

ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

FACULTAD DE INGENIERÍA ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA

ESTUDIO Y DISEÑO DE LA RED QUE PERMITA LA INTEGRACIÓN DE LA TECNOLOGÍA DE MULTIPLEXACIÓN DWDM CON LA TÉCNICA DE TRANSMISIÓN SDH, PARA PRESTAR SERVICIOS DE VOZ, DATOS Y VIDEO, EN LA REGIÓN 2 (ENLACES PICHINCHA – NAPO – ORELLANA), DE LA CORPORACIÓN NACIONAL DE TELECOMUNICACIONES CNT S.A.

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

GONZALO DAVID CÁRDENAS CARRERA
devi_c85@hotmail.com

DIRECTOR: ING. CARLOS HERRERA
carlos.herrera@epn.edu.ec

Quito, Noviembre de 2010

DECLARACIÓN

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

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

Gonzalo David Cárdenas Carrera

CERTIFICACIÓN

Certifico que el presente trabajo fue desarrollado por Gonzalo David Cárdenas Carrera, bajo mi supervisión.

Ing. Carlos Herrera
DIRECTOR DEL PROYECTO

AGRADECIMIENTO

A Dios, por hacer realidad este sueño, por ser quien ha estado a mi lado en todo momento, por todo el amor con el que me rodea, dándome las fuerzas necesarias para continuar luchando día tras día y seguir adelante evadiendo todas las adversidades que se me presenten.

A mis padres, gracias por su apoyo incondicional, el cariño, la confianza y alentar en mi los deseos de esfuerzo y superación en los estudios que hoy lo he reflejado en este Proyecto, por todo lo que me han brindado y por todas sus bendiciones, estarán siempre en mi corazón.

A mis hermanos; Javier y Antonio, por su desinteresada comprensión, por enseñarme a no desmayar en los momentos más difíciles y a estar siempre alerta ante cualquier problema que se me pueda presentar en la vida.

A toda mi familia, gracias por sus palabras de aliento y a enseñarme las cosas agradables que existe en la vida.

A la CNT S.A., por su apoyo en el desarrollo de este Proyecto, especialmente a la Ing. Carmita Armas y al Ing. Fernando Muñoz, quienes me han enriquecido con sus conocimientos objetivos, brindándome las facilidades e información necesaria para culminar con éxito esta etapa tan importante en mi vida.

A mis distinguidos maestros, mucha gratitud por su ardua labor educativa, guías impredecibles del saber, gracias por sus enseñanzas porque de alguna manera forman parte de lo que ahora soy, en especial al Ing. Carlos Herrera, quien me supo guiar paso a paso en este Proyecto, por su tiempo y su infinita paciencia.

A todos mis amigos, por compartir momentos gratos y agradables, por todas las aventuras y locuras durante muchos años de mi vida, y a los que nunca olvidaré.

DAVID

DEDICATORIA

A mis padres, dedico especialmente aquellas personas que admiro, fuente de inspiración, que han hecho de mi una persona dedicada, respetuosa y sobre todo me han hecho comprender el sentido de la sabiduría a través de los estudios, gracias a ellos supe salir adelante evadiendo los obstáculos que se me presentaron, guiando mi vida por el camino de la honestidad a fin de engrandecer cada minuto mis sueños; por eso mis Padres, merecen hoy, mañana y siempre todos mis honores, mi amor inigualable y mi respeto hacia ellos, de su hijo.

DAVID

ÍNDICE DE CONTENIDOS

ÍNDICE DE CONTENIDOS	I
ÍNDICE DE FIGURAS	VI
ÍNDICE DE TABLAS	VIII
RESUMEN	X
PRESENTACIÓN	XI

CAPÍTULO I	Págs.
1. FUNDAMENTOS DE LA TECNOLOGÍA DE MULTIPLEXACIÓN POR DIVISIÓN DE LONGITUD DE ONDA DENSA (DWDM)	1
1.1 Antecedentes	1
1.2 Justificación	2
1.3 Definición de la tecnología DWDM	2
1.4 Parámetros técnicos de la tecnología DWDM	5
1.5 Características de la tecnología DWDM	7
1.5.1 Adaptabilidad / Flexibilidad	7
1.5.2 Escalabilidad	8
1.5.3 Beneficios y Limitaciones	10
1.5.3.1 Beneficios	10
1.5.3.2 Limitaciones	11
1.6 Aplicaciones de la tecnología DWDM	12
1.6.1 Aplicaciones de acuerdo a proveedores de conmutación y redes ópticas	12
1.6.2 Aplicaciones de acuerdo a la alta velocidad en la tecnología DWDM	14
1.7 Componentes que intervienen en la tecnología DWDM	15
1.7.1 Terminal multiplexor óptico (OTM)	16
1.7.2 Amplificador óptico de línea (OLA)	17

1.7.2.1	Amplificadores de fibra óptica dopados de Erblio (EDFA)	18
1.7.2.2	Funcionamiento de los EDFAs	18
1.7.2.3	Tipos de amplificadores EDFAs	20
1.7.2.4	Ventajas de los EDFAs	21
1.7.3	Multiplexor óptico de inserción / extracción (OADM)	23
1.7.4	Transconector óptico (OXC)	25
1.7.5	Fibra óptica	27
1.7.5.1	Características de transporte de los distintos tipos de fibra óptica	28
1.8	Arquitectura de la tecnología DWDM	30
1.8.1	Topologías de red	33
1.8.2	Evolución de la capa óptica	34
1.9	Ventajas de la tecnología DWDM	36
1.10	Gestión en la tecnología DWDM	38
1.10.1	Canal de control ó supervisión	39
1.10.2	Elementos de una red gestionable	39
1.10.3	Funciones de un gestor local	41

CAPÍTULO II	Págs.
2. DESCRIPCIÓN DE LA SITUACIÓN ACTUAL DE LA RED SDH DE LA REGIÓN 2 DE LA CNT S.A.	44
2.1 Jerarquía Digital Sincrónica (SDH)	44
2.1.1 Antecedentes	44
2.1.2 Definición de SDH	45
2.1.3 Estándares de SDH	46
2.1.4 Ventajas y desventajas de SDH	48
2.1.5 Estructura de la trama SDH	51
2.1.5.1 Cabecera de sección de regeneración (RSOH)	52
2.1.5.2 Cabecera de sección de multiplexación (MSOH)	53
2.1.6 Componentes de SDH	53

2.1.7 Sincronización de SDH	57
2.1.8 Gestión de SDH	58
2.2 Descripción de la red actual SDH de la Región 2	59
2.2.1 Fibra óptica instalada en la Región 2	60
2.2.2 Equipos de radio instalados en la Región 2	62
2.2.3 Redes instaladas actualmente en la Región 2	63
2.2.3.1 Red Norte	65
2.2.3.1.1 Servicios implementados en la Red Norte	69
2.2.3.2 Red Pichincha	71
2.2.3.2.1 Servicios implementados en la Red Pichincha	75
2.2.3.3 Anillo Aeropuerto	77
2.2.3.3.1 Servicios implementados en el Anillo Aeropuerto	80
2.2.3.4 Anillo Oriente	82
2.2.3.4.1 Servicios implementados en el Anillo Oriente	87
2.2.3.5 Anillo Oriente Huawei	89
2.2.3.5.1 Servicios implementados en el Anillo Oriente Huawei	94
2.2.4 Capacidad total de la Región 2 de la CNT S.A.	95
2.2.5 Demanda de servicios proporcionados	96
2.2.6 Proyección de tráfico estimada para 10 años	98
2.2.6.1 Cálculo del índice de crecimiento anual	98
2.2.6.2 Proyección de tráfico, 2010 – 2020	100
CAPÍTULO III	Págs.
3. DISEÑO DE LA RED PARA INTEGRAR SDH CON DWDM DE LA REGIÓN 2 DE LA CNT S.A.	102
3.1 Solución a los problemas de saturación	103
3.2 Diseño de las nuevas redes, que integran a las redes SDH existentes, la tecnología DWDM	104
3.2.1 Estructura de la integración SDH con DWDM	105
3.2.1.1 ¿Por qué utilizar ROADMs?	108

3.2.2	Fibras ópticas disponibles en las redes	109
3.2.3	Ubicación de los nodos	110
3.2.3.1	Para el Anillo SDH Pichincha (Red Norte y Red Pichincha)	110
3.2.3.2	Para el Anillo SDH Aeropuerto (Anillo Aeropuerto)	114
3.2.3.3	Para el Anillo SDH Oriente (Anillo Oriente y Anillo Oriente Huawei)	116
3.2.4	Parámetros importantes a considerar en el diseño de las nuevas redes de integración SDH con DWDM	120
3.2.4.1	Atenuación	120
3.2.4.1.1	Anillo SDH para la integración DWDM (Pichincha)	122
3.2.4.1.2	Anillo SDH para la integración DWDM (Aeropuerto)	123
3.2.4.1.3	Anillo SDH para la integración DWDM (Oriente)	124
3.2.4.2	Dispersión	125
3.2.5	Diagrama general del diseño de la integración SDH con DWDM (SDH/DWDM)	126
3.2.5.1	Anillo SDH/DWDM Pichincha	127
3.2.5.2	Anillo SDH/DWDM Aeropuerto	131
3.2.5.3	Anillo SDH/DWDM Oriente	133
3.2.6	Transmisión de voz, datos y video	136
3.2.7	Equipos necesarios para la integración	141
3.2.8	Selección de equipos de acuerdo a la infraestructura	142
3.2.9	Plan de integración e instalación de equipos	144

CAPÍTULO IV	Págs.
4. PRESUPUESTO GENERAL DEL DISEÑO DE LOS ANILLOS DE INTEGRACIÓN SDH/DWDM	146
4.1 Costos referenciales de equipos	146
4.2 Costos referenciales de materiales y suministros	147
4.3 Costos referenciales de operación	148
4.4 Costo total	149

CAPÍTULO V	Págs.
5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	150
5.1 Conclusiones	150
5.2 Recomendaciones	155
ABREVIATURAS	157
BIBLIOGRAFÍA	160
ANEXOS	163

ÍNDICE DE FIGURAS

CAPÍTULO I	Págs.
FIGURA 1.1 Curva de atenuación de una Fibra Óptica Monomodo	4
FIGURA 1.2 Adaptabilidad de redes	7
FIGURA 1.3 Elementos que generan escalabilidad en DWDM	10
FIGURA 1.4 Topología Punto-Punto y Topología Anillo de DWDM	13
FIGURA 1.5 DCS tradicional en una red WDM	15
FIGURA 1.6 Esquema de un enlace DWDM	16
FIGURA 1.7 Funcionamiento de un EDFA	19
FIGURA 1.8 Tipos de amplificadores EDFAs	21
FIGURA 1.9 OADM fijo	24
FIGURA 1.10 OXC Conmutador de fibra	25
FIGURA 1.11 OXC Conmutador de portadora	26
FIGURA 1.12 OXC Con traslación de longitud de onda	26
FIGURA 1.13 Arquitectura de difusión y selección	31
FIGURA 1.14 Arquitectura por ruteo de longitud de onda	32
FIGURA 1.15 Topología física	33
FIGURA 1.16 Topología virtual o lógica	34
FIGURA 1.17 Evolución de la capa óptica	35
FIGURA 1.18 Diagrama de bloques sobre la gestión de una red óptica	40
CAPÍTULO II	Págs.
FIGURA 2.1 Estructura de la trama STM – 1	52
FIGURA 2.2 Red SDH usando doble anillo	54
FIGURA 2.3 Regenerador de una red SDH	54
FIGURA 2.4 Multiplexor Terminal de una red SDH	55
FIGURA 2.5 ADM de una red SDH	55

FIGURA 2.6 Tipos de DXC de una red SDH a)DXC 4/4 b)DXC 4/3/1	56
FIGURA 2.7 Fibra óptica monomodo	62
FIGURA 2.8 Red Norte	64
FIGURA 2.9 Porcentajes de servicios y ocupación total de la Red Norte	69
FIGURA 2.10 Red Pichincha	70
FIGURA 2.11 Porcentajes de servicios y ocupación total de la Red Pichincha	75
FIGURA 2.12 Anillo Aeropuerto	76
FIGURA 2.13 Porcentajes de servicios y ocupación total del Anillo Aeropuerto	80
FIGURA 2.14 Anillo Oriente	81
FIGURA 2.15 Porcentajes de servicios y ocupación total del Anillo Oriente	87
FIGURA 2.16 Anillo Oriente Huawei	88
FIGURA 2.17 Porcentajes de servicios y ocupación total del Anillo Oriente Huawei	94
FIGURA 2.18 Porcentaje de la capacidad total de la Región 2	95
FIGURA 2.19 E1s a través de los últimos años	97

CAPÍTULO III	Págs.
FIGURA 3.1 Estructura básica de la integración SDH / DWDM	106
FIGURA 3.2 Estructura interna de la tecnología DWDM y su interconexión	107
FIGURA 3.3 Estructura interna de un ROADM	108
FIGURA 3.4 Costos totales para dos tipos de configuraciones de red	109
FIGURA 3.5 Anillo SDH para la integración con DWDM (Pichincha)	111
FIGURA 3.6 Anillo SDH para la integración con DWDM (Aeropuerto)	114
FIGURA 3.7 Anillo SDH para la integración con DWDM (Oriente)	117
FIGURA 3.8 Anillo SDH/DWDM Pichincha	128
FIGURA 3.9 Anillo SDH/DWDM Aeropuerto	131
FIGURA 3.10 Anillo SDH/DWDM Oriente	134
FIGURA 3.11 Interconexión de los servicios	137
FIGURA 3.12 Ocupación total de una fibra óptica de 40 canales	141

ÍNDICE DE TABLAS

CAPÍTULO II	Págs.
TABLA 2.1 Estándares ANSI de SONET	46
TABLA 2.2 Estándares SDH de la UIT-T	47
TABLA 2.3 Equivalencias de las tasas de transmisión SDH/SONET	48
TABLA 2.4 Características de la fibra óptica monomodo estándar (Especificación UIT-T G.652)	60
TABLA 2.5 Características de la fibra óptica monomodo de dispersión desplazada no – nula (Especificación UIT-T G.655)	61
TABLA 2.6 Capacidades de la Red Norte Marzo 2010	68
TABLA 2.7 Capacidades de la Red Pichincha Marzo 2010	74
TABLA 2.8 Capacidades del Anillo Aeropuerto Marzo 2010	79
TABLA 2.9 Capacidades del Anillo Oriente Marzo 2010	86
TABLA 2.10 Capacidades del Anillo Oriente Huawei Marzo 2010	93
TABLA 2.11 Capacidad Total de la Región 2	95
TABLA 2.12 Consumo de E1s desde el 2008 hasta el 1º trimestre de 2010	97
TABLA 2.13 Proyección de tráfico desde 2010 hasta 2020	101
CAPÍTULO III	Págs.
TABLA 3.1 Distancias de la fibra óptica para los enlaces del Anillo SDH Pichincha	112
TABLA 3.2 Distancias de la fibra óptica para los enlaces del Anillo SDH Aeropuerto	115
TABLA 3.3 Distancias de la fibra óptica para los enlaces del Anillo SDH Oriente	118
TABLA 3.4 Atenuación de cada enlace del anillo SDH para la integración DWDM (Pichincha)	122

TABLA 3.5	Atenuación de cada enlace del anillo SDH para la integración DWDM (Aeropuerto)	123
TABLA 3.6	Atenuación de cada enlace del anillo SDH para la integración DWDM (Oriente)	124
TABLA 3.7	Asignación de longitudes de onda λ	139
TABLA 3.8	Equipos necesarios para la integración	141
TABLA 3.9	Equipos OptiX BWS 1600G DWDM System	143

CAPÍTULO IV

	Págs.	
TABLA 4.1	Costos referenciales de equipos	146
TABLA 4.2	Costos referenciales de materiales y suministros	147
TABLA 4.3	Costos referenciales de operación	148
TABLA 4.4	Costo Total	149

RESUMEN

En el primer capítulo se desarrolla un estudio de los aspectos relevantes de la Multiplexación Densa por División de Longitud de Onda (DWDM), como son: conceptos básicos, características fundamentales, parámetros técnicos, beneficios, componentes de una red DWDM, gestión de la red, evolución de la capa óptica y las ventajas y desventajas que presentan estos sistemas frente a otros, los cuales ayudan a comprender de mejor manera DWDM.

En el segundo capítulo se realiza un resumen de la Jerarquía Digital Sincrónica (SDH), luego se describe la situación de la red actual SDH de la región 2 de la Corporación Nacional de Telecomunicaciones CNT S.A., que consta de cinco redes, luego se desarrolla una proyección de tráfico a 10 años con la finalidad de dimensionar las nuevas redes y hacer una distribución apropiada del mismo, tomando en cuenta la demanda que genera actualmente la red.

En el tercer capítulo se realiza el diseño de las redes de integración SDH/DWDM con su respectiva descripción, tomando en consideración la infraestructura estudiada en el capítulo 2, también se toma en cuenta los parámetros a considerar para una efectiva transmisión y su respectiva asignación de longitudes de onda λ para los servicios a prestar (voz, datos y video), a continuación de esto se selecciona el equipo que cumpla el propósito de este Proyecto y se realiza un plan de integración e instalación de equipos.

En el cuarto capítulo se realiza un presupuesto general sobre la adquisición de equipos, mano de obra, instalación y mantenimiento de las redes de integración SDH/DWDM.

En el quinto capítulo se presenta un conjunto de conclusiones y recomendaciones que satisfaga la realización de este Proyecto.

PRESENTACIÓN

En el Ecuador existe una gran demanda entorno al desarrollo tecnológico que es generada por diferentes sectores industriales del país, uno de estos son las Telecomunicaciones que requieren crecimiento debido a un aumento de servicios como voz, datos y video, que las personas estamos destinadas a utilizarlas. Es por esto que la Corporación Nacional de Telecomunicaciones CNT S.A. generalmente desea reemplazar o a mejorar las tecnologías ya existentes que actualmente operan en la red de la Región 2, para de una u otra forma dar el servicio necesario y así obtener mayores beneficios, esta tecnología es DWDM.

La importancia de requerir estos servicios inmediatamente es debido a un aumento de la demanda en las Telecomunicaciones y especialmente hacer conocer a los pueblos más alejados como el desarrollo tecnológico, en nuestro caso la tecnología DWDM, puede mejorar nuestro estilo de vida, con el mejoramiento de esta, los usuarios requieren de aplicaciones que exigen mayor ancho de banda, mayores velocidades de transmisión y mejor calidad del servicio, esto implica en la mayoría de los casos migrar a nuevas tecnologías que lleva a renovar totalmente la infraestructura existente, demandando tiempo e inversiones muy grandes.

Este Proyecto se enfoca en la integración de una red DWDM con SDH, resultando ser beneficioso, ya que, DWDM además de proporcionar la facilidad de poder transportar muchas señales ya sea ATM, IP, MPLS y en vista de que SDH sigue siendo una solución más económica y tecnológicamente factible para transmitir Voz y Datos en redes de transporte, se planteó una solución a los requerimientos que necesita la empresa para extender más su cobertura de fibra óptica dentro de la Región 2.

En síntesis este Proyecto busca contribuir con el desarrollo en parte tecnológico y también con el desarrollo ocupacional dentro de la Corporación Nacional de Telecomunicaciones CNT S.A., que esté acorde con las necesidades, abriendo nuevos caminos para el desarrollo económico, ya que como empresa pública necesita minimizar costos para bien del país.

CAPÍTULO I

1. FUNDAMENTOS DE LA TECNOLOGÍA DE MULTIPLEXACIÓN POR DIVISIÓN DE LONGITUD DE ONDA DENSA (DWDM)

1.1 ANTECEDENTES

Los sistemas de comunicación que utilizan como medio de transmisión una fibra óptica se basan en inyectar en un extremo de la misma la señal a transmitir (previamente la señal eléctrica procedente del emisor se ha convertido en óptica mediante un LED o Láser y que ha modulado una portadora) que llega al extremo receptor, atenuada y, probablemente con alguna distorsión debido a la dispersión cromática propia de la fibra, donde recibe en un fotodetector, es decodificada y convertida en eléctrica para su lectura por el receptor, y que se emplea en los sistemas de fibra óptica dependiendo de una serie de factores, algunas fuentes de luz se adaptan mejor a unos tipos que a otros.

“Los dos métodos tradicionales para la multiplexación de señales en un sistema de fibra óptica que utiliza luz coherente (láser) han sido TDM (Multiplexación por División de Tiempo) y FDM (Multiplexación por División de Frecuencia), al que se viene WDM (Multiplexación por División de Longitud de Onda). Al contrario que las otras multiplexaciones, suministra cada señal en una frecuencia láser diferente, de tal manera que puede ser filtrada ópticamente en el receptor”¹.

Pese a que la existencia de infraestructuras de red basadas en fibra óptica hoy en día no es ninguna novedad, las soluciones que se plantean para el transporte de

¹ <http://www.monografias.com/trabajos33/telecomunicaciones/telecomunicaciones.shtml> (Generalidades WDM)

datos sobre dichas infraestructuras vienen derivadas de arquitecturas de protocolos sustentadas normalmente por SONET o SDH, es por eso que se puede considerar que WDM es la tecnología anterior a la DWDM.

1.2 JUSTIFICACIÓN

DWDM es un componente clave del mundo en la infraestructura de comunicaciones. El enorme crecimiento de los servicios de telecomunicaciones es posible hoy, en parte, a través de las redes ópticas, donde los sistemas DWDM, permiten un ancho de banda mucho mayor sobre los sistemas ópticos existentes. Para cualquiera que participe con las telecomunicaciones y tecnología de la información, la comprensión de esta tecnología es un requisito fundamental.

Haciendo eco de la participación del Ecuador en el contexto de la globalización, donde solo las empresas de Telecomunicaciones más competentes saldrán a flote, el ingeniero ecuatoriano se ha visto en la necesidad de plantear alternativas, las que permiten optimizar e innovar tecnología para dar cabida a la demanda presentada por el sector tecnológico.

Lo antes expuesto, ha dado cabida a muchos problemas desde el punto de vista de la imposibilidad de importar tecnología de punta, lo que representa una gran inversión, debido a que el País se encuentra en una etapa de recesión.

1.3 DEFINICIÓN DE LA TECNOLOGÍA DWDM

“La tecnología DWDM es una técnica de transmisión por fibra óptica. Esta involucra el proceso de multiplexación de varias señales con diferentes longitudes de onda en una fibra única. De tal manera que cada fibra tiene un conjunto de canales

ópticos paralelos cada uno usando longitudes de onda ligeramente diferentes. Emplea longitudes de onda para transmitir datos paralelos bit a bit o datos seriales caracter por caracter. DWDM es una componente crucial de redes ópticas que permitirán la transmisión de datos: e-mail, video, multimedia, datos, voz sobre IP, modo de transferencia asincrónico ATM y SONET/SDH, sobre la capa óptica”².

“Si usamos DWDM la distancia entre frecuencias adyacentes es menor, es decir las frecuencias se encuentran más pegadas; y cuando en un sistema WDM se transmiten señales ópticas cerca de la ventana de 1550 nm., con separación menor a 200 GHz. se les considera sistemas DWDM y por ende este sistema puede proporcionar 160 longitudes de onda, cada una transmitiendo 10 Gbps. (en total 1600 Gbps.)”³.

“La atenuación de un conductor de la fibra óptica se la define como la relación entre las potencias luminosas de transmisión y a la recepción de la fibra, esta se expresa en decibelios (dB) y se calcula para determinada longitud de onda”⁴.

$$P(\lambda)[dB] = 10 \log_{10} \frac{P_T}{P_R} \quad \text{Ecuación 1.1}$$

Donde:

P_T = Potencia de transmisión

P_R = Potencia de recepción

El coeficiente de atenuación " $\alpha\lambda$ " se lo define como la atenuación por unidad de longitud.

En la figura 1.1 se indica la atenuación que presenta la fibra óptica dependiendo de la longitud de onda a utilizar y la atenuación en dB por cada

² **GANDLURU, Muralikrishna**; "Paper Optical Networking and Dense Wavelength Division Multiplexing (DWDM)"; November 1999; http://www.cis.ohio-state.edu/~jain/cis788-99/op_dwdm/index.html

³ **HIDALGO, Pablo**; "COMUNICACIÓN DIGITAL"; EPN; 2008

⁴ **RUBIO, Baltazar**; "Introducción a la Ingeniería de la Fibra Óptica"; págs. 57-58

kilómetro de cableado, es importante tomar en cuenta que la tecnología DWDM se comporta mejor en una fibra óptica monomodo, debido a que pueden utilizarse en mayores distancias y es de mejor calidad, para que pueda soportar las tasas de transmisión de los varios haces de luz en una sola fibra, aunque no se descarta la posibilidad de utilizar transmisiones de señales en fibras multimodo.

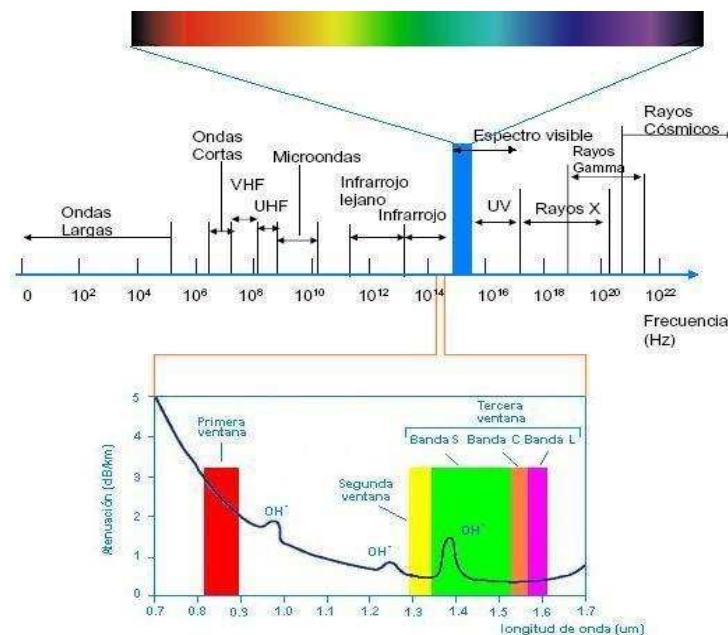


Figura 1.1 Curva de Atenuación de una Fibra Óptica Monomodo⁵

DWDM es la tecnología subyacente clave para las redes integradas de telecomunicaciones y datos con velocidades de transferencia muy altas. La tecnología se emplea para transmitir múltiples señales en una sola fibra óptica a velocidades de transferencia extremadamente altas. Cada señal entra en la fibra óptica a una longitud de onda o frecuencia de portadora levemente distinta usando DWDM. Al extremo receptor, las señales individuales se dividen ópticamente empleando el mismo principio que se usa para separar la luz del sol en un prisma.

⁵ Figura 1.1 Curva de Atenuación de una Fibra Óptica Monomodo - http://nemesiis.tel.uva.es/images/tCO/contenidos/tema1/tema1_3_1.htm

“La tecnología DWDM, introduce más longitudes de onda distintas en cada fibra. No existe una frontera claramente definida para el calificativo "densa"; puede considerarse a partir de las 10 longitudes de onda. Por otra parte, dado que cada vez es mayor el número de longitudes de onda por fibra, la denominación DWDM es la que generalmente se emplea.

Sin embargo, a medida que el número de longitudes de onda crece, hay que tener en cuenta varias consideraciones como el ancho de banda y el espaciamiento del canal, la potencia óptica que se está transmitiendo por la fibra, efectos no lineales, cross-talk (diafonía), etc. La primera tecnología WDM, que empleaba un bajo número de longitudes de onda con un gran ancho y espaciado de canal, se denominó CWDM⁶. La tecnología DWDM fue posible debido a la fabricación y comercialización de componentes que en la época de CWDM eran únicamente ideas o experimentos.

1.4 PARÁMETROS TÉCNICOS DE LA TECNOLOGÍA DWDM

Actualmente, los sistemas comerciales DWDM presentan 16- 40 y 80 canales, y se prevé la próxima salida al mercado de sistemas de 128 canales. Los sistemas con 40 canales presentan un espaciado entre canales de 100 GHz, los que tienen 80 canales tienen un espaciado de 50 GHz. Este espaciado en frecuencia indica la proximidad de los canales entre sí.

Los problemas en los emisores láser se deben a la temperatura o el tiempo, o a que los amplificadores ópticos no presentan una ganancia constante para todas las longitudes de onda y a los posibles efectos de dispersión, entre otros.

⁶ **TUTORIAL DWDM**; Fujitsu, Noviembre 15, 2002
CWDM – WDM Simple (Course)

El número de canales depende también del tipo de fibra óptica empleada. Un único filamento de fibra monomodo puede transmitir datos a una distancia aproximada de 80 Km. sin necesidad de amplificación. Colocando 8 amplificadores ópticos en cascada, la distancia puede aumentar a 640 Km.

“A medida que crece la implantación de DWDM su coste va decreciendo progresivamente, debido básicamente a la gran cantidad de componentes ópticos que se fabrican. Consecuentemente, se espera que DWDM se convierta en una tecnología de bajo coste que permita su implantación en muchos tipos de redes.

Las fibras monomodo convencionales pueden transmitir en el rango de 1300 a 1550 nm. absorbiendo las longitudes de onda de 1340 a 1440 nm. Los sistemas WDM emplean longitudes de ondas en los dos rangos posibles (de 1300 a 1340 nm y 1440 a 1550 nm). Existen fibras especiales que permiten la transmisión en todas las longitudes de ondas comprendidas entre 1530 y 1565 nm., sin absorción. Sin embargo no todos los componentes opto-electrónicos trabajan con la misma eficiencia en todas las longitudes de onda.

Los sistemas DWDM emplean los últimos avances en la tecnología óptica para generar gran número de longitudes de onda en el rango cercano a 1550 nm. La Recomendación G.692 de la ITU-T define 40 canales de transmisión en el rango de 1530 a 1565 nm. con un espaciado de 100 GHz, cada canal transportará un tráfico OC-192 a 10 Gbps. Sin embargo, cada día salen al mercado sistemas con mayor número de canales. Un sistema DWDM de 40 canales a 10 Gbps por canal proporciona una velocidad agregada de 400 Gbps”⁷.

⁷ Características de DWDM – <http://www.mailxmail.com/cursos-redes-estandares-3/caracteristicas-dwdm>
Figura 1.2 Adaptabilidad de redes – <http://www.mailxmail.com/cursos-redes-estandares-3/dwdm>

1.5 CARACTERÍSTICAS DE LA TECNOLOGÍA DWDM

1.5.1 ADAPTABILIDAD / FLEXIBILIDAD

El desarrollo de la tecnología DWDM apunta a como la capa óptica (capa superior a la capa de servicios y a la capa SONET/SDH ya existentes, para su continua expansión de las comunicaciones) provee los medios necesarios para transportar integrando las diversas tecnologías de las redes en la infraestructura física ya existente; a pesar del hecho de que estos formatos: IP, ATM y SONET/SDH tienen un único administrador de ancho de banda compatible, todos pueden ser transportados sobre una capa óptica usando DWDM, con lo que esta unificación de tecnologías permite a los proveedores de servicios la flexibilidad para responder a la demanda del cliente sobre la red. Dentro del contexto particular de las redes y de su adaptabilidad de DWDM, puede hacerse de formas diversas:

- ✓ Mediante sistemas de transmisión punto a punto.
- ✓ Mediante Redes con encaminamiento de longitud de onda flexible o dinámico.
- ✓ Mediante Redes con encaminamiento por longitud de onda estático.

En la figura 1.2 se indica la adaptabilidad que presentan algunos componentes en un sistema de red:

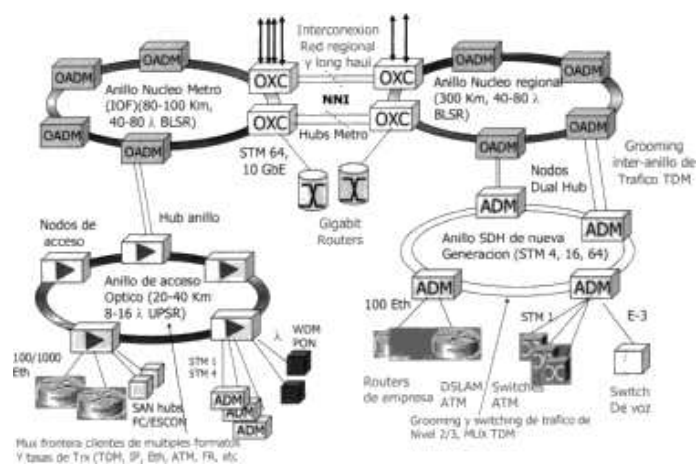


Figura 1.2 Adaptabilidad de redes

En concreto, el éxito inicial, en cuanto a incremento de capacidad que se ha conseguido con el empleo de enlaces WDM punto a punto, ha llevado a buscar soluciones de tipo multisalto (multihop) donde se pretende que la señal se mantenga en un rango favorable dentro de lo permitido en la tecnología DWDM para una buena transmisión, explotando con ello la transparencia y el bajo costo por bit potencial que ofrece el empleo de DWDM.

1.5.2 ESCALABILIDAD

“Un canal no utiliza solamente una única longitud de onda, cada canal tiene un determinado ancho de banda alrededor de la longitud de onda central, cada banda se separa de la siguiente por una banda de guarda de varios GHz, de esta manera se busca evitar posibles solapes o interferencias entre canales adyacentes, teniendo la habilidad para extender el margen de operaciones sin perder calidad, o bien manejar el crecimiento continuo de trabajo de manera fluida, o bien para estar preparado para hacerse más grande sin perder calidad en los servicios ofrecidos en la transmisión de datos como: e-mail, video, multimedia, datos, voz sobre IP, modo de transferencia asincrónico ATM y SONET/SDH, sobre la capa óptica”⁸.

A continuación se indica una serie de factores en los cuales se generaliza el uso de la tecnología DWDM y el por qué de su gran escalabilidad, tomando en cuenta la calidad del servicio que se ofrece en la transmisión:

- ✓ La fabricación a gran escala de fibra óptica ha posibilitado una disminución de los costos y una mejora en las características de transmisión de la fibra.
- ✓ Filtros integrados de estado sólido de menor tamaño y con posibilidad de ser integrados en el mismo sustrato junto con otros componentes ópticos.

⁸ Revista BTW S.A; Tutorial tecnología y servicios DWDM

- ✓ Amplificadores ópticos de ganancia plana “(Los EDFAs presentan una zona plana de menor ganancia más o menos alrededor de los 1557 nm.)”⁹ para un rango determinado de longitudes de onda que acoplados en línea con la fibra actúan como repetidores eliminando la necesidad de regeneradores.
- ✓ Nuevos foto-detectores y fuentes láser que permiten integración produciendo diseños más compactos.
- ✓ El campo de aplicación de DWDM se encuentra en redes de larga distancia de banda ultra-ancha, así como en redes metropolitanas o interurbanas de muy alta velocidad.
- ✓ Los multiplexores ópticos Add-Drop (OADM) y reconfigurables (ROADM) han permitido que la tecnología DWDM pueda implantarse en redes de diversos tipos.
- ✓ Los componentes ópticos de conexión (OXC), que pueden implementarse con diferentes tecnologías de fabricación, y han hecho posible la conmutación puramente óptica.
- ✓ Multiplexores y demultiplexores ópticos basados en difracción óptica pasiva “(la red de difracción está fuera de la zona activa, donde no circula corriente, es decir la red en parte queda expuesta al exterior de la zona activa)”¹⁰.
- ✓ Filtros de longitud de onda seleccionable, que pueden ser empleados como multiplexores ópticos.
- ✓ La tecnología DWDM requiere dispositivos ópticos especializados basados en las propiedades de la luz y en las propiedades ópticas, eléctricas y mecánicas

⁹ **ABELLÁN, Daniel**; “Sistemas de Comunicaciones Ópticas”; Universidad Politécnica de Valencia; 2007

¹⁰ <http://www.seeic.org/articulo/laser/las-diodo.htm>

de los semiconductores. Entre estos dispositivos ópticos se incluyen transmisores ópticos, ADC y OXC.

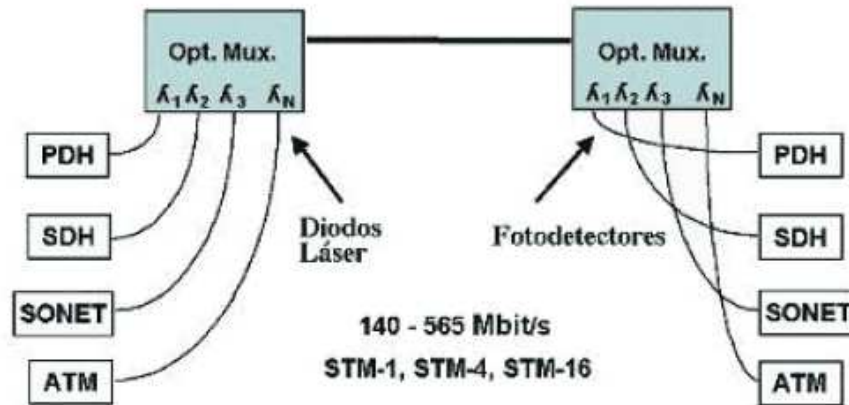


Figura 1.3 Elementos que generan escalabilidad en DWDM

En la figura 1.3 se puede observar los elementos que generan escalabilidad y que uno por uno son explicados en la sección 1.8, que trata sobre los componentes que intervienen en la tecnología DWDM.

1.5.3 BENEFICIOS Y LIMITACIONES

1.5.3.1 Beneficios

Los beneficios que podemos describir en este Proyecto se basan generalmente en el comportamiento que las fibras, envían y reciben longitudes de onda simultáneamente a lo largo del camino de un equipo de transmisión a otro, es decir, esto permite que una fibra pueda aumentar su capacidad y en efecto hace que parezca que hay múltiples fibras derivadas de una única fibra.

“Como ejemplo, considere una fibra en un sistema que tiene una capacidad para transmitir 1 Gbps. Con una DWDM, esta fibra puede ahora recibir 8 longitudes de onda diferentes. Así, la capacidad se aumentó a 8 Gbps. Esto permite una alta eficiencia y una rápida transferencia de datos.

La mayoría de las longitudes de onda que se pueden enviar en cualquier momento dado es de 80. Eso significa que, utilizando el ejemplo anterior, una capacidad de 1 Gbps puede ser convertida en 80 Gbps, simplemente usando la tecnología DWDM¹¹.

Debido a que DWDM beneficia de una manera permanente la rápida transferencia de datos, IP, ATM, SONET/SDH, etc., también permite a los equipos generar tasas de transferencia de datos eficientemente y con una alta velocidad de transmisión.

En fin, otro beneficio de DWDM es que evita la necesidad de establecer una nueva fibra, ya que simplemente aumenta la eficiencia de la fibra existente. Esto hace que DWDM sea más conveniente y también más económicamente beneficioso, ya que no se gastarían sumas cuantiosas en el momento de adquirir materiales y equipos aptos para esta tecnología.

1.5.3.2 Limitaciones¹²

Generalmente la tecnología DWDM fue creada para corregir las limitaciones que posee hoy la fibra óptica.

Realizaremos a continuación una acotación importante en cuanto a la limitación en los sistemas de rendimiento usando la fibra óptica multimodo (MMF)

¹¹ **Tutorial: Tendencias hacia el futuro de DWDM** – <http://www.topbits.com/dwdm.html>

¹² **JAMES, Tai**; “Introducción a la tecnología DWDM”; NETI, New Elite Technologies, Inc.; 2004

- Distancia de transmisión y ancho de banda insuficiente.
- Pérdidas superiores que en una fibra monomodo (SMF).
- Interferencia inducida por el ruido modal → Degradación de la SNR

El ruido modal hace referencia a que la luz puede tomar múltiples trayectorias a través de la fibra. Como causas principales se tiene:

- Temperatura y posición de la fibra que pueden hacer que la franja de luz se mueva.
- Cuando cambia la distribución de energía en los modos de propagación de la fibra debido a la presencia de pérdidas.
- Cuando están presentes: Uniones, conexiones, micro curvas, etc.

1.6 APLICACIONES DE LA TECNOLOGÍA DWDM

1.6.1 APLICACIONES DE ACUERDO A PROVEEDORES DE CONMUTACIÓN Y REDES ÓPTICAS

Como cualquier nueva tecnología, las aplicaciones potenciales para DWDM están en sus inicios. Muchas de las nuevas aplicaciones surgirán para poder tomar ventaja de las capacidades y competencias de la tecnología DWDM. Ya se ha demostrado estar particularmente adecuado para varias aplicaciones fundamentales. DWDM está ya preparado para compañías proveedoras que se encuentran en otros países y que desarrollan topologías punto a punto o topologías en anillo como se indica en la figura 1.4. El acceso inmediato de X nuevos canales de transmisión aumenta dramáticamente la posibilidad de éxito y aceptación por la comunidad de usuarios a disposición.

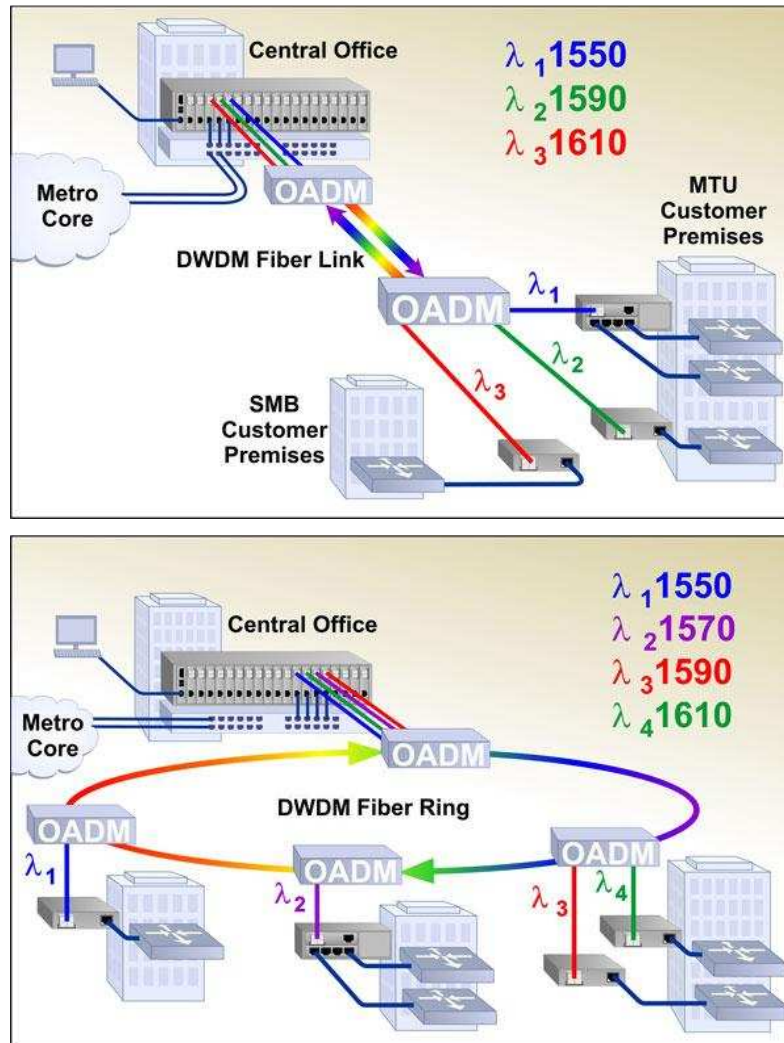


Figura 1.4 Topología Punto-Punto y Topología Anillo de DWDM¹³

Al utilizarse la tecnología DWDM permitirá a los portadores construir anillos de fibra con un 100 % de protección utilizando dos fibras. Sin embargo, los operadores de las redes de telecomunicaciones también encontrarán a la tecnología DWDM como una oportunidad económica para aumentar la capacidad. DWDM será especialmente atractivo para las empresas que tienen pocas instalaciones de fibra óptica que se han instalado principalmente para las operaciones internas, pero que ahora podría ser utilizada para generar ingresos en las telecomunicaciones.

¹³ Figura 1.4 Topología Punto-Punto y Topología Anillo de DWDM
http://www.omnitron-systems.com/spanish/application_dwdm_sp.php

1.6.2 APLICACIONES DE ACUERDO A LA ALTA VELOCIDAD EN LA TECNOLOGIA DWDM¹⁴.

La repentina disponibilidad de muchos de los nuevos canales de transmisión en comparación con la habilidad de los portadores, generan un aumento en la capacidad y al mismo tiempo dejar de lado los backup del ancho de banda sin la necesidad de instalar nuevas fibras.

El sector encargado de la planificación de las redes, generan datos de acuerdo a sus necesidades actuales o futuras que también se encuentran en la tecnología DWDM como una forma económica de hacer lo correcto, como por ejemplo:

- ✓ Aumentar gradualmente la capacidad de transmisión.
- ✓ Provisionar rápidamente el nuevo equipamiento para la expansión necesaria.
- ✓ Realizar pruebas a futuro de su infraestructura para detener cualquier imprevisto de acuerdo a la demanda excesiva de ancho de banda.

La transparencia de la tecnología DWDM para diferentes velocidades y protocolos, permitirán a los operadores agregar los servicios a medida del crecimiento de la población a lo largo de los años. Por ejemplo, la tecnología DWDM permite a una compañía aérea STM-4/OC-12 dar servicio a un cliente y STM-16/OC-48 dar servicio a otro, todo en un anillo común como se indica en la figura 1.5.

En fin, existen empresas públicas o privadas con una base tecnológica avanzada, DWDM es una manera sencilla de utilizar la actual base de fibra óptica para satisfacer rápidamente la creciente demanda.

¹⁴ **REGIS J. BATES**; "Optical switching and Networking Handbook"; McGraw-Hill Telecommunications; 2001

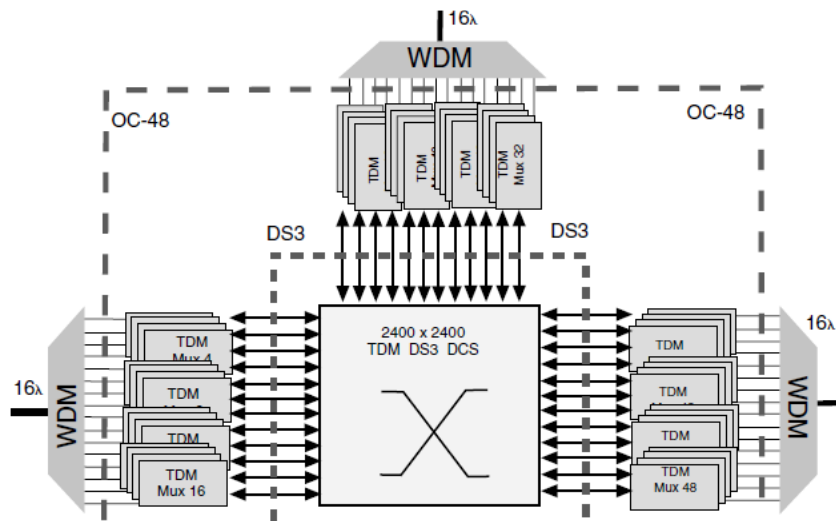


Figura 1.5 DCS tradicional en una red WDM¹⁵

Un DCS es un sistema de control en el que los elementos del tratamiento no son centrales en la localización (como el cerebro), sino que se distribuyen en todo el sistema con cada componente/sub-sistema controlado por uno o más controladores. Todo el sistema de los controladores está conectado por redes de comunicación y de monitoreo.

1.7 COMPONENTES QUE INTERVIENEN EN LA TECNOLOGÍA DWDM¹⁶

En un principio, las redes ópticas emergentes tendrán una arquitectura similar a las tradicionales. Con el tiempo, la tecnología DWDM se implantará también en la periferia de la red donde se realizará la tarea crítica de agregar tráfico y variedad de protocolos empleados en las diferentes longitudes de onda. En la figura 1.6 se indica un diagrama de bloques de los componentes más importantes de una red de fibra óptica punto a punto, los cuales serán motivo de discusión en esta sección:

¹⁵ Figura 1.5 DCS tradicional en una red WDM – REGIS J. BATES; "Optical switching and Networking Handbook"; McGraw-Hill Telecommunications; 2001

¹⁶ MOLINA, Carlos; "Estudio de la WDM"; Tesis de Grado; U. Católica; Chile; 1995

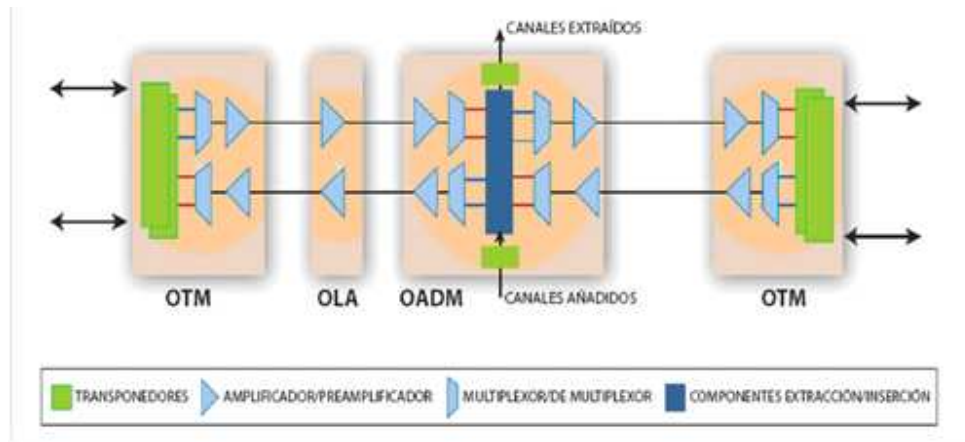


Figura 1.6 Esquema de un enlace DWDM¹⁷

1.7.1 TERMINAL MULTIPLEXOR ÓPTICO (OTM)

Este tipo de multiplexores realizan la función de Multiplexación y Demultiplexación de los tributarios ópticos hacia o desde los agregados. El OTM de transmisión consta de transponedores de transmisión (TPT), multiplexor óptico (OM) y amplificador óptico (AO); el OTM de recepción está formado por transponedores de recepción (TPR), demultiplexor óptico y amplificador óptico. Contienen además los elementos comunes requeridos para su correcto funcionamiento (unidades de gestión, alarmas, alimentación, etc.).

El sistema puede transportar tributarios (STM-1, STM-4 Y STM-16 y de otros tipos) tanto de la 2ª como de la 3ª ventana, no se requiere que estos lleguen al sistema ya con la longitud de onda concreta con que la que van a ser transportados por la línea o por la fibra óptica. En este caso el proveedor indicará que es necesario hacer para ser transportados por el sistema (por ejemplo utilizar otras tarjetas diferentes, configurar el *hardware* o el *software* de algún equipo, etc.). Estos equipos son transparentes a la información que transportan, en el sentido de que no realizan

¹⁷ Figura 1.6 Esquema de un enlace DWDM – <http://www.mailxmail.com/curso-redes-estandares-3/dwdm>

modificación alguna de los octetos transportados por los tributarios. Los OTM tienen la capacidad de incorporar módulos pre-amplificadores o post-amplificadores de señal en caso de que sea necesario para mejorar las características de transmisión.

1.7.2 AMPLIFICADOR ÓPTICO DE LÍNEA (OLA)

Este amplificador es el nodo intermedio en el sistema y permite la conexión entre terminales. El OLA puede ser implementado en un solo equipo y pasar a ser bidireccional (formado por dos amplificadores ópticos).

Las funciones que realizan estos amplificadores son:

- ✓ Amplificar las señales de los tributarios entrantes (una por cada sentido si es bidireccional) que se transmiten por la ruta óptica.
- ✓ Extraer el canal de supervisión, realizar su tratamiento y volver a insertarlo sobre la fibra.
- ✓ Además deben garantizar que la ganancia sea apropiada para el enlace que se especifique.

En la actualidad los amplificadores ópticos de línea trabajan en el rango de los 1530 nm. hasta los 1565 nm., y pueden amplificar señales ópticas aproximadamente hasta 30 dB, proporcionan ganancia uniforme independiente del número de canales y de velocidad, ajustan automáticamente la ganancia para mantener la potencia objetivo del canal, tienen puertos de monitoreo a la entrada y a la salida del amplificador óptico, además permiten el uso de módulos de compensación de dispersión.

1.7.2.1 Amplificadores de fibra óptica dopados de Erblio (EDFA)

Se ha notado que en redes de largo alcance, los efectos de la dispersión y la atenuación son significativos, lo que indica que la señal no puede mantener su integridad largas distancias, sin tener que ser amplificada. Con ese fin, los amplificadores ópticos ayudan a amplificar señales en intervalos regulares.

Esto condujo al desarrollo de los amplificadores ópticos dopados de Erblio (EDFA). Los EDFAs como su nombre lo indica, se basan en las fibras ópticas de silicona que se dopan con Erblio. Este dopaje convierte una fibra óptica pasiva en activa.

1.7.2.2 Funcionamiento de los EDFAs

La figura 1.7 indica el funcionamiento de un EDFA. Una señal débil entra en la fibra dopada con erblio, ahí un láser inyecta una luz a 980 o 1480 nm. Esta luz estimula los átomos de erblio que liberan su energía almacenada como luz adicional a 1550 nm. Este proceso continúa a lo largo de toda la fibra haciendo que la señal se vuelva más fuerte. Este proceso también añade ruido a la señal.

Los parámetros de importancia de un amplificador son la ganancia, uniformidad de la ganancia, el nivel de ruido y el poder de salida. Los EDFAs típicos producen ganancias de 30 dB o más y tienen potencia de salida de +17 dB o más. De estos parámetros nombrados los más importantes son el nivel de ruido, que debe ser bajo, ya que todas las señales deben ser amplificadas uniformemente. La amplificación hecha por los EDFAs es dependiente de la longitud de onda pero puede ser corregida con filtros.

El nivel de ruido debe ser bajo ya que el ruido, al igual que la señal, es amplificado. Este efecto es acumulativo y no puede ser filtrado. La relación

señal/ruido es un factor limitante en el número de amplificadores que pueden ser concatenados. En la práctica una señal puede viajar sin ser amplificada por 120 Km. A distancias mayores de 600 Km. hay que regenerar la señal, no basta solo con amplificarla. Los EDFAs solo amplifican la señal y no realizan las funciones 3R (reshape, retime, retransmit). Los EDFAs están disponibles para las bandas C y L.

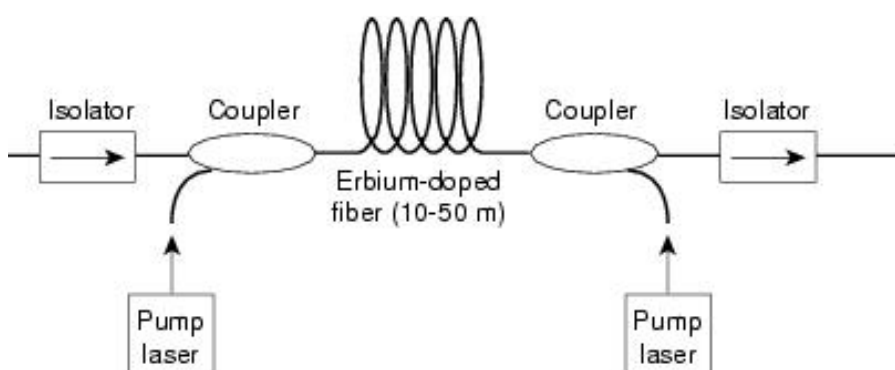


Figura 1.7 Funcionamiento de un EDFA¹⁸

“Al inyectar una señal óptica (a amplificar) en la fibra dopada y excitada, los fotones de señal interactúan con los iones de erbio excitados. El resultado de esta excitación es lo que se llama “*emisión estimulada*”: un fotón señal estimula el paso al nivel atómico fundamental del ion erbio y el resultado neto de ello es la generación de dos fotones de la misma longitud de onda. Es importante notar que este fenómeno es monocromático, es decir, se conserva la longitud de onda de la luz de entrada, lo cual permite mantener una alta pureza espectral. Los EDFAs se los ha utilizado tradicionalmente para propósitos terrestres y submarinos. Los EDFAs permiten conseguir regeneradores de longitudes de onda redundantes. El erbio amplifica la potencia de longitudes de onda y elimina la necesidad de la regeneración. El amplificador óptico es el que ha hecho que la tecnología DWDM sea económicamente factible”¹⁹.

¹⁸ Figura 1.7 Funcionamiento de un EDFA

<http://www ldc.usb.ve/~figueira/cursos/redes2/EXPOSICIONES/DWDM/material/dwdm8.htm>

¹⁹ **MOLINA, Carlos**; “Estudio de la WDM”; Tesis de Grado; U. Católica; Chile; 1995

1.7.2.3 Tipos de amplificadores EDFAs

Estos dispositivos generan una réplica de la señal de entrada (esta señal es reproducida con exactitud) pero con mayor nivel de potencia, operando completamente en un rango favorable dentro de lo permitido en la tecnología DWDM.

Además este tipo de amplificadores a parte de presentar esta característica de duplicar la señal, pueden emplearse en otros procesos como la conmutación, la demultiplexación, o bien en la conversión de longitud de onda, aprovechando su comportamiento no lineal.

Existen tres tipos básicos de amplificadores EDFAs:

- **Amplificador de Línea:** se emplea para elevar el nivel de potencia de la señal y así compensar las pérdidas sufridas por la propagación de la señal, es decir reciben un nivel relativo de señal bajo y deben amplificarlo por el mayor número de dB posible. Las limitaciones de estos amplificadores son la ganancia, el ruido que introducen y la potencia total de salida.
- **Pre-Amplificadores:** estos amplificadores deben ser bastante sensibles, deben tener un bajo nivel de ruido y una ganancia aceptablemente alta debido a que generalmente no necesitan una señal de alta potencia a la salida. Una salida de -20dBm. (dBm indica la cantidad de potencia referente a 1mW., es decir para este caso -20dBm genera 0.01mW, que es relativamente bajo) por canal es normalmente una potencia de salida suficiente.
- **Amplificadores de Potencia:** son colocados junto después de la etapa de multiplexado, a la salida del sistema transmisor. La limitación de estos amplificadores es por lo general la potencia total de salida.

En la figura 1.8 se indica los tipos de amplificadores EDFAs antes mencionados:

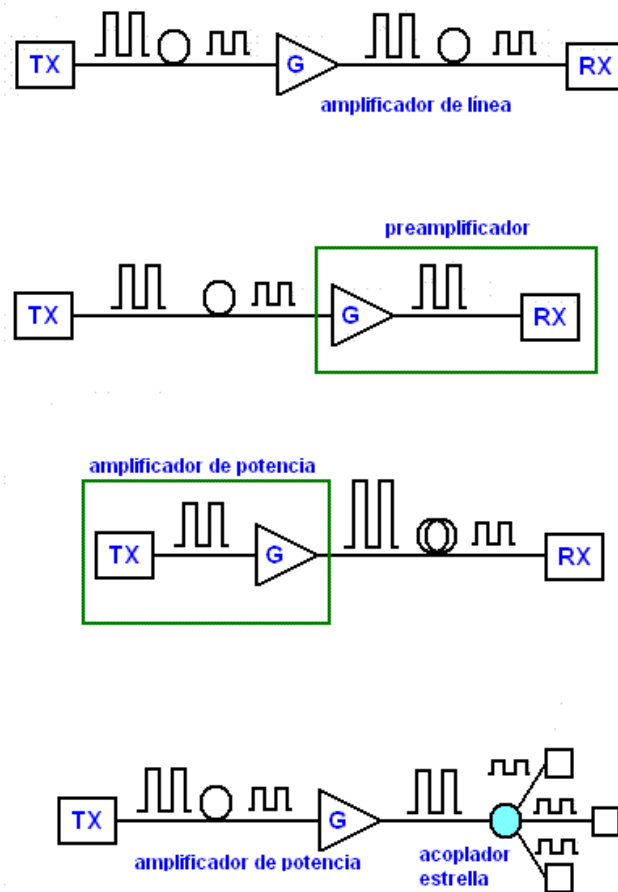


Figura 1.8 Tipos de amplificadores EDFAs²⁰

1.7.2.4 Ventajas de los EDFAs²¹

Las ventajas más importantes de los EDFAs actuales son las siguientes:

- Funcionamiento en la tercera ventana óptica (la más apropiada para transporte de larga distancia).

²⁰ Figura 1.8 Tipos de amplificadores EDFAs – Tutorial de Comunicaciones Ópticas GCO Grupo de Comunicaciones Ópticas.

²¹ MOLINA, Carlos; "Estudio de la WDM"; Tesis de Grado; U. Católica; Chile; 1995

- Alta ganancia óptica superando en ciertos casos los 30 dB. (según diseño y aplicaciones).
- Buen ancho de banda, típicamente 30 a 35 nm.
- Factor de ruido relativamente bajo (típicamente 4 a 5 dB.). el factor de ruido se define como la relación entre la razón señal-ruido a la entrada del EDFA y la razón señal-ruido a la salida del EDFA. Para el funcionamiento en cadena en tramos ópticos largos o para uso de EDFA en recepción óptica es sumamente importante que este factor de ruido sea bajo.
- Alta velocidad de respuesta. Se han utilizado EDFAs con señales digitales de más de 100 Gbps. Además en funcionamiento WDM (con varias portadoras λ) la velocidad digital total transportada por el flujo de luz amplificada puede superar los Tbps. sin ningún tipo de problema.
- Alta potencia de salida (hasta 16 dBm. o más).
- Una ganancia independiente de la polarización de la luz.
- Inmunidad a la diafonía y distorsión. Se mantiene una perfecta linealidad incluso en un EDFA muy saturado. Este punto se refiere a que en caso de entrada WDM la amplificación no induce intermodulación (*La intermodulación es la causante de la aparición de diferentes tonos de radiofrecuencia a partir de la transmisión de dos portadoras. Así, dos portadoras de frecuencias f_1 y f_2 darían lugar a productos de intermodulación de la forma: $f_n = n_1f_1 \pm n_2f_2$; donde $n = n_1 + n_2$ es el orden del producto de intermodulación. El problema se hace patente cuando el producto de intermodulación se encuentra dentro del ancho de banda de la señal recibida: aparece una interferencia que degrada la calidad de la comunicación.*)

La banda C (1530 – 1565 nm.) es la banda de los EDFAs tradicionales. Existe otra importante que se llama Banda L (1570 – 1620 nm.), para las redes DWDM de alta capacidad con más de 100 λ por flujo, se busca la posibilidad de usar un ancho de banda óptico muy grande para acomodar todas las λ . De ahí la disponibilidad de productos como los EDFAs en la “nueva” banda L.

Llegó a ser imprescindible el ancho de banda del amplificador que tuvo que ser aumentado mientras se eliminaba la interferencia entre canales.

Esto condujo al desarrollo del *amplificador dual-band* (DBFA), con fibras similares al de los EDFAs, pudiendo generar la transmisión en el orden de los Tbps. con éxito. La característica más importante del DBFA es su ancho de banda de 1528 a 1610 nm.

El DBFA tiene dos amplificadores de sub – banda. El primero trabaja en el rango del EDFA y al segundo se lo conoce como amplificador extendido de fibra de la banda (EBFA). Se puede observar que el EBFA tiene varias características atractivas comparadas al EDFA, mayor ancho de banda, saturación más lenta, ganancia plana y ruido más bajo.

1.7.3 MULTIPLEXOR ÓPTICO DE INSERCIÓN / EXTRACCIÓN (OADM)

Los sistemas tradicionales de fibra óptica están ampliamente desplegados en las redes de telecomunicaciones, las primeras instalaciones eran básicamente punto a punto, pero los sistemas futuros tendrán que extraer y agregar canales en los nodos intermedios.

Con el incremento de canales el número de inserciones/extracciones también aumentará. Inicialmente fue considerado deseable poder extraer el 25% de canales

de una fibra en cada nodo, pero con el aumento de tráfico este valor puede crecer rápidamente en un 100%.

La figura 1.9 indica la implementación de un OADM fijo sencillo. Fijo significa que las longitudes de onda a insertar y extraer son predeterminadas y no se pueden cambiar. El funcionamiento de estos componentes es sencillo: para cada λ al insertar o extraer se coloca una rejilla de *Bragg* (FBG). Estas ondas pasan por el circulador óptico, se reflejan sobre la FBG, vuelven al circulador, el cual las despacha hacia otra fibra. De esta manera se bajan o insertan unas longitudes de onda predeterminadas.

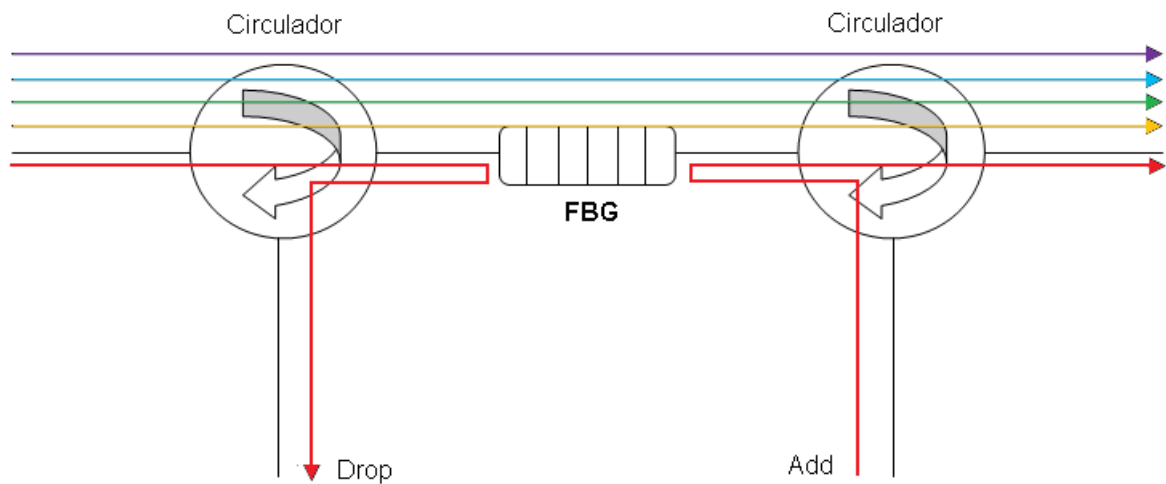


Figura 1.9 OADM fijo

Este tipo de equipos es de uso limitado: sirven por ejemplo en las unidades de derivación (branching units) de los cables submarinos WDM pero no proporcionan la flexibilidad necesaria en una verdadera red de transporte óptica.

1.7.4 TRANSCONECTOR ÓPTICO (OXC)²²

Actualmente los OXC son elementos fundamentales de las redes de telecomunicaciones, permitiendo a los operadores gestionar sus redes y cubrir rigurosos objetivos de calidad y servicio. En el caso de las redes ópticas, los transconectores ópticos son funcionalmente requeridos. Frente a un OADM, un OXC tiene varias fibras de entrada, cada una de ellas transportando un canal WDM, y varias fibras de salida que transportan también canales WDM.

Sin embargo, se necesita de un nuevo paso para el soporte de la conectividad total. Esto puede lograrse desplegando Conectores de Cruce Óptico (OXC), para la conmutación de canales en la capa óptica.

Esquemáticamente existen tres tipos de OXC, presentados a continuación:

- **OXC Conmutador de fibra (fiber switch OXC):** en la figura 1.10 se indica en su versión más sencilla un OXC es un simple conmutador de fibra. En caso de falla este OXC reencamina todo el tráfico de una fibra óptica hacia otra fibra óptica. Un conmutador de fibra no manipula portadoras (longitudes de onda) individuales y por lo tanto ofrece una flexibilidad limitada en términos de gestión de red.

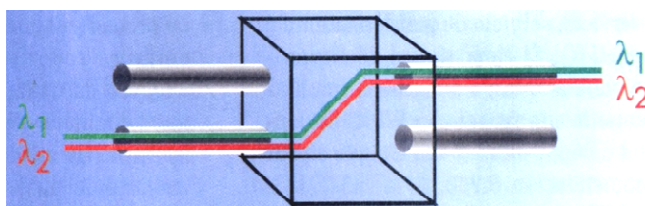


Figura 1.10 OXC Conmutador de fibra

²² PERRIER P. y THOMPSON J.; "Revista de Telecomunicaciones ALCATEL del 3er trimestre del 2000"; Págs.195-200.

- ✦ **OXC conmutador de portadora (wavelength switching OXC):** en la figura 1.11 se indica un OXC como conmutador de portadora operando a nivel de cada portadora dentro de una fibra óptica y enrutándola hacia otra fibra óptica, sin cambiar la longitud de onda de las portadoras, proporcionando así una gran flexibilidad en las redes WDM modernas.

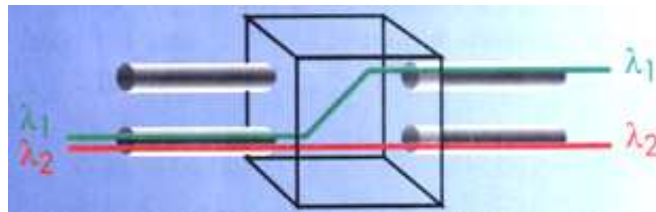


Figura 1.11 OXC Conmutador de portadora

- ✦ **OXC con traslación de longitud de onda (wavelength interchange OXC):** en la figura 1.12 se indica un OXC con traslación de longitud de onda, es decir, no solamente será capaz de operar a nivel de portadora, además podrá cambiar las longitudes de onda. Esto es lo ideal en términos de flexibilidad. Un OXC no dotado de esta propiedad puede experimentar un bloqueo ya que en caso de reconfiguración el reencaminamiento de una portadora hacia otra fibra óptica será imposible si dicha fibra tiene ya una portadora a la misma frecuencia. En caso de tener la posibilidad de cambiar la longitud de onda, se podrá obviar este problema simplemente reencaminando la portadora hacia la fibra óptica elegida y cambiando la longitud de onda a otro valor no ocupado en dicha fibra óptica.

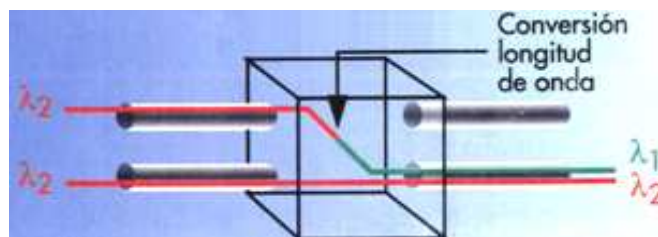


Figura 1.12 OXC Con traslación de longitud de onda

La gran capacidad de DWDM, la nueva generación de OADMs y los OXCs permitirán una conectividad totalmente flexible y gestionable, la escalabilidad de soluciones diferentes con distintos grados de complejidad, diferentes tipos y niveles de protección, y facilidades para controlar la calidad de servicios en la red, esto implica, el cumplir totalmente con una capa óptica consistente.

Es importante resaltar la gran importancia de los OXC considerando la estadística siguiente: en las redes modernas, en muchos nodos, el porcentaje de tráfico que debe atravesar el nodo es entre 50% y 75% mientras que el tráfico a bajar o insertar en la red de transporte es entre 25% y 50%. Esto significa que para la mayor parte de tráfico manejados por un nodo SDH – DWDM no hay necesidad de salir del dominio óptico.

En tales condiciones al no usar componentes OADM y OXC se utilizarían conversiones optoelectrónicas muy costosas. Desde este punto de vista el tratamiento óptico (OADM y OXC) es potencialmente muy beneficioso tanto técnica como económicamente.

1.7.5 FIBRA ÓPTICA²³

Se describen distintos tipos de fibras ópticas con el fin de poder discriminar cuales de ellas son las más adecuadas para ser aplicadas en redes DWDM.

Para ello se toma en cuenta los parámetros más importantes siendo éstos la atenuación y la dispersión cromática en relación con la ventana de trabajo de los sistemas WDM y DWDM que actualmente está establecida en el rango de longitudes de onda comprendido entre 1530 nm. y 1565 nm., aproximadamente.

²³ **ABELLÁN, Daniel**; "Sistemas de Comunicaciones Ópticas"; Universidad Politécnica de Valencia; 2007

De los parámetros mencionados, la atenuación se compensa con la amplificación óptica, siendo la dispersión cromática el factor más importante a considerar. El análisis se centra en los distintos tipos de fibra óptica según el parámetro de dispersión cromática. Los distintos tipos que a continuación se presentan fueron definidos por la UIT-T en las recomendaciones de la serie G.

- **Fibra monomodo convencional según G.652.** presenta una dispersión nula alrededor de 1310 nm. (2ª ventana), y de unos 18 ps/nm*Km en la ventana WDM. Esta es la fibra que predomina actualmente.
- **Fibra monomodo con dispersión desplazada según G.653.** Presenta una dispersión nula en 1550 nm., es decir, dentro de la ventana WDM.
- **Fibras con dispersión desplazada y dispersión distinta de cero según G.655.** Existen a su vez dos categorías:
 - *“Truewave”*: presenta una dispersión nula a 1500 nm., y valores comprendidos entre 1 y 5 ps/nm*Km en la ventana WDM.
 - *“LD – SMF”*: presenta una dispersión nula a 1570 nm., y en la ventana WDM una dispersión negativa.

1.7.5.1 Características de transporte de los distintos tipos de fibra óptica²⁴

- a. **Fibra óptica tipo G.652:** permite la operación de sistemas directos TDM (de hasta 2,5 Gbps.) sin requerir, en general, la introducción de un mecanismo de compensación de dispersión cromática. Debido al elevado valor de la dispersión cromática, los sistemas con velocidades por canal de más de 2,5 Gbps. requerirán la implementación de un mecanismo compensador de

²⁴ Recomendaciones G.652, G. 653 y G.655 de la UIT-T

dispersión que pudiera hacer que la solución no fuera la más eficiente. Por otra parte también habría que tener en cuenta la dispersión de los modos de polarización (PMD).

- b. Fibra óptica tipo G.653:** excelente para la implementación de soluciones TDM directas de 10 Gbps. y por encima de 10 Gbps.

A pesar de que la dispersión cromática acumulada deja de ser un factor limitador, los efectos de la dispersión de los modos de polarización (PMD) resultan limitantes en los enlaces de alta velocidad (> 10 Gbps.) empleando esta fibra óptica. No es la fibra idónea para la implementación de sistemas WDM debido al efecto no – lineal FWM (*Four Wave Mixing* – La mezcla de cuatro ondas consiste en la generación de una cuarta longitud de onda, a partir de la propagación de las otras tres longitudes de onda. Cuando la onda de luz espúrea generada tiene la misma longitud de onda que la de uno de los canales modulados, la calidad de la señal transmitida por ese canal puede degradarse).

A pesar de lo anterior, es posible operar con sistemas basados en WDM debido al tipo de fibra, empleando muchos menos canales ópticos (5 de 16 canales, por ejemplo) y eligiendo cuidadosamente las portadoras ópticas correspondientes con el fin de minimizar el efecto de la intermodulación entre portadoras ópticas.

- c. Fibra óptica tipo G.655:** especialmente concebida para aplicaciones basadas en arquitecturas WDM implementadas con canales ópticos individuales de 2,5 Gbps. ó 10 Gbps. Normalmente no se requiere fibra de compensación de dispersión para enlaces operados a 10 Gbps. Sin embargo, cada uno de los canales TDM de 10 Gbps. puede requerir el uso de fibra óptica de compensación de dispersión, si se trata de enlaces substancialmente largos.

Los enlaces largos a 10 Gbps. en este tipo de fibra óptica también son afectados por los efectos limitantes de la dispersión producto de los modos de dispersión por polarización (PMD) en la fibra, “es decir la polarización es la propiedad de la luz relacionada con la dirección de sus vibraciones, el viaje de la luz en una fibra típica vibra en dos modos de polarización perpendiculares. El modo en el eje X es arbitrariamente etiquetado con un modo lento, mientras que en el eje Y es etiquetado en el modo rápido. La diferencia en los tiempos de arribo en los modos de dispersión por polarización (PMD), es típicamente medida en picosegundos. Si no es controlado, la PMD puede producir tasas de errores excesivos en la transmisión de los sistemas digitales y pueden distorsionar las señales”²⁵.

En conclusión podemos decir que la fibra óptica tipo G.655 es la más apropiada para sistemas WDM y DWDM debido a sus características más importantes.

1.8 ARQUITECTURA DE LA TECNOLOGÍA DWDM²⁶

Actualmente, las arquitecturas de red que se encuentran en su mayoría en redes locales y metropolitanas (por ejemplo: *Ethernet* y *Token Ring*) usan topologías broadcast tales como anillos o buses. Todos los nodos en la red comparten un simple canal para transmitir y recibir datos. En cambio, las redes WAN usan generalmente topología en malla, teniendo switches en distintos nodos para enviar datos desde un nodo hacia otro nodo. Estas redes usualmente son utilizadas en manera escasa, debido al elevado costo de los enlaces y de los switches.

²⁵ <http://orbita.starmedia.com/fortiz/Tema09.htm> (Modos de dispersión por polarización – PMD)

²⁶ **GANDLURU, Muralikrishna**; “Paper Optical Networking and Dense Wavelength Division Multiplexing (DWDM)”; November 1999; http://www.cis.ohio-state.edu/~jain/cis788-99/op_dwdm/index.html

Las arquitecturas de las redes DWDM pueden ser clasificadas en dos grandes categorías: arquitecturas de difusión y selección (broadcast and select) y arquitecturas por ruteo de longitud de onda (wavelength routing).

✓ **Arquitectura de difusión y selección:**

En la figura 1.13 se indica como diferentes nodos transmiten a diferentes longitudes de onda, sus señales hacen *broadcast* por un elemento pasivo en el medio de la red para todos los nodos. En este caso el elemento es un acoplador óptico de estrella pasivo. El acoplador combina las señales de todos los nodos y entrega una fracción de la potencia de cada señal a cada puerto de salida. Cada nodo emplea un filtro óptico sintonizable para seleccionar la longitud de onda deseada en recepción. La forma de esta red es simple y conveniente para el uso de redes locales y metropolitanas, tal como el acceso a las mismas. El número de nodos en estas redes es limitado debido al hecho de que las longitudes de onda no pueden ser reusadas en la red, y que la potencia de transmisión de un nodo debe ser repartida entre todos los receptores en la red.

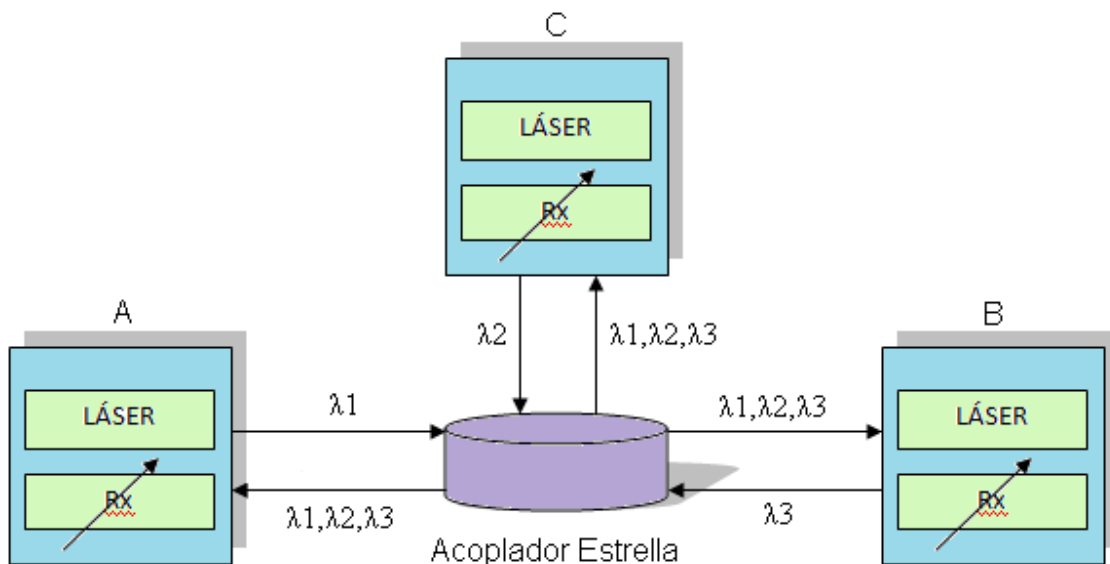


Figura 1.13 Arquitectura de difusión y selección

✓ **Arquitectura por ruteo de longitud de onda:**

Esta arquitectura es más sofisticada y práctica que se la utiliza hoy en día. Como se indica en la figura 1.14, los nodos en la red son capaces de enrutar diferentes longitudes de onda de un puerto de entrada a puertos de salida diferentes, esto permite habilitar simultáneos *lightpaths* (camino de luz con una misma longitud de onda λ en la red). Por ejemplo, en la figura 1.14 se muestra 3 *lightpaths*, el *lightpath* entre A y E y el *lightpath* entre C y D no comparten enlace alguno en la red, por lo tanto el *lightpath* puede ser establecido utilizando la misma longitud de onda λ_1 . Al mismo tiempo el *lightpath* entre B y D comparte un enlace con el *lightpath* entre A y E y debería por lo tanto utilizar una diferente longitud de onda. Nótese que todos los *lightpaths* utilizan la misma longitud de onda sobre cada enlace en todo su camino.

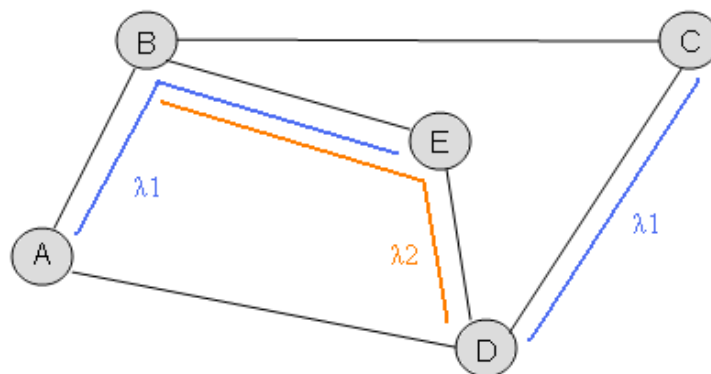


Figura 1.14 Arquitectura por ruteo de longitud de onda

Esta es una limitación que se tendrá, si no existe la capacidad de conversión de longitud de onda dentro de la red. Supuestamente se tenía solo dos longitudes de onda disponibles en la red y se quería establecer un nuevo *lightpath* entre los nodos C y E vía nodo D.

Sin la conversión de longitud de onda no habría la posibilidad de establecer este *lightpath*. Por otro lado si el nodo D puede realizar la

conversión de longitud de onda, entonces se puede establecer este lightpath usando la longitud de onda λ_2 sobre el enlace CD y la longitud de onda λ_1 sobre el enlace DE.

1.8.1 TOPOLOGÍAS DE RED²⁷

Se indican dos aspectos importantes de la topología de red:

- En la figura 1.15 se indica la topología física, la cual tiene nodos WDM cross – connect interconectados por enlaces de fibra óptica punto a punto en pares, en una topología arbitraria.

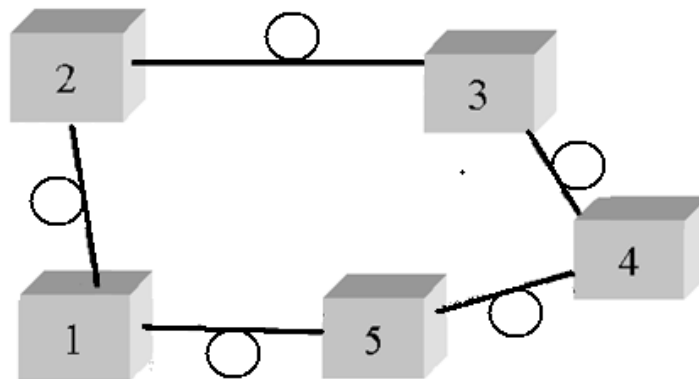


Figura 1.15 Topología física

- En la figura 1.16 se indica la topología virtual de una red, es el conjunto de todos los lightpaths, esta es una topología lógica y la dirección de las flechas muestra realmente la dirección de los lightpaths.

²⁷ **GANDLURU, Muralikrishna**; "Paper Optical Networking and Dense Wavelength Division Multiplexing (DWDM)"; November 1999; http://www.cis.ohio-state.edu/~jain/cis788-99/op_dwdm/index.html

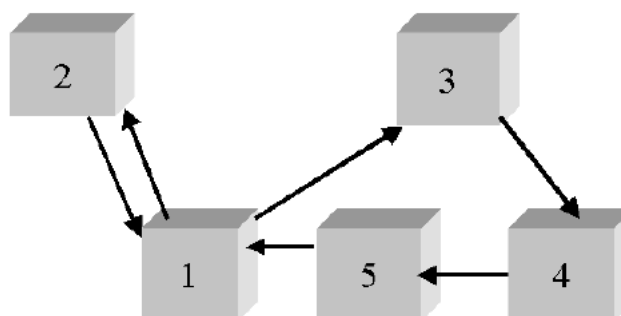


Figura 1.16 Topología virtual o lógica

1.8.2 EVOLUCIÓN DE LA CAPA ÓPTICA

El gran crecimiento previsto de tráfico asociado con las nuevas aplicaciones tales como los servicios *on – line*, la telefonía móvil y los futuros servicios de multimedia, ya se está haciendo realidad. Para satisfacer esta demanda, la capacidad de los sistemas de transmisión punto a punto crece cada vez más.

“Los nodos de la red están basados en multiplexores de inserción / extracción (ADM) y transconectores digitales (DXC). Consecuentemente, las señales ópticas que se propagan a través de la fibra óptica tienen que ser convertidas en eléctricas a la entrada de los nodos, procesadas eléctricamente y encaminadas de acuerdo con la topología de la red, de la matriz de tráfico y de la necesidad de los operadores.

La necesidad de una nueva tecnología y de una nueva capa en la parte superior de las dos capas existentes, como se indica en la figura 1.17, ha emergido como un requisito de las redes en continua expansión, del aumento de la demanda de ancho de banda, del cada vez más pesado tráfico SONET / SDH, que resulta cada vez más difícil de gestionar, y de las restricciones que se presenta en la flexibilidad de la oferta de servicios”²⁸.

²⁸ CLESCA B.; “Revista de Telecomunicaciones ALCATEL del 3er trimestre del 1998”; Págs. 176 – 177.
Figura 1.17 Evolución de la capa óptica

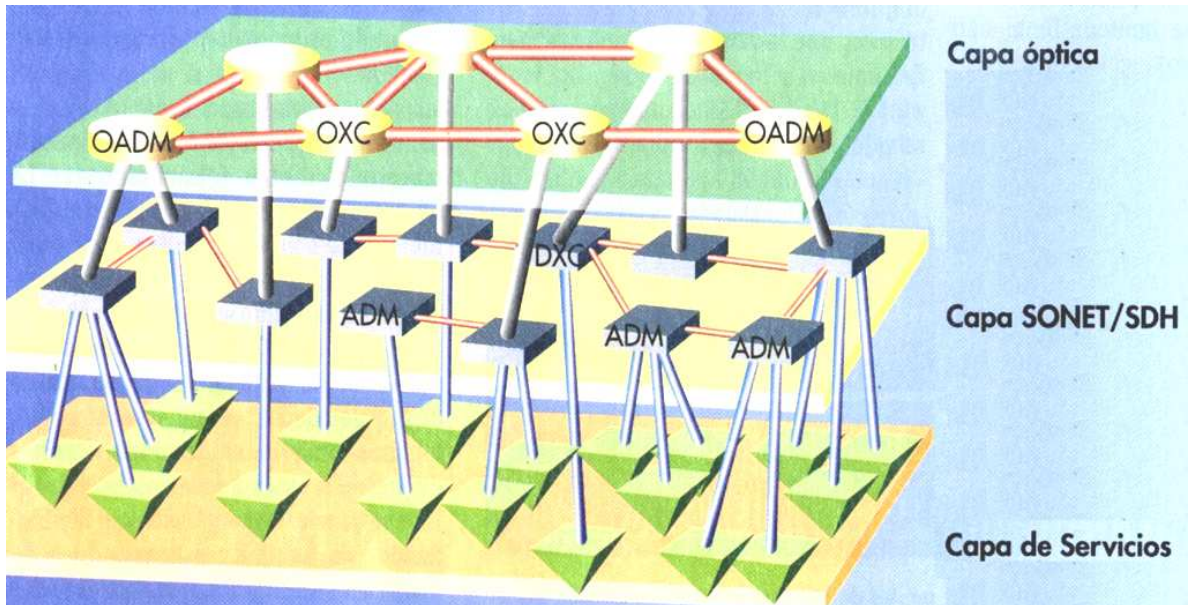


Figura 1.17 Evolución de la capa óptica

Actualmente existen dos capas básicas:

- **La capa de servicios:** que envía servicios a los usuarios
- **La capa SONET/SDH:** soporta un gran número de funciones importantes, incluyendo multiplexación por división de tiempo (TDM) de las señales de los tributarios, transporte de las tramas normalizadas vía interfaces ópticas, conexión flexible a nivel de espacio y tiempo, protección en los equipos y gestión de red.

En fin, tanto la capa óptica como la capa SONET/SDH llevan a cabo funciones similares; sin embargo, la capa óptica manejará portadores ópticos (a 2 Gbps. ó 10 Gbps.) en vez de contenedores virtuales SDH que maneja la capa SONET/SDH (con una capacidad de 155 Mbps o menor). Con esta diferencia decrecerá el tamaño, la complejidad y el costo de los nodos ópticos.

1.9 VENTAJAS DE LA TECNOLOGÍA DWDM

En cualquier tendido de cable puede resultar más cara la infraestructura necesaria para ello, que el propio costo del cable. Se entiende, pues, que haya que realizar una planificación muy cuidadosa de cualquier red, pero aún así, las previsiones más optimistas se pueden ver ampliamente superadas por la demanda de Internet, por ejemplo, está dándose lugar a una gran demanda de ancho de banda y se hace necesaria la ampliación de la capacidad de transmisión de la red. Llegando a esta situación, cabe plantearse o bien incorporar nuevas líneas de transmisión o aumentar la capacidad de las ya existentes, siendo, normalmente, esta segunda opción la más adecuada, debido a que suele representar menor costo y su puesta en servicio más rápida.

“En el caso de la fibra óptica, con la tecnología WDM se puede multiplicar la capacidad por 4, 8, 16, 32 o incluso por mucho más, alcanzando (con 128 canales STM-64-DWDM) más de 1 Tbps. sobre una única fibra óptica, una capacidad suficiente para transmitir simultáneamente 20 millones de conversaciones telefónicas, de datos o fax”²⁹.

Cuando el número de longitudes de onda (canales) que se multiplexan es superior a 8, la tecnología se denomina DWDM, donde este combina múltiples señales ópticas de tal manera que pueden ser amplificadas como un grupo y transportadas sobre una única fibra óptica para incrementar su capacidad; cada una de las señales puede ser a una velocidad distinta (STM-1/OC-3 a STM-16/OC-48, o incluso STM-64/OC-192) y con un formato diferente (ATM, Frame Relay, etc.).

El número de amplificadores en un tramo se reduce en la misma proporción en la que se multiplexan los canales, lo que aumenta la fiabilidad del sistema, aunque, eso sí, los necesarios son más complejos y costosos. Debido a la alta potencia de los

²⁹ **MERA LARREA, David Antonio**; “Estudio y diseño de las redes ópticas WDM (Wavelength Division Multiplexing) y su aplicación en redes de acceso”; Tesis EPN; Quito; 2002.

amplificadores DWDM y el bajo nivel de ruido se consiguen distancias de hasta 600 Km. sin repetidores para 2,5 Gbps. y 32 canales independientes.

“Se ha establecido un nuevo récord mundial al transmitir datos a una velocidad de 7,04 Tbps. en una sola fibra óptica en el laboratorio de redes ópticas avanzadas de *Siemens* en Munich, Alemania. Este record fue anunciado por *Optisphere Networks Inc.*, una filial de *Siemens Information and Communication Networks Inc.* dedicada al desarrollo y comercialización de sistemas innovadores para el mercado mundial de redes ópticas. Este hito en la tecnología de comunicaciones ópticas se ha logrado usando la tecnología altamente sofisticada de DWDM (Multiplexión de división de longitud de onda densa). Una velocidad de transmisión de 7 Tbps., es equivalente a la transmisión simultánea de más de 100 millones de llamadas telefónicas o mil millones de páginas de texto por segundo. La demostración supuso la transmisión simultánea de 176 longitudes de onda a una velocidad de 40 Gbps. sin errores por un cable de fibra óptica de 50 km. de largo. Los canales de 40 Gbps. se produjeron por multiplexación electrónica de división de tiempo usando un prototipo del sistema multiplexor-regenerador compacto de la compañía TransXpress FOX. Se logró un espacio de 50 GHz. entre los canales de 40 Gbps. usando un sistema especial de transmisión bidireccional, así asegurando una eficacia espectral de 0,8 bps. por ancho de banda en Hz, lo que representa otro récord mundial en la transmisión a 40 Gbps.”³⁰.

Los sistemas DWDM presentan algunos inconvenientes ya que no todos los tipos de fibra óptica lo admiten, las tolerancias y ajustes de los láser y filtros son muy críticos y los componentes que utiliza son sumamente caros, aunque, a pesar de ello la solución es más barata que otras, y por otra parte presentan el problema de la normalización que aún no existe, por lo que no se puede asegurar la compatibilidad entre equipos de distintos fabricantes, algo en lo que ya está trabajando la UIT-T para lograr una especificación a corto plazo.

³⁰ Nuevo récord mundial en la transmisión óptica de datos: 7 Tbps.
<http://www.channelplanet.com/index.php?idcategoria=8679>

En 1998 el uso más extendido de WDM ha sido en sistemas punto a punto para larga distancia con una configuración 4–32 x 2,5 Gbps. canales pero, durante los próximos años, SONET/SDH será una interfaz que se incorporará en los equipos de datos y de DWDM, con lo que será posible su interconexión, y se utilizará para extender las redes LAN y redes LAN de Alta Velocidad (por ejemplo: Ethernet, Token Ring, FDDI, Ethernet Conmutada, Fast Ethernet, Gigabit Ethernet, etc.).

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

1.10 GESTIÓN EN LA TECNOLOGÍA DWDM³¹

La razón de incorporar un sistema de gestión radica en la necesidad de monitorear el estado de la red en todo momento, así como de integrarlo en un sistema de gestión de elementos de red. Además presenta aplicaciones adicionales como, configuraciones de hardware, habilitaciones de estos, etc. Esta gestión de red se realiza mediante un canal de supervisión, multiplexado junto con las portadoras de información. El propósito de este canal de supervisión, es poder conocer el estado del sistema en todo momento.

³¹ CAIZALUISA PALMA, Jorge Luis; "Estudio para la integración de la técnica de multiplexación DWDM dentro de un enlace Quito y Guayaquil que utilice SDH como técnica de transmisión para una mediana empresa portadora"; Tesis EPN; Quito; 2009.

1.10.1 CANAL DE CONTROL Ó SUPERVISIÓN

La tecnología DWDM debe disponer de un canal óptico adicional dedicado al control ó supervisión. Este canal se transmite sobre la misma fibra óptica, multiplexado con las portadoras de los canales de tráfico.

Este canal puede ser implementado fuera o dentro de la banda de ganancia del amplificador óptico y en ningún caso provocará interferencia con los canales que transportan tráfico, ni con el sistema de control de planta externa de los operadores de Telecomunicaciones, es por eso que permitirá realizar las tareas de mantenimiento desde cualquier estación o de cualquier nodo, incluyendo información de configuración de equipos, alarmas remotas, información para la localización de averías, etc.

Sin embargo, en el Amplificador Óptico de Línea (OLA) o en el Multiplexor Óptico de Inserción / Extracción (OADM) se extraerá y se volverá a insertar el canal de control ó supervisión. En cada estación o nodo se añadirá información sobre su estado y se extraerán las posibles órdenes enviadas a él procedentes del gestor de red. El sistema debe asegurar la continuidad del canal de supervisión en caso de que se produzca alguna avería tanto en el OLA como en el OADM.

1.10.2 ELEMENTOS DE UNA RED GESTIONABLE

En este punto se va a mencionar los *Elementos de Red Óptica* (ERO) gestionables que se estructuran en la tecnología DWDM, y estos son los siguientes:

- Terminal Multiplexor Óptico (OTM)
- Amplificador Óptico de Línea (OLA)
- Multiplexor Óptico de Inserción / Extracción (OADM)

Estos elementos realizan diferentes funciones en la tecnología DWDM que fueron descritas en la sección 1.7, pero además deben contener el agente o procesador que tiene encomendadas las funciones de gestión sobre los objetos gestionables contenidos en los elementos de red óptico.

Este agente o procesador del ERO debe mantener un diálogo con el *Control Local* y el *Gestor de Subred Óptico* (GSRO). Para la gestión se considera un único *Sistema de Explotación de Red Óptica* (SERO). En este dominio pueden existir distintas subredes de diferentes fabricantes.

Sin embargo, una subred óptica se entiende como un conjunto de elementos de red óptico de un único suministrador, gestionada por un único gestor (GSRO), es decir, cada subred presenta equipos de un único fabricante, gestionados por un único GSRO.

En la figura 1.18 se muestra un esquema sobre la gestión de la red:

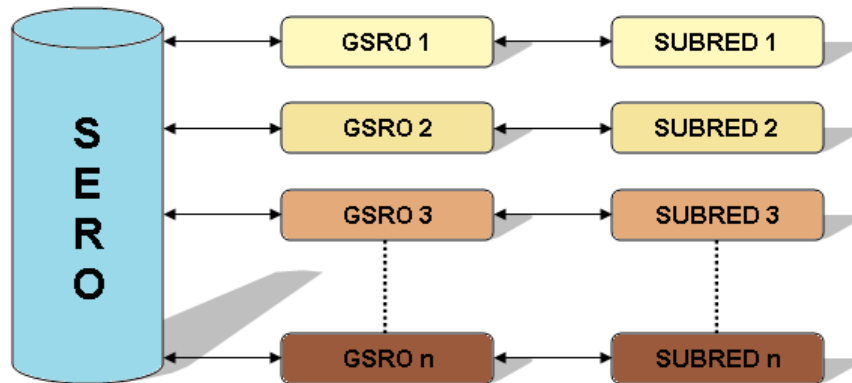


Figura 1.18 Diagrama de bloques sobre la gestión de una red óptica

Este esquema generalmente muestra las asociaciones de gestión entre el sistema de gestión y los elementos de red óptica que se establecerán mediante el modelo de Gestor / Agente definido en la recomendación X.701 de la UIT-T.

1.10.3 FUNCIONES DE UN GESTOR LOCAL

Un Gestor Local, también llamado *Craft Terminal*, se utiliza para desarrollar el mantenimiento de las rutas en modo local, en las operaciones de instalación y en general para conocer el estado de cada ruta en todo instante, sin necesidad de acudir a gestores de nivel superior. A continuación describiremos las funcionalidades que debe proporcionar el Gestor Local:

- a) **Facilidades de configuración.-** por ejemplo: tributarios, tipos de tributarios, tarjetas de tributarios, tributarios de inserción / extracción en los OADMs, protección óptica, etc.

- b) **Recepción de alarmas.-** se podrán recibir alarmas frente a:
 - ✓ Pérdida de la señal óptica en cada interfaz externa de tributarios, en cada interfaz de agregado y a la entrada de los transpondedores de recepción.

 - ✓ Temperatura excesiva de cada uno de los láseres del sistema.

 - ✓ Fallo de cada una de las tarjetas, se podrá configurar el nivel de potencia óptica recibida en cada interfaz (de tributario o de agregado) que provoca la alarma de pérdida de señal, ya sea en el OTM, OLA ó OADM.

- c) **Gestión de prestaciones.-** los sistemas deberán poder realizar las medidas siguientes de modo autónomo, es decir, sin requerir instrumentación adicional:
 - ✓ Corriente de polarización de los láseres en los amplificadores ópticos, terminales y OADM.

 - ✓ Temperatura de los láseres en los amplificadores ópticos, terminales y OADM.

- ✓ Potencia óptica recibida en las entradas de cada uno de los tributarios del equipo terminal y del OADM, en general, la potencia óptica total recibida en los amplificadores ópticos, terminales y OADM.
- ✓ Monitorización no intrusiva del byte B1 (este byte B1 realiza el control de paridad sobre toda la trama, es decir, es un byte de monitoreo de errores) de los tributarios SDH.

Sería importante poder medir la relación señal a ruido óptico (OSNR) de cada una de las portadoras del sistema DWDM en los amplificadores ópticos, terminales y OADM, para que las señales que están listas para su transmisión de un nodo a otro, sean libres de errores y así tener la máxima capacidad del canal en un ambiente ruidoso.

d) Seguridad.- este punto trata sobre privilegios para configurar cada operador en el sistema y las funciones relativas al control de acceso, en el cual se registrarán todos los accesos satisfactorios, los accesos fallidos y el operador que los ha realizado.

Existen tres tipos de privilegios enfocados al operador:

- ✓ *Administrador*, es el usuario que puede instalar equipos y tener acceso a toda la funcionalidad del sistema.
- ✓ *Supervisor*, es el usuario que tiene acceso a toda la funcionalidad del sistema, pero con ciertas funcionalidades de administración restringidas.
- ✓ *Operador*, es el usuario que tiene acceso a ciertas funcionalidades del sistema, y no tiene acceso a las funcionalidades de supervisión de equipos.

- e) **Recuperación tras intrusión.-** el administrador del Gestor de Subred Óptico (GSRO) podrá acceder a ficheros de respaldo para restaurar un servicio tras una violación de la seguridad o en caso de algún tipo de catástrofe.
- f) **Facilidades de almacenamiento de datos.-** aquí se deberán registrar todos los eventos (por evento se entenderá a toda condición de avería que genere una alarma estable.), junto con los datos de fecha y hora en que se han producido y en que se han desaparecido los datos o actualizaciones.

Sin embargo, en este archivo también deberán quedar almacenados los datos de control de los accesos al sistema, quedando constancia de la identificación del operador así como las actualizaciones que ha llevado a cabo junto con los datos de fecha y hora de comienzo y de fin de cada actualización de los datos de control.

También podemos describir que los resultados de las medidas se almacenan en el archivo *histórico de medidas* o comúnmente conocido como una base de datos.

- g) **Telecarga del software.-** debe ser posible utilizar funcionalidades de transferencia de archivos para la telecarga, actualizaciones y activaciones del software desde un centro de control distante a las tarjetas de control de cada equipo, con conocimiento del estado de inicio, porcentaje de telecarga y finalización.
- h) **Circuito de órdenes.-** el canal de control o supervisión óptica dispondrá de un circuito de órdenes, permitiendo al menos la realización de llamada general y el acceso con un microteléfono. Los equipos dispondrán de los mecanismos adecuados para que en el caso de que en alguno de ellos quede descolgado el teléfono de la línea de órdenes, sea posible comunicarse al menos con el resto de la ruta.

CAPÍTULO II

2. DESCRIPCIÓN DE LA SITUACIÓN ACTUAL DE LA RED SDH DE LA REGIÓN 2 DE LA CNT S.A.

En este capítulo se describe cómo está estructurada actualmente las comunicaciones a través de la técnica de transmisión SDH en la Región 2, tanto en anillos de fibra óptica y también en enlaces de radio transmisión, pudiendo conocer la situación actual de las redes y así satisfacer las necesidades que demanda el usuario para obtener los beneficios requeridos en el diseño de la red DWDM, tomando como base la red de transporte SDH. A continuación se presenta una síntesis de cómo interactúa y como está estructurada la Jerarquía Digital Sincrónica (SDH) y así conocer su relación en las comunicaciones:

2.1 JERARQUÍA DIGITAL SINCRÓNICA (SDH)

2.1.1 ANTECEDENTES¹

En el año 1985 la empresa Bell Core, le hace una propuesta a ANSI de estandarizar las velocidades mayores a 140 Mbps., que hasta el momento eran propietarias de cada empresa.

En 1986, la empresa Bell Core, y la empresa AT&T, proponen al CCITT, posibles velocidades de transmisión para que las mismas sean estandarizadas, cada una de estas empresas propone diferentes velocidades de transmisión posibles.

¹ <http://www.iec.org/online/tutorials/sdh/>

En el año 1988 se produce la primera regulación de la Jerarquía Digital Sincrónica (JDS), o más conocida por sus siglas en la lengua inglesa "Synchronous Digital Hierarchy" (SDH). La CCITT saca entonces, en su "Serie azul", las Recomendaciones G.707, G.708 y G.709 que constituyen la primera regulación de esta forma de transmisión.

Desde 1988 al día de hoy, habido 6 modificaciones de las recomendaciones, estando vigente hoy en día solamente la Recomendación G.707, que es la que se utiliza actualmente.

2.1.2 DEFINICIÓN DE SDH²

SDH es un estándar tecnológico que se utiliza para sincronizar la transmisión de datos generalmente por medios ópticos. Su equivalente americano es SONET (Synchronous Optical Network). Ambas tecnologías mencionadas son muy rápidas y económicas a la hora de interconectar redes.

Tanto SDH como SONET son estándares para redes de telecomunicaciones de "alta velocidad, y alta capacidad", se refiere a un grupo de tasas de transmisión sobre fibra óptica que pueden transportar señales digitales con diferentes capacidades.

SDH es un sistema de transporte digital realizado para proveer una infraestructura de redes de telecomunicaciones más simple, económica y flexible.

Las viejas redes fueron desarrolladas en el tiempo en que las transmisiones punto a punto eran la principal aplicación de la red. Hoy en día los operadores de redes requieren una flexibilidad mucho mayor.

² <http://www.eveliux.com/mx/redes-de-alta-velocidad-sdh-sonet.php>

2.1.3 ESTÁNDARES DE SDH

Los estándares son una parte muy importante es las telecomunicaciones. Como se menciona anteriormente, ANSI coordina y aprueba los estándares de SONET mientras que los estándares de SDH son desarrollados por la UIT-T.

Estándares ANSI de SONET, los estándares de SONET son actualmente desarrollados por el comité T1 el cual es patrocinado por la ANSI y por la ATIS (Alliance for Telecommunications Industry Solutions). A continuación en la tabla 2.1 se indica algunos de los estándares más importantes de SONET:

Estándares ANSI de SONET	
Estándar	Descripción
ANSI T1.105:SONET	Descripción básica incluyendo estructura de multicanalización, tasas y formatos
ANSI T1.105.01:SONET	Protección automática de Conmutación
ANSI T1.105.02:SONET	Mapeos de la carga útil
ANSI T1.105.03:SONET	En las interfaces de red
ANSI T1.105.04:SONET	Protocolos y arquitecturas del canal de comunicaciones de datos
ANSI T1.105.05:SONET	Mantenimiento de conexión en cascada
ANSI T1.105.06:SONET	Especificaciones de la capa física
ANSI T1.105.07:SONET	Especificación de formatos e tasas de interfaz sub-STS
ANSI T1.105.09:SONET	Elementos de sincronización de la red
ANSI T1.119:SONET	Comunicaciones - OAM&P

Tabla 2.1 Estándares ANSI de SONET³

³ Tabla 2.1 Estándares ANSI de SONET – <http://www.eveliux.com/mx/redes-de-alta-velocidad-sdh-sonet.php>

Estándares SDH de la ITU-T, el sector de telecomunicaciones de la UIT (UIT-T) es el encargado de coordinar y desarrollar los estándares de SDH para el mundo. A continuación en la tabla 2.2 se listan los estándares más importantes de SDH:

Estándares SDH de la ITU-T	
Estándar	Descripción
ITU-T G.707	Interface del nodo de red para SDH
ITU-T G.781	Estructura de recomendaciones para SDH
ITU-T G.782	Características y tipos de equipos para SDH
ITU-T G.783	Características de bloques funcionales de SDH
ITU-T G.803	Arquitectura de redes de transporte basadas en SDH

Tabla 2.2 Estándares SDH de la UIT-T⁴

Otros estándares importantes son el UIT-T I.432 donde se especifica la capa física Interface de red-usuario de B-ISDN (ISDN de banda ancha) o mejor conocido como ATM sobre SONET. El IETF (Internet Engineering Task Force) también ha liberado algunos RFCs (Request for Comments) que describen el protocolo punto a punto para transferir tráfico nativo IP sobre SONET o SDH, tales como:

- ✓ IETF RFC2615: PPP sobre SONET/SDH
- ✓ IETF RFC1661: PPP (Point to Point Protocol)
- ✓ IETF RFC1662: PP en tramas HDLC (High Level Data Link Control)

Otro punto importante basado en los estándares son las tasas de transmisión que presentan estas técnicas de transmisión, ya que, SDH/SONET fueron concebidos para transmisiones en fibra óptica, pero también existen los sistemas de radio SDH a velocidades compatibles tanto para SONET como para SDH.

⁴ Tabla 2.2 Estándares SDH de la UIT-T – <http://www.eveliux.com/mx/redes-de-alta-velocidad-sdh-sonet.php>

Casi todos los nuevos sistemas de transmisión por fibra óptica instalados en redes públicas utilizan SDH o SONET.

A continuación en la tabla 2.3 se indica las tasas de transmisión en SDH/SONET:

SONET		SDH	Tasa de bits	SDH
Nivel Óptico	Nivel Eléctrico	Equivalencia	Mbps	Capacidad
OC - 1	STS - 1	STM - 0	51.84	21 E1
OC - 3	STS - 3	STM - 1	155.52	63 E1 o 1 E4
OC - 12	STS - 12	STM - 4	622.08	252 E1 o 4 E4
OC - 48	STS - 48	STM - 16	2488.32	1008 E1 o 16 E4
OC - 192	STS - 192	STM - 64	9953.28	4032 E1 o 64 E4
OC - 768	STS - 768	STM - 256	39812.12	16128 E1 o 256 E4

Tabla 2.3 Equivalencias de las tasas de transmisión SDH/SONET

Donde:

STM: Synchronous Transport Module (ITU-T)

STS: Synchronous Transport Signal (ANSI)

OC: Optical Carrier (ANSI)

2.1.4 VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE SDH⁵

La jerarquía digital sincrónica (SDH) presenta una serie de ventajas respecto a la jerarquía digital plesiócrona (PDH), en las cuales se presenta a continuación:

⁵ ingenieria.udea.edu.co/~avendano/docs/datos/SDH_y_SONET.doc

a) Altas velocidades de transmisión

Los modernos sistemas SDH logran velocidades de 10 Gbps. SDH es la tecnología más adecuada para los "backbones", que son realmente las superautopistas de las redes de telecomunicaciones actuales.

b) Función simplificada de inserción/extracción

Comparado con los sistemas PDH tradicionales, ahora es mucho más fácil extraer o insertar canales de menor velocidad en las señales compuestas SDH de alta velocidad. Ya no hace falta demultiplexar y volver a multiplexar la estructura plesiócrona, procedimiento que en el mejor de los casos era complejo y costoso. Esto se debe a que en la jerarquía SDH todos los canales están perfectamente identificados por medio de una especie de "etiquetas" que hacen posible conocer exactamente la posición de los canales individuales.

c) Alta disponibilidad y grandes posibilidades de ampliación

La tecnología SDH permite a los proveedores de redes reaccionar rápida y fácilmente frente a las demandas de sus clientes. Por ejemplo, conmutar las líneas alquiladas es sólo cuestión de minutos. Empleando un sistema de gestión de redes de telecomunicaciones, el proveedor de la red puede usar elementos de redes estándar controlados y monitorizados desde un lugar centralizado.

d) Fiabilidad

Las modernas redes SDH incluyen varios mecanismos automáticos de protección y recuperación ante posibles fallos del sistema. Un problema en un enlace o en un elemento de la red no provoca el colapso de toda la red, lo que podría ser un desastre financiero para el proveedor. Estos circuitos de protección también se controlan mediante un sistema de gestión.

e) Plataforma a prueba de futuro

Hoy día, SDH es la plataforma ideal para multitud de servicios, desde la telefonía tradicional, las redes RDSI o la telefonía móvil hasta las comunicaciones de datos (LAN, WAN, etc.) y es igualmente adecuada para los servicios más recientes, como el video bajo demanda (VoD) o la transmisión de video digital vía ATM.

f) Interconexión

Con SDH es mucho más fácil crear pasarelas entre los distintos proveedores de redes y hacia los sistemas SONET. Las interfaces SDH están normalizadas, lo que simplifica las combinaciones de elementos de redes de diferentes fabricantes. La consecuencia inmediata es que los gastos en equipamiento son menores en los sistemas SDH que en los sistemas PDH. El motor que genera toda esta evolución es la creciente demanda de más ancho de banda, mejor calidad de servicio y mayor fiabilidad, junto a la necesidad de reducir costos manteniendo la competitividad.

En cuanto a las desventajas tenemos que:

- a)** Algunas redes PDH actuales presentan ya cierta flexibilidad y no son compatibles con SDH.
- b)** Necesidad de sincronismo entre los nodos de la red SDH, se requiere que todos los servicios trabajen bajo una misma referencia de temporización.
- c)** El principio de compatibilidad ha estado por encima de la optimización de ancho de banda. El número de bytes destinados a la cabecera de sección es demasiado grande, lo que lleva a perder eficiencia.

2.1.5 ESTRUCTURA DE LA TRAMA SDH⁶

La trama STM-1 es el formato de transmisión básico para SDH. La trama tiene un ancho de pulso de 125 microsegundos, por lo tanto, existen 8000 tramas por segundo, es por eso que la tasa de transmisión básica de **SDH** estándar es 155,52 Mbps (STM-1).

La trama STM-1 consiste en 2430 bytes, los cuales corresponden con una duración de 125 microsegundos antes mencionado, también están definidas tres tasas de bits de mayor velocidad como son 622,08 Mbps (STM-4), 2488,32 Mbps (STM-16) y 9953,28 Mbps (STM-64).

STM-1 = 8000 x (270 octetos x 9 filas x 8 bits) = 155 Mbps.

STM-4 = 4 x 8000 x (270 octetos x 9 filas x 8 bits) = 622 Mbps.

STM-16 = 16 x 8000 x (270 octetos x 9 filas x 8 bits) = 2.5 Gbps.

STM-64 = 64 x 8000 x (270 octetos x 9 filas x 8 bits) = 10 Gbps.

STM-256 = 256 x 8000 x (270 octetos x 9 filas x 8 bits) = 40 Gbps.

La trama STM-1 está estructurada como 270 columnas (bytes) por 9 filas en las que las 9 primeras columnas de la estructura corresponden al área de la cabecera de sección o *section overhead* (incluye también el puntero de unidad administrativa), y las restantes 261 columnas son el área de payload.

SDH elimina la necesidad de un número de niveles menores de multiplexación definido en PDH. Los tributarios de 2 Mbps son multiplexados a nivel de STM-1 en un solo paso. De todos modos, para mantener la compatibilidad con equipos no síncronos, las recomendaciones SDH definen métodos de subdivisión del área de payload de la trama STM-1 de varias formas, de modo que puedan portar diversas combinaciones de señales tributarias, tanto síncronas como asíncronas. Usando este

⁶ <http://es.wikipedia.org/wiki/Archivo:Stm1.PNG>

método, los sistemas de transmisión síncrona pueden acomodar señales generadas por equipamiento de varios niveles de PDH.

En síntesis, una trama STM-1 se divide en tres áreas principales:

- Área de payload (2349 bytes), de las 261 columnas.
- Área del puntero de unidad administrativa (9 bytes), de las 9 columnas.
- Área de la cabecera de sección (72 bytes), de las 9 columnas.

A continuación en la figura 2.1 se indica la estructura general de la trama STM-1 de SDH, para un mejor entendimiento:

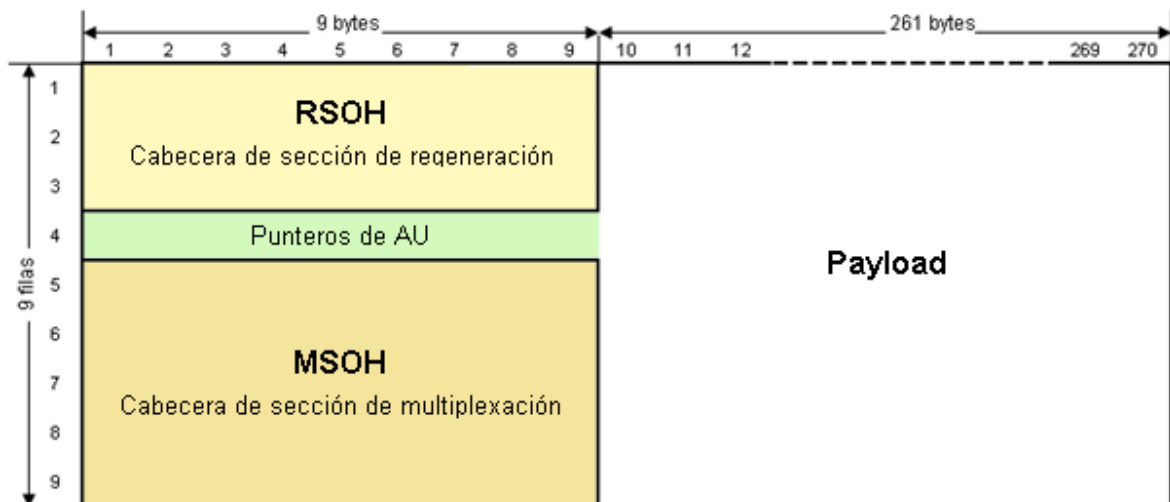


Figura 2.1 Estructura de la trama STM – 1

2.1.5.1 Cabecera de sección de regeneración (RSOH)

Esta sección está destinada a transferir información entre los elementos regeneradores. Es decir estos regeneradores tendrán acceso a la información que viene en los bytes del RSOH.

Las funciones básicas de esta sección son las siguientes:

- Chequeo de paridad.
- Alineación de la trama.
- Identificación de la trama STM – 1.
- Canales destinados a los usuarios (sin fines específicos).
- Canales de comunicación de datos.
- Canales de comunicación vocales.

2.1.5.2 Cabecera de sección de multiplexación (MSOH)

Esta sección provee las funciones necesarias para monitorear y transmitir datos de la red de gestión entre elementos de la red.

Las funciones básicas de esta sección son las siguientes:

- Chequeo de paridad.
- Punteros del payload.
- Conmutación automática a la protección.
- Canales de comunicación de datos.
- Canales de comunicación vocales.

2.1.6 COMPONENTES DE SDH⁷

La figura 2.2 es un diagrama esquemático de una estructura SDH en anillo con varias señales tributarias que proporcionan cada ADM. La mezcla de varias aplicaciones diferentes es típica de los datos transportados por la red SDH. Las

⁷ ingenieria.udea.edu.co/~avendano/docs/datos/SDH_y_SONET.doc

redes síncronas deben ser capaces de transmitir las señales plesiócronicas y, al mismo tiempo, ser capaces de soportar servicios futuros como por ejemplo ATM. Todo ello requiere el empleo de distintos tipos de componentes de red. La topología (de malla o de anillo) depende del proveedor de la red.

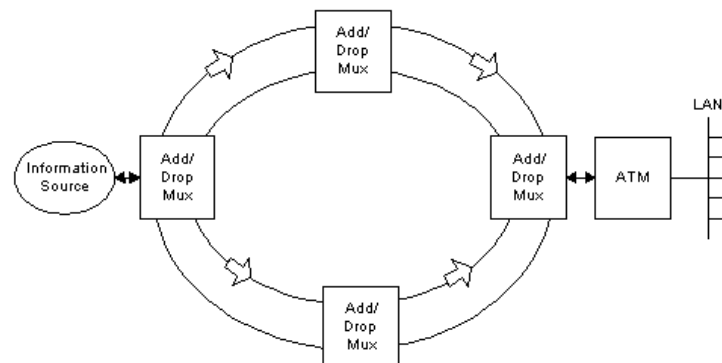


Figura 2.2 Red SDH usando doble anillo⁸

Las redes SDH actuales están formadas básicamente por cuatro importantes tipos de componentes:

- a. **Regeneradores:** en la figura 2.3 se indica un diagrama de un regenerador de una red SDH; en sí, los regeneradores se encargan de regenerar el reloj y la amplitud de las señales de datos entrantes que han sido atenuadas y distorsionadas por la dispersión y otros factores. Obtienen sus señales de reloj del propio flujo de datos entrante. Los mensajes se reciben extrayendo varios canales de 64 Kbps. (por ejemplo, los canales de servicio E1) de la cabecera RSOH. También es posible enviar mensajes utilizando esos canales.

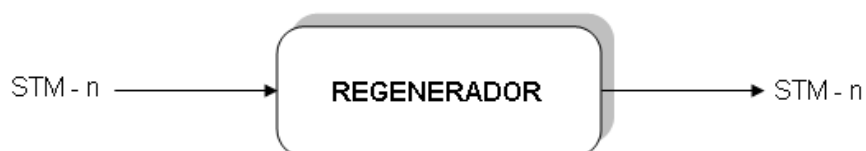


Figura 2.3 Regenerador de una red SDH

⁸ Figura 2.2 Red SDH usando doble anillo – <http://www.monografias.com/trabajos10/sonet/sonet.shtml>

- b. Multiplexores Terminales:** en la figura 2.4 se indica un diagrama de un multiplexor terminal, el cual se emplea para combinar las señales de entrada plesiócronas y síncronas en señales STM-n de mayor velocidad.



Figura 2.4 Multiplexor Terminal de una red SDH

- c. Multiplexores add/drop (ADM):** en la figura 2.5 se indica un diagrama de un ADM, el cual permite insertar (o extraer) señales plesiócronas y síncronas de menor velocidad binaria en el flujo de datos SDH de alta velocidad. Gracias a esta característica es posible configurar estructuras en anillo, que ofrecen la posibilidad de conmutar automáticamente a un trayecto de reserva en caso de fallo de alguno de los elementos del trayecto.

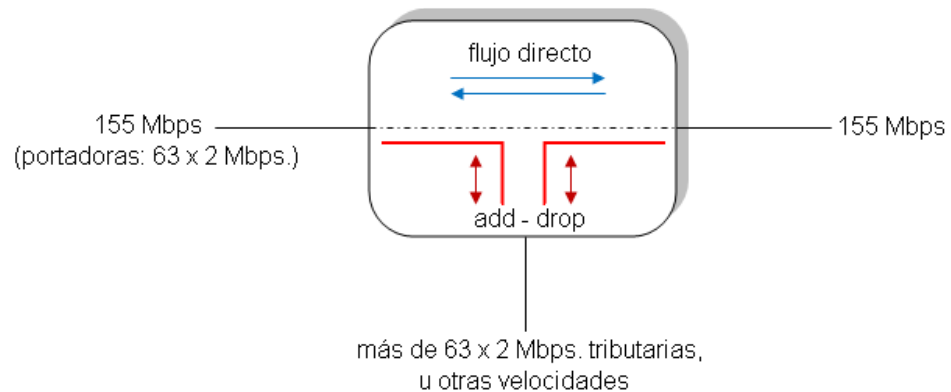


Figura 2.5 ADM de una red SDH

- d. Transconectores digitales (DXC):** este elemento de la red es el que más funciones tiene. Permite mapear las señales tributarias PDH en contenedores virtuales, así como conmutar múltiples contenedores, hasta VC-4 inclusive.

Sin embargo, existen DXCs que conmutan VCs de orden superior (en particular los VC-4) y los que conmutan VCs de cualquier orden, los DXCs que conmutan VC-4 identificados como DXC 4/4 pueden equiparse tanto con interfaces STM-n como interfaces plesiócronicas de 140 Mbps. para acceso directo de estos flujos como se indica en la figura 2.6:

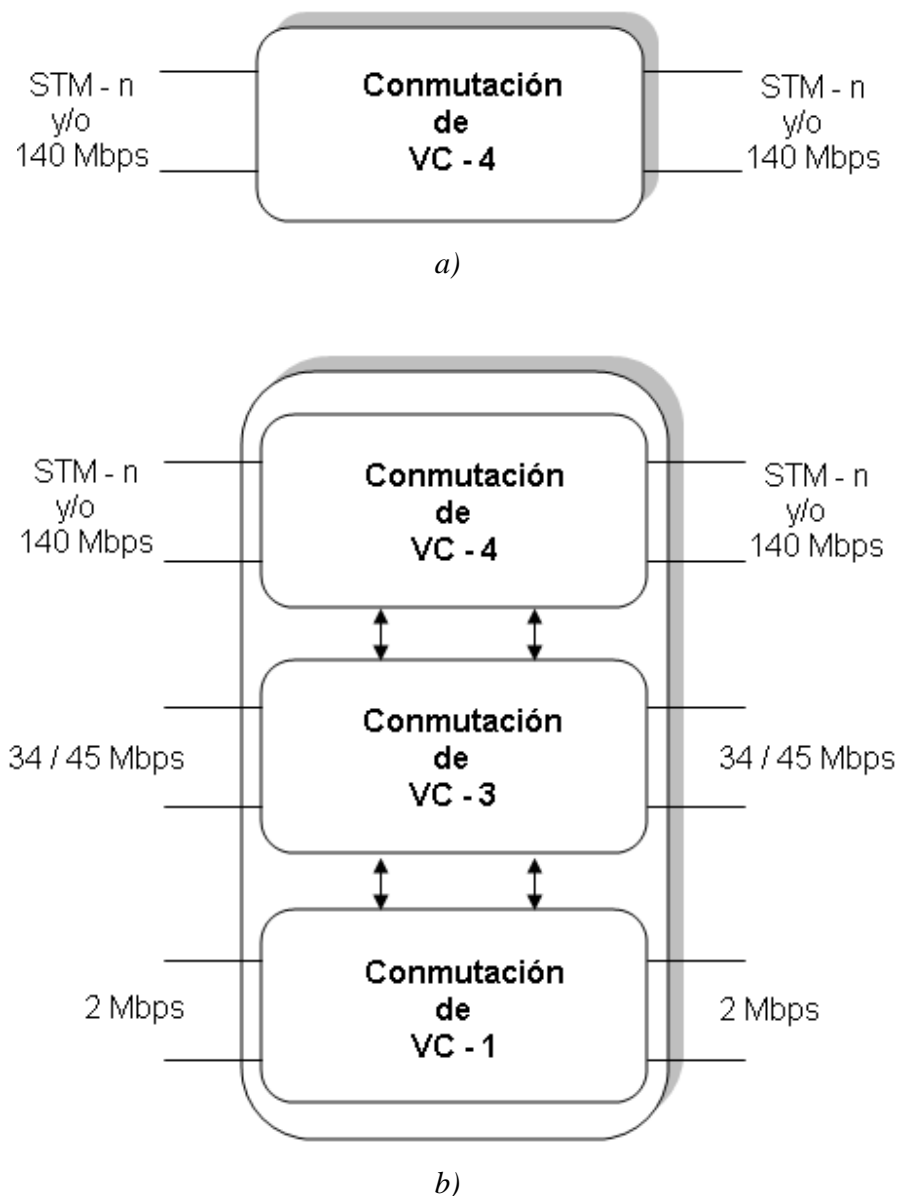


Figura 2.6 Tipos de DXC de una red SDH

a)DXC 4 / 4 b)DXC 4 / 3 / 1

Estos equipos reúnen las funciones de multiplexación y conmutación para cualquier tipo de VCs y su principal uso es en el enlace de la red de acceso y de la red de transporte. Constituyen por lo tanto los elementos clave en la interconexión entre las redes PDH y SDH.

2.1.7 SINCRONIZACIÓN DE SDH⁹

En todo sistema de transmisión digital, la sincronización debe garantizarse en tres niveles diferentes:

- ✓ Niveles: bit, caracter y mensaje, *para transmisión de datos*.
- ✓ Niveles: bit, intervalo de tiempo y trama, *para transmisión PCM (Modulación de Pulsos Codificados)*.

Para la transmisión de datos tenemos dos técnicas para enfrentar la sincronización:

- **Transmisión asincrónica.-** es cuando los datos viajan por el canal sin una velocidad fija, es decir que el tiempo que transcurre desde la transmisión de un dato, hasta la transmisión del próximo dato es variable.
- **Transmisión sincrónica.-** en este caso los datos son transmitidos a una velocidad fija de bits, por una línea que mantiene viva aún cuando no se esté enviando información.

En los sistemas PCM la transmisión es siempre sincrónica, pues el receptor deriva su propia temporización de la señal entrante, mientras los alineamientos de intervalo y de trama se obtienen utilizando un formato predeterminado.

⁹ LLUMIQUINGA GUAYASAMIN, Dany Santiago; MULLO AIMACAÑA, Christian David; "Análisis y Diseño del sistema redundante de F.O. Quito-Guayaquil para la red TELCONET S.A."; Tesis EPN.

Si no se garantiza la sincronización puede producirse una degradación considerable de las funciones de la red e incluso el fallo total de la red. Para evitarlo, todos los elementos de la red están sincronizados respecto a un reloj central, generando mediante un reloj de referencia primario (PRC) de alta precisión conforme a la Recomendación G.811 de la UIT-T.

Las interfaces entre redes con fuentes de reloj independientes plantean algunos problemas especiales. Los elementos de redes SDH pueden compensar desplazamientos de reloj hasta ciertos límites mediante operaciones con punteros. La actividad de los punteros es un buen indicador de los problemas con la fuente de reloj.

2.1.8 GESTIÓN DE SDH¹⁰

Una red de transporte SDH, se puede imaginar construida inicialmente de anillos o buses en donde los nodos serán multiplexores flexibles capaces de insertar y extraer tributarios (ADMs). De acuerdo con la cantidad de tráfico a transportar, la señal de línea podrá ser de 155.52 Mbps., 622.08 Mbps. ó 2488.32 Mbps., es decir, múltiplos de 4 del STM – 1 (155.52 Mbps.).

Si los multiplexores ADM no fueran totalmente flexibles (es decir, si no permitieran acceder a cualquiera de los tributarios de la señal de línea), se requeriría un *cross – connect* en el anillo para poder realizar las rutas de forma enteramente flexible, conmutando tributarios a una cierta posición en la trama a la cual tiene acceso el ADM.

Para realizar trayectos entre puntos pertenecientes a anillos o buses distintos, una cabecera de anillo (conteniendo un *cross – connect*), o sea un nodo que

¹⁰ MÉNDEZ, Dalton; "Diseño de una red troncal SDH con F.O. para el sur del Ecuador"; Tesis EPN; Quito; 2001

pertenece simultáneamente a más de un anillo o bus puede conmutar tributarios de uno a otro flujo de línea de forma programable y flexible. Esas cabeceras podrán conmutar directamente entre anillos o buses de la misma jerarquía, o entre anillos o buses locales y regionales o hasta nacionales.

Es sumamente importante, en este caso, que la gestión computarizada esté en capacidad de comandar todos los elementos de red involucrados en la realización de un trayecto. La dificultad y el costo de una red, están más bien en la gestión, que en la misma red de transmisión. El sistema de gestión pasa a ser como un organismo viviente, teniendo que adaptarse a las expansiones y a una red cada vez más compleja.

La SDH es la primera tecnología que incluye dentro de las normas que la soportan, algunas dedicadas a especificar las facilidades de gestión bajo las directrices de la TMN (Telecommunication Management Network). La TMN se concibe como una red superpuesta a la red de telecomunicaciones, que interactúa con ella a través de interfaces normalizadas en ciertos puntos y obtiene información que le permite monitorear y controlar su operación. Su objetivo es dar soporte para la gestión a los operadores de la red.

Para soportar una serie de operaciones, SDH incluye una gestión al nivel de capas, de manera que las comunicaciones son transportadas a través de slots de tiempos por canales dedicados de datos DCC (Data Communication Channel).

2.2 DESCRIPCIÓN DE LA RED ACTUAL SDH DE LA REGIÓN 2¹¹

Actualmente la red SDH en la Región 2 se encuentra provista de enlaces tanto de fibra óptica como de enlaces de radio transmisión como lo mencionamos al

¹¹ Proporcionado por la CNT S.A. – GERENCIA DE TRANSMISIONES

principio de este capítulo, generalmente los enlaces de radio fueron los primeros enlaces que conectaron las ciudades ó pueblos, y se han mantenido desde su instalación, estos enlaces aun son usados como respaldo del *backbone* y para expandir la red a ciudades más lejanas, es por eso que las radio transmisiones serán un punto muy importante en el desarrollo de este proyecto.

2.2.1 FIBRA ÓPTICA INSTALADA EN LA REGIÓN 2

Actualmente las redes instaladas presentan pocos enlaces de fibra óptica, correspondientes a la Recomendación G.652, y que puede utilizarse para transmisión analógica y digital, este tipo de fibra óptica es usado generalmente para la transmisión en la ventana de 1310 nm., cuya longitud de onda de dispersión nula está situada en torno a esta ventana y que puede utilizarse también a longitudes de onda en la región de 1550 nm. (en la que la fibra no está optimizada) como trata la Recomendación G.655. La Recomendación G.652 es una categoría estándar de las fibras ópticas monomodo, en cambio la Recomendación G.655 es una categoría de dispersión desplazada no nula (NZDS) igualmente de las fibras ópticas monomodo. A continuación en la tabla 2.4 se indica algunas especificaciones dadas por la UIT-T para la Recomendación G.652, donde constan los valores mínimos permitidos:

CARACTERÍSTICAS	VALOR
Longitud de onda de corte	1.18 a 1.27 μm .
Diámetro del campo modal	9.3 (8 a 10) μm . (tolerancia 10%)
Diámetro del revestimiento	125 μm . (tolerancia 3 μm .)
Recubrimiento de silicona Coating	245 μm . (tolerancia 10 μm .) Acrilato curado con UV
Error de circularidad del revestimiento	2%
Error de concentricidad del campo modal	1 μm .
Atenuación	de 0.4 a 1dB/Km en 1310 ηm .
Atenuación	de 0.25 a 0.5dB/Km en 1550 ηm .
Dispersión cromática entre 1285 y 1330 ηm	3.5 ps/Km. ηm .
Dispersión cromática entre 1270 y 1340 ηm	6 ps/Km. ηm .
Dispersión cromática en 1550 ηm	20 ps/Km. ηm .

Tabla 2.4 Características de la fibra óptica monomodo estándar Especificación UIT-T G.652¹²

¹² Tabla 2.4 Recomendación UIT-T G.652, Características de fibras y cables ópticos monomodo estándar.

El tipo de fibra óptica de la recomendación G.655 por tener más complejidad en su fabricación, representa un costo adicional respecto a la fibra que cumple con la recomendación G.652, la utilización de la fibra con recomendación G.652, resulta ser muy útil en la ventana de los 1310 nm., pero en la ventana de los 1550 nm. se tiene dispersiones altas lo cual nos lleva al uso de compensadores de dispersión y esto como resultado acarrea gastos adicionales en la infraestructura.

Al usar la fibra con recomendación G.655 el costo adicional respecto a otra fibra se ve recompensado en el hecho de la no utilización de equipos compensadores de dispersión, que involucra más gastos en adquisición, mantenimiento e instalación de equipos. Es por esto que podemos mencionar que la recomendación G.655 es la que mejor se adapta para sistemas DWDM, reduciendo el efecto de las no linealidades que siempre están presentes en estos sistemas DWDM. A continuación en la tabla 2.5 se indica algunas especificaciones dadas por la UIT-T para la Recomendación G.655, donde constan los valores mínimos permitidos:

CARACTERÍSTICAS	UNIDAD	VALOR
Atenuación		
Atenuación a 1550 nm	dB/Km	≤0.35
Atenuación a 1625 nm	dB/Km	≤0.4
Dispersión cromática		
Dispersión cromática entre 1530 y 1565 nm	ps/nm.Km	1,0 a 10,0 (típico 8 a 1550nm)
Dispersión cromática entre 1565 y 1625 nm	ps/nm.Km	7.5 a 13.4 (típico 12 a 1625nm)
Longitud de onda de dispersión nula	nm	≤1425
Medidas físicas		
Diámetro del campo modal a 1550 nm	μm	9.2±0.5
Diámetro de la cubierta	μm	125±1
No circularidad de la cubierta	%	≤1
Error de concentricidad núcleo/cubierta	μm	≤0.6
Valores típicos		
Índice de refracción a 1550 nm		1.4692
Longitud de onda de corte	nm	1450

Tabla 2.5 Características de la fibra óptica monomodo de dispersión desplazada no – nula (Especificación UIT-T G.655)¹³

¹³ Tabla 2.5 Recomendación UIT-T G.655, Características de fibras y cables ópticos monomodo con dispersión desplazada no nula.

El tendido de fibra óptica de los pocos enlaces de la CNT S.A. es aéreo, es decir se sujeta de un poste a otro, el cable de fibra óptica usado es totalmente dieléctrico y auto soportado (ADSS), es un cable de fibras monomodo de 12 hilos. Este tipo de cable permite un modo de instalación muy económico y presta una facilidad en el momento de tender el cable, tiene un mensajero acerado paralelo a los cables de fibra óptica en su estructura, como se indica en la figura 2.7, mediante este mensajero se lo puede sujetar a postes que pueden ser de madera o de concreto. Este tipo de cable es muy utilizado cuando se necesita una protección extra contra la humedad, pues en su estructura tiene elementos absorbentes de humedad, tiene una gran resistencia a la tensión y condiciones ambientales y eléctricas más exigentes.



Figura 2.7 Fibra óptica monomodo

2.2.2 EQUIPOS DE RADIO INSTALADOS EN LA REGIÓN 2

Dentro de los enlaces existentes en las radio transmisiones, existe un sin número de modelos de equipos que interactúan de radio base en radio base en las distintas redes de la Región 2, como por ejemplo podemos numerarlos a continuación: SRAL, SRA, SRT – 1F / 1C / 1S, STRATEX, RTN – 620, OptiX, NEC¹⁴.

¹⁴ Ver ANEXO B

2.2.3 REDES INSTALADAS ACTUALMENTE EN LA REGIÓN 2

Para poder cubrir con las necesidades en las provincias de la Región 2 se necesita conocer como está actualmente la infraestructura, la tecnología utilizada, capacidades y equipos que satisfacen actualmente la transmisión de voz y datos; por tanto para el diseño de la red SDH, La Corporación Nacional de Telecomunicaciones CNT S.A. realizó el dimensionamiento de tráfico, no solo pensando en las necesidades actuales sino considerando los posibles crecimientos futuros, de tal forma la red será flexible y con un alta confiabilidad y protección, a continuación presentaremos las redes que cubren estas provincias:

Actualmente son cinco redes que satisfacen las comunicaciones en la Región 2, estas son:

- Red Norte (Figura 2.8).
- Red Pichincha (Figura 2.10).
- Anillo Aeropuerto (Figura 2.12).
- Anillo Oriente (Figura 2.14).
- Anillo Oriente Huawei (Figura 2.16).

La gestión de todas las redes anteriores se encuentran en Quito Centro, pero con centros de conexión distintos en algunas poblaciones, la Estación Quito Centro no es estudiada por considerarse como información confidencial para la Corporación Nacional de Telecomunicaciones CNT S.A. empresa que nos facilita la información necesaria para el avance de este proyecto.

La Corporación Nacional de Telecomunicaciones CNT S.A. igualmente se limita a difundir información de algunas redes y nodos, las cuales son objeto de estudio de este Proyecto, para proteger puntos importantes y confidenciales como estudios estadísticos e investigativos que solo la Corporación Nacional de Telecomunicaciones CNT S.A. tiene acceso a la información.

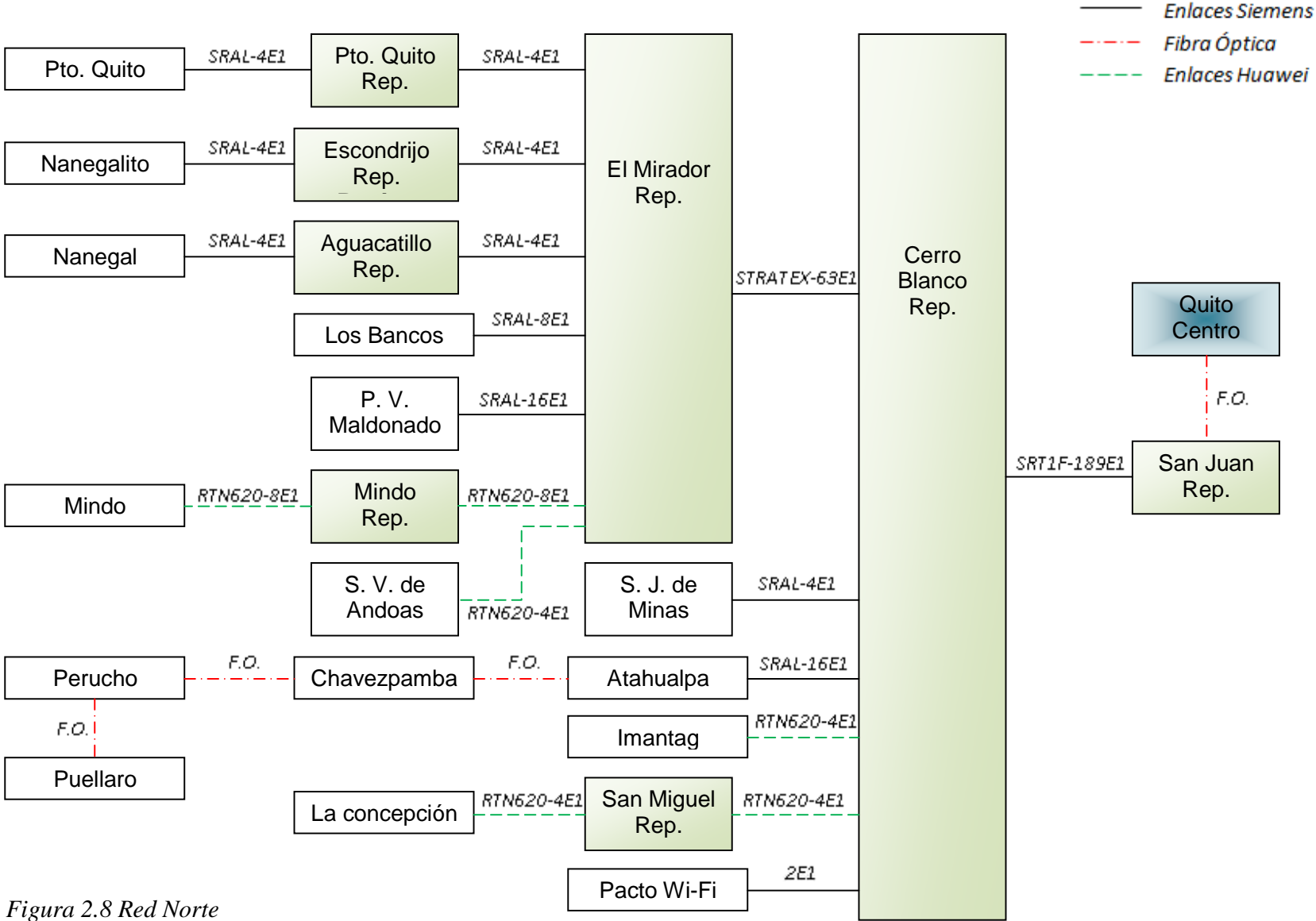


Figura 2.8 Red Norte

2.2.3.1 Red Norte⁴⁶

Como se indica en el diagrama de bloques de la figura 2.8, la Red Norte generalmente concentra tráfico proveniente de la zona noroccidental de la Provincia de Pichincha, en esta red predomina las transmisiones de radio y que poco a poco algunos enlaces están migrando a fibra óptica, cabe recalcar que las antenas instaladas para las transmisiones de radio se las mantendrá como respaldos en caso de fallas en las transmisiones de fibra óptica, en el diagrama se incluye los diferentes modelos de equipos de radio utilizados en los enlaces.

La Central encargada de la gestión de la transmisión de voz y datos para esta red es Quito Centro, la Red Norte está conformada por 8 antenas repetidoras, 2 de ellas pasivas y 15 nodos.

Desde la Central de Quito Centro se conecta al Repetidor San Juan a través de fibra óptica monomodo de la Recomendación G.652 trabajando en la ventana de los 1310 nm.⁴⁷, se usa un par de transceivers en cada extremo del enlace tanto para la transmisión y para la recepción de la información.

Desde el Repetidor de San Juan se conecta al Repetidor Cerro Blanco a través de radio transmisión utilizando equipos *Siemens* a cada extremo del enlace mencionado, utilizando el sistema de radio microonda SRT – 1F con una capacidad máxima de 189E1s.

Desde el Repetidor Cerro Blanco se conecta al Repetidor El Mirador a través de radio transmisión utilizando equipos *Stratex Networks* a cada extremo del enlace mencionado, utilizando el sistema de radio digital de microonda STRATEX con una capacidad máxima de 63E1s ó STM–1. El Repetidor Cerro Blanco a su vez se conecta con el Nodo San José de Minas a través de radio transmisión utilizando

⁴⁶ Proporcionado por la CNT S.A. – GERENCIA DE TRANSMISIONES

⁴⁷ Tema tratado en el punto 2.2.1 “Fibra Óptica Instalada en la Región 2”

equipos *Siemens* a cada extremo del enlace mencionado, utilizando el sistema de radio microonda SRAL con una capacidad máxima de 4E1s. También el Repetidor Cerro Blanco se conecta con el Nodo Atahualpa a través de radio transmisión utilizando equipos *Siemens* a cada extremo del enlace mencionado, utilizando el sistema de radio microonda SRAL con una capacidad máxima de 16E1s, este Nodo Atahualpa se conecta con el Nodo Chavezpamba, el Nodo Chavezpamba se conecta con el Nodo Perucho y este Nodo a su vez se conecta con el Nodo Puellaro, esta conexión desde el Nodo Atahualpa hasta el Nodo Puellaro se lo enlaza a través de fibra óptica monomodo de la Recomendación G.652 trabajando en la ventana de los 1310 nm., usando transceivers a cada extremo del enlace tanto para la transmisión y para la recepción de la información. También el Repetidor Cerro Blanco se conecta con el Nodo Imantag a través de radio transmisión utilizando equipos *Huawei* a cada extremo del enlace mencionado, utilizando el sistema de radio digital de microonda RTN – 620 con una capacidad máxima de 4E1s. El Repetidor Cerro Blanco también conecta al Repetidor San Miguel el cual también conecta al Nodo La Concepción, a través de radio transmisión, estos enlaces también utilizan equipos *Huawei*, con el sistema de radio digital de microonda RTN – 620 igualmente a una capacidad máxima de 4E1s cada enlace. Por último el Repetidor Cerro Blanco conecta a través de la tecnología inalámbrica Wi-Fi al Nodo Pacto con una capacidad máxima de 2E1s; debido a que junto con los proveedores de servicios, las ciudades están implementando redes inalámbricas municipales. Algunas de estas redes proporcionan acceso a Internet de alta velocidad sin costo o por un precio mucho menor al de los demás servicios de banda ancha. Otras ciudades reservan las redes Wi-Fi para uso oficial.

Desde el Repetidor El Mirador se conecta al Repetidor Puerto Quito y este a su vez con el Nodo Puerto Quito a través de radio transmisión utilizando equipos *Siemens* a cada extremo de cada enlace mencionado, utilizando el sistema de radio microonda SRAL con una capacidad máxima de 4E1s cada enlace. El Repetidor El Mirador a su vez se conecta con El Repetidor Pasivo Escondrijo y este Repetidor Pasivo se conecta con el Nodo Nanegalito a través de radio transmisión utilizando

equipos *Siemens* a cada extremo de cada enlace mencionado, utilizando el sistema de radio microonda SRAL con una capacidad máxima de 4E1s cada enlace, este enlace se encuentra en configuración 1+0 (*La configuración 1+0 es un esquema de protección en la transmisión SDH, donde cada conexión unidireccional emplea un solo camino de protección en el enlace o en el anillo (1+0), más no ambos caminos en el anillo (1+1)*⁴⁸). El Repetidor El Mirador a su vez se conecta con El Repetidor Pasivo Aguacatillo y este Repetidor Pasivo se conecta con el Nodo Nanegal a través de radio transmisión utilizando equipos *Siemens* a cada extremo de cada enlace mencionado, utilizando el sistema de radio microonda SRAL con una capacidad máxima de 4E1s cada enlace. También el Repetidor El Mirador se conecta con el Nodo Los Bancos a través de radio transmisión utilizando equipos *Siemens* a cada extremo de cada enlace mencionado, utilizando el sistema de radio microonda SRAL con una capacidad máxima de 8E1s. También el Repetidor El Mirador se conecta con el Nodo Pedro Vicente Maldonado a través de radio transmisión utilizando equipos *Siemens* a cada extremo de cada enlace mencionado, utilizando el sistema de radio microonda SRAL con una capacidad máxima de 16E1s. El Repetidor El Mirador también se conecta con el Repetidor Mindo y este a su vez se conecta con el Nodo Mindo a través de radio transmisión utilizando equipos *Huawei* a cada extremo del enlace mencionado, utilizando el sistema de radio digital de microonda RTN – 620 con una capacidad máxima de 8E1s cada enlace. El Repetidor El Mirador también se conecta con el Nodo San Vicente de Andoas a través de radio transmisión utilizando equipos *Huawei* a cada extremo del enlace mencionado, utilizando el sistema de radio digital de microonda RTN – 620 con una capacidad máxima de 4E1s.

Una vez expuesto rápidamente de cómo está actualmente conectada la Red Norte, a continuación en la tabla 2.6 se indica los datos de capacidades actualmente ocupadas y libres de toda la capacidad total instalada de los enlaces y también su ubicación geográfica junto con su centro de conexión al mes de marzo del año 2010:

⁴⁸ Ver ANEXO A

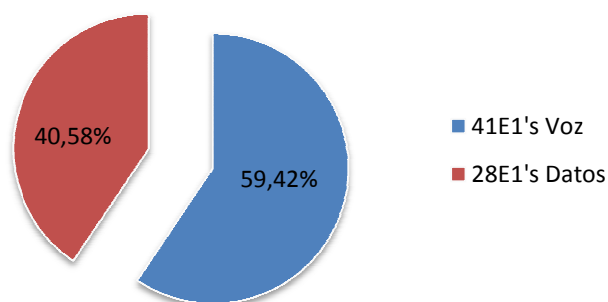
RED	UBICACIÓN		CAPACIDAD INSTALADA		CAPACIDAD OCUPADA				TOTAL			CENTRO DE CONEXIÓN
					VOZ		DATOS					
	Provincia	Ciudad/Población	Mbps.	E1	E1	Otros	E1	Otros	Ocupados	Libres	%Ocupación	
Norte	Pichincha	Puerto Quito	8	4	2		1	1	4	0	100	Puembo
Norte	Pichincha	Nanegalito	8	4	2			2	4	0	100	Puembo
Norte	Pichincha	Nanegal	8	4	2			1	3	1	75	Puembo
Norte	Pichincha	Pacto Wi-Fi	4	2	1		1		2	0	100	C. Quito
Norte	Pichincha	Los Bancos	16	8	5			2	7	1	87.5	Puembo
Norte	Pichincha	P.V.Maldonado	32	16	3	2	4	3	12	4	75	Puembo
Norte	Pichincha	Mindo	16	8	2		2		4	4	50	Puembo
Norte	Pichincha	S.V.de Andoas	8	4	1		1		2	2	50	Puembo
Norte	Pichincha	S.J. de Minas	8	4	3		1		4	0	100	Puembo
Norte	Pichincha	Atahualpa	32	16	5	5	6		16	0	100	Puembo
Norte	Pichincha	Chavezpamba	32	16	1				1	15	6.25	Puembo
Norte	Pichincha	Perucho	32	16	1				1	15	6.25	Puembo
Norte	Pichincha	Puellaro	32	16	3			2	5	11	31.25	Puembo
Norte	Imbabura	Imantag	8	4	2				2	2	50	Ibarra
Norte	Carchi	La Concepción	8	4	1		1		2	2	50	Ibarra
TOTAL:			252	126	41		28		69	57	54.76%	

Tabla 2.6 Capacidades de la Red Norte Marzo 2010

2.2.3.1.1 Servicios Implementados en la Red Norte

Como se observa en la tabla anterior, los servicios que se presta es la voz y datos, sin embargo, existen capacidades que están ocupadas en su totalidad en algunas ciudades o en algunas poblaciones, y también hay capacidades que están libres, a continuación en la figura 2.9 se indica de una manera sencilla el porcentaje de ocupación total tanto para los servicios prestados de voz y datos, y también el porcentaje de ocupación de la Red Norte:

RED NORTE SERVICIOS PRESTADOS



RED NORTE OCUPACIÓN TOTAL

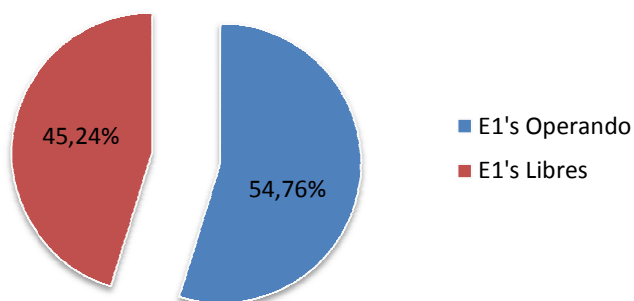


Figura 2.9 Porcentajes de servicios y ocupación total de la Red Norte

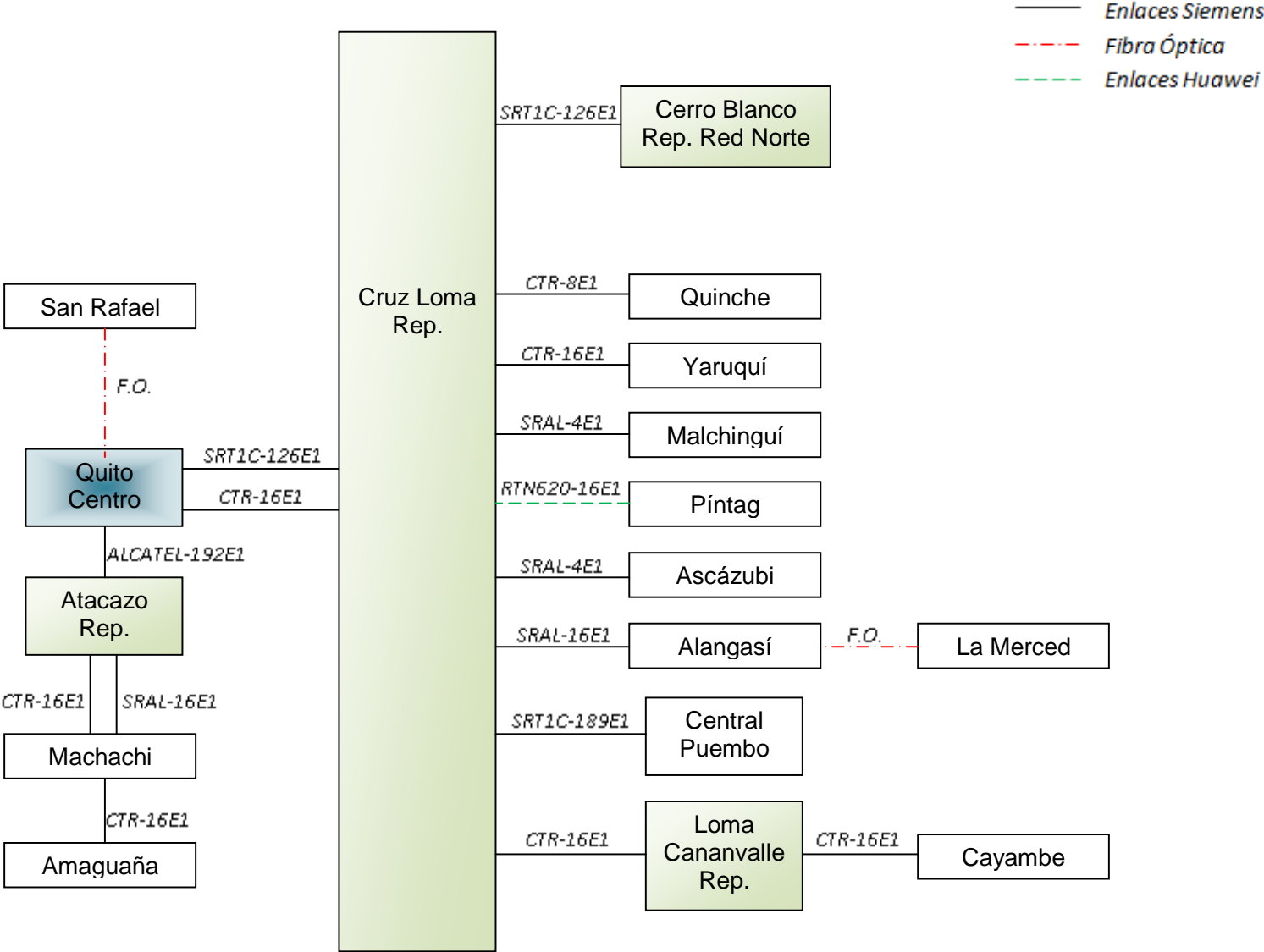


Figura 2.10 Red Pichincha

2.2.3.2 Red Pichincha⁴⁹

Como se indica en el diagrama de bloques de la figura 2.10, la Red Pichincha generalmente concentra tráfico proveniente de la zona nororiental y oriental (*valles de la ciudad de Quito*) de la Provincia de Pichincha, en esta red predomina igualmente las transmisiones de radio y que poco a poco algunos enlaces están migrando a fibra óptica, cabe recalcar que las antenas instaladas para las transmisiones de radio se las mantendrá como respaldos en caso de fallas en las transmisiones de fibra óptica, en el diagrama se incluye los diferentes modelos de equipos de radio utilizados en los enlaces.

La gestión de las transmisiones de voz y datos, lo realiza la Central Quito Centro, la Red Pichincha está conformada por 4 antenas repetidoras, una de ellas conectada al Repetidor Cerro Blanco de la Red Norte y 12 nodos.

Desde la Central Quito Centro se conecta al Nodo San Rafael a través de fibra óptica monomodo de la Recomendación G.652 trabajando en la ventana de los 1310 nm., se usa un par de transceivers en cada extremo del enlace tanto para la transmisión y para la recepción de la información. A su vez desde la Central Quito Centro también se conecta al Repetidor Cruz Loma a través de radio transmisión utilizando equipos *Siemens* a cada extremo de dos enlaces en cada estación, utilizando el sistema de radio microonda SRT-1C y CTR, con una capacidad máxima de 126 E1s ó 2STM-1s y 16E1s, respectivamente. Desde la Central igualmente se conecta con el Repetidor Atacazo a través de radio transmisión utilizando equipos *Alcatel* a cada extremo del enlace mencionado, con una capacidad máxima de 192E1s. Este Repetidor Atacazo se conecta al Nodo Machachi a través de radio transmisión utilizando equipos *Siemens* a cada extremo de dos enlaces en cada estación, utilizando el sistema de radio microonda SRAL y CTR, con una capacidad máxima de 16E1s cada uno. Desde el Nodo Machachi se conecta al Nodo

⁴⁹ Proporcionado por la CNT S.A. – GERENCIA DE TRANSMISIONES

Amaguaña a través de radio transmisión utilizando equipos *Siemens* a cada extremo del enlace mencionado, utilizando el sistema de radio microonda CTR, con una capacidad máxima de 16E1s, cabe recalcar que este enlace del Nodo Amaguaña con Centro de Conexión en el Nodo Machachi son sistemas de radio no gestionables.

Como lo mencionamos anteriormente desde la Central Quito Centro se conecta al Repetidor Cruz Loma, este Repetidor conecta al Repetidor Cerro Blanco que es la encargada de interconectar la Red Norte, se conecta a través de radio transmisión utilizando equipos *Siemens* a cada extremo del enlace mencionado, utilizando el sistema de radio microonda SRT – 1C, con una capacidad máxima de 126E1s, y así considerar el Centro de Conexión en la Central de Puembo para su respectiva gestión en la Central Quito Centro y es por esa razón que tenemos dos enlaces conectados entre esta Central y el Repetidor Cruz Loma, obviamente el enlace SRT – 1C de 126E1s es 100% utilizada para la gestión de la Red Norte.

Desde el Repetidor Cruz Loma se conecta al Nodo El Quinche a través de radio transmisión utilizando equipos *Siemens* a cada extremo del enlace mencionado, utilizando el sistema de radio microonda CTR, con una capacidad máxima de 8E1s. También el Repetidor Cruz Loma se conecta al Nodo Yaruquí a través de radio transmisión utilizando equipos *Siemens* a cada extremo del enlace mencionado, utilizando el sistema de radio microonda CTR, con una capacidad máxima de 16E1s. El Repetidor Cruz Loma a su vez conecta al Nodo Malchinguí a través de radio transmisión utilizando equipos *Siemens* a cada extremo del enlace mencionado, utilizando el sistema de radio microonda SRAL, con una capacidad máxima de 4E1s. El Repetidor Cruz Loma también se conecta al Nodo Píntag a través de radio transmisión utilizando equipos *Huawei* a cada extremo del enlace mencionado, utilizando el sistema de radio digital de microonda RTN – 620 con una capacidad máxima de 16E1s. También el Repetidor Cruz Loma se conecta al Nodo Ascázubi a través de radio transmisión utilizando equipos *Siemens* a cada extremo del enlace mencionado, utilizando el sistema de radio microonda SRAL, con una

capacidad máxima de 4E1s. También el Repetidor Cruz Loma se conecta al Nodo Alangasí a través de radio transmisión utilizando equipos *Siemens* a cada extremo del enlace mencionado, utilizando el sistema de radio microonda SRAL, con una capacidad máxima de 16E1s, el Nodo Alangasí a su vez se conecta con el Nodo La Merced a través de fibra óptica monomodo de la Recomendación G.652 trabajando en la ventana de los 1310 nm., se usa un par de transceivers en cada extremo del enlace tanto para la transmisión y para la recepción de la información. El Repetidor Cruz Loma también se conecta con la Central de Puenbo a través de radio transmisión utilizando equipos *Siemens* a cada extremo del enlace mencionado, utilizando el sistema de radio microonda SRAL, con una capacidad máxima de 189E1s ó 3STM-1s, tiene esta gran capacidad ya que es el Centro de Conexión de algunos Nodos. Por último el Repetidor Cruz Loma también se conecta con el Repetidor Loma Cananvalle el cual también conecta al Nodo Cayambe a través de radio transmisión, estos enlaces también utilizan equipos *Siemens*, a cada extremo de los enlaces mencionados, utilizando el sistema de radio microonda CTR, con una capacidad máxima de 16E1s cada uno de los enlaces.

Mencionaremos con anticipación que los Nodos: El Quinche, Yaruquí, Amaguaña, Cayambe y Puenbo son sistemas de radio no gestionables.

Una vez expuesto rápidamente de cómo está actualmente conectada la Red Pichincha, a continuación en la tabla 2.7 se indica los datos de capacidades actualmente ocupadas y libres de toda la capacidad total instalada de los enlaces y también su ubicación geográfica junto con su centro de conexión al mes de marzo del año 2010:

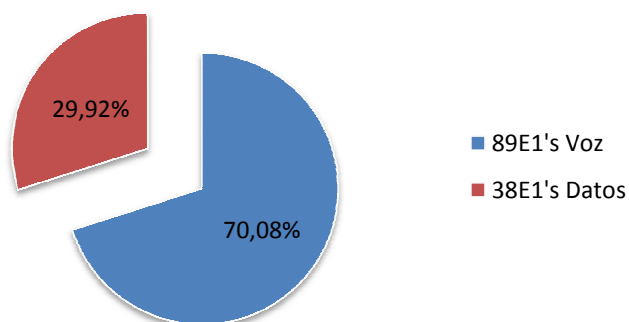
RED	UBICACIÓN		CAPACIDAD INSTALADA		CAPACIDAD OCUPADA				TOTAL			CENTRO DE CONEXIÓN
					VOZ		DATOS					
	Provincia	Ciudad/Población	Mbps.	E1	E1	Otros	E1	Otros	Ocupados	Libres	%Ocupación	
Pichincha	Pichincha	San Rafael	32	16	8		4	2	14	2	87.5	C. Quito
Pichincha	Pichincha	Machachi	32	16	7		4	2	13	3	81.25	C. Quito
Pichincha	Pichincha	Amaguaña	34	16	4		2	3	9	7	56.25	Machachi
Pichincha	Pichincha	El Quinche	16	8	8				8	0	100	Puembo
Pichincha	Pichincha	Yaruquí	32	16	5	2		2	9	7	56.25	Puembo
Pichincha	Pichincha	Malchinguí	8	4	2				2	2	50	Puembo
Pichincha	Pichincha	Píntag	32	16	8			1	9	7	56.25	Puembo
Pichincha	Pichincha	Ascázubi	8	4	2		1		3	1	75	Puembo
Pichincha	Pichincha	Alangasí	32	16	5	4	4	2	15	1	93.75	S. Rafael
Pichincha	Pichincha	La Merced	155	63	4		2		6	57	9.52	Puembo
Pichincha	Pichincha	Puembo	155	63	24		4	5	33	30	52.38	C. Quito
Pichincha	Pichincha	Cayambe	34	16	5	1			6	10	37.5	C. Quito
TOTAL:			570	254	89		38		127	127	50%	

Tabla 2.7 Capacidades de la Red Pichincha Marzo 2010

2.2.3.2.1 Servicios Implementados en la Red Pichincha

Como se observa en la tabla anterior, los servicios que se presta es la voz y datos, sin embargo, existen capacidades que están ocupadas en su totalidad en algunas ciudades o en algunas poblaciones, y también hay capacidades que están libres, a continuación en la figura 2.11 se indica de una manera sencilla el porcentaje de ocupación total tanto para los servicios prestados de voz y datos, y también el porcentaje de ocupación de la Red Pichincha:

RED PICHINCHA SERVICIOS PRESTADOS



RED PICHINCHA OCUPACIÓN TOTAL

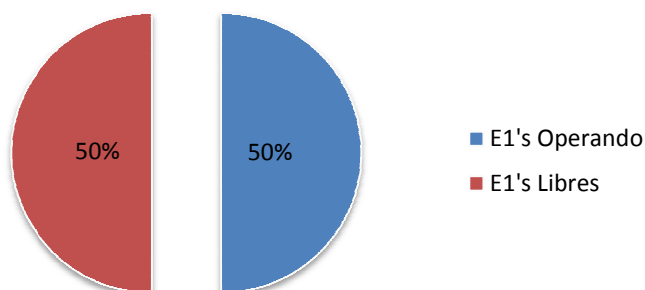


Figura 2.11 Porcentajes de servicios y ocupación total de la Red Pichincha

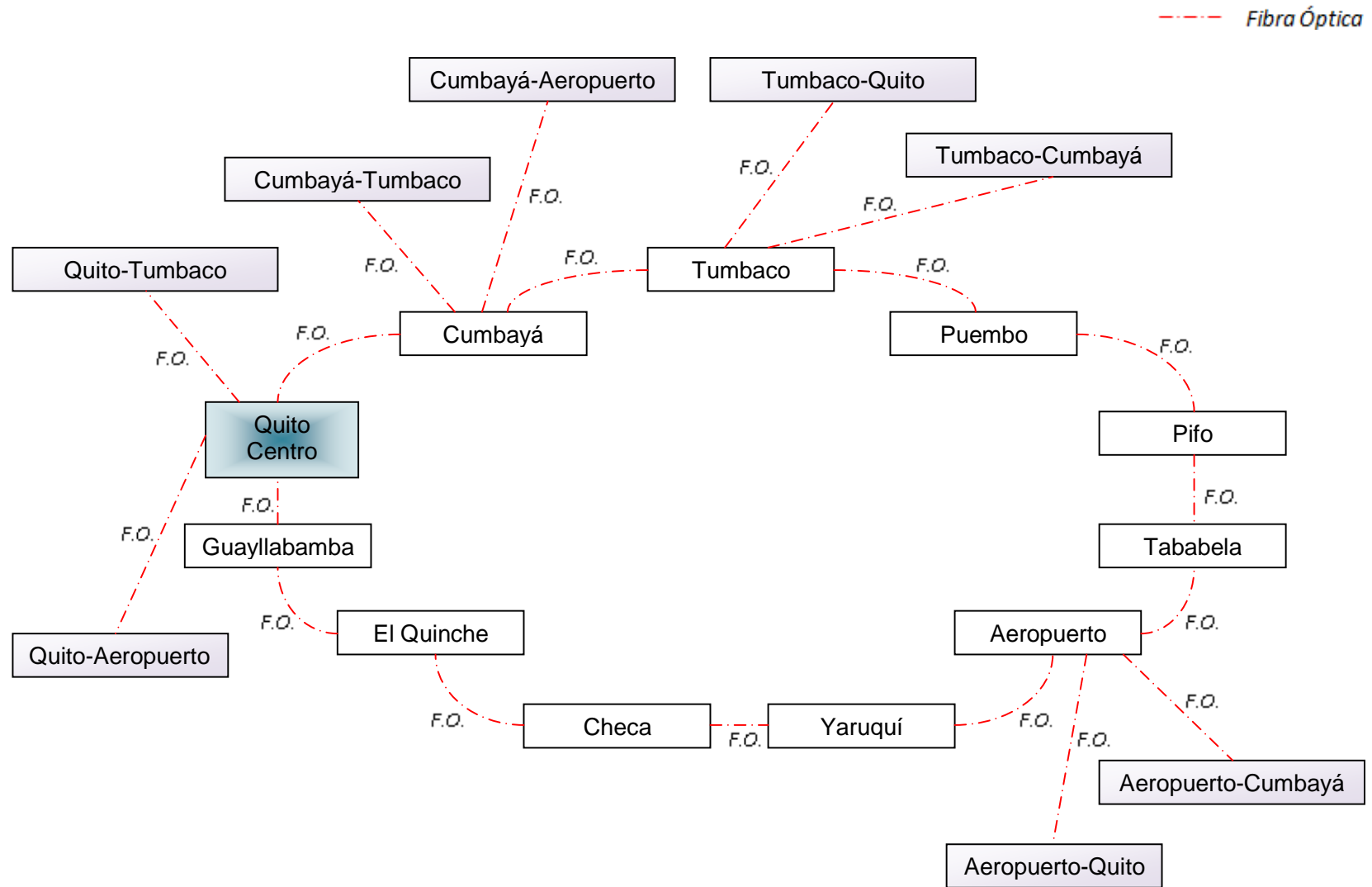


Figura 2.12 Anillo Aeropuerto

2.2.3.3 Anillo Aeropuerto⁵⁰

Como se indica en el diagrama de bloques de la figura 2.12, el Anillo Aeropuerto generalmente concentra tráfico proveniente de la zona nororiental de la ciudad de Quito, es decir, valles nororientales como Cumbayá, Tumbaco, Pifo, Tababela, etc. En este anillo predominan las transmisiones de fibra óptica, debido a que es una red pequeña pero muy grande en capacidad y recientemente migrada a esta nueva generación de comunicaciones.

La gestión de las transmisiones de voz y datos, lo realiza la Central Quito Centro, el Anillo Aeropuerto está conformada por 11 nodos con conexiones físicas de alto nivel, de las cuales forman un anillo interconectándose un nodo tras otro, 8 nodos se realizan por *cross-connections* (conexiones de cruce) a nivel de VC – 12 (contenedor virtual VC – 12).

Todos los enlaces anteriormente mencionados trabajan con fibra óptica monomodo de la Recomendación G.652 trabajando en la ventana de los 1310 nm., usando un par de transceivers en cada extremo del enlace tanto para la transmisión y para la recepción de la información, generalmente se trabaja con fibra óptica bidireccional con protecciones a nivel SDH y protecciones a nivel ETHERNET⁵¹.

Este Anillo es muy simple debido a que todos los enlaces utilizan una sola fibra óptica trabajando a una capacidad máxima de transmisión de STM–16 ó 16STM–1s, de las cuales 8STM–1s se dedican a la transmisión de voz y datos, y los 8STM–1s restantes se dedican a los respaldos o protecciones SDH ó ETHERNET cual sea el caso.

Existen 8 conexiones de cruce a nivel de VC – 12, en la Central Quito Centro, en el Nodo Cumbayá, en el Nodo Tumbaco y en el Nodo Aeropuerto, ya que confluye

⁵⁰ Proporcionado por la CNT S.A. – GERENCIA DE TRANSMISIONES

⁵¹ Ver ANEXO A

mucho tráfico, por ende se debe cross – conectar entre los mismos. Aprovechando la gran capacidad de la matriz de conexiones de cruce de los equipos, se puede hacer un *grooming* (ordenamiento) del tráfico que fluye entre al anillo y realizar la interconexión a nivel de contenedor virtual VC – 12. Se debe realizar grooming en los cuatro nodos antes mencionados, como se explicó en la figura 2.12.

Como se explicó al principio de este capítulo, las tasas de transmisión SDH, en los estándares escritos por la UIT-T, generalmente refiere a STM–1 como la equivalencia SDH más común en las transmisiones, con una tasa de transmisión de 155.52 Mbps., y equivalentes también a 63E1 ó 1E4, pero para nuestro caso del Anillo Aeropuerto generalmente refiere a STM–8 como la capacidad máxima instalada más común en estas transmisiones, con una tasa de transmisión de 1244.16 Mbps. ~ 1.2 Gbps., y equivalente también a 504E1.

Una vez expuesto rápidamente de cómo está actualmente conectado el Anillo Aeropuerto, a continuación en la tabla 2.8 se indica los datos de capacidades actualmente ocupadas y libres de toda la capacidad total instalada de los enlaces y también su ubicación geográfica junto con su centro de conexión al mes de marzo del año 2010, nos podemos dar cuenta claramente que en los lugares donde existen las cross – conexiones existen muchos más E1s para soportar el tráfico que actualmente demanda el nuevo anillo de fibra óptica:

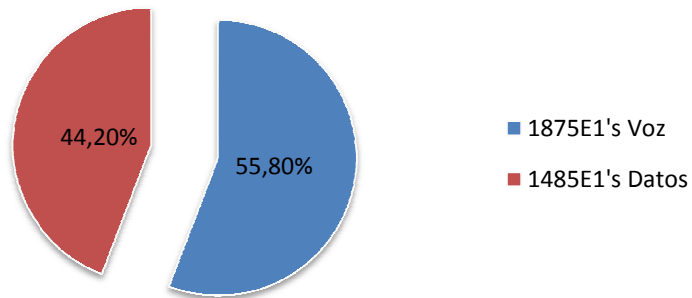
ANILLO	UBICACIÓN		CAPACIDAD INSTALADA		CAPACIDAD OCUPADA				TOTAL			CENTRO DE CONEXIÓN
					VOZ		DATOS					
	Provincia	Ciudad/Población	Gbps.	E1	E1	Otros	E1	Otros	Ocupados	Libres	%Ocup.	
Aeropuerto	Pichincha	Quito	1.2	504	252	63	126	32	473	31	93.85	C. Quito
Aeropuerto	Pichincha	Cumbayá	1.2	504	252	63	126	32	473	31	93.85	C. Quito
Aeropuerto	Pichincha	Tumbaco	1.2	504	252	63	126	32	473	31	93.85	C. Quito
Aeropuerto	Pichincha	Puambo	1.2	504	126		126	32	284	220	56.35	C. Quito
Aeropuerto	Pichincha	Pifo	1.2	504	63	16	126		205	299	40.67	C. Quito
Aeropuerto	Pichincha	Tababela	1.2	504	63	16	63	16	158	346	31.35	C. Quito
Aeropuerto	Pichincha	Aeropuerto	1.2	504	252	63	126	32	473	31	93.85	C. Quito
Aeropuerto	Pichincha	Yaruquí	1.2	504	63	8	126	16	213	291	42.26	C. Quito
Aeropuerto	Pichincha	Checa	1.2	504	63	4	63	32	162	342	32.14	C. Quito
Aeropuerto	Pichincha	El Quinche	1.2	504	126		63	32	221	283	43.85	C. Quito
Aeropuerto	Pichincha	Guayllabamba	1.2	504	63	4	126	32	225	279	44.64	C. Quito
TOTAL:			13.2	5544	1875		1485		3360	2184	60.61%	

Tabla 2.8 Capacidades del Anillo Aeropuerto Marzo 2010

2.2.3.3.1 *Servicios Implementados en el Anillo Aeropuerto*

Como se observa en la tabla anterior, los servicios que se presta es la voz y datos, sin embargo, existen capacidades que están ocupadas en su totalidad en algunas ciudades o en algunas poblaciones, y también hay capacidades que están libres, a continuación en la figura 2.13 se indica de una manera sencilla el porcentaje de ocupación total tanto para los servicios prestados de voz y datos, y también el porcentaje de ocupación del Anillo Aeropuerto:

ANILLO AEROPUERTO SERVICIOS PRESTADOS



ANILLO AEROPUERTO OCUPACIÓN TOTAL

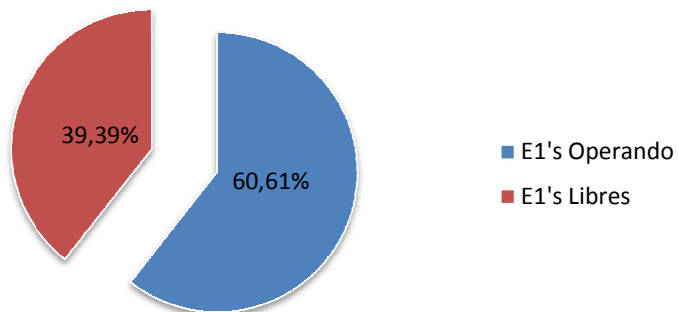


Figura 2.13 Porcentajes de servicios y ocupación total del Anillo Aeropuerto

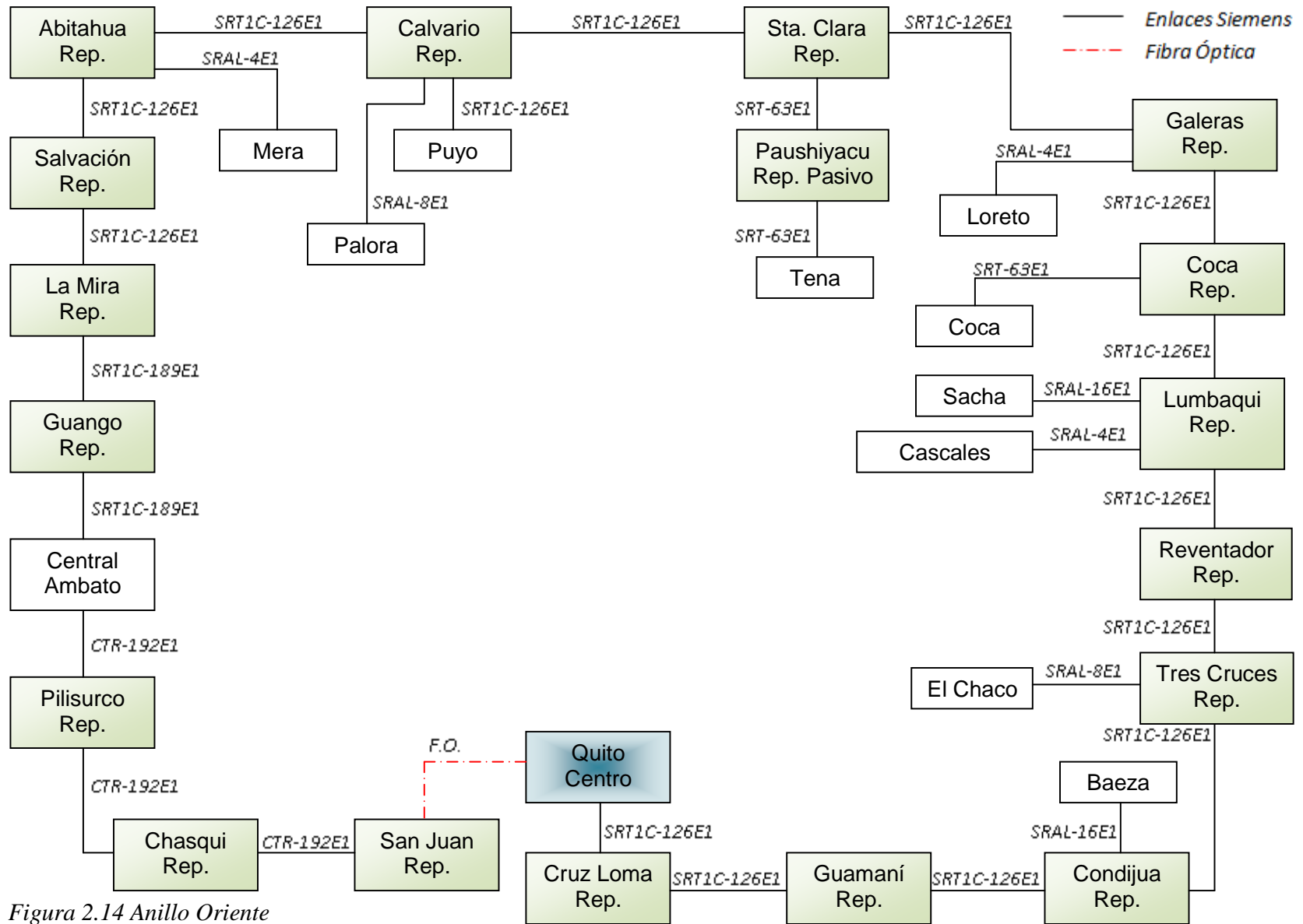


Figura 2.14 Anillo Oriente

2.2.3.4 Anillo Oriente⁵²

Como se indica en el diagrama de bloques de la figura 2.14, el Anillo Oriente generalmente concentra tráfico proveniente en gran parte de la zona de la Provincia de Napo, Provincia de Orellana, suroriente de la Provincia de Pichincha, parte de la zona sur de la Provincia de Sucumbíos, incluso pudiendo llegar hasta la *Central Ambato* en la Provincia de Tungurahua, en esta red igualmente predomina las transmisiones de radio y que poco a poco algunos enlaces están migrando a fibra óptica, cabe recalcar que las antenas instaladas para las transmisiones de radio se las mantendrá como respaldos en caso de fallas en las transmisiones de fibra óptica, en el diagrama se incluye los diferentes modelos de equipos de radio utilizados en los enlaces.

La Central encargada de la gestión de la transmisión de voz y datos para este anillo es Quito Centro, el Anillo Oriente está conformada por 17 antenas repetidoras, una de ellas pasiva y 11 nodos.

Desde la Central Quito Centro se conecta al Repetidor San Juan a través de fibra óptica monomodo de la Recomendación G.652 trabajando en la ventana de los 1310 nm., se usa un par de transceivers en cada extremo del enlace tanto para la transmisión y para la recepción de la información. Desde el Repetidor San Juan se conecta al Repetidor Chasqui a través de radio transmisión utilizando equipos *Siemens* a cada extremo del enlace mencionado, utilizando el sistema de radio microonda CRT con una capacidad máxima de 192E1s. Desde el Repetidor Chasqui se conecta al Repetidor Pilisurco a través de radio transmisión utilizando equipos *Siemens* a cada extremo del enlace mencionado, utilizando el sistema de radio microonda CRT con una capacidad máxima de 192E1s. Desde el Repetidor Pilisurco se conecta a la Central Ambato a través de radio transmisión utilizando equipos *Siemens* a cada extremo del enlace mencionado, utilizando el sistema de radio

⁵² Proporcionado por la CNT S.A. – GERENCIA DE TRANSMISIONES

microonda CRT con una capacidad máxima de 192E1s. Desde la Central Ambato se conecta al Repetidor Guango a través de radio transmisión utilizando equipos *Siemens* a cada extremo del enlace mencionado, utilizando el sistema de radio microonda SRT – 1C con una capacidad máxima de 189E1s ó 3STM–1s. Desde el Repetidor Guango se conecta al Repetidor La Mira a través de radio transmisión utilizando equipos *Siemens* a cada extremo del enlace mencionado, utilizando el sistema de radio microonda SRT – 1C con una capacidad máxima de 189E1s ó 3STM–1s. Desde el Repetidor La Mira se conecta al Repetidor Salvación a través de radio transmisión utilizando equipos *Siemens* a cada extremo del enlace mencionado, utilizando el sistema de radio microonda SRT – 1C con una capacidad máxima de 126E1s ó 2STM–1s. Desde el Repetidor Salvación se conecta al Repetidor Abitahua a través de radio transmisión utilizando equipos *Siemens* a cada extremo del enlace mencionado, utilizando el sistema de radio microonda SRT – 1C con una capacidad máxima de 126E1s ó 2STM–1s. Simultáneamente el Repetidor Abitahua se conecta al Nodo Mera a través de radio transmisión utilizando equipos *Siemens* a cada extremo del enlace mencionado, utilizando el sistema de radio microonda SRAL con una capacidad máxima de 4E1s.

Desde el Repetidor Abitahua se conecta al Repetidor Calvario a través de radio transmisión utilizando equipos *Siemens* a cada extremo del enlace mencionado, utilizando el sistema de radio microonda SRT – 1C con una capacidad máxima de 126E1s ó 2STM–1s. Simultáneamente el Repetidor Calvario se conecta al Nodo Palora y al Nodo Puyo a través de radio transmisión utilizando equipos *Siemens* a cada extremo de los enlaces mencionados, utilizando los sistemas de radio microonda SRAL y SRT – 1C con capacidades máximas de 8E1s y 126E1s ó 2STM–1s respectivamente para cada Nodo.

Desde el Repetidor Calvario se conecta al Repetidor Santa Clara a través de radio transmisión utilizando equipos *Siemens* a cada extremo del enlace mencionado, utilizando el sistema de radio microonda SRT – 1C con una capacidad máxima de 126E1s ó 2STM–1s. Simultáneamente el Repetidor Santa Clara se

conecta al Repetidor Pasivo Paushiyacu y este Repetidor Pasivo se conecta con el Nodo Tena a través de radio transmisión utilizando equipos *Siemens* a cada extremo de cada enlace mencionado, utilizando el sistema de radio microonda SRT con una capacidad máxima de 63E1s ó STM-1 cada enlace.

Desde el Repetidor Santa Clara se conecta al Repetidor Galeras a través de radio transmisión utilizando equipos *Siemens* a cada extremo del enlace mencionado, utilizando el sistema de radio microonda SRT – 1C con una capacidad máxima de 126E1s ó 2STM-1s. Simultáneamente el Repetidor Galeras se conecta al Nodo Loreto a través de radio transmisión utilizando equipos *Siemens* a cada extremo del enlace mencionado, utilizando el sistema de radio microonda SRAL con una capacidad máxima de 4E1s.

Desde el Repetidor Galeras se conecta al Repetidor Coca a través de radio transmisión utilizando equipos *Siemens* a cada extremo del enlace mencionado, utilizando el sistema de radio microonda SRT – 1C con una capacidad máxima de 126E1s ó 2STM-1s. Simultáneamente el Repetidor Coca se conecta al Nodo Coca a través de radio transmisión utilizando equipos *Siemens* a cada extremo del enlace mencionado, utilizando el sistema de radio microonda SRT con una capacidad máxima de 63E1s ó STM-1.

Desde el Repetidor Coca se conecta al Repetidor Lumbaqui a través de radio transmisión utilizando equipos *Siemens* a cada extremo del enlace mencionado, utilizando el sistema de radio microonda SRT – 1C con una capacidad máxima de 126E1s ó 2STM-1s. Simultáneamente el Repetidor Lumbaqui se conecta al Nodo Sacha y al Nodo Cascales a través de radio transmisión utilizando equipos *Siemens* a cada extremo de los enlaces mencionados, utilizando los sistemas de radio microonda SRAL con capacidades máximas de 16E1s y 4E1s respectivamente para cada Nodo. Desde el Repetidor Lumbaqui se conecta con el Repetidor Reventador a través de radio transmisión utilizando equipos *Siemens* a cada extremo del enlace mencionado, utilizando el sistema de radio microonda SRT – 1C con una capacidad

máxima de 126E1s ó 2STM-1s. Desde el Repetidor Reventador se conecta al Repetidor Tres Cruces a través de radio transmisión utilizando equipos *Siemens* a cada extremo del enlace mencionado, utilizando el sistema de radio microonda SRT – 1C con una capacidad máxima de 126E1s ó 2STM-1s. Simultáneamente el Repetidor Tres Cruces se conecta al Nodo El Chaco a través de radio transmisión utilizando equipos *Siemens* a cada extremo del enlace mencionado, utilizando el sistema de radio microonda SRAL con una capacidad máxima de 8E1s.

Desde el Repetidor Tres Cruces se conecta al Repetidor Condijua a través de radio transmisión utilizando equipos *Siemens* a cada extremo del enlace mencionado, utilizando el sistema de radio microonda SRT – 1C con una capacidad máxima de 126E1s ó 2STM-1s. Simultáneamente el Repetidor Condijua se conecta con el Nodo Baeza a través de radio transmisión utilizando equipos *Siemens* a cada extremo del enlace mencionado, utilizando el sistema de radio microonda SRAL con una capacidad máxima de 16E1s.

Desde el Repetidor Condijua se conecta al Repetidor Guamaní a través de radio transmisión utilizando equipos *Siemens* a cada extremo del enlace mencionado, utilizando el sistema de radio microonda SRT – 1C con una capacidad máxima de 126E1s ó 2STM-1s. Desde el Repetidor Guamaní se conecta al Repetidor Cruz Loma a través de radio transmisión utilizando equipos *Siemens* a cada extremo del enlace mencionado, utilizando el sistema de radio microonda SRT – 1C con una capacidad máxima de 126E1s ó 2STM-1s. Desde el Repetidor Cruz Loma se conecta a la Central Quito Centro a través de radio transmisión utilizando equipos *Siemens* a cada extremo del enlace mencionado, utilizando el sistema de radio microonda SRT – 1C con una capacidad máxima de 126E1s ó 2STM-1s. Una vez expuesto rápidamente de cómo está actualmente conectado el Anillo Oriente, a continuación en la tabla 2.9 se indica los datos de capacidades actualmente ocupadas y libres de toda la capacidad total instalada de los enlaces y también su ubicación geográfica junto con su centro de conexión al mes de marzo del año 2010:

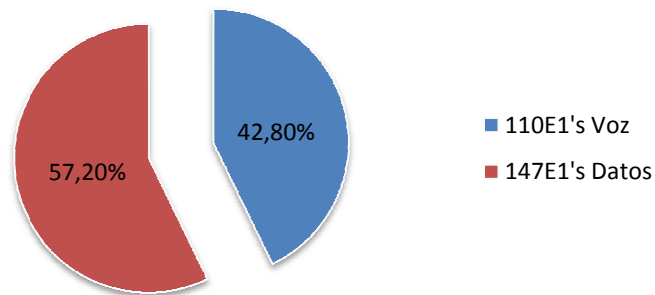
ANILLO	UBICACIÓN		CAPACIDAD INSTALADA		CAPACIDAD OCUPADA				TOTAL			CENTRO DE CONEXIÓN
					VOZ		DATOS					
	Provincia	Ciudad/Población	Mbps.	E1	E1	Otros	E1	Otros	Ocupados	Libres	%Ocupación	
Oriente	Tungurahua	C. Ambato	155	63	4	2	5	50	61	2	96.83	C. Quito
Oriente	Pastaza	Mera	16	8	2		1	2	5	3	62.5	Puyo
Oriente	M. Santiago	Palora	16	8	5			3	8	0	100	Puyo
Oriente	Pastaza	Puyo	2x155	126	25	18	16	8	67	59	53.17	Ambato
Oriente	Napo	Tena	155	63	20	1	7	20	48	15	76.19	Puyo
Oriente	Fco.Orellana	Loreto	8	4	2			2	4	0	100	Puyo
Oriente	Fco.Orellana	Coca	155	63	17	4		25	46	17	73.02	Puyo
Oriente	Fco.Orellana	Sacha	32	16	2		1		3	13	18.75	C. Quito
Oriente	Sucumbios	Cascales	8	4	1		1	1	3	1	75	Puyo
Oriente	Napo	El Chaco	16	8	3			1	4	4	50	Puyo
Oriente	Napo	Baeza	32	16	4		1	3	8	8	50	Puyo
TOTAL:			903	379	110		147		257	122	67.81%	

Tabla 2.9 Capacidades del Anillo Oriente Marzo 2010

2.2.3.4.1 *Servicios Implementados en el Anillo Oriente*

Como se observa en la tabla anterior, los servicios que se presta es la voz y datos, sin embargo, existen capacidades que están ocupadas en su totalidad en algunas ciudades o en algunas poblaciones, y también hay capacidades que están libres, a continuación en la figura 2.15 se indica de una manera sencilla el porcentaje de ocupación total tanto para los servicios prestados de voz y datos, y también el porcentaje de ocupación del Anillo Oriente:

ANILLO ORIENTE SERVICIOS PRESTADOS



ANILLO ORIENTE OCUPACIÓN TOTAL

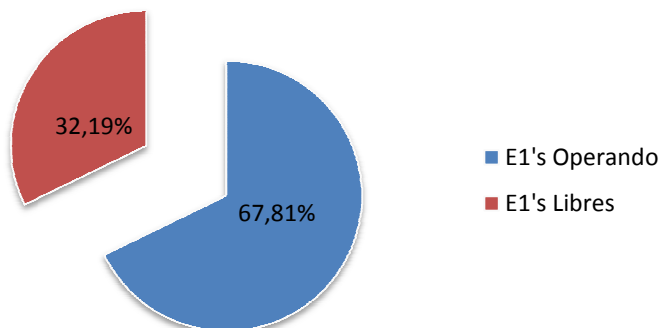


Figura 2.15 Porcentajes de servicios y ocupación total del Anillo Oriente

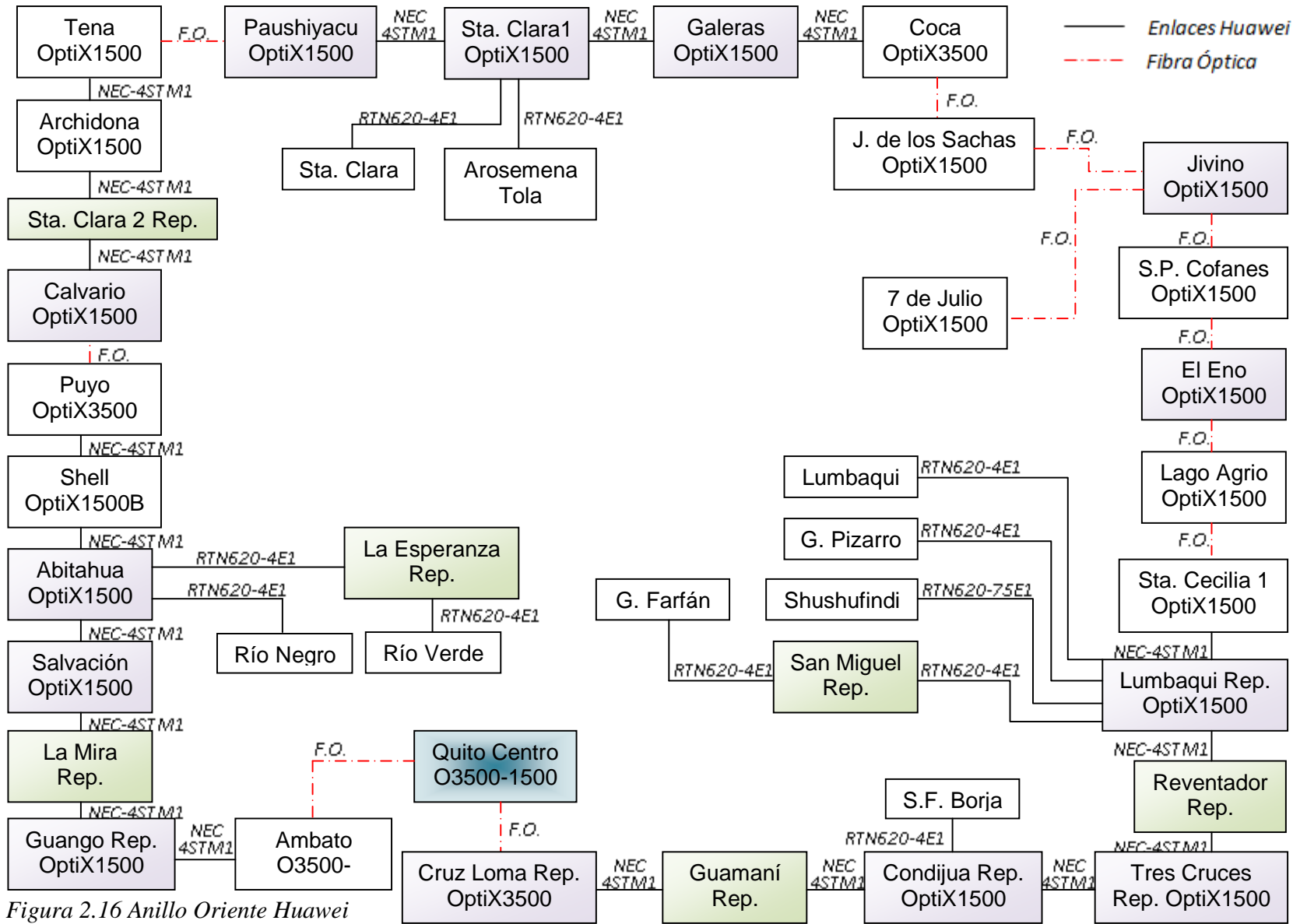


Figura 2.16 Anillo Oriente Huawei

2.2.3.5 Anillo Oriente Huawei⁵³

Como se indica en el diagrama de bloques de la figura 2.16, este nuevo Anillo fue diseñado e implementado en base al Anillo Oriente ya existente en la zona oriental de la Región 2 por *Huawei*, en sí, se puede decir que el nuevo anillo cubre con algunas zonas que cubre el anillo oriente, este nuevo anillo presenta algunos nuevos nodos y repetidores que favorecen las comunicaciones para satisfacer nuevas necesidades a las comunidades de mayor demanda (referente a las telecomunicaciones) del Oriente Ecuatoriano, en el diagrama se incluye los diferentes modelos de equipos de radio utilizados en los enlaces.

La Central encargada de la gestión de la transmisión de voz y datos para este anillo es Quito Centro, el Anillo Oriente Huawei está conformada por un total de 19 antenas repetidoras, 13 de esas antenas se encuentran equipadas con tecnología *Huawei* y que pronto se migrarán a fibra óptica y 20 nodos, de los cuales los que forman el *backbone* se encuentran equipadas también con tecnología *Huawei* (no todos estos nodos son parte de la gestión de la Región 2). Actualmente en este anillo todavía existen sistemas de radio microonda y los equipos que se encargan de estas transmisiones es *NEC*.

Desde la Central Quito Centro se conecta a la Central Ambato a través de fibra óptica monomodo de la Recomendación G.652 trabajando en la ventana de los 1310 nm., se usa un par de transceivers en cada extremo del enlace tanto para la transmisión y para la recepción de la información. Desde la Central Ambato se conecta al Repetidor Guango, desde el Repetidor Guango se conecta al Repetidor La Mira, desde el Repetidor La Mira se conecta al Repetidor Salvación, desde el Repetidor Salvación se conecta al Repetidor Abitahua, desde el Repetidor Abitahua se conecta al Nodo Shell, desde el Nodo Shell se conecta al Nodo Puyo, todos estos enlaces se conectan a través de radio transmisión utilizando equipos *NEC* a cada

⁵³ Proporcionado por la CNT S.A. – GERENCIA DE TRANSMISIONES

extremo de los enlaces mencionados, utilizando el sistema de radio microonda SDH NEC junto con equipos de transporte PASOLINK NEO con una capacidad máxima de 4STM–1s. Simultáneamente el Repetidor Abitahua se conecta al Repetidor Esperanza y al Nodo Río Negro a través de radio transmisión utilizando equipos *Huawei* a cada extremo de los enlaces mencionados, utilizando el sistema de radio digital de microonda RTN – 620 con una capacidad máxima de 4E1s cada enlace. A su vez el Repetidor Esperanza se conecta con el Nodo Río Verde a través de radio transmisión utilizando equipos *Huawei* a cada extremo del enlace mencionado, utilizando el sistema de radio digital de microonda RTN – 620 con una capacidad máxima de 4E1s.

Desde el Nodo Puyo se conecta al Repetidor Calvario a través de fibra óptica monomodo de la Recomendación G.652 trabajando en la ventana de los 1310 nm., se usa un par de transceivers en cada extremo del enlace tanto para la transmisión y para la recepción de la información.

Desde el Repetidor Calvario se conecta al Repetidor Santa Clara 2, desde el Repetidor Santa Clara 2 se conecta al Nodo Archidona, desde el Nodo Archidona se conecta al Nodo Tena, todos estos enlaces se conectan a través de radio transmisión utilizando equipos *NEC* a cada extremo de los enlaces mencionados, utilizando el sistema de radio microonda SDH NEC junto con equipos de transporte PASOLINK NEO con una capacidad máxima de 4STM–1s.

Desde el Nodo Tena se conecta con el Repetidor Paushiyacu a través de fibra óptica monomodo de la Recomendación G.652 trabajando en la ventana de los 1310 nm., se usa un par de transceivers en cada extremo del enlace tanto para la transmisión y para la recepción de la información.

Desde el Repetidor Paushiyacu se conecta al Repetidor Santa Clara 1, desde el Repetidor Santa Clara 1 se conecta al Repetidor Galeras, desde el Repetidor Galeras se conecta al Nodo Coca, todos estos enlaces se conectan a través de radio

transmisión utilizando equipos *NEC* a cada extremo de los enlaces mencionados, utilizando el sistema de radio microonda SDH NEC junto con equipos de transporte PASOLINK NEO con una capacidad máxima de 4STM-1s. Simultáneamente el Repetidor Santa Clara 1 se conecta al Nodo Santa Clara y al Nodo Arosemena Tola a través de radio transmisión utilizando equipos *Huawei* a cada extremo de los enlaces mencionados, utilizando el sistema de radio digital de microonda RTN – 620 con una capacidad máxima de 4E1s cada enlace.

Desde el Nodo Coca se conecta al Nodo Joya de los Sachas, desde el Nodo Joya de los Sachas se conecta al Repetidor Jivino, desde el Repetidor Jivino se conecta al Nodo 7 de Julio y al Nodo S. P. Cofanes, desde el Nodo S. P. Cofanes se conecta al Repetidor El Eno, desde el Repetidor El Eno se conecta al Nodo Lago Agrio, desde el Nodo Lago Agrio se conecta al Nodo Santa Cecilia 1, todos estos enlaces se conectan a través de fibra óptica monomodo de la Recomendación G.652 trabajando en la ventana de los 1310 nm., se usa un par de transceivers en cada extremo de los enlaces tanto para la transmisión y para la recepción de la información.

Desde el Nodo Santa Cecilia 1 se conecta al Repetidor Lumbaqui, desde el Repetidor Lumbaqui se conecta al Repetidor Reventador, desde el Repetidor Reventador se conecta al Repetidor Tres Cruces, desde el Repetidor Tres Cruces se conecta al Repetidor Condijua, desde el Repetidor Condijua se conecta al Repetidor Guamaní, desde el Repetidor Guamaní se conecta al Repetidor Cruz Loma, todos estos enlaces se conectan a través de radio transmisión utilizando equipos *NEC* a cada extremo de los enlaces mencionados, utilizando el sistema de radio microonda SDH NEC junto con equipos de transporte PASOLINK NEO con una capacidad máxima de 4STM-1s. Simultáneamente el Repetidor Lumbaqui se conecta al Repetidor San Miguel, al Nodo Lumbaqui, al Nodo Gonzalo Pizarro y al Nodo Shushufindi a través de radio transmisión utilizando equipos *Huawei* a cada extremo de los enlaces mencionados, utilizando el sistema de radio digital de microonda RTN – 620 con una capacidad máxima de 4E1s cada enlace, a excepción del Nodo

Shushufindi que tiene una capacidad máxima de 75E1s. A su vez el Repetidor San Miguel se conecta con el Nodo General Farfán a través de radio transmisión utilizando equipos *Huawei* a cada extremo del enlace mencionado, utilizando el sistema de radio digital de microonda RTN – 620 con una capacidad máxima de 4E1s. Igualmente el Repetidor Condijua se conecta al Nodo San Francisco de Borja a través de radio transmisión utilizando equipos *Huawei* a cada extremo del enlace mencionado, utilizando el sistema de radio digital de microonda RTN – 620 con una capacidad máxima de 4E1s.

Desde el Repetidor Cruz Loma se conecta a la Central Quito Centro a través de fibra óptica monomodo de la Recomendación G.652 trabajando en la ventana de los 1310 nm., se usa un par de transceivers en cada extremo del enlace tanto para la transmisión y para la recepción de la información.

Una vez expuesto rápidamente de cómo está actualmente conectado el Anillo Oriente Huawei, a continuación en la tabla 2.10 se indica los datos de capacidades actualmente ocupadas y libres de toda la capacidad total instalada de los enlaces y también su ubicación geográfica junto con su centro de conexión al mes de marzo del año 2010:

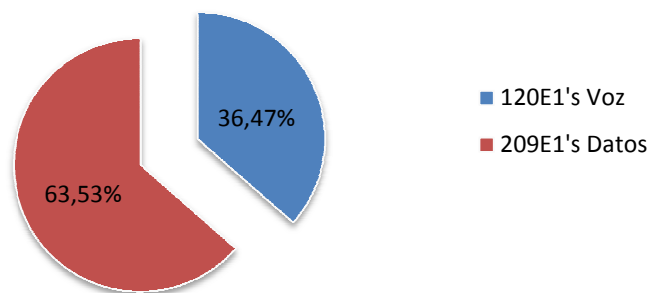
ANILLO HUAWEI	UBICACIÓN		CAPACIDAD INSTALADA		CAPACIDAD OCUPADA				TOTAL			CENTRO DE CONEXIÓN
					VOZ		DATOS					
	Provincia	Ciudad/Población	Mbps.	E1	E1	Otros	E1	Otros	Ocupados	Libres	%Ocupación	
Oriente	Tungurahua	C. Ambato	155	63	4	2	5	50	61	2	96.83	C. Quito
Oriente	Pastaza	Puyo	2x155	126	25	18	16	8	67	59	53.17	Ambato
Oriente	Napo	Archidona	64	32	4			2	6	26	18.75	Puyo
Oriente	Napo	Tena	155	63	20	1	7	20	48	15	76.19	Puyo
Oriente	Napo	C. J. A. Tola	8	4	1				1	3	25	A.Tola
Oriente	Fco.Orellana	Coca	155	63	17	4		25	46	17	73.02	Puyo
Oriente	Fco.Orellana	J. Sachas	64	32	7		14	5	26	6	81.25	L. Agrio
Oriente	Sucumbios	Lago Agrio	155	63	1	1	28		30	33	47.62	C. Quito
Oriente	Sucumbios	Lumbaqui	8	4	1		1		2	2	50	Puyo
Oriente	Sucumbios	G. Pizarro	8	4	1				1	3	25	Puyo
Oriente	Sucumbios	Shushufindi	150	75	11		28		39	36	52	Puyo
Oriente	Sucumbios	G. Farfán	8	4	1				1	3	25	Puyo
Oriente	Napo	S. F. Borja	8	4	1				1	3	25	Ibarra
TOTAL:			1248	537	120		209		329	208	61.27%	

Tabla 2.10 Capacidades del Anillo Oriente Huawei Marzo 2010

2.2.3.5.1 Servicios Implementados en el Anillo Oriente Huawei

Como se observa en la tabla anterior, los servicios que se presta es la voz y datos, sin embargo, existen capacidades que están ocupadas en su totalidad en algunas ciudades o en algunas poblaciones, y también hay capacidades que están libres, a continuación en la figura 2.17 se indica de una manera sencilla el porcentaje de ocupación total tanto para los servicios prestados de voz y datos, y también el porcentaje de ocupación del Anillo Oriente Huawei:

ANILLO ORIENTE HUAWEI SERVICIOS PRESTADOS



ANILLO ORIENTE HUAWEI OCUPACIÓN TOTAL

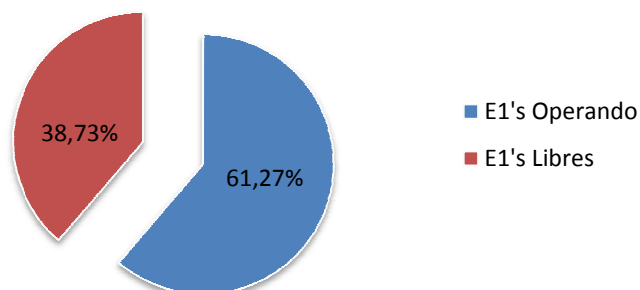


Figura 2.17 Porcentajes de servicios y ocupación total del Anillo Oriente Huawei

2.2.4 CAPACIDAD TOTAL DE LA REGIÓN 2 DE LA CNT S.A.

Como hemos visto, la Región 2 se encarga de la operación, gestión y mantenimiento de las cinco redes antes mencionadas, la cual, por la gran demanda que genera cada una de estas, a continuación en la tabla 2.11 se indica el cálculo de la capacidad total que genera la Región 2 de la CNT S.A. y en la figura 2.18 se indica de una manera sencilla estos porcentajes totales:

	Capacidad Instalada		Capacidad Ocupada E1s		Capacidad Total Ocupada		Capacidad Total Libre	
	E1s	%	Voz	Datos	Ocupados	%	Libres	%
Red Norte	126	1.02%	41	28	69	54.76%	57	45.24%
Red Pichincha	254	2.05%	89	38	127	50%	127	50%
Anillo Aeropuerto	11088	89.53%	942	6426	7368	66.45%	3720	33.55%
Anillo Oriente	379	3.06%	110	147	257	67.81%	122	32.19%
Anillo OrienteHuawei	537	4.34%	120	209	329	61.27%	208	38.73%
TOTAL REGIÓN 2:	12384	100%	1302	6848	8150	65.81%	4234	34.19%

Tabla 2.11 Capacidad Total de la Región 2

REGIÓN 2 - CNT S.A. OCUPACIÓN TOTAL

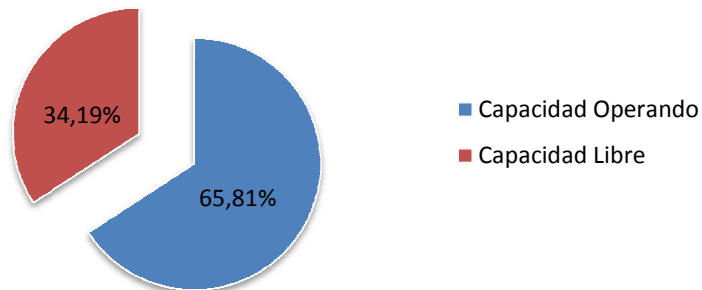


Figura 2.18 Porcentaje de la Capacidad Total de la Región 2

A continuación se calcula el valor total de Mbps. manejados por la Región 2:

$$Mbps_{TOTAL} = Mbps_{NORTE} + Mbps_{PICHINCHA} + Gbps_{AEROPUERTO} + Mbps_{SORIENTE} + Mbps_{SORIENTE HUAWEI}$$

$$Mbps_{TOTAL} = 252 + 570 + 25000 + 903 + 1248$$

$$Mbps_{TOTAL} = 27973 \text{ Mbps.}$$

Ecuación 2.1

Incluso con este valor obtenido se puede empezar a instalar desde este mismo año la tecnología DWDM en lo que tiene que ver con el Anillo Aeropuerto, por poseer una alta capacidad de transmisión, ya que supera los 10 Gbps. de transmisión. Debemos recordar que la tecnología DWDM nos genera 10 Gbps. por canal óptico, por ejemplo, si tengo una fibra óptica que tenga una capacidad de 40 longitudes de onda o canales para transmitir, entonces, la fibra óptica tendrá una capacidad máxima de 400 Gbps.

2.2.5 DEMANDA DE SERVICIOS PROPORCIONADOS

Dependiendo del consumo de Mbps. anuales, se puede indicar cómo crece el consumo de E1s en forma general en los últimos años, de igual forma esta descripción a desarrollarse, refleja como la demanda de estos servicios a través de todos estos años, ha impulsado a la empresa a realizar cambios en su red, con el fin de incrementar su capacidad para su propio beneficio y el de sus clientes.

En la tabla 2.12 se indica los datos correspondientes desde el año 2008 al primer trimestre del año 2010:

AÑOS	LÍMITE DE CAPACIDAD (E1s.)	CONSUMO TOTAL (E1s.)	ÍNDICE DE CRECIMIENTO/AÑO
2008	5170	4177	
2009	7856	5219	24.95%
2010	12384	8150	56.16%

Tabla 2.12 Consumo de E1s desde el 2008 hasta el 1º trimestre de 2010⁵⁴

En la figura 2.19, se indica como la demanda de los servicios se ha incrementado en los últimos años, se espera que con la incursión de nuevos servicios como IPTv y demás aplicaciones multimedia, y con el crecimiento del consumo de Internet se pueda dar cabida a nuevas empresas que requieran arrendar un determinado ancho de banda, en cualquier ciudad del país, y también sin olvidar que nuevas empresas requerirán de la transmisión de datos y la VoIP, para su comunicación, todo esto prevé que en pocos años, la capacidad máxima instalada hasta el momento no serán los suficientes para satisfacer las necesidades de los clientes.

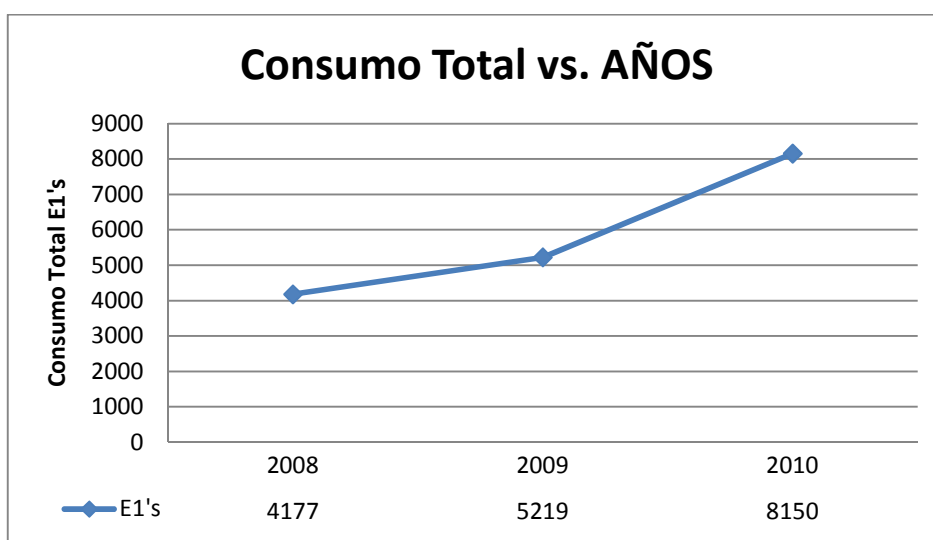


Figura 2.19 E1s a través de los últimos años

⁵⁴ Proporcionado por la CNT S.A. – GERENCIA DE TRANSMISIONES

2.2.6 PROYECCIÓN DE TRÁFICO ESTIMADA PARA 10 AÑOS

Una vez conocida la evolución de la red y la necesidad del consumo de Mbps., se procede a estimar en base a esta información, el índice o tasa de crecimiento y los valores de Mbps. que se estarían manejando en unos 10 años a futuro.

Utilizaremos la ecuación de crecimiento geométrico⁵⁵:

$$C_{final} = C_{inicial}(1 + x)^n \quad \text{Ecuación 2.2}$$

Donde:

C_{final} = Capacidad al final de *n* años.

C_{inicial} = Capacidad inicial o referencial.

x = Índice de crecimiento anual del servicio de telecomunicaciones.

n = Tiempo en años.

La ecuación de crecimiento geométrico se utiliza cuando la tasa de crecimiento de una función matemática es proporcional a la del valor actual de la función, es decir, es la variación de una magnitud (en este caso la capacidad) durante un determinado período de tiempo, y como es lógico, las capacidades serán cada vez más altas al paso de los años.

2.2.6.1 Cálculo del Índice de Crecimiento Anual

Para encontrar la tasa de crecimiento geométrico, usaremos el resultado de la ecuación 2.1, es la ecuación con la cual procederemos a realizar una proyección del

⁵⁵ LLUMIQUINGA GUAYASAMIN, Dany Santiago; MULLO AIMACAÑA, Christian David; "Análisis y Diseño del sistema redundante de F.O. Quito-Guayaquil para la red TELCONET S.A."; Tesis EPN; Pág. 104.

tráfico a 10 años. Este índice añade un incremento al final de cada año, con una proporción fija al valor de inicio de cada año.

Se tiene la ecuación:

$$C_{final} = C_{inicial}(1 + x)^n$$

En la tabla 2.12, se cuenta con los valores de la capacidad de los últimos tres años, al 2010, también se tiene los valores al principio y final de un período.

Si x (tasa de crecimiento) es desconocido, resulta evidente que despejando de la ecuación 2.2, se tiene:

$$x = (C_{final}/C_{inicial})^{1/n} - 1$$

Por lo que reemplazando estos valores se tiene:

$$x = (8150/4177)^{1/2} - 1$$

$$x = 0.3968$$

Como resultado se obtiene que el índice de crecimiento anual es del 39.68%.

También se conoce que la máxima capacidad que soportan los equipos es de 10Gbps. y que la capacidad consumida por los 8150 E1s en el 2010 es de aproximadamente de 18409 Mbps. ó 18.409 Gbps. Como se puede observar existe ya la saturación en los límites de capacidad establecidos por los equipos. Si se considera las condiciones ya presentadas, se puede calcular el tiempo en el cual las 5 redes de la Región 2 se saturarán.

Esclarecido el escenario, se puede formular una vez más la ecuación de crecimiento geométrico y reemplazando valores se tiene:

$$(5redes \times 10Gbps) = 18.409Gbps (1 + 0.3968)^n$$
$$n = 2.98 \text{ años}$$

Esto quiere decir que si se mantiene el índice de crecimiento en 39.68% anual, en 2.98 años, las redes se saturarían, es por eso que el estudio de este Proyecto es proponer una solución a la Corporación Nacional de Telecomunicaciones CNT S.A. para incrementar su capacidad y tener el suficiente recurso para solventar la necesidad de transportar información de los clientes a través del backbone de fibra óptica DWDM.

2.2.6.2 Proyección de Tráfico, 2010 – 2020

Con el valor del índice de crecimiento calculado anteriormente, la capacidad inicial (*Cinicial*) al 2010 y *n* es el período de años a proyectarse, se puede ahora calcular la proyección a *n* años.

Reemplazando los valores en la ecuación 2.2 se tiene:

$$C_{final} = 18.409Gbps(1 + 0.3968)^n [Gbps]$$

En la tabla 2.13 se indica los valores de tráfico que se presentaría en los próximos años, según un índice de crecimiento producto de la demanda estimada en unos 39.68% anuales, y también se muestra la capacidad permitida cada año, según la técnica empleada en sus equipos, incluyendo DWDM como una solución.

AÑOS	LÍMITE DE CAPACIDAD	TRÁFICO GENERADO (Gbps)	ÍNDICE DE CRECIMIENTO
2010	(5redes x 10Gbps) (SDH)	18.409	
2011	(5redes x 10Gbps) (SDH)	25.714	39.68%
2012	(5redes x 10Gbps) (SDH)	35.917	39.68%
2013	> 50Gbps (DWDM)	50.169	39.68%
2014	> 50Gbps (DWDM)	70.076	39.68%
2015	> 50Gbps (DWDM)	97.882	39.68%
2016	> 50Gbps (DWDM)	136.721	39.68%
2017	> 50Gbps (DWDM)	190.972	39.68%
2018	> 50Gbps (DWDM)	266.750	39.68%
2019	> 50Gbps (DWDM)	372.596	39.68%
2020	> 50Gbps (DWDM)	520.442	39.68%

Tabla 2.13 Proyección de tráfico desde 2010 hasta 2020

Como era de esperarse después de 3 años aproximadamente se colapsaría la capacidad de los 50 Gbps. (10 Gbps. x 5 redes) si se mantiene constante el índice de crecimiento, en el 2012, se llegaría a los 35.917 Gbps., y en el 2013 se rompería la capacidad llegando aproximadamente a los 50.169 Gbps., es en este año donde ya se debe tener instalado en todas las redes de la Región 2 los equipos DWDM, para brindar una capacidad sobre los cientos de Gbps., justificando así la necesidad de esta tecnología.

CAPÍTULO III

3. DISEÑO DE LA RED PARA INTEGRAR SDH CON DWDM DE LA REGIÓN 2 DE LA CNT S.A.

Este capítulo se enfoca en el diseño de la nueva red que integra SDH con DWDM, tomando en cuenta varios puntos de las cuales la Corporación Nacional de Telecomunicaciones CNT S.A. como una empresa prestadora de servicios de telecomunicaciones, debe considerar los nuevos avances en aplicaciones y tecnologías de las transmisiones de datos, ya que estas han tenido un alto crecimiento en la demanda y por ende la ocupación de gran ancho de banda para las transmisiones de datos, todo esto sumado a un gran número de usuarios de telefonía fija e internet, la meta es lograr que todos podamos hacer uso de estos servicios en nuestras casas y empresas, el reto de la Corporación Nacional de Telecomunicaciones CNT S.A. es poder tener la capacidad suficiente como para soportar la gran demanda de servicios que está por venir, puede ser Video, IPTV, VoIP, Televisión codificada, etc., pudiéndolo obtener a partir de las nuevas inversiones ligadas en la obtención de nuevos equipos, nuevas tecnologías de alta capacidad para las comunicaciones, conforme el mercado lo exija, así como la capacitación de su personal para los trabajos encomendados, todas estas con la finalidad de ofrecer a los clientes y a las empresas una buena alternativa para el transporte de información, que requieran del servicio ofertado.

Todo esto lleva a que este Proyecto se plantee realizar una integración de tecnologías SDH con DWDM, basándonos en las redes que están actualmente operando, para dar una solución de aumento en la capacidad de las redes de radio transmisión y las redes de fibra óptica en la Región 2 de la Corporación Nacional de Telecomunicaciones CNT S.A.

3.1 SOLUCIÓN A LOS PROBLEMAS DE SATURACIÓN¹

Existen varias soluciones para resolver los problemas de saturación de la red actual, entre las cuales se podría mencionar:

- Todos los anillos podrían migrar a STM-64, esta solución aumentaría la capacidad de la red, pero se vería limitada tempranamente por la creciente demanda de tráfico.
- Debido a que el cable de fibra óptica instalado en algunas redes consta de 12 hilos, se podría aumentar el equipo SDH según las necesidades utilizando el resto de fibras, con la cual se aumentaría la capacidad de las redes.
- Después de un análisis de crecimiento de tráfico, determinar a un cierto tiempo que se debería migrar a DWDM; puede ser que todos o varios de las redes migren a esta tecnología, con la cual se brindaría una gran capacidad a las redes, esta migración involucraría el cambio total de equipos en las redes que requieran DWDM.

El diseño de la red DWDM para las redes de fibra óptica de la Región 2 es un proyecto de red de transporte, para la interconexión del Sistema de Telecomunicaciones, dejando capacidad suficiente para el futuro.

Cabe destacar que la capacidad planificada para esta red, debe prever el crecimiento de la misma para 3 años, ya que se realizó una proyección adicional de la matriz de tráfico al año 2012 (final del capítulo 2) y se comprobó que la capacidad de la red diseñada cubría los requerimientos para dicho año.

¹ Proporcionado por la CNT S.A. – GERENCIA DE TRANSMISIONES

Se ha pensado operar los diversos servicios segregándolos por longitudes de onda, así por ejemplo: el tráfico telefónico en una longitud de onda, el tráfico de datos en otra longitud de onda y el tráfico de video en otra longitud de onda, sin dejar de lado las tecnologías WAN como por ejemplo ATM, Frame Relay, incluso tráfico IP, cada una de estas igualmente en longitudes de onda diferentes.

El Proyecto consiste en diseñar redes ópticas que me permitan integrar la tecnología DWDM a las 5 redes SDH ya existentes instaladas por la CNT S.A., tomando en cuenta que se trata de redes tanto de radio transmisión como de fibra óptica.

Se deberá incorporar un sistema de gestión de red que permita administrar las redes DWDM por diseñar y también las redes SDH que se encuentran incorporados por esta nueva red. Las redes DWDM operarán con protecciones similares a las redes SDH (SNC-P, SNC-P con D&C, MS-SP, como se indica en el Anexo A).

En cuanto al manejo de tráfico, las redes ópticas DWDM operarán como anillos unidireccionales.

3.2 DISEÑO DE LAS NUEVAS REDES, QUE INTEGRAN A LAS REDES SDH EXISTENTES, LA TECNOLOGÍA DWDM

La Jerarquía Digital Sincrónica (SDH) y la Multiplexación Densa por Longitud de Onda (DWDM), en un principio se veían como técnicas rivales, en el sentido de ofrecer capacidades de transmisión en el orden de Gbps. Hoy las dos se ven integradas en las nuevas redes para dar solución al aumento de capacidad en las redes de fibra óptica. Como lo hemos estado expresando en gran parte de este proyecto, la propuesta de diseño tiene como principal objetivo integrar la tecnología de multiplexación DWDM con la técnica de transmisión SDH, muy utilizadas para la

transmisión de grandes volúmenes de tráfico de voz y datos, y a partir de esta integración la transmisión de servicios de video.

Al final del capítulo 2 se realizó una proyección de tráfico, logrando determinar el período de tiempo de 3 años en las 5 redes existentes de la Región 2, en el cual se necesitará introducir nuevos equipos para su integración, que facilite la expansión en cuanto a la capacidad de transmisión, tomando en cuenta que en la mayoría de las redes operan en base de radio transmisiones, en estos casos se tendrá que instalar por completo fibra óptica necesaria para satisfacer las necesidades de los usuarios, y en el caso de las fibras ópticas ya instaladas se tendrá que proceder al cambio de tecnología con la recomendación G.655², obviamente comprobando que tenga la capacidad suficiente para poder integrarla.

3.2.1 ESTRUCTURA DE LA INTEGRACIÓN SDH CON DWDM³

Los equipos y las redes de fibra óptica deberán ser aptos para manejar cualquier tipo de servicio como voz, datos y video como objetivo del Proyecto, sin dejar de lado que también se puede transmitir otros servicios como IPTv, VoIP, Televisión codificada, etc., dependiendo de la capacidad de las redes de fibra óptica y además deben facilitar la expansión de capacidad a futuro.

La fibra óptica deberá ser eficiente, con poca pérdida, y capaz de soportar la multiplexación DWDM, incluyéndose que debe tener enlaces redundantes ó de respaldo, es decir si por alguna razón un equipo ó una fibra óptica ó algún elemento de las redes falla, las redes no deberán detener sus operaciones, deberá continuar operando y para esto se tendrá como enlaces redundantes los nodos de radio transmisión ya utilizadas que serán el respaldo de las redes.

² Ver **ANEXO C** – Recomendación G.655 de la UIT-T

³ **CAIZALUISA PALMA, Jorge Luis**; "Estudio para la integración de la técnica de multiplexación DWDM dentro de un enlace Quito y Guayaquil que utilice SDH como técnica de transmisión para una mediana empresa portadora"; Tesis EPN; 2009.

En la figura 3.1 se observa de una manera clara y sencilla que se va añadir a las redes existentes, es decir, como se realiza la integración entre SDH y DWDM, con un servicio Gigabit Ethernet en la transmisión de datos a través de fibra óptica de 12 hilos, 4 hilos para Gigabit Ethernet, 2 para uso principal y 2 para respaldo del enlace; 4 hilos para SDH/DWDM igualmente 2 para uso principal y 2 para respaldo del enlace. En la figura 3.1 solamente se hace referencia a los canales principales.

Otro punto importante son las fibras ópticas disponibles, en este caso nos quedan 4 hilos libres para hacer uso de cualquier modificación de la red o para ser arrendados a cualquier empresa que requiera de una conexión, a estas fibras ópticas también se las conoce como fibras ópticas oscuras (*la fibra oscura es la fibra que esta sin utilizarse, disponible en cualquier momento para su uso, previo arrendamiento o utilización de la empresa propietaria*).

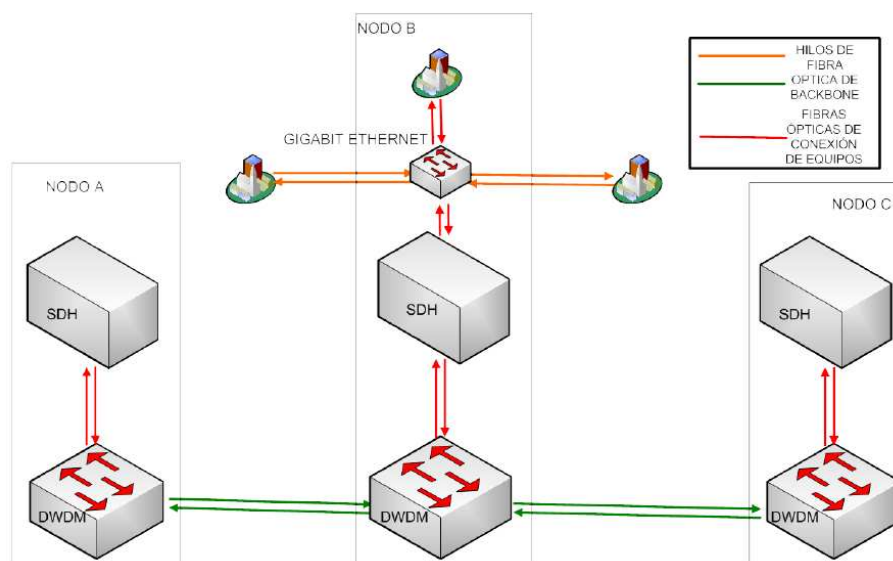


Figura 3.1 Estructura básica de la integración SDH / DWDM

Dentro del bloque DWDM, se encuentran los componentes como el Terminal Multiplexor Óptico (OTM), el Amplificador Óptico de Línea (OLA) y el Multiplexor

Óptico de Inserción / Extracción OADM (como se trato en el Capítulo 1, Sección 1.7), pero por los avances tecnológicos que hoy por hoy se han ido desarrollando, uno de estos componentes es precisamente el que desea implementar la CNT S.A. y este es el **ROADM**⁴ (*Multiplexor Óptico de Inserción / Extracción Reconfigurable*) el que me permitirá la transmisión de servicios nuevos como IPTv ó VoD (Video bajo demanda) en este Proyecto.

En la figura 3.2 se indica internamente el bloque DWDM con el nuevo componente ROADM, que serán integrados a las redes SDH:

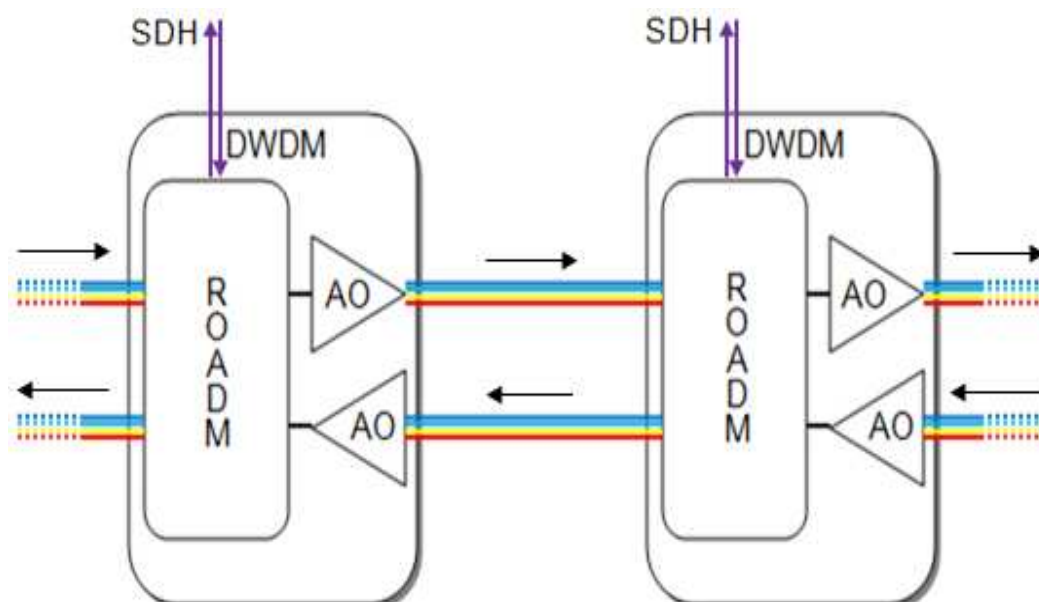


Figura 3.2 Estructura interna de la tecnología DWDM y su interconexión

A continuación, en la figura 3.3, se visualiza la estructura interna de un ROADM, y que en general este tipo de ROADMs serán integrados en nuestro diseño para la CNT S.A., ya que directamente al ROADM pueden interconectarse servicios como STM-1, STM-64, 1GbE, 100GbE, etc., en fin, sistemas SDH que actualmente

⁴ Ver ANEXO D – Equipos ROADM

se utiliza y de donde también se pueden conectar servicios de mayor capacidad. Se toma en cuenta solo en sentido de transmisión en la fibra óptica.

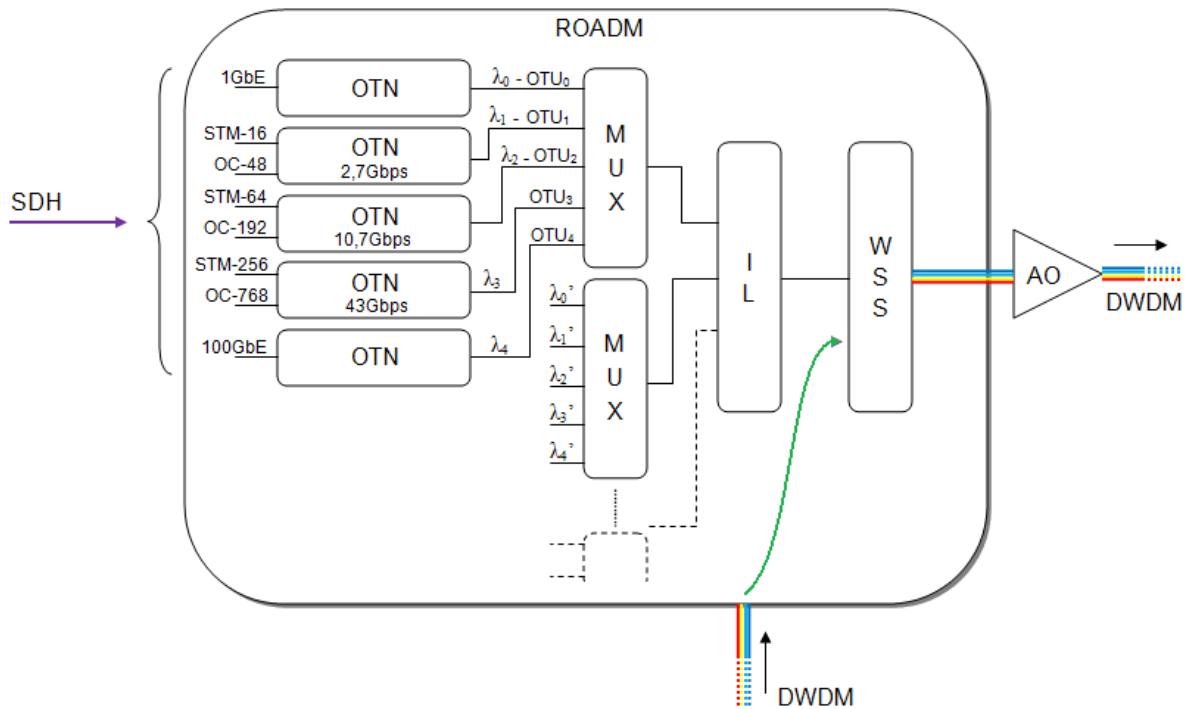


Figura 3.3 Estructura interna de un ROADM

3.2.1.1 ¿POR QUÉ UTILIZAR ROADMs?

Algunos de los resultados en el análisis económico comparativo acerca del empleo de soluciones ROADM frente a OADM se representan en la figura 3.4, lo que confirma que la instalación de ROADMs en las redes proporciona un rol positivo y una mayor escalabilidad y flexibilidad en la gestión de la red, estudiado en sistemas ONS 15454 ROADM de la empresa Cisco.

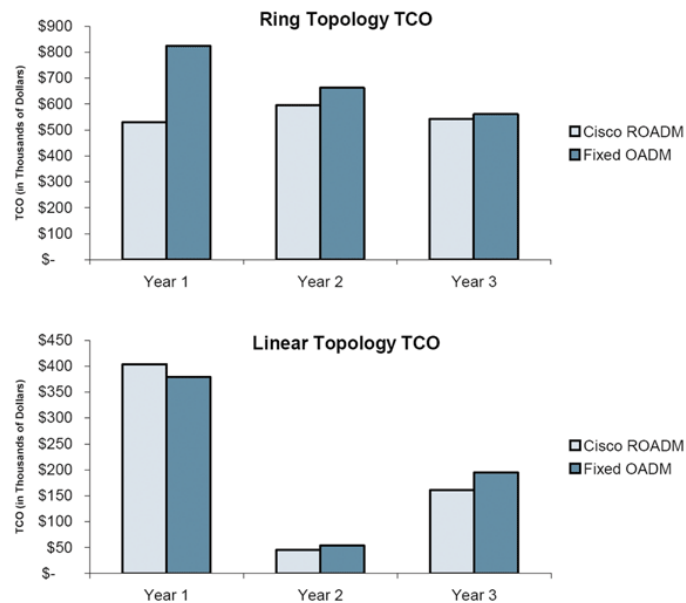


Figura 3.4 Costos totales para dos tipos de configuraciones de red⁵

3.2.2 FIBRAS ÓPTICAS DISPONIBLES EN LAS REDES

Como se aprecia en el capítulo 2, en la descripción de las redes instaladas actualmente, solamente el Anillo Aeropuerto consta en su totalidad por fibra óptica monomodo de 12 hilos de la Recomendación G.652 trabajando en la ventana de los 1310 nm., para el cambio a la tecnología DWDM se trabajará con fibra óptica monomodo de 12 hilos de la Recomendación G.655 trabajando en la ventana de los 1550 nm., con 40 longitudes de onda o canales a disposición, ya que es la que mejor se adapta para sistemas DWDM, reduciendo el efecto de las no linealidades que siempre están presentes en estos sistemas DWDM. Igualmente se instalará fibra óptica de la Recomendación G.655 en las otras redes que poco a poco han sido migradas a fibra óptica y así mismo en las redes que tienen enlaces de radio, por el motivo anteriormente expuesto.

⁵ Fuente: Network Strategy Partners, LLC

3.2.3 UBICACIÓN DE LOS NODOS

Cabe recalcar que para la integración de la tecnología DWDM con la técnica de transmisión SDH, se necesita ubicar cada nodo SDH de las redes que operan actualmente en la Región 2, y así poder instalar el respectivo equipo DWDM, así se justificaría la integración de estas tecnologías; se diseñará tres anillos DWDM, en base a los anillos SDH siguientes:

- Anillo SDH Pichincha (Figura 3.5)
- Anillo SDH Aeropuerto (Figura 3.6)
- Anillo SDH Oriente (Figura 3.7)

3.2.3.1 Para el Anillo SDH Pichincha (Red Norte y Red Pichincha)

Como se conoce, el nuevo Anillo SDH Pichincha conformado por la red Norte y la red Pichincha SDH instaladas actualmente, cuenta con pocos trayectos de fibra óptica, estos son: Quito Centro a Repetidor San Juan, Atahualpa a Chavezpamba, Chavezpamba a Perucho, Perucho a Puellaró, Quito Centro a San Rafael y Alangasí a La Merced, todos estos trayectos con fibra óptica monomodo de 12 hilos de la Recomendación G.652 trabajando en la ventana de los 1310 nm., y que serán reemplazados por la Recomendación G.655 para mayores beneficios.

A continuación en la figura 3.5, se indica de una manera clara y sencilla los nodos SDH que están involucrados para la integración de equipos DWDM y también se indica las distancias de los enlaces que intervienen entre cada nodo para el nuevo Anillo SDH/DWDM Pichincha:

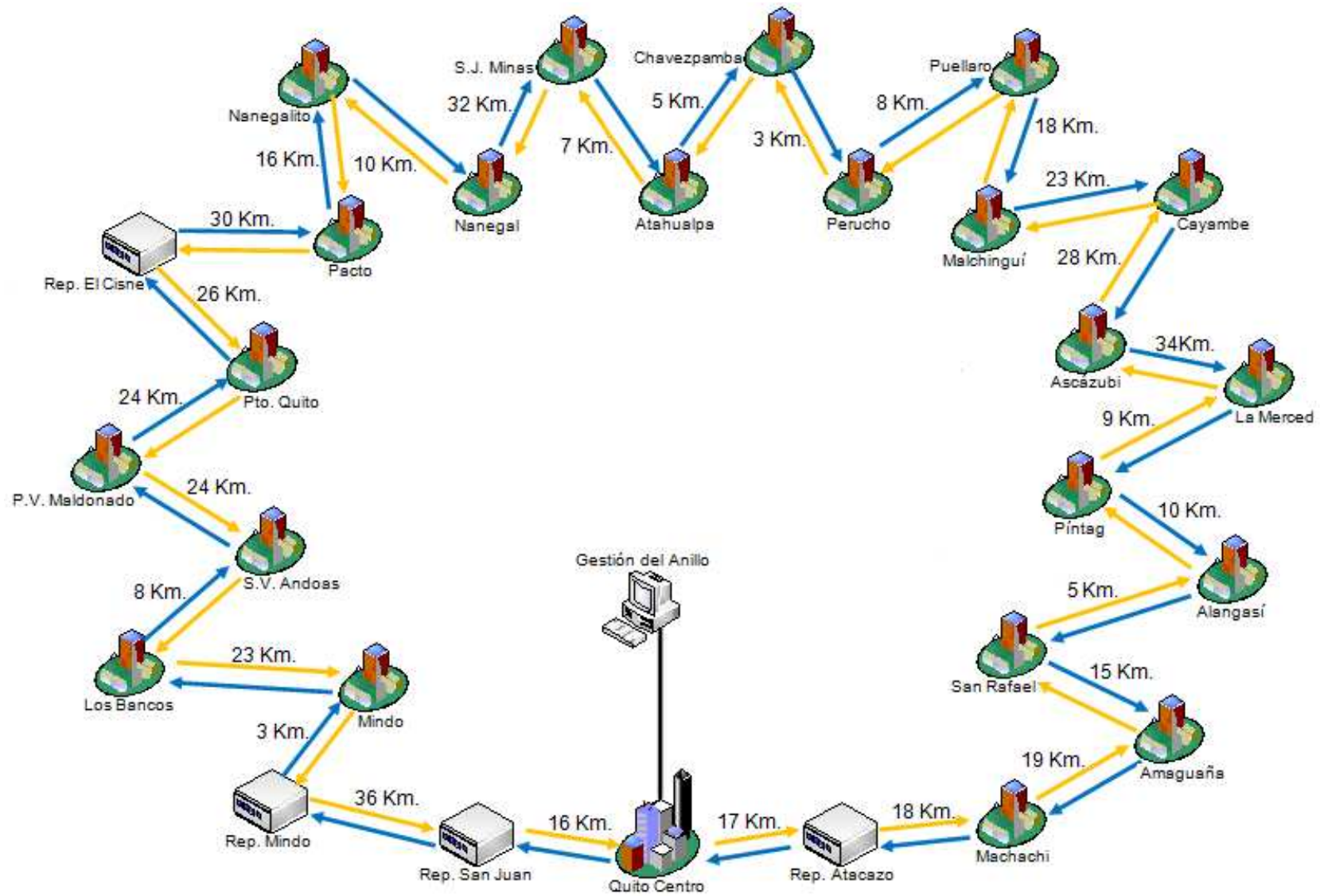


Figura 3.5 Anillo SDH para la integración con DWDM (Pichincha)

En la tabla 3.1 se indica la distancia de la fibra óptica entre los nodos ubicados dentro del anillo SDH a integrar:

ENLACE	DISTANCIA DE LA FIBRA ÓPTICA (Km.)
Quito Centro – Rep. San Juan	16
Rep. San Juan – Rep. Mindo	36
Rep. Mindo – Mindo	3
Mindo – Los Bancos	23
Los Bancos – S. V. Andoas	8
S. V. Andoas – P. V. Maldonado	24
P. V. Maldonado – Pto. Quito	24
Pto. Quito – Rep. El Cisne	26
Rep. El Cisne – Pacto	30
Pacto – Nanegalito	16
Nanegalito – Nanegal	10
Nanegal – S. J. Minas	32
S. J. Minas – Atahualpa	7
Atahualpa – Chavezpamba	5
Chavezpamba – Perucho	3
Perucho – Puellaró	8
Puellaró – Malchinguí	18
Malchinguí – Cayambe	23
Cayambe – Ascázubi	28
Ascázubi – La Merced	34
La Merced – Píntag	9
Píntag – Alangasí	10
Alangasí – San Rafael	5
San Rafael – Amaguaña	15

Amaguaña – Machachi	19
Machachi – Rep. Atacazo	18
Rep. Atacazo – Quito Centro	17
TOTAL:	467

Tabla 3.1 Distancias de la fibra óptica para los enlaces del Anillo SDH Pichincha

Como se observa en la tabla anterior, las distancias que recorre la fibra óptica no son muy extensas, por lo que no se necesita amplificadores ópticos (AO) extras a los que vienen incorporados en el bloque DWDM (ROADM y AO), y también como la distancia total de la fibra óptica de este anillo no supera los 640 Km. no es necesario implementar repetidores, tal como se explica en la Recomendación G.655. Pero en nuestro caso se habilitó los repetidores: San Juan, Mindo, El Cisne y Atacazo porque de una u otra forma, tres de estos repetidores se encuentran instalados y se aprovechará los equipos que poco a poco están siendo migrados a fibra óptica y que actualmente operan en estos repetidores como equipos de respaldo, generadores de energía extra, etc.

Se instaló un nuevo repetidor ubicado en la población El Cisne (figura 3.5), y que lleva su mismo nombre, el motivo de este repetidor es dar cabida a algunos equipos que serán de gran utilidad como los equipos antes mencionados, y que realizará el mismo trabajo que los otros repetidores; otro punto importante es la geografía del sector, ya que es muy difícil el transporte de tan sofisticados equipos, es por eso que este repetidor será muy útil en el punto de satisfacer necesidades a los nodos aledaños.

3.2.3.2 Anillo SDH Aeropuerto (Anillo Aeropuerto)

El nuevo Anillo SDH Aeropuerto en si es el mismo Anillo Aeropuerto SDH instalado actualmente, todos los trayectos son de fibra óptica monomodo de 12 hilos de la Recomendación G.652 trabajando en la ventana de los 1310 nm., y que serán reemplazados por la Recomendación G.655 para mayores beneficios que ofrece la tecnología DWDM.

A continuación en la figura 3.6, se indica de una manera clara y sencilla los nodos SDH que están involucrados para la integración de equipos DWDM y también se indica las distancias de los enlaces que intervienen entre cada nodo para el nuevo Anillo SDH/DWDM Aeropuerto:

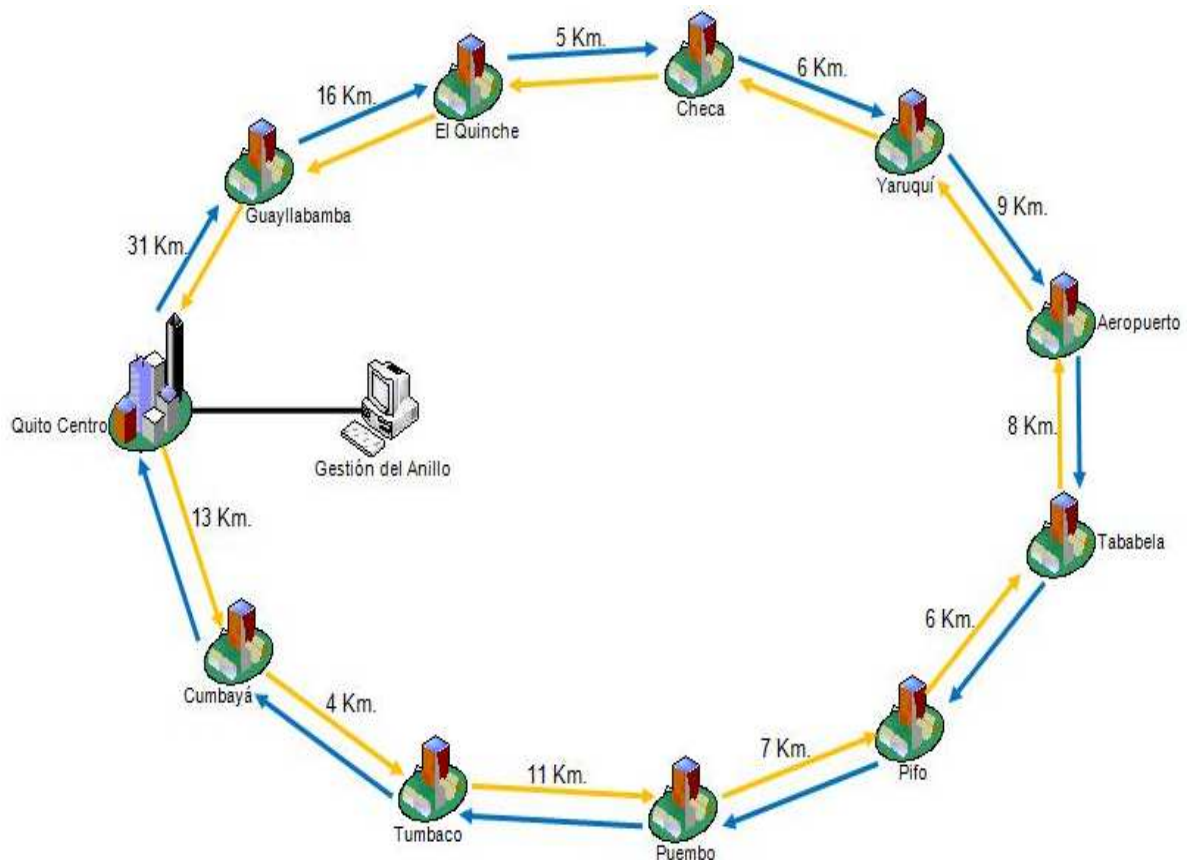


Figura 3.6 Anillo SDH para la integración con DWDM (Aeropuerto)

En la tabla 3.2 se indica la distancia de la fibra óptica entre los nodos ubicados dentro del anillo SDH a integrar:

ENLACE	DISTANCIA DE LA FIBRA ÓPTICA (Km.)
Quito Centro – Cumbayá	13
Cumbayá – Tumbaco	4
Tumbaco – Puembo	11
Puembo – Pifo	7
Pifo – Tababela	6
Tababela – Aeropuerto	8
Aeropuerto – Yaruquí	9
Yaruquí – Checa	6
Checa – El Quinche	5
El Quinche – Guayllabamba	16
Guayllabamba – Quito Centro	31
TOTAL:	116

Tabla 3.2 Distancias de la fibra óptica para los enlaces del Anillo SDH Aeropuerto

Como se puede observar en la tabla anterior, las distancias que recorre la fibra óptica no son muy extensas, al igual que los enlaces de los nodos SDH del anillo Pichincha, por lo que no se necesita amplificadores ópticos (AO) extras a los que vienen incorporados en el bloque DWDM (ROADM y AO), y también como la distancia total de la fibra óptica de este anillo no supera los 640 Km. no es necesario implementar repetidores, tal como se explica en la Recomendación G.655.

3.2.3.3 Anillo SDH Oriente (Anillo Oriente y Anillo Oriente Huawei)

El nuevo Anillo SDH Oriente conformado por el Anillo Oriente y el Anillo Oriente Huawei SDH instaladas actualmente, cuenta con pocos trayectos de fibra óptica, estos son: Quito Centro a Repetidor San Juan, Quito Centro a Ambato, Quito Centro a Repetidor Cruz Loma, Puyo a Calvario, Tena a Paushiyacu, Coca a Joya de los Sachas, Joya de los Sachas a Jivino, Jivino a 7 de Julio, Jivino a S.P. Cofanes, S.P. Cofanes a El Eno, El Eno a Lago Agrio, Lago Agrio a Sta. Cecilia 1, todos estos trayectos con fibra óptica monomodo de 12 hilos de la Recomendación G.652 trabajando en la ventana de los 1310 nm., y que serán reemplazados por la Recomendación G.655 para mayores beneficios.

A continuación en la figura 3.7, se indica de una manera clara y sencilla los nodos SDH que están involucrados para la integración de equipos DWDM y también se indica las distancias de los enlaces que intervienen entre cada nodo para el nuevo Anillo SDH/DWDM Oriente:

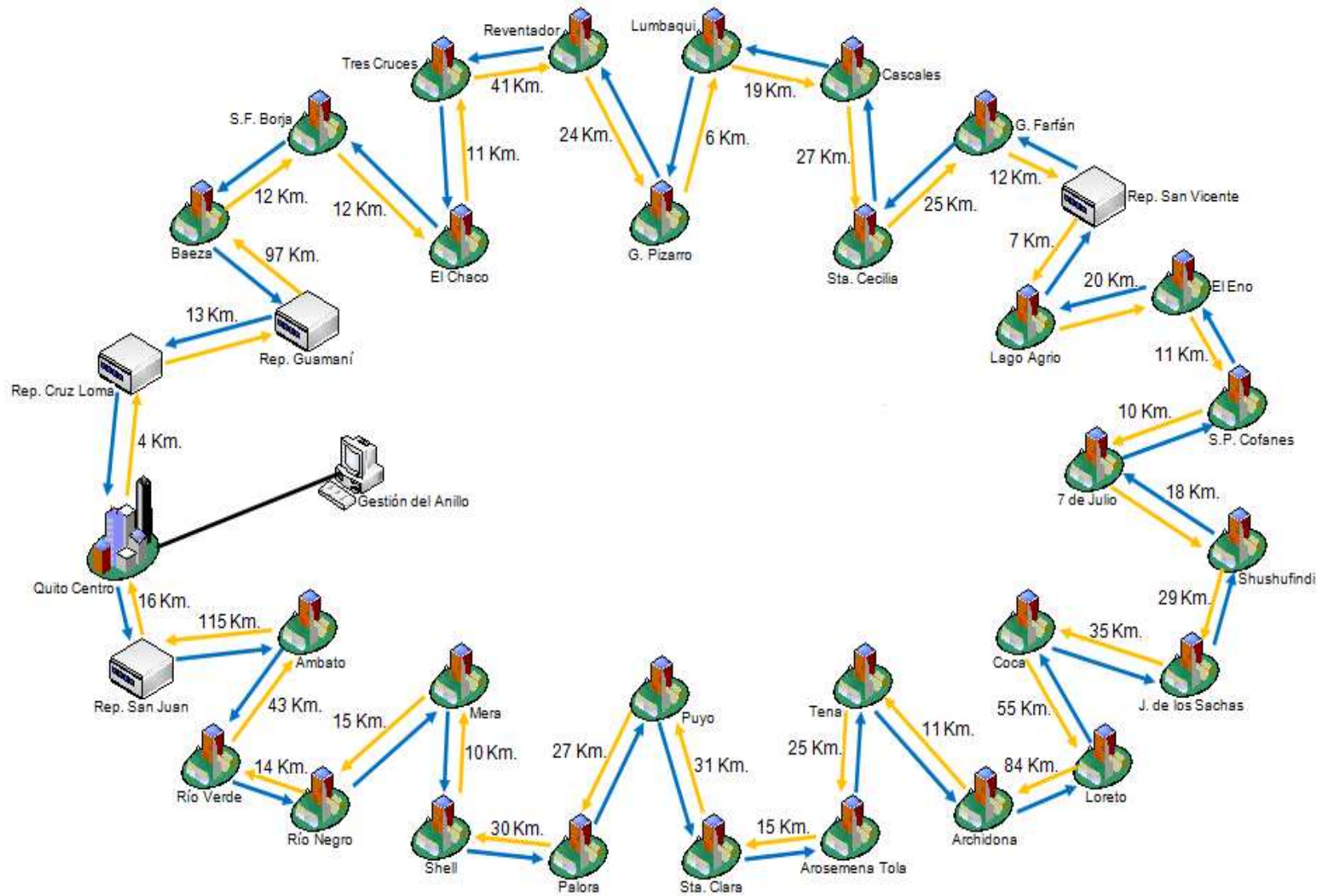


Figura 3.7 Anillo SDH para la integración con DWDM (Oriente)

En la tabla 3.3 se indica la distancia de la fibra óptica entre los nodos ubicados dentro del anillo SDH a integrar:

ENLACE	DISTANCIA DE LA FIBRA ÓPTICA (Km.)
Quito Centro – Rep. San Juan	16
Rep. San Juan – Ambato	115
Ambato – Río Verde	43
Río Verde – Río Negro	14
Río Negro – Mera	15
Mera – Shell	10
Shell – Palora	30
Palora – Puyo	27
Puyo – Sta. Clara	31
Sta. Clara – Arosemena Tola	15
Arosemena Tola – Tena	25
Tena – Archidona	11
Archidona – Loreto	84
Loreto – Coca	55
Coca – J. de los Sachas	35
J. de los Sachas – Shushufindi	29
Shushufindi – 7 de Julio	18
7 de Julio – S. P. Cofanes	10
S. P. Cofanes – El Eno	11
El Eno – Lago Agrio	20
Lago Agrio – Rep. San Vicente	7
Rep. San Vicente – G. Farfán	12
G. Farfán – Sta. Cecilia	25
Sta. Cecilia – Cascales	27

Cascales – Lumbaqui	19
Lumbaqui – G. Pizarro	6
G. Pizarro – Reventador	24
Reventador – Tres Cruces	41
Tres Cruces – El Chaco	11
El Chaco – S. F. Borja	12
S. F. Borja – Baeza	12
Baeza – Rep.Guamaní	97
Rep.Guamaní – Rep.Cruz Loma	13
Rep.Cruz Loma – Quito Centro	4
TOTAL:	924

Tabla 3.3 Distancias de la fibra óptica para los enlaces del Anillo SDH Oriente

Como se puede observar en la tabla anterior, las distancias que recorre la fibra óptica en algunos enlaces no son muy extensas, por lo que no se necesita amplificadores ópticos (AO) extras a los que vienen incorporados en el bloque DWDM (ROADM y AO).

En esta red se habilita los repetidores: San Juan, Cruz Loma y Guamaní porque de una u otra forma, estos repetidores se encuentran instalados y se aprovechará los equipos que poco a poco están siendo migrados a fibra óptica y que actualmente operan en estos repetidores como equipos de respaldo, generadores de energía extra, etc., aparte que son los más cercanos a la Central de gestión que se encuentra en Quito Centro, así dar estabilidad y evitar interferencias a las señales que entran y salen de la gestión de los diferentes anillos que opera Quito Centro.

Se instaló un nuevo repetidor ubicado en la población San Vicente (figura 3.7), al norte de la ciudad de Lago Agrio, el motivo de este repetidor es debido a que la distancia total de la fibra óptica de este anillo supera los 640 Km. por lo que es

necesario implementar repetidores, tal como se explica en la Recomendación G.655., también se dará cabida a algunos equipos que serán de gran utilidad como los equipos antes mencionados, y que realizará el mismo trabajo que los otros repetidores.

3.2.4 PARÁMETROS IMPORTANTES A CONSIDERAR EN EL DISEÑO DE LAS NUEVAS REDES DE INTEGRACIÓN SDH CON DWDM

Los parámetros más importantes que se debe considerar en cada enlace de fibra óptica de las nuevas redes son:

- La atenuación
- La dispersión

A continuación, se realiza los cálculos respectivos tanto de la atenuación como de la dispersión para cada enlace de fibra óptica en cada nueva red:

3.2.4.1 Atenuación

“Es la pérdida de potencia óptica en una fibra óptica, es decir, el desgaste que sufre la señal óptica en el trayecto de un enlace”⁶¹, por ende este punto es muy importante en el momento de proceder a la integración de los enlaces de fibra óptica.

La ecuación que se va a utilizar para el cálculo de la atenuación para los enlaces de cada nueva red es la siguiente:

⁶¹ <http://www.yio.com.ar/fo/atenuacion.html>

$$A = (L \times \alpha) + (N \times \alpha_e) + M \text{ [dB]} \quad \text{Ecuación 3.1}$$

Donde:

A = Atenuación del enlace [dB]

L = Longitud del enlace [Km]

α = Atenuación de la fibra óptica [dB/Km]

N = Número de empalmes

α_e = Atenuación por empalme [dB]

M = Margen de seguridad [dB]

Cabe recalcar que la longitud del enlace [Km] se puede obtener directamente de las tablas 3.1, 3.2 y 3.3. La Recomendación G.655 de la UIT-T, publica la atenuación de la fibra óptica [dB/Km] que es $\alpha = 0.25$ dB/Km. En esta publicación también expresa que la atenuación por empalme [dB] es $\alpha_e = 0.1$ dB., y el margen de seguridad [dB] es de $M = 3$ dB., en el que incluye la pérdida por conectores y restauraciones de tramos.

Para obtener el número de empalmes, se calcula dividiendo la longitud del enlace [Km] para la longitud que presenta la bobina [Km], cabe recalcar que la bobina de la fibra óptica a instalar es de 4 Km., a este resultado se suma 1, porque se debe considerar los empalmes que se hacen en cada extremo del enlace. El resultado debe ser aproximado al inmediato superior en caso de no ser un número entero, en fin, la ecuación a utilizar es la siguiente:

$$N = \frac{\text{Longitud del enlace [Km]}}{\text{Longitud de la bobina [Km]}} + 1 \quad \text{Ecuación 3.2}$$

Una vez obtenida la ecuación para el número de empalmes, se reemplaza valores e inmediatamente también se procede a reemplazar los datos en la ecuación

3.1, y así se obtiene la atenuación de cada enlace que se necesita para el diseño. Por ejemplo, en el enlace Quito Centro – Rep. San Juan, la longitud del enlace es 16 Km, de acuerdo a las ecuaciones 3.1 y 3.2 se tiene:

$$N = \frac{\text{Longitud del enlace [Km]}}{\text{Longitud de la bobina [Km]}} + 1 \quad A = (L \times \alpha) + (N \times \alpha_e) + M \text{ [dB]}$$

$$N = \frac{16 \text{ [Km]}}{4 \text{ [Km]}} + 1 \quad A = (16 \times 0.25) + (5 \times 0.1) + 3 \text{ [dB]}$$

$$N = 5 \quad A = 7.5 \text{ [dB]}$$

3.2.4.1.1 Anillo SDH para la integración DWDM (Pichincha)

En la tabla 3.4 se indica la atenuación que presenta cada enlace del anillo SDH para la integración DWDM (Pichincha):

ENLACE	ATENUACIÓN (dB)
Quito Centro – Rep. San Juan	7.5
Rep. San Juan – Rep. Mindo	13
Rep. Mindo – Mindo	3.95
Mindo – Los Bancos	9.45
Los Bancos – S. V. Andoas	5.3
S. V. Andoas – P. V. Maldonado	9.7
P. V. Maldonado – Pto. Quito	9.7
Pto. Quito – Rep. El Cisne	10.3
Rep. El Cisne – Pacto	11.4
Pacto – Nanegalito	7.5
Nanegalito – Nanegal	5.9
Nanegal – S. J. Minas	11.9

S. J. Minas – Atahualpa	5.05
Atahualpa – Chavezpamba	4.55
Chavezpamba – Perucho	3.95
Perucho – Puellaro	5.3
Puellaro – Malchinguí	8.1
Malchinguí – Cayambe	9.45
Cayambe – Ascázubi	10.8
Ascázubi – La Merced	12.5
La Merced – Píntag	5.65
Píntag – Alangasí	5.9
Alangasí – San Rafael	4.55
San Rafael – Amaguaña	7.25
Amaguaña – Machachi	8.35
Machachi – Rep. Atacazo	8.1
Rep. Atacazo – Quito Centro	7.85

Tabla 3.4 Atenuación de cada enlace del anillo SDH para la integración DWDM (Pichincha)

3.2.4.1.2 Anillo SDH para la integración DWDM (Aeropuerto)

En la tabla 3.5 se indica la atenuación que presenta cada enlace del anillo SDH para la integración DWDM (Aeropuerto):

ENLACE	ATENUACIÓN (dB)
Quito Centro – Cumbayá	6.75
Cumbayá – Tumbaco	4.2
Tumbaco – Puenbo	6.15
Puenbo – Pifo	5.05

Pifo – Tababela	4.8
Tababela – Aeropuerto	5.3
Aeropuerto – Yaruquí	5.65
Yaruquí – Checa	4.8
Checa – El Quinche	4.55
El Quinche – Guayllabamba	7.5
Guayllabamba – Quito Centro	11.65

Tabla 3.5 Atenuación de cada enlace del anillo SDH para la integración DWDM (Aeropuerto)

3.2.4.1.3 Anillo SDH para la integración DWDM (Oriente)

En la tabla 3.6 se indica la atenuación que presenta cada enlace del anillo SDH para la integración DWDM (Oriente):

ENLACE	ATENUACIÓN (dB)
Quito Centro – Rep. San Juan	7.5
Rep. San Juan – Ambato	34.75
Ambato – Río Verde	14.95
Río Verde – Río Negro	7
Río Negro – Mera	7.25
Mera – Shell	5.9
Shell – Palora	11.4
Palora – Puyo	10.55
Puyo – Sta. Clara	11.65
Sta. Clara – Arosemena Tola	7.25
Arosemena Tola – Tena	10.05
Tena – Archidona	6.15

Archidona – Loreto	26.2
Loreto – Coca	18.25
Coca – J. de los Sachas	12.75
J. de los Sachas – Shushufindi	11.15
Shushufindi – 7 de Julio	8.1
7 de Julio – S. P. Cofanes	5.9
S. P. Cofanes – El Eno	6.15
El Eno – Lago Agrio	8.6
Lago Agrio – Rep. San Vicente	5.05
Rep. San Vicente – G. Farfán	6.4
G. Farfán – Sta. Cecilia	10.05
Sta. Cecilia – Cascales	10.55
Cascales – Lumbaqui	8.35
Lumbaqui – G. Pizarro	4.8
G. Pizarro – Reventador	9.7
Reventador – Tres Cruces	14.45
Tres Cruces – El Chaco	6.15
El Chaco – S. F. Borja	6.4
S. F. Borja – Baeza	6.4
Baeza – Rep. Guamaní	29.85
Rep. Guamaní – Rep. Cruz Loma	6.75
Rep. Cruz Loma – Quito Centro	4.2

Tabla 3.6 Atenuación de cada enlace del anillo SDH para la integración DWDM (Oriente)

3.2.4.2 Dispersión

Se refiere a la máxima dispersión que se puede tolerar en una distancia límite.

$$L = \frac{T}{\gamma} [Km]$$

Ecuación 3.3

Donde:

L = Límite de dispersión [Km]

T = Tolerancia de dispersión [ps/nm]

γ = Coeficiente de dispersión [ps/nm.Km]

Según la Recomendación G.655 de la UIT-T, la mayoría de equipos tolera un máximo de $T = 12800$ [ps/nm] y también presenta al coeficiente de dispersión con valor $\gamma = 6$ ps/nm.Km. Por lo tanto:

$$L = \frac{12800}{6} [Km]$$

$$L = 2133.33 [Km]$$

El resultado nos indica que en el caso de tener distancias mayores a 2133.33 [Km] en los anillos, se debe utilizar un Módulo Compensador de Dispersión (DCM). Pero para nuestro diseño no se necesitará de forma obligatoria, ya que obviamente, los anillos no superan tan largas distancias.

3.2.5 DIAGRAMA GENERAL DEL DISEÑO DE LA INTEGRACIÓN SDH CON DWDM (SDH/DWDM)

La Central de Gestión de los nuevos anillos SDH/DWDM, se integrarán a la oficina ubicada en Quito Centro, apto para el trabajo de operación y mantenimiento de la red DWDM sin interferir con los equipos de gestión SDH, el sistema de gestión de estos equipos deben estar en constante monitoreo con la red.

3.2.5.1 Anillo SDH/DWDM Pichincha

A continuación en la figura 3.8 se aprecia claramente el diseño de la integración SDH con DWDM, para cada nodo SDH estructurado en la figura 3.5, y así visualizar fácilmente cómo se interconecta las dos tecnologías para el nuevo Anillo SDH/DWDM Pichincha.

Debido al tamaño del anillo, en esta figura 3.8 se limita de una manera considerable algunos nodos, ya que se puede entender que la integración es la misma para cualquier nodo de este anillo.

Se debe recalcar que la interconexión que realiza todo el anillo DWDM dentro de los bloques del mismo nombre, se lo realiza por medio del WSS y también hay que recordar que las señales SDH para integrar al bloque DWDM, pasan a través de multiplexores ópticos, una vez que la señal pasa por el OTN (visualizado en la figura 3.3 la estructura interna de un ROADM).

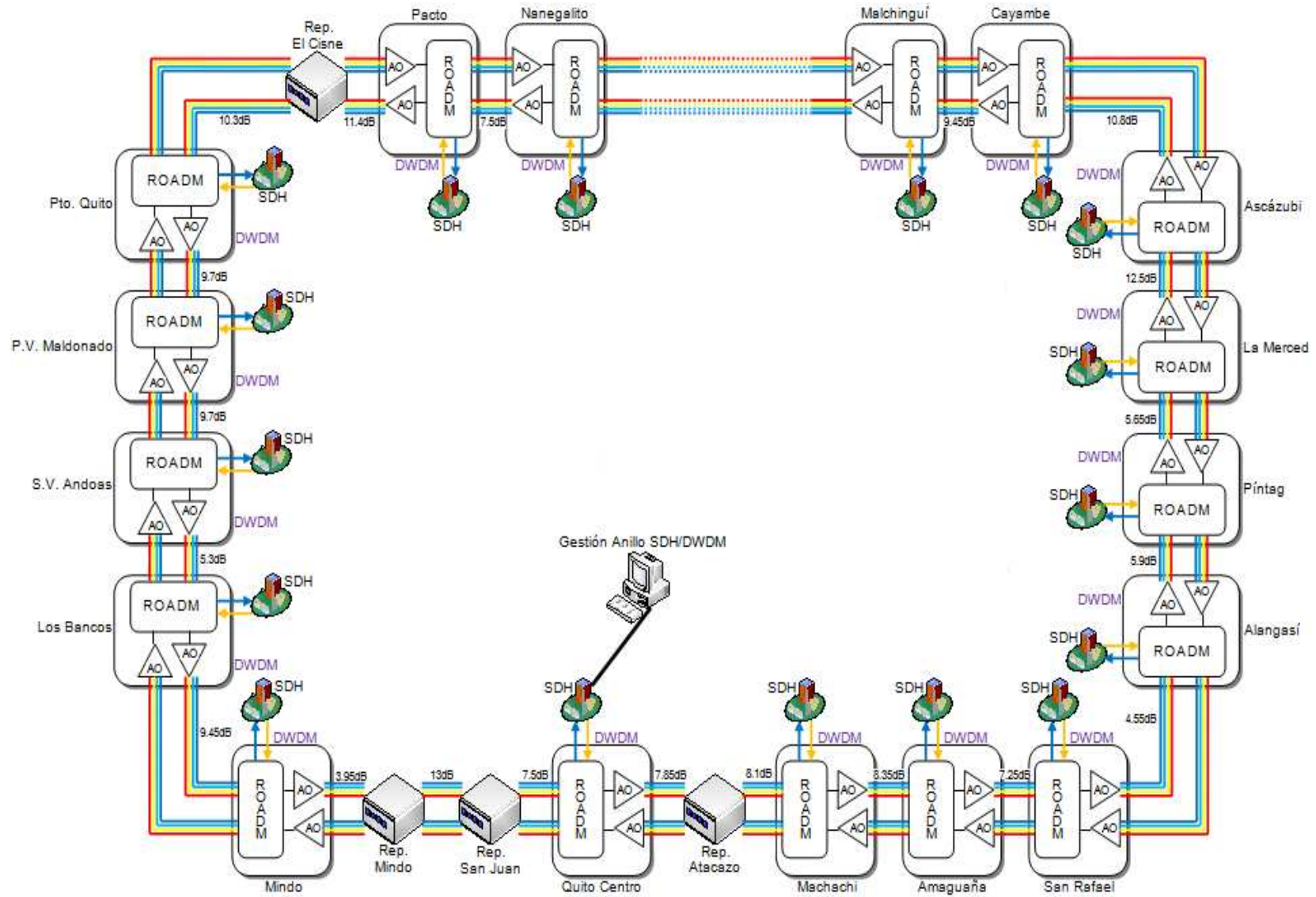


Figura 3.8 Anillo SDH/DWDM Pichincha

A continuación se describe los nodos donde se instalaron los nuevos equipos DWDM para el Anillo SDH/DWDM Pichincha:

Nodo Quito Centro	Nodo Perucho
Nodo Mindo	Nodo Puellaro
Nodo Los Bancos	Nodo Malchinguí
Nodo S. V. Andoas	Nodo Cayambe
Nodo P. V. Maldonado	Nodo Ascázubi
Nodo Pto. Quito	Nodo La Merced
Nodo Pacto	Nodo Píntag
Nodo Nanegalito	Nodo Alangasí
Nodo Nanegal	Nodo San Rafael
Nodo S. J. Minas	Nodo Amaguaña
Nodo Atahualpa	Nodo Machachi
Nodo Chavezpamba	

Todos estos nodos anteriormente mencionados, se incorporan a la tecnología DWDM mediante la interconexión de los ROADMs, obviamente conectándose a través de las interfaces ópticas, los láser emisores, los fotodetectores, etc. Los ROADMs son equipos capaces de extraer las longitudes que han sido asignadas, conectarlas al equipo SDH y volverlas a insertar al canal DWDM. La integración del ROADM con el equipo SDH se lo hace con fibra óptica e interfaces de alta velocidad. Los ROADMs dependen del número de canales que puedan ser insertadas ó extraídas en un enlace, por lo que el número de canales dependerá del uso que se haga con cada longitud de onda λ , como la red SDH ya instalada multiplexó toda la información hacia un mismo hilo de fibra, este nuevo sistema mantendrá la misma idea, por lo que el número de canales en cada ROADM serán los mismos. Y conforme aumente el tráfico se irán asignando mas longitudes de onda, y por lo tanto más canales a los ROADMs.

No hay que dejar de lado al amplificador óptico (AO), que cumple la función de amplificar la señal multiplexada o demultiplexada, para que pueda ser transmitida o receptada por el enlace hasta el siguiente nodo vecino.

La infraestructura ya instalada consta con ciertos equipos que serán de gran utilidad para la integración de SDH con DWDM, como por ejemplo: ODFs⁶² (*el ODF facilita la centralización, interconexión y derivación de fibra óptica, está diseñado para combinar altas densidades de fibras con facilidad de utilización, seguridad y sencillez de mantenimiento.*), para los puntos terminales de la fibra, rack de comunicación completamente equipado, equipos de respaldo eléctrico, equipos de control de temperatura (aire acondicionado), etc. La fibra óptica contiene 12 hilos, se tiene 12 acopladores SC de fibra de entrada y 12 acopladores SC de fibra de salida, a estos ODFs se conectan los equipos de tecnología Gigabit Ethernet y de tecnología SDH, para posteriormente conectarse al ROADM de tecnología DWDM.

Adicionalmente, en el nodo Quito Centro se ubicará el equipo que permita la gestión, la operación y el monitoreo respectivo para el mantenimiento del anillo SDH/DWDM.

Por último, los repetidores: San Juan, Mindo, El Cisne y Atacazo, harán el mismo trabajo que han venido realizando con la transmisión SDH, ya que de una u otra forma, tres de estos repetidores se encuentran instalados y se aprovechará los equipos que poco a poco están siendo migrados a fibra óptica y que actualmente operan en estos repetidores como equipos de respaldo, generadores de energía extra, etc.

⁶² <http://www.globalswitch.es/news/glossary.es.html#d>

3.2.5.2 Anillo SDH/DWDM Aeropuerto

A continuación en la figura 3.9 se aprecia claramente cómo se realiza la integración SDH con DWDM para cada nodo SDH estructurado en la figura 3.6, y así visualizar fácilmente cómo se interconecta las dos tecnologías para el nuevo Anillo SDH/DWDM Aeropuerto.

Se debe recalcar que la interconexión que realiza todo el anillo DWDM dentro de los bloques del mismo nombre, se lo realiza por medio del WSS y también hay que recordar que las señales SDH para integrar al bloque DWDM, pasan a través de multiplexores ópticos, una vez que la señal pasa por el OTN (visualizado en la figura 3.3 la estructura interna de un ROADM).

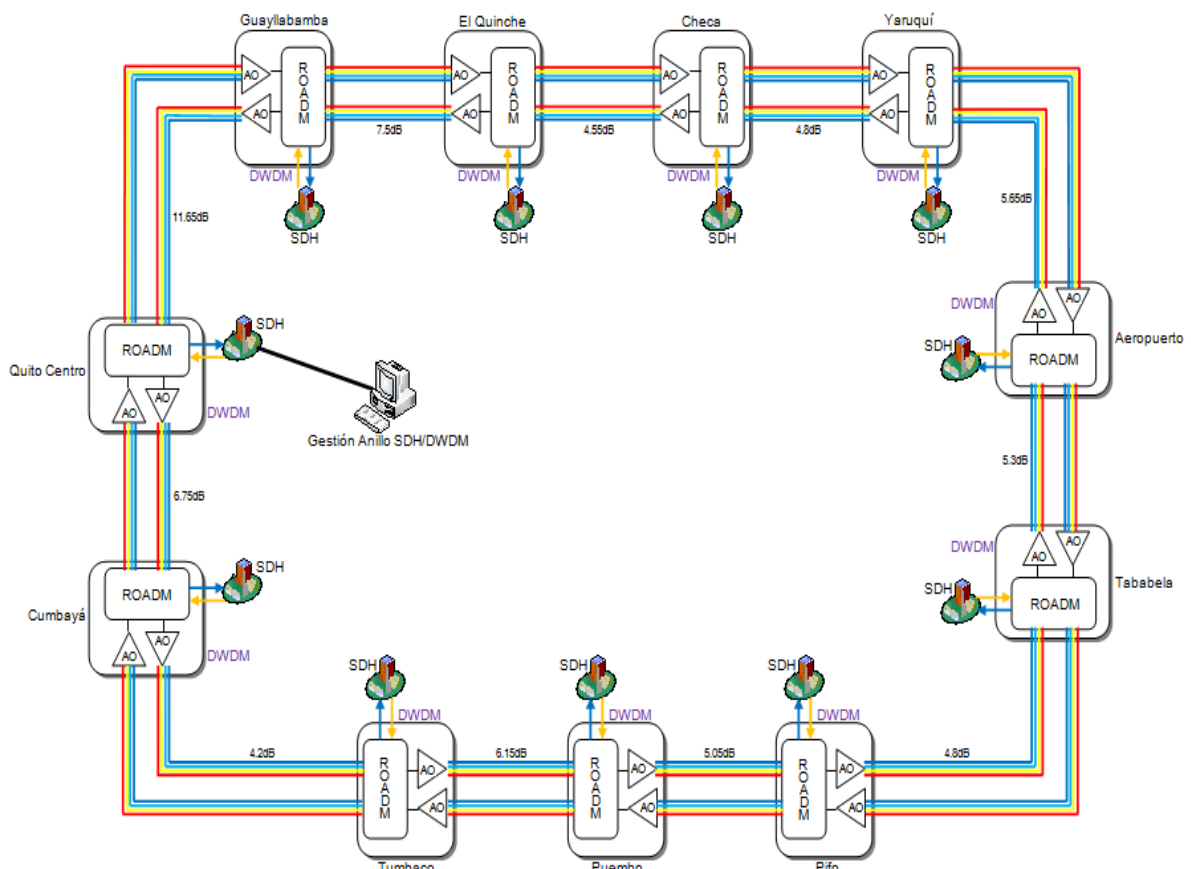


Figura 3.9 Anillo SDH/DWDM Aeropuerto

A continuación se describe los nodos donde se instalaron los nuevos equipos DWDM para el Anillo SDH/DWDM Aeropuerto:

- Nodo Quito Centro
- Nodo Cumbayá
- Nodo Tumbaco
- Nodo Puembo
- Nodo Pifo
- Nodo Tababela
- Nodo Aeropuerto
- Nodo Yaruquí
- Nodo Checa
- Nodo El Quinche
- Nodo Guayllabamba

Todos estos nodos anteriormente mencionados, se incorporan a la tecnología DWDM interconectándose con los equipos ROADMs y mediante los mismos equipos que se trataron para el anillo SDH/DWDM Pichincha, también no podemos olvidar que se cuenta con los amplificadores ópticos (AO).

Igualmente, en la infraestructura ya instalada consta con ciertos equipos que serán de gran utilidad para la integración de SDH con DWDM.

3.2.5.3 Anillo SDH/DWDM Oriente

A continuación en la figura 3.10 se aprecia claramente cómo se realiza la integración SDH con DWDM, para cada nodo SDH estructurado en la figura 3.7, y así visualizar fácilmente cómo se interconecta las dos tecnologías para el nuevo Anillo SDH/DWDM Oriente.

Debido al tamaño del anillo, en esta figura 3.10 se limita de una manera considerable algunos nodos, ya que se puede entender que la integración es la misma para cualquier nodo de este anillo.

Se debe recalcar que la interconexión que realiza todo el anillo DWDM dentro de los bloques del mismo nombre, se lo realiza por medio del WSS y también hay que recordar que las señales SDH para integrar al bloque DWDM, pasan a través de multiplexores ópticos, una vez que la señal pasa por el OTN (visualizado en la figura 3.3 la estructura interna de un ROADM).

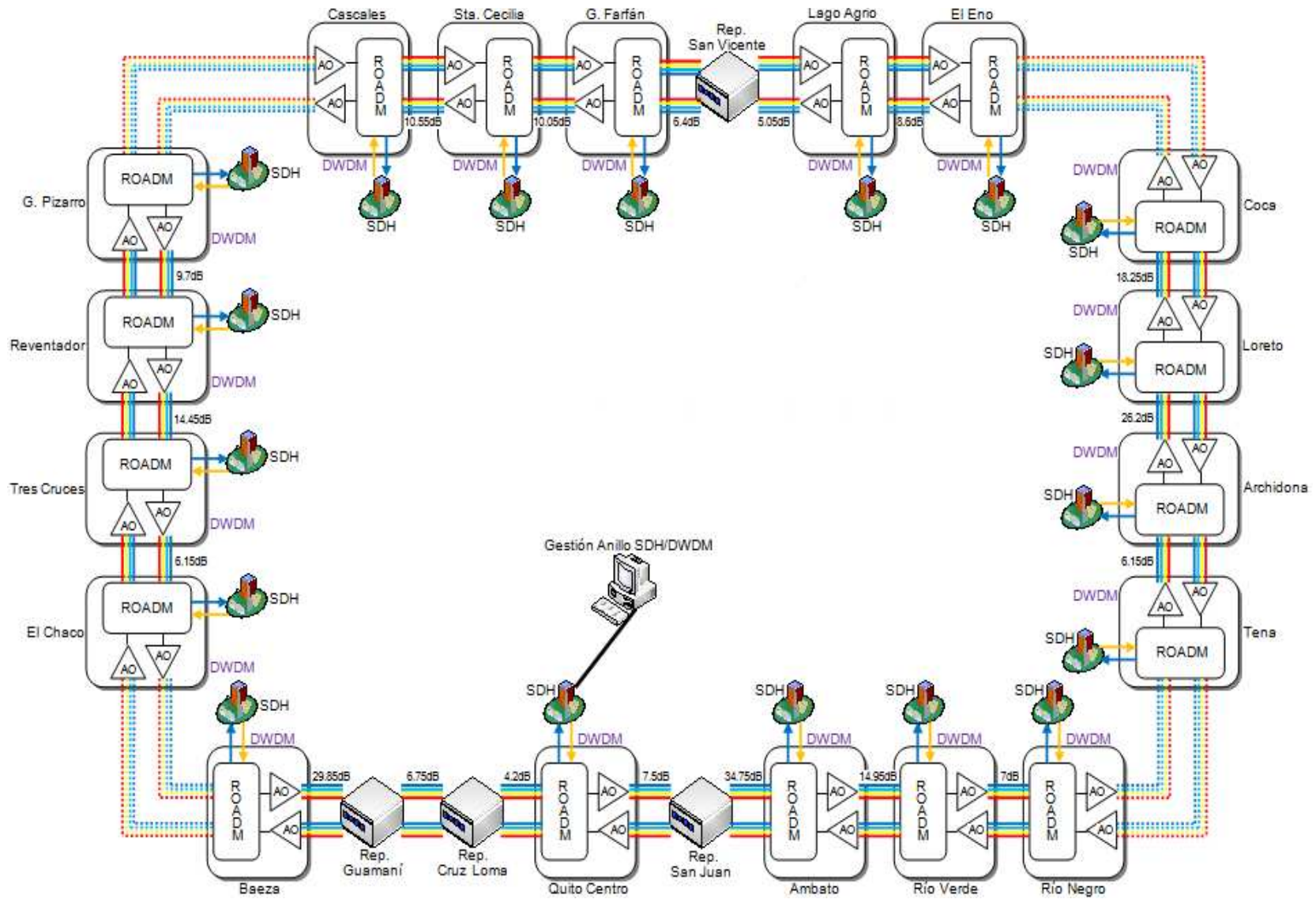


Figura 3.10 Anillo SDH/DWDM Oriente

A continuación se describe los nodos donde se deben instalar los nuevos equipos DWDM para el Anillo SDH/DWDM Oriente:

Nodo Quito Centro	Nodo Shushufindi
Nodo Ambato	Nodo 7 de Julio
Nodo Río Verde	Nodo S. P. Cofanes
Nodo Río Negro	Nodo El Eno
Nodo Mera	Nodo Lago Agrio
Nodo Shell	Nodo G. Farfán
Nodo Palora	Nodo Sta. Cecilia
Nodo Puyo	Nodo Cascales
Nodo Sta. Clara	Nodo Lumbaqui
Nodo Arosemena Tola	Nodo G. Pizarro
Nodo Tena	Nodo Reventador
Nodo Archidona	Nodo Tres Cruces
Nodo Loreto	Nodo El Chaco
Nodo Coca	Nodo S. F. de Borja
Nodo J. de los Sachas	Nodo Baeza

Todos estos nodos anteriormente mencionados, se incorporan a la tecnología DWDM interconectándose con los equipos ROADMs y mediante los mismos equipos que se trataron tanto para el anillo SDH/DWDM Pichincha como para el anillo SDH/DWDM Aeropuerto, también no podemos olvidar que se cuenta con los amplificadores ópticos (AO).

Es el anillo más extenso que se diseñó para la Corporación Nacional de Telecomunicaciones CNT S.A., recordemos que la infraestructura ya instalada consta con ciertos equipos que serán de gran utilidad para la integración de SDH con DWDM.

Igualmente que en los anillos anteriores, en el nodo Quito Centro se ubicará el equipo que permita la gestión, la operación y el monitoreo respectivo para el mantenimiento del anillo SDH/DWDM.

Por último, los repetidores: San Juan, San Vicente, Guamaní, y Cruz Loma, harán el mismo trabajo que han venido realizando con la transmisión SDH, ya que de una u otra forma, tres de estos repetidores se encuentran instalados y se aprovechará los equipos que poco a poco están siendo migrados a fibra óptica y que actualmente operan en estos repetidores como equipos de respaldo, generadores de energía extra, etc. El nuevo repetidor San Vicente fue instalado por ser un punto estratégico y también porque este tendrá que regenerar la señal óptica, recordemos que la distancia que recorre la fibra óptica en este anillo supera los 640 Km permitidos entre regeneradores de la señal.

3.2.6 TRANSMISIÓN DE VOZ, DATOS Y VIDEO

Estos servicios se incluyen a los nuevos anillos SDH/DWDM interconectando directamente los equipos (switch si es necesario) respectivos para cada servicio a los ROADMs, la conexión es muy sencilla, debido a que la configuración de los ROADMs generan esta facilidad a través de las interfaces ópticas y así conectarlos directamente, los equipos se los puede colocar en nodos estratégicos y de fácil acceso para el personal a cargo de su operación y mantenimiento, los equipos de los servicios se colocarán en el nodo Quito Centro debido a que facilitaría el trabajo en el momento de tener alguna falla en la transmisión, ya que allí se encuentra el centro de gestión de toda la Región 2, a continuación en la figura 3.11 se visualiza la conexión:

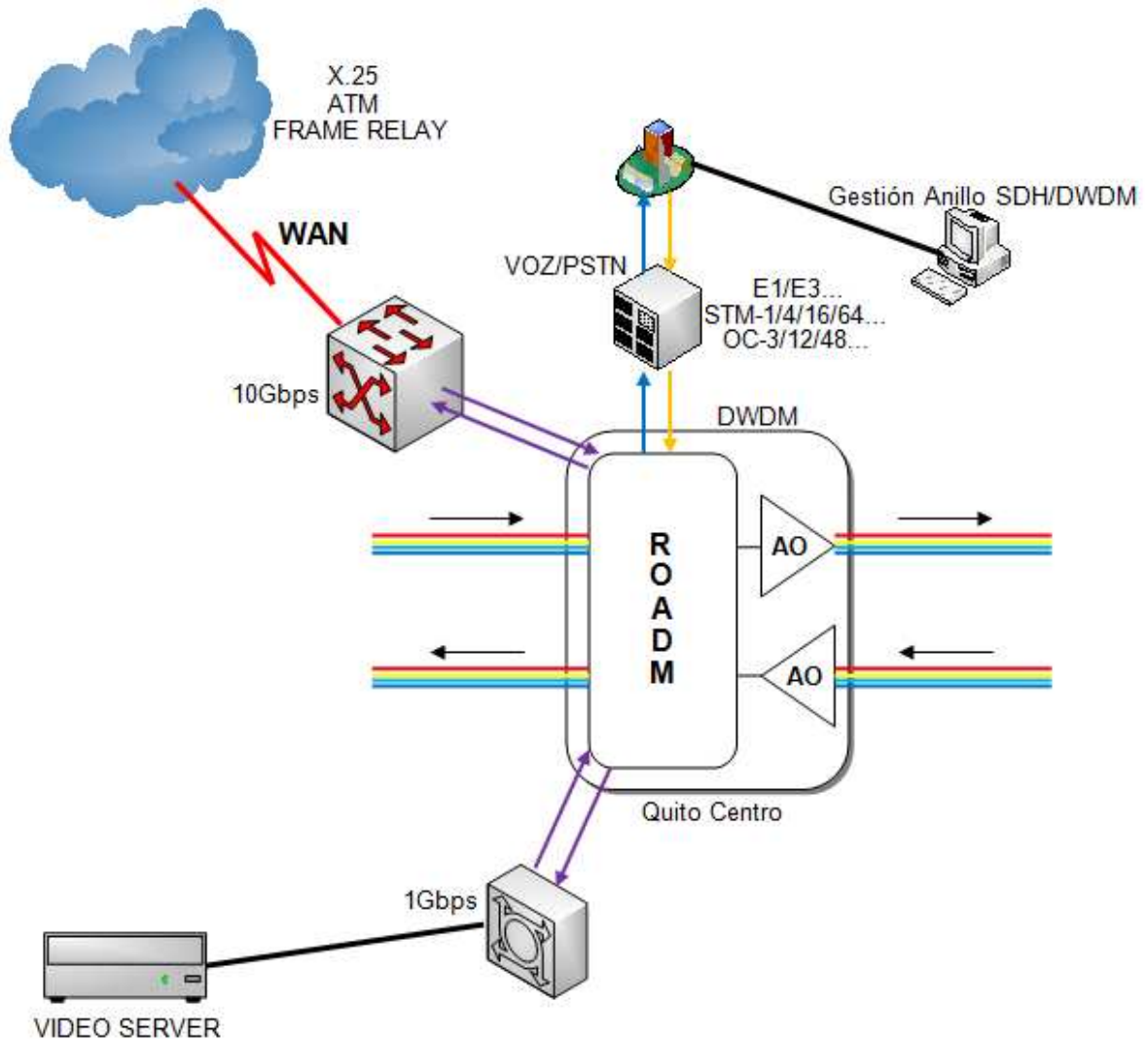


Figura 3.11 Interconexión de los servicios

Como se aprecia en la figura anterior, la conexión es sencilla, el bloque de la transmisión de voz generalmente se basa en tecnología SDH, el bloque de la transmisión de datos se basa en transmisiones a través de redes WAN con tecnologías más comunes como X.25, ATM, Frame Relay, y es por este camino que puedo salir al mundo exterior. En el bloque de transmisión de video se necesita el servidor que me permitirá prestar este servicio, la interconexión entre estos servicios y el ROADM puede realizarlo a través de cable UTP ó fibra óptica, dependiendo de

los equipos. Donde se debe poner atención es en la asignación de las longitudes de onda λ , ya que la transmisión se lo realizará a través de cada canal, dependiendo de la fibra óptica y del número de canales totales de esta. Otro punto importante es comentar sobre los tres anillos, es decir, cada anillo SDH/DWDM en este caso son anillos de *capa core* ó *red core* (núcleo ó principal) donde directamente se conectará los switch de los servicios mencionados.

En el momento de la asignación de las longitudes de onda λ , hay que tomar en cuenta la Recomendación G.692 de la UIT-T, que define “*el uso del canal óptico de servicio (OSC) se configura en los 1550 nm.*”, es la longitud de onda preferida para un OSC, con la finalidad de hacer un monitoreo interno de las longitudes de onda λ que se están transmitiendo y también define que una fibra óptica de 40 canales debe transmitirse en el rango de 1530 nm a 1565 nm. (Banda C comprendida en la tercera ventana de transmisión) con un espaciamiento de 100 GHz., tal como se trato en el capítulo 1 sección 1.4. La asignación de canales o de longitudes de onda λ , se basan en las frecuencias centrales nominales también de acuerdo a las Recomendaciones G.692 y G.694.1 de la UIT-T.

Como se aprecia en el capítulo 2, sobre la situación actual de la Región 2 de la CNT S.A. la transmisión de voz en tres de estas redes abarcan más porcentaje de crecimiento que la transmisión de datos, por lo cual se usará mas longitudes de onda para la transmisión de voz que para las de datos, se dejará canales libres debido a los crecimientos futuros que se presentará para los servicios de internet avanzadas como aplicaciones de IPTv, VoIP, etc., y demás aplicaciones multimedia (voz, datos y video).

En la tabla 3.7, se indica el número de canales que se usarían para los servicios de transmisión de voz, datos y video, incluyendo aplicaciones de internet:

λ (nm.)	CAPACIDAD	TÉCNICA	SERVICIO
1563.86	STM-64	SDH	VOZ
1563.05	STM-64	SDH	VOZ
1562.23	STM-64	SDH	VOZ
1561.42	STM-64	SDH	VOZ
1560.61	STM-64	SDH	VOZ
1559.79	STM-64	SDH	VOZ
1558.98	STM-64	SDH	VOZ
1558.17	STM-64	SDH	VOZ
1557.36	STM-64	SDH	VOZ
1556.55	STM-64	LIBRE	VOZ
1555.75	STM-64	LIBRE	VOZ
1554.94	STM-64	LIBRE	VOZ
1554.13	STM-64	LIBRE	VOZ
1553.33	STM-64	LIBRE	VOZ
1552.52	1Gbps	GbE	DATOS
1551.72	1Gbps	GbE	DATOS
1550.92	1Gbps	GbE	DATOS
1550.12	1Gbps	GbE	DATOS
1550	<i>CANAL ÓPTICO DE SERVICIO</i>		
1549.32	1Gbps	GbE	DATOS
1548.51	1Gbps	GbE	DATOS
1547.72	1Gbps	LIBRE	DATOS
1546.92	1Gbps	LIBRE	DATOS
1546.12	1Gbps	LIBRE	DATOS
1545.32	1Gbps	LIBRE	DATOS
1544.53	1Gbps	GbE	VIDEO
1543.73	1Gbps	GbE	VIDEO
1542.94	1Gbps	GbE	VIDEO

1542.14	1Gbps	GbE	VIDEO
1541.35	1Gbps	GbE	VIDEO
1540.56	1Gbps	LIBRE	VIDEO
1539.77	1Gbps	LIBRE	VIDEO
1538.98	1Gbps	LIBRE	VIDEO
1538.19	STM-64	SDH	AP. INTERNET
1537.40	STM-64	LIBRE	AP. INTERNET
1536.61	STM-64	LIBRE	AP. INTERNET
1535.82	STM-64	LIBRE	AP. INTERNET
1535.04	1Gbps	GbE	AP. INTERNET
1534.25	1Gbps	LIBRE	AP. INTERNET
1533.47	1Gbps	LIBRE	AP. INTERNET

Tabla 3.7 Asignación de longitudes de onda λ

En el momento de la asignación de las longitudes de onda λ , y debido a la alta demanda se sugiere usar 14 canales para el servicio de voz, 10 canales para el servicio de datos, 8 canales para el servicio de video y 7 canales para el servicio de aplicaciones de internet, teniendo un total de 39 canales ópticos de transmisión y 1 canal óptico de servicio (OSC), teniendo un 56.41% de canales ocupados y un 43.59% de canales libres, tal como se indica en la figura 3.12, para futuros crecimientos de la red cuando estas sean requeridas ó para servicios de arrendamiento a cualquier cliente ó empresa.

OCUPACIÓN TOTAL DE UNA FIBRA ÓPTICA DE 40 CANALES

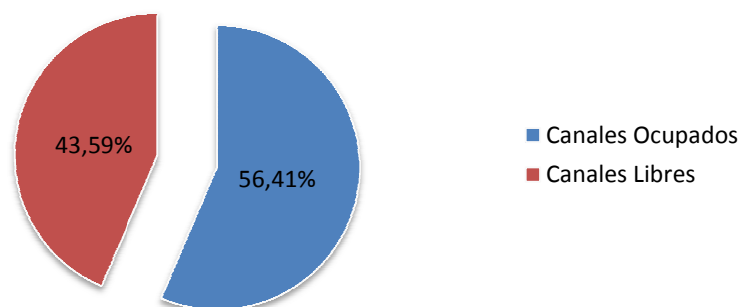


Figura 3.12 Ocupación total de una fibra óptica de 40 canales

3.2.7 EQUIPOS NECESARIOS PARA LA INTEGRACIÓN

Tomando en cuenta las figuras 3.8, 3.9 y 3.10, conjuntamente con la descripción de cada una de estas, se puede llegar a determinar cuántos equipos se necesitan para los nuevos anillos. La tabla 3.8 nos indica los equipos y cuántos de estos se necesita en total:

	ANILLOS SDH/DWDM			Total
	PICHINCHA	AEROPUERTO	ORIENTE	
Equipo de Gestión	1	1	1	3
ROADMs	23	11	30	64
Amplificadores Ópticos	23	11	30	64
Repetidores Ópticos	4	-	4	8
Interfaces Ópticas	$(4 \times 23) = 92$	$(4 \times 11) = 44$	$(4 \times 30) = 120$	256

Tabla 3.8 Equipos necesarios para la integración

3.2.8 SELECCIÓN DE EQUIPOS DE ACUERDO A LA INFRAESTRUCTURA

Como se aprecia en el capítulo 2, sobre la descripción de la situación actual de la red SDH, se tomó en cuenta muchos parámetros de las cuales una de las más importantes se encuentra en el Anillo Oriente Huawei, ya que por tratarse de una de las redes más grandes de la Región 2 ha estado expuesto a migraciones de equipos a cada momento, es por eso que se ocupará equipos ya instalados de la tecnología *Huawei*, y estos son los equipos OptiX OSN 3500, que debido a sus características tratadas en el Anexo B, se puede concluir que son ideales para transmisión de altas capacidades para transmisiones SDH, pero como este Proyecto trata las transmisiones DWDM, ocuparemos el OptiX BWS 1600G ideales para la tecnología DWDM.

“El OptiX BWS 1600G, es un sistema de gran capacidad y de largo alcance, desarrollado en base a los años de experiencia de la marca *Huawei* en el campo de la transmisión óptica. *Huawei* les proporciona a sus clientes una red de ultra largo alcance, las cuales son escalables, fiables, rentables, operables y manejables. Los equipos diseñados con una estructura modular, haciendo que el OptiX BWS 1600G tenga una fácil expansión de 40 canales (400Gbps) a 160 canales (1.6Tbps). Soporta topologías de fibra punto a punto, anillo y malla. Los equipos poseen interfaces ópticas como: OC-3/STM1, OC-12/STM4, OC-48/STM16, OC-192/STM64, etc.”⁶³

Algunas de las características más importantes se indican a continuación en la tabla 3.9:

⁶³ <http://www.huawei.com>

PARÁMETRO	OptiX BWS 1600G
Capacidad	400Gbps hasta 1600Gbps
Número de canales	40 (400Gbps); 160 (160Gbps)
Interfaces	OC-192/STM-64 OC-48/STM-16 OC-12/STM-4 OC-3/STM-1 FICON, ESCON, Fiber Channel, FDDI, PDH (34M/45M/140M), Fast Ethernet, Gigabit Ethernet, 10 Gigabit Ethernet, DVB-ASI
Distancia sin regeneración	4000 Km
Banda de operación	C y L
Gestión	T - 2000, SNMP, System Manager
Topologías	Punto a Punto, Anillo y Malla
Costos	400,000

Tabla 3.9 Equipos OptiX BWS 1600G DWDM System

Como se observa en la tabla anterior, el equipo seleccionado generalmente presenta mejores características en estos parámetros, y eso es una gran ventaja al momento de la transmisión, sin embargo, el equipo al ser uno de los mejores es más costoso respecto a otros equipos que se podría utilizar, pero como el Proyecto trata de utilizar en gran parte la infraestructura y su tecnología *Huawei*, será el OptiX BWS 1600G⁶⁴ el equipo a integrar e instalar.

⁶⁴ Ver ANEXO E – OptiX BWS 1600G DWDM system

3.2.9 PLAN DE INTEGRACIÓN E INSTALACIÓN DE EQUIPOS

Para el plan de integración, se hace un resumen de cómo se ha logrado la integración de la tecnología DWDM con la técnica SDH.

Para llegar a la integración se debe primero realizar una descripción de la red SDH a integrarse con la tecnología DWDM, con esto se logra ubicar y describir parámetros, como equipos se actualmente están en funcionamiento, que ubicación de la Región 2 abarca cada red, etc. (capítulo 2, sección 2.2).

Con los datos obtenidos del estudio de la situación actual de las redes de la Región 2 a integrarse, se procede a realizar una proyección de tráfico (capítulo 2, sección 2.2.6), con esta proyección sabremos cuanto es la capacidad que necesitaría la red a futuro, y de esta forma sabremos si la solución es integrar o no la tecnología DWDM con SDH.

Se debe realizar un estudio de la disponibilidad de hilos de fibra óptica, para saber si existen hilos de fibra óptica que puedan ayudar a la integración, a partir de esto se debe describir la ubicación de los nodos de la antigua red, con esta información se sabrá cuántos nodos se necesitará para la integración SDH/DWDM (capítulo 3, sección 3.2.2 y sección 3.2.3).

Como todo enlace de fibra óptica se deberá realizar cálculos de atenuación de enlaces y de dispersión, que son los parámetros más importantes en una transmisión (capítulo 3, sección 3.2.4).

A continuación, se realiza las figuras correspondientes a los nuevos anillos SDH/DWDM, indicando como están conectados los equipos. Después se debe seguir con la descripción de estos anillos (capítulo 3, sección 3.2.5) y la asignación de longitudes de onda λ respectivas (capítulo 3, sección 3.2.6) y por último se explica que equipos se usaría para la integración (capítulo 3, sección 3.2.7).

Una vez conocido todos los equipos necesarios para la integración, se procede a seleccionar el equipo con tecnología DWDM, que se ajusten a los requerimientos del diseño de los anillos y a la infraestructura existente en la Región 2 de la Corporación Nacional de Telecomunicaciones CNT S.A. (capítulo 3, sección 3.2.8).

Los equipos deberán ubicarse en las mismas instalaciones donde se encuentran los equipos SDH, estas instalaciones cumplen con todos los requisitos técnicos para el buen funcionamiento de un equipo DWDM.

El equipo de gestión deberá ubicarse en un lugar donde se pueda tener acceso a otro tipo de información de administración, este lugar será en Quito Centro.

Una vez instalados los equipos DWDM y sean integrados los equipos SDH, se debe hacer algunas mediciones, entre las más principales están la atenuación, nivel de potencia, relación señal a ruido óptico (OSNR) y la tasa de error (BER), para lo cual se usará el canal óptico de servicio (OSC). También se usará equipos como un reflectómetro óptico en el dominio del tiempo (OTDR), el analizador de espectros ópticos (OSA), un medidor de potencia y un analizador de tasa de error. El OTDR inyecta un pulso de luz de corta duración dentro del hilo de fibra óptica, cuando este pulso en su camino encuentra empalmes, conectores y cortes de fibra, parte de esta energía del pulso es reflejada. Como la velocidad de la luz es conocida el dispositivo puede calcular la distancia de cada evento y mostrarlos en una pantalla. El OSA realiza mediciones de las diferentes longitudes de onda λ empleada en un diseño, dentro de las mediciones más relevantes se encuentran la potencia del canal, la longitud de onda de operación del canal, el OSNR, el ancho de cada canal y la separación entre canales. El analizador de tasa de error, permite tener una medida de BER y comprobarlo con los valores de aceptación del equipo.

CAPÍTULO IV

4. PRESUPUESTO GENERAL DEL DISEÑO DE LOS ANILLOS DE INTEGRACIÓN SDH/DWDM

El presupuesto general se lo realiza de acuerdo a los diseños de los anillos y en base a datos referenciales de los equipos de la tabla 3.8, tabla 3.9, y a la operación (instalación, entrenamiento y mantenimiento) para los anillos de integración SDH/DWDM.

4.1 COSTOS REFERENCIALES DE EQUIPOS

A continuación en la tabla 4.1 se presenta los equipos que se necesitan para la integración SDH/DWDM, conjuntamente son sus costos referenciales extendidos por *Huawei Technologies Co., Ltd.*:

EQUIPOS	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO (USD)	PRECIO TOTAL (USD)
Equipos de Gestión	3	4,200	12,600
ROADMs	64	400,000	25'600,000
Interfaces Ópticas	(4x64)		
Amplificadores Ópticos	64		
Repetidores Ópticos	8	35,000	280,000
TOTAL (USD) ►			25'892,600

Tabla 4.1 Costos referenciales de equipos

Cabe recalcar que el costo general que presenta el equipo OptiX BWS 1600G DWDM System, incluye al equipo ROADM, a las interfaces ópticas y a los amplificadores ópticos, tal como se presenta en la tabla 4.1, incluyendo también la mano de obra, más no los costos de instalación.

4.2 COSTOS REFERENCIALES DE MATERIALES Y SUMINISTROS

A continuación en la tabla 4.2 se presenta los costos referenciales de materiales y suministros necesarios para la integración SDH/DWDM, igualmente costos extendidos por **Huawei Technologies Co., Ltd.:**

MATERIALES Y SUMINISTROS	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO (USD)	PRECIO TOTAL (USD)
Fibra Óptica (bobina de 4 Km)	377 bob.	4,300	1'621,100
Kit de herramientas para Fibra Óptica	8	3,281.30	26,250.40
Kit de herramientas para instalación y mantenimiento	8	297	2,376
Empalmes	374	136.45	51,032.30
TOTAL (USD) ►			1'700,758.70

Tabla 4.2 Costos referenciales de materiales y suministros

El costo de la fibra óptica y sus respectivos empalmes se calcularon a partir de los costos de la compañía proveedora *Huawei* y de la tabla 3.1, 3.2 y 3.3, es decir de sus distancias, ya que generalmente las bobinas que existen en el mercado son de 4 Km. Hay que acotar que el Kit de herramientas para Fibra Óptica generalmente consta de: Kit de herramientas básico, Repuestos básicos, Kit de herramientas

básico con PVFL (FI - 9000), Kit de herramientas básico con Soft Case y un Microscopio w/200x; el Kit de herramientas para instalación y mantenimiento es para todo el hardware de todos los anillos.

4.3 COSTOS REFERENCIALES DE OPERACIÓN

A continuación en la tabla 4.3 se presenta los costos referenciales respectivos de operación necesarios para la integración SDH/DWDM, igualmente costos extendidos por **Huawei Technologies Co., Ltd.:**

OPERACIÓN	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO (USD)	PRECIO TOTAL (USD)
Instalación	1	24,000	24,000
Entrenamiento	1	10,000	10,000
Mantenimiento	1	28,000	28,000
TOTAL (USD) ►			62,000

Tabla 4.3 Costos referenciales de operación

El costo de instalación generalmente se refiere a la instalación propiamente dicha, a los pruebas de rutina y a la puesta en funcionamiento de los equipos de transmisión y gestión; el costo de entrenamiento se basa en la capacitación respectiva a su personal que quedará a cargo, el costo abarca capacitación a 10 personas en el país (para operación y mantenimiento) y a 2 personas en la Republica Popular China (para la gestión y para capacitación a nuevo personal en caso de futuras instalaciones de la tecnología DWDM); el costo de mantenimiento se refiere a equipos y a planta externa por 6 meses a partir de su instalación.

4.4 COSTO TOTAL

A continuación en la tabla 4.4 se presenta el costo total para este Proyecto de integración SDH/DWDM:

	PRECIO TOTAL (USD)
Equipos	25'892,600
Materiales y Suministros	1'700,758.70
Operación	62,000
TOTAL (USD) ►	27'655,358.70

Tabla 4.4 Costo Total

Se observa claramente que el monto total para el desarrollo de este Proyecto es de **27'655,358.70**, cabe recalcar que es una cifra aproximada, debido a que los costos tanto de equipos, materiales y operación, varían frecuentemente y también dependiendo de valores unitarios aproximados, extendidos por la Corporación Nacional de Telecomunicaciones CNT S.A.

CAPÍTULO V

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 CONCLUSIONES

En el presente Proyecto, la integración de una red SDH con DWDM resulta ser beneficiosa, puesto que la tecnología DWDM da una solución de gran capacidad a los requerimientos de la demanda en crecimiento que están por venir y la tecnología SDH proporciona la sincronización adecuada de los datos, garantizando calidad de servicio y entrega de datos.

El desarrollo de la tecnología DWDM, trae consigo una verdadera revolución en el campo de la fibra óptica ya que continuamente se está buscando mejorar el desempeño de la fibra librándola de los efectos no lineales que afectan a los sistemas de transmisión ópticos con altas velocidades y con densas multiplexaciones de longitudes de onda λ .

Desde la perspectiva técnica y económica, DWDM es una tecnología avanzada de gran potencial para el futuro de las redes ópticas, con la posibilidad de suministrar potencialmente capacidad de transmisión ilimitada, ya que la inversión actual no solamente puede ser preservada sino también optimizada, esa es la ventaja más obvia de la tecnología DWDM. A medida que la demanda cambia, se puede añadir más capacidad, con el solo hecho de ir aumentando el número de longitudes de onda λ de la fibra óptica sin costos adicionales.

Resulta evidente que la tecnología DWDM, puede transmitir cualquier tipo de servicio en cada longitud de onda λ , por ello un punto muy importante de ésta tecnología es la transparencia, es decir el simple hecho de asignar una longitud de

onda λ y transmitirla simultáneamente con otras sin que estas se interrumpan, califica a DWDM como una tecnología de gran rendimiento frente a otros tipos de multiplexación, sin embargo, hace que sea inevitable, por tal razón este tipo de multiplexación se convierte en una solución ambiciosa para ampliar los límites de la fibra óptica.

La tecnología DWDM permite a proveedores de servicios, transmitir tráfico en cualquier formato independiente de la aplicación que se haga, esta propiedad resalta la flexibilidad de la multiplexación en aceptar cualquier tipo de datos, ya sea provenientes de equipos SDH, IP, Gigabit Ethernet, 10 Gigabit Ethernet y más, con ésta característica la Corporación Nacional de Telecomunicaciones CNT S.A., puede ofrecer un servicio de calidad y gran capacidad a cualquier empresa que requiera el transporte de información a lo largo del recorrido de un enlace de fibra óptica, incluso llegar al arriendo de una sola longitud de onda λ para la información a transportar.

En el diseño de redes DWDM es muy importante el cuidado que se ponga al seleccionar el tipo de fibra a utilizar. Si usamos las tradicionales fibras monomodo se corre el riesgo de tener retardos, pérdida de paquetes, inconsistencia en la detección de los pulsos de luz en los receptores, jitters muy elevados, etc. Por esta razón un diseño de una red óptica debe regirse en las normas y recomendaciones G.655 que en este campo nos las da la UIT-T, para la fibra óptica que mejor se comporta conjuntamente con la tecnología DWDM, pues esta fibra presenta características favorables para el uso de este tipo de multiplexación, presentando un bajo nivel de dispersión, favorable para el rendimiento del sistema.

De igual forma en una integración de SDH con DWDM, se debe tener en cuenta la capacidad a la cual está operando la antigua red de radio transmisión y si los equipos DWDM tienen la capacidad de transportar la información de la antigua red en sus interfaces. Igualmente para la integración de SDH con DWDM, se debe tener en cuenta los nodos de la antigua red, ya que en estos nodos se va ubicar

equipos DWDM, que permitan lograr la integración y así ocupar la infraestructura ya instalada.

Los requerimientos del diseño constituyen una de las partes principales de este Proyecto, porque representa el punto de partida, el camino y la llegada de este. En esta parte se consideran las especificaciones que el operador necesita para la demanda actual y futura de la red propiamente dicha y de los servicios y necesidades del cliente.

El estudio topológico del área por donde va extenderse los anillos de fibra óptica, y complementado con la demanda que se puede tener por distintos sectores de dicha área es otro aspecto importante del diseño. En el caso de este proyecto los anillos tendrán un tendido de fibra óptica por las principales carreteras llegando a los nodos ubicados en lugares estratégicos de la misma, todo esto para que pueda ser proyectada una extensa cobertura en toda la Región 2 de la Corporación Nacional de Telecomunicaciones CNT S.A., y para una gran variedad de clientes. Por otra parte, la forma de tendido del cable de fibra óptica vía aérea es una de las opciones más recomendadas para estos anillos por diferentes razones, entre ellas, es mucho más sencilla frente a otras formas de tendido del cable, es menos costosa, es de fácil acceso para su revisión y corrección, ya que la Región 2 cuenta ya con grandes carreteras que recorren gran parte de su área, entonces el tendido del cable puede tener menos curvaturas.

El uso de multiplexores ópticos de inserción y extracción reconfigurables (ROADM) dentro de un enlace, permite a la Corporación Nacional de Telecomunicaciones CNT S.A., manipular las longitudes de onda λ , de una forma que se las puede tanto extraer, modificarlas y volverlas a insertar en el medio óptico, estos equipos permiten a nuestro proyecto dar una conexión eficaz a ciudades ó poblaciones que se encuentran dentro de los enlaces de nuestros anillos SDH/DWDM.

Otro aspecto importante que tiene la tecnología DWDM es simplicidad en el sentido que reduce drásticamente el uso de regeneradores de las señales ópticas, debido a los amplificadores ópticos que son una parte fundamental en las transmisiones de larga distancia, por una parte trabajan conjuntamente con los ROADMs y por otra parte reducen el uso continuo de estos regeneradores ópticos.

La proyección de tráfico nos dio una clara idea de cómo se incrementaría la demanda en los servicios de voz, datos y video para la Región 2 de la Corporación Nacional de Telecomunicaciones CNT S.A., generando así el buen uso de la máxima capacidad de los equipos SDH, por lo que la tecnología DWDM da una solución para el transporte, las longitudes de onda λ reemplazan a los hilos de fibra óptica que necesita los equipos SDH para transmitir la información.

La tecnología DWDM puede integrarse con cualquier tipo de formato de comunicación óptica, esta propiedad da a la Corporación Nacional de Telecomunicaciones CNT S.A. ó a cualquier empresa buscar formas de explotar el medio óptico y ofrecer servicios banda ancha independiente de cómo se realice la administración de equipos de banda ancha.

La elección de la marca Huawei para la integración SDH/DWDM, se la realiza debido a que esta empresa, tiene convenios directos con la CNT S.A. y también fabrica equipos que soporta este tipo de integración. Así el equipo OptiX BWS 1600G DWDM System, representa uno de los productos más destacados con variantes que abarcan el espectro de capacidad y necesidades de servicio, ampliando los principios del plano de control de las redes de transporte con una o más de las siguientes capacidades de conmutación: de paquete, de intervalo de tiempo, de longitud de onda, de banda de frecuencia, de fibra óptica, etc.

Debido a la situación económica del país, la inversión que se requiere para poner en marcha la integración SDH/DWDM en la Región 2 de la Corporación Nacional de Telecomunicaciones CNT S.A., es significativamente alta, sin embargo

esta proporcionará flexibilidad y gran capacidad, en relación con otras alternativas que se puede implementar. El beneficio económico que se obtendrá con la integración SDH/DWDM puede ser grande, lo que compensaría la inversión si se lo maneja adecuadamente, es decir existen alternativas como arrendar los canales para su libre explotación a otras operadores, a empresas públicas ó privadas, además se puede ofrecer servicios adicionales para el transporte de información con una mejora en la calidad de servicio.

En fin, la fibra óptica en la actualidad juega un papel importante dentro de la rama de las telecomunicaciones debido que en ocasiones es más barata que un sistema satelital e incluso que un sistema inalámbrico para determinado tipo de información que se desea transportar. Es por ello que la fibra óptica va a la vanguardia junto con la telefonía celular en el mundo de las telecomunicaciones, ya que se podrá tener todo tipo de comunicación desde cualquier parte de donde nos encontremos. Los beneficiados son los clientes y las respectivas empresas que explotan este servicio, que día a día va agarrando mayor fuerza en nuestras actividades cotidianas.

5.2 RECOMENDACIONES

Como recomendación para lograr una favorable integración DWDM con SDH, es muy importante tener en cuenta los nodos que forman parte del backbone, por esta razón los equipos que se utilizarán representan un factor primordial en el diseño, ya que involucran el funcionamiento de la antigua red con los nuevos anillos SDH/DWDM, por lo que al lograr una completa integración, estaremos explotando al máximo los recursos de la tecnología DWDM.

Otra recomendación en esta integración, es la utilización de la fibra óptica, es imperativo que se utilice las fibras NZDS (dispersión desplazada no – nula) de acuerdo a las recomendaciones G.655 de la UIT-T. Afortunadamente las fibras ópticas son más sencillas de utilizar siempre y cuando se escoja la mejor fibra óptica, realizando una investigación y conociendo características que distinguen a los tipos de fibra óptica. Con esto se logra también reducir en gran escala los efectos no lineales y de dispersión que afectan a los sistemas DWDM. En consecuencia no se tendrá problemas de retardos, jitters elevados y pérdida de paquetes logrando de esta manera cumplir los requerimientos con el cliente.

Se recomienda ya en el proceso del diseño de los nuevos anillos SDH/DWDM, la importancia de una adecuada nomenclatura. Se recomienda usar diferentes colores que identifican a cada filamento del cable de fibra óptica, en nuestro caso para cada servicio y para distinguir la red backbone DWDM, sus distancias, su atenuación, etc., y también señalar adecuadamente los nodos a interconectar, los sistemas de gestión, etc.

También se recomienda que en los tendidos de fibra óptica y en todos los anillos, tener un monitoreo constante con sistemas de gestión adaptable a DWDM, éste es un factor primordial para el rendimiento de esta integración SDH/DWDM, también para un correcto mantenimiento es recomendable utilizar equipos como un

analizador de espectro óptico y un reflectómetro óptico en el dominio del tiempo (OTDR), que es un instrumento de medición que envía pulsos de luz, a la longitud de onda deseada para luego medir sus ecos, o el tiempo que tarda en recibir una reflexión producida a lo largo de la fibra óptica, también podemos llevar a cabo lecturas tanto de fallos de conexión, atenuación, niveles de OSNR, dispersión, etc., Así tendremos información de que tan bien está respondiendo un canal óptico, previendo así posibles malos funcionamientos y dar periódicamente mantenimientos para tener un sistema totalmente confiable.

Como última recomendación no queda de más decir, que el personal que vaya a estar a cargo de la operación, gestión y mantenimiento de estos nuevos anillos de integración SDH/DWDM, deben contar con una total capacitación en esta tecnología, para de esta forma poder lograr la favorable explotación de este recurso óptico, tanto en equipos como en restauración de enlaces en caso de fallos.

ABREVIATURAS

ADM	Multiplexor de inserción / extracción (<i>Add/Drop Multiplexing</i>).
ANSI	Instituto nacional americano de estándares (<i>American National Standards Institute</i>).
AO	Amplificador óptico (<i>Optical Amplifier</i>).
ATM	Modo de transferencia asincrónica (<i>Asynchronous Transfer Mode</i>).
AWG	Matriz de rejilla de guía de onda (<i>Arrayed Wave Guide</i>).
CWDM	Multiplexación por división de longitud de onda gruesa (<i>Coarse Wavelength Division Multiplexing</i>).
DBFA	Amplificador de fibra óptica de banda doble (<i>Dual-Band Fiber Amplifier</i>).
DCC	Canal de comunicación de datos (<i>Data Communication Channel</i>).
DCS	Sistema de Control Distribuido (<i>Distributed Control System</i>).
DWDM	Multiplexación por división de longitud de onda densa (<i>Dense Wavelength Division Multiplexing</i>).
DXC	Conector cruzado digital (<i>Digital Cross Connect</i>).
EAPS	Protección automática de conmutación Ethernet (<i>Ethernet Automatic Protection Switching</i>).
EBFA	Amplificador de fibra óptica de banda extendida (<i>Extended-Band Fiber Amplifier</i>).
EDFA	Amplificador de fibra óptica dopada de Erblio (<i>Erbium Doped Fiber Amplifier</i>).
FDM	Multiplexación por división de frecuencia (<i>Frequency Division Multiplexing</i>).
FWM	Mezclador de cuatro ondas (<i>Four Wave Mixing</i>).
HDLC	Control de enlaces de datos de alto nivel (<i>High Level Data Link Control</i>).
IP	Protocolo de Internet (<i>Internet Protocol</i>).
ISDN	Red digital de servicios integrados (<i>Integrated Services Digital Network</i>).
LAN	Redes de área local (<i>Local Area Network</i>).

LASER	Emisión de radiación estimulada por amplificación de luz (<i>Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation</i>).
LCoS	Cristal líquido sobre silicio (<i>Liquid – Cristal – on – Silicon</i>).
LED	Diodo emisor de luz (<i>Light Emission Diode</i>).
MEMS	Micro sistemas electromecánicos (<i>Micro – Electro – Mechanical Systems</i>).
MMF	Fibra óptica multimodo (<i>Multi-Mode Fiber</i>).
MPLS	Conmutación de etiquetas multiprotocolo (<i>Multiprotocol Label Switching</i>).
MS-SP	Sección de multiplexación con protección compartida (<i>Multiplex Section – Shared Protection Ring</i>).
NZ-DSF	Fibra óptica de dispersión desplazada no nula (<i>Non-Zero Dispersion Shifted Fiber</i>).
OADM	Multiplexor óptico de inserción / extracción (<i>Optical Add/Drop Multiplexing</i>).
OC	Portador óptico (<i>Optical Carrier</i>).
ODF	Distribuidor de Fibra Óptica (<i>Optical Distribution Frame</i>).
OLA	Amplificador óptico de línea (<i>Optical Line Amplifier</i>).
OM	Multiplexor óptico (<i>Optical Multiplexing</i>).
OSC	Canal óptico de servicio (<i>Optical Service Channel</i>).
OSNR	Relación señal a ruido óptico (<i>Optical Signal to Noise Ratio</i>).
OTDR	Reflectómetro óptico en el dominio del tiempo (<i>Optical Time Domain Reflectometer</i>).
OTM	Terminal multiplexor óptico (<i>Optical Terminal Multiplexing</i>).
OTN	Red de transporte óptico (<i>Optical Transport Network</i>).
OXC	Conector cruzado óptico (<i>Optical Cross Connect</i>).
PCM	Modulación de pulsos codificados (<i>Pulse Code Modulation</i>).
PDH	Jerarquía digital plesiócrona (<i>Plesiochronous Digital Hierarchy</i>).
PLC	Circuito óptico plano (<i>Planar Lightwave Circuit</i>).
PMD	Dispersión por modo de polarización (<i>Polarization Mode Dispersion</i>).
PPP	Protocolo punto a punto (<i>Point to Point Protocol</i>).

PRC	Reloj de referencia primario (<i>Primary Reference Clock</i>).
ROADM	Multiplexor óptico de inserción / extracción reconfigurable (<i>Reconfigurable Optical Add/Drop Multiplexing</i>).
SDH	Jerarquía digital sincrónica (<i>Synchronous Digital Hierarchy</i>).
SMF	Fibra óptica monomodo (<i>Simple-Mode Fiber</i>).
SNC-P	Conexión de subred con protección de trayecto (<i>Subnetwork Connection – Protection Ring</i>).
SONET	Red óptica sincrónica (<i>Synchronous Optical Network</i>).
STM	Módulo de transporte sincrónico (<i>Synchronous Transport Module</i>).
STS	Señal de transporte sincrónico (<i>Synchronous Transport Signal</i>).
TDM	Multiplexación por división de tiempo (<i>Time Division Multiplexing</i>).
TMN	Redes de administración de las telecomunicaciones (<i>Telecommunication Management Network</i>).
TPR	Transpondedores de recepción (<i>Transponders Reception</i>).
TPT	Transpondedores de transmisión (<i>Transponders Transmission</i>).
UIT	Unión Internacional de Telecomunicaciones (<i>International Telecommunication Union</i>).
VOA	Atenuador óptico variable (<i>Variable Optical Attenuator</i>).
WAN	Redes de área amplia (<i>Wide Area Network</i>).
WDM	Multiplexación por división de longitud de onda (<i>Wavelength Division Multiplexing</i>).
WSS	Conmutador selectivo de longitud de onda (<i>Wavelength Selective Switches</i>).

BIBLIOGRAFÍA

LIBROS

GANDLURU, Muralikrishna; "Paper Optical Networking and Dense Wavelength Division Multiplexing (DWDM)"; November; 1999.

MARTIN, José; "Sistemas y Redes Ópticas de Comunicaciones"; Prentice Hall; España; 2004.

GUMASTE, Ashwin; ANTHONY, Tony; "DWDM Network Designs and Engineering solutions"; 1era Edición; Cisco Press; Indianapolis-USA; 2002.

JAMES, Tai; "Introducción a la tecnología DWDM"; NETI, New Elite Technologies, Inc.; 2004.

TANEMBAUM, Andrew; "Redes de Computadoras"; 3ra Edición; 1997; Prentice-Hall; Inc.

REGIS J. BATES; "Optical switching and Networking Handbook"; McGraw-Hill Telecommunications; 2001.

RUBIO, Baltazar; "Introducción a la Ingeniería de la Fibra Óptica"; págs. 57-58.

FOLLETOS / REVISTAS

PERRIER P. y THOMPSON J.; "Revista de Telecomunicaciones ALCATEL del 3er trimestre del 2000"; Págs. 195-200.

CLESCA B.; “Revista de Telecomunicaciones ALCATEL del 3er trimestre del 1998”; Págs. 176 – 177.

HIDALGO, Pablo; “COMUNICACIÓN DIGITAL”; EPN; 2008.

TUTORIAL DWDM; Fujitsu; Noviembre 15; 2002.

BTW S.A; Tutorial tecnología y servicios DWDM.

Tutorial de Comunicaciones Ópticas GCO Grupo de Comunicaciones Ópticas.

Folletos de la CNT S.A.

Revista Network Strategy Partners, LLC

TESIS

MERA LARREA, David Antonio; “Estudio y diseño de las redes ópticas WDM (Wavelength Division Multiplexing) y su aplicación en redes de acceso”; Tesis EPN; Quito; 2002.

MOLINA, Carlos; “Estudio de la WDM”; Tesis de Grado; U. Católica; Chile; 1995.

CAIZALUISA PALMA, Jorge Luis; “Estudio para la integración de la técnica de multiplexación DWDM dentro de un enlace Quito y Guayaquil que utilice SDH como técnica de transmisión para una mediana empresa portadora”; Tesis EPN; Quito; 2009.

MÉNDEZ, Dalton; “Diseño de una red troncal SDH con F.O. para el sur del Ecuador”; Tesis EPN; Quito; 2001.

LLUMIQUINGA GUAYASAMIN, Dany Santiago; MULLO AIMACAÑA, Christian David; “Análisis y Diseño del sistema redundante de F.O. Quito-Guayaquil para la red TELCONET S.A.”; Tesis EPN.

TORO MORAL, Cesar Guillermo; “Diseño de la red de comunicaciones de CIESPAL para que soporte aplicaciones de datos, voz y video conferencia”; Tesis EPN; Quito; 2009.

PÁGINAS DE INTERNET

<http://www.monografias.com/trabajos33/telecomunicaciones/telecomunicaciones.shtml>

www.cypsela.es/especiales/pdf144/dwdm1.pdf

www.ramonmillan.com/tutorialeshtml/sdh.htm

http://nemesis.tel.uva.es/images/tCO/contenidos/tema1/tema1_3_1.htm

<http://www.topbits.com/dwdm.html>

http://www.omnitron-systems.com/spanish/application_dwdm_sp.php

<http://www.mailxmail.com/curso-redes-estandares-3/caracteristicas-dwdm>

<http://www.channelplanet.com/index.php?idcategoria=8679>

<http://www.iec.org/online/tutorials/sdh/>

<http://www.eveliux.com/mx/redes-de-alta-velocidad-sdh-sonet.php>

<http://es.wikipedia.org/wiki/Archivo:Stm1.PNG>

<http://www.itu.int/rec/T-REC-G.652/en>

<http://www.conectronica.com/fttx-y-ftth/multiplexores-add-drop-reconfigurables-roadms>

<http://www.itu.int/ITU-T/studygroups/com15/otn/index.html>

http://www.lightriver.com/index.php?p=cwdm_dwdm_roadm

<http://www.yio.com.ar/fo/atenuacion.html>

<http://www.globalswitch.es/news/glossary.es.html#d>

<http://www.huawei.com>

ANEXOS

ANEXO A: Protecciones SDH y Protecciones ETHERNET.

ANEXO B: Equipos de Radio Transmisión.

ANEXO C: Recomendación G.655 de la UIT-T, Características de cables y fibras ópticas monomodo con dispersión desplazada no – nula.

ANEXO D: Equipos ROADMs.

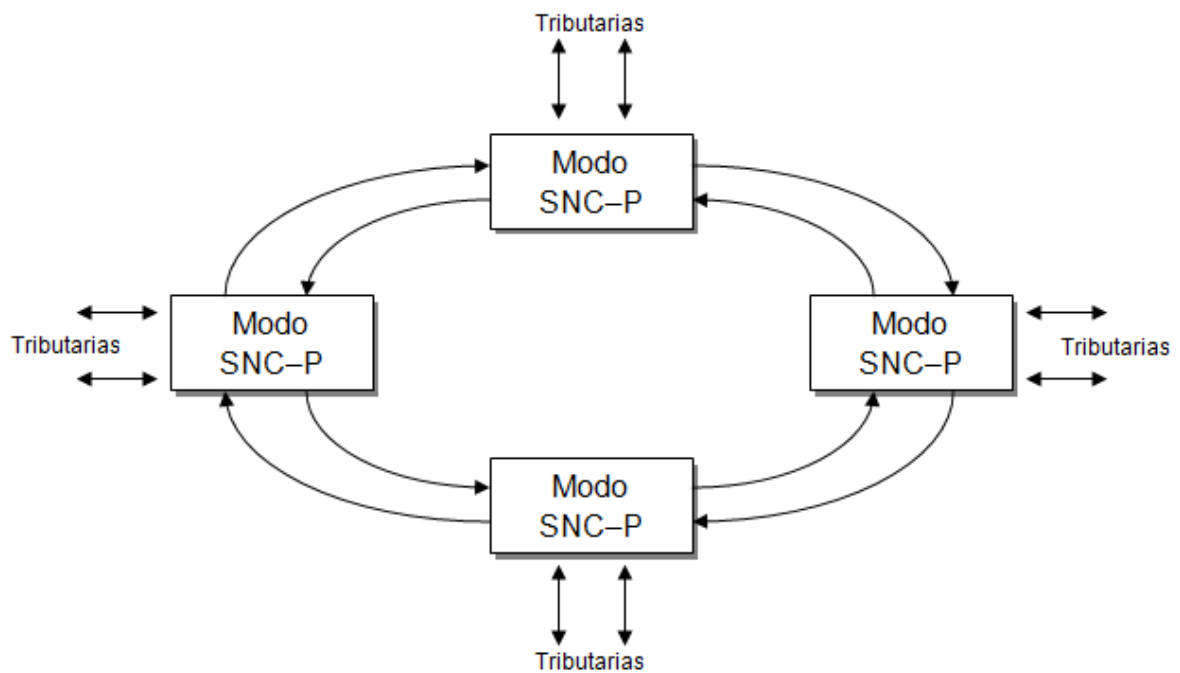
ANEXO E: Equipo OptiX BWS 1600G DWDM Systems

ANEXO A

1. PROTECCIONES SDH¹

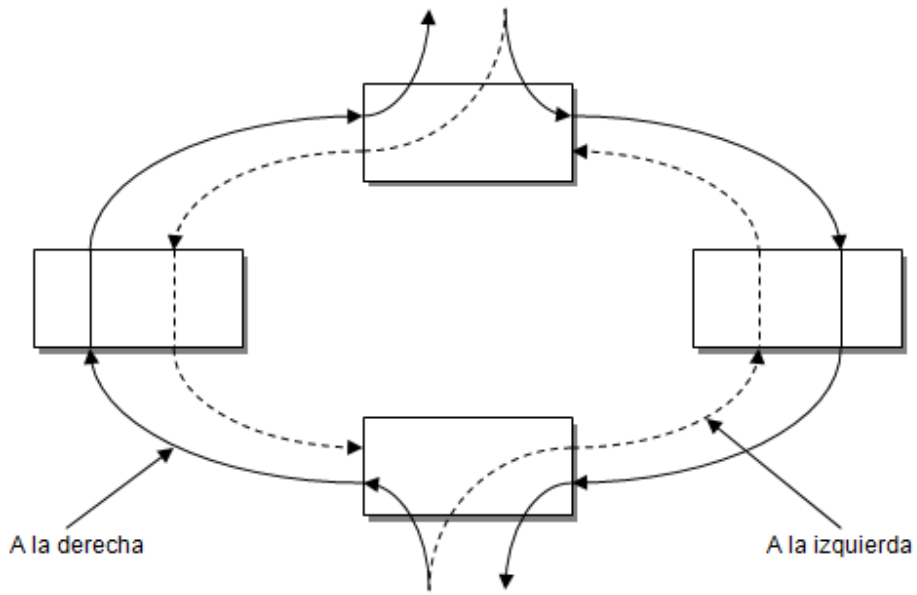
1.1 Protección de Anillo SNC-P (*Subnetwork Connection – Protection Ring*)

Conexión de Subred con Protección de Trayecto, también se lo conoce como anillo autorecuperable conmutado de protección de trayecto de 2 fibras (PPS – SHR de 2 fibras). En este tipo de protección las señales tributarias se envían en direcciones a la derecha y a la izquierda alrededor del anillo. En el nodo de recepción, las señales de ambas direcciones se comparan y la señal con mejor calidad se selecciona.

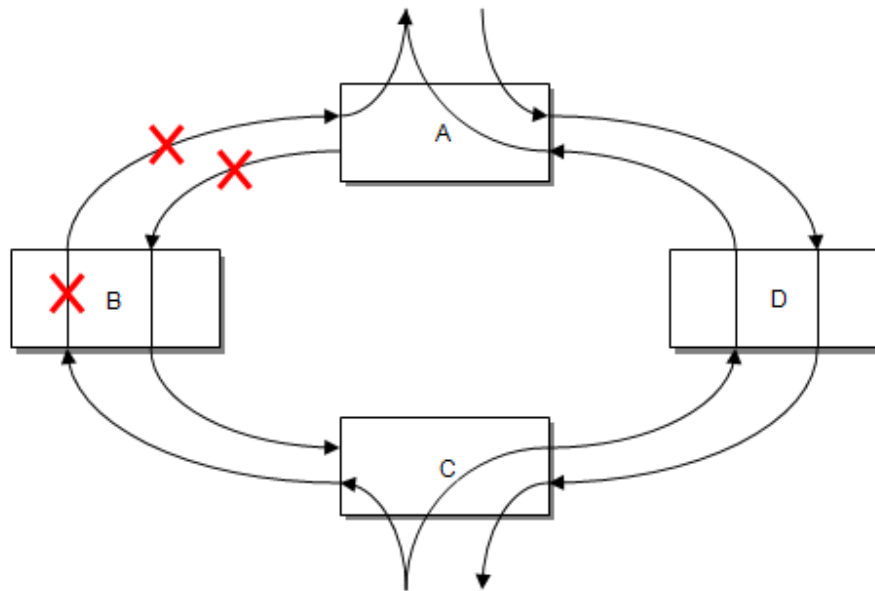


Anillo con protección SNC-P

¹ https://www.tlm.unavarra.es/~daniel/docencia/rba/rba06_07/slides/17-ProteccionAnillosSDH.pdf
<http://www.ieee.org.ar/downloads/sdh-intro.pdf>



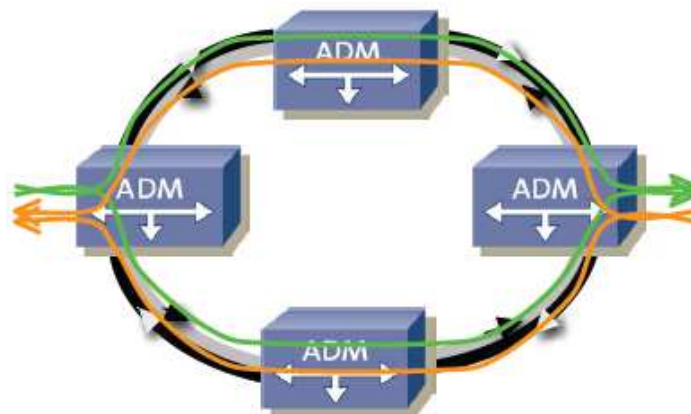
Condición normal



Al ocurrir falla entre los nodos A y B

Características:

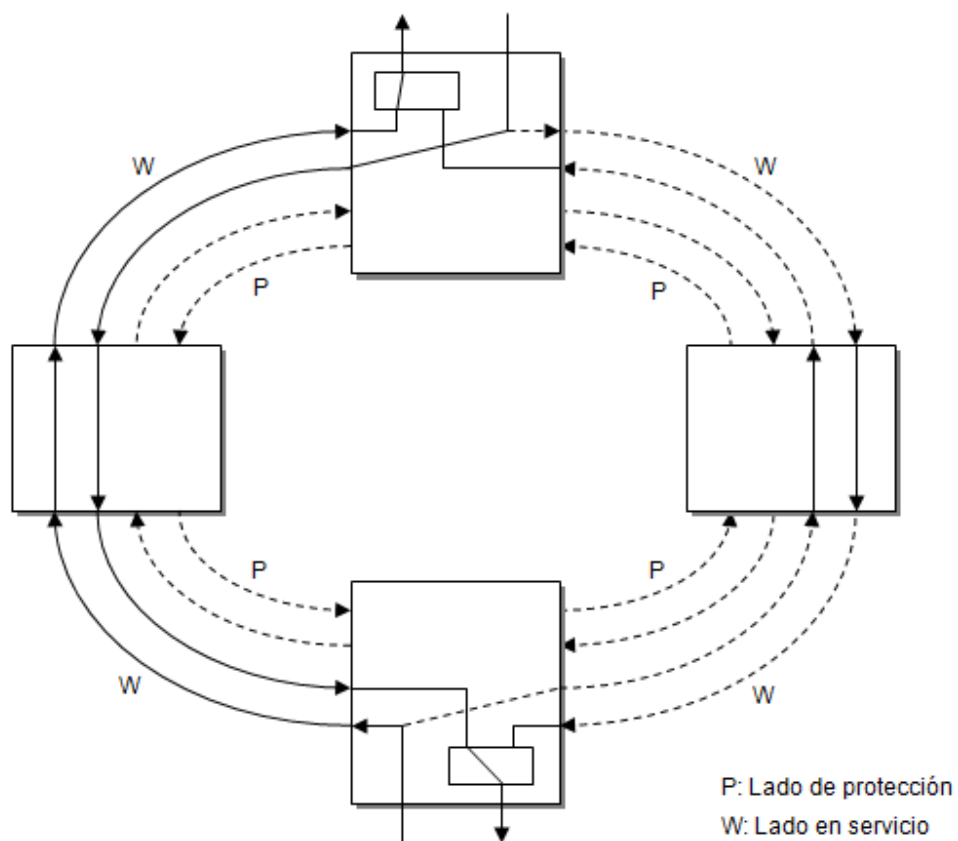
- SNCP/I: protege ante fallas de hardware en el camino, para cualquier falla que genere AU/TU-AIS ó AU/TU-LOP.
- SNCP/N: protege además ante fallas de programación.(HP/LP UNEQ,HP/LP TIM,
- HP/LP ExBER).
- Los recursos de protección se asignan en forma independiente para cada canal de trabajo.
- La protección actúa ante fallas en el trayecto.
- Implementación simple. Decisión de conmutación solo en cada punto de inserción/extracción del VC.
- El trayecto puede no estar protegido en alguna de las secciones que atraviesa.
- No necesariamente se tiene control de los dos puntos de inserción/extracción en la misma Administración.
- Cada conexión unidireccional emplea ambos caminos en el anillo (es un 1+1).
- No tiene la limitación de 16 nodos.
- Soporta el fallo de un nodo.



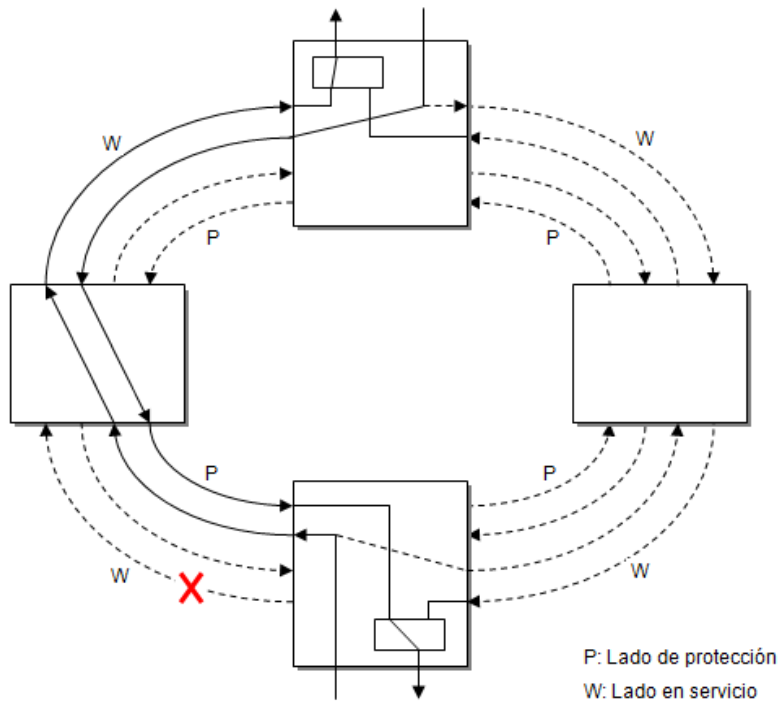
SNC-P Ring

1.2 SNC-P con Modo de Protección de Línea

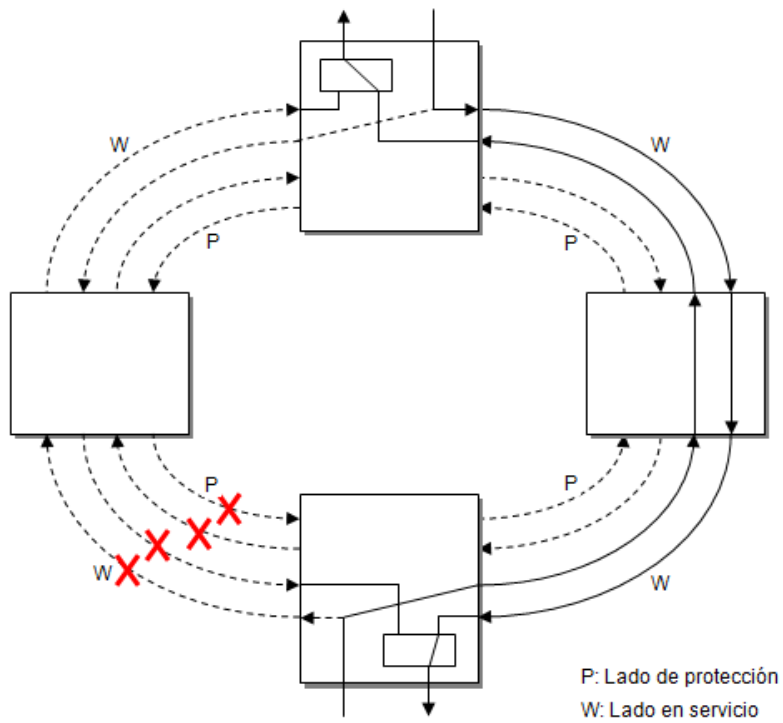
SNC-P con modo de protección de línea es aplicable solo al ser STM-1 óptico el lado de agregado. SNC-P con modo de protección de línea tiene configuración de protección de línea para PPS – SHR, las señales tributarias se envían en dirección a la derecha y a la izquierda del anillo. En el nodo recepción, las señales de ambas direcciones se comparan y la señal con mejor calidad se selecciona.



SNC-P con modo de protección de línea



Falla en la línea de servicio



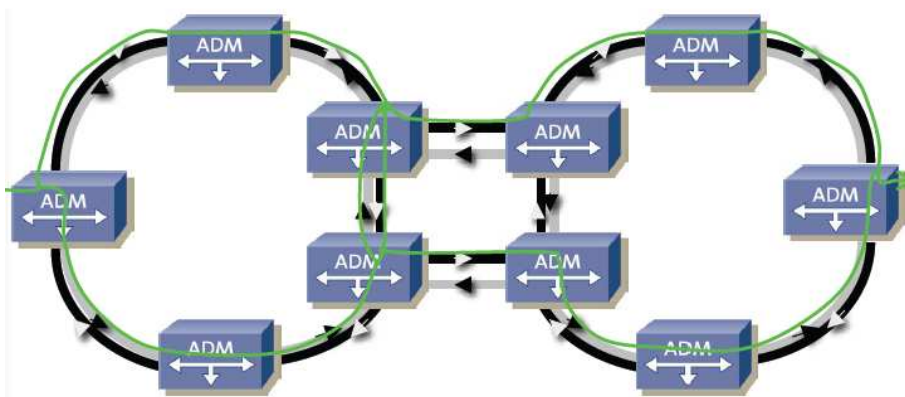
Falla en la línea de servicio y de protección

1.3 Protección de Anillo SNC-P con D&C (*Drop and Continue*)

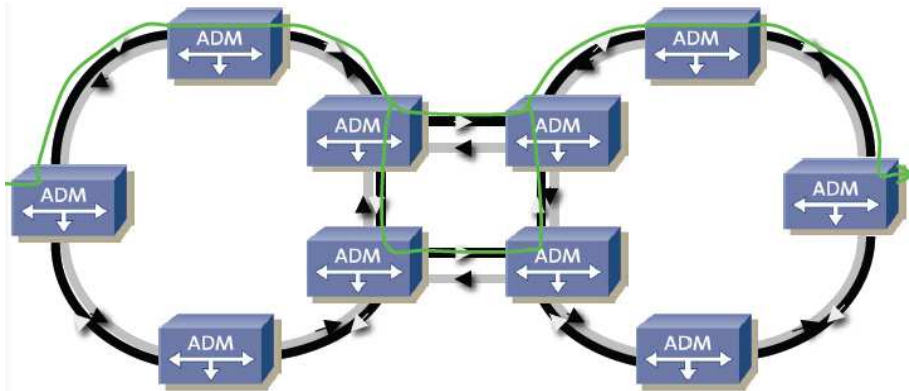
Grandes redes usualmente consisten en la interconexión de anillos. Un eficiente camino de interconexión de anillo es el nodo dual de interconexión con *Drop and Continue*. Este soporta hasta 2 fibras rotas y también nodos con fallas sin afectar el transporte de tráfico. Dos anillos pueden ser esquemáticamente representados con el nodo dual de interconexión con Drop and Continue, la entrada y la salida del nodo se realiza por medio de la implementación O-SNCP, la interconexión de nodos es implementada por medio del mismo hardware usado por el O-SNCP con una diferente interconexión entre las tarjetas. En un nodo de interconexión la entrada es duplicada, una salida está conectada al switch óptico 1x2 “drop” mientras la otra señal “continue” va al nodo adyacente de interconexión. Desde el nodo adyacente de interconexión llega la señal “continue” proveniente de la otra parte del anillo. Esta señal es conectada a la otra entrada del switch óptico 1x2. La salida del switch óptico es repartida al punto de entrada del anillo a ser interconectado. La dirección contraria es simétrica a la descrita.

Características:

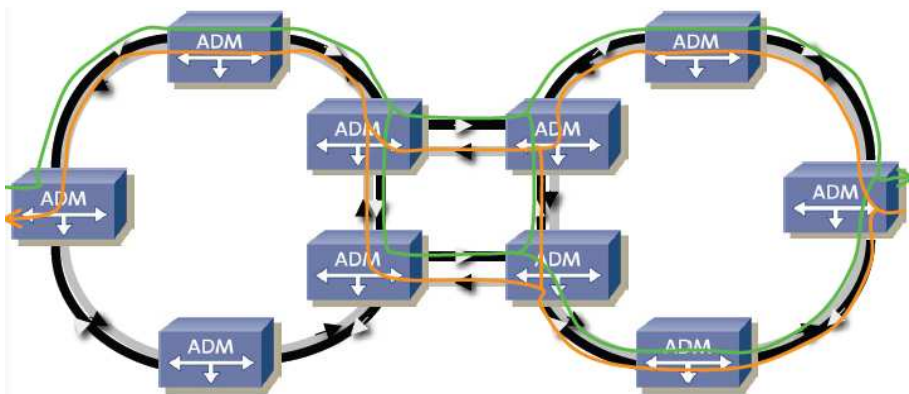
- La señal continúa hasta el siguiente *Gateway*.
- Puede conectar anillos SNCP:



- También puede conectar anillos MS-SP:

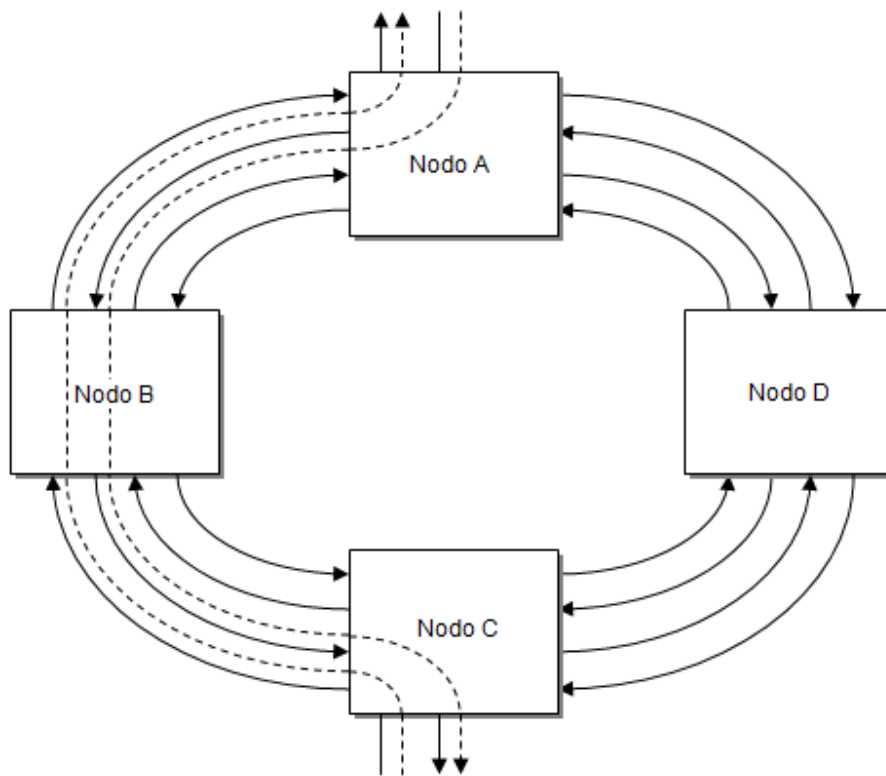


- un anillo MS-SP con un SNCP:

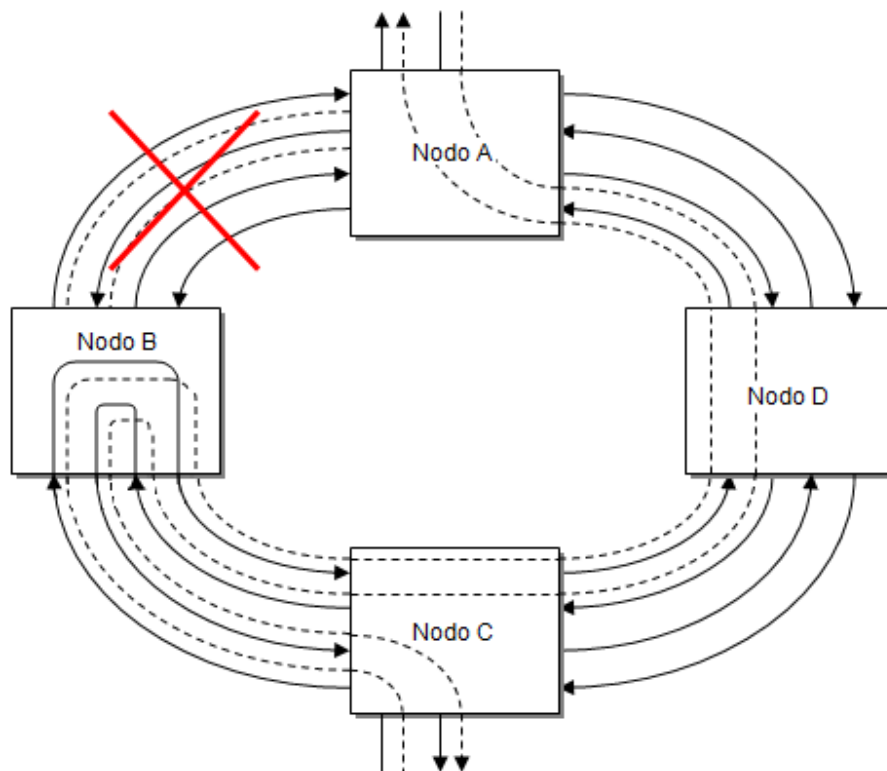


1.4 Protección de Anillo MS-SP (*Multiplex Section – Shared Protection Ring*)

Sección de Multiplexación con Protección Compartida, conocida también como protección BLSR de 4 fibras, en esta protección al ocurrir una falla solo en la línea de servicio, la conmutación de tramo se hace como en sistema lineal, pero al ocurrir la falla en la línea de servicio y de protección, la conmutación de anillo se hace como en BLSR de 2 fibras. Como en la figura:



Protección MS-SP de 4 fibras (Condición normal)

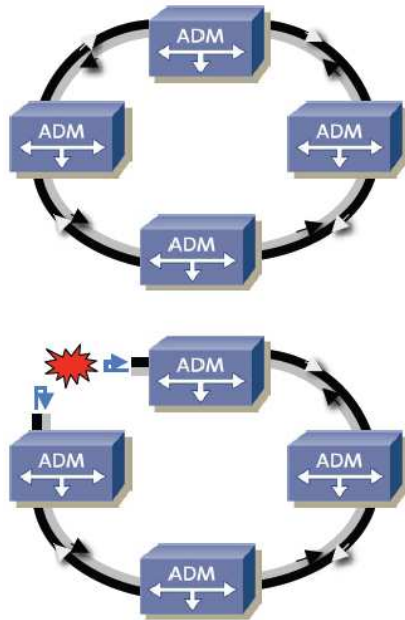


Falla entre los nodos A y B

Características:

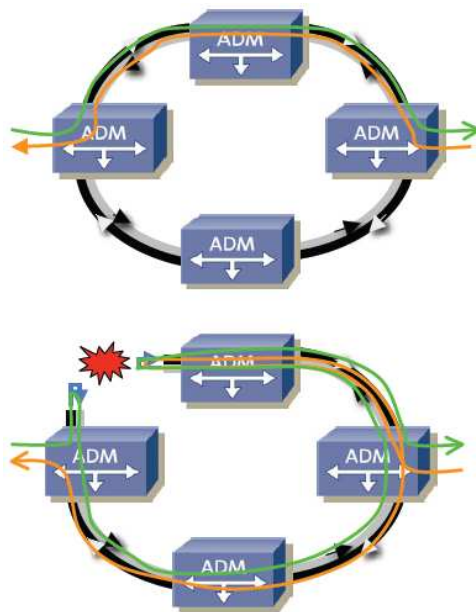
- Intervienen todos los equipos y comparten la carga de los canales de protección.
- Los equipos adyacentes a la falla lo saben primero. Se establece el diálogo entre ellos por el otro camino. Se ponen de acuerdo para conmutar.
- Los recursos de protección se **comparten** entre todos los canales de trabajo.
- La protección actúa ante fallas en la sección de multiplexación.
- Implementación compleja: tablas de tráfico y topología de red en cada nodo.
- Se emplea solo la mitad de la capacidad en cada sentido (*clock wise* y *counter clock wise*).
- Máximo 16 nodos.
- Ante un fallo:

- Nodos adyacentes lo detectan.
- Devuelven el tráfico por el otro sentido.



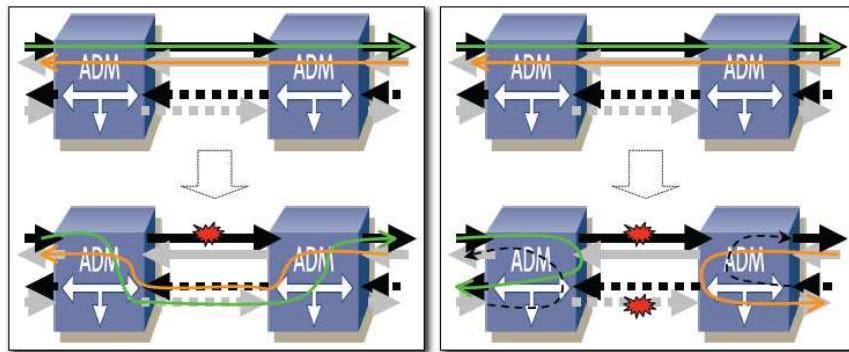
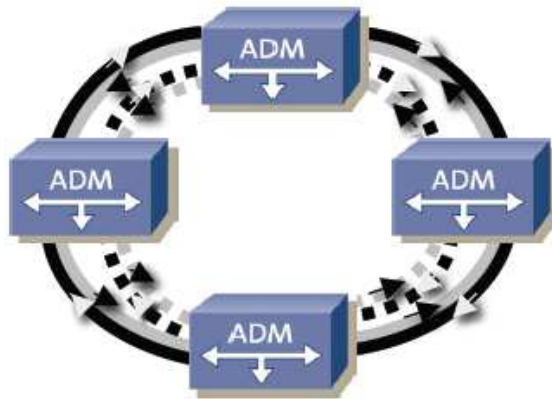
MS – SP Ring

- Ejemplo con 2 fibras:



MS – SP Ring a 2 fibras

- Con 4 fibras:
 - Un par dedicado a working capacity.
 - Segundo par como *spare / protection capacity*.



MS – SP Ring a 4 fibras

2. PROTECCIONES ETHERNET²

2.1 Protecciones contra sobretensiones para redes de datos Ethernet 10 base T ó 100 base T RJ45S – E100/4B/4C/4F

2.1.1 Aplicación

Las protecciones para líneas de transmisión de datos OBO del tipo RJ45S – E100/4B/4C/4F has sido desarrolladas para la protección básica y fina de aparatos de informática contra impulsos de sobretensión, producidos por descargas atmosféricas (tormentas) o interferencias de conmutación, capacitivas e inductivas.

2.1.1.1 Funcionamiento de las protecciones básicas (Terminación B)

Las protecciones básicas de OBO son descargadores de corriente de rayos de la clase 1, categoría D1 + C2 según IEC 1644-1 (borrador 1997) que integran un circuito de protección de un nivel consistente en potentes descargadores de gas.

2.1.1.2 Instalación y ubicación de las protecciones básicas (Terminación B)

Los descargadores se instalan directamente en el punto de intersección de la zona 0 y la zona 1 de protección contra rayos mediante inserción en la línea de transmisión de datos en la acometida.

2.1.1.3 Funcionamiento de las protecciones finas (Terminación F)

Los impulsos entrantes de sobretensiones son limitados mediante diodos supresores. La puesta a tierra de las protecciones finas se establece a través de potentes descargadores de gas. El desacoplamiento respecto a módulos de protección básica se consigue mediante una distancia entre ambos componentes de al menos 5m.

² http://www.obo.es/Download/nuevosPDF/IT28_29_30.pdf
http://en.wikipedia.org/wiki/Ethernet_Automatic_Protection_Switching

2.1.1.4 Instalación y ubicación de las protecciones finas (Terminación F)

Estos módulos de protección se aplican directamente en el aparato a proteger, es decir en el punto de intersección de la zona 1 y la zona 2 de protección contra rayos y corresponden a la clase 2 + 3, categoría C2 según IEC 1644-1 (borrador 1997).

2.1.1.5 Funcionamiento de las protecciones combinadas (Terminación C)

Las sobretensiones transitorias se limitan mediante descargadores de gas y diodos supresores que están desacoplados por medio de resistencias. Las protecciones corresponden a la clase 1 + 2 + 3, categoría D1 + C2 según IEC 1644-1 (borrador 1997). Hay que tener en cuenta que los componentes de desacoplamiento internos de las protecciones combinadas producen una atenuación adicional en la línea.

2.1.1.6 Instalación y ubicación de las protecciones combinadas (Terminación C)

Dado su diseño específico, las protecciones combinadas pueden instalarse en cualquier punto de la línea (zona de protección contra rayos de 0 a 3). No obstante, la distancia entre el aparato a proteger no debe superar en ningún caso los 5m.

2.1.2 Características especiales

Para la fijación en pared y el montaje sobre carriles omega de 35mm. hay que utilizar el juego de fijación (opcional) "DLS-BS".

2.1.3 Ejemplos de aplicaciones

Interfaz	Sistema de conexión	Protección OBO
Ethernet 10 Base T	UTP-RJ45	RJ45S-E100/4...
Ethernet 100 Base T	STP-RJ45	RJ45S-E100/4...

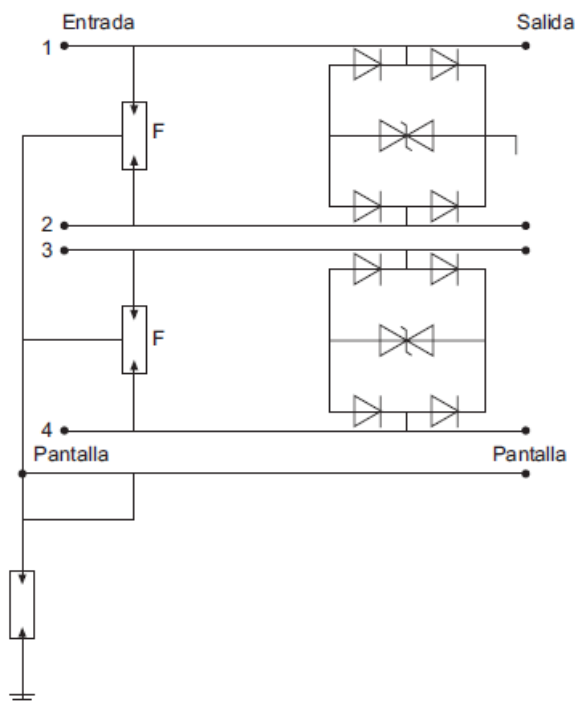
2.1.4 Instalación

- La conexión a tierra debe ser lo más corta posible.
- Debe evitarse que las líneas protegidas formen lazos o vayan en paralelo con líneas protegidas.

2.1.5 Datos técnicos

Tipo	U _{nom}	U _{max}	Corrientes de descarga por vía (hilo-tierra) (asimétrica)	Corrientes de descarga por vía (hilo-hilo) (simétrica)	Resistencia longitudinal	Atenuación a frecuencia	Zona de protección contra rayos
RJ45S-E100/4B Pin 1,2,3,6 (de 8)	110 V	200 V	1,5 kA (10/350) 7,5 kA (8/20)	1,5 kA (10/350) 7,5 kA (8/20)	-	0,3 dB 100 MHz	0->2 protección básica
RJ45S-E100/4C Pin 1,2,3,6 (de 8)	110 V	200 V	1,5 kA (10/350) 7,5 kA (8/20)	1,5 kA (10/350) 7,5 kA (8/20)	4,7 Ω	0,3 dB 70 MHz 5 dB 100 MHz	0->3 protección básica y fina
RJ45S-E100/4F Pin 1,2,3,6 (de 8)	110 V	200 V	7,5 kA (8/20)	0,5 kA (8/20)	-	3 dB 100 MHz	0->3 protección fina

2.1.6 Esquema eléctrico RJ45S – E100/4F



2.2 EAPS (*Ethernet Automatic Protection Switching*)

Protección automática de conmutación Ethernet, se utiliza para crear una tolerancia a fallos de topología mediante la configuración de una ruta primaria y una ruta secundaria para cada VLAN .

Fue inventado por *Extreme Networks*. La idea es proporcionar una alta disposición en los anillos conmutados Ethernet (comúnmente usado en Metro Ethernet). Otras implementaciones incluyen: *protección Ethernet para conmutación de anillo* (EPSR) desarrollado por *Allied Telesis* y el protocolo de rápido respaldo para anillos (RRPP) por Huawei/H3C.

2.2.1 Operación

Un anillo está formado por la configuración de un dominio. Cada dominio tiene un único "nodo maestro" y muchos "nodos de tránsito". Cada nodo tendrá un puerto principal y un puerto secundario, ambos conocidos por ser capaces de enviar tráfico de control para el nodo maestro. En condiciones normales, sólo el puerto principal en el nodo maestro se usa para evitar bucles (el puerto secundario es bloqueado para todo el tráfico no controlado).

Cuando existe un enlace en situación "down", los dispositivos que detectan la falla envían un mensaje al control master, y el master entonces desbloquea el puerto secundario e instruye a los nodos de tránsito limpiar sus bases de datos. Los siguientes paquetes enviados por el lado de la red aprenden cuando pueden ser inundados del (ahora activo) puerto secundario sin ningún tipo de interrupciones en la red.

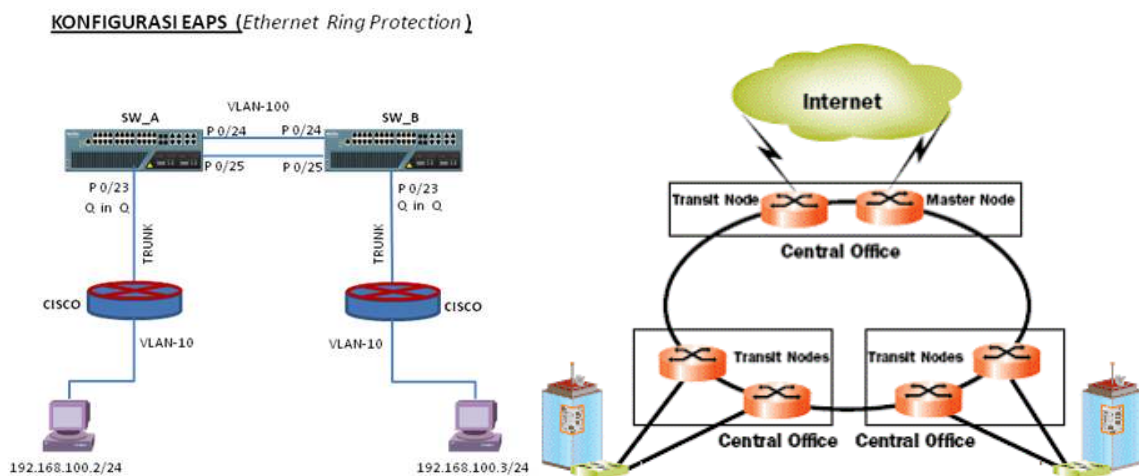
Las ocasiones de sobre-falla (*Fail-over*) se puede demostrar en la región de 50 ms. El mismo interruptor puede pertenecer a varios dominios y por lo tanto múltiples anillos. Sin embargo, estos actúan como entidades independientes y pueden ser controlados individualmente.

2.2.2 EAPS v2

EAPS v2 está configurado y activado para evitar las posibilidades de súper-bucles en entornos en los múltiples dominios de EAPS compartiendo un vínculo común. Las obras EAPSV2 utilizan el concepto de un controlador y un mecanismo de pareja. El estado de salud del puerto compartido se verifica por medio de PDU's intercambiados por el controlador y mecanismos de pareja. Cuando un enlace para compartir se cae, el controlador configurado sólo abrirá un puerto serial de sesiones para cada una de las redes VLAN protegidas, manteniendo todos los puertos del otro segmento en un estado de bloqueo. Este estado se mantiene siempre y cuando el controlador no recibe la PDU del estado de salud sobre el enlace para compartir.

Aunque no es compatible con *Extreme Networks*, es posible completar este enlace para compartir con los no-EAPS (pero consciente de etiquetas) para conmutar entre el controlador y el mecanismo de pareja.

Cuando el enlace para compartir se restaura, el controlador puede desbloquear sus puertos, los nodos maestros verán sus paquetes de saludo, y los anillos serán protegidos por su respectivo maestro.



ANEXO B

1. Equipo SRAL XD³

El sistema microonda para múltiples redes de alta velocidad fue desarrollado por *Siemens* y es una familia de equipos de alta flexibilidad y costo adecuado, SRAL XD, el cual provee conectividad desde E1 hasta 32xE1/E3, totalmente seleccionable vía SW, en las bandas de frecuencia variando en el rango de 7 a 38 GHz. SRAL XD representa una adecuada solución para la necesidad de interconexión de Estaciones Base GSM y UMTS.

Basado en una arquitectura tipo Split (interno-externo), pero está disponible también en una versión Fully Outdoor (desde los 23 hasta 38 GHz.).



1.1 Beneficios

- Interconexión fácil y rápida entre radio bases GSM/UMTS.
- Fácil Integración del sistema en la DCN a través de Ethernet.
- Posible y simple upgrade del ancho de banda de canal RF vía SW (ODU tipo HD).

³ http://www.siemens.com.co/SiemensDotNetClient_Andina/templates/PortalRender.aspx?channel=909

- Reducción efectiva de interferencia a bajas frecuencias gracias a ATPC.
- Solución rentable y alternativa a líneas dedicadas.
- Alta confiabilidad de servicio.
- Fácil de instalar.
- Calidad mejorada y monitoreo de desempeño.
- Upgrade de capacidad simple y lista para operar en ambiente UMTS.

1.2 Características

- Total cobertura de las bandas, desde los 7 hasta los 38 GHz. - incluyendo la nueva banda de 28 GHz.
- Disponibilidad de dos tipos de ODU: tipo Normal Density fijo o tipo High Performance High Density con modulación seleccionable.
- Control de potencia de transmisión fijo y automático (ATPC).
- Tres versiones de IDU: compacto (Single Board), expandible/flexible (Plug-In) y equipo Fully Outdoor.
- Disponibilidad de interfaz E3, 10/100 BT (en IDU tipo Plug-in).

2. Equipo SRA 4⁴

El sistema microonda de acceso sincrónico OC – 3 y STM – 1 es una solución que *Siemens* ofrece en relación a la expansión de banda ancha para la sección de acceso en una red móvil, nuestro SRA – 4 es una solución extremadamente rentable, y compacta para tráfico SDH.

SRA – 4 es un sistema inalámbrico Punto a Punto de Banda Ancha que adopta una arquitectura indoor-outdoor (Split) con frecuencias RF variando desde los 7 hasta 38 GHz.

Existen dos versiones de SRA – 4, Normal Density (banda de 56 MHz.) y High Density (banda de 28 MHz.). Siendo parte del gran rango de productos *Siemens*, SRA – 4 puede hacer interfaz con interfaces SONET (OC-3) y SDH (STM-1) cumpliendo con las recomendaciones de la FCC y ETSI.

SRA – 4 prueba ser una solución de alta confiabilidad y conveniencia para un gran rango de aplicaciones. Diseñado con características de valor agregado, como es el caso de simple instalación y fácil manejo, SRA – 4 óptimamente soporta la provisión de diversas aplicaciones, como es el caso de recolección de información (interconexión con las estaciones base) en redes móviles, garantizando acceso a usuarios comerciales, y habilitando transporte de tráfico SDH/ATM a puntos de unión con otras capas de red. El operador de una red móvil, obtendrá ganancias de sus diversas fortalezas como son la alta velocidad para configurar el enlace, disponibilidad de banda ancha y desempeño con calidad semejante al de sistemas de fibra óptica.

⁴ http://www.siemens.com.co/SiemensDotNetClient_Andina/templates/PortalRender.aspx?channel=910&parentid=908

Optar por una solución de radio digital punto a punto de mediana capacidad como es el caso de SRA – 4, representa una alternativa conveniente a sistemas de fibra óptica cuando se habla de medianas capacidades.



2.1 *Beneficios*

- Fácil y rápida interconexión entre radio bases GSM / UMTS.
- Solución rentable como alternativa a la fibra óptica.
- Capacidad de transmisión STM-4 en un ancho de banda de 56 MHz.
- Fácil Instalación (Unidades internas y externas compactas).
- Simple Mantenimiento y manejo de repuestos (Hardware único para todas las configuraciones).
- Muy bajo consumo de potencia (70 Watts para sistema 1+0)

2.2 *Características*

- Cobertura completa de frecuencias (Desde 7 hasta 38 GHz.).

- Disponibilidad de Normal Density (Ancho de Banda de 56 MHz.) y High Density (Ancho de Banda de 28 MHz.).
- Puede soportar carga útil de 1 o 2 STM-1 / OC-3 por portadora para redes SDH o SONET.
- Disponibilidad de reuso de frecuencia a través de "Cross Polarization Interference Canceller" (X-PIC).
- Formatos de modulación adecuados para cumplir con los estándares de calidad de ATM para los requerimientos sus servicios (Reed Solomon FEC concatenated).
- Muy compacto (IDU de 2U para terminales completas 1+1/2+0).
- No requiere del LCT para el reemplazo de IDU's, gracias a la llave de memoria de Back-Up.

3. Equipo SRT – 1F⁵

El radio sincrónico para aplicaciones troncales es un sistema de radio microondas SRT – 1F SDH es el nuevo concepto *Siemens* de radio en el mundo de los radios microonda SDH. En combinación con sistemas de portadora óptica, el sistema de radio SRT – 1F SDH no forma solamente parte central del backbone de comunicaciones, sino también parte de la estructura de acceso del sistema de comunicaciones. El volumen extra de tráfico que debe ser manejado por radio bases 3G aumenta la presión en el backhaul del sistema. Además, la falta de certeza sobre los requerimientos de capacidad futuros convierte a la flexibilidad en un requerimiento crucial para la implementación de la red. Esta evolución en el mercado de las telecomunicaciones ha estado presionando por una nueva generación de sistemas de radio punto a punto para aplicaciones troncales, más fáciles de ampliar, más flexibles y compactos. Para poder encajar en estos nuevos requerimientos, SRT – 1F SDH, por ser altamente flexible y compacto, permite una muy rápida instalación y expansión. Las características competitivas del sistema de radio, tales como el rápido despliegue y veloz expansión de la red con simples obras civiles y una alta flexibilidad, justifican fuertemente un escenario de una red de telecomunicaciones moderna en la cual los sistemas de radio y de fibra óptica serán complementarios y se apoyarán mutuamente en un acercamiento muy eficaz de medios combinados.



⁵ http://www.siemens.com.co/SiemensDotNetClient_Andina/templates/PortalRender.aspx?channel=911&parentid=908

3.1 *Beneficios*

- Muy compacto (hasta 16 transceivers en un solo rack).
- Bajo consumo de potencia.
- Rápida instalación.
- Fácil expansión de canales.
- Sistema de alta flexibilidad: todas las configuraciones principales puede realizarse vía software.
- Posibilidad de explotar la capacidad total de transmisión de una banda RF mediante la utilización de operación Co-Canal.
- Fácil manejo de repuestos: transmisores/receptores de banda ancha, tarjetas de banda base comunes para todas las configuraciones.
- Posibilidad de integración en el mismo sistema de gestión común para todos los Elementos de red SDH de Siemens, para poder garantizar una solución única y centralizada.

3.2 *Características*

- Capaz de transmitir hasta 16xSTM-1 usando solamente un rack.
- Tráfico de 1xSTM-1 (ó 2xSTM-1 en versión CC) por portadora es transmitido en las bandas de frecuencia con canales de espaciamiento de 28/30 MHz. (4/6L/7/8/13 GHz.) ó con canal de espaciamiento de 40 MHz. (4/5/6U/11 GHz.).
- En adición a las interfaces eléctricas, hay la disponibilidad de interfaces ópticas S-1.1 y L-1.1 (posibilidad de la utilización tanto de interfaces ópticas como eléctricas dentro de un mismo rack).

- El esquema de modulación basado en Modulación Codificada Multinivel 64/128 (MLCM) en combinación con un Ecuador de Decisión Retroalimentado (Decision Feedback Equalizer) de 10 taps le permite al sistema alcanzar los mejores resultados en términos de desempeño del BER.
- El uso de un combinador de diversidad de espacio, junto con un Ecuador Transversal (Transversal Equalizer) de 11 taps, más Ecuador de Decisión Retroalimentado (Decision Feedback Equalizer) y ecualizador de Pendiente (Slope Equalizer), le permite al sistema contrarrestar efectos de propagación anómalos.
- El branching del sistema es de total acceso frontal y de fácil expansión sin interrupción de tráfico.

4. Equipo STRATEX⁶

Radio digitales de microondas punto a punto PDH y SDH. La firma *Stratex Networks*, ofrece equipos marca Stratex Inc., modelo Eclipse comúnmente en la banda de 5 hasta 38 GHz., con capacidad altas y configuración de protección y monitor Hot Standby, con tiempo de repuestos en el mercado de 10 años.

Generalmente este tipo de radios también presta servicios para la transmisión de voz, datos y video dentro de los enlaces destinados por estos equipos, este equipo presenta funciones semejantes a los equipos expuestos anteriormente.



4.1 Beneficios

- Radioenlace Stratex Networks modelo Eclipse de última tecnología, garantiza su operación por muchos años más.
- Compatibilidad tecnológica, dado que en la actualidad la empresa cuenta con equipos de esta serie y modelo.
- Disminución de probabilidad de falla por ser equipos nuevos.

⁶ <http://convertel.com/pages/stratex.htm>

- Aumento de disponibilidad de la prestación de los servicios aéreos y no aéreos.
- Renovación tecnológica.

4.2 *Características*

- Posibilidad de aumento de capacidad del enlace para 4/8/16/32/48/64xE1, y también para capacidades 1/2/3/4/6/8xE3.
- También existe la posibilidad de aumento de alta capacidad para STM – 1 (1/2/4xSTM – 1).
- Las tasas de transmisión por cable generalmente trabajan a 2x10/100 base T.
- Frecuencia mínima de 5 GHz a una frecuencia máxima de 38 GHz.
- Configuración con protección de monitor HOT STANDBY.

5. Equipo RTN – 620⁷

El sistema de radio transmisión OptiX RTN – 620, es un sistema digital de microondas de redes de transporte desarrollado por *Huawei Technologies Co. Ltd.* Basada en una amplia experiencia en el ámbito del transporte y un conocimiento global de soluciones en redes de transporte. El diseño modular de la RTN – 620 permite un rico servicio de interfaces, flexibilidad en la creación de redes, capacidad del software programable, fácil instalación y mantenimiento, fácil actualización y capacidad de expansión. Con estas características superiores, el RTN – 620 puede ser aplicado ampliamente para el backhaul de estaciones base y el acceso a servicios de banda ancha. Con la reciente incorporación de la RTN – 620 ubicado en la capa de acceso de una red de transmisión, el producto Huawei OptiX proporciona una solución de transporte completo y sin fisuras. El OptiX RTN – 620 como lo mencionamos antes es un sistema de microondas conectable multi-direccional. Es un dispositivo de transmisión por microondas SPR y puede ser actualizado como TDM para la transmisión de microondas híbrido por el software de control. El OptiX RTN – 620 incluye una unidad interior (IDU) y una unidad exterior (ODU). Por ejemplo, una ranura del OptiX RTN – 620 consta de un sistema IDU, de un sistema ODU y de la antena respectiva.



⁷ <http://www.huawei.com/news/view.do?id=4365&cid=-1001>

http://www.huawei.com/transport_network/products/microwave/rtn600.do?card=1

5.1 *Beneficios*

- Mejor capacidad para actualizaciones.
- Requiere menos espacio para la instalación.
- Fácil mantenimiento.
- Amplias conexiones cruzadas (*cross – connect*) en los tiempos de ranuras VC – 4 / VC – 3 / VC – 12.
- Servicios de gestión y aprovisionamiento extremo a extremo.
- Software programable.
- Equipo de protección con un nivel completo.
- Altamente fiable y de fácil aplicación.
- Bajo consumo de energía.

5.2 *Características*

- Convergencia, conexión cruzada y programación de servicios TDM y Ethernet.
- Transmisiones E1 y transmisiones de Ethernet.
- Capacidades de 4E1/8E1/16E1/63E1/STM-1.
- Modulación adaptativa (AM) para equilibrar los servicios de alta prioridad, alta capacidad y servicios de datos, para optimizar el rendimiento global de la red, y aumentar el ancho de banda de frecuencia.
- Interfaces ópticas a velocidades más altas para conectar dispositivos ópticos de gestión en la red centralizada.
- Manejo de interfaces de E1, FE, 1e-STM, STM-1.
- Bandas de frecuencia de 7/8/11/13/15/18/23/26/38 GHz.
- Separación entre canales de 3/5/7/14/28 MHz.
- Modos de modulación de Q-PSK, 16-QAM y 128-QAM.

6. Equipo OptiX OSN 1500 – 3500

6.1 Sistema inteligente de transmisión óptico tipo caja OptiX OSN 1500⁸

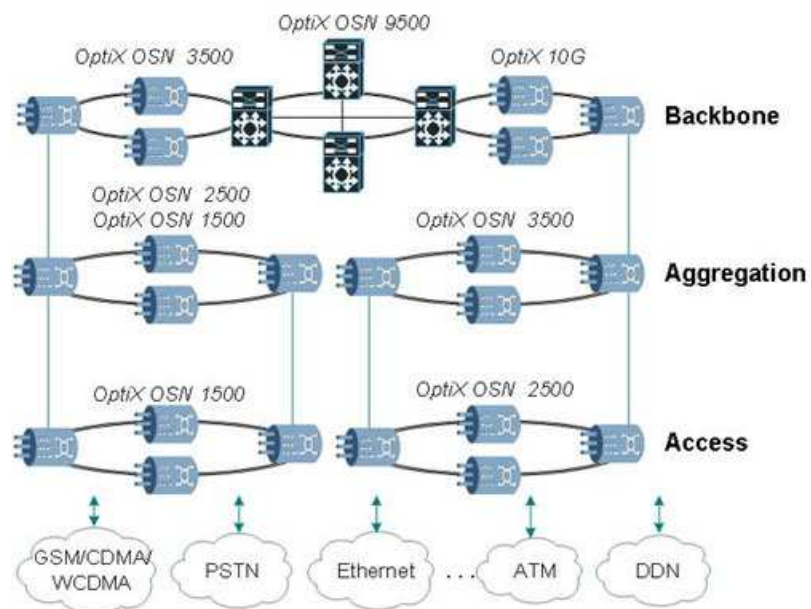
OptiX OSN 1500 mantiene la función de los productos tradicionales MSTP, realizando el transporte de voz y datos de alta velocidad en una sola plataforma. OptiX OSN 1500 ofrece eficiente servicios de gestión, rápida actualización y capacidad de expansión sin interrumpir el servicio.

OptiX OSN 1500 está dotado con todas las características dentro de los productos de la plataforma de nueva generación NG – SDH, y es capaz de ser fácilmente convertido en un producto de la red óptica inteligente. Además, como miembro de la familia de productos de redes ópticas *Huawei*, OptiX OSN 1500 es un producto compacto con un alto rendimiento en relación a sus costos, aplicables a los nodos en la capa de acceso y la capa de convergencia de la red. Cuando se utiliza junto con OptiX OSN 3500 y OptiX OSN 2500, el software y hardware de todos los servicios a bordo, incluidos los SDH / PDH / servicios Ethernet, se pueden intercambiar en uso, minimizando el costo de inversión y mantenimiento para el cliente.



⁸ <http://www.dellcra.com/OSN1500.htm>

OptiX OSN 1500 presenta características flexibles de red y de servicio de capacidad de un Multi Add / Drop Multiplexer (MADM). Con la capa 2 (L2) de la tecnología de conmutación Ethernet y L2 de la tecnología de red privada virtual (VPN), interconexión de líneas dedicadas, así como un confiable servicio de transmisión IP y la utilidad de gran ancho de banda pueden ser cumplidos. También, se puede ahorrar el costo de inversión para los operadores de redes mediante la construcción de una red con equipos tales como: OptiX OSN 9500, OptiX 10G (Metro 5000), OptiX OSN 3500 y OptiX OSN 2500, como se muestra en la figura:



6.1.1 Características

a) Altamente integrado

- Funciones de la unidad de línea, unidad cross – connect, unidad de temporización y sistema control y de comunicación (SCC). La unidad es integrada en un espacio amplio, en gran medida dan mucho ahorro de recursos de ranura.

- OptiX OSN 1500 emplea el diseño del chasis, con una pequeña base, conveniente para la instalación y mantenimiento. Se puede instalar de la siguiente manera: instalado en el gabinete la plataforma de 19", instalado en el gabinete ETSI, de montaje en pared, e instalado en el escritorio.

b) Capacidad de acceso

- El OptiX OSN 1500 puede ser configurada como sistema STM-1 / 4 en la capa de acceso ó sistema STM-16 en la capa de convergencia. Soporta actualización sin problemas de STM-1 / 4 a STM-16 mediante la adición o sustitución de la tarjeta de conexión cruzada o la adición de la tarjeta óptica STM -16 directamente.

c) Servicios Ethernet

El OptiX OSN 1500 realiza la transmisión y la convergencia de tráfico de datos. El OptiX OSN 1500 puede:

- Soporte del protocolo de encapsulación tales como: High-Level Data Link Control (HDLC), Link Access Procedure-SDH (LAPS) y Generic Framing Procedure (GFP).
- Soporte de conmutación de Capa 2 y la capacidad para clasificar tráfico Ethernet como se define en el estándar IEEE 802.1Q estándar.
- Soporte para la transmisión y la convergencia de tráfico Ethernet.
- Soporte al Link Capacity Adjustment Scheme (LCAS), logro de ajuste de la capacidad dinámica del ancho de banda de transmisión y protección de grupos concatenados.

- Soporte de la función VPN de Capa 2 y de implementar los servicios de EPL (Ethernet Private Line), EVPL (Ethernet Virtual Private Line), EPLn / EPLAN (Ethernet Private LAN) y EVPLn / EVPLAN (Ethernet Virtual Private LAN).

d) Interfaz

- Abundantes interfaces SDH, interfaces PDH, interfaces Ethernet, interfaces de reloj, interfaces de alarma e interfaces de administración.

e) Servicio de capacidad de acceso

- STM-16 estándar o servicio concatenado.
- STM-4 estándar o servicio concatenado.
- STM-1 servicio óptico y eléctrico.
- Servicio de E4.
- Servicio de E1/T1.
- Servicio de E3/DS3.
- Servicio de FE y GE.

f) Redes y Protección

- El OptiX OSN 1500 puede proporcionar una capacidad de procesamiento de hasta 40 canales integrados de control (ECC), cumpliendo plenamente los requisitos para redes complicadas. Se aplica a diversas redes a nivel STM-1/STM-4/STM-16, tales como anillos, punto a punto, malla, anillos con punto a punto, anillos tangentes y anillos intersecantes. Para una protección a nivel de red, el OptiX OSN 1500 soporta 4-fibras/2-fibras Multiplex Section Protection Ring (MSP Ring), MSP Ring lineal, para compartir la protección de la ruta virtual óptica y Subnetwork Connection Protection (SNCP).

6.2 Plataforma inteligente de transmisión óptica OptiX OSN 3500⁹

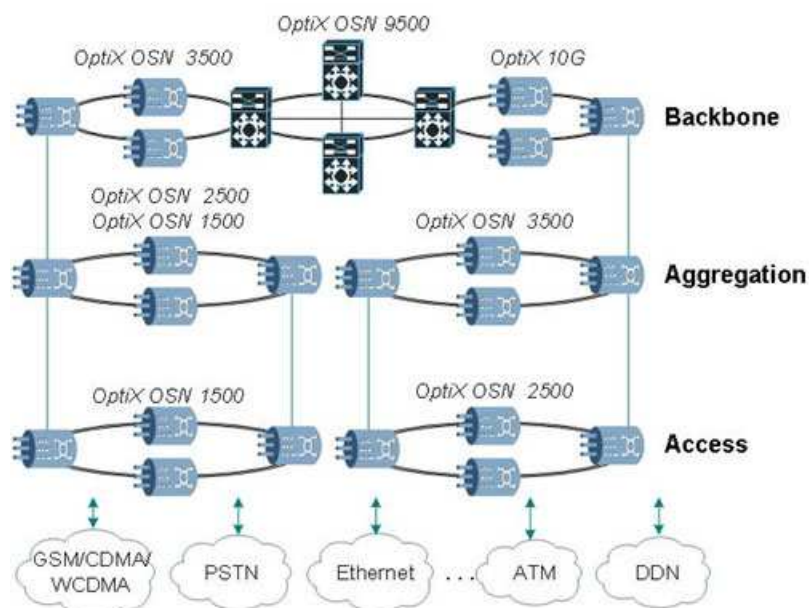
OptiX OSN 3500 es una solución flexible, el Multiplexer add / drop SDH ofrece servicios agregados y el transporte de gran ancho de banda de tráfico de voz y datos en una única plataforma. OptiX OSN 1500 ofrece eficiente servicios de gestión, rápida actualización y capacidad de expansión sin interrumpir el servicio.

El OptiX OSN 3500 está dotado con todas las características dentro de los productos de la plataforma de nueva generación NG – SDH, es decir, con la plataforma construida por la alta tasa en el bus del backplane, OptiX OSN 3500 puede ser fácilmente convertido en un producto de la red óptica inteligente. Además, como miembro de la familia de productos de redes ópticas *Huawei*, OptiX OSN 3500 tiene funciones de orden superior e inferiores, capacidad de cross – connect y abundante servicio de interfaces, y su tasa puede ser fácilmente actualizado de 2,5 Gbps. a 10Gbps. Cuando se utiliza junto con OptiX OSN 2500 (STM-1/4/16 MSTP), el software y hardware de todos los servicios a bordo, incluidos los SDH / PDH / servicios Ethernet, se pueden intercambiar en uso, minimizando el costo de inversión y mantenimiento para el cliente.



⁹ <http://www.dellcra.com/OSN3500.htm>

El producto OptiX OSN 3500 se utiliza principalmente en la capa de convergencia y en capa del backbone de una MAN. La matriz de cross – connect dota al OptiX OSN 3500 con redes flexibles y de servicio de capacidad de un Multi Add / Drop Multiplexer (MADM). Con la capa 2 (L2) de la tecnología de conmutación Ethernet y L2 de la tecnología de red privada virtual (VPN), interconexión de líneas dedicadas, así como un confiable servicio de transmisión IP y la utilidad de gran ancho de banda pueden ser cumplidos. También, se puede ahorrar el costo de inversión para los operadores de redes mediante la construcción de una red con equipos tales como: OptiX OSN 9500, OptiX 10G (Metro 5000), OptiX OSN 2500 y OptiX Metro 1000/500, como se muestra en la figura:



6.2.1 Características

a) Configuración flexible en sistemas STM-16 ó STM-64

- El OptiX OSN 3500 puede ser configurado como sistema STM-16 en la capa de convergencia o como sistema STM-64 en la capa backbone. El sistema STM-16 puede ser fácilmente actualizado a un solo STM-64.

b) Altamente integrado

- Se puede instalar en el gabinete ETSI a 300mm de profundidad. En un gabinete ETSI de 2.2m. de alto y 300mm. de profundidad para albergar dos OptiX OSN 3500.
- En la práctica, una variedad de configuración de la tarjeta ofrecen incrementar ancho de banda a medida que se cuenta con el apoyo necesario de servicios E1, T1, E3, DS3, E4, STM-1 (E / S), STM-4, STM-16 y STM-64, servicio de transmisión transparente AU3 y también de servicios Ethernet 10/100/1000 Mbps.

c) Servicios Ethernet

El acceso Ethernet del OptiX OSN 3500 se integra en la misma plataforma SDH que transporta el tráfico de voz. Ethernet sobre SDH permite a los proveedores de servicios aumentar los servicios TDM a través de Ethernet, y permite la entrega de los datos a través de las instalaciones existentes. El OptiX OSN 3500 puede:

- Soporte de tráfico Ethernet 10/100/1000Mbps.
- Soporte del protocolo de encapsulación tales como: High-Level Data Link Control (HDLC), Link Access Procedure-SDH (LAPS) y Generic Framing Procedure (GFP).
- Soporte de conmutación de Capa 2 y la capacidad para clasificar tráfico Ethernet como se define en el estándar IEEE 802.1Q estándar.
- Soporte para la transmisión y la convergencia de tráfico Ethernet.
- Soporte al Link Capacity Adjustment Scheme (LCAS), logro de ajuste de la capacidad dinámica del ancho de banda de transmisión y protección de grupos concatenados.

- Soporte de la función VPN de Capa 2 y de implementar los servicios de EPL (Ethernet Private Line), EVPL (Ethernet Virtual Private Line), EPLn / EPLAN (Ethernet Private LAN) y EVPLn / EVPLAN (Ethernet Virtual Private LAN).

d) Interfaz

- Abundantes interfaces SDH, interfaces PDH, interfaces Ethernet, interfaces de reloj, interfaces de alarma e interfaces de administración.

e) Servicio de capacidad de acceso

Mediante la configuración de las tarjetas de diferentes tipos y cantidades, el OptiX OSN 3500 puede acceder a los servicios de diferentes capacidades:

- STM-64 estándar o servicio concatenado.
- STM-16 estándar o servicio concatenado.
- STM-4 estándar o servicio concatenado.
- STM-1 servicio óptico.
- STM-1 servicio eléctrico.
- Servicio de E4.
- Servicio de E1/T1.
- Servicio de E3/DS3.
- Servicio de FE.
- Servicio de GE.

f) Redes y Protección

- Al ser un sistema de MADM, el OptiX OSN 3500 puede proporcionar una capacidad de procesamiento de hasta 40 canales integrados de control (ECC), cumpliendo plenamente los requisitos para redes complicadas. Se aplica a diversas redes a nivel STM-1/STM-4/STM-16/STM-64, tales como anillos, punto a punto, malla, anillos con punto a punto, anillos tangentes y anillos intersecantes. Para una protección a nivel de red, el OptiX OSN 3500 soporta 4-fibras/2-fibras Multiplex Section Protection Ring (MSP Ring), MSP Ring lineal, para compartir la protección de la ruta virtual óptica y Subnetwork Connection Protection (SNCP).

7. Equipo NEC

7.1 Sistema de radio microonda SDH (5000 Series)¹⁰

El sistemas de radio microonda SDH de las series 5000 y 3000 de NEC cubren las frecuencias de 4 a 11 GHz. para las transmisiones de larga distancia. La serie 5000 está diseñada utilizando la última tecnología, y la marca ITS es más que la mitad de uno de la serie 3000. Por lo tanto, la serie 5000 puede equipar hasta 10 sistemas y estos sistemas de repetidores completos ocupa solamente un rack ETSI.



7.1.1 Características

- Sistema de alta ganancia debido al nuevo circuito FEC (*Forward Error Correction*).
- 10 sistemas por rack.
- 2 circuitos de ramificación por rack.

¹⁰ <http://www.nec.com/global/prod/nw/pasolink/products/5000sdh.html>

- Multiplexor incorporado (opcional).
- Banda de frecuencia de 4 a 11 GHz.
- Capacidad de transmisión STM-1 u OC-3 (155,52 Mbps, interfaces eléctricas u ópticas); y también,
- Fast Ethernet o Gigabit Ethernet (con el multiplexor opcional).

7.2 PASOLINK de NEC¹¹

Las infraestructuras de comunicación hoy en día han registrado una dinámica y rápida evolución. Los requerimientos del mercado permiten estar sofisticándose con continuas exigencias de una mayor velocidad, flexibilidad y rendimiento. Los enlaces de radio microonda tienen una capacidad inferior en comparación con la fibra óptica, pero los enlaces de radio microonda, son abrumadoramente flexibles y confiables.

PASOLINK de NEC ha demostrado un alto rendimiento para la red con enlaces de radio de todo el mundo, satisfaciendo rápidamente la demanda de los clientes y ser utilizados estratégicamente en los enlaces de radio. En general, PASOLINK de NEC ha estado contribuyendo a la mejora de la red de comunicaciones en todo el mundo con sus más recientes tecnologías inalámbricas avanzadas.

Los sistemas PASOLINK de NEC están diseñados para proporcionar enlaces de acceso de corto alcance, incluyendo los enlaces celulares con capacidad pequeñas y medianas, operando sobre múltiples bandas de frecuencia de radio que van desde 7 hasta 38 GHz. PASOLINK también ofrece dos interfaces de 10/100 Base-T (X) asegurando anchos de banda para el crecimiento de las redes IP.

¹¹ <http://www.nec.com/global/prod/nw/pasolink/products/pasolink.html>

PASOLINK de NEC permite una instalación sencilla, la introducción de servicios rápidos, y soluciones económicas eficientes para sus necesidades diarias de transmisión, así como para situaciones más exigentes.



7.2.1 Características

- Tasa de bit libre IDU de 2x2Mbps a 16x2Mbps.
- Consiste en una unidad compacta exterior (ODU), una unidad interior (IDU) y una antena.
- Varias configuraciones de sistema (1+0, 1+1 (HS), 1+1 (SA / SD), 1+1 (FD)).
- Configuración óptima de acuerdo a la frecuencia y a la capacidad de transmisión.
- Interfaz LAN opcional de alta velocidad (10/100 Base-T (X)).
- Control Automático de potencia de TX.
- Supervisión remota y control de redes, utilizando un ordenador personal.
- Fácil, sencilla y rápida instalación.

- Bandas de frecuencias de 7, 8, 13, 15, 18, 23, 26, 28, 32 y 38 GHz.
- Capacidades de transmisión de 2x2Mbps, 4x2Mbps, 1x8Mbps, 8x2Mbps, 1x34Mbps, 16x2Mbps.

7.3 PASOLINK NEO de NEC¹²

PASOLINK NEO de NEC proporciona un avanzado sistema digital de acceso microonda punto a punto y aplicaciones de corto y largo alcance. Se emplea un diseño de plataforma común que ofrece configuraciones escalables en respuesta a una gama diversa y versátil a las necesidades del mercado. El sistema opera sobre bandas de frecuencias de radio que van desde 6 hasta 52 GHz. y en la capacidad de tráfico que van de 5x2Mbps a 2x155Mbps (STM-1). Con una capacidad de 2xSTM-1 dentro del ancho de banda de 28 MHz está disponible con XPIC para las necesidades de mayor capacidad. Para la opción de interfaz LAN, PASOLINK NEO ofrece las interfaces 10/100 Base-T (X), 1000 Base-SX y 1000 Base-T.

PASOLINK NEO ofrece una amplia gama de capacidades, bandas de frecuencias, niveles de modulación e interfaces con un único IDU común, simplemente cambiando la tarjeta de interfaz sin tener que reemplazar el equipo de radio IDU ó ODU. PASOLINK NEO cumple con la creciente demanda de servicios de transmisión digital y satisface las necesidades de enlaces de acceso móvil y de red fija, enlaces privados, las redes de nueva generación, redes temporales, y los enlaces de emergencia. Este innovado e inteligente diseño proporciona soluciones escalables con un valor óptimo de las inversiones de reducción de CAPEX y OPEX.

¹² <http://www.nec.com/global/prod/nw/pasolink/products/pasoneo.html>



7.3.1 Características

- Diseño de plataforma común (módulos con sistema Plug-in para un único IDU común).
- Capacidad actualizable por software:
 - 5E1 a 16E1 ó 40E1 a 48E1.
 - 1/2E3.
 - 16E1 a STM-1 (intercambio de tarjeta de interfaz).
- Modulación seleccionable por software:
 - QPSK hasta 128 QAM.
- Configuración flexible (1+0, 1+1, SA / SD / FD, XPIC), pueden ser fácilmente modificados y actualizados de acuerdo a sus necesidades.
- Soluciones de radio nodal:
 - Conexión de cruce digital (DXC) mejora la conectividad de red en la estación nodal.
- Interruptor automático de protección (APS) para STM-1.
- Diseño compacto: 1+0, 1+1 y la configuración del repetidor en una única IDU.

- Buena capacidad de mantenimiento con avanzadas PNMSj (PASOLINK Network Management System Java version).
- Operación de cruce polarizada de 2xSTM-1.
- Aplicación VLAN.
- Gigabit Ethernet sobre STM-1.
- Fácil configuración de red, sistema de alta ganancia y una fiabilidad superior.
- Ahorro de CAPEX y OPEX.
- Bandas de Frecuencia de 6, 7, 8, 11, 13, 15, 18, 23, 26, 28, 32, 38 y 52 GHz.
- Capacidad de transmisión de 5x2Mbps, 10x2Mbps, 16x2Mbps, 40x2Mbps, 48x2Mbps, 1x155Mbps, 2x155Mbps.

ANEXO C

Unión Internacional de Telecomunicaciones

UIT-T

SECTOR DE NORMALIZACIÓN
DE LAS TELECOMUNICACIONES
DE LA UIT

G.655

(03/2006)

SERIE G: SISTEMAS Y MEDIOS DE TRANSMISIÓN,
SISTEMAS Y REDES DIGITALES

Características de los medios de transmisión – Cables de
fibra óptica

**Características de fibras y cables ópticos
monomodo con dispersión desplazada no nula**

Recomendación UIT-T G.655

UIT-T



RECOMENDACIONES UIT-T DE LA SERIE G
SISTEMAS Y MEDIOS DE TRANSMISION, SISTEMAS Y REDES DIGITALES

CONEXIONES Y CIRCUITOS TELEFÓNICOS INTERNACIONALES	G.100-G.199
CARACTERÍSTICAS GENERALES COMUNES A TODOS LOS SISTEMAS ANALÓGICOS DE PORTADORAS	G.200-G.299
CARACTERÍSTICAS INDIVIDUALES DE LOS SISTEMAS TELEFÓNICOS INTERNACIONALES DE PORTADORAS EN LÍNEAS METÁLICAS	G.300-G.399
CARACTERÍSTICAS GENERALES DE LOS SISTEMAS TELEFÓNICOS INTERNACIONALES EN RADIOENLACES O POR SATELITE E INTERCONEXION CON LOS SISTEMAS EN LÍNEAS METÁLICAS	G.400-G.449
COORDINACIÓN DE LA RADIOTELEFONIA Y LA TELEFONIA EN LÍNEA	G.450-G.499
CARACTERÍSTICAS DE LOS MEDIOS DE TRANSMISION	G.600-G.699
Generalidades	G.600-G.609
Cables de pares simétricos	G.610-G.619
Cables terrestres de pares coaxiales	G.620-G.629
Cables submarinos	G.630-G.649
Cables de fibra óptica	G.650-G.659
Características de los componentes y los subsistemas ópticos	G.660-G.699
EQUIPOS TERMINALES DIGITALES	G.700-G.799
REDES DIGITALES	G.800-G.899
SECCIONES DIGITALES Y SISTEMAS DIGITALES DE LÍNEA	G.900-G.999
CALIDAD DE SERVICIO Y DE TRANSMISION - ASPECTOS GENERICOS Y ASPECTOS RELACIONADOS AL USUARIO	G.1000-G.1999
CARACTERÍSTICAS DE LOS MEDIOS DE TRANSMISION	G.6000-G.6999
DATOS SOBRE CAPA DE TRANSPORTE - ASPECTOS GENERICOS	G.7000-G.7999
ASPECTOS RELATIVOS AL PROTOCOLO ETHERNET SOBRE LA CAPA DE TRANSPORTE	G.8000-G.8999
REDES DE ACCESO	G.9000-G.9999

Para más información, véase la Lista de Recomendaciones del UIT-T.

Recomendación UIT-T G.655

Características de fibras y cables ópticos monomodo con dispersión desplazada no nula

Resumen

En esta Recomendación se describen las características geométricas, mecánicas y de transmisión de una fibra óptica monomodo cuyo coeficiente de dispersión cromática es, en valor absoluto, mayor que cero en la gama de longitudes de onda 1530 nm a 1565 nm. Esta dispersión reduce la aparición de efectos no lineales que puede ser especialmente perjudiciales para los sistemas que utilizan multiplexación por división en longitud de onda densa. Ésta es la última revisión de esta Recomendación publicada por primera vez en 1996, añadiéndose dos nuevas categorías de fibra en los cuadros D y E. Ambas categorías limitan el coeficiente de dispersión cromática mediante un par de curvas limitantes en función de la longitud de onda para la gama comprendida entre 1460 nm y 1625 nm. Aunque la dispersión puede cambiar de signo a longitudes de onda inferiores a 1530 nm, se ha querido incluir dichos valores de longitud de onda más bajos con objeto de proporcionar información para soportar aplicaciones de multiplexación por división aproximada en longitud de onda sin degradación no lineal significativa en los canales de 1471 nm y superiores. Estos cuadros se presentan para diferenciar las dos familias principales de fibras G.655 soportadas por diversos fabricantes. Los cuadros A, B y C no se han modificado. Los cuadros A y B no se incluyen en esta publicación, sino en la edición de 2003 de esta Recomendación.

Orígenes

La Recomendación UIT-T G.655 fue aprobada el 29 de marzo de 2006 por la Comisión de Estudio 15 (2005-2008) del UIT-T por el procedimiento de la Recomendación UIT-T A.8.

1996 Primera versión.

10/2000 Versión 2. En esta revisión se añadieron cuadros para los diferentes niveles de soporte del sistema.

03/2003 Versión 3. De conformidad con el acuerdo sobre las bandas espectrales, la descripción del límite superior de la banda L ha pasado de 16xx a 1625 nm. Se han cambiado los términos subcategoría básica y subcategoría por categoría básica y categoría. Se han añadido los requisitos PMD en todas las categorías y dos de ellas tienen un límite reducido (comparado con 0,5 ps/√km). En las pruebas de macroflexión el diámetro del mandril se ha reducido a un radio de 30 mm. Según lo anterior, esta Recomendación ha evolucionado considerablemente con el paso de los años; por ello se advierte al lector que para determinar las características de los productos ya instalados, utilice la versión adecuada, para lo cual deberá fijarse en el año de producción. En realidad, se espera que los productos sean conformes con la Recomendación que estaba en vigor cuando se fabricaron, y puede que no sean completamente conformes con las subsiguientes versiones de la Recomendación.

PREFACIO

La UIT (Unión Internacional de Telecomunicaciones) es el organismo especializado de las Naciones Unidas en el campo de las telecomunicaciones. El UIT-T (Sector de Normalización de las Telecomunicaciones de la UIT) es un órgano permanente de la UIT. Este órgano estudia los aspectos técnicos, de explotación y tarifarios y publica Recomendaciones sobre los mismos, con miras a la normalización de las telecomunicaciones en el plano mundial.

La Asamblea Mundial de Normalización de las Telecomunicaciones (AMNT), que se celebra cada cuatro años, establece los temas que han de estudiar las Comisiones de Estudio del UIT-T, que a su vez producen Recomendaciones sobre dichos temas.

La aprobación de Recomendaciones por los Miembros del UIT-T es el objeto del procedimiento establecido en la Resolución 1 de la AMNT.

En ciertos sectores de la tecnología de la información que corresponden a la esfera de competencia del UIT-T, se preparan las normas necesarias en colaboración con la ISO y la CEI.

NOTA

En esta Recomendación, la expresión "Administración" se utiliza para designar, en forma abreviada, tanto una administración de telecomunicaciones como una empresa de explotación reconocida de telecomunicaciones.

La observancia de esta Recomendación es voluntaria. Ahora bien, la Recomendación puede contener ciertas disposiciones obligatorias (para asegurar, por ejemplo, la aplicabilidad o la interoperabilidad), por lo que la observancia se consigue con el cumplimiento exacto y puntual de todas las disposiciones obligatorias. La obligatoriedad de un elemento preceptivo o requisito se expresa mediante las frases "tener que, haber de, hay que + infinitivo" o el verbo principal en tiempo futuro simple de mandato, en modo afirmativo o negativo. El hecho de que se utilice esta formulación no entraña que la observancia se imponga a ninguna de las partes.

PROPIEDAD INTELECTUAL

La UIT señala a la atención la posibilidad de que la utilización o aplicación de la presente Recomendación suponga el empleo de un derecho de propiedad intelectual reivindicado. La UIT no adopta ninguna posición en cuanto a la demostración, validez o aplicabilidad de los derechos de propiedad intelectual reivindicados, ya sea por los miembros de la UIT o por terceros ajenos al proceso de elaboración de Recomendaciones.

En la fecha de aprobación de la presente Recomendación, la UIT ha recibido notificación de propiedad intelectual, protegida por patente, que puede ser necesaria para aplicar esta Recomendación. Sin embargo, debe señalarse a los usuarios que puede que esta información no se encuentre totalmente actualizada al respecto, por lo que se les insta encarecidamente a consultar la base de datos sobre patentes de la TSB.

© UIT 2006

Reservados todos los derechos. Ninguna parte de esta publicación puede reproducirse por ningún procedimiento sin previa autorización escrita por parte de la UIT.

ÍNDICE

	Página
1 Alcance	1
2 Referencias	2
2.1 Referencias normativas	2
2.2 Referencias informativas	2
3 Términos y definiciones	3
4 Abreviaturas, siglas o acrónimos	3
5 Características de la fibra	3
5.1 Diámetro del campo modal	3
5.2 Diámetro del revestimiento	3
5.3 Error de concentricidad del campo modal	3
5.4 No circularidad	4
5.5 Longitud de onda de corte	4
5.6 Pérdida por macroflexiones	4
5.7 Propiedades materiales de la fibra	5
5.8 Perfil del índice de refracción	5
5.9 Uniformidad longitudinal de la dispersión cromática	5
5.10 Coeficiente de dispersión cromática	5
6 Características del cable	6
6.1 Coeficiente de atenuación	6
6.2 Coeficiente de dispersión por modo de polarización (PMD)	7
7 Cuadros de valores recomendados	7
Apéndice I – Información de los atributos del enlace y de diseño del sistema	12
I.1 Atenuación	12
I.2 Dispersión cromática	12
I.3 Retardo diferencial de grupo (DGD)	13
I.4 Coeficiente no lineal	13
I.5 Cuadros de valores típicos comunes	13
I.6 Ejemplos de implementación	14
I.7 Límites del coeficiente de dispersión cromática para los cuadros D y E	15
BIBLIOGRAFÍA	18

Recomendación UIT-T G.655

Características de fibras y cables ópticos monomodo con dispersión desplazada no nula

1 Alcance

En esta Recomendación se describe una fibra monomodo cuyo coeficiente de dispersión cromática (valor absoluto) es mayor que algún valor diferente de cero en la gama de longitudes de onda superiores a 1530 nm. Esta dispersión reduce la aparición de los efectos no lineales que pueden resultar especialmente perjudiciales para los sistemas que utilizan multiplexación por división en longitud de onda densa (DWDM, *dense wavelength division multiplexing*). Con longitudes de onda menores, el coeficiente de dispersión puede ser cero, si bien es posible especificar, para estas longitudes de onda, otros valores del mismo para soportar sistemas que usen multiplexación por división aproximada en longitud de onda (CWDM, *coarse wavelength division multiplexing*) sin degradación significativa causada por efectos no lineales.

Estas fibras se diseñaron inicialmente para su utilización en la gama de longitudes de onda comprendidas entre 1530 nm y 1565 nm. Se han añadido disposiciones para soportar la transmisión con longitudes de onda superiores, hasta 1625 nm, e inferiores, hasta 1460 nm.

En la cláusula 7, los cuadros D y E distinguen las dos familias principales de implementaciones de fibra G.655 soportadas por varios vendedores. Los cuadros A, B y C pueden usarse para definir otras implementaciones. Los cuadros A y B no se incluyen en esta Recomendación, pero sí en la edición de 2003 de esta Recomendación.

Los parámetros geométricos, ópticos, de transmisión y mecánicos se describen a continuación para tres categorías de atributos:

- los atributos de la fibra son aquellos que se mantienen en el cableado y la instalación;
- los atributos del cable, que son los recomendados para el suministro del cable;
- los atributos de enlace, que son las características de cables concatenados, y que describen los métodos de estimación de los parámetros de las interfaces del sistema basadas en medidas, modelado u otras consideraciones. Los atributos de enlace y de diseño del sistema se describen en el apéndice I.

Se pretende que esta Recomendación, y las diferentes categorías que aparecen en los cuadros de la cláusula 7, soporten los sistemas de las siguientes Recomendaciones afines:

- Rec. UIT-T G.691.
- Rec. UIT-T G.692.
- Rec. UIT-T G.693.
- Rec. UIT-T G.695.
- Rec. UIT-T G.696.1.
- Rec. UIT-T G.698.1.
- Rec. UIT-T G.957.
- Rec. UIT-T G.959.1.

En esta Recomendación se presenta una combinación de diseños de fibra que pueden cubrir un amplio espectro de aplicaciones. En el futuro se podrán realizar algunas modificaciones. Sin embargo, la compatibilidad en un mismo sistema de fibras de distintas características no ha sido aún probada, siendo en general cuestionable su utilización simultánea en un mismo sistema y debiendo ello ser objeto de un acuerdo entre el usuario y el fabricante.

El significado de los términos utilizados en esta Recomendación y las directrices que habrán de seguirse en la medición para la verificación de las diversas características son las incluidas en las Recs. UIT-T G.650.1 y G.650.2. Las características de esta fibra, incluidas las definiciones de los parámetros correspondientes, sus métodos de prueba y los valores pertinentes, se precisarán a medida que se avance en los estudios y se adquiera experiencia.

2 Referencias

2.1 Referencias normativas

Las siguientes Recomendaciones del UIT-T y otras referencias contienen disposiciones que, mediante su referencia en este texto, constituyen disposiciones de la presente Recomendación. Al efectuar esta publicación, estaban en vigor las ediciones indicadas. Todas las Recomendaciones y otras referencias son objeto de revisiones por lo que se preconiza que los usuarios de esta Recomendación investiguen la posibilidad de aplicar las ediciones más recientes de las Recomendaciones y otras referencias citadas a continuación. Se publica periódicamente una lista de las Recomendaciones UIT-T actualmente vigentes. En esta Recomendación, la referencia a un documento, en tanto que autónomo, no le otorga el rango de una Recomendación.

- Recomendación UIT-T G.650.1 (2004), *Definiciones y métodos de prueba de los atributos lineales y determinísticos de fibras y cables monomodo.*
- Recomendación UIT-T G.650.2 (2005), *Definiciones y métodos de prueba de los atributos estadísticos y no lineales de fibras y cables monomodo.*

2.2 Referencias informativas

- Recomendación UIT-T G.663 (2000), *Aspectos relacionados con la aplicación de los dispositivos y subsistemas de amplificadores ópticos.*
- Recomendación UIT-T G.691 (2006), *Interfaces ópticas para sistemas monocanal STM-64 y otros sistemas de la jerarquía digital síncrona con amplificadores ópticos.*
- Recomendación UIT-T G.692 (1998), *Interfaces ópticas para sistemas multicanales con amplificadores ópticos.*
- Recomendación UIT-T G.693 (2006), *Interfaces ópticas para sistemas de conexión local.*
- Recomendación UIT-T G.694.1 (2002), *Planes espectrales para las aplicaciones de multiplexación por división en longitud de onda: Plan de frecuencias con multiplexación por división en longitud de onda densa.*
- Recomendación UIT-T G.695 (2005), *Interfaces ópticas para aplicaciones de multiplexación por división aproximada en longitud de onda.*
- Recomendación UIT-T G.696.1 (2005), *Aplicaciones de la multiplexación por división en longitud de onda densa en el intradominio longitudinalmente compatibles.*
- Recomendación UIT-T G.698.1 (2005), *Aplicaciones de multiplexación por división en longitud de onda densa con interfaces ópticas monocanal.*
- Recomendación UIT-T G.957 (2006), *Interfaces ópticas para equipos y sistemas relacionados con la jerarquía digital síncrona.*
- Recomendación UIT-T G.959.1 (2006), *Interfaces de capa física de red de transporte óptica.*

3 Términos y definiciones

Para los fines de esta Recomendación, se aplican las definiciones contenidas en las Recs. UIT-T G.650.1 y G.650.2. Antes de evaluar su conformidad, los valores se redondean al número de dígitos que figuran en los cuadros de valores recomendados.

4 Abreviaturas, siglas o acrónimos

En esta Recomendación se utilizan las siguientes abreviaturas, siglas o acrónimos.

A_{eff}	Área efectiva (<i>effective area</i>)
CWDM	Multiplexación por división aproximada en longitud de onda (<i>coarse wavelength division multiplexing</i>)
DGD	Retardo diferencial de grupo (<i>differential group delay</i>)
DWDM	Multiplexación por división en longitud de onda densa (<i>dense wavelength division multiplexing</i>)
GPa	GigaPascal
PMD	Dispersión por modo de polarización (<i>polarization mode dispersion</i>)
PMD_{σ}	Parámetro estadístico para enlaces de tipo PMD (<i>statistical parameter for PMD link</i>)
SDH	Jerarquía digital sincrona (<i>synchronous digital hierarchy</i>)
TBD	Por determinar (<i>to be determined</i>)
WDM	Multiplexación por división en longitud de onda (<i>wavelength division multiplexing</i>)

5 Características de la fibra

En esta cláusula sólo se recomiendan las características de la fibra que proporcionan una mínima estructura de diseño esencial para su fabricación. Los cuadros de la cláusula 7 presentan rangos o límites de valores. De éstos, la longitud de onda de corte de la fibra cableada y la PMD pueden verse apreciablemente afectadas por la fabricación o la instalación del cable. En los demás casos, las características recomendadas se aplicarán igualmente a las fibras individuales, a las fibras incorporadas en un cable arrollado en un tambor, y a las fibras en cables instalados.

5.1 Diámetro del campo modal

El valor nominal del diámetro de campo modal y la tolerancia del mismo se especifican para 1550 nm. El valor nominal especificado debe encontrarse dentro de la gama de valores de la cláusula 7. La tolerancia especificada no debe exceder el valor especificado en la cláusula 7. La desviación respecto al valor nominal no debe exceder la tolerancia especificada.

5.2 Diámetro del revestimiento

El valor nominal recomendado del diámetro del revestimiento es 125 μm . En la cláusula 7 se especifica asimismo una tolerancia que no debe ser superada. La desviación del revestimiento con respecto al valor nominal no debe exceder la tolerancia especificada.

5.3 Error de concentricidad del campo modal

El error de concentricidad no debe exceder del valor especificado en la cláusula 7.

5.4 No circularidad

5.4.1 No circularidad del campo modal

En la práctica, la no circularidad del campo modal de las fibras que tienen campos modales nominalmente circulares es lo suficientemente baja como para que la propagación y las uniones no se vean afectadas. En consecuencia, no se considera necesario recomendar un valor determinado de no circularidad del campo modal. En general, no es necesario medir la no circularidad del campo modal con fines de aceptación.

5.4.2 No circularidad del revestimiento

La no circularidad del revestimiento no debe exceder el valor especificado en la cláusula 7.

5.5 Longitud de onda de corte

Pueden distinguirse tres tipos útiles de longitudes de onda de corte:

- Longitud de onda de corte del cable, λ_{cc} .
- Longitud de onda de corte de la fibra, λ_c .
- Longitud de onda de corte del cable puente, $\lambda_{c\bar{c}}$.

NOTA – Para algunas aplicaciones específicas de cables submarinos pueden ser necesarias otros valores de longitud de onda de corte.

La correlación de los valores medidos de λ_c , λ_{cc} y $\lambda_{c\bar{c}}$ depende del diseño específico de la fibra y del cable, así como de las condiciones de prueba. Aunque en general $\lambda_{cc} < \lambda_{c\bar{c}} < \lambda_c$, no puede establecerse fácilmente una relación cuantitativa. Es de suma importancia garantizar la transmisión monomodo en el largo de cable mínimo entre uniones a la mínima longitud de onda de funcionamiento del sistema. Ello puede conseguirse de dos formas: recomendando que la longitud de onda de corte máxima λ_{cc} del cable compuesto de fibra óptica monomodo sea 1480 nm, o en el caso de puentes o cables de unión típicos, recomendando que la longitud de onda de corte del cable puente sea de 1480 nm, o en el peor caso de longitud y de flexiones de la fibra, recomendando que la longitud de onda de corte máxima de la fibra sea de 1470 nm.

La longitud de onda de corte del cable, λ_{cc} , deberá ser inferior al valor máximo especificado en la cláusula 7.

5.6 Pérdida por macroflexiones

La pérdida por macroflexiones varía con la longitud de onda, el radio de curvatura y el número de vueltas en el mandril con un radio especificado. Las pérdidas por macroflexión no deben exceder el valor máximo de la cláusula 7 para las longitudes de onda, el radio de curvatura y el número de vueltas especificados.

NOTA 1 – Una prueba de aptitud puede ser suficiente para comprobar que se cumple este requisito.

NOTA 2 – El número recomendado de vueltas corresponde al número aproximado de vueltas utilizadas en todos los empalmes de una sección de repetición típica. El radio recomendado es equivalente al mínimo radio de curvatura generalmente aceptado en el montaje a largo plazo de fibras en las instalaciones de sistemas reales, para evitar fallos por fatiga estática.

NOTA 3 – Se sugiere que si por razones de orden práctico se elige para la implementación un número de vueltas menor al recomendado, nunca se empleen menos de 40 vueltas, siendo entonces el incremento de la pérdida proporcionalmente menor.

NOTA 4 – La recomendación sobre la pérdida por macroflexión se refiere al montaje de las fibras en instalaciones reales de sistemas de fibras monomodo. La influencia de los radios de curvatura relacionados con el trenzado de fibras monomodo cableadas, sobre la característica de pérdida, se incluye en la especificación de pérdida de la fibra cableada.

NOTA 5 – Cuando se requieran pruebas de rutina, en lugar del valor recomendado, puede utilizarse un bucle de pequeño diámetro de una o varias vueltas al objeto de conseguir precisión y facilitar la medida. En este caso, el diámetro del bucle, el número de vueltas y la máxima pérdida admisible por flexión para la prueba de varias vueltas, debe elegirse de modo que corresponda con la prueba recomendada y la pérdida permitida.

5.7 Propiedades materiales de la fibra

5.7.1 Materiales de la fibra

Deben indicarse las sustancias que entran en la composición de las fibras.

NOTA – Debe procederse con cuidado al empalmar por fusión fibras de diferentes sustancias. Resultados provisionales de pruebas realizadas indican que pueden obtenerse características adecuadas de pérdida en los empalmes y de resistencia mecánica cuando se empalman fibras diferentes de alto contenido de sílice.

5.7.2 Materiales protectores

Deben indicarse las propiedades físicas y químicas del material utilizado para el recubrimiento primario de la fibra, y la mejor manera de retirarlo (si es necesario). En el caso de una fibra con una sola envoltura, se darán indicaciones similares.

5.7.3 Nivel de prueba de resistencia mecánica

El nivel de prueba de resistencia mecánica especificada, σ_p , no será inferior al valor mínimo especificado en la cláusula 7.

NOTA – Las definiciones de los parámetros mecánicos figuran en 3.2.3/G.650.1 y 5.6/G.650.1.

5.8 Perfil del índice de refracción

Generalmente no es necesario conocer el perfil del índice de refracción de la fibra.

5.9 Uniformidad longitudinal de la dispersión cromática

Queda en estudio.

NOTA – Para una longitud de onda específica, el valor absoluto local del coeficiente de dispersión puede variar respecto al valor medido en una sección de gran longitud. Si el valor disminuye hasta un valor pequeño a una longitud de onda próxima a una longitud de onda de funcionamiento de un sistema WDM, la mezcla de cuatro ondas puede inducir la propagación de potencia a otras longitudes de onda, incluyendo, pero no estando limitada a, otras longitudes de onda de funcionamiento. La magnitud de la potencia de la mezcla de cuatro ondas es función del valor absoluto del coeficiente de dispersión cromática, la pendiente de dispersión cromática, las longitudes de onda de funcionamiento, de la potencia óptica y la distancia a lo largo de la cual se produce la mezcla de cuatro ondas.

5.10 Coeficiente de dispersión cromática

El coeficiente de dispersión cromática, D , se especifica para una gama de longitudes de onda. La Rec. UIT-T G.650.1 proporciona los métodos de medida. Existen dos métodos para especificar los límites: el original, que es una especificación de tipo caja, y el nuevo, en el que los valores del coeficiente de dispersión están limitados por un par de curvas.

NOTA 1 – La uniformidad de la dispersión cromática debe ser coherente con el funcionamiento del sistema.

NOTA 2 – Los requisitos de la dispersión cromática obedecen al diseño del sistema WDM, que debe equilibrar la dispersión cromática de primer orden con diversos efectos no lineales, tales como el mezclado de cuatro ondas, la modulación de fase cruzada, la inestabilidad de la modulación, la dispersión Brillouin estimulada, y la formación de solitones (véase la Rec. UIT-T G.663). El efecto de la dispersión cromática es interactivo con la no linealidad de la fibra, y se define mediante el coeficiente de no linealidad.

NOTA 3 – No es necesario efectuar mediciones periódicas del coeficiente de dispersión cromática.

5.10.1 Forma de especificación original

Esta forma de especificación es aplicable al cuadro C de la cláusula 7, así como a los cuadros A y B correspondientes a la versión de 2003 de esta Recomendación.

El coeficiente de dispersión cromática, D , se especifica para una gama de longitudes de onda estableciendo un rango de valores absolutos permitidos para el mismo. El coeficiente de dispersión cromática no deberá cruzar el valor cero para la gama de longitudes de onda especificada. También se especifica el signo de la dispersión cromática. La forma de dicha especificación es la siguiente:

$$D_{\min} \leq |D(\lambda)| \leq D_{\max} \quad \text{para } \lambda_{\min} \leq \lambda \leq \lambda_{\max}$$

donde:

$$0,1 \text{ ps/nm}\cdot\text{km} \leq D_{\min} \leq D_{\max} \leq 10,0 \text{ ps/nm}\cdot\text{km}$$

$$1530 \text{ nm} \leq \lambda_{\min} \leq \lambda_{\max} \leq 1565 \text{ nm}$$

$$D_{\max} \leq D_{\min} + 5,0 \text{ ps/nm}\cdot\text{km}$$

Los valores de D_{\min} , D_{\max} , λ_{\min} , λ_{\max} y el signo deben estar comprendidos en las gamas especificadas en la cláusula 7. En el apéndice I se presentan algunos ejemplos de implementación. La ampliación a longitudes de onda superiores a 1565 nm e inferiores a 1530 nm está en estudio.

NOTA 1 – D_{\min} no se produce necesariamente a λ_{\max} y D_{\max} no se produce necesariamente a λ_{\min} .

NOTA 2 – El signo de D no varía en la mencionada gama de longitudes de onda para una fibra dada, pero puede variar de una fibra a otra dentro de un sistema.

NOTA 3 – Puede ser necesario especificar el signo de D según el diseño del sistema y el tipo de transmisión.

5.10.2 Especificación basada en un par de curvas limitantes

Esta especificación se aplica a los cuadros D y E de la cláusula 7.

Para cada longitud de onda, λ , el coeficiente de dispersión cromática, $D(\lambda)$, se restringirá a una gama de valores asociados a dos curvas límites, $D_{\min}(\lambda)$ y $D_{\max}(\lambda)$, para una o varias gamas de longitud de onda especificadas en función de λ_{\min} y λ_{\max} .

Un conjunto de curvas ejemplo se representa simbólicamente como un par de líneas rectas:

$$D_{\min}(\lambda) = a_{\min} + b_{\min}(\lambda - 1460) \quad (\text{ps/nm}\cdot\text{km})$$

$$D_{\max}(\lambda) = a_{\max} + b_{\max}(\lambda - 1460) \quad (\text{ps/nm}\cdot\text{km})$$

$$D_{\min}(\lambda) \leq D(\lambda) \leq D_{\max}(\lambda) \quad (\text{ps/nm}\cdot\text{km})$$

Las curvas límite pueden variar de una longitud de onda a otra.

6 Características del cable

Dado que las características geométricas y ópticas de las fibras indicadas en la cláusula 5 se ven muy poco afectadas por el proceso de cableado, en esta cláusula se presentan recomendaciones principalmente relativas a las características de transmisión de los largos de fabricación cableados. Las condiciones ambientales y de prueba son de gran importancia y se describen en las directrices sobre métodos de prueba.

6.1 Coeficiente de atenuación

El coeficiente de atenuación se especifica con un valor máximo para una o más longitudes de onda en la región de 1550 nm. Los valores del coeficiente de atenuación de los cables de fibra óptica no deben exceder los valores especificados en la cláusula 7.

NOTA – El coeficiente de atenuación se puede calcular para todo un espectro de longitudes de onda, a partir de las mediciones de unas pocas (3 a 4) longitudes de onda predictoras. Este procedimiento se describe en 5.4.4/G.650.1. En el apéndice III/G.650.1 se da un ejemplo.

6.2 Coeficiente de dispersión por modo de polarización (PMD)

Cuando sea necesario, la dispersión por modo de polarización de la fibra cableada se especifica estadísticamente, y no de forma individual. Los requisitos se refieren sólo al aspecto del enlace calculado a partir de la información del cable. A continuación se describe la métrica de la especificación estadística. En CEI/TR.61282-3 se describen los métodos de cálculo que se resumen en el apéndice IV/G.650.2.

El fabricante debe proporcionar un valor de PMD de diseño del enlace, PMD_0 , que constituya el límite estadístico superior del coeficiente de PMD de los cables de fibra óptica concatenados en un posible enlace de M secciones de cable. El límite superior se define con respecto a un bajo nivel de probabilidad, Q , que es la probabilidad de que un valor del coeficiente de PMD concatenado sea mayor que PMD_0 . Para los valores de M y de Q especificados en la cláusula 7, el valor de PMD_0 no debe superar el coeficiente máximo de PMD especificado en la cláusula 7.

Las medidas y especificaciones relativas a fibras no cableadas son necesarias, pero no suficientes para garantizar la especificación de la fibra cableada. El valor máximo de diseño del enlace especificado para fibra no cableada será igual o inferior al especificado para fibra cableada. La relación entre los valores de PMD para fibra no cableada y para fibra cableada depende de los detalles de la construcción y del procesado del cable, así como de la condición del acoplamiento de modo de la fibra no cableada. En la Rec. UIT-T G.650.2 se propone el despliegue de un acoplamiento de modo bajo, lo que exige un enrollado de baja tensión en un carrete de gran diámetro para realizar mediciones de PMD en fibra no cableada.

Puede interpretarse que los límites de la distribución de los valores de los coeficientes de PMD son prácticamente equivalentes a los límites de la variación estadística del retardo diferencial de grupo (DGD), que varía aleatoriamente en función del tiempo y de la longitud de onda. Cuando se especifica la distribución del coeficiente de PMD para cables de fibra óptica, pueden determinarse límites equivalentes para la variación del DGD. En el apéndice I figuran la métrica y los valores de los límites de la distribución del DGD de enlace.

NOTA 1 – La especificación de PMD_0 se requeriría únicamente si los cables se utilizan para sistemas que posean la especificación de DGD máximo. Así, por ejemplo, la especificación de PMD_0 no se aplicaría a los sistemas propuestos en la Rec. UIT-T G.957.

NOTA 2 – El PMD_0 debe calcularse para varios tipos de cables, generalmente a través de valores de PMD muestreados y obtenidos a partir de cables o construcciones similares.

NOTA 3 – La especificación de PMD_0 no se debe aplicar a cables cortos, como los cables de conexión, de interior o de bajada.

7 Cuadros de valores recomendados

Los cuadros siguientes resumen los valores recomendados para una serie de categorías de fibras que satisfacen los objetivos de esta Recomendación. Estas categorías se distinguen principalmente por los requisitos PMD y las características de dispersión cromática. Véase el apéndice I para ampliar información sobre las distancias de transmisión y las velocidades binarias en relación con los requisitos PMD.

El cuadro 1, "G.655.A Atributos" y el cuadro 2, "G.655.B Atributos", aparecen en la versión 2003 de esta Recomendación.

El cuadro 3, "G.655.C Atributos", mantiene la especificación original "en tipo de caja" para el coeficiente de dispersión, el cual permite una referencia a las fibras con dispersión negativa que puedan adecuarse como parte de los enlaces de gestión de la dispersión, como los usados en

sistemas submarinos. Asimismo, soporta Recomendaciones de interfaz óptico, tales como las Recs. UIT-T G.691, G.959.1 y G.693. Para sistemas de DWDM, se soportan las separaciones de canal definidas en la Rec. UIT-T G.694.1, dependiendo de la dispersión mínima seleccionada. Los requisitos de PDM permiten el funcionamiento de los sistemas STM-64 hasta longitudes de 2000 km, dependiendo del resto de elementos del sistema.

El cuadro 4, "G.655.D Atributos", define los requisitos del coeficiente de dispersión cromática como un par de curvas limitantes en función de la longitud de onda para valores de ésta comprendidos entre 1460 nm y 1625 nm. Para longitudes de onda superiores a 1530 nm, la dispersión es positiva y de magnitud suficiente como para eliminar la mayoría de degradaciones no lineales, soportándose asimismo las aplicaciones mencionadas en el cuadro 3. Para longitudes de onda inferiores a 1530 nm, la dispersión cruza el valor cero, si bien la fibra puede utilizarse para soportar aplicaciones por CWDM en canales de 1471 nm y superiores.

El cuadro 5, "G.655.E Atributos", define los requisitos de la dispersión cromática de la misma manera que el cuadro 4, si bien posee valores más elevados que pueden ser importantes para algunos sistemas, por ejemplo para aquellos que presentan las menores separaciones de canal. Se soportan las aplicaciones mencionadas en el cuadro 3. Las fibras que cumplen dichos requisitos son positivas y distintas de cero para longitudes de onda superiores a 1460 nm.

NOTA – En muchas aplicaciones submarinas se pueden utilizar dichas fibras, consiguiéndose la total optimización en algunas de dichas aplicaciones mediante límites distintos de los aquí indicados. Un ejemplo podría ser permitir que la longitud de onda de corte del cable pueda tener valores tan altos como 1500 nm.

En el apéndice I se ilustran varios ejemplos de implementación que se diferencian por los valores de dispersión cromática, la pendiente de la dispersión y los distintos valores de coeficientes no lineales del enlace. Dichas opciones ilustran la posibilidad de establecer distintos equilibrios entre potencia, separación de canales, longitud del enlace, separación entre amplificadores y velocidad binaria.

Cuadro 3/G.655 – G.655.C Atributos

Atributos de la fibra		
Atributo	Dato	Valor
Diámetro de campo modal	Longitud de onda	1550 nm
	Gama de valores nominales	8-11 μm
	Tolerancia	$\pm 0,7 \mu\text{m}$
Diámetro del revestimiento	Nominal	125 μm
	Tolerancia	$\pm 1 \mu\text{m}$
Error de concentricidad del núcleo	Máximo	0,8 μm
No circularidad del revestimiento	Máximo	2,0%
Longitud de onda de corte del cable	Máximo	1450 nm
Pérdida de macroflexión	Radio	30 mm
	Número de vueltas	100
	Máximo a 1625 nm	0,50 dB
Prueba de tensión	Mínimo	0,69 GPa
Coeficiente de dispersión cromática Gama de longitudes de onda: 1530-1565 nm	λ_{min} y λ_{max}	1530 nm y 1565 nm
	Valor mínimo de D_{total}	1,0 ps/nm-km
	Valor máximo de D_{total}	10,0 ps/nm-km
	Signo	Positivo o negativo
	$D_{\text{total}} - D_{\text{mat}}$	$\leq 5,0$ ps/nm-km
Coeficiente de dispersión cromática Gama de longitudes de onda: 1565-1625 nm	λ_{min} y λ_{max}	Debe determinarse
	Valor mínimo de D_{total}	Debe determinarse
	Valor máximo de D_{total}	Debe determinarse
	Signo	Positivo o negativo
Coeficiente de PMD de fibra no cableada	Máximo	(Véase la nota 1)
Atributos de cable		
Atributo	Dato	Valor
Coeficiente de atenuación	Máximo a 1550 nm	0,35 dB/km
	Máximo a 1625 nm	0,4 dB/km
Coeficiente de PMD	M	20 cables
	Q	0,01%
	PMD ₀ máximo	0,20 ps/ $\sqrt{\text{km}}$
NOTA 1 – Con arreglo a 6.2, se especifica un valor máximo de PMD ₀ para fibra no cableada con objeto de soportar los requisitos primarios de PMD ₀ del cable.		
NOTA 2 – El fabricante y el usuario podrán acordar valores de PMD ₀ superiores (por ejemplo $\leq 0,5$ ps/ $\sqrt{\text{km}}$) para aplicaciones específicas.		

Cuadro 4/G.655 – G.655.D Atributos

Atributos de la fibra		
Atributo	Dato	Valor
Diámetro de campo modal	Longitud de onda	1550 nm
	Gama de valores nominales	8-11 μm
	Tolerancia	$\pm 0,6 \mu\text{m}$
Diámetro del revestimiento	Nominal	125 μm
	Tolerancia	$\pm 1 \mu\text{m}$
Error de concentricidad del núcleo	Máximo	0,6 μm
No circularidad del revestimiento	Máximo	1,0%
Longitud de onda de corte del cable	Máximo	1450 nm
Pérdida de macroflexión	Radio	30 mm
	Número de vueltas	100
	Máximo a 1625 nm	0,1 dB
Prueba de tensión	Mínimo	0,69 GPa
Coeficiente de dispersión cromática (ps/nm.km)	$D_{\text{mat}}(\lambda)$: 1460-1550 nm	$\frac{7,00}{90}(\lambda - 1460) - 4,20$
	$D_{\text{mat}}(\lambda)$: 1550-1625 nm	$\frac{2,97}{75}(\lambda - 1550) + 2,80$
	$D_{\text{mat}}(\lambda)$: 1460-1550 nm	$\frac{2,91}{90}(\lambda - 1460) + 3,29$
	$D_{\text{mat}}(\lambda)$: 1550-1625 nm	$\frac{5,06}{75}(\lambda - 1550) + 6,20$
Atributos de cable		
Atributo	Dato	Valor
Coeficiente de atenuación	Máximo a 1550 nm	0,35 dB/km
	Máximo a 1625 nm	0,4 dB/km
Coeficiente de PMD	M	20 cables
	Q	0,01%
	PMD _Q máximo	0,20 ps/ $\sqrt{\text{km}}$
NOTA 1 – Con arreglo a 6.2, se especifica un valor máximo de PMD _Q para fibra no cableada con objeto de soportar los requisitos primarios de PMD _Q del cable.		
NOTA 2 – El fabricante y el usuario podrán acordar valores de PMD _Q superiores (por ejemplo $\leq 0,5 \text{ ps}/\sqrt{\text{km}}$) para aplicaciones específicas.		

Cuadro 5/G.655 – G.655.E Atributos

Atributos de la fibra		
Atributo	Dato	Valor
Diámetro de campo modal	Longitud de onda	1550 nm
	Gama de valores nominales	8-11 μm
	Tolerancia	$\pm 0,6 \mu\text{m}$
Diámetro del revestimiento	Nominal	125 μm
	Tolerancia	$\pm 1 \mu\text{m}$
Error de concentricidad del núcleo	Máximo	0,6 μm
No circularidad del revestimiento	Máximo	1,0%
Longitud de onda de corte del cable	Máximo	1450 nm
Pérdida de macroflexión	Radio	30 mm
	Número de vueltas	100
	Máximo a 1625 nm	0,1 dB
Prueba de tensión	Mínimo	0,69 GPa
Coeficiente de dispersión cromática (ps/nm-km)	$D_{\text{mat}}(\lambda)$: 1460-1550 nm	$\frac{5,42}{90}(\lambda - 1460) + 0,64$
	$D_{\text{mat}}(\lambda)$: 1550-1625 nm	$\frac{3,30}{75}(\lambda - 1550) + 6,06$
	$D_{\text{mat}}(\lambda)$: 1460-1550 nm	$\frac{4,65}{90}(\lambda - 1460) + 4,66$
	$D_{\text{mat}}(\lambda)$: 1550-1625 nm	$\frac{4,12}{75}(\lambda - 1550) + 9,31$
Atributos de cable		
Atributo	Dato	Valor
Coeficiente de atenuación	Máximo a 1550 nm	0,35 dB/km
	Máximo a 1625 nm	0,4 dB/km
Coeficiente de PMD	M	20 cables
	Q	0,01%
	PMD _Q máximo	0,20 ps/ $\sqrt{\text{km}}$
NOTA 1 – Con arreglo a 6.2, se especifica un valor máximo de PMD _Q para fibra no cableada con objeto de soportar los requisitos primarios de PMD _Q del cable. NOTA 2 – El fabricante y el usuario podrán acordar valores de PMD _Q superiores (por ejemplo $\leq 0,5 \text{ ps}/\sqrt{\text{km}}$) para aplicaciones específicas.		

Apéndice I

Información de los atributos del enlace y de diseño del sistema

Un enlace concatenado incluye generalmente largos de cables de fibra óptica de fabricación empalmados. Los requisitos aplicables a los largos de fabricación se indican en las cláusulas 5 y 6. Los parámetros de transmisión de enlaces concatenados deben tener en cuenta no sólo el comportamiento de los distintos largos del cable, sino también las estadísticas de la concatenación.

Las características de transmisión de los largos de fabricación de cable de fibra óptica tendrán una determinada distribución probabilística que hay que tener en cuenta para conseguir los diseños más económicos. Las cláusulas siguientes deben leerse teniendo presente la naturaleza estadística de los diversos parámetros.

Los atributos del enlace se ven afectados por factores ajenos al propio cable de fibra óptica, tales como los empalmes, los conectores y la instalación. Estos factores no pueden especificarse en esta Recomendación. A los efectos de la estimación de los valores de las características del enlace, en I.5 se presentan valores típicos de cables de fibra óptica. La cláusula I.6 contiene ejemplos de implementaciones en las que los valores típicos de la dispersión cromática varían de un ejemplo a otro. Los métodos de estimación de parámetros necesarios para el diseño del sistema están basados en medidas, en el modelado o en otras consideraciones.

I.1 Atenuación

La atenuación A de un enlace viene dada por:

$$A = \alpha L + \alpha_e x + \alpha_c y$$

donde:

- α coeficiente de atenuación típico de los cables de fibra en un enlace
- α_e atenuación media por empalme
- x número de empalmes de un enlace
- α_c atenuación media de los conectores de línea
- y número de conectores de línea de un enlace (si se facilita)
- L longitud del enlace

Debe preverse un margen adecuado para futuras modificaciones de la configuración del cable (empalmes suplementarios, largos de cable suplementarios, efectos del envejecimiento, variaciones de temperatura, etc.). La expresión anterior no incluye la pérdida de los conectores del equipo. Los valores típicos indicados en I.5 corresponden al coeficiente de atenuación de enlaces de fibra óptica. El presupuesto de atenuación utilizado en el diseño de un sistema real debe tener en cuenta las variaciones estadísticas de esos parámetros.

I.2 Dispersión cromática

La dispersión cromática, expresada en ps/nm, puede obtenerse de los coeficientes de dispersión cromática de los largos de fabricación, suponiendo una dependencia lineal con la longitud y respetando los signos de los coeficientes (véase 5.10).

Cuando estas fibras se utilizan para transmitir en la región de 1550 nm, a menudo se emplea alguna forma de compensación de la dispersión cromática. En este caso, en el diseño se utiliza la dispersión cromática media del enlace. La relación se describe en términos del coeficiente de dispersión cromática típico y del coeficiente de la pendiente de la dispersión a 1550 nm.

Los valores típicos del coeficiente de dispersión cromática, D_{1550} , y del coeficiente de pendiente de dispersión cromática, S_{1550} , a 1550 nm varían en función de la implementación. En la cláusula I.6 pueden encontrarse valores típicos. Estos valores, junto con la longitud del enlace, L_{link} , pueden ser utilizados para calcular la dispersión típica que debe utilizarse en el diseño de enlaces ópticos.

$$D_{link}(\lambda) = L_{link} [D_{1550} + S_{1550}(\lambda - 1550)] \quad (ps/nm)$$

I.3 Retardo diferencial de grupo (DGD)

El retardo diferencial de grupo es la diferencia que se produce entre los instantes de llegada de dos modos de polarización para una longitud de onda y un instante determinados. En el caso de un enlace con un coeficiente de PMD específico, el DGD del enlace varía de forma aleatoria con el tiempo y la longitud de onda como una distribución de Maxwell que sólo contenga un único parámetro que sea el producto del coeficiente de PMD del enlace y de la raíz cuadrada de la longitud del mismo. Las degradaciones del sistema debidas al PMD para un instante y longitud de onda determinados, dependen del DGD para dicho instante y longitud de onda. Por lo tanto, se han desarrollado los medios necesarios para establecer límites útiles en la distribución del DGD, dado que éste se relaciona con la distribución del coeficiente de PMD del cable de fibra óptica y con sus límites, estando todo ello documentado en CEI/TR 61282-3. A continuación se describe la métrica de las limitaciones de la distribución de DGD.

- Longitud del enlace de referencia (L_{ref} , *reference link length*): es la longitud máxima del enlace a la que se aplica la DGD máxima y su probabilidad. Para enlaces más largos, se multiplica el máximo de DGD por la raíz cuadrada de la relación entre la longitud real y la longitud de referencia.
- Longitud de cable máxima típica (L_{cab} , *typical maximum cable length*): los valores máximos están asegurados cuando los cables individuales típicos de la concatenación o las longitudes de los cables que se miden para determinar la distribución del coeficiente de PMD son menores que este valor.
- DGD máxima, DGD_{max} : valor de DGD que puede utilizarse considerando el diseño del sistema óptico.
- Probabilidad máxima, P_p : probabilidad de que el valor DGD real supere DGD_{max} .

NOTA – La determinación de la contribución de componentes distintos al cable de fibra óptica queda fuera del ámbito de esta Recomendación, pero se analiza en CEI/TR 61282-3.

I.4 Coeficiente no lineal

El efecto de la dispersión cromática interactúa con el coeficiente no lineal, n_2/A_{eff} , en relación con las degradaciones del sistema inducidas por efectos ópticos no lineales (véanse las Recs. UIT-T G.663 y G.650.2). Los valores típicos dependen de la implementación. Los métodos de prueba para un coeficiente no lineal quedan en estudio.

I.5 Cuadros de valores típicos comunes

Los valores de los cuadros I.1 y I.2 son representativos de cables de fibra óptica concatenados conforme a las cláusulas I.1 y I.3, respectivamente. Se pretende que los valores del DGD máximo inducido en la fibra indicados en el cuadro I.2 sirvan de orientación con respecto a los requisitos de los demás elementos ópticos que pueden formar parte del enlace.

Cuadro I.1/G.655 – Valores de atenuación del enlace

Coefficiente de atenuación	Región de la longitud de onda	Valor típico del enlace
(Nota)	1550 nm-1565 nm	0,275 dB/km
	1565 nm-1625 nm	0,35 dB/km
NOTA – El valor típico del enlace corresponde al coeficiente de atenuación del enlace utilizado en las Recs. UIT-T G.957 y G.692.		

Cuadro I.2/G.655 – Retardo diferencial de grupo

PMD ₀ máximo (ps/√km)	Longitud del enlace (km)	DGD máximo inducido en la fibra (ps)	Velocidades binarias del canal
No especificado			Hasta 2,5 Gbit/s
0,5	400	25,0	10 Gbit/s
	40	19,0 (nota 1)	10 Gbit/s
	2	7,5	40 Gbit/s
0,20	3000	19,0	10 Gbit/s
	80	7,0	40 Gbit/s
0,10	> 4000	12,0	10 Gbit/s
	400	5,0	40 Gbit/s
NOTA 1 – Este valor también es aplicable a los sistemas Ethernet de 10 Gigabit.			
NOTA 2 – La longitud de la sección de cable es de 10 km, salvo para el enlace 0,10 ps/√km, > 4000 km, para el cual es de 25 km, el nivel de probabilidad es de $6,5 \cdot 10^{-4}$.			

I.6 Ejemplos de implementación

Se incluyen a continuación ejemplos de implementaciones diseñadas para optimizar varios de los posibles balances entre potencia, separación de canales, separación de amplificadores, longitud del enlace y velocidad binaria. Todos estos ejemplos son básicamente variaciones de la dispersión cromática, la pendiente de dispersión y el coeficiente no lineal permitidos. Sólo se trata de ejemplos, que no impiden que existan otras implementaciones. Los identificadores de los ejemplos son arbitrarios y no reflejan prioridad alguna.

Cuadro I.3/G.655 – Ejemplos para $\lambda_{min} = 1530$ nm y $\lambda_{max} = 1565$ nm

ID del ejemplo	D_{min} (ps/nm-km)	D_{max} (ps/nm-km)	Signo	Coefficiente de dispersión típico a 1550 nm (ps/nm-km)	Pendiente de dispersión típica a 1550 nm (ps/nm ² -km)
A	1,3	5,8	+	3,7	0,070
B	2,0	6,0	+	4,2	0,085
C	2,6	6,0	+	4,4	0,045
D	5,0	10,0	+	8,0	0,058
E	1,0	6,0	-	-2,3	0,065
NOTA – Se están estudiando los valores de dispersión cromática en la región de longitudes de onda de 1600 nm.					

I.7 Límites del coeficiente de dispersión cromática para los cuadros D y E

Las ecuaciones que limitan el coeficiente de dispersión cromática en función de la longitud de onda se basan en dos análisis, uno realizado para las fibras representadas en el cuadro D y otro para las fibras representadas en el cuadro E, con cinco y cuatro fabricantes respectivamente. Cada uno de ellos proporcionó una desviación media y típica en función de la longitud de onda para valores de ésta comprendidos entre 1460 y 1625 nm, con incrementos de 5 nm, habiéndose calculado, para la longitud de onda y el fabricante, tres desviaciones típicas por encima y por debajo de la media. Posteriormente se determinó el mínimo y el máximo con respecto a los fabricantes. Los resultados se proporcionaron mediante un ajuste de rancia lineal con puntos de corte en 1550 nm, para minimizar la suma de los valores absolutos de la diferencia y mantener el principio de inclusión de todos los datos dentro de la envolvente.

Los resultados de los cuadros D y E se muestran en las figuras I.1 y I.2, respectivamente. Las líneas continuas son los límites de la cláusula 7. El resto de los datos representan los resultados del análisis.

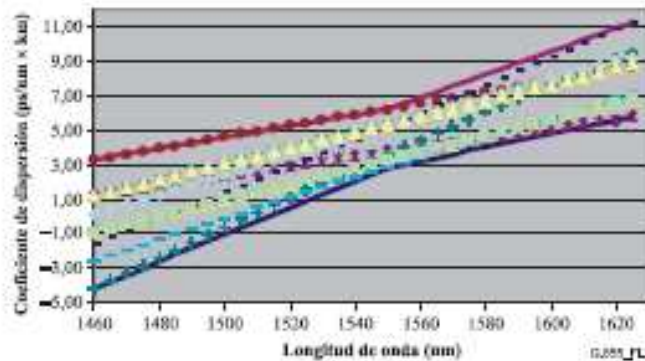


Figura I.1/G.655 – Límites de dispersión de la fibra del cuadro D

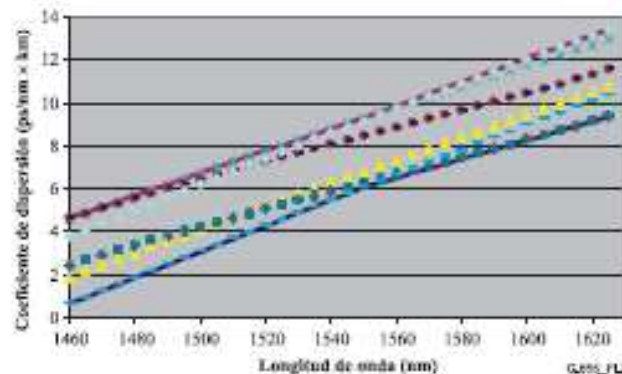


Figura I.2/G.655 – Límites de dispersión de la fibra del cuadro E

Los límites de la cláusula 7 son para fibras individuales. La gama de valores asociados a los enlaces que son una concatenación de fibras individuales puede ser menor. Para las fibras de tipo G.652, cuyos valores varían poco en función del fabricante, se puede usar la media más una desviación típica, tal y como se describe en el Suplemento 39 a las Recomendaciones UIT-T de la serie G, a efectos de limitación del sistema.

La metodología detallada anteriormente se aplicó para determinar las curvas limitantes que incluyen todos los resultados referidos a la media con una desviación típica por encima o por debajo de la misma. Las figuras I.3 y I.4 muestran gráficamente dichos resultados, incluyendo asimismo a título comparativo los datos referidos a tres desviaciones típicas por encima o por debajo de la media. Las ecuaciones que delimitan los resultados del análisis de una desviación típica por encima o por debajo de la media se proporcionan en los cuadros I.4 y I.5.

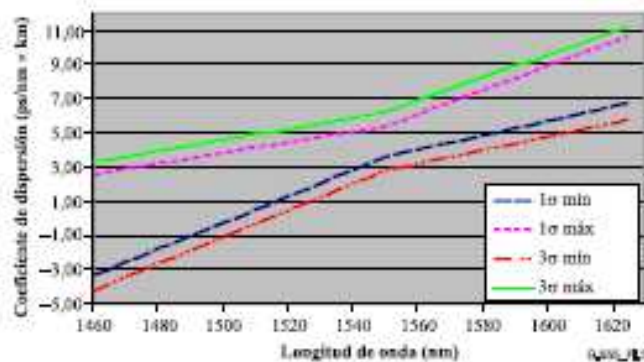


Figura I.3/G.655 – Comparación de los límites de la fibra del cuadro D

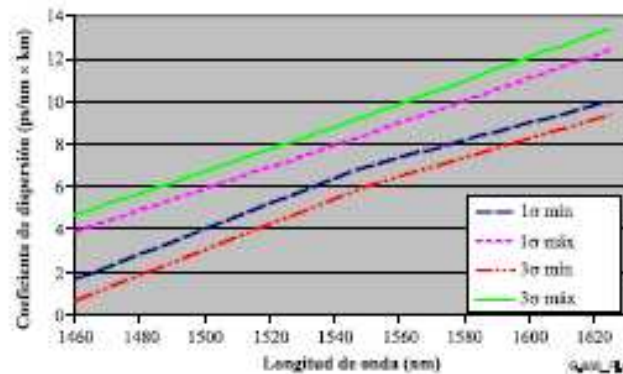


Figura I.4/G.655 – Comparación de los límites de la fibra del cuadro E

Cuadro I.4/G.655 – Fibra del cuadro D \pm límites de una desviación típica

Coeficiente de dispersión cromática (ps/nm·km)	$D_{min}(\lambda)$: 1460-1550 nm	$\frac{6,94}{90}(\lambda - 1460) - 3,34$
	$D_{min}(\lambda)$: 1550-1625 nm	$\frac{3,13}{75}(\lambda - 1550) + 3,60$
	$D_{max}(\lambda)$: 1460-1550 nm	$\frac{2,78}{90}(\lambda - 1460) + 2,60$
	$D_{max}(\lambda)$: 1550-1625 nm	$\frac{5,28}{75}(\lambda - 1550) + 5,38$

Cuadro I.5/G.655 – Fibra del cuadro E \pm límites de una desviación típica

Coeficiente de dispersión cromática (ps/nm·km)	$D_{min}(\lambda)$: 1460-1550 nm	$\frac{5,28}{90}(\lambda - 1460) + 1,68$
	$D_{min}(\lambda)$: 1550-1625 nm	$\frac{3,05}{75}(\lambda - 1550) + 6,96$
	$D_{max}(\lambda)$: 1460-1550 nm	$\frac{4,56}{90}(\lambda - 1460) + 3,89$
	$D_{max}(\lambda)$: 1550-1625 nm	$\frac{3,96}{75}(\lambda - 1550) + 8,45$

BIBLIOGRAFÍA

- CEI/TR 61282-3 (2002), *Fibre optic communication design guides – Part 3: Calculation of polarization mode dispersion.*

SERIES DE RECOMENDACIONES DEL UIT-T

Serie A	Organización del trabajo del UIT-T
Serie D	Principios generales de tarificación
Serie E	Explotación general de la red, servicio telefónico, explotación del servicio y factores humanos
Serie F	Servicios de telecomunicación no telefónicos
Serie G	Sistemas y medios de transmisión, sistemas y redes digitales
Serie H	Sistemas audiovisuales y multimedia
Serie I	Red digital de servicios integrados
Serie J	Redes de cable y transmisión de programas radiofónicos y televisivos, y de otras señales multimedia
Serie K	Protección contra las interferencias
Serie L	Construcción, instalación y protección de los cables y otros elementos de planta exterior
Serie M	Gestión de las telecomunicaciones, incluida la RGT y el mantenimiento de redes
Serie N	Mantenimiento: circuitos internacionales para transmisiones radiofónicas y de televisión
Serie O	Especificaciones de los aparatos de medida
Serie P	Calidad de transmisión telefónica, instalaciones telefónicas y redes locales
Serie Q	Conmutación y señalización
Serie R	Transmisión telegráfica
Serie S	Equipos terminales para servicios de telegrafía
Serie T	Terminales para servicios de telemática
Serie U	Conmutación telegráfica
Serie V	Comunicación de datos por la red telefónica
Serie X	Redes de datos, comunicaciones de sistemas abiertos y seguridad
Serie Y	Infraestructura mundial de la información, aspectos del protocolo Internet y Redes de la próxima generación
Serie Z	Lenguajes y aspectos generales de soporte lógico para sistemas de telecomunicación

ANEXO D

EQUIPOS ROADM¹³

Debido al principal problema de la tecnología DWDM, es su ancho de banda fijo, es decir, la conectividad está predefinida en el momento de su instalación y cualquier cambio posterior resulta complicado y costoso. Por otro lado, servicios como IPTV ó VoD requieren un ancho de banda impredecible a priori y que necesita ser configurado en función de la demanda del usuario. Evidentemente, la solución no consiste en añadir capacidad extra, sino que los operadores deben ser capaces de reconfigurar sus redes DWDM de una forma ágil y transparente para proporcionar un mayor ancho de banda en aquellas zonas donde se requiera de forma puntual. Se necesita, pues, una transición de un sistema estático a una arquitectura dinámica y reconfigurable, y es aquí donde entra en juego la tecnología ROADM (Reconfigurable Optical Add/Drop Multiplexer).

Los ROADMs permiten gestionar el ancho de banda de las redes DWDM de una forma flexible y eficiente, suministrando y conmutando los diferentes canales DWDM en función de las necesidades de tráfico. Algunos operadores de red ya han desplegado ROADMs en sus redes de larga distancia, y más recientemente lo están haciendo en el entorno metropolitano. Estos despliegues han sido considerables donde la distribución de servicios de vídeo sobre fibra óptica está más desarrollada.

El mercado de ROADMs es bastante variado, con múltiples fabricantes y tecnologías diferentes dependiendo de la aplicación y del tipo de red.

Tecnologías y Aplicaciones del ROADM

A grandes rasgos, el mercado de los ROADMs puede dividirse en dos grandes campos de aplicación. Por una parte se tienen los ROADMs troncales, empleados en

¹³ <http://www.conectronica.com/fttx-y-ftth/multiplexores-add-drop-reconfigurables-roadms>

el núcleo de red (core – network) y que se caracterizan por un alto precio, así como prestaciones superiores a las que se requieren habitualmente. Por el contrario, algunos fabricantes se centran en el diseño de ROADMs para aplicaciones metropolitanas, que últimamente están experimentando un creciente interés. Evidentemente, los ROADMs diseñados para el entorno metropolitano deben ser más compactos y baratos que aquellos que se han optimizado para sistemas de larga distancia. Luego la tecnología empleada en cada tipo de aplicación o entorno de red será distinta.

Entre las diferentes tecnologías existentes conviene comenzar indicando los bloqueadores de longitud de onda (wavelength blockers). Junto con el uso de atenuadores ópticos variables (variable optical attenuator, VOA) y multiplexores/demultiplexores DWDM integrados, se consigue separar las señales DWDM en dos caminos diferentes (drop y through), con el fin de poder añadir (add) nuevos canales.

No obstante, en el caso de aplicaciones metropolitanas, los dispositivos basados en cristales líquidos todavía resultan demasiado costosos. Supongamos una aplicación tan simple como un multiplexor add/drop situado en un anillo. En este caso concreto, JDSU y NeoPhotonics proponen como solución un ROADM 2D basado en circuitos ópticos planares (planar lightwave circuit, PLC), el cual incluiría conmutadores, gratings y otra serie de componentes fácilmente integrables sobre un chip de silicio. Los ROADMs actuales basados en tecnología PLC poseen bajas pérdidas de inserción y anchos de banda grandes, posibilitando su uso a 40 Gbps. con espaciados entre canales de 100 GHz. Normalmente utilizan AWGs para el filtrado (mux/demux), conmutadores de microsegundos, monitores de longitud de onda y VOAs (atenuadores ópticos variables) para la ecualización dinámica de los canales. Pero a pesar de las ventajas de integración de la tecnología PLC, ésta se encuentra limitada en términos de reconfigurabilidad y escalabilidad, que se hacen más evidentes conforme se aumenta la tasa de bit y se reduce el espaciado entre canales. Si bien los sondeos predicen que en los próximos 2 años el 70% de los

desarrollos de ROADMs requerirán tan sólo funcionalidades 2D, en el futuro la situación será muy distinta. La tecnología basada en cristales líquidos permite básicamente dos estados de funcionamiento, que dependen de la polarización de las señales. Luego es sencillo construir un conmutador 1x2, pero se necesitan dos etapas para alcanzar un esquema 1x4 y tres etapas para 1x8. Esto añade complejidad al sistema (reducida escalabilidad) e introduce penalizaciones de potencia significativas. Se necesita pues un enfoque distinto. Para conseguir una escalabilidad completa, algunos fabricantes están empleando la tecnología MEMS (micro-electro-mechanical systems), mediante la cual se desarrollan conmutadores selectivos en longitud de onda (wavelength selective switches, WSS). Estos dispositivos permiten la selección de una o más longitudes de onda de la señal DWDM que se redirigen a uno o más puertos de salida. Se trata de una solución multidimensional que permite gestionar simultáneamente sendos canales add/drop del ROADM de una forma flexible y eficiente. Como ejemplo, Capella produce dispositivos WSS de 10 puertos en configuraciones 1x9 y 9x1, con versiones de 45 canales a 100 GHz ó 96 canales a 50 GHz para los ámbitos metropolitano y troncal, respectivamente y se puede visualizar en la figura a.:



Figura a. WSS basado en MEMS de la empresa Capella

Por último, queremos resaltar que la empresa Optium ha desarrollado un WSS basado en tecnología de cristal líquido sobre silicio (liquid – cristal – on – silicon,

LCoS), la cual se utiliza también en las pantallas LCD de consumo. LCoS consiste en una capa de cristal líquido controlada por una placa posterior CMOS de matriz activa. A diferencia de los MEMS, no presenta partes móviles, por lo que es insensible a las vibraciones. A su vez, dispone de gran número de píxeles por canal, lo que permite funcionalidades avanzadas como la compensación de dispersión o en general la optimización de sus prestaciones mediante software. En la figura b., se indica un ejemplo de este tipo de dispositivo:

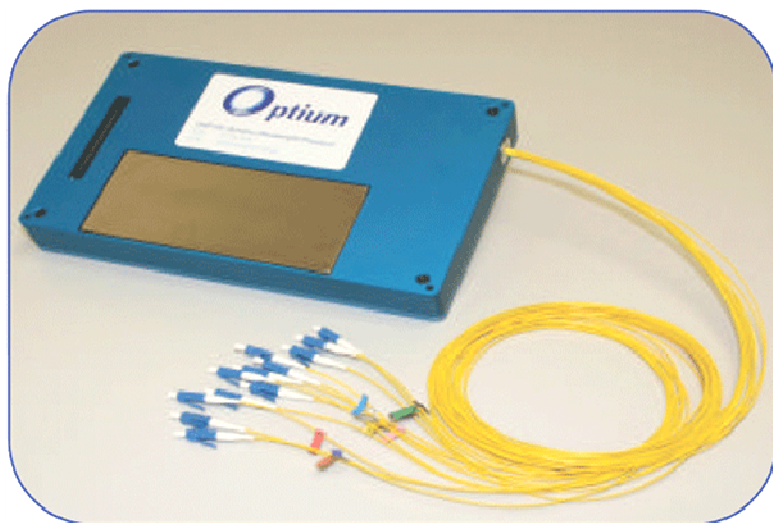


Figura b. WSS basado en tecnología LCoS de la empresa Optium

A continuación, en la figura c., se visualiza la estructura interna de un ROADM con algunos de los dispositivos antes mencionados, y que en general este tipo de ROADMs serán integrados en nuestro diseño para la CNT S.A., ya que directamente al ROADM pueden interconectarse servicios como STM-1, STM-64, 1GbE, 100GbE, etc., en fin, sistemas SDH que actualmente se utiliza y de donde también se pueden conectar servicios de mayor capacidad. Se toma en cuenta solo en sentido de transmisión en la fibra óptica.

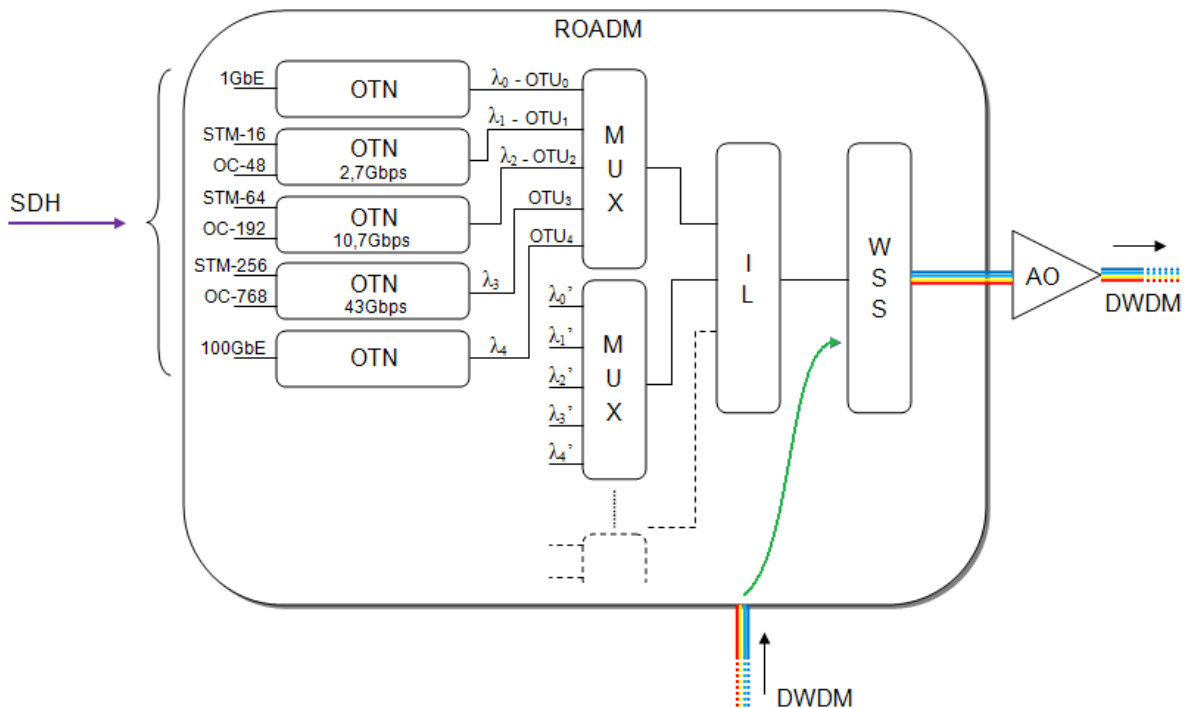


Figura c. Estructura interna de un ROADM

Los servicios SDH entran al ROADM a través del OTN, donde, “según la UIT-T define como la *red de transporte óptica* como un conjunto de elementos de red óptica conectados por enlaces de fibra óptica, capaz de proporcionar la funcionalidad de transporte, multiplexación, distribución, gestión, supervisión y capacidad de supervivencia de los canales ópticos de señales portadoras de cliente”¹⁴. Continuando con la descripción, una vez que ingresa las señales SDH al OTN, estas señales salen de manera óptica (comportándose como un transceiver) dando diferentes longitudes de onda λ ó OTU (según la capacidad de corresponda) de cada uno de estos, llegando así a un MUX (multiplexer) para obtener una sola señal multiplexada, esta señal multiplexada ingresa a un IL (Inter-level) que actúa principalmente como un multiplexor de gran capacidad, de donde se agrupan diferentes señales ya multiplexadas para obtener una sola señal multiplexada a gran capacidad el cual ingresa al WSS (wavelength selective switches), como lo

¹⁴ <http://www.itu.int/ITU-T/studygroups/com15/otn/index.html>

mencionamos anteriormente, este dispositivo permite la selección de una o más longitudes de onda de la señal DWDM redireccionando a uno o más puertos de salida del ROADM, es decir, este dispositivo es muy importante ya que comunica señales DWDM en todos los ROADMs que conforman una topología de red de comunicación. En conclusión, una de las topologías de las redes de comunicación DWDM con los componentes avanzados ROADMs se indican a continuación en la figura d., se puede observar claramente como se accede a diferentes servicios.

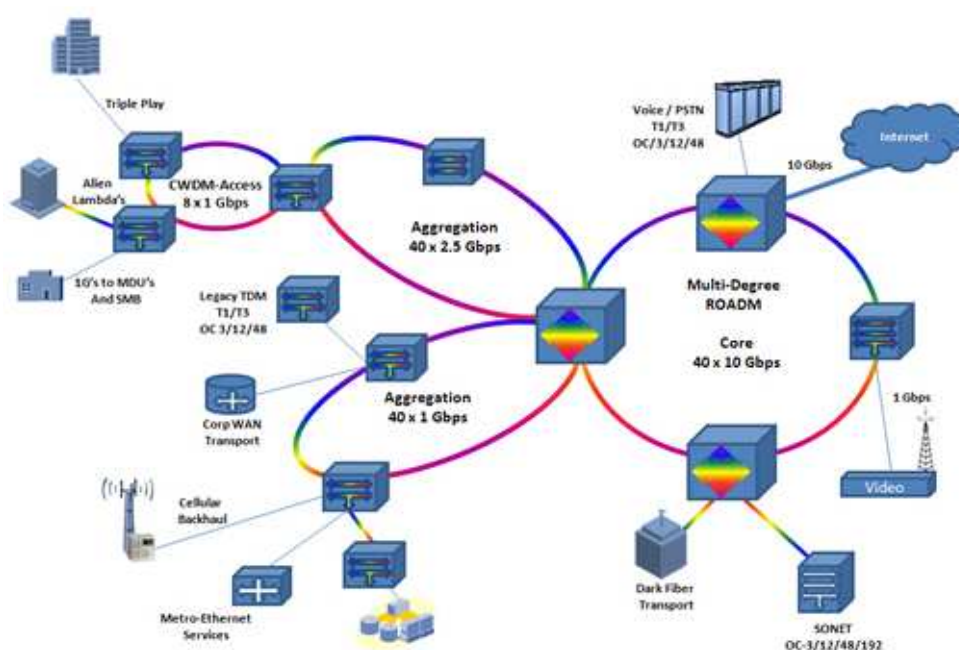


Figura d. Red DWDM con ROADMs¹⁵

¹⁵ http://www.lightriver.com/index.php?p=cwdm_dwdm_roadm

ANEXO E

OptiX™ BWS 1600G DWDM system

New Generation Solutions for Long-haul Transmission



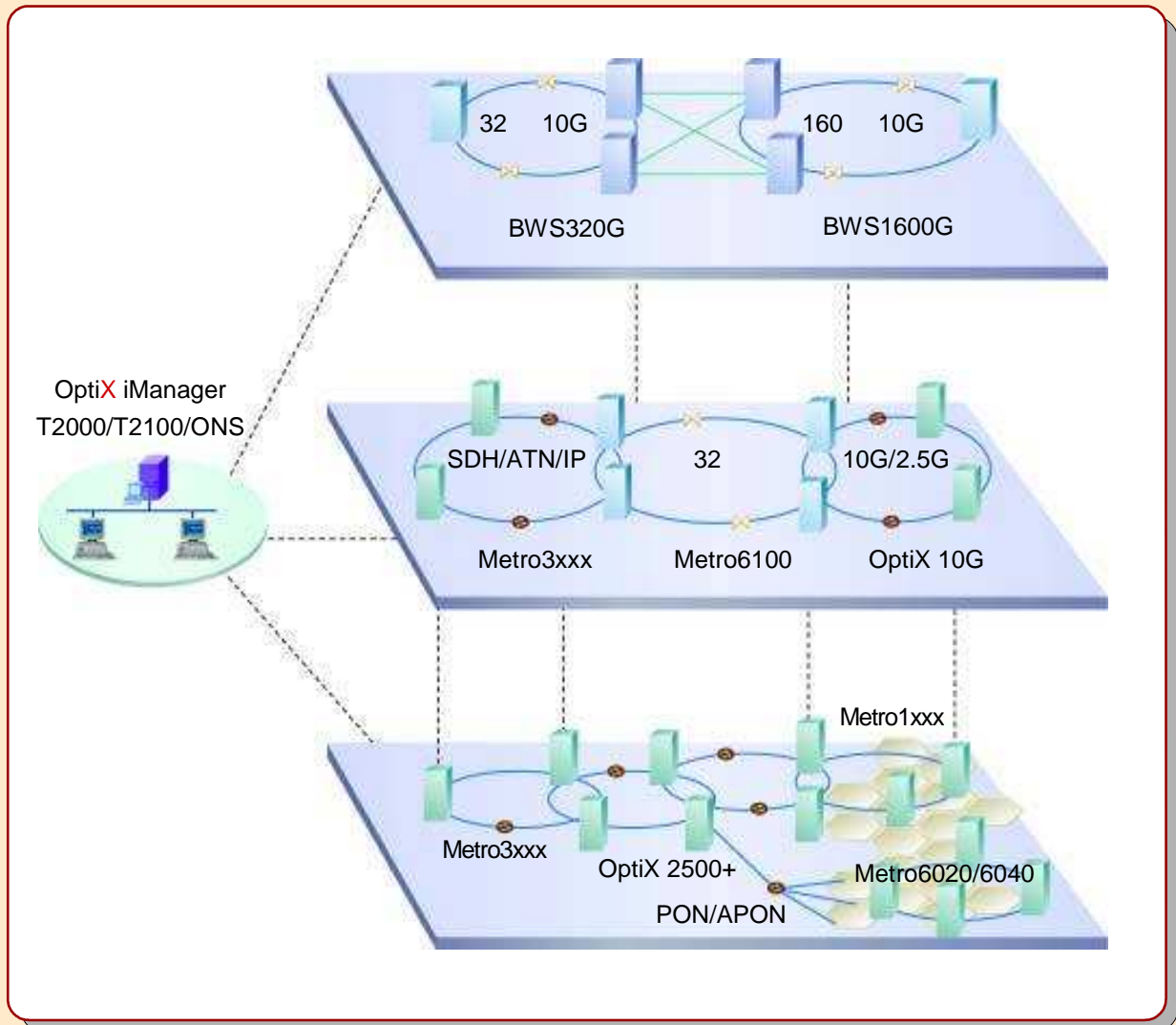
How Huawei's OptiX
BWS DWDM Series
Optimize Your Backbone Network

- 4000km transport non-regeneration using SuperWDM
- Industry-unique timing transport
- Reliable protection mechanism
- Modular architecture
- Aggregation function for low rate services
- Unified network management



OptiX™ BWS 1600G DWDM system

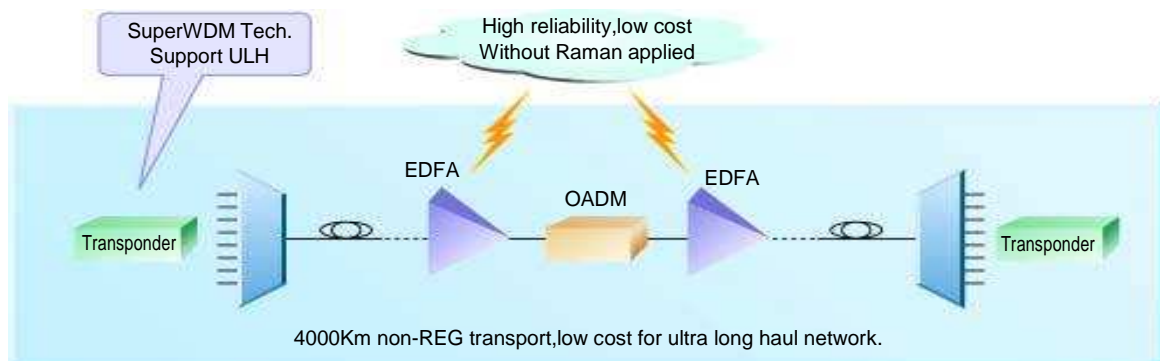
OptiX BWS 1600G is large capacity and long distance DWDM system, developed on the basis of Huawei's years of experience in optical transmission field. Adopting the the up-to-date and the key technologies such as SuperWDM technology and EFEC, Huawei provides customers with an ULH networking solutions, which is scalable, reliable, cost-effective, operable and manageable. Application of OptiX BWS 1600G in the transmission network is illustrated as following.



Key features

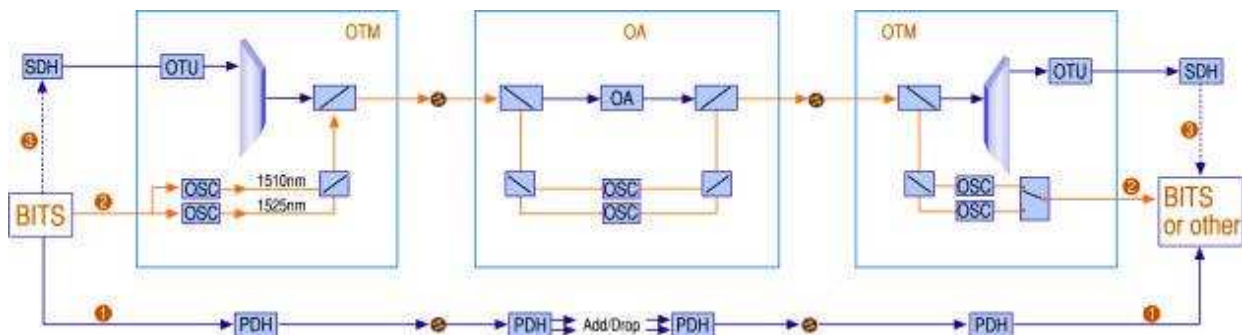
World-unique Raman-free 4000km transport using SuperWDM

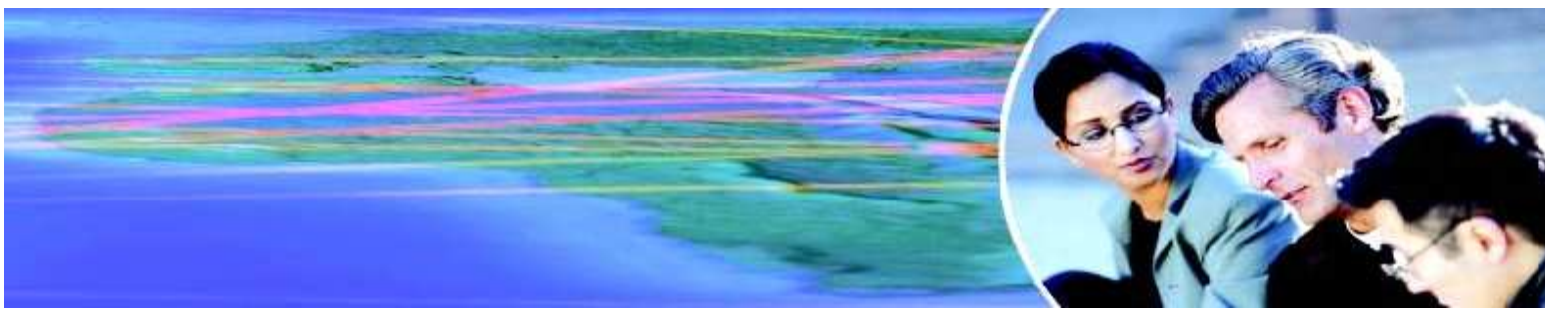
Leveraging SuperWDM technology, Huawei has developed the state-of-the-art ULH solution. With the employment of unique code, OEQ (optical equalizer), pre-equalization, SuperWDM supports transmission of up to 4000km based on common DWDM equipment without Raman amplifiers. It is a revolutionary solution with long distance and high reliability at low cost.



Industry-unique timing transport

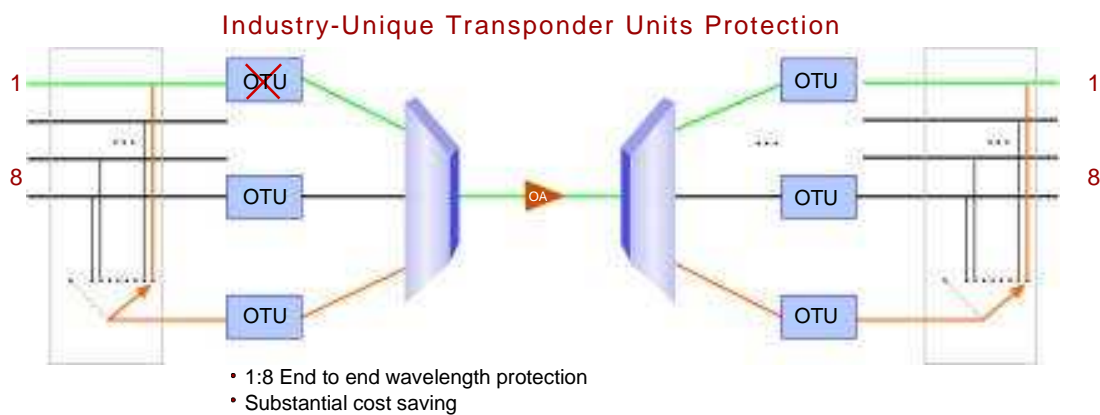
OptiX BWS 1600G supports industry-unique PDH timing transport. It provides 3 high-quality timing transmission channels embedded with optical supervisory channel. Perfect equipment-redundancy timing protection can also be provided due to the importance of the network timing.





Unique protection

In addition to the common DWDM layer protections such as OMSP, OCHP, OptiX BWS 320G supports a unique protection mechanism-1:8 OTU protection which dramatically reduces protection cost compared to 1+1 OTU configuration in OCHP(optical channel protection).



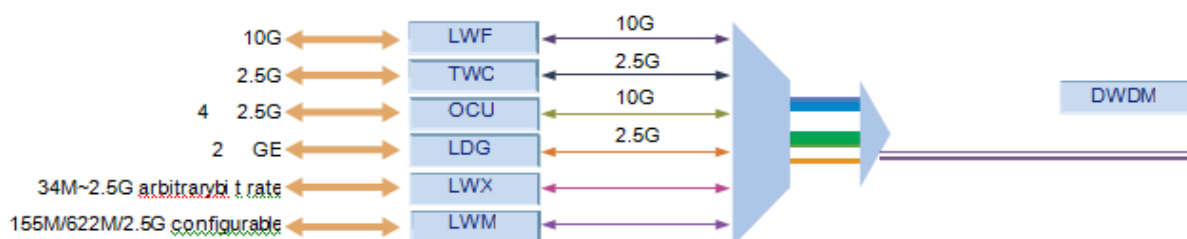
Modular architecture, scalable to 1.6Tb/s


The optical terminal multiplexer (OTM), optical line amplifier (OLA), and optical add/drop multiplexer are all designed with modular structure, making OptiX BWS 1600G easier to upgrade from 40 channels (400Gbit/s) to 160 channels (1.6Tbit/s).

Multi-rate and multi-service access

With the maximum capacity of 1600G, it is accessible to STM-1/ OC-1 to STM-64/ OC-192 SDH/SONET signals, Fast Ethernet, Gigabit Ethernet, and PDH signals at different bit rates and arbitrary services ranging 34Mbit/s~2.5Gbit/s.

OptiX BWS 1600G even allows transmission of the above mixed services on one wavelength, with TMUX function, so as to improve bandwidth utilization ratio.





Key features

Compact design

Intelligently designed OptiX BWS 1600G racks can hold three sub-racks at most. And dual trans & receive channels from single fiber interface unit, provides more connections/lines from single sub-rack.

Intelligent optical power management

The utilization of the automatic level control (ALC) enables the system self-adaptive to deterioration of the optical system, which may be caused by system aging or faults.

Advanced amplifier technology

OptiX BWS 1600G employs C-band and L-band EDFA, including the booster-amplifier with low noise figure, in-line amplifier with VOA module.

RAMAN Amplification

Although SuperWDM can support 4000km Ultra Long Haul transport without using Raman Amplification, Huawei can also provide Raman amplification solutions in ULH applications so that enhanced flexibility is achieved.

Enhanced FEC function

The OTU with out-of-band EFEC technology decreases the requirement for OSNR with 7~9dB, means the span of the system can be increased greatly.

Scalable OADM

OptiX BWS 1600G supports scalable wavelength adding/dropping. Each OADM station can add/drop from 2 to 40 channels.

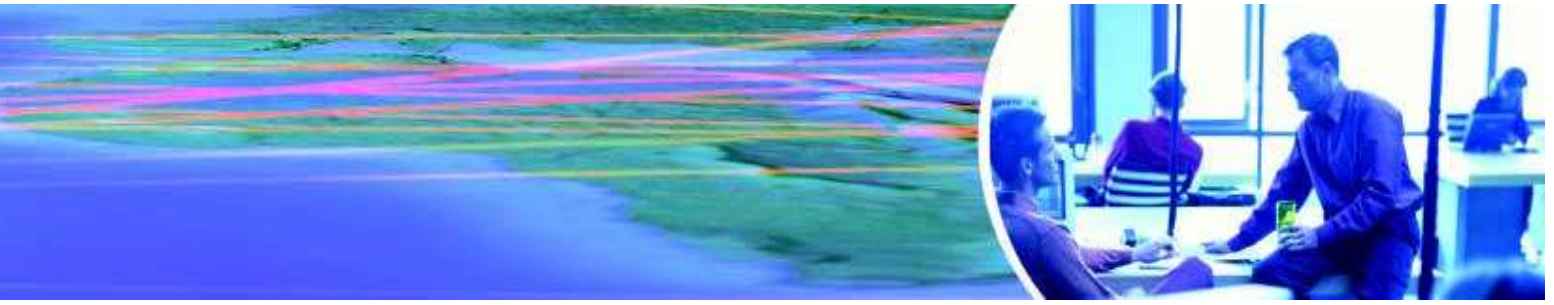
Maintainability

OptiX BWS 1600G system is mounted with a built-in optical spectrum analyzer (OSA), which use the optical monitoring ports specially designed for this purpose and via the NM system, monitors the real-time spectrum characteristics, including total/per channel optical power, optical wavelength and OSNR.

Unified & Easy management solutions

OptiX BWS 1600G and other OptiX series equipment can be managed by one set of OptiX iManager, which is designed in conformity with the ITU-T M.3000, G.774 and G.784 Recommendations, and in accordance with the TMN frame structure. OptiX iManager provides a standard Q3 interface, supports multiple languages, and provides real-time on-line B1 byte error check.





Specifications:

OptiX BWS 1600G	
System Capacity	160 , Modular growth up to 1.6 Tbps
Service interface	ESCON
	FICON
	Fiber Channel
	OC-3c/STM-1
	OC-12c/STM-4/-4c
	OC-48c/STM-16/-16c
	OC-192c/STM-64c
	GE/FE
TMUX	X-Rate (34Mbit/s 2.5Gbit/s)
	GE 2.5G,
	155M/622M 2.5G, 2.5G 10G,
Protection	OMSP
	OCHP
OADM	1:8 OTU protection
Channel spacing	2~40 channels
Application fiber	0.4nm compliant with ITU-T G.692
Dimension (mm)(W D H)	G.652/G.653/G.655
Power Supply	625 495 291
	Dual feeds: -48V 20%(DC)
EMC	Voltage: -38.V -72V
	ETSI EN300 386-1.2.1 (2000)
	CISPR55022 (1999)

Huawei Technologies Co., Ltd.

Add: Bantian, Longgang District
Shenzhen 518129 P.R.China

Tel: +86-755-28789294, 28780808

Fax: +86-755-28789251

http: //www.huawei.com

E-mail: information@huawei.com

Version No.: M3-040030-20030520-C-1.0