

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA

FACULTAD DE INGENIERÍA ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA



**OPTIMIZACIÓN DE LA RED DE TRANSPORTE DE UN OPERADOR
APLICANDO LA ARQUITECTURA DE RED ÓPTICA CONMUTADA
AUTOMÁTICA CON TECNOLOGÍA DWDM**

INFORME DE SUFICIENCIA

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:
INGENIERO ELECTRÓNICO**

PRESENTADO POR:

ROGER HUARCAYA HUAMALI

PROMOCIÓN

2008-II

LIMA-PERÚ

2013

**OPTIMIZACIÓN DE LA RED DE TRANSPORTE DE UN OPERADOR APLICANDO LA
ARQUITECTURA DE RED ÓPTICA CONMUTADA AUTOMÁTICA CON
TECNOLOGÍA DWDM**

Mis agradecimientos:

A dios todopoderoso por guiarme, a mis padres Felipe y Bertha por su apoyo, a la UNI y sus docentes por la educación que me brindó y a mis amigos y compañeros donde laboró.

SUMARIO

En el presente informe de suficiencia se analiza la red óptica conmutada automática, que se implementó como una mejora en la red de respaldo existente con tecnología SDH.

La solución permite ampliar la capacidad de transmisión aprovechando el medio físico existente, ya que se migra de la red SDH (*Synchronous Digital Hierarchy*) existente a una red DWDM (*Dense Wavelength Division Multiplexing*), además se implementa la arquitectura de red óptica conmutada automática, la cual nos ayuda a optimizar la disponibilidad de los diferentes servicios del operador de telecomunicaciones ante continuos cortes de su fibra óptica existente e instalada en la zona sur del Perú, afectando principalmente a los polos de desarrollo como Tacna, Arequipa y Juliaca.

La solución consistió en la reutilización de la fibra óptica mediante el cambio de equipamiento en los nodos que transporten una mayor capacidad de transmisión en el orden de los 10Gbps, además el despliegue y la configuración con la implementación de la arquitectura de red óptica conmutada automática como red de restauración en los diferentes nodos, que se interconectan con la fibra óptica arrendada a Redesur.

En el marco teórico se ha resumido la información relacionada a las redes ASON a fin de que se pueda comprender la solución realizada.

Finalmente, la estimación de costos para la implementación del proyecto, las conclusiones y observaciones más resaltantes.

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO I	
PLANTEAMIENTO DE INGENIERÍA DEL PROBLEMA	2
1.1 Objetivo del trabajo.....	2
1.2 Alcances.....	2
1.3 Realidad de la red de transporte en la zona sur del Perú	2
1.4 Formulación del problema de ingeniería.....	4
CAPÍTULO II	
MARCO TEÓRICO CONCEPTUAL	7
2.1 Arquitectura de la red óptica conmutada automática (ASON).....	7
2.1.1 Plano de transporte	8
2.1.2 Plano de gestión.....	12
2.1.3 Plano de control.....	13
2.2 Interfaces en la red óptica conmutada automática.....	14
2.3 Estructura y función de la red ASON	15
2.4 Red de protección y restauración	16
2.4.1 Protección y restauración en una red ASON	18
2.5 Software de la red óptica conmutada automática	18
2.6 Protocolos de la red óptica conmutada automática.....	20
2.7 Descubrimiento automático de la topología de red	21
2.8 Funciones de red, configuración de servicio punto a punto	24
2.9 Acuerdo de nivel de servicio (SLA).....	24
2.9.1 Servicio diamante	25
2.10 Red de transporte óptica (OTN).....	26
CAPÍTULO III	
METODOLOGÍA PARA LA SOLUCIÓN DEL PROBLEMA	30
3.1 Matriz de tráfico.....	30
3.2 Especificaciones de la fibra óptica	31
3.3 Colocación de equipo de transporte	34
3.4 DWDM tradicional y ASON DWDM.....	37

3.5	Estructuras realizadas	38
3.5.1	Parámetros ópticos en la fibra óptica de Redesur.....	39
3.5.2	Identificación de nodos y bastidores	44
3.5.3	Cantidad de equipos a instalar	44
3.5.4	Esquema de fibras y tarjeterías de los equipos DWDM	44
3.5.5	Parámetros de lambdas usados	51
3.5.6	Topología implementada entre nodos.....	53
3.5.7	Configuración del sistema	54
3.5.8	Tipo de servicio ASON	57
3.6	Cross-conexión entre módulos ópticos	58
3.7	Respaldo de servicios y disponibilidad	65
CAPÍTULO IV		
ANÁLISIS Y PRESENTACIÓN DE RESULTADOS		73
4.1	Arrendamiento de la fibra óptica a Redesur.....	73
4.2	Costo de equipamiento.....	73
4.3	Cronograma	75
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES		77
ANEXO A		
Glosario de términos.....		79
ANEXO B		
Longitudes de onda en la banda C con 80 canales.....		82
BIBLIOGRAFÍA		85

INTRODUCCIÓN

El proyecto de ingeniería fue desarrollado para brindar una nueva plataforma de tecnología de red de transporte que permitirá al operador de telecomunicaciones brindar una mayor disponibilidad de sus servicios y una ampliación de la capacidad.

Se podría pensar que la única solución para ampliar la capacidad de respaldo de un enlace de comunicación sería la incorporación de más enlaces físicos, pero para evitar un mayor costo, la mejor solución ha sido la optimización de los recursos, la cual se ha venido realizando mediante la implementación de diversas tecnologías, en este caso la red óptica conmutada automática.

Las redes ópticas de conmutación automática como una evolución de las redes ópticas de transporte ofrecen a las operadoras una nueva plataforma, lo que reduce mucho los costos y simplifica el manejo de la red, así como la posibilidad de conmutar canales ópticos, permitiendo una gran flexibilidad en la estructura de la red de transporte.

El informe esta dividido en cuatro capítulos:

- Capítulo I: En este capítulo se realiza el planteamiento de ingeniería del problema, para ello inicialmente se describe el problema y luego se expone los objetivos del informe, también se evalúa el problema y se precisan los alcances del informe, para finalmente presentar una síntesis del sistema inicial.
- Capítulo II: Este capítulo se enfoca en el análisis de la red óptica conmutada automática, estos conceptos son necesarios para entender los términos, protocolos y estándares aplicables en la implementación.
- Capítulo III: En este capítulo se detalla los trabajos realizados en el proyecto, desde la colocación de equipamiento con tecnología DWDM, topología, cross-conexión de los módulos ópticos y configuración del sistema.
- Capítulo IV: En este capítulo se refiere al análisis y presentación de resultados, costo de equipamiento y cronograma del proyecto.

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DE INGENIERÍA DEL PROBLEMA

En este capítulo se expondrá los objetivos y alcance del presente informe, el planteamiento de ingeniería del problema y el diagrama inicial de la red de fibra óptica de Redesur

1.1 Objetivo del trabajo

El objetivo del presente informe es analizar la arquitectura de la red óptica conmutada automática y su implementación en la mejora de la disponibilidad y fiabilidad de la red de transporte en el sur del Perú. Esto implica:

Renovar el equipamiento actual de la red de transporte.

Aplicar conceptos de la red de transporte óptica (Optical Transport Network, OTN) con la finalidad de mejorar el uso y gestión de recursos.

1.2 Alcances

El informe se enfoca en el análisis de la red óptica conmutada automática, implementada en la zona sur del Perú, usando la fibra óptica aérea instalada por la empresa Eléctrica del sur, con la finalidad de mejorar la disponibilidad de los servicios de voz y data en las ciudades de Tacna, Arequipa y Juliaca ante cortes de la fibra óptica nacional.

Para este informe no se contempla el planeamiento de migración (tiempo de afectación, impacto sobre los servicios ya aprovisionados).

1.3 Realidad de la red de transporte en la zona sur del Perú

Los sistemas de telecomunicaciones requieren no sólo de redes de acceso para la prestación de sus servicios sino que necesitan de una red de transporte (backbone) que permita transportar la información a altas velocidades entre ciudades, es por ello que, estas redes se diseñan en base al tendido de fibra óptica y radioenlaces.

En el caso particular de Perú, la red de transporte está compuesta de un backbone de fibra óptica en toda la zona de la costa llamada la fibra óptica nacional y la zona de la sierra la llamada fibra óptica de los andes, enlaces de microondas para el interior del país especialmente entre la zona de Cusco-Jajallacta-Chiaraje-Juliaca 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 transporte de fibra óptica nacional utiliza principalmente tecnología de transporte TDM (*Time Division Multiplexing*, en el cual el ancho de banda total del medio de transmisión es asignado a cada canal durante una fracción del tiempo total) basada en el estándar SDH (*Synchronous Digital Hierarchy* que significa Jerarquía Digital Síncrona) mediante equipos que ofrecen funcionalidad de multiplexores de inserción y extracción las cuales soportan interfaces desde un STM1 (155 Mbps) hasta un STM64 (10Gbps) o 10 Gigabit Ethernet (GE). La red ha ido evolucionando poco a poco a una red de transporte óptica (OTN) que cuenta, en algunas localidades, con equipos multiplexores de inserción y extracción óptica de tecnología DWDM.

La red de transporte de la zona sur del Perú 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.
2. Backbone de penetración, consiste en rutas de fibra óptica que se extienden del backbone panamericano hacia la sierra. Estas rutas son Arequipa – Juliaca, Arequipa – Cusco.
3. Backbone de Redesur, consiste en una red de fibra óptica aérea que permite interconectar las ciudades del Sur del Perú. Estas rutas son Arequipa-Moquegua, Tacna-Moquegua y Puno-Moquegua.

La Figura 1.1 a continuación nos muestra como ha desplegado el operador su fibra óptica en la zona sur del Perú, para las ciudades de Arequipa, Juliaca, Puno, Moquegua, Tacna y Desaguadero, la línea de color purpura nos indica la fibra óptica aérea de Redesur.

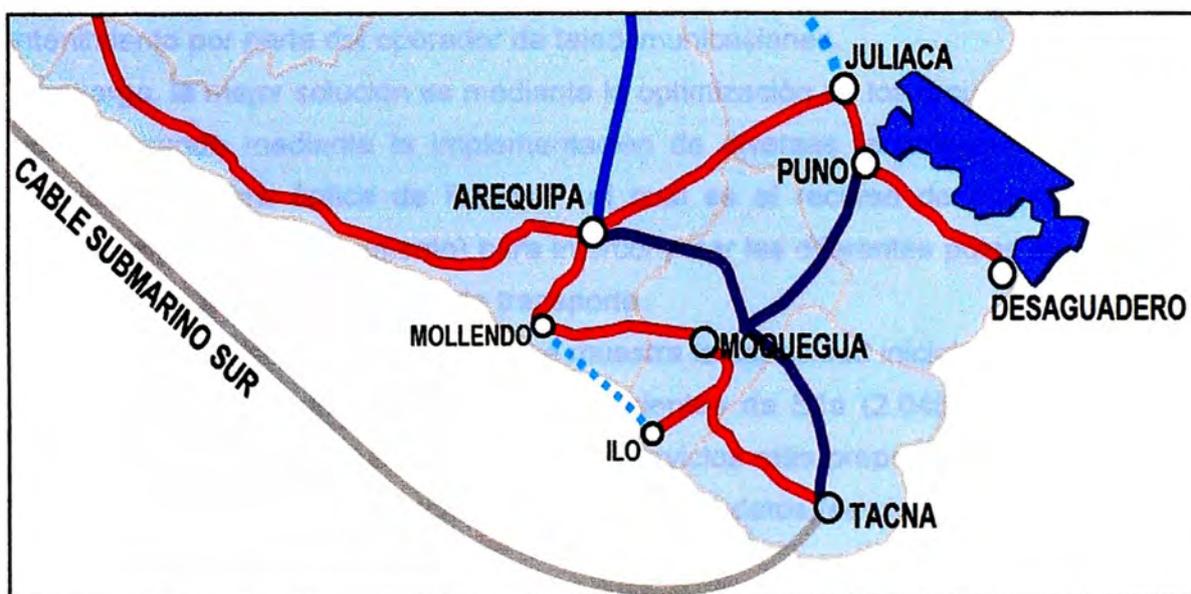


Figura 1.1: Fibra óptica desplegada por el operador (Fuente: Elab. Propia)

1.4 Formulación del problema de ingeniería

El backbone de Redesur, nos permite interconectar una variedad de ciudades importantes como Arequipa, Tacna, Juliaca, Puno, Desaguadero y Cusco, en su totalidad es utilizada como una red de protección de diferentes servicios tanto de banda ancha, voz fija, CATV y servicios arrendados por otros operadores de telecomunicaciones, según la Tabla 1.1 se muestra la capacidad de la red antes de la implementación de la arquitectura de red óptica conmutada automática y la Figura 1.3 nos muestra el diagrama de bloques de la fibra óptica de Redesur.

Tabla 1.1 Capacidad inicial de enlaces en Redesur

Enlace	Capacidad total
PUNO-MOQUEGUA	1-STM16
MOQUEGUA-AREQUIPA	1-STM16
TACNA-MOQUEGUA	1-STM16

La infraestructura está formada por multiplexores de inserción y extracción (ADM) con tecnología SDH, donde el grado de ocupación está al 90%, esta red está configurada con un tipo de protección de conexión de subred SDH (SNCP), la cual hace conmutar un nivel de servicio como E1 y STM1, cuando se produce una falla en la ruta principal.

El problema en el sistema inicial implementado en la fibra óptica de Redesur se enfoca principalmente en su capacidad de transporte y protección la cual es de 1-STM16, esta capacidad de protección de reserva es asignada permanentemente, se podría pensar que la única solución para ampliar la capacidad de enlace sería la implementación de más enlaces físicos lo que implicaría invertir en más equipamiento, configuración y mantenimiento por parte del operador de telecomunicaciones.

Sin embargo, la mejor solución es mediante la optimización de los recursos, la cual se ha venido realizando mediante la implementación de diversas tecnologías, en este caso manteniendo la fibra óptica de Redesur, el cual es el recurso de mayor importancia (debido al costo de arrendamiento) para interconectar las diferentes polos de crecimiento en nuestro país a través de la red de transporte.

Para un mejor análisis en la Figura 1.2 se muestra la capacidad inicial de protecciones en la red de fibra óptica de Redesur en equivalentes de E1s (2.048 Mbps) antes de la implementación de la red ASON, donde los servicios más preponderantes están dados por la banda ancha, móviles (servicios de 2G y 3G) y datos (servicios de IP-VPN, Internet dedicado y otros)

En la Figura 1.3, se detalla el diagrama del sistema inicial de la fibra óptica de Redesur, la cual está conformado por los equipos de transporte en los nodos de Arequipa, Juliaca,

Puno, Moquegua y Tacna, además se muestra la fibra óptica propia del operador la cual está conformado por los nodos de Tincopalpa y Las Salinas las cuales interconectan los nodos de Juliaca y Arequipa; y por la costa los nodos desde San Jose hacia Camiara los cuales interconectan los nodos de Arequipa y Tacna, cabe señalar que en las fibras propias del operador se han implementado una red de transporte con tecnología DWDM (Multiplexación por división en longitudes de onda densas) las cuales están conformados por multiplexores ópticos de inserción-extracción y equipos amplificadores de línea óptica (OLA), solamente se implementó la tecnología SDH (Jerarquía Digital Síncrona) en la red de fibra óptica de Redesur.

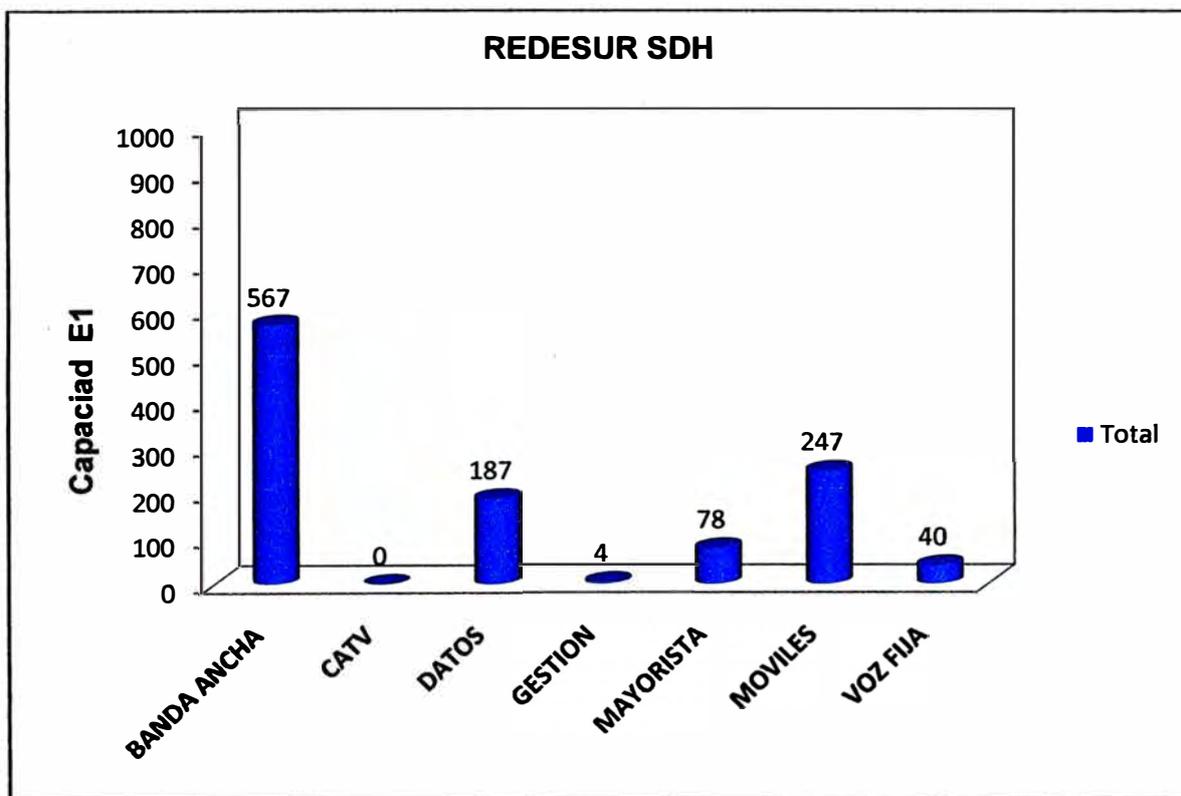


Figura 1.2: Capacidad en E1s protegidos por Redesur

Fuente: Elab. Propia

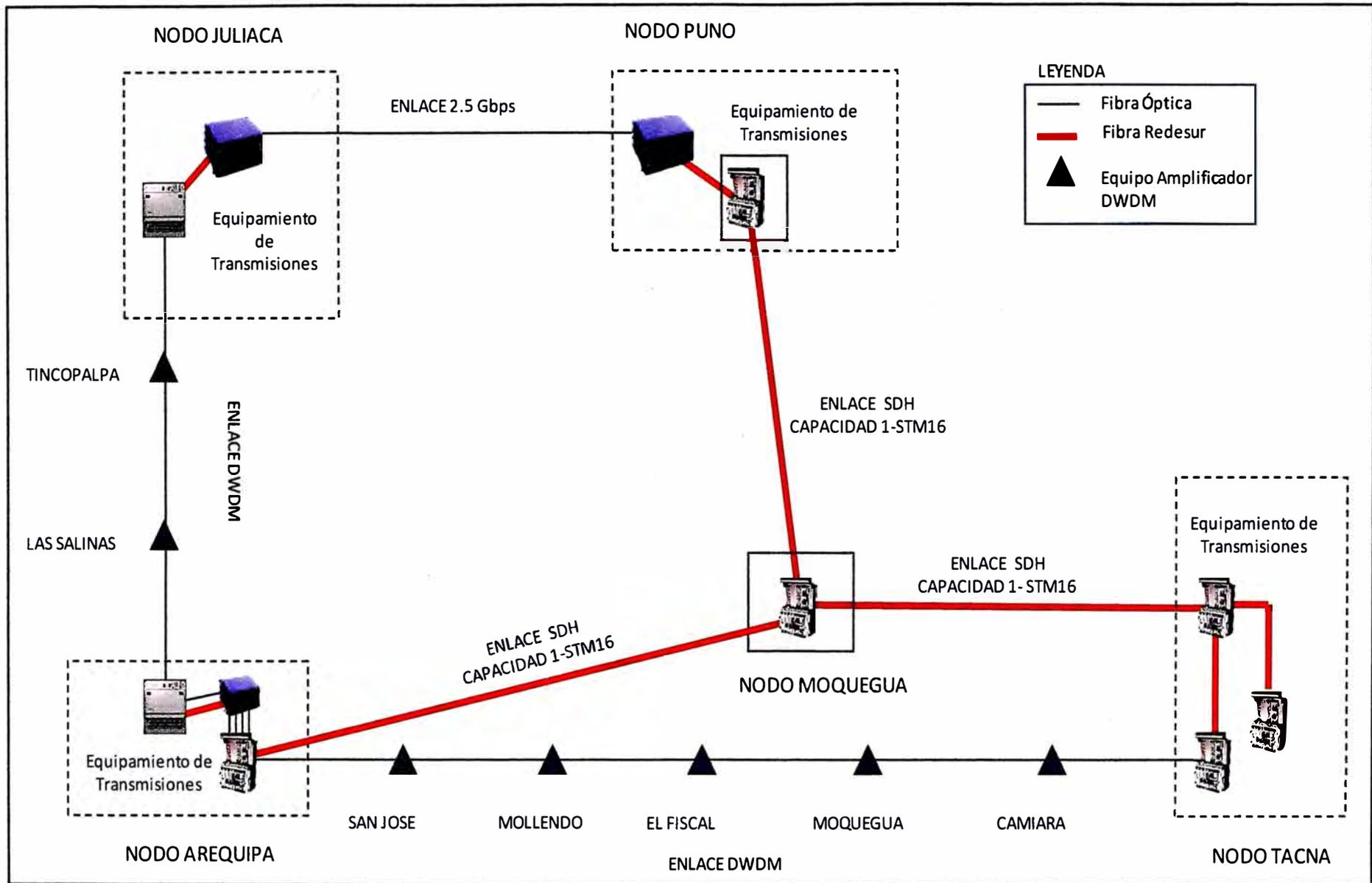


Figura 1.3: Diagrama del sistema inicial de la fibra óptica de Redesur (Fuente: Elab. Propia)

CAPITULO II

MARCO TEÓRICO CONCEPTUAL

Este capítulo se expone las bases teóricas conceptuales más importantes para la comprensión de un sistema de red óptica conmutada automática, desde las capas que los componen, interfaces así como los protocolos que utilizan para su configuración. Finalmente se describirá la red de transporte óptica, su estructura de capas y el proceso de encapsulamiento de la señal cliente en este tipo de red.

2.1 Arquitectura de la red óptica conmutada automática (ASON)

La arquitectura para las redes ASON es definida en octubre del 2001 por la ITU-T en la recomendación G.8080 la cual 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 red.

ASON es un modelo de referencia que describe la arquitectura y los requisitos que debe satisfacer una red de transporte óptica de conmutación automática.



Figura 2.1: Arquitectura de la red óptica conmutada automática

Fuente: Referencia [4]

Esta arquitectura se basa en los conceptos de los protocolos utilizados en gran medida en las redes de transporte de telecomunicaciones, tales como SONET/SDH, ATM y SS7, entre algunas de las funcionalidades de ASON se encuentra que se da un eficiente

soporte para el aprovisionamiento, re-enrutamiento y restauración de las redes “punto a punto”, además es una red óptica de transporte que tiene una capacidad de conexión dinámica, esta funcionalidad se consigue utilizando un plano de control que realiza la señalización, descubrimiento de recursos y enrutamiento, un plano de transporte que representa los recursos funcionales de la red óptica que transporta información de usuario entre nodos y finalmente, el plano de gestión incluye la supervisión de los planos de transporte y de control, además de la coordinación de la operación del sistema completo.

2.1.1 Plano de transporte

El plano de transporte es el responsable de las funciones de conmutación, transporte y multiplexación de los servicios, 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 o equipos de acceso.

El plano de transporte está representado por la red DWDM, esta tecnología por multiplexación por división en longitudes de onda (WDM) es la transmisión de múltiples señales laser a diferentes longitudes de onda en la misma dirección, al mismo tiempo y sobre el mismo hilo de fibra.

El principio de funcionamiento de WDM y DWDM (Dense WDM) se basa en el transporte de varios flujos de información, cada uno codificado sobre una longitud de onda distinta y multiplexados dentro de una única fibra, de esta manera se logra incrementar de manera considerable la capacidad de las redes de fibra óptica, tal como se muestra en la Figura 2.2.

La diferencia entre WDM y DWDM es fundamentalmente el rango, cuando el número de longitud de onda multiplexados es superior a ocho, se está hablando de DWDM; esta tecnología permite alcanzar altas densidades de empaquetado de portadoras dentro de una sola fibra óptica, en ella son típicos los valores de 32, 40 ó 80 longitudes de onda por fibra, pudiendo llegar en el caso de enlaces submarinos hasta 128 o incluso 256.

DWDM espacia las longitudes de onda más estrechamente que WDM, por lo tanto tiene una gran capacidad total, para estos sistemas el intervalo entre canales es igual o menor que 3.2nm. La ITU-T ha estandarizado este espaciado normalizando una mínima separación de longitudes de onda de 100GHz (0.8 nm), también está la posibilidad de separación de 200GHz (1.6nm) y 400 GHz (3.2nm), es importante tener en cuenta que WDM y DWDM utilizan fibra monomodo.

En la Figura 2.2 se muestra el esquema del funcionamiento de la red WDM, conformado por las señales ópticas en diferentes frecuencias, multiplexor, amplificador óptico, demultiplexor y la fibra óptica.

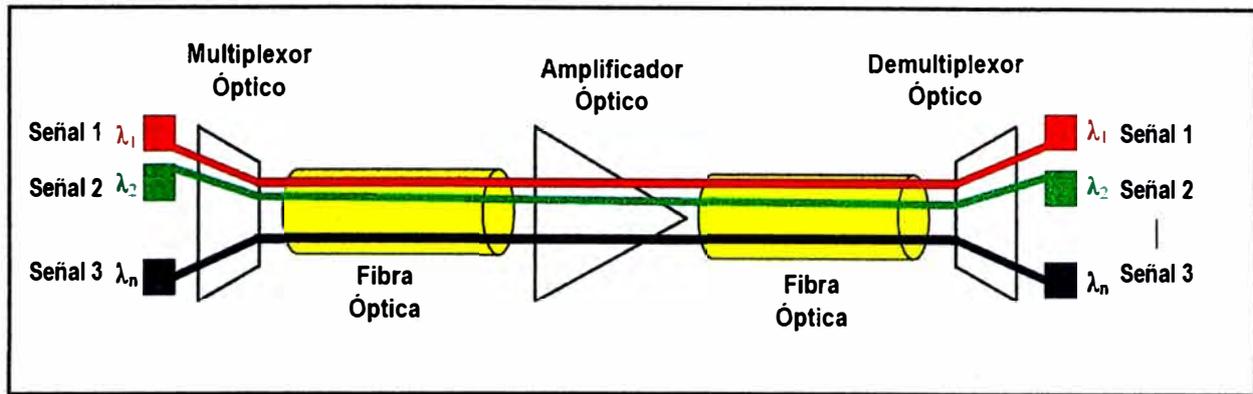


Figura 2.2: Funcionamiento de la red WDM

Fuente: Redes WDM

Entre los componentes principales para el sistema tenemos:

a) Equipo terminal WDM transmisión

Como se puede observar en la Figura 2.3 el equipo terminal de transmisión en un sistema WDM consta de los siguientes elementos: transpondedor de transmisión, multiplexor óptico, amplificador óptico, compensadores de dispersión, interfaces ópticas.

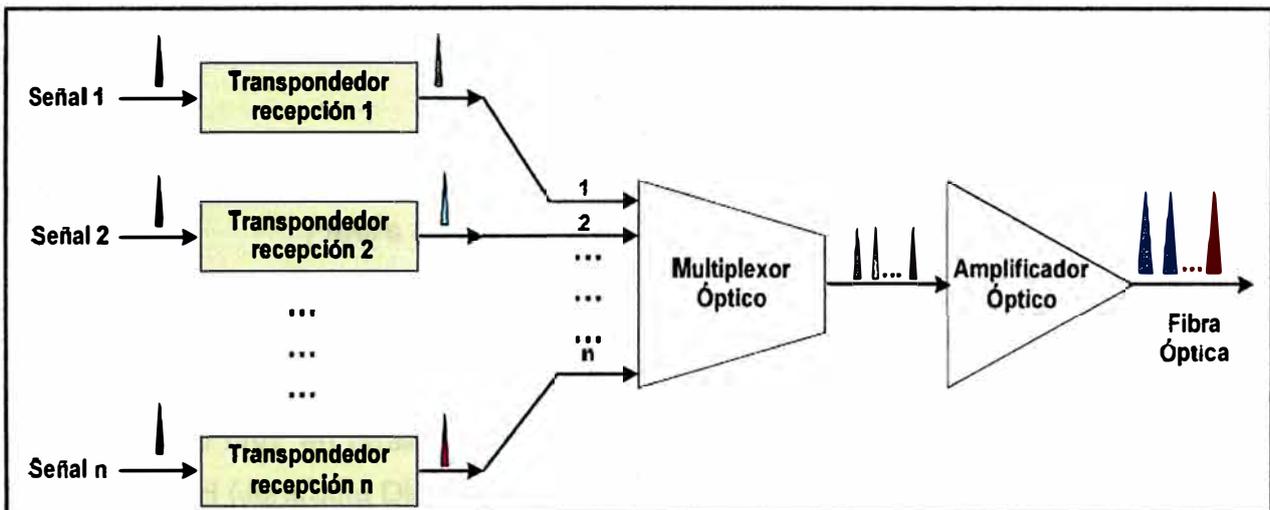


Figura 2.3: Equipo terminal WDM de transmisión

Fuente: Redes WDM

En este caso el transpondedor de transmisión convierte la longitud de onda de la segunda ventana de cada señal óptica de entrada a la longitud de onda específica de la banda C, luego el multiplexor óptico multiplexa las N señales de diferentes longitudes de onda en la banda C en una única señal óptica para luego pasar por un amplificador de potencia el mismo que amplifica la señal óptica multiplexada, antes de su transmisión por la fibra óptica.

Los compensadores de dispersión impiden el ensanchamiento espectral de cada uno de los canales ópticos para evitar solapamiento, debido al efecto de dispersión introducido por toda la fibra óptica.

b) Equipo terminal WDM de recepción

En la Figura 2.4 se muestra los elementos que se encuentran en un terminal de recepción como son: preamplificador óptico, demultiplexores ópticos, transpondedores de recepción.

Un preamplificador óptico se utiliza inmediatamente antes del receptor óptico para mejorar la sensibilidad, antes de su demultiplexacion, el demultiplexor separa la señal óptica recibida en N señales de diferentes longitudes de onda, filtrando la señal de cada portadora.

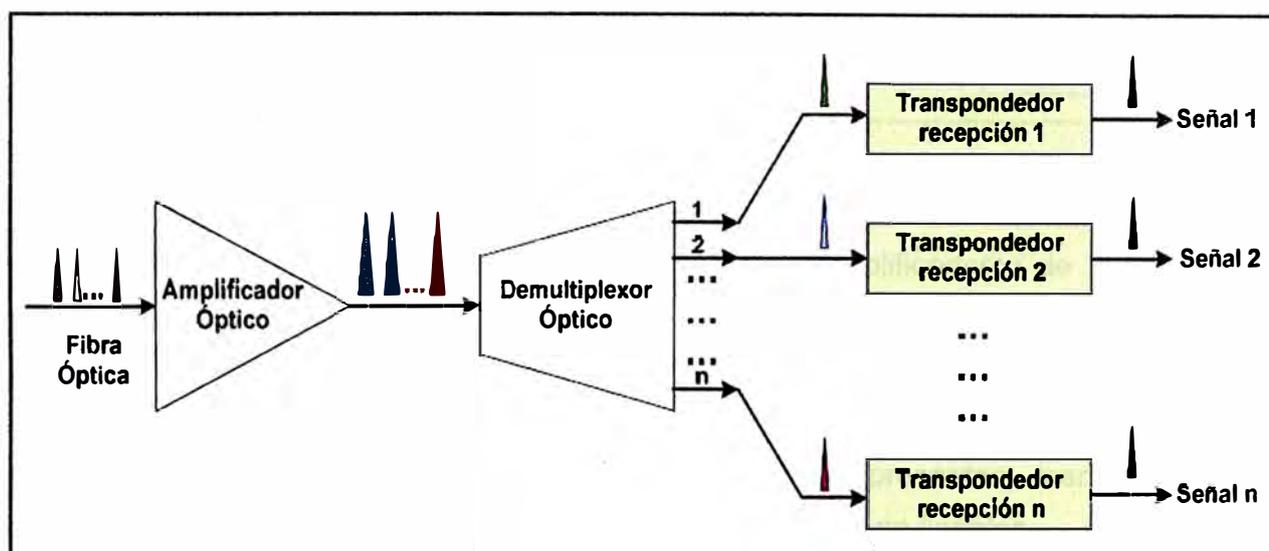


Figura 2.4: Equipo terminal WDM de recepción

Fuente: Redes WDM

En el transpondedor de recepción, para cada portadora convierte la longitud de onda específica de la banda C en una señal óptica de salida de longitud de onda en segunda ventana (1300 nm), en otras palabras se encarga de conmutar una señal coloreada en una señal SDH (Jerarquía Digital Síncrona)

c) Regenerador-amplificador óptico

En la Figura 2.5 se muestra un esquema de un regenerador el mismo que es utilizado para la conversión de señal óptica a señal eléctrica, se inicia con la regeneración de la señal eléctrica (funciones 3R, *Regeneration, Reshaping & Reclocking.*), por último brindan conversión de la señal eléctrica a señal óptica, los regeneradores 3R además de amplificar y regenerar la señal, la sincroniza, este tipo de regeneradores cancela los efectos de las no linealidades y de la dispersión.

En la Figura 2.6 se presenta un amplificador óptico el cual es usado en sistemas WDM que llevan a cabo la amplificación de todas las señales ópticas sin pasar al nivel eléctrico, estos son capaces de amplificar un conjunto de longitudes de onda. Los amplificadores ópticos pueden ser usados para compensar la atenuación de la señal (resultado de una

distribución de una red cualquiera), pérdidas de transmisión y otros, pero hay que notar que un amplificador óptico no puede ser un dispositivo ideal, por lo que este presenta algunas restricciones como: el ruido generado por él es sumado a la señal en la salida y la ganancia espectral no es constante sobre una región en la cual las señales pueden ser transmitidas.

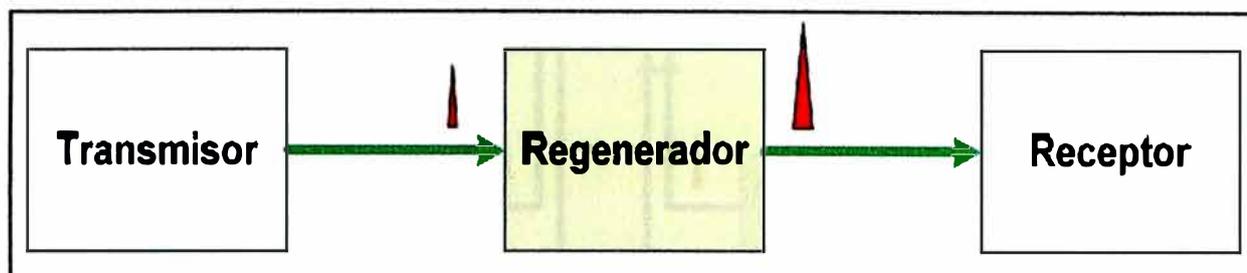


Figura 2.5: Regenerador óptico

Fuente: Redes WDM

En los amplificadores ópticos se dividen en dos tipos: amplificadores de fibra óptica y amplificador óptico de semiconductor.

En los amplificadores ópticos de semiconductor se amplifica la señal que pasa por la región activa de un semiconductor bombeada de forma eléctrica. Estos amplificadores, en comparación con los OFAs (amplificador de fibra óptica) presentan, menor ganancia, mayor factor de ruido, sensibilidad a la polarización y efectos no lineales.



Figura 2.6: Amplificador óptico

Fuente: Redes WDM

Los amplificadores de fibra óptica amplifican la señal mediante lentes de fibra dopada, las cuales tienen propiedades de amplificar luz. El elemento más común para este uso es el Erblio, que entrega una ganancia en longitudes de onda entre 1525 nm y 1560 nm, estos son los llamados amplificadores de fibra dopados con Erblio (EDFA).

Otro tipo de amplificadores son los amplificadores Raman que son dispositivos ópticos no lineales, los cuales tienen ganancia no resonante presente en toda la fibra.

d) Equipo WDM de extracción/inserción

Un elemento de creciente importancia en las redes de transmisión óptica con señales WDM, es el OADM (Multiplexor óptico de extracción-inserción).

En la Figura 2.7 se muestra la estructura de un multiplexor óptico de extracción/inserción que puede extraer y adicionar N señales ópticas, cada una de ellas asociada a una

portadora que tiene una longitud de onda diferente, normalmente incluye amplificadores ópticos de entrada/salida así como también transpondedores de recepción y transmisión.

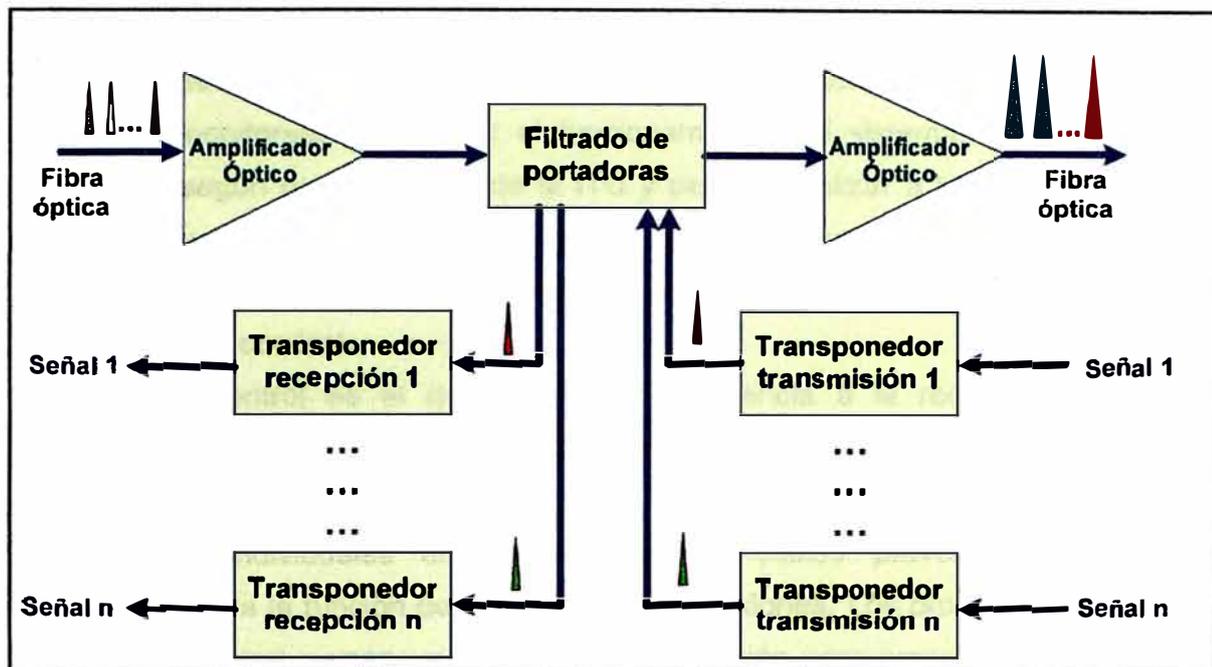


Figura 2.7: Equipo WDM de extracción-inserción

Fuente: Redes WDM

2.1.2 Plano de gestión

El plano de gestión es un complemento para el plano de control. Una parte importante de una red de telecomunicaciones es el sistema de gestión de red, cuyas características principales deben ser la seguridad, el soporte a expansiones y la gestión de demanda de tráfico.

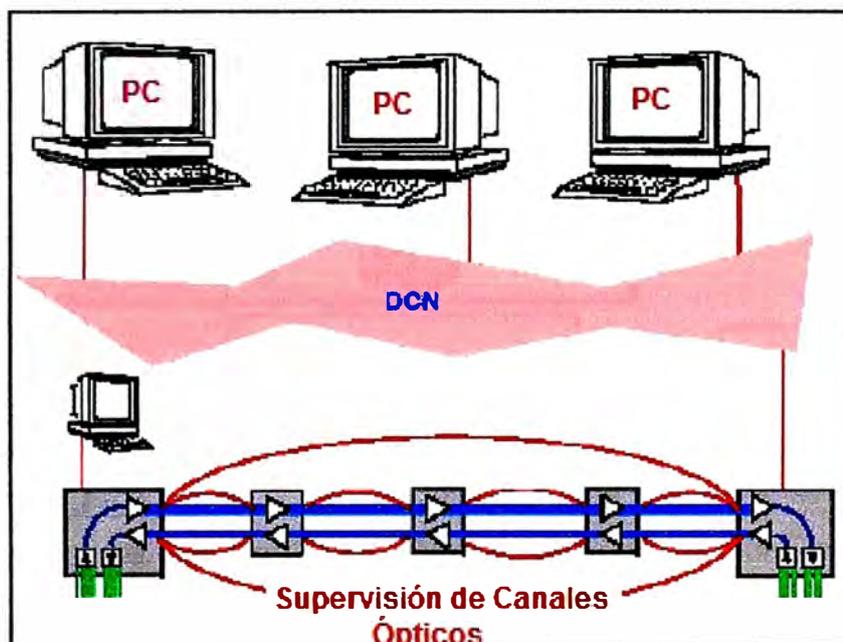


Figura 2.8: Plano de gestión (Fuente: Redes WDM)

Al respecto, los sistemas de gestión DWDM incluyen programas integrados que permiten trabajar con otros sistemas de operación y que son compatibles con los estándares ITU. Los sistemas DWDM utilizan los canales de servicios ópticos, independientes de los canales de trabajo, estos canales que trabajan en la banda de 1510 nm, permiten a los portadores monitorear y controlar el funcionamiento del sistema. Este canal utiliza la interfaz Q3 según normalización de la ITU y permite realizar a través de una red DCN (Data Communication Network, que significa red de comunicación de datos) los servicios de administración, mantenimiento y aprovisionamiento de la red.

2.1.3 Plano de control

El plano de control es el que le otorga inteligencia a la red óptica y permite el restablecimiento en las topologías tipo malla, está formado por controladores de conexiones ópticas (Optical Connection Controller, 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.

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 sistema de gestión de red (NMS),

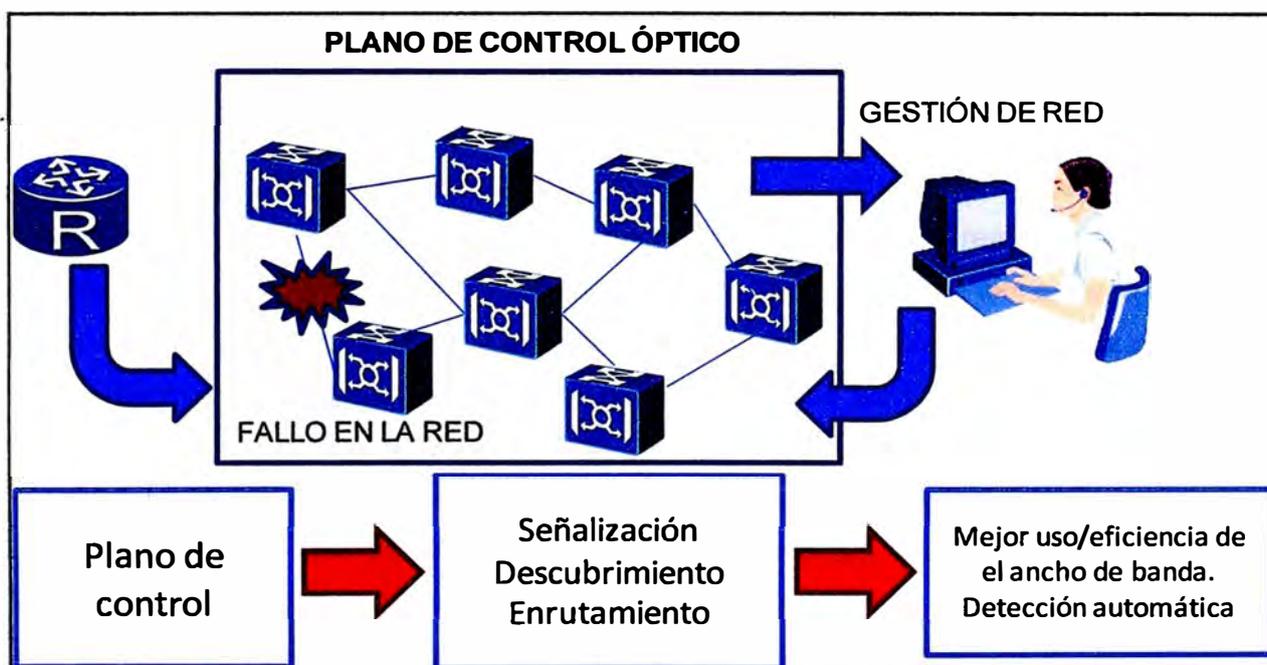


Figura 2.9: Plano de control (Fuente: <http://www.oiforum.com/>)

El plano de control requiere también una red de señalización 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.

2.2 Interfaces en la red óptica conmutada automática

La arquitectura de la red óptica conmutada automática permite que el plano de control se subdivida en varios dominios de administración (Control Domain) y que de la misma manera el plano de transporte se subdivida 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 de administración el plano de control puede subdividirse en dominios de enrutamiento que pueden estar separados, por ejemplo, por regiones geográficas distintas.

Los puntos de referencia pueden ser soportados por interfaces múltiples, estos puntos de referencia son la UNI, NNI y E-NNI, asimismo es importante indicar que habrá dominios dentro de la red óptica conmutada automática y que las UNI y E-NNI son las que se utilizarán principalmente para la señalización de control entre dominios. En los siguientes conceptos se describen las funcionalidades específicas que deben ser transportadas a través de los diversos puntos de referencia y la forma en que se diferencian.

- **Interface UNI (Interfaz lógica usuario a red).**- La UNI es la interfaz entre el plano de control y el dominio del usuario final. Permite crear las llamadas conexiones conmutadas según los parámetros solicitados, dar de baja estas conexiones, reconfigurar conexiones establecidas y mantener las conexiones activas.

- **Interface I-NNI (Interfaz lógica interna red a red).**- esta interfaz interconecta los diferentes OCC (Optical Connection Controller que significa controlador de conexión óptica) que se encuentran dentro de una misma red. Se usa para realizar el intercambio de información de señalización y encaminamiento. Los OCC mantienen una base de datos con los nodos adyacentes y los enlaces disponibles entre ellos, una vez que cada OCC dispone de esta información la comparten con todos los OCC existentes dentro de la red o dentro de su dominio de gestión.

- **Interface E-NNI (Interfaz lógica externa red a red).**- la interfaz E-NNI conecta dos redes diferentes o dos dominios administrativos diferentes dentro de una misma red. Mientras que la interfaz I-NNI soporta los mismos esquemas de encaminamiento, la interfaz E-NNI debe ser capaz de soportar los diferentes esquemas de encaminamiento que pueden ser usados en los diferentes caminos administrativos o en las diferentes redes. En la Figura 2.10 se representa las interfaces en la red ASON como UNI, E-NNI, dominio de administración y donde los puntos terminales pueden estar representados por un router o equipo SDH.

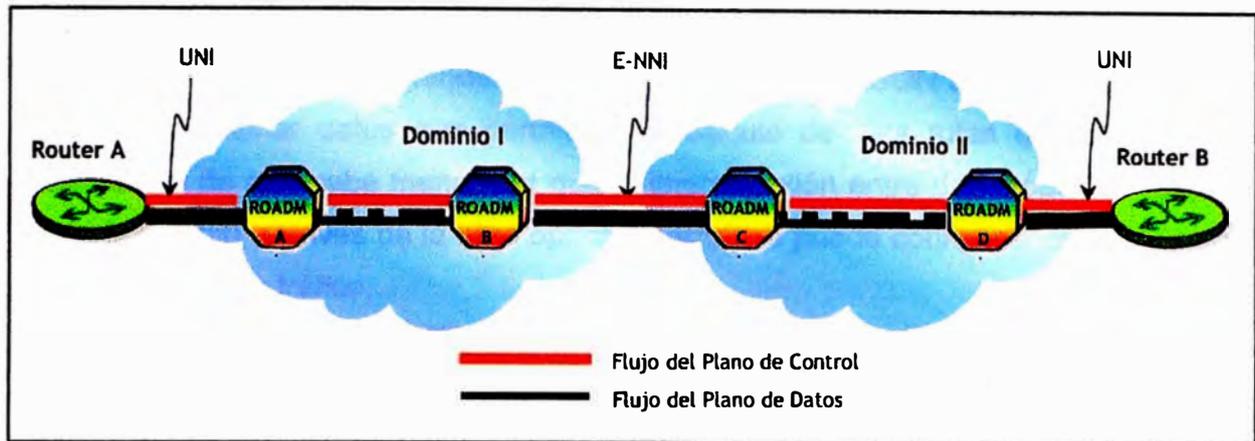


Figura 2.10: Interfaces en la red ASON

2.3 Estructura y función de la red óptica conmutada automática

La estructura, el modo de protección y el modo de restauración de la red de transmisión con la red óptica conmutada automática (ASON) son diferentes en comparación con la red DWDM tradicional.

La estructura de una red óptica conmutada automática se compone de los elementos de red (NE), enlaces de Ingeniería de tráfico (TE), el dominio de la red óptica conmutada automática y el enlace o conexión permanente flexible (SPC).

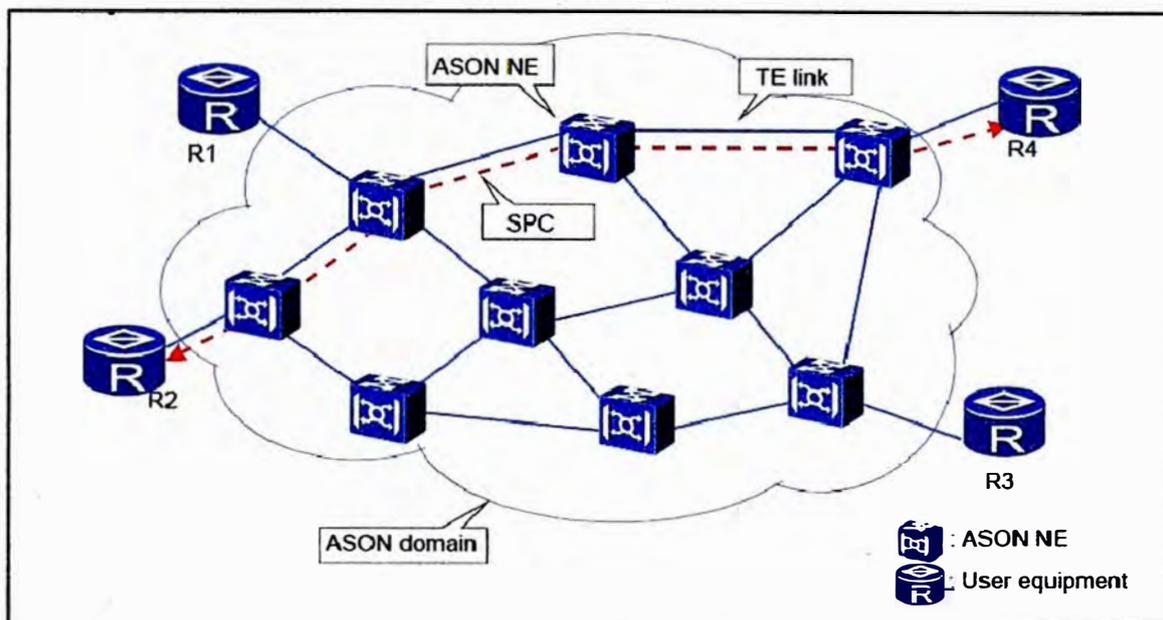


Figura 2.11: Estructura de la red ASON (Fuente: Referencia [4])

- **Elemento de red ASON**, es uno de los componentes principales de la red ASON y tiene las siguientes funciones con relación a un elemento de red tradicional, se le adiciona en su estructura tradicional los protocolos de señalización RSVP-TE, de enrutamiento OSPF-TE y el de gestión de enlaces.

En la Figura 2.12 se muestra el conjunto de protocolos que se añade al elemento de red tradicional.

- **Enlace de Ingeniería de tráfico (TE)**, en este caso el elemento de red ASON envía su información de ancho de banda a otro elemento de red ASON a través del enlace TE para proporcionar datos que permitirán el cálculo de las rutas que utilizarán los elementos de red, cabe mencionar que la interconexión entre dos módulos FIU (Fiber Interface Unit) a través de la fibra óptica externa, se puede configurar como un enlace de ingeniería de tráfico.

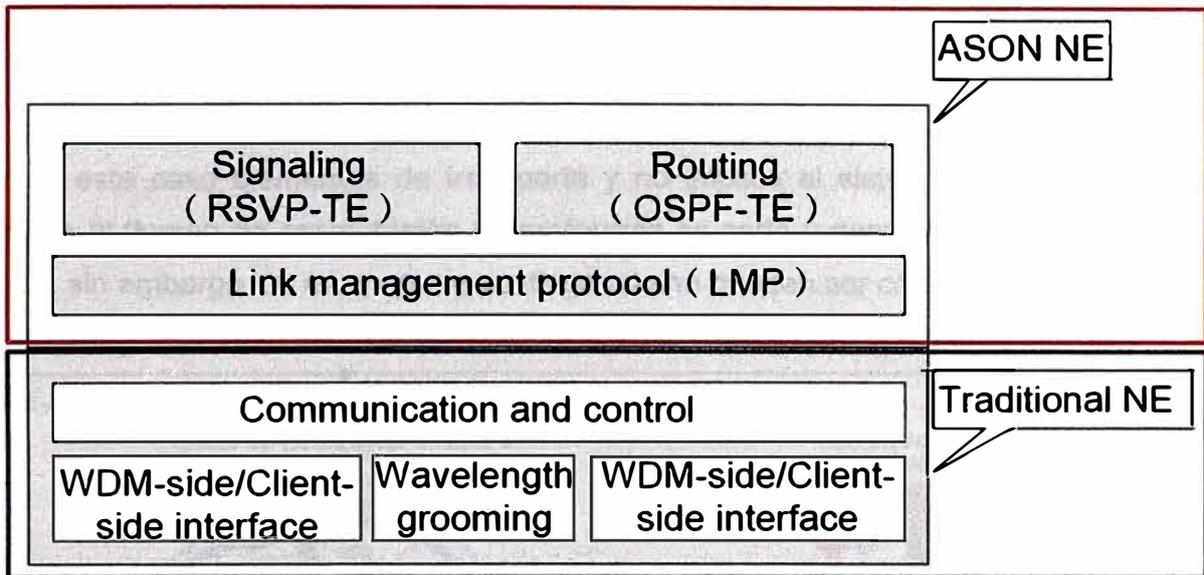


Figura 2.12: Elemento de red ASON

Fuente: Referencia [4]

- **Dominio de red óptica conmutada automática**, es un subconjunto de una red, que se clasifican en función a efectos de ruta de selección y gestión. Un dominio de ASON se compone de varios elementos de red ASON y los enlaces de ingeniería de tráfico.
- **Conexión permanente flexible**, en el caso de una conexión permanente flexible (SPC), la conexión entre el usuario (router o equipo terminal SDH) y la red de transmisión está configurado directamente por el plano de gestión. La conexión dentro de la red de transmisión sin embargo, es solicitada por el plano de gestión y luego creada por el plano de control del elemento de red (NE) a través del protocolo de señalización. Cuando el servicio ASON se menciona, por lo general se refiere a la conexión de tipo SPC.

2.4 Red de protección y restauración

A medida que la red de transporte se desarrolla, la capacidad de supervivencia de la red se convierte en un factor clave en el diseño, funcionamiento y mantenimiento de una red, La protección de las redes abarca varios aspectos: protección de energía, protección del servicio, protección del reloj y protección del canal de gestión. La rotura de un conducto, que va acompañada de la rotura de la fibra, se produce por efectos del hombre durante

obras de construcción o debido a desastres naturales, tales como terremotos, tsunamis, etc. Este tipo de falla produce la interrupción del tráfico de todas las fibras del conducto y las pérdidas del tráfico son inmensas. Por ejemplo si una fibra lleva 160 longitudes de onda y cada una opera a STM-64 (10 Gbps), el tráfico total es de 1.6 Tbps. Si consideramos la cantidad de fibras en un cable y la cantidad de cables que corren por el conducto, el tráfico sería mucho mayor. Un cable puede llevar fácilmente 450 F.O. y en un conducto puede haber hasta unos 10 cables, entonces el tráfico interrumpido sería $1.6 \times 450 \times 10 = 7.2 \text{ Pbps} = 7.2 \times 10^{15} \text{ bps}$.

En general, la protección consiste en la capacidad pre-asignada entre los elementos de red en este caso elementos de transporte y no implica el sistema de gestión de red, además el tiempo de conmutación de protección es corta y generalmente no es más de 50 ms, sin embargo los recursos de contingencia no pueden ser compartidos en la red.

En la Figura 2.13 se muestra el trayecto de la protección SNCP entre multiplexores.

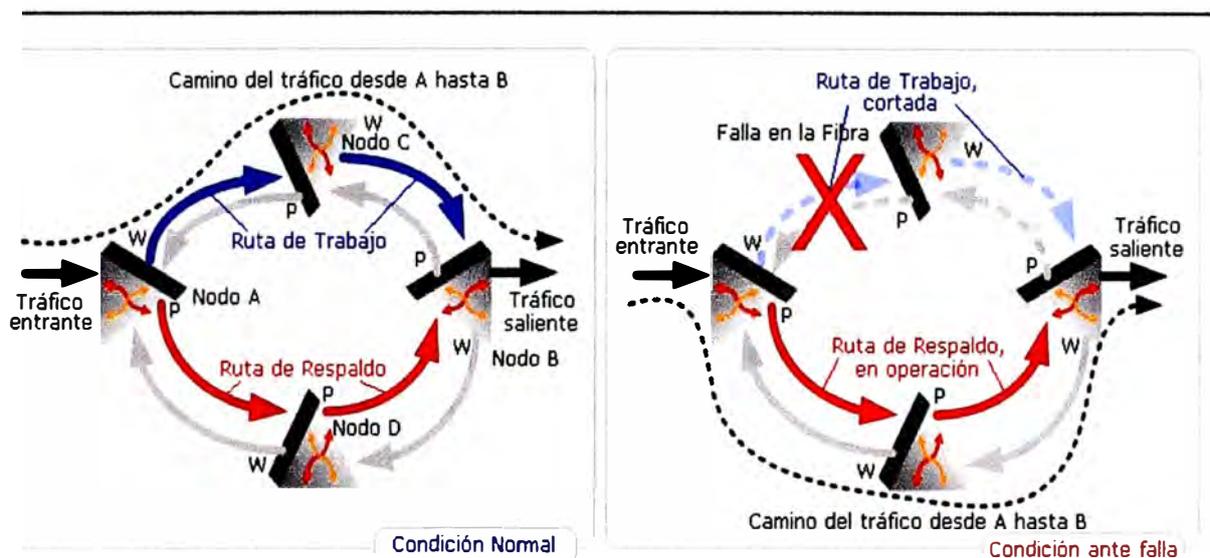


Figura 2.13.: Protección SNCP de trayecto entre multiplexores de inserción-extracción

Fuente: www.ieee.org.ar

Para el caso de una red de protección, la configuración para el sistema inicial antes de la implementación de la red ASON, estaba dada por una protección SNCP(Subnetwork Connection Protection) el cual proporciona trayectos duplicados alrededor del anillo en este caso el flujo de tráfico en una dirección y la protección del flujo de tráfico en otra dirección, si en caso se produce una falla en la ruta del tráfico de trabajo, el nodo receptor conmuta a la ruta de acceso procedente de la dirección opuesta.

En cambio, la restauración implica el uso de cualquier capacidad utilizable entre los elementos de red, incluso la capacidad extra de prioridad baja se puede utilizar para la restauración, cuando una ruta de servicio falla, la red busca automáticamente una nueva

ruta y conmuta los servicios de la ruta defectuosa. El algoritmo que restaura es el mismo que el algoritmo que selecciona el camino, por lo tanto la restauración requiere recursos de recambio en la red para el servicio de re-direccionamiento.

2.4.1 Protección y restauración en una red ASON

Los esquemas de protección tradicionales como 1+1 (protección de una λ) y protección de redes en anillo (1+1) aún se pueden aplicar en una red ASON, en el caso que se produzca una falla, la conmutación de protección es realizada por el plano de transporte, en este caso la conmutación de protección no implica el plano de control.

En el caso de una red ASON, el régimen de cambio de ruta se aplica para restablecer los servicios, para esto se definirá el concepto de LSP (Label Switched Path) el cual es llamado una ruta o encaminamiento en la red óptica conmutada automática.

Cuando un LSP falla, el nodo origen calcula el mejor camino para la restauración del servicio y utiliza el protocolo de señalización para crear un nuevo LSP, entonces el nuevo camino lleva a los servicios afectados.

Para los servicios no reversibles, el LSP original se elimina después de que el nuevo LSP se crea, sin embargo para los servicios reversibles, el LSP original no se elimina

Las ventajas de re-encaminamiento son las siguientes:

- Los servicios pueden ser restaurados de una manera rápida y automática.
- Después que la tecnología por restauración del servicio es empleado en una red óptica conmutada automática, menos capacidad de recambio es requerido cuando una red ASON se restaura en tiempo real.

2.5 Software de la red óptica conmutada automática

El software de una red óptica conmutada automática está incluido en el software de cada elemento de red (NE), en la Figura 2.14 nos muestra la dependencia entre el software de gestión de red (NM) representado por la gestión de alarmas, enrutamiento y aprovisionamiento del U2000 del proveedor Huawei, el software del elemento de red que este caso está formado por el equipamiento OSN6800 y el software ASON, las cuales se ejecutan en el módulo o tarjeta SCC (sistema de control y comunicación).

El módulo SCC es una interfaz de control y comunicación que trabaja en conjunto con la gestión de red para el manejo de tarjetas o módulos del equipamiento OSN6800, esta tarjeta está conformado por un conjunto de módulos como: el módulo de carga de procesamiento, el módulo de reloj, el módulo de monitoreo (reporta las ubicaciones y alarmas de las tarjetas), módulo de comunicación (realiza la comunicación con cada tarjeta en el gabinete), la CPU, el módulo control y el módulo de fuente de alimentación.

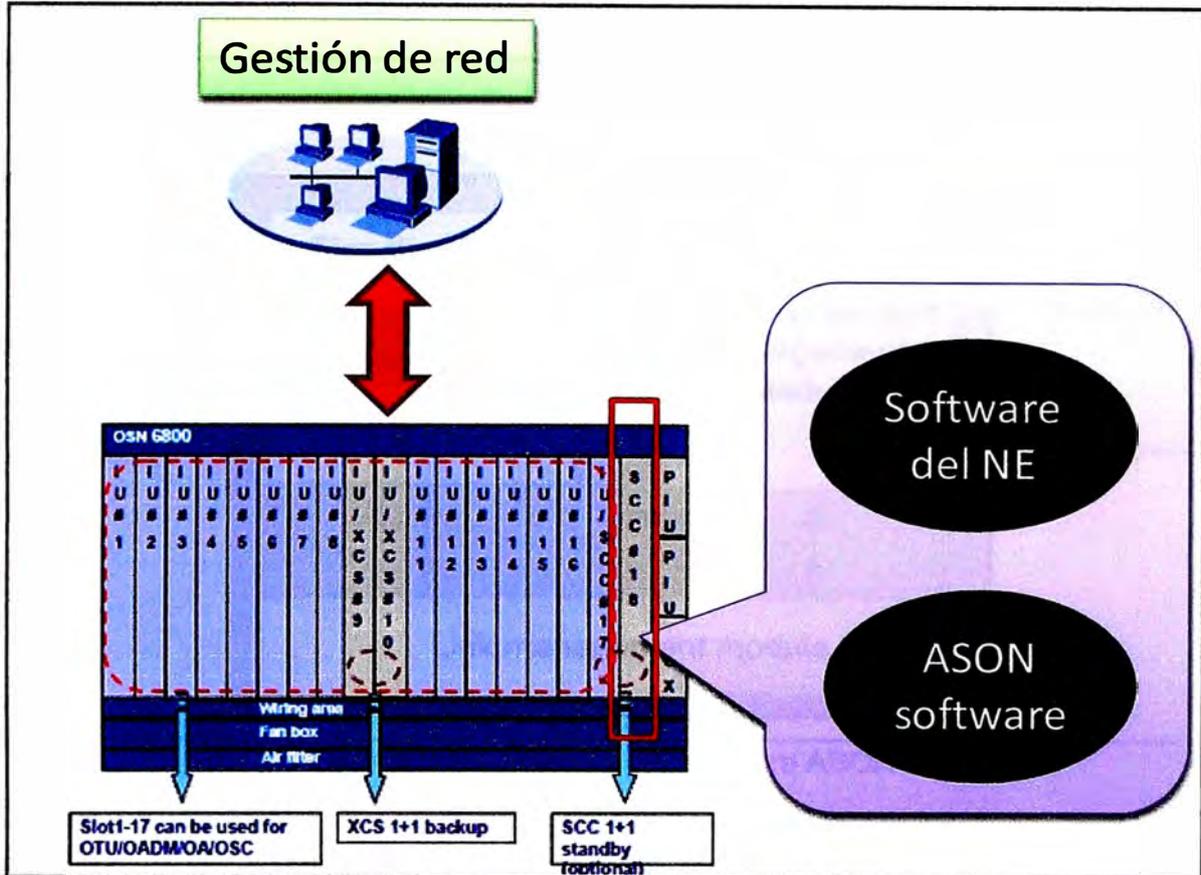


Figura 2.14: Estructura del software ASON

Fuente: Elab. Propia

El software ASON está formado por varios módulos, cada módulo realiza funciones diferentes. ASON tiene tres planos: un plano de control, un plano de gestión y un plano de transporte. El plano de gestión se refiere a la capa de NM (Network Management) y el plano de transporte se refiere a la red WDM tradicional. El software ASON se aplica en el plano de control, utilizando los protocolos LMP, OSPF-TE y RSVP-TE; tanto para la gestión del enlace, reserva de recursos y encaminamiento por la ruta más corta.

En la Tabla 2.1 se detalla el significado de cada protocolo.

Tabla 2.1: Acrónimos de los protocolos ASON

Acrónimo	Descripción
RSVP-TE	Protocolo de reserva de recursos con extensiones de Ingeniería de tráfico
OSPF-TE	Protocolo del camino más corto primero con extensiones de Ingeniería de tráfico
LMP	Protocolo de gestión de enlace
CSPF	Algoritmo de ruta más corta

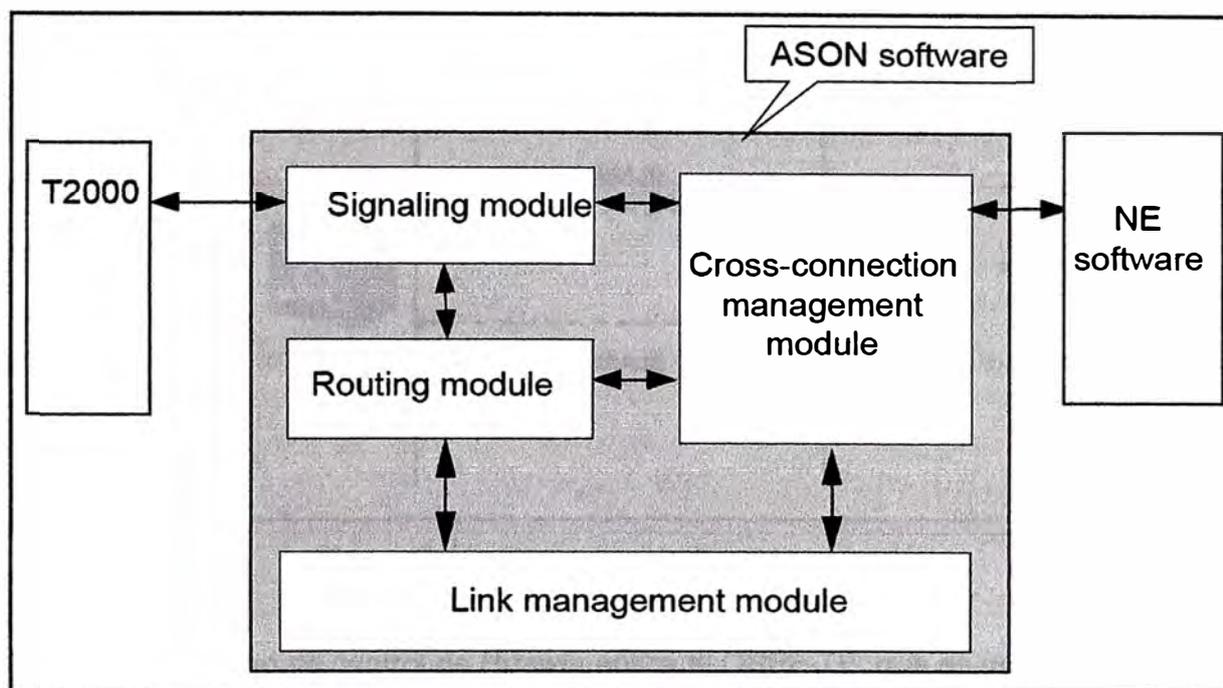


Figura 2.15: Módulos del software ASON

Fuente: Referencia [4]

En la Figura 2.15 se observa los diferentes módulos compuestos por el software ASON y la interacción entre la gestión de red (T2000, brindado por el proveedor Huawei) y el software del elemento de red (NE software).

El módulo de enlace de gestión (Link Management Module) utiliza el protocolo LMP para realizar las siguientes funciones como: creando y manteniendo los canales de control así como comprobando los enlaces de ingeniería de tráfico (TE).

El módulo de enrutamiento (Routing Module) utiliza el protocolo OSPF-TE para realizar las siguientes funciones.

- Recopilar información de los vínculos y las inundaciones TE.
- Recopilar información y controlar las inundaciones de los enlaces.
- Calcular la ruta de servicio y la ruta de control.

El módulo de señalización (Signaling Module) usa el protocolo RSVP-TE para:

- Crear o remover las cross-conexiones.
- Informar el estado de los vínculos y las alarmas de los enlaces.

2.6 Protocolos de la red óptica conmutada automática

En la sección siguiente se detalla las funciones de los protocolos usados en los módulos del software en la red óptica conmutada automática, tales como:

LMP.- Este protocolo realiza las siguientes funciones en una red ASON, como es la creación y mantenimiento de los canales de control entre nodos adyacentes y la verificación de los enlaces de los componentes y enlaces de ingeniería de tráfico (TE)

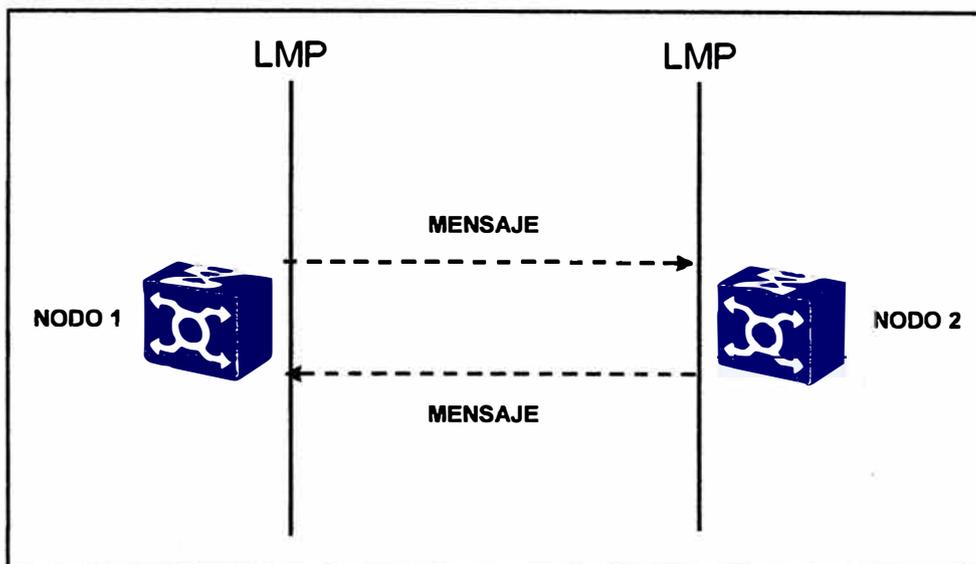


Figura 2.16: Creación de canales de control

Fuente: Elab. Propia

OSPF-TE.- El plano de control de Huawei aplica el OSPF-TE, que es un protocolo extendido para OSPF, y realiza las siguientes funciones.

- Crear relaciones de vecindad.
- Crear y mantener relaciones de control.
- Inundar la red y recoger la información acerca de los enlaces de control en el plano de control. De acuerdo a la información recogida, el protocolo genera la información acerca de las rutas que son requeridas para la transmisión de mensajes en el plano de control.
- Inundar la red y recoger la información acerca de los enlaces TE en el plano de transporte, el protocolo a continuación, genera la información sobre la topología de red para el cálculo de la ruta de servicio.

RSVP-TE.- Este es un protocolo de reserva de recursos, es un tipo de señalización. En términos de tráfico de ingeniería, el RSVP se extiende al RSVP-TE y aplica fundamentalmente las siguientes funciones:

- Creación de un LSP
- Eliminación de un LSP
- Modificación de atributos de un LSP
- Re-enrutamiento de un LSP
- Optimización de un camino LSP

2.7 Descubrimiento automático de la topología

El descubrimiento automático de la topología incluye la detección automática de los enlaces de control y los enlaces de ingeniería de tráfico, son estos enlaces los que se utilizan en la configuración de una red ASON.

- Descubrimiento automático de los enlaces de control

La red óptica conmutada automática detecta automáticamente los enlaces de control a través del protocolo OSPF-TE, cuando la conexión de fibra (incluyendo la fibra entre elementos de red detectados automáticamente y la fibra entre elementos de red configurado manualmente) está completa en una red ASON, cada elemento de red ASON utiliza el protocolo OSPF-TE para descubrir los enlaces de control y después es inundada la información de sus propios enlaces de control en toda la red. Vea la Figura 2.17. Como resultado, cada elemento de red obtiene la información de los enlaces de control en toda la red y también obtiene la información acerca de la toda la red de control de la topología. En la siguiente figura se muestran los detalles, de cada elemento de red ASON a continuación, calcula la ruta más corta a cualquier elemento de red ASON y guarda estas rutas en la tabla de reenvío de ruta, el cual es usado para la señalización RSVP-TE para transmitir y recibir paquetes.

Cuando la conexión de fibra óptica en toda la red esté completa, los elementos de red ASON descubren automáticamente la red de control en toda la topología y reportan la información de la topología al sistema de gestión de red para su visualización en tiempo real. Vea la Figura 2.18.

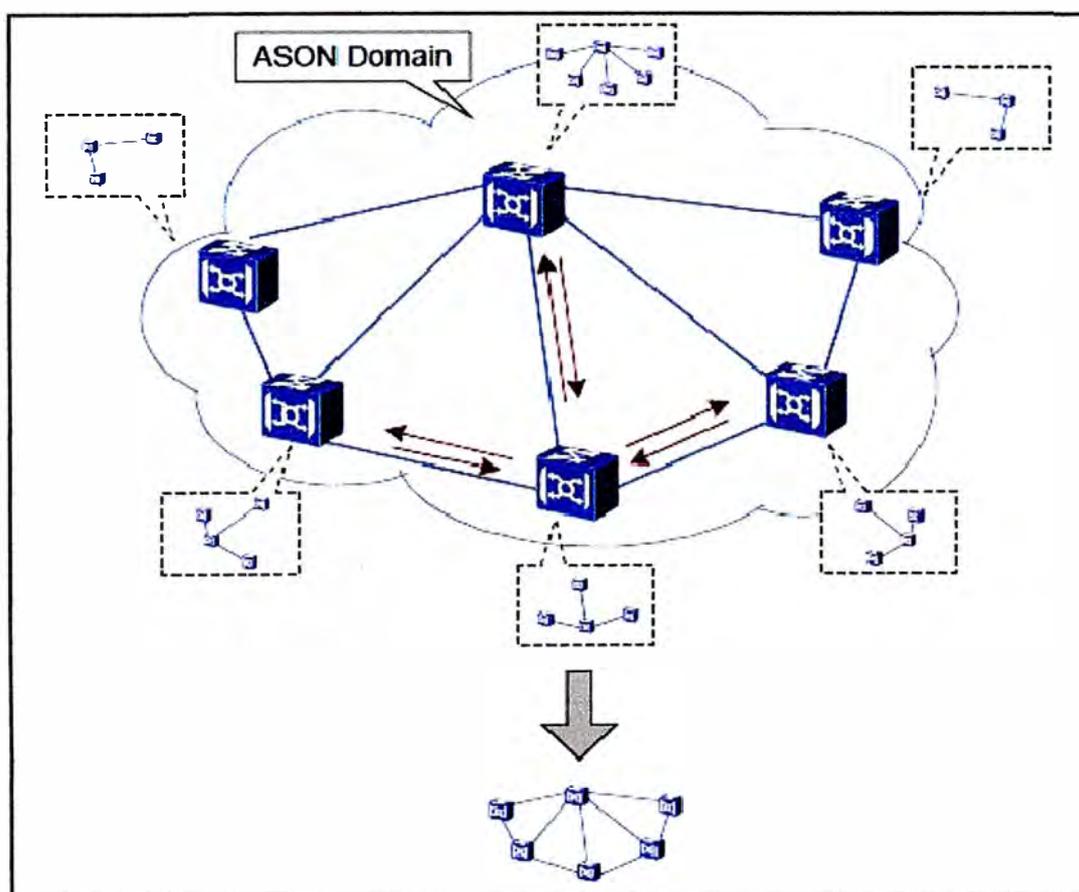


Figura 2.17: Auto-descubrimiento de enlaces de Control

Fuente: Referencia [4]

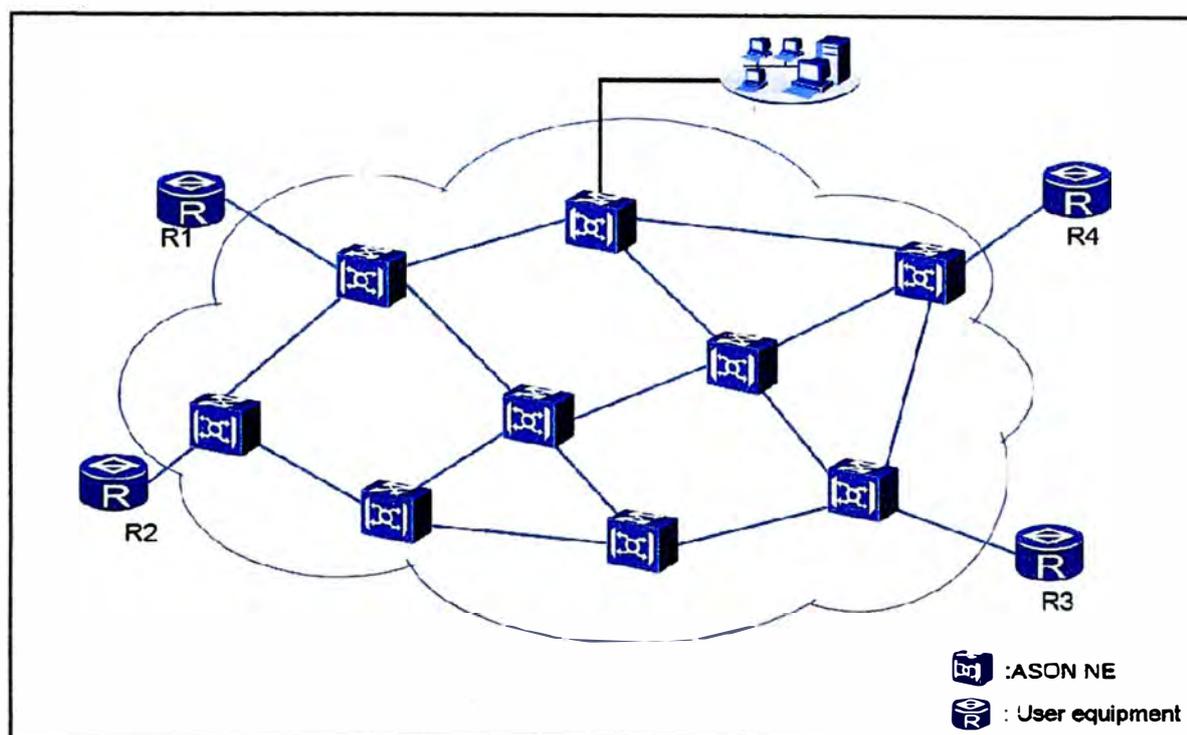


Figura 2.18: Gestión de control de la topología (Fuente: Referencia [4])

- Descubrimiento automático de los enlaces de ingeniería de tráfico (TE)

La red óptica conmutada automática propaga los enlaces de ingeniería de tráfico (TE) a toda la red a través del protocolo OSPF-TE.

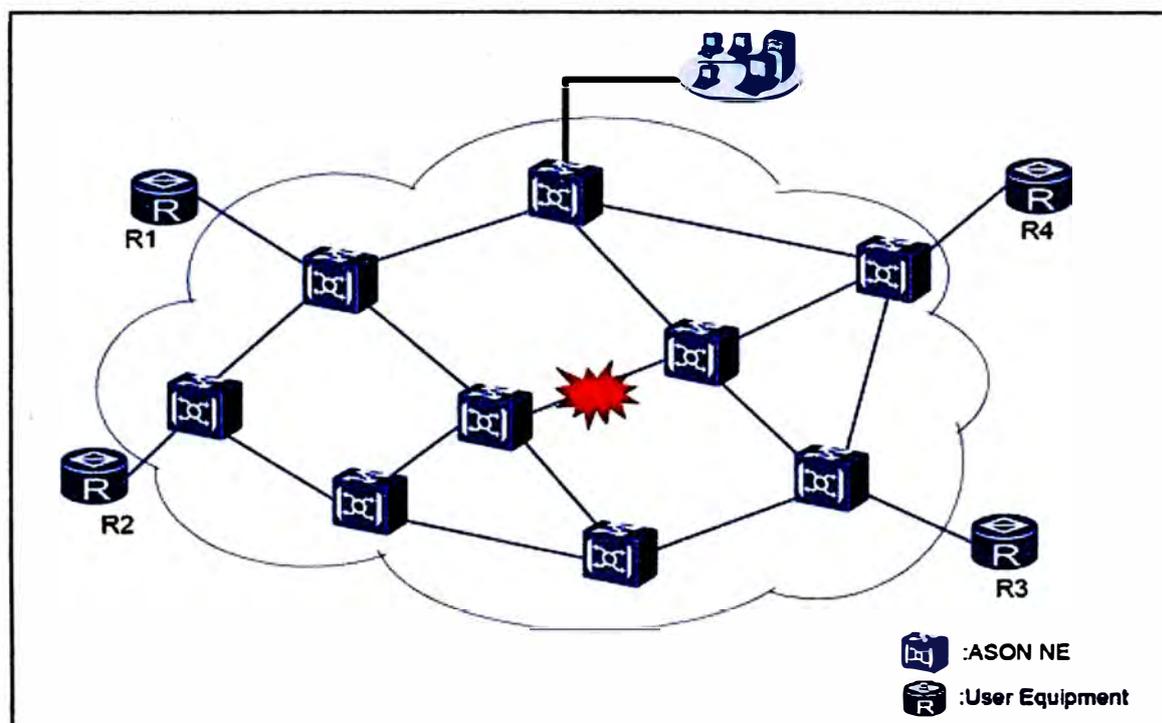


Figura 2.19: Auto-descubrimiento de enlace TE (Fuente: Referencia [4])

Después de que un elemento de red ASON crea un canal de control entre elementos de red vecinos a través del protocolo LMP, el chequeo de los enlaces TE se inicia, cada

elemento de red ASON inunda con la información de sus enlaces TE en toda la red a través del protocolo OSPF-TE, a continuación cada elemento de red obtiene la información de los enlaces TE en toda la red, que es en conjunto todo el recurso de red de la topología.

El software ASON detecta el cambio en la topología de recursos en tiempo real, incluyendo la supresión, adición de los enlaces y el cambio en los parámetros del enlace, luego informa del cambio al plano de gestión que realiza una actualización en tiempo real de la topología, como se muestra en la Figura 2.19, si un enlace TE se corta, el NM actualiza la topología de recursos mostrándolo en tiempo real.

2.8 Funciones de red, configuración de servicio punto a punto

La red óptica conmutada automática soporta la configuración de servicio punto a punto o en algunos casos llamado extremo a extremo, para este caso la red ASON soporta tantas conexiones WDM permanentes y servicios ASON de punto a punto, es por eso que al configurar un servicio ASON, sólo tiene que especificar el nodo origen, nodo destino, ancho de banda y el nivel de protección. Los servicios de enrutamientos y las cross-conexiones en los nodos intermedios son automáticamente completadas por la red, también puede configurar el nodo explícito, el nodo excluido, vínculos explícitos y vínculos excluidos para restringir el enrutamiento de servicios.

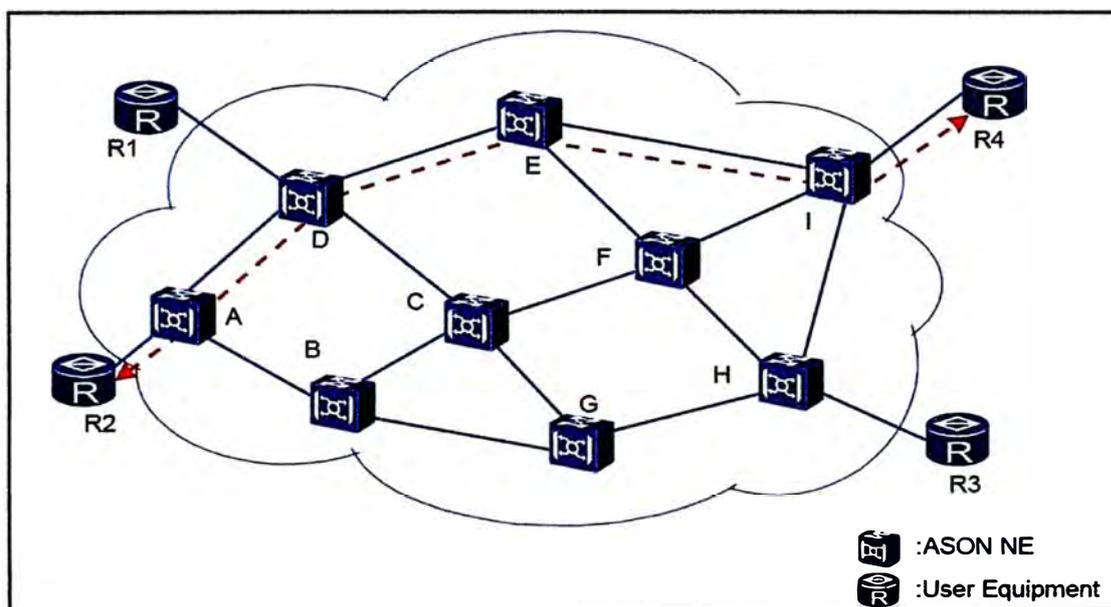


Figura 2.20: Configuración de servicio extremo a extremo (Fuente: Referencia [4])

Por ejemplo, considere la configuración de un servicio ASON entre A y I en la Figura 2.20 la red busca automáticamente la ruta ADEI y configura de conexión transversal en los nodos A, D, E y I, aunque hay más de una ruta de A a I, la red calcula la mejor ruta de acuerdo con el algoritmo configurado, se supone que A-D-E-I es la mejor ruta.

2.9 Acuerdo de nivel de servicio (SLA)

La red óptica conmutada automática puede proveer diferentes calidades de servicio para distintos clientes, además el acuerdo de nivel de servicio (SLA) se utiliza para clasificar los servicios de acuerdo con el servicio de protección, como se indica en la Tabla 2.2 se muestra una comparación entre los niveles de servicio SLA, categorizando uno respecto del otro y permitiéndonos tener conocimiento de los parámetros de protección, restauración, sistema de protección, tiempo de conmutación y otros, para este caso se destacan los servicios diamante, oro, plata y cobre, donde el nivel de servicio indica la prioridad de cada uno respectivamente.

Tabla 2.2: Nivel de Servicio

Servicio	Servicio Diamante	Servicio Oro	Servicio Plata	Servicio Cobre
Nivel de servicio	*****	*****	***	**
Protección & restauración	Protección & restauración	Protección & restauración	Restauración	Sin protección y sin restauración
Sistema de protección	Restauración	Re-enrutamiento	-	Varios segundos
Descripción	Provee protección permanente de los servicios	Primero actúa protección 1+1 y luego restauración	Realiza restauración del servicio una sola vez	-
Tiempo	Tiempo de conmutación <50 ms	Tiempo de conmutación <50ms, restauración <1s	Tiempo de conmutación <50 ms	-
Costo	Muy alto	Alto	Medio	Bajo
Servicio de aplicación	Bancos, entidades gubernamentales, etc.	PSTN/GSM	Servicios de internet y datos	Servicios temporales

2.9.1 Servicio diamante

Se analiza principalmente este tipo de de servicio porque es la que se implementará en el

informe indicado.

Las rutas ópticas de conmutación automática DWDM con servicio diamante tienen la mejor capacidad de protección, cuando no hay suficientes recursos en la red estas rutas con servicio diamante proporcionan una permanente protección 1+1, además este tipo de servicio son aplicables a los servicios de voz y datos, línea privada VIP como la banca, la seguridad y la aviación.

Un servicio diamante es un servicio con protección 1+1 desde el nodo de origen al nodo de destino, es también llamado un 1+1 de servicio.

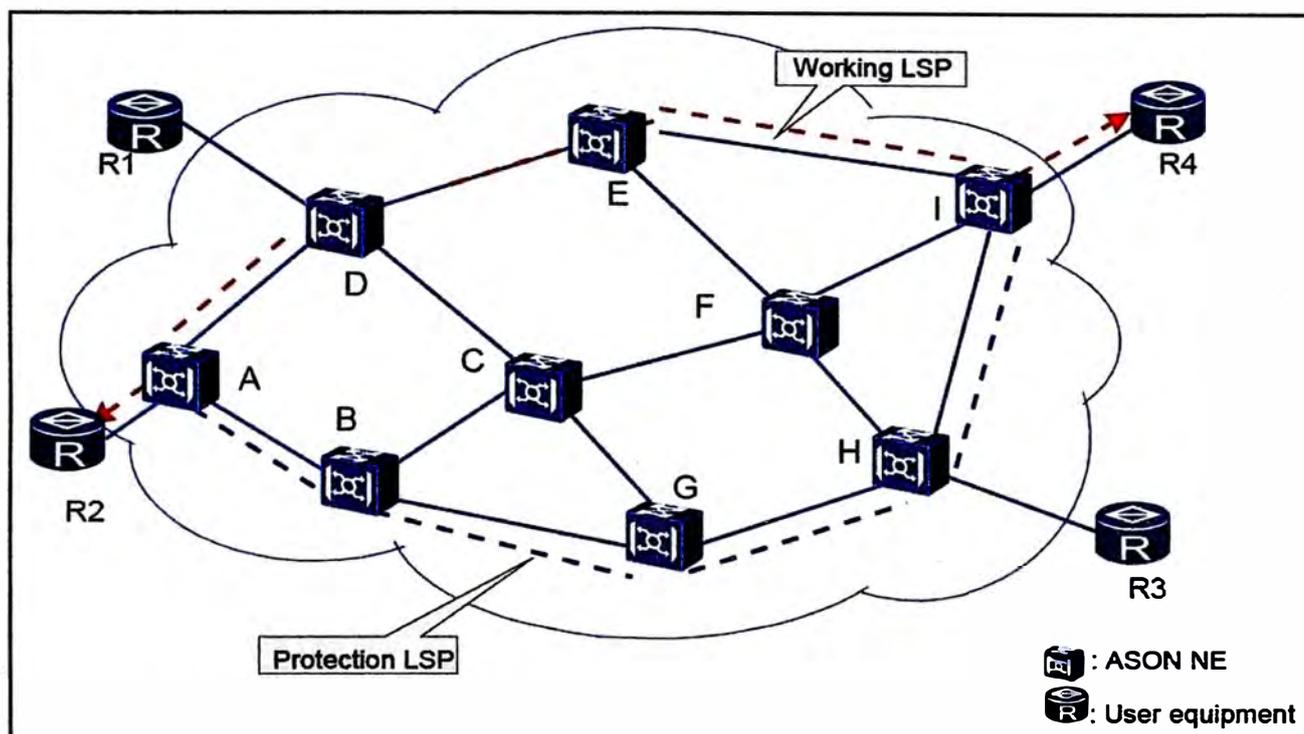


Figura 2.21: Servicio Diamante (Fuente: Referencia [4])

Para este nivel de servicio existen dos LSP (Label Switched Path, considerado como una ruta en la red ASON) disponibles entre el nodo origen y el nodo destino, los dos LSP deben ser tan independientes como sea posible, uno de ellos es la LSP de trabajo y el otro es el LSP de protección. El mismo servicio se transmite del LSP de trabajo y el LSP de protección al mismo tiempo, si el LSP de trabajo es normal, el nodo de destino recibe el servicio desde la LSP de trabajo, de lo contrario desde la LSP de protección.

2.10 Red de transporte óptica (OTN)

La red de transporte óptica es una tecnología desarrollada por la ITU-T en su recomendación G.709 que combina la multiplexación óptica y eléctrica, consta de protocolos estándares que deben ser capaces de soportar múltiples servicios, además es una arquitectura basada en canales ópticos transportados sobre una determinada longitud de onda la cual es definida por una estructura de capas.

Esta red se compone de un conjunto de elementos ópticos de red conectados mediante enlaces de fibra óptica, además una OTN tiene la capacidad para proporcionar la funcionalidad de transporte, multiplexación, enrutamiento, gestión, supervisión y capacidad de supervivencia de señales de cliente, concretamente consiste en una jerarquía multiplexada de unidades ópticas de datos (ODU) que se organizan en el interior de unidades ópticas de transporte (OTU).

La arquitectura funcional de la OTN se describe en la Rec.ITU-T G.872, mientras que en la G.709 define las interfaces de la OTN con relación a la jerarquía óptica de transporte (Optical Transport Hierarchy–OTH), la cabecera en redes WDM, la estructura y formatos.

- **Estructuras de capas de una OTN**

Principalmente, la OTN se compone de tres partes, que son denominadas capas como se ilustra en la Figura 2.22

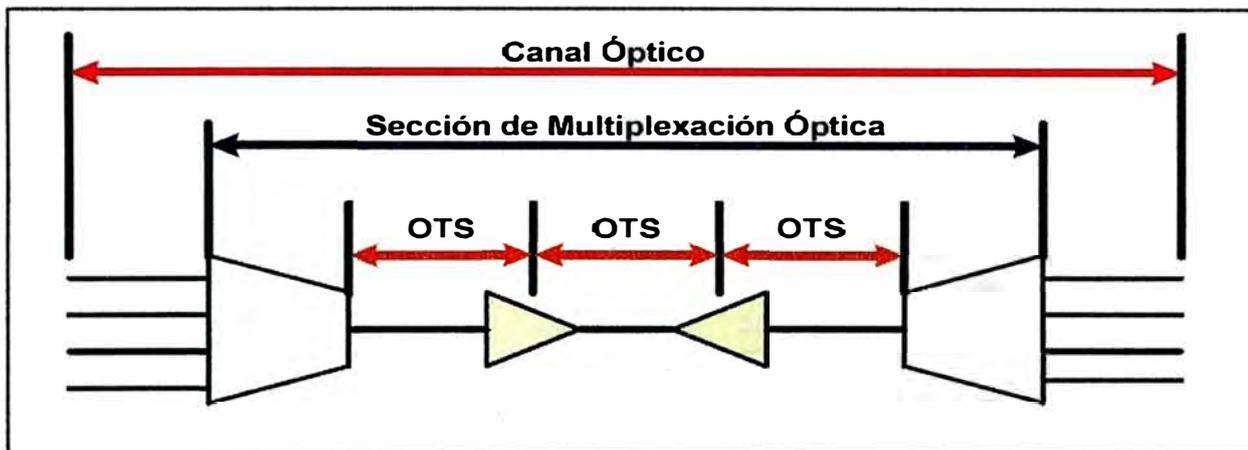


Figura 2.22: Estructura de capas de una OTN

(Fuente: Redes OTN)

- Sección de transporte óptica OTS (Optical Transmission Section)
- Sección de multiplexación óptica OMS (Optical Multiplex Section)
- Canal óptico OCh (Optical Channel)

El canal óptico OCh (Optical Channel) es una conexión óptica entre dos usuarios o equipos terminales y ocupa todo un camino óptico. Los canales ópticos son multiplexados y transmitidos como una señal a través de una única fibra, además el tramo entre un multiplexor y un demultiplexor sobre los que la señal multiplexada se transporta se refiere a la sección de multiplexación óptica OMS (Optical Multiplex Section).

Por último, el transporte entre dos puntos de acceso sobre el que la señal multiplexada se transmite se refiere a la sección de transmisión óptica OTS (Optical Transmission Section), cada capa se asocia con una estructura de trama y cabeceras apropiadas.

La terminación del OTS, OMS y las capas del canal óptico OCh son realizadas en el nivel óptico de la OTN. La carga útil del canal óptico OCh consiste en una infraestructura

eléctrica, donde la unidad de transporte del canal óptico OTU (Optical Transport Unit) es el nivel que añade mayor funcionalidad.

En la Figura 2.23 se define las diferentes capas de una OTN, ya que estas capas se configurarían en el equipo óptico usando ASON, para la restauración de las rutas ópticas.

La estructura de capas de la OTN está basada en capas ópticas conformado por el canal óptico (OCh), sección de de multiplexación óptica (OMS), sección de transmisión óptica (OTS) y eléctricas conformado por el OPU_k, ODU_k y OTU_k, donde el índice k (k=1, 2, 3) indica la tasa de bits asociado.

Tabla 2.3: Velocidad de transmisión nominal para la OPU_k

Velocidad de transmisión para la OPU _k	
OPU _k	Velocidad
OPU1	2.5 Gbps
OPU2	10 Gbps
OPU3	40 Gbps

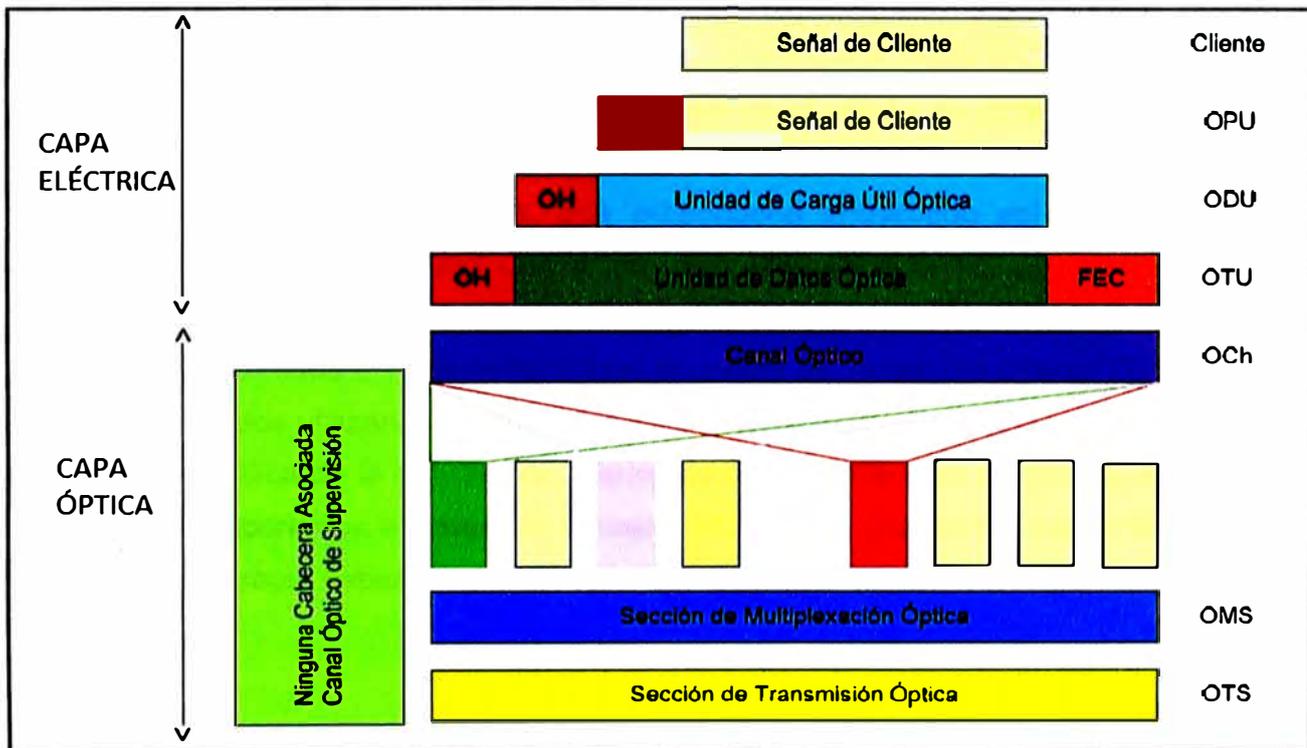


Figura 2.23: Encapsulamiento de la señal cliente en las capas de una OTN

Fuente: Redes OTN

OPU_k: Optical channel Payload Unit (unidad de carga útil del canal óptico)

ODU_k: Optical channel Data Unit (unidad de datos del canal óptico)

OTU_k: Optical channel Transport Unit (unidad de transporte del canal óptico)

Och: Optical channel (canal óptica)

Tabla 2.4: Capacidad de tasa OTU y señales cliente

Tipo de OTU	Tasa OTU (Gb/s)	Tasa de carga OTU (Gb/s)	Señales cliente
OTU1	2.6661	2.48832	STM-1/OC-3, STM-4/OC-12, STM-16/OC-48, FC-100/200, GbE, CMGPON
OTU2	10.709	9.9953	STM-64/OC-192, FC-400/800, 10 GbE WAN, 10 GbE LAN (GFP), IB SDR/DDR
OTU2e	11.095	10.356	FC-1200, 10 GbE LAN (BMP con elementos fijos)
OTU3	43.018	40.150	STM-256/OC-768, 40 GbE
OTU4	111.80997	104.35597	100 GbE

Fuente: <http://www.ciena.es/technology/optical-transport-network/>

En la Figura 2.23, se inicia con el encapsulamiento de la señal cliente (señales Ethernet, SDH/SONET, IP/MPLS, ATM y otros) la cual es primero adaptada a la capa OPU, la adaptación consiste en el ajuste de la tasa de la señal cliente a la tasa de OPU, para esto se añade una cabecera. Esta cabecera OH contiene información para apoyar la adaptación de la señal cliente.

Una vez adaptada la señal, el OPU es insertado en el ODU y se agregará las cabeceras necesarias para asegurar supervisión de extremo a extremo y monitoreo. Por último, al ODU se le añade una cabecera, que proporciona entramado así como sección de monitoreo y FEC (Forward Error Correction), formando así el OTU.

En la Tabla 2.4 se detalla los valores de capacidad de tasa OTU, siguiendo la estructura de la OTN presentada en la anterior figura, la unidad de transporte óptico OTU_k (K=1,2,3) son transportados utilizando el canal óptico OCh, cada canal es asignado a una longitud de onda específica de la red DWDM. Varios canales pueden ser asignados en el OMS y entonces transportados a través de la capa OTS. Cada una de las capas OCh, OMS y OTS tiene su propia cabecera para propósitos de gestión en el nivel óptico.

CAPITULO III

METODOLOGÍA PARA LA SOLUCIÓN DEL PROBLEMA

Según se mencionó en el capítulo I, la red de transporte en Redesur, estaba limitada en su capacidad y el grado de protección que brindaba a los diferentes servicios que transportaba el operador también eran limitados.

Para este caso la solución no se podía enfocar en la ampliación de los enlaces de fibra óptica ya existente, ya que el solo arrendamiento de otros pares de fibra óptica implicaría un mayor costo de inversión. Como alternativa factible, se optaría por la optimización del recurso más importante que es la fibra óptica, con el cambio de equipos en los nodos que soporten DWDM y a la vez la implementación de una red óptica conmutada automática para la restauración de los servicios que transporta el operador en mención. Este capítulo se enfoca en analizar la metodología de la solución del problema, elementos usados y otros.

3.1 Matriz de tráfico

La matriz de tráfico brindada por el operador nos proporciona información del tráfico total ocupado por la red de transporte propia y sin respaldo. La Tabla 3.1 nos muestra la matriz de tráfico por la red DWDM del operador, donde los equipos DWDM se usan como transporte de los servicios de los equipos SDH, además los servicios que serán encapsulados en el equipo con tecnología SDH (Jerarquía digital síncrona) se encuentran tráficos de: E1(2Mbps), E3(34Mbps), STM-1(155Mbps), GE (GigaEhernet) y FE (FastEhernet), las capacidades de 1GE y 10GE son también capacidades de transporte con tecnología DWDM (Multiplexación por división en longitudes de onda densas).

Tabla 3.1: Matriz de tráfico (Fuente: Elab. Propia)

FIBRA OPTICA	ENLACE	CAPACIDAD			
		STM-16	STM-64	1GE	10GE
OPERADOR	JULIACA-AREQUIPA	4	0	14	1
OPERADOR	AREQUIPA-TACNA	6	1	6	2
OPERADOR	PUNO-JULIACA	2	0	8	0
OPERADOR	PUNO-TACNA	2	0	0	0

En la Tabla 3.2 se muestra la matriz de lambdas a nivel DWDM por donde se transportara el tráfico de la red óptica conmutada automática tanto en la fibra propia del operador y la fibra arrendada a Redesur.

Tabla 3.2: Matriz de Lambdas (Fuente: Elab. Propia)

FIBRA OPTICA	ENLACE	LAMBDA [nm]				
		1535.04	1533.47	1538.19	1531.90	-
OPERADOR	JULIACA-AREQUIPA	1535.04	1533.47	1538.19	1531.90	-
OPERADOR	AREQUIPA-TACNA	1532.68	1531.90	1537.40	-	-
OPERADOR	PUNO-JULIACA	1535.82	1531.90	1538.19	1536.61	1537.40
REDESUR	PUNO-MOQUEGUA	1534.25	1535.04	1536.61	1537.40	1538.19
REDESUR	MOQUEGUA-AREQUIPA	1535.04	1536.61	1538.98	-	-
REDESUR	MOQUEGUA-TACNA	1534.25	1537.40	1538.19	1538.98	-

3.2 Especificaciones de la fibra óptica

La "Empresa Eléctrica del Sur" REDESUR posee una red fibra óptica a través de los cables de guarda de tipo OPGW (Cable de guarda de fibra óptica). Contienen fibras ópticas alojadas en tubos de acero inoxidable, como sustituto del cable de guarda de las líneas de transmisión de energía.

Un cable OPGW debe realizar dos funciones, por una parte, debe funcionar como un conductor de puesta a tierra (conducir corrientes de cortocircuito, que resultan de fallas en el sistema eléctrico a tierra y salvaguardar la línea contra rayos), por otra parte, este cable ofrece las siguientes características: tecnología Loose Tube (tubo holgado), que protege la fibra de los esfuerzos de instalación y condiciones de carga de clima severo, una barrera contra la humedad que elimina la retención de hidrógeno y un núcleo sólido que proporciona una insuperable resistencia a la compresión.

Tabla 3.3: Distancias de la fibra óptica de Redesur

Enlace	Distancia [Km]
PUNO-MOQUEGUA	205
MOQUEGUA-AREQUIPA	129
TACNA-MOQUEGUA	137

El presente informe asume la posibilidad de la reutilización de la fibra óptica que el operador tiene actualmente instalada en las rutas de la costa, sierra y la fibra óptica aérea arrendada a La Red Eléctrica Peruana. La Figura 3.1 muestra el mapa de la REP en la zona sur del Perú, donde se desarrolla el proyecto además en la Tabla 3.3 se indica las distancias de las fibras instaladas.

En la Figura 3.2 se menciona el conjunto de equipamiento en la instalación de una fibra óptica OPGW. La definición de las rutas que formarán la topología final de la red de transmisión de este proyecto se ha definido según las siguientes consideraciones:

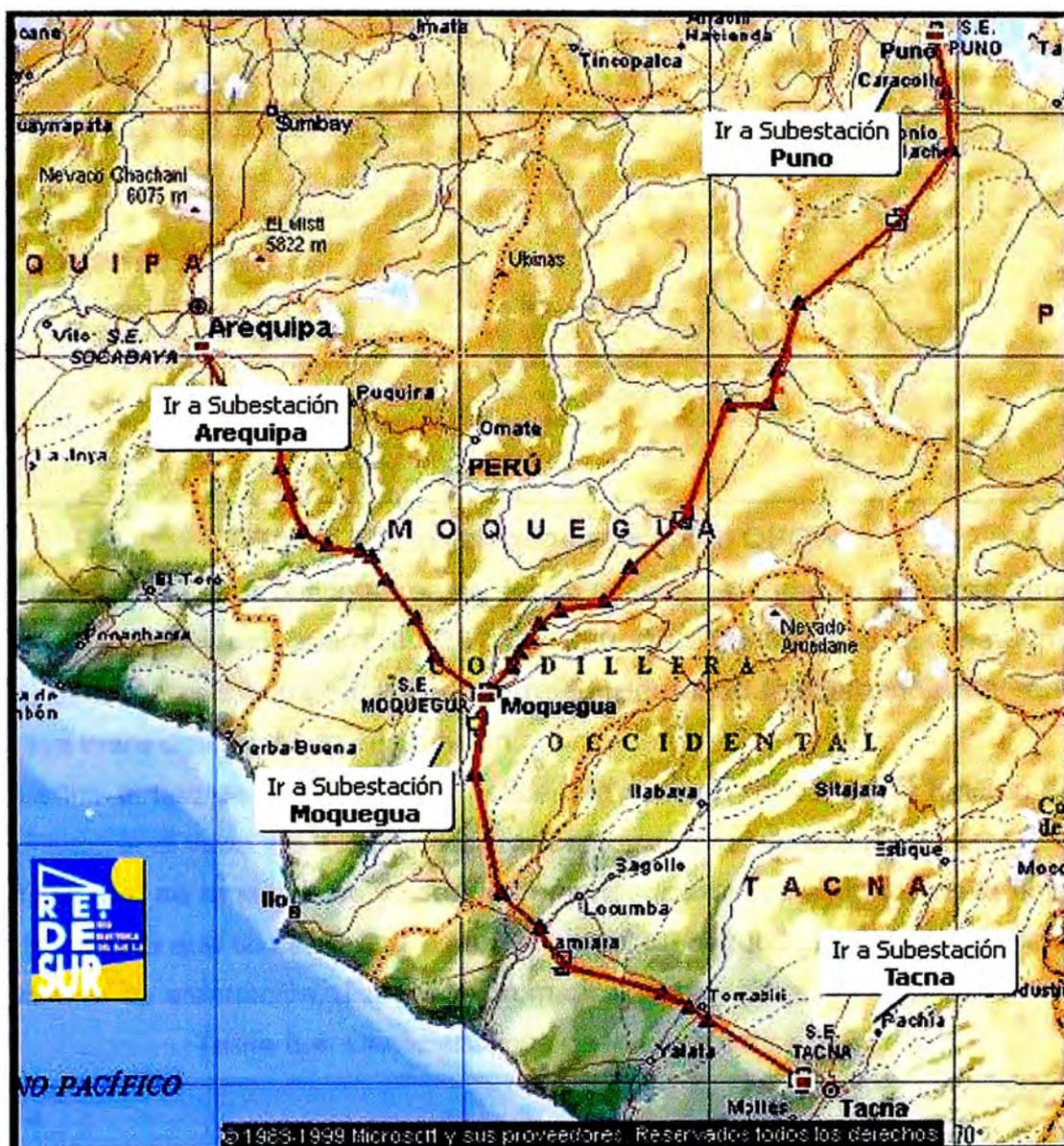


Figura 3.1: Recorrido de la FO Redesur

Fuente: <http://www.redesur.com.pe/>

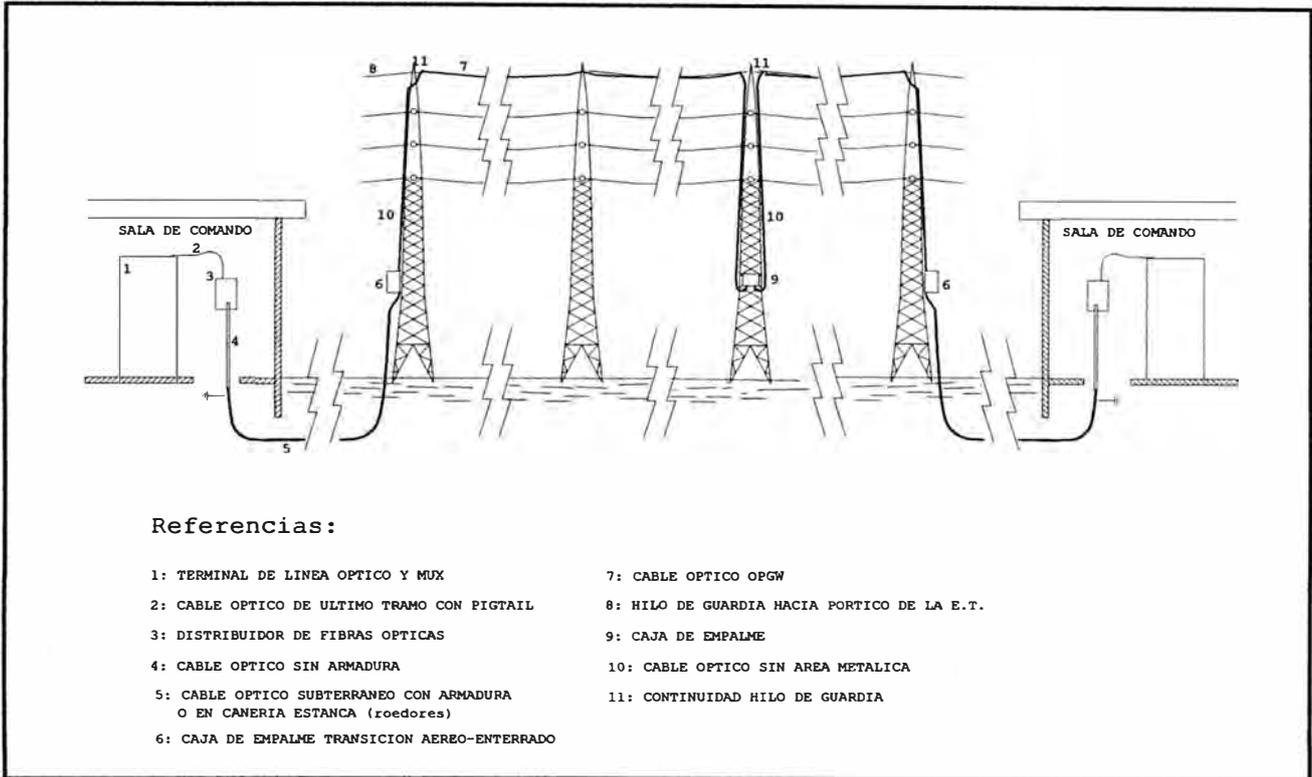


Figura 3.2: Instalación cable óptico OPGW

- 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.

- 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.

En la Tabla 3.4 se muestra los valores recomendados de los atributos de la fibra óptica de planta externa que se considerará para el proyecto, según indicado por el operador, se indica valores de atenuación, dispersión cromática, PMD y otros.

Tabla 3.4: Características de la Fibra óptica G.652

Tabla	Unidad	Características de la fibra óptica
Tipo de fibra		ITU-T G.652
Cantidad de fibras	[nº]	12
longitud de onda	[nm]	1310 y 1550
Atenuación máxima en 1550 nm	[dB/km]	0.21
Atenuación máxima en 1310 nm	[dB/km]	0.33
Dispersión cromática máxima a 1550 nm	[ps/(nm x km)]	18

Tabla	Unidad	Características de la fibra óptica
Dispersión cromática máxima a 1310 nm	[ps/(nm x km)]	3.5
Dispersión cromática máxima entre 1525 y 1575 nm	[ps/(nm x km)]	20
PMD máximo	[ps/km al 1/2]	0.5
Diámetro de revestimiento	[μm]	125 \pm 1.0
Diámetro de recubrimiento primario	[μm]	245 \pm 10
Diámetro campo modal en 1310 nm	[μm]	9 \pm 0.5
Diámetro campo modal en 1550 nm	[μm]	10 \pm 1.0
Error de concentricidad fibra/recubrimiento	[μm]	\leq 12
Error de concentricidad del campo modal/recubrimiento	[μm]	\leq 1
No circularidad del revestimiento	[%]	\leq 2
Longitud de onda de corte - cable	[nm]	\leq 1270
Identificación de las fibras		Por código de colores en el recubrimiento TIA/EIA 598
Protección contra la humedad de las fibras		Relleno en base a silicona
Tipo de empalmes		Fusión
Pérdidas de inserción promedio del empalme	[dB]	< 0.07
Pérdidas de retorno del empalme	[dB]	> 60

3.3 Colocación de equipo de transporte

Como se informó al inicio, la red de protección de Redesur estaba conformada por un enlace STM-16, conformado por multiplexores de inserción e extracción del proveedor Alcatel-Lucent, cuyo principal problema era la limitada capacidad de transporte, esto debido a que la tecnología de transporte inicial era SDH, además si se proyectaba una ampliación de enlaces, necesariamente se tenía que ampliar un nuevo enlace de fibra óptica, lo cual implicaría en un mayor costo de inversión por parte del operador.

Para escoger el mejor equipo, es recomendable tener en cuenta varias opciones de proveedores entre los cuales se pueda realizar una comparación de las características técnicas y seleccionar el conmutador óptico que sea más conveniente para la red.

a) Selección de equipo de conmutación

Se seleccionó el equipamiento OSN6800 del proveedor Huawei debido a que ya se había instalado equipos de este tipo en diferentes rutas en la zona sur, tales como los enlaces de Puno hacia Desaguadero y a nivel de todo el litoral en la zona sur, lo que tomaría un menor tiempo en instalación, pruebas y capacitación al personal en comparación a un nuevo proveedor.

Además el OSN6800 incorpora múltiples tecnologías de red de próxima generación, tales como G.709 OTN, ROADM, ópticas sintonizables e insertables, ASON/GMPLS y otros.

En el proceso de instalación se colocaron equipos que manejan tecnología DWDM, para un mejor uso de la fibra óptica existente, ya que se podría transportar una mayor capacidad de enlaces a nivel SDH utilizando un Lambda de los 40 u 80 existentes por el equipo.

Vale destacar también que los productos de Huawei son desarrollados en base a circuitos integrados desarrollados por el proveedor utilizando una tecnología ASIC, la cual es una de las más avanzadas en la industria, esto permite a los productos de Huawei gozar de alta integración, gran estabilidad, bajo consumo de energía y una relación costo/desempeño relevante, asimismo, la arquitectura de todos los productos de Huawei sigue una filosofía totalmente modular.

El sistema WDM en un OSN6800 que se utiliza como soporte de la capa de control en la red óptica conmutada automática esta conformado por:

- OTU (Optical Transport Unit), cuya función principal es la de adaptar la señal cliente a la señal WDM según el estándar ITU G.691/694.
- XCS, es el módulo de cross-conexión entre los módulos OTU.
- OM (Optical Multiplex Unit), cuya principal función es la multiplexación de un canal individual dentro de un canal óptico común, para el caso del OD (Optical Demultiplex Unit) realiza la función contraria de un OM.
- OA (Optical Amplifier Unit), es usado para compensar la pérdida de señal,

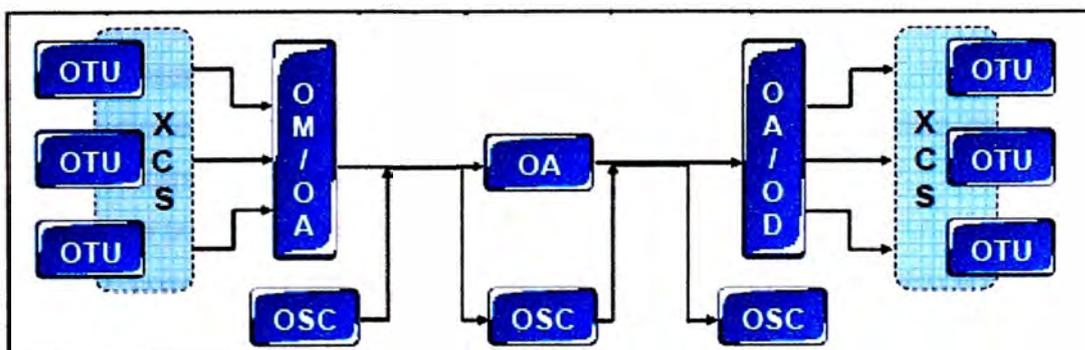


Figura 3.3: Sistema WDM del OSN6800

Fuente: Referencia [4]

b) Estructura física

La estructura física del equipamiento de transporte OSN6800, es principalmente modular está conformado por un armario de 23 slots, definidos por las siglas IU (Interface Unit) las cuales están numeradas de izquierda a derecha IU1-IU23

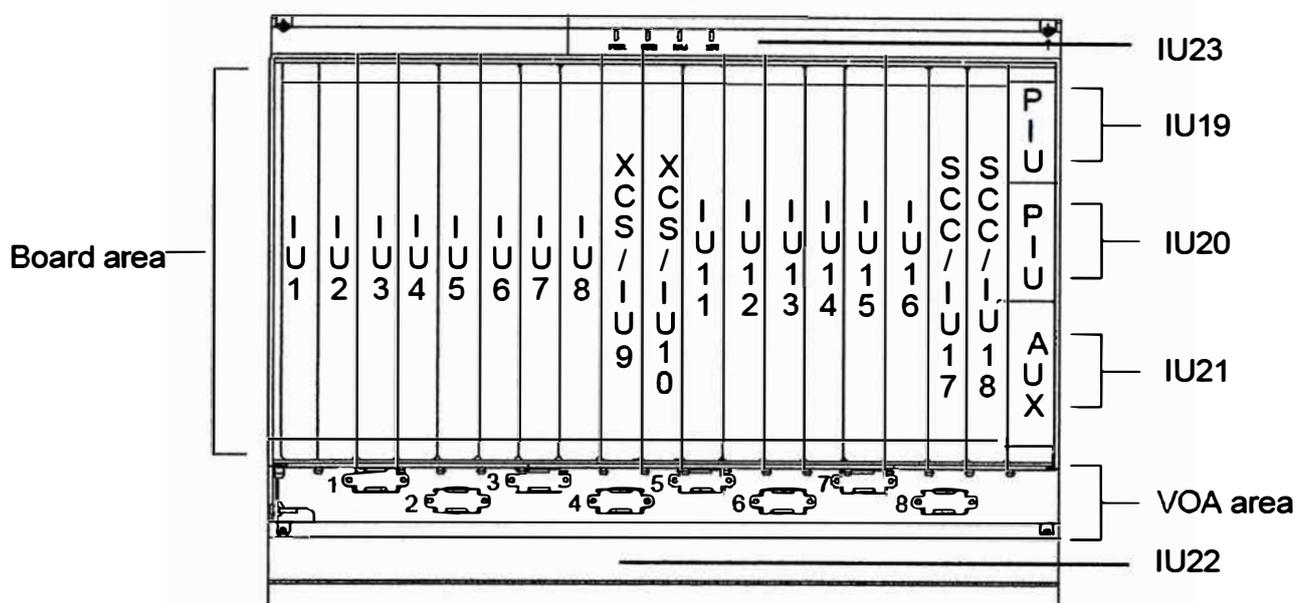


Figura 3.4: Estructura física del OSN6800

Fuente: Referencia [4]

Los módulos principales del equipamiento se dividen de la siguiente forma:

- IU1-IU17 son utilizadas para las tarjetas de servicio (OTU)
- IU19 y IU20 son utilizadas por las tarjetas PIU (Power Interface Unit) las que se interconectan con las fuentes de alimentación externa.
- IU18 es usada por la tarjeta activa de control del elemento de red SCC (System Control Communication)
- IU17 es usado por la tarjeta de contingencia en caso de falla del IU18
- IU9 y IU10 son usados por las tarjetas de cross-conexión interna XCS (Centralized Cross connect) activo y el de contingencia en caso de falla.
- IU22 es usado por la tarjeta de ventilación.
- IU23 es usado para la EFI activa

Las especificaciones técnicas importantes: son un máximo de potencia de consumo de: 1100 Watts y voltaje de trabajo nominal -48V/ -60V DC.

c) Capacidad de transmisión

El OSN 6800 posee una gran capacidad de transmisión y multiplexación a nivel de longitud de onda, estos equipos pueden soportar dos tipos de sistemas DWDM con diferentes espaciamentos entre longitudes de onda, con 40 lambdas con un espaciamento de 100GHZ entre lambdas y 80 lambdas con un espaciamento de 50

GHZ, el sistema de 40λ es aplicable para servicios 2.5, 5, 10 y 40 Gbps, es muy importante este sistema ya que se empleara en la optimización de los enlaces que se piensa proteger con la red óptica conmutada automática.

3.4 DWDM tradicional y ASON DWDM

Los aspectos importantes a tener en consideración, para la implementación de una red óptica conmutada automática comparado a una red tradicional DWDM, están dados en las siguientes consideraciones:

En las redes ópticas sin plano de control se dispone de dos tipos básicos de rutas: sin protección, enlaces 1+0, en los que el falló de un enlace provoca la pérdida del tráfico y con protección, enlaces 1+1, que disponen de una ruta de respaldo por lo que, en caso de corte, el tráfico es conmutado a ese segundo camino en menos de 50ms.

Con el plano de control aparecen los caminos ópticos restaurables. Si una ruta es declarada como restaurable, el falló de uno de sus enlaces es comunicado por el protocolo de señalización al nodo origen que buscará otra ruta válida y procederá a restaurar el camino por la nueva ruta. Para poder realizar la restauración es necesario que la red se dimensione con suficiente capacidad libre. A diferencia del caso de las rutas protegidas, la capacidad de reserva no es asignada permanentemente a un camino sino que es compartida por todos los caminos de la red, lo que produce un importante ahorro entre los recursos dedicados a dar supervivencia al tráfico. El ahorro obtenido por esta compartición de recursos es uno de los aspectos que hacen más atractivas las redes con restauración a los operadores.

Otro aspecto que hace las redes ópticas con plano de control especialmente atractivas para los operadores es la capacidad de provisión automática de rutas.

En las redes sin capa de control, la provisión se realiza desde el sistema de gestión de red, en este caso NM (Network Management). En las redes con plano de control, se dispone también de interfaces externas que permiten solicitar un camino tanto desde la capa cliente (interfaz UNI: User-Network Interface) como desde otro dominio de la red de transporte (interfaz E-NNI: External Network-Network Interface).

La interfaz UNI permite a un router o equipo terminal establecer, mantener y liberar caminos en la red de transporte de forma automática y con una calidad de servicio determinada. Esta facilidad posibilita reducir los tiempos de provisión de los caminos así como establecer mecanismos combinados de protección punto a punto. La interfaz E-NNI facilita la provisión de caminos entre dominios de distintos suministradores y el uso de distintos esquemas de protección en cada dominio.

3.5 Estructuras realizadas

En los siguientes ítems se detalla la estructura para la implementación de la red ASON.

3.5.1 Parámetros ópticos en la fibra óptica de Redesur

En las redes con tecnología SDH, la ruta se calcula considerando que los equipos disponen de matrices no bloqueantes y que el camino será siempre ópticamente viable; la selección se hace en base al estado de los enlaces y sus costos. En las mallas con redes DWDM, el enrutamiento debe considerar las limitaciones de los equipos de conmutación óptica y que no todos los caminos teóricos serán viables desde el punto de vista óptico. La selección de las rutas requiere que los algoritmos de cálculo tengan en cuenta las características ópticas del transpondedor seleccionado junto con la aportación de cada sección a la señal ruido (OSNR), a los efectos no lineales y a la dispersión modal (PMD). Los parámetros como la atenuación óptica del enlace se compensa con los amplificadores ópticos y la dispersión cromática se compensa con compensadores de dispersión cromática, el ruido ASE (Amplified Spontaneous Emission) que interviene en el cálculo del OSNR y la PMD son las degradaciones más importantes que limitan la capacidad y la distancia de transmisión de las aplicaciones DWDM.

Por lo tanto los parámetros más importantes a considerar en el sistema debido a la reutilización de la fibra óptica son la atenuación, dispersión cromática, PMD y OSNR, estos parámetros se deben considerar en el sistema DWDM, las cuales están asociadas a la distancia entre nodos.

a) La atenuación

La atenuación debida a la longitud o distancia entre nodos se cuantifica empleando el coeficiente de atenuación, que son valores fijos basados en los estándares y dependiendo el tipo de fibra utilizada, en nuestro caso se ha utilizado una fibra estándar G.652C.

Para nuestro cálculo de la atenuación, hacemos uso de la ecuación 3.1:

$$\text{Atenuación} = L \times \alpha \quad (3.1)$$

Donde α [dB/Km] el cual es el coeficiente de atenuación, para el caso de una fibra G.652C es un valor de 0.21 y L [Km] la distancia del enlace de FO.

También tenemos que tener en cuenta el número de empalmes y la atenuación total con la que contribuyen, para los enlaces mencionados consideraremos que se hará un empalme cada 4 Km y el valor de la atenuación por empalme es de 2dB y finalmente un margen de seguridad para los cables de fibra debido a futuras reparaciones está entre 1-2dB, se considerará el valor de 2dB.

Reemplazando y operando en la ecuación (3.1) tenemos los valores hallados en la Tabla 3.7, conformado por los tramos de enlace de fibra, distancia, valores de atenuación, atenuación por empalme y otros.

Tabla 3.7: Niveles de atenuación por tramo de FO

Enlace	Distancia[Km]	Atenuación[dB]	Atenuación Empalme [0. dB c/u]	Margen del cable [2dB]	Atenuación Total[dB]
Arequipa-Moquegua	129	27.09	6.45	2	35.54
Tacna-Moquegua	137	28.77	6.85	2	37.62
Puno-Moquegua	205	43.05	10.25	2	55.30

b) Dispersión cromática

El efecto de la dispersión cromática consiste en la variación del índice con la longitud de onda, este parámetro ensancha el pulso y hace con que el mismo interfiera con los pulsos vecinos, este factor limita la velocidad de transmisión y el alcance en las redes de telecomunicaciones.

Para nuestro cálculo de la dispersión cromática, hacemos uso de la siguiente ecuación (3.2):

$$\sigma_c = L \times D_c \quad (3.2)$$

Donde D_c [ps/nm.Km] el cual es el coeficiente de dispersión, para el caso de una fibra G.652C es un valor de 17 y L [Km] la distancia del enlace de FO.

Reemplazando y operando en la ecuación (3.2) tenemos los valores en la Tabla 3.8.

Tabla 3.8: Niveles de dispersión cromática por tramo de FO

Tramo	Distancia[Km]	DCM[ps/nm]
Arequipa-Moquegua	129	2193
Tacna-Moquegua	137	2329
Puno-Moquegua	205	3485

Con los resultados mostrados en la Tabla 3.8, se observa que los valores de dispersión necesitarán ser compensadas, el módulo NS2 según manual del proveedor a utilizar tiene una tolerancia de dispersión máxima de 800 ps/nm para la fibra G.652.

Para este caso de la compensación se utilizaran módulos de compensación de dispersión (Dispersion Compensation Module, DCM).

c) PMD (Dispersión por modo de polarización)

PMD es una limitante en los sistemas de transmisión por fibra óptica de alta velocidad (>10 Gbps) y de larga distancia, así como el PMD produce ensanchamientos de los pulsos ópticos transmitidos por una fibra óptica, lo que provoca interferencia entre símbolos y por lo tanto, un aumento de la tasa de bit erróneo (BER).

El coeficiente PMD es un parámetro especificado por el fabricante de fibras ópticas al momento de su venta y entrega, pero hay que tener en cuenta que debido a tensiones, cambios de temperatura, esfuerzos, curvaturas, el paso del tiempo y el medio en que se encuentran las fibras ópticas durante su vida útil, este coeficiente tiende a crecer. Es por esta razón que es muy recomendable medir sus valores periódicamente.

La ITU-T (Unión Internacional de Telecomunicaciones) recomienda que el DGD máximo en un enlace de fibra óptica no debiera superar el 30% de la ranura temporal de un bit (TB) para no superar una penalidad de potencia de 1 dB, producto de la distorsión provocada por PMD. Para no alcanzar un DGDmáx determinado (asumiendo que los ensanchamientos producto de dispersión cromática son nulos y que DGD tiene una distribución Maxwelliana), la PMD debiera encontrarse en un rango menor a DGDmáx/3, donde DGDmáx correspondería al 30% de TB. En otras palabras, el PMDmáx permitido sería:

$$\sigma_{\text{PMD}} < \frac{1}{10} T_B \quad (3.3)$$

Reemplazando los valores, para un valor de 10 Gbps

Tabla 3.9: Tasas de transmisión digital con sus respectivas ranuras temporales por bit (TB) y su PMD máx.

Bit Rate [Gbps]	TB[ps]	PMD max [ps]
2.5	400	40
10	100	10

Considerando la ecuación (3.4), para el cálculo de los valores de PMD en los tramos de implementación:

$$\text{PMD} = D_p \times \sqrt{L} \quad (3.4)$$

Donde D_p [ps.Km^{1/2}] es el coeficiente de dispersión, para el caso de una fibra G.652C es un valor de 0.5 y L [Km] es la distancia del enlace de FO.

Reemplazando y operando en la ecuación (3.4) tenemos los valores de PMD en ps en la Tabla 3.10. Actualmente en el mercado existen diferentes equipos para medir la PMD en la fibra, basados en la inyección de luz polarizada y medida del retraso de la señal.

Tabla 3.10: Niveles de PMD por tramo de FO

Tramo	Distancia[Km]	PMD[ps]
Arequipa-Moquegua	129	5.67
Tacna-Moquegua	137	5.85
Puno-Moquegua	205	7.16

De los valores observados en la Tabla 3.10, se concluye que la implementación planteada no presentara limitaciones debido al PMD, ya que los valores obtenidos son menores al valor recomendado en la Tabla 3.9. en las tasas de transmisión digital y los valores de PMDmax por bit rate.

d) OSNR (Relación señal/ruido)

Un parámetro importante en los enlaces ópticos es la OSNR (Optical signal to noise ratio) y se define como la relación entre la potencia óptica de la señal dividida por el ruido y se expresa en dB, el ruido se define como cualquier señal indeseable que llegue al receptor.

Las fuentes de ruido se pueden clasificar en activas y pasivas. Las activas como los lasers, receptores y amplificadores ópticas generan potencia de ruido en el enlace. Las fuentes pasivas como filtros, empalmes, conector y componentes WDM producen interferencia debido a las distorsiones y reflexiones de la señal.

La OSNR se considera sólo en aquellos enlaces que tienen amplificadores, esto es debido a que al no haber amplificadores el nivel de ruido es muy bajo y no constituye un factor limitante. En enlaces ópticos con amplificadores, la relación señal a ruido se ve disminuida cada vez que la señal óptica pasa por un amplificador. Esto se debe a que no solo la señal óptica se amplifica sino también el nivel de ruido, así mismo, cada amplificador adiciona ruido ASE al sistema debido a la naturaleza del proceso de amplificación. Esto quiere decir que una señal óptica tendrá mayor OSNR a la entrada del amplificador que a la salida. La relación entre el OSNRIN y el OSNRROUT se conoce como figura de ruido (NF) y es un parámetro característico del amplificador.

En amplificadores EDFA el ruido ASE ocupa el mismo ancho de banda de amplificación, por lo que se debe poner sumo cuidado en el diseño de enlaces ópticos con amplificadores en cascada con el fin de obtener un OSNR de recepción aceptable para un valor de BER determinado.

La UIT-T en su recomendación G.697 especifica el método para la medición del OSNR de un canal, el cual se basa en medir la potencia pico de la señal DWDM y la potencia de ruido cuando el canal está desactivado. En las siguientes tablas se mostraran los valores de OSNR para la red DWDM de la fibra óptica de Redesur, los datos fueron proporcionados por la gestión de red que administra el operador de telecomunicaciones.

Para el enlace entre Tacna-Moquegua, en la Tabla 3.11 se detalla los lambdas usados por la red ASON y sus valores de OSNR tanto en el lado de transmisión (TX) y recepción (RX).

Por cada lambda se transmitirá una capacidad máxima de 10Gbps y los transponderes usan un modo de corrección AFEC (Advanced Forward Error Correction), en base a los requerimientos dados en la Figura 3.11 se realiza una comparación de valores de OSNR de acuerdo a los requerimientos de OSNR basado en la velocidad, modo FEC (Corrección de error de transmisión) y código de línea, se verifica que los valores son aceptables para el sistema a implementar.

Velocidad	Modo FEC	Código de línea	Requerimiento de OSNR
2.5 Gbit/s	FEC	NRZ	15
	No FEC	NRZ	20
5 Gbit/s	FEC	NRZ	20
10 Gbit/s	FEC	NRZ	20
	AFEC	NRZ	16
	AFEC	ODB	16
40 Gbit/s	AFEC	DRZ	14.5
		ODB	20.5
		DQPSK	18

Figura 3.11: Requerimientos de OSNR

Fuente: Referencia [4]

Tabla 3.11: Valores de OSNR en el enlace Tacna-Moquegua (Fuente: Gestión de red del operador)

Lambda No.	Longitud de onda (nm)/Frecuencia (THz)	OSNR(dB)	
14	1534.25/195.400	29	TX
22	1537.4/195.000	30	
24	1538.19/194.900	31.5	
26	1538.98/194.800	29.9	
Lambda No.	Longitud de onda (nm)/Frecuencia (THz)	OSNR(dB)	
14	1534.25/195.400	19	RX
22	1537.4/195.000	19.1	
24	1538.19/194.900	18.7	
26	1538.98/194.800	19.3	

Para el enlace entre Puno-Moquegua se realiza el mismo procedimiento de comparación entre las especificaciones de la Figura 3.11 y la Tabla 3.12. y se verifica los valores

deseables para que el enlace trabaje a 10Gbps.

Tabla 3.12: Valores de OSNR en el enlace Puno-Moquegua (Fuente: Gestión de red del operador)

Lambda No.	Longitud de onda (nm)/Frecuencia (THz)	OSNR(dB)	
14	1534.25/195.400	29.5	TX
16	1535.04/195.300	31.5	
20	1536.61/195.100	31.3	
22	1537.4/195.000	30.9	
24	1538.19/194.900	29.5	
Lambda No.	Longitud de onda (nm)/Frecuencia (THz)	OSNR(dB)	
14	1534.25/195.400	20.4	RX
16	1535.04/195.300	21	
20	1536.61/195.100	21.3	
22	1537.4/195.000	21.3	
24	1538.19/194.900	21	

Para el enlace entre Arequipa-Moquegua se realiza el mismo procedimiento de comparación entre las especificaciones de la Figura 3.11 y la Tabla 3.13. y se verifica los valores deseables para que el enlace trabaje a 10Gbps.

Tabla 3.13: Valores de OSNR en el enlace Arequipa-Moquegua (Fuente: Gestión de red del operador)

Lambda No.	Longitud de onda (nm)/Frecuencia (THz)	OSNR(dB)	
16	1535.04/195.300	30.3	TX
20	1536.61/195.100	29.1	
26	1538.98/194.800	30	

Lambda No.	Longitud de onda (nm)/Frecuencia (THz)	OSNR(dB)	
16	1535.04/195.300	18.5	RX
20	1536.61/195.100	19.2	
26	1538.98/194.800	18.4	

3.5.2 Identificación de nodos y bastidores

La identificación de los equipos y bastidores que se pondrán en los nodos representativos para la implementación de la red óptica conmutada automática es un primer paso, estas estarán ubicadas en Arequipa, Moquegua, Puno, Tacna y Juliaca, estos equipos que se ubicarán se anclaran en las unidades remotas de acceso (URA), identificándolos con un número de bastidor, la cual es muy importante ya que en caso de falla del equipamiento se puede identificar de manera rápida la ubicación del mismo.

La identificación de equipamiento se representa en la siguiente tabla 3.2.

Tabla 3.5: Identificación de equipamiento en los Nodos

NE (Elemento de red)	Nemónico	Equipo	Bastidor	Optical NE
Arequipa	ARE	OSN6800	501E-4	ARE_6800_501E-4
Tacna	TAC	OSN6800	307F-2	TAC_6800_307F-2
Moquegua	BMQ	OSN6800	108E-2	BMQ_6800_108E-2
Juliaca	JUL	OSN6800	211E-4	JUL_6800_211E-4
Puno	PUN	OSN6800	106F-2	PUN_6800_106F-2

3.5.3 Cantidad de equipos a instalar

La tabla 3.6 detalla la cantidad de subgabinetes que se instalarán de acuerdo al equipamiento DWDM y se considerará tener en un nodo como mínimo dos gabinetes, el conjunto de sub-gabinetes están enlazados.

Tabla 3.6: Cantidad de equipamiento

Nodo	AREQUIPA	MOQUEGUA	TACNA	PUNO
Equipamiento DWDM OSN6800	4	5	4	3

3.5.4 Esquema de fibras y tarjeterías de los equipos DWDM

Como un esquema general se describirá los módulos o tarjetas importantes que se utilizan en la implementación del proyecto en la capa de transporte o física, el sistema está formado por:

- TOM, transpondedor de acceso, se utiliza principalmente para realizar cross-conexiones en la capa eléctrica y para proporcionar interfaces OTN
- NS2, tarjeta procesadora de servicio de 10G.
- D40, demultiplexor óptico
- M40V, multiplexor óptico
- OAU, amplificador EDFA en banda C con ganancia por canal entre 20dB y 31dB
- OBU, amplificador EDFA en banda C con ganancia por canal entre 23dB

- HBA, amplificador EDFA en banda C con ganancia de 29dB.
- DCM, módulo de compensación de dispersión
- FIU, módulo de interconexión con el ODF (Distribuidor de fibra óptica)
- CRPC, amplificador Raman en banda C con ganancia por canal de 10dB.
- VA4, atenuador óptico variable de 4 canales
- SC2, unidad de supervisión óptica de dos canales
- HSC1, unidad de supervisión óptica

La interconexión de los módulos se realiza con las fibras ópticas con conectores tipo LC.

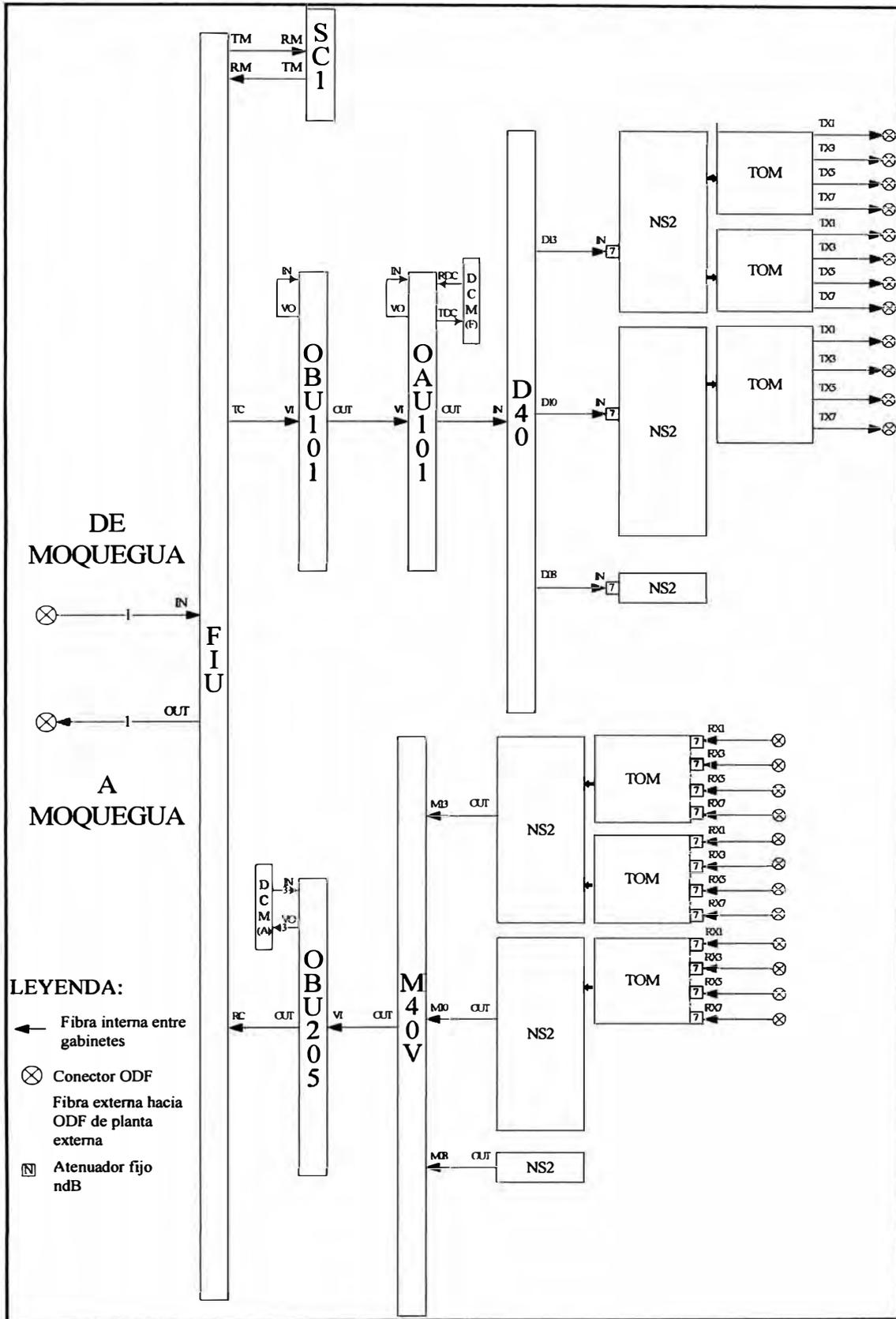


Figura 3.5: Esquema de interconexión de fibras dentro del equipo OSN6800 en Arequipa

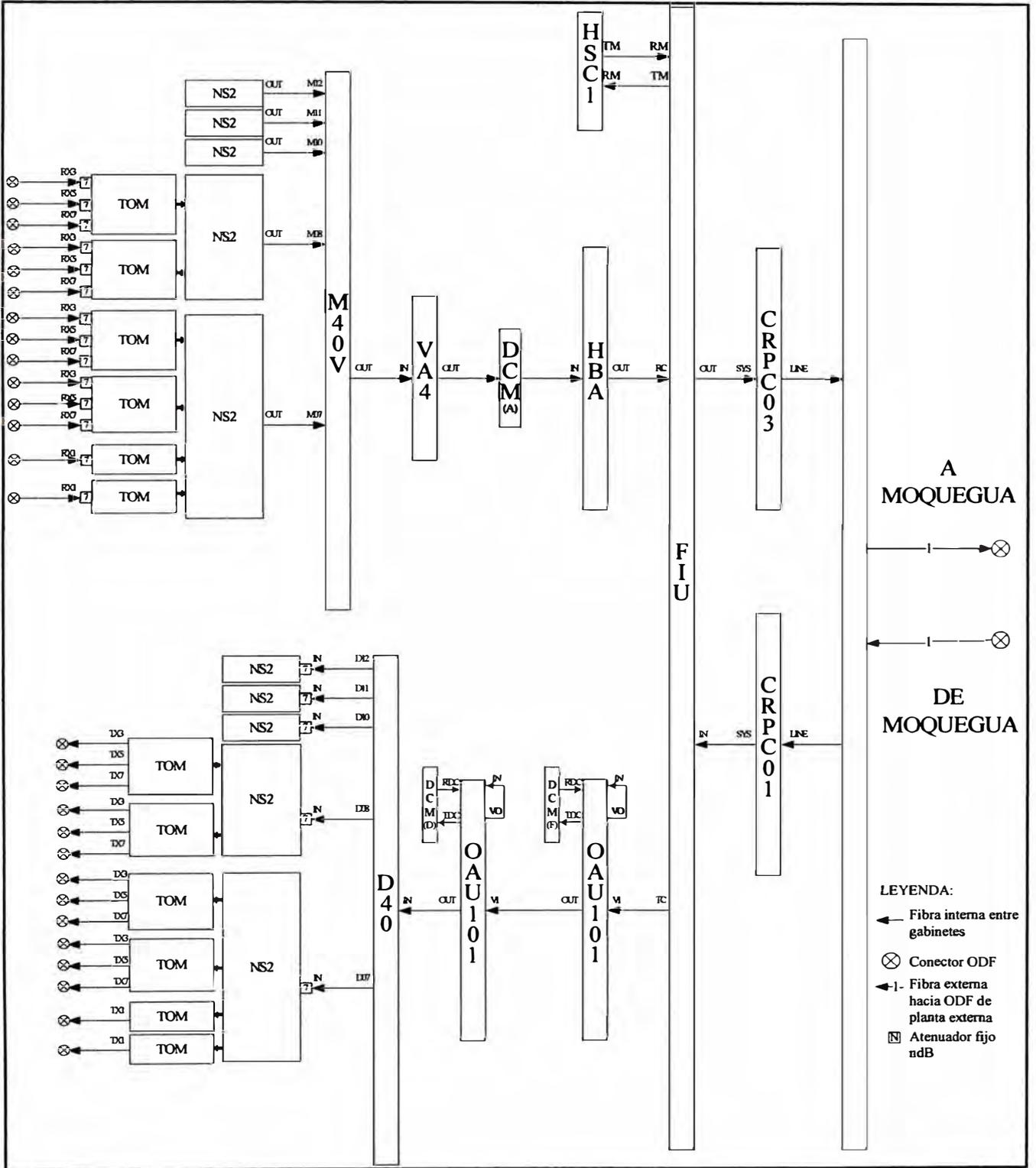


Figura 3.6: Esquema de interconexión de fibras dentro del equipo OSN6800 en Puno

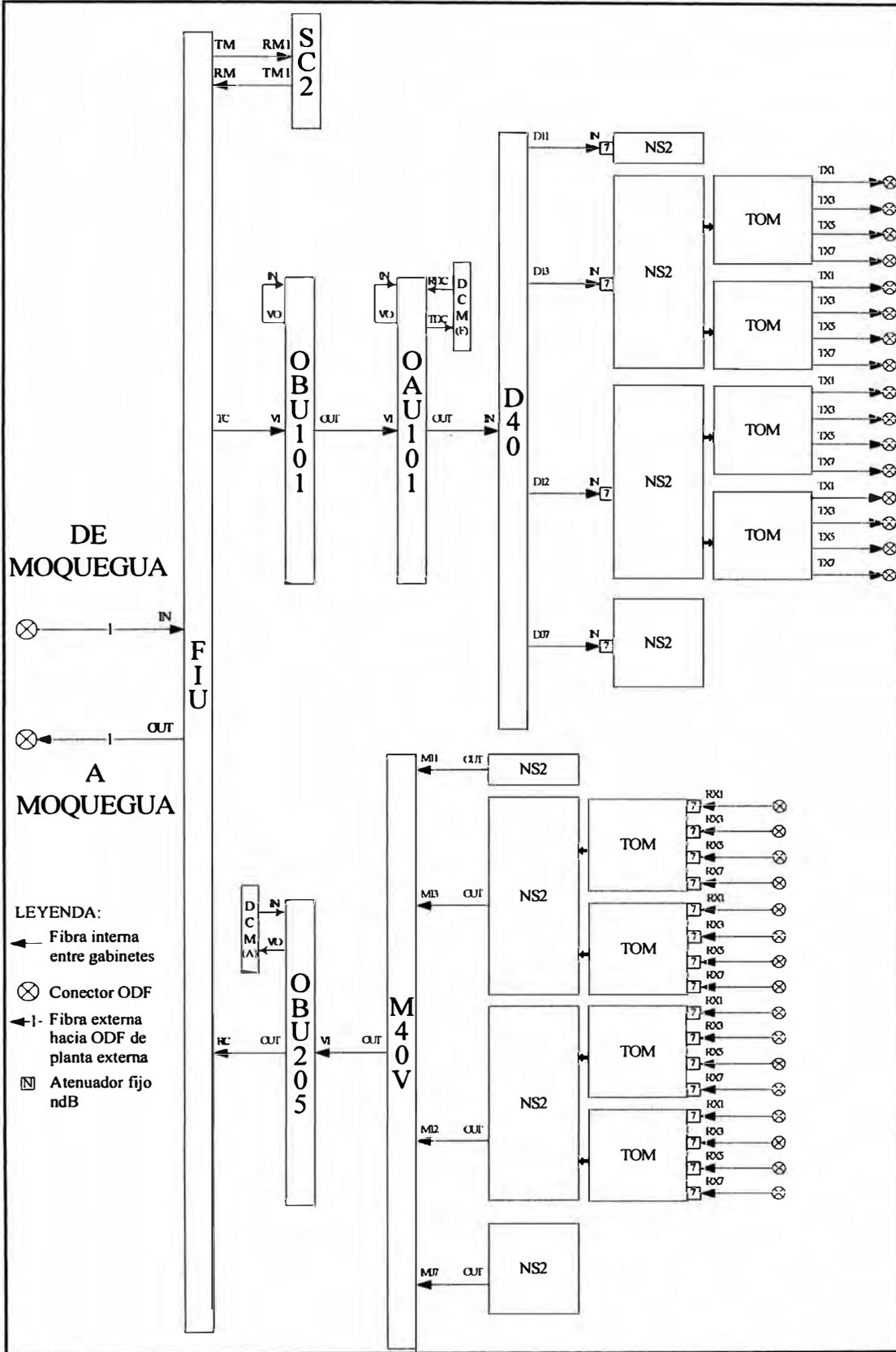


Figura 3.7: Esquema de interconexión de fibras dentro del equipo OSN6800 en Tacna

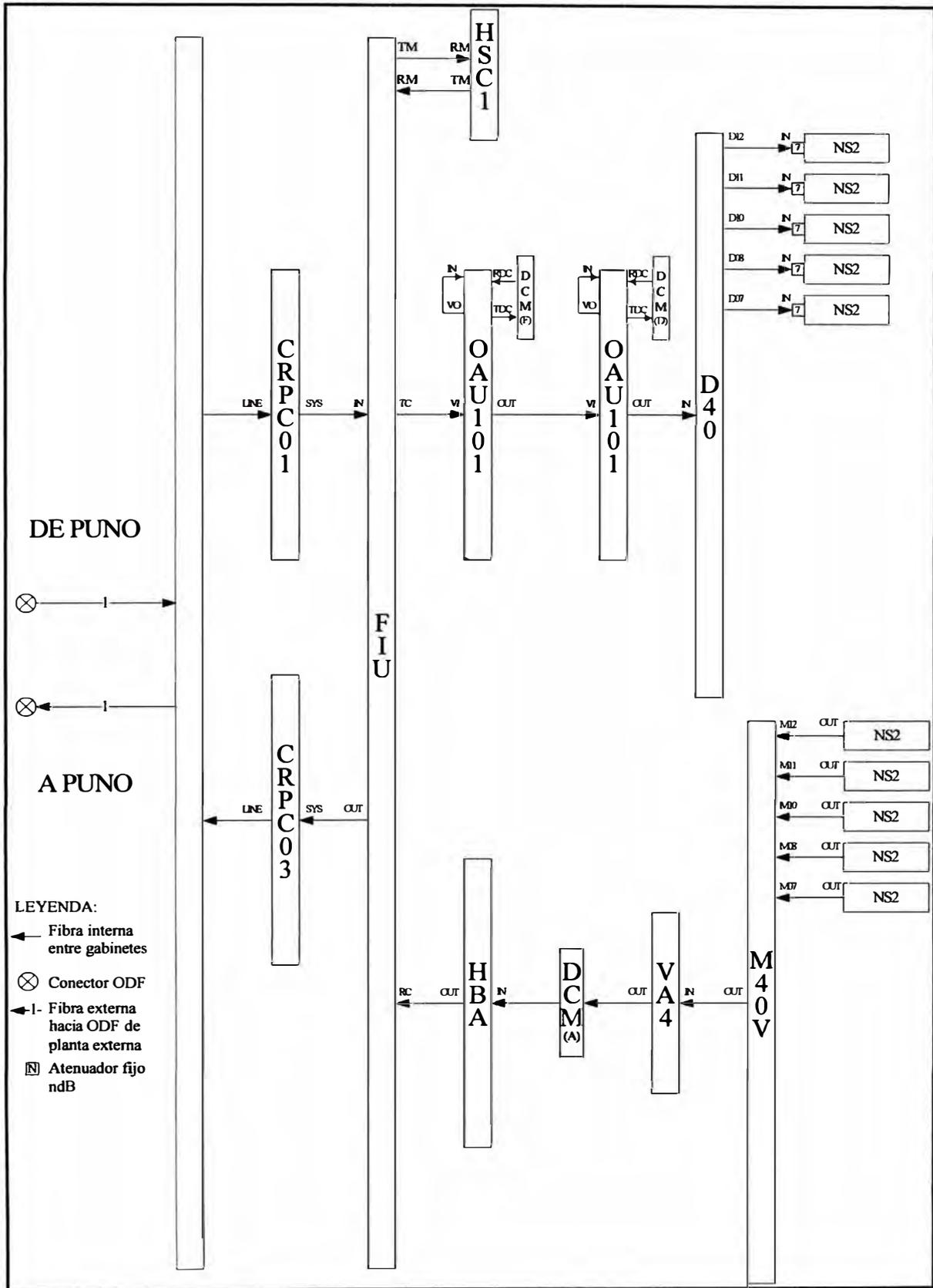


Figura 3.8: Esquema de interconexión de fibras dentro del equipo OSN6800 en Moquegua

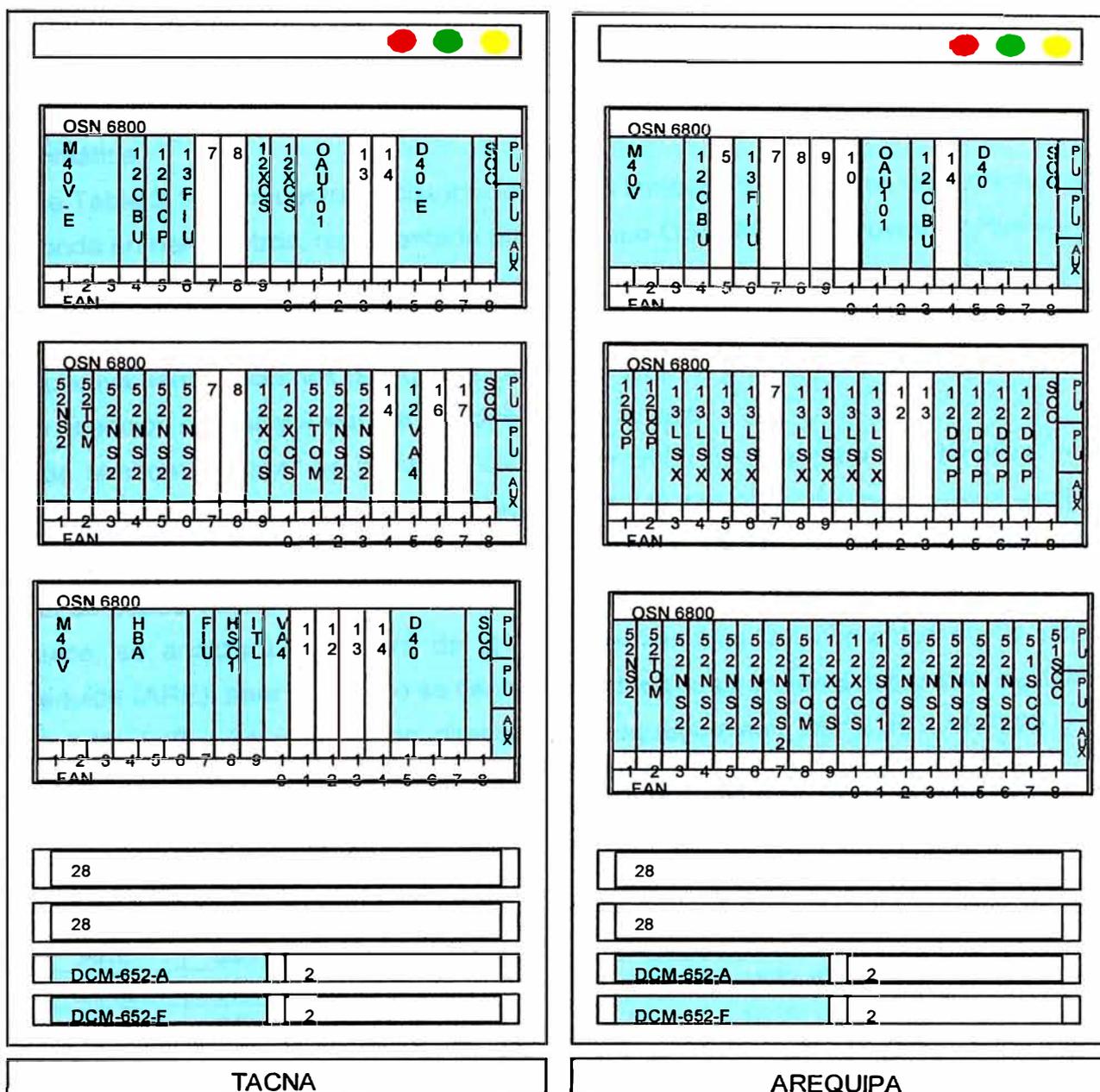


Figura 3.10: Esquema de tarjetas en los gabinetes de Tacna y Arequipa

3.5.5 Parámetros de lambdas usados

El estándar G.964 de la ITU-T establece el uso de las frecuencias en las bandas C, L y S en sistemas multicanal, con espaciamento de 50 y 100 GHz, considerando que la fibra que se encuentra instalada es una G.652C, nuestra banda de trabajo es la C (convencional).

Empleando un espaciamento de 100GHz entre lambdas, partiendo desde una frecuencia 1530.33nm-1569.59nm tenemos una cantidad de 50 canales o lambdas, en el otro caso con un espaciamento de 50GHz entre lambdas, partiendo desde una frecuencia 1529.94nm-1569.59nm tenemos una cantidad de 100 canales o lambdas.

En el caso del proyecto, se planteó el uso de los equipos OSN6800 del proveedor Huawei, con las razones implicadas en el ítem 3.3, el cual trabaja con 40 u 80 canales por banda (C o L) a 100 ó 50 GHz respectivamente, por lo tanto se considera el uso de la banda C con 80 canales en la implementación del sistema con la red óptica conmutada automática.

En la Tabla 3.14 se muestra la distribución de los lambdas y los valores de sus longitudes de onda en nanómetros, representada por el equipo OSN6800 del proveedor Huawei con 80 canales, se indica los diferentes enlaces donde se implementará la red ASON como: Moquegua (BMQ) con dirección a Arequipa (ARE), Tacna (TAC) y Puno (PUN) respectivamente, además la reutilización de los enlaces existentes en los tramos Juliaca con dirección a Puno y Arequipa con dirección a Juliaca.

Cada lambda a utilizar se identifica con el nemónico de sala para su identificación, la ubicación del equipo (bastidor), la ubicación de la tarjetería a usar en este caso los módulos ópticos NS2 (la cual se detalla en el ítem 3.5), el valor numérico de él lambda, el cual se puede validar su valor numérico en nanómetros en la Tabla 3.8 y la dirección del enlace, se analizará a manera de ejemplo los lambdas del nemónico de la sala de Arequipa (ARE), para este caso se tiene 4 lambdas con dirección a Juliaca las cuales son los: L16, L12, L24 y L08, con dirección a Moquegua son los: L26, L16, L20 y con dirección a Tacna son los: L10, L08 y L22.

Tabla 3.14: Distribución de lambdas por enlace en la topología del sistema

Nemónico de Sala	Bastidor	Subrack	Slot	Lambda	Longitud de Onda	Dirección de Enlace
ARE	501E-4	0	1	L16	1535.04 nm	JULIACA
ARE	501E-4	0	4	L12	1533.47 nm	JULIACA
ARE	501E-4	0	7	L24	1538.19 nm	JULIACA
ARE	501E-4	0	13	L08	1531.90 nm	JULIACA
ARE	501E-4	0	5	L26	1538.98 nm	MOQUEGUA
ARE	501E-4	0	14	L16	1535.04 nm	MOQUEGUA
ARE	501E-4	0	15	L20	1536.61 nm	MOQUEGUA
ARE	501E-4	0	6	L10	1532.68 nm	TACNA
ARE	501E-4	0	12	L08	1531.90 nm	TACNA
ARE	501E-4	0	16	L22	1537.40 nm	TACNA
BMQ	108E-2	3	1	L16	1535.04 nm	AREQUIPA
BMQ	108E-2	3	2	L20	1536.61 nm	AREQUIPA
BMQ	108E-2	3	3	L26	1538.98 nm	AREQUIPA
BMQ	108E-2	3	8	L14	1534.25 nm	PUNO
BMQ	108E-2	3	11	L16	1535.04 nm	PUNO
BMQ	108E-2	3	12	L20	1536.61 nm	PUNO
BMQ	108E-2	3	13	L22	1537.40 nm	PUNO

Nemónico de Sala	Bastidor	Subrack	Slot	Lambda	Longitud de Onda	Dirección de Enlace
BMQ	108E-2	3	14	L24	1538.19 nm	PUNO
BMQ	108E-2	3	4	L14	1534.25 nm	TACNA
BMQ	108E-2	3	5	L22	1537.40 nm	TACNA
BMQ	108E-2	3	6	L24	1538.19 nm	TACNA
BMQ	108E-2	3	7	L26	1538.98 nm	TACNA
JUL	211E-4	0	1	L16	1535.04 nm	AREQUIPA
JUL	211E-4	0	3	L08	1531.90 nm	AREQUIPA
JUL	211E-4	0	5	L24	1538.19 nm	AREQUIPA
JUL	211E-4	0	16	L12	1533.47 nm	AREQUIPA
JUL	211E-4	0	4	L18	1535.82 nm	PUNO
JUL	211E-4	0	11	L08	1531.90 nm	PUNO
JUL	211E-4	0	12	L24	1538.19 nm	PUNO
JUL	211E-4	0	14	L20	1536.61 nm	PUNO
JUL	211E-4	0	15	L22	1537.40 nm	PUNO
PUN	106F-2	1	7	L18	1535.82 nm	JULIACA
PUN	106F-2	1	13	L08	1531.90 nm	JULIACA
PUN	106F-2	1	14	L20	1536.61 nm	JULIACA
PUN	106F-2	1	15	L22	1537.40 nm	JULIACA
PUN	106F-2	1	16	L24	1538.19 nm	JULIACA
PUN	106F-2	1	1	L14	1534.25 nm	MOQUEGUA
PUN	106F-2	1	2	L16	1535.04 nm	MOQUEGUA
PUN	106F-2	1	3	L20	1536.61 nm	MOQUEGUA
PUN	106F-2	1	4	L22	1537.40 nm	MOQUEGUA
PUN	106F-2	1	5	L24	1538.19 nm	MOQUEGUA
TAC	307F-2	1	1	L10	1532.68 nm	AREQUIPA
TAC	307F-2	1	6	L22	1537.40 nm	AREQUIPA
TAC	307F-2	1	12	L08	1531.90 nm	AREQUIPA
TAC	307F-2	1	3	L22	1537.40 nm	MOQUEGUA
TAC	307F-2	1	4	L24	1538.19 nm	MOQUEGUA
TAC	307F-2	1	5	L26	1538.98 nm	MOQUEGUA
TAC	307F-2	1	13	L14	1534.25 nm	MOQUEGUA

3.5.6 Topología implementada entre nodos

La topología que se implementara entre los nodos, será una red de semi-malla, esto debido a que estas redes no tienen cuello de botella entre nodos y aseguran la supervivencia de los servicios a través de rutas alternativas durante fallas en el equipo o enlace.

Para este caso un gran número de nodos están conectados por rutas rectas en una red de malla, además en este tipo de red existe más de una ruta disponible entre dos nodos para que el servicio de transmisión sea altamente fiable; como resultado, la topología de

mailla es un modo de transmisión para una red óptica inteligente.

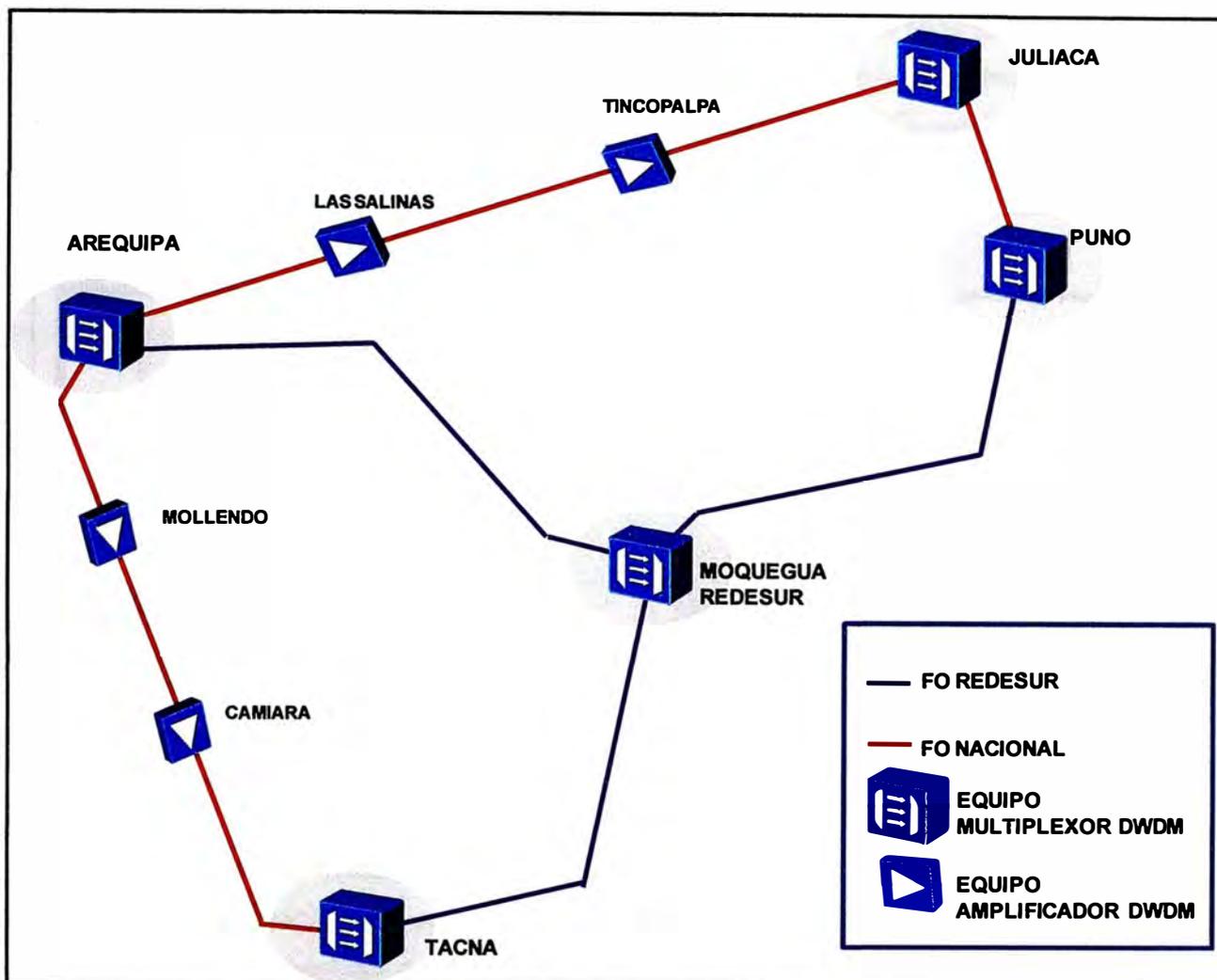


Figura 3.12: Topología implementada entre nodos (Fuente: Elab. Propia)

La Figura 3.12 muestra la topología semi-malla Optix OSN6800 de multiplexores ópticos de inserción y extracción, se observa que la red se conformará por la red de fibra óptica de Redesur, la red de fibra óptica de penetración entre Arequipa-Las Salinas-Tincopalpa-Juliaca-Puno y la red de fibra óptica nacional Arequipa-Mollendo-Camiara-Tacna. Además para el caso de cantidad de fibra usada, se arrienda dos pares de fibra óptica, la cual se utiliza en la red de Redesur, uno de los pares es usado como respaldo del otro, para los casos de mantenimiento y posible falla de la red.

3.5.7 Configuración del sistema

El sistema formado por la red semi-malla está conformado por equipos ópticos de la red óptica DWDM estática tradicional, conformado por los transponders (OTU), los equipos de multiplexación, de-multiplexación (OM) y los equipos amplificadores (OA), como se muestra en la Figura 3.13.

La configuración del servicio de los ASON WDM tiene las siguientes características: dar el soporte de punto a punto de servicios bidireccionales de longitud de onda basado en el

canal óptico OCh, donde el punto de inicio y fin de los servicios deben ser las interfaces WDM-side de la tarjeta OTU, las configuraciones que haremos a nivel servicio será sobre el nivel ODU1 o ODU2, después de especificar el nodo origen y destino, puerto origen /destino, slot origen / destino, canal ID de origen / destino, nivel de servicio, la velocidad y los atributos de protección.

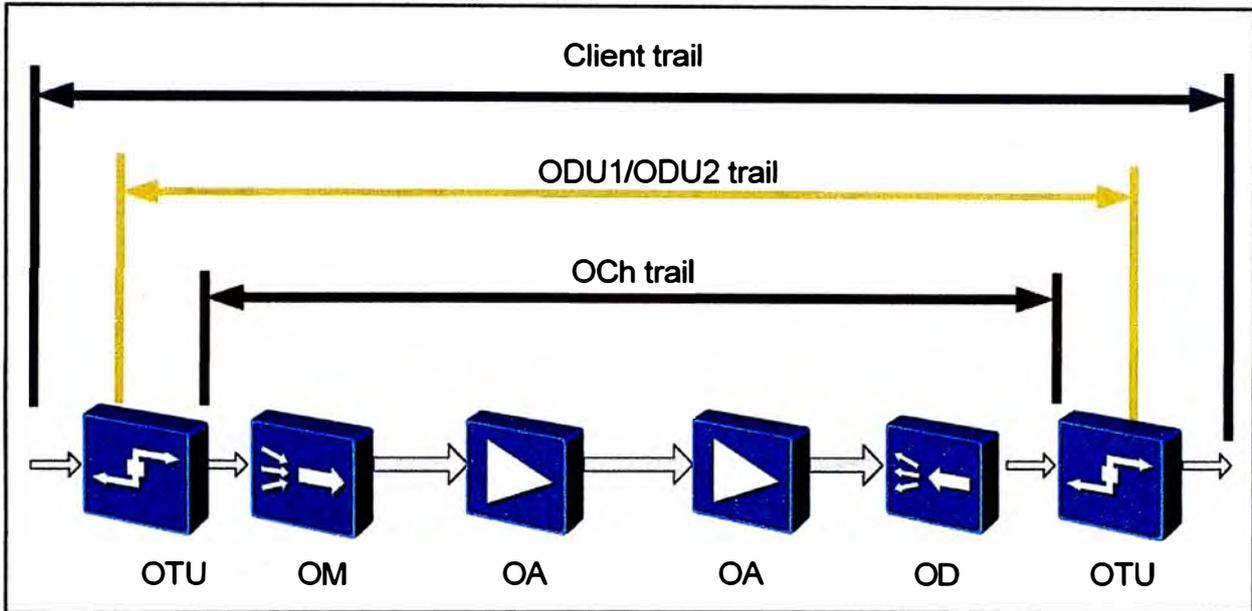


Figura 3.13: Configuración del servicio ASON DWDM

El proceso de creación de un LSP es la siguiente:

Básicamente la creación de un LSP se realiza con la elección de información básica como es el nivel de servicio en la gestión de red (NM) y la elección de los nodos origen-destino que son NE1 y NE3. Respectivamente se identifica las interfaces WDM ópticas de las correspondientes tarjetas OTU y se establece la condición de restricción de la ruta de acuerdo con el uso real, todo el proceso de creación se indica en la Figura 3.14.

Después de confirmar la información, la gestión de red emite un comando para la creación de servicios en el nodo origen NE1.

NE1 invoca el algoritmo CSPF para calcular la ruta de servicio más adecuado en función de la topología de control y de servicio, que se obtienen por el protocolo OSPF-TE. Por ejemplo, como la ruta de servicio entre NE1-NE2-NE3 que se muestra en la Figura 3.14.

NE1 utiliza el protocolo RSVP-TE de señalización para transmitir un mensaje al NE2 de acuerdo con la ruta de servicio, NE1 hace peticiones a NE2 para reservar recursos y crear una cross-conexión.

NE2 utiliza el protocolo RSVP-TE de señalización para transmitir un mensaje a NE3. NE2 hace peticiones a NE3 para reservar recursos y crear una cross-conexión.

Después que NE3 crea la cross-conexión, NE3 proporciona a mensaje de respuesta a NE2 y a su vez NE2 proporciona un mensaje de respuesta a NE1.

NE1 recibe el mensaje de retroalimentación y almacena la información relacionada. NE2 a continuación informa de la creación con éxito de la LSP al sistema de gestión de red.

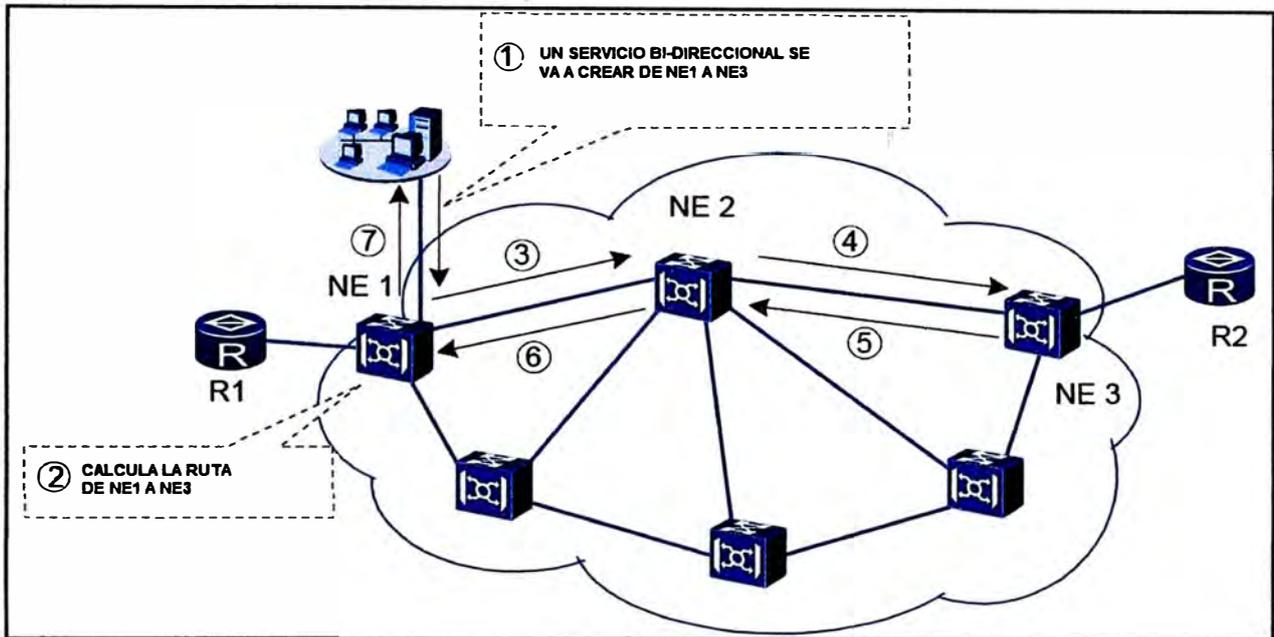


Figura 3.14: Creación de un enlace LSP (Fuente: Elab. Propia)

Después de que las condiciones de activación de desvío se detectan, por los servicios no reversibles, un nuevo LSP se crea y el LSP original se elimina, mientras que para los servicios reversibles, el LSP original sería reservado.

Proceso de re-enrutamiento de un enlace LSP

Cuando un LSP falla, el LSP defectuoso envía una petición de cambio de ruta al plano de control para crear un nuevo LSP, después de recibir la solicitud, el nodo de origen recalcula los recursos de rutas y asigna recursos para el nuevo LSP, a continuación, el nodo de origen inicia la creación de la nueva LSP, después de que el nuevo LSP se crea, el LSP original se elimina.

El cambio de un LSP es mejorar una ruta de una red óptica conmutada automática, para lo cual el proceso para el cambio de un LSP es la siguiente:

- El sistema de gestión de red emite el comando para el nodo de origen para cambiar el LSP, después de recibir la solicitud, el nodo de origen inicia la creación de un nuevo LSP.
- Después de que se crea una nueva LSP, el nodo origen y el nodo de destino comienza a cambiar la cross-conexión de la LSP original al nuevo LSP.
- Después de la conmutación, el nodo de origen inicia el proceso para la eliminación de la LSP original, cabe redundar que los equipos terminales como R1 y R2 en la Figura 3.14 pueden ser representados como un router o equipo SDH.

En la Tabla 3.15 se muestra el tipo de evento y las alarmas que la activan, tales como señal fallida (Signal Fail, SF) y señal degradada (Signal Degrade, SD) para la activación de re-enrutamiento de un LSP.

Tabla 3.15: Condiciones de Trigger para activación de re-enrutamiento

Tipo de evento	Alarmas que activan el re-enrutamiento
SF	Las condiciones de activación del re-enrutamiento de servicios en la capa óptica, incluyen las alarmas del módulo FIU (Unidad de interface de fibra)
	Las condiciones de activación del re-enrutamiento de servicios en la capa eléctrica, incluyen las alarmas del módulo OTU (Unidad de Transponder Óptica)
SD	Las condiciones de activación del re-enrutamiento de servicios en la capa eléctrica, incluyen alarmas de servicio de la capa eléctrica en el módulo OTU.

3.5.8 Tipo de servicio ASON

Para la elección del tipo de servicio de la red óptica conmutada automática se hará en base a 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 (Service Level Agreement) con cuatro niveles: diamante, oro, plata y cobre.

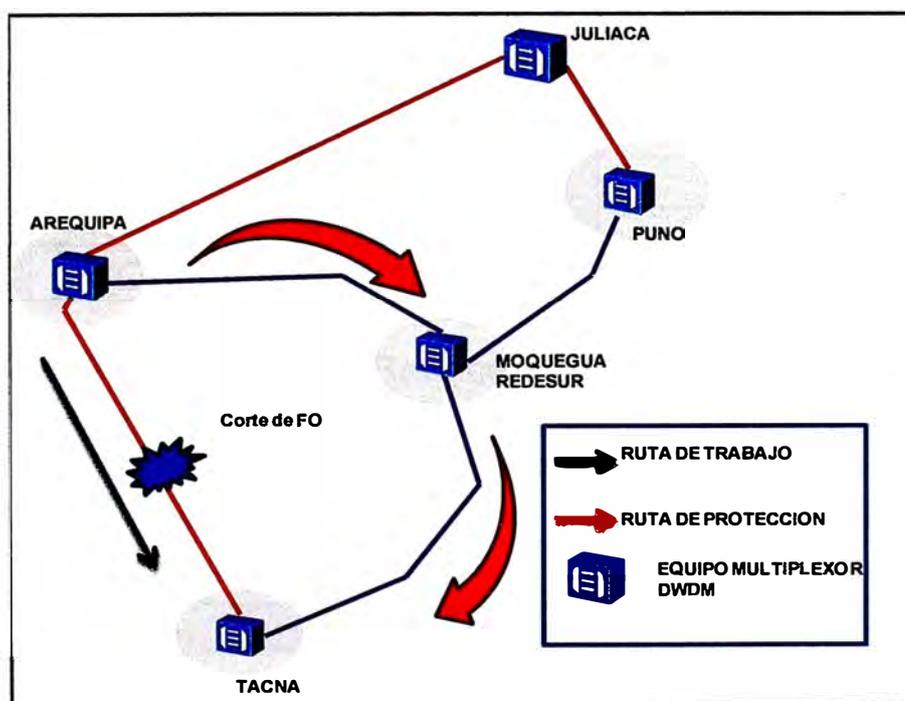


Figura 3.15: Funcionamiento del tipo de servicio diamante (Fuente: Elab. Propia)

El tipo de servicio que se elige es el servicio diamante permanente 1+1, esto para dar la máxima prioridad de respaldo a los servicios que se transportan en la zona sur del Perú

ya que estos son críticos y requieren una alta disponibilidad. Como se identificó en la Figura 2.21 este servicio está basado en la protección de anillo SNCP, cuando se abre el anillo éste es protegido por el SNCP y se establece otro camino ASON, en cuanto a los recursos, se realiza una configuración de 2 LSPs las cuales siempre están disponibles para un servicio diamante permanente 1+1, el cual uno está activó y el otro en un estado de espera, la cual se utilizará en caso de falla del otro. En la Tabla 3.8 se muestra con mayor detalle las cross-conexiones y el campo ruta donde se indican la ruta de trabajo y la de protección las cuales representan el LSP en uso y el que está en espera.

3.6 Cross-conexión en módulos ópticos

Un módulo importante que se utiliza en la implementación de los enlaces para la red ASON, son los módulos NS2 del proveedor Huawei, este módulo puede acceder a las siguientes señales ópticas como: 4 señales eléctricas ODU1 y 1 señal eléctrica ODU2.

La transmisión y recepción son definidas en el flujo de señal de la tarjeta NS2, cabe indicar que el módulo de procesamiento OTN recibe 4 canales eléctricos ODU1 y 1 canal eléctrico ODU2 las cuales son enviadas de la tarjeta de cross-conexión a través de la placa madre.

El módulo NS2 además admite la conexión transversal de los cuatro canales de ODU1 o un canal de ODU2 entre el módulo NS2 y el módulo de cross-conexión, admite el formato de trama y OTN de procesamiento de sobrecarga al referirse a la ITU-T G. 709.

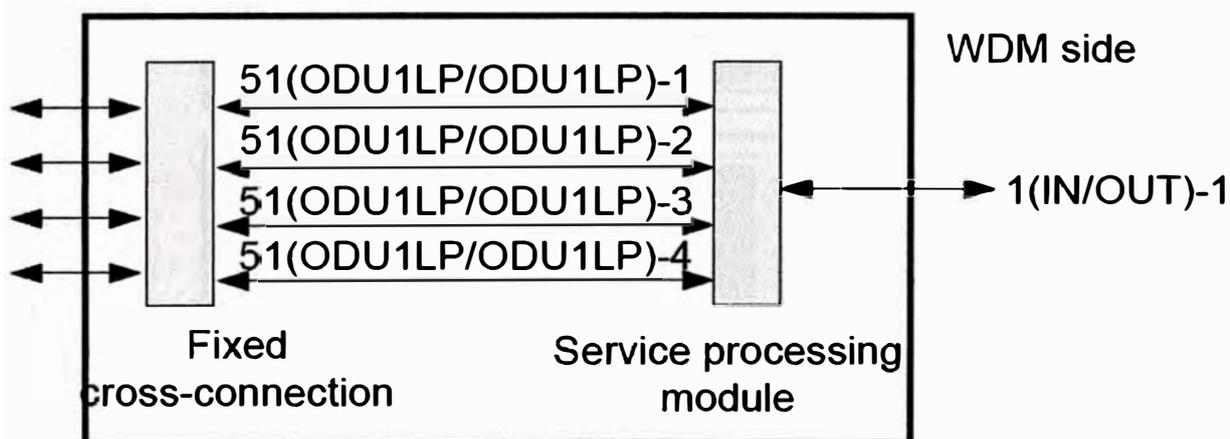


Figura 3.16: Cross-conexión en módulo NS2 (Fuente: Referencia [4])

Tabla 3.16: Puertos lógicos de un módulo NS2

Puerto	Descripción
ODU1LP1	Puerto Lógico Interno. Los caminos ópticos son numerados con 1, 2, 3 y 4
ODU2LP1	Puerto Lógico Interno. Los caminos ópticos son numerados con 1
IN/OUT	Correspondiente a la interface óptica del lado WDM. Los caminos ópticos son numerados con 1, 2, 3 y 4

En la Figura 3.16, se muestra el diagrama interno de un módulo NS2, donde se realiza la cross-conexión interna, la cual está formada por 4 puertos lógicos internos las cuales están representadas desde 51(ODU1LP/ODU1LP) –1 a 51(ODU1LP/ODU1LP) –4.

Durante la creación de las cross-conexiones eléctricas en la gestión de red, inicialmente se crea la conexión lógica entre el lado cliente representados por la denominación de ClientLP, donde se encuentran los puertos de interconexión con los equipos de acceso SDH y los puertos lógicos internos ODU1LP del módulo NS2.

El siguiente proceso es la cross-conexión entre diferentes módulos NS2, el procedimiento se inicia con la creación de la cross-conexión ODU1 entre el puerto ODU1LP de un módulo NS2 y el canal óptico de un puerto ODU1LP en el otro módulo NS2, esto con la finalidad de realizar la preparación de cross-conexión de los servicios ODU1 (para la regeneración o traspaso de servicio en caso de falla), como se muestra en la siguiente Figura 3.17.

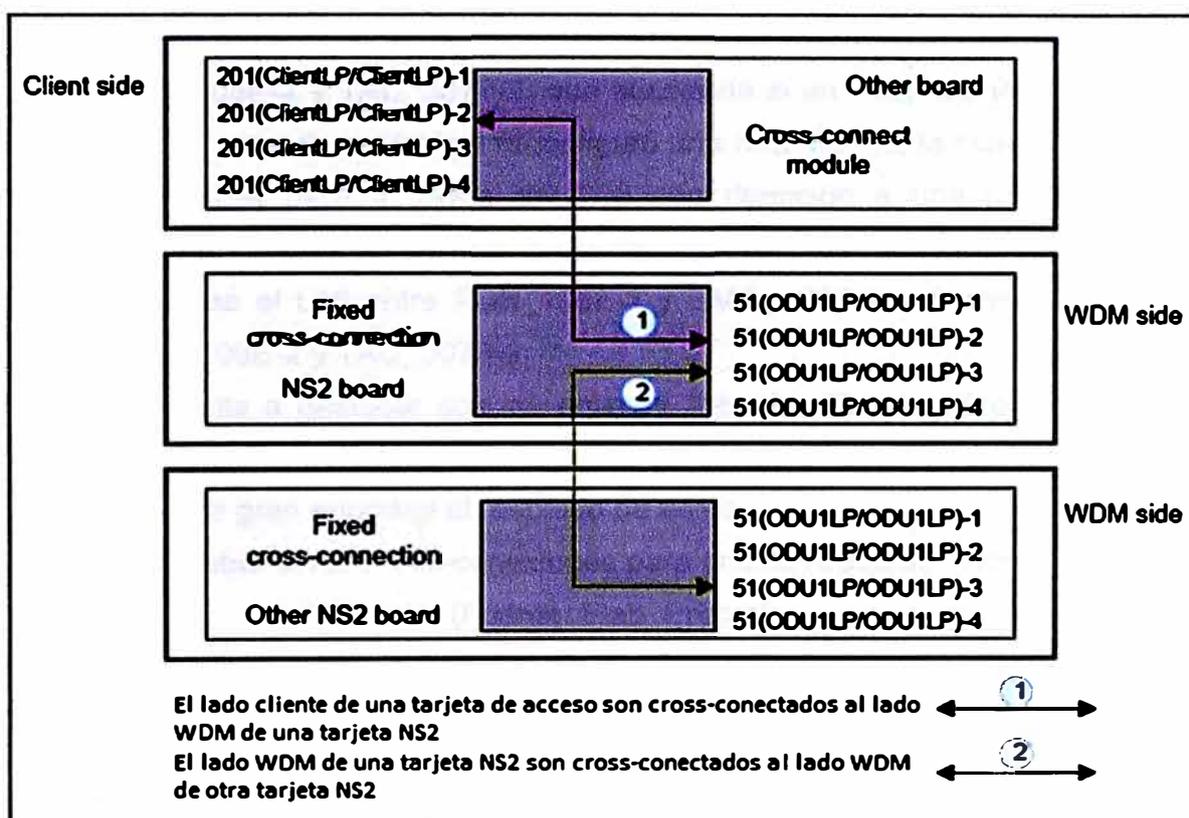


Figura 3.17: Cross-conexión entre módulos NS2 a nivel ODU1 (Fuente: Referencia [4])

En las siguientes tablas, se muestran las cross-conexiones para el caso de los enlaces STM-16 (ODU1): Puno-Tacna, Juliaca-Arequipa, Tacna-Arequipa y Juliaca-Puno las cuales se transportan por la red DWDM con ASON, cabe mencionar que solo se analizará para un caso en específico en cada tramo, esto debido a la semejanza de las cross-conexiones en los enlaces. En la Tabla 3.17 se muestra la capacidad SDH total distribuida para su protección por la red de Redesur con ASON.

Tabla 3.17: Capacidad total utilizada para la protección en los tramos de Redesur

Capacidad	Tramo de ruta de Trabajo
2xSTM-16	PUNO-TACNA
2xSTM-16	JULIACA-PUNO
5xSTM-16	AREQUIPA-TACNA
4xSTM-16	AREQUIPA-JULIACA

Para la Tabla 3.18 se muestra la cross-conexión del enlace Arequipa-Tacna, como se observa se parte del nodo origen en este caso ARE_501E-4, donde se tiene dos tipos de rutas, la ruta de trabajo y la de protección en caso de falla o degradación de la señal de la ruta de trabajo. Ambas rutas (ruta de trabajo y protección) están manejadas por la capa de control, cabe indicar que estas cross-conexiones son reconfiguradas por la capa mencionada modificándose las lambdas de origen y destino de manera automática.

Según el análisis en la Tabla 3.18, la ruta de trabajo se inicia en las cross-conexiones realizadas de ARE_501E-4 hacia BMQ_108E-2 a través del L26, conmuta al L22 en el tramo de BMQ_108E-2 y TAC_307F-2, que sucedería si en esta ruta indicada existe un corte de fibra, la capa de control ya reconfiguró una ruta alterna, la cual parte del mismo equipo ARE_501E-4 pero a través del L08 con dirección a una ruta alterna como JUL_211E-4, para luego conmutar al L18 entre JUL_211E-4 y PUN_106F-2, posteriormente usa el L16 entre PUN_106F-2 y BMQ_108E-2 y finalmente conmuta al L26 entre BMQ_108E-2 y TAC_307F-2.

Un caso importante a destacar son los enlaces Arequipa-Tacna y Arequipa-Juliaca, ya que la mayor carga de tráfico es transportado por estos enlaces como se muestra en la Tabla 3.17 y es de gran prioridad el respaldo de estos.

Tabla 3.18: Cross-conexiones para enlace Arequipa-Tacna

(Fuente: Elab. Propia)

ORIGEN	LAMBDA ORIGEN	DESTINO	LAMBDA DESTINO	RUTA
(ARE_501E-4)-5-52NS2-51(ODU1LP/ODU1LP)	L26	(BMQ_108E-2)-3-52NS2-51(ODU1LP/ODU1LP)	L26	Ruta de trabajo
(BMQ_108E-2)-5-52NS2-51(ODU1LP/ODU1LP)	L22	(TAC_307F-2)-3-52NS2-51(ODU1LP/ODU1LP)	L22	Ruta de trabajo
(ARE_501E-4)-13-52NS2-51(ODU1LP/ODU1LP)	L08	(JUL_211E-4)-3-52NS2-51(ODU1LP/ODU1LP)	L08	Ruta de protección
(JUL_211E-4)-4-52NS2-51(ODU1LP/ODU1LP)	L18	(PUN_106F-2)-7-52NS2-51(ODU1LP/ODU1LP)	L18	Ruta de protección
(PUN_106F-2)-2-52NS2-51(ODU1LP/ODU1LP)	L16	(BMQ_108E-2)-11-52NS2-51(ODU1LP/ODU1LP)	L16	Ruta de protección
(BMQ_108E-2)-7-52NS2-51(ODU1LP/ODU1LP)	L26	(TAC_307F-2)-5-52NS2-51(ODU1LP/ODU1LP)	L26	Ruta de protección

Tabla 3.19: Cross-conexiones para enlace Puno-Tacna-1 (Fuente: Elab. Propia)

ORIGEN	LAMBDA ORIGEN	DESTINO	LAMBDA DESTINO	RUTA
(PUN_106F-2)-13-52NS2-51(ODU1LP/ODU1LP)	L08	(JUL_211E-4)-11-52NS2-51(ODU1LP/ODU1LP)	L08	Ruta de trabajo
(JUL_211E-4)-3-52NS2-51(ODU1LP/ODU1LP)	L08	(ARE_501E-4)-13-52NS2-51(ODU1LP/ODU1LP)	L08	Ruta de trabajo
(ARE_501E-4)-12-52NS2-51(ODU1LP/ODU1LP)	L08	(TAC_307F-2)-12-52NS2-51(ODU1LP/ODU1LP)	L08	Ruta de trabajo
(PUN_106F-2)-1-52NS2-51(ODU1LP/ODU1LP)	L14	(BMQ_108E-2)-8-52NS2-51(ODU1LP/ODU1LP)	L14	Ruta protección
(BMQ_108E-2)-4-52NS2-51(ODU1LP/ODU1LP)	L14	(TAC_307F-2)-13-52NS2-51(ODU1LP/ODU1LP)	L14	Ruta protección

Tabla 3.20: Cross-conexiones para enlace Puno-Juliaca-1 (Fuente: Elab. Propia)

ORIGEN	LAMBDA ORIGEN	DESTINO	LAMBDA DESTINO	RUTA
(JUL_211E-4)-4-52NS2-51(ODU1LP/ODU1LP)	L18	(PUN_106F-2)-7-52NS2-51(ODU1LP/ODU1LP)	L18	Ruta de trabajo
(JUL_211E-4)-1-52NS2-51(ODU1LP/ODU1LP)	L16	(ARE_501E-4)-1-52NS2-51(ODU1LP/ODU1LP)	L16	Ruta protección
(ARE_501E-4)-14-52NS2-51(ODU1LP/ODU1LP)	L16	(BMQ_108E-2)-1-52NS2-51(ODU1LP/ODU1LP)	L16	Ruta protección
(BMQ_108E-2)-11-52NS2-51(ODU1LP/ODU1LP)	L16	(PUN_106F-2)-2-52NS2-51(ODU1LP/ODU1LP)	L16	Ruta protección

Tabla 3.21: Cross-conexiones para enlace Arequipa-Tacna-1 (Fuente: Elab. Propia)

ORIGEN	LAMBDA ORIGEN	DESTINO	LAMBDA DESTINO	RUTA
(ARE_501E-4)-5-52NS2-51(ODU1LP/ODU1LP)	L26	(BMQ_108E-2)-3-52NS2-51(ODU1LP/ODU1LP)	L26	Ruta de trabajo
(BMQ_108E-2)-5-52NS2-51(ODU1LP/ODU1LP)	L22	(TAC_307F-2)-3-52NS2-51(ODU1LP/ODU1LP)	L22	Ruta de trabajo
(ARE_501E-4)-13-52NS2-51(ODU1LP/ODU1LP)	L08	(JUL_211E-4)-3-52NS2-51(ODU1LP/ODU1LP)	L08	Ruta protección
(JUL_211E-4)-4-52NS2-51(ODU1LP/ODU1LP)	L18	(PUN_106F-2)-7-52NS2-51(ODU1LP/ODU1LP)	L18	Ruta protección
(PUN_106F-2)-2-52NS2-51(ODU1LP/ODU1LP)	L16	(BMQ_108E-2)-11-52NS2-51(ODU1LP/ODU1LP)	L16	Ruta protección
(BMQ_108E-2)-7-52NS2-51(ODU1LP/ODU1LP)	L26	(TAC_307F-2)-5-52NS2-51(ODU1LP/ODU1LP)	L26	Ruta protección

Tabla 3.22: Cross-conexiones para enlace Arequipa-Juliaca-1 (Fuente: Elab. Propia)

ORIGEN	LAMBDA ORIGEN	DESTINO	LAMBDA DESTINO	ruta
(ARE_501E-4)-7-52NS2-51(ODU1LP/ODU1LP)	L24	(JUL_211E-4)-5-52NS2-51(ODU1LP/ODU1LP)	L24	Ruta de trabajo
(ARE_501E-4)-15-52NS2-51(ODU1LP/ODU1LP)	L20	(BMQ_108E-2)-2-52NS2-51(ODU1LP/ODU1LP)	L20	Ruta de protección
(BMQ_108E-2)-12-52NS2-51(ODU1LP/ODU1LP)	L20	(PUN_106F-2)-3-52NS2-51(ODU1LP/ODU1LP)	L20	Ruta de protección
(PUN_106F-2)-14-52NS2-51(ODU1LP/ODU1LP)	L20	(JUL_211E-4)-14-52NS2-51(ODU1LP/ODU1LP)	L20	Ruta de protección

En la Figura 3.18 se muestra la distribución de lambdas usados en la topología del sistema para su uso con la red óptica conmutada automática (ASON), los lambdas están distribuidos según el tramo de fibra entre nodo a nodo, para su mayor detalle se indica en la Tabla 3.2, la cual es la matriz de lambdas usados por el operador y la Tabla 3.14.

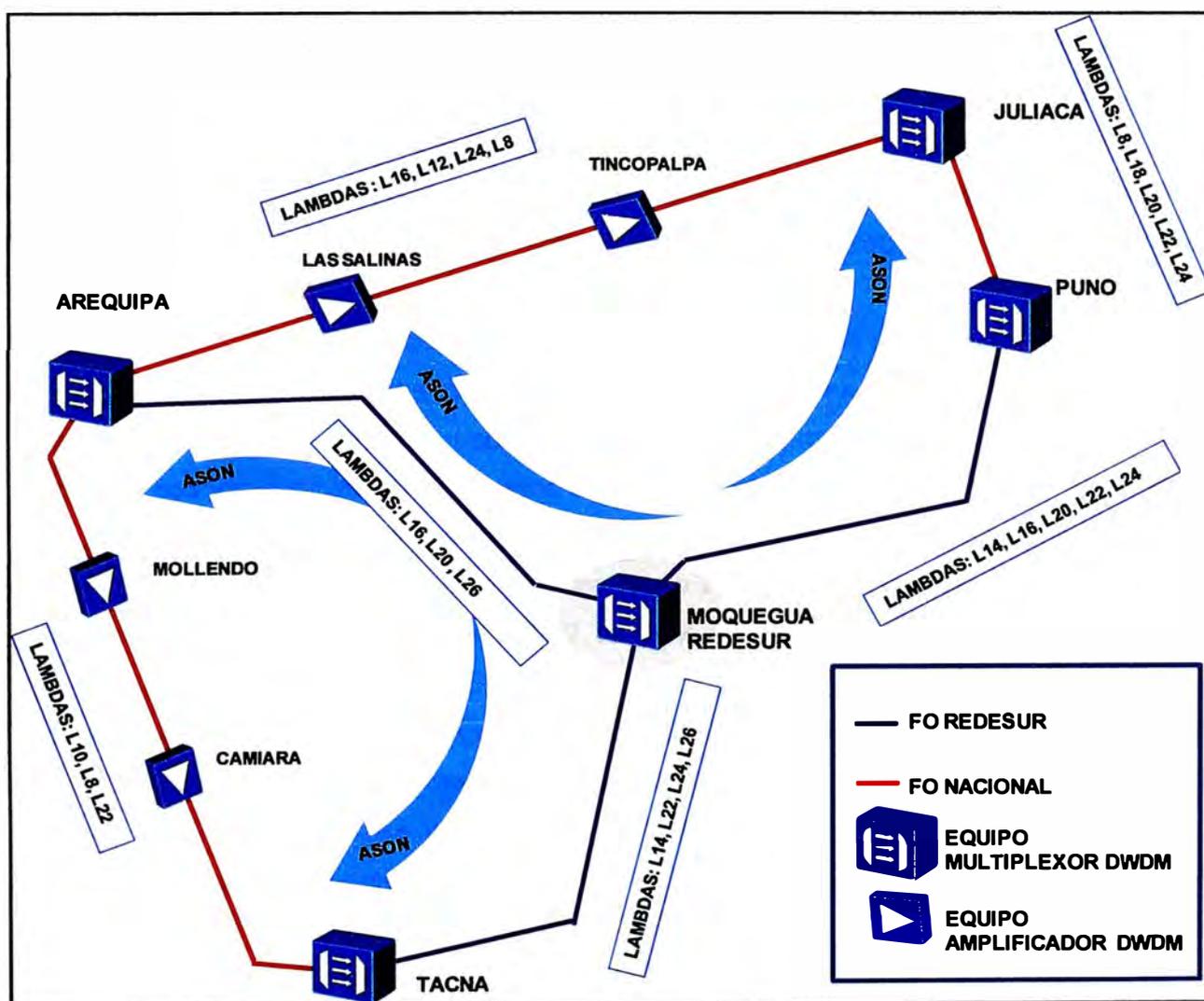


Figura 3.18: Distribución de Lambdas en la topología del sistema

Fuente: Elab. Propia

Como se analiza en las Tablas 3.18, 3.19, 3.20, 3.21, 3.22 y la Figura 3.18, para los enlaces con protección del tipo diamante permanente 1+1 se estructura dos enlaces LSP, el LSP de trabajo y el LSP de contingencia donde el LSP (Label Switching Path) es representado como una ruta en la red ASON.

El módulo o interfaz como el NS2 del proveedor Huawei, apoyan en la transmisión híbrida de servicios ODUk ASON, se utiliza este módulo para transmitir diferentes servicios ODUk ASON donde K=1, 2, 3 representan al bit rate, para eso los usuarios necesitan establecer el modo de servicio de canales de servicio en los módulos.

Las reglas de configuración de modos de servicio para los canales de servicios en los módulos se dan a continuación:

- cuando se utilizan estas tarjetas para transmitir servicios de ODU1, el modo de servicio se debe establecer en ODU1 tanto para canales de servicio ODU1 y ODU2.
- cuando se utilizan estas tarjetas para transmitir servicios ODU2, el modo de servicio debe ser configurado como ODU2 por los canales de servicio ODU2.

En la Figura 3.19 se da un mayor alcance, por ejemplo los módulos de acceso las cuales se interconectan con el equipamiento de transporte SDH están representados por el módulo TOM, los cuales están instalados en: Tacna, Arequipa, Juliaca y Puno, son estos módulos los que se interconectan a través de una fibra FC a los multiplexores de inserción–extracción SDH o routers para su transmisión y recepción entre los nodos indicados.

Indicar que la TOM tienen 8 puertos ópticos TX/RX los cuales pueden ser usados como interfaces clientes y interfaces lado WDM además la máxima capacidad como interface cliente es de 10 Gbit/s, estos son cross-conectados vía el módulo XCS (módulo de cross-conexión) con los módulos NS2 y estos a su vez están interconectados por los enlaces TE a nivel OTU2 que permite el transporte o la conmutación de los enlaces a nivel OTU2. Para este caso se definen varios conceptos como el OCh TE link, que es el enlace entre interface FIU, el OTU2 TE Link y el ODU2 TE Link que son las cross-conexiones internas que se implementan, el OTU1 TE Link y ODU1 TE Link, mediante la cross-conexión y multiplexación de este canal, permite que los servicios se adapten de manera flexible entre los canales ópticos y el puerto del lado cliente.

Después de que la ruta es generada por la red DWDM entre 2 módulos NS2 y 2 elementos de red que tienen el software ASON, la OTU2 TE link y ODU2 son generados automáticamente, el tipo de señal del OTU2 TE link es la OTU2 y la señal data es la ODU2, para el mismo caso la señal tipo del ODU2 TE link es la ODU2 y la señal data es el ODU1.

En la Figura 3.19 se muestra el sistema con la configuración WDM ASON diamante.

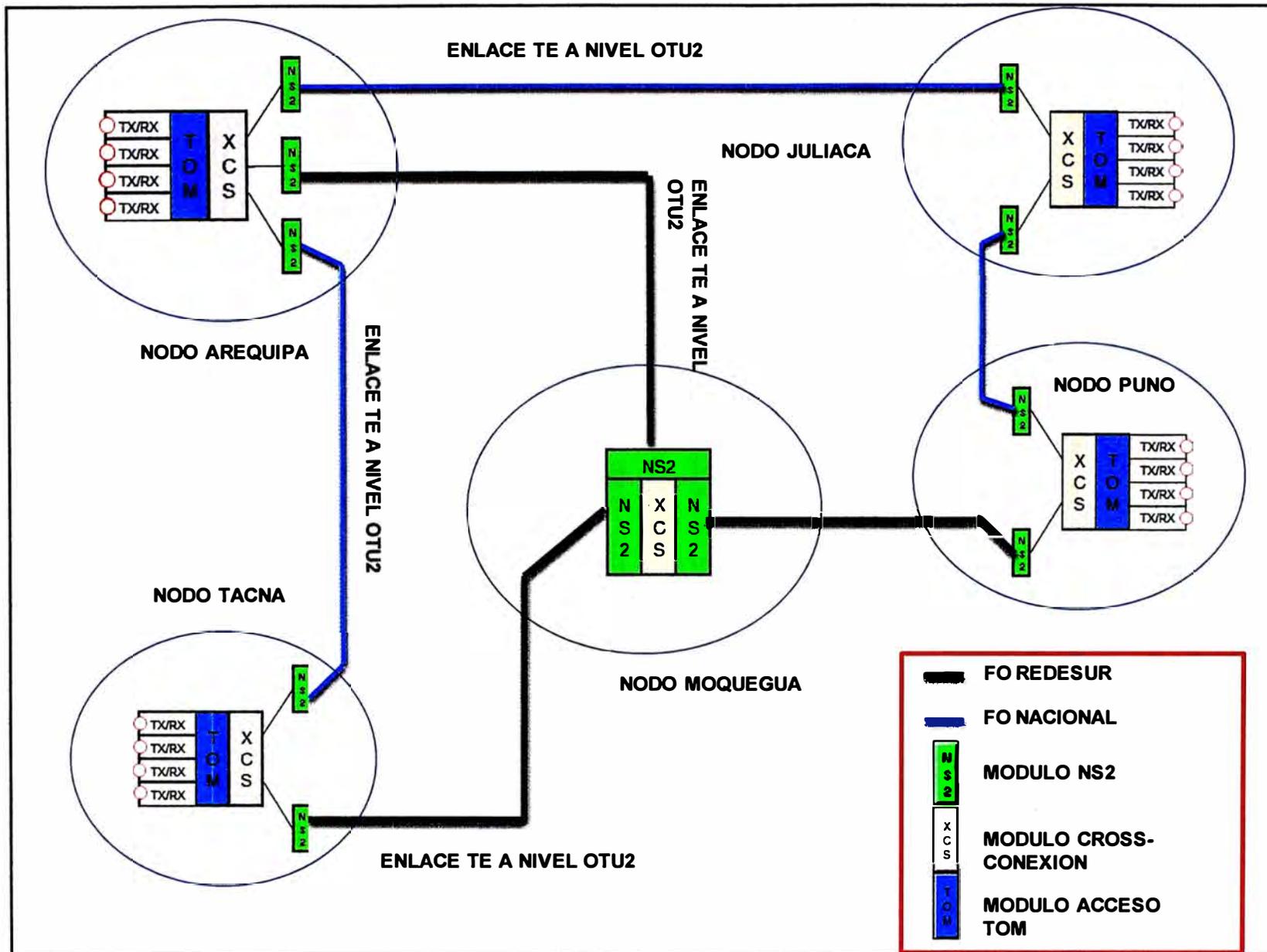


Figura 3.19: WDM ASON diamante para una ruta ODU1 (Fuente: Elab. Propia)

3.7 Respaldo de servicios y disponibilidad

Al inicio del planteamiento del problema de ingeniería se informó que uno de los objetivos del proyecto era la de mejorar la disponibilidad de los servicios, indicando que uno de los problemas que existía antes de la implementación de esta era la disponibilidad de la red, esto debido a que la agreste geografía de la sierra, dificulta y encarece los costos de desplegar la fibra óptica, una de las razones que impide tener esquemas de restauración en la red de transporte.

Para este ítem se define el concepto de disponibilidad de servicios, la cual es la capacidad de la red de continuar en operación en cualquier instante del tiempo, inclusive bajo condiciones de falla, según la ecuación 3.5.

$$\text{Disponibilidad} = \frac{\text{MTBF}}{\text{MTBF} + \text{MTTR}} \quad (3.5)$$

Donde:

MTTR (Mean Time to Repair): es el tiempo promedio que toma reparar algo después de una falla, en este caso puede ser un enlace óptico.

MTBF (Mean Time Between Failures): es literalmente el promedio de tiempo transcurrido entre una falla y la siguiente.

Los valores del parámetro MTBF los cuales son proporcionados en las hojas técnicas de los dispositivos no son valores prácticos (25000 a 35000 horas), para el cálculo de la disponibilidad se recurre a la estadística de su comportamiento.

Para el caso del cálculo de la disponibilidad de un sistema, depende directamente de los componentes y de la disposición de los mismos. Para los sistemas en serie y en paralelo existe una forma de calcular la disponibilidad total del sistema, en base a la disponibilidad de cada uno de los componentes.

En los siguientes sistemas, se define:

D: disponibilidad

D_i : disponibilidad de componentes i ($i=1, 2, 3, \text{etc}$)

En la Figura 3.20 se muestra un sistema en serie donde el cálculo de la disponibilidad se calcula aplicando la ecuación (3.6).

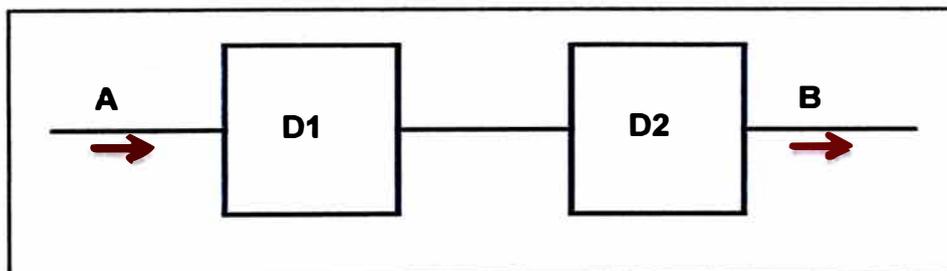


Figura 3.20: Sistema en serie (Fuente: Referencia [10])

$$D \text{ serie} = D1 \times D2 \quad (3.6)$$

En la Figura 3.21 se muestra un sistema en paralelo donde el cálculo de la disponibilidad se realiza aplicando la ecuación (3.7).

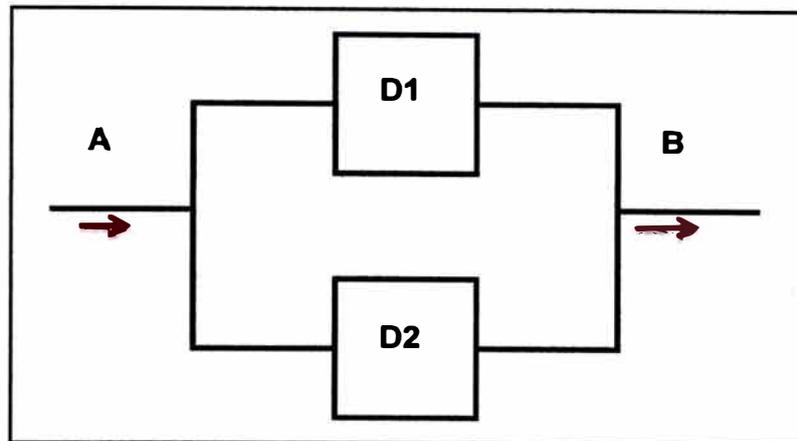


Figura 3.21: Sistema en paralelo (Fuente: Referencia [10])

$$D \text{ paralelo} = 1 - (1 - D1) \cdot (1 - D2) \quad (3.7)$$

Las configuraciones mostradas anteriormente se resumen con las siguientes ecuaciones (3.8) y (3.9) respectivamente para más elementos en serie y paralelo.

$$D_s = \prod_{i=1}^n D_i \quad (3.8)$$

$$D_p = 1 - \prod_{i=1}^n (1 - D_i) \quad (3.9)$$

Un caso muy importante a mencionar es la redundancia, la cual es la existencia de 2 o más elementos similares que trabajan en paralelo de manera alternativa, es decir que si uno falla el otro entra a reemplazarlo, pero sin embargo para el análisis de disponibilidad es siempre necesario verificar cuanto mejora la disponibilidad individual al colocar un elemento redundante en paralelo.

- Disponibilidad en la fibra óptica

El tendido de fibra óptica se han constituido en el elemento fundamental de interconexión de las redes de telecomunicaciones y de ellos dependen la disponibilidad de la totalidad de nodos de servicios que comunican diferentes localidades regionales.

Un cable OPGW cable de tierra en torres de alta tensión con fibra óptica tiene del orden de 4 veces mejor confiabilidad que uno canalizado (0.05 eventos/km contra 0.2 de un canalizado), sin embargo está sometido a deterioros ambientales y esfuerzos mecánicos, pero estos últimos pueden ser detectados preventivamente y actuar en intervenciones programadas, mientras que el canalizado tiene un alto riesgo de ser destruido por excavaciones involuntarias.

La recomendación es llegar a definir factores que modelen estos fenómenos, el modela-

miento topológico de la disponibilidad del sistema indicados en la Figura 3.20 y Figura 3.21 es una herramienta que permite comparar alternativas a una solución.

Una de las recomendaciones también encontradas es llegar a definir factores Weibull (distribución de probabilidades continua) que modelen estos fenómenos como los eventos de corte de la FO, calculando la confiabilidad según $\beta=1$ (donde β es el factor Weibull de forma, el que define el modo y etapa de vida del sistema) obtiene para un cable OPGW(MTBF=100 años/Km) una probabilidad de 98.865% que no falle antes de 10 000 horas, mientras que para el cable canalizado (MTBF=25 años/Km) es de 96.536%, si existen antecedentes de zona de vandalismo u otros riesgos que se desee incorporar en el modelo, puede ser recomendable un factor $\beta=0.75$, con lo que las confiabilidades anteriores se reducen a 95.568% y 90.594%, pero uno de los inconvenientes sería necesario establecer un parámetro que represente la probabilidad de corte de la FO y esto se puede obtener de las estadísticas históricas que tenga el operador.

Para el caso de la disponibilidad de la red ASON se ha considerado tomar como base teórica el ítem 3.7, se ha considerado que una ruta de trabajo tiene una ruta de respaldo en caso de rotura o falla de un tramo de la ruta de fibra, en caso de falla de un tramo de enrutamiento se tiene 2 posibilidades de encaminamiento que protegerá los servicios transportados las cuales se considerarán como rutas redundantes.

Nuestro esquema de restauración detallado en el ítem 3.6 transportará el tráfico principal en tres tramos específicos como: Arequipa-Juliaca, Juliaca-Puno y Arequipa-Tacna, estos enlaces o rutas tendrán dos (2) posibilidades de encaminamiento que protegerán el tráfico. Para el cálculo de la disponibilidad del sistema es importante calcular la disponibilidad de cada componente a partir de los valores de MTBF y considerando el MTTR igual a 10.2 horas (tiempo promedio de reparación de averías) indicado en la Figura 3.22 , mencionar que no existen valores típicos de MTTR (no son proporcionados por ninguna hoja técnica) ya que el tiempo de restauración de servicio luego de una falla o de una parada por mantenimiento dependen de diversos factores, en especial de la capacidad de cada organización para solucionar los problemas presentados como: material, experiencia, personal y otros.

ADSL	
Tiempo medio de instalación de línea de ADSL (días)	2.07
Averías por cada 100 líneas	6.79
Tiempo promedio de resolución de averías (horas)	10.2
Red con cobertura de servicio Speedy	95%

Figura 3.22: Indicadores de calidad en banda Ancha 2011

(Fuente: Telefónica del Perú)

En la Figura 3.23 se muestra el esquema general de la fibra del operador donde la línea roja indica la fibra propia del operador y la línea morada la fibra aérea arrendada a Redesur, cada nodo se ha identificado con una letra para su rápido manejo en los cálculos de disponibilidades por tramos de fibra, además las distancias indicadas en la Tabla 3.23 fueron datos proporcionados por el operador de telecomunicaciones.

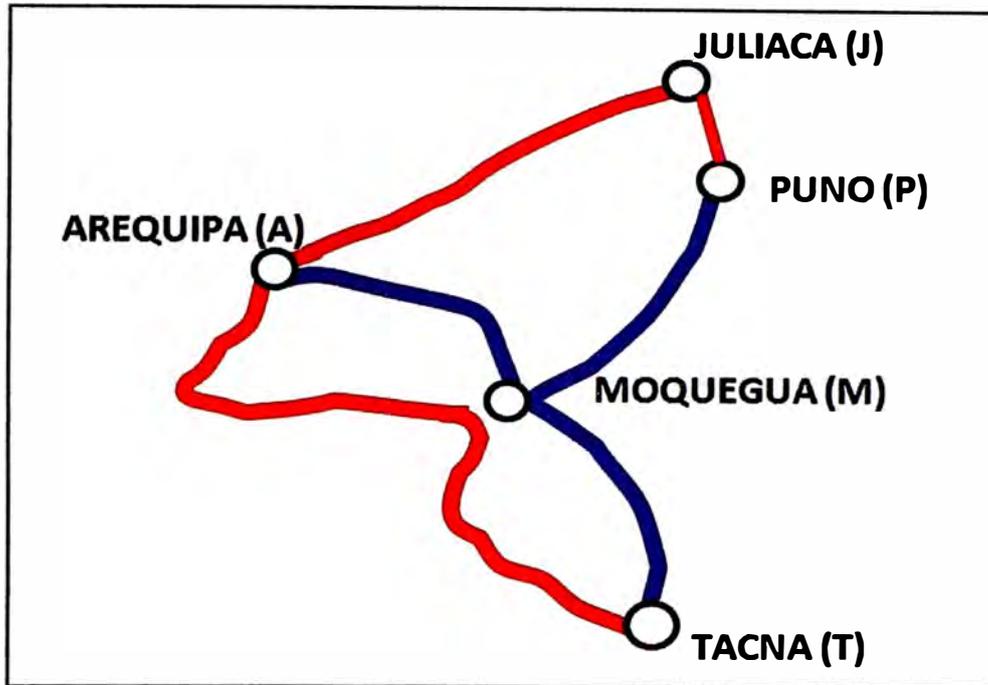


Figura 3.23: Tramos de fibra óptica para el cálculo de disponibilidad
(Fuente: Elab. Propia)

En la Tabla 3.23 se detalla el cálculo de disponibilidad por tramo de fibra haciendo uso de la ecuación 3.5, donde se detalla la disponibilidad por cada tramo de fibra óptica ya sea canalizada (propia del operador) y aérea (arrendada a Redesur), es en función a tipo de fibra ya sea canalizada o aérea se considera el valor de MTBF.

Tabla 3.23: Cálculo de disponibilidad por tramo de fibra óptica

FIBRA OPTICA	TRAMO	DISTANCIA (Km)	MTBF (años/Km)	MTBF (horas)	MTTR (horas)	Disponibilidad	CÓDIGO
CANALIZADA	A-J	245	1	2146200	10.2	0.999995247	D1
CANALIZADA	A-T	452	1	3959520	10.2	0.999997424	D2
AÉREA	T-M	137	4	4800480	10.2	0.999997875	D3
AÉREA	A-M	129	4	4520160	10.2	0.999997743	D4
AÉREA	M-P	205	4	7183200	10.2	0.99999858	D5
CANALIZADA	P-J	43	1	376680	10.2	0.999972922	D6

Para el primer caso, el cálculo de la disponibilidad del sistema en el tramo A-J (Arequipa-Juliaca) se tiene el siguiente esquema donde el sistema está conformado por los códigos

D1, D2, D3, D4, D5 y D6 representado por las fibras canalizadas y aéreas.

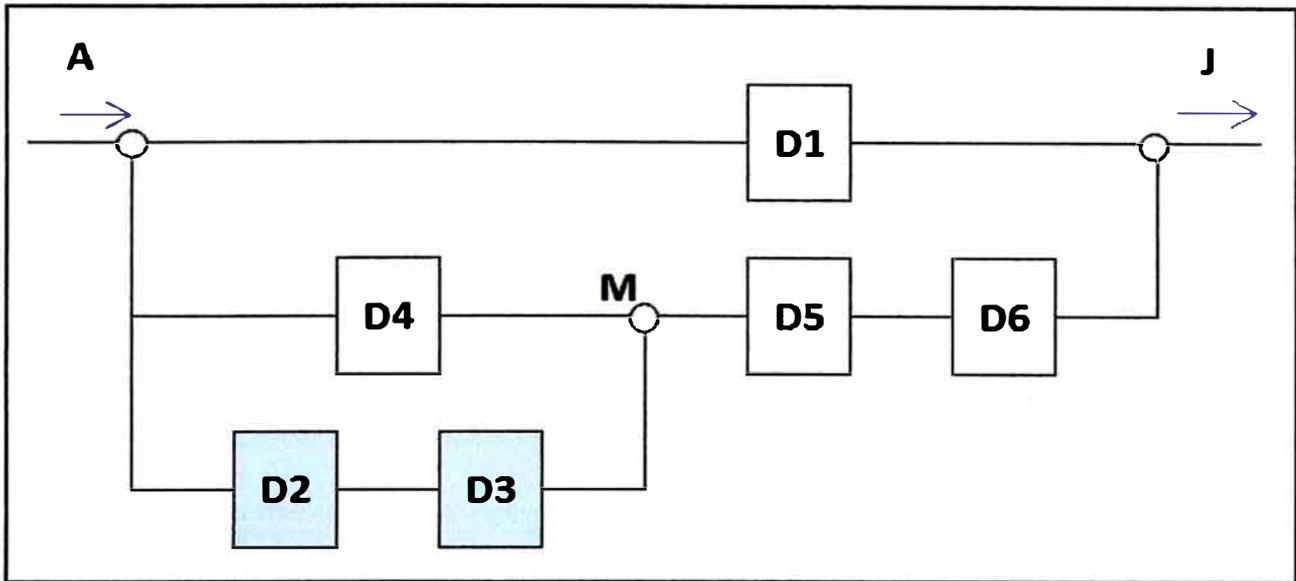


Figura 3.24: Esquema de disponibilidad entre A-J (Fuente: Elab. Propia)

Para el cálculo de disponibilidad del sistema usamos las ecuaciones (3.8) y (3.9) donde D (disponibilidad):

$$D=1-(1-D1).(1-(D4/(D2.D3)D5.D6))$$

Para este tramo tenemos una disponibilidad de 100% con el esquema de restauración con ASON, pero para el caso de una esquema de protección se tiene un valor de 99.9971%.

Para el segundo caso, el cálculo de la disponibilidad del sistema en el tramo J-P (Juliaca-Puno) se tiene el siguiente esquema de disponibilidades en la Figura 3.25 y donde:

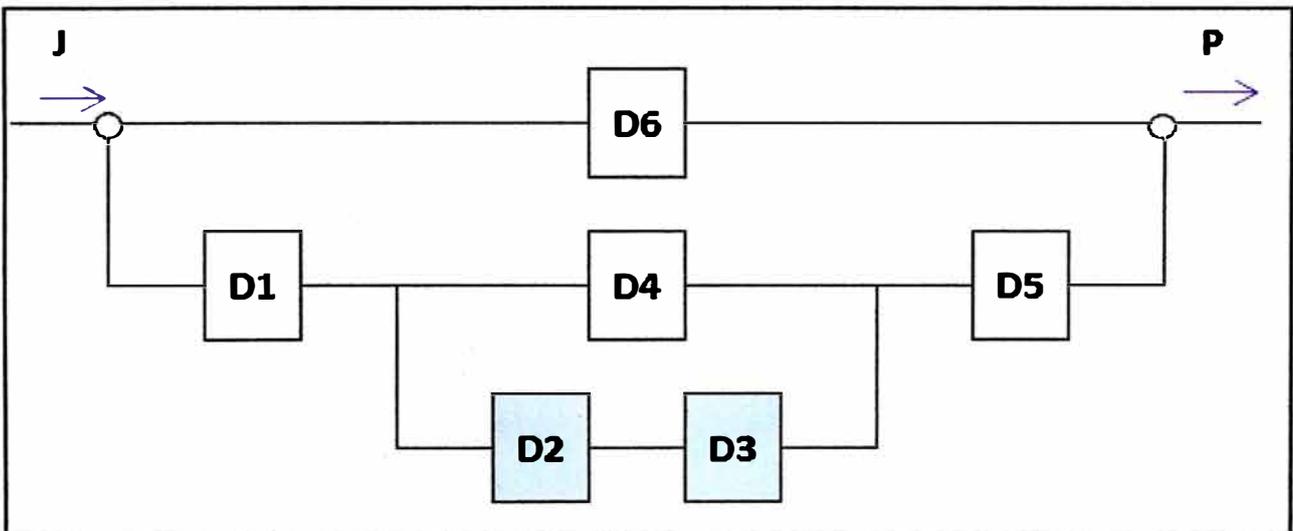


Figura 3.25: Esquema de disponibilidad entre J-P (Fuente: Elab. Propia)

$$D=1-(1-D6).(1-(D4/(D2.D3).D1.D5))$$

Para este tramo tenemos una disponibilidad de 100% con el esquema de restauración

con ASON, pero para el caso de una esquema de protección se tiene un valor de 99.9993%.

Para el tercer caso, el cálculo de la disponibilidad del sistema en el tramo A-T (Arequipa-Tacna) se tiene el siguiente esquema de disponibilidades en la Figura 3.26 y donde:

$$D=1-(1-D2).(1-(D4//D1.D5.D6).D3))$$

Para este tramo tenemos una disponibilidad de 100% con el esquema de restauración con ASON, pero para el caso de una esquema de protección se tiene un valor de 99.9997%.

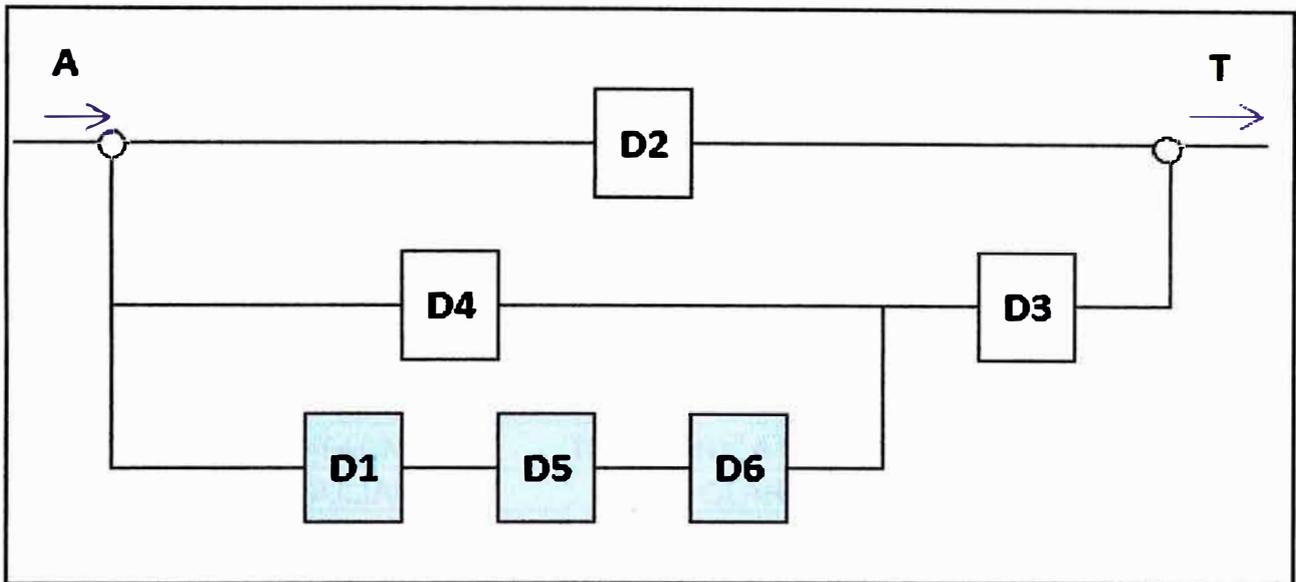


Figura 3.26: Esquema de disponibilidad entre A-T (Fuente: Elab. Propia)

De los tres esquemas de disponibilidad se concluye que la introducción de elementos redundantes mejora notoriamente el porcentaje de la disponibilidad de un sistema en la red de fibra óptica y de los servicios que transporta.

Finalmente una vez implementado y configurado los enlaces en la red óptica conmutada automática como esquema de restauración, el procedimiento siguiente será analizar los enlaces y servicios a respaldar, seleccionando la capacidad de 5xSTM-16 en el tramo de Arequipa hacia Tacna, 4xSTM-16 en el tramo Arequipa hacia Juliaca y 2xSTM-16 respectivamente en el tramo de Puno-Tacna y Juliaca-Puno. Indicar que los equipos de acceso en los nodos indicados usan la tecnología SDH y como equipos de transporte de nodo a nodo la tecnología DWDM con ASON.

El criterio para la elección de los servicios, se basa en aquellos servicios que son críticos y podrían aislar a una determinada ciudad, entre las más importantes tenemos los servicios de telefonía básica y móvil (2G y 3G), interconexiones con operadores (ya que

algún corte llevaría a una penalidad dado por el OSIPTEL) y los servicios de banda ancha como el ADSL (Línea de abonado digital asimétrica).

En la Tabla 3.24 se muestra un alcance, de los servicios más importantes a proteger por la red óptica conmutada automática, estos definidos por negocio, ciudad, cliente y el total de enlaces en equivalentes de E1s para el negocio indicado.

Tabla 3.24: Alcance de los servicios más importantes a proteger por la red ASON

(Fuente: Elab. Propia)

NEGOCIO	CIUDAD	CLIENTE	Total Enlaces (E1)
BANDA ANCHA	JULIACA	TELEFONICA DEL PERU SAA	630
BANDA ANCHA	TACNA	TELEFONICA DEL PERU SAA	189
BANDA ANCHA	PUNO	TELEFONICA DEL PERU SAA	315
GESTION	PUNO	TELEFONICA DEL PERU SAA	2
GESTION	JULIACA	TELEFONICA DEL PERU SAA	2
GESTION	TACNA	TELEFONICA DEL PERU SAA	1
VOZ FIJA	JULIACA	TELEFONICA DEL PERU SAA	20
VOZ FIJA	PUNO	TELEFONICA DEL PERU SAA	15
VOZ FIJA	TACNA	TELEFONICA DEL PERU SAA	30
MAYORISTA	JULIACA	CLARO S.A.	3
MAYORISTA	JULIACA	IMPSAT PERU S.A.	2
MAYORISTA	TACNA	CLARO S.A.	2
MAYORISTA	TACNA	IMPSAT PERU S.A.	1
DATOS	JULIACA	BANCO DE CREDITO DEL PERU SA	2
DATOS	JULIACA	REGIST. NAC. DE IDENTIF. Y ESTADO CIVIL - RENIEC	4
DATOS	JULIACA	SUPERINTENDENCIA NAC. DE ADM. TRIBUTARIA - SUNAT	1
DATOS	TACNA	BANCO DE CREDITO DEL PERU SA	1
DATOS	TACNA	TELEFONICA DEL PERU SAA	1
MOVILES	JULIACA	TELEFONICA MOVILES S.A.	96
MOVILES	PUNO	TELEFONICA MOVILES S.A.	29
MOVILES	TACNA	TELEFONICA MOVILES S.A.	31

Para un mejor detalle la Figura 3.26 se muestra la capacidad en E1s (2.048 Mbps) de los servicios protegidos por la red de Redesur con la implementación de la red óptica conmutada automática (ASON), haciendo un comparativo con la Figura 1.2 en el capítulo I se pueden comprobar el cambio de valores y mejorando de manera significativa el grado de protección de los servicios de banda ancha, móviles, datos, CATV y otros, definiendo el grado de protección de un sistema como el total de enlaces respaldados entre el total de enlaces provisionados, por ejemplo para el caso de Banda Ancha

inicialmente se tenía respaldado 568 E1 y ahora con la implementación de la red ASON se respaldo una cantidad de 5530 E1, mejorando 9 veces la protección existente.

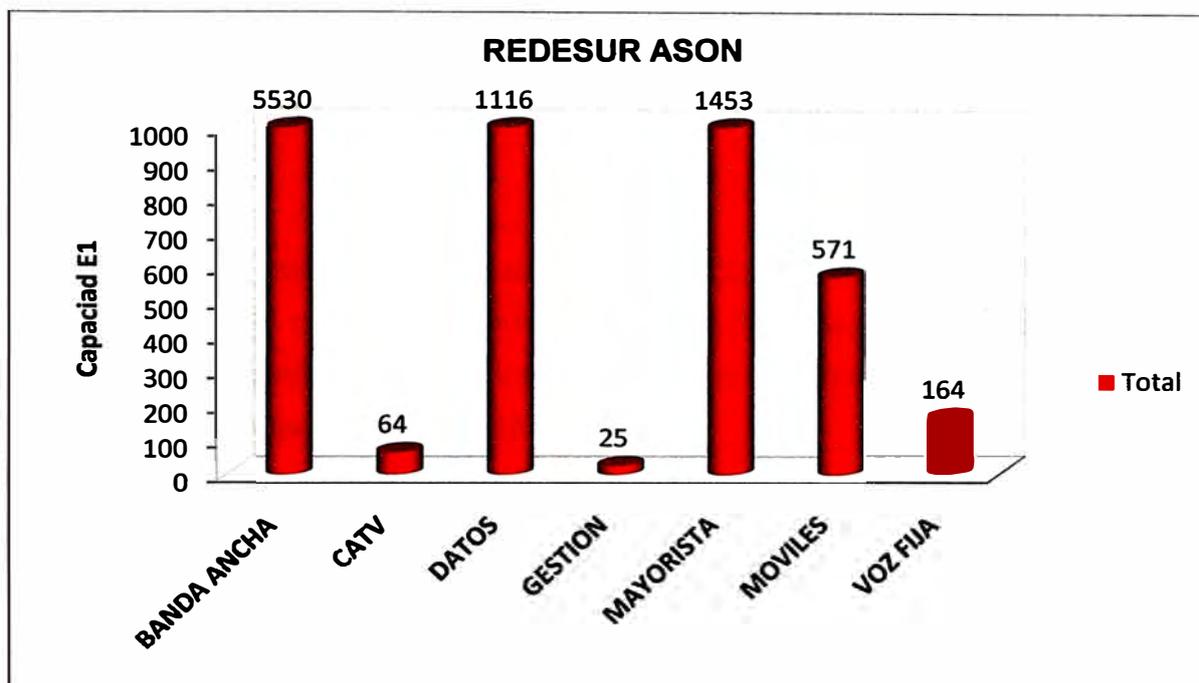


Figura 3.26: Capacidad en E1s protegidos por Redesur ASON

(Fuente: Elab. Propia)

CAPITULO IV

ANÁLISIS Y PRESENTACIÓN DE RESULTADOS

En el presente proyecto se hace un análisis de los costos referenciales del mencionado proyecto como son el costo de arrendamiento de la fibra óptica por parte de la Empresa Eléctrica del sur y equipamiento que intervienen en la implementación.

4.1 Arrendamiento de la fibra óptica a Redesur

El arrendamiento y mantenimiento de la fibra óptica por parte de la Empresa Eléctrica del Sur, se da en un marco contractual con el operador de telecomunicaciones desde el año 2006, la fibra óptica aérea es desplegada apoyados por los postes de la empresa eléctrica.

Tabla 4.1: Cantidad de fibra óptica arrendada a Redesur

Cantidad de FO	Tipo de cable	Precio Anual (\$)
4 hilos	OPGW	230M

Fuente: Telefónica del Perú S.A.A

4.2 Costo de equipamiento

En la siguiente tabla se incluye el costo de equipos y tarjeterías a usar en los nodos respectivos, que conforman la red malla de la red óptica conmutada automática (ASON). En la Tabla 4.2 se muestra el valor total del equipamiento con sus módulos y el valor de la licencia para la puesta en servicio del equipamiento en el sistema de gestión de red.

Tabla 4.2: Costo total por unidad de equipo OSN6800

NO.	Item	Precio total (USD)
1	OSN 6800(V100R006)	169,377.78
2	iManager U2000-Licencia	616.00

Tabla 4.3: Costo por unidad de módulo de un OSN6800

No.	Modelo	Descripción	Precio por Unidad (USD DDP Lima)
1	OptiX OSN 6800(V100R006)		
1.1	Equipamiento principal		
1.1.1	Gabinete		

	RACK05	N63B Type ETSI Rack(2200*600*300mm,LSZH), Without Subrack	506.51
1.1.2	Sub-gabinete		
	TN1K3AFB	Assembly Subrack(OSN 6800)	622.32
	SSC-DCM-CAGE-D	Double-DCM CAGE(ETSI Rack)	14.32
1.1.3	Unidad Común		
	PIU02	Power Interface Unit	73.28
	AUX02	System Auxiliary Interface Board	139.04
	SCC01	System Control and Communication Board	608.91
	FIU01	Fiber Interface Board	361.86
	SC201	Bi-direction Optical Supervision Channel Board	504.41
	MCA8	8-Channel Spectrum Analysis Board, Monitoring 40Gbps Signal	4,490.50
	VA4	4-Channel Variable Optical Attenuator Board	840.92
	DCP	Double Channel Protect Board(SM)	777.79
	ITL01	Interleaver Board(C Band)	2,531.39
1.1.4	Unidad Multiplexación		
	D40	40-channel Demultiplexing Board(C Even,196.00THz~192.10THz,100 GHz,Thermal AWG,LC)	1,207.40
	M40V	40-Channel Multiplexing Board With VOA(C_Even,196.00THz~192.10 THz,100GHz,LC)	4,625.46
1.1.5	Amplificador		
	OBU101	C-BAND Optical Booster Unit(MAX -4dBm IN and 16dBm OUT, Gain 20dB)	1,738.04
	OAU101	C-BAND Optical Amplifier Unit(MAX 0dBm IN and 20dBm OUT, Gain 20~31dB)	3,484.95
1.1.6	Módulo de Compensación Dispersión		
	SSE-DCM(A)-C-652(20km)	Dispersion Compensation Module,1525~1568nm(compensate G.652 fiber),-319~-337ps/nm@1545nm(compensate 20km),<=3.6dB,<=0.1dB,<=0.46ps,LC/UPC Interface, no fiber,two package	1,502.00
	SSE-DCM(B)-C-652(40km)	Dispersion Compensation Module,1525~1568nm(compensate G.652 fiber),-635~-673ps/nm@1545nm(compensate 40km),<=5.4dB,<=0.1dB,<=0.65ps,LC/UPC Interface,nofiber,two package	2,042.55

1.2	Transponder DWDM		
1.2.1	Service convergence TMX		
	4 x STM-16/OTU1 Asynchronism MUX OTU2 Wavelength Configuration Board		
	TMX50GHz(800ps/nm ,Rx1_PIN,Tx1_-3dBm~+2dBm,LC)(4*e SFP-SM1310-155M~2.5G-15km)-AFEC,Super WDM, Tunable	4 x STM-16/OTU1 Asynchronism MUX OTU2 Wavelength Configuration Board,DWDM	10,502.50
1.3	Tarjeta de Linea y tributaria		
1.3.1	1*10G Line Service Board		
	NS2(1*1310nm-9.95G~10.71G-10km)	10G Line Service Processing Board(AFEC,Super WDM,Tunable),50GHz(800ps/nm ,Rx1_PIN,Tx1_-3dBm~+2dBm,LC)	6,856.93
1.3.2	8 x Multi-rate Ports Service Processing Board		
	TOM(4*eSFP-1310nm-l-16/FC200/FICON EXPRESS/STM16/OC-48,4*eSFP(S)-1310nm-1000Base-Lx)	8 x Multi-rate Ports Service Processing Board(4*eSFP-1310nm-l-16/FC200/FICON EXPRESS/STM-16/OC-48,4*eSFP(S)-1310nm-1000Base-Lx)	7,601.69
1.4	Material de Instalación		
1.4.1	Conjunto de cables externos		
	Conjunto de cables externos, cable on site, Kit de 35 mm ^ 2 de cable de alimentación y terminal.		
	C1035BL00	Wire,450/750V,60227 IEC 02(RV)35mm^2,Blue,135A,With a package exempted from fumigating(per meter)	5.34
	C1035BK00	Wire,450/750V,60227 IEC 02(RV)35mm^2,black,135A,With a package exempted from fumigating(per meter)	5.34
	C1035YG00	Wire,450/750V,60227 IEC 02(RV)35mm^2,yellow and green,135A,With a package exempted from fumigating	5.34
1.4.2	Patch Cord		
	F000FSL00	Optical PatchCord(PCS)	15.99
	eSFP-1310nm-1000Base-Lx SM	Optical transceiver,eSFP,1310nm,1.25G b/s,-9~-3dBm,-20dBm,LC,Single Mode,10km	245.00
1.4.3	Atenuador / Adaptador		
	OFOAPCS00	Fixed Optical Attenuator(PCS)	46.90

4.3 Cronograma

Para el planeamiento de la implementación se debería tener en cuenta, la logística del equipamiento, pero en el caso de los equipos principales la solución demora entre 45 y 60 días, para este caso por ser un proveedor externo, se tomará en cuenta los 45 días y 3 días de trámites, la tabla 4.4 muestra la síntesis de los trabajos realizados.

Tabla 4.4: Cronograma de actividades (Fuente: propia)

Actividades	Duración [días]
Recepción de orden de compra	2
Planificación	34
Logística	48
Instalación y montaje de equipamiento	7
Envíos de equipos a zona	1
Revisión de equipos y verificación de artículos	1
Instalación de equipos (cableados y energizados)	3
Configuración de software	2
Pruebas de funcionalidad	4
Pruebas internas de aceptación de equipos y tarjetas	2
Prueba de aceptación con el proveedor	2
Puesta en servicio	2

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

1. Con los niveles de servicio que ofrece la red óptica conmutada automática se puede crear un diseño de acuerdo a las necesidades de la red, permitiendo trabajar mediante la asignación de prioridad sobre el tráfico, en este caso el SLA.
2. En la actualidad la mayoría de redes son MPLS, pero se está incorporando el protocolo LMP propio de GMPLS el cual crea un plano de control que dota de inteligencia a las redes, permitiendo que la conmutación sea automática e incorpore recursos de autodescubrimiento, reemplazando así la conmutación manual.
3. Implementado una red ASON en las redes de transporte actuales, se va a tener un beneficio en cuanto al costo de la red ya que se crea un plano de control que integra tecnologías como SDH, IP, Frame Relay y otros que son conmutadas a través de un equipo que posea una tarjeta de red con una interfaz que incorpore este tipo de conmutación.
4. Las redes ópticas están dotadas de funcionalidades que proporcionan transporte, multiplexación, enrutamiento, gestión, protección y restauración.
5. El tener una red mallada mediante enlaces de fibra óptica resulta una inversión muy costosa, pero a la vez se puede decir que esto se compensa con tener una red de gran velocidad, con alta disponibilidad y administración de canal óptico haciendo uso de nuevas tecnologías de red como ASON.
6. 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.
7. Para identificar el crecimiento tecnológico al que se ven sometidos las redes de telecomunicaciones es importante leer las recomendaciones que han sido publicadas por la UIT, esto permite observar el historial que viene tras cualquier tecnología de telecomunicaciones que se desea investigar.
8. Antes de seleccionar el proveedor de los equipos de transmisiones que se van a utilizar en la red ASON es importante tener un lapso de tiempo de prueba de

estos, recibir la capacitación correspondiente para el manejo de los equipos y si selecciona uno de estos, exigir las garantías correspondientes, ya que el CAPEX (Capital Expenditures que significa inversiones en bienes de capitales) que se pretenden hacer en equipamiento es considerablemente significativa.

ANEXO A
GLOSARIO DE TÉRMINOS

ADM	Add-Drop Multiplexer (Multiplexor de inserción-extracción)
ATM	Asynchronous Transfer Mode (Modo de transferencia Asíncrona)
ASIC	Application-Specific Integrated Circuit (Circuito de aplicación específica)
ASON	Automatically Switched Optical Network (Red óptica conmutada automática)
ASE	Amplified Spontaneous Emission (Emisión espontánea amplificada)
BER	Bit Error Rate (Tasa de error de bit)
CSPF	Constrained Shortest Path First (Algoritmo para el encaminamiento de rutas que toma en cuenta al mismo tiempo un conjunto de restricciones)
DWDM	Dense Wavelength Division Multiplexing (Multiplexación por división en longitudes de onda densas)
DCM	Dispersion-Compensating Module (Módulo de compensación dispersión)
DGD	Differential Group Delay (Retardo diferencial de grupo)
EDFA	Erbium Doped Fiber Amplifier (Amplificador de fibra dopada de Erbio)
FO	Fibra óptica
FIU	Fiber Interface Unit (Unidad de interface de fibra)
FON	Fibra óptica nacional
FEC	Forward Error Correction (Corrección de errores hacia delante)
GMPLS	General Multiprotocol Label Switching (Conmutación de etiquetas multiprotocolo generalizado)
ITU-T	International Telecommunications Union (Sector de Normalización de las Telecomunicaciones)
LSP	Label Switching Path (Intercambio de rutas por etiqueta)
LMP	Link Management Protocol (Protocolo de gestión de enlace)
MTTF	Mean Time to Fail (Tiempo medio para falla)
MTBF	Mean Time between Failures (Tiempo medio entre fallas)
MTTR	Mean Time to Repair (Tiempo medio para reparar)
NMS	Network Management System (Sistema de gestión de red)
NE	Network Element (Elemento de red)
OSIPTEL	Organismo supervisor de inversión privada en Telecomunicaciones
OSN	Optical Switch Node (Nodo de conmutación óptica)
OTU	Optical Transponder Unit (Unidad de transporte del canal óptico)
OCh	Optical Channel (Canal óptico)
ODU1	Optical Channel Data Unit 1 (Unidad de datos del canal óptico 1)
ODU2	Optical Channel Data Unit 2 (Unidad de datos del canal óptico 2)
OTN	Optical Transport Network (Red de transporte óptico)
OADM	Optical Add-Drop Multiplexer (Multiplexor óptico inserción-extracción)

OPGW	Optical Ground Wire (Cable de guarda de fibra óptica)
OM	Optical Multiplexing (Multiplexación óptica)
OA	Optical Amplifier (Amplificador óptico)
OCC	Optical Channel Carrier (Portadora de canal óptico)
OSPF-TE	Open Shortest Path First-Traffic Engineering (Protocolo del camino más corto primero con extensiones de Ingeniería de tráfico)
PMD	Polarization Mode Dispersion (Dispersión por modo de polarización)
OSNR	Optical Signal to Noise Ratio (Relación señal a ruido óptica)
QoS	Quality of service (Calidad de servicio)
RED	Red Eléctrica del Sur
RSVP-TE	Resource Reservation Protocol-Traffic Engineering (Protocolo de reserva de recursos con extensiones de Ingeniería de tráfico)
SCC	System Control and Communication (Sistema de control y comunicación)
SLA	Service Level Agreement (Acuerdo de nivel de servicio)
SDH	Synchronous Digital Hierarchy (Jerarquía Digital Síncrona)
SS7	Signalling System No. 7 (Sistema de señalización por canal común Nº 7)
SNCP	Subnetwork Connection Protection (Protección de conexión de subred)
TDM	Time Division Multiplexing (Multiplexación por división de Tiempo)
URA	Unidad remota de abonados
UIT	Unión Internacional de Telecomunicaciones

ANEXO B
LONGITUDES DE ONDA EN LA BANDA C
CON 80 CANALES

Tabla B.1: Relación entre el número de longitudes de onda de la banda C con 80 canales y la longitud de onda central /frecuencia

Longitud de onda No.	Frecuencia (THz)	Longitud de onda (nm)	Longitud de onda No.	Frecuencia (THz)	Longitud de onda (nm)
1	196.05	1529.16	41	194.05	1544.92
2	196	1529.55	42	194	1545.32
3	195.95	1529.94	43	193.95	1545.72
4	195.9	1530.33	44	193.9	1546.12
5	195.85	1530.72	45	193.85	1546.52
6	195.8	1531.12	46	193.8	1546.92
7	195.75	1531.51	47	193.75	1547.32
8	195.7	1531.9	48	193.7	1547.72
9	195.65	1532.29	49	193.65	1548.11
10	195.6	1532.68	50	193.6	1548.51
11	195.55	1533.07	51	193.55	1548.91
12	195.5	1533.47	52	193.5	1549.32
13	195.45	1533.86	53	193.45	1549.72
14	195.4	1534.25	54	193.4	1550.12
15	195.35	1534.64	55	193.35	1550.52
16	195.3	1535.04	56	193.3	1550.92
17	195.25	1535.43	57	193.25	1551.32
18	195.2	1535.82	58	193.2	1551.72
19	195.15	1536.22	59	193.15	1552.12
20	195.1	1536.61	60	193.1	1552.52
21	195.05	1537	61	193.05	1552.93
22	195	1537.4	62	193	1553.33
23	194.95	1537.79	63	192.95	1553.73
24	194.9	1538.19	64	192.9	1554.13
25	194.85	1538.58	65	192.85	1554.54
26	194.8	1538.98	66	192.8	1554.94
27	194.75	1539.37	67	192.75	1555.34
28	194.7	1539.77	68	192.7	1555.75
29	194.65	1540.16	69	192.65	1556.15
30	194.6	1540.56	70	192.6	1556.55
31	194.55	1540.95	71	192.55	1556.96
32	194.5	1541.35	72	192.5	1557.36
33	194.45	1541.75	73	192.45	1557.77
34	194.4	1542.14	74	192.4	1558.17
35	194.35	1542.54	75	192.35	1558.58
36	194.3	1542.94	76	192.3	1558.98
37	194.25	1543.33	77	192.25	1559.39
38	194.2	1543.73	78	192.2	1559.79

Longitud de onda No.	Frecuencia (THz)	Longitud de onda (nm)	Longitud de onda No.	Frecuencia (THz)	Longitud de onda (nm)
39	194.15	1544.13	79	192.15	1560.2
40	194.1	1544.53	80	192.1	1560.61

BIBLIOGRAFÍA

[1] Red Eléctrica del Sur.

<http://www.redesur.com.pe/fichastec03.htm>

[2] Análisis y diseño de red DWDM

http://departamento.pucp.edu.pe/ingenieria/images/documentos/Capitulo_5_SDH_y_OTN.pdf

[3] Universidad de San Carlos de Guatemala

http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/08/08_0245_EO.pdf

[4] Huawei del Perú.

<http://www.huawei.com/pe/>

[5] Control Plane for optical Networks: the ASON approach

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

[6] ASON-Automatically switched Optical Network ITU

<http://www.itu.int/itudoc/gs/promo/tsb/80686.pdf>

[7] Ministerio de Transporte y comunicaciones

<http://mtcgeo.mtc.gob.pe/website/telecom/viewer.htm>

[8] ITU-T G.709: Interfaces for the optical transport network

<http://www.itu.int/rec/T-REC-G.709/>

[9] Universidad De Antioquia-Colombia

<http://jaibana.udea.edu.co/grupos/revista/revistas/nro063/09.pdf>

[10] Disponibilidad de sistemas

http://ait.upct.es/~jjalcaraz/teaching/tema_1_disponibilidad.pdf

[11] Redes de transmisión todo ópticas. Telefonica investigación y desarrollo

[http://www.colegiosma.com/DEP-](http://www.colegiosma.com/DEP-ELE/stf/Sistemas%20de%20Telefon%C3%ADa/Art%C3%ADculos/Redes%20de%20transmisi%C3%B3n%20todo%20%C3%B3pticas%20independencia%20frente%20a%20las.pdf)

[ELE/stf/Sistemas%20de%20Telefon%C3%ADa/Art%C3%ADculos/Redes%20de%20transmisi%C3%B3n%20todo%20%C3%B3pticas%20independencia%20frente%20a%20las.pdf](http://www.colegiosma.com/DEP-ELE/stf/Sistemas%20de%20Telefon%C3%ADa/Art%C3%ADculos/Redes%20de%20transmisi%C3%B3n%20todo%20%C3%B3pticas%20independencia%20frente%20a%20las.pdf)

[12] Definición de cross-conexión

http://www.swineth.com/descargas/boletines/siemon/Cross_Connect_Cross_Connection.pdf

[13] Tiempo medio entre fallas: explicación y estándares

http://www.fasor.com.sv/whitepapers/whitepapers/Whitepapers%20del%202010/Tiempo_medio_entre_fallas_explicacion_y_standares.pdf

[14] Evolución de las redes de transporte hacia la integración de servicios: redes SDH

http://www.tesis.uchile.cl/tesis/uchile/2006/pozo_j/sources/pozo_j.pdf

[15] Evaluación de Arquitecturas de Red Híbridas OBS/OCS

http://transparencia.munilaunion.cl/Documentos/Tramites/_ocs.pdf

[16] Red de transporte óptico

<http://www.ciena.es/technology/optical-transport-network/>

[17] Redes ópticas con plano de control GMPLS

<http://www.coit.es/publicaciones/bit/bit189/tendencias.pdf>