

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ
FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA



PONTIFICIA
UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DEL PERÚ

**DISEÑO DE UNA RED DE TRANSMISIÓN ÓPTICA INTELIGENTE
PARA EL SUR DEL PERÚ, UTILIZANDO TECNOLOGÍA
ASON/GMPLS**

Tesis para optar el Título de Ingeniero de las Telecomunicaciones, que
presenta el bachiller:

ANTONIO GABRIEL PALACIOS VINATEA

ASESOR: ING. LUIS MONTES BAZALAR

Lima, 14 de Noviembre del 2011

Resumen

El presente proyecto de tesis consiste en el análisis de la red de transmisión del Perú hasta fines del año 2010 en el cual se puede observar niveles de saturación de capacidad en las regiones de la sierra y selva del país debido al uso de tecnologías de baja capacidad (radio SDH/PDH y satélite), así como una topología de enlaces punto-punto que genera un uso ineficiente de los recursos y no permite una mejor escalabilidad de la red. Para solucionar ambos problemas, el presente proyecto de tesis propone un diseño que permita la expansión y evolución de la red de la actual red de transmisión del Perú a una red óptica inteligente basada en ASON(Automatic Switched Optical Network)+DWDM. La palabra “inteligente” se refiere a la implementación de una capa de control en la tecnología ASON, la cual es capaz de realizar funciones de enrutamiento a nivel óptico. Esta funcionalidad evita la necesidad de siempre entregar el tráfico a un router de capa 3 que se encargue del enrutamiento y para luego devolver el tráfico al equipo de transmisión. De esta manera se libera la carga de tráfico en los routers IP y se reduce el tamaño y complejidad requerido de los mismos. Se realiza también, como caso de estudio, el análisis del despliegue de un backbone inteligente nacional de Oi (Telemar) en Brasil para comenzar a demostrar la viabilidad de replicar un proyecto así en Perú.

Luego de realizar todo el estudio del marco teórico sobre las funcionalidades y especificaciones de la tecnología ASON, se realiza un estudio de mercado basado en la estimación de la demanda a 10 años para los diferentes servicios de banda ancha que finalmente sustentarán la necesidad de incrementar considerablemente la capacidad de transmisión actual.

El diseño de la solución y la definición de la cantidad de nodos principales (OTM) y amplificadores ópticos (OLA) se realiza en base a la capacidad de transmisión requerida, distribuida en los departamentos del sur del Perú (Costa y Sierra) con una topología de tipo malla que permita el aseguramiento del tráfico por diferentes rutas y que permita aprovechar al máximo las bondades de la tecnología ASON. Luego analizar tres posibles proveedores se elige a Huawei para la solución de los equipos con su modelos OSN8800/6800 con transponders de 40G. El análisis de rentabilidad realizado en base a los precios referenciales de los equipos, los costos de inversión en infraestructura y los ingresos recurrentes por los servicios de banda ancha, demuestra que el proyecto es rentable con un periodo de recupero de 7 años.

FACULTAD DE
 CIENCIAS E
 INGENIERÍA

 PONTIFICIA
 UNIVERSIDAD
 CATÓLICA
 DEL PERÚ

**TEMA DE TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE INGENIERO DE LAS
 TELECOMUNICACIONES**

Título : Diseño de una Red de Transmisión Óptica Inteligente para el Sur del Perú, Utilizando Tecnología ASON/GMPLS
 Área : Redes y Telemática # 132
 Asesor : Ing. Luis Montes Bazalar
 Alumno : Antonio Palacios Vinatea
 Código : 20060277
 Fecha : 06 de abril de 2011

Descripción y Objetivos

La presente tesis trata el análisis de la situación de la red de transmisión del Perú y propone un diseño para una red óptica inteligente, para la región sur, basada en tecnología ASON. De manera que se pueda ofrecer al operador de telecomunicaciones no solo capacidad, como lo hacen las redes actuales basadas en SDH o DWDM, sino que también permite una optimización en el uso y gestión de los recursos a nivel óptico.

El principal objetivo de esta tesis es la propuesta para el diseño de una red de transmisión óptica de próxima generación en el Perú que pueda ofrecer al operador de telecomunicaciones alta confiabilidad, reducción del OPEX (costo de operación y mantenimiento), capacidad de proveer nuevos servicios y nuevos SLA para los clientes finales, gestión más simple de la red y posibilidad de hacer los servicios dinámicos, controlables y manejables. Para ello se completan una serie de objetivos generales en cada capítulo de este proyecto de tesis como son: Evaluar la situación actual de la red de transmisión del Perú y desplegar fibra óptica en aquellos departamentos a los que no llega el backbone de fibra; estudiar la tecnología ASON y un caso de éxito de aplicación en Brasil; realizar el diseño de la red y el caso de negocio para el despliegue de la misma en un escenario real.

 PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ
 Especialidad de Ingeniería de las Telecomunicaciones

 Ing. LUIS ANGELO VELARDE CRIADO
 Coordinador

FACULTAD DE
CIENCIAS E
INGENIERÍA



PONTIFICIA
UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DEL PERÚ

**TEMA DE TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE INGENIERO DE LAS
TELECOMUNICACIONES**

Título : Diseño de una Red de Transmisión Óptica Inteligente para el Sur
del Perú, Utilizando Tecnología ASON/GMPLS

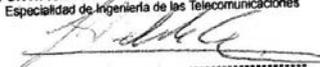
Índice

1. Estado del Arte
2. Marco Teórico
3. Estudio de Mercado
4. Diseño de la Solución
5. Análisis Técnico + Económico

Conclusiones
Recomendaciones
Trabajos futuros
Bibliografía
Anexos

Máximo: 100 páginas

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ
Especialidad de Ingeniería de las Telecomunicaciones


Ing. LUIS ANGELO VELARDE CRIADO
Coordinador

Agradecimientos

En primer lugar me gustaría agradecer a mi padre, quien siempre ha sido mi mayor ejemplo, me enseñó a nunca conformarme y siempre intentar superarme y me dio su apoyo incondicional durante toda mi vida. También agradecer de igual manera a mi madre quien me dio todo su cariño en todo momento y me ayudó a superar los momentos difíciles. Todos los logros conseguidos se los debo a ellos.

A mi asesor, profesor y amigo Luis Montes por todo su conocimiento impartido, por haber depositado su confianza en mí desde un principio y haber seguido conmigo pacientemente el desarrollo de este trabajo de Tesis.

A mi compañero y amigo Alexander Talavera, quien dentro de su trabajo siempre se hace un tiempo para compartir conmigo sus conocimientos y su experiencia que han sido de gran importancia para el desarrollo de esta tesis. De hecho fue, en parte, gracias a su iniciativa que surgió la idea de esta tesis.

A todas aquellas personas, compañeros de trabajo, profesores, amigos que, de alguna manera, han contribuido con sus conocimientos e ideas al desarrollo de esta tesis.

Índice

Índice	vi
Lista de Figuras	vi
Lista de Tablas	x
Introducción	1
Capítulo 1 Estado del Arte	3
1.1 Situación actual de la red de transmisión nacional	3
1.1.1 Servicios Ofrecidos	8
1.1.2 Problemática de la Red Óptica	9
1.1.3 Disponibilidad de la Red	10
1.2 Evolución hacia una red de transmisión óptica inteligente	12
1.2.1 Caso de Éxito	15
1.2.1.1 Oi (Telemar) National Intelligent Backbone	15
Capítulo 2 Marco Teórico	20
2.1 Arquitectura ASON/GMPLS	20
2.1.1 Plano de Transporte	21
2.1.2 Plano de Control	21
2.1.3 Plano de Gestión	22
2.2 Interfaces en ASON/GMPLS	23
2.2.1 Interface I-NNI	23
2.2.2 Interface E-NNI	24
2.2.3 Interface UNI	24
2.2.4 Interface NMI	25
2.2.5 Interface CCI	25
2.3 Funcionalidades en ASON/GMPLS	27
2.3.1 Control de Admisión de Conexiones	27
2.3.2 Descubrimiento Automático de Recursos	27
2.3.2.1 Descubrimiento de Adyacencia	27
2.3.2.2 Descubrimiento de Vecinos	27
2.3.2.3 Descubrimiento de la Topología de Red	28
2.3.2.4 Descubrimiento de Servicio	28
2.3.3 Enrutamiento	28
2.3.4 Señalización	29
2.3.5 Protección y Restauración	30
2.3.5.1 Servicio Diamante: Protección 1+1 Permanente	30
2.3.5.2 Servicio Diamante: Protección 1+R en Malla con Restauración	31
2.3.5.3 Servicio Oro: Protección en Anillo Virtual con Restauración	32
2.3.5.4 Servicio Plata: Restauración sin Recurso Dedicado	33
2.3.5.5 Servicio Plata: Restauración en Malla Compartida	33
2.3.6 Mecanismos Complementarios a ASON/GMPLS	36
2.3.6.1 Concatenación Virtual de contenedores (VCAT)	36
2.3.6.2 Esquema de Ajuste de la Capacidad del Enlace (LCAS)	38
2.3.6.3 Enrutamiento y Asignación Inteligente de Longitud de Onda (RWA)	39
2.4 Servicios ofrecidos con ASON/GMPLS	40

Capítulo 3 Estudio de Mercado	41
2.1 Demanda de salida a Internet	41
2.1.1 Servicio Internet con Tecnología WiMax	49
2.2 Demanda de voz móvil	50
Capítulo 4 Diseño de la Solución	58
4.1 Descripción técnica del tendido de fibra	58
4.2 Definición de rutas de transmisión	63
4.3 Descripción de los equipos	68
4.3.1 Tecnología de la Capa Eléctrica	70
4.3.2 Tecnología de la Capa Óptica	71
4.3.2.1 ALC (Automatic Level Control)	75
4.3.2.2 APE (Automatic Power Equilibrium):	75
4.3.2.3 APE (Intelligent Power Adjustment):	76
4.4 Cálculo de potencias para los enlaces DWDM	77
Capítulo 5 Análisis Técnico - Económico	81
5.1 Cálculo del CAPEX de la Red	81
5.1.1 Suministro e Instalación de Equipos OTM y OLA	81
5.1.2 Costo de Infraestructura: Energía y Tendido de F.O	83
5.2 Estimación de los ingresos	84
Conclusiones, Recomendaciones y Trabajos Futuros	89
6.1 Recomendaciones	89
6.2 Trabajos Futuros	89
6.3 Conclusiones	90
Bibliografía	91
Anexos	99

Lista de Figuras

FIGURA 1-1: MAPA DE RED DE FIBRA ÓPTICA NACIONAL	5
FIGURA 1-2: NIVEL DE SATURACIÓN DE LA RED DE TRANSPORTE	6
FIGURA 1-3: NUEVOS SERVICIOS Y EL INCREMENTO DE LA VELOCIDAD REQUERIDA.....	7
FIGURA 1-4: DIVERGENCIA DEL TRÁFICO DE DATOS Y LOS INGRESOS.....	7
FIGURA 1-5: CONFIGURACIONES PARA ARRENDADOS ÓPTICOS SDH	12
FIGURA 1-6: EVOLUCIÓN DEL MODELO DE RED	13
FIGURA 1-7: ESTRUCTURA CAPA OTN.....	14
FIGURA 1-8: TELEMAR: BACKBONE INTELIGENTE NACIONAL EN BRASIL.....	18
FIGURA 1-9: DISPONIBILIDAD DE LA RED DE TRANSMISIÓN DE TELEMAR.....	19
FIGURA 2-1: ARQUITECTURA LÓGICA DE ASON	21
FIGURA 2-2: INTRODUCCION DEL PLANO DE CONTROL.....	22
FIGURA 2-3: INTERFACES Y PROTOCOLOS DEL PLANO DE CONTROL	26
FIGURA 2-4: ESQUEMA DE PROTECCIÓN 1+1 PERMANENTE	31
FIGURA 2-5: ESQUEMA DE PROTECCIÓN 1+R (MALLA) CON RESTAURACIÓN ..	32
FIGURA 2-6: ESQUEMA DE PROTECCIÓN DE ANILLO VIRTUAL + RESTAURACIÓN	33
FIGURA 2-7: ESQUEMA DE RESTAURACIÓN CON MALLA COMPARTIDA	34
FIGURA 2-8: SERVICIO DE TUNELADO PARA VC3/VC12.....	37
FIGURA 2-9: ASIGNACIÓN OPTIMIZADA DE TIMESLOTS (VCAT)	37
FIGURA 2-10: ASON+LCAS+VCAT	39
FIGURA 2-11: ASON: ALGORITMO RWA INTELIGENTE.....	40
FIGURA 3-1: CRECIMIENTO DE LINEAS DE SERVICIO DE INTERNET	45
FIGURA 3-2: CRECIMIENTO DEL CONSUMO DE ANCHO DE BANDA DE INTERNET	45
FIGURA 3-3: CRECIMIENTO DE LA VELOCIDAD PROMEDIO POR CLIENTE	46
FIGURA 3-4: CRECIMIENTO DE LAS LINEAS DE SERVICIO DE INTERNET	47
FIGURA 3-5: CRECIMIENTO DE LA VELOCIDAD PROMEDIO POR CLIENTE	48
FIGURA 3-6: CRECIMIENTO DEL CONSUMO TOTAL DE ANCHO DE BANDA	48
FIGURA 3-7: DEMANDA DE VELOCIDADES DE BAJADA PARA WiMAX 2010 – 2021.....	49
FIGURA 3-8: CRECIMIENTO DEL TRÁFICO FIJO-MOVIL (TERMINACION).....	53
FIGURA 3-9: CRECIMIENTO DEL TRÁFICO MOVIL-MOVIL (TERMINACION)	53
FIGURA 3-10: CRECIMIENTO DEL TRÁFICO MOVIL-FIJO (ORIGINACION).....	53
FIGURA 3-11: CRECIMIENTO DEL TRÁFICO MOVIL-MOVIL (ORIGINACION)	54
FIGURA 3-12: PROYECCION DEL TRÁFICO FIJO-MOVIL (TERMINACION).....	55
FIGURA 3-13: PROYECCION DEL TRÁFICO MOVIL-FIJO (ORIGINACION).....	55
FIGURA 3-14: PROYECCION DEL TRÁFICO MOVIL-MOVIL (TOTAL).....	56
FIGURA 4-1: RED ELECTRICA PERUANA	60
FIGURA 4-2: DETALLE CABLE OPGW	61
FIGURA 4-3: INSTALACION DE CABLE OPGW SOBRE TORRES DE ALTA TENSION.....	63
FIGURA 4-4: ESQUEMA DE RED ASON PARA PERU.....	67
FIGURA 4-5: ESQUEMA DE OptiX OSN PARA CONMUTACIÓN ELÉCTRICA Y ÓPTICA	70
FIGURA 4-6: PLATAFORMA PARA 10G Y 40G	72
FIGURA 4-7: CONFIGURACION ROADM	73
FIGURA 4-8: OSN 8800 SUBRACK SINGLE-SIDE + TRANSPONDER 40G	73
FIGURA 4-9: OSN 8800 SUBRACK DUAL-SIDE	74

FIGURA 4-10: CONTROL DE NIVEL AUTOMATICO	75
FIGURA 4-11: EQUILIBRIO AUTOMATICO DE POTENCIA	76
FIGURA 4-12: AJUSTE INTELIGENTE DE POTENCIA.....	76
FIGURA 4-13: DIAGRAMA ESQUEMATICO DE ROADM CON DWDM.....	78
FIGURA 4-14: ESQUEMA SIMPLIFICADO DE ENLAC DWDM	79



Lista de Tablas

TABLA 1-1: PBI Y PENETRACIÓN DE LOS SERVICIOS DE TELECOMUNICACIONES	8
TABLA 2-1: MULTIPLES NIVELES DE SERVICIO: SLA	35
TABLA 2-2: JERARQUÍAS DE TRAMAS SDH	36
TABLA 2-3: EFICIENCIA DE VCAT	38
TABLA 3-1: DEMANDA ANUAL DE LINEAS DE SERVICIO DE ACCESO A INTERNET	43
TABLA 3-2: DEMANDA ANUAL DEL SERVICIO DE TELEFONIA MOVIL	52
TABLA 3-3: DATOS PROYECCION TRAFICO MOVIL 2021	57
TABLA 4-1: RESULTADOS – PROYECCION DE LA DEMANDA DE TRÁFICO AL 2021	58
TABLA 4-2: ESPECIFICACIONES FIBRA OPTICA OPGW MONOMODO (G.652)	61
TABLA 4-3: RESULTADOS – DETALLE DE RUTAS: RED DE TRANSMISIÓN TIPO MALLA	66
TABLA 4-4: COMPARACION EQUIPOS OTN DIFERENTES PROVEEDORES	69
TABLA 4-5: SERVICIOS DE CONMUTACION ELÉCTRICA DEL OSN 8800	71
TABLA 4-6: RESUMEN CONSIDERACIONES PARA CALCULO DE POTENCIAS	80
TABLA 4-7: RESUMEN CONSIDERACIONES PARA CÁLCULO DE POTENCIAS	80
TABLA 5-1: MATRIZ DE TRÁFICO	82
TABLA 5-2: COSTO SUMINISTRO DE EQUIPOS	83
TABLA 5-3: COSTO INFRAESTRUCTURA (TENDIDO F.O)	83
TABLA 5-4: DETALLE DE LA INVERSIÓN (CAPEX)	84
TABLA 5-5: INGRESOS SERVICIO DE VOZ MOVIL	86
TABLA 5-6: INGRESOS SERVICIO INTERNET DE BA INALAMBRICO WiMAX	87
TABLA 5-7: INGRESOS SERVICIO INTERNET DE BANDA ANCHA FIJO	88
TABLA 5-8: ANALISIS DE RENTABILIDAD: FLUJO DE CAJA	88

Introducción

Los últimos años han significado para el Perú un periodo de crecimiento económico sostenible, lo cual da lugar a oportunidades de desarrollo en diferentes sectores y uno de los más importantes es el de las telecomunicaciones. La aparición de nuevas tecnologías y servicios en este sector, así como la demanda de éstos, crece y se diversifica, aumentando en gran medida el tráfico cursado, sobre todo el tráfico de datos. Esto exige una red de transmisión de mayor capacidad y fiabilidad para que las empresas operadoras puedan atender la creciente demanda de ancho de banda y calidad de servicio.

En el presente documento tiene como primer objetivo realizar un análisis de la problemática actual de la red de transmisión nacional, centrándolo en algunos parámetros limitantes como son: la saturación de la capacidad de transporte en el interior del país, el ineficiente uso de los recursos, la falta de escalabilidad y disponibilidad de la red, etc. Así mismo se hace un breve análisis de la situación de los servicios de telecomunicaciones y la economía en cada departamento con el fin de identificar una oportunidad para solucionar esta problemática. Para ello este proyecto de tesis propone el diseño de una red óptica inteligente basada en tecnología ASON para la región sur.

Uno de los fines de esta propuesta es incrementar la capacidad de la red de transmisión nacional desplegando fibra óptica en departamentos en los que todavía no se ha hecho. Una red de transmisión basada en ASON ofrece no sólo capacidad, como lo hacen las redes de transmisión actuales basadas en SDH o DWDM, sino que también permite una optimización en el uso y gestión de los recursos y de la red mediante reencaminamiento y restablecimiento de rutas a nivel óptico de forma automática y en milisegundos. Esto lo puede lograr ASON gracias a la definición del plano de control óptico y de esta manera conseguir un ahorro considerable en los gastos de operación y mantenimiento, así como una reducción en los tiempos de provisión de enlaces arrendados por parte de las empresas operadoras.

Una vez realizado el análisis de la situación actual del Perú se presenta un pequeño estudio de casos concretos en diferentes países, en los cuales se ha desplegado exitosamente redes ASON. Esta información se contrasta con la del Perú y será usada como punto de partida para el desarrollo del diseño de la red ASON.

Como siguiente paso de la metodología del desarrollo de este proyecto de tesis se presenta el marco teórico necesario para poder entender el funcionamiento de una red

ASON y los beneficios que ésta tecnología puede brindar en comparación de las usadas en las redes de transmisión actuales. En este capítulo se hace un análisis de la arquitectura y de cada una de las capas (o planos) que se introducen en la tecnología ASON/GMPLS. También se estudian los protocolos utilizados en ellas. Se revisará luego cada uno de los escenarios en los que se puede trabajar con esta solución, incluyendo un análisis de la interoperabilidad con las redes SDH tradicionales como la que se tiene en el Perú.

Luego de realizado el estudio del marco teórico se debe definir el tamaño de la red y determinar los departamentos que serán atendidos con el proyecto. El diseño de la solución al acceso de la red se realiza en base a dos criterios. El primer criterio consiste en una demanda del tráfico por cada departamento, es acá donde se define la localización del proyecto en la región sur del Perú. El segundo criterio guarda más relación con la infraestructura actual, es decir, la existencia de facilidades técnicas para el despliegue de una red de fibra óptica tipo malla en que pueda atender los departamentos planteados inicialmente.

Una vez definido el tamaño de la red se procede a realizar las simulaciones y pruebas respectivas para comprobar la eficiencia en el desempeño, variando la topología de red propuesta.

Habiéndose definido lo anterior, se evalúan los costos estimados para la implementación de la red y se realiza un análisis estimado de la rentabilidad del proyecto. De esta manera se debe elegir la mejor alternativa en cuanto a economías de escala, pero también en cuanto a prestaciones técnicas de la red

Finalmente se presentan las conclusiones sobre el proyecto. En las cuales también se muestran los resultados más importantes obtenidos en la etapa de pruebas de equipos.

Capítulo 1

Estado del Arte

En este primer capítulo se presenta el panorama de la situación actual de la red de transmisión nacional y su evolución en conjunto con la veloz aparición de nuevos servicios de banda ancha.

Este crecimiento en la demanda de servicios de banda ancha exige a las empresas operadoras una evolución en sus redes de transmisión para la provisión de enlaces con mejores prestaciones. Las nuevas aplicaciones multimedia en tiempo real necesitan garantizar ciertos requerimientos de calidad de servicio (QoS); como son: un ancho de banda cada vez más flexible y dinámico, bajo retardo de extremo a extremo, bajo jitter (variación del retardo) y mínima pérdida de paquetes.

1.1 Situación actual de la red de transmisión nacional

Las empresas operadoras de telecomunicaciones necesitan una red de transmisión que les permita interconectar sus diferentes elementos de red. Cabe distinguir en este punto entre red de transmisión y redes de transporte. La primera proporciona conectividad a nivel de capa física, mientras que las segundas proveen conectividad en capas más altas. [LOB2001]

En el caso particular de Perú, la red de transmisión está compuesta de un backbone de fibra óptica en la costa, enlaces de microondas para el interior del país y enlaces satelitales para la selva principalmente. Esta red ha ido incrementando su capacidad y extendiendo los enlaces de fibra óptica hacia algunas localidades de la sierra de acuerdo a las necesidades de los clientes.

La red de transmisión de fibra óptica nacional utiliza principalmente tecnología de transporte TDM (Time Division Multiplexing) basada en el estándar SDH (Synchronous Digital Hierarchy) mediante equipos que ofrecen funcionalidad de ADM (Add-Drop

Multiplexer) y soportan interfaces desde STM-1 (155 Mbps) hasta STM-64 (10 Gbps) o 10 Gigabit Ethernet (GE). Poco a poco esta red ha evolucionado a una red OTN (Optical Transport Network) que cuenta, en algunas localidades, con equipos OADM (Optical Add-Drop Multiplexer) de tecnología DWDM. Estos equipos son capaces de multiplexar en una misma fibra hasta 160 portadoras ópticas (longitudes de onda) que soportan 10 Gbps cada una, logrando velocidades de 1.6 Tbps. [ZAP2010], [LOB2001] Sobre la red de transmisión se apoyan las redes de transporte de capas superiores, como la red de circuitos ATM, la red Metro Ethernet o la red de paquetes IP/MPLS. [LOB2001]

En el caso de la red de anillos metro Ethernet, los routers del core IP/MPLS están conectados directamente con “fibra oscura” mediante enlaces de tecnología 10 GE (Gigabit Ethernet). Para interconectarse con los POPs (puntos de presencia) de provincias, los routers utilizan la red de transmisión, esto es debido a que la tecnología 10 GE sólo permite alcanzar hasta 40 Km de distancia. Los equipos que forman los anillos de la red Metro Ethernet son routers con funcionalidad de capa 2 incorporada y entregan el tráfico IP encapsulado en tramas Ethernet al ADM de transmisión más cercano. El ADM se encarga de adaptar el tráfico a su formato de multiplexación eléctrica STM-1/4/16/64 y así envía tramas EoSDH (Ethernet sobre SDH) por transmisiones hasta Lima, donde se interconecta con el core IP/MPLS. [SAL1999] Ésta es la manera en que la red de transmisión óptica nacional le da capilaridad a las redes de transporte de paquetes Metro Ethernet e IP/MPLS que no tienen la suficiente cobertura.

La red de transmisión nacional fuera de Lima está compuesta de 3 partes principales:

1. Backbone Panamericano.- Consiste en una red de fibra óptica SDH/DWDM formada por enlaces punto a punto que se extienden a lo largo de toda la costa del Perú, desde Tumbes hasta Tacna. [MTC2009]
2. Backbone de Penetración.- Consiste en cuatro rutas de fibra óptica que se extienden del backbone panamericano hacia la sierra. Estas cuatro rutas son: Trujillo – Cajamarca, Huarney – Huaraz, Lima – Huancayo y Arequipa – Juliaca.
3. Circuitos de Integración.- Comprenden el resto de las provincias, las cuales son atendidas con tecnologías de transporte de Radio SDH que soportan enlaces con capacidades del orden de STM-1 (155Mbps). Estos enlaces microondas punto a punto llegan a todas las demás provincias a excepción de Iquitos y Puerto Maldonado. En estas provincias se tiene cobertura satelital mediante

enlaces VSAT (Very Small Aperture Terminal) y enlaces IBS (International Business Service). Mediante esta tecnología también se brinda respaldo satelital a Tarapoto y Pucallpa. El problema de usar esta tecnología es el alto costo del segmento satelital. [ZAP2010]

La figura 1-2 muestra la red de transporte nacional de fibra óptica, el backbone panamericano y el backbone de penetración que alcanzan una distancia total de 3690 km. [MTC2009]



FIGURA 1-1: MAPA DE RED DE FIBRA ÓPTICA NACIONAL

Fuente: "Ministerio de Transportes y Comunicaciones (MTC)" [MTC2009]

La distribución de las tecnologías usadas en la red de transmisión nacional da como resultado una gran capacidad concentrada en Lima y la Costa. La mayor parte de ciudades en el interior son atendidas hoy con tecnologías de transporte de baja capacidad (radio y satélite) porque no cuentan con fibra óptica disponible. Esto se

traduce en un alto nivel de saturación de la capacidad, tal como se muestra en la figura 1-3. [ZAP2010]

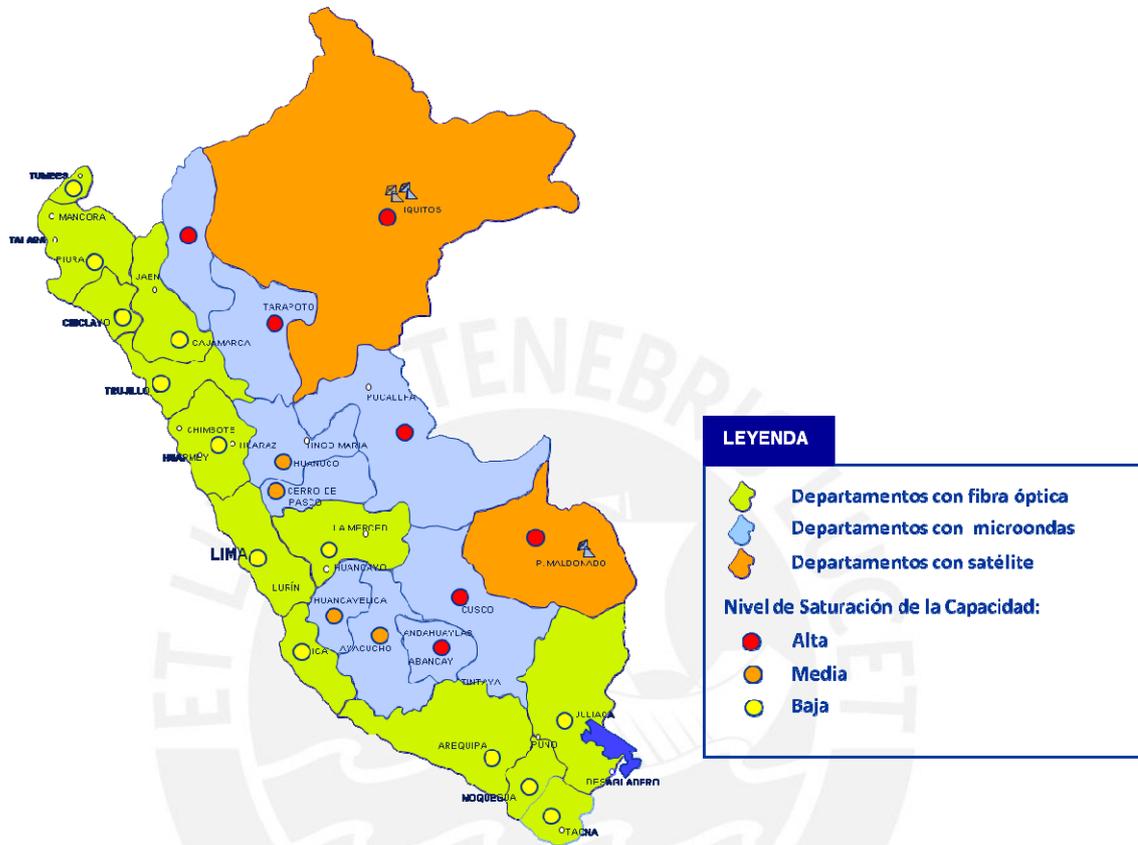


FIGURA 1-2: NIVEL DE SATURACIÓN DE LA RED DE TRANSPORTE

Fuente: “Telefónica del Perú” [ZAP2010]

La explosión de los nuevos servicios de datos emergentes tales como: VoIP (Voz sobre IP), video streaming, IPTV y las nuevas tecnologías móviles como HSPA (High Speed Packet Access), requieren velocidades y anchos de banda cada vez mayores y su demanda se está incrementando de manera exponencial, no solo en Lima y las principales ciudades de la costa, sino también en algunas ciudades importantes del interior del País como Cuzco. La figura 1-4 muestra como se incrementa la demanda de velocidad con la aparición de nuevos servicios a lo largo de los años. Así mismo la figura 1-5 muestra la evolución del tráfico y los ingresos de las empresas operadoras con la introducción masiva de estos nuevos servicios de banda ancha. Esta situación crea la necesidad de encontrar una manera de transportar este tráfico adicional con una solución que permita minimizar el OPEX, es decir el costo de operar y mantener la red. [ZAP2010]

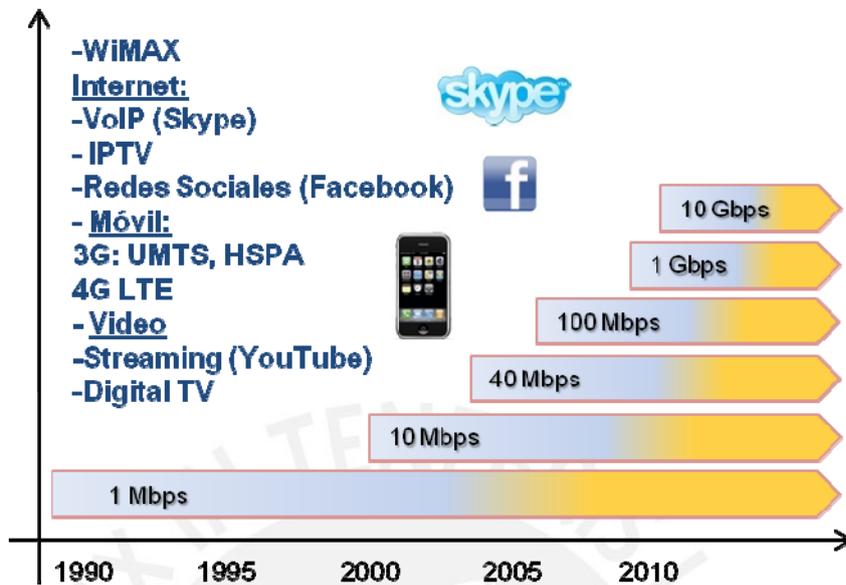


FIGURA 1-3: NUEVOS SERVICIOS Y EL INCREMENTO DE LA VELOCIDAD REQUERIDA

Fuente: "Telefónica del Perú" [TDP2009]

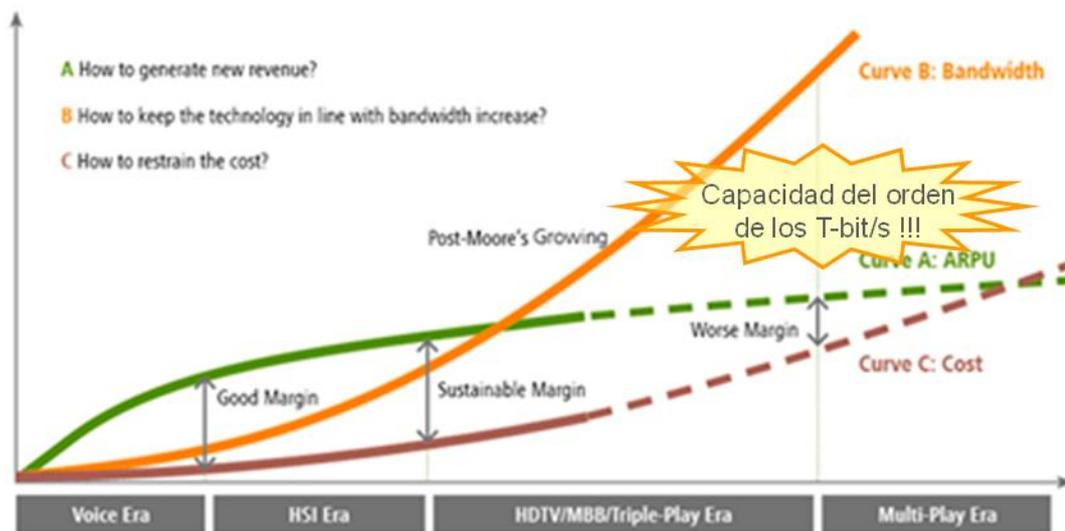


FIGURA 1-4: DIVERGENCIA DEL TRÁFICO DE DATOS Y LOS INGRESOS

Fuente: "Alcatel Lucent" [ALU2008]

Esta situación genera serias restricciones de oferta. Como se puede apreciar en la tabla 1-1, en ciudades en las que se ha producido un importante crecimiento económico en los últimos años y que no cuentan con fibra, muestran penetraciones de los servicios de banda ancha bastante menores que ciudades que han pasado por un

desarrollo similar pero que si cuentan con fibra. Cabe mencionar como una aclaración de la tabla que se consideran dentro del servicio móvil los dispositivos USB de internet de banda ancha móvil. [OSI2010], [INEI2009]

TABLA 1-1: PBI Y PENETRACION DE LOS SERVICIOS DE TELECOMUNICACIONES

Fuente: "Osiptel: Información Estadística 2010" [OSI2010],[INEI2009]"

Departamento	PBI: Var		Penetración		Tecnología de Acceso	Región	Nivel de Saturación de la Capacidad
	2007-2008 (%)	Penetración Fija (%)	Penetración Móvil (%)	ADSL - Banda Ancha (%)			
Tumbes	6.7	23.8	90.5	10.3	Fibra Óptica	Costa Norte	Baja
Piura	6.9	32.2	64.3	9.7	Fibra Óptica	Costa Norte	Baja
Lambayeque	8.4	45.4	89.0	12.7	Fibra Óptica	Costa Norte	Baja
La Libertad	7.6	46.0	82.8	15.4	Fibra Óptica	Costa Norte	Baja
Ancash	8.8	31.1	66.9	10.4	Fibra Óptica	Costa Norte	Baja
Cajamarca	8.7	12.5	48.0	4.5	Fibra Óptica	Nor-Oriente	Baja
Amazonas	7.6	7.7	33.1	1.5	Radio	Nor-Oriente	Alta
San Martín	9.8	20.0	52.4	6.2	Radio	Nor-Oriente	Alta
Loreto	5.0	43.8	31.8	0.0	Satélite	Nor-Oriente	Alta
Huánuco	6.6	12.5	43.0	3.2	Radio	Nor-Oriente	Media
Pasco	1.2	10.2	57.1	3.4	Radio	Nor-Oriente	Media
Ucayali	5.8	31.6	64.3	6.1	Radio	Centro	Alta
Lima y Callao	10.9	84.6	123.7	31.0	Fibra Óptica	Centro	Baja
Ica	22.0	38.7	102.2	14.8	Fibra Óptica	Costa Sur	Baja
Moquegua	5.5	28.4	107.7	11.1	Fibra Óptica	Costa Sur	Baja
Tacna	4.2	28.9	120.8	13.2	Fibra Óptica	Costa Sur	Baja
Arequipa	8.7	52.3	115.9	19.1	Fibra Óptica	Costa Sur	Baja
Junín	8.3	28.3	75.7	7.9	Fibra Óptica	Centro	Baja
Puno	5.3	9.0	73.5	3.5	Fibra Óptica	Centro Sur	Baja
Huancavelica	2.8	4.7	16.7	1.2	Radio	Centro Sur	Media
Ayacucho	9.2	12.3	69.5	2.9	Radio	Centro Sur	Media
Apurímac	2.9	9.2	38.5	0.7	Radio	Centro Sur	Alta
Cusco	7.2	20.9	72.8	7.1	Radio	Centro Sur	Alta
Madre de Dios	7.7	25.2	91.4	0.0	Satélite	Centro Sur	Alta
PERÚ	9.8	44.8	87.9	15.4	-	-	-

1.1.1 Servicios Ofrecidos

La red de transmisión nacional permite a la empresa operadora de telecomunicaciones establecida en el Perú ofrecer servicios WAN de conectividad a nivel interprovincial. Este servicio se puede dar en SDH y se conoce como arrendamiento de circuitos. Mediante este servicio se provee al cliente un enlace dedicado con capacidades que pueden ir de 1 E1 (2 Mbps), pasando por 1 DS3 (45 Mbps) hasta 1 STM-1 o más. La red de transmisión SDH soporta enlaces STM-1 como mínimo, para poder ofrecer capacidades más bajas es necesario usar en la última milla un equipo Media Converter para hacer la conversión óptico-eléctrico y "bajar" el STM-1 a los niveles que se ofrecen (hasta 1 E1 mínimo).

La tecnología Ethernet sobre SDH que se describió algunos párrafos atrás permite ofrecer servicios de conectividad a nivel interprovincial en Ethernet. Entre estos servicios se incluye E-Line (Ethernet Private Line), E-LAN (Ethernet Private Network), etc. A nivel de capa de red (capa 3) se pueden ofrecer servicios de conectividad con una mayor complejidad llamados IP-VPN (IP Virtual Private Network) los cuales son capaces de brindar calidad de servicio (QoS) diferenciada según el tipo de tráfico. [TDP2009]

1.1.2 Problemática de la Red Óptica

La red de transmisión óptica proporciona una gran cantidad de ancho de banda en cada enlace óptico y la inclusión de la tecnología Ethernet sobre SDH permite a la empresa operadora vender bajas capacidades y al mismo tiempo proveer servicios de conectividad avanzados con gestión en IP.

El problema de la red es que está compuesta en su totalidad por enlaces punto a punto estáticos y permanentes (“always on”), que no aprovechan de manera eficiente los recursos de la red, existiendo el problema de capacidad ociosa en la red.

Cuando un cliente solicita la activación de una cantidad determinada de ancho de banda, la provisión se realiza manualmente mediante un gestor de la red, lo cual requiere bastante tiempo de trabajo dedicado y un alto costo de operación y mantenimiento para poder llevar un control sobre cada conexión. [GRA2002]

El tener un único sistema gestor de red (NMS) que maneje el control de las conexiones de todos los elementos de transporte de la red genera situaciones de cuello de botella y alta complejidad en la gestión de la red.

Estos problemas están sucediendo debido a que la red SDH tradicional fue diseñada bajo la premisa de que el ancho de banda requerido por los clientes es mucho menor que el del enlace óptico. Por ello se ve la necesidad de agrupar diferentes demandas a ambos lados del enlace para mejorar la utilización del ancho de banda. Actualmente la diferencia entre la capacidad de transporte SDH y el ancho de banda solicitado por los clientes está disminuyendo. [VEL2006]

La evolución de la red de transmisión óptica (OTN) con la tecnología IP sobre DWDM permite ofrecer servicios de conectividad en IP de una capacidad mucho mayor que la que ofrecen las redes SDH tradicionales. Sin embargo persiste otro problema con esta tecnología. El reencaminamiento y las funciones de protección se llevan a cabo a nivel eléctrico en los routers, no se realiza ninguno de éstos procesos a nivel óptico. Esto hace que, a medida que el tráfico IP se incrementa a centenares de Gbps, las

conversiones optoelectricas y de tránsito en los nodos obligan a un incremento del número y tamaño de los routers, así como de la complejidad y coste de los sistemas de gestión. [LOB2001]

Para solucionar esta limitación en una siguiente tendencia se incluye, además de la capa de transmisión óptica, una capa de control a nivel óptico en la que el reencaminamiento y otras funciones de conmutación simples se realizan a nivel de longitud de onda reduciendo al mínimo las transformaciones optoelectricas. Esta tendencia lleva al despliegue de redes de transmisión ópticas inteligentes de nueva generación (NG-OTN) y al desarrollo del estándar ASON (Automatic Switched Optical Network). Este nuevo estándar logra convertir las redes de transmisión ópticas estáticas en redes de conmutación automáticas capaces de provisionar ancho de banda bajo demanda.

1.1.3 Disponibilidad de la Red

Otra de las limitaciones que se puede identificar en la red de transmisión óptica del Perú es baja disponibilidad de la red. La agreste geografía de la Sierra del Perú dificulta y encarece los costos de desplegar fibra óptica en esta región, lo cual impide tener esquemas de restauración en la red de fibra óptica. Cuando se tiene la red de transmisión nacional a lo largo de una sola fibra, como es en Perú, ocurre que la falla de una ruta podría dejar fuera de servicio a una gran área.

La disponibilidad es la capacidad de la red de continuar en operación en cualquier instante aleatorio futuro, incluso bajo condiciones de fallas y puede expresarse de la siguiente manera: [VEL2006]

$$D = \frac{UpTime}{UpTime + DownTime} = \frac{MTTF}{MTTF + MTTR}$$

De la ecuación anterior se define:

- MTTR (Mean Time to Repair): es el tiempo esperado necesario para reparar el elemento, que puede ser un enlace óptico.
- MTTF (Mean Time to Fail): es el tiempo esperado en que se producirá el siguiente fallo en el elemento, luego de su reparación.

La forma de mejorar la disponibilidad y fiabilidad en las redes de transmisión ópticas, es mediante el uso de esquemas de protección y restauración de forma que la red

pueda continuar en operación incluso en caso de fallos dentro de sí misma. Es importante establecer la diferencia entre mecanismos de restauración y protección. Los mecanismos de restauración se refieren a un proceso manual que emplea los recursos libres entre los nodos finales para reencaminar el tráfico por un camino alternativo. Cabe mencionar que la restauración no inicia apenas ocurre el fallo, sino una vez que se ha detectado la degradación de algún servicio o pérdida de señal por parte del sistema de gestión de la red. Esto se deriva en tiempos de restauración muy lentos y variables que pueden durar, minutos u horas hasta encontrar una ruta alternativa.

Los mecanismos de protección son mecanismos automáticos en el caso de la red de transporte actual consisten en reemplazar un recurso fallado (por ejemplo un enlace óptico) con otro recurso pre-asignado que está siempre disponible (“en stand-by”).

Los recursos de protección pueden ser dedicados, por ejemplo en el caso de que un cliente solicite un servicio de conectividad como los que mencionamos anteriormente con un enlace adicional de respaldo; o pueden ser compartidos, donde el mismo recurso proporciona protección a múltiples recursos de diferentes servicios. [VEL2006]

En una red de transmisión como la actual, compuesta en su totalidad por enlaces ópticos punto a punto independientes entre sí, existen básicamente dos esquemas de protección en los enlaces: la configuración 1 + 0 y la configuración 1+1. La primera representa un enlace de fibra óptica estándar sin protección mientras que la segunda corresponde a un enlace de fibra óptica con su enlace de respaldo. [TDP2008]

En la configuración 1+1, el enlace de respaldo puede usar la misma ruta, siendo un par de hilos adicional en el mismo cable de fibra óptica, o puede usar una ruta alterna, en cuyo caso algunas veces es necesario emplear enlaces microondas debido a la inexistencia de fibra óptica en algunos lugares. En este caso el nodo origen transmite simultáneamente tanto por los enlaces principales como de protección, usando el doble de ancho de banda necesario. El nodo destino monitoriza ambos canales, escogiendo de forma dinámica la señal con mejor potencia y conmutando al detectar degradación de la señal. La ventaja de este mecanismo de protección es que es bastante rápido (del orden de los 50 ms) y el grado de complejidad es bajo. Sin embargo no usa eficientemente los recursos de la red. Ambas configuraciones típicas para los enlaces de fibra óptica se pueden ver en la figura 1-6. [VEL2006]

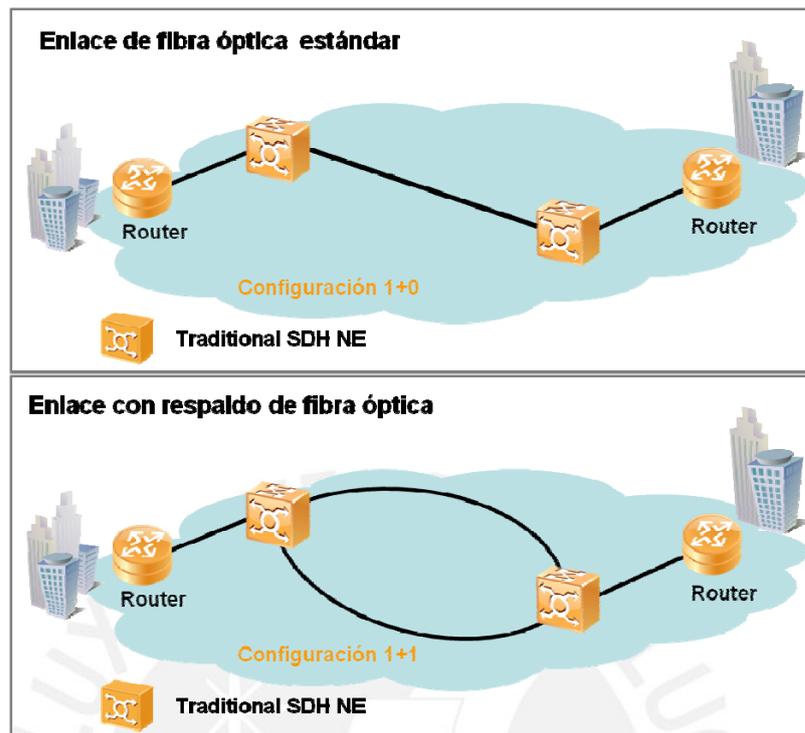


FIGURA 1-5: CONFIGURACIONES PARA ENLACES ARRENDADOS ÓPTICOS SDH

Fuente: "Telefónica del Perú" [TDP2008]

1.2 Evolución hacia una red de transmisión óptica inteligente

Es claro que la tendencia del sector de telecomunicaciones apunta a la convergencia de servicios soportados en una red de banda ancha con una arquitectura completamente en IP. Junto con esta tendencia, se encuentra un crecimiento exponencial en la demanda de ancho de banda, lo cual, a su vez, ha incrementado los requisitos de la red de transmisión. [YAÑ2006] Esto ha forzado a las redes de transmisión a evolucionar hacia redes ópticas inteligentes. En la figura 1-7 se muestra la evolución del modelo de red y a continuación se da una explicación general cada etapa de esta evolución. [YAÑ2006], [MAS200?]

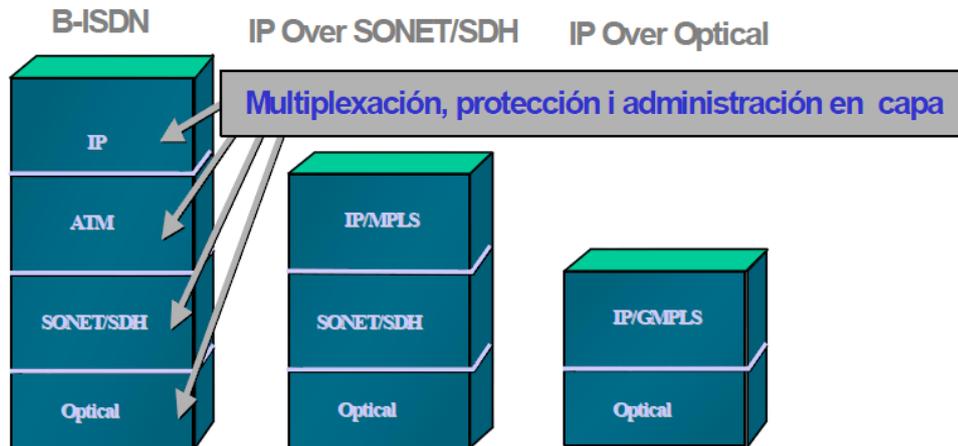


FIGURA 1-6: EVOLUCIÓN DEL MODELO DE RED

Fuente: "Universidad Politécnica de Catalunya" [MAS2006]

Como se puede ver en la figura 1-7, en una primera etapa se tenía una arquitectura de 4 capas. La tecnología ATM (Asynchronous Transfer Mode) fue inicialmente diseñada para dar soporte a redes multiservicios, puesto que puede integrar el tráfico de diferentes aplicaciones (voz, datos y video) de manera flexible y transportarlo utilizando el protocolo PNNI (Private Network-Network Interface) como plano de control. El problema surgió cuando el crecimiento del tráfico IP hizo que la red ATM sea ineficiente en términos de escalabilidad.

En el siguiente paso de la evolución la capa ATM es eliminada dando lugar a un protocolo que opera directamente en un entorno IP, el protocolo MPLS (Multi-Protocol Label Switching). IP/MPLS es una arquitectura orientada a conexión, y en esta etapa es soportada por la capa SDH. La etapa final consiste en la eliminación de la capa SDH, debido a su ineficiente uso del ancho de banda y la definición del protocolo GMPLS (Generalized Multiprotocol Label Switching) como extensión del tradicional MPLS. Esta extensión posibilita el trabajo con etiquetas generalizadas, es decir no solo paquetes IP, sino también time slots, longitudes de onda, etc. Este modelo es el objetivo y se basa en una arquitectura IP/GMPLS enfocada a redes totalmente óptica en las que el enrutamiento se hace a nivel de longitudes de onda y utilizando componentes como cross-conectores ópticos o (OXC)

Adicionalmente se definió un modelo intermedio con arquitectura IP/GMPLS/NG-SDH/WDM, basándose en la evolución de la tecnología SDH. Es aquí donde surge el concepto de ASON (Automatic Switched Optical Network) como una red de transmisión óptica inteligente que utiliza el protocolo GMPLS como plano de control.

El conjunto de protocolos de GMPLS está definido en la IETF y, como veremos a continuación, cumplen las funciones de protección, descubrimiento de la red y facilidad de gestión para mejorar el uso del ancho de banda. La capa OTN, que es puramente física se agrega para aumentar la capacidad y la tendencia llevaría a ir eliminando de una manera paulatina la capa SDH hasta poder tener una arquitectura IP/MPLS directamente sobre la capa OTN/WDM. [SCH2004]

Este proyecto le presta especial atención a esta capa OTN, usando ASON/GMPLS para el control, la restauración de rutas ópticas. La estructura de la capa OTN está basada en capas ópticas (OTS_n, OMS_n, OCh) y eléctricas (OTU_k, ODU_k, OPU_k)

Mediante la cross-conexión y la multiplexación del canal ODU1, la OTN permite que los servicios de baja velocidad de transmisión se vayan adaptando de manera flexible entre los OCh y el puerto del lado del cliente. Esto permite un balance en la alta utilización de ancho de banda de longitudes de onda y la adaptación flexible de servicios de extremo a extremo. [SCH2004]

La figura 1-8 muestra la estructura de las cabeceras en la capa óptica OTN.

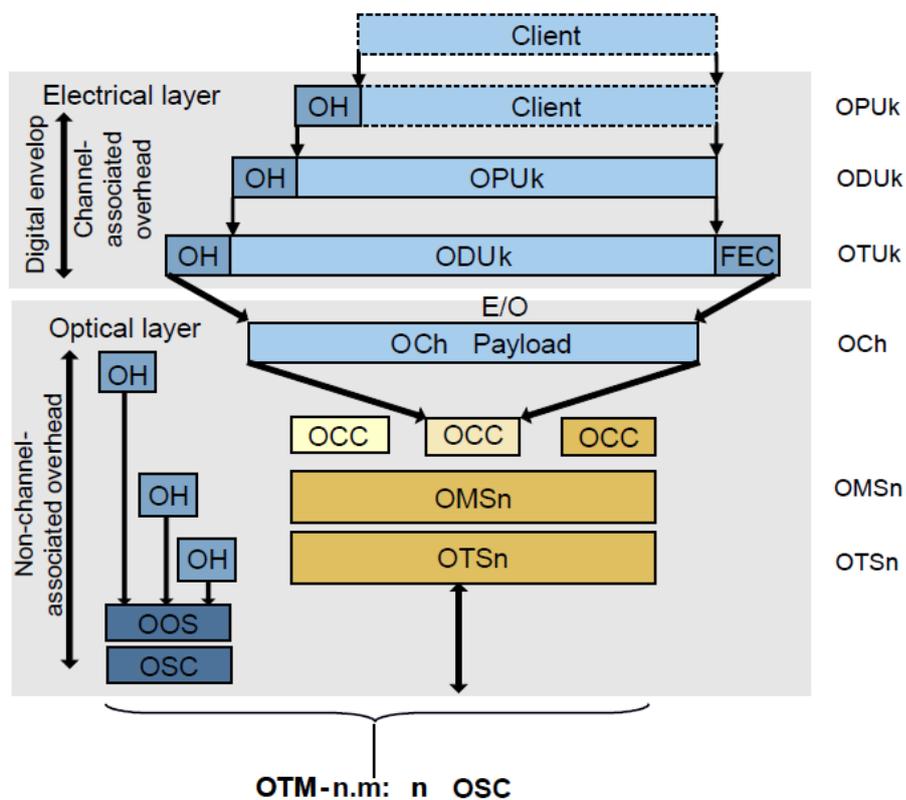


FIGURA 1-7: ESTRUCTURA CAPA OTN

Fuente: "Oscilloquartz SA" [SCH2004]

1.2.1 Caso de Éxito

En la siguiente parte del capítulo se presentan algunos casos de despliegues exitosos de redes ASON a nivel mundial

1.2.1.1 Oi (Telemar) National Intelligent Backbone

A continuación se presenta un análisis del caso de la empresa operadora Telemar en Brasil, obtenido de dos artículos y una presentación de la empresa Huawei Technologies. [CRE2005], [RAM2005], [HUA2007] Esta empresa fue una de las pioneras en optar por la tecnología ASON para brindar inteligencia a su red SDH estática, la cual ha tenido una situación similar a la de Perú.

Oi (Telemar) es el operador de telefonía fija más grande de Brasil, cuyos servicios cubren aproximadamente un 65% de todo el territorio nacional (5.5 millones de kilómetros cuadrados) y atienden a una población de 94 millones de personas. A setiembre del 2005, Telemar contaba con 15.2 millones de líneas fijas subscriptoras, 7.5 millones de abonados móviles y 0.6 millones de usuarios de banda ancha.

Para llegar a estas cifras la empresa tuvo que enfrentar una serie de retos. El primero fue la construcción de una red de transmisión nacional formada por anillos SDH que permitió la interconexión de las empresas operadoras regionales. El crecimiento de la demanda ancho de banda motivó a la empresa en el año 2000 a implementar un segundo backbone nacional extendiendo los enlaces de fibra óptica y mediante el uso de SDH sobre DWDM. Al año 2004 Telemar había terminado los trabajos en una gran red de fibra óptica, la cual se muestra en la figura 1-8.

Los anillos SDH que formaron esta red usan mecanismos de protección para asegurar la operatividad y supervivencia de la red. Sin embargo esta topología no ha sido capaz de manejar casos de doble o múltiples fallas en la red.

El backbone de la red de transmisión óptica de Brasil está formado por enlaces que se extienden hasta una distancia de 23,000 km y los cortes del cable de fibra óptica han ocurrido frecuentemente. Estos cortes terminan forzando a la red a reencaminar el tráfico continuamente, lo que disminuye el factor de disponibilidad de la red y degrada su estabilidad. Ha habido muchos casos en que los cortes de la fibra han ocurrido simultáneamente, resultando en una interrupción del servicio a escala masiva o simplemente en el colapso de parte de la red.

Por otra parte, el constante crecimiento de la demanda de requisitos más específicos en los servicios fijos y móviles en tiempo real exigía un aumento de la infraestructura

de transmisión de los servicios de voz y datos con una mejor calidad que la ofrecida con los anillos SDH. Es decir había una exigencia por parte de los clientes de incrementar los SLA (Service Level Agreement).

Telemar ya ofrecía servicios de banda ancha, servicios de datos Metro Ethernet, ATM, y servicios DDN de línea privada; y para estos años estaba realizando grandes progresos en éstos. Adicionalmente se exploraba la posibilidad de la convergencia de servicios fijo – móvil (FMC) para, en un futuro, migrar todos los servicios a una red con una arquitectura totalmente IP. Esta tendencia del uso de IP, junto con el enfoque de redes dinámicas apuntaba al desarrollo de las redes de transmisión óptica de próxima generación.

El diseño de una red óptica inteligente que sea capaz de soportar una topología en malla con asignación dinámica y flexible del ancho de banda era la solución para los problemas de múltiples cortes en la fibra y para las nuevas exigencias de los clientes. La tecnología ASON (Automatic Switched Optical Network) fue la elegida por Telemar para adoptar esta tendencia.

El mecanismo de control de distribución le brinda a las redes que usan ASON una serie de beneficios como la rápida provisión de circuitos, rápida adaptación a las demandas de servicios, escalabilidad robusta, mecanismos de protección y restauración rápidos, y también resuelve el problema de la creación de circuitos entre vendedores. Así mismo reduce de manera sorprendente los requerimientos de trabajo para el sistema de gestión de la red, transfiriendo sus funciones al plano de control óptico, que es introducido por primera vez con ASON.

Por contraparte con todos estos beneficios hay ciertas consideraciones que se deben tener en cuenta respecto al CAPEX que implica el despliegue de una red de este tipo. Cuando se trata de una red de larga distancia nacional por lo general no se tienen muchas rutas alternativas. En el caso de Brasil la situación es aún más crítica debido a las dimensiones del país y a la distribución de los principales centros económicos a lo largo de la costa. Esto hace que sea económicamente inviable construir más de 3 rutas entre dos localidades.

En una red de larga distancia nacional de miles de kilómetros con 3 rutas de fibra óptica diferentes es necesario reservar $2/3$ del ancho de banda para permitir el enrutamiento del tráfico que fluye a través de todos los circuitos en caso de múltiples fallas. De esta manera se evita el incumplimiento de las cláusulas en los contratos de nivel de servicios (SLA).

La construcción del backbone nacional de Brasil basado en ASON se realizó en dos etapas. En la segunda mitad del año 2003, Telemar planeaba utilizar la tecnología ASON para la construcción de su backbone nacional. Para lograr esto, hizo una búsqueda rigurosa de proveedores de equipos ASON para asociarse estratégicamente. A finales del 2003, luego de mucha deliberación, Telemar decidió ir con Huawei Technologies.

Esta no sería la primera vez que ambos trabajen juntos. En el año 2001 Telemar contrató a Huawei para la construcción de la red metro SDH en la ciudad de Rio de Janeiro. En esta ocasión Huawei se encargó de proveer a Telemar con una solución ASON+DWDM para la implementación de un backbone inteligente. La primera etapa de la red constituyó la cobertura de siete de las más importantes ciudades en el este de Brasil, incluyendo Sao Paulo, Rio de Janeiro, Belo Horizonte, Salvador, Recife, Fortaleza y Sergipe, adoptando una topología en malla con mecanismos de protección y restauración. En la segunda etapa de la red se incluyeron cinco nodos más. En las ciudades de Rio de Janeiro, Sao Paulo, Belo Horizonte y Salvador se colocó doble nodo de respaldo y uno más fue añadido en Brasilia. El proyecto en su totalidad incluyó 12 nodos ASON en 8 ciudades con la implementación de respaldo 1+1 en cada ciudad.

Los equipos provistos por Huawei para esta red fueron los OSN9500, los cuales pasaron por un riguroso proceso de pruebas. La adopción de la tecnología ASON para el backbone de la red de transmisión de Telemar se realizó gradualmente. En primer lugar, la tecnología es adoptada por las redes locales, luego, mediante el uso de interfaces UNI o NNI es posible interconectar estas redes formando la red completa.

La figura 1-9 muestra el backbone inteligente nacional de Telemar con los enlaces principales de la primera etapa y los enlaces de expansión con los nodos redundantes.

Oi (Telemar) National Intelligent Backbone

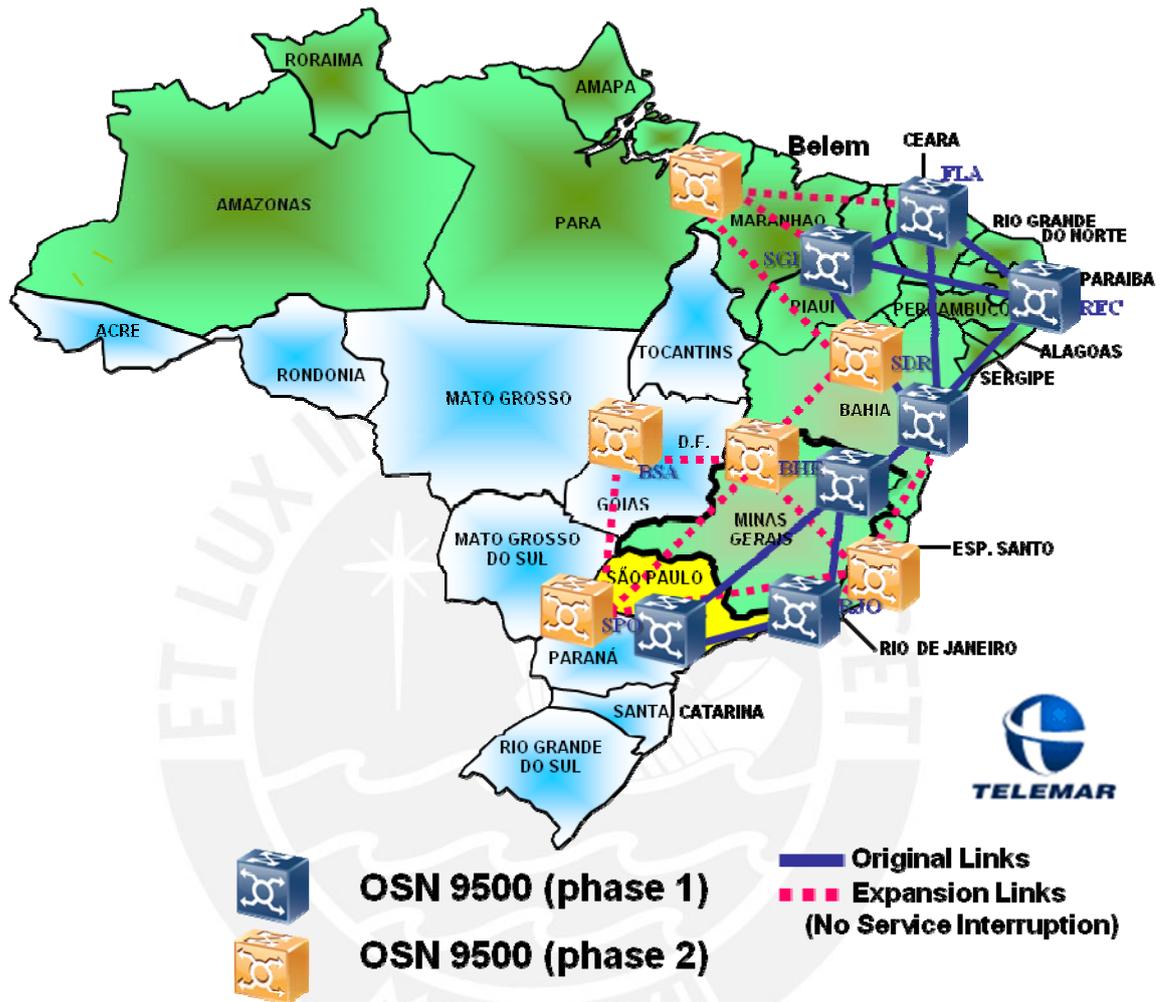


FIGURA 1-8: TELEMAR: BACKBONE INTELIGENTE NACIONAL EN BRASIL

Fuente: "Huawei Technologies" [HUA2007]

Una vez implementada la segunda etapa de la red de transmisión, la respuesta de ésta fue rápida. La figura 1-10 muestra la disponibilidad de la red de Telemar con la implementación de ASON, la cual llegó a 100% a partir del año 2005, a pesar de los múltiples cortes de fibra óptica que ocurrieron en varias ocasiones.

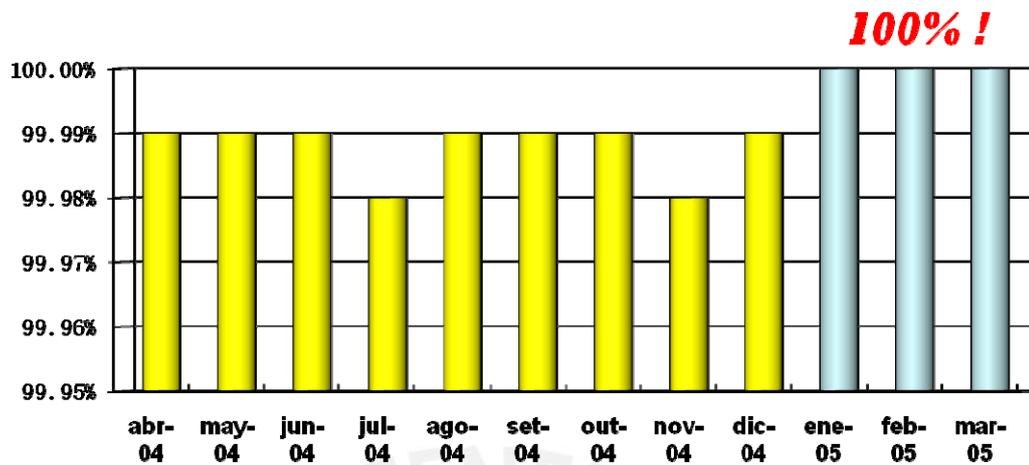


FIGURA 1-9: DISPONIBILIDAD DE LA RED DE TRANSMISIÓN DE TELEMAR

Fuente: "Huawei Technologies" [CRE2005]

Un caso particular se dio en el periodo de Diciembre del 2004 a inicios del 2005 ocurrieron 7 cortes de fibra consecutivos. El primero ocurrió el 5 de Diciembre, una semana después ocurrieron el segundo y tercer corte el 10 y 12 de Diciembre. El cuarto corte ocurrió el 18 de Diciembre y antes de que estos cortes pudieran recuperarse, un quinto corte ocurrió nuevamente el 22 de Diciembre. A pesar de los últimos 2 cortes, el servicio se mantuvo activo y no presentó ningún tipo de deterioro. Éste es uno de los beneficios más importantes para Telemar, ya que entre sus clientes principales se incluyen municipalidades locales y estatales, así como los principales bancos y muchas otras compañías importantes de Brasil. Estos clientes requieren un nivel de confiabilidad de los servicios de conectividad mayor a 99.999%.

Otro de los beneficios obtenidos con la tecnología ASON es la capacidad de establecer prioridades a los circuitos de diferentes servicios de la manera más conveniente. Esto le permite a la red proveer servicios basados en SLAs con cinco niveles según el requerimiento del cliente: diamante, oro, plata, cobre, y hierro. En el siguiente capítulo se explicará de manera detallada cada uno de estos niveles de servicio según el esquema de protección que use.

Capítulo 2

Marco Teórico

El presente capítulo expone las bases técnicas del funcionamiento de las redes ópticas inteligentes con arquitectura ASON/GMPLS, centrándose en los conceptos del plano de control.

2.1 Arquitectura ASON/GMPLS

La arquitectura para las redes ASON/GMPLS, la señalización y la relación entre sus componentes ha sido desarrollada por múltiples organizaciones dedicadas a la estandarización llamadas SDOs. [FOI2008]

La arquitectura para redes ASON es definida en Octubre del 2001 por la ITU-T en la recomendación G.8080 está conformada por tres planos, el plano de transporte, de control y de gestión, tal como se puede ver en la figura 2-1. Si bien cada plano es autónomo, existe cierta interacción entre ellos debido al uso común de algunos recursos de la red. [ECI2007], [JAJ2004], [HUA2007]

El estándar GMPLS del IETF (International Ethernet Task Forum) define los diferentes protocolos utilizados para las funciones automáticas de descubrimiento, enrutamiento, señalización, etc. [YAÑ2006]

Los acuerdos de implementación que usan ambos estándares en una solución ASON/GMPLS, así como las pruebas y demostraciones de interoperabilidad son establecidos por el OIF (Optical Interworking Forum). [FOI2008], [YAÑ2006]

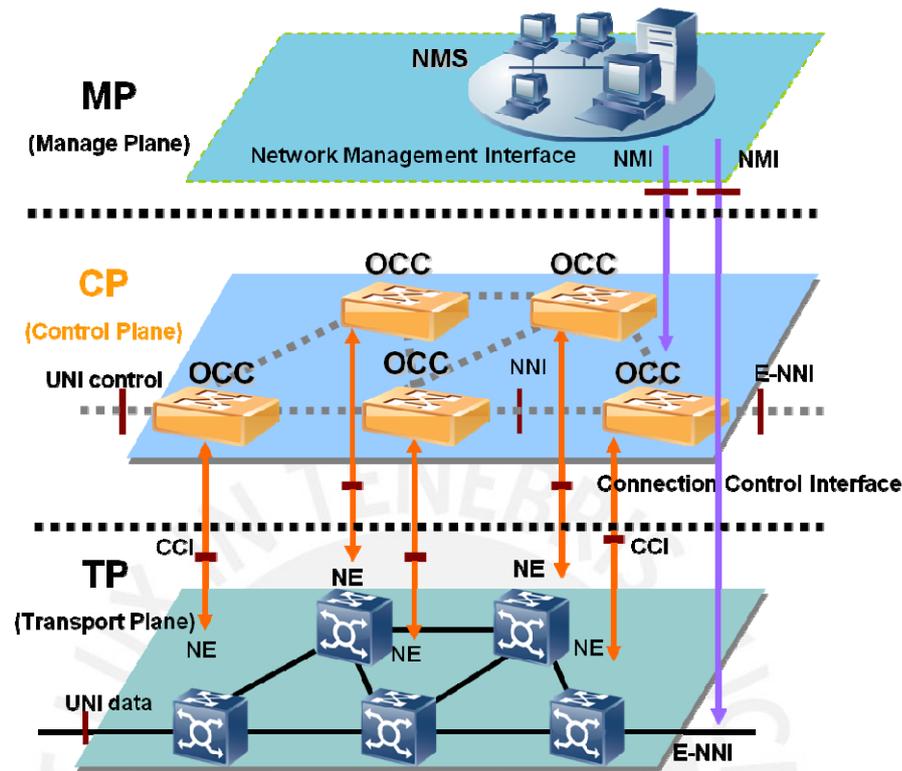


FIGURA 2-1: ARQUITECTURA LÓGICA DE ASON

Fuente: "Huawei Technologies" [HUA2007]

2.1.1 Plano de Transporte

El plano de transporte es el responsable de las funciones de transporte de los servicios, conmutación y multiplexación. Está compuesto por los conmutadores ópticos y los enlaces de fibra óptica; por lo tanto es el encargado de suministrar los canales ópticos unidireccionales o bidireccionales entre usuarios. [ECI2007], [MAS2006]

2.1.2 Plano de Control

El Plano de control es el que le otorga inteligencia a la red óptica y permite el restablecimiento en topologías tipo malla. Está formado por controladores de conexiones ópticas OCC, que en realidad son procesadores individuales en cada nodo, los cuales proveen una interface de señalización para la función de control de las conexiones. Los procesadores ejecutan un software de control y usan un canal de comunicación para crear un plano superpuesto descentralizado. [ECI2007], [MAS2006] Este plano permite realizar un control directo de la comunicación entre los nodos, a diferencia de las redes ópticas tradicionales en las que todo el control se realizaba en el NMS, lo que permite reducir la complejidad de la gestión de la red como puede

verse en la figura 2-2. Además es el principal responsable del reencaminamiento del tráfico, así como de la restauración de enlaces caídos. [FOI2008],

El plano de control requiere también una red de señalización (SCN) para darle soporte a los elementos de control al proveerles el canal de comunicación necesario. Esta red de control representa el medio de transmisión para los mensajes de control y puede ser dentro de banda (“in-band”), es decir que puede usar la misma infraestructura que la red ASON, o fuera de banda (“out-band”), soportado en una topología física distinta que la red ASON subyacente. [ECI2007], [ABO2002], [FOI2008]

Con la introducción de este plano de control lo que se busca es mejorar la confiabilidad y estabilidad de la red, disminuir el costo de propiedad de la red (TCO) y simplificar la operación de la red. [HUA2007]

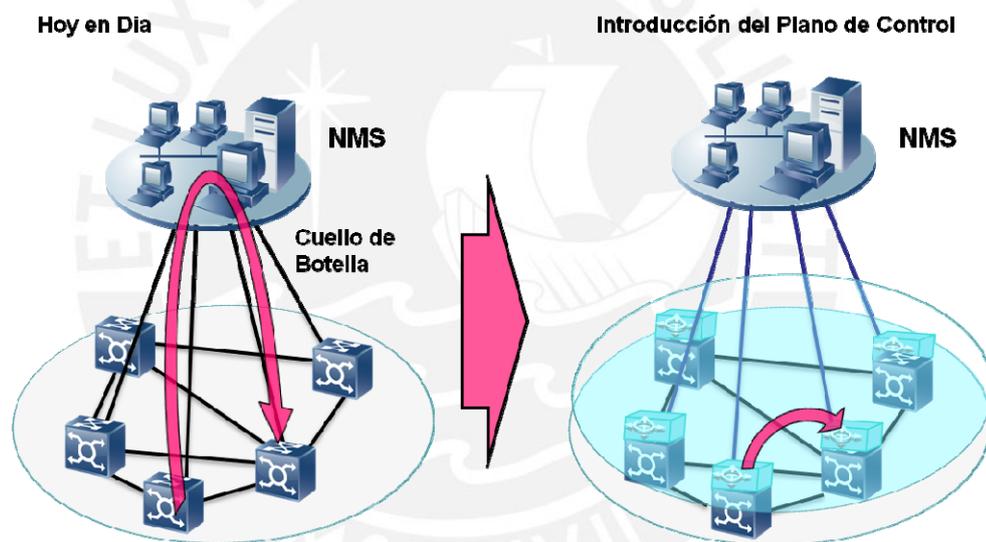


FIGURA 2-2: INTRODUCCIÓN DEL PLANO DE CONTROL

Fuente: “Optical Interworking Forum” [FOI2008]

2.1.3 Plano de Gestión

El Plano de gestión se amplía para integrar las funciones de operación, administración, mantenimiento y provisión (OAM&P) para los planos de transporte y control. Los componentes del plano de control se modelan como entidades administradas en el plano de gestión, el cual lleva a cabo las funciones de configuración, gestión de averías, reportes, contabilidad y seguridad para minimizar los problemas de interrupción. [ECI2007], [MAS2006]

Este plano está basado en un elemento gestión de la red llamado NMS (Network Management System), el cual se encarga de preparar los parámetros de configuración correctos que le permite al plano de control funcionar como una herramienta en tiempo real, incluso cuando el NMS no está disponible. Esto permite dar de alta y dar de baja servicios, y preservarlos incluso en caso de fallas de la red. [ECI2007], [JAJ2004]

2.2 Interfaces en ASON/GMPLS

La arquitectura de redes ASON permite que el plano de control se subdivida en varios dominios de administración o CD (Control Domain) y que de la misma manera el plano de transporte se particione de para relacionarse con el dominio de administración. El plano de gestión permite la separación de recursos de control entre dominios administrativos. Dentro de cada dominio administrativo el plano de control puede subdividirse en dominios de enrutamiento que pueden estar separados, por ejemplo, por regiones geográficas distintas. Los dominios son establecidos, finalmente, por las políticas del operador de la red.

Para el intercambio de información y la interconexión física entre dominios administrativos, dominios de enrutamiento y entre los diferentes elementos de red de cada plano se definen múltiples interfaces, las cuales se describen a continuación. [JAJ2004], [ECI2007], [ABO2002], [FOI2008]

2.2.1 Interface I-NNI

La I-NNI (Internal Network-to-Network Interface) es una interface de señalización bidireccional entre los elementos del plano de control que se encuentran en el mismo dominio de enrutamiento. Es una Interface de confianza.

La I-NNI está basada en dos aspectos esenciales: señalización y enrutamiento. Para ello, utiliza extensiones de los protocolos IP y GMPLS que son la base de las diferentes funcionalidades que permiten finalmente establecer el camino que tomara el tráfico. En primer lugar es necesaria la utilización de una serie de etiquetas generalizadas GLSP (Generalized Label Switch Path) con la codificación apropiada según las características pertenecientes a la tecnología usada en particular. El protocolo utilizado para la distribución de las etiquetas es CR-LDP (Constraint Based - Label Distribution Protocol).

Para poder intercambiar información completa acerca de la topología y el estado de los enlaces, los protocolos que la I-NNI utiliza son extensiones de los protocolos de

enrutamiento IP, OSPF (Open Shortest Path First) y IS-IS (Intermediate System to Intermediate System).

Las solicitudes de conexión se propagan a través del plano de control mediante el protocolo de señalización RSVP-TE (Resource Reservation Protocol – Traffic Engineering).

Ambas funciones de enrutamiento y señalización del tráfico se realiza en el SCN. Adicionalmente, dentro del mismo dominio, la I-NNI utiliza el protocolo LMP (Link Management Protocol) para las funciones de descubrimiento de vecinos y de servicios que serán detalladas más adelante, así como para la gestión de los enlaces.

2.2.2 Interface E-NNI

La E-NNI (External Network-to-Network Interface) una interface de señalización bidireccional para interconectar diferentes dominios de enrutamiento que pueden pertenecer a un mismo dominio de administración o a diferentes dominios de administración. Esta interface permite la rápida prestación de servicios en un escenario de múltiples proveedores.

A diferencia de la I-NNI, la E-NNI sólo debe permitir el intercambio de cierta información de enrutamiento entre distintos dominios. Para ello se utiliza el protocolo BGP (Border Gateway Protocol), también basado en IP. La posibilidad de establecer políticas al tráfico cursado hacen que éste protocolo sea el más adecuado para satisfacer los requerimientos de servicios y elegir rutas diversas.

2.2.3 Interface UNI

La UNI (User-to-Network Interface) se extiende entre el cliente y la red, permitiéndole al cliente solicitar servicios de conexión óptica de forma dinámica. Un sistema cliente puede ser un elemento de capa superior de transporte, como un router de borde.

La UNI es un punto de referencia que no es de confianza ya que oculta la información de enrutamiento y direccionamiento. De esta manera los usuarios pertenecen a un espacio de direcciones diferentes de los nodos de la red interna. Esta interface también utiliza el protocolo RSVP-TE y CR-LDP para señalización y distribución de etiquetas.

Entre las funciones específicas que puede realizar esta interface tenemos:

- Creación de conexiones nuevas
- Eliminación de conexiones existentes
- Modificación de conexiones existentes

- Consulta del estado de las conexiones existentes

2.2.4 Interface NMI

La NMI (Network-to-Management Interface) se encarga de manejar las interacciones entre el plano de gestión y el plano de control.

2.2.5 Interface CCI

La CCI (Connection Control Interface) se encarga de las conexiones entre el plano de control y los elementos de transporte ópticos.

La figura 2-4 muestra un diagrama más distribuido de una red ASON en un escenario de múltiples proveedores, varios dominios establecidos por un proveedor y múltiples clientes. En esta figura puede apreciarse cada una de las interfaces descritas anteriormente y los protocolos utilizados en cada una de ellas. [HUA2007]

El plano de control cuenta con una serie de componentes para realizar cada una de las funciones que se detallan en el siguiente capítulo. Estos componentes y sus respectivas funciones son descritos en el Anexo 1.

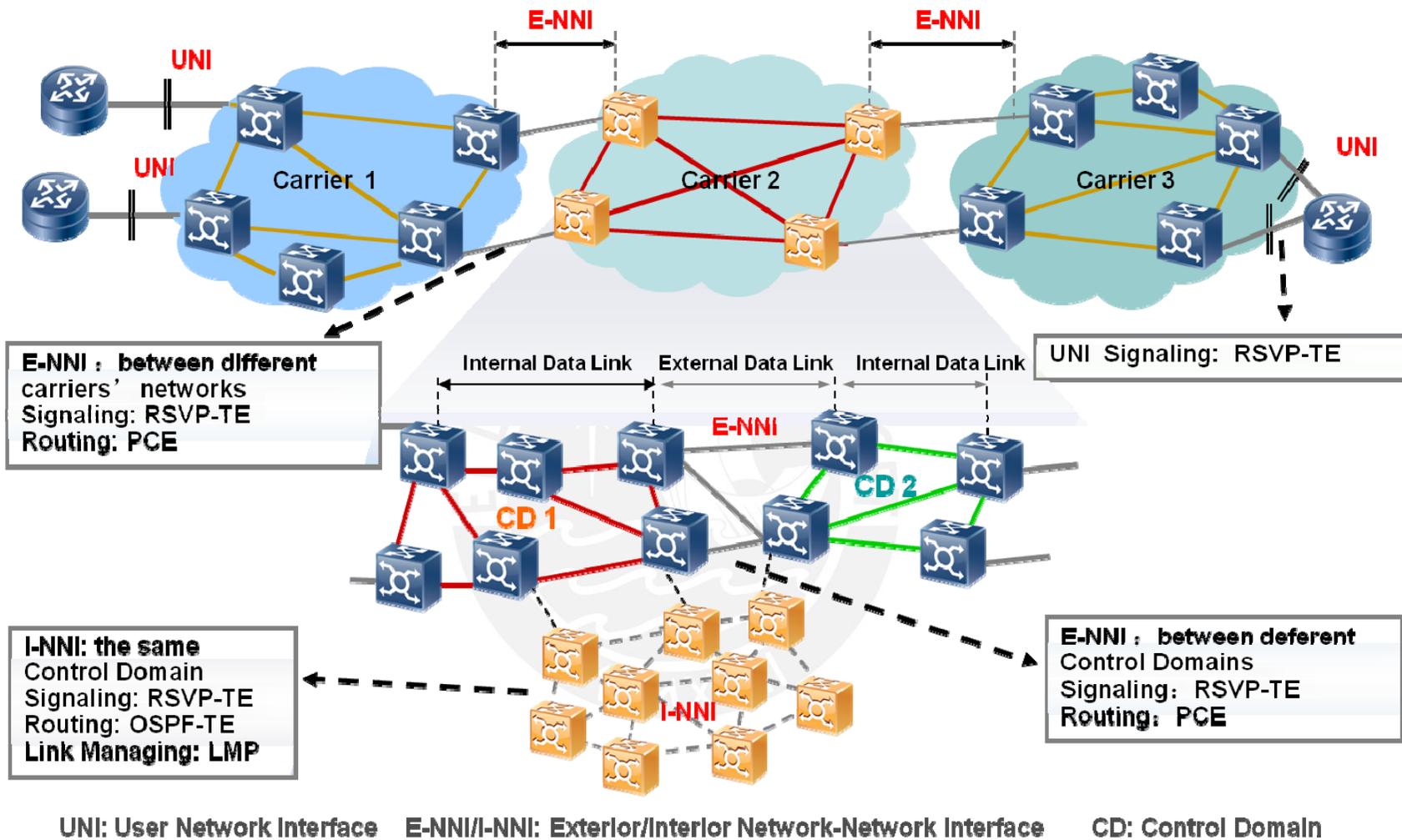


FIGURA 2-3: INTERFACES Y PROTOCOLOS DEL PLANO DE CONTROL

Fuente: "Huawei Technologies" [HUA2007]

2.3 Funcionalidades en ASON/GMPLS

En este subcapítulo se presenta una descripción de las funcionalidades del plano de control en una arquitectura ASON/GMPLS.

2.3.1 Control de Admisión de Conexiones

El control de admisión de conexión (CAC) verifica que existan los recursos de red suficientes (canales TDM, longitud de onda, etc.) para permitir el establecimiento de la conexión. Es decir el CAC permite la autenticación del usuario y el control del acceso a los recursos de la red, verificando que el servicio requerido esté de acuerdo a los parámetros establecidos en el SLA. [JAJ2004], [ABO2002]

2.3.2 Descubrimiento Automático de Recursos

Las redes ASON soportan varios niveles de descubrimiento automático que logran reducir el OPEX de la red y son especificados en la recomendación ITU G.7714/Y.1705.

2.3.2.1 Descubrimiento de Adyacencia

El descubrimiento de adyacencia es el proceso mediante el cual un elemento de red verifica automáticamente si existe conectividad física y lógica entre un par de puertos con el elemento de red adyacente. Este proceso se basa en el simple intercambio de identificadores de interfaz únicos para cada interfaz óptica. El protocolo que permite esta funcionalidad es LMP junto con el concepto de OLI (Optical Link Interface). [ABO2002], [ECI2007]

La información de adyacencia es validada por el operador de la red, se envía al plano de control para su análisis y al plano de gestión. Para asegurar la confiabilidad se monitorea continuamente la adyacencia del enlace siempre que la interfaz sea configurada. [JAJ2004]

2.3.2.2 Descubrimiento de Vecinos

El descubrimiento de vecinos se utiliza para detectar y mantener la adyacencia de los nodos. Para este mecanismo se utiliza los protocolos basados en IP que han sido incorporados al plano de control: OSPF y IS-IS. El descubrimiento de vecinos se utiliza en todas las interfaces que se mencionaron anteriormente y en la interfaz física PI. Es por ello se necesita LMP en el descubrimiento de vecinos para solucionar el riesgo de usar un protocolo de enrutamiento en la interfaz UNI. [ABO2002]

2.3.2.3 Descubrimiento de la Topología de Red

El plano de control utiliza también OSPF para el descubrimiento de la topología de la red y del plano de control. Cada nodo aprende la topología de la red y la almacena en una base de datos actualizada. Los mecanismos de enrutamiento usan esta información para el cálculo automatizado de la ruta. [ECI2007]

2.3.2.4 Descubrimiento de Servicio

El descubrimiento de servicio se utiliza para verificar e intercambiar la capacidad de ofrecer servicios con valor agregado en la red. Estas capacidades se refieren, por ejemplo a ofrecer grado de servicio (GoS) o clase de servicio (CoS). El intercambio de estas capacidades reduce la cantidad de eventos necesarios para realizar descubrimiento de rutas. [ABO2002]

2.3.3 Enrutamiento

Se utiliza enrutamiento para seleccionar las rutas utilizadas para establecer las conexiones a través de la red y guarda cierta relación con la funcionalidad de descubrimiento automático de recursos y vecinos. Los requerimientos para el enrutamiento en redes ASON son descritos en la recomendación ITU-T G.7715/Y.1706. [JAJ2004]

Como se mencionó antes los protocolos que hacen posible esta funcionalidad son extensiones de los protocolos de enrutamiento IP, OSPF e IS-IS, tal como se describe en la especificación IETF RFC 4203. OSPF es un protocolo de enrutamiento que utiliza algoritmos de estado enlace para el descubrimiento automático de la topología y los recursos de red. [BAR2009]

Una vez realizado el descubrimiento de los nodos vecinos y de los enlaces que los conectan, cada OCC intercambia la información de cada enlace, su estado y el valor de peso o costo relacionado al enlace. Cuando el OCC se configura y se instala, transmite una serie de paquetes de estado del enlace o LSP (Link-State Packet) a través del plano de control. Finalmente cada OCC logra construir el mismo mapa topológico el cual le permite calcular de manera automática, la mejor ruta para cada destino. [ECI2007]

Para el establecimiento de una conexión son soportados ambos esquemas de enrutamiento: implícito y explícito. [ECI2007]

- Enrutamiento implícito: Se da cuando en el establecimiento de la conexión sólo se especifica el origen, el destino y otros parámetros como el ancho de banda, la clase de servicio (CoS), etc. Enrutamiento implícito corresponde al cálculo automático de la ruta.
- Enrutamiento explícito: Se refiere al caso en que no es necesario ningún cálculo ya que la ruta es especificada por el NMS y luego enviada al plano de control

2.3.4 Señalización

El mecanismo de señalización es el encargado de manejar todas las solicitudes de creación y restauración de conexiones usando el protocolo RSVP-TE. Las especificaciones para la señalización de redes ASON/GMPLS son definidas en la recomendación ITU-T G.7713.2 y en la especificación IETF RFC 3473. [ECI2007], [FOI2008]

Una vez que el OCC determina la ruta, antes de cursar tráfico, es necesario el establecimiento de la conexión mediante señalización. Este proceso está basado en una serie de mensajes de solicitud de etiquetas que son enviados del nodo origen al nodo destino. Los mensajes de notificación son utilizados por todos los OCCs a lo largo de la ruta para establecer al cross-conector óptico (OXC) que da servicio a la conexión de extremo a extremo. [ECI2007] La señalización de redes ASON soporta el establecimiento de tres tipos de conexiones: [JAJ2004], [FOI2008]

- Conexión Permanente (PC): Es establecida por el gestor de la red o de manera manual. No requiere intervención del plano de control y no cuenta con enrutamiento ni señalización automática. Es una conexión estática provista para durar por meses o años.
- Conexión Permanente Flexible (SPC): La conexión óptica está formada por dos conexiones permanentes a los bordes de la red y una conexión conmutada entre ambas permanentes. En este caso la conexión óptica es solicitada por el NMS pero es establecida dentro de la red por el plano de control.
- Conexión Conmutada (SC): La conexión óptica es establecida en función a la demanda del equipo cliente al borde de la red. La conexión conmutada es instalada en segundos gracias las funciones de señalización y enrutamiento.

2.3.5 Protección y Restauración

En el capítulo 1 se definió la disponibilidad de una red y se explicó la diferencia entre mecanismos de restauración y de protección. También vimos que una red SDH tradicional ofrece mecanismos de protección en 50 ms, con un esquema 1+1 pero duplica el tráfico ofrecido y por lo tanto utiliza el doble de recursos de red necesarios.

En las redes ASON los tres planos intervienen en los mecanismos de protección y restauración. El plano de transporte le informa al plano de control sobre fallas en los recursos de la red, así como la activación y desactivación de los mismos. El NMS también es informado inmediatamente de cualquier cambio en los recursos de la red. [ECI2007], [HUA2007]

Con la arquitectura de redes ASON/GMPLS es posible incrementar la disponibilidad y a la vez mejorar la el desempeño de las redes SDH de hoy en día. [ECI2007], [JAJ2004]

La restauración en plano de control está basada en el proceso de reenrutamiento usando los recursos de repuesto y es capaz de ofrecer restauración de servicios incluso en caso de múltiples fallas consecutivas en la red y una mejor utilización de los recursos de la red.

Existen dos tipos de mecanismos de reenrutamiento que se pueden diferenciar: Hard y Soft. El primero se activa cada vez que ocurre una falla en la red mediante el plano de gestión. El soft rerouting está relacionado con funciones como optimización de las rutas y mantenimiento de la red. En este mecanismo primero se crea una conexión alterna y luego la conexión original es removida, mientras que en hard rerouting primero se libera la conexión original y luego se crea la conexión alterna. [JAJ2004]

En la arquitectura ASON/GMPLS se definen diferentes clases de servicio (CoS) que pueden ofrecerse según la necesidad del cliente. [ECI2007], [HUA2007]

2.3.5.1 Servicio Diamante: Protección 1+1 Permanente

Provee protección permanente del servicio siempre y cuando existan recursos de red disponibles, es decir halla una ruta alterna. El tiempo de restauración es menor a 50 ms para cualquier número de fallas. Presenta la mayor disponibilidad para enlaces arrendados: 99.9999%. Tal como muestra la figura 2-5, cuando la conexión principal falla se activa la conexión alterna como principal y se establece una nueva conexión alterna.

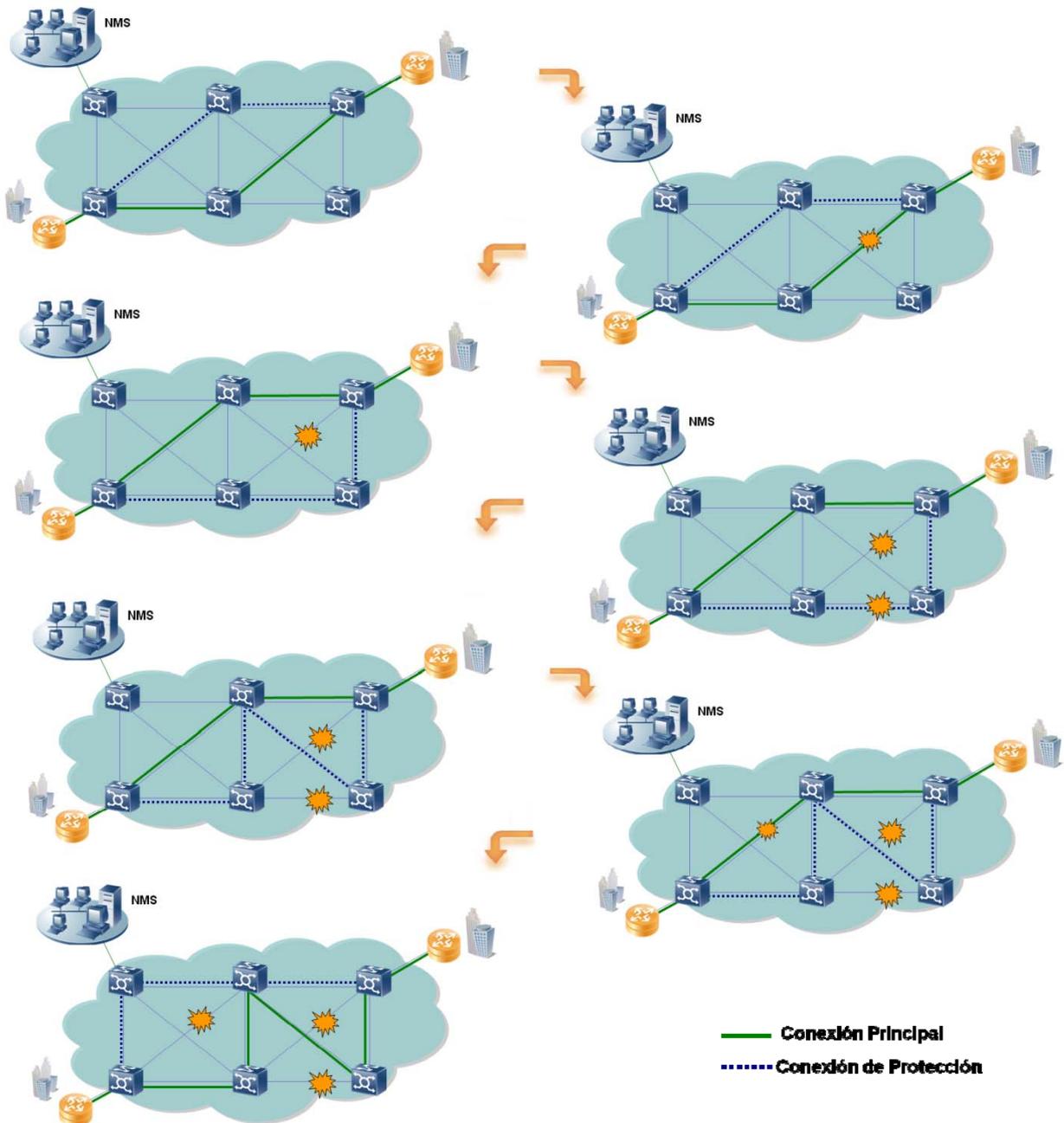


FIGURA 2-4: ESQUEMA DE PROTECCIÓN 1+1 PERMANENTE

Fuente: "Huawei Technologies" [HUA2007]

2.3.5.2 Servicio Diamante: Protección 1+R en Malla con Restauración

Provee restauración dinámica, lo cual permite ofrecer protección compartida con priorización. Como se ve en la figura 2-6 Es una extensión del esquema en el que las fallas en las conexiones resultan en múltiples restauraciones con protección de 50 ms.

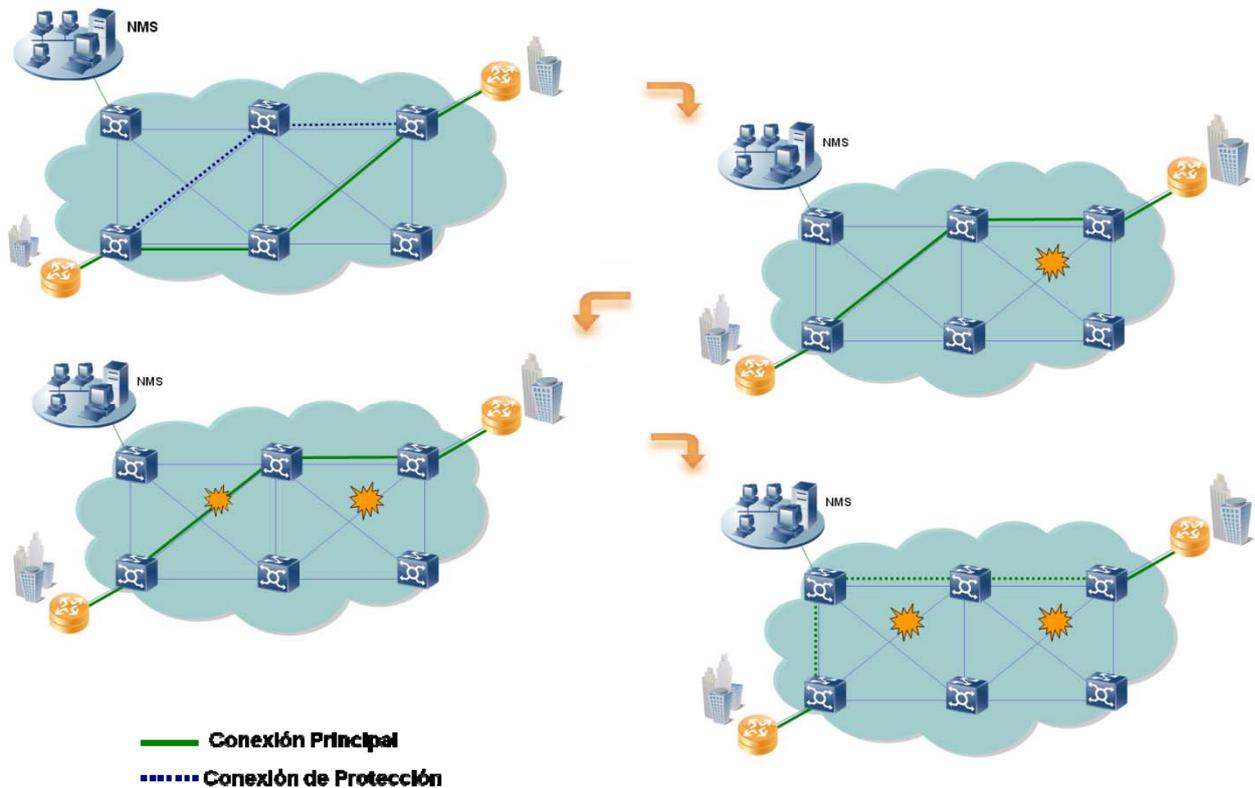


FIGURA 2-5: ESQUEMA DE PROTECCIÓN 1+R (MALLA) CON RESTAURACION

Fuente: “Huawei Technologies” [HUA2007]

2.3.5.3 Servicio Oro: Protección en Anillo Virtual con Restauración

Cuando sucede el primer corte de fibra, el anillo activa su protección con un tiempo de respuesta menor a 50 ms. Cuando sucede el segundo corte de fibra en el mismo anillo el servicio se restaura luego de 2 segundos. Esto puede apreciarse en la figura 2-7.

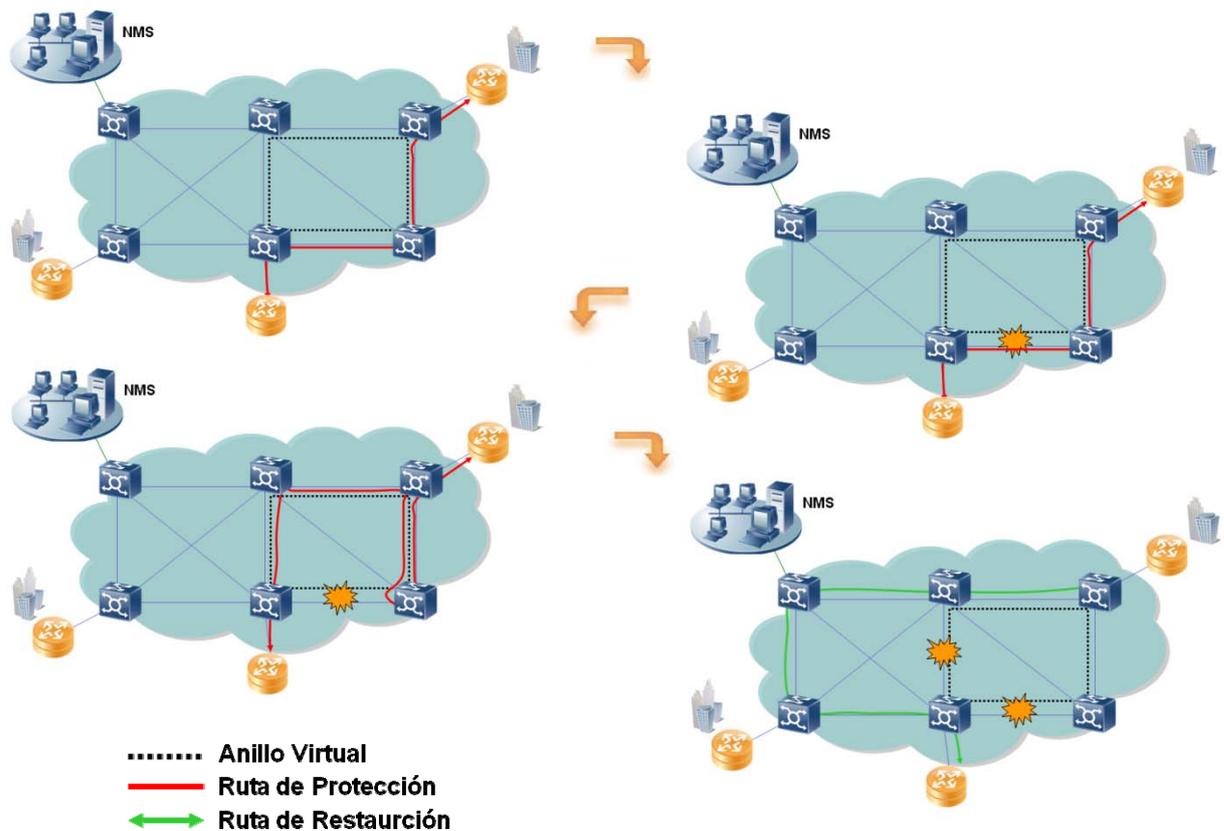


FIGURA 2-6: ESQUEMA DE PROTECCIÓN EN ANILLO VIRTUAL+ RESTAURACION

Fuente: "Huawei Technologies" [HUA2007]

2.3.5.4 Servicio Plata: Restauración sin Recurso Dedicado

Cuando el servicio se cae es restaurado en una nueva ruta. El reenrutamiento puede configurarse de manera que pueda o no revertirse. El servicio de restauración puede ser tratado con prioridad alta o baja. Es decir provee un mayor control de la red y mejora la utilización de recursos.

2.3.5.5 Servicio Plata: Restauración en Malla Compartida

La ruta de restauración es pre-definida y provista por el NMS. Los time slots superpuestos de un mismo recurso pueden ser reservados y compartidos asegurar la restauración de más de una conexión original. La figura 2-8 muestra el caso de un VC-4 usado como recurso compartido para restauración de 2 rutas conexiones principales.

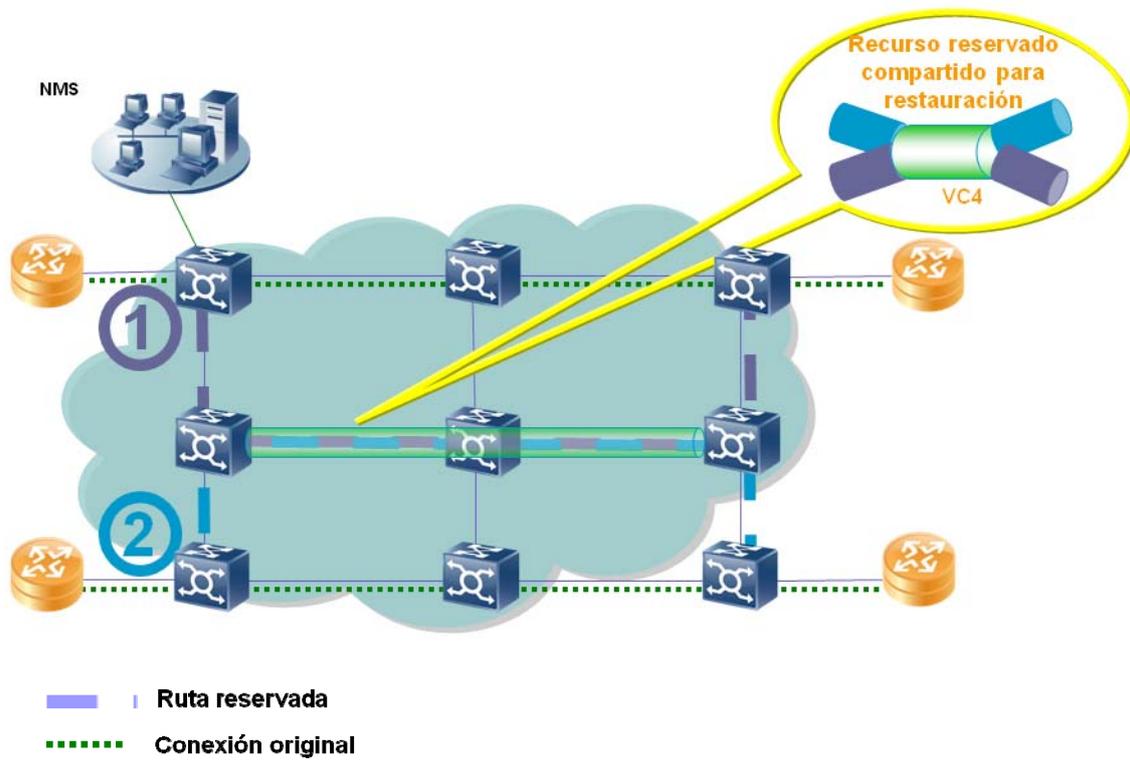


FIGURA 2-7: ESQUEMA DE RESTAURACIÓN EN MALLA COMPARTIDA

Fuente: "Huawei Technologies" [HUA2007]

La tabla 2-1 muestra los diferentes niveles de servicios que se pueden ofrecer en un SLA para provisión de protección y restauración.

MCMXVII

TABLA 2-1: MÚLTIPLES NIVELES DE SERVICIO: SLA

Fuente: "Huawei Technologies" [HUA2007]

Índice	Diamante	Oro	Plata	Cobre	Hierro
Nivel	★★★★★	★★★★	★★★	★★	★
Esquema de Protección	<ul style="list-style-type: none"> • Protección 1+1 Permanente • Protección 1+1 + Restauración • Protección 1+1 	<ul style="list-style-type: none"> • Protección Anillo Virtual • Protección Anillo Virtual + Restoration 	<ul style="list-style-type: none"> • Restauración Dinámica • Restauración en Malla Compartida 	Sin protección	Sin protección
Descripción	Provee protección permanente para servicios donde los recursos de red son utilizables	Provee protección la mayor parte del tiempo. Si la protección es inválida entra la Restauración	Provee restauración en tiempo real para servicios, no necesita recurso reservado	□	□
Tiempo de conmutación	Tiempo de Protección < 50ms	Tiempo de Protección □ 50ms Tiempo de restauración □ 2s	Tiempo de Restauración < 2s	□	□
Utilización del Ancho de Banda (BW)	Alta	Media	Baja	Baja	Muy Baja
Ingresos	Muy Altos \$\$\$\$\$	Altos \$\$\$\$	Medios \$\$\$	Bajos \$\$	Muy Bajos \$

2.3.6 Mecanismos Complementarios a ASON/GMPLS

2.3.6.1 Concatenación Virtual de contenedores (VCAT)

El mecanismo de concatenación virtual (VCAT) de contenedores ha sido definido para redes basadas en SDH. No es objetivo de esta tesis hacer un estudio de la tecnología SDH, simplemente cabe mencionar que para ser transmitida, la información es colocada en contenedores de diferentes tamaños establecidos con su respectiva cabecera. Si la información es muy pequeña a comparación del contenedor se utiliza relleno. La unidad de más bajo nivel de jerarquía en una trama multiplexada que define SDH es el STM-1 como se muestra en la tabla 2-1. [MAR2000]

TABLA 2-2: JERARQUÍAS DE TRAMAS SDH

Fuente: "Marconi" [MAR2000]

Módulo de Transporte Síncrono	Nivel de Jerarquía	Capacidad de Transporte en Kbit/s
STM-1	1	155 520
STM-4	4	622 020
STM-16	16	2 488 320

La unidad de transmisión básica para una conexión óptica basada en SDH es el contenedor virtual (VC). También existen diferentes niveles para los VC, los cuales son transportados en el payload de las tramas STM-N (N=1,4o16): [FOI2008]

- VC-12-Xv ($X \cdot 2.240$ Mbits/s)
- VC-3-Xv ($X \cdot 48.960$ Mbits/s)
- VC-4-Xv ($X \cdot 150.336$ Mbits/s)

Debido al problema de la sincronización, la tecnología SDH permite que un VC pueda dividirse y ser transportado en más de una trama. [MAR2000]

El mecanismo de concatenación virtual de contenedores (VCAT) provee flexibilidad de capacidad en los canales en la red de transmisión para poder atender de manera eficiente los requerimientos de anchos de banda cuya capacidad no coincide con las clásicas capacidades provistas por la red ASON. Dicho de otra manera permite configurar túneles con anchos de banda equivalentes a un VC-12 o un VC-3 dentro de un túnel principal VC-4 (STM-1).

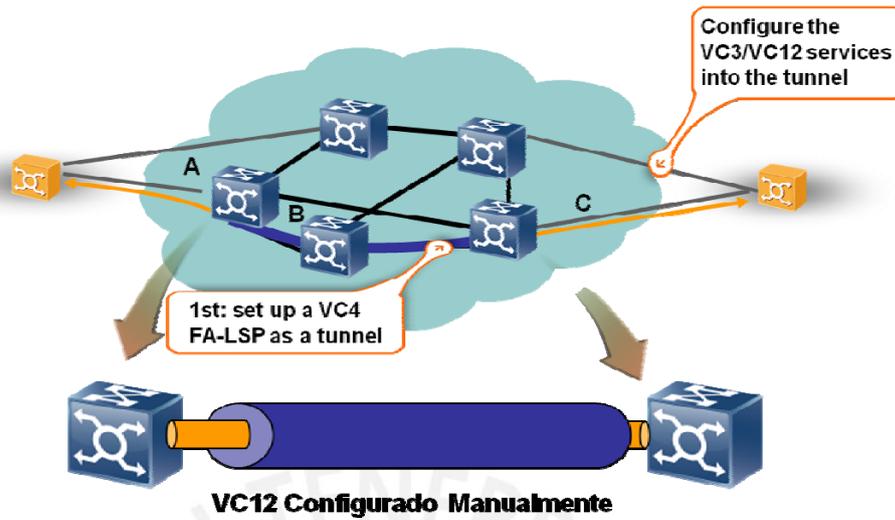


FIGURA 2-8: SERVICIO DE TUNELADO PARA VC3/VC12

Fuente: "Huawei Technologies" [HUA2007]

Para ello utiliza una serie de algoritmos que previenen que los timeslots se dispersen y proveen la habilidad de concatenar los timeslots para asignarlos de manera optimizada. Esto puede verse en la figura 2-9. [SHE2002], [HUA2007]

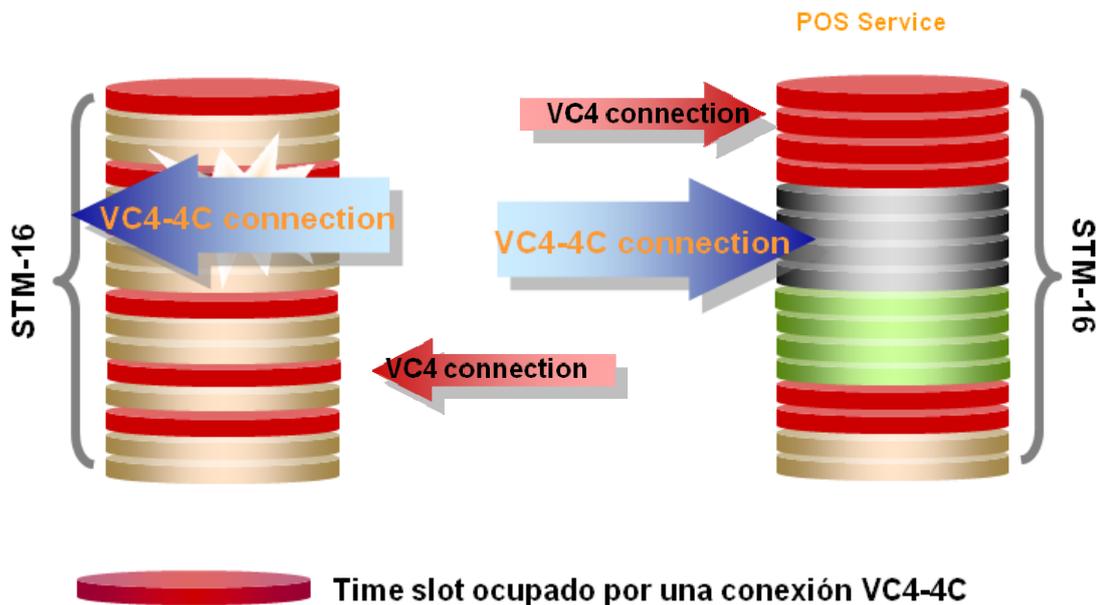


FIGURA 2-9: ASIGNACIÓN OPTIMIZADA DE TIMESLOTS (VCAT)

Fuente: "Huawei Technologies" [HUA2007]

A continuación se presenta la tabla 2-2 con las eficiencias que se pueden conseguir gracias al mecanismo de VCAT.

TABLA 2-3: EFICIENCIA DE VCAT

Fuente: "Nortel Networks" [SHE2002], [FOI2008]

Cliente	Velocidad de transmisión	Sin SDH VCAT	Con SDH VCAT
Ethernet	10 Mbit/s	VC-3 (20%)	VC-12-5v (89%)
Fast Ethernet	100 Mbit/s	VC-4 (67%)	VC-3-2v (100%)
Gigabit Ethernet	1 Gbit/s	VC-4-16c (42%)	VC-4-7v (96%)
Fiber Channel/FICON	1.0625 Gbit/s	—————	VC-4-8v (89%)
Video Digital	200 Mbit/s	VC-4-4c (33%)	VC-3-4v (100%)
Serial Digital HDTV	1.485 Gbit/s	—————	VC-4-10v (100%)

2.3.6.2 Esquema de Ajuste de la Capacidad del Enlace (LCAS)

El mecanismo de esquema de ajuste de la capacidad del enlace (LCAS) ha sido diseñado también para redes NG-SDH y permite cambiar (incrementar o disminuir) la capacidad de un contenedor virtual concatenado. [FOI2008]

El uso de LCAS provee al operador mecanismos para remover los miembros del grupo de concatenación virtual (VCG) en una conexión, disminuyendo el ancho de banda en tiempos bastante cortos y sin pérdida de paquetes; mientras que ASON realiza los mecanismos de restauración con los elementos controladores de conexiones y de llamadas (CC y CallC). De esta manera, en caso de fallas, con el uso de ASON+LCAS, provee garantía total del ancho de banda y asegura un servicio de datos sin interrupción y sin necesidad de asignación de excesos de ancho de banda para protección. Además permite ofrecer una gran variedad de SLA para los clientes. Este proceso puede verse claramente en la figura 2-10. [FOI2008], [HUA2007]

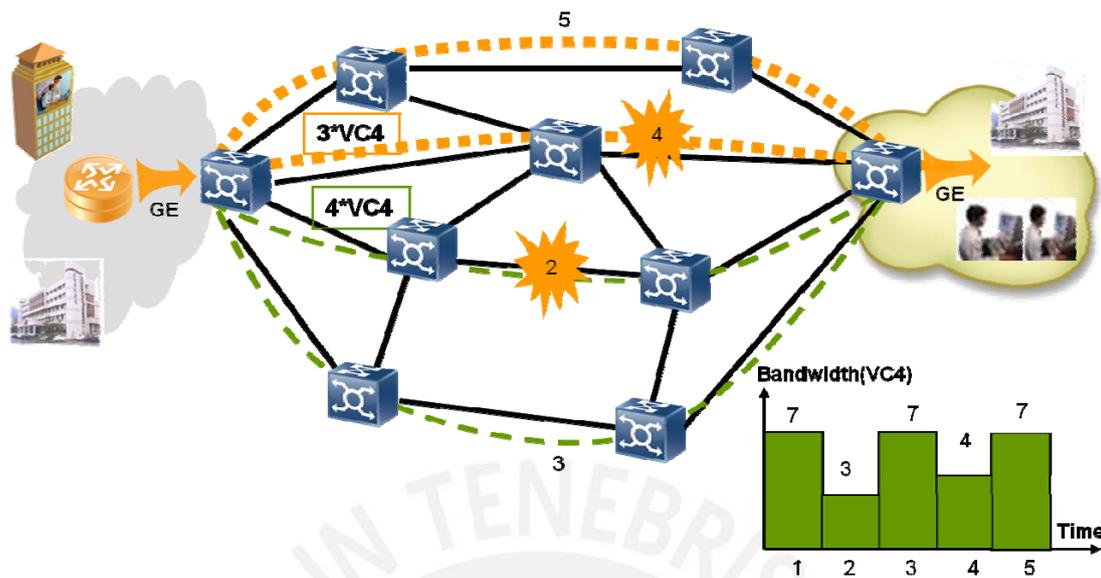


FIGURA 2-10: ASON+LCAS+VCAT

Fuente: "Huawei Technologies" [HUA2007]

2.3.6.3 Enrutamiento y Asignación Inteligente de Longitud de Onda (RWA)

La capa óptica WDM es complicada de manejar. Existen algunos impedimentos por parte de la fibra, como son el PMD (Dispersión por Modo de Polarización), efectos no lineales, dispersión cromática, los cuales son bastante importantes al momento de medir el rendimiento del sistema. Es por ello que se ha desarrollado este algoritmo de enrutamiento y asignación inteligente de longitud de onda (RWA)

Este mecanismo permite al plano de control de ASON/GMPLS considerar integralmente los parámetros fotónicos, para evitar las colisiones en el reencaminamiento a nivel de longitud de onda y elegir regenerador óptico automáticamente cuando sea necesario.

Si en un primer momento falla una determinada longitud de onda en una ruta, ASON se encarga de reencaminar el tráfico a nivel de longitud de onda buscando la ruta más eficiente según los recursos disponibles de la red. En caso se asigne, para esta nueva ruta, una longitud de onda que ya es utilizada por otros servicios habría lo que se conoce como una colisión de longitudes de onda. Lo que sucede a continuación es que gracias al algoritmo RWA Inteligente se cambia de longitud de onda a una disponible en esa ruta.

En resumen, el algoritmo RWA permite sintonizar a nivel de longitud de onda al momento de reencaminar el tráfico para evitar colisiones. Esto hace el proceso de restauración a nivel óptico mucho más confiable.

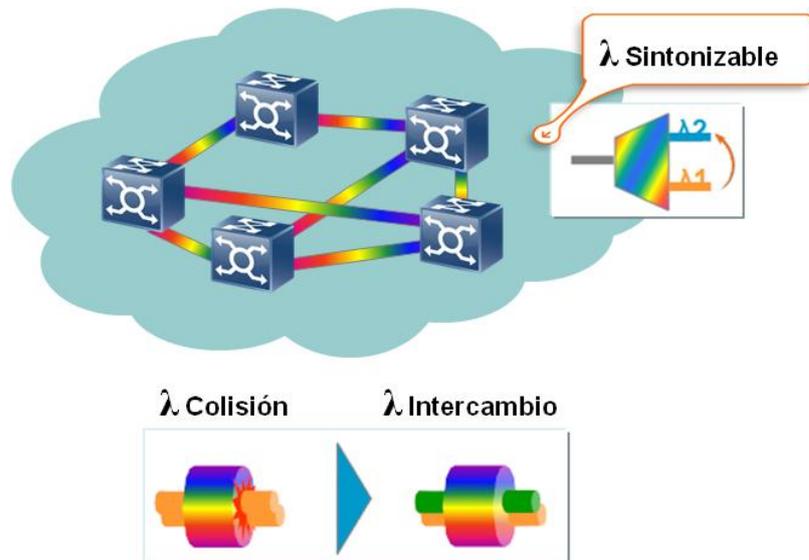


FIGURA 2-11: ASON: ALGORITMO RWA INTELIGENTE

Fuente: "Huawei Technologies" [HUA2007]

2.4 Servicios ofrecidos con ASON/GMPLS

Todas las funcionalidades vistas en este capítulo permiten a una red ASON ofrecer a sus clientes una serie de servicios que son imposibles de ofrecer con las redes SDH tradicionales.

La posibilidad de ofrecer el servicio de ancho de banda bajo demanda (BODS) con una gran variedad de capacidades, en tiempos considerablemente cortos y de la manera más eficiente es uno de las principales ventajas que ofrecen las funcionalidades de una arquitectura ASON/GMPLS. Este servicio está básicamente orientado a clientes con una gran demanda de capacidad y que renuevan conexiones en periodos cortos. [YAÑ2006], [FOI2008]

La creación de redes privadas virtuales ópticas (OVPN) es posible gracias a la inclusión del plan de control a nivel óptico. El servicio de OVPN permite darles a los usuarios un control limitado sobre los recursos de la red, mientras que el operador de la red tiene un control total de los recursos. [YAÑ2006]

Capítulo 3

Estudio de Mercado

En el presente capítulo se presenta un análisis del crecimiento de la demanda de mercado de los principales servicios de telecomunicaciones y una proyección de la misma para justificar y dimensionar la red de transmisión propuesta en la tesis.

El primer paso para poder dimensionar la red de transmisión planteada en esta tesis será en base a un análisis de la demanda proyectada; en este caso la red de transmisión debe dimensionarse para 10 años. Esto implica que luego de hacer el análisis del crecimiento de la demanda de los servicios de telecomunicaciones a la fecha, se realizará, en base a tendencias que están iniciando y algunos supuestos establecidos, una proyección de la demanda de estos servicios.

2.1 Demanda de salida a Internet

Actualmente el tráfico de salida a internet es el más significativo en consumo de recursos de la red de transmisión. Se ha considerado algunas de las diferentes modalidades en las que se ofrece el servicio de salida a internet, estas son:

- Dial Up: conexión por línea conmutada a través de la RTB (Red de Telefonía Básica) o la RDSI (Red Digital de Servicios Integrados).
- Líneas dedicadas alámbricas.
- Líneas dedicadas inalámbricas.
- Conexiones ADSL (Asymmetric Digital Subscriber Line).

No se ha considerado en el cálculo las tecnologías de banda ancha móvil ya que hasta el momento en el Perú el ancho de banda que se ofrece es limitado y la demanda de abonados suscritos a estos servicios, si bien sigue una tendencia bastante creciente, aun no genera un tráfico significativo para la red de transmisión. Es por eso que, para efectos de este trabajo de tesis, no se considera en este análisis el tráfico de salida a internet móvil. [OSI2010]

De todas las modalidades del servicio de salida a internet que se han listado, la que es actualmente la que tiene la mayor demanda son las conexiones ADSL, las cuales representan aproximadamente el 90% de las líneas de servicio de salida a internet.

El OSIPTEL (Organismo Supervisor de la Inversión Privada en Telecomunicaciones) proporciona información estadística de la demanda en función del número de suscriptores de cada servicio. [OSI2010], [IDS2010]

Sin embargo para el análisis que se necesita hacer en este capítulo de la tesis es necesario, no solo analizar la demanda en función a las líneas en servicio, sino al consumo de ancho de banda de salida a internet que es lo que finalmente va a determinar el dimensionamiento de la capacidad de transmisión para atender este servicio. Una vez obtenida la información de la demanda en función de las líneas instaladas para el servicio de salida a internet es necesario considerar la velocidad de transmisión ofrecida por las diferentes modalidades del servicio. Para el caso de las conexiones ADSL y las líneas dedicadas, se han definido algunas de las diferentes velocidades de bajada comercializadas por la empresa Telefónica del Perú con su servicio Speedy en base a la demanda de las mismas. Para el caso del servicio en la modalidad de cable módem se ha considerado que el incremento de las líneas instaladas durante los años 2008 y 2009 se debe principalmente al apareamiento del servicio de internet de banda ancha ofrecido por la empresa Telmex Perú. Por lo tanto se ha separado adicionado a la demanda de este servicio la velocidad de 2 Mbps promedio ofrecida por Telmex durante el 2008 y 2009. La tabla 3-1 muestra los datos de la demanda anual de líneas de acceso a internet con la velocidad promedio comercializada por cada línea. [OSI2010]

TABLA 3-1: DEMANDA ANUAL DE LINEAS DE SERVICIO DE ACCESO A INTERNET

Fuente: "FUENTE: OSIPTEL Datos Estadísticos Internet" [OSI2010]

Servicio	Velocidad (Kbps)	LINEAS EN SERVICIO										
		2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	
Dial-up	RTB	64	130,000	141,767	201,836	212,685	164,056	156,763	178,657	141,857	29,701	17,999
	RDSI	2,048	560	856	766	328	742	2,560	2,085	1,808	61	32
Cable Módem	256	788	6,007	15,093	27,002	23,134	15,849	12,277	11,114	8,788	6,739	
	2,048	-	-	-	-	-	-	-	-	10,000	28,000	
Líneas Dedicadas Alámbricas	64	2,302	2,131	1,657	950	458	462	410	117	85	70	
	128	683	1,105	1,063	885	720	533	365	315	308	279	
	256	122	202	344	365	502	560	399	374	377	423	
	512	43	98	155	237	375	557	667	775	792	717	
	1,024	29	46	88	189	275	436	705	814	1,121	1,272	
	2,048	20	63	234	108	216	245	344	706	773	964	
	5,120	-	8	16	29	29	40	91	220	351	521	
Líneas Dedicadas Inalámbricas	64	26	1,975	1,717	2,044	2,139	1,539	1,595	578	978	570	
	128	23	567	335	699	626	648	855	785	964	760	
	256	30	80	583	508	423	472	741	1,384	1,175	691	
	512	9	30	28	80	55	141	524	3,162	7,098	2,651	
	1,024	3	3	6	14	35	67	241	3,141	5,907	6,978	
	2,048	2	6	1	11	13	46	63	201	420	3,224	
	5,120	-	6	1	3	8	5	15	18	39	330	
Conexiones ADSL	128	-	-	10,763	36,050	96,702	133,327	191,314	172,891	65,474	33,524	
	256	-	-	7,808	16,443	42,196	104,755	157,959	228,820	291,695	260,187	
	512	-	-	981	6,141	27,396	53,887	54,339	79,723	155,041	214,252	
	1,024	-	-	654	4,094	18,264	35,924	54,339	79,723	155,041	214,252	
	2,048	-	-	169	913	958	-	-	79	3,211	14,042	
	4,096	-	-	-	-	-	89	780	3,771	17,798	22,161	
Móvil	WAP	9.6	0	14,550	130,219	171,128	0	0	0	0	0	
	2.5G (CDMA 2000 1x)	144	0	0	0	19,014	23,283	33,676	14,775	11,784	9,781	
	2.5G (GSM/GPRS)	115	0	0	0	0	0	0	27,439	47,136	66,372	
	3G (UMTS/EDGE)	384	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	4G (LTE)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
TOTAL (OSIPTEL)		134,640	154,950	244,298	309,778	379,322	508,905	658,764	732,376	757,198	830,638	

Después de identificar las velocidades promedio comercializadas en cada una de las diferentes modalidades del servicio de internet basta con multiplicar la cantidad de suscriptores por la velocidad promedio por cliente, considerando siempre un factor de concurrencia. El factor de concurrencia (overbooking) está dado por el número de usuarios de internet que comparten un determinado caudal máximo. Este factor establece que el ancho de banda reservado por el PSI (Proveedor de Servicios de Internet) se compartirá entre los usuarios que en un momento concreto estén demandando recursos de ancho de banda y generando tráfico de forma simultánea. Es decir, si se tiene un total de 100,000 líneas en servicio, no todas van ocupar recursos de ancho de banda de la red de transmisión al mismo tiempo. El overbooking puede ser bastante variable dependiendo del tráfico de internet pero en Perú, para conexiones ADSL se utiliza un factor nominal de 10:1, es decir 10% y, en vista de que las conexiones ADSL son las predominantes en nuestro análisis, este será el factor de concurrencia fijo utilizado para el análisis de la demanda de tráfico de todas las líneas de salida a internet. Con esto, si cada una de las líneas mencionadas anteriormente tiene una velocidad máxima de 2 Mbps, el consumo total de ancho de banda de salida a internet demandado se calcula de la siguiente manera:

$$[Nro\ Clientes * (Velocidad\ promedio\ por\ Cliente)] * Factor\ de\ Concurrencia$$

A continuación se muestran dos graficas en las que se presenta, en la primera de ellas, el crecimiento anual de la demanda de líneas de servicio de internet. En la segunda grafica se muestra el crecimiento del consumo de ancho de banda de salida a internet. [MON2010]

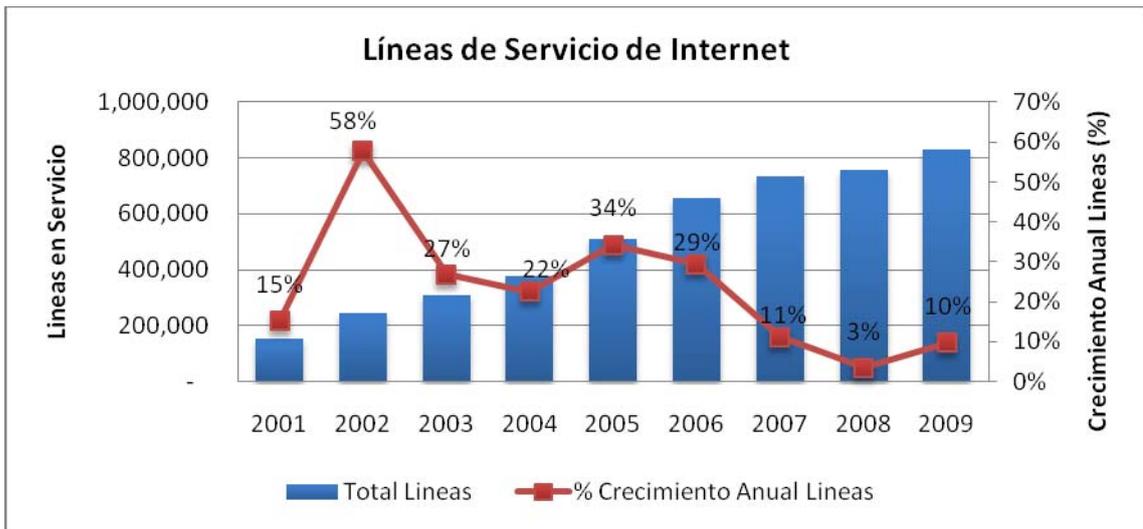


FIGURA 3-1: CRECIMIENTO DE LINEAS DE SERVICIO DE INTERNET

Fuente: "OSIPTTEL" [OSI2010]

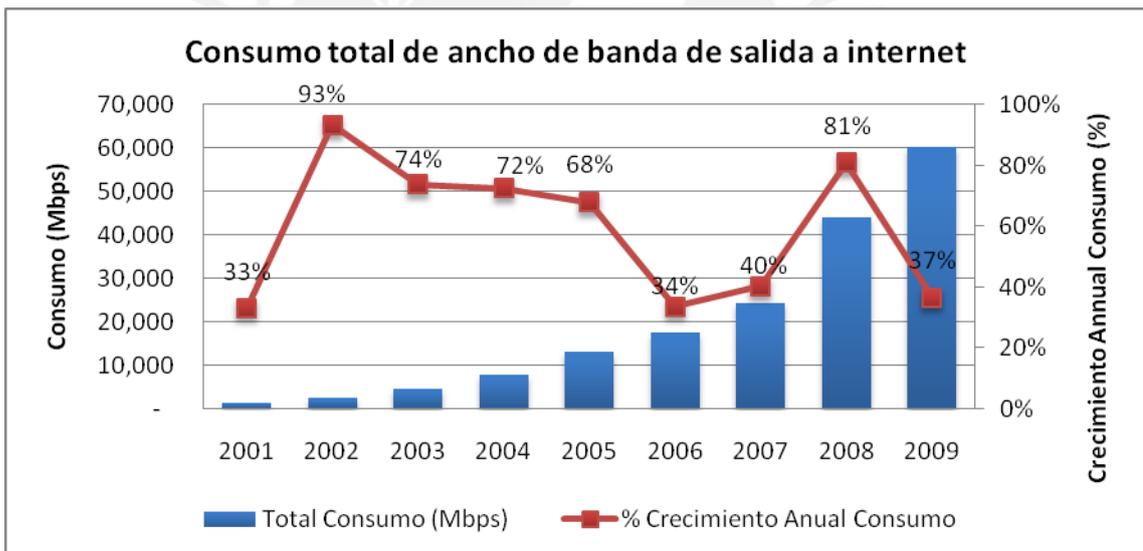


FIGURA 3-2: CRECIMIENTO DEL CONSUMO DE ANCHO DE BANDA DE INTERNET

Fuente: "OSIPTTEL" [OSI2010]

En las graficas mostradas se puede ver que el número líneas de salida a internet, es decir el número de clientes totales continua incrementándose. Sin embargo el porcentaje de crecimiento anual de clientes, es decir el número de altas nuevas de líneas de salida a internet ha venido disminuyendo desde el 2005 hasta el 2008, lo cual se traduce en una tendencia cada vez más plana en el número de clientes de servicios de salida a internet. A pesar de esto la segunda gráfica muestra que el consumo total de ancho de banda salida a internet mantiene un crecimiento

exponencial a la fecha. Esto se debe a que, si bien la cantidad de clientes nuevos anualmente disminuye, el ancho de banda consumido por cada cliente aumenta. Cada vez más clientes demandan mayores velocidades de transmisión mayores. [OSI2010], [IDS2010]

La siguiente grafica muestra como ha crecido anualmente la velocidad promedio por cliente.

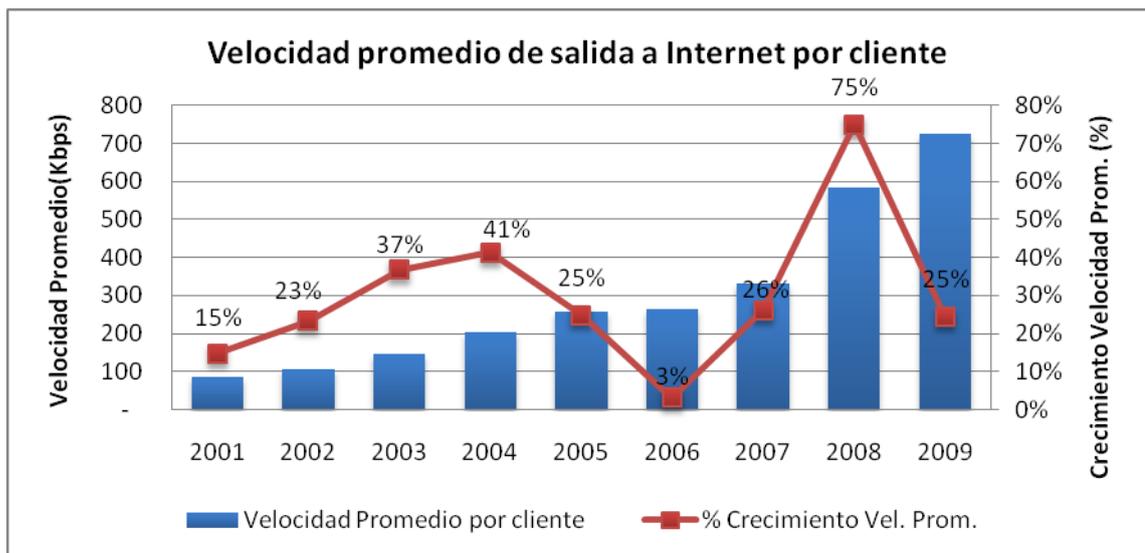


FIGURA 3-3: CRECIMIENTO DE LA VELOCIDAD PROMEDIO POR CLIENTE

Fuente: "OSIPTEL" [OSI2010]

Con estos datos es posible definir una serie de parámetros y asumir algunas consideraciones para los siguientes 10 años y, de esa hacer una estimación del crecimiento de la demanda de líneas de acceso a internet, la velocidad promedio por cliente y el tráfico total de ancho de banda de salida a internet, que es lo que se necesita para el dimensionamiento de la red de transmisión.

Entre las consideraciones de se han tomado se encuentra el surgimiento de nuevas aplicaciones que requieren de mayores anchos de banda para el cliente, como son las aplicaciones en tiempo real, tanto de VoIP como Videoconferencia. Para corroborar de alguna manera la proyección la proyección de ancho de banda se realizó a un año para estimar el tráfico de salida a internet total a finales del 2010 y se hizo la comparación con un dato real.

Según la proyección realizada se estima que para finales del 2010 la velocidad promedio por cliente estará en 852 Kbps y el tráfico total de salida a internet estará en 85,9 Gbps. La empresa Telefónica International Wholesale Services (TIWS) es el

principal proveedor del servicio de salida a internet en el Perú, le siguen Global Crossing y LANautilus. El 07 de Agosto de 2010 se obtuvo un reporte de TIWS en el que se indico que el tráfico de salida a internet estaba en 70,33 Gbps. Si asumimos que TIWS tiene aproximadamente el 85% del mercado, mientras q las otras dos empresas se quedan con el 15% restante el resultado es 82,74, bastante aproximado a lo estimado. [TAL2010]

A continuación se presentan las graficas con la proyección estimada del crecimiento de la demanda de líneas de acceso a internet, la velocidad promedio por cliente y el consumo total de ancho de banda de salida a internet. [MON2010]

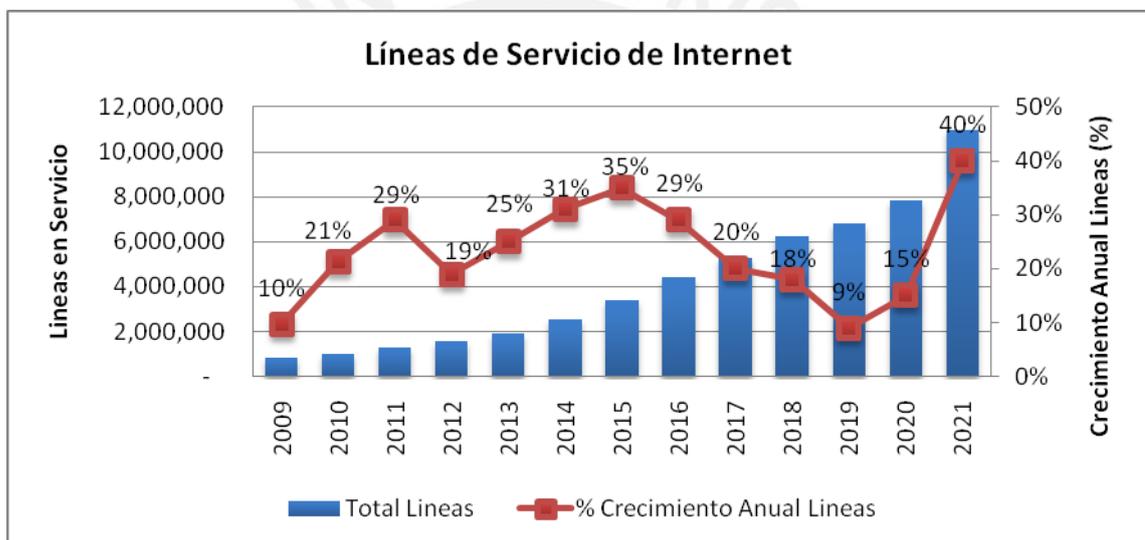


FIGURA 3-4: CRECIMIENTO DE LA VELOCIDAD PROMEDIO POR CLIENTE

Fuente: "OSIPTEL" [MON2010]

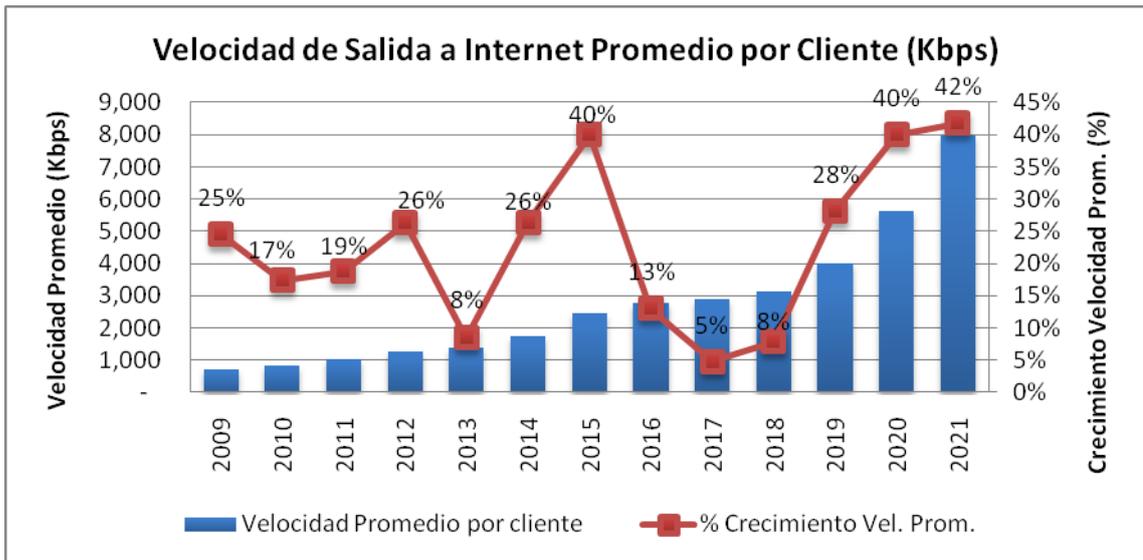


FIGURA 3-5: CRECIMIENTO DE LA VELOCIDAD PROMEDIO POR CLIENTE

Fuente: "OSIPTEL" [MON2010]

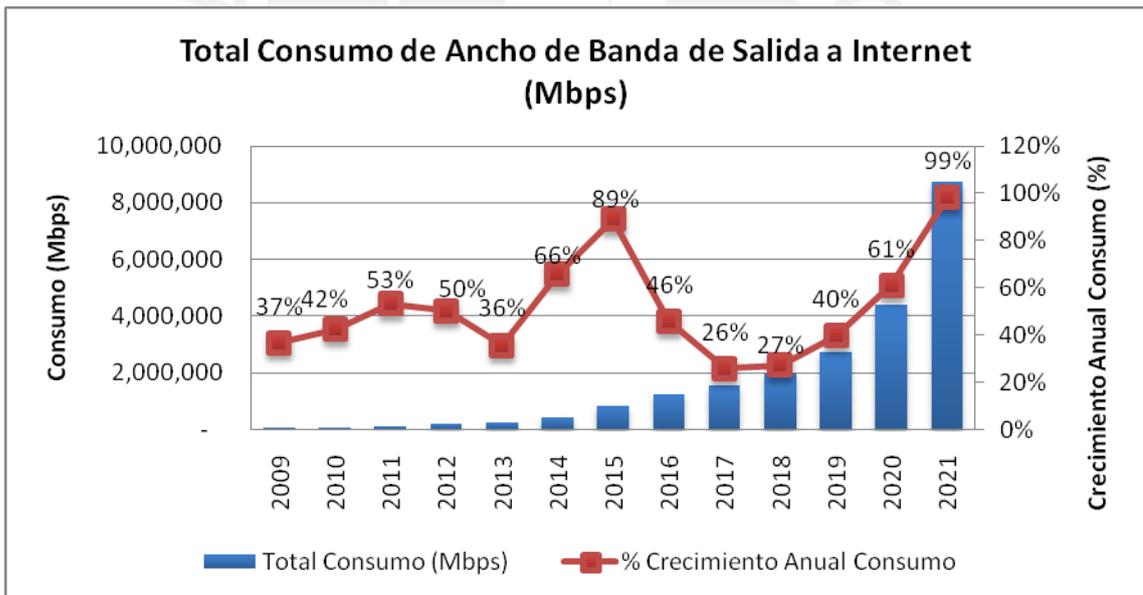


FIGURA 3-6: CRECIMIENTO DE LA VELOCIDAD PROMEDIO POR CLIENTE

Fuente: "OSIPTEL" [MON2010]

Según la proyección realizada la velocidad promedio por cliente para el año 2021 será de 7,97 Mbps. Algunos clientes residenciales, sobre todo en Lima, podrán contar con accesos de alrededor de 20 Mbps, mientras que clientes empresariales podrían llegar a obtener accesos de hasta 100 Mbps. Esto si es que se logra desarrollar una red de transmisión con la suficiente capacidad y redes de acceso también d alta capacidad

con fibra óptica cada vez más cerca del usuario final, es decir GPON (Gigabit-capable Passive Optical Network) y soluciones FTTx y el tráfico total de salida a internet será de 8,8 Tbps. Esto quiere decir que el consumo de ancho de banda de internet se va a multiplicar por 100 para los siguientes 10 años. [MON2010]

2.1.1 Servicio Internet con Tecnología WiMax

Si bien es cierto el servicio de Internet con acceso WiMax debería estar considerado dentro de la proyección de la demanda de salida a internet en general, es pertinente hacer un análisis por fuera de este servicio debido a que en agosto Proinversión le otorgó a la empresa rusa Yota buena pro de la concesión de banda WiMax (24 MHz en la banda de 2,6 GHz) para telefonía fija e internet a nivel nacional:

- **2668 – 2692 MHz:** Lima, Trujillo y Lambayeque
- **2668 – 2690 MHz:** resto del país

De acuerdo a las bases Yota deberá instalar como mínimo 9000 conexiones en el primer año, cifra que se espera supere holgadamente. [CAB2010]

Para la proyección del consumo de ancho de banda por este servicio se ha asumido una distribución de la demanda de cuatro diferentes velocidades comercializadas (2 a 10 Mbps), la cual varía en el tiempo. La figura 3-7 muestra la demanda de dichas velocidades para el periodo 2010 y para el 2021, las cuales han sido asumidas para el cálculo del consumo de ancho de banda. [CAB2010], [TAL2010]

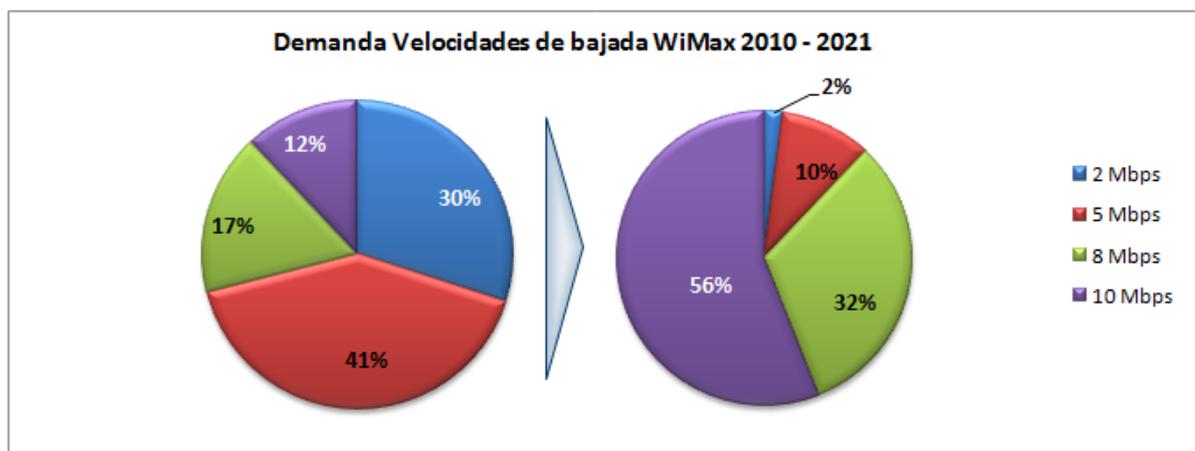


FIGURA 3-7: DEMANDA DE VELOCIDADES DE BAJADA PARA WiMAX 2010 – 2021

“Fuente: “Consumo de ancho de banda de servicios WiMax” [TAL2010]

Para hacer un cálculo del consumo de ancho de banda por este servicio es necesario estimar la cantidad de abonados que, para el 2021, tendría la empresa Yota del Perú.

Para ello se ha asumido un crecimiento lineal y se han tomado datos de su crecimiento en Rusia para hacer un benchmarking.

A Octubre del 2009 Yota había alcanzado en Rusia 200 mil usuarios, logrando un crecimiento diario de 2,500 clientes. Asumiendo que esta empresa pretenda aplicar la misma estrategia comercial en Perú habría que considerar los siguientes datos:

- La población en Rusia para el 2010 se estima en 139,390,205 personas
- La penetración de usuarios de internet en Rusia para el 2010 es de 42,8%
- La población proyectada para el Perú el 2010 es de 29,461,933
- La penetración de líneas ADSL instaladas en el Perú para el 2010 es de 15,4%

Con estos datos podemos definir un factor poblacional y un factor de penetración que resultan de la división de ambos datos para Perú y para Rusia, obteniéndose:

- Factor Poblacional = 0.21
- Factor de Penetración = 0.36

Finalmente, multiplicando el incremento diario de 2,500 usuarios en Rusia por ambos factores tenemos que en el Perú, el incremento de usuarios de Yota del Perú para el servicio de internet con acceso WiMax sería de 5,704 usuarios cada mes. Con esto nuestra proyección al 2021 sería de:

- 693,461 usuarios de WiMax
- 6,04 Tbps de consumo de ancho de banda total

Cabe mencionar que estas son estimaciones aproximadas basadas en el benchmarking de la empresa Yota y su participación en Rusia. [CAB2010], [IWS2010]

2.2 Demanda de voz móvil

A pesar de que el tráfico de voz no genera un consumo de ancho de banda tan significativo como sí lo hace el servicio de internet de banda ancha, el crecimiento importante que está teniendo el tráfico de un abonado móvil a otro hace pertinente hacer el cálculo necesario para la estimación de la demanda de este servicio.

Para este trabajo de tesis se ha considerado los datos del crecimiento anual de la cantidad de abonados móviles y el tráfico total (en minutos generados anualmente) para cada uno de los siguientes escenarios:

- Entrante: Terminación Fijo – Móvil
- Entrante: Terminación Móvil – Móvil
- Entrante: Terminación TUP (Teléfono Público) – Móvil

- Saliente: Originación Móvil - Fijo
- Saliente: Originación Móvil – Móvil (off net)
- Saliente: Originación Móvil – Móvil (on net)

Todos estos datos se encuentran publicados en la página web del OSIPTEL, desagregados por operador en cada uno de los escenarios mencionados anteriormente. Con los minutos generados anualmente y el crecimiento del número de abonados móviles se puede obtener los minutos generados al mes por cada abonado móvil de la siguiente manera: [OSI2010], [MON2010]

$$\text{Minutos mes por abonado} = \frac{\text{Total minutos generados al año}}{(\text{Nro. de abonados al año}) * 12}$$

Con los minutos generados al mes por cada abonado es posible obtener finalmente el tráfico en mErlangs aproximado generado por cada abonado móvil mediante la siguiente fórmula:

$$\text{Tráfico por abonado (mErlg)} = \frac{\text{Tiempo de ocupación del circuito}}{\text{Tiempo total de observación}}$$

$$= \frac{\text{Minutos mes generados x abonado}}{(\text{días de ocupación al mes}) * (\text{horas diarias de ocupación}) * 60} * 1000$$

Donde;

Días de ocupación al mes = 27

Horas diarias de ocupación = 5.8

La tabla 3-2 muestra un resumen de los datos obtenidos anteriormente y su crecimiento anual en el periodo 2004 – 2009.

TABLA 3-2: DEMANDA ANUAL DEL SERVICIO DE TELEFONIA MOVIL

Fuente: "FUENTE: OSIPTEL Datos Estadísticos Internet" [OSI2010]

RESUMEN DESAGREGADO POR ESCENARIO

TRAFICO ENTRANTE

TRAFICO TOTAL ENTRANTE: (TERMINACION FIJO - MOVIL)						
Año	2004	2005	2006	2007	2008	2009
Nro Líneas Móviles	4,092,558	6,280,210	8,772,479	15,417,368	20,951,834	24,702,060
Minutos Anuales (MM Mins.)	0.39	0.38	0.41	0.46	0.42	0.36
Minutos mes promedio que terminan un abonado móvil (minutos)	7.87	5.10	3.88	2.51	1.66	1.22
Tráfico mErlg recibido por un abonado móvil	0.84	0.54	0.41	0.27	0.18	0.13

TRAFICO TOTAL ENTRANTE: (TERMINACION MOVIL - MOVIL)						
Año	2004	2005	2006	2007	2008	2009
Nro Líneas Móviles	4,092,558	6,280,210	8,772,479	15,417,368	20,951,834	24,702,060
Minutos Anuales (MM Mins.)	0.29	0.32	0.39	0.60	0.96	1.34
Minutos mes promedio que terminan un abonado móvil (minutos)	5.88	4.20	3.71	3.26	3.82	4.52
Tráfico mErlg recibido por un abonado móvil	0.62	0.45	0.39	0.35	0.41	0.48

TRAFICO TOTAL ENTRANTE: (TERMINACION TUP - MOVIL)						
Año	2004	2005	2006	2007	2008	2009
Nro Líneas Móviles	4,092,558	6,280,210	8,772,479	15,417,368	20,951,834	24,702,060
Minutos Anuales (MM Mins.)	0.28	0.33	0.34	0.30	0.36	0.44
Minutos mes promedio que terminan un abonado móvil (minutos)	5.73	4.33	3.23	1.65	1.43	1.48
Tráfico mErlg recibido por un abonado móvil	0.61	0.46	0.34	0.17	0.15	0.16

TRAFICO SALIENTE

TRAFICO TOTAL SALIENTE: (ORIGINACION MOVIL - FIJO)						
Año	2004	2005	2006	2007	2008	2009
Nro Líneas Móviles	4,092,558	6,280,210	8,772,479	15,417,368	20,951,834	24,702,060
Minutos Anuales (MM Mins.)	0.41	0.49	0.63	0.98	1.03	0.95
Minutos mes promedio que terminan un abonado móvil (minutos)	8.26	6.49	6.03	5.27	4.09	3.22
Tráfico mErlg recibido por un abonado móvil	0.88	0.69	0.64	0.56	0.43	0.34

TRAFICO TOTAL SALIENTE: (ORIGINACION MOVIL - MOVIL OFFNET)						
Año	2004	2005	2006	2007	2008	2009
Nro Líneas Móviles	4,092,558	6,280,210	8,772,479	15,417,368	20,951,834	24,702,060
Minutos Anuales (MM Mins.)	0.30	0.32	0.40	0.60	0.94	1.39
Minutos mes promedio que terminan un abonado móvil (minutos)	6.16	4.31	3.83	3.27	3.74	4.69
Tráfico mErlg recibido por un abonado móvil	0.65	0.46	0.41	0.35	0.40	0.50

TRAFICO TOTAL SALIENTE: (ORIGINACION MOVIL - MOVIL ONNET)						
Año	2004	2005	2006	2007	2008	2009
Nro Líneas Móviles	4,092,558	6,280,210	8,772,479	15,417,368	20,951,834	24,702,060
Minutos Anuales (MM Mins.)	1.21	1.90	3.25	6.67	10.55	15.03
Minutos mes promedio que terminan un abonado móvil (minutos)	24.60	25.22	30.87	36.06	41.95	50.72
Tráfico mErlg recibido por un abonado móvil	2.61	2.68	3.28	3.83	4.46	5.39

Es importante analizar, de todos estos datos, el crecimiento del tráfico total (en miles de millones de minutos) generado al anualmente. Las siguientes figuras muestran el crecimiento del tráfico total en los diferentes escenarios.

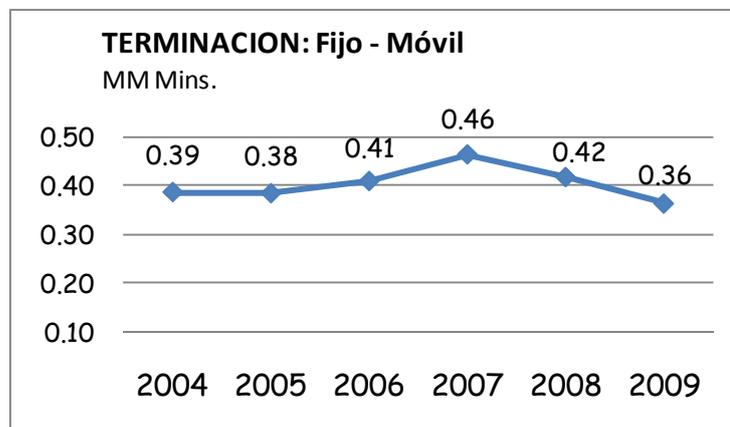


FIGURA 3-8: CRECIMIENTO DEL TRÁFICO FIJO-MOVIL (TERMINACION)

Fuente: "OSIPTEL" [OSI2010]

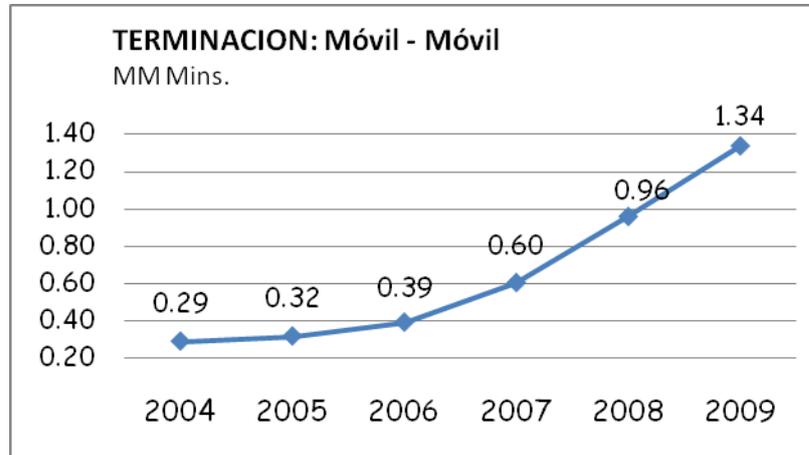


FIGURA 3-9: CRECIMIENTO DEL TRÁFICO MOVIL-MOVIL (TERMINACION)

Fuente: "OSIPTEL" [OSI2010]

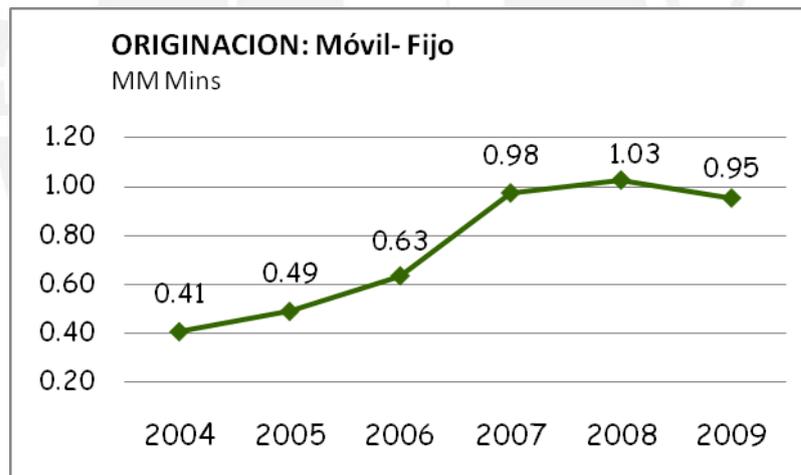


FIGURA 3-10: CRECIMIENTO DEL TRÁFICO MOVIL-FIJO (ORIGINACION)

Fuente: "OSIPTEL" [OSI2010]

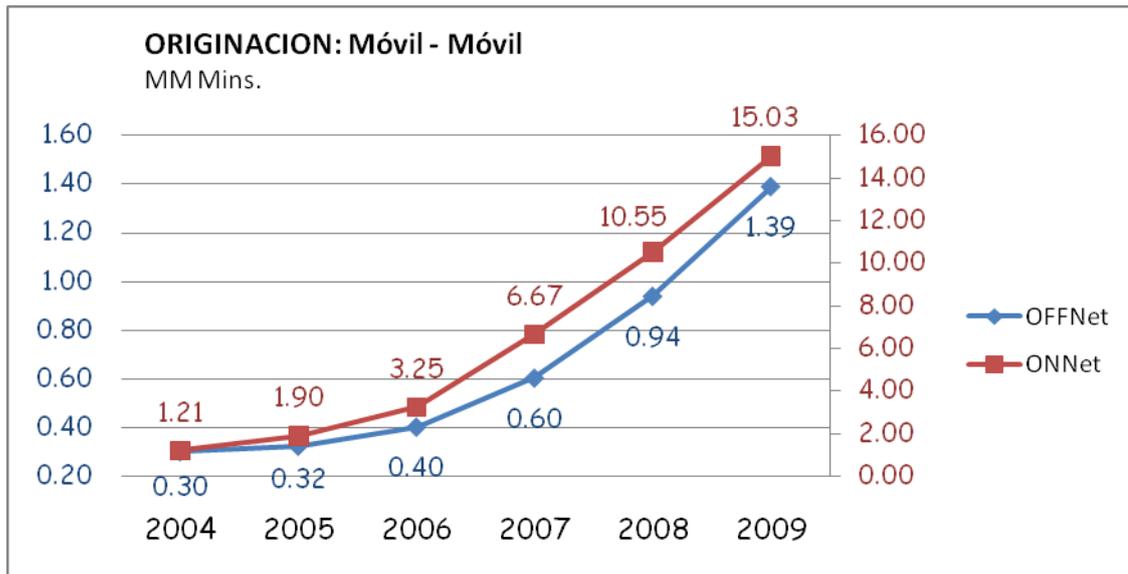


FIGURA 3-11: CRECIMIENTO DEL TRÁFICO MOVIL-MOVIL (ORIGINACION)

Fuente: "OSIPTEL" [OSI2010]

El análisis de esta tendencia de evolución del tráfico de voz móvil, junto con la investigación realizada sobre algunas medidas que el organismo regulador se dispone a aplicar sobre las tarifas relacionadas con este servicio durante los próximos años permite hacer una proyección estimada de la demanda de este servicio y, por lo tanto, del tráfico esperado en un periodo de 10 años.

El primer caso que vamos a analizar es el del tráfico fijo – móvil y móvil – fijo. Para este caso nuestra predicción considera un crecimiento a partir del año 2011 hasta el 2014 a pesar que la tendencia desde el 2007 es que este tráfico descienda hasta el 2010. Esto se debe principalmente a una norma propuesta por Osiptel y una iniciativa por parte de los operadores móviles que consiste en la reducción gradual que de las tarifas fijo – móvil que ha empezado en julio del 2010 y que terminara por reducir la tarifa fijo – móvil en casi un 50% gradualmente en un periodo de 3 años, de acuerdo al siguiente cronograma:

- Hasta julio 2010 S/. 0,97
- Agosto 2010 S/. 0,85
- Enero 2011 S/. 0,70
- Julio 2011 S/. 0,65
- Enero 2012 S/. 0,60
- Julio 2012 S/. 0,55
- A partir enero 2013 S/. 0,50

Sin embargo la tendencia es que finalmente este tráfico se reduzca considerablemente debido principalmente al surgimiento explosivo de aplicaciones de internet como: Redes Sociales, servicios de VoIP, MSN (Mensajería), etc. Asimismo lo que se estima es que el tráfico de voz se concentre en el escenario móvil – móvil. [COM2010], [MON2010]

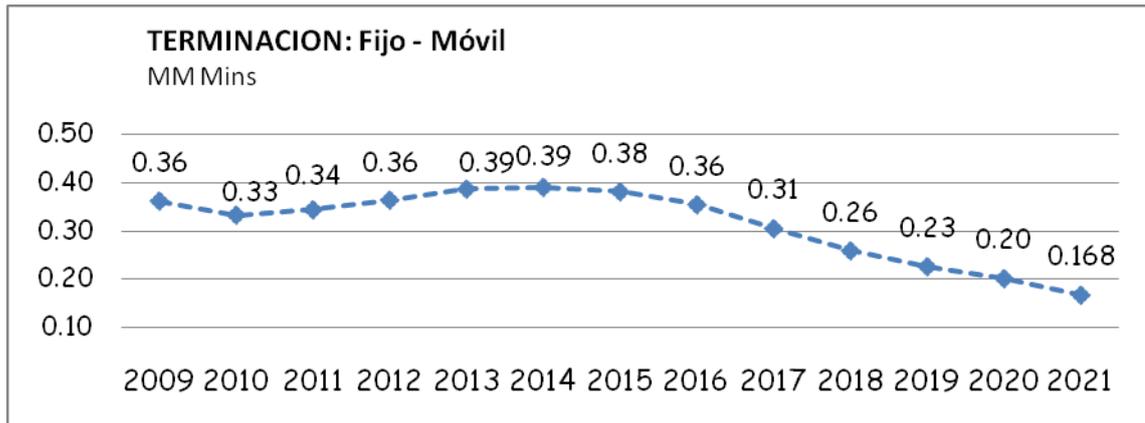


FIGURA 3-12: PROYECCION DEL TRÁFICO FIJO-MOVIL (TERMINACION)

Fuente: "OSIPTEL" [OSI2010]

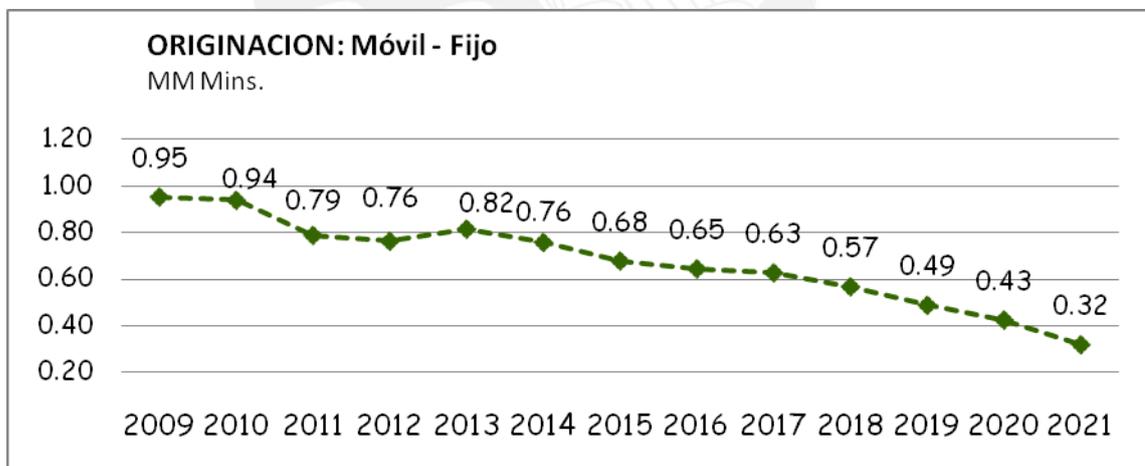


FIGURA 3-13: PROYECCION DEL TRÁFICO MOVIL-FIJO (ORIGINACION)

Fuente: "OSIPTEL" [OSI2010]

Para el caso del tráfico móvil – móvil se estima un crecimiento importante durante los próximos años, debido básicamente a la aplicación del Área Virtual Móvil a partir de setiembre del 2010, lo cual ha incrementado el tráfico móvil, sobre todo de larga distancia nacional. Adicionalmente debido a una baja en los cargos de interconexión móvil durante los próximos 4 años, el tráfico continuará creciendo hasta que, para los

últimos años de nuestro periodo de evaluación, llegue a su tope e inicie la caída del tráfico de voz TDM móvil y su sustitución por aplicaciones de VoIP sobre redes móviles de 4G con una arquitectura totalmente IP.

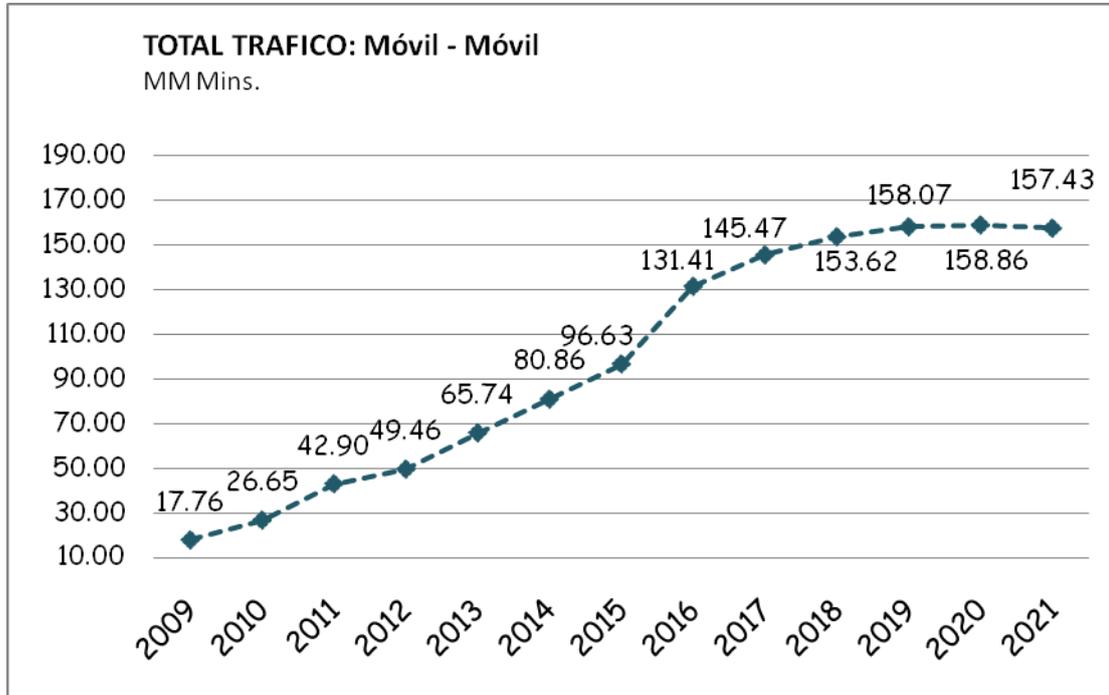


FIGURA 3-14: PROYECCION DEL TRÁFICO MOVIL-MOVIL (TOTAL)

Fuente: "OSIPTEL" [OSI2010]

Debido a la diferencia en la cantidad de minutos de tráfico en el escenario móvil – móvil con los escenarios fijo – móvil y móvil – fijo, se considerara en el cálculo, únicamente el tráfico móvil – móvil.

Usando las fórmulas y las consideraciones mencionadas al inicio del subcapítulo podemos obtener:

Tráfico (Erlg)

$$= \frac{\text{MM Mins. generados al año}}{12 * (\text{días de ocupación al mes}) * (\text{horas diarias de ocupación}) * 60} * 10^9$$

Debemos considerar que, para calcular el número de circuitos necesarios para atender el tráfico calculado, el tráfico obtenido no está concentrado en un solo grupo de enlaces. Por ello debemos considerar un factor de desagregación por PDI, el cual varía entre 0.6 – 0.8, para dividir el tráfico obtenido anteriormente. Para su definir su

valor se hizo un ejercicio para calcular el tráfico móvil onnet del presente año 2010 sólo movistar (sabiendo que Movistar genera el 46% del tráfico) y en base a este obtener el número de E1s de transporte necesarios. El siguiente paso es variar el factor de desagregación hasta que el este numero de E1s sea lo más cercano posible al número de E1s arrendados de Movistar, dato obtenido de Telefónica del Perú. Con esto se obtuvo que el factor de desagregación por PDI es 0.72. Con la formula anterior y aplicando la calculadora de Erlang obtenemos los siguientes resultados del tráfico proyectado: [OSI2010], [MON2010]

TABLA 3-3: DATOS PROYECCION TRAFICO MOVIL 2021

Fuente: "FUENTE: OSIPTEL Datos Estadísticos Internet" [OSI2010]

157.4	MM Minutos
1,936,818.0	Erlg TráficoTotal
2,421,022	Circuitos de voz
80,701	E1s Necesarios
1,280.96	STM-1s Necesarios
20.02	STM-64s Necesarios (10 Gbps)
0.20	Tbps de Ancho de Banda Necesario

Capítulo 4

Diseño de la Solución

En el presente capítulo se presentará cada uno de los pasos necesarios para el diseño de la solución para la nueva red de transmisión que abarcará la zona del sur del Perú.

4.1 Descripción técnica del tendido de fibra

En el capítulo anterior se analizó las tendencias y el crecimiento de la demanda de algunos servicios preponderantes de telecomunicaciones hasta el presente año. Estos datos permitieron para hacer una proyección y estimación de la demanda de dichos servicios a un plazo de 10 años, es decir al 2021, obteniéndose los siguientes resultados:

TABLA 4-1: RESULTADOS – PROYECCION DE LA DEMANDA DE TRÁFICO AL 2021

Fuente: “FUENTE: OSIPTEL Datos Estadísticos Internet” [OSI2010]

Proyección Demanda Tráfico 2021		
Tráfico Voz Móvil	0.2 Tbps	
Tráfico Salida a Internet + VoIP	8.8 Tbps	
Tráfico WiMax (Datos)	6.04 Tbps	
Total Tráfico	15.04 Tbps	
Region Sur	7.4 Tbps	49%

Se puede llegar a la conclusión principal que los servicios acceso a internet de banda ancha serán los que prevalezcan muy por encima de los servicios de voz. Como se puede ver en la tabla 4-1, el tráfico de voz móvil consume 0.2 Tbps del tráfico total, lo cual representa un 1.3%.

El diseño de la red de transmisión de esta tesis se concentra en la zona sur del Perú, debido principalmente a que en esta zona existen ciudades con un gran potencial de consumo de servicios de telecomunicaciones de banda ancha. Por ejemplo, como se mencionó en el capítulo 1, la ciudad de Cusco es un claro ejemplo de una ciudad con un gran potencial de explotación de servicios de banda ancha, debido principalmente a la actividad turística, pero que en la actualidad es atendida con tecnologías de radio de baja capacidad.

Debido a que el diseño de la red de transmisión es a diez años y el consumo de ancho de banda es del orden de los Terabits por segundo, el medio físico a utilizar debe ser fibra óptica con equipos de transmisión que operen con tecnología de Multiplexación de Longitud de Onda Densa (DWDM).

El presente proyecto asume la posibilidad de la reutilización de la fibra óptica que el operador incumbente tiene actualmente instalada en las rutas de la costa que se describieron en el capítulo 1. Para el caso de las rutas de la sierra el uso de fibra óptica enterrada o canalizada es inviable debido a la geografía irregular de las zonas y a los altos costos que esto implicaría. Es por ello que la solución técnica elegida para la instalación de la fibra óptica en las nuevas rutas es mediante tendido de cable de fibra óptica aéreo, usando torres de alta tensión de las líneas de transmisión de la Red Eléctrica Peruana. La figura 4-1 muestra el mapa de la REP (Red Eléctrica Peruana) en la zona sur del Perú, donde se desarrolla el proyecto. [MIN2005]

La definición de las rutas que formarán la topología final de la red de transmisión de este proyecto se han definido según las siguientes consideraciones:

- Para el tendido de fibra óptica aérea se deben considerar aquellas líneas de transmisión eléctrica cuyas tensiones sean de 138 kV y 220 kV. Esto se debe que hay una altura mínima necesaria que debe tener cada torre considerando la catenaria en el tendido de fibra óptica entre dos torres de alta tensión. [PRY2006]
- Para definir el tipo de cable de fibra óptica que se va a utilizar en el tendido aéreo se debe considerar el vano, es decir, la separación entre torres de alta tensión. [SAL2010]

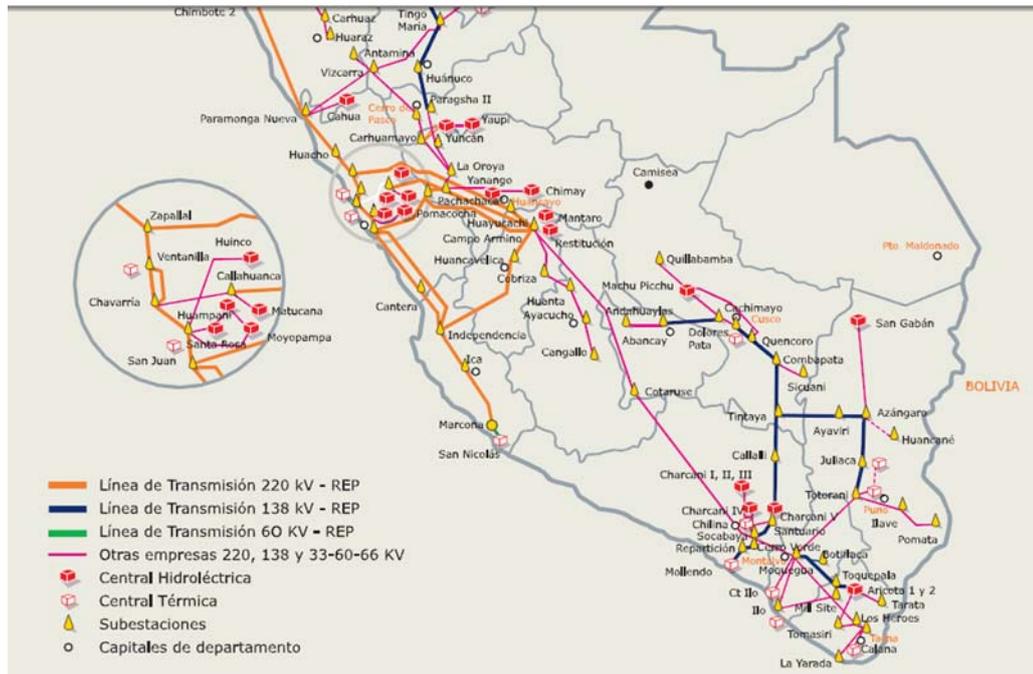


FIGURA 4-1: RED ELECTRICA PERUANA

Fuente: “MINISTERIO DE ENERGIA Y MINAS” [MIN2005]

Para la elección del tipo de cable que se sería utilizado en el tendido aéreo en las torres de alta tensión de este proyecto, se tenían básicamente dos opciones. La primera era usar un Cable de Tierra Óptico (OPGW). Este tipo de cable es el más apropiado para ser usado con la mayoría de líneas de transmisión eléctrica, sin ser afectados a pesar de los altos voltajes de las líneas del proyecto. El cable OPGW contiene el cable de guarda de la red eléctrica, siendo ideal para nuevos despliegues de redes de transmisión eléctrica con redes de fibra óptica aérea. [PRY2006]

La segunda alternativa era usar cable totalmente dieléctrico auto-soportado (ADSS), también concebido para ser instalado en líneas de transmisión eléctrica. El problema con los cables ADSS es pueden ser instalados en vanos de hasta 600 mts únicamente. Típicamente, los vanos en las líneas de transmisión eléctrica de la sierra son de 750 a 1000 metros, dependiendo de la geografía de la zona. [SAL2010]

Es por ello que se decidió optar por el cable OPGW para el tendido aéreo.

El cable de OPGW cumple dos propósitos.

- Transporta la línea de tierra del sistema eléctrico.
- Transporta las fibras ópticas para la transmisión de señales de telecomunicaciones.

Este tipo de cable contiene un núcleo de aluminio flexible como un tubo hueco en donde se alojan las fibras ópticas con estructura holgada para protección. Este tubo de aluminio proporciona a su vez alta conductividad eléctrica necesaria para la disipación de las descargas atmosféricas o cortocircuitos accidentales. En el recubrimiento cuenta con una serie de alambres de acero revestidos de aluminio que sirven también para protección. [SAL2010]

La fibra óptica a utilizar será monomodo siguiendo la recomendación de la ITU-T G.652 con las siguientes características:

TABLA 4-2: ESPECIFICACIONES FIBRA OPTICA OPGW MONOMODO (G.652)

Fuente: "FUENTE: PRYSMIAN – OPGW Cable System" [PRY2010]

(ITU-T G.652)	
Cladding diameter	125 ± 0.7 μm
Mode field diameter at 1310 nm	from 9,2 ± 0,4 μm
Attenuation (*) at 1310 nm at 1550 nm	0,36 dB/km max. 0,22 dB/km max.
Chromatic dispersion at 1310 nm from 1285 to 1330 nm at 1550 nm from 1525 to 1575 nm	2,8 ps/ (nm.km) 3,5 ps/ (nm.km) 18 ps/ (nm.km) 20 ps/ (nm.km)
PMD (Polarisation Mode Dispersion)	≤ 0.1 ps/√km

La siguiente figura 4-2 muestra el detalle del tipo de cable de fibra óptica.

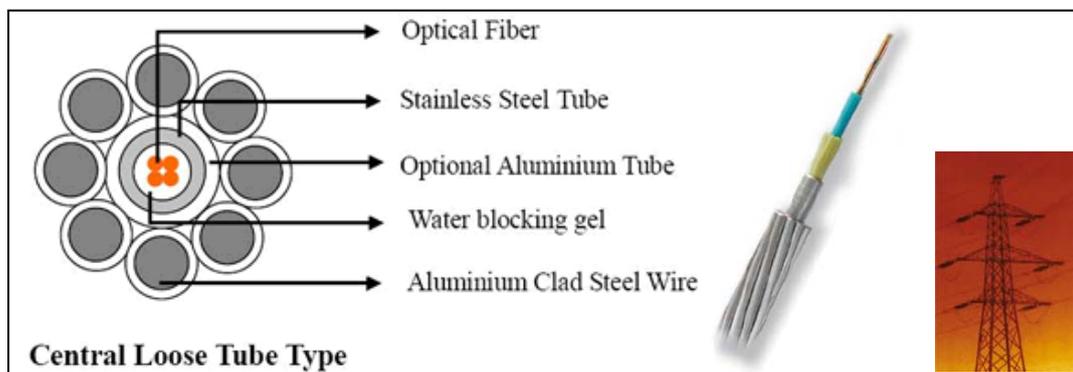


FIGURA 4-2: DETALLE CABLE OPGW

Fuente: "Comunicaciones Ópticas – Omar Salomé" [SAL2010]

La instalación del cable OPGW se realiza en la parte más alta de las torres de alta tensión y requiere lo siguiente:

- Montaje de suspensión: Se ensambla con una grapa de suspensión reforzada y con recubrimiento interno de neopreno, especialmente diseñado para cables OPGW. Incluye grapas de puesta a tierra para conexión a la torre.

La estructura de este montaje está compuesto por un grillete recto y un eslabón revirado, ambos normalmente a base de acero. Asimismo requiere de una grapa de conexión paralela, una grapa de suspensión armada y una grapa de conexión a tierra. [PRY2006]

- Amortiguadores: Son utilizados para absorber las vibraciones del cable. La cantidad de ellos están determinados por la separación entre torres, el tipo de cable, etc. Están formados por el cuerpo, un cable preformado y los contrapesos. [PRY2006]
- Grapas de bajada: se utilizan para fijar el cable a la torre en las bajadas a la caja de empalmes. Están compuestas del cuerpo de soporte, el tornillo para fijación, una varilla M-12 de acero galvanizado y la grapa. [PRY2006]
- Conjunto de amarre: Cuando la distancia entre dos torres es mayor que la longitud máxima de bobinas de cable OPGW, hay montajes de tensión especiales para la instalación en torres en suspensión, lo que permite incluir el empalme del cable. [PRY2006]

Para este montaje la estructura se compone de un grillete recto, un tirante, un empalme de protección y una grapa de conexión a tierra.

Existen tres tipos de conjuntos de amarre:

- o conjunto de amarre pasante: para torres intermedias
- o conjunto de amarre bajante: para torres con cajas de empalme
- o conjunto de amarre final: para torres finales

De acuerdo a las condiciones del ambiente será necesario utilizar barras de protección adicional, reforzando el montaje de suspensión. [PRY2006]

La figura 4-3 muestra la forma de instalación del cable OPGW usando las torres de alta tensión con cada uno de los elementos mencionados anteriormente.

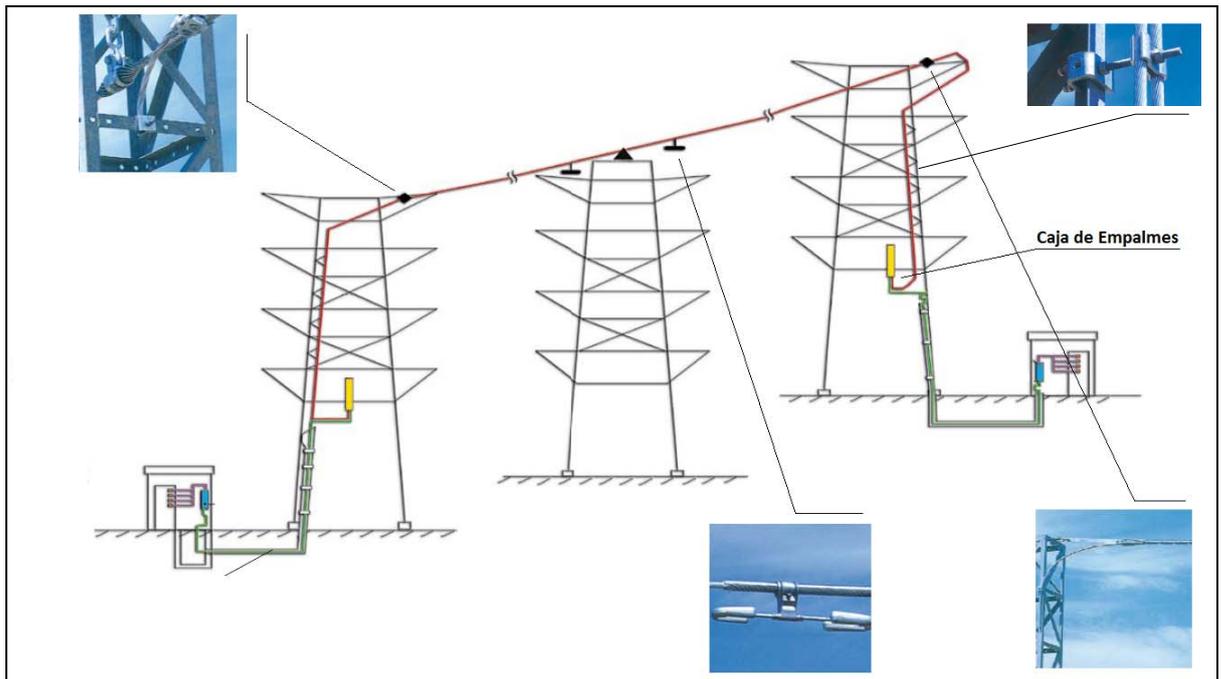


FIGURA 4-3: INSTALACION DE CABLE OPGW SOBRE TORRES DE ALTA TENSION

Fuente: "FUENTE: PRYSMIAN – OPGW Cable System" [PRY2010]

4.2 Definición de rutas de transmisión

Como revisamos en los primeros capítulos de esta tesis, la tecnología propuesta para la red de transmisión de este proyecto es ASON (Automatically Switched Optical Network) sobre DWDM. La capa DWDM ofrece la posibilidad a los equipos de transmisión de manejar grandes capacidades a nivel de longitudes de onda. Asimismo, como veremos más adelante, los equipos que se proponen en el diseño de esta red tienen la capacidad de conmutar el tráfico a nivel de longitudes de onda usando una técnica llamada ROADM (Reconfigurable Optical Add-Drop Multiplexer). La principal ventaja de esta técnica es que permite que una serie de longitudes de onda, que pueden llevar hasta 40G de información cada una, realicen funciones de add-drop sin necesidad de realizar conversiones de las señales WDM a eléctrico y nuevamente a óptico.

Esta tecnología es la tendencia de la evolución de las redes de transmisión ópticas hacia una red mucho más flexible y confiable. La tecnología ASON trabaja sobre redes de transmisión con topología tipo Malla, de lo contrario no tendría sentido el concepto básico de ASON, que es la restauración de rutas a nivel óptico.

Es por ello que en la definición de las rutas para la red de transmisión de este proyecto se han definido, asumiendo la factibilidad de compartición de infraestructura con la Red Eléctrica Peruana.

Parte de la propuesta de este trabajo de tesis es la reutilización de la infraestructura ya existente. En el capítulo 1 se dio una descripción de la red de transmisión nacional actual, perteneciente al operador incumbente en el Perú. Esta red cuenta con fibra óptica enterrada en toda la costa, por lo que el tramo de Lima a Tacna se puede reutilizar como parte del anillo principal. Así mismo ya existen las rutas Lima – Huancayo y Arequipa – Juliaca. Las demás rutas de la sierra como mencionamos serán desplegadas usando un tendido aéreo de fibra óptica.

Para el dimensionamiento de la red de transmisión (a 10 años) es necesario definir la capacidad de transporte de cada una de las rutas según la proyección de la demanda de servicios de telecomunicaciones al 2021. Como vimos esta capacidad demandada en la región sur del Perú es de 7.4 T-bit/s. Para repartir esta capacidad en las diferentes rutas se han establecido algunas consideraciones:

- El área de despliegue de la red, que abarca los 11 departamentos de la zona sur del Perú, se ha dividido en tres regiones: Región Centro, Centro Sur y Costa Sur.
- A cada departamento se le ha asignado un porcentaje en función al consumo de servicios de banda ancha para el año 2010, asumiendo que esta distribución se mantendría similar hasta el año 2021.
- Para el dimensionamiento de la capacidad de las rutas principales de la red de transmisión, es decir el anillo principal, se considero la capacidad total de 7.4 Tbps obtenida de la proyección de la demanda de servicios de telecomunicaciones.
- En cada ruta de respaldo se ha reservado adicionalmente un 40% de la capacidad de las rutas adyacentes para el restablecimiento de las mismas que puedan sufrir alguna ruptura de la fibra u otro tipo de avería. Esto es lo que permitirá que la red pueda tener una disponibilidad de 100% pese a situaciones de cortes continuos de la fibra óptica u otras contingencias.

Con todas estas consideraciones se ha definido en cada ruta la capacidad de transporte necesaria, distribuyendo la capacidad demandada de cada departamento en las rutas que lo contienen e incluyendo la capacidad de respaldo para restablecimiento de rutas.

Se han definido algunas rutas que forman parte del anillo principal del sur y algunas rutas de respaldo que terminan formando una topología tipo malla.

Incluyendo la capacidad de las rutas de respaldo se obtiene una capacidad total en la red de transmisión tipo malla de casi 15 Tbps.

Es necesario conocer la distancia que recorrerá la fibra óptica en cada una de estas rutas. Para el caso de las rutas de la costa y aquellas ya existentes como parte de la red de transmisión del operador incumbente las distancias de la fibra óptica instalada han sido proporcionadas por el mismo operador. En el caso de las rutas nuevas con tendido aéreo, las distancias se han estimado en base a las distancias entre subestaciones eléctricas y al mapa de líneas de transmisión eléctrica del Ministerio de Energía y Minas.

La ruta Andahuaylas – Ayacucho es un caso particular debido a que esta ruta no existe en la infraestructura de la Red de Transmisión Eléctrica lo que obligaría a una inversión adicional en despliegue de torres de alta tensión para completar esta ruta uniendo mediante líneas de transmisión eléctrica las subestaciones de Andahuaylas y de Huancayo. Como se muestra en la tabla 4-2 la distancia aproximada entre Andahuaylas y Ayacucho es de 72 kilómetros. Esta distancia es simplemente referencial ya que el cálculo de los lugares donde se instalarían las torres para conocer el recorrido más real que tomaría la fibra OPGW escapan del objetivo de esta tesis. [MIN2005]

TABLA 4-3: RESULTADOS – DETALLE DE RUTAS: RED DE TRANSMISIÓN TIPO MALLA

Fuente: “FUENTE: OSIPTEL Datos Estadísticos Internet” [OSI2010]

Capacidad Fin 2021					
Region Centro	Capacidad Requerida	Lambdas de 40G	Distancia		
Lima - Huancayo	2.1 Tbps	51	250 Km	Anillo Principal (Superior) - YA EXISTE	
Region Centro Sur					
Ayacucho - Huancayo	0.3 Tbps	5	216 Km	Anillo Principal (Superior)	
Andahuaylas - Ayacucho	0.2 Tbps	3	79 Km	Anillo Principal (Superior)	
Andahuaylas - Cusco	32.2 Gbps	1	180.4 Km	Anillo Principal (Inferior)	
Abancay - Cusco	42.9 Gbps	1	118.8 Km	Anillo Principal (Inferior)	
Cusco - Juliaca	0.2 Tbps	5	431 Km	Anillo Principal (Inferior)	
Arequipa - Juliaca	1.5 Tbps	27	244 Km	Anillo Principal (Inferior) - YA EXISTE	
Huancayo - Arequipa	1.2 Tbps	22	670 Km	Ruta Respaldo	
Ica - Huancavelica	77.4 Gbps	2	130 Km	Ruta Respaldo	
Huancavelica - Huancayo	1.4 Tbps	25	203 Km	Ruta Respaldo	
Arequipa - Cusco	1.2 Tbps	21	433 Km	Ruta Respaldo	
Moquegua - Juliaca	0.7 Tbps	14	255 Km	Ruta Respaldo	
Region Costa Sur					
Lima - Ica	3.5 Tbps	35	345 Km	Anillo Principal (Costa) - YA EXISTE	
Ica - Arequipa	2.5 Tbps	74	733 Km	Anillo Principal (Costa) - YA EXISTE	
Arequipa - Moquegua	0.4 Tbps	7	289 Km	Anillo Principal (Costa) - YA EXISTE	
Moquegua - Tacna	0.9 Tbps	16	163 Km	Anillo Principal (Costa) - YA EXISTE	
Total General	16.3 Tbps				

Como hemos visto en los capítulos anteriores la explosiva demanda de anchos de banda cada vez mayores para los nuevos servicios de telecomunicaciones y las nuevas aplicaciones se traduce en la necesidad de una red de transporte de alta capacidad, confiable, de fácil operación, con un costo de operación y mantenimiento mínimo y capaz de ofrecer diferentes niveles de disponibilidad.

En el subcapítulo anterior se definieron cada una de las rutas para la red de transmisión tipo malla. En un primer momento se va a asumir que la capacidad de los equipos va a permitir mantener un esquema de red como el que se tiene hasta el momento; un Nodo Principal o OTM (Optical Transport Module) por cada departamento, a excepción de Apurímac en el que se tiene un OTM en Abancay y uno en Andahuaylas.

Con las consideraciones del párrafo anterior tendríamos un esquema de red como el que se muestra en la figura 4-4.



FIGURA 4-4: ESQUEMA DE RED ASON PARA PERU

Fuente: "Elaboración Propia"

La línea de color negro indica la fibra óptica ya existente en la red de transmisión del operador incumbente en el país. Cada uno de los equipos OXC (Optical Cross-Connect) de color azul representa un OTM basado en ASON/WDM, asumiendo por un primer momento que sería suficiente con un equipo en cada departamento.

Los equipos de transmisión elegidos para que sean desplegados en la red tienen que estar basados en ASON con tecnología de transporte WDM/OTN. Las capacidades de transmisión que deben poder llegar a manejar los equipos son del orden de los Terabits con sistema de cross-conectividad (T-bit XC). La máxima capacidad de poder controlar varias cross-conexiones es necesaria, sobre todo cuando el equipo se encuentra en un nodo u OTM con más de dos rutas asociadas; por ejemplo, Arequipa.

4.3 Descripción de los equipos

Es importante tomar en cuenta que el tráfico máximo para el cual se ha dimensionado la red no va a ser el mismo durante los primeros años, sino que va a ser un proceso de incremento gradual de la demanda. De la misma manera, la migración de los servicios a “Todo sobre IP” también va a ser un proceso paulatino y durante un tiempo más va a haber una convivencia de servicios IP con servicios TDM. Es por esta razón que se necesita que éstos equipos tengan un sistema de transporte flexible, como para que puedan atender distintas capacidades según la evolución de la demanda de los clientes. Es decir el nodo debe tener la capacidad de combinar XC fotónico y XC eléctrico basado en OTN.

No existen muchos proveedores que ofrezcan equipos de transmisión ópticos que soporten ASON/GMPLS con capacidades de T-bit en OXC. Se han identificado 3 de los principales proveedores que pueden proveer equipos de transmisión OTN de gran capacidad. Los proveedores de los cuales se han revisado las descripciones de sus equipos son: Huawei, Alcatel-Lucent e Infinera.

TABLA 4-4: COMPARACION EQUIPOS OTN DIFERENTES PROVEEDORES

Fuente: "Proveedores de Telecomunicaciones" [HUA2008],[ALU2010]

Proveedor	Equipo WDM/OTN
Huawei 	OSN 8800 T-64 
Alcatel - Lucent 	AL 1870 TSS 
Infinera 	DTN SWS 

Un dato importante a considerar es la experiencia de los proveedores en este tipo de despliegues a nivel mundial. Por ejemplo en el caso de Huawei, para el primer periodo del 2010, 30 de sus más de 250 redes desplegadas a nivel mundial son redes de tecnología WDM/OTN ASON, con lo cual Huawei lidera el mercado en esta tecnología. A continuación se presenta de manera simplificada aquellas características que han llevado a optar por utilizar los equipos de la serie OSN 8800 de Huawei.

Los equipos de la serie OSN 8800 de Huawei han sido desarrollados con tecnología WDM/OTN y están preparados especialmente para soportar E2E ASON (ASON de

extremo a extremo) con GMPLS para el plano de control. Estos equipos, dentro de la serie OSN, están diseñados especialmente para la transmisión de señales en la parte del backbone de la red. Por esta razón, las capacidades que pueden manejar estos equipos son las más altas en el mercado.

Básicamente, estos equipos están formados por dos capas: Una capa óptica y una, eléctrica. Ambas capas pueden realizar funciones de cross-conexión distribuida a nivel de VCx, ODUk y longitud de onda. El plano de control unificado de ASON con los protocolos GMPLS de enrutamiento y señalización permite controlar las todos estos tipos de servicio de manera flexible. La figura 4-5 muestra un esquema de los equipos de transmisión de la serie OSN capaces de soportar las características mencionadas. [LEE2009]

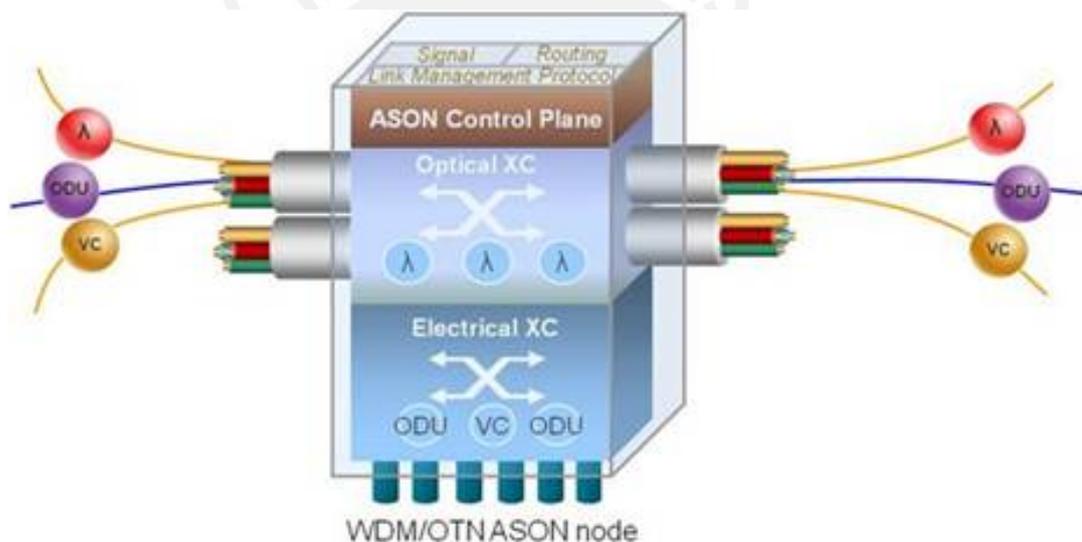


FIGURA 4-5: ESQUEMA DE OptiX OSN PARA CONMUTACIÓN ELÉCTRICA Y ÓPTICA

Fuente: "Huawei Technologies" [LEE2009]

4.3.1 Tecnología de la Capa Eléctrica

Los Optix OSN 8800 tienen el equipamiento eléctrico necesario para proveer servicios como GE (100, 40, 10 y 1) y FE del lado del cliente. Asimismo cuenta con tarjetas OTN para proveer las señales de tipo ODUk ($k=0,1,2$); y tarjetas SDH que permiten el establecimiento de Contenedores Virtuales VCx ($x=3,4,12$). Los Optix OSN 8800 soportan la integración de las señales ODUk y VCx mediante conmutación eléctrica que permite alcanzar capacidades de cross-conectividad de 1.28 T/2.56T-bit para la distribución masiva de servicios.

La siguiente tabla resume todos los tipos de servicios a nivel eléctrico que puede configurarse en el OSN 8800.

TABLA 4-5: SERVICIOS DE CONMUTACION ELÉCTRICA DEL OSN 8800

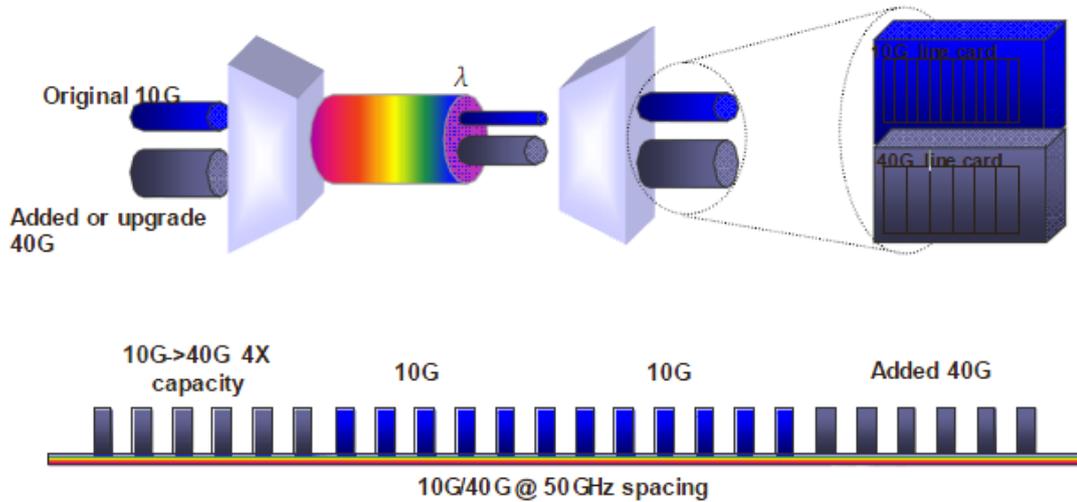
Fuente: "Huawei Technologies" [HUA2008]

IP	OTN	SDH	SAN
100GE	ODU0	STM-256	FC
40GE	ODU1	STM-64	FICON
10GE	ODU2	STM-16	ESCON
GE		STM-4	
FE		SMT-1	

El Optix OSN 8800 no está preparado para soportar directamente granularidad de GE para XC. Una alternativa de solución es utilizar una tarjeta tributaria en la que se encapsulan dos señales GE en una 1*ODU1, la cual entra directamente al XC Eléctrico. La señal ODU1 a la salida pasa por una tarjeta de línea y sale como OTU2.[HUA2008]

4.3.2 Tecnología de la Capa Óptica

El Optix OSN 8800 posee una gran capacidad de transmisión y de encaminamiento a nivel de longitud de onda. Estos equipos actualmente pueden soportar básicamente dos tipos de sistemas DWDM: 40 longitudes de onda con un espaciamiento de 100GHz; o 80 longitudes de onda con un espaciamiento de 50 GHz. Cada uno de estos sistemas va a soportar diferentes anchos de banda de transmisión por longitud de onda dependiendo de los tipos de transponder, los cuales son colocados en las tarjetas del equipo. El sistema de 40λ se puede aplicar para servicios de 2.5, 5, 10 o 40 Gbps por longitud de onda; mientras que el sistema de 80λ solo aplica para servicios de 10 y 40 Gbps. Es decir, si queremos utilizar la capacidad de transmisión óptica de estos equipos en una plataforma DWDM podemos tener una capacidad máxima de 80*40G (3.2T). Sin embargo las siguientes versiones para el próximo año estarían listas para soportar plataformas de 80*100G (8T). Es importante mencionar que así como la plataforma de 40G fue desarrollada como una mejora de la plataforma de 10G, de la misma manera de esta desarrollando la plataforma de 100G. Esto es necesario para poder permitir total compatibilidad. La figura 4-5 muestra como se distribuye las señales en una plataforma de 10G y 40G compatible. [PIL2010]


FIGURA 4-6: PLATAFORMA PARA 10G Y 40G

Fuente: "Huawei Technologies" [PIL2010]

La serie OSN 8800, así como la versión no tan grande OSN 8600 incluyen tecnología que permite soluciones de FOADM (Fixed Optical add/drop Multiplexer) y ROADM (Reconfigurable Optical add/drop Multiplexer). Esta última funcionalidad permite agregar canales ópticos, es decir longitudes de onda, de manera dinámica en una red de tipo malla como la propuesta en este trabajo de tesis.

Las tarjetas WSM9 y RMU9 son las que realizan las funciones de ROADM y pueden ser configuradas para asignar y dinámicamente cualquier longitud de onda a cualquier puerto para lograr una distribución dinámica de longitudes de onda. Para esta funcionalidad se tiene la adopción de dos tecnologías: PLC-ROADM y WSS-ROADM. La diferencia entre ambas tecnologías es que la primera de ellas permite una configuración de ROADM con dos dimensiones, mientras que la segunda permite configuraciones de 4 hasta 9 dimensiones. El modelo 8800 de la serie OSN soporta hasta nueve dimensiones de WSS-ROADM, lo cual no es soportado por el modelo anterior 6800. Dimensiones se refiere a direcciones de transmisión, un sistema de múltiples dimensiones puede transmitir las longitudes de onda en diferentes rutas y conmutar de camino automáticamente gracias a los protocolos GMPLS del plano de control de ASON. Esto es lo que permite reencaminamiento a nivel de longitud de onda en caso de falla de algún enlace. La figura 4-6 muestra un esquema básico de ROADM de múltiples dimensiones con las tarjetas involucradas. [HUA2008]

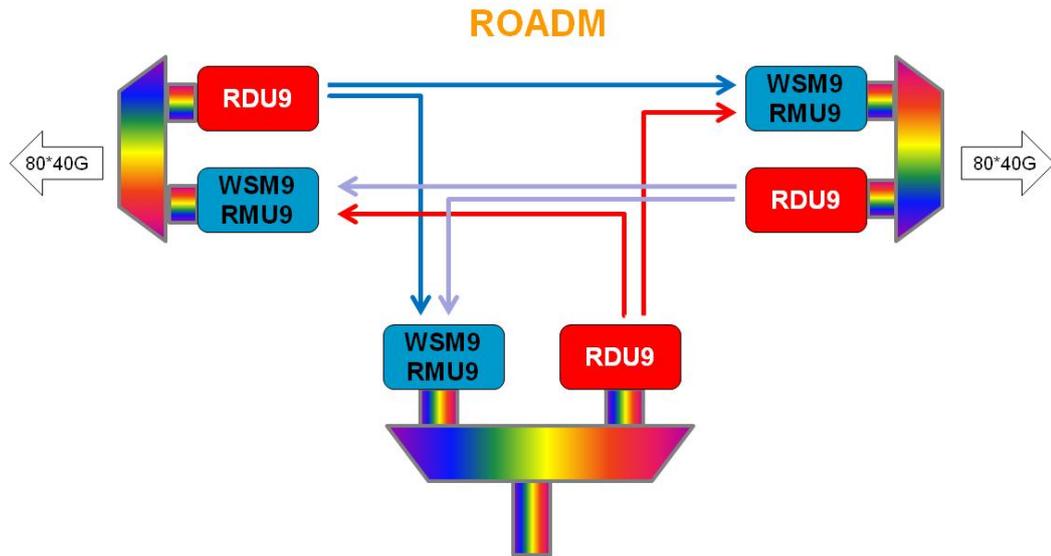


FIGURA 4-7: CONFIGURACION ROADM

Fuente: "Huawei Technologies" [PIL2010]

La figura 4-8 muestra un mayor detalle de los equipos OSN 8800 de Huawei y los transponders utilizados para las señales ópticas de 40G.

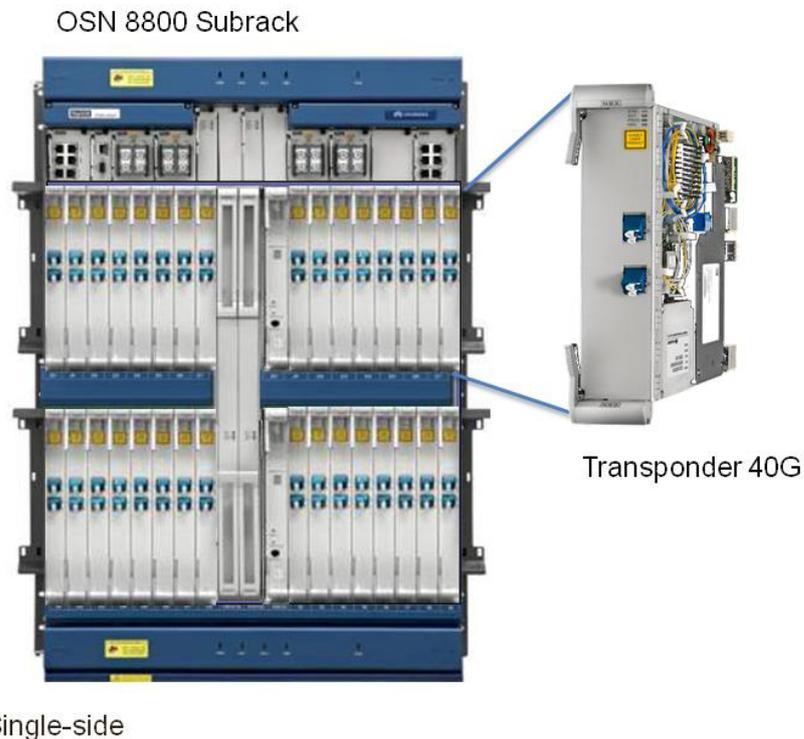


FIGURA 4-8: OSN 8800 SUBRACK SINGLE-SIDE + TRANSPONDER 40G

Fuente: "Huawei Technologies" [PIL2010]

Los equipos de la serie OptiX OSN 8800 tienen a su vez dos tipos de configuraciones: la primera llamada OSN 8800 T32 configurado en “Single-Side Subrack” que es el mostrado en la figura 4-8. Pero existe una segunda configuración llamada OSN 8800 T64 configurado en “Dual-Side Subrack” que se muestra en la figura 4-9. Esta segunda configuración básicamente duplica la capacidad de la primera al presentar, ya no 32 puertos universales, sino 64. Otra ventaja es que en capacidad de transmisión de señales ODUk puede llegar a transmitir 5.12 T-bit/s. Asimismo esta versión de los equipos también está preparada para soportar la plataforma OTN de 80*100G en las versiones del siguiente año. [PIL2010]

OSN 8800 Subrack

**FIGURA 4-9: OSN 8800 SUBRACK DUAL-SIDE**

Fuente: “Huawei Technologies” [PIL2010]

Las tarjetas ópticas de estos equipos incluyen los siguientes tipos:

- Tarjeta de conversión óptica de longitud de onda
- Tarjeta para multiplexación óptica add/drop
- Tarjeta de análisis espectral
- Tarjeta de amplificador óptico
- Tarjeta de atenuador variable óptico

- Tarjeta de cana óptico de supervisión
- Tarjeta de compensación de dispersión

Todas estas tarjetas permiten realizar diferentes funciones que facilitan la operación, administración y mantenimiento de la red:

4.3.2.1 ALC (Automatic Level Control)

El control de nivel automático permite que las señales se adapten automáticamente a los cambios en la atenuación de la fibra que suceden a largo plazo. El cambio se limita a una pequeña sección y no afecta la recepción final. [PIL2010]

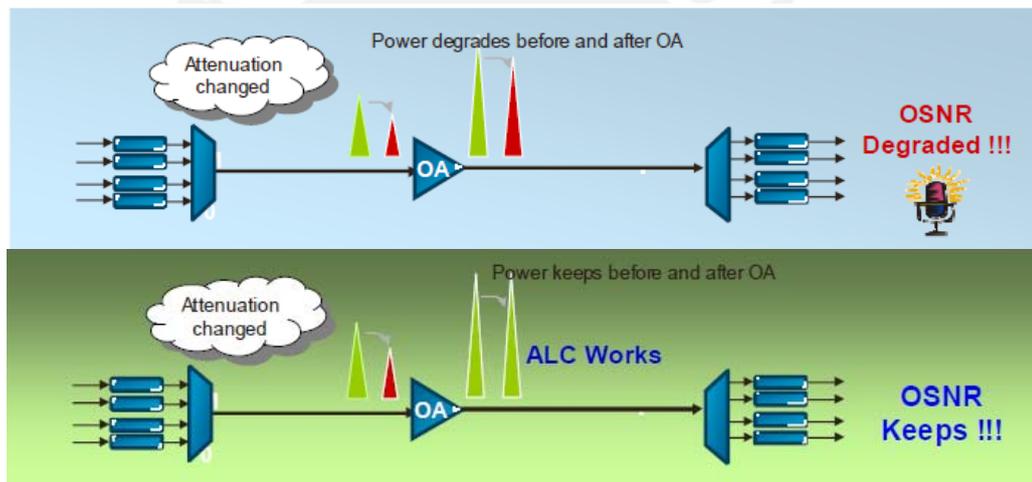


FIGURA 4-10: CONTROL DE NIVEL AUTOMATICO

Fuente: "Huawei Technologies" [PIL2010]

4.3.2.2 APE (Automatic Power Equilibrium):

Después de transmisiones de largas distancias de potencia entre los canales se hace más grande, lo cual ocasiona errores en la recepción de las señales. Esta funcionalidad de equilibrio automático de potencia permite lograr un mejor balance en la diferencia de potencia y lograr una mejor OSNR (Relación Señal a Ruido Óptica). [PIL2010]

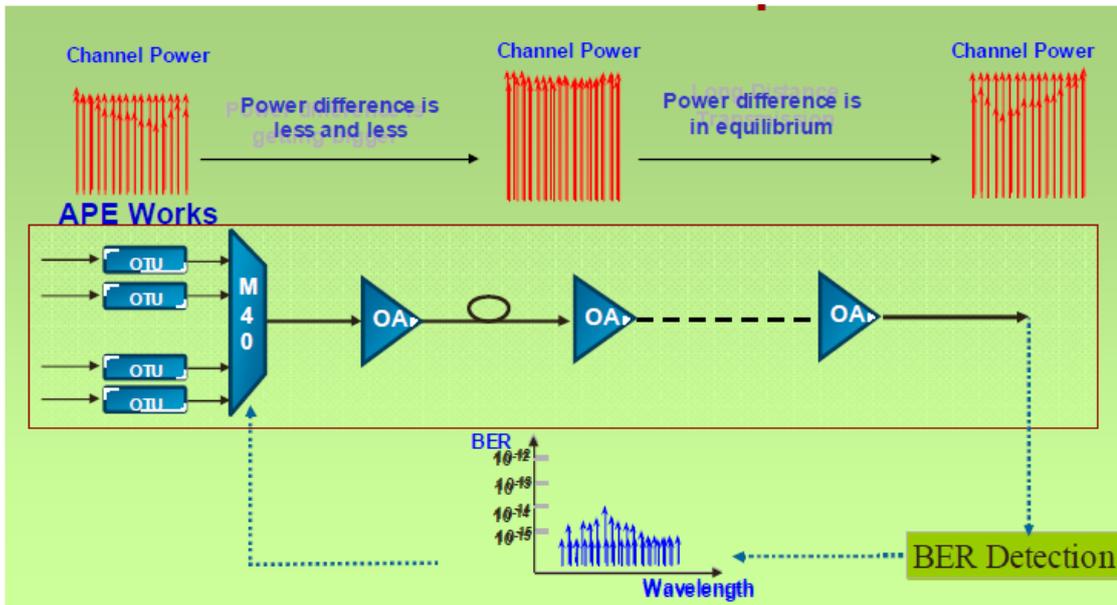


FIGURA 4-11: EQUILIBRIO AUTOMATICO DE POTENCIA

Fuente: "Huawei Technologies" [PIL2010]

4.3.2.3 IPA (Intelligent Power Adjustment):

El ajuste inteligente de potencia evita lastimar el ojo humano y otras partes del cuerpo en situaciones fortuitas como cortes de fibra cuando el laser se apaga; y permite realizar los trabajos de mantenimiento necesarios. Asimismo evita afectación del sistema debido al fenómeno de "oleaje" de los amplificadores. [PIL2010]

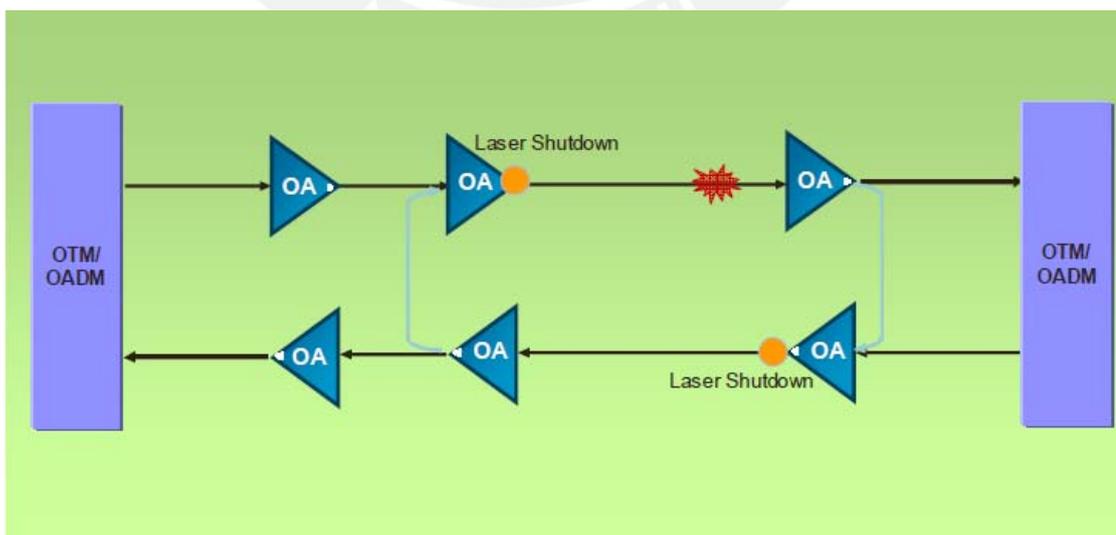


FIGURA 4-12: AJUSTE INTELIGENTE DE POTENCIA

Fuente: "Huawei Technologies" [PIL2010]

4.4 Cálculo de potencias para los enlaces DWDM

En la sección anterior se realizó un análisis de los equipos a utilizar en las estaciones OTM (Optical Transport Module); sin embargo en cada una de las rutas es importante considerar la necesidad de colocar estaciones de amplificación de la señal óptica, también llamadas OLA (Optical Line Amplifier).

Es importante considerar algunos parámetros y especificaciones técnicas de los módulos del equipo que permiten la transmisión de señales DWDM. En primer lugar es importante considerar las características de los transponders. Existen más de 20 diferentes tipos de OTU (Optical Transponder Unit) que soportan estos equipos, sin embargo para nuestro análisis vamos a centrarnos en 3 de estos módulos ópticos: LOG, LOM, LSX. Las especificaciones completas de estos módulos se encuentran en las hojas técnicas de descripción de los equipos OSN 6800 que se adjunta como Anexo 2; sin embargo a continuación se detalla algunas de las características más importantes.

Como es lógico, debido a las altas velocidades por longitud de onda que manejan estos transponders ópticos utilizan NRZ como formato de código de línea para un máximo de 80 canales sintonizables. Los OTU acoplan a la fibra una potencia que va desde -3 dBm hasta un máximo de 2 dBm. En la recepción estos transponders tiene una sensibilidad de -16 dBm

Una especificación bastante interesante de estos transponders es que manejan un rango bastante amplio de longitudes de onda, desde los 1200 hasta los 1650 nm, prácticamente toda la 2da y tercera ventana.

El multiplexor al que entran las señales coloreadas por los transponders inyecta la señal multiplexada a los módulos ROADM que se mencionaron en la sección anterior. A la salida de estos módulos se tiene los módulos de amplificación óptica. En este caso hemos elegido el módulo OAU1, el cual tiene una potencia óptica de salida de 20 dBm y una ganancia nominal que puede ser de 20, 26 o 31 dB, la cual varía de acuerdo al rango de potencia óptica recibida. La figura 4-13 muestra un diagrama esquemático de el equipamiento y la distribución de los componentes usados para ROADM con DWDM. [HUA2008]

La figura 4-14 muestra de manera simplificada la parte del transmisor óptico y la representación del enlace de fibra óptica.

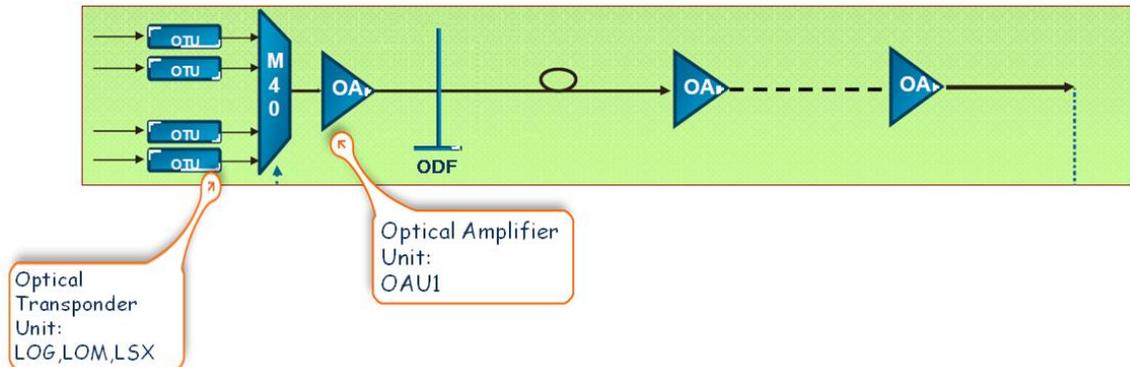


FIGURA 4-14: ESQUEMA SIMPLIFICADO DE ENLAC DWDM

Fuente: "Comunicaciones Ópticas - PUCP" [SAL2009]

Las formulas utilizadas para el cálculo de potencias son las siguientes:

$$P_{TOTAL\ ADMITIDA} = P_{ODF} - G_{AO\ Salida} - 0.5*n + \alpha*L + margen - m*G_{AO}$$

$$P_{TOTAL\ ADMITIDA} = Pot_{AO} - Sensibilidad_{Rx}$$

$$m = ([Pot_{AO} - Sensibilidad_{Rx}] - P_{ODF} + G_{AO\ Salida} + 0.5*n - \alpha*L - margen) / G_{AO}$$

Donde;

n = Nro. Empalmes = l/L

m = Nro. Amplificadores Ópticos

l = longitud del cable de fibra óptica de la bobina = 2000 mts

L = Distancia de la ruta

α = Factor de atenuación de la fibra óptica

La siguiente tabla 4-4 muestra un resumen de las consideraciones para el cálculo de potencias aplicando las formulas mostradas. [SAL2009]

TABLA 4-6: RESUMEN CONSIDERACIONES PARA CALCULO DE POTENCIAS

Fuente: "Huawei Technologies" [HUA2008]

Potencia máxima acoplada a la fibra	2 dBm
Potencia mínima acoplada a la fibra	-3 dBm
Sensibilidad del Receptor	-16 dBm
Pérdidas en Empalmes de Planta externa	0.5 dB
Perdidas Conectorización ODF	1 dB
Máxima Potencia Salida del AO	20 dBm
Ganancia Nominal del AO	31 dB
Margen	6 dB
Patch cord	0.022 dB
Factor de Atenuación de la fibra	0.22 dB/Km
Longitud de cable de fibra óptica entre empalmes	1500 m
Distancia (FO instalada)	depende de la ruta
Pérdida total admitida	18 dBm

Con estas consideraciones y aplicando la fórmula mostrada anteriormente para cada una de las rutas se obtiene el siguiente resultado:

TABLA 4-7: RESUMEN CONSIDERACIONES PARA CÁLCULO DE POTENCIAS

Fuente: "Comunicaciones Ópticas - PUCP" [SAL2009]

Region Centro	Distancia	Nro Empalmes	Nro Amplificadores
Lima - Huancayo	250 Km	167	3
Region Centro Sur			
Ayacucho - Huancayo	216 Km	144	2
Andahuaylas - Ayacucho	79 Km	53	0
Andahuaylas - Cusco	180.4 Km	120	2
Abancay - Cusco	118.8 Km	79	1
Cusco - Juliaca	431 Km	287	6
Arequipa - Juliaca	244 Km	163	3
Huancayo - Arequipa	670 Km	447	11
Ica - Huancavelica	130 Km	87	1
Huancavelica - Huancayo	203 Km	135	2
Arequipa - Cusco	433 Km	289	6
Moquegua - Juliaca	255 Km	170	3
Region Costa Sur			
Lima - Ica	345 Km	230	5
Ica - Arequipa	733 Km	489	12
Arequipa - Moquegua	289 Km	193	4
Moquegua - Tacna	163 Km	109	1

Capítulo 5

Análisis Técnico - Económico

En el presente capítulo se realiza el análisis técnico – económico del proyecto de tesis. Es necesario para esto hacer un presupuesto estimado del CAPEX, es decir la inversión necesaria para el proyecto. Así mismo se debe considerar el OPEX, el cual representa los gastos de operar y mantener la red. Para el recupero de la inversión es necesario hacer una estimación de los ingresos en base a la demanda incremental.

5.1 Cálculo del CAPEX de la Red.

5.1.1 Suministro e Instalación de Equipos OTM y OLA

Como se definió en el capítulo anterior, los equipos elegidos para el despliegue de la red ASON de este proyecto han sido los Optix OSN 8800, para los OTM (Optical Transmission Module) y 6800 para las OLA (Optical Line Amplifier) de Huawei.

Para determinar la cantidad de equipos y la configuración de cada uno de ellos se recurrió a una herramienta de diseño propietaria de Huawei que permite confirmar el diseño de la red ASON en base a la Matriz de Tráfico (mostrada en la tabla 5-1) y los parámetros del diseño que se indican a continuación:

- Capacidad del Sistema: 80@40G, 80@100G soportada
- Tipo de Equipos: ROADM, OTM – OSN8800, OSN6800; OLA – OSN6800
- Interfaces 10GE y STM-1
- Tipo de Fibra: G.652
- Coeficiente de Atenuación de la fibra: **0.22dB/km**
- Margen: **6dB**
- Otras pérdidas por conectorización : **1 dB**
- Pérdidas Conexión con ODF: **0.5dB**/Por Conexión con el ODF
- Total de Pérdidas en la fibra óptica = Distancia (km) X Coeficiente de Atenuación + Margen + Otras pérdidas
- PMD: **0.1ps/sqrt(km)**

TABLA 5-1: MATRIZ DE TRÁFICO

Fuente: "Elaboración propia"

Número de enlaces	Capacidad	Origen	Destino	Distancia	Max Capacidad de Tx
30	40 GE	LIMA	HUANCAYO	250.0 Km	1.2 Tbps
8	40 GE	HUANCAYO	AYACUCHO	215.6 Km	0.3 Tbps
5	40 GE	AYACUCHO	ANDAHUAYLAS	88.0 Km	0.2 Tbps
1	40 GE	ANDAHUAYLAS	CUSCO	61.6 Km	32.2 Gbps
2	40 GE	ABANCAY	CUSCO	119 Km	42.9 Gbps

5	40 GE	CUSCO	JULIACA	431 Km	0.2 Tbps
38	40 GE	AREQUIPA	JULIACA	244 Km	1.5 Tbps
30	40 GE	HUANCAYO	AREQUIPA	670 Km	1.2 Tbps
2	40 GE	ICA	HUANCAVELICA	130 Km	42.3 Gbps
18	40 GE	HUANCAVELICA	HUANCAYO	203 Km	0.7 Tbps
30	40 GE	AREQUIPA	CUSCO	433 Km	1.2 Tbps
18	40 GE	MOQUEGUA	JULIACA	255 Km	0.7 Tbps
80	40 GE	LIMA	ICA	345 Km	3.2 Tbps
62	40 GE	ICA	AREQUIPA	733 Km	2.46 Tbps
10	40 GE	AREQUIPA	MOQUEGUA	289 Km	0.4 Tbps
23	40 GE	MOQUEGUA	TACNA	163 Km	0.9 Tbps

Una vez definida la configuración de los equipos se puede calcular el Costo de la Solución con todas las Unidades necesarias en cada estación. Debido a que los precios del proveedor son confidenciales se va a considerar un Costo referencial por estación OTM y OLA como se muestra a continuación:

TABLA 5-2: COSTO SUMINISTRO DE EQUIPOS

Fuente: "HUAWEI TECHNOLOGIES" [HUA2008]

NO.	Item	Cantidad	Precio Unitario (USD)	Precio Total (USD)
1	OptiX OSN 6800 OLA	44	14,436.62	635,211.12
2	OptiX OSN 8800 OTM	12	1,372,186.06	16,466,232.74
	Precio Total de Equipos			17,101,443.87

El costo de instalación de los equipos puede considerarse un 10% del costo de suministro de los mismos.

5.1.2 Costo de Infraestructura: Energía y Tendido de F.O

La inversión de energía representa un 20% del Costo de Equipos (suministro + instalaciones), este es un valor utilizado frecuentemente en análisis de proyectos de telecomunicaciones.

Adicionalmente es necesario considerar la inversión necesaria para la instalación de la fibra óptica, en este caso la inversión será estimada en base a los costos referenciales del proyecto de Internexa con Telefonica del Peru. [INT2010]

TABLA 5-3: COSTO INFRAESTRUCTURA (TENDIDO F.O)

Fuente: "INTERNEXA: Negociación con TDP" [INT2010]

Tendido de F.O Aérea	S/.
Costo Metro Lineal con Soporte en Líneas de Alta Tensión	35
Costo Metro Lineal Fibra Óptica OPGW	8
Costo Empalme de Fibra Aérea	187
Costo Terminación y Conector	429

Considerando las distancias, y la cantidad de empalmes y conectores por amplificador calculados en el capítulo anterior es posible calcular que la inversión necesaria para la red supera los 300 Millones de Soles y, como se puede ver a continuación, los costos de Infraestructura para el Tendido de fibra óptica con soporte en Líneas de Alta Tensión representa el 65% del total de la inversión y los equipos de transmisión y la Energía representan el 35% restante.

TABLA 5-4: DETALLE DE LA INVERSIÓN (CAPEX)

Fuente: "INTERNEXA: Negociación con TDP" [INT2010]

Inversión	310,964,008 S/.	100.000000%
Equipos de Red	85,912,423 S/.	27.627771%
OTM OptiX OSN 8800 y OSN 6800		
OLA OptiX OSN 6800		
Energía	10,309,491 S/.	3.315332%
Instalación Equipos de Tx	9,622,191 S/.	3.094310%
Infraestructura	205,119,902 S/.	65.962586%
Tendido de Fibra Óptica OPGW con Soporte en Líneas de Alta Tensión	204,448,353 S/.	
Empalme de Fibra Aérea (Terminación y Conector)	671,550 S/.	

Para el caso de la operación y mantenimiento de la red, para redes de transmisión tradicionales se considera un 17% anual. Sin embargo como se ha mencionado en los beneficios de una red ASON/GMPLS sobre WDM es posible reducir en un 70% este costo, es por eso que finalmente se tiene un costo de operación y mantenimiento de 5.1% de la inversión de equipos y energía.

5.2 Estimación de los ingresos.

Las consideraciones y la metodología asumidas para la estimación de los ingresos totales dependen del tipo de servicio al que se le atribuya los ingresos.

Para el caso del servicio móvil se ha realizado, en el capítulo 3 la estimación de la del número de líneas móviles anuales hasta el año 2021 y la cantidad de minutos promedio generado por usuario. Con esta información es posible estimar el ingreso promedio por usuario (ARPU). Sin embargo es necesario tomar en cuenta algunas consideraciones adicionales.

Se tiene como dato la tarifa móvil-móvil y su gradual disminución desde el año 2010 hasta el año 2013, la cual también sirvió en el capítulo 3 para estimar el incremento del tráfico móvil – móvil. Sin embargo hay que tener en cuenta que el tráfico estimado no se factura totalmente con esta tarifa, existe el tema de la morosidad, y las promociones de los operadores de telefonía móvil, las del año 2010, asumiendo que ésta se mantendría constante por los siguientes años, se obtiene que el 24.7% de penetración de las ciudades atendidas. [OSI2010]

Para proyectos de este tipo no se puede atribuir todo el ingreso de los servicios finales a la infraestructura de transporte, de hacerlo de esa manera incurriríamos en un error, ya que para la provisión del servicio final es necesaria una red de agregación y una red de acceso. El factor que se aplica en estos casos varía anualmente pero generalmente se encuentra entre 10% y 15%. De manera práctica y para no complicar el análisis técnico-económico se va a considerar un factor de 12.5% de atribución del ingreso por servicios finales de voz móvil al transporte. Con esto obtenemos unos ingresos totales de 417 Mil Millones de Nuevos Soles durante los 10 años del proyecto. La tabla 5-1 muestra un mayor detalle de los ingresos correspondientes al servicio de telefonía móvil, los cuales irán incrementando en menor medida debido a la tendencia natural que están teniendo los servicios de voz.

Así mismo para esta evaluación, solo se considera la demanda incremental de las 11 ciudades atendidas ya que la ciudad de Lima tiene su propia infraestructura de transporte de gran capacidad. De la penetración del servicio móvil por departamento se obtiene que el 24.7% de los abonados móviles corresponden a la demanda adicional en los departamentos atendidos por el proyecto. [MON2010]

TABLA 5-5: INGRESOS SERVICIO DE VOZ MOVIL

Fuente: "OSIPTEL" [OSI2010]

TELEFONÍA MOVIL	2011	2012	2013	2014	2015	...	2021
Año							
Nro Líneas Móviles	29,054,752	29,635,847	29,970,732	30,255,454	30,485,395		32,800,170
Minutos Anuales (MM Mins.)	42.90	49.46	65.74	80.86	96.63		157.43
Minutos mes promedio que termina un abonado móvil	123.05	139.09	182.79	222.71	264.13		399.98
Procentaje Trafico Efectivo Facturado (incluye perdidas por morosidad, promociones, etc)	35%	35%	35%	30%	30%		22%
ARPU (S/.)	29.07	27.99	31.99	33.41	39.62	...	44.00
Ingresos Totales (Millones S/.)	26.12	25.65	29.65	31.26	37.35	...	44.63

Penetración promedio ciudades atendidas: 24.7%

Porcentaje del ingreso atribuido al transporte: 12.5%

Para el caso de los servicios de banda ancha en el Capítulo 3 analizamos de manera particular el caso del servicio de internet inalámbrico mediante tecnología WiMax, en vista del operador Ruso Yota que estaría iniciando operaciones en el Perú el año durante el 2011. No se tiene mucha información de los ingresos de este operador, pero sus cifras a Octubre del 2009 muestran un ARPU de US\$ 28. Adicionalmente información comercial de este operador muestra tarifas de US\$ 40 para acceso de 10MB. Finalmente se ha tomado un promedio y se ha estimado el ingreso promedio por usuario WiMAX en el Perú en 95.54 Nuevos Soles.

En el capítulo 3 se realizó la estimación de la cantidad anual de usuarios de este servicio en el Perú en base a un benchmarking con la situación de Yota en Rusia. Con estos datos es posible obtener los ingresos totales anuales por el servicio de acceso inalámbrico a internet usando tecnología WiMax como lo muestra la tabla 5-2.

La penetración de las ciudades atendidas en este caso es de 21% y el porcentaje del ingreso atribuido al transporte se mantiene en 12.5%

TABLA 5-6: INGRESOS SERVICIO INTERNET DE BA INALAMBRICO WiMAX

Fuente: “Telefónica del Perú – Yota del Perú” [CAB2010]

	2011	2012	2013	2014	2015	...	2021
Total Usuarios WiMax	36,000	104,446	172,892	241,338	309,784		720,461
ARPU (S/.)	95.54	95.54	95.54	95.54	95.54		95.54
Ingresos Totales (Miles de Soles)	2,426.9	7,041.0	11,655.2	16,269.3	20,883.5		48,568.4
Penetración promedio ciudades atendidas:	21%						
Porcentaje del ingreso atribuido al transporte:	12.5%						

Para el resto de los servicios de banda ancha para acceso a internet, sobre todo en la modalidad acceso fijo se ha tomado como base los precios por M-bit/s de las dos empresas establecidas que actualmente ofrecen este servicio usando tecnología ADSL, que es el caso de Telefónica del Perú; y cable módem, que es el caso de Claro (antes Telmex). Se han promediado estos precios por MB considerando el marketshare de cada una de estas empresas y se ha definido un precio por MB promedio. De la misma manera que con los servicios anteriores, se ha definido un porcentaje de penetración por las ciudades atendidas y la cuota de los ingresos por los servicios finales atribuida al transporte. La tabla 5-3 muestra los resultados anuales para el servicio de internet de banda ancha fijo. [TAL2010]

TABLA 5-7: INGRESOS SERVICIO INTERNET DE BANDA ANCHA FIJO

Fuente: "OSIPTEL" [OSI2010]

	2011	2012	2013	2014	2015	...	2021
Total Líneas	1,299,859	1,546,833	1,933,541	2,532,939	3,419,467		10,961,343
Total Consumo (Mbps)	131,546	197,685	267,989	443,771	838,453		8,736,191
Precio x Mbps	104	103	102	100	98		103
Ingresos Totales (MM S/.)	9.65	14.37	19.29	31.31	57.98		634.92

Factor de Concurrencia:	10%
Penetración promedio ciudades atendidas:	21%
Porcentaje del ingreso atribuido al transporte:	12.5%

Todos los ingresos por cada uno de estos servicios, junto con el CAPEX y OPEX de la red son ingresados en una maqueta que se ha elaborado con el fin de hacer el análisis de rentabilidad respectivo. En esta maqueta se ha considerado los costos directos, los cuales incluyen la depreciación del Inmovilizado Material (Equipos), así como la operación y mantenimiento de la red (OPEX). El flujo para el análisis de rentabilidad se encuentra en el Anexo 5, obteniéndose los siguientes resultados. [TAL2010]

TABLA 5-8: ANALISIS DE RENTABILIDAD: FLUJO DE CAJA

Fuente: "Telefónica del Perú" [TAL2010]

Tasa de descuento anual	10.10%
VAN S/.	351,455,413 S/.
VAN/INV	1.13
TIR	986.95%
Periodo de Recupero Nominal	7 años
Periodo de Recupero Descontado	8 años

Se han asumido algunas premisas en lo que respecta a Facilidades Técnicas pero la idea del capítulo era presentar un costo estimado referencial y mostrar que es completamente viable y rentable pensar en un proyecto de esta magnitud para el Perú, probablemente desplegándolo en diferentes fases.

Conclusiones, Recomendaciones y Trabajos Futuros

6.1 Recomendaciones

Se sugieren, a continuación, algunas recomendaciones a tener en cuenta sobre el presente proyecto:

- Se recomienda considerar que las proyecciones de la demanda se han realizado en base a un análisis conservador de la tendencia actual de los servicios de telecomunicaciones.
- Se recomienda tomar en cuenta que las cotizaciones de los proveedores son confidenciales y que para el cálculo de los costos de este proyecto se han usado herramientas propietarias. Sin embargo, se han usado precios referenciales de cada una de las partes que conforman todos los elementos necesarios para la red de transmisión.

6.2 Trabajos Futuros

Se proponen a continuación diversos trabajos derivados del presente proyecto:

- Realizar un análisis detallado de la inversión en el caso de las instalaciones de la fibra óptica aérea considerando la distancia para el tendido en las líneas de transmisión eléctrica. Este cálculo daría una idea más clara de los costos de planta externa.
- Hacer un análisis más exacto de la solución técnica y evaluar las opciones adicionales en cuanto al diseño de la topología. Es recomendable, para este

trabajo futuro, contar con una herramienta de software de simulación de redes basadas en protocolos GMPLS para el plano de control, tal como el NS2 para Linux o GLASS (GMPLS Lightwave Agile Switching Simulator).

6.3 Conclusiones

Finalizado el presente proyecto de tesis, se puede llegar a las siguientes conclusiones:

- Las redes de transmisión ópticas basadas en DWDM con tecnología ASON/GMPLS forman parte de una tendencia para las redes de backbone que solucionan las principales preocupaciones de los operadores de servicios de telecomunicaciones al momento de decidir si invertir en infraestructura de banda ancha o no.
- Esta tecnología de transmisión permite a los operadores reducir considerablemente el OPEX, maximizar la eficiencia en el consumo de ancho de banda de la red y cumplir con las exigencias de disponibilidad red gracias a sus mecanismos de protección y restauración. Asimismo esta tecnología permite la posibilidad de brindar diferentes esquemas de calidad de servicio según los requerimientos de diferentes clientes.
- El estudio de mercado realizado demuestra que la tendencia en el Perú, así como en otros países, es llegar a anchos de banda cada vez mas importantes debido al desarrollo de tecnologías de acceso en las que la fibra óptica esta cada vez más cerca del usuario final. Estas demandas de ancho de banda van a requerir una capacidad de transmisión del orden de los T-bits por enlace
- El diseño de red que se propone en el presente trabajo de tesis busca aprovechar al máximo características y funcionalidades de los equipos de transmisión propuestos. Es decir una topología con estaciones OTM que tengan más de dos rutas adyacentes para aprovechar la capacidad ROADM de los equipos.
- El análisis técnico–económico demuestra que la inversión más fuerte es en el rubro de la infraestructura, es decir la instalación de la fibra óptica aérea; la cual representa un 66% de la inversión total. Esto se debe principalmente a las distancias cubiertas para interconectar con fibra óptica, en topología de Malla, a 12 departamentos del Sur. A pesar de todas premisas asumidas en lo que respecta a facilidades técnicas, la idea del último capítulo de este trabajo de tesis es estimar un costo referencial y demostrar que es completamente viable desplegar, en diferentes fases, un proyecto de esta magnitud para el Perú.

Bibliografía

[ABO2001]

ABOUL-MAGD, Osama, Bilel JAMOUSSE, Stephen SHEW

2001 “Automatic Switched Optical Network (ASON) Architecture and Its Related Protocols”. Internet Engineering Task Force. Consulta: 06 de Mayo de 2010.

<<http://tools.ietf.org/html/draft-aboulmagd-ipo-ason-00>>

[ALU2008]

ALCATEL-LUCENT.

2008 “Streamlined cost-effective microwave transformation”. Consulta: 01 de Mayo de 2010.

<http://www.alcatel-lucent.com/wps/DocumentStreamerServlet?LMSG_CABINET=Docs_and_Resource_Ctr&LMSG_CONTENT_FILE=Brochures/Alcatel-Lucent_9500-MPR_brochure_NA.pdf>

[BAR2009]

BARTRA, Gumercindo.

2009 *Técnicas en Redes IP Capítulo 2: Protocolos de Enrutamiento: OSPF* [diapositivas]. Lima: Pontificia Universidad Católica Del Perú, Sección Ing. de las Telecomunicaciones.

[BCR2009]

BANCO CENTRAL DE RESERVA DEL PERÚ.

2009 “Consulta a Series Estadísticas”. Banco Central de Reserva del Perú. Consulta: 15 de Abril de 2010.

<<http://estadisticas.bcrp.gob.pe/index.asp?sFrecuencia=A>>

[CRE2005]

CREST ZOU, Sally Gao.

2005 “Painting a wonderful future with ASON – The experience of Telemar, in Brazil”. Huawei Technologies. Consulta: 05 de Abril de 2010

<<http://www.huawei.com/publications/view.do?id=290&cid=95&pid=61>>

[ECI2007]

ECI TELECOM.

2007 “ASON/GMPLS in the XDM Product Line – Technical Overview”. ECI Telecom. Consulta 05 de Mayo de 2010

<http://www.ecitele.com/Products/NG-SDHSONET/Metro-core/XDM3000/ASON_GMPLS_Technical_Overview.pdf>

[FOI2008]

FOISEL, Hans.

2008 *ASON/GMPLS Inter-Domain Interfaces, Integration of Control and Data Plane Functions* [diapositivas]. Optical Interworking Forum. Consulta: 22 de Mayo de 2010.

<<http://www.oiforum.com/public/downloads/060322-ASON-GMPLS-InterDomainInterfaces-final.pdf>>

[HUA2007]

HUAWEI TECHNOLOGIES.

2007 *ASON/GMPLS Solution for NG-SDH/OCS* [diapositivas].

[INE2009]

INSTITUTO NACIONAL DE ESTADÍSTICA E INFORMÁTICA.

2009 “Perú en Cifras”. Instituto Nacional de Estadística e Informática. Consulta: 15 de Abril de 2010.

<<http://www.inei.gob.pe/>>

[JAJ2004]

JAJSZCZYK, Andrzej.

2004 “Control Plane for Optical Networks: The ASON Approach”. AGH University of Science and Technology, Krakow, Poland. Consulta: 20 de Mayo de 2010.

<<http://www.china-cic.org.cn/english/digital%20library/200412/24.pdf>>

[KOM2002]

KOMPELLA, Kireeti y Yakov REKHTER.

2002 "LSP Hierarchy with Generalized MPLS TE". Internet Engineering Task Force. Consulta: 09 de Junio de 2010

<<http://tools.ietf.org/html/draft-aboulmagd-ipo-ason-00>>

[LOB2001]

LOBO POYO, Jesús Felipe y Warzanskyj GARCÍA WSELOD.

2001 "Redes de transmisión todo ópticas: independencia frente a las redes de transporte". Telefónica Investigación y Desarrollo. Consulta: 02 de Mayo de 2010.

<<http://www.colegiosma.com/DEP-ELE/stlf/Sistemas%20de%20Telefon%C3%ADa/Art%C3%ADculos/Redes%20de%20transmisi%C3%B3n%20todo%20%C3%B3pticas%20independencia%20frente%20a%20las.pdf>>

[MAR2000]

MARCONI.

2000 *Introduction to the Synchronous Digital Hierarchy – SDH Basics*
[diapositivas]

[MAR2000]

MARCONI.

2000 *Introduction to the Synchronous Digital Hierarchy – SDH Basics*
[diapositivas]

[MAS2006]

MASPIN BRUIN, Xavier.

2006 "Mecanismos de Encaminamiento Dinámico en Redes ASON". Universidad Politécnica de Cataluña. Consulta: 13 de Mayo de 2010.

<<http://www.cttc.cat/resources/doc/070820-03-masip-tel-id2002-62861.pdf>>

[MTC2009]

MINISTERIO DE TRANSPORTES Y COMUNICACIONES.

2009 “Mapa de Infraestructura de Telecomunicaciones”. Ministerio de Transportes y Comunicaciones. Consulta: 04 de Abril de 2010.
<<http://mtcgeo.mtc.gob.pe/website/telecom/viewer.htm>>

[OSI2010]

ORGANISMO SUPERVISOR DE INVERSIÓN PRIVADA EN TELECOMUNICACIONES.

2010 “Indicadores Estadísticos del Sector de Telecomunicaciones: primer trimestre 2010”. Organismo Supervisor de la Inversión Privada en Telecomunicaciones. Consulta: 15 de Agosto de 2010.
<<http://www.osiptel.gob.pe/WebSiteAjax/WebFormGeneral/sector/VerInfoEstadistica.aspx>>

[RAM2005]

DO CARMO, Ramalho.

2005 “The construction of a long distance ASON network”. Huawei Technologies. Consulta: 05 de Abril de 2010
<:<http://www.huawei.com/publications/view.do?id=291&cid=95&pid=61>>

[SAL1999]

SALZMAN, Mike.

1999 *10 Gigabit Ethernet: Applications Requirements and Proposed Layer Architecture* [diapositivas]. Lucent Technologies. Consulta: 05 de Mayo de 2010.
<http://grouper.ieee.org/groups/802/3/10G_study/public/june99/salzman_1_0699.pdf>

[SCH2004]

SCHNEUWLY, Dominik.

2004 Synchronisation in Optical Transport Networks (OTN). OSCILLOQUARTZ SA.
Consulta: 22 de Noviembre de 2010.
<<http://www.telecom-sync.com/pdf/2004/sync%20+%20optical%20trans%20nw%20-%20Schneuwly.pdf>>

[SEH2002]

SHEW, Stephen.

2002 *Data over transport with ASON – session 12: optical network clients and services*. Nortel Networks. Consulta: 01 de Junio de 2010.
<http://www.itu.int/itudoc/itu-t/workshop/optical/s12-p02r_pp7.ppt>

[ZAP2010]

ZAPATA, Lenin.

2010 *Red de Transporte Nacional* [diapositivas]. Presentación para la Dirección de Negocio Mayorista de Telefónica del Perú.

[TDP2008]

TELEFÓNICA DEL PERÚ

2008 *Curso Configuraciones Típicas de Atención al Cliente* [diapositivas]. Lima: Telefónica del Perú.

[TDP2009]

TELEFÓNICA DEL PERÚ.

2009 *Redes Metro Ethernet* [diapositivas]. Lima: Dirección de Negocio Mayorista de Telefónica del Perú.

[VAS2004]

VASSEUR JEAN-PHILIPPE, Mario PICKAVET y Piet DEMEESTR.

2004 “Network recovery: protection and restoration of optical, SONET-SDH, IP, MPLS”. Elsevier. Consulta 13 de Mayo de 2010

[VEL2006]

VELASCO, Luis.

2006 “Alta disponibilidad en redes ASON/GMPLS”. Universidad Politécnica De Catalunya. Consulta: 03 de Mayo de 2010.
<http://personals.ac.upc.edu/lvelasco/docs/research/2006_Telecom_I+D.pdf>

[YAÑ2006]

YAÑEZ DE LA RIVERA, Rene.

2006 “Redes ópticas Inteligentes”. Conferencia presentada en el Instituto Superior Politécnico José Antonio Echeverría. La Habana. Consulta: 10 de Mayo de 2010.

<<http://www.bibliociencias.cu/gsd/collect/eventos/index/assoc/HASH2321.dir/doc.pdf>>

[MON2010]

MONTES, Luis

2010 Asesoría: Métodos de estimación de la demanda para dimensionamiento de redes de transporte. Pontificia Universidad Católica del Perú. Agosto, 2010

[TAL2010]

TALAVERA, Alexander

2010 Asesoría: Ancho de banda de salida a internet en el mercado Peruano y estimación del consumo de capacidad para servicios de banda ancha. Telefónica del Perú.

[CAB2010]

CABALLERO, Guadalupe

2010 Captura del ingreso de operadores de banda ancha en el Perú – El ingreso de Yota en el Perú [diapositivas]. Telefónica del Perú. Septiembre 2010

[IDS2010]

2006 Barómetro de CISCO de Banda Ancha en el Perú, 2005-2010. Resultados a Diciembre 2009. IDC Technologies.

[IWS2010]

2010 Internet World Stats: Usage and Population Statics

Consulta: 09 de Septiembre de 2010

<<http://www.internetworldstats.com/euro/ru.htm>>

[COM2010]

EL COMERCIO PERÚ

2010 Noticia del 10 de Setiembre de 2010. “Telefónica reducirá hasta en casi 50 por ciento las tarifas de llamadas de fijo a celular Movistar”.

[MIN2005]

MINISTERIO DE ENERGÍA Y MINAS

2005 Mapa de líneas de Transmisión Eléctrica 2005. Concesiones Definitivas de Transmisión. Consulta: 01 Abril 2010

<<http://www.minem.gob.pe>>

[MIN2005]

MINISTERIO DE ENERGÍA Y MINAS

2005 Mapa de líneas de Transmisión Eléctrica 2005. Concesiones Definitivas de Transmisión. Consulta: 01 Abril 2010

<<http://www.minem.gob.pe>>

[PRY2006]

PRYSMIAN CABLES & SYSTEMS

2006 OPGW Cable System – The PRYSMIAN solution for the integration of telecommunications networks on high voltage overhead lines.

Consulta: 05 Octubre 2010

<http://www.prysmian.com/export/sites/prysmian-com/attach/pdf/telecom/opgw_system_general_brochure.pdf>

[ITU1992]

INTERNATIONAL TELECOMMUNICATION UNION

1992 Construction, Installation and Protection of Cable and other elements of Outside Plant. Optical Fiber Joints. Recommendation L.12. Geneva.

<<http://eu.sabotage.org/www/ITU/L/L0012e.pdf>>

[SAL2009]

SALOME, Omar.

2009 *Comunicaciones Ópticas Clase 24: Consideraciones para diseño de redes – Multiplexación* [diapositivas]. Lima: Pontificia Universidad Católica Del Perú, Sección Ing. de las Telecomunicaciones.

[SAL2010]

SALOME, Omar.

2010 *Comunicaciones Ópticas Clase 18: Cables de Fibra Óptica*
[diapositivas]. Lima: Pontificia Universidad Católica Del Perú, Sección
Ing. de las Telecomunicaciones.

[HUA2008]

HUAWEI TECHNOLOGIES

2008 OptiX OSN 6800 Intelligent Optical Transport Platform V100R004
Product Description. Huawei Technologies.

[LEE2009]

HUAWEI TECHNOLOGIES

2009 ASON/GMPLS Development and Deployment. Young Lee. Huawei
Technologies, USA

[PIL2010]

PILCO, Erick

2010 Optix OSN 6800 & 8800 Product Presentation. Optical Network
Marketing Support Department. Huawei Technologies, Perú.

[ALU2010]

ALCATEL - LUCENT

2009 1870 Transport Tera Switch. Addressing the 'exaflood' challenge.
Alcatel-Lucent.

[INT2010]

INTERNEXA

2010 INTERNEXA: Documento De Negociación Con Telefónica Del Perú
2009-2010

Anexos

Anexo1: Componentes del Plano de Control.

Se presenta en este anexo una descripción de cada uno de los componentes del plano de control de la arquitectura de redes ASON/GMPLS y sus respectivas funciones.

Anexo2: Optix OSN 6800: Descripción del Producto.

Se presenta en este anexo la descripción del equipo OptiX OSN 6800 de Huawei, el cual contiene la mayoría de funcionalidades descritas en la tesis.

Anexo3: Análisis General: Procesamiento de Datos.

Se presenta en este anexo diferentes hojas con el análisis realizado para la estimación de la demanda de cada servicio, los cálculos de capacidad de transmisión de cada ruta y el cálculo de los ingresos para cada servicio

Anexo4: Detalle de la Configuración de la Red

Se presenta en este anexo el resultado de la configuración de la red obtenido de un software propietario en base a los parámetros de la red y la fibra óptica.

Anexo5: Análisis de Rentabilidad: Flujo de Caja

Se presenta en este anexo el Flujo de Caja o “Business Case” del proyecto

