar a la arquitectura de conmutación.

Desde el punto de vista físico el esquema de sincronización de paquetes, introduce pérdida de inserción y *crosstalk* debido al uso de conmutadores. Puesto que colocar conmutadores en cascada inevitablemente requerirá amplificación óptica, lo cual degradará la relación señal a ruido. Mientras tanto,

el *crosstalk* acumulado a través de los conmutadores puede también incrementar la tasa de bit errado. En una red multi-nodo, la penalización de potencia debido a las etapas de sincronización puede significativamente debilitar el *performance* del sistema.

➤ **Redes no Ranuradas**

En una red no ranurada, los paquetes pueden o no tener el mismo tamaño, los paquetes arriban y entran al conmutador sin ser alineados en tiempo. Por tanto, la operación de conmutación, paquete por paquete, puede tomar lugar en cualquier punto en el tiempo. Obviamente, en una red no ranurada, aumenta la probabilidad de contenciones porque el comportamiento de los paquetes es impredecible (similar a la contención en las redes ALOHA ranuradas y no ranuradas). Por otra parte, las redes no ranuradas son más flexibles comparadas con las redes ranuradas, puesto que éstas son mejores adaptando paquetes de tamaños variables.

Fibras de retardo de longitud fija mantienen el paquete cuando el procesamiento del *header* y la reconfiguración del conmutador toman lugar. No hay el estado de alineamiento de paquetes y todos los paquetes experimentan la misma cantidad de retardo con la misma posición relativa en la cual llegan, con tal que no haya contención. La red no ranurada evita los requerimientos o las etapas de sincronización. Sin embargo, dada la misma cantidad de tráfico, el *throughput* de la red, es menor que las redes ranuradas porque las contenciones son más probables que ocurran.

1.2.3.1.3 *Formatos del paquete*^[7]

El formato del paquete es una consideración fundamental en cualquier sistema de transmisión, debe ser escogido cuidadosamente tomando en cuenta los límites de la tecnología óptica, las características de tráfico y los requisitos de transparencia.

Un paquete óptico se encuentra compuesto principalmente de dos partes; el encabezado o *header*, cuya información se usa para las decisiones de enrutamiento o conmutación del paquete óptico. Existen dos técnicas diferentes para unir el encabezado al paquete que son:

- **Control fuera de banda:** Esta técnica se caracteriza porque los encabezados son transmitidos en una longitud de onda separada.
- **Control dentro de banda:** En esta técnica el *header* y el *payload* son transmitidos serialmente en la misma longitud de onda; para lo cual, se envía el encabezado y el paquete usando formatos de modulación orthogonal, con el fin de aumentar la utilización del canal.

Las siguientes figuras muestran un ejemplo de los formatos de paquete ópticos diferentes: la figura 1.16 se refiere al caso de control fuera-de-banda mientras que la figura 1.17 al caso de transmisión dentro de banda.

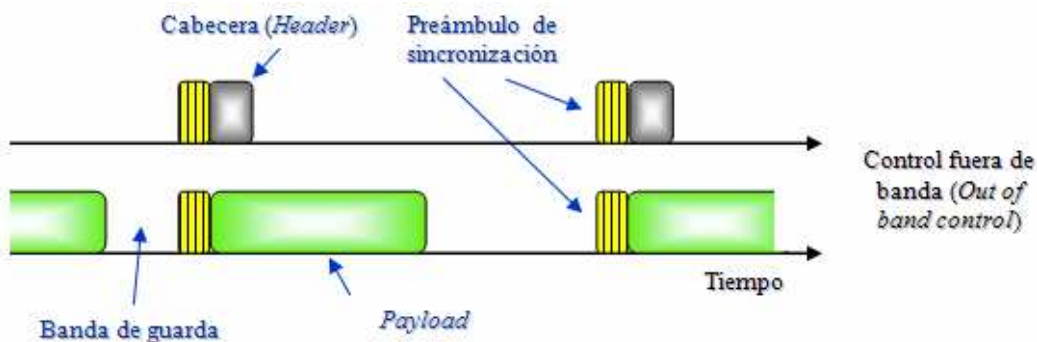


Figura 1.16: Canal de Control Fuera de Banda. ^[7]

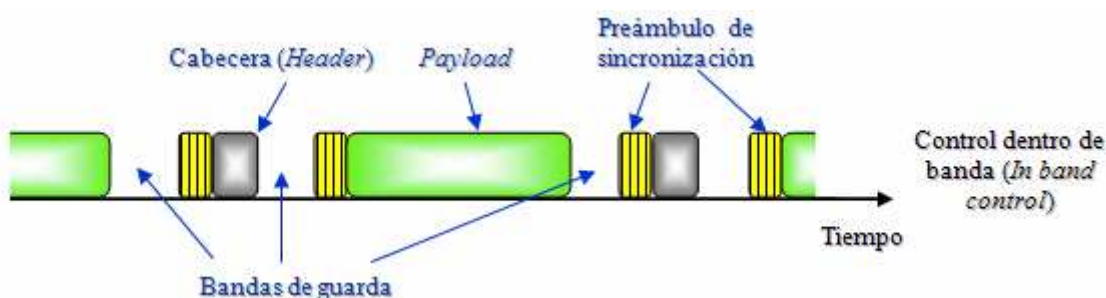


Figura 1.17: Canal de Control dentro de Banda. ^[7]

Para este caso la banda de guarda, intervalo de tiempo libre, es introducida entre el *header* y el *payload* de los paquetes contiguos para conmutar los tiempos de los dispositivos opto-electrónicos constitutivos así como para posicionar el *jitter* del *payload*. Los preámbulos de sincronización son puestos delante de cada *header* y *payload* para que los receptores puedan entrar en sincronización con los transmisores, garantizando que la señal óptica llegue correctamente.

La técnica de control fuera-de-banda, se utiliza para el caso en el que generalmente los paquetes y *headers* viajan juntos por la misma ruta y tienen una relación en cuanto a la sincronización. Esto es sobre todo viable en redes MAN donde son adoptadas topologías de anillo o de estrella, y la sincronización entre el control y los canales de datos es razonablemente fácil de mantener. En tanto que para redes WAN resulta complicado ya que se usan topologías de malla.

Lo que ahora sigue es elegir el tamaño de los paquetes así como las técnicas de funcionamiento de red. Para esto se han propuesto las alternativas que siguen a continuación:

Paquetes de longitud Fija y Funcionamiento síncrono del nodo

FLP-SO (*Fixed Length Packets and Synchronous Node Operation*), figura 1.18. La escala de tiempo se divide en ranuras cuya longitud es fija, en tanto que, las funciones de conmutación y transmisión son llevadas a cabo solamente para instancias dadas, es decir, al principio de cada ranura.

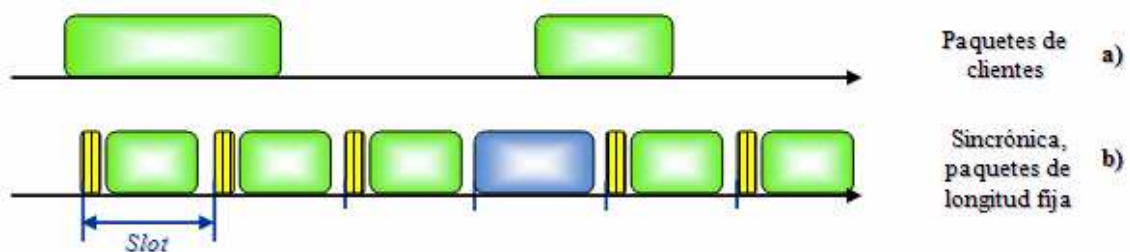


Figura 1.18: Los datos de entrada desde las capas de cliente (a) pueden ser situados en diferentes formatos de paquetes ópticos: (b) formato síncrono, paquetes de longitud fija. ^[7]

En una ranura son insertados tanto el *payload* como el *header*, que son de tamaño fijo, los paquetes de longitud fija resultantes son conmutados uno a otro independientemente. Podría necesitarse algún relleno para la última ranura.

Paquetes de longitud variable y funcionamiento síncrono del nodo

VLP-SO (*Variable Length Packets and Synchronous Node Operation*), figura 1.19. El tiempo de transmisión del datagrama es más grande que el tamaño de la ranura, y un solo *header* se inserta en la primera ranura mientras el *payload* puede ser introducido en varias ranuras de tiempo las cuales se conmutan en total como un solo "tren de ranuras". También podría requerirse un relleno para la última ranura.

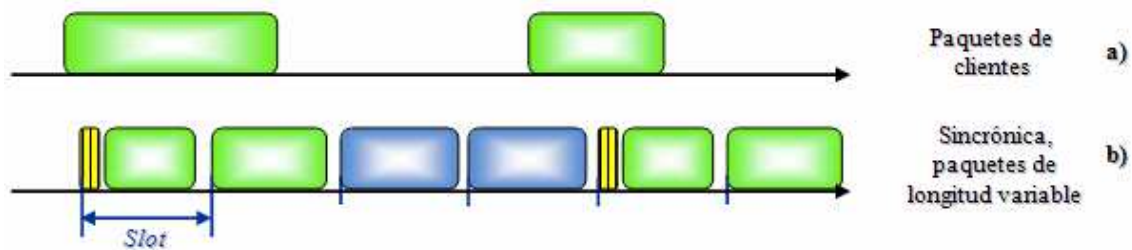


Figura 1.19: (a) Datos de entrada desde las capas de cliente, (b) Formatos síncronos, paquetes de longitud variable. ^[7]

Paquetes de longitud Fija y funcionamiento asíncrono

FLP-AO (*Fixed Length Packets and Asynchronous Operation*) figura 1.20. Ésta es una técnica poco utilizada donde se colocan datagramas entrantes en uno o más paquetes ópticos de tamaño dado, los cuales pueden ser recibidos, conmutados y transmitidos en cualquier momento.

Puede ser necesaria la inserción de un relleno para completar el *payload* óptico.

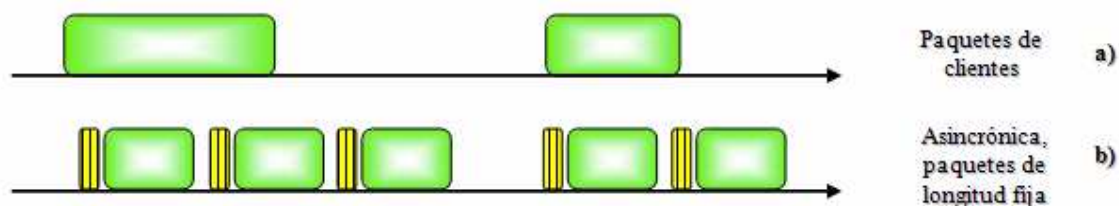


Figura 1.20: (a) Datos de entrada desde las capas de cliente (b) formatos asíncronos, paquetes de longitud fija. ^[7]

Paquetes de longitud variables y la operación asíncrona del nodo

VLP-AO (*Variable Length Packets and Asynchronous Node Operation*) figura 1.21. En esta técnica al igual que en la anterior se ponen los datagramas entrantes en el *payload* óptico y cada paquete puede ser recibido, conmutado y transmitido en cualquier momento, la diferencia radica en que el *payload* es de longitud variable.

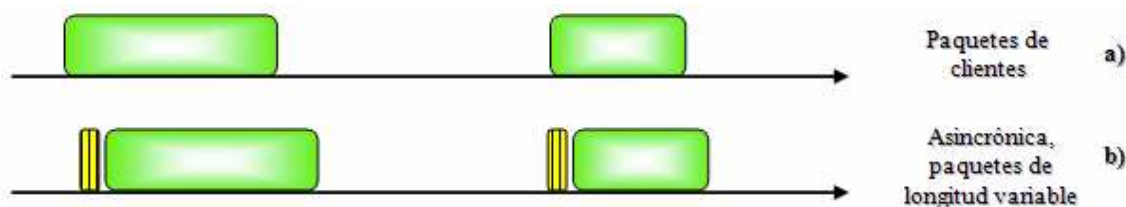


Figura 1.21: (a) Datos de entrada desde las capas de cliente, (b) formatos asíncronos, paquetes de longitud variable. ^[7]

Se puede considerar el ejemplo del formato de paquete definido por el proyecto KEOPS, cuyo rendimiento está asumido para que el tiempo sea dividido en ranuras de tiempo iguales, cada una contiene un paquete óptico, y el *payload* debe contener datos desde 622Mbps hasta 10Gbps.

El campo del *header* es 14 *bytes*: 8 para información de enrutamiento; 3 para identificación del tipo de *payload*; información de control de flujo, numeración del

paquete para preservar la integridad de la sucesión, y chequeo de errores para el *header*.

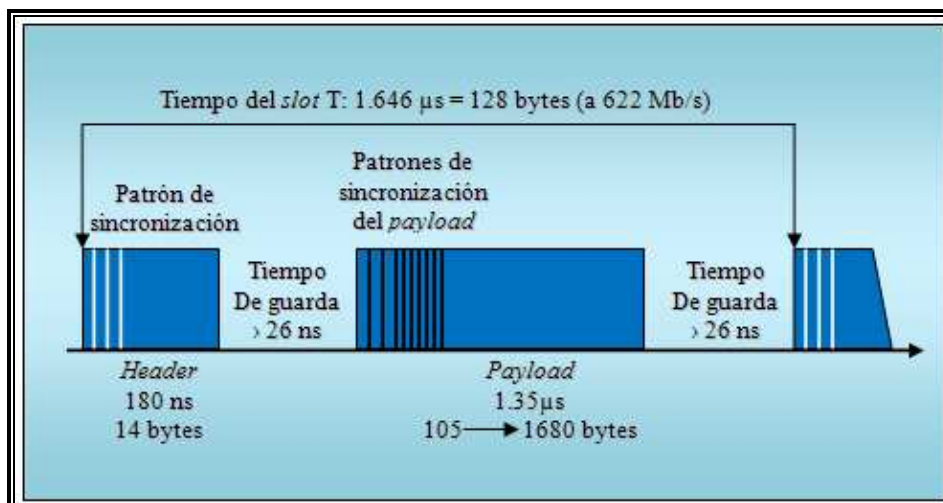


Figura 1.22: Ejemplo del formato de un paquete óptico definido por KEOPS.^[12]

La sincronización es muy importante en el formato del paquete para que cuando los paquetes entren al conmutador, sus límites estén alineados, consiguiendo de esta manera que cada paquete esté alineado con su ranura de tiempo. Tal sincronización es generalmente un requerimiento para una operación correcta del conmutador, permitiendo una baja pérdida de paquetes. Por lo tanto, se requieren 2 *bytes* como "etiquetas" para ayudar en el proceso de sincronización solamente para determinar el inicio del *payload*. La Banda de guarda cuenta el número de conmutaciones del dispositivo opto-electrónico. La duración del *payload* resulta de la compensación entre la eficiencia de transmisión y las limitaciones prácticas sobre la longitud total de los *buffers* de la línea de retardo de fibra óptica.

La mejor opción es usar paquetes de longitud fija con funcionamiento síncrono, sin embargo su diseño no es bueno para interactuar junto a paquetes de tráfico IP que en realidad son datagramas de longitud variable y por tanto deben ser ajustados en los contenedores de longitud fija, lo cual constituye una verdadera ineficacia. Además el funcionamiento sincrónico es costoso y complejo, puesto que el interfaz de entrada de los conmutadores debe realizar tareas como delinear y alinear paquetes provenientes de puertos de entrada. En contraste con esto las

redes asíncronas generalmente tienen más bajo costo, alta flexibilidad, robustez y mejor habilidad con los protocolos de la red, pero presentan un rendimiento más bajo debido a la mayor probabilidad de contenciones. Por tanto, desde el punto de vista de *performance*, utilizar paquetes de longitud fija con operación sincrónica es la mejor elección.

Por estos motivos se considera mejor la opción longitud variable asíncrono para las redes WAN donde generalmente el ancho de banda disponible no es una de las principales consideraciones para el diseño y también porque este tipo de técnica es muy conveniente para la transmisión del *header* dentro de banda, además se puede asumir un escenario con mucha flexibilidad donde los paquetes y los *headers* correspondientes viajen juntos por una red de malla que use cualquier ruta disponible con cualquier longitud de onda desde la fuente hacia el nodo de destino.

En tanto que para el escenario de redes MAN la mejor solución es el modo de operación síncrona con longitud fija ya que en este tipo de redes la limitación del costo por bit transmitido es la meta principal, además con esta técnica se puede mejorar la utilización de las longitudes de onda mediante el uso de la transmisión del *header* fuera de banda poniendo la información de control sobre la longitud de onda de datos adicional.

1.2.3.1.4 Resolución de contenciones^[14]

La contención tiene lugar en un nodo, siempre y cuando dos o más paquetes traten de salir del conmutador por un mismo puerto de salida y en la misma longitud de onda. Si la contención es resuelta influirá directamente en el rendimiento de la red en términos de tasa de pérdidas de paquete, retardo de paquete promedio, distancia de salto (*hop*) promedio, y utilización de la red.

[14] Shun Yao, Ben Yoo, and Biswanath Mukherjee "ALL-OPTICAL PACKET SWITCHING FOR METROPOLITAN AREA NETWORKS: OPPORTUNITIES AND CHALLENGES".

En redes de conmutación electrónica de paquetes, la contención es resuelta con la técnica *store-and-forward*, a partir del almacenamiento de los paquetes en una memoria de acceso aleatorio electrónica (RAM) mientras se verifica su integridad y validez para su posterior conmutación al puerto de salida que esté libre. Sin embargo en redes de conmutación ópticas no se cuenta con ninguna RAM óptica, por lo que se debe explorar tres esquemas de resolución de contenciones: longitud de onda, tiempo, y espacio. Estos esquemas serán analizados en el capítulo 2.

Otra alternativa para resolver contenciones, además de los esquemas mencionados, es la conmutación óptica de ráfagas (OBS), que se caracteriza por coleccionar múltiples paquetes IP con varios *megabytes* de datos. En esta técnica, el nodo fuente primero envía un paquete de control a todos los conmutadores por toda la ruta en la cual la ráfaga viajará más tarde. Luego de un cierto tiempo de *offset*, la ráfaga se envía sin recibir ningún acuse de recibo de los conmutadores. Cuando la ráfaga llega a los conmutadores, éstos tienen que reservar el puerto necesario para la ráfaga. Después de que la ráfaga sea transmitida por el conmutador, el puerto es liberado. Manipulando la cantidad del tiempo de compensación entre el paquete de control y la ráfaga de datos, una clase diferente del servicio puede implementarse.

En OBS la ráfaga está constituida por todos los paquetes que serán enviados, para lo cual toma el número de cada uno de ellos. Por este motivo los paquetes considerados como pequeños (paquetes IP de 40 *bytes* correspondientes al protocolo de mensaje de control de Internet, ICMP, mensajes o paquetes de reconocimiento de TCP de 44 *bytes*) se descartan al momento de conformar la ráfaga.

La principal diferencia entre OBS y OPS es el *software* de control del conmutador; por lo tanto, un nodo de conmutación de paquetes todo-óptico también puede ser configurado para realizar OBS.

1.3 COMPARACIÓN ENTRE LAS TÉCNICAS DE CONMUTACIÓN

Tabla 1.2: Ventajas y desventajas de las técnicas de conmutación ^[15]

	OCS	OBS	OPS
VENTAJAS	Fiabilidad, componentes y subsistemas comercialmente disponibles.	Alta flexibilidad, utilización eficiente de la red.	Muy alta flexibilidad, utilización muy eficiente de la red, tamaño reducido del nodo.
DESVENTAJAS	Baja flexibilidad y utilización de la red. Tamaño de nodo grande.	Componentes y subsistemas parcialmente disponibles. Complejidad de control (QoS, enrutamiento, etc.). Capacidad de recuperación más compleja.	Alta complejidad de control (QoS, enrutamiento, etc.) Reordenamiento de paquetes. Capacidad de recuperación más compleja.
EN EL FUTURO	Desarrollo a corto tiempo.	Desarrollo a término medio.	Desarrollo a largo plazo ya que se debe esperar el avance tecnológico especialmente para compactar los componentes ópticos a bajo costo.

^[15] M. Klinkowski, D. Careglio and J. Solé-Pareta "WAVELENGTH VS BURST VS PACKET SWITCHING: COMPARISON OF OPTICAL NETWORK MODELS".

Tabla 1.3: Comparación de las técnicas de conmutación ^[15]

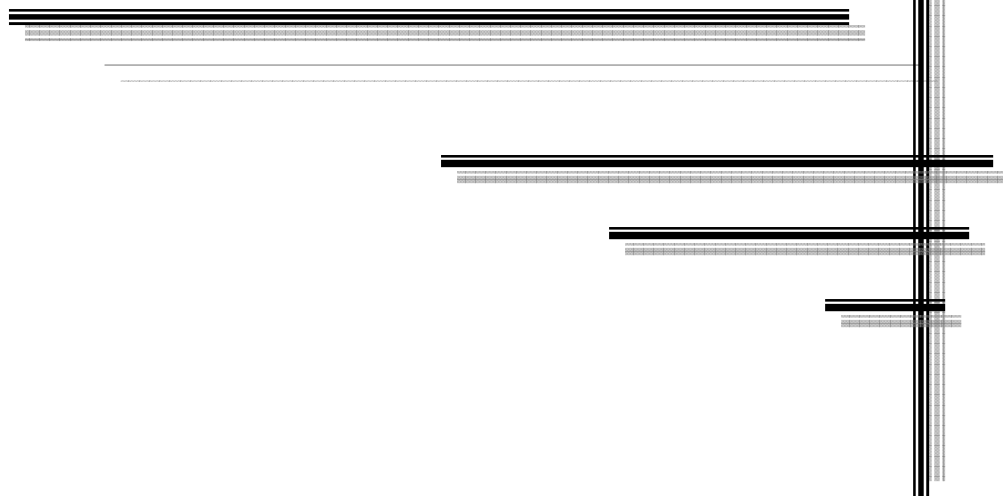
Aspecto	Característica	Modelo de red		
		OCS	OBS	OPS
General	Modelo de conmutación.	Conmutación de circuitos.	Multiplexación estadística (de ráfagas).	Multiplexación estadística (de paquetes).
	Señalización.	Fuera de banda.	Fuera de banda o dentro de banda.	Dentro de banda.
Físico Tecnológico, Requerimientos de hardware	Tiempo de conmutación.	>> ms	μs	ns
	Requerimientos de control.	Bajo – por circuito de operación.	Alto – por ráfaga de operación.	Muy alto – por paquete de operación.
	Complejidad de hardware.	Medio	Alto	Muy alto (FDLs sincronización, 3R, ...).
Complejidad computacional	Complejidad de algoritmos de control en el nodo.	Muy baja	Muy alta: <ul style="list-style-type: none"> ✓ Problema de resolución de contenciones. ✓ Problema de ensamblado Ráfaga/Paquete. ✓ Priorización de Ráfaga/Paquete (para QoS). 	
	Complejidad de administración de enrutamiento.		Alta complejidad de algoritmos de enrutamiento eficientes (Ingeniería de tráfico, QoS).	
Performance para tráfico de Internet	Utilización de la red.	Baja, no adaptado dinámicamente a la demanda de tráfico actual.	Alto (multiplexación estadística a nivel de ráfaga).	Muy alto (multiplexación estadística a nivel de paquete).
	Throughput, retardo de la red.	Probabilidad de bloqueo de conexión. Muy bajo retardo.	Alta probabilidad de pérdida de ráfagas. Factor de retardo debido al proceso de ensamblado de ráfagas.	Baja pérdida de paquetes. El retardo es bajo, incluso con las FDLs, debido a la rápida conmutación óptica.
	Capacidad de conmutación de paquete.	Limitado por los dispositivos de conmutación electrónica que deben ser introducidos.	Alta capacidad debido a la rápida conmutación óptica de ráfagas.	Alta capacidad por la rápida conmutación óptica de paquetes, limitada por la velocidad de las unidades de control electrónicas.

Tabla 1.3: Comparación de las técnicas de conmutación (continuación) ^[15]

Aspecto	Característica	Modelo de red		
		OCS	OBS	OPS
Performance para tráfico de Internet	Performance de TCP	Ningún problema	Puede ser degradado a altas tasas de extracción de ráfagas.	Puede ser degradado a altas tasas de extracción de paquetes.
Flexibilidad	Formato de datos, tasa de bits.	Medio (formato de datos fijo y tasa de bit por circuito óptico).	Alta	Muy alta (transparencia de formato de datos y tasa de bit en paquetes ópticos).
QoS	Dificultad para garantías de calidad.	Muy baja – QoS definido en modo de conmutación de circuitos.	Mecanismos de QoS para priorización (planificación) de Ráfaga/Paquete, reservación de recursos, mecanismos de control de admisión, etc.	
	Hardware, complejidad de control.	Simple	Hardware: FDLs, WCs, altos requerimientos computacionales electrónicos.	Hardware: FDLs, WCs, muy altos requerimientos computacionales.
Plano de control	Implementación	GMPLS	Aún no definida	
	Overhead de señalización	Muy bajo	Bajo / Medio	Alto
Administración de enrutamiento	Duración de conexión en un nodo.	Muy larga (comparada con OPS y OBS).	Dependiendo del esquema de reservación de recursos puede ser desde la última duración de la ráfaga hasta cualquier periodo de tiempo.	Duración del paquete
	Conexión de ruta	Lightpaths físicos	O-LSPs lógicos	
	Garantías de transferencia de datos (cuando no hay fallas).	Ancho de banda garantizado después de establecer el <i>lightpath</i> .	Ancho de banda variable dependiendo de la reservación de recursos.	Ancho de banda variable dependiendo de la reservación de recursos.
	Protección y restauración (nivel de protección).	Fibra, <i>lightpath</i>	Aún no bien definido	

CAPÍTULO 2

REDES OPS EN EL ÁREA METROPOLITANA



CAPITULO: 2 REDES OPS EN EL ÁREA METROPOLITANA

INTRODUCCIÓN

Antes de la introducción de las redes ópticas, la disponibilidad limitada de las fibras llegó a ser un gran problema. Sin embargo, el desarrollo de las redes ópticas y el uso de tecnologías WDM y DWDM permitieron alcanzar una sofisticación en la evolución de las redes, no vista antes. La tecnología SDH, de amplio uso, estaba preparada principalmente para manejar los anchos de banda requeridos para la transmisión de voz más que para la transmisión de datos, exigida actualmente.

La era naciente de banda ancha, demanda redes ópticas nuevas, más inteligentes y adaptables para cumplir con la demanda de aplicaciones y nuevos servicios, incluso vídeo. La cantidad y diversidad de dispositivos conectados a la red también crecerá exponencialmente. Efectivamente, la nueva era demandará innovaciones de estructura para permitir que las redes ópticas transporten cualquier servicio, extendiendo el alcance, la flexibilidad y la agilidad para adaptarse de manera dinámica a las impredecibles demandas de ancho de banda. Como resultado, las redes ópticas del mañana deben ser sumamente adaptables a un entorno en proceso de cambio, optimizadas continuamente para el rendimiento máximo y administradas mediante la inteligencia de la red integrada.

En este contexto, se desarrolla una nueva tecnología llamada Conmutación de Paquetes Ópticos (*Optical Packet Switching*), una solución a largo plazo que pretende aprovechar la multiplexación estadística directamente en el dominio óptico, para proporcionar fiabilidad y mayor capacidad de transmisión de datos en el área metropolitana. En este ámbito las redes OPS permitirán el transporte de servicios heterogéneos, que incluyan la transferencia de datos así como la

transmisión de aplicaciones multimedia; sin embargo, cada servicio requerirá un tratamiento particular, para lo cual el soporte de QoS (*Quality of Service*) resulta ser un factor obligatorio.

2.1 REDES ÓPTICAS METROPOLITANAS ^[1]

Como se mencionó en el capítulo anterior, las redes ópticas metropolitanas constituyen el segmento de enlace entre las redes de acceso y las redes de largo alcance (WAN), cubriendo así distancias de cientos de kilómetros. Se basan en dos factores clave como lo son: los requisitos del cliente y la tecnología para satisfacer estos requisitos, por lo que se desplegó la tecnología SONET/SDH empleando topologías punto a punto y anillos de OADMs (*Optical Add/Drop Multiplexers*, ver ANEXO D), pero debido al incremento en la demanda de ancho de banda y usuarios, éstas deben experimentar una evolución considerable.

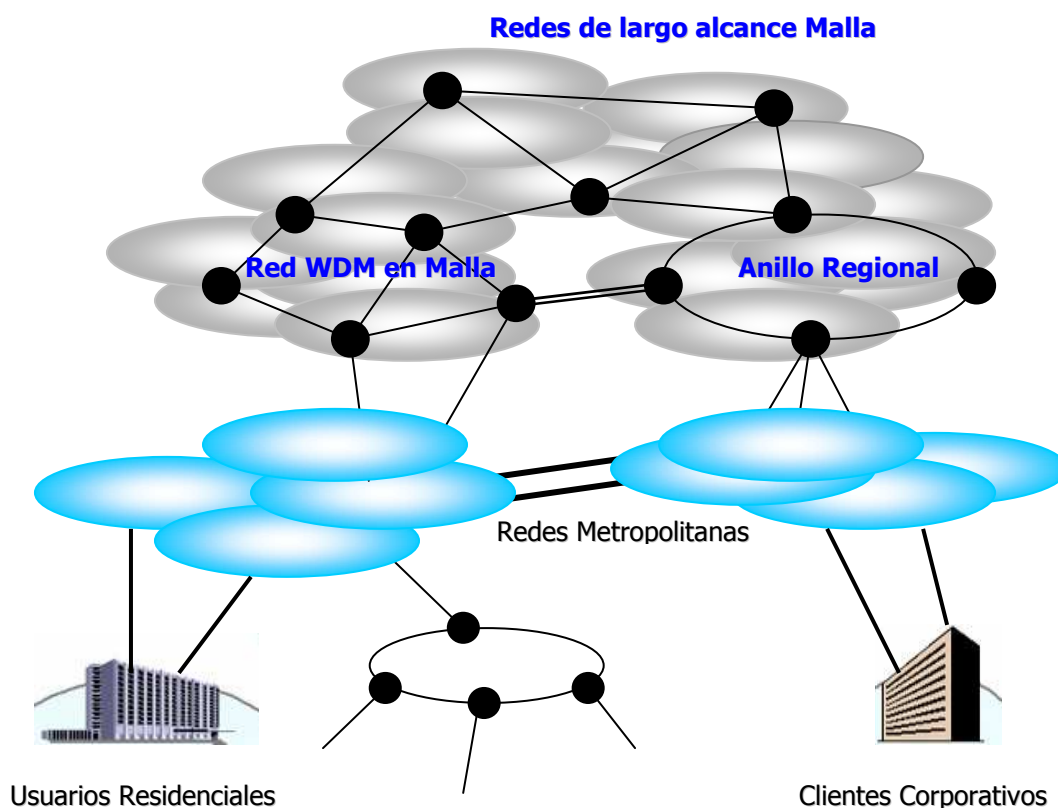


Figura 2.1: Jerarquía de la red óptica. ^[1]

^[1] www.asiem.org

La jerarquía de red óptica se ilustra en la figura 2.1, donde se pueden observar los distintos segmentos o dominios de red que la conforman: redes de largo alcance, redes metropolitanas y redes de acceso.

Su infraestructura actual utiliza la tecnología TDM (multiplexación por división de tiempo), la cual presenta limitación considerable en cuanto a escalabilidad e ineficiencia con respecto al manejo de ráfagas y paquetes ópticos. Estos argumentos marcan la migración hacia una arquitectura escalable y de mayor capacidad, pues solo a partir de sus acertadas soluciones se dará paso a la diferenciación de servicios y por consiguiente a la competitividad.

2.1.1 REDES DWDM ^[2] ^[3]

Este tipo de redes basadas en DWDM (*Dense Wavelength Division Multiplexing*) apareció como un medio para solucionar el problema de agotamiento en la capacidad de SONET/SDH.

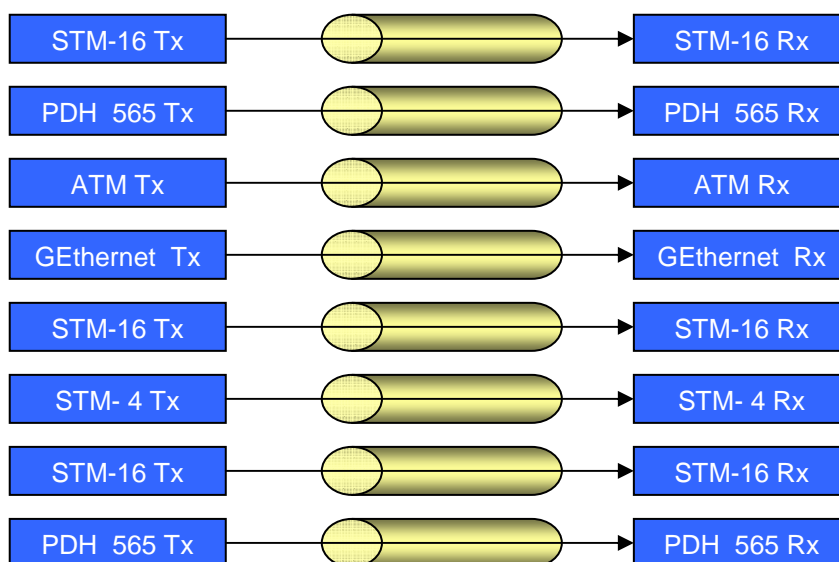


Figura 2.2: Transmisión de las diferentes tecnologías antes de DWDM. ^[2]

^[2] VARGAS Jorge, "REDES ÓPTICAS Y MULTIPLEXACIÓN POR DIVISIÓN DE LONGITUD DE ONDA DENSA".

^[3] CAREGLIO, Davide "QoS PROVISIONING IN OPTICAL PACKET NETWORKS FOR METROPOLITAN AND WIDE AREA ENVIROMENTS".

Con esta tecnología se puede transmitir varias longitudes de onda en una misma fibra óptica. Permitiendo el empaquetamiento de “enlaces virtuales” de tecnologías antiguas (figura 2.2), además de la transmisión de voz, datos, video (Voz sobre IP, video IP, ATM, etc.) y señales SDH por medio de la capa óptica (figura 2.3). Su velocidad de transmisión es mayor a 1 Tbps.

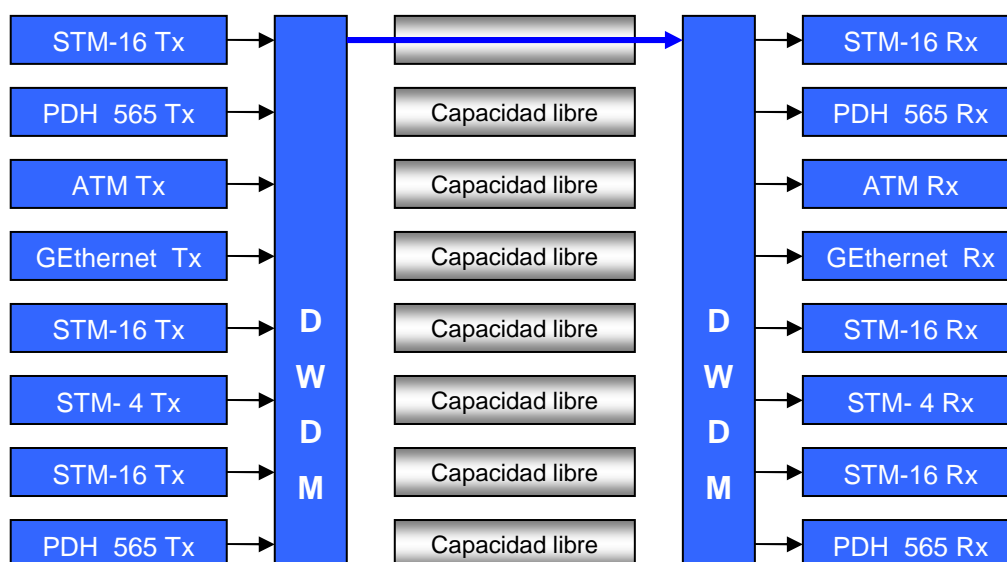


Figura 2.3: Transmisión de varias tecnologías usando DWDM. [2]

En la evolución de esta tecnología se han desarrollado tres generaciones. La primera empezó por WDM, dando prioridad a la combinación de múltiples longitudes de onda en una misma fibra. El número de canales era pequeño (del orden de 16) y la protección se realizaba en las capas 2 ó 3.

En la segunda generación de redes metropolitanas DWDM, se optó por duplicar el número de canales además de introducir protección al anillo y OADMs (*Optical Add/Drop Multiplexers*) estáticos*. El funcionamiento de estas redes se basa en la conmutación entre múltiples anillos metropolitanos, donde las longitudes de onda son demultiplexadas individualmente antes de ser conmutadas o enrutadas, dando lugar a la utilización de conmutadores con gran número de puertos para gestionar el tráfico entre anillos.

* OADM estático: Es un multiplexor óptico Add-drop no reconfigurable, que multiplexa una señal de entrada a una longitud de onda fija de salida, no cuenta con un rango de longitudes de onda.

Estas arquitecturas de red se caracterizan también por soportar tecnologías como: Gigabit Ethernet, ESCON (*Enterprise System CONnectivity*) y SONET/SDH; sin embargo, poseen limitaciones en cuanto a capacidad, costo, escalabilidad y gestión de red. Los cross-conectores ópticos (OXC, *Optical Cross-Connector*) que se utilizan en este tipo de redes (figura 2.4), se encargan de convertir las señales opto-electrónicas tanto a la entrada como a la salida del conmutador, pero dicha conversión requiere transmisores, receptores, fibras y conectores, que aumentan el tamaño del conmutador y por lo tanto disminuyen su fiabilidad, originando así el encolamiento de paquetes. Además estos conectores no cuentan con estándares que regulen la interconexión de longitudes de onda en ambientes donde existen productos de múltiples fabricantes, lo que da lugar a una escalabilidad limitada.

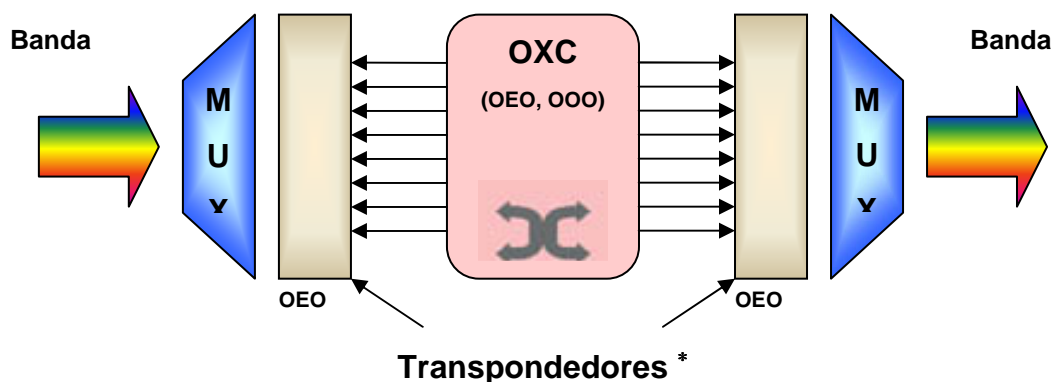


Figura 2.4: Esquema de un OXC (*Optical Cross-Connector*). [1]

Las redes ópticas de tercera generación trabajan directamente en el dominio óptico, con un número de canales ópticos mayor al de generaciones anteriores. Esto les garantiza una mejor gestión de las longitudes de onda y por consiguiente una monitorización sofisticada dentro de cada canal; que se logra por medio de láseres sintonizables y filtros, junto con tarjetas de interfaz de múltiples velocidades. Todas estas características las hacen candidatas idóneas para proporcionar mejores servicios. Para la optimización del funcionamiento de este tipo de redes se propone el uso de varios elementos como: conmutadores WXC

* *TRANSPONDEDOR*: Dispositivo encargado de amplificar la señal de entrada para luego retransmitirla en otra frecuencia y así evitar interferencias.

(*Wavelength Cross-Connectors*), OADMs configurables dinámicamente, transpondedores sintonizables y software de gestión avanzado para controlar la capa óptica.

Por su parte un WXC no requiere el proceso de demultiplexación, utilizado en la conversión O-E-O para conmutar señales, ahorrando de esta manera costos, tamaño y consumo de potencia en el conmutador, además se eliminan los costosos transpondedores utilizados para las conversiones O-E-O y las fibras.

Adicionalmente, los mecanismos de protección de red pueden aprovechar estas funcionalidades para redirigir las diferentes longitudes de onda en caso de que falle algún nodo o enlace.

2.1.2 DWDM EN LAS REDES ÓPTICAS METROPOLITANAS ^[2]

Se ha dado a conocer las ventajas de utilizar redes ópticas transparentes basadas en DWDM, sin embargo siguen siendo necesarias las conversiones O-E-O para realizar funciones electrónicas, que de otra manera resultarían muy complejas, como por ejemplo la regeneración 3R (*Reamplification + Reshaping + Retiming*) de las señales ópticas o la conversión de longitud de onda.

Existen dos posibles esquemas que se pueden emplear para relegar la funcionalidad eléctrica a los extremos de la red y así disminuir el número de conversiones O-E-O.

- a) **Arquitectura basada en "islas" geográficas de transparencia:** Este esquema se basa en la creación de dominios o islas geográficas, cuyos nodos situados en el interior, prescinden de la conversión O-E-O y de la regeneración 3R debido a que las longitudes de onda que viajan en estos dominios, deben recorrer distancias pequeñas. No obstante, las longitudes de onda transportadas entre dos dominios requerirán regeneración 3R y conversión O-E-O en algunos casos.

b) Gestión inteligente del canal óptico extremo a extremo:

En este esquema la conversión O-E-O se asigna a los nodos según sus necesidades, tomando en cuenta la trayectoria de cada canal óptico. Las longitudes de onda pueden ser enrutadas por enlaces diferentes según sus limitaciones. Proporcionando así las siguientes características: minimización del número de transceptores, del tamaño de los conmutadores eléctricos, en caso de ser necesarios, y gestión más flexible del crecimiento de la red.

2.1.3 REDES OPS EN EL AREA METROPOLITANA ^[2]

Las redes de Conmutación de Paquetes Ópticos OPS constituyen un tipo de redes AONs (*All Optical Networks*), que se caracterizan por aprovechar la multiplexación estadística directamente en el dominio óptico, usando enlaces WDM y conversores de longitud de onda para explotar el dominio de la frecuencia y resolver las contenciones. Pueden ser utilizadas tanto en entornos MAN o WAN dependiendo del tipo de aplicaciones.

2.1.3.1 Características de las redes OPS en el área metropolitana

A continuación se detallan los requerimientos más importantes que debe cumplir una red OPS metropolitana:

- **Flexibilidad:** Tiene que ver con el manejo de anchos de banda de diferente capacidad y con el soporte de una amplia gama de protocolos, así como también de la disposición de técnicas que permitan una asignación dinámica de la capacidad, para así explotar de mejor manera los recursos limitados de la red.
- **Costo-Efectividad:** Elección de las topologías de red apropiadas y los protocolos más convenientes.

- **Actualización:** Capacidad de incorporar nuevas tecnologías fácilmente.
- **Escalabilidad:** Capacidad de agregar dispositivos de red fácilmente.
- **Eficacia:** Capacidad para proporcionar *throughputs* altos y retardos pequeños.
- **Calidad de Servicio:** Suministro inmediato de las garantías de servicio a: operaciones críticas de datos, aplicaciones sensibles al retardo y a la interacción entre protocolos MAC de la red MAN y los protocolos de la red de acceso para asegurar QoS a clientes extremo a extremo.
- **Administración del Ancho de Banda:** Para controlar la cantidad de tráfico de alta prioridad introducido en la MAN, evitando así situaciones de congestión.
- **Confiabilidad:** Los elementos de la red deben proteger completamente a los subsistemas, actualizándose aún en el momento de estar en servicio. Esto también incluye estrategias de recuperación de la red, las cuales deben cubrir los fallos y trabajar alrededor de los mismos, para asegurar la disponibilidad de los servicios cruciales.
- **Imparcialidad:** Debe evitarse la inanición de nodos a través de la regulación del uso del ancho de banda.
- **Multicasting:** Soporte eficaz para aplicaciones como videoconferencias o juegos en red.

La utilización de canales WDM en la red permite alcanzar una capacidad muy grande y por su lado la flexibilidad de la multiplexación estadística, garantiza la explotación óptima de los recursos. Sin embargo, la transmisión y recepción de datos por medio de longitudes de onda paralelas dan lugar a dos tipos de colisiones:

1. **Colisión en transmisión:** Se origina el momento en que dos nodos quieren enviar datos simultáneamente a través de la misma longitud de onda del canal.
2. **Colisión en recepción:** Tiene lugar cuando un número de paquetes de diferente longitud de onda deben ser recibidos al mismo tiempo en un nodo que no cuenta con suficientes receptores.

Para evitar este problema, los nodos OPS en las redes MAN cuentan con un *buffer* electrónico que almacena los paquetes provenientes de las redes de acceso y antes de permitir su ingreso, a los canales de longitud de onda compartida, despliega un protocolo de control de acceso al medio MAC (*Medium Access Control*) cuyo objetivo es evitar las colisiones y contenciones. Una vez que un paquete se transmite, éste recorre todo el camino por completo desde su origen hasta el destino sin experimentar ningún retardo adicional. Cabe resaltar que estos procesos dependen de varios aspectos de la red MAN, como lo son: la topología de la red, las arquitecturas del nodo, protocolos MAC y las estrategias de QoS.

Desde el punto de vista de funcionamiento, las redes MAN de estas características pueden trabajar sobre cualquier tipo de topología, sin embargo cuando se trata de redes WDM MAN usualmente adoptan la topología estrella o anillo (como se muestra en la figura 2.5); no obstante, cuando se debe incrementar el número de nodos o el *throughput* de la red global, la tendencia es por topologías compuestas (figura 2.6), donde se puede interconectar Redes Ópticas Pasivas (PON, *Passive Optical Networks*) y anillos a través de un nodo central o *Hub*, formando topologías multi-PON o multi-*ring*.

Por otro lado los sistemas WDM presentan la característica de poder trabajar con diferentes tipos de transmisores y receptores en cualquiera de las siguientes combinaciones:

- **Transmisor(es) fijo(s) y Receptor(es) fijo(s):** FT-FR (*Fixed Transmitter(s) and Fixed Receiver(s)*);

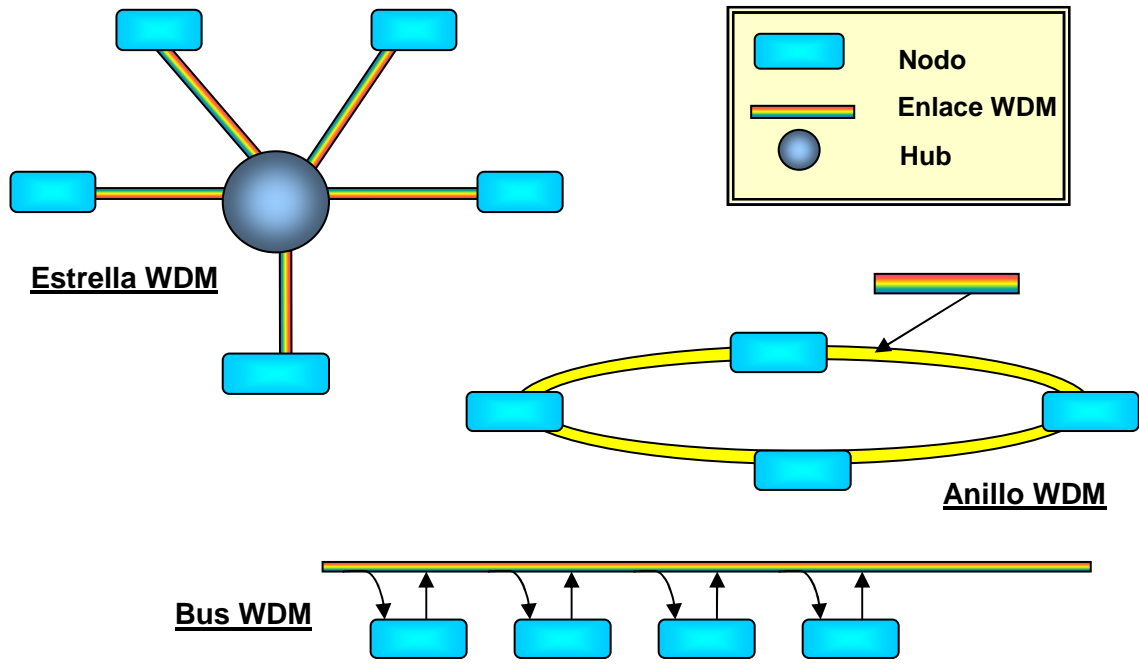


Figura 2.5: Topologías físicas para redes MAN. [3]

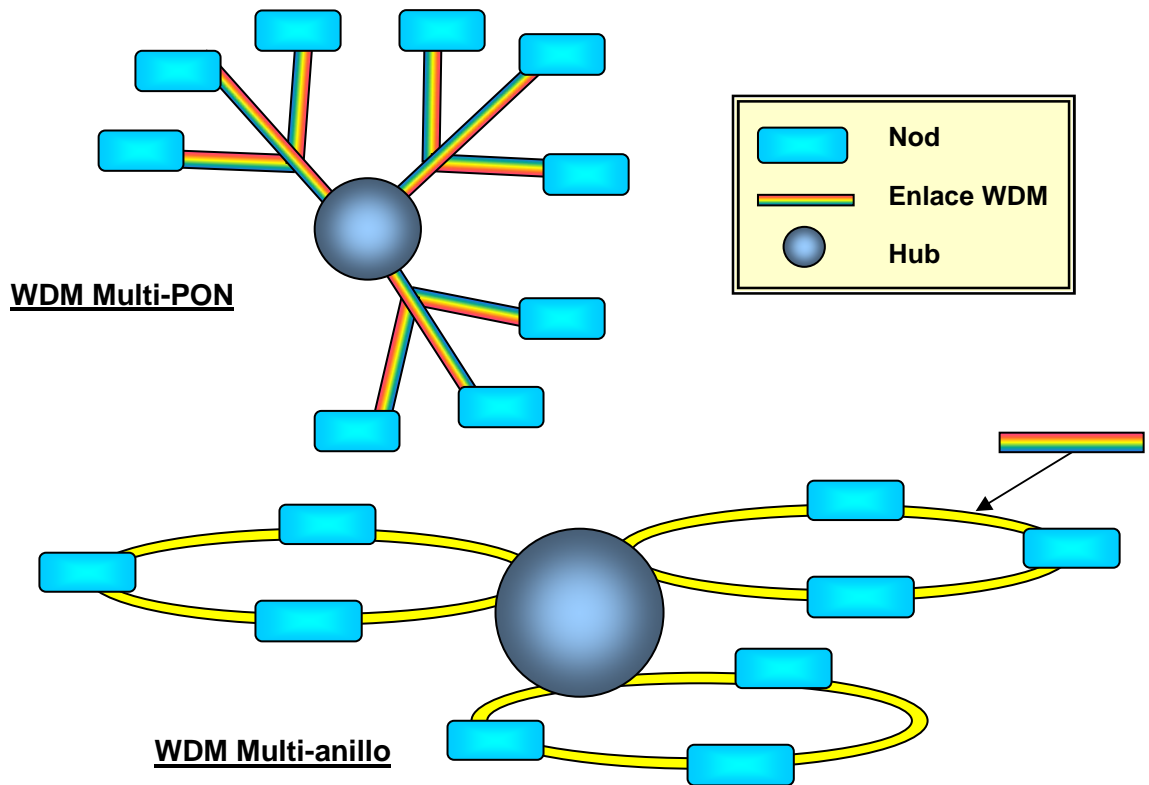


Figura 2.6: Topologías físicas compuestas para redes MAN. [3]

- **Transmisor(es) Selectivo(s) y Receptor(es) fijo(s):** TT-FR (*Tunable Transmitter(s) and Fixed Receiver(s)*);
- **Transmisor(es) fijo(s) y Receptor(es) Selectivo(s):** FT-TR (*Fixed Transmitter(s) and Tunable Receiver(s)*);
- **Transmisor(es) Selectivo(s) y Receptor(es) Selectivo(s):** TT-TR (*Tunable Transmitter(s) and Tunable Receiver(s)*).

Los sistemas más flexibles son los sistemas basados en estructuras TT-TR, que ofrecen escalabilidad, pues pueden ser reconfigurados para nuevos patrones de demanda; sin embargo, deben tratar con el tiempo de *overhead* del canal de conmutación del transceptor. Los sistemas fijos a pesar de estar disponibles en el mercado presentan limitaciones en cuanto al acceso hacia pocos canales; en tanto que las estructuras TT-FR y FT-TR si bien pueden emplear protocolos MAC y no tener problemas de colisiones en un canal, presentan un inconveniente en cuanto al número máximo de nodos que está limitado por el número de canales disponibles.

Las topologías compuestas y de estrella están constituidas por un nodo central (*Hub*), el cual a su vez puede basarse en diferentes tipos de arquitecturas, entre ellas:

- **Passive Star Coupler (PSC):** Éste es un dispositivo de N entradas y N salidas, en el cual la energía que ingresa a cada una de las entradas, se divide igualmente entre todas las salidas. En este tipo de arquitectura el diseño del protocolo MAC se simplifica al difundir cada paquete hacia todos los receptores del *Hub*, pero presenta un bajo rendimiento debido a la redundancia y a las altas probabilidades de colisión en la transmisión hacia sus pódicos de salida. Esta solución es conveniente para disminuir la carga en la red.

- **Arrayed Waveguide Grating (AWG):** Esta arquitectura también consiste de N entradas y N salidas con la diferencia de que provee enrutamiento estático espacial sobre la entrada. Permite la reutilización espacial de la longitud de onda (al contrario del PSC), que consiste en poner cada longitud de onda en los pódicos de entrada del AWG simultáneamente, sin dar lugar a colisiones de transmisión en sus pódicos de salida. El diseño del protocolo MAC es más complejo y algo de la información *feedback*, sobre el uso de los canales, debe enviarse a los nodos del transmisor para evitar colisiones en la transmisión y contenciones en el receptor.

- **Conmutador basado en un SOA (Semiconductor Optical Amplifier):** También es un dispositivo de N entradas y N salidas; el cual provee conectividad completa entre cualquiera de los pódicos de entrada y salida. La configuración del conmutador es regulada por un SCL (*Switch Control Logic*), el cual asigna los recursos de acuerdo a los paquetes de entrada. El diseño del protocolo MAC es el más sencillo de todos, pero el conmutador requiere dispositivos ópticos avanzados.

Muchos de los protocolos MAC hacen uso de los esquemas de acceso aleatorio como ALOHA y CSMA (*Carrier Sense Multiple Access*) o esquemas de acceso controlado como *token ring* y FDDI, adoptándolos en el ambiente WDM con multi-canales de alta capacidad.

Por otro lado se pueden clasificar los diferentes tipos de QoS provistos por las redes MAN estandarizadas dentro de una de las siguientes clases:

- **Isochronous:** Hace referencia a todos los procesos que aseguren el flujo continuo de datos y mantengan la tasa constante en un tiempo dado.

- **Synchronous:** Se refiere a los datos que tienen coacciones en tiempo real y necesitan ser liberados en un tiempo determinado con un máximo retardo y que usualmente tienen ancho de banda reservado.

- **Asynchronous:** Este tipo de datos se caracterizan por utilizar tan solo el ancho de banda sobrante. El servicio asincrónico puede incluir más de un sub-servicio con diferente prioridad entre ellos.

Para proporcionar un rendimiento considerable a las redes de alta capacidad con transmisiones en el orden de los Tbps, las redes OPS basan su funcionamiento en arquitecturas de red avanzadas y compuestas por topologías como WDM PONs y WDM *rings*, como se muestra en la figura 2.7.

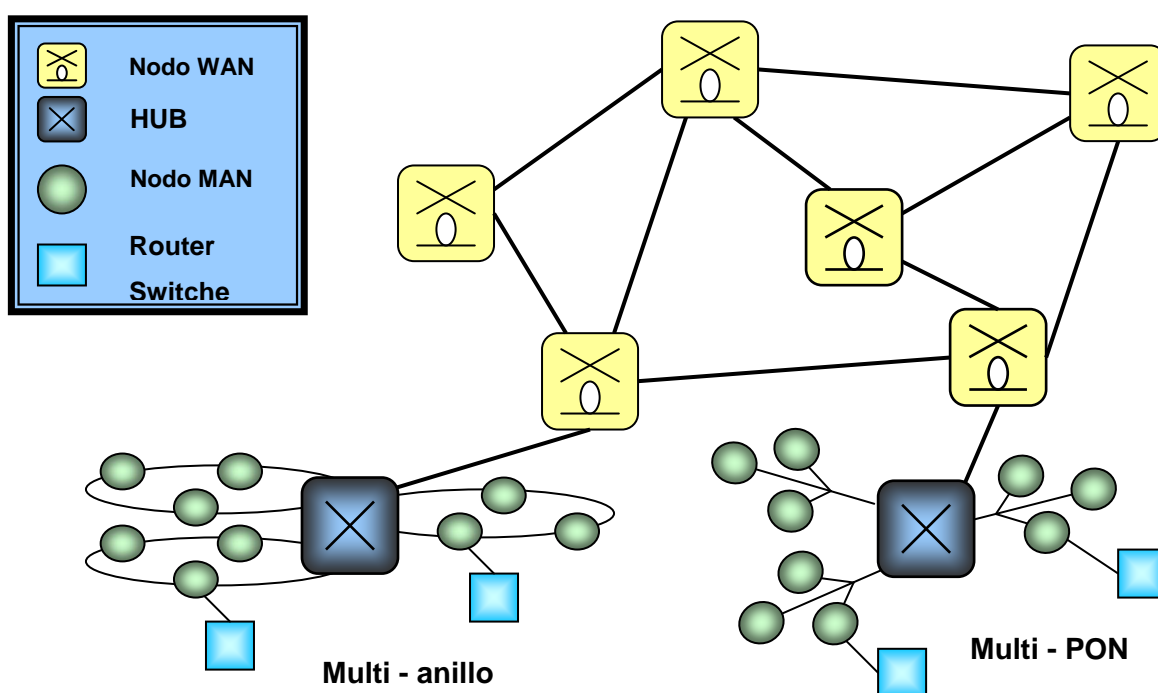


Figura 2.7: Arquitecturas consideradas en redes OPS. [3]

2.1.3.2 Arquitectura WDM MULTI-PON [3] [4] [5] [6]

Una red PON (*Passive Optical Network*) es una red óptica pasiva punto-multipunto, que permite eliminar los componentes activos entre el servidor y el

[4] <http://www.wikipedia.com>

[5] Y. SHACHAF y otros, "MULTI-PON ACCESS NETWORK USING A COARSE AWG FOR SMOOTH MIGRATION FROM TDM TO WDM PON".

[6] KWONG Kae-Hsiang, HARLE David y ANDONOVIC Iván, "WDM PONS: NEXT STEP FOR THE FIRST MILE".

cliente y en su lugar introduce componentes ópticos pasivos para reducir los costos.

Una variedad de arquitecturas de redes ópticas pasivas pueden ser realizadas de acuerdo a la penetración de la fibra. Por ejemplo, si la fibra termina en los predios del usuario final, esta arquitectura de red es denominada *fiber-to-the-home* (FTTH), pero si la fibra termina en el borde del camino se denomina *fiber-to-the-kerb* (FTTK). Sin importar el punto de terminación de la fibra, estas arquitecturas de red son generalmente conocidas como PON y comparten los mismos principios fundamentales de operación.

Las redes PON están formadas principalmente por:

- **Unidad Óptica Terminal de Línea (OLT, *Optical Line Terminal*):** Representa el interfaz entre la red de acceso local con otra red de jerarquía superior y varias unidades ópticas de usuario.
- **Unidad Óptica de Usuario (ONU, *Optical Network Unit*):** Donde se encuentran conectados los usuarios finales.
- **Divisor Óptico (*Splitter*):** Para guiar el tráfico por la red.

Todas las transmisiones en una red PON se realizan entre la OLT (*Optical Line Terminal*), localizada en el nodo central y la ONU (*Optical Network Unit*), ubicada en el domicilio del usuario, a través del divisor óptico cuya función depende del canal, es decir si es ascendente o descendente.

➤ **CANAL DESCENDENTE**

En canal descendente, una PON es una red punto-multipunto donde la OLT transmite una serie de contenidos hacia el divisor, el cual se encarga de repartir a todas las ONUs, que tienen el objetivo de filtrar la información para enviar al usuario solo el contenido que le corresponde.

➤ CANAL ASCENDENTE

Las redes PON son redes punto a punto donde las ONUs transmiten los contenidos a un único OLT. Todos los usuarios se sincronizan a través de un proceso denominado “*Ranging*”.

Para que no se produzcan interferencias entre los contenidos en canal descendente y ascendente, se utiliza la técnica de multiplexación WDM. Al trabajar sobre longitudes de onda diferentes es necesario utilizar filtros ópticos para separarlas después. La evolución de la tecnología óptica ha permitido integrar los filtros ópticos en los transceptores ópticos de los equipos de usuario.

También se utiliza la técnica de multiplexación en tiempo TDMA, para que los equipos ONU puedan enviar sus tramas en canal ascendente, en distintos instantes de tiempo determinados controlados por la unidad OLT; de igual manera ocurre en canal descendente, donde la información se envía en diferentes ranuras de tiempo a los equipos de usuario.

Las redes PON presentan las siguientes ventajas:

- Aumento de la cobertura hasta los 20km, desde la central o nodo óptico, superando la cobertura máxima de la tecnología DSL (*Digital Subscriber Line*) (5Km).
- Ofrecen mayor ancho de banda para el usuario debido a la mayor capacidad de la fibra óptica para transportar información.
- Elevan la calidad de servicio y simplifican el mantenimiento de la red, ya que presentan inmunidad al ruido electromagnético.
- Permiten mayores tasas de transferencia debido a longitudes de onda adicionales.

- Minimizan el despliegue de la fibra gracias a su topología.
- Menores costos que las redes punto a punto ya que simplifican la densidad del equipamiento central.

Evidentemente, las principales características que buscan estas redes son: bajo costo, facilidad de gestión, de configuración y mantenimiento remoto.

Solo en los últimos años de desarrollo de esta tecnología se ha alcanzado su madurez tecnológica, permitiendo su utilización de forma masiva, además posicionándose como la opción preferida para la red de acceso al abonado, una vez agotadas las posibilidades de crecimiento de la tecnología xDSL (*Digital Subscriber Line*). Estas redes prometen a los usuarios un enorme incremento del ancho de banda de la red de acceso hasta las centenas de Gbps.

Para utilizar el ancho de banda efectivamente y por consiguiente incrementar el volumen de suscriptores, se requiere la multiplexación por división de longitud de onda (WDM) para proveer el siguiente paso en el desarrollo de redes PON. WDM-PON (*Wavelength Division Multiplexed Passive Optical Network*) es extremadamente eficiente para la tecnología de transporte óptica en redes de transporte, de acceso y metro.

Estas redes permiten el uso altamente eficiente de la fibra, proveen conectividad óptica punto a punto a múltiples lugares remotos a través de un único alimentador de fibra. La figura 2.8 ilustra una arquitectura general para una red WDM-PON que puede servir para múltiples aplicaciones tanto para clientes residenciales como para empresas.

Esta funcionalidad es posible puesto que cada punto terminal está conectado a la oficina central (CO) a través de un canal óptico bidireccional dedicado. Esta arquitectura virtual PON punto a punto permite:

- Gran ancho de banda garantizado
- Velocidad de transmisión independiente

- Transparencia de protocolo
- Escalabilidad
- Alta QoS
- Seguridad y privacidad.

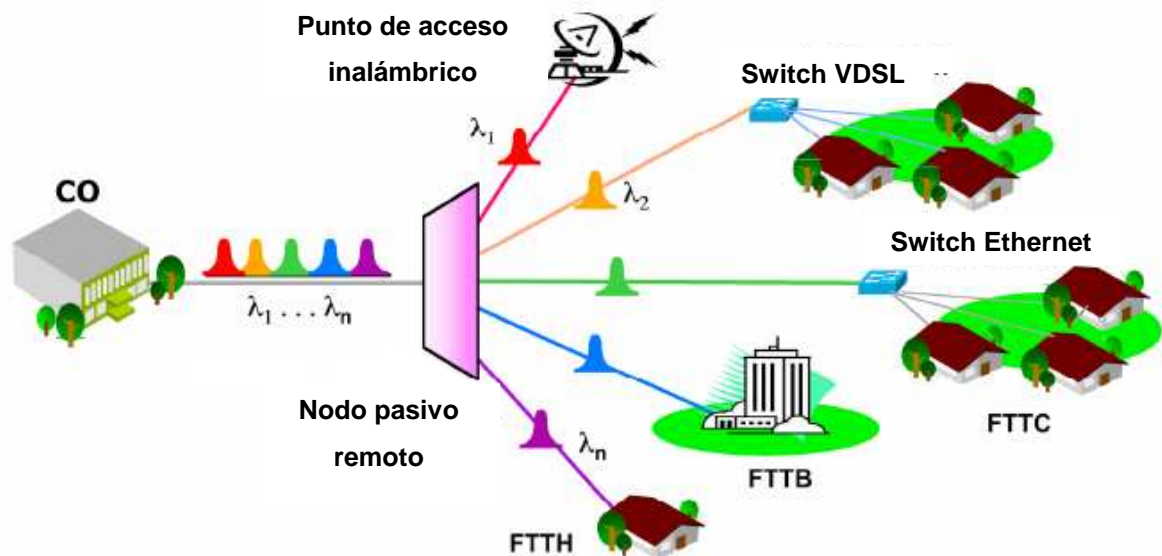


Figura 2.8: WDM-PON soporte de múltiples servicios. ^[7]

Cuando varias WDM-PONs unidireccionales y ranuradas se interconectan en topología estrella a través de un *Hub* central, se denominan redes Multi-PON. El *Hub* conecta las PONs a al menos un ruteador óptico de paquetes en el *backbone*. Los nodos están conectados a las PONs y proveen un interfaz electro/óptico para ruteadores/conmutadores frontera al final de las redes de acceso, por medio de una variedad de interfaces (Ruteadores IP o Conmutadores Ethernet).

Los nodos pertenecientes a la misma PON comparten el mismo grupo de recursos requiriéndose así un protocolo de acceso al medio para arbitrar el acceso.

^[7] NOVERA OPTICS, Inc. "WDM-PON FOR THE ACCESS NETWORK".

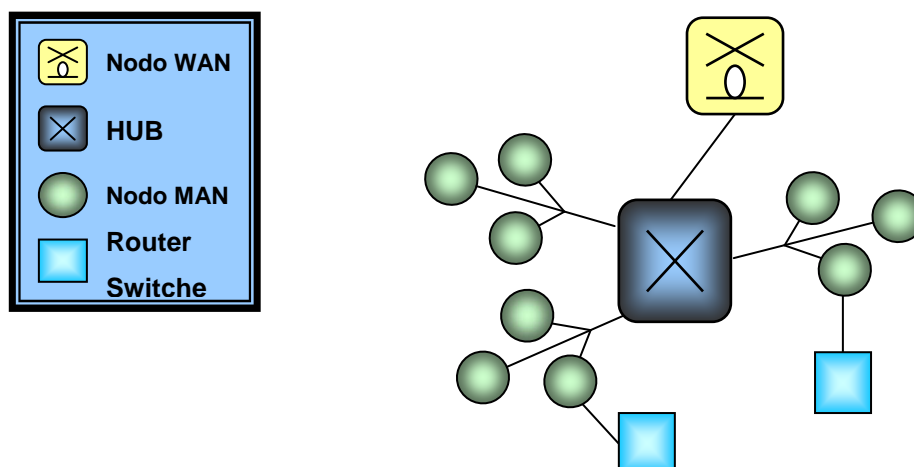


Figura 2.9: Arquitectura Multi-PON. [3]

El *Hub* es un dispositivo óptico espacial de $N \times N$ puertos, en el que uno o más de sus puertos se dedican a la conexión con una red WAN, figura 2.9. No está disponible el almacenamiento en el *Hub*; por lo tanto el almacenamiento es hecho electrónicamente en los nodos. El *Hub* se comporta como un conmutador entre las PONs. Las interconexiones de las PONs son modificadas dinámicamente siguiendo un algoritmo de planificación. Esto se realiza en forma centralizada en el *Hub*, sin embargo algunas decisiones pueden ser descentralizadas en los nodos de red. Los nodos deben tener oportunidades de acceso en proporción a una matriz de solicitudes, mientras evitan colisiones y contenciones. La matriz de solicitudes se crea en el *Hub* y puede calcularse utilizando requerimientos explícitos de ancho de banda emitidos por los nodos, estimados con medidas de tráfico o predefinido por el operador de la red.

Para estos escenarios es razonable pensar que aplicaciones multimedia e interactivas ocuparán gran parte del ancho de banda, por lo que es necesario incorporar técnicas para proporcionar QoS, lo cual se estudiará más adelante.

El *Hub* es un AWG (*Array Waveguide Grating*) que interconecta varios nodos a través de Redes Ópticas Pasivas (PONs). Cada PON tiene atribuidos un número de nodos que pueden ser ruteadores, redes de acceso, *gateways* hacia o desde

el núcleo de las redes o cualquier otra clase de nodo de red. Las funciones de conmutación (conmutación de tiempo y conmutación lambda) son distribuidas entre los nodos y el AWG.

Los nodos tienen *buffers* electrónicos, donde los paquetes electrónicos son almacenados y agregados dentro de paquetes más grandes antes de entrar al dominio óptico. Para cada paquete, el nodo manda una solicitud al controlador de red (NC), el cual es el responsable de asignar los recursos de red planificando las solicitudes.

2.1.3.2.1 Protocolo MAC

Debido a que la red emplea recursos compartidos, se requiere un protocolo MAC (*Medium Access Control*), para que la información fluya sin problemas a través de la red y evitar colisiones producidas por la transmisión simultánea (múltiples transmisiones en la misma ranura de tiempo) y contenciones en el receptor (más de un nodo tratando de transmitir a un mismo receptor al mismo tiempo).

La red emplea recursos compartidos basados en WDMA/TDMA (*Wavelength Division Multiple Access, Time Division Multiple Access*) donde el tiempo está organizado en tramas, cada trama contiene F ranuras, como se ilustra en la figura 2.10. Las ranuras operan en paralelo y están sincronizadas entre todas las longitudes de onda, en la misma PON, por lo tanto una multiranura (una ranura por cada longitud de onda además de la ranura de control) está disponible a cada nodo en cada ranura de tiempo. La ranura de control es particionada en M mini ranuras.

Como una consecuencia de este esquema, los nodos ven a la red como un grupo dinámico de subredes TDMA (una por longitud de onda), por lo tanto requieren un protocolo MAC basado en un esquema de demanda de ancho de banda. El nodo que desee transmitir debe primero enviar una petición (utilizando una mini-ranura) al NC, indicando la dirección del nodo destino y la cantidad de ranuras requeridas

para transmitir el paquete. El controlador de red planifica las solicitudes de extremo a extremo entre nodos. Cuando una solicitud ha sido exitosamente planificada, el NC advierte al nodo, la ranura de tiempo y la longitud de onda del canal asignado al paquete.

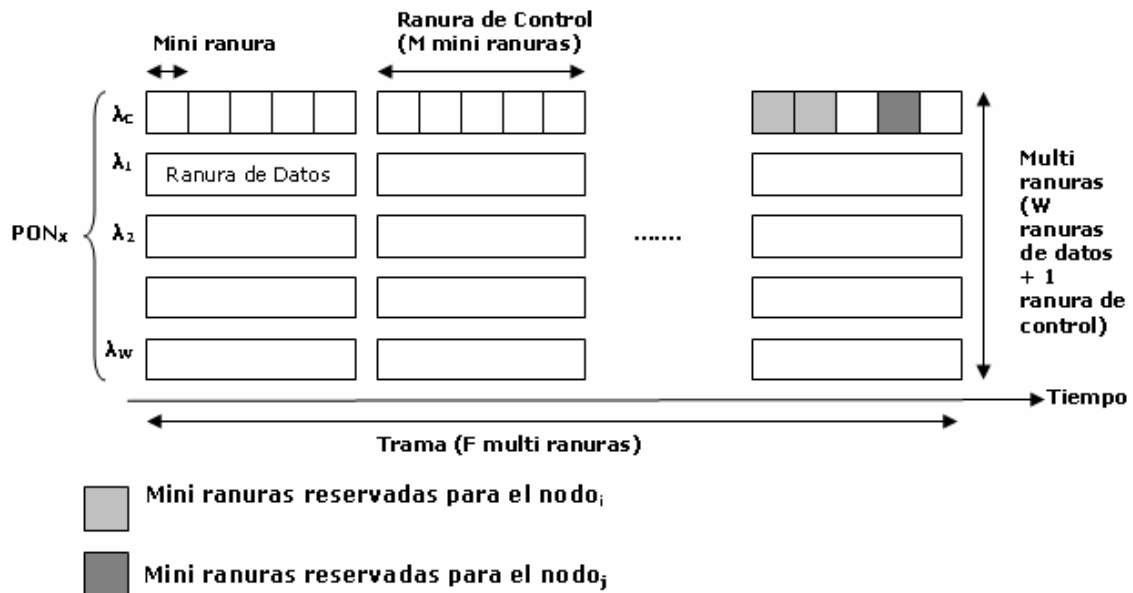


Figura 2.10: Estructura de temporización de los canales de longitud de onda. [3]

2.1.3.2.2 Algoritmos de planificación

El alto *throughput* de esta red y el largo número de nodos hacen impráctica la implementación de algoritmos óptimos. Entre todas las posibles soluciones se han considerado dos algoritmos de planificación:

- a) Algoritmo *Greedy*
- b) Algoritmo basado en trama (*Frame-based*)

a) El algoritmo *Greedy* separa el dominio del tiempo del dominio de longitud de onda, usando dos algoritmos diferentes:

- **Asignación de Ranura (SA, Slot Allocation):** Algoritmo que opera siempre sobre una longitud de onda fija dada, su topología de configuración está basada en un grupo de matrices, las cuales proveen un mapa de los recursos disponibles de la red. De acuerdo con los contenidos de estas matrices, los algoritmos seleccionan las solicitudes que serán aceptadas, las mismas que se basan en un esquema de rotación prioritario.
 - **Diseño de Topología Lógica (LTD, Logical Topology Desing):** Algoritmo que pretende obtener una asignación eficiente de longitudes de onda disponibles, a fin de reducir la tasa de asignación de ranura fallida.
- b) El algoritmo basado en trama (*frame-based*) requiere dos pasos para cada trama a saber: F-agrupaciones y la Asignación de Ranuras de Tiempo (TSA, *Time Slot Assigment*). El problema de F-agrupaciones consiste en encontrar el máximo subgrupo de paquetes admisibles que pueden ser planificados en una trama de longitud de F ranuras. El problema de TSA consiste en la planificación, a través del conmutador, del grupo de ranuras aceptadas que no están en contienda en la trama y la asignación de canales de longitud de onda para ellas.

Para un conmutador $N \times N$, el algoritmo de F-agrupaciones selecciona, al final de la trama actual, un grupo de $N \times F$ paquetes que no estén en contienda para transmitirlos en las ranuras pertenecientes a la próxima trama. El algoritmo de agrupación (*matching*) acepta el grupo de paquetes que no están en contienda, satisfaciendo siempre las siguientes dos propiedades:

- El número de paquetes aceptados desde cada puerto de entrada no puede ser mayor que F ,
- El número de paquetes aceptados a cada puerto de salida no puede ser mayor que F .

De acuerdo con estas restricciones, el algoritmo de agrupaciones (*matching*) funciona a través de las tres fases bien conocidas:

1. **Solicitar:** Cada cola solicita un número de ranuras desde el correspondiente puerto de salida en la trama,
2. **Permitir:** Cada puerto de salida emite hasta F permisiones distribuidas entre las colas destinadas para esa salida.
3. **Aceptar:** Cada puerto de entrada acepta hasta F permisiones recibidas en el puerto, donde cada aprobación recibida por una cola da el derecho para utilizar una ranura en la siguiente trama.

2.1.3.3 Arquitectura WDM MULTI-ANILLO ^[3]

Una arquitectura de múltiples anillos o multi-*ring* se encuentra constituida por un número de anillos WDM de dimensiones metropolitanas, unidireccionales y ranurados, los cuales toman el tráfico de todos los nodos a los que se encuentran interconectados. Por medio de un *Hub* que actúa como nodo central y un conmutador de paquetes, los anillos WDM pueden estar interconectados con otros, el *Hub* es el encargado de administrar los recursos de la red, característica que distingue a una arquitectura multi-*ring* de cualquier otro tipo de redes ópticas de anillos. En este ambiente los dominios de la red pueden ser creados a partir de la separación de los anillos o a su vez por el particionamiento del ancho de banda en diferentes porciones por separado.

Uno de los aspectos importantes de esta arquitectura es la utilización del *Hub*, el cual cumple con la función de un conmutador de paquetes ópticos, basado en un SOA (*Semiconductor Optical Amplifier*), dirigiendo diferentes paquetes ópticos a sus correspondientes redes de anillos e interconectando toda la red metropolitana con la red de *backbone* WAN a través de un *gateway* electrónico, soportando de esta manera una gran cantidad de tráfico (en el orden de los Tbps). En esta arquitectura existe también un controlador que cumple con un papel muy importante como lo es la configuración del *Hub*, este dispositivo también es el

encargado de administrar o explotar los canales de cada anillo conectado a la red, para calcular las permutaciones de conmutación.

Los nodos por su lado se encuentran compuestos por una parte electrónica y otra parte óptica, la primera se encarga de la adaptación con las capas de cliente y del almacenamiento de los paquetes, en tanto que a nivel óptico se proponen dos arquitecturas de nodo para introducir progresivamente a las futuras tecnologías de paquetes ópticos.

Las dos arquitecturas se diferencian en su aproximación a corto y largo plazo. Las primeras fueron creadas para limitar la implementación de tecnologías ópticas avanzadas y en su lugar utilizar tecnologías comerciales y maduras. Se encuentran conformadas por estructuras pasivas como; acopladores ópticos y filtros ópticos *off-line* para minimizar problemas físicos cuando los nodos se conecten en cascada como se indica en la figura 2.11.

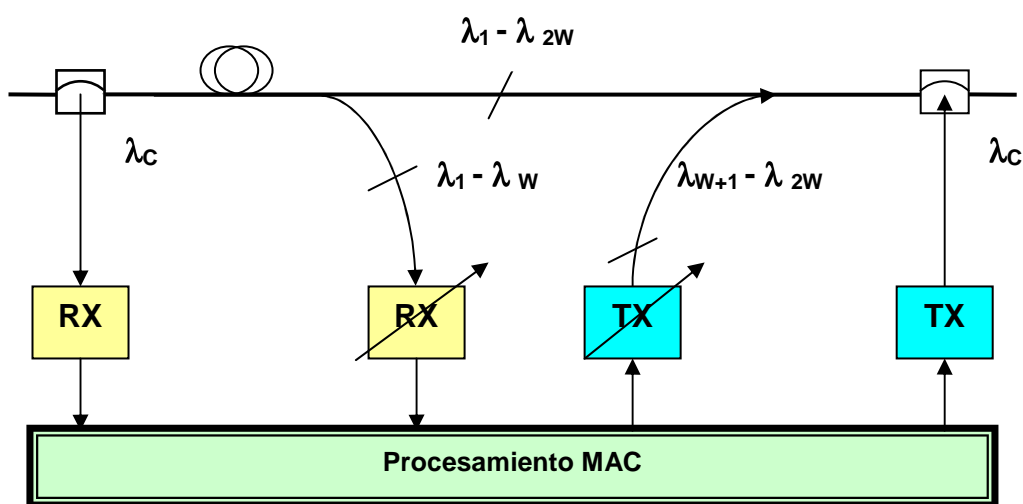


Figura 2.11: Arquitectura del nodo PMR con separación de transmisión y recepción. ^[3]

Esta es una estructura pasiva denominada *Passive Multi-Ring* (PMR) o multi-anillo pasivo, la cual no cuenta con la etapa de descarte de paquetes, de manera que los nodos mantienen todos los paquetes en el anillo, simplemente copiando los paquetes dirigidos a ellos.

En esta arquitectura los canales ascendentes (*upstream*) y descendentes (*downstream*) se encuentran separados espectralmente para permitir una operación *add and drop* en la misma ranura. Por otro lado los nodos acceden al anillo usando grupos de longitudes de onda por separado: W para transmisión y W para la recepción.

Los datos son enviados por los nodos interconectados a través de las longitudes de onda de transmisión y el *Hub* los conmuta a longitudes de onda de recepción, puesto que debe proveer conversión de longitud de onda.

La segunda estructura de nodo se considera como una aproximación a largo plazo que se caracteriza por permitir la capacidad de supresión (figura 2.12), la cual retira el paquete en el destino, dando lugar a la reutilización de la longitud de onda, es decir, los paquetes circulan solamente a lo largo del anillo entre la fuente y los nodos de destino. Esta solución se denomina *multi-ring activa* (*active multi-ring*) o simplemente multi-anillo (*Multi-Ring MR*). En este caso, los nodos utilizan el mismo grupo de longitudes de onda W para la transmisión y la recepción.

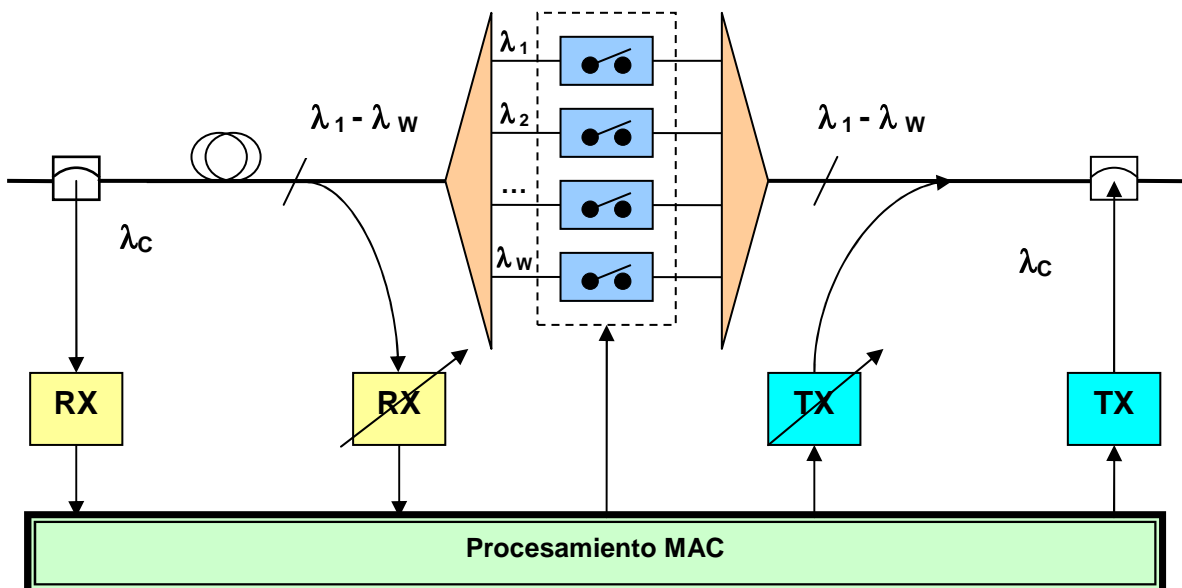


Figura 2.12: Arquitectura de un Nodo MR con capacidad de supresión. ^[5]

2.1.3.3.1 Protocolo MAC ^[3]

Debido a que los anillos constituyen medios compartidos y necesitan controlar el acceso a sus ranuras, requieren un protocolo de acceso al medio MAC, que regule las dimensiones de tiempo y longitud de onda.

En los nodos del anillo se encuentra presente un algoritmo de asignación, que es el encargado de evitar las contenciones y las colisiones, el cual basa su funcionamiento en la utilización del canal de control. Solamente el canal de control puede ser convertido al dominio electrónico para realizar el procesamiento en cada nodo del anillo, mientras que en el dominio óptico permanece el volumen de información del usuario hasta su destino final en el extremo del anillo. La información de la ranura de control incluye el estado de las ranuras de datos (vacío o usado) y la dirección de destino de los paquetes correspondientes de los datos.

2.1.3.3.2 Algoritmo de planificación ^[8]

Como se explicó anteriormente el *Hub* interconecta diferentes anillos y los intercomunica con la WAN a través de un puerto denominado *gateway*, el mismo que realiza las adaptaciones necesarias para la interconexión, este puerto es tratado por el *Hub* como otro anillo óptico. De esta manera el *Hub*, en cada ranura temporal, aplica una permutación, que no es más que una operación equivalente a la conmutación de multi-ranuras.

Un claro ejemplo de esta operación se muestra en la figura 2.13 en donde la permutación aplicada por el *Hub* se realiza empleando 4 anillos lógicos. Las congestiones no tienen lugar debido a que el número de longitudes de onda es igual para cada anillo con lo que se evitan las colas y posibles bloqueos en el *Hub*.

^[8] CAREGLIO Davide, GINER Guillermo y otros, "EVALUACIÓN DE LA RED ÓPTICA METROPOLITANA MULTI-ANILLO DEL PROYECTO DAVID".

En cuanto al algoritmo de asignación de recursos; primero se define un ciclo de medida, cuya longitud se denota por F ranuras temporales. Durante este proceso el *Hub* se encarga de monitorear el uso de las ranuras asignadas a cualquier par de anillos. Tal monitoreo del tráfico anillo-anillo se lo puede realizar a partir de medidas de distribución de carga sobre diferentes anillos en el *Hub* o sobre las reservaciones hechas por los nodos del anillo mediante señales de control.

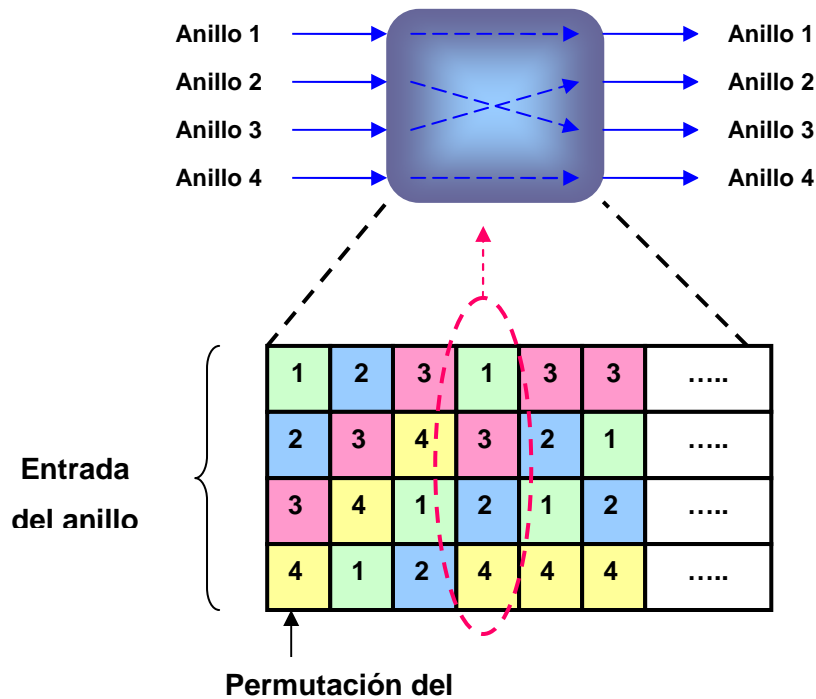


Figura 2.13: Funcionamiento esquemático del Hub [8]

El *Hub* es el encargado de conceder un nuevo grupo de permutaciones, al final del ciclo de medida, para ser utilizadas por el siguiente ciclo de medida. El *Hub* actúa en forma similar a un conmutador de desbloqueo, ya que es reconfigurado en cada ranura de tiempo y además puede resolver la contención a partir de la explotación de la conversión de las longitudes de onda. El manejo de las permutaciones es realizado en cada ranura de tiempo, desde los anillos de entrada hasta los anillos de salida. La permutación es la misma para todas las longitudes de onda de cada anillo y además es conocida por cada ranura de tiempo en cada anillo, en cada ranura de tiempo el *Hub* marca la identidad del

anillo destino al que serán enviados los paquetes transmitidos en la multi-ranura, de manera que los nodos puedan transmitirlos en las ranuras que se encuentren libres.

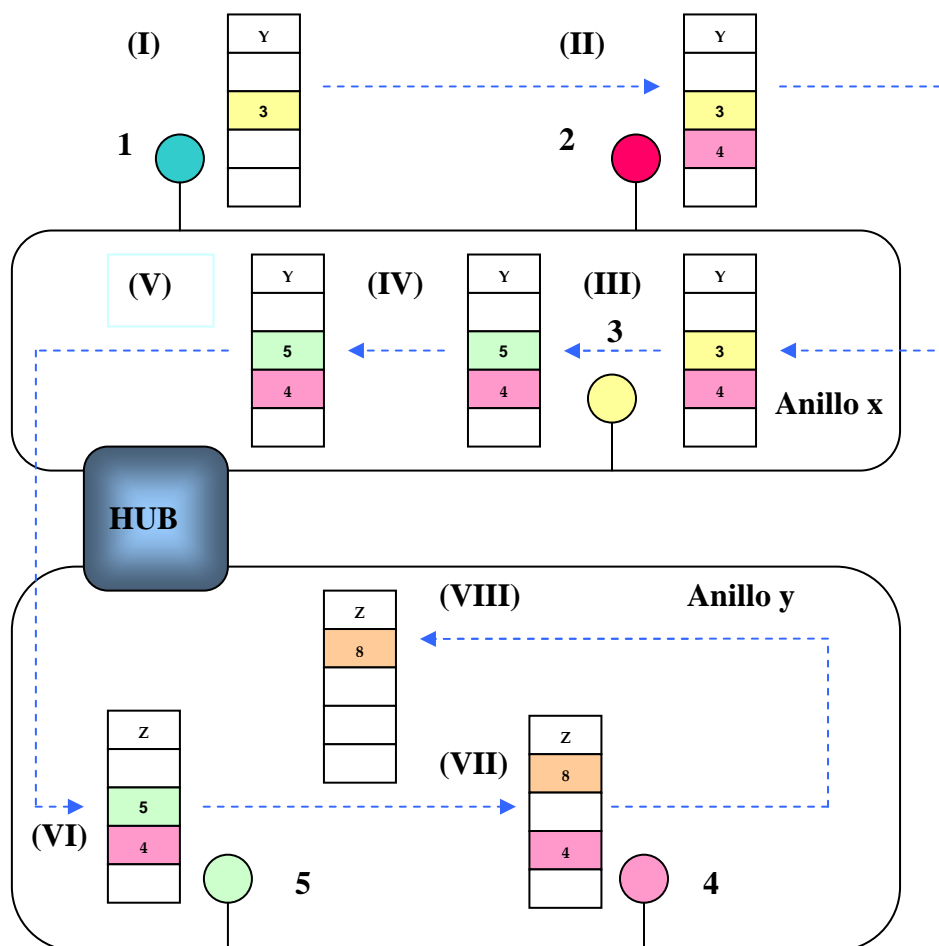


Figura 2.14: Envío de multi-ranuras en el multi-anillo. Los colores en las ranuras representan los destinos del paquete. ^[3]

Como lo indica la figura 2.14, cada multi-ranura sigue una secuencia determinada sobre el anillo, también se puede observar que los nodos del anillo **x** están encargados de transmitir los datos que pasarán por el *Hub* hasta llegar a los nodos del anillo **y** (pasos 2 al 4). El anillo **x** donde se realiza la transmisión es conocido como el anillo **upstream**, en tanto que el anillo **y** en donde tiene lugar la recepción se lo conoce como el anillo **downstream**.

2.1.3.3.3 *El proyecto DAVID* ^[7]

En la actualidad, el crecimiento de la demanda de ancho de banda así como la mayor exigencia en cuanto a prestaciones (tiempos de respuesta, fiabilidad, privacidad, QoS, etc.), son atendidas por medio de tecnologías como DWDM y también a través de la migración de los sistemas punto a punto hacia redes de conmutación de circuitos ópticos (OCS, *Optical Circuit Switching*).

En relación a las redes OCS, los organismos principales de estandarización se encuentran trabajando en el modelo ASON/GMPLS (*Automatic Switching Optical Network / Generalized Multiprotocol Label Switching*). Sin embargo este modelo no aprovecha todo el potencial de la tecnología óptica para la explotación de los recursos, por lo que se presenta como alternativa la conmutación de paquetes ópticos (OPS, *Optical Packet Switching*), que es un modelo que aprovecha de mejor manera la tecnología óptica porque su funcionamiento está basado en la multiplexación estadística* (explotación más dinámica de los recursos).

El proyecto DAVID (*Data And Voice Integrated over DWDM*, IST-1999-11742) se plantea como una solución viable para el entorno OPS, desarrollando nuevas tecnologías para las futuras redes de telecomunicaciones totalmente ópticas. La Universidad Politécnica de Cataluña es la actual responsable en desarrollar los avances en todo lo que concierne al entorno metropolitano, incluyendo evaluaciones del protocolo MAC por medio de simulaciones, diseños de mecanismos para proporcionar QoS y evaluaciones de posibles arquitecturas.

La red del proyecto DAVID consta de una arquitectura compuesta por entornos de área metropolitana (MAN) así como también de área extendida (WAN) como lo muestra la figura 2.15.

* MULTIPLEXACIÓN ESTADÍSTICA: Consiste en transmitir los paquetes de aquellas longitudes de onda que tengan información para transmitir, sin seguir una secuencia, ya que ningún paquete cuenta con un ancho de banda reservado para el envío.

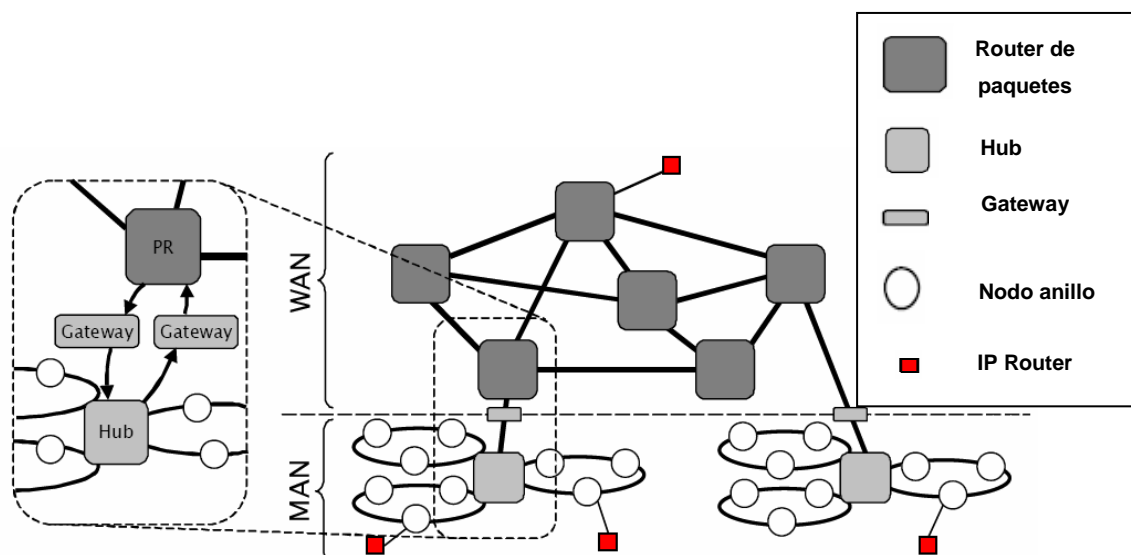


Figura 2.15: Arquitectura de la Red Metropolitana DAVID [4]

Las redes MAN se encuentran conformadas por uno o varios anillos ópticos todos interconectados por un *Hub* central (como lo indica la figura 2.16), también llamado conmutador óptico espacial de 4x4 puertos, que a su vez los interconecta a la red WAN por medio de un *gateway*. Cada anillo óptico se encarga de interconectar varios nodos que utilicen un protocolo de acceso al medio MAC (*Medium Access Control*), a partir de una fibra óptica que puede transportar hasta 32 longitudes de onda a una velocidad de 10 Gbps, llegando a conseguir un *throughput* teórico de 1.28 Tbps.

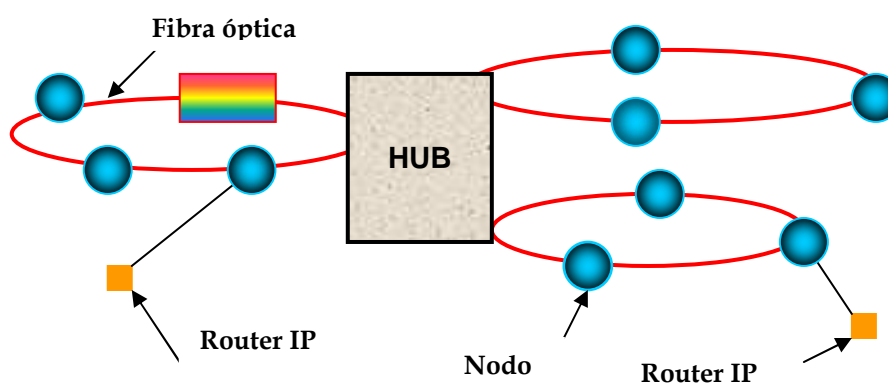


Figura 2.16: Interconexión del *Hub* con varios anillos ópticos. [8]

En la actualidad no es posible operar con las 32 longitudes de onda simultáneamente, debido a razones de escalabilidad y flexibilidad, por este motivo los anillos son divididos a nivel lógico para dar lugar a bandas, con 4 longitudes de onda, de las cuales solo algunas son utilizadas por los nodos conectados en una misma fibra, de manera que un solo anillo puede actuar como ocho anillos ópticos por separado. Además para tareas de control y gestión de red, este sistema cuenta con una longitud de onda extra que transporta toda la información requerida por el protocolo MAC.

Las longitudes de onda, en cada anillo lógico, se encuentran ranuradas para poder transmitir paquetes ópticos (ranuras de duración fija entre 500 ns y 1 μ s) perfectamente alineados entre si, de tal forma que en un mismo anillo óptico se puedan agrupar para formar una multi-ranura, que constituye la mínima unidad que un *Hub* puede conmutar de manera conjunta entre sus diferentes puertos lógicos (pues cada uno de sus 4 puertos físicos se convierte en 8 puertos a nivel lógico). Por último, las multi-ranuras en conjunto conforman tramas de duración fija de F multi-ranuras. Por lo que se precisa la utilización del esquema de acceso combinado WDMA/TDMA (*Wavelength Division Multiple Access* y *Time Division Multiple Access*) en la arquitectura de la red metropolitana.

2.2 ESTUDIO COMPARATIVO DE COSTO/PRESTACIONES DE LAS ARQUITECTURAS MULTI-PON Y MULTI-RING CON SDH Y ETHERNET.

En ésta sección se elegirá la mejor propuesta entre las topologías WDM Multi-PON y WDM Multi-ring, para su posterior comparación con las tecnologías de transporte de información más representativas en la actualidad (SDH y ETHERNET). De esta manera se presentará las ventajas a las que conllevaría la implementación de una red OPS con la mejor alternativa en relación a las tecnologías mencionadas.

2.2.1 EVALUACIÓN ENTRE MULTI-PON Y MULTI-RING ^{[4] [9] [10]}

Una vez conocido el funcionamiento de los dos tipos de arquitecturas de red WDM Multi-PON y Multi-rings, utilizadas en la tecnología OPS, se darán a conocer sus ventajas y desventajas para determinar la mejor solución en el entorno metropolitano.

Los dos tipos de red comparten recursos basados en WDMA/TDMA. En cada anillo (PON) se encuentran disponibles W longitudes de onda además de un canal de control de red. Tanto anillos como PONs comparten el medio, requiriendo un protocolo MAC para regular dimensiones de tiempo y longitud de onda. Para el caso de Multi-ring, los nodos pueden decidir si transmiten y/o reciben paquetes simplemente chequeando la ranura de control, por lo tanto puede utilizarse un protocolo MAC distribuido. Para Multi-PON esto no es posible debido a que los nodos no pueden conocer la ocupación de la multi-ranura hasta que ésta alcanza el *Hub*, entonces debe adoptarse un protocolo MAC centralizado.

Por otra parte, las redes WDM PON son sistemas que asignan una longitud de onda por separado a cada suscriptor facilitando la entrega de 100Mbps más del ancho de banda dedicado por suscriptor sobre la unidad de red óptica (ONU). Además WDM PONs pueden soportar la transmisión de cualquier servicio, incluyendo Gigabit Ethernet, *Fiber Channel*, ATM y FDDI. Las WDM PONs tienen la habilidad única para soportar cualquier mejora del ancho de banda sin alterar la infraestructura física.

Este tipo de redes se caracterizan porque las principales funciones, almacenamiento y asignación de los recursos de red, son puestas en los ENs (*Edge Nodes*) y en el NC (*Network Controler*), permitiendo que los paquetes ranurados de longitud variable puedan ser acomodados, debido a que la asignación de los recursos de red se basa en la reservación de ranuras. La fácil

[9] SPADARO Salvatore, "MODELLING AND OPTIMIZATION OF THE IST DAVID METRO NETWORKS"

[10] CAREGLIO Davide, "PERFORMANCE EVALUATION OF INTERCONNECTED WDM PONs WITH QoS PROVISIONING"

integración de diferenciación de QoS que añade funcionalidades solo en los ENs permite que la complejidad del dominio óptico sea minimizada. Sin embargo, la protección de la red para tolerar fallas y garantizar su operación puede resultar costosa y las tareas del NC pueden ser complejas.

Los resultados obtenidos en estudios realizados en [3] indican que la propuesta multi-ring parece comparable o superior que multi-PON ya que es una solución viable en un entorno de área metropolitana para las futuras redes ópticas de alta capacidad, debido a su alto rendimiento al aprovechar la reutilización espacial de los recursos. Además permite una fácil implementación de mecanismos de protección en caso de fallos, tiene mejor rendimiento y bajo costo para la introducción de la tecnología OPS. Debido a su topología permite introducir fácilmente nuevos nodos mejorando así la escalabilidad.

2.2.2 COMPARACIÓN DE LAS TECNOLOGÍAS SDH Y ETHERNET CON MULTI-RING. ^[3]

Debido a que las redes OPS basadas en las arquitecturas estudiadas anteriormente (Multi-PON y Multi-ring) están pensadas para un futuro aún lejano, se debe utilizar la simulación y/o métodos analíticos para determinar los recursos requeridos para las arquitecturas de OPS, por lo tanto para realizar una comparación con las arquitecturas tradicionales, anillos SDH y Ethernet en estrella, estas redes deben estar bajo los mismos parámetros de simulación. La utilización de una herramienta de software para la simulación, no está dentro del alcance del presente trabajo por lo que se toma como referencia los estudios desarrollados para el proyecto DAVID (*Data And Voice Integration on DWDM*), esta información es de carácter restringido, por lo que se menciona solo la parte disponible y que es suficiente para alcanzar el objetivo de este estudio.

El estudio está restringido al siguiente escenario de red: un *Hub* y 16 nodos distribuidos sobre una red en anillo de 100km. Se considera cuatro diferentes tipos de nodos los cuales son: 1 nodo servidor, 2 nodos grandes, 4 nodos

medianos y 9 nodos pequeños. También son considerados tres diferentes volúmenes de tráfico medio: 20Gbps, 40Gbps y 80Gbps.

Tabla 2.1: Tipo de nodo y suposiciones de tráfico. ^[3]

Tipo de nodo	Cantidad de nodos	Porcentaje de Tráfico Upstream por nodo	Porcentaje de Tráfico Downstream por nodo
Servidor	1	20.00%	2.40%
Grande	2	3.20%	8.40%
Mediano	4	1.60%	4.80%
Pequeño	9	0.80%	2.40%
Total	16	40.00%	60.00%

En adición se fija la relación entre el tráfico ascendente (*upstream*) y descendente (*downstream*) en la red y el número de nodos por tipo de anillo lo cual se resume en la tabla 2.1. El número de nodos fueron escogidos para poder comparar con el limitado tamaño de los anillos SDH, mientras la longitud del anillo fue escogida para que sea compatible con los estudios realizados en el proyecto DAVID.

También es necesario adoptar la arquitectura del nodo sobre la cual se realizará el análisis. Las figuras 2.17 a) y 2.17 b) muestran las arquitecturas de los nodos para ETHERNET y SDH respectivamente. Donde: Tx: transmisor, Rx receptor, DMUX: Demultiplexor de Longitud de onda; MUX: Multiplexor de Longitud de onda; NPR: Receptor de procesamiento de red (*Network Processing Receiver*) NPT: Transmisor de procesamiento de red (*Network Processing Transmitter*); SW: Conmutador STM-1/STM-4; Eth SW: Conmutador Ethernet; XC: *Cross-Conector*; DAB: Tablero de Agregación de Datos (*Data Aggregation Board*).

ETETHERNET presenta en su arquitectura una topología estrella en la cual cada uno de sus nodos de acceso se conectan al *Hub* central a través de una conexión

de fibra punto a punto no compartida (duplicada para efectos de protección). Por su parte SDH presenta en su estructura Multiplexores (MUX) y Demultiplexores (DMUX) ópticos, los cuales se encargan de filtrar los canales ópticos que corresponden a los anillos paralelos que terminan en cada nodo, además cuenta con un Cross-Conector único (XC, conmutando a STM-1 o STM-4) que hace posible la conexión entre múltiples anillos, así como también el acceso add/drop.

El *Hub* es del tipo Cross-Conector SDH (nuevamente conmutando a STM-1 o STM-4) y su función es la de terminar o generar todas las longitudes de onda del anillo y del *gateway*. Para alcanzar la capacidad de protección, esta estructura es duplicada. Todas las arquitecturas de nodo incluyen DABs (*Data Aggregation Board*) para agregar el tráfico proveniente desde y hacia la capa cliente.

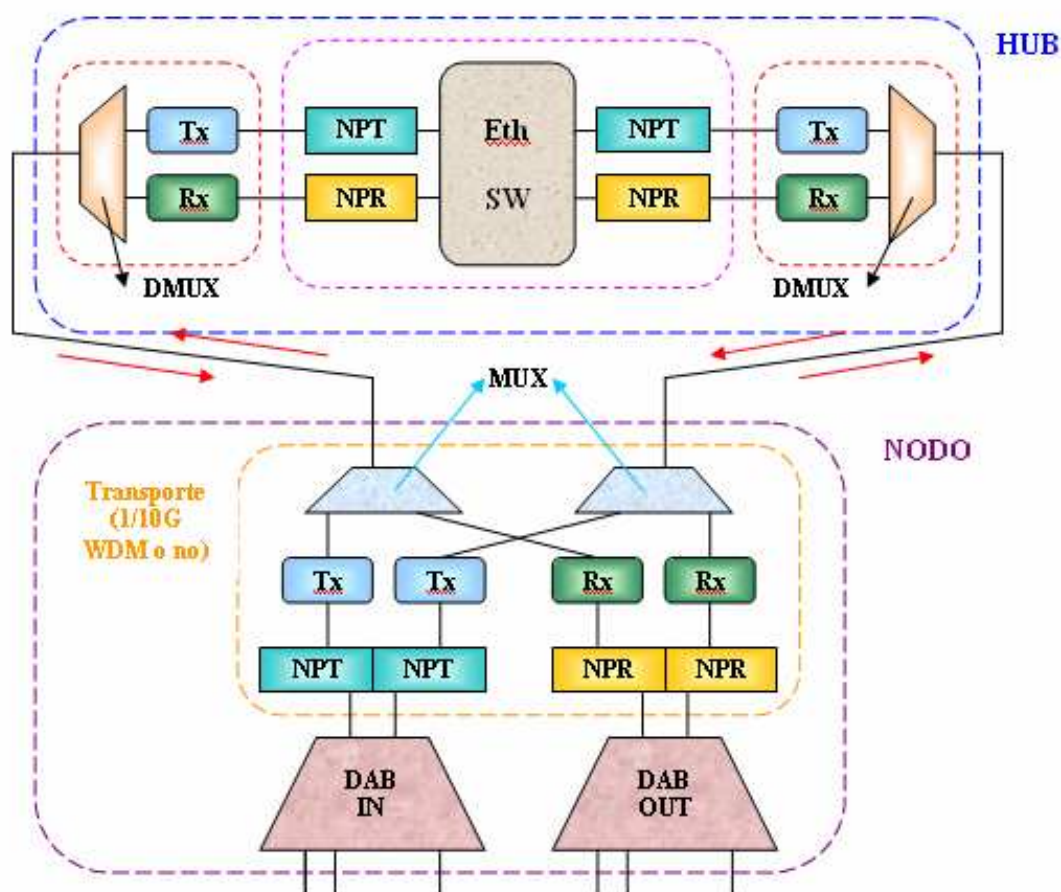


Figura 2.17 a): Esquema de un *Hub* y un nodo Ethernet ^[3]

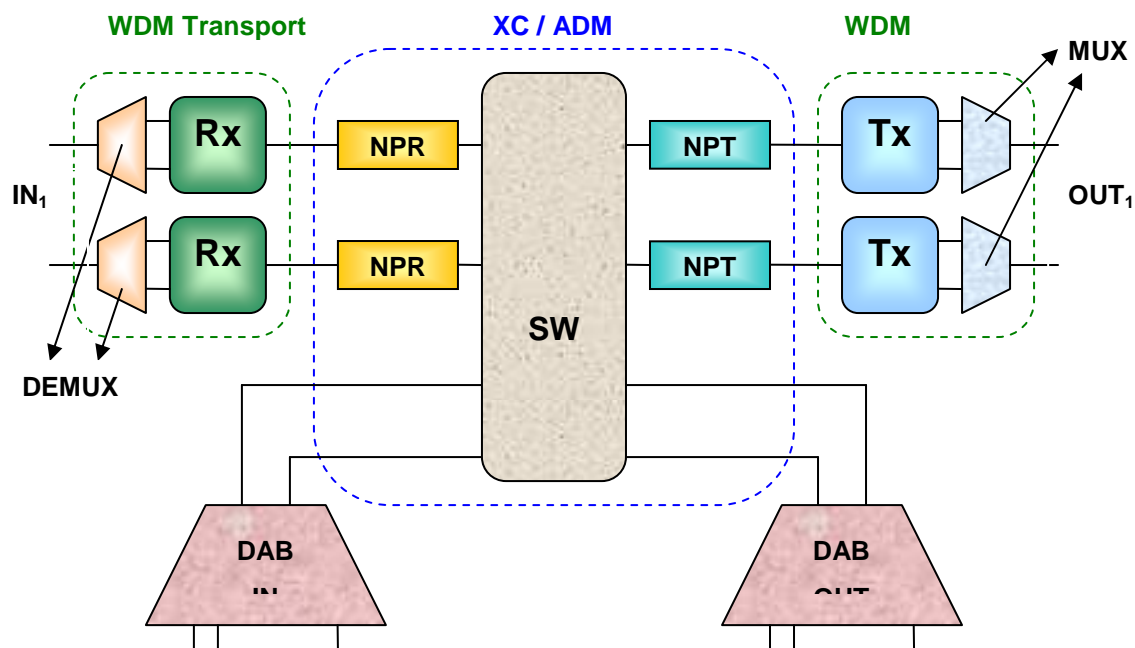


Figura 2.17 b): Nodo SDH. [4]

La tabla 2.2 ilustra los recursos de transporte: fibras (incluyendo la conexión entre el Hub y el gateway), longitudes de onda (canales de 1 Gbps o 10 Gbps) y transceptores (Txs de 1 Gbps o 10 Gbps).

Tabla 2.2: Recursos de transporte requeridos en las diferentes arquitecturas. [5]

	ETHERNET	SDH (STM-1)	SDH (STM-4)	PMR	MR
# Fibras	31	2	2	2	2
# de λs por Canal de 1Gbps	46	0	0	0	0
# de λs por Canal de 10 Gbps	6	6	13	6	6
TRx 1Gbps	46	0	0	0	0
TRx 10Gbps	6	72	176	24	33

En términos de dimensionamiento Multi-*Ring* Pasiva (PMR) y Ethernet son muy similares, pero Ethernet presenta una ligera ganancia debido a la posibilidad de usar interfaces con baja tasa de bit, pero una desventaja en el *Hub* debido a los recursos de transporte no compartidos y a la topología estrella.

Las soluciones Ethernet y SDH en la mayoría de casos no son altamente competitivas, debido a los recursos no compartidos, en tanto que la solución multi-ring activa tiene capacidad limitada debido a la complejidad de los nodos, por lo cual no puede explotar fuertemente el mecanismo de reuso del espacio óptico.

Es importante notar que la capacidad limitada penaliza el uso de un *Hub* óptico para las dos redes multi-ring pasiva y activa. Una arquitectura similar a la solución multi-ring pasiva, pero utilizando un conmutador Ethernet en el *Hub* (como DBORN estructura que se explicará en el anexo E), puede ser más apropiado para una primera introducción de paquetes ópticos en redes metro.

Cada arquitectura de red presenta sus características de funcionalidad y limitaciones por lo que el estudio de dimensionamiento se realizó considerando estos aspectos y además tomando en cuenta la capacidad requerida en cada nodo y en el *Hub* para obtener similar *performance*, pero no se incluye ninguna consideración de protección.

Se adopta un modelo común donde los costos anuales se han calculado como un porcentaje de costos de equipo, incluyendo varios costos operacionales, comprendidos entre costos administrativos, desarrollo de servicios, costos de planificación de redes, etc. La comparación está limitada a costos relacionados a operaciones de red y mantenimiento, principalmente porque otros factores de costos no difieren trascendentalmente entre las diversas arquitecturas.

Los costos de mantenimiento se han definido como todos los costos relacionados a la resolución de problemas físicos en la red, tales como cortes de fibra o falla de equipos. Estos costos pueden ser calculados como la suma de costos de restitución y costos de mantenimiento de *staff*. La primera parte abarca los costos

de elementos de red fallidos y es proporcional a sus probabilidades de falla, mientras la segunda incluye costos de trabajo que obviamente dependen de la cantidad de personal requerida. Los costos operacionales incluyen todos los costos recurrentes los cuales son periódicamente necesarios para operación ininterrumpida. Los resultados para las diferentes arquitecturas de red son descritos en la figura 2.18. Los valores de costos específicos son expresados como relativos a los costos de 1Km de fibra.

Los costos para el anillo SDH son considerablemente más grandes que para los otros escenarios, puesto que incluye muchos más elementos de red, la mayoría de ellos electrónicos. En el gráfico se puede apreciar también los resultados de la estructura RPR, que aunque no se encuentra dentro del alcance del presente estudio, es considerada en el análisis del proyecto DAVID, la cual presenta los costos más bajos, seguido por las soluciones multi-ring pasiva, Ethernet y multi-ring activa.

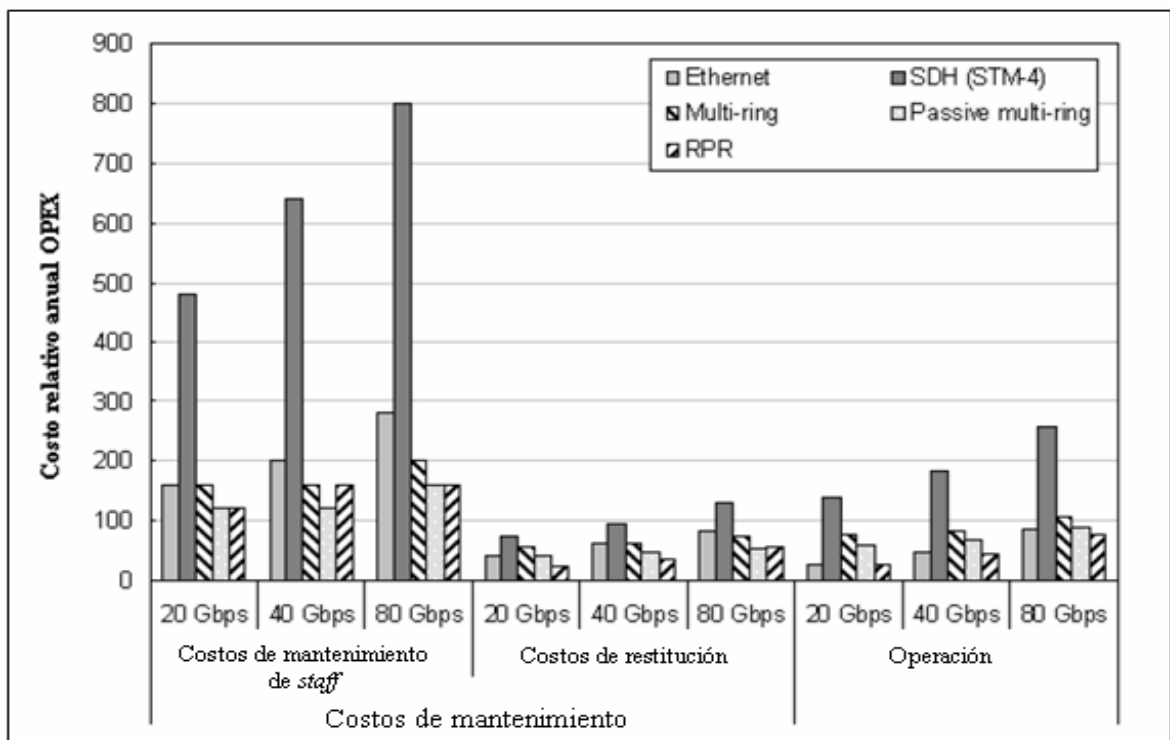


Figura 2.18: Costos relativos anuales, comparación entre las diferentes arquitecturas de red para los tres volúmenes de tráfico.^[5]

Como se mencionó anteriormente los datos presentados son de carácter restringido debido a que pertenecen al proyecto DAVID, razón por la cual no constituyen una contribución del presente estudio, mismo que tiene como objetivo fundamental dentro de este punto, visualizar las diferencias entre cada una de estas redes.

2.3 QoS EN REDES OPS ^[11]

Un servicio de telecomunicaciones puede tener un conjunto de parámetros QoS con valores específicos. Para el estudio del presente trabajo se considera el servicio de entrega de paquetes al destino correcto y la calidad de este servicio se describe por su *performance*, confiabilidad y seguridad. Cuando se habla de calidad de servicio, se refiere a valores cuantitativos de los parámetros de QoS (tasa de pérdida de paquetes, *throughput*, *jitter* y retardo) en relación al servicio considerado.

El término diferenciación de QoS, al que más tarde se hará referencia, es el manejo de tráfico diferenciado que apunta a alcanzar diferentes valores de uno o más parámetros de QoS (PLR o *jitter*) entre un grupo de clases de servicio o flujos de tráfico.

El Internet de hoy provee el servicio de mejor esfuerzo (*best effort*) donde cada paquete y los posibles recursos disponibles se manejan por igual. Esto significa que ninguna garantía puede darse en relación al PLR (*Packet Loss Rate*), retardo o *jitter*.

El servicio de mejor esfuerzo trabaja muy bien cuando hay suficientes recursos disponibles. Sin embargo, los recursos de red pueden llegar a ser escasos y todo tráfico en la red será degradado porque no hay diferenciación de tráfico.

[11] OVERBY Harald, "QUALITY OF SERVICE DIFFERENTIATION, TELETRAFFIC ANALYSIS AND NETWORK LAYER PACKET REDUNDANCY IN OPTICAL PACKET SWITCHED NETWORKS"

Las redes OPS futuras deben soportar diferenciación de QoS principalmente, por dos razones:

- 1) Las futuras redes IP de *core* basadas en la tecnología IP, deberán soportar un crecimiento del número de aplicaciones IP en tiempo real e interactivas. Tales aplicaciones incluyen Voz sobre IP (VoIP), video bajo demanda, videos en línea y video-conferencias. También debido al auge de las redes de datos, los servicios de emergencia y de negocios se basarán en paquetes.

Este tipo de servicios demanda una QoS más estricta que la actual ofrecida por el servicio mejor esfuerzo, OPS tendrá que soportar la diferenciación de QoS.

- 2) Aunque el servicio de mejor esfuerzo no satisface el transporte en tiempo real o aplicaciones interactivas, si lo hace para *web browsing*, transferencia de archivos y servicios sin pérdida de paquetes o no sensibles al retardo.

Se debe realizar una óptima utilización de recursos de red, lo cual significa que cada servicio debe recibir la cantidad de QoS necesario. Esto es, incrementar la QoS ofrecida más allá del nivel de demanda incrementará el costo y el uso de los recursos, pero no la calidad percibida por el usuario.

Por lo tanto, para adaptar la QoS ofrecida a cada aplicación, OPS tendrá que soportar la diferenciación de QoS. Sin embargo, se debe considerar que esto es beneficioso solamente cuando el costo de la diferenciación de QoS no exceda la ganancia de la adaptación de QoS.

Los esquemas de diferenciación de QoS existentes para redes *store and forward* exigen el uso de *buffers* para aislar las diferentes clases de tráfico, por el uso de algoritmos AQM (*Active Queue Management*). Aquí todos los paquetes que llegan

a un conmutador se almacenan en un *buffer* electrónico y se administran de acuerdo a un algoritmo AQM. Sin embargo, tales algoritmos no son favorables para la capa WDM por dos razones.

Primero, el almacenamiento electrónico necesita el uso de convertidores O/E y E/O, lo cual resulta en un incremento significativo en el costo del conmutador y pérdida de la transparencia de datos.

Segundo, aunque el almacenamiento óptico puede realizarse utilizando FDLs (*Fibre Delay Lines*), esta solución solo puede proporcionar capacidades de almacenamiento limitadas en comparación con el almacenamiento electrónico, porque los datos sufren retardos al atravesar una fibra óptica de longitud fija. Por lo tanto, se debe utilizar la capa WDM para aislar las diferentes clases de servicio en las redes OPS futuras.

2.3.1 MECANISMOS DE DIFERENCIACIÓN DE QoS EXISTENTES PARA REDES OPS ^[12]

Los esquemas de diferenciación de calidad de servicio, QoS, para redes IP sobre redes ópticas WDM utilizan la Memoria de Acceso Aleatoria electrónica RAM (*Random Access Memory*) para implementar algoritmos de administración de tráfico (TM, *Traffic Management*) capaces de diferenciar las clases de servicios. La RAM óptica no existe para la implementación de almacenamiento óptico, en consecuencia estos algoritmos no son convenientes para las futuras redes completamente ópticas.

Los algoritmos de administración de tráfico para diferenciar entre las clases de servicios, clasifican el tráfico con alta o baja prioridad, dando estricta preferencia al tráfico de alta prioridad sobre el tráfico de baja prioridad, lo cual implica que el tráfico de baja prioridad debe ser sin memoria hasta que el tráfico de alta prioridad

[12] OVERBY Harald y STOL Norvarld, "EVALUATION OF QoS DIFFERENTIATION MECHANISMS IN ASYNCHRONOUS BUFFERLESS OPTICAL PACKET SWITCHED NETWORKS".

sea procesado y el enlace liberado. En los conmutadores electrónicos esto es posible debido a la gran capacidad de la RAM electrónica. Sin embargo, el almacenamiento en el dominio óptico sólo es posible a través de líneas de retardo de fibra (FDLs, *Fiber Delay Lines*), donde los paquetes son retardados y transmitidos sobre fibras ópticas de longitud fija. No es factible sustituir la RAM electrónica por las FDLs (*Fiber Delay Lines*) para realizar administración de tráfico debido a varias razones:

- Los paquetes retardados sólo pueden ser recuperados cuando abandonan la FDL después de un tiempo determinado, por lo que es necesario un proceso complicado para poder realizar la administración de tráfico sobre líneas de retardo.
- Las FDLs sólo pueden retardar los paquetes por tiempo limitado, dependiendo de la longitud de la FDL y del número permitido de recirculaciones, debido a que cada circulación degrada la calidad de la señal.

Por lo tanto, son necesarias nuevas técnicas para brindar soporte de QoS en redes de conmutación óptica de paquetes (OPS, *Optical Packet Switching*), las clases de servicio deben ser diferenciadas sin el uso de la RAM electrónica.

Para establecer los mecanismos que provean QoS, es importante saber si una red OPS es sincrónica o asincrónica, ya que un mecanismo de diferenciación de QoS, generalmente no es conveniente para las dos arquitecturas. En redes OPS sincrónicas, los paquetes de tamaño fijo llegan al conmutador de *core* en ranuras de tiempo sincronizadas.

En redes OPS asincrónicas, los paquetes pueden llegar al conmutador de *core* en cualquier instante, sin necesidad de sincronizarse en los puertos de entrada, evitando el uso de una tecnología compleja para la sincronización óptica, razón por la cual este tipo de redes serán analizadas con mayor detalle a continuación en la parte correspondiente a calidad de servicio.

2.3.1.1 Resolución de contenciones en redes OPS ^[12]

En las redes OPS asincrónicas, las contenciones ocurren cuando los paquetes están destinados a una longitud de onda que está en ese instante ocupada transmitiendo otro paquete. El paquete que llega será descartado a menos que se utilice algún mecanismo de resolución de contenciones.

Los mecanismos de resolución de contenciones pueden agruparse dentro de tres dominios:

- **Longitud de onda:** Los paquetes en contienda son cambiados a longitudes de onda libres en la misma fibra, utilizando convertidores de longitud de onda, de tal forma que múltiples paquetes pueden ser enviados simultáneamente al mismo puerto de salida. En esta técnica no se introduce retardo adicional ni reordenamiento de paquetes.
- **Tiempo:** Los paquetes en contienda son retardados y planificados para ser transmitidos luego, cuando la longitud de onda esté disponible. Esta técnica produce retardo adicional y puede requerir reordenamiento de paquetes. Cabe mencionar que en este sentido, el uso del dominio del tiempo para resolución de contenciones, es muy diferente al almacenamiento utilizando la RAM electrónica en redes *store-and-forward*, en esta última, todos los paquetes son almacenados aunque los recursos estén disponibles, mientras que en el anterior, sólo los paquetes en contienda se almacenan.
- **Espacio:** Los paquetes en contienda son transmitidos en la misma longitud de onda sobre otra fibra de salida disponible, la cual conduce los paquetes hacia un nodo diferente al previsto originalmente. Esta técnica implica gran retardo adicional, puesto que los paquetes pueden seguir cualquier ruta y ésta puede no ser óptima, aumentando la probabilidad de que exista reordenamiento de paquetes ya que pueden llegar al destino con una secuencia distinta.

En caso de contención en el dominio del tiempo y de longitud de onda es posible reducir la tasa de pérdida de paquetes (PLR, *Packet Loss Ratio*)*, sin embargo en el dominio del tiempo se requiere el uso de FDLs, lo cual implica un incremento de costos en *hardware* y de la complejidad de conmutación. En lo que respecta al dominio del espacio, sólo se puede conseguir una pequeña reducción en el PLR*. Debido a las limitaciones asociadas a la resolución de contenciones en el dominio del tiempo y del espacio, el dominio de longitud de onda es el más adecuado para ser utilizado en la arquitectura OPS.

2.3.1.2 QoS en redes OPS sincrónicas^[3]

Para el estudio de QoS en las redes OPS sincrónicas se tomará como referencia dos topologías de red OPS, WDM Multi-PON y WDM Muti-*ring*, las cuales pueden estar compuestas de varias redes ópticas ranuradas, interconectadas en topología estrella a través de un *Hub*.

Los nodos utilizan acceso múltiple por división de tiempo, longitud de onda y espacio. En la red sincrónica las ranuras se alinean sobre todas las longitudes de onda de una misma PON o *Ring*; así una multiranura se encuentra disponible en cada nodo. La información referente al estado y disponibilidad de los recursos de la red viajan en un canal de control que corresponde a una longitud de onda adicional sobre cada PON o *Ring*. Cada multiranura incluye una ranura de control y varias ranuras de datos. El almacenamiento de paquetes no se puede realizar en el *Hub*, por lo que debe realizarse electrónicamente en los nodos. El *Hub* actúa como un conmutador donde las interconexiones de PONs o *Rings* se modifican dinámicamente a partir de un algoritmo de planificación.

La mejor manera de proveer QoS en estos escenarios es introducir dos clases de tráfico con diferente prioridad. Una desventaja de esta estrategia es que si el tráfico de alta prioridad no se controla por cualquier forma de *Call Admission*

* S. Yao, "A UNIFIED STUDY OF CONTENTION-RESOLUTION SCHEMES IN OPTICAL PACKET-SWITCHED NETWORKS".

Control (CAC), las fluctuaciones de tráfico podrían causar dos situaciones indeseables:

1. El tráfico de alta prioridad con estricta prioridad sobre el tráfico de baja prioridad puede evitar la transmisión de éste último.
2. No sería posible garantizar los límites de retardo o ancho de banda incluso con el tráfico de alta prioridad.

Para evitar este problema se requieren funciones de administración de ancho de banda (ingeniería de tráfico), con las cuales se podría controlar la cantidad de tráfico de alta prioridad inyectado en los segmentos de red.

Para lograr este objetivo, se tendrá que definir qué clases de servicio se requieren para el ambiente MAN. De acuerdo a lo desarrollado en la red electrónica MAN, se deben considerar tres clases diferentes de servicio:

- **Servicio Garantizado:** Se refiere a los datos que tienen requisitos en tiempo real, requieren un ancho de banda garantizado y bajo jitter. Este servicio debe tener absoluta prioridad sobre los otros tipos de servicios, y debe ser formado en el ingreso. Para proveer tales servicios usualmente se debe adoptar un mecanismo de reservación.
- **Prioridad de servicio:** Se refiere a las aplicaciones cercanas al tiempo real que son menos sensibles al retardo y ancho de banda. En contraste con el servicio garantizado, el ancho de banda para prioridad de servicio no es asignado estáticamente pero algunas formas de mecanismos de prioridad para el servicio de mejor esfuerzo se usan usualmente.
- **Servicio de mejor esfuerzo:** Se refiere a los datos que se pueden enviar cuando el nodo está libre. El servicio es usualmente cargado por un mecanismo de imparcialidad para asegurar que cada nodo consiga su parte de ancho de banda disponible.

2.3.1.3 Diferenciación de QoS en redes OPS asincrónicas *bufferless* ^[12]

Para proveer QoS se debe considerar las clasificaciones de tráfico, por flujo (*per-flow*) o por clase (*per-class*), lo cual es análogo a Servicios Integrados (IntServ) y Servicios Diferenciados (DiffServ) respectivamente, debido a problemas de escalabilidad en redes grandes asociados con el tráfico por flujo, no es necesario analizarlo en redes OPS de área metropolitana.

Para el análisis de diferenciación de QoS se considera un conmutador de *core* de paquetes ópticos con F fibras de entradas/salidas y N longitudes de onda por fibra. Este conmutador tiene un convertidor de longitud de onda localizado en cada longitud de onda de salida. Se pueden considerar dos escenarios:

- **Mejor esfuerzo:** Todos los paquetes pertenecen a la misma clase de servicio y son tratados por igual, lo cual implica que todos los paquetes tienen el mismo PLR.
- **Servicio diferenciado:** Existen dos clases de servicios en la red, donde el servicio de clase 0 tiene prioridad sobre el servicio de clase 1. La clase de servicio se separa utilizando uno de los esquemas de diferenciación de QoS presentados más adelante.

Para simplificar el análisis del estudio y considerar una única fibra de salida (puede ser cualesquiera), la cual se denota como fibra de salida etiquetada, se puede asumir un patrón de tráfico uniforme.

Cuando el paquete llega al conmutador de paquetes ópticos, el *header* del paquete es extraído y convertido al dominio óptico para el procesamiento, mientras que la carga útil es retardada mediante las FDLs de entrada. Considerando la fibra de salida etiquetada; sea P_{be} el término que denota el PLR para el mejor esfuerzo y los términos P_0 y P_1 que denotan el PLR de las clases de servicios 0 y 1 para el servicio diferenciado, respectivamente. Sea también S_0 y S_1 los términos que denotan la parte proporcional relativa del tráfico de clase 0 y

clase 1, respectivamente. El *throughput* para el mejor esfuerzo se define como lo indica la siguiente ecuación:

$$G_{be} = 1 - P_{be} \quad [2.1]$$

y para el servicio diferenciado como lo muestra la ecuación:

$$G_{be} = 1 - (S_0 P_0 + S_1 P_1). \quad [2.2]$$

Finalmente, la clase de separación (*class isolation*) para cuantificar la diferencia relativa de PLR entre las clases de servicios se denota como:

$$I = P_0/P_1, \quad [2.3]$$

Para separar el PLR entre clases de servicios en redes OPS asincrónicas sin memoria utilizando la capa WDM, existen tres diferentes mecanismos que pueden ser utilizados: restricción de acceso, priorización y descarte de paquetes.

2.3.1.3.1 Esquemas de diferenciación de QoS basado en restricción de acceso: algoritmo de asignación por longitud de onda^[12]

En el esquema de restricción de acceso, un subgrupo de recursos disponibles (longitudes de onda, convertidores de longitud de onda, espacio de almacenamiento, etc.) se reserva exclusivamente para tráfico de alta prioridad, lo cual quiere decir que el tráfico de alta prioridad tiene más recursos disponibles que el tráfico de baja prioridad, resultando así un menor PLR para el tráfico con alta prioridad.

Un esquema basado en la restricción de acceso es el algoritmo de asignación por longitud de onda (WA, *Wavelength Allocation Algorithm*). Donde $n < N$ longitudes de onda, en la fibra de salida etiquetada, son exclusivamente reservadas para el tráfico de clase 0, como se indica en la figura 2.19 a. Esto es, mientras menos $N -$

n longitudes de onda en la fibra de salida etiquetada estén ocupadas, nuevos paquetes de clase 0 y clase 1 son aceptados, es decir, las dos clases de servicios tienen acceso a las longitudes de onda 1 hasta $N-n$, mientras que solo los paquetes de clase 0 tienen acceso a las longitudes $N-n+1$ hasta N , transmitiéndose sobre la longitud de onda λ_2 .

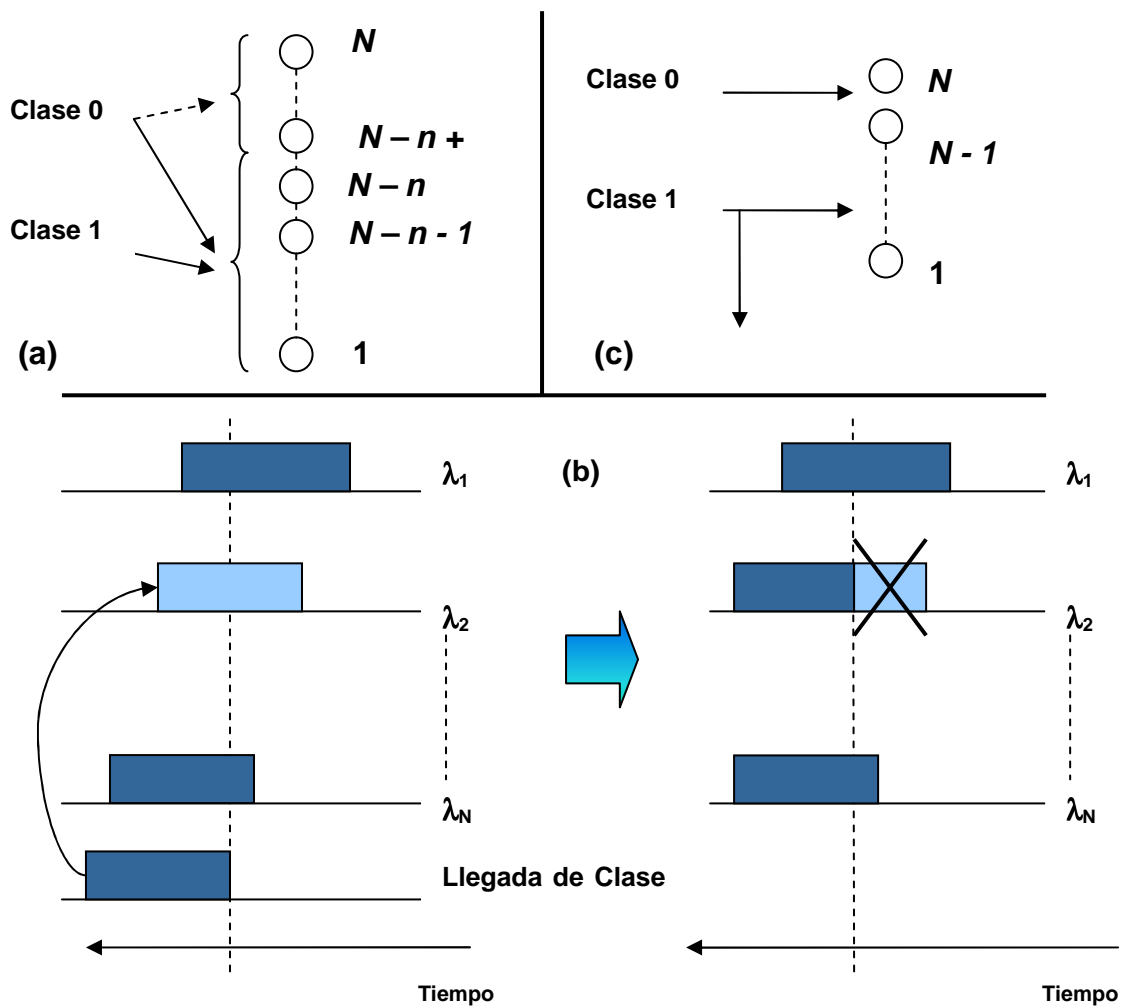


Figura 2.19: El modo de operación para: **a)** WA (Algoritmo de Asignación por Longitud de onda); **b)** PDP (Política de Descarte por Prioridad); **c)** IPD (Paquetes Descartados Intencionalmente). [12]

La figura 2.20 muestra como el PLR para el tráfico de clase 0 disminuye y el PLR para el tráfico de clase 1 aumenta con el incremento de n .

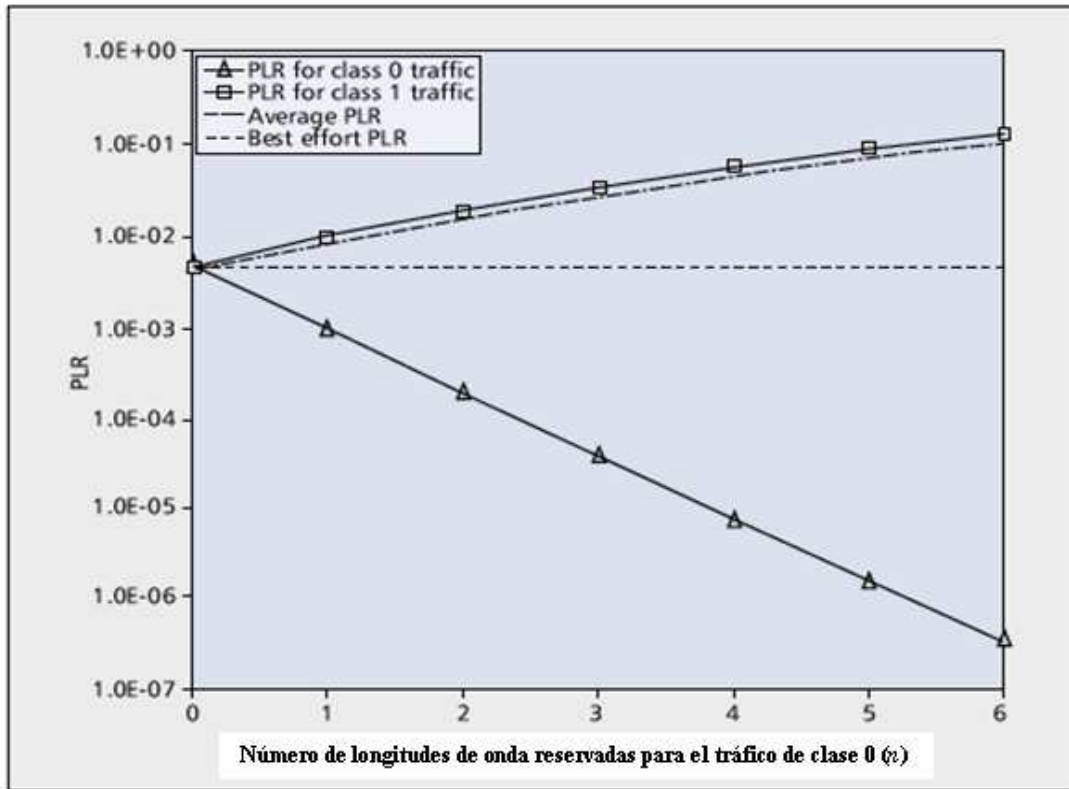


Figura 2.20: El PLR como función del número de longitudes de onda reservadas para el tráfico de clase 0 (n) para el esquema WA (Algoritmo de Asignación por Longitud de onda). $N=16$, $A=0.5$ (carga del sistema), $S_0=0.2$ (parte proporcional relativa del tráfico de clase 0). [12]

2.3.1.3.2 Esquema de diferenciación de QoS basado en priorización: política de descarte por prioridad [12]

Bajo un esquema de prioridad, cuando todos los recursos disponibles son tomados, un paquete de alta prioridad puede tomar un recurso que esté siendo ocupado por un paquete de baja prioridad, el cual entonces se descarta. Un paquete de baja prioridad no puede descartar a ningún otro paquete. Por tanto una cantidad menor de recursos está disponible para paquetes de baja prioridad.

En la Política de Descarte por Prioridad (PDP, *Preemptive Drop Policy*) un paquete de clase 0 puede apropiarse de un paquete de clase 1, que esté ocupando una longitud de onda, cuando todas las N longitudes de onda de la fibra de salida etiquetada están ocupadas, como se muestra en la figura 2.19 b. Esto significa que se pierde un paquete de clase 1 en lugar de un paquete de clase 0, ya que un paquete de clase 0 tiene prioridad sobre un paquete de clase 1. En el caso en que solo hayan paquetes de alta prioridad utilizando todas las longitudes de onda, los paquetes de clase 0 que lleguen serán descartados puesto que ya no pueden tener prioridad.

2.3.1.3.3 Esquema de diferenciación de QoS basado en el descarte de paquetes: paquetes descartados intencionalmente^[12]

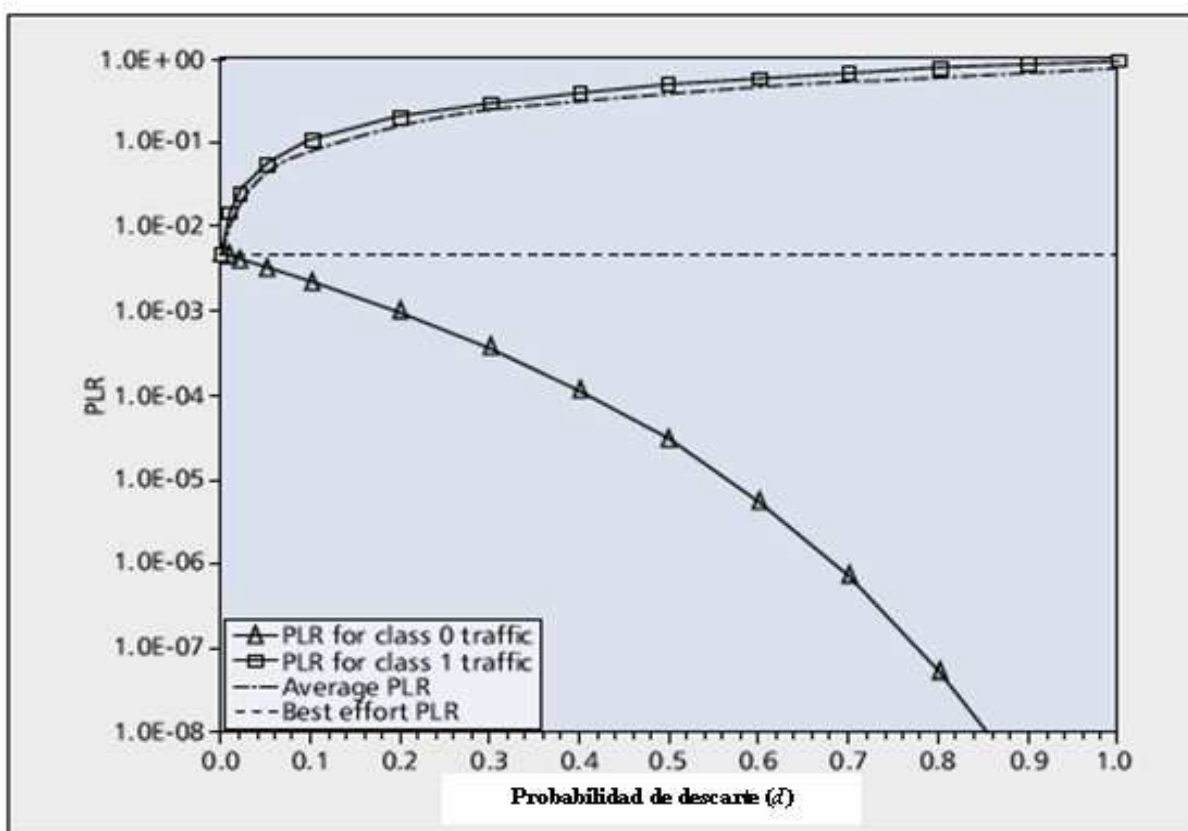


Figura 2.21: El PLR como una función de la probabilidad de descarte (d) para el esquema IPD (Paquetes Descartados Intencionalmente). $N=16$, $A=0.5$,

$$S_0 = 0.2.[12]$$

En un estudio [13] realizado para redes OBS se propone un esquema de descarte de paquetes, Paquetes Descartados Intencionalmente (IPD, *Intentional Packet Dropping*), el cual puede ser bien utilizado en redes OPS. Bajo este esquema, los paquetes de clase 1 que llegan son descartados con una probabilidad d antes de alcanzar la fibra de salida etiquetada, es decir, una porción d de tráfico clase 1 es descartada, como se ilustra en la figura 2.19 c. Este mecanismo tiene como resultado el aumento del PLR para el tráfico de clase 1 ya que los paquetes son descartados con una probabilidad d , mientras que el PLR para el tráfico de clase 0 disminuye, debido a que la carga del sistema sobre la fibra etiquetada disminuye comparado con el escenario de mejor esfuerzo. La figura 2.21 muestra el PLR como una función de la probabilidad de descarte (d); se puede apreciar que el PLR para el tráfico de clase 0 disminuye y que el PLR para el tráfico de clase 1 aumenta conforme al incremento del parámetro d .

2.3.1.4 Comparación de esquemas de diferenciación de QoS ^[12]

La complejidad de implementación se deriva por la complejidad tanto de *hardware* como de planificación. La complejidad de *hardware* aumenta cuando se requiere recursos de *hardware* adicionales para la manipulación de paquetes ópticos a fin de llevar a cabo un esquema de diferenciación de QoS, mientras la complejidad de planificación incrementa debido al procesamiento electrónico adicional asociado con la implementación de un esquema de diferenciación de QoS. Bajo el esquema del mejor esfuerzo se requiere una matriz de conmutación y un planificador que realice un seguimiento del estado de todas las longitudes de onda de salida.

En lo que concierne al esquema IPD, no se necesita *hardware* adicional, ya que los paquetes de clase 1 son descartados aleatoriamente, antes de alcanzar la fibra de salida. Cuando esto es planificado, el IPD tiene la misma complejidad que

[13] Yang Chen, Mounir Hamdi y otros, "PROVIDING PROPORTIONALLY DIFFERENTIATED SERVICES OVER OPTICAL BURST SWITCHING NETWORKS."

el escenario del mejor esfuerzo, por lo tanto, no se necesita información adicional del estado de los puertos de salida.

Para el esquema WA, no se necesita *hardware* adicional. Sin embargo, cuando es planificado, el conmutador tiene que comparar el número de longitudes de onda ocupadas en cada fibra de salida con n , capaz de descartar paquetes de clase 1 cuando hay $N-n$ o más longitudes de onda ocupadas.

Para PDP, la información del estado de la longitud de onda de salida debe también incluir la clase de servicio del paquete, para ser capaz de descartar sólo los paquetes de clase 1. Una mejora del PDP se logra descartando el último arribo de clase 1 para minimizar el ancho de banda perdido, requiriendo incluir información cuando el paquete actual conmutado llegó. En lo referente a la complejidad de *hardware*, se requiere *hardware* adicional para eliminar la parte de los paquetes descartados que ya han sido transmitidos, para minimizar la utilización del ancho de banda en los nodos *downstream*.

Un problema crucial al introducir diferenciación de QoS en OPS asincrónicas es la reducción asociada en el *throughput* promedio. Esto debe a la utilización no óptima de recursos producida cuando se utiliza la capa WDM para diferenciar entre clases de servicio.

CAPÍTULO 3

ESTUDIO DE FACTIBILIDAD TÉCNICA



CAPITULO: 3 ESTUDIO DE FACTIBILIDAD TÉCNICA DE LAS REDES OPS EN EL DISTRITO METROPOLITANO DE QUITO

INTRODUCCIÓN

Para el presente estudio de factibilidad técnica, se evaluará la disponibilidad de equipos para la implementación de redes OPS, ya que es fundamental considerar tanto las capacidades técnicas y limitaciones de los componentes de red disponibles, como la funcionalidad requerida de la red para optimizar la transmisión de información.

También se estudiará la posible estructura de los nodos OPS para una operadora de servicios portadores, tomada como ejemplo para el desarrollo del análisis. Finalmente se emitirá razones técnicas para la implementación ó no de redes OPS dentro del distrito metropolitano de Quito.

3.1 REQUERIMIENTOS PARA LA INFRAESTRUCTURA DE REDES OPS ^{[1] [2] [3]}

Como se mencionó en el primero y segundo capítulo, las redes MAN responsables de transportar el tráfico entre redes de acceso y parte del tráfico perteneciente a las redes de *backbone* WAN, requieren flexibilidad para manejar el ancho de banda, escalabilidad para poder incrementar su capacidad sin que ello implique una inversión costosa, confiabilidad lo cual incluye estrategias para asegurar disponibilidad de los servicios cruciales en caso de fallos, calidad de

^[1] SHUN Yao, S. J. Ben Yoo, and MUKHERJEE Biswanath, "ALL-OPTICAL PACKET SWITCHING FOR METROPOLITAN AREA NETWORKS: OPPORTUNITIES AND CHALLENGES".

^[2] CAREGLIO, Davide, "QoS PROVISIONING IN OPTICAL PACKET NETWORKS FOR METROPOLITAN AND WIDE AREA ENVIROMENTS

^[3] MUKHERJEE Biswanath, "OPTICAL WDM NETWORKS".

servicio que es aspecto importante para garantizar un servicio en el lado del cliente, además de la capacidad para proporcionar *throughputs* altos; obviamente el cumplimiento de estos requerimiento dependerá de la topología utilizada, del mecanismo de resolución de contenciones, etc.

3.1.1 DISPOSITIVOS REQUERIDOS POR LAS REDES OPS

Las soluciones OPS requieren los siguientes elementos ópticos:

- **Mecanismos de conmutación.-** Los principales elementos son los conmutadores completamente ópticos, que son dispositivos que realizan la conmutación en el dominio óptico sin la necesidad de la conversión O-E-O.
- **Componentes ópticos avanzados.-** Tales como: Convertidores de Longitud de onda Sintonizables (TWCs, *Tunable Wavelength Converters*), Amplificadores Ópticos de Semiconductor (SOAs, *Semiconductor Optical Amplifiers*), Regeneradores 3R completamente ópticos, estos nuevos componentes ópticos están dirigidos para aprovisionar muy alto grado de integración y muy bajo consumo de potencia. Los cuales se analizan en las siguientes secciones.

3.1.1.1 Mecanismos de conmutación

Los elementos de conmutación son parte fundamental de cualquier red. De acuerdo a la señal portadora, existe conmutación óptica y conmutación electrónica.

Desde el punto de vista de conmutación, existen dos clases básicas: conmutación de circuitos y conmutación de celdas. En el campo de la óptica, la conmutación de circuitos corresponde al enrutamiento por longitud de onda, mientras que la conmutación de celdas es la conmutación de paquetes ópticos y la conmutación

de ráfagas ópticas. También se considera la transparencia de las señales, se tiene entonces la conmutación opaca y la conmutación transparente.

Los dispositivos en redes WDM utilizan dos clases básicas de conmutación: *logic switching* y *relational switching*.

1) *Logic Switching*

La realiza un dispositivo en el cual los datos incidentes sobre el dispositivo controlan el estado del mismo, de tal forma que alguna función Booleana, o combinaciones de funciones Booleanas, se realizan en las entradas. En un dispositivo lógico, el formato y la tasa de los datos pueden ser cambiados o convertidos en los nodos intermedios, este tipo de conmutación también se denomina conmutación opaca.

Además algunos de sus componentes deben ser capaces de cambiar estados o conmutar tanto o más rápido que la tasa de bit de la señal, para añadir flexibilidad al dispositivo aunque esto puede limitar la tasa máxima de bit. Se utiliza principalmente en el campo electrónico.

La conmutación y procesamiento de datos se realizan mediante la conversión de una señal óptica a su forma electrónica original. Una red, que cuenta con conmutadores electrónicos, provee alto grado de flexibilidad en términos de conmutación y funciones de enrutamiento; sin embargo, la velocidad de los dispositivos electrónicos es incapaz de manejar el gran ancho de banda de una fibra óptica. Además, una conversión electro-óptica en un nodo intermedio en la red introduce retardos y costos extras.

Estos factores han sido un impulso hacia el desarrollo de redes completamente ópticas en las que los componentes ópticos de conmutación son capaces de conmutar el flujo de datos ópticos con gran ancho de banda sin la conversión electro-óptica.

2) *Relational Switching*

Esta conmutación se utiliza para establecer una relación entre las entradas y las salidas. La relación es una función de las señales de control aplicadas al dispositivo y es independiente de los contenidos de la señal.

La información entrante y el flujo con prioridad no pueden cambiar o influir en la relación entre las entradas y salidas. En los dispositivos desarrollados con este tipo de conmutación, el control de la función de conmutación se realiza electrónicamente.

El flujo de datos se enruta transparentemente desde una entrada dada del conmutador hacia una salida dada. Esta conmutación transparente permite al conmutador ser independiente de la tasa de datos y del formato de las señales ópticas, así, la base de un dispositivo relacional, es que el dispositivo es insensible a la presencia de bits individuales que lo están atravesando. Esta característica es conocida también como conmutación transparente.

3.1.1.1.1 *Conmutador de paquetes ópticos WDM* ^[4]

Un conmutador de paquetes ópticos consta de cuatro partes: el interfaz de entrada, la estructura de conmutación, el interfaz de salida y la unidad de control.

- El interfaz de entrada se usa principalmente para la delineación y alineación de paquetes, extracción de la información del *header* y su supresión del paquete.
- La estructura de conmutación es el núcleo del conmutador y se usa para conmutar paquetes ópticamente.
- El interfaz de salida se encarga de regenerar las señales ópticas e insertar el *header* del paquete.

^[4] XU Lisong, PERROS Harry y otros, "TECHNIQUES FOR OPTICAL PACKET SWITCHING AND OPTICAL BURST SWITCHING".

- La unidad de control, controla el conmutador usando la información en los *headers* del paquete.

Cuando un paquete arriba a un conmutador de paquetes ópticos WDM, éste es procesado primero por el interfaz de entrada. El *header* y el *payload* del paquete son separados, el *header* es convertido al dominio eléctrico y procesado por la unidad de control electrónicamente. El *payload* permanece como señal óptica a lo largo del conmutador. Después el *payload* pasa a través de la estructura de conmutación, éste es recombinado con el *header* para ser convertido al dominio óptico en el interfaz de salida.

El conmutador de paquetes ópticos WDM puede ser de tres clases:

- a) Conmutador Espacial.
- b) Conmutador *Broadcast-And-Select*.
- c) Conmutador de Enrutamiento por Longitud de Onda.

a) ***Conmutador Espacial***

Consiste de N enlaces de fibra de salida y N enlaces de fibra de entrada (figura 3.1), con n longitudes de onda operando sobre cada enlace de fibra. Este conmutador es ranurado y la longitud de las ranuras es tal que un paquete óptico puede ser transmitido y propagado desde un pórtico de entrada hacia un *buffer* óptico de salida. Su estructura consiste de tres partes: un codificador de paquetes ópticos, un conmutador espacial y un *buffer* de paquetes ópticos.

- ***Codificador de paquetes ópticos***

Para cada enlace de fibra de entrada existe un demultiplexor óptico, el cual divide la señal óptica entrante en n longitudes de onda diferentes. Cada longitud de onda se alimenta a un convertidor de longitud de onda sintonizable (TWC, *Tunable Wavelength Converter*) diferente, el cual convierte las longitudes de onda del paquete óptico a una longitud de onda que esté libre en el *buffer* óptico de salida

de destino, entonces a través de la estructura de conmutación espacial, el paquete óptico puede ser conmutado a cualquiera de las N salidas del *buffer* óptico.

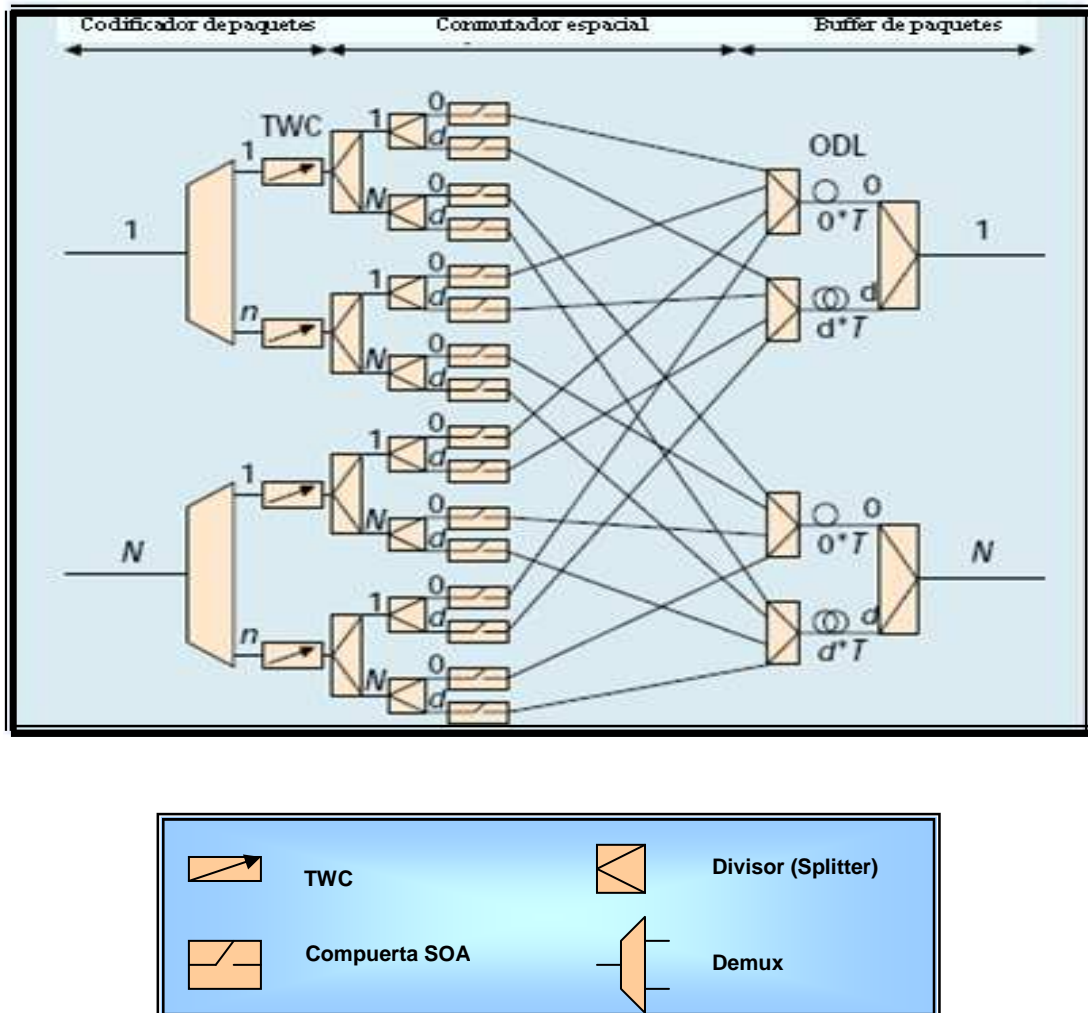


Figura 3.1: Arquitectura de un conmutador espacial. [4]

➤ *Conmutador espacial*

La salida de un TWC, se alimenta a un *splitter* el cual distribuye la misma señal hacia N fibras de salida diferentes, una por cada *buffer* de salida. La señal sobre cada una de estas fibras de salida va a través de otro *splitter*, el cual las distribuye hacia $d + 1$ fibras de salida diferentes y cada fibra de salida se conecta a través

de una compuerta óptica hacia una de las ODLs (*Optical Delay Lines*) del *buffer* de salida de destino.

➤ *Buffer de paquetes*

El paquete óptico se envía hacia una ODL manteniendo una compuerta óptica abierta y el resto cerradas. La información con respecto a qué longitud de onda un TWC debe convertir la longitud de un paquete entrante y, la decisión respecto a qué ODL del *buffer* de salida destino el paquete debe ser conmutado, es provista por la unidad de control, la cual tiene conocimiento del estado del conmutador por completo. Cada *buffer* de salida es un *buffer* óptico implementado como sigue. Consiste de $d + 1$ ODLs, numerados desde 0 hasta d . La ODL i retarda un paquete óptico por un retardo fijo igual a i ranuras. ODL 0 provee cero retardos, de tal manera que al llegar un paquete a esta ODL es simplemente transmitido fuera de su puerto de salida.

Cada ODL puede retardar paquetes ópticos sobre cada una de las n longitudes de onda. Por ejemplo, en el inicio de una ranura, ODL 1 puede aceptar hasta n paquetes ópticos, 1 por longitud de onda y retardarlos 1 ranura. ODL 2 puede aceptar hasta n paquetes ópticos en el inicio de cada ranura de tiempo y retardarlos 2 ranuras, en tal caso estos paquetes saldrán al inicio de la ranura $t + 2$. Sin embargo, al inicio de la ranura $t + 1$ también pueden aceptar otro grupo de n paquetes ópticos, así un máximo de $2n$ paquetes pueden estar en tránsito dentro de ODL 2 y así sucesivamente hasta d .

b) *Conmutador Broadcast-And-Select*

En esta arquitectura, los paquetes de todos los pórtricos de entrada, cada uno sobre diferentes longitudes de onda, se combinan dentro del conmutador y se difunden a todos los pórtricos de salida. Los selectores de longitud de onda se usan en cada pórtrico de salida para seleccionar una longitud de onda y consecuentemente el paquete a ser enviado fuera del conmutador.

A continuación se describe dos conmutadores diferentes con estructura Broadcast-And-Select, el conmutador KEOPS y el conmutador con Buffer de recirculación.

b.1) Conmutador KEOPS

Este conmutador fue desarrollado como parte del proyecto europeo ACTS Keys to Optical Switching (KEOPS). Cada fibra de entrada y salida porta solo una longitud de onda como se muestra en la figura 3.2. La longitud de onda de un pórtico de salida no es fija y varía con los paquetes. Por lo tanto, el interfaz de salida es el responsable de dar a conocer el requerimiento de la señal de salida. La estructura de conmutación consiste de tres bloques: codificador, buffer y selector.

El bloque que comprende el codificador de longitud de onda, consiste de N convertidores de longitudes de onda fija (FWCs), uno por entrada y de un multiplexador. El bloque del *buffer* consiste de un *splitter*, K ODLs y una etapa de conmutación espacial implementado mediante *splitters*, compuertas ópticas y combinadores.

Finalmente, el bloque del selector de longitud de onda consiste de N selectores de canal de longitud de onda, implementados por medio de demultiplexores, compuertas ópticas y multiplexores.

El conmutador es ranurado. Al inicio de una ranura de tiempo, cada convertidor de longitud de onda, en el bloque del codificador de longitud de onda, convierte la longitud de onda del paquete entrante a una longitud de onda fija. La salida de los N convertidores es combinada y entonces distribuida a través de un *splitter* dentro de K diferentes ODLs. Cada ODL tiene un retardo diferente, el cual es un número entero de ranuras. Esto es, ODL i tiene un retardo de i ranuras. Los N paquetes ópticos se almacenan simultáneamente en las K diferentes ODLs. En el inicio de la siguiente ranura, un máximo de $K \times N$ paquetes ópticos, que salen desde las K ODLs y hasta N de ellas, son dirigidas a sus pórticos de salida de destino sin

ninguna colisión. Esto se logra a través de una combinación de *splitters*, compuertas ópticas, demultiplexores y multiplexores. Específicamente, las señales de salida de cada ODL van a través de un *splitter*, el cual las distribuye sobre N salidas.

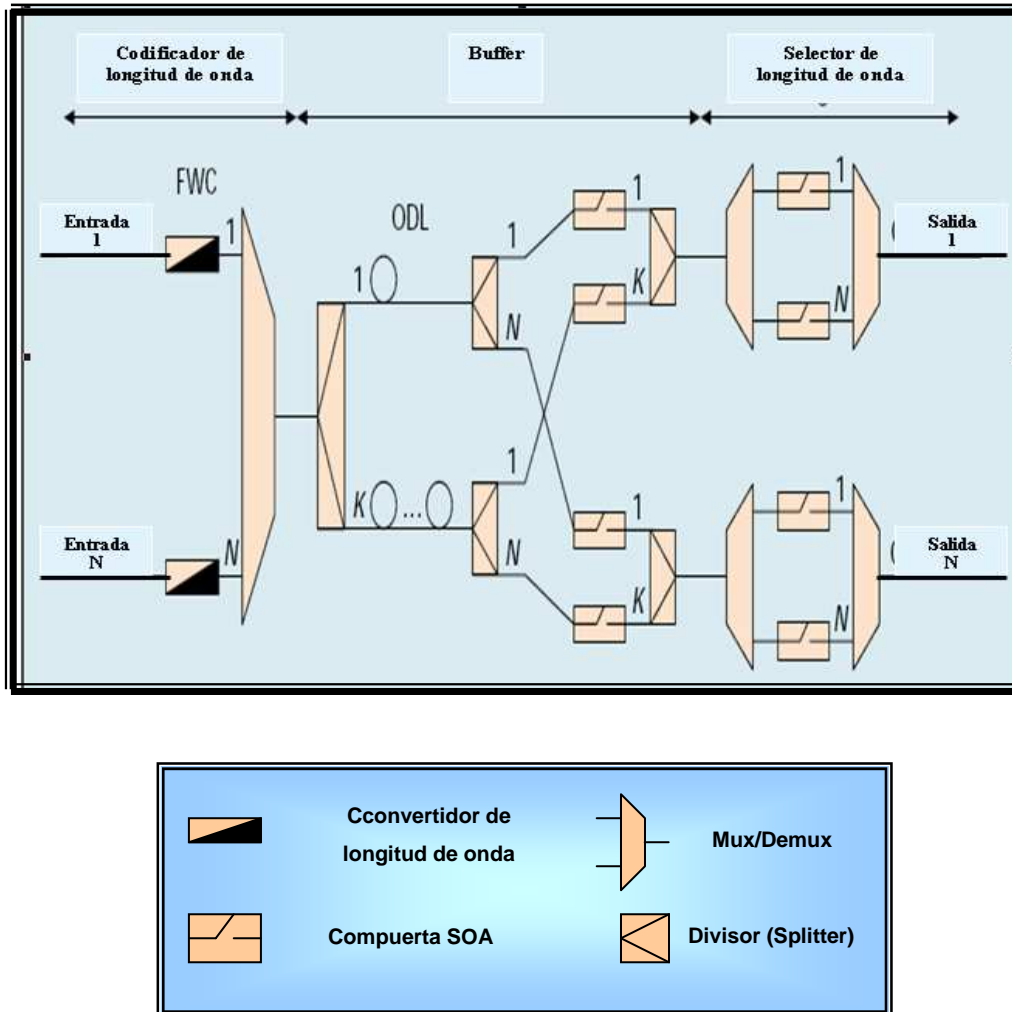


Figura 3.2: Conmutador KEOPS con arquitectura de conmutación broadcast and select. [4]

En este conmutador, un paquete óptico consiste de un *header*, *payload* y de un tiempo de guarda. El *header* puede incluir información sobre el destino, tipo de *payload* y prioridad. El *payload* constituye los datos de usuario. El tiempo de guarda se utiliza para permitir el tiempo de establecimiento de los dispositivos

ópticos en el conmutador, puede ser insertado entre el *header* y el *payload* o entre dos paquetes sucesivos sobre la misma longitud de onda.

La longitud de los paquetes es fija en tiempo y no en número de bits, es decir, la duración del paquete es fija (164 μ s), pero el tamaño del paquete es variable. Este formato de paquete tiene dos ventajas: Primero la velocidad de procesamiento en los conmutadores de paquetes WDM, depende de la velocidad del *header* pero no de la velocidad del *payload*. Segundo, el almacenamiento espacial en los conmutadores de paquetes WDM, que es realizado por medio de ODLs, cuyas longitudes son proporcionales a la duración del tiempo de los paquetes a ser almacenados, no depende de la velocidad del *payload*.

b.2) Conmutador con Buffer de recirculación

La idea de utilizar un buffer con recirculación proviene de un conmutador ATM conocido como starlite. Al igual que en las arquitecturas anteriores, existe una sola longitud de onda para cada fibra de entrada y salida, la longitud de onda de un pórtico de salida varía con los paquetes.

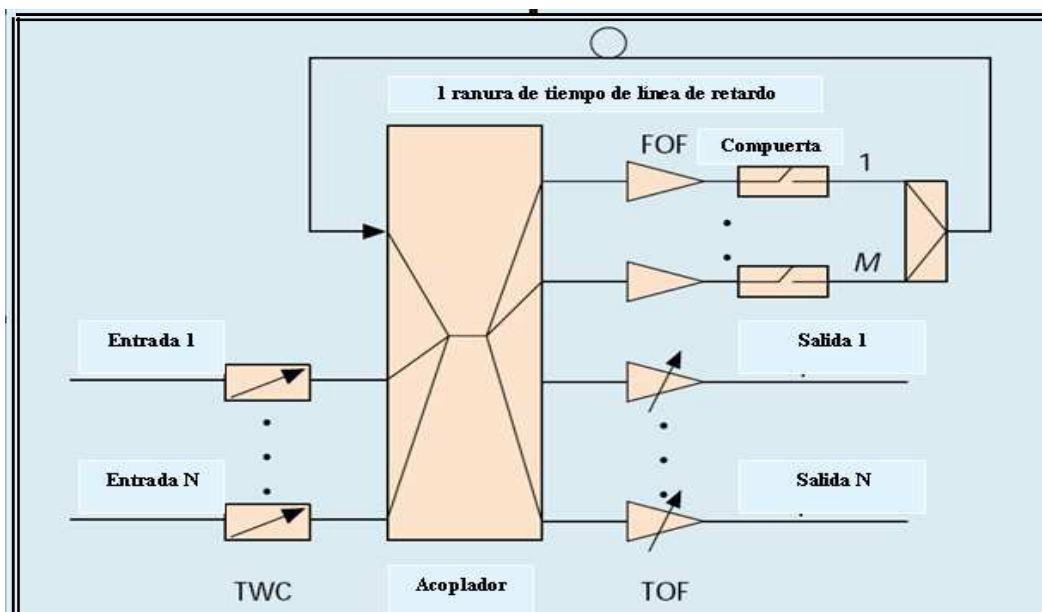


Figura 3.3: Conmutador con estructura *broadcast and select* y *buffer* de recirculación.

La estructura broadcast and select se implementa a través de un acoplador que combina hasta M longitudes de onda de entrada y distribuye la señal combinada hacia N filtros ópticos sintonizables (TOFs, Tunable Optical Filters) y M filtros ópticos fijos (FOFs, Fixed Optical Filters). Se debe aclarar que $M > N$. La entrada al acoplador consta de N longitudes de onda de entrada y M longitudes de onda que son parte del proceso de feedback (figura 3.3).

El conmutador es ranurado y se controla por medio de la unidad de control. Al inicio de cada ranura de tiempo, la unidad de control sabe los pórtricos de salida de destino de los paquetes ópticos, que llegan desde los pórtricos de entrada, y la línea de retardo de la ranura de tiempo 1. Por consiguiente, la unidad de control instruye a los TWCs en los pórtricos de entrada, a los filtros ópticos sintonizables en los pórtricos de salida y a las compuertas ópticas.

Dentro del acoplador se pueden alimentar hasta M paquetes ópticos, de acuerdo a sus destinos, hasta N de ellos pasan a través de TOFs y fuera de los pórtricos de salida y, los paquetes restantes son recirculados a través de una ODL. Los paquetes ópticos que recirculan se alimentan de nuevo hacia el acoplador en el inicio de la siguiente ranura.

c) Conmutador de enrutamiento por longitud de onda

Dentro de esta categoría existen tres tipos de conmutadores con arquitecturas que basan su funcionamiento en enrutamiento por longitud de onda.

c.1) Conmutador con almacenamiento en el ingreso

Como se muestra en la figura 3.4, cada enlace de entrada y salida lleva una sola longitud de onda. La longitud de onda de un pórtrico de salida varía con los paquetes. El conmutador está compuesto por dos secciones: sección de programación y sección de conmutación.

➤ *Sección de programación*

La sección de programación se utiliza en la resolución de contenciones y está formada de N TWCs, uno por cada longitud de onda de entrada, dos $K \times K$ AWGs (*Arrayed Waveguide Gratings*) y M ODLs, donde $K = \max(N, M)$. Como se explicó en capítulos anteriores un AWG es un dispositivo de enrutamiento por longitud de onda que puede enrutar las señales ópticas desde diferentes puertos de entrada, dependiendo de su longitud de onda. La combinación de todos estos dispositivos provee un almacenamiento óptico de N buffers individuales, cada uno con M posiciones.

Si hay espacios de *buffer* disponibles, un paquete al ingresar a la entrada i del primer AWG, aparecerá en la salida i del segundo AWG después de un retardo determinado. La duración del retardo está dada por la longitud de onda del paquete cuando entra al primer AWG. Cada TWC convierte la longitud de onda de un paquete óptico entrante para que éste asocie la ODL con el retardo apropiado.

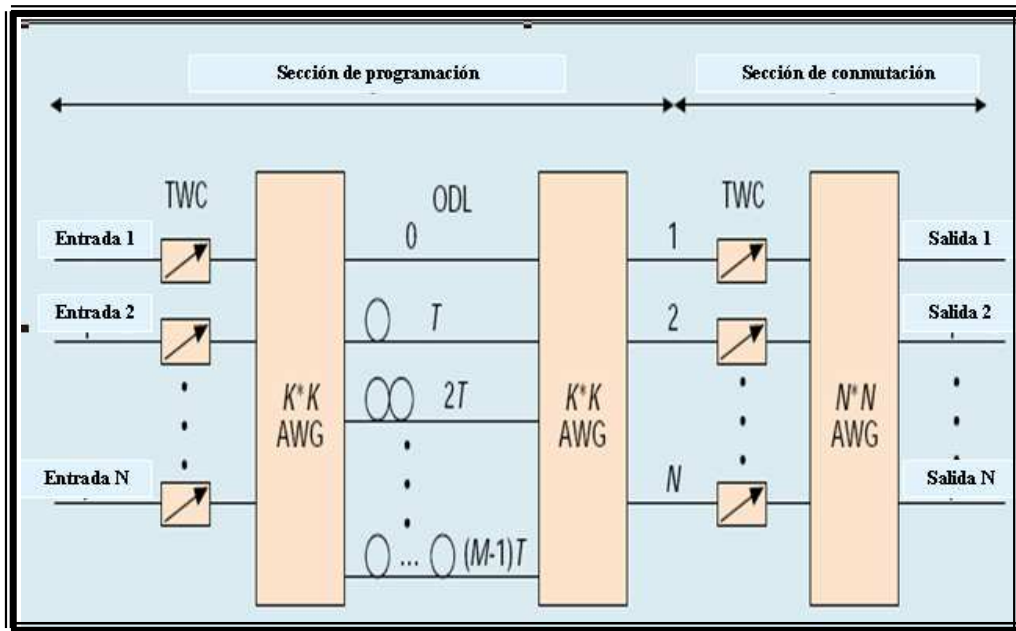


Figura 3.4: Conmutador con almacenamiento en el ingreso. [4]

El retardo de un paquete óptico se selecciona usando las siguientes reglas:

1. Dos paquetes ópticos no pueden aparecer en la misma ranura correspondiente a un puerto de salida del conmutador.
2. Dos paquetes ópticos no pueden aparecer en la misma ranura del buffer de salida.

➤ *Sección de Conmutación*

La sección de conmutación se usa para conmutar paquetes ópticos hacia sus pórticos de salida y está compuesta de un AWG y TWCs. Los TWCs asignan al paquete óptico la longitud de onda correcta que corresponde al puerto de salida deseado. El conmutador sufre un bloqueo que es inherente en los *buffers* de entrada de los conmutadores. Por ejemplo, supóngase que un paquete óptico 1 en la entrada i debe ser enrutado a la salida 1, mientras el paquete óptico 2 detrás del paquete 1 en la entrada i debe ser enrutado a la salida 2. Si el paquete óptico 1 debe ser retardado por una ranura de tiempo, el paquete óptico 2 tiene que ser retardado por al menos una ranura de tiempo debido a que se debe cumplir la segunda regla, aunque el paquete óptico 2 vaya a un pórtico de salida diferente. Sin embargo, si el paquete óptico 1 tiene que ser retardado por un tiempo mayor al de una ranura, el paquete 2 necesita solamente ser retardado por 0 ranuras siempre que el paquete 2 no tenga conflicto en la salida 2 del conmutador.

c.2) Conmutador de almacenamiento en la entrada con una red de distribución

Este conmutador fue desarrollado como parte del proyecto KEOPS y se lo muestra en la figura 3.5. Cada fibra entrante y saliente lleva una sola longitud de onda. La longitud de onda de un puerto de salida también varía con los paquetes. Al igual que el conmutador anterior, consiste de dos etapas: resolución de contenciones y conmutación.

En la etapa de resolución de contenciones, cada puerto de entrada está conectado con al menos una ODL en cada conjunto de N ODLs, por medio de un demultiplexor. El TWC decide a qué ODL se enviará un paquete óptico.

La segunda etapa se utiliza para conmutar los paquetes ópticos a los puertos de salida correctos. En esta etapa, cada ODL está conectada a cada puerto de salida a través de un demultiplexor. El TWC decide a qué puerto de salida será enviado un paquete óptico.

La primera etapa puede dividirse en dos partes: distribución y *buffer* de entrada. La primera, se encarga de distribuir los paquetes ópticos de la misma entrada a diferentes *buffers* de entrada. Si se remueve la parte de distribución (cada demultiplexor solamente puede conectar un grupo de ODLs). Para el ejemplo anterior de los dos paquetes ópticos, indistintamente de cuántas ranuras de tiempo deba ser retardado el paquete óptico 1, no afectará en el paquete óptico 2, porque los dos paquetes ópticos pueden ser enrutados a diferentes conjuntos de ODLs.

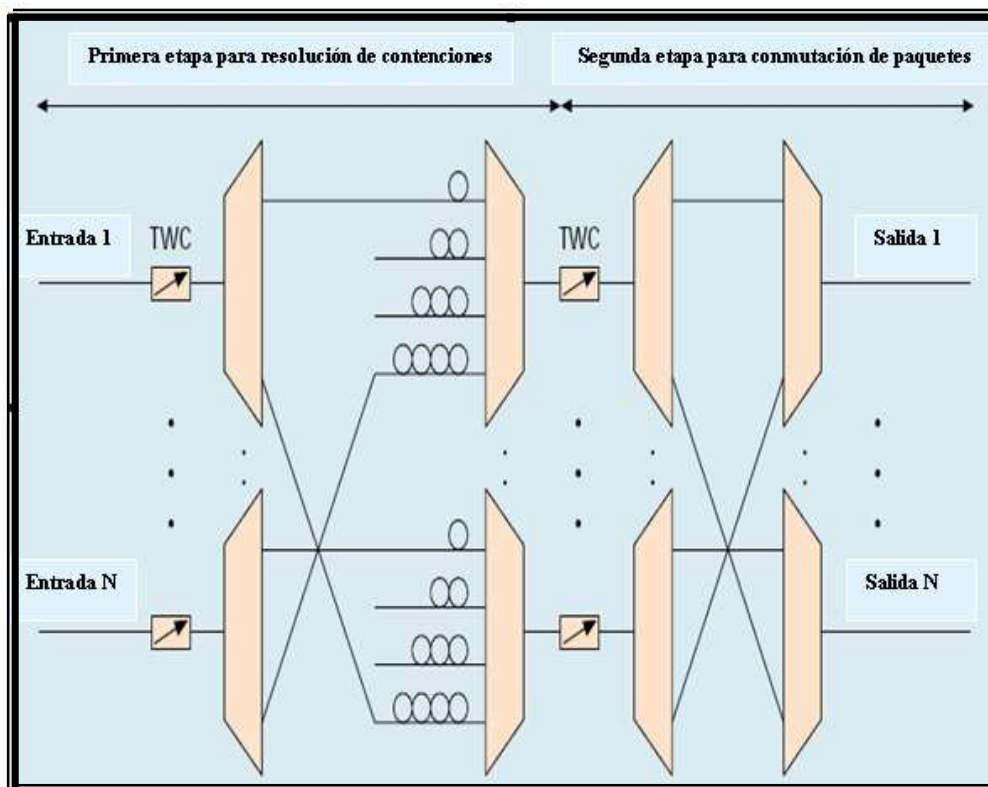


Figura 3.5: Conmutador de almacenamiento en la entrada con una red de distribución. [4]

Un paquete óptico al llegar al conmutador en la ranura t se enruta a la ODL con una longitud determinada d usando las tres condiciones siguientes:

1. Ningún otro paquete óptico se programa hacia el mismo pórtico de salida en la ranura de tiempo $t + d$.
2. Ningún otro paquete óptico se programa hacia el mismo TWC de la segunda etapa en la ranura de tiempo $t + d$.
3. Ningún paquete óptico del mismo pórtico de entrada y hacia el mismo puerto de salida se programa en d' con $d' \geq d$. Se selecciona la ODL con el retardo más pequeño que satisface estas tres condiciones.

En la versión WDM de este conmutador, hay M enlaces de fibras entrantes y salientes, cada uno lleva N longitudes de onda. Se colocan N planos entre M multiplexores y M combinadores, conectados en las fibras entrantes y salientes, respectivamente. Cada plano es un conmutador de enrutamiento por longitud de onda estándar de $N \times N$, como se describió anteriormente. Sin embargo, en el conmutador WDM una fibra saliente puede llevar más de una longitud de onda. La parte de control del conmutador asegura que no haya ningún conflicto de longitud de onda en el combinador.

c.3) Conmutador WASPNET

Propuesto como parte del proyecto WASPNET (Wavelength Switch Optical Packet Network). Su configuración como se muestra en la figura 3.6, consiste de un AWG de $2N \times 2N$, N grupos de ODLs y $4N$ TWCs. El conmutador se puede dividir en dos fases. Los paquetes ópticos se enrutan hacia las ODLs para resolver contenciones, luego de lo cual vuelven a enrutarse al puerto de salida deseado. Sin embargo, en este conmutador estas dos fases son implementadas juntas por un AWG $2N \times 2N$ y N grupos de ODLs. Los $2N$ TWCs a la izquierda del AWG se usan para seleccionar la salida del AWG. Los primeros N TWCs a la derecha del AWG son usados para seleccionar las ODLs correctas para los paquetes ópticos que recircularán.

Los otros N TWCs se utilizan para convertir los paquetes ópticos en las longitudes de onda requeridas por el interfaz de salida del conmutador, porque hay más longitudes de onda dentro del conmutador que las longitudes de onda entrantes y salientes. Una ventaja de este conmutador es que puede soportar prioridades de paquetes ópticos. Esto es, después de dejar la línea de retardo, un paquete óptico puede ser retardado otra vez debido a la prioridad para un paquete óptico de alta prioridad.

La versión WDM de este conmutador está compuesta de: demultiplexores, combinadores y múltiples planos con estructuras de enrutamiento por longitud de onda, cada una con longitudes de onda únicas entrantes y salientes. Tiene N fibras de entrada y N fibras de salida, cada una con n longitudes de onda. Existen n planos, cada uno corresponde a una de las n longitudes de onda. Por ejemplo, la longitud de onda i en cada entrada de la fibra está siempre demultiplexada al plano i . Las entradas de cada plano tienen la misma longitud de onda. Sin embargo, pueden aparecer diferentes longitudes de onda en la salida de cada plano.

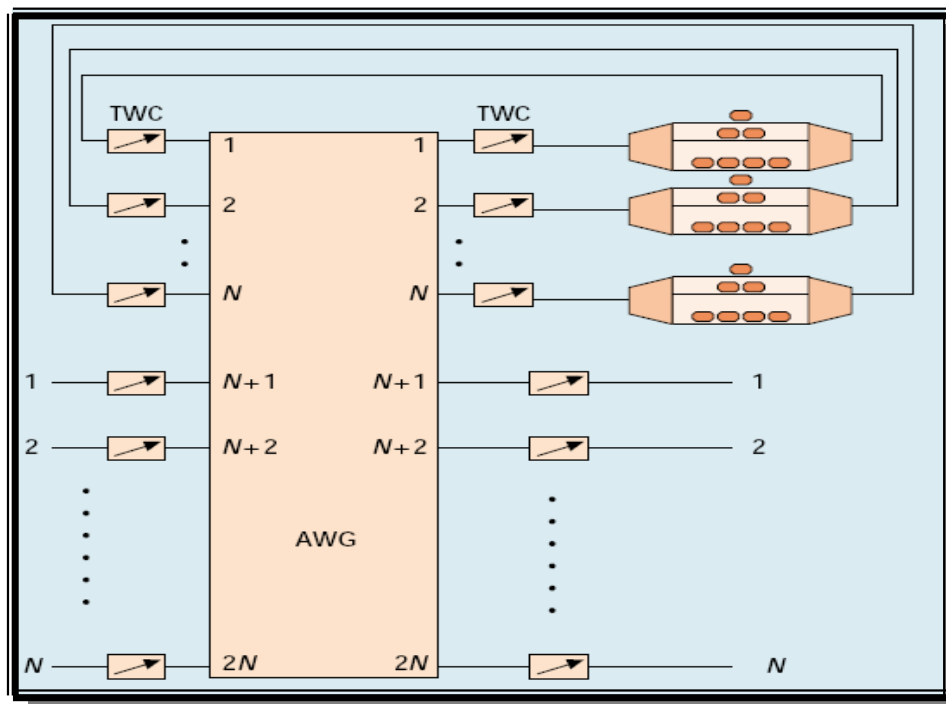


Figura 3.6: Conmutador WASPNET. ^[4]

En una ranura de tiempo, el conmutador permite dejar múltiples paquetes ópticos no solo desde la misma salida del conmutador WDM, sino también desde la misma salida de un solo plano. Un AWG de $N \times N$ está entre los N TWCs ($N + 1, \dots, 2N$) a la derecha del AWG de $2N \times 2N$ y la salida de un plano para esta función. Los N TWCs llevan a cabo más funciones. Por ejemplo, toman la decisión final de enrutamiento, además asignan paquetes ópticos a las longitudes de onda requeridas por el interfaz de salida del conmutador. La parte de control del conmutador asegura que no haya conflictos de longitud de onda en el combinador.

3.1.1.2 Componentes ópticos avanzados

Los componentes ópticos que se describen a continuación son parte fundamental en la implementación de redes OPS, estos dispositivos deben ser capaces de desarrollar sus funciones en el campo completamente óptico, en relación a esto se ha visto la necesidad de crear nuevos dispositivos que garanticen su operación en el dominio óptico para las nuevas redes de transporte. Los conversores de longitud de onda sintonizables son un ejemplo de este tipo de dispositivos; sin embargo, elementos como los regeneradores 3R todo óptico, aún se encuentran bajo estudio, ya que no se ha conseguido optimizar su funcionamiento en términos de costo efectivo, por tanto los regeneradores 3R opto-electrónicos son actualmente la técnica más económica y confiable.

3.1.1.2.1 Láser sintonizable ^{[12][13]}

Uno de los componentes principales de un transmisor óptico sintonizable es el láser sintonizable, el mismo que puede ser "sintonizado" para emitir en un rango continuo de longitudes de onda o frecuencias. Este dispositivo constituye una de las tecnologías más importantes para resolver la complejidad de construir redes completamente ópticas, lo suficientemente rápidas para conmutadores de paquetes.

Estos dispositivos se caracterizan por proveer funciones muy importantes en cuanto a la administración de la red, como:

- La provisión dinámica de conexiones a través de la red, dónde y cuándo sean requeridas,
- Conversión de longitud de onda, lo cual permitiría redes flexibles con fácil control y administración,
- Utilización de los amplificadores ópticos de semiconductor (SOA), filtros sintonizables y conmutadores espaciales, los cuales son esenciales para las redes de transporte reconfigurables.

Los láseres sintonizables pueden ser utilizados en redes metropolitanas y redes muy grandes de transporte: con gran potencia de salida, amplio rango de sintonización, rápida velocidad de sintonización de longitud de onda, modulación directa o indirecta a altas tasas de bit ($\geq 2.5\text{GB/s}$), gran confiabilidad, alta exactitud y alta estabilidad.

Los láseres sintonizables utilizados en los transmisores deben cubrir idealmente las bandas C y L. Para redes Metro, la potencia de salida de tales láseres debería sobrepasar los miliwatts y las velocidades de conmutación requeridas para conmutación de paquetes deberían estar en el rango de unos pocos nanosegundos.

Tabla 3.1: Principales Tecnologías de Láser ^[13]

Tipo de Láser	Velocidad de conmutación	Rango de sintonización	Potencia de salida	Método de sintonización
DBR		<10nm	~30mW	Elec
SG - DBR	<10ms	44nm	~30mW	Elec
SSG - DBR	500ns	20nm	~30mW	Elec
GCSR	>100ns	44nm	~5 dBm	Elec
ECL	>>10ms	>40nm		Mec
VCSEL		28 – 32 nm	<<1mW	Mec
DFB		<5nm		Temp

La tabla 3.1 muestra las siete principales tecnologías de láser [5] (y sus respectivas derivaciones) que han emergido para láseres sintonizables en la región de 1550nm para comunicaciones ópticas WDM. Sus longitudes de onda pueden variar mecánicamente, cambiando la temperatura u opto-electrónicamente.

Los láseres pueden ser divididos en dos categorías: dispositivos de emisión frontera y dispositivos de emisión de superficie. Todos los láseres listados son dispositivos de emisión frontera, excepto el último que es un dispositivo de emisión de superficie.

Para OPS solamente es posible la sintonización eléctrica, debido a las limitaciones de velocidad de sintonización mecánica y de temperatura (tiempo de sintonización 10 ms). El dispositivo más rápido es el láser GCSR, con 10 tiempos de sintonización de 10 ns; sin embargo, esto es alcanzado a costa del rango de sintonización, la potencia de salida y complejidad de fabricación. En la siguiente sección se describen algunas de las aplicaciones de los láseres sintonizables en redes OPS prototipo.

Láseres Sintonizables usados en redes OPS prototipo

Existen proyectos de investigación de OPS, llevados a cabo por varias academias y consorcios de industrias (ver ANEXO E), los cuales presentan las principales ventajas de los láseres sintonizables que utilizan en sus transmisores sintonizables.

➤ **WASPNET**

En el proyecto WASPNET (*Wavelength Switched Packet Network*) se usaron los láseres DFB para lograr la conversión de longitud de onda totalmente

[5] Distributed Feedback Laser (DFB), Distributed Bragg Reflector (DBR), Sampled Grating-DBR (SG-DBR), Super Structure Grating DBR (SSG-DBR), Grating Coupler Sampled Reflector (GCSR), External Cavity Diode Laser (ECL), Vertical-Cavity Surface-Emitting Laser (VCSEL).

óptica. El dispositivo integrado consiste de un amplificador óptico de Semiconductor con un láser DFB. La longitud de onda de salida se sintoniza con temperatura ($\sim 0.1 \text{ nm}/^\circ\text{C}$), pero tiene una velocidad lenta de sintonización. Sin embargo, un láser de multi-sección DFB puede permitir la sintonización sobre $\sim 6 \text{ nm}$.

➤ HORNET

Los transmisores sintonizables usados en el proyecto HORNET (*Hybrid Opto-electronic Ring Network*) incorporan láseres GCSR con un rango de sintonización de $\sim 30 \text{ nm}$ en la banda C, una sintonización de corriente $< 10 \text{ mA}$ y una máxima velocidad de sintonización de 15 ns .

3.1.1.2.2 *Convertidores de longitud de onda sintonizables* ^[6]

La función de los convertidores de longitud de onda sintonizables (TWC, *Tunable Wavelength Converter*) consiste en cambiar la longitud de onda, en la que los datos fueron modulados, a otra longitud de onda dentro de un rango de longitudes de onda disponibles, para realizar la conmutación óptica. (El proceso de conversión de longitud de onda como tal, se explica detalladamente en el ANEXO F).

Este dispositivo juega un papel muy importante en las redes ópticas, porque reduce el bloqueo al momento de conmutar las longitudes de onda, proporciona mayor flexibilidad en la administración de la red y asegura un mayor rendimiento a partir del tiempo de conmutación de las longitudes de entrada y salida.

Los convertidores de longitud de onda sintonizables se caracterizan porque cuentan con un rango de longitudes de onda a partir del cual pueden generar una longitud de onda sintonizable de salida para una o varias señales ópticas de

[6] Jeyashankher RAMAMIRTHAM y Jonathan TURNER, "DESIGN OF WAVELENGTH CONVERTING SWITCHES FOR OPTICAL BURST SWITCHING".

entrada, de esta manera se reduce el tiempo de bloqueo que existe en un conversor de longitud de onda no sintonizable, en el cual el bloqueo está presente debido al limitado número de longitudes de salida para varias longitudes de entrada, pudiendo solamente conmutar una longitud de onda de entrada. Todos estos elementos se encuentran integrados en un substrato que se sitúa entre dos espejos.

Estos dispositivos también pueden ser utilizados en cada salida de un demultiplexor, para separar diferentes canales de longitud de onda antes de propagarse y sintonizarlos rápidamente a cualquiera de las longitudes de onda de salida.

3.1.1.2.3 *Amplificadores Ópticos*^[1]

A pesar de que una señal óptica puede propagarse largas distancias (típicamente 80km) necesita de una etapa de amplificación, las redes ópticas no son la excepción por tanto requieren de los beneficios que pueden brindarles los amplificadores ópticos.

La amplificación completamente óptica puede diferir de la amplificación opto-electrónica en que ésta sólo puede elevar la potencia de la señal pero no restablecer la forma o sincronización de la misma. Este tipo de amplificación se conoce como *1R (re-amplification)*, provee transparencia total de datos, es decir el proceso de amplificación es independiente del formato de modulación de la señal.

Sin embargo, en las redes digitales actuales (SONET/SDH) que utilizan la fibra óptica solo como medio de transmisión, las señales ópticas son amplificadas primeramente convirtiéndolas en una señal de datos electrónica y luego retransmitiendo la señal ópticamente. Este proceso es conocido como *3R (re-amplification, re-shaping y re-timing)*.

➤ **Re-amplificación**

Es una etapa en la cual se incrementa la potencia de la señal transmitida.

➤ **Re-formación**

Es el proceso que reproduce los pulsos originales de la señal, eliminando en gran parte el ruido que puede estar presente en la misma. Principalmente se centra en señales moduladas digitalmente aunque en algunos casos puede también centrarse en señales analógicas.

➤ **Re-sincronización**

Se encarga de sincronizar la señal a su patrón original de sincronización y a su tasa de bit. Se enfoca sólo en las señales moduladas digitalmente.

Existe otro proceso de amplificación conocido como *2R (re-amplification y re-shaping)*, en el cual la señal óptica es convertida a una señal eléctrica, la cual se usa para modular un láser directamente. El desarrollo de regeneradores 3R completamente ópticos es un tópico importante en la actualidad.

También en sistemas WDM con regeneración opto-electrónica, cada longitud de onda necesita separarse antes de ser amplificada electrónicamente y luego recombinada antes de retransmitirse. Así, para eliminar la necesidad de multiplexores y demultiplexores en los amplificadores, los amplificadores ópticos deben fortalecer las señales ópticas sin convertirlas primero en señales eléctricas; sin embargo, una desventaja es que tanto el ruido óptico, como la señal, serán amplificados.

Los amplificadores ópticos se clasifican básicamente en dos clases: amplificadores ópticos de fibra (OFAs) y amplificadores ópticos de semiconductor (SOAs). También existe un nuevo tipo de amplificador óptico llamado amplificador Raman.

Características de los amplificadores ópticos

Algunos de los principales parámetros de un amplificador óptico son: la ganancia, ganancia - ancho de banda, ganancia de saturación, sensibilidad a la polarización y ruido del amplificador.

- **La ganancia.-** Mide la relación de la potencia de salida con la potencia de entrada de una señal.
- **La ganancia-ancho de banda de un amplificador.-** Se refiere al rango de frecuencia o longitudes de onda sobre las cuales el amplificador es efectivo. En una red la ganancia-ancho de banda limita el número de longitudes de onda disponibles para un canal dado.
- **La ganancia de saturación.-** Es el valor de la potencia de salida en la que dicha potencia no se incrementa con un aumento en la potencia de entrada. Cuando la potencia de entrada se incrementa más allá de un cierto valor, los portadores (electrones) en el amplificador son incapaces de sacar cualquier energía de luz adicional. La potencia de saturación se define como la potencia de salida en la que hay una reducción de 3dB en la relación de la potencia de salida a la potencia de entrada.
- **Sensibilidad de polarización.-** Se refiere a la dependencia de la ganancia sobre la polarización de la señal. La sensibilidad es medida en dBs y se refiere a la diferencia de ganancia entre las polarizaciones TE* y TM**.
- **Ruido del amplificador.-** Amplificar el ruido es un problema mayor cuando múltiples amplificadores son puestos en cascada en enlaces de larga distancia, ya que cada amplificador de la cascada, amplifica el ruido generado por los amplificadores previos.

* TE: Componente transversal Eléctrica.

** TM: Componente transversal Magnética.

Amplificador de láser semiconductor

Un amplificador de láser semiconductor es un láser semiconductor modificado (Como lo indica la figura 3.7), con diferentes facetas de reflectividad y diferente longitud del dispositivo. Por medio de la emisión estimulada, una señal débil enviada a través de la región activa del semiconductor, se convierte en una señal más fuerte, a la salida del semiconductor.

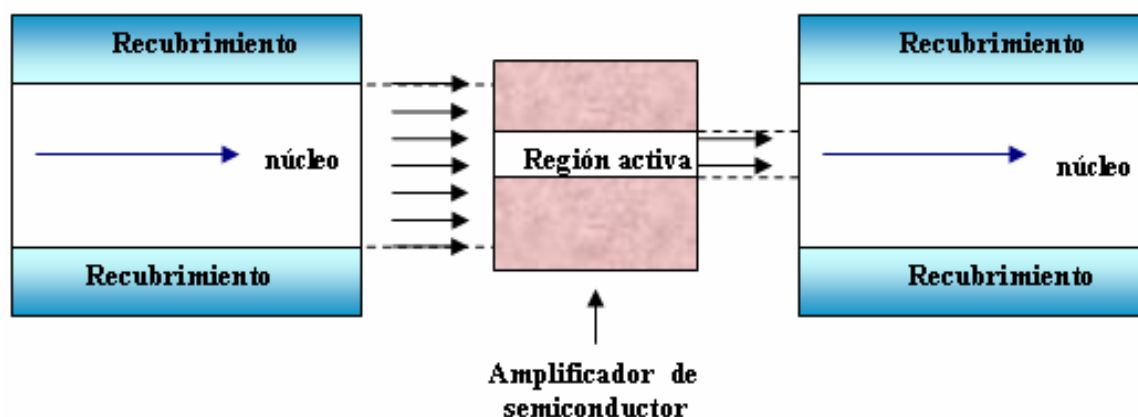


Figura 3.7: Un amplificador óptico de semiconductor. ^[3]

Existen dos tipos de amplificadores ópticos de semiconductor: el amplificador de Fabry Perot (FPA, *Fabry Perot Amplifier*), que básicamente es un láser semiconductor y el amplificador de onda viajera (TWA, *Travel Wave Amplifier*). La principal diferencia entre los dos radica en la reflectividad de sus espejos. Así, los amplificadores de FPA presentan una reflectividad alrededor del 30%, mientras los amplificadores TWA tienen una reflectividad del 0.01%.

Las altas reflexiones en el FPA causan resonancias Fabry Perot en el amplificador lo que da como resultados bandas pasantes estrechas de alrededor de 5GHz. Este fenómeno no es muy deseable en sistemas WDM; por lo tanto, para reducir la reflectividad, la amplificación se realiza en un solo paso para que no ocurran resonancias. De esta forma, los amplificadores TWA son más apropiados para redes WDM que los amplificadores FPA.

Una ventaja de los SOAs es la habilidad para integrarlos con otros componentes. Por ejemplo pueden ser usados como elementos de compuerta en conmutadores. Para sintonizar una corriente de manejo *on-off*, el amplificador básicamente actúa como una compuerta, bloqueando o amplificando la señal.

Amplificador de fibra dopada EDFA

Se trata de amplificadores ópticos que usan fibra dopada con tierras raras como el Erblio. Los amplificadores de fibra dopada necesitan de un bombeo externo con un láser de onda continua, a una frecuencia óptica ligeramente superior a la que amplifican. Normalmente las longitudes de onda de bombeo son 980 nm o 1480 nm. Son utilizados por la gran mayoría de sistemas DWDM.

La longitud de onda de trabajo y el ancho de banda de este tipo de amplificadores se encuentran determinados por los dopantes tales como: Erblio (Er), Holmio (Ho), Neodimio (Nd), Samario (Sm), Tulio (Tm), Iterbio (Yb) o el Praseodimio (Pr), se puede obtener amplificadores cuya longitud de onda puede cubrir desde la región visible hasta la de infrarrojos.

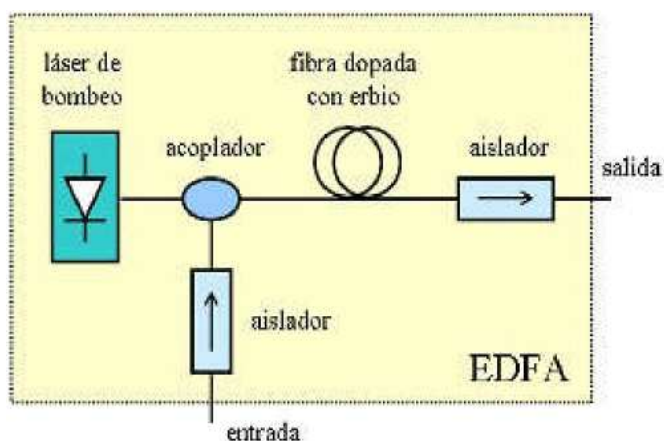


Figura 3.8: Amplificador de fibra dopada con Erblio. ^[3]

El amplificador de fibra dopada más común es el EDFA (*Erbium Doped Fiber Amplifier*). El principio básico de funcionamiento se resume en la (figura 3.8). La

señal de entrada se aplica junto con el bombeo a la entrada de una bobina de fibra dopada con erbio de unos cuantos metros de longitud, extrayendo a su salida únicamente la señal de entrada amplificada. Las uniones entre los distintos componentes se realizan mediante empalmes por fusión.

Amplificador Raman

A diferencia de los EDFAs y de los SOAs, estos dispositivos basan su funcionamiento en una interacción no lineal entre la señal óptica y la señal de bombeo de alta potencia. De manera que la fibra instalada, se utiliza como medio para la amplificación Raman.

La señal de bombeo se puede acoplar a la fibra tanto en la misma dirección en la que se transmite la señal (bombeo codireccional) como en sentido contrario (bombeo contradireccional). El más utilizado es el bombeo contradireccional para evitar la amplificación de las componentes no lineales.

Los amplificadores Raman tienen algunas ventajas fundamentales, una de las cuales es que la ganancia puede adaptarse, ajustando las longitudes de onda de bombeo. Por ejemplo, múltiples líneas de bombeo pueden ser utilizadas para incrementar el ancho de banda óptico y la distribución de bombeo determina la ganancia. Otra ventaja de la amplificación Raman es que es un amplificador de banda amplia con un ancho de banda > 5 THz.

Sin embargo, la ganancia Raman requiere más potencia de bombeo, aproximadamente decenas de miliwatts por dB de ganancia, mientras que en EDFAs se requieren décimas de miliwatt por dB para potencias de señal pequeña. Hoy, la amplificación Raman es una técnica aceptada para realzar el funcionamiento de los sistemas.

Los amplificadores Raman han sido desarrollados para nuevos sistemas de transmisión por fibra óptica con transporte largo y ultra largo, haciéndolos uno de los primeros dispositivos ópticos no lineales extensamente comercializados en telecomunicaciones.

3.1.1.2.4 Regeneradores 3R completamente ópticos ^{[7] [8] [9]}

Como se conoce, las señales que viajan a través de enlaces fotónicos sufren múltiples degradaciones debido a la naturaleza de la transmisión. Por este motivo las redes de transporte ópticas requieren dispositivos que compensen la dispersión y regeneren la señal.

Un ejemplo de estos dispositivos lo constituye el regenerador opto-electrónico cuyo funcionamiento se explica a continuación. Primero recibe una señal óptica modulada (a una tasa de bit muy alta), la transforma a una señal electrónica a la misma tasa de bit, la amplifica y luego convierte la señal electrónica otra vez a óptica con la misma modulación y tasa de bit.

En la primera generación los regeneradores se situaban cada 2 km. En sistemas de segunda generación cada 40-50 km. típicamente y en los de tercera generación se puede llegar a los 100 km.

El uso de regeneradores hace que las redes no sean transparentes, esto es, cuando se tiene que aumentar la capacidad de una línea se han de cambiar o reconfigurar todos los regeneradores de la línea. Por otra parte tiene una ventaja clara: la señal se regenera totalmente cada cierta distancia.

Existen tres tipos de regeneración a saber: 1R (re-amplificación), 2R (re-amplificación y reformación del pulso) y 3R (re-amplificación, reformación del pulso y re sincronización).

Los EDFAS son un claro ejemplo de dispositivos 1R que cumplen la función de amplificar las señales. La función de regeneración puede ser añadida a diferentes dispositivos.

^[7] www.davantel.com

^[8] H.-P.Nolting, "ALL-OPTICAL 3R-REGENERATION FOR PHOTONIC NETWORKS"

^[9] Institute for Telecommunications Heinrich-Hertz- Institut, "ALL OPTICAL 3R REGENERATION".

La figura 3.9 muestra un ejemplo de un conversor/repetidor con funciones de un regenerador 3R.



Figura 3.9: Conversor/Repetidor óptico con funciones 3R. [6]

Los SOAs por su parte presentan capacidades de amplificación y de filtrado de ruido para la implementación de regeneradores 2R. Los regeneradores 3R de alta velocidad (completamente ópticos) aún se encuentran en sus inicios, realizan las mismas funciones que un regenerador 3R opto-electrónico (figura 3.10), reconstrucción de la señal, extracción del reloj y regeneración de la señal, solo que en el dominio óptico.

La regeneración 3R completamente óptica constituye un factor clave para superar las limitaciones de transmisión y escalabilidad de las redes completamente ópticas y aunque esté en sus inicios, varias soluciones están en desarrollo y su principal prioridad es superar la degradación de la señal así como:

- Atenuación, dispersión y no linealidades de la fibra.
- Acumulación de ruido debido a los amplificadores ópticos.
- *Crosstalk* e interferencia inter-símbolos en los conmutadores ópticos.

En lo referente al principio 3R, cada una de las funciones que realiza un regenerador completamente óptico se detallan a continuación:

- Re–amplificación: Para incrementar los niveles de potencia sobre la sensibilidad del sistema.
- Re–sincronización: Supresión del tiempo de *jitter* para recuperar el reloj.
- Re–generación: Supresión de ruido y fluctuaciones de amplitud para etapas de decisión.

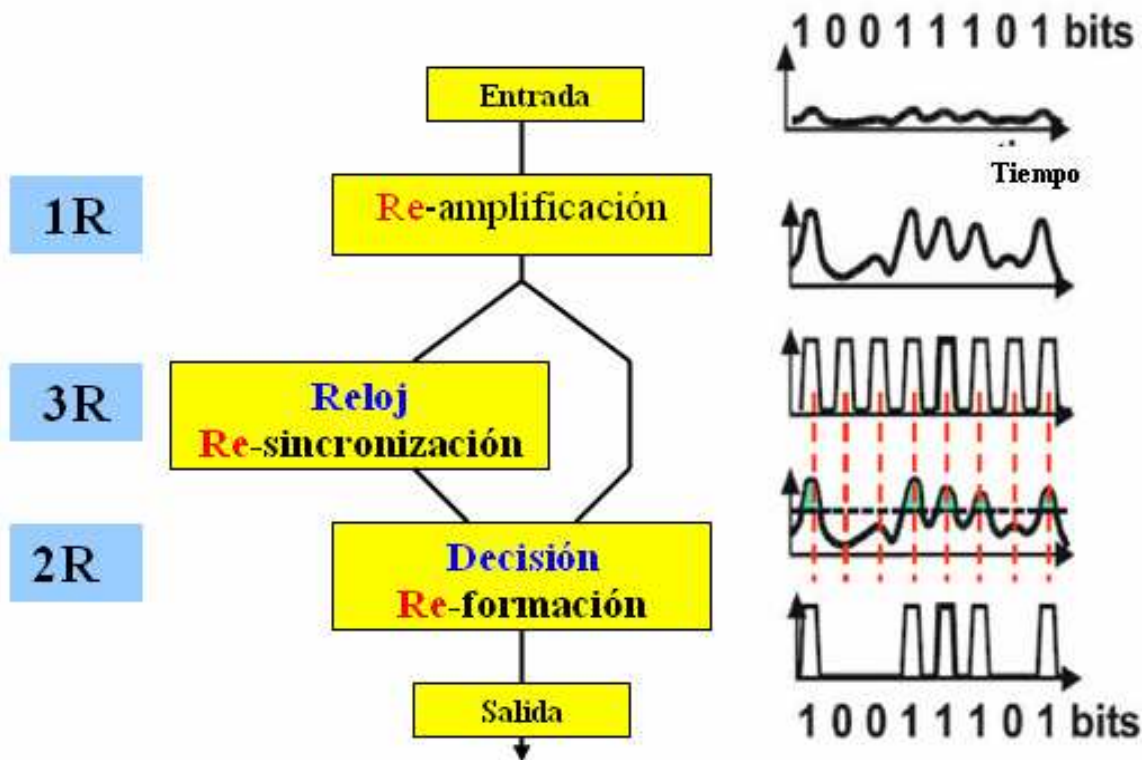


Figura 3.10: Etapas de la regeneración 3R. [7]

En la figura 3.11 se presenta un diagrama en bloques respecto a las etapas que conforman un regenerador 3R completamente óptico.

Requerimientos básicos de los regeneradores 3R completamente ópticos:

- Estructura completamente óptica sin conversión O/E
- Alta velocidad de operación, 40 Gbps hasta 160 Gbps
- Configuración basada en dispositivos de semiconductor
- Insensibilidad a la polarización y al gran ancho de banda

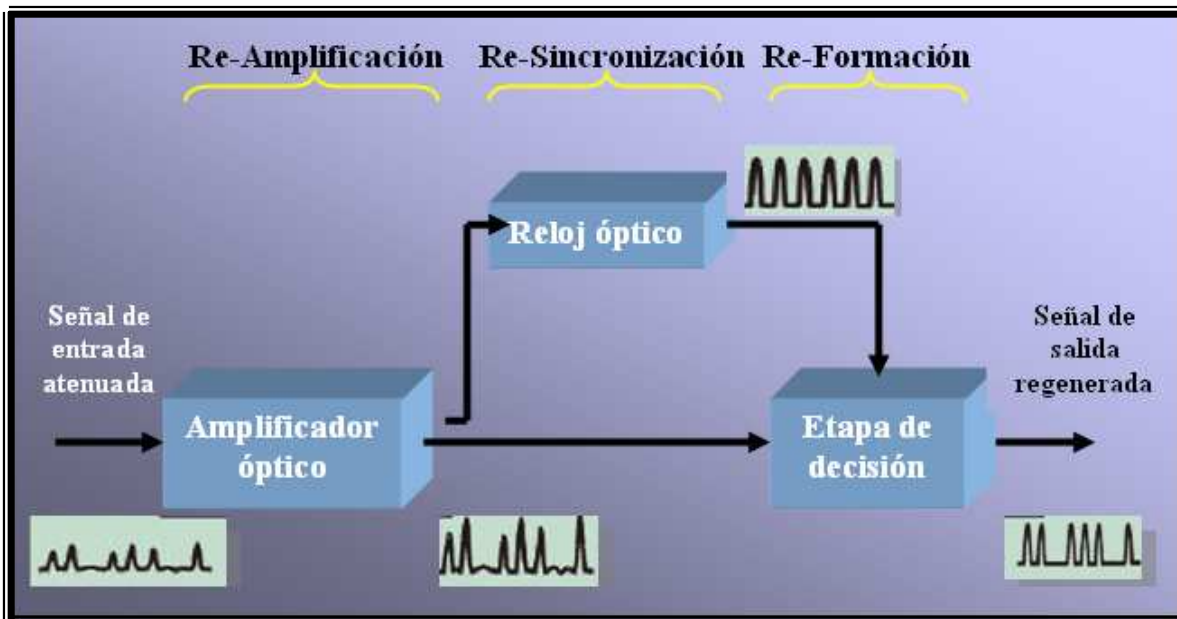


Figura 3.11: Diagrama de bloques de un regenerador 3R completamente óptico. [8]

3.1.2 MEDIO DE TRANSMISIÓN (FIBRA ÓPTICA) [10] [11] [12]

Las redes OPS pueden utilizar tanto las fibras monomodo como multimodo, el requisito indispensable para su elección, depende básicamente de la velocidad de transmisión que requieren estas redes.

La fibra óptica es uno de los medios de transmisión más usados en telecomunicaciones y redes de datos, por ser capaz de concentrar, guiar y transmitir la luz con muy pocas pérdidas incluso cuando está curvada. Además reúne las mejores características para la infraestructura en la cual se basan las redes OPS, tales como:

- **Baja Atenuación.**- Las fibras ópticas son el medio físico que presenta menor atenuación. Permitiendo así establecer enlaces directos sin

[10] TANENBAUM Andrew, "REDES DE COMPUTADORAS".

[11] <http://www.wikipedia.com>

[12] <http://www.textoscientificos.com>

repetidores en distancias de 500km, lo que implica mayor fiabilidad y economía en los equipamientos.

- **Gran ancho de banda.**- La capacidad de las fibras ópticas de transmisión es muy elevada, pues permiten la propagación de varias longitudes de onda simultáneamente, a velocidades en el orden de unidades de Gbps y con WDM Tbps, proporcionando así mayor rendimiento de los sistemas.
- **Peso y tamaño reducidos.**- Una fibra óptica tiene un diámetro similar al de un cabello humano.
- **Gran flexibilidad y recursos disponibles.**- Los cables de fibra óptica presentan propiedades de maleabilidad. Su construcción se la realiza a partir del dióxido de silicio (SiO_2) que es uno de los recursos más abundantes en la superficie terrestre.
- **Aislamiento eléctrico entre terminales.**- Las fibras ópticas garantizan la oposición a inducciones de corriente en el cable ya que no están construidas de materiales eléctricos. Permitiendo que las señales se transmitan con muy bajo índice de error y sin interferencias eléctricas a través de zonas eléctricamente ruidosas.
- **Ausencia de radiación emitida.**- Constituyen el medio más seguro para transmitir información de muy alta calidad, sin degradación, porque la transmisión de datos se la hace en el dominio óptico, donde las radiaciones electromagnéticas no tienen ningún efecto.
- **Inmunidad a variaciones de temperatura.**- Las fibras ópticas se mantienen estables entre - 40 y 200° C sin que los cambios de temperatura tengan efecto sobre ellas.

3.1.2.1 Tipos de fibra óptica ^{[2][4][13]}

Dependiendo del modo de propagación, en general se tiene dos tipos de fibra óptica: multimodo y monomodo. La figura 3.12 presenta los distintos tipos de fibra óptica con sus respectivas características.

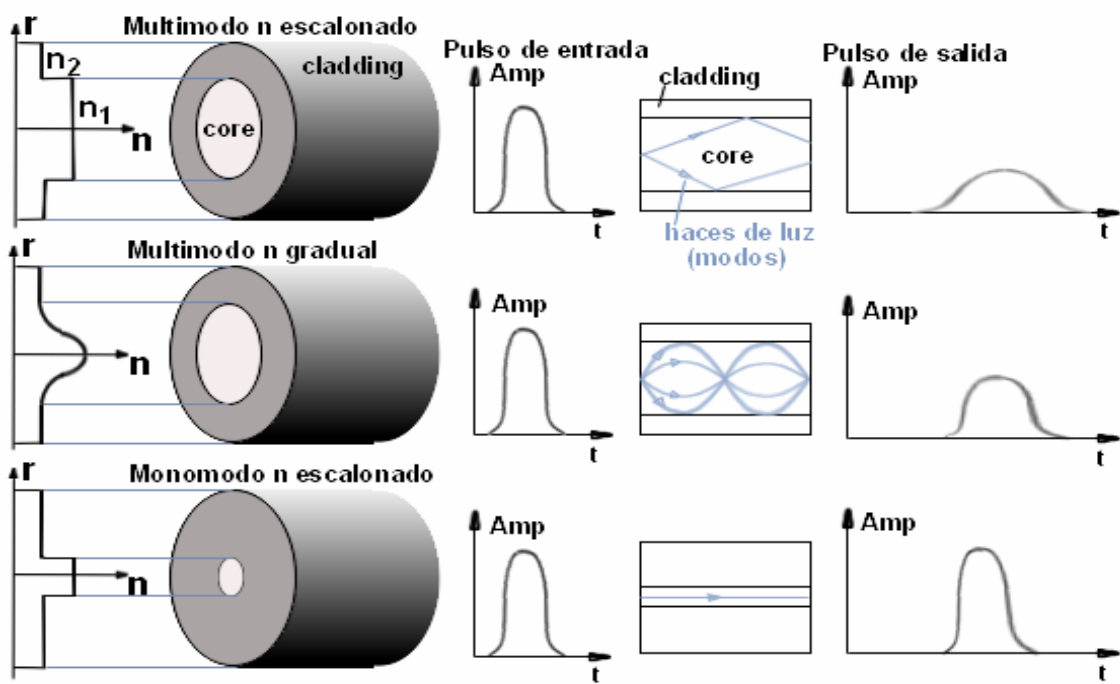


Figura 3.12: Tipos de fibra óptica ^[7]

3.1.2.1.1 Fibras multimodo

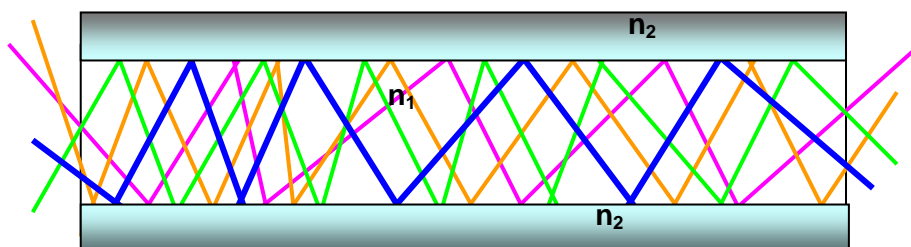


Figura 3.13: Propagación de varios modos de luz en una fibra multimodo ^[4]

^[13] <http://www.yio.com.ar>

Una fibra multimodo se caracteriza por permitir la propagación de varios modos de luz, inclusive más de mil modos de propagación como lo indica la figura 3.13. Las fibras multimodo se utilizan comúnmente en aplicaciones que usan láseres de baja intensidad, con distancias menores a 2km, es más económica que una fibra monomodo. El diámetro de su núcleo puede ser típicamente de 50 a 100 μ m. Dependiendo del tipo del índice de refracción del núcleo, se tiene dos tipos de fibra multimodo; de índice escalonado y gradual.

➤ ***Fibras multimodo de índice escalonado***

En este tipo de fibra, el núcleo y el revestimiento tienen un índice de refracción constante en toda la sección cilíndrica dando como resultado una alta dispersión modal. Son baratas y fáciles de fabricar. Presentan una apertura relativamente alta permitiendo acoplar la luz dentro y fuera de la fibra.

La principal desventaja de utilizar esta fibra, es la dispersión que afecta al pulso de luz que se propaga, ya que los rayos pueden seguir muchas trayectorias y llegar al receptor en diferentes tiempos. Por lo que, el ancho de banda y la tasa de bits son los más bajos en relación a los otros tipos de fibra.

➤ ***Fibras multimodo de índice gradual***

Estas fibras permiten acaparar la luz más fácil que una fibra monomodo, pero más difícil que una fibra de índice escalonado. El índice de refracción del núcleo no es constante ya que varía gradualmente. La dispersión debida a las trayectorias de propagación múltiple, es mayor que en las fibras monomodo, pero menor que en las fibras de índice de escalonado.

Son más fáciles de fabricar que las fibras monomodo, pero más difíciles que las fibras multimodo de índice escalonado. Se considera como una fibra intermedia comparada con otros tipos.

3.1.2.1.2 Fibras monomodo

Este tipo de fibra se caracteriza porque tan solo permite la propagación de un modo de luz en línea recta (figura 3.14), sin rebotar, de manera que actúa como una guía de onda, presentando así dispersión mínima. En consecuencia, un pulso de luz que entre a la fibra puede reproducirse muy exactamente en el lado del receptor.

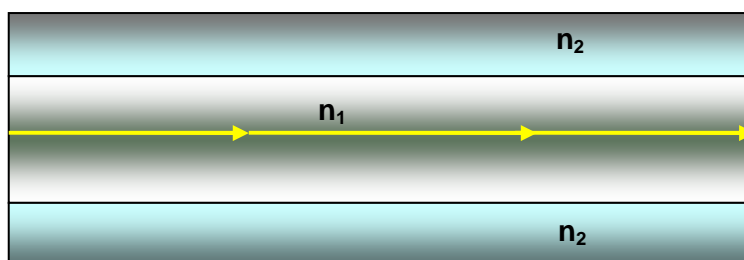


Figura 3.14: Propagación de un modo de luz en línea recta ^[4]

El diámetro del núcleo de esta fibra con respecto a una fibra multimodo es reducido hasta un tamaño de 8,3 a 10 micrones. A diferencia de las fibras multimodo, las fibras monomodo permiten alcanzar grandes distancias y transmitir a elevadas tasas de bit con muy poca atenuación, en la práctica estas fibras pueden llegar a transmitir datos en el orden de las decenas de Gbps a una distancia de 1000 km. (con DWDM), usando un láser de alta intensidad.

Requiere una fuente de luz altamente directiva como un láser para captar la luz, por lo que las fibras de este tipo suelen ser costosas y difíciles de fabricar.

Una de las aplicaciones más comunes de las fibras monomodo es en redes de *backbone* troncales de larga distancia, en donde se las emplea para conectar una o más localidades.

3.1.2.2 Especificaciones técnicas de la fibra óptica en redes OPS

Actualmente se emplea la fibra óptica para la transmisión en diferentes aplicaciones, ya sea mediante: Ethernet, FDDI, ATM, SONET y *Token Ring*, con una configuración típica del núcleo de 10 μm para fibras monomodo.

En general las redes OPS operan conjuntamente con la fibra óptica y el estándar de alta velocidad a 10 Gbps por longitud de onda como mínima capacidad de transmisión de datos, por lo que se debe tomar en cuenta el medio de transmisión que reúna estas características.

En la tabla 3.2 se describen algunas de las posibles soluciones en fibra óptica a 10 Gbps de diferentes proveedores que podrían ser usadas para la implementación de redes OPS (más detalles ANEXO G):

Tabla 3. 2: Posibles soluciones de fibra óptica para 10 Gbps.

PROVEEDOR	SOLUCIÓN
SYSTIMAX ^[14]	<ul style="list-style-type: none"> • TeraSPEED™ Zero Water Peak* Singlemode Fiber • The OptiSPEED® Multimode Solution • The SYSTIMAX® LazrSPEED® Solution
FURUKAWA ^[15] INDUSTRIAL S.A.	<ul style="list-style-type: none"> • 10 GIGABIT LWG+ (fibras OM2+ con tasas de transmisión hasta 10 Gbps en 150m) • 10 GIGABIT LW300 (fibras OM3 con tasas de transmisión hasta 10 Gbps en 320m) • 10 GIGABIT LW550 (fibras OM3 con tasas de transmisión hasta 10 Gbps en 550m)

[14] www.commscope.com

* Fibras que disminuyen la atenuación producida por el pico de absorción de agua, ITU- G.652.D.

[15] <http://www.furukawa.com.br>

3.2 INTERFACES DE RED ^[16]

Las características de OPS, explicadas a lo largo de los anteriores capítulos, la hacen la candidata más idónea para redes MAN; sin embargo, para alcanzar la conectividad extremo a extremo se debe considerar cómo interactúan las redes OPS MAN con el resto de redes, especialmente con las redes de acceso que son electrónicas, ya que la tendencia es que tanto las redes MAN como WAN sean completamente ópticas. Cuando los paquetes llegan desde una red de cliente, es necesario convertirlos a señales ópticas antes de enviarlos a la red OPS. Esta conversión se realiza en el interfaz del cliente de la red.

El interfaz del cliente (figura 3.15), debe ser capaz de procesar el tráfico de capa 2 o capa 3, o peticiones de conexión sobre diferentes protocolos como IP, ATM o SDH. En el caso de los paquetes IP, el interfaz de cliente primero debe enfocarse en el *header* IP, asignarle un header óptico de acuerdo a la tabla de enrutamiento y luego debe transmitir el paquete hacia el siguiente nodo OPS. Este interfaz deberá tener un *performance* alto de tal manera que permita agregar y conmutar el tráfico del usuario a gran velocidad.

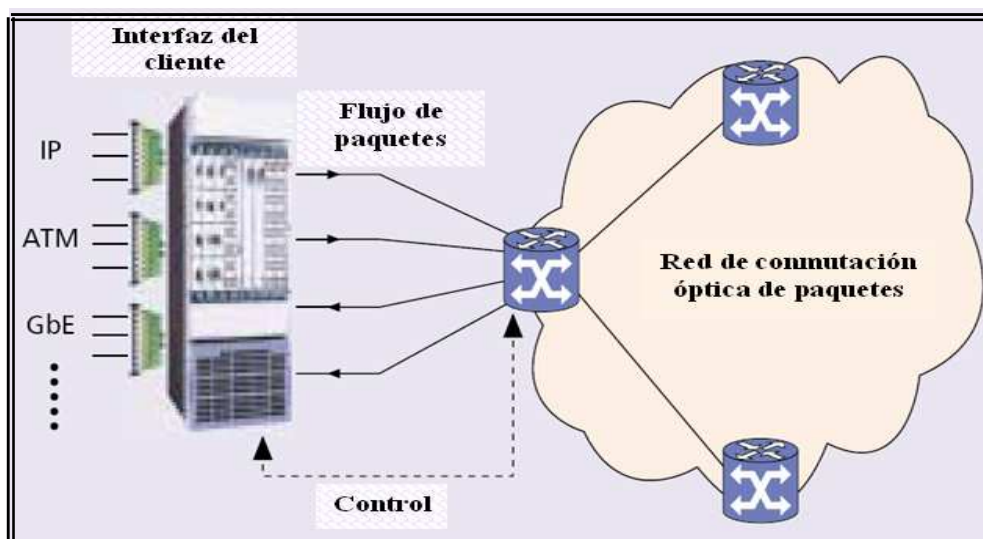


Figura 3.15: Interfaz de cliente de las redes OPS ^[16]

^[16] Shun Yao, Biswanath Mukherjee, y otros "ELECTRICAL INGRESS BUFFERING AND TRAFFIC AGGREGATION FOR OPTICAL PACKET SWITCHING AND THEIR EFFECT ON TCP-LEVEL PERFORMANCE IN OPTICAL MESH NETWORKS".

El encapsulamiento ocurre en las unidades de *interworking* (IWUs, *InterWorking Units*) en cada interfaz de la capa del cliente. El encapsulamiento permite que protocolos como IP y ATM se puedan asociar dentro de *payloads* ópticos, los cuales pueden ser de duración fija o variable. Además del encapsulamiento, las IWUs crean *headers* para el enrutamiento apropiado dentro de la capa óptica y tráfico múltiple desde diferentes enlaces de entrada para la transmisión avanzada en paquetes ópticos para el mismo destino, asegurando una ruta óptica de conexión extremo a extremo.

El tráfico proveniente de los usuarios puede ser: voz, datos o video, por tanto se requiere analizar la transmisión de éstos en las redes OPS.

3.3 TRANSMISIÓN DE VOZ, DATOS Y VIDEO EN OPS ^{[1] [16] [17]}

De la simulación realizada en [3], para determinar el comportamiento de OPS con enrutamiento basado en prioridad, se concluye que es posible alcanzar un *performance* adecuado para redes OPS; sin embargo, puesto que no existe un sistema de encolamiento como en el dominio óptico, la eficiencia de utilización del ancho de banda puede no ser óptima.

El sistema analizado presenta la arquitectura de la figura 3.16 en la cual existen seis nodos conectados por enlaces de fibra bidireccional a una distancia de 20 km., cada fibra puede soportar cuatro longitudes de onda cada una operando a 2.5 GHz.

Entre cada par fuente-destino se genera igual cantidad de tráfico. Un paquete en contención puede experimentar conversión de longitud de onda o almacenamiento óptico, dependiendo de la prioridad del paquete y la política de enrutamiento.

^[17] GROTE Walter, HENRY Cristian y otros "DESARROLLO DE UNA RED EXPERIMENTAL IP/WDM.

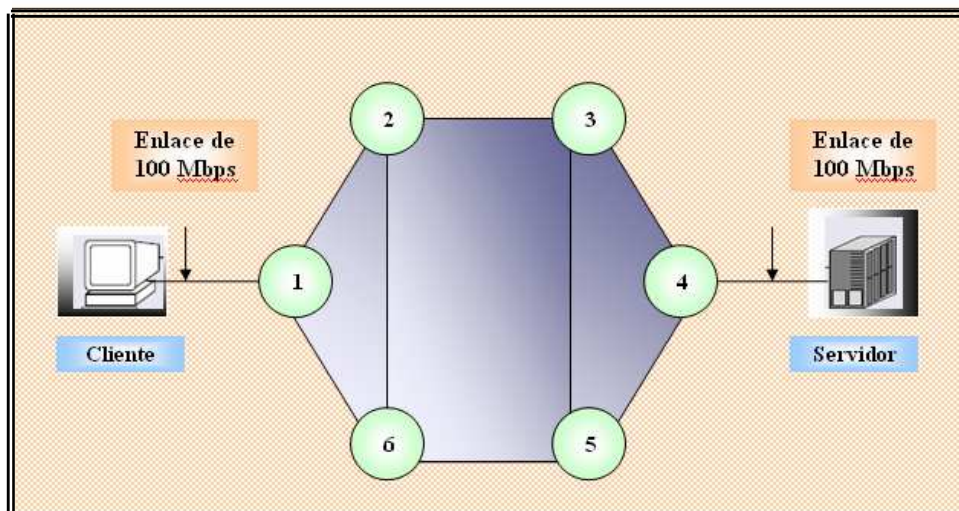


Figura 3.16: Topología de red para el análisis de TCP ^[16]

Existen tres clases de prioridad de paquetes: clase 3, 2 y 1 de las cuales la clase 3 tiene la mayor prioridad. En caso de contención, un paquete primero buscará una longitud de onda vacante en el pórtico de salida deseado; si ninguna está disponible, buscará una longitud de onda vacante en el *buffer*. Si no hay ninguna longitud de onda disponible en el *buffer*, comparará su prioridad con los paquetes que ocupen el pórtico deseado. Si el nuevo paquete tiene mayor prioridad, éste puede tomar un paquete de menor prioridad y transmitirse exitosamente. Si los dos paquetes en contención tienen la misma prioridad el que llega último se conmuta de acuerdo al siguiente salto de deflexión y el proceso descrito se repite. Si el acceso de enrutamiento secundario también fracasa, el paquete se descartará.

Los paquetes con mayor prioridad alcanzan menor tasa de pérdida de paquetes a cambio de que exista mayor descarte de los paquetes con mayor prioridad.

Para las tres clases de prioridad simuladas, la clase tres tiene el mejor *performance* en términos de: latencia, calidad de señal y tasa de pérdida de paquetes. Esto será conveniente para transportar tráfico en tiempo real y puede ser además explorado para establecer conexiones como circuitos virtuales para acomodar demandas de usuarios rigurosas. La clase 2 la cual tiene mayor retardo

y tasa de pérdida de paquetes, aparece como buena candidata para transportar tráfico orientado a conexión con calidad media (tal como TCP o voz) o tráfico de datos no orientado a conexión (como UDP). La clase 1 tiene la mayor latencia y tasa de pérdida. Puede ser usada para aplicaciones y servicios de datos que no requieren conexión en tiempo real. Es importante notar que el *performance* de cada clase no solo se relaciona con la política de enrutamiento específica y la topología de la red, sino como se divide el ancho de banda entre las clases, en otras palabras la porción de ancho de banda asignada a la clase con alta prioridad debería ser pequeña.

El protocolo de Internet IP es el protocolo dominante para comunicaciones y es el candidato más fuerte para la convergencia en las telecomunicaciones, pues el servicio de Internet está expandiendo su capacidad para soportar varios tipos de servicio como voz, video y juegos de video interactivos, a más del transporte de datos.

3.3.1 PERFORMANCE DE TCP CON OPS

Debido a que el tráfico basado en TCP es aproximadamente el 90% del tráfico total de Internet, es importante estudiar el efecto de una arquitectura OPS en el *performance* de TCP, no solo para reducir la tasa de pérdida de paquetes, sino también para proveer un mejor transporte de tráfico para TCP/IP. Para lo cual se considera un mecanismo de agregación de paquetes, el cual permite que muchos paquetes sean agrupados juntos dentro de una entidad más grande que pueda ser más eficientemente transportada a través de la red.

La arquitectura del nodo se ilustra en la figura 3.17, donde el agregador de paquetes ensambla los paquetes del cliente dentro de entidades más grandes con un procedimiento FIFO (*First-In-First-Out*). Se interconecta directamente con los elementos de la red del cliente (típicamente ruteadores IP), consiste de un número de sub-colas FIFO. Cada sub-cola almacena paquetes que van hacia el

mismo destino, transmite todos los paquetes almacenados en una agregación de paquetes después de un cierto periodo de tiempo, t_a .

Para evitar retardo innecesario, se establece un umbral de cuenta paquetes C , tal que, cuando el número de paquetes almacenados alcanzan C , la sub-cola transmitirá la agregación de paquetes, aún si el tiempo desde la última transmisión es menor que t_a . Este mecanismo de agregación se lo puede comparar con un sistema de transporte público: a cualquier tiempo hay un bus con uno o más asientos vacíos esperando por pasajeros con destinos diferentes. Un bus tiene una capacidad máxima de C pasajeros, el mismo que sale cada t_a segundos. Si el bus se llena antes de su hora de salida, se irá más temprano y el siguiente bus vacío entrará a la estación. El agregador no solo preserva el orden de los paquetes sino también forma el tráfico colocando más paquetes de agregación dimensionados uniformemente en intervalos de tiempo más regulares.

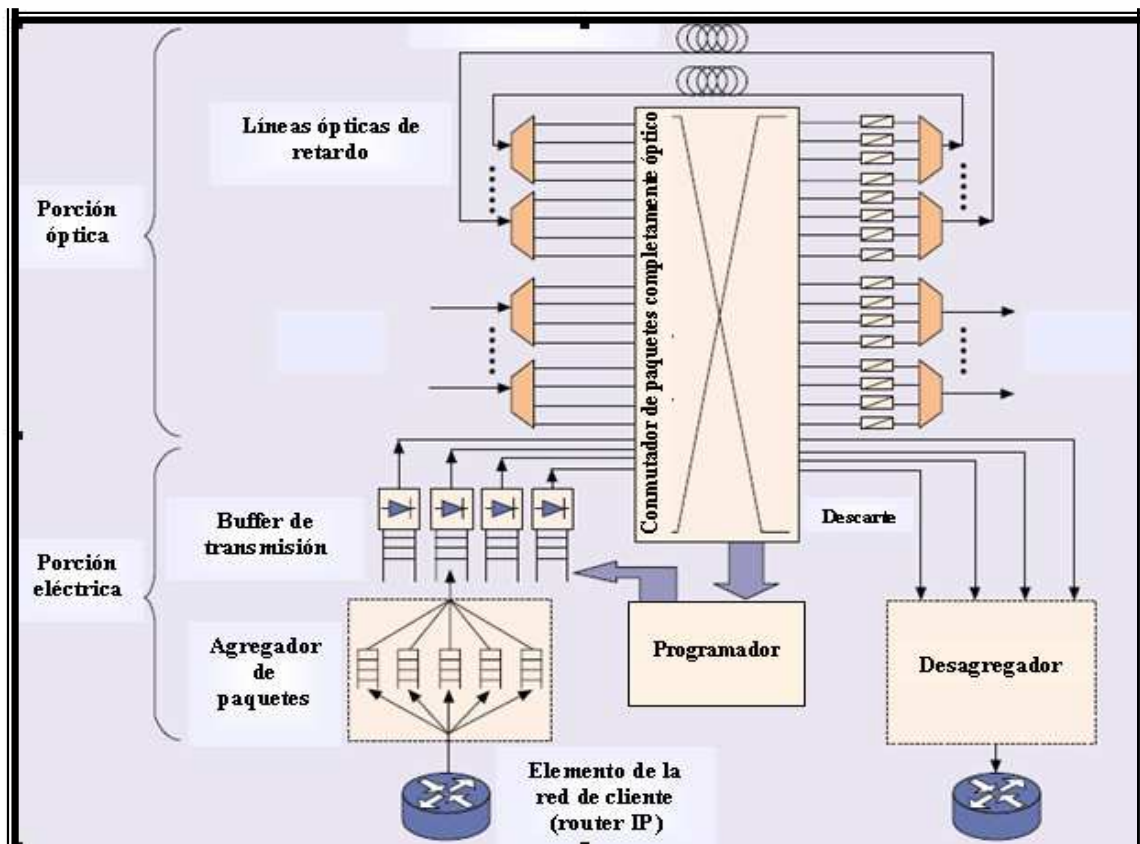


Figura 3.17: Arquitectura de la red de conmutación óptica de paquetes con un buffer eléctrico de ingreso y tráfico de agregación. ^[16]

Con el propósito de evitar las contenciones y saber cuándo los paquetes de agregación pueden ser colocados dentro de un conmutador óptico, se cuenta con un *buffer* de ingreso, el cual permite que los paquetes de agregación local sean suministrados sólo cuando no exista tránsito de paquetes, usando el pórtico de salida preferido. Los paquetes de agregación local, primeramente se almacenan en el *buffer* de ingreso electrónicamente y luego son convertidos al formato óptico, entonces se colocan dentro del conmutador óptico. Se utiliza un programador para monitorear constantemente el estado de la estructura del conmutador y controlar la transmisión desde el *buffer* de ingreso.

El estudio de esta solución se llevó a cabo a partir de simulaciones con la herramienta de *software* OPNET. Para lo cual se escogió una sesión de protocolo de transferencia de archivos FTP (*File Transfer Protocol*), usando como métrica de *performance* el tiempo de transferencia de un archivo largo. Uno de los principales factores que afectan el *performance* de TCP es el tamaño de la ventana de recepción, cuyos valores típicos son 8, 32 o 64 Kbytes. La agregación umbral C puede también influir en el *performance* de TCP. El estudio compara el tiempo de transferencia de archivos T_{FTP} para diferentes tamaños de ventana TCP, solamente con almacenamiento de ingreso electrónico y sin agregación.

Luego se analiza el efecto de agregación umbral (medido en número de paquetes) variando C entre 10, 30 y 100 paquetes con un tamaño de ventana fijo igual a 8 Kbytes. Esta simulación dio como resultado que la agregación de paquetes mejora el *performance* de TCP; sin embargo con más paquetes agregados, el *performance* se deteriora porque existe más retardo por el encolamiento en el agregador de paquetes.

Automáticamente se podría pensar que un buen esquema de agregación debería coleccionar todos los segmentos TCP transmitidos dentro de un tamaño de ventana y enviarlos fuera en un paquete de agregación. Si éste fuera el caso el agregador tendría que mantener el primer segmento por lo menos todo el retardo de transmisión de todos los segmentos de esa ventana. Tal esquema podría frustrar el propósito de canalización de información en el mecanismo de de ventana

deslizante de TCP, porque el retardo total de transmisión para toda la ventana TCP es determinado por la conexión más lenta sin tener en cuenta cuán rápido sea el resto de la red. Por tanto, el beneficio de la agregación de tráfico sobre el *performance* de TCP no es directamente causado por la agregación de segmentos de TCP dentro de una ventana, sino por lo contrario, por su efecto de configuración de tráfico y la consecuente reducción de paquetes perdidos en la red.

La agregación reduce el tráfico *burstiness*^{*}, sin embargo este método no es tan efectivo porque la agregación umbral *C* se basa sobre un número de paquetes en lugar de bits. Puesto que una gran porción del tráfico IP consiste de paquetes muy pequeños, el tamaño de los paquetes de agregación puede variar dramáticamente cuando *C* es grande y el tiempo de inter-salida de los paquetes de agregación puede aún ser absolutamente *bursty*^{**}. Por tanto usando una cuenta de bits en lugar de una cuenta de paquetes podría ser una mejor propuesta para el esquema de agregación.

3.4 ADAPTABILIDAD DE LA SOLUCIÓN OPS PARA UN CARRIER DE DATOS EXISTENTE

3.4.1 DESCRIPCIÓN DE LA ARQUITECTURA ACTUAL DEL CARRIER DE DATOS

Para visualizar de mejor manera los requisitos necesarios en la implementación de una red OPS, se tomará como ejemplo la red de un *carrier* de datos que actualmente brinda sus servicios a través de la tecnología SDH. El esquema de cobertura del *carrier* se ilustra en la figura 3.18 donde se observa la distribución de los principales nodos a nivel nacional.

* *Burstiness*: Define cuán *bursty* es el tráfico.

** *Bursty*: Tráfico a ráfagas.

El presente proyecto se enfoca sólo en el estudio de redes MAN, por lo tanto se analizará la red que cubre el distrito metropolitano de Quito, que está conformada por cuatro nodos distribuidos geográficamente en: Santa Rosa, La Vicentina, Pomasqui y Primavera (Nodo Central), con una topología en forma de anillo.

La figura 3.19 ilustra la red SIEMENS del *carrier* a nivel nacional, donde se resalta el área de cobertura en la ciudad de Quito.

Para los servicios de Internet e intranet de las subestaciones se aprovecha la red de FO a través de enlaces WAN, mientras que para los lugares en los que todavía no se tiene la red se contrata con otros proveedores.

3.4.1.1 Dispositivos utilizados en la red

La red está conformada por los siguientes equipos:

➤ Equipos SIEMENS: SMA16

Este dispositivo cumple con el papel de un ADM (*Add Droop Multiplexer*) cuya función básicamente es la de transformar la información que llega al nodo, al formato utilizado por SDH, en cada nodo de la red de transporte.

El multiplexor SDH SMA16, tiene las siguientes características:

- Funcionalidad multiplexor Add/drop, mutiplexor terminal, cross-conector local.
- Conectividad total sobre los niveles VC-4, VC-3, VC-2 y VC-12.
- Interfaces: 2 Mbps, 34 Mbps, 140 Mbps, STM-1, STM-4 y STM-16.
- Amplificador y preamplificador óptico para los interfaces STM-4 y STM-16.

➤ **Sistema de Gestión: Propietario de Siemens: TNMS (*Telecommunication Network Managment System*)**

El TNMS provee administración integrada para toda la red de transporte, es decir para el 100% de redes SDH, para redes IP y redes ópticas multiservicio con muy alta capacidad. Además cuenta con un interfaz abierto para ambientes multi-vendedor y puede soportar el incremento del número de elementos de red. Proporciona procedimientos especiales de administración de conexión *end-to-end*, con enrutamiento manual o automático sobre toda la red y permite que los servicios sean instalados y monitoreados en un ambiente amigable.

➤ **Medio de transmisión**

El tipo de medio de transmisión es fibra óptica mono-modo que trabaja en las ventanas de 1550 nm y 1310 nm. En tanto que el tipo de cable de fibra es OPGW (*OPTical Ground Wire*), instalado en torres de energía eléctrica. Este cable cumple 2 funciones: cable de guarda para protección de las líneas de transmisión eléctrica contra descargas atmosféricas y corto circuitos (conexión a tierra), y transporte de 48 hilos de fibra dentro de una estructura formada por conductores metálicos.

3.4.1.2 Arquitectura del carrier con OPS

Dado que el presente estudio no implica el diseño de una red, a continuación se presenta el esquema de una posible arquitectura (figura 3.20) de red para el *carrier* del ejemplo, donde se muestra una estructura WDM multi-*ring* en la que múltiples anillos se interconectan a través de un *Hub* AWG, el cual tiene N x N puertos, de los cuales uno o más pueden ser utilizados para la interconexión de la red MAN con una WAN a través de un *gateway*.



Figura 3.18: Área de Cobertura del *carrier* ^[18]

^[18] Datos proporcionados por la operadora Transelectric S.A.

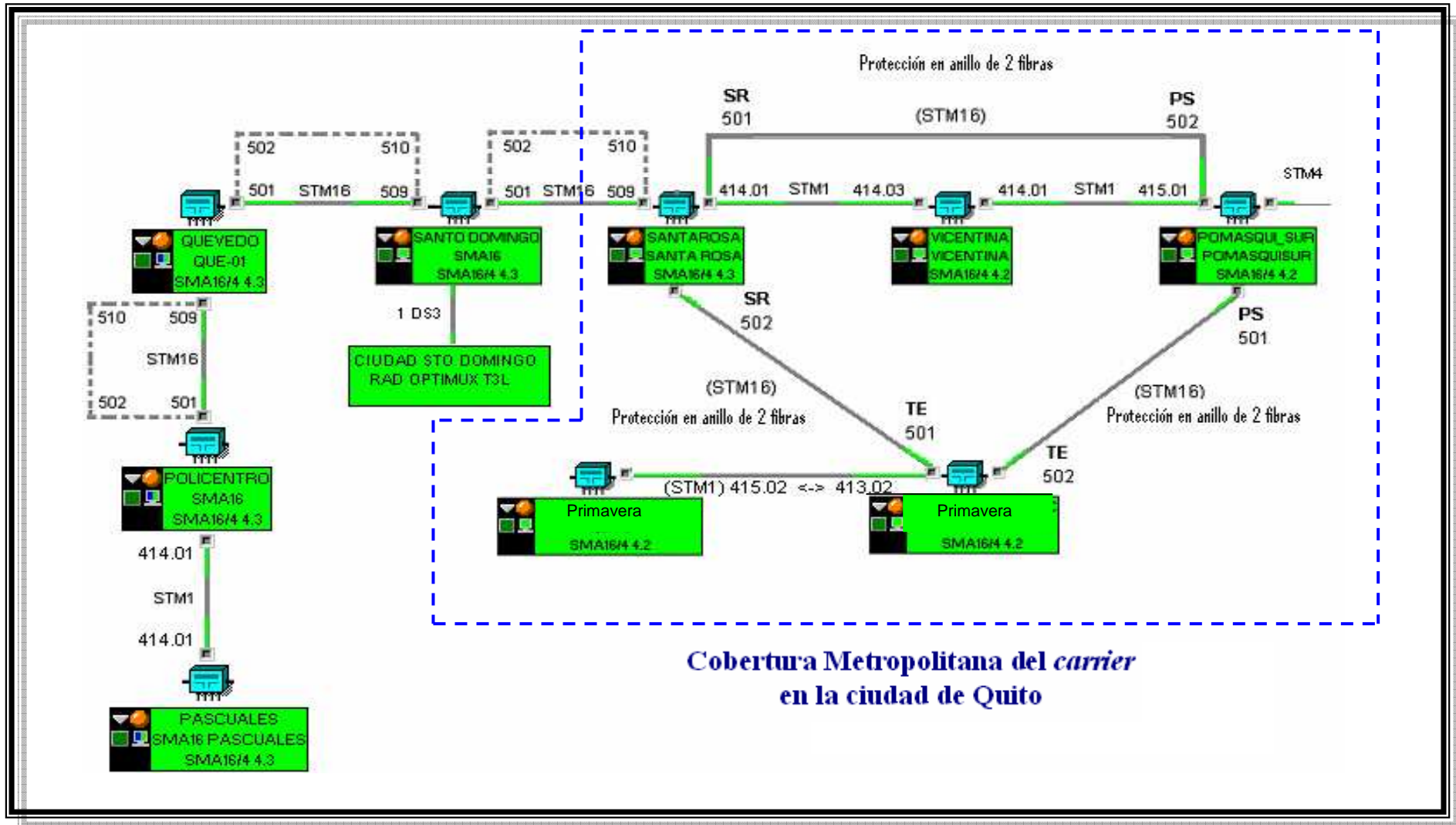


Figura 3.19: Red Siemens a nivel nacional [18]

La red WAN debe tener *routers* totalmente ópticos, de manera que se pueda trabajar completamente en el dominio óptico, ya que no tendría ningún sentido trabajar a mayor velocidad sólo a nivel de transporte de datos, pues existiría un cuello de botella debido a que la velocidad en el dominio electrónico no podría alcanzar a la que se tendría en el dominio óptico, incluso aún cuando se cuente con interfaces rápidos que permitan interconectar redes ópticas con electrónicas; siendo sólo necesarias las conversiones O-E-O a nivel de redes de acceso hasta que éstas también puedan trabajar a nivel óptico.

Los nodos que conforman cada anillo de la red multi-*ring* (aún no se tiene un modelo definitivo de un nodo OPS completamente óptico), constan básicamente de multiplexores y demultiplexores ópticos y un conmutador completamente óptico, dispositivo descrito en la sección 3.1.

Cabe recalcar que la falta de tecnologías de almacenamiento óptico comercialmente viable, limita la realización de conmutadores de paquetes ópticos, ya que las propuestas desarrolladas hasta el momento consideran como único mecanismo de almacenamiento a las FDLs, las cuales pueden retardar un paquete por una cantidad de tiempo específico que se relaciona con la longitud de las líneas de retardo.

Este tipo de almacenamiento óptico puede utilizarse sólo en conmutadores prototipo, por tanto la alternativa sería realizar la conversión de la señal óptica a eléctrica y realizar el almacenamiento electrónicamente, lo cual no es la mejor solución ya que esto conllevaría a los problemas que se tiene con las conversiones O-E-O.

Cuál es el tamaño ideal de los paquetes y cuánta memoria se requiere, son preguntas que deben ser consideradas en el diseño de un conmutador de paquetes ópticos, ya que son parámetros que aún se debe optimizar. Lo que se debe tener claro es que los conmutadores ópticos deben cumplir con dos requisitos indispensables para conseguir la conmutación completamente óptica, éstos son:

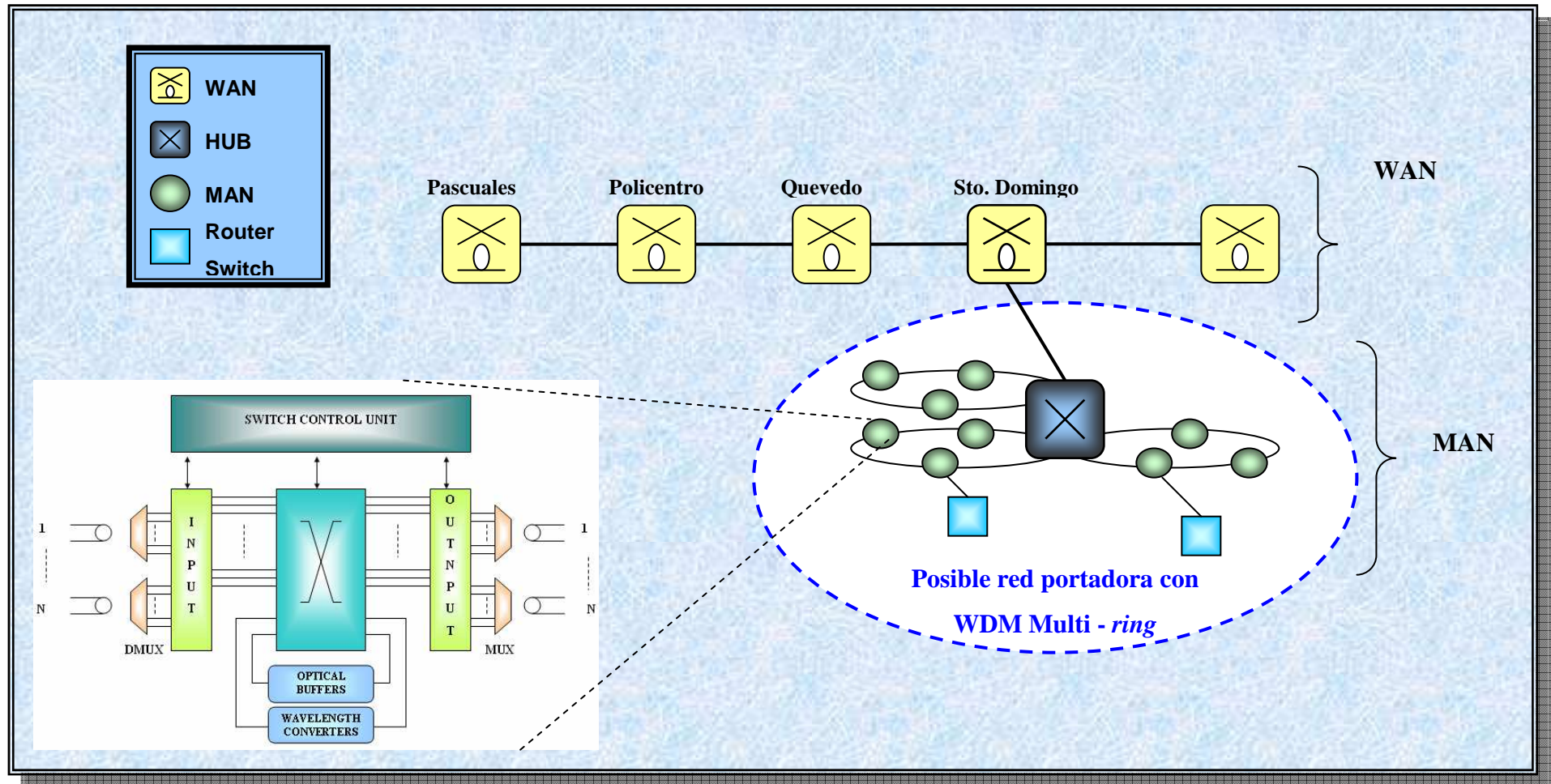


Figura 3.20: Esquema de la red portadora con OPS

- La conmutación debe tomar lugar en el dominio óptico sin la conversión O-E-O. Asegurando mayor *throughput* y menos consumo de potencia.
- El conmutador debe ser capaz de realizar la conmutación a nivel de paquete. Esta característica es la que marcará la diferencia entre un conmutador de paquetes todo óptico y un OXC.

Aún cuando se puedan plantear diferentes arquitecturas, estas dos características principales deberán mantenerse. Aunque en OPS el *payload* permanece en el dominio óptico, el *header* el cual contiene la información de enrutamiento, aún puede requerir procesamiento electrónico. Por tanto, en las primeras propuestas de OPS, sólo el *header* del paquete es convertido al dominio electrónico.

Por otra parte, con los grandes avances tecnológicos no se descarta la posibilidad de obtener las memorias ópticas, pero hasta que ello ocurra, se continúan realizando estudios para demostrar la viabilidad de estas redes tratando de mejorarlas y optimizarlas. Tanto es así que en la revista de comunicaciones del Instituto de Ingenieros Eléctricos y Electrónicos (IEEE, *Institute of Electrical and Electronics Engineers*) del mes de Noviembre de 2007, plantea la implementación de AOPS (*All-Optical Packet Switching*) mediante la implementación de AOLS (*All-Optical-Label-Swapping*), donde las cabeceras de los paquetes son procesadas ópticamente.

AOLS implementa el enrutamiento paquete por paquete y las funciones de envío de MPLS ó GMPLS directamente en el dominio óptico. Las ventajas de AOPS son más evidentes en las redes de *core* donde las AOLS pueden ser utilizadas para reemplazar tanto a los OXCs como a los *routers* IP de *core*.

Con respecto a los OXC, las AOLSs son una plataforma de transporte multi-cliente utilizada por clientes: IP, SDH, Gigabit Ethernet (GbE), FC (*Fiber Chanel*) y ATM para manejar de manera eficiente el ancho de banda. En lo referente a los *routers* IP, AOLS ofrece una capa de agregación.

Con la implementación de nodos OPS la red IP se simplifica, ya que se evita dispositivos de *core*.

Lo concerniente al tipo de fibra requerida, para la transmisión de información en la red, se describió en la sección 3.1.2.2.

Por otro lado, a pesar de los importantes avances en la capacidad de transmisión, las redes completamente ópticas aún se encuentran en sus inicios, debido a que la tecnología óptica no se ha desarrollado dentro de la parte de administración de las redes. El *software* requerido para la administración de estas redes aún no se define, puesto que los estudios de OPS hasta el momento se centran en desarrollar una estructura completamente óptica, sin embargo el *software* como tal tendrá que ofrecer soluciones innovadoras que permitan controlar eficientemente parámetros como el volumen de tráfico y la velocidad de transmisión asignados a cada cliente.

3.4.1.3 ¿Técnicamente es factible?

A lo largo de los capítulos anteriores y del presente se ha estudiado aspectos importantes de las redes OPS, describiendo sus características, funcionamiento, arquitecturas de nodo, requerimientos, etc. Ahora, es trascendental emitir con criterio propio las razones técnicas que permiten o no la implementación de estas redes en el mercado de telecomunicaciones, específicamente en el área metropolitana de Quito, tomando en cuenta que el ambiente tecnológico en el cual se desarrollan las actuales redes de transporte de datos en el país, no permite la migración a otras tecnologías tan rápido como se desearía, debido entre otros factores a la situación económica que rodea a la sociedad y a la implementación de redes sin cumplir estándares de instalación.

En lo que respecta a la disponibilidad de los componentes completamente ópticos para redes OPS, si bien comercialmente aún no están disponibles, se llevan a cabo estudios para su realización, lo cual no implica que técnicamente no sea posible la implantación de OPS, pues sus características de funcionamiento están

planteadas sobre bases que cada vez se solidifican más, para a largo plazo permitir su implementación. La figura 3.21 presenta la tendencia de las tecnologías de conmutación óptica.

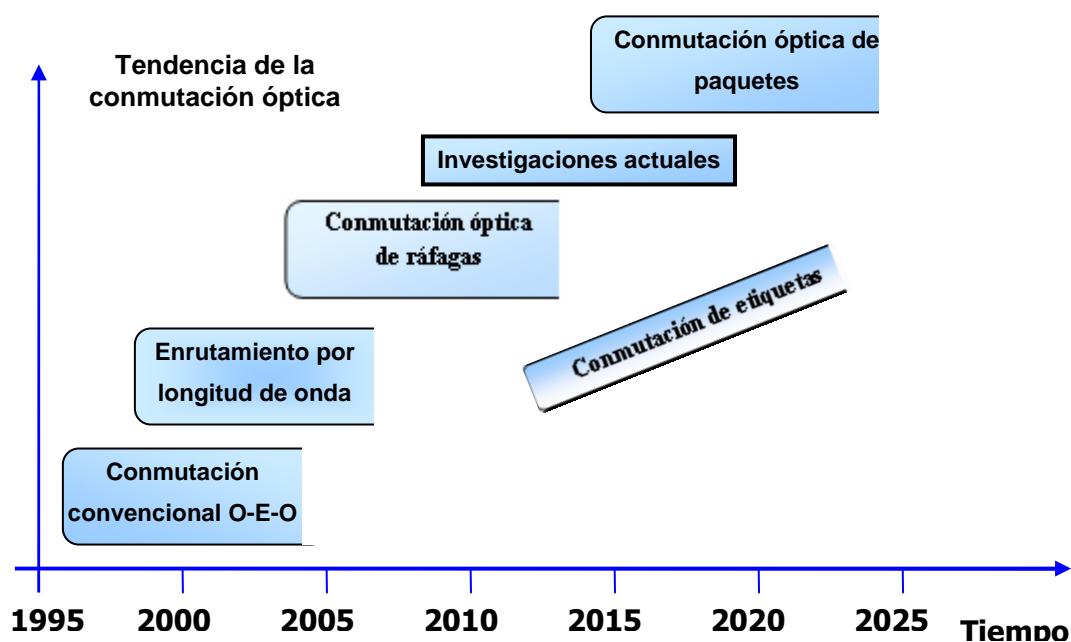


Figura 3. 1: Tendencia de las tecnologías de conmutación óptica [1]

Desde el punto de vista de factibilidad técnica, qué tipo de fibra óptica se debe utilizar específicamente en la implementación de redes OPS, dependerá entre otros parámetros de: ambiente de instalación, dimensionamiento de la red, aplicaciones, etc.

Sin embargo, un requisito importante es que puedan soportar velocidades de 10 Gbps por longitud de onda como mínimo, puesto que las recientes investigaciones realizadas para AOPS asumen velocidades de 40 Gbps por longitud de onda (y se espera en el futuro alcanzar 160 Gbps); si la fibra utilizada en las actuales redes de transporte no cumple con este requisito para OPS se debería cambiar el tendido de fibra, lo cual implicaría un arduo trabajo, inconveniente que sería

posible resolverlo técnicamente, pero habría que analizarlo desde la perspectiva económica.

Un punto importante a considerar es que las actuales redes de datos utilizan aún dispositivos electrónicos, los cuales por razones de escalabilidad no pueden soportar una tecnología completamente óptica; por tanto, se debería cambiar paulatinamente todos los dispositivos que conforman un nodo, instalando nodos OPS en una red de respaldo, entonces se trasladaría un grupo de usuarios a dicha red, mientras se siguen instalando los demás nodos y así sucesivamente hasta que todos los usuarios se encuentren dentro de la nueva red óptica. Para tener acceso a la red WAN que aún es electrónica se podría utilizar un interfaz opto-electrónico que permita esta conexión, hasta que también se pueda tener una red WAN completamente óptica.

Estos aspectos se podrían visualizar de mejor manera realizando un diseño de red OPS, pero esto sólo se podrá efectuar cuando la tecnología haya alcanzado su madurez, superado la carencia de memorias ópticas rápidas y el bajo nivel de integración, que son las causas principales para que después de muchos años de investigación aún no haya sido aplicada en los actuales productos.

Como se puede observar no existe ningún factor técnico, salvo la disponibilidad de equipos, que impida la implementación de una red OPS; en consecuencia, desde el punto de vista técnico es factible implementar una red de estas características.

Sin embargo, una consideración importante al momento de elegir OPS como una posible solución para redes de transporte, es tomar en cuenta la demanda de tráfico que experimenta cada operadora, ya que las redes OPS surgieron debido al explosivo crecimiento de tráfico experimentado por países desarrollados, que no es comparable con el soportado por los *carriers* del Ecuador, por tanto se tendría que investigar la demanda de usuarios que experimentan las empresas que prestan servicios portadores, pues no tendría caso implementar una tecnología de las características de OPS donde no se requiera.

Es muy importante analizar lo relacionado con el aspecto técnico para la posible implementación de OPS, pero también se debe tomar en cuenta lo concerniente al ámbito legal y económico, temas que se estudiará en el siguiente capítulo.

CAPÍTULO 4

ESTUDIO DE FACTIBILIDAD ECONÓMICA Y LEGAL



CAPITULO: 4 ESTUDIO DE FACTIBILIDAD ECONÓMICA Y LEGAL

INTRODUCCIÓN

Dentro de un estudio de factibilidad es de vital importancia la parte económica, puesto que a través de ésta se puede evaluar los costos que implicaría la implementación de redes, dispositivos, etc. Los estudios de factibilidad en general, basan sus análisis en el diseño de redes; sin embargo, para el presente proyecto de titulación se expone un análisis de costos (sin tener como referencia un diseño de red previo), principalmente porque algunos de los componentes requeridos para las redes en estudio aún se encuentran en desarrollo.

Además se realizará un análisis de demanda que permitirá evaluar el volumen de aceptación en el mercado del distrito metropolitano de Quito, a través de la realización de encuestas a las diferentes operadoras que prestan servicios portadores.

Finalmente, se considera el entorno legal que podría limitar la operación de estas redes. En este contexto, la tecnología como tal no se regula, sino más bien la prestación de servicios portadores, categoría dentro de la cual se encuentran las redes de transporte en estudio.

4.1 FACTIBILIDAD ECONÓMICA

El estudio económico se basará en el análisis de costo-beneficio que por el momento es un desarrollo subjetivo, pues no se basa en un diseño de red, considerando que además los equipos requeridos no se encuentran comercialmente disponibles.

4.1.1 ANÁLISIS DE COSTOS

En el capítulo anterior se mencionó que las primeras propuestas de OPS podrían admitir el procesamiento electrónico del *header* debido a la falta de dispositivos ópticos análogos a los electrónicos; no obstante en ^[1] se indica que al multiplicar la tasa de bit por un factor de cuatro, se incrementa 2.5 veces el costo de una conversión O-E-O, razón por la cual sería mejor implementar una red completamente óptica.

Tabla 4.1: Elementos que conforman un nodo

DISPOSITIVO	DISPONIBLE EN EL MERCADO	COSTO USD (\$)	MARCA
CONMUTADORES COMPLETAMENTE ÓPTICOS	NO	-	-
CONVERSORES DE LONGITUD DE ONDA SINTONIZABLES	NO	-	-
AMPLIFICADORES ÓPTICOS DE SEMICONDUCTOR	NO	-	-
REGENERADORES 3R COMPLETAMENTE ÓPTICOS	NO	-	-
HUB AWG	NO	-	-
MULTIPLEXORES ÓPTICOS	SÍ	2,349.01	COLAMCO
DEMULTIPLEXORES ÓPTICOS	SÍ	2,349.01	COLAMCO
FIBRA ÓPTICA	SÍ	5,50 /m	SIEMENS
	TOTAL:		

Datos tomados a marzo de 2008 *

El costo total de un nodo comprende la suma de los costos de los componentes individuales que lo conforman. En el capítulo 3 se detalló los elementos

^[1] CAENEGEM Ruth, COLLE Didier y otros, "THE DESIGN OF AN ALL-OPTICAL PACKET SWITCHING NETWORK"

* www.preciomania.com

necesarios para conformar un nodo, los cuales se resumen en la tabla 4.1, recalcando una vez más que no existe una estructura definida de nodo.

Para exponer estos resultados se tomó como referencia las páginas *Website* de los principales proveedores de equipos como SIEMENS, CISCO, LUCENT-ALCATEL y en páginas del Internet como www.preciomania.com o www.deremate.com.ar donde se puede encontrar una gran variedad de equipos de computación y redes a más de muchas tiendas distribuidoras a nivel internacional.

Dispositivos de menor relevancia como: acopladores, *splitters*, compuertas ópticas, etc. no son listados, pues su uso en la estructura del nodo no es crítico como el de los demás.

Los costos de los dispositivos en desarrollo dependerá entre otras cosas de: número de puertos para interconexión con otros dispositivos exteriores, número de canales (longitudes de onda), capacidad, etc.

Los costos de implementación no solo incluyen los costos de *hardware* y *software*, sino también los costos relacionados con:

- **Operación del sistema.-** En caso de tener una mayor demanda de usuarios las operadoras deben crear nuevos enlaces, canales, circuitos virtuales, etc., lo cual demanda mayores recursos y conversiones electro-ópticas. Las redes OPS están dirigidas para reducir los costos de operación, pues eliminarían las costosas conversiones O-E-O, requeridas en las redes actuales y también están pensadas para soportar mayor tráfico optimizando recursos.
- **Infraestructura de fibra.-** Este es un aspecto importante de análisis ya que toca un punto crucial, la fibra óptica utilizada actualmente y la que se requiere, pues lo ideal sería trabajar sobre el tendido de fibra que tienen las operadoras, pero debería ser reemplazada si no puede soportar grandes

velocidades por longitud de onda, desde el punto de vista económico sería un grave problema pues implicaría una gran inversión.

Sin embargo, una gran inversión en la instalación de fibra óptica podría traer como beneficio mayor número de clientes para la operadora, ya que no todas las empresas que brindan servicios portadores están en capacidad de tener un tendido de fibra de tal magnitud, por lo que tendrían que arrendar una infraestructura de estas características para brindar sus servicios.

Para la prestación de servicios portadores nacionales, Ecuador cuenta con redes de fibra óptica sólo a través de los operadores Andinatel, Pacifictel, Transnexa, Transelectric, Telconet y Porta. El resto de operadoras al momento de cambiar los enlaces de cobre y microondas por fibra, lo deberían hacer con miras a un futuro donde la transmisión a grandes velocidades será imprescindible.

- **Mano de obra.-** Con lo anteriormente expuesto, los costos de mano de obra dependerán de los cambios que se deba realizar a la infraestructura de la red, así como también de la instalación de los nuevos equipos.
- **Mantenimiento y Reparación.-** Se refiere a los costos de elementos de red fallidos como reparaciones de corte de fibra, falla de equipos, etc., y también se refiere a la cantidad de personal requerida para proporcionar mantenimiento. Estos costos son directamente proporcionales a la probabilidad de falla.

Debido a que la red OPS es una de las candidatas más prometedoras para soportar gran cantidad de tráfico a altas tasas de bit, optimizando recursos, tiene gran fiabilidad y robustez frente a fallos, por lo tanto estos costos en general disminuirían, claro está que todo dependerá de la arquitectura adoptada, su sistema de protección de fallos y del tipo (marca) de equipos

a utilizar. Dentro de este contexto, el personal requerido disminuiría porque la red se simplificaría.

- **Gastos de capacitación.-** Éstos se refieren a costos de entrenamiento de personal, cursos o seminarios para aprender a manejar los equipos, *software* de administración, etc., que frente a una tecnología nueva es una inversión necesaria para evitar que se ejecute de manera errónea la operación de la red, lo cual podría disminuir los costos de mantenimiento.

4.1.2 BENEFICIOS DE LAS REDES OPS

Las redes OPS presentan una gran variedad de beneficios que las vuelven atractivas en el mercado de las telecomunicaciones, las mismas que se describen a continuación.

- La tecnología OPS permite conmutar paquetes directamente en el dominio óptico superando el cuello de botella de la conmutación electrónica y, potencialmente provee escalabilidad compatible con las capacidades de transmisión óptica.
- Mientras las actuales aplicaciones de WDM utilizan estáticamente los canales de longitud de onda individuales, la conmutación óptica de paquetes es un concepto de red basado en el aprovechamiento total de la rápida y dinámica asignación de canales (D)WDM, en el orden de los nanosegundos.
- Las redes de conmutación óptica de paquetes brindan mayor flexibilidad y re-utilización de los recursos disponibles. Altas tasas de transmisión y permiten transportar múltiples servicios sobre una sola infraestructura de red.

-
- OPS utiliza las ventajas de la multiplexación estadística para proporcionar mayor fiabilidad y optimizar el ancho de banda disponible en la fibra óptica, el cual no es aprovechado en su totalidad en las actuales redes ópticas.
 - Dentro de las redes OPS, la conversión de longitud de onda podría permitir redes más flexibles de fácil control y administración.
 - Las redes de conmutación de paquetes ópticos, intentan eliminar las conversiones O-E-O para conseguir menor costo en las redes futuras.
 - Las redes OPS permiten la multiplexación por división de tiempo en el dominio óptico, obteniéndose una mejor utilización de los recursos de la red, así como también mayor adaptabilidad.
 - OPS es considerada como la mejor candidata para las redes de área metropolitana (MAN), para adaptar la brecha existente entre las redes de área extendida (WAN) y las redes de área local, compartiendo los recursos de red eficientemente.
 - En síntesis la calidad del transporte de información proporcionada por el *carrier* será ampliamente mejorada, optimizando así el servicio para los clientes e incluso la intranet de la empresa, agilizando los procesos administrativos y brindando mejor control de las operaciones dentro de la misma.
 - Un nuevo sistema puede proveer una mejor imagen de la organización a sus clientes y empleados, lo cual podría atraer más clientes y estimular a los propios trabajadores de la compañía.
 - La implementación de una nueva arquitectura de red más avanzada, prácticamente coloca a la empresa en mejor posición frente a la competencia, además puede tomar ventaja de desarrollos futuros en tecnología para transporte de información.

En el ámbito de factibilidad económica, la disponibilidad de equipos dentro del mercado de las telecomunicaciones es un factor primordial, pues sin ello es imposible determinar la cantidad de dinero que se debería invertir en la implementación de OPS, y como se vio en la tabla 4.1 las partes esenciales de un nodo OPS aún no se encuentran en el mercado.

Sin embargo, no se podría emitir un juicio negativo respecto a la factibilidad económica de esta tecnología, porque es posible que a futuro se cuente con todos los dispositivos y a pesar de que el porcentaje de inversión sea alto, su precio podría justificarse en los beneficios que podría traer consigo, ya que algunos de ellos se traducirían en ingresos. Todo dependerá de los requerimientos de cada empresa.

4.1.3 ESTUDIO DE DEMANDA ^[2]

Conocer cómo es la demanda, esto es, cuáles son las características, las necesidades, los comportamientos, los deseos y las actitudes de los clientes, es un tema de alto interés para facilitar la planificación y gestión de la red, al momento de introducir en el mercado una nueva tecnología.

Existe demanda cuando existe un deseo expresado en una necesidad de un producto, por tanto es necesario identificar las necesidades que se debe cubrir con la implementación de las redes OPS.

4.1.3.1 Necesidades a satisfacer

De acuerdo a la pirámide de Maslow las necesidades humanas siguen la siguiente jerarquía (figura 4.1):

^[2] Apuntes y archivos, Comercialización, MBA. Vinicio Reinoso.

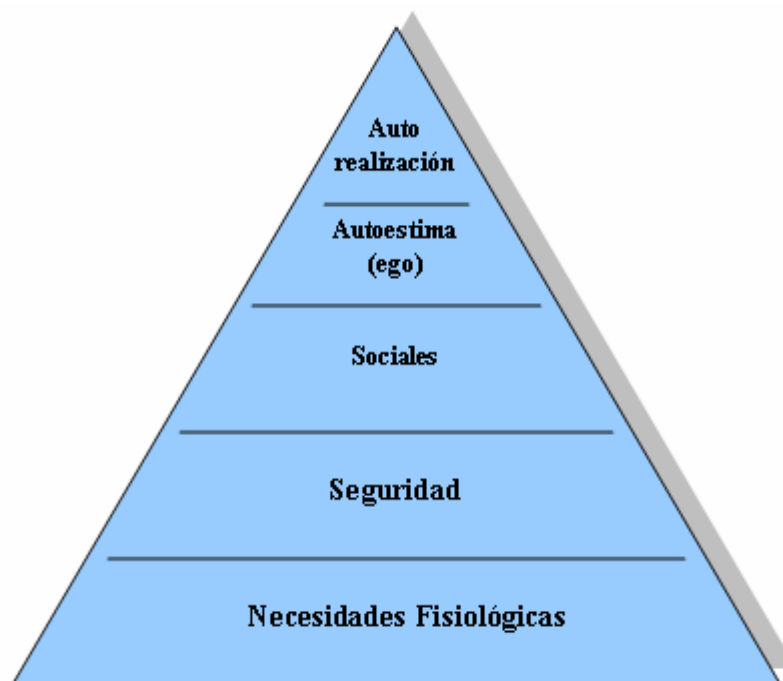


Figura 4.1: Pirámide de Maslow ^[2]

Según el mercado de las Telecomunicaciones, en el distrito metropolitano de la ciudad de Quito, específicamente en los servicios portadores se ha determinado que las necesidades a cubrir son de carácter:

➤ **SOCIAL**

Debido a las aplicaciones que demandan actualmente los usuarios finales (aplicaciones en tiempo real, IPTV, canales dedicados confiables, incremento de ancho de banda en la red WAN, etc.) los proveedores de servicios de telecomunicaciones tienen la necesidad de satisfacer el consumo de ancho de banda que estas aplicaciones implican.

Las redes OPS pretenden mejorar la transmisión de voz y datos en las redes de transporte, brindando mayores velocidades de transmisión a los usuarios.

➤ SEGURIDAD

Debido a la popularización de Internet, los usuarios exigen que la red tenga mayor eficiencia y fiabilidad, en términos de optimización de recursos y prestaciones.

4.1.3.2 Formas de satisfacer las necesidades especificadas

Las actuales redes de telecomunicaciones trataron de cubrir estas necesidades al integrar la tecnología WDM a las arquitecturas de red utilizadas, sin explotar la fibra óptica en su totalidad, ya que en gran parte es sólo utilizada como medio de transmisión, no aprovechando las grandes ventajas que puede proporcionar.

Las futuras redes ópticas tienen por objetivo pasar de la simple transmisión de las señales ópticas a conmutar y gestionar la gran cantidad de datos en el dominio óptico, explotándolo efectivamente; para lo cual se apunta a la eliminación de la conversión electro-óptica, que es la causa de que se requiera incluir más componentes electrónicos en las redes, volviéndolas más costosas.

Por otro lado la técnica de conmutación de paquetes directamente en las redes de transporte intenta optimizar los recursos, proporcionando fiabilidad, escalabilidad, y alta velocidad, a través de la multiplexación estadística en el dominio óptico. En este sentido OPS permite eliminar el cuello de botella entre la transmisión óptica y la conmutación.

4.1.3.3 Perfil de demanda para OPS

En cuanto a la demanda, esta tecnología va dirigida para todas las empresas que cumplan con la función de servicios portadores de telecomunicaciones en general. Para el efecto se vio la necesidad de realizar un estudio de demanda para aquellos portadores que se encuentren geográficamente localizados en el distrito metropolitano de Quito.

Tabla 4.2: Operadoras que brindan servicios portadores ^[3]

SERVICIOS PORTADORES					
Nº	OPERADOR	COBERTURA	NÚMERO DE USUARIOS	NÚMERO DE ENLACES	ACTUALIZADO
1	ANDINATEL S.A. (Quito)	TERRITORIO NACIONAL	17,163	28,352	30-Sep-07
2	CONECEL S.A. (Guayaquil)	TERRITORIO NACIONAL	282	922	30-Sep-07
3	ECUADORTELECOM S.A. (Guayaquil)	TERRITORIO NACIONAL	45	2,551	30-Sep-07
4	ETAPA (Cuenca)	Cantón Cuenca	170	203	28-Feb-03 **
5	ETAPATELECOM S.A. (Cuenca)	TERRITORIO NACIONAL	45	162	31-Ago-07
6	GILAUCO S.A. (Guayaquil)	TERRITORIO NACIONAL	2	9	30-Sep-07
7	GRUPO BRAVCO CIA. LTDA. (Quito)	TERRITORIO NACIONAL	6	29	30-Sep-07
8	IMPSATEL DEL ECUADOR S.A. (Quito)	TERRITORIO NACIONAL	675	2,933	30-Sep-07
9	MEGADATOS S.A. (Quito)	TERRITORIO NACIONAL	487	1,360	30-Sep-07
10	NEDETEL S.A. (Guayaquil)	TERRITORIO NACIONAL	246	260	30-Jun-07
11	OTECCEL S.A. (Quito)	TERRITORIO NACIONAL	64	115	30-Sep-07
12	PACIFICTEL S.A. (Guayaquil)	TERRITORIO NACIONAL	99	643	31-Ago-07
13	PUNTONET S.A. (Quito)	TERRITORIO NACIONAL	242	413	31-Jul-07
14	QUICKSAT S.A. (Quito)	TERRITORIO NACIONAL	0	0	31-May-07
15	SETEL S.A. (Quito)	TERRITORIO NACIONAL	1	1,869	31-Ago-07
16	SURATEL SA. (Quito)	TERRITORIO NACIONAL	42,362	45,907	31-Ago-07
17	TELCONET S.A. (Guayaquil)	TERRITORIO NACIONAL	1,502	3,126	31-Jul-07

Datos tomados a enero de 2008

^[3] <http://www.supertel.gov.ec>

Tabla 4.2: Operadoras que brindan servicios portadores (continuación) [3]

SERVICIOS PORTADORES					
Nº	OPERADOR	COBERTURA	NÚMERO DE USUARIOS	NÚMERO DE ENLACES	ACTUALIZADO
18	TELECSA S.A. (Quito)	TERRITORIO NACIONAL	1	509	31-Ago-07
19	TELEHOLDING S.A. (Quito)	TERRITORIO NACIONAL	36	326	30-Sep-07
20	TRANSELECTRIC S.A. (Quito)	TERRITORIO NACIONAL	9	119	30-Sep-07
21	TRANSNEXA S.A. (Quito)	TERRITORIO NACIONAL	12	69	31-Ago-07

Datos tomados a enero de 2008

De acuerdo a la información proporcionada por la Superintendencia de Telecomunicaciones en su página Web [3], las operadoras que brindan servicios portadores se listan en la tabla 4.2.

4.1.3.4 Investigación de mercado [4]

El objetivo del análisis de la demanda es llegar a estimaciones cuantitativas del mercado potencial y del nivel actual de la demanda.

Ahora bien, para la investigación comercial comúnmente se utilizan técnicas cuantitativas, las mismas que tiene por objeto medir: comportamientos, opiniones, demandas, actitudes o hechos, etc., es decir información que puede ser cuantificada. Dichas técnicas se pueden desarrollar por medio de diferentes tipos de estudios a saber:

1. **La encuesta.**- son estudios basados en un cuestionario estructurado dirigido a una muestra de estudio, cuyas respuestas se van a cuantificar.

[4] ALIJA José, BRENLLA María, SILGO José, "MANUAL PRÁCTICO DE INVESTIGACIÓN DE MERCADOS"

2. **Estudios Ómnibus.**- Son encuestas, pero su especificidad es que son multi-cliente; es decir, en un único cuestionario existen preguntas para diversos usuarios.
3. **Paneles.**- Son encuestas repetidas en el tiempo a la misma muestra. Esto permite ver la evolución de dichos usuarios en el tiempo.

Para lograr los propósitos de este estudio se tomó como instrumento la encuesta, ya que permite obtener información concreta y puntual. Esta técnica de investigación parte de un diseño muestral, es decir de la determinación de una muestra estadísticamente representativa del universo establecido. Por tanto, la encuesta permite estudiar un colectivo muy grande, obteniendo datos representativos del mismo, dirigiéndose a un colectivo sustancialmente más pequeño.

Para poblaciones pequeñas: con menos de 120 elementos se debe utilizar *T de Student*, para poblaciones menores de 30 se debe realizar un CENSO (técnica orientada a obtener datos de la totalidad de elementos que componen un universo en estudio).

El objetivo de estudio son las empresas portadoras que constituyen un total de veinte y uno (tabla 4.2), por tanto se deberá realizar un censo para realizar el estudio de demanda.

La encuesta se realizó de forma personal a las empresas que se encuentran dentro del distrito metropolitano de Quito y los resultados obtenidos se presentan en el ANEXO H. También se envió el cuestionario vía e-mail a las operadoras localizadas en otras ciudades, que tienen área de cobertura a nivel nacional, aunque el objetivo de este estudio se centraba sólo en Quito.

De las veinte y uno empresas portadoras se descartó a QUICKSAT S.A., debido a que tiene cero usuarios y cero enlaces y la encuesta estaba dirigida principalmente hacia la capacidad soportada por la red actual, teniéndose

entonces veinte empresas por censar. A continuación se listan aquellas operadoras encuestadas personalmente, que corresponde al 70% de total:

1. ANDINATEL S.A.
2. CONECCEL S.A.
3. ECUADORTELECOM S.A.
4. ETAPATELECOM S.A.
5. GRUPO BRAVCO CIA. LTDA.
6. IMPSATEL DEL ECUADOR S.A. (GLOBAL CROSSING)
7. MEGADATOS S.A
8. OTECEL S.A.
9. PUNTONET S.A.
10. SURATEL SA
11. TELCONET S.A.
12. TELECSA S.A.
13. TELEHOLDING S.A
14. TRANSELECTRIC S.A
15. TRANSNEXA S.A

De estas empresas, tres que equivalen al 15%, se negaron a desarrollar la encuesta. Las encuestas enviadas vía e-mail, correspondientes al 25% del total, no tuvieron respuesta; por lo tanto, la información obtenida concierne al 60% de las empresas que brindan servicios portadores. A continuación se detallan las preguntas del cuestionario de apoyo y los datos obtenidos.

Las dos primeras preguntas se dirigen a obtener información específica: nombre de la empresa y cargo que desempeña la persona que contribuyó con la información.

En relación a la tecnología que utiliza la empresa (pregunta 3), la figura 4.2 ilustra los resultados obtenidos. Se debe aclarar que una misma empresa utiliza una, dos o más tecnologías a la vez.

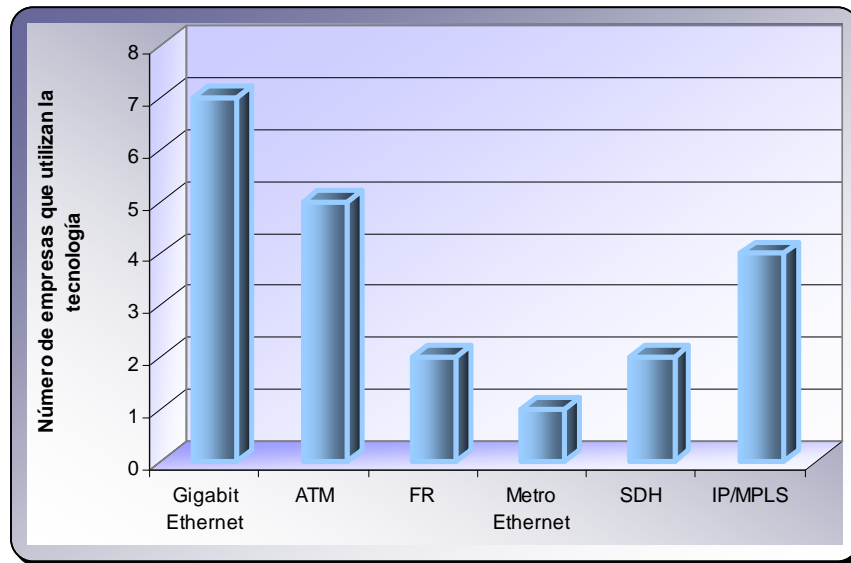


Figura 4.2: Tecnologías utilizadas por las empresas portadoras.

Las dos siguientes preguntas están orientadas a obtener información técnica respecto a la red de transporte de los diferentes *carriers*, para valorar su estado actual en cuanto a capacidad y así conocer si se requiere o no la implementación de una nueva tecnología para la prestación de servicios:

4. ¿La tecnología que utiliza, es suficiente para cubrir las necesidades en cuanto a velocidad de transmisión, calidad de servicio y ancho de banda que demandan los clientes?

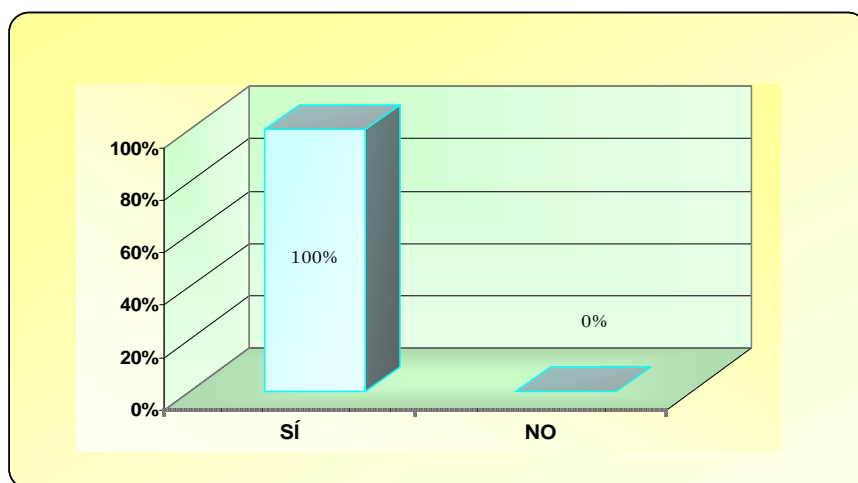


Figura 4.3: Respuestas en porcentaje a la pregunta 4.

5. **¿Cree usted que la actual tecnología de transporte de información utilizada, le permitirá soportar el incremento de nuevos servicios y aplicaciones multimedia con requisitos de entrega en tiempo real?**

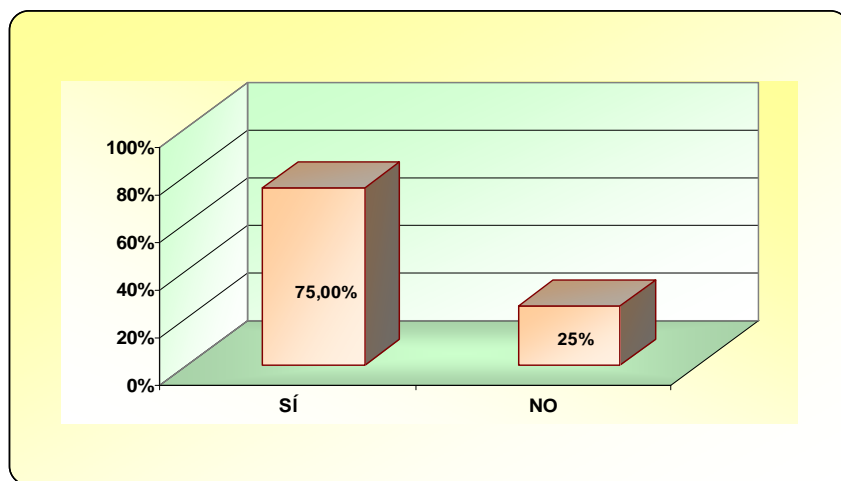


Figura 4.4: Respuestas en porcentaje a la pregunta 5.

De acuerdo al resultado obtenido las empresas no tienen problema para soportar la demanda actual; no obstante, se puede apreciar que algunas empresas consideran que a futuro la capacidad de la red estaría limitada, por lo que sería indispensable pensar en otra tecnología que proporcione mejores características para el transporte de información.

Las dos siguientes preguntas tienen por objetivo evaluar el conocimiento respecto a la principal debilidad de las arquitecturas actuales, así como el interés en considerar una estructura completamente óptica para una futura implementación, por parte de las operadoras; lo cual permitiría determinar la aceptación que tendrían las redes en estudio en el entorno metropolitano de la capital.

6. **¿Sabía que una limitación para el uso eficiente de la fibra óptica son las conversiones electro-ópticas requeridas en el proceso de conmutación?**

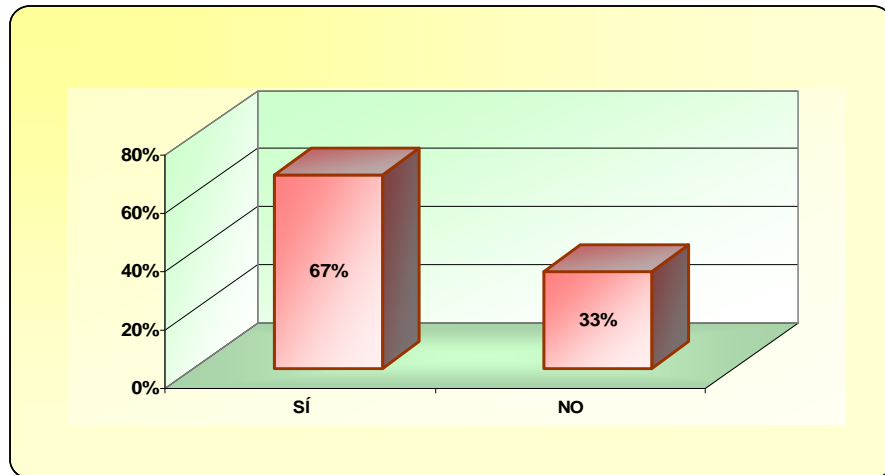


Figura 4.5: Respuestas en porcentaje a la pregunta 6.

7. ¿Estaría interesado en adoptar una nueva tecnología que corra sobre una infraestructura completamente óptica y brinde mayor capacidad para el transporte de información?

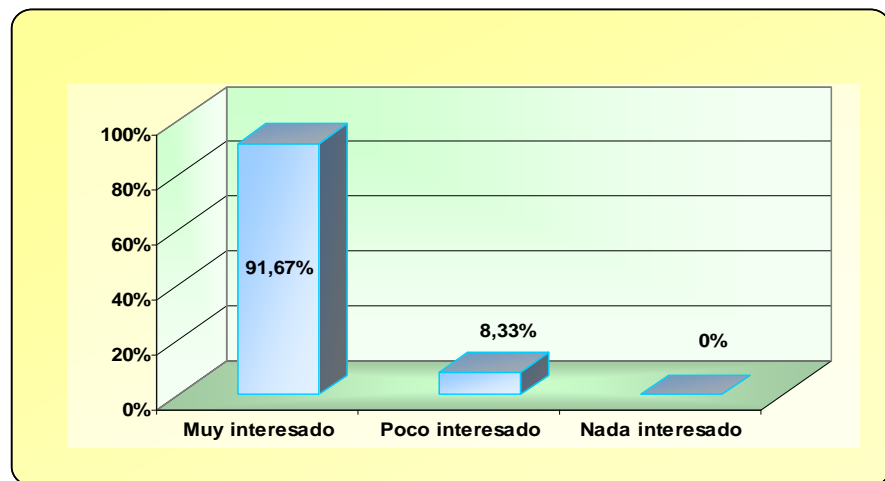


Figura 4.6: Respuestas en porcentaje a la pregunta 7.

Como se puede apreciar la mayor parte de los encuestados está consciente de que las etapas de conversión O-E-O son las principales causantes de la ineficaz explotación del medio de transmisión óptico, y la mayor parte mostró su gran

interés por una infraestructura completamente óptica porque creen que ésta será la mejor solución en el futuro.

Debido a que las entrevistas fueron realizadas personalmente se pudo observar que algunas de las personas no distinguieron claramente la diferencia entre una red completamente óptica y una red de fibra óptica, por lo que quizá parte de los entrevistados manifestaron su poco interés por una red que base su funcionamiento en el dominio completamente óptico.

La pregunta número ocho está dirigida a examinar el tiempo que se consideraría pertinente para migrar a una tecnología con mayor capacidad, y así tener una idea general acerca del crecimiento de la demanda de usuarios en las redes metropolitanas.

8. En base al estado actual de la red ¿En qué tiempo considera oportuno adoptar una nueva tecnología de acuerdo a la demanda de ancho de banda y al crecimiento del número de usuarios?

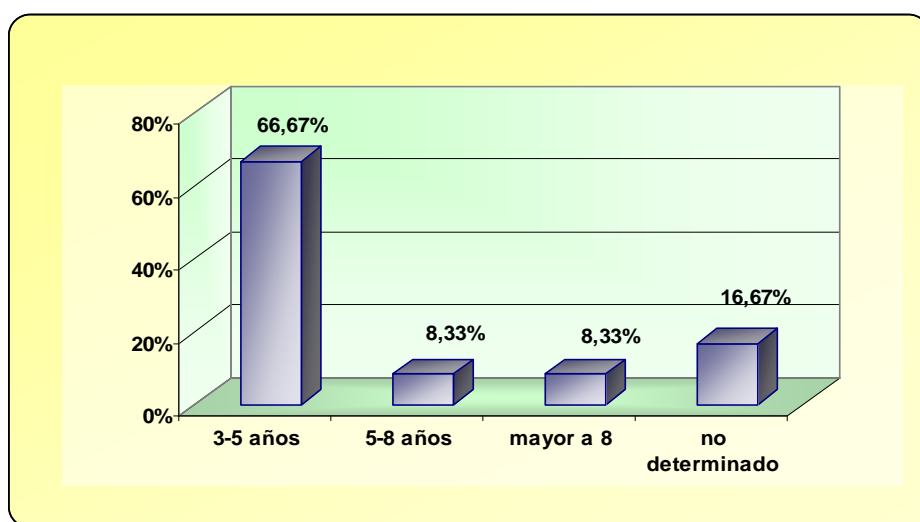


Figura 4.7: Respuestas en porcentaje a la pregunta 8.

El 66% considera que el lapso para migrar a una nueva tecnología es de tres a cinco años, incluso algunas de las empresas encuestadas manifestaron que el

tiempo estimado sería menor, mientras que otras actualmente se encuentran migrando a una nueva tecnología.

De los resultados anteriores se puede observar la necesidad de adoptar una nueva y mejor tecnología. Entre las principales tecnologías a adoptar se encuentran:

- DWDM (*Dense Wavelength Division Multiplexing*)
- IP SWITCHING
- GIGABIT ETHERNET
- SDH (*Synchronous Digital Hierarchy*)
- GPON (*Gigabit Passive Optical Network*)
- BPON (*Broadband Passive Optical Network*)
- RPR (*Resilient Packet Ring*)
- MPLS (*Multi Protocol Label Switching*)

Finalmente, es de interés medir el grado de conocimiento que poseen las operadoras sobre las redes OPS, para determinar la acogida de tales redes en la actualidad.

9. ¿Conoce usted sobre la tecnología de Conmutación de Paquetes Ópticos OPS?

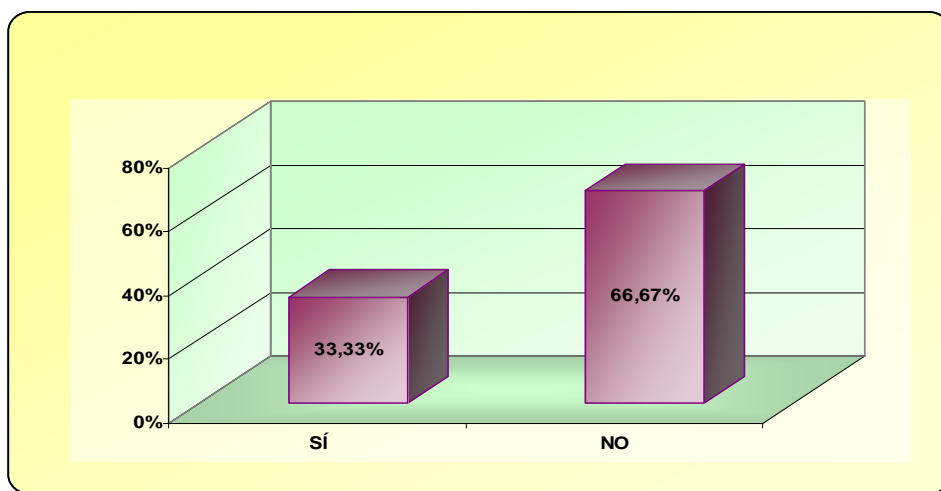


Figura 4.8: Respuestas en porcentaje a la pregunta 9.

Los resultados revelan que la mayor parte de los encuestados no conocen de la existencia de OPS; de hecho, algunos de los mismos solicitaron una explicación del tema, luego de lo cual se interesaron por conocer sobre una de las mejores opciones a futuro, la conmutación óptica de paquetes.

La falta de conocimiento se puede deber principalmente a que la información que actualmente existe es escasa, además que aún no se ha definido una infraestructura común, sobre la cual se puedan desarrollar estudios concretos y bien definidos. Pues solo se conoce de pruebas sobre algunos prototipos.

La determinación del volumen de aceptación de las redes OPS, en el mercado del distrito metropolitano de Quito, se realizó mediante la utilización de un método de cuantificación, en el cual se establecen juicios de valores (ponderaciones) a los respectivos criterios que se presentan, teniendo en cuenta que la suma de todos los juicios debe dar como resultado la unidad.

Para el presente análisis, las preguntas tuvieron su nivel de ponderación de acuerdo a su grado de importancia, de la siguiente forma:

Tabla 4.3: Ponderación de las preguntas del cuestionario de encuesta

NÚMERO DE PREGUNTA	PONDERACIÓN
4	0,0882
5	0,2353
6	0,0588
7	0,2059
8	0,1765
9	0,2353

De tal manera que se tiene un vector llamado vector de ponderación de 1 x 6, filas y columnas respectivamente, de la siguiente manera:

$$\text{Vector de ponderación} = \left(0,0882 \quad 0,2353 \quad 0,0588 \quad 0,2059 \quad 0,1765 \quad 0,2353 \right)_{1 \times 6}$$

Cabe recalcar que la pregunta número tres no se consideró en la evaluación, ya que su objetivo tuvo como fin conocer acerca de las tecnologías actualmente en uso.

Con respecto a las preguntas cuatro y cinco, parecerían tener el mismo grado de importancia y en consecuencia deberían tener una ponderación igual; sin embargo, la diferencia de su valor radica en que la pregunta cinco permite valorar si la tecnología en uso permitirá soportar (a futuro) servicios multimedia y en tiempo real, los cuales demandan mayores exigencias en cuanto a calidad de servicio, ancho de banda, velocidad de transmisión, etc., al momento de ser transmitidos, requerimientos que OPS puede cubrirlos bien. En tanto que la pregunta cuatro valora la capacidad que actualmente soportan las redes de transporte y en relación a esto las redes OPS no podría competir debido a que es una tecnología a largo plazo.

En cuanto a la pregunta seis, ésta tiene menor relevancia que las demás pues no se enfoca directamente con lo relacionado al grado de aceptación de OPS, más bien ésta permite valorar el nivel de conocimiento por parte de las operadoras, de la principal limitaciones de las tecnologías actuales.

Los porcentajes que se obtuvieron en cada pregunta de acuerdo al enfoque (aceptación) que se obtuvo fueron los siguientes:

Tabla 4.4: Porcentaje de aceptación respecto a cada pregunta del cuestionario de encuesta

PREGUNTA #	PORCENTAJE
4	0,00%
5	25,00%
6	66,67%
7	91,67%
8	8,33%
9	33,33%

De estos resultados también se obtiene un vector que se denominará vector porcentaje, el cual se expresa como sigue:

$$\text{Vector de ponderación} = \begin{pmatrix} 0,0000 \\ 0,2500 \\ 0,6667 \\ 0,9167 \\ 0,0833 \\ 0,3333 \end{pmatrix}_{1 \times 6}$$

El producto de los dos vectores permite determinar el porcentaje de aceptación que tendrán las redes OPS.

$$\begin{pmatrix} 0,0882 & 0,2353 & 0,0588 & 0,2059 & 0,1765 & 0,2353 \end{pmatrix}_{1 \times 6} \times \begin{pmatrix} 0,0000 \\ 0,2500 \\ 0,6667 \\ 0,9167 \\ 0,0833 \\ 0,3333 \end{pmatrix}_{1 \times 6} = \mathbf{0,38}$$

De acuerdo a los resultados el grado de aceptación de las redes OPS en el distrito metropolitano de Quito es igual al 38%, este valor es aceptable debido a que la tecnología aún no se encuentra disponible, por tanto no puede competir con nuevas tecnologías estandarizadas actualmente, como por ejemplo RPR (*Resilient Packet Ring*) que es una de las tecnologías a la que migrarán los *carriers* en el lapso de tres a cinco años.

En la tabla 4.5 se indica la matriz de priorización, herramienta que se utilizó para evaluar las preguntas del cuestionario de apoyo, de acuerdo al grado de importancia de las mismas (criterios explicados anteriormente), para obtener el vector de ponderación.

La escala de calificación es la siguiente:

- 0** menor importancia
- 0.5** igual importancia
- 1** mayor importancia

Tabla 4.5: Matriz de priorización

PREGUNTAS DE LA ENCUESTA	P4	P5	P6	P7	P8	P9	SUMA	%	RESULTADO DE LA ENCUESTA	GRADO DE ACEPTACIÓN
P4	0,5	0	1	0	0	0	1,5	8,82%	0,00%	0,00%
P5	1	0,5	1	0,5	0,5	0,5	4	23,53%	25,00%	5,88%
P6	0	0	0,5	0,5	0	0	1	5,88%	66,67%	3,92%
P7	1	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	3,5	20,59%	91,67%	18,87%
P8	0	0,5	1	0,5	0,5	0,5	3	17,65%	8,33%	1,47%
P9	1	0,5	1	0,5	0,5	0,5	4	23,53%	33,33%	7,84%
						TOTAL	17	100%		37,99%



4.2 ESTUDIO LEGAL

4.2.1 ANTECEDENTES HISTÓRICOS DE LAS TELECOMUNICACIONES EN EL ECUADOR

Debido a que el gran desarrollo de la tecnología y de los servicios de telecomunicaciones, en el Ecuador, requerían de un marco jurídico que las regule y controle, con acciones, normas y políticas claras que garanticen la seguridad y transparencia del sector, la Ley Especial de Telecomunicaciones fue creada en 1992, transformando al IETEL en la Empresa Estatal de Telecomunicaciones EMETEL y creando paralelamente la Superintendencia de Telecomunicaciones, SUPTEL.

La acelerada expansión tecnológica mundial exigía la reorientación de las gestiones del sector, por lo que la Ley Especial de Telecomunicaciones fue reformada en 1995, creando así nuevos organismos: el CONATEL (Consejo Nacional de Telecomunicaciones) que se encargaría de las funciones de regulación y la SENATEL (Secretaría Nacional de Telecomunicaciones) facultada para ejecutar las políticas y administrar el espectro radioeléctrico, delegando entonces las funciones de control y monitoreo a la SUPTEL (Superintendencia de Telecomunicaciones).

En el año 2000, la Ley Especial de Telecomunicaciones fue nuevamente reformada para ajustar el mercado local a las tendencias mundiales innovadoras y competitivas, este nuevo cambio fue enfocado para aumentar la inversión presente y futura, entonces se establecieron reglas de competencia bajo el concepto de servicio público con calidad, conforme a los avances tecnológicos enmarcados en principios de universalidad, continuidad, igualdad y el principio de trato no discriminatorio.

Se ha establecido así un mercado de telecomunicaciones libre y competitivo

donde la SENATEL y el CONATEL son los organismos encargados de promover y mantener un régimen regulatorio justo y equilibrado.

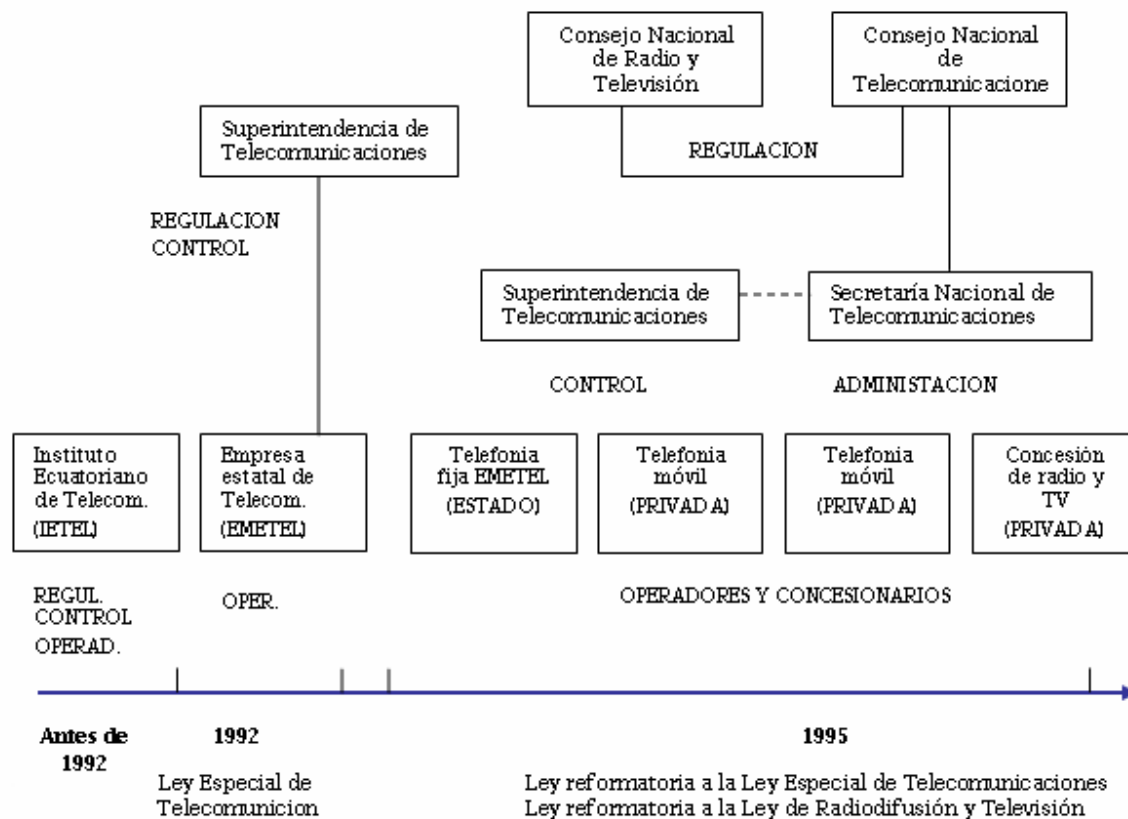


Figura 4.9: Evolución de los Organismos de Regulación. ^[5]

4.2.2 SERVICIOS DE TELECOMUNICACIONES

Los Servicios de Telecomunicaciones son los ofrecidos por una administración u operadora a sus clientes con el fin de satisfacer una necesidad de telecomunicación específica. De conformidad con el artículo ocho de la Ley Especial de Telecomunicaciones reformada, los servicios abiertos a la correspondencia pública se clasifican en Servicios Finales y Servicios Portadores.

^[5] REGULACIÓN DE LAS TELECOMUNICACIONES, Ing. Hugo Carrión

4.2.2.1 Servicios Finales

Son aquellos servicios de telecomunicaciones que proporcionan la capacidad completa para la comunicación entre usuarios, incluidas las funciones de equipo Terminal y que generalmente requieren elementos de conmutación.

Forman parte de estos servicios los siguientes: telefonía rural, urbano, interurbano e internacional; videotelefónico; telefax; burofax; datafax; videotex, telefónico móvil automático, telefónico móvil marítimo o aeronáutico de correspondencia pública; telegráfico; radiotelegráfico; de télex y de teletextos.

También se podrán incluir entre los servicios finales de telecomunicación los que sean definidos por los organismos internacionales competentes, para ser prestados con carácter universal.

El Reglamento Técnico de cada servicio final de telecomunicación deberá definir los puntos de conexión a los cuales se conecten los equipos terminales del mismo. Esta definición deberá contener las especificaciones completas de las características técnicas y operacionales y las normas de homologación que deberán cumplir los equipos terminales.

4.2.2.2 Servicios Portadores

Son los servicios de telecomunicación que proporcionan la capacidad necesaria para la transmisión de signos, señales, datos, imágenes y sonidos entre puntos de terminación de red definidos, usando uno o más segmentos de red. En este tipo de servicios existen dos modalidades:

- Servicios que utilizan redes de telecomunicaciones conmutadas, para enlazar los puntos de terminación tales como: la transmisión de datos por redes de conmutación de paquetes, por redes de conmutación de circuitos, por la red conmutada o por la red télex; y,

- Servicios que utilizan redes de telecomunicación no conmutadas. Pertenecen a este grupo, entre otros, el servicio de alquiler de circuitos. Los puntos de terminación de red a que hace referencia la definición de servicios portadores deberán estar completamente especificados en todas sus características técnicas y operacionales en los correspondientes Reglamentos Técnicos.

4.2.3 ANÁLISIS DEL ENTORNO REGULATORIO PARA OPS

Considerando que OPS no es un servicio como tal, sino una técnica eficiente de conmutación de paquetes para redes de transporte, además que en el Ecuador se regula la prestación de servicios mas no la tecnología y que por tanto, ésta no tiene un marco regulatorio específico, se hace necesario analizar las leyes, normas, reglamentos, etc. que rigen la implementación de servicios portadores, ya que para su prestación se deben establecer redes de transporte, de acceso, etc., con la tecnología adecuada, entonces en este sentido se abordará el análisis legal del presente proyecto.

Para conocer cómo se estructuran las leyes para el sector de las telecomunicaciones en el Ecuador, es importante saber primero qué significa el término “regulación”.

En sentido amplio, *“la regulación^[6] es la implementación de un ordenamiento jurídico correlativo al rol del estado en el establecimiento del mercado y, en sentido estricto, es el conjunto de potestades administrativas atribuidas a organismos específicos que tienen la misión de definir y aplicar el marco regulatorio en su conjunto, vigilando y controlando que se cumplan los principios fundamentales de libre competencia y de satisfacción de interés general, con absoluta observancia del régimen normativo vigente”.*

^[6] Apuntes y Archivos, Marco Regulatorio de Servicios de Telecomunicaciones en el Ecuador, Ing. Hugo Aulestia.

Dentro del marco legal que rige al Estado Ecuatoriano, el sector de las Telecomunicaciones tiene un modelo regulatorio basado en la regulación por servicios, que en términos generales está soportado por la Constitución Política de la República y en el ámbito del CONATEL por la Ley Especial de Telecomunicaciones Reformada, el Reglamento General a la Ley Especial de Telecomunicaciones, los Reglamentos emitidos por el CONATEL, las Normas técnicas emitidas por el CONATEL, además de acuerdo al caso, el Ecuador acoge las Recomendaciones emitidas por Organismos Internacionales de Telecomunicaciones como la UIT, CITELE, etc.

4.2.3.1 Regulación De Servicios ^[6]

La regulación del sector está a cargo de los siguientes organismos nacionales:

- **El Consejo Nacional de Telecomunicaciones (CONATEL).**- Organismo, dependiente del Jefe de Estado, creado como entidad autónoma para ejercer a nombre del Estado, la regulación y administración de los servicios de telecomunicaciones y la administración de telecomunicaciones del Ecuador ante la Unión Internacional de Telecomunicaciones, UIT.
- **La Secretaría Nacional de Telecomunicaciones (SENATEL).**- Organismo encargado de ejecutar las políticas establecidas por el CONATEL y a la vez es responsable de la administración del espectro radioeléctrico, su misión es liderar la gestión de las telecomunicaciones en todo el territorio ecuatoriano, convirtiéndose en un ente administrador, regulador, consultor y promotor de nuevas tecnologías.
- **El Consejo Nacional de Radiodifusión y Televisión (CONARTEL).**- Organismo autónomo de derecho público, con personería jurídica, con sede en la capital de la República, encargado de la regulación de los servicios de radiodifusión y televisión.

En el contexto normativo, el Municipio de Cuenca es un caso especial que dispone por ley de la titularidad para la prestación de los servicios de telefonía fija en su Cantón.

Dentro del marco legal para la prestación de servicios portadores, existen las siguientes leyes, normas y reglamentos (para mayor detalle ver ANEXO I):

- Ley Especial de Telecomunicaciones, publicada en el Registro Oficial No. 996 del 10 de agosto de 1992 y sus reformas.
- Reglamento General a la Ley Especial de Telecomunicaciones Reformada, publicado en el Registro Oficial No. 404 del 4 de septiembre del 2001.
- Reglamento para la Prestación de los Servicios Portadores, publicado en el Registro Oficial No. 426 del 4 de octubre del 2001.
- Norma Técnica para la Prestación de Servicios Portadores de Telecomunicaciones Resolución No. 282-11-CONATEL-2002.
- Norma para la implementación y operación de sistemas de modulación digital de banda ancha. Resolución No. 417-15-CONATEL-2005.

A continuación se revisan los artículos de mayor relevancia, y de interés para el presente trabajo de titulación, en la prestación de servicios portadores. Donde se detallan las normas y leyes que ejercen influencia y pudieran poner límite a la implementación de redes de transporte.

Se mencionará también a aquellos artículos a tomar en cuenta en el supuesto caso que se desee iniciar con la operación de un nuevo portador que pudiese operar con tecnología OPS.

De acuerdo al Reglamento para la Prestación de Servicios Portadores (artículo 4), *“se requiere de un título habilitante, que será la concesión otorgado por la SENATEL, previa autorización del CONATEL”*, que permita específicamente la ejecución de la actividad que realice. La concesión comprende los dos modos de operación de los servicios portadores: redes conmutadas y redes no conmutadas.

“El plazo de duración de los títulos habilitantes será de 15 años (artículo 7), renovable por igual período a solicitud escrita presentada por el concesionario con 5 años de anticipación a la fecha de vencimiento y con sujeción al reglamento pertinente”.

El modelo regulatorio vigente obliga a la obtención de tantos Títulos Habilitantes como servicios preste un operador.

La concesión para la prestación de servicios portadores (artículo 5 del Reglamento para la Prestación de Servicios Portadores), *“comprende el derecho para la instalación, modificación, ampliación y operación de las redes alámbricas e inalámbricas necesarias para proveer tales servicios, de conformidad con las condiciones establecidas en el título habilitante y la normativa vigente”*.

En el contrato de concesión expresamente se faculta al concesionario la prestación de Servicios Portadores Nacionales e Internacionales, sobre redes conmutadas o no conmutadas, registrando la instalación y operación de nodos, estaciones maestras y remotas, redes de transporte, redes de acceso e infraestructura, con medios físicos, ópticos o radioeléctricos y con la tecnología que considere apropiada.

También autoriza la utilización de todos los protocolos relacionados con el sistema que la operadora técnicamente haya decidido utilizar, excepto protocolos propietarios (para garantizar interconexión). Para introducir nuevos protocolos y desarrollos tecnológicos se deberá informar a la SENATEL.

Otro derecho otorgado conjuntamente con la concesión del servicio portador es la interconexión con redes públicas, que debe operarse de acuerdo al reglamento de interconexión, además se faculta el derecho para instalar y operar, estaciones terrenas, telepuertos tanto centrales como remotos.

Dentro de este contexto cabe mencionar lo referente a la tecnología que se estipula dentro de un contrato de concesión, convenido como obligaciones del concesionario:

“CLÁUSULA DÉCIMA OBLIGACIONES DEL CONCESIONARIO.- 10.1 TECNOLOGÍA.- *El concesionario se compromete a utilizar en los sistemas y redes portadores autorizados, tecnología adecuada que corresponda a los desarrollos técnicos de los diferentes equipos, al tiempo que queda expresamente facultado para incorporar los nuevos desarrollos tecnológicos que surjan sobre aquellas redes, sistemas, equipos o servicios que actualmente ofrece, siempre y cuando no cambien el objeto y los derechos amparados en este instrumento”.*

“10.2. ADQUISICIONES.- *Es obligación del concesionario obtener todos los bienes y servicios que requiera el sistema, respetando lo establecido en el contrato y bajo su entera responsabilidad, en todos los aspectos relativos a la compra, importación, nacionalización y transporte de los equipos”.*

En esta instancia es importante referirse a lo relacionado con equipos, ya que también constituyen parte importante dentro de este análisis, puesto que para redes OPS se necesitará adquirir nuevos equipos ópticos dejando atrás los actuales electrónicos.

“Art. 28 (Reglamento para la Prestación de Servicios Portadores).- *Los prestadores de servicios portadores deberán instalar equipos que garanticen los parámetros mínimos de calidad que consten en el contrato de concesión y continuidad del servicio, de acuerdo a la naturaleza de la concesión”.*

A continuación se revisará aspectos relacionados con las redes públicas y con la interconexión, puesto que esta última es un derecho otorgado al concesionario, lo cual se mencionó anteriormente. Primeramente es necesario tener claro qué es una red pública, para esto hay que referirse al artículo trece del Reglamento General a la Ley Especial de Telecomunicaciones reformada* en el que se especifica lo siguiente:

*“Una red pública** de telecomunicaciones es toda aquella red de la que dependa la prestación de un servicio portador o final. En este caso, para el establecimiento y operación de redes públicas de telecomunicaciones se requiere ser titular de un título habilitante de servicios portadores o finales”.*

“Las redes públicas de telecomunicaciones tendrán un diseño de red abierta, esto es, que no tengan protocolos ni especificaciones de tipo propietario, de tal forma que se permita la conexión e interconexión y cumplan con los planes técnicos fundamentales emitidos por el CONATEL.”

“Los concesionarios de servicios portadores podrán ofrecer sus servicios a los concesionarios de otros servicios de telecomunicaciones, prestadores de servicios de valor agregado o una red privada y usuarios de servicios finales. Las redes públicas podrán soportar la prestación de varios servicios, siempre que cuente con el título habilitante respectivo”.

“Únicamente los concesionarios de servicios de telecomunicaciones están autorizados a establecer las redes que se requieran para la prestación de dichos servicios. La prestación de servicios finales y portadores que se soportan en una misma red, requerirán el otorgamiento del respectivo título habilitante individual por parte de la Secretaría, previa autorización del CONATEL”.

* Desarrolla los principios establecidos en la Ley Especial de Telecomunicaciones N°184 de 1992, en la Ley Reformatoria a la Ley Especial de Telecomunicaciones N° 94 de 1995 y especialmente en la Ley para la Transformación Económica del Ecuador del 2000.

** Dentro de los servicios de telecomunicaciones (artículo cuatro Reglamento General a la Ley Especial de Telecomunicaciones reformada), se encuentran los servicios públicos que son aquellos respecto de los cuales el Estado garantiza su prestación debido a la importancia que tienen para la colectividad.

Las redes públicas pueden interconectarse independientemente de la tecnología empleada, garantizando siempre la interoperabilidad de los servicios (artículo 1 del reglamento de interconexión).

La interconexión se puede realizar a través de medios físicos o radioeléctricos, mediante instalaciones y equipos que permitan la transmisión y recepción de información entre los usuarios de las dos redes (artículo 2 del reglamento de interconexión), de tal manera que puedan comunicarse entre sí o acceder a los servicios de otros prestadores.

La interconexión es de carácter obligatorio para todos los prestadores de servicios de telecomunicaciones y se puede realizar en cualquier punto de la red, siempre que se garantice la calidad de servicio (artículos 4 y 5 del reglamento de interconexión).

Es necesario también conocer en qué términos se desenvuelve la interconexión, para lo cual el reglamento de interconexión se refiere al artículo siete que define que la interconexión se deberá desarrollar bajo el concepto de desagregación* de elementos o instalaciones esenciales** dentro de estos últimos se encuentran los siguientes:

a) Puntos de origen y terminación de comunicaciones locales

Es la terminación u la origen de una comunicación conmutada hacia o desde el cliente de una red, incluyendo su señalización correspondiente.

b) Conmutación

Consiste en el establecimiento de una trayectoria de transmisión temporal dentro de una red local vía central local o central tándem o de tránsito entre

* **Desagregación.-** Separación de funciones o recursos individuales, cuyo costo puede determinarse en forma independiente.

** **Instalaciones esencial.-** Es toda parte de una red o servicio de telecomunicaciones que (i) sea suministrada exclusivamente o de manera predominante por un solo proveedor o por un número limitado de proveedores; y (ii) cuya situación con miras al suministro de un servicio no sea factible en lo económico o en lo técnico

una red local y otra central de conmutación, a la cual está conectada la red local de otro abonado, o en el establecimiento de una trayectoria de transmisión temporal entre centrales de conmutación.

c) Transporte

Consiste en el enlace de transmisión entre centrales de conmutación locales o centrales tándem o de tránsito, o entre una central local y una de larga distancia. El transporte puede ser dedicado o común.

d) Señalización

Consiste en el transporte de la información necesaria para establecer, mantener y terminar las comunicaciones entre usuarios.

e) Servicios Auxiliares

Dentro de este concepto se incluye, entre otros, servicios de directorio, de emergencia, de facturación y cobranza, necesarios para la operación de otras redes o servicios de telecomunicaciones.

Por último es necesario conocer las funciones que desempeña el organismo de control y las obligaciones del *carrier* para con éste.

4.2.3.2 Acciones De Control

La Superintendencia de Telecomunicaciones (SUPTTEL) es el organismo encargado del control, tanto de los servicios que presten las instituciones públicas y privadas de telecomunicaciones, como de los servicios de radiodifusión y televisión, a fin de que las actividades económicas se sujeten a la ley y atiendan el interés general.

En lo concerniente a las acciones de control la cláusula décima del contrato de concesión especifica: “**10.3 OPERACIÓN.- 10.3.1.- Durante la operación, el**

concesionario se obliga proporcionar a la Secretaría y a la Superintendencia de Telecomunicaciones la siguiente información”:

Cumplimiento de obligaciones contractuales:

- Informe mensual de enlaces,
- Reporte mensual del número de usuarios clasificados por tipo,
- Informe trimestral de calidad del servicio,
- Informe mensual de fallas ocurridas,
- Informe semestral de quejas de los usuarios,
- Informe mensual de ingresos totales,
- Cualquier otra información solicitada por la Secretaría o la Superintendencia de telecomunicaciones

El concesionario debe brindar a la Superintendencia las facilidades necesarias para las inspecciones técnicas de control para verificar características técnicas de operación del sistema.

De lo expuesto, la normativa vigente permite la instalación de nuevas redes con la adecuada infraestructura y tecnología, además el reglamento señala que las operadoras podrán establecer las redes que se requieran para la prestación de servicios portadores (figura 4.10), es decir redes de transporte y de acceso, conmutadas o no conmutadas, físicas, ópticas o radioeléctricas tanto terrestres como espaciales, brindando así la capacidad requerida para la transmisión de información sea cual fuere su naturaleza.

Los artículos citados anteriormente son claros y puntuales, permitiendo observar que la implementación de redes de conmutación óptica de paquetes OPS no tendría objeción legal alguna. De hecho ninguna tecnología tendría limitación alguna en el entorno legal para su implementación en el Ecuador, por tanto se puede decir que es factible legalmente implementar redes de conmutación óptica de paquetes.

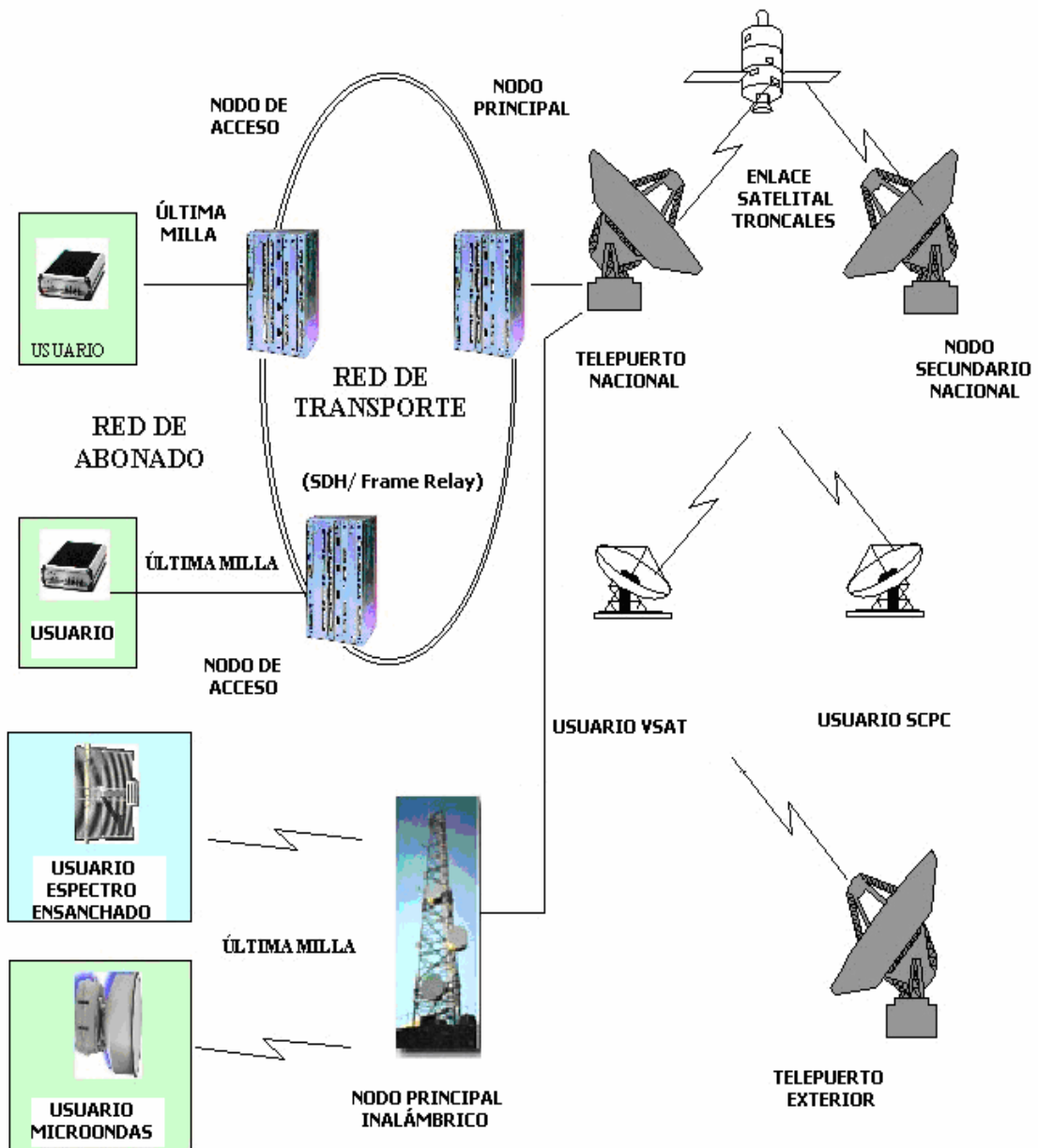


Figura 4.10: Esquema de operación de servicios portadores. [3]

CAPÍTULO 5

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES



CAPITULO: 5 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 CONCLUSIONES

- En la actualidad las redes ópticas no aprovechan toda la capacidad que brinda la fibra óptica, pues sólo la utilizan como medio de transmisión por la baja atenuación que presenta, relegando las funciones de control, inserción, extracción de canales, ingeniería de tráfico, etc., al dominio electrónico.
- La conversión electro-óptica en las redes de conmutación de paquetes es inevitable, debido a que el procesamiento del *header* debe ser realizado de forma electrónica, puesto que no existe un dispositivo análogo que realice estas funciones en el dominio óptico.
- A pesar de los avances alcanzados en cuanto a capacidad de transmisión, la tecnología óptica no ha penetrado mucho en la parte de administración y direccionamiento de la red, por lo que las redes todo ópticas están en su albor.
- La conmutación de paquetes completamente óptica puede ser una alternativa económica y tecnológicamente viable en relación a las tecnologías electrónicas; no obstante, su éxito dependerá del diseño e implementación de subsistemas que puedan procesar ópticamente paquetes a altas velocidades, utilizando configuraciones estandarizadas.
- Entre las técnicas de conmutación óptica se encuentra OCS (*Optical Circuit Switching*), que se caracteriza por su simplicidad de operación y administración, además de que no requiere la conversión de longitud de

onda, para la utilización completa de la red. Sin embargo, presenta algunos inconvenientes:

- Necesita un retardo considerable para confirmar el establecimiento del circuito, debido al retardo de propagación y a la reconfiguración óptica de los OXCs,
 - Presenta problemas de flexibilidad y escalabilidad debido al limitado número de longitudes de onda por cada fibra, lo cual para redes grandes impide crear una malla completa de caminos ópticos (*lightpaths*), entre todos los nodos frontera,
 - Para un tráfico cambiante estas redes tienen baja adaptabilidad por su naturaleza quasi-estática,
 - La estructura de la red OCS es compleja y heterogénea con poca escalabilidad,
 - Uso ineficiente de longitudes de onda y una reconfiguración lenta.
- OPS (*Optical Packet Switching*) es otra técnica de conmutación óptica dentro de las redes AON (*All-Optical Networks*), comercialmente no viable en la actualidad, pero que a largo plazo es una solución más flexible que las redes ópticas de conmutación de circuitos, para soportar el crecimiento de tráfico de datos experimentados por las redes de hoy.
- Las redes OPS, a través de la multiplexación estadística, tienen como principal objetivo asignar rápida y dinámicamente los recursos de la red, como ancho de banda, número de longitudes de onda, etc. para optimizar la utilización de los canales WDM, principal ineficiencia de las redes existentes.

-
- En las redes OPS, la toma de decisiones es una función realizada en el dominio electrónico, lo cual limita su capacidad, por lo que el objetivo debe enfocarse en el desarrollo de redes de conmutación totalmente ópticas, pero mientras no se consigan las memorias ópticas requeridas, lo que se intenta es minimizar el impacto de la parte electrónica en el sistema.
 - Uno de los principales problemas de OPS es que el tiempo de conmutación es largo, debido a la extracción de la información de enrutamiento de la cabecera y al control de la matriz de conmutación, que deben realizarse electrónicamente, sin embargo el desarrollo de la tecnología apunta a reducir este tiempo de conmutación al orden de los nanosegundos.
 - Otro problema de OPS es la falta de memorias ópticas, ya que los datos deben almacenarse en el dominio óptico, mientras se procesa el *header*, además el almacenamiento también es necesario al momento en que ocurren contenciones.
 - OBS combina las mejores características de OCS y OPS, siendo un buen balance entre ambas y comercialmente más viable que OPS en un futuro cercano, aunque se encuentra aún en estado experimental, lo que implica que existan todavía numerosas propuestas por evaluar.
 - Para la implementación de redes OPS se puede utilizar el modo de operación síncrono o asíncrono tomando en cuenta los siguientes aspectos: en general el modo síncrono es costoso y complejo, puesto que el interfaz de entrada de los conmutadores debe realizar tareas como delineación y alineación de paquetes provenientes de puertos de entrada, mientras que las redes asíncronas tienen bajo costo, alta flexibilidad y mayor robustez, pero presentan un rendimiento más bajo debido a la mayor probabilidad de contenciones.
 - A pesar de que el modo de operación síncrono para redes MAN, es una mejor solución que el modo de operación asíncrono, desde el punto de

vista de *performance*, el aprovisionamiento de la calidad de servicio (QoS) es más difícil debido a que se necesita una tecnología compleja para la sincronización en los puertos de entrada.

- Entre las dos topologías presentadas para OPS, se determinó que la mejor solución es la arquitectura multi-anillo debido a su alto rendimiento, en relación a la arquitectura multi-PON, que permite aprovechar de mejor manera la reutilización de los recursos, además de la fácil recuperación en caso de fallos y muy buena escalabilidad para la interconexión de nuevos nodos.
- En el análisis de costo/prestaciones, se tomó como referencia un estudio de simulación, así como todos los datos relacionados con los costos de equipos, operación, etc. Se comparó la arquitectura Multi-anillo, por ser la mejor solución para una futura implementación de redes OPS, con otras tecnologías como SDH y ETHERNET. Se partió del hecho de que cada arquitectura, de las anteriormente mencionadas, presenta sus características de funcionalidad y limitaciones, además de su capacidad en cada nodo y *hub*, sin considerar ningún sistema de protección para alcanzar un *performance* similar, bajo parámetros de volumen de tráfico establecidos; llegando a la conclusión de que en comparación con el resto de tecnologías en estudio, la arquitectura más económica y que mejor se desenvuelve en el ámbito metropolitano es la Multi-anillo.
- La adaptabilidad de las redes OPS para un *carrier* de datos en el entorno metropolitano de Quito dependerá, entre otros parámetros, de la evolución de la tecnología en la construcción de los equipos requeridos, ya que éstos al trabajar en el dominio óptico no son compatibles con los dispositivos electrónicos utilizados en las redes de transporte actuales.
- En lo relacionado al aspecto técnico, la implementación de redes OPS en el distrito metropolitano de Quito es factible, llegando a su ejecución cuando la tecnología haya alcanzado su madurez, superada la carencia de

memorias ópticas rápidas y el bajo nivel de integración, que son las causas principales para que después de muchos años de investigación aún no haya sido aplicada en los actuales productos.

- Económicamente no se pudo determinar la factibilidad de OPS, debido principalmente a la inexistencia de los dispositivos que estas redes requieren, pero lo que si se puede decir es que en este contexto, tal factibilidad dependerá en mayor grado de las necesidades que se desee cubrir, antes que de los costos involucrados.
- Se determinó que el volumen de aceptación de las redes OPS es menor al cincuenta por ciento, sin embargo es un valor admisible para una tecnología aún inmadura, pero la más prometedora para soportar el explosivo crecimiento de datos en el futuro.
- Debido a que la tecnología no se regula, las normas y reglamentos para la prestación de servicios portadores, establecen claramente que los *carriers* para brindar sus servicios pueden implementar redes de transporte, acceso, etc., con la tecnología que consideren adecuada, siempre y cuando mantengan los parámetros de calidad establecidos y acordados en el contrato de concesión. Concluyéndose de esta manera que legalmente es factible implementar redes de las características de OPS.
- Luego de analizados todos los aspectos relacionados con la implementación de las redes OPS se concluye que, a pesar de ser una tecnología en desarrollo y que tiene que superar algunas limitaciones, es factible la implementación de tales redes en el distrito metropolitano de Quito.

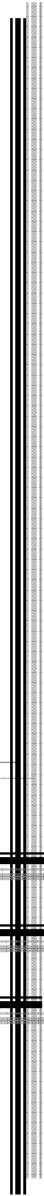
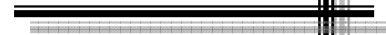
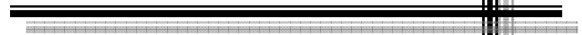
5.2 RECOMENDACIONES

- Un trabajo futuro debería desarrollar estudios de las redes OPS para el área extendida WAN, ya que en el Ecuador, sino todas, la mayoría de *carriers* tienen cobertura nacional y es indispensable que tanto redes MAN como WAN sean completamente ópticas para que puedan interactuar de mejor manera.
- Una de las materias optativas debería orientarse principalmente a tecnologías que actualmente se emplean en los *carriers* del Ecuador, para tener una mejor visión respecto a las nuevas tecnologías que se desarrollan.
- La cátedra de comunicaciones ópticas, del p \acute{e} ns \acute{u} m de estudio, debería ser una materia obligatoria y no opcional debido a la tendencia de la transmisión en el dominio óptico sobre redes completamente ópticas.
- Se recomienda realizar un seguimiento de la tecnología AOPS (*All Optical Packet Switching Networks*) en futuros proyectos de titulación, pues ésta es una de las tecnologías más prometedoras para la transmisión de información.
- Debido a la limitación de información que presentan nuevos avances tecnológicos, es recomendable suscribirse a un establecimiento de investigación confiable, como la IEEE puesto que los datos a los que se tiene acceso pueden ser de mucha ayuda, no solo para el desarrollo de un proyecto de titulación, sino también para estar a la vanguardia en los avances de las telecomunicaciones.
- Cuando la tecnología lo permita, se recomienda realizar un diseño de red para visualizar de mejor manera los aspectos relacionados con la factibilidad técnica y económica, debido a que la limitación en cuanto a

equipos comercialmente disponibles, no permite determinar a ciencia cierta si económicamente es factible la implementación de las redes OPS, aún cuando éstas están enfocadas a mejorar el costo efectivo, lo cual significa que aunque la inversión sea alta, se justificará con los beneficios que se obtendrían.

- Se recomienda que los *carriers* de datos tengan en cuenta el crecimiento de la demanda de usuarios y tráfico, al momento de considerar OPS como una alternativa viable, puesto que estas redes fueron pensadas para soportar los grandes volúmenes de tráfico que experimentan las principales potencias mundiales, que no son comparables con el tráfico transportado por las operadoras en Ecuador.

ACRÓNIMOS



ACRÓNIMOS

ABT	ATM Block Transfer
ADM	Add/Drop Multiplexer
AOLS	All Optical Label Swapping
AON	All Optical Networks
AOPS	All Optical Packet Swapping
ASON	Automatic Switching Optical Network
ATM	Asynchronous Transfer Mode
AWG	Array Waveguide Grating
BE	Best Effort
BPON	Broadband PON
CAPEX	Capital Expenditure
CO	Central Office
CSGR	Co-direction Coupler Sampled Grating Reflector
CSMA/CA	Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance
CWDM	Coarse Wavelength Division Multiplexing
DAB	Data Aggregation Borrada
DAVID	Data and Voice Integration over DWDM
DBORN	Dual Bus Optical Ring Network
DBR	Distributed Bragg Reflector
DIFFSERV	Differentiated Service
DFB	Distributed Feedback Laser
DSL	Digital Subscriber Line
DWDM	Dense Wavelength Division Multiplexing
ECDL	External-Cavity Diode Laser
EDFA	Erbium Doped Fiber Amplifier
EN	Edge Node
ESCON	Enterprise System Connectivity
FC	Fiber Channel
FDDI	Fiber Distributed Data Interface
FDL	Fiber Delay Line

ACRÓNIMOS

FIFO	First In First Out
FLP-AO	Fixed Length Packets and Asynchronous Operation
FLP-SO	Fixed Length Packets and Synchronous Node Operation
FOF	Fixed Optical Filter
FPA	Fabry Perot Amplifier
FT-FR	Fixed Transmitter(s) and Fixed Receiver(s)
FTP	File Transfer Protocol
FTTH	Fiber To The Home
FTTK	Fiber To The Kerb
FT-TR	Fixed Transmitter(s) and Tunable Receiver(s)
FWC	Fixed Wavelength Converter
GMPLS	Generalized Multi Protocol Label Switching
GPON	Gigabit PON
HP	High Priority
ICMP	Internet Control Message
IEEE	Institute of Electrical and Electronics Engineers
IETF	Internet Engineering Task Force
INSERV	Integrated Service
IP	Internet Protocol
IPD	Intentional Packet Dropping
IPTV	Internet Protocol T
ISP	Internet Service Provider
ITU	International Telecommunication Union
ITU-T	International Telecommunication Union – Telecommunication Standardization
IWU	Internet Working Unit
JET	Just Enough Time
KEOPS	Keys to Optical Switching
LAN	Local Area Networks
LP	Low Priority
MAC	Medium Access Control
MAN	Metropolitan Area Networks
MPLS	Multi Protocol Label Switching

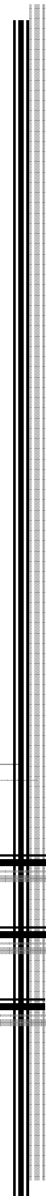
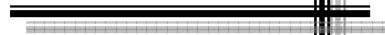
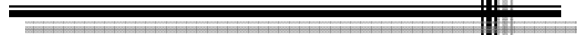
ACRÓNIMOS

MQW	Multiple Quantum Wells
MR	Multi Ring
NC	Network Controller
NGN	Next Generation Network
NPT	Network Processing Transmitter
NPR	Network Processing Receiver
OADM	Optical Add/Drop Multiplexer
OEO	Optical Electrical Optical
OFA	Optical Fiber Amplifier
OBS	Optical Burst Switching
ODL	Optical Delay Line
OLT	Optical Line Terminal
ONU	Optical Network Unit
OPEX	Operational Expenditure
OPGW	Optical Ground Wire
OPS	Optical Packet Switching
OXC	Optical Cross-Connector
PDH	Plesiochronous Digital Hierarchy
PDP	Preemptive Drop Policy
PLR	Packet Loss Ratio
PMR	Passive Multi Ring
PON	Passive Optical Network
PSC	Passive Star Coupler
PSTN	Public Switched Telephone Network
PVC	Permanent Virtual Connection
PWRN	Passive Wavelength Routing Node
QoS	Quality of Service
RAM	Random Access Memory
RPR	Resilient Packet Ring
SA	Slot Allocation
SCL	Switch Control Logic
SDH	Synchronous Digital Hierarchy
SG-DBR	Sampled Grating-DBR

ACRÓNIMOS

SOA	Semiconductor Optical Amplifier
SONET	Synchronous Digital Hierarchy
SSG-DBR	Super Structure Grating DBR
TCP	Transmission Control Protocol
TDMA	Time Division Multiplexing Access
TDM	Time Division Multiplexing
TE	Traffic Engineering
TM	Traffic Management
TNMS	Telecommunication Network Management System
TOF	Tunable Optical Filter
TSA	Time Slot Assignment
TT-FR	Tunable Transmitter(s) and Fixed Receiver(s)
TT-TR	Tunable Transmitter(s) and Tunable Receiver(s)
TWC	Tunable Wavelength Converter
UDP	User Datagram Protocol
VCSEL	Vertical-Cavity Surface-Emitting Laser
VLP-AO	Variable Length Packets and Asynchronous Node Operation
VLP-SO	Variable Length Packets and Synchronous Node Operation
WA	Wavelength Allocation Algorithm
WAN	Wide Area Networks
WASPNET	Wavelength Switch Optical Packet Network
WDM	Wavelength Division Multiplexing
WDM-PON	Wavelength Division Multiplexed Passive Optical Network
WDM-RING	Wavelength Division Multiplexed Multiple Ring
WDMA	Wavelength Division Multiple Access
WR	Wavelength Routed
WXC	Wavelength Cross-Connector
XC	Cross-Connector

GLOSARIO



GLOSARIO

ASIGNACIÓN DE LONGITUD DE ONDA: Proceso para asignar longitudes de onda a uno o más *lightpaths* en el mismo tiempo.

ATM PON (APON): Red óptica pasiva (PON) que se basa tanto en el Modo de Transferencia Asíncrono (ATM) como en el protocolo MAC.

ARRAYED WAVEGUIDE GUIDE (AWG): Elemento de una red pasiva que utiliza una matriz de enrutamiento para dirigir una señal óptica desde un puerto de entrada determinado a un puerto de salida, se basa en la longitud de onda de la señal. Cada señal que viaje con diferente longitud de onda, dentro de un puerto de entrada, se enrutará a un puerto de salida diferente. Se puede poner simultáneamente diferentes señales con la misma longitud de onda en diferentes puertos de entrada, y no interferirán con otras en los puertos de salida.

BUFFERLESS: En lo concerniente al entorno metropolitano, las redes pueden ser *Bufferless* en el sentido de que una vez que se transmite la información a la red, ésta permanece en el dominio óptico hasta llegar a su destino.

CALIDAD DE SERVICIO: Conjunto de requerimientos de servicio que el usuario exige a la red para la transmisión de información.

CANAL DE LONGITUD DE ONDA: Canal determinado para una longitud de onda específica, dentro de la región de baja pérdida de una fibra óptica.

CICLO COMPLETAMENTE ÓPTICO: En una red de enrutamiento por longitud de onda, cada puerto de entrada de un conmutador de enrutamiento por longitud de onda siempre se mantiene conectado en algún puerto de salida. En tales conexiones, se pueden instalar caminos ópticos no previstos pueden.

CIRCUIT SWITCHING: Tipo de transmisión en la cual se establece un camino dedicado entre dos nodos (con o sin más nodos de conmutación intermedios) para transmitir información. Muy eficiente para conexiones que se mantendrán por un largo tiempo de duración.

CODE-DIVISION MÚLTIPLE ACCESS (CDMA): Múltiples canales sobre la misma longitud de onda, pero separados por la manera en que se codifican los datos.

COLISIÓN EN EL RECEPTOR: Pérdida de una transmisión debido a que el receptor estuvo ocupado recibiendo otra transmisión en otro canal.

CONTROL CHANNEL: Canal usado para llevar la coordinación de la transmisión (por ejemplo: sobre cuál canal de datos ocurrirá la transmisión, en qué tiempo empezará la transmisión, etc.).

CONVERSION ELECTRO-ÓPTICA: Técnica empleada en el paso de la información del dominio electrónico al dominio óptico. Típicamente empleada en cada salto en una red multi-salto.

CONVERSIÓN ÓPTICA-ELÉCTRICA-ÓPTICA (O-E-O): La secuencia óptica de bits entrantes son convertidos a datos electrónicos, los datos son conmutados usando un cross-conector electrónico, y entonces la secuencia de bits electrónicos son convertidos de nuevo al dominio óptico.

CONVERSION DE LONGITUD DE ONDA: Dispositivo que puede convertir los datos ópticos que llegan sobre una longitud de onda a lo largo de un enlace de fibra en otra longitud de onda y transmitirla a lo largo del siguiente enlace de fibra.

CROSSTALK: Efecto indeseable en el cual un canal interfiere con la señal transmitida sobre otro canal.

ERBIUM-DOPED FIBER AMPLIFIER (EDFA): Amplificador capaz de amplificar longitudes de onda que se encuentran en el rango entre 1540nm y 1570nm (región de baja pérdida para un cable óptico de fibra).

ESCALABILIDAD: Habilidad de una red para crecer a un tamaño más grande, pero en pequeños incrementos.

FIXED OADM (FOADM): OADM que opera permanentemente (estáticamente sintonizado) sobre una longitud de onda particular.

LÁSER SINTONISABLE: Dispositivo de transmisión electromagnética que puede modularse para llevar información sobre una fibra óptica. Puede dar lugar a una multitud de configuraciones de red virtuales.

LIGHTPATH: Camino óptico, en una red óptica de longitud de onda enrutada, a través del cual puede fluir la información. Un *lightpath* provee “un solo salto” de conectividad entre sus puntos terminales. Puede estar compuesto de una longitud de onda (en una red sin convertidores de longitud de onda), o puede estar constituido de múltiples longitudes de onda (en presencia de convertidores de longitud de onda).

MEDIUM-ACCESS PROTOCOL: Método para determinar, cuándo un nodo tiene el derecho para usar (transmitir y/o recibir) un canal dado (ejemplo, acceso aleatorio, reservación, etc.).

MULTICASTING: Habilidad para transmitir información de una sola fuente a múltiples destinos.

OPTICAL ADD-DROP MULTIPLEXER (OADM): Elemento que puede añadir o retirar el tráfico (longitudes de onda) de una red óptica WDM (similar a un ADM en una red SDH que añade o retira las ranuras de tiempo en una red TDM).

OPTICAL BANDWIDTH: La gran capacidad para llevar la información, medida en decenas de Tbps, que ocurre en las regiones de baja pérdida de una fibra óptica.

OPTICAL BURST SWITCHING (OBS): Técnica de conmutación óptica que separa los datos a ráfagas (posiblemente formada de muchos paquetes y posiblemente mucho tiempo) del *header* de control (o paquete de control).

OPTICAL CROSSCONNECT (OXC): Elemento de una red que conmuta las señales ópticas de los puertos de entrada a los puertos de salida. Estos elementos son usualmente insensibles a las longitudes de onda.

OPTICAL PACKET SWITCHING (OPS): Es una técnica donde los paquetes que llegan son conmutados ópticamente sin ser convertidos a una señal eléctrica.

PACKET DELAY: Retardo total experimentado por un paquete, usualmente medido desde el instante de su generación en el nodo fuente hasta que es entregado completamente a su destino, incluyendo retardos de propagación en la ruta de su destino y retardos de encolamiento en los nodos fuente e intermedios.

PACKET SWITCHING: Técnica en la cual cada paquete contiene suficiente información en su *header*, para que pueda ser conmutado independientemente en nodos los intermedios de la red y enrutado a su destino final.

PASSIVE OPTICAL NETWORK (PON): Es una red óptica punto-multipunto conveniente para acceso al ancho de banda, sin elementos activos en el camino de la señal desde la fuente a su destino. Los elementos interiores son solamente componentes ópticos pasivos como una fibra óptica, *splitters* y routers pasivos.

PASSIVE-STAR COUPLER: Dispositivo *broadcast* pasivo de N entradas y N salidas que puede dividir la potencia de cada una de sus N fibras de entrada para dirigir las fracciones resultantes a cada una de sus N fibras de salida.

RECONFIGURABLE OADM (ROADM): Un OADM que puede ser sintonizado dinámicamente usando algún mecanismo de control.

RED COMPLETAMENTE ÓPTICA: Red óptica de enrutamiento por longitud de onda, donde la información del camino entre la fuente y el destino se mantiene enteramente óptica, ya que un camino completamente óptico ofrece un protocolo de transparencia a la red.

RED TRANSPARENTE: La señal de datos que transmitida se mantiene en el dominio óptico para toda la longitud de onda sin la conversión O-E-O. Esto puede ofrecer transparencia para la tasa de bit, formato de la señal y protocolos.

ROUTER PASIVO: Dispositivo de N entradas y N salidas que puede enrutar por separado cada longitud de onda, de una fibra de entrada, a diferentes fibras de salida.

ROUTING AND WAVELENGTH ASSIGNMENT (RWA): Es un proceso para encontrar un camino y una longitud de onda libres para interconectar un *lightpath* en una red WDM.

RANGO DE SINTONIZACIÓN: Rango de longitudes de onda sobre las cuales un dispositivo sintonizable (transmisor o receptor) puede operar.

TIEMPO DE SINTONIZACIÓN: Tiempo que toma a un transmisor o receptor sintonizable conmutar desde un canal a otro.

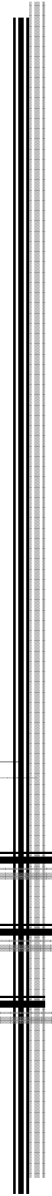
TIME-DIVISION MULTIPLEXING (TDM): Es una técnica de acceso al medio en la cual una longitud de onda se transmite en diferentes canales basados en *slots* de tiempo periódicos.

TOPOLOGÍA FÍSICA: Disposición física de la red (ejemplo, bus, estrella, multiestrella, malla, árbol, etc.).

WAVELENGTH-DIVISION MULTIPLEXING (WDM): Técnica de acceso al medio en la cual una sola fibra puede tener múltiples canales, teniendo que operar cada canal en una longitud de onda central diferente (o frecuencia).

WDM-PON: Red óptica pasiva (PON) en la cual múltiples longitudes de onda pueden ser soportadas en cualquiera o en ambas direcciones *upstream* y *downstream* empleando WDM.

BIBLIOGRAFÍA



BIBLIOGRAFÍA CAPÍTULO 1

[1] SOMANI Arun, OPTICAL NETWORKING TECHNOLOGY.

http://assets.cambridge.org/97805218/53880/frontmatter/9780521853880_frontmatter.pdf

[2] TANEMBAUM Andrew, REDES DE COMPUTADORAS, Prentice Hall, México, 2003, cuarta edición.

[3] www.intec.rug.ac.be/Research/Projects/horizon/projects/keops/keops.html

[4] Recomendación UIT-T G.694.1

http://www.itu.int/rec/dologin_pub.asp?lang=e&id=T-REC-G.694.1-200206-!!!PDF-&type=items

[5] Recomendación UIT-T G.671

http://www.itu.int/rec/dologin_pub.asp?lang=e&id=T-REC-G.671-200206-S!!!PDF-S&type=items

[6] Recomendación UIT-T G.694.2

http://www.itu.int/rec/dologin_pub.asp?lang=e&id=T-REC-G.694.2-200206-S!!!PDF-&type=items

[7] CAREGLIO Davide, QoS PROVISIONING IN OPTICAL PACKET NETWORKS FOR METROPOLITAN AND WIDE AREA ENVIRONMENTS.

http://www.tesisexarxa.net/TESIS_UPC/AVAILABLE/TDX-0928105-135022//

[8] González Fernando, DISEÑO DE TOPOLOGÍAS LÓGICAS EN REDES WDM CON ENCAMINAMIENTO POR LONGITUD DE ONDA.

http://www.coit.es/pub/ficheros/siemens_eb94bef6.doc?PHPSESSID=4171659579b6be14e199331b3c923e85.

[9] Maach Abdelilah y Bochmann Gregor, A HYBRID ARCHITECTURE USING BOTH OPTICAL BURST SWITCHING AND ROUTED WAVELENGTH.

<http://www.actapress.com/PaperInfo.aspx?PaperID=24269&reason=500>

BIBLIOGRAFÍA

[10] Pradié Patricia, CONSTRUCCIÓN DE UNA MAQUETA DE RED OBS DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE LAS FUNCIONALIDADES DE UN NODO FRONTERA.

<https://upcommons.upc.edu/pfc/bitstream/2099.1/3749/1/53940-1.pdf>

[11] Cereijo Ibán, SIMULACIÓN Y COMPARATIVA DE MECANISMOS DE CONMUTACIÓN EN REDES ÓPTICAS.

<http://www-gris.det.uvigo.es/~mveiga/optinet6/doc/SimOBS.pdf>

[12] HUNTER David y ANDONOVIC Ivan, APPROACHES TO OPTICAL INTERNET PACKET SWITCHING, IEEE Communications Magazine, Septiembre 2000.

<http://dl.comsoc.org/cocoon/comsoc/servlets/GetPublication?id=107302>

[13] MUÑOZ DE LA CORTE Manuel, CARACTERIZACIÓN DE RUIDO EN CONVERTIDORES DE LONGITUD DE ONDA BASADOS EN MODULACIÓN CRUZADA DE GANANCIA CON AMPLIFICADORES ÓPTICOS DE SEMICONDUCTOR EN REDES DWDM.

http://www.coit.es/pub/ficheros/siemens_ba9262b1.pdf?PHPSESSID=acb2ce272e94ba526383559ac7c36c0d

[14] Shun Yao, Ben Yoo y Biswanath Mukherjee ALL-OPTICAL PACKET SWITCHING FOR METROPOLITAN AREA NETWORKS: OPPORTUNITIES AND CHALLENGES, IEEE Communications Magazine, Marzo 2001.

<http://dl.comsoc.org/cocoon/comsoc/servlets/GetPublication?id=107169>

[15] CAREGLIO Davide, WAVELENGTH VS BURST VS PACKET SWITCHING: COMPARISON OF OPTICAL NETWORK MODELS.

<http://personals.ac.upc.edu/careglio/publications>

BIBLIOGRAFÍA CAPÍTULO 2

[1] www.asiem.org

[2] VARGAS Jorge, REDES ÓPTICAS Y MULTIPLEXACIÓN POR DIVISIÓN DE LONGITUD DE ONDA DENSA.

<http://www.senacitel.cl/downloads/senacitel2000/ID042.PDF>

[3] CAREGLIO Davide, QoS PROVISIONING IN OPTICAL PACKET NETWORKS FOR METROPOLITAN AND WIDE AREA ENVIROMENTS.

http://www.tesisenxarxa.net/TESIS_UPC/AVAILABLE/TDX-0928105-35022//16Dc16de16.pdf

[4] [http:// www.wikipedia.com](http://www.wikipedia.com)

[5] Y. SHACHAF y otros, MULTI-PON ACCESS NETWORK USING A COARSE AWG FOR SMOOTH MIGRATION FROM TDM TO WDM PON.

http://www.opticsinfobase.org/DirectPDFAccess/9A6F0595-BDB9-137E-C56005A27CBB44EA_138373.pdf?da=1&id=138373&seq=0&CFID=23123307&CFTOKEN=62273600

[6] KWONG Kae-Hsiang, HARLE David y ANDONOVIC Iván, WDM PONS: NEXT STEP FOR THE FIRST MILE.

<http://www.comp.brad.ac.uk/het-net/HET-NETs04/CameraPapers/P47.pdf>

[7] NOVERA OPTICS, Inc. WDM-PON FOR THE ACCESS NETWORK.

http://www.noveraoptics.com/downloads/Novera_WP_WDM-PON_062906.pdf

[8] CAREGLIO Davide, GINER Guillermo y otros, EVALUACIÓN DE LA RED ÓPTICA METROPOLITANA MULTI-ANILLO DEL PROYECTO DAVID.

http://personals.ac.upc.edu/careglio/publications/TelecomID2002_Careglio.pdf

[9] SPADARO Salvatore, MODELLING AND OPTIMISATION OF THE IST DAVID METRO NETWORKS.

http://personals.ac.upc.edu/careglio/publications/NOC2005_Careglio.pdf

BIBLIOGRAFÍA

[10] CAREGLIO Davide, PERFORMANCE EVALUATION OF INTERCONNECTED WDM PONs WITH QoS PROVISIONING.

http://personals.ac.upc.edu/careglio/publications/ONDM2003_Careglio.pdf

[11] OVERBY Harald, "QUALITY OF SERVICE DIFFERENTIATION, TELETRAFFIC ANALYSIS AND NETWORK LAYER PACKET REDUNDANCY IN OPTICAL PACKET SWITCHED NETWORKS".

http://www.diva-portal.org/diva/getDocument?urn_nbn_no_ntnu_diva-563-2__fulltext.pdf

[12] OVERBY Harald y STOL Norvarld, EVALUATION OF QoS DIFFERENTIATION MECHANISMS IN ASYNCHRONOUS BUFFERLESS OPTICAL PACKET SWITCHED NETWORKS, IEEE Communications Magazine, Agosto 2006.

<http://dl.comsoc.org/cocoon/comsoc/servlets/GetPublication?id=9011794>

[13] Yang Chen, Mounir Hamdi y otros "PROVIDING PROPORTIONALLY DIFFERENTIATED SERVICES OVER OPTICAL BURST SWITCHING NETWORKS."

http://citeseer.ist.psu.edu/cache/papers/cs/31924/http:zSzzSzwww.cse.buffalo.edu:zSj-kailizSzobszSzpaperszSzchen_globe01.pdf/providing-proportionally-differentiated-services.pdf

BIBLIOGRAFÍA CAPÍTULO 3

[1] SHUN Yao, Ben Yoo, and MUKHERJEE Biswanath, ALL-OPTICAL PACKET SWITCHING FOR METROPOLITAN AREA NETWORKS: OPPORTUNITIES AND CHALLENGES, IEEE Communications Magazine, Marzo 2001.

<http://dl.comsoc.org/cocoon/comsoc/servlets/GetPublication?id=107169>

[2] CAREGLIO, Davide, QoS PROVISIONING IN OPTICAL PACKET NETWORKS FOR METROPOLITAN AND WIDE AREA ENVIROMENTS.

http://www.tesisenxarxa.net/TESIS_UPC/AVAILABLE/TDX-0928105-135022//

[3] MUKHERJEE Biswanath, OPTICAL WDM NETWORKS, Springer, USA, New York,2006.

[4] XU Lisong, PERROS Harry y otros, TECHNIQUES FOR OPTICAL PACKET SWITCHING AND OPTICAL BURST SWITCHING, IEEE Communications Magazine, Enero 2001.

<http://citeseer.ist.psu.edu/cache/papers/cs/26252/http:zSzzSzwww.csc.ncsu.edu:zSzfacultyzSzGRouskaszSzPublicationszSz..zSzAr0razSzJournalszSzComm-Xu-001.pdf/xu01techniques.pdf>

[6] RAMAMIRTHAM Jeyashankher y Jonathan TURNER, DESIGN OF WAVELENGTH CONVERTING SWITCHES FOR OPTICAL BURST SWITCHING.

<http://cse.seas.wustl.edu/Research/FileDownload.asp?165>

[7] <http://www.davantel.com/user/image/rc414.pdf>

[8] H.-P.Nolting, ALL-OPTICAL 3R-REGENERATION FOR PHOTONIC NETWORKS”.

http://www.istoptimist.unibo.it/pdf/workshops/ONDM2003/WS_ONDM2003_papers/ONDM2003_Nolting_paper.pdf

[9] Institute for Telecommunications Heinrich-Hertz- Institut ALL OPTICAL 3R REGENERATION.

<http://www.hhi.fraunhofer.de/english/os/ecoc/HHI-OS3.pdf>

BIBLIOGRAFÍA

[10] TANEMBAUM Andrew, REDES DE COMPUTADORAS, Prentice Hall, México, 2003, cuarta edición.

[11] http://es.wikipedia.org/wiki/Fibra_%C3%B3ptica

[12] <http://www.textoscientificos.com/redes/fibraoptica>

[13] <http://www.yio.com.ar>

[14] http://sx.commscope.com/eng/product/cabling_solutions/fiber/index.html

[15] http://www.furukawa.com.br/pls/portal/docs/PAGE/PORTALES/PRODUTOS/CABOS_OPTICOS_LAN/CABLE%20OPTICO%20FIBER-LAN%20INDOOR_ _OU TDOOR/RCC-PTP-1183-06.PDF

[16] SHUN Yao, MUKHERJEE Biswanath y otros, ELECTRICAL INGRESS BUFFERING AND TRAFFIC AGGREGATION FOR OPTICAL PACKET SWITCHING AND THEIR EFFECT ON TCP-LEVEL PERFORMANCE IN OPTICAL MESH NETWORKS, IEEE Communications Magazine, Septiembre 2002.

<http://dl.comsoc.org/cocoon/comsoc/servlets/GetPublication?id=216149>

[17] GROTE Walter, HENRY Cristian y otros, DESARROLLO DE UNA RED EXPERIMENTAL IP/WDM.

<http://www.senacitel.cl/downloads/senacitel2002/ID030.pdf>

BIBLIOGRAFÍA CAPÍTULO 4

[1] CAENEGEM Ruth, COLLE Didier y otros, "THE DESIGN OF AN ALL-OPTICAL PACKET SWITCHING NETWORK", IEEE Communications Magazine, Noviembre 2007.

<http://dl.comsoc.org/cocoon/comsoc/servlets/GetPublication?id=11832872>

[2] Apuntes y archivos, Comercialización, MBA. Vinicio Reinoso.

[3] <http://www.supertel.gov.ec>

[4] ALIJA José, BRENLLA María, SILGO José, "MANUAL PRÁCTICO DE INVESTIGACIÓN DE MERCADOS".

<http://www.append.es/datos/estudios/archivo17.pdf>

[5] REGULACIÓN DE LAS TELECOMUNICACIONES, Ing. Hugo Carrión.

http://www.imaginar.org/docs/P_regulacion.pdf

[6] Apuntes, Marco Regulatorio de servicios de telecomunicaciones en el Ecuador, Ing. Hugo Aulestia.