



Universidad Nacional Mayor de San Marcos

Universidad del Perú. Decana de América

Facultad de Ingeniería Electrónica y Eléctrica

Escuela Profesional de Ingeniería Electrónica

**Diseño e implementación de una red DWDM IP
fotónico ASON para un operador de
telecomunicaciones para la optimización de la
conectividad en la región Lima Metropolitana**

TRABAJO DE SUFICIENCIA PROFESIONAL

Para optar el Título Profesional de Ingeniero Electrónico

AUTOR

Christian Gerardo BERNABEL SUSANIBAR

ASESOR

Mg. Rejis Renato PAREDES PEÑAFIEL

Lima, Perú

2022



Reconocimiento - No Comercial - Compartir Igual - Sin restricciones adicionales

<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>

Usted puede distribuir, remezclar, retocar, y crear a partir del documento original de modo no comercial, siempre y cuando se dé crédito al autor del documento y se licencien las nuevas creaciones bajo las mismas condiciones. No se permite aplicar términos legales o medidas tecnológicas que restrinjan legalmente a otros a hacer cualquier cosa que permita esta licencia.

Referencia bibliográfica

Bernabel, C. (2022). *Diseño e implementación de una red DWDM IP fotónico ASON para un operador de telecomunicaciones para la optimización de la conectividad en la región Lima Metropolitana*. [Trabajo de suficiencia profesional de pregrado, Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Facultad de Ingeniería Electrónica y Eléctrica, Escuela Profesional de Ingeniería Electrónica]. Repositorio institucional Cybertesis UNMSM.

Metadatos complementarios

Datos de autor	
Nombres y apellidos	Christian Gerardo Bernabel Susanibar
Tipo de documento de identidad	DNI
Número de documento de identidad	47785968
URL de ORCID	No Aplica
Datos de asesor	
Nombres y apellidos	Rejis Renato Paredes Peñafiel
Tipo de documento de identidad	DNI
Número de documento de identidad	06758404
URL de ORCID	https://orcid.org/0000-0003-4829-8953
Datos del jurado	
Presidente del jurado	
Nombres y apellidos	Ruben Gino Martinez Varela
Tipo de documento	DNI
Número de documento de identidad	09270432
Miembro del jurado 1	
Nombres y apellidos	Carlos Alberto Chiri Huanca
Tipo de documento	DNI
Número de documento de identidad	09293427
Miembro del jurado 2	
Nombres y apellidos	Wilbert Chavez Irazabal
Tipo de documento	DNI
Número de documento de identidad	08121733
Datos de investigación	
Línea de investigación	C.0.3.6 Comunicaciones ópticas
Grupo de investigación	No Aplica
Agencia de financiamiento	No Aplica

Ubicación geográfica de la investigación	Edificio: Sede Tecnológica – América Móvil del Perú S.A.C País: Perú Departamento: Lima Provincia: Lima Distrito: La Victoria Latitud: -12.0870192 Longitud: -77.0144316
Año o rango de años en que se realizó la investigación	Junio 2018 - Junio 2019
URL de disciplinas OCDE	Ingeniería eléctrica, Ingeniería Electrónica https://purl.org/pe-repo/ocde/ford#2.02.01 Ingeniería de sistemas y comunicaciones https://purl.org/pe-repo/ocde/ford#2.02.04 Telecomunicaciones https://purl.org/pe-repo/ocde/ford#2.02.05



UNIVERSIDAD NACIONAL MAYOR DE SAN MARCOS
(Universidad del Perú, DECANA DE AMÉRICA)
FACULTAD DE INGENIERIA ELECTRÓNICA Y ELÉCTRICA
Teléfono 619-7000 Anexo 4226
Calle Germán Amezaga 375 – Lima 1 – Perú



UNMSM

Firmado digitalmente por PAREDES
PENAFIEL Rejis Renato FAU
20148092282 soft
Motivo: Soy el autor del documento
Fecha: 30.12.2022 21:28:13 -05:00



ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TRABAJO DE SUFICIENCIA PROFESIONAL Nº 034/FIEE-EPIE/2022

Los suscritos Miembros del Jurado, nombrados por la Comisión Ejecutiva del Programa de Perfeccionamiento Profesional de la Facultad de Ingeniería Electrónica y Eléctrica, reunidos en la fecha, bajo La Presidencia del **MG. RUBEN GINO MARTINEZ VARELA** integrado por el **MG. CARLOS ALBERTO CHIRI HUANCA**, el **MG. WILBERT CHAVEZ IRAZABAL** y el **MG. REJIS RENATO PAREDES PEÑAFIEL**.

Después de escuchar la Sustentación de Trabajo de Suficiencia Profesional del **Bach. CHRISTIAN GERARDO BERNABEL SUSANIBAR** con código N° **10190056** que para optar el Título Profesional de Ingeniero Electrónico sustentó el Trabajo de Suficiencia Profesional titulado **DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UNA RED DWDM IP FOTÓNICO ASON PARA UN OPERADOR DE TELECOMUNICACIONES PARA LA OPTIMIZACIÓN DE LA CONECTIVIDAD EN LA REGIÓN LIMA METROPOLITANA**.

El jurado examinador procedió a formular las preguntas reglamentarias y, luego de una deliberación en privado, decidió aprobar otorgándole el calificativo de **diecisiete** (17).

Ciudad Universitaria, 21 de diciembre de 2022

MG. RUBEN GINO MARTINEZ VARELA

Presidente de Jurado

MG. CARLOS ALBERTO CHIRI HUANCA

Miembro Jurado

MG. MG. WILBERT CHAVEZ IRAZABAL

Miembro Jurado

MG. REJIS RENATO PAREDES PEÑAFIEL

Miembro Asesor



UNIVERSIDAD NACIONAL MAYOR DE SAN MARCOS

Universidad del Perú. Decana de América

FACULTAD DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA Y ELÉCTRICA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA ELECTRÓNICA

INFORME DE ORIGINALIDAD

1. Facultad de Ingeniería Electrónica y Eléctrica.
2. Escuela Profesional de Ingeniería Electrónica.
3. Emisor del Informe el director de la Escuela Profesional de Ingeniería de Electrónica.
4. Operador del programa informático de similitudes: Rejis Renato Paredes Peñafiel.
5. Documento evaluado: Trabajo de Suficiencia Profesional para título de (pregrado) DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UNA RED DWDM IP FOTÓNICO ASON PARA UN OPERADOR DE TELECOMUNICACIONES PARA LA OPTIMIZACIÓN DE LA CONECTIVIDAD EN LA REGIÓN LIMA METROPOLITANA.
6. Autor de la tesis: Christian Gerardo Bernabel Susanibar
Fecha de aplicación de recepción del documento: 10-11-2022
7. Fecha de aplicación del programa informático de similitudes: 10-11-2022
8. Software utilizado: Turnitin.
9. Configuración del programa detector de similitudes:
 - Excluye citas.
 - Excluye bibliografía.
 - Excluye cadenas menores de 40 palabras
10. Porcentaje de similitudes según programa detector: Siete por ciento – 7%
11. Fuentes originales de las similitudes encontradas.

1. ri.itba.edu.ar	2% Fuente de Internet
2. repositorio.ucsg.edu.ec	2% Fuente de Internet
3. repositorio.unicauca.edu.co:8080	1% Fuente de Internet
4. hdl.handle.net	1% Fuente de Internet
5. oa.upm.es	1% Fuente de Internet
6. docplayer.es	<1% Fuente de Internet
7. documents.mx	<1% Fuente de Internet
8. tesis.ipn.mx	<1% Fuente de Internet
9. egpcomunicaciones.com	<1% Fuente de Internet
1. Observaciones: Ninguna.
13. Calificación de originalidad.
 - Documento cumple criterios de originalidad, sin observaciones.
14. Fecha del informe: 27 de diciembre del 2022.

Atentamente,

MG. PAREDES PEÑAFIEL, REJIS RENATO DIRECTOR DE LA EPIE

DEDICATORIA

Dedico este trabajo a Dios, a mis Padres y amigos cercanos quiénes me dieron su apoyo incondicional para poder salir adelante ante las distintas adversidades que se suscitaron en mi vida, gracias a dicho apoyo pude culminar esta hermosa carrera profesional.

A los profesores de mi facultad quienes con paciencia y vocación me instruyeron en el fascinante mundo de la ingeniería.

AGRADECIMIENTOS

Mi sincero agradecimiento a mis compañeros de trabajo dentro de mi equipo actual y de los anteriores también ya que me apoyaron con la información necesaria para la elaboración del presente informe.

Gracias a mi asesor el Ing. Renato Paredes y a todo el equipo del Programa de Titulación quienes me apoyaron en la gestión para poder acceder al título profesional de Ingeniero Electrónico bajo la modalidad del TSP.

Finalmente, gracias a Huawei del Perú por permitirme pertenecer a su equipo y continuar aprendiendo ante los constantes cambios que se suscitan en las tecnologías existentes y emergentes en las telecomunicaciones.

RESUMEN

El presente Trabajo de Suficiencia Profesional tiene como objetivo mostrar la implementación de un diseño de Red de Transporte usando la tecnología DWDM IP Fotónico ASON para el operador Claro Perú la cual posee las características necesarias para brindar alta disponibilidad de los enlaces a los equipos cliente (router). Se detallan los conceptos básicos para poder discernir el funcionamiento de una red de transporte de esta magnitud (se describe también a los nodos ROADM) y se muestra a groso modo el proceso de diseño e implementación de la misma mostrando detalles de la planta externa y planta interna (gabinetes, subracks y tarjetas). Debido a que se encuentra operativa se hará visible toda su capacidad (el término fotónico indica tráfico no menor de 100G) y eficiencia mediante un caso anómalo de avería en la cual la red sufre un fuerte daño en su infraestructura, pero logra mantener los servicios operativos gracias a que posee una clase de base de datos (rasgo fascinante de una red ASON) de las rutas alternas de modo que distribuirá la carga de tráfico de forma equitativa entre estas rutas, esto se apreciará desde el gestor NCE (Network Cloud Engine). Esto último se mostrará entre los resultados acompañado de la propuesta económica y la rentabilidad que provee tener una red de este tipo.

Palabras claves: DWDM, ROADM, ASON, Fotónico, alta disponibilidad.

ABSTRACT

This Professional Sufficiency Work aims to show the implementation of a Transport Network design using DWDM IP Photonic ASON technology for the operator Claro Peru, which has the necessary characteristics to provide high availability of links to client equipment (router). The basic concepts to be able to discern the operation of a transport network of this magnitude are detailed (ROADM nodes are also described) and the process of design and implementation of the same is roughly shown, showing details of the external plant and internal plant (cabines, subracks and cards). Because it is operational, its full capacity (the photonic term indicates traffic of no less than 100G) and efficiency will be made visible through an anomalous case of failure in which the network suffers severe damage to its infrastructure, but manages to maintain operational services. thanks to the fact that it has a database class (fascinating feature of an ASON network) of the alternate routes so that it will distribute the traffic load equally between these routes, this will be appreciated from the NCE (Network Cloud Engine) manager. The latter will be shown among the results accompanied by the economic proposal and the profitability provided by having a network of this type.

Key words: DWDM, ROADM, ASON, Photonic, high availability.

TABLA DE CONTENIDO

RESUMEN	iv
ABSTRACT	v
TABLA DE CONTENIDO	vi
LISTA DE FIGURAS	ix
LISTA DE TABLAS.....	xii
CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO II: INFORMACIÓN DEL LUGAR DONDE SE DESARROLLO LA ACTIVIDAD	3
2.1 Institución – Actividad que desarrolla.....	3
2.2 Periodo de duración de la actividad	4
2.3 Finalidad y objetivos de la entidad	4
2.3.1 Misión.....	4
2.3.2 Visión	4
2.4 Razón Social.....	5
2.5 Dirección Postal	5
2.6 Correo electrónico del profesional a cargo	5
CAPÍTULO III: DESCRIPCIÓN DE LA ACTIVIDAD	6
3.1 Organización de la actividad	6
3.2 Finalidad y objetivos de la actividad.....	7

3.2.1 Finalidad	7
3.2.2 Objetivos	8
3.2.2.1 Objetivo General	8
3.2.2.2 Objetivos Específicos	8
3.3 Problemática	8
3.3.1 Problema General	9
3.3.2 Problemas Específicos	9
3.3.3 Justificación e importancia de la investigación	10
3.4 Metodología	10
3.4.1 Bases teóricas	11
3.4.2 Marco conceptual	13
3.4.2.1 Demanda de ancho de banda	14
3.4.2.2 Sistemas de transmisión DWDM	16
3.5 Procedimiento	17
3.5.1 Diseño de Planta Externa	17
3.5.2 Implementación de Planta Externa	23
3.5.3 Diseño de Planta Interna	42
3.5.4 Implementación de la red de transporte DWDM IP Fotónico ASON	50
3.5.5 Operación y mantenimiento de la nueva red de transporte	57
3.5.5.1 Fiber Doctor	58
3.5.5.2 Optical Doctor	60
3.5.5.3 Conmutación de trails ASON	61

3.5.5.4 Data Collector (DC)	65
3.5.5.5 NE Data Backup/Restoration.....	67
3.6 Resultados de la actividad	68
CAPÍTULO IV: CONCLUSIONES.....	73
4.1 Justificación	73
4.1.1 Evaluación económica	73
4.2 Descripción de la implementación	75
4.2.1 Ventajas	75
4.2.2 Desventajas	76
4.3 Conclusiones	77
CAPÍTULO V: RECOMENDACIONES	79
CAPÍTULO VI: BIBLIOGRAFÍA.....	80
CAPÍTULO VII: ANEXOS	83
CAPÍTULO VII: GLOSARIO	121

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Estructura de Huawei del Perú.....	6
Figura 2: Estructura Orgánica de la Gerencia AMS.....	7
Figura 3: 5 tecnologías que permiten la transformación de la red.....	14
Figura 4: Ley de Moore en las Redes Ópticas.....	15
Figura 5: Asignación de bandas para Sistemas DWDM.....	16
Figura 6: Plano de la PEXT unificado desde AutoCAD.....	18
Figura 7: Infraestructura PEXT del Back Bone y última Milla.....	19
Figura 8: PEXT de la red DWDM 10G Metropolitana.....	20
Figura 9: PEXT de la red de Servicios Fijos (HFC y GPON).....	21
Figura 10: Traslapado de las redes DWDM 10G y Servicios Fijos.....	21
Figura 11: Estructura detallada de los anillos de Lima.....	22
Figura 12: Mufa ZTT con capacidad para 4 cables 96H SM.....	24
Figura 13: Mufas Domo tipo Bala (soporta 6 cables 96H SM).....	25
Figura 14: Instalación de F.O en poste la LMT.....	28
Figura 15: Poste de alumbrado público denso de cables de F.O.....	29
Figura 16: Construcción del canalizado usando maquinaria pesada.....	31
Figura 17: Instalación de mufa en el interior de una cámara.....	32
Figura 18: Cables Eléctricos encontrados al construir ducterías.....	33
Figura 19: Empalmadora de F.O de la marca Sumitomo Electric.....	34
Figura 20: Bandejas internas de una mufa domo tipo bala.....	35
Figura 21: Personal capacitado usando la maquina fusionadora.....	35
Figura 22: Medición realizada por el OTDR.....	37
Figura 23: Gabinete sin puerta con ODF – GPS2's instalados.....	38
Figura 24: Gabinete de armazón único con ODF – GPS2's instalados.....	39
Figura 25: Etiquetas de los ODF – GPS2's.....	40
Figura 26: Interior del ODF - GPS2.....	40
Figura 27: Diseño con los equipos dentro de una misma sala.....	43
Figura 28: Diseño con los equipos dentro de diferentes salas.....	44

Figura 29: Tarjetas del equipo de la capa eléctrica (OSN9800U16).....	45
Figura 30: 1ra parte de la capa óptica del equipo OSN9800UPS.....	46
Figura 31: 2da parte de la capa óptica usando tarjeta AST2.....	48
Figura 32: 2da parte de la capa óptica usando tarjeta DAS1.....	49
Figura 33: Etiquetados en el gabinete de los equipos DWDM.....	50
Figura 34: Vista interna del gabinete del OSN9800U32.....	51
Figura 35: Etiquetados presentes en el equipo OSN9800U32.....	51
Figura 36: Gabinete con 4 subracks OSN9800UPS.....	52
Figura 37: Etiquetados en las bandejas de los ODF – GPS2's.....	53
Figura 38: Etiquetado del ODF Huawei.....	54
Figura 39: ODF's Huawei agrupados en un único gabinete.....	55
Figura 40: Detalle de los puertos SC/UPC del ODF Huawei.....	55
Figura 41: Red ASON entregada al cliente Claro Perú.....	56
Figura 42: Detalle de la Curva de detección del FD.....	58
Figura 43: Configuración de los parámetros del FD.....	59
Figura 44: Resultados de la prueba de OD.....	60
Figura 45: Alarmas relacionadas a la reversión de lambdas.....	61
Figura 46: Ítem ASON Trail Management.....	62
Figura 47: Interfaz de filtrado de trails ASON.....	63
Figura 48: Procedimiento de Reversión de Lambdas.....	64
Figura 49: Solicitud de confirmación de reversión de lambdas.....	64
Figura 50: Procedimiento de reversión ejecutado exitosamente.....	65
Figura 51: Alarmas clareadas debido a la reversión.....	65
Figura 52: Tarea de extracción del DC Log.....	67
Figura 53: Selección de un NE para la extracción del backup.....	67
Figura 54: Flujo detallado del Service Rerouting Process.....	68
Figura 55: Ampliación de la Red IP-RAN.....	69
Figura 56: Ampliación de la Red Core IP/MPLS.....	70
Figura 57: Ampliación de la Red GPRS (servicios móviles 2G).....	71
Figura 58: Fibra Óptica Multimodo (índice gradual y escalonado).....	84
Figura 59: Desarrollo tecnológico de la fibra.....	85
Figura 60: Estructura interna del EDFA.....	87
Figura 61: Estructura interna del SOA.....	88
Figura 62: Teoría del aumento de Raman.....	89

Figura 63: Tipos de uso del amplificador óptico.....	90
Figura 64: Estructura interna y transmisión cónica del LED.....	91
Figura 65: Reusabilidad de canales en un nodo CDC-G ROADM.....	93
Figura 66: Comparación entre las 3 primeras arquitecturas ROADM.....	93
Figura 67: Rol de una 4x4 OXC entre Mux y DeMux.....	94
Figura 68: Rol de los transponders dentro del enlace DWDM.....	95
Figura 69: Sistema DWDM para la modulación NRZ-OOK.....	97
Figura 70: Capas y Jerarquías dentro de una red DWDM.....	100
Figura 71: Estructura de la trama a nivel OTU.....	101
Figura 72: Estructura de las unidades de la Capa Óptica.....	103
Figura 73: Estructura de los encabezados de una trama OTN.....	108
Figura 74: Comunicación entre los planos funcionales.....	109
Figura 75: Características de una red ASON.....	109
Figura 76: Comunicación entre los planos de Transporte y Control.....	110
Figura 77: Detalle de las interfaces dentro de la red ASON.....	111
Figura 78: Comunicación entre los protocolos ASON.....	112

LISTA DE TABLAS

Tabla 1: Distancias implementadas entre algunos nodos.....	41
Tabla 2: Parámetros de detección del FD para diferentes distancias.....	59
Tabla 3: Lista de usuarios y contraseñas para el uso del DC.....	66
Tabla 4: Detalle de la inversión CAPEX en total.....	74
Tabla 5: Flujo de Caja del proyecto en el periodo señalado.....	74
Tabla 6: Comparación de parámetros de eficiencia de transmisión.....	85
Tabla 7: BER vs Distancia máxima alcanzable para un enlace DWDM.....	98

CAPITULO I: INTRODUCCIÓN

El presente Informe Profesional detalla la implementación y posterior operación de una red de transporte DWDM IP Fotónico ASON en la Región Lima Metropolitana usando tecnología del fabricante Huawei el cual fue desplegado como un proyecto dentro de la red de América Móvil del Perú, la cual es un operador local de servicios móviles, corporativos y fijos que comercialmente se conoce como Claro Perú.

La tecnología DWDM IP Fotónico ASON fue la tecnología propuesta por la PMO de Huawei al área de Planificación de Redes de Transporte Nacional DWDM y SDH de Claro, quiénes aceptaron el proyecto como parte de un proceso de modernización de su red frente a la demanda creciente de tráfico la cual se intensificó notoriamente con la llegada de la presente pandemia por el COVID-19. Dicha área de planificación posee las siguientes funciones:

- Diseñar y promover redes de transporte DWDM a nivel nacional.
- Planificar sobre los recursos de la red de transporte tanto DWDM y SDH para poder responder ante la demanda de tráfico.
- Coordinar con la PMO de Huawei para la adquisición de recursos de red, tanto software como hardware, para la implementación de nuevos enlaces de fibra óptica.
- Dimensionar con el área de Operación y Mantenimiento (OyM) los recursos económicos para la adquisición de recursos físicos o lógicos para poder subsanar de manera definitiva los diferentes posibles puntos de averías en la red de transporte.

Cabe resaltar que dentro de mi experiencia profesional laboré en el área de planificación mencionada líneas arriba y actualmente laboro en el proveedor Huawei como On-Site en la cuenta cliente de Claro para la Sub-Dirección de OyM de dicha empresa mexicana. Desde la perspectiva del fabricante laboro en el Área de Soporte y Mantenimiento (AMS) la cual es la

sub-división que se encarga de brindar el troubleshooting respectivo al cliente ante cualquier avería que se suscite dentro de la red.

El siguiente Informe posee dentro de su estructura cinco capítulos dentro de las cuales hay subtemas que brindarán una visión metódica del proyecto abordado. A continuación, se menciona un breve resumen de cada capítulo subsecuente a este primero:

En el Capítulo II, describiré mis experiencias en las instituciones privadas como América Móvil del Perú, Huawei del Perú entre otras entidades de las cuales resalto las principales funciones que tuve de modo que mi perfil profesional se fue adaptando y optimizando dando como resultado una mejor performance laboral ante diferentes retos como el proyecto que se describirá en el presente informe.

En el Capítulo III, detallaré con total plenitud toda la envergadura del proyecto detallando todos los problemas que se deben superar para poder alcanzar los objetivos generales y específicos; se procederá a exponer las etapas y metodología empleadas, fundamentos utilizados e implementación, operación y mantenimiento de la red en donde se describe el manejo de averías y finalmente se hará mención de la evaluación económica respectiva.

En el Capítulo IV, expondré las conclusiones en las cuales se brindará una reflexión crítica de cada paso o etapa en el diseño e implementación del proyecto en la cual laboré.

En el Capítulo V, desarrollaré las recomendaciones que se puedan deducir del presente Informe Profesional de manera que se puedan prevenir complicaciones en la ejecución del proyecto en cualquiera de sus fases o en todo caso adaptarse a las nuevas tendencias tecnológicas.

CAPÍTULO II: INFORMACIÓN DEL LUGAR DONDE SE DESARROLLÓ LA ACTIVIDAD

2.1 Institución – Actividad que desarrolla

Huawei del Perú es una empresa trasnacional en la cual laboré mediante el formato outsourcing vía la empresa nacional EGP Comunicaciones. Huawei es una empresa líder en telecomunicaciones con 34 años de experiencia, dedicada a brindar soluciones integrales en Redes y Comunicaciones, integrando las mejores y adecuadas soluciones tecnológicas que satisfagan las necesidades y expectativas de sus clientes.

Entre los clientes que posee Huawei se encuentra el operador local América Móvil del Perú o comercialmente conocido como Claro Perú al cual se le brinda el hardware, software y los ingenieros de soporte técnico respectivo para cada tipo de servicio que brinde el operador (telefonía móvil, servicios fijos y servicios corporativos).

Cada tipo de servicio posee distintas formas de solución y cada tipo de solución requiere un tipo de tecnología específico, en el caso de una red de transporte (tema tocado en el presente trabajo) Huawei mediante la Gerencia AMS (Assurance and Managed Services) brinda soporte técnico personalizado en el régimen 24x7 dos grandes áreas de Claro Perú: Sub – Dirección de Operación y Mantenimiento (OyM) de la Red y Sub – Dirección de Planificación de la Red, áreas a las que se le brinda todas las facilidades de forma personalizada a todas las consultas y necesidades que requiera para mantener su red en óptimo estado (tanto a nivel de equipos de transmisión como servidores).

2.2 Periodo de duración de la actividad

Huawei del Perú me permitió formar parte de este proyecto desde el año 2021 pero cabe resaltar que el proyecto se dimensiono y vendió a nuestro cliente el 2016, llegándose a comenzar con las implementaciones desde inicios del 2017. Al realizar mis prácticas profesionales en América Móvil del Perú durante los años 2018 y 2019 se dio mi primer contacto con el proyecto y la tecnología que produce Huawei. Actualmente este proyecto se encuentra en la fase de OyM en donde nos encontramos brindando el servicio de soporte extendido y personalizado tanto de manera local como remoto, siendo este último el escenario en donde se desenvuelven nuestras áreas hermanas del TAC, GTAC, R&D y HQ.

2.3 Finalidad y objetivos de la entidad

Huawei del Perú a nivel organizacional tiene planteado una misión y visión muy clara con respecto al mercado profesional local, en las siguientes secciones se brindará más detalles.

2.3.1 Misión

Contribuir al éxito de nuestros clientes ejecutando servicios de Ingeniería, Instalación, Operación y Mantenimiento en el rubro de telecomunicaciones, buscando siempre la mejor atención a través de personal altamente calificado.

2.3.2 Visión

En el año 2024 ser la empresa líder en el desarrollo e implementación de soluciones tecnológicas en el rubro de las telecomunicaciones.

2.4 Razón Social

Huawei del Perú S.A.C (RUC: 20507646728)

2.5 Dirección Postal

Calle Las Begonias 415 Interior 2301 San Isidro - Lima – Lima
(Código Postal 150131)

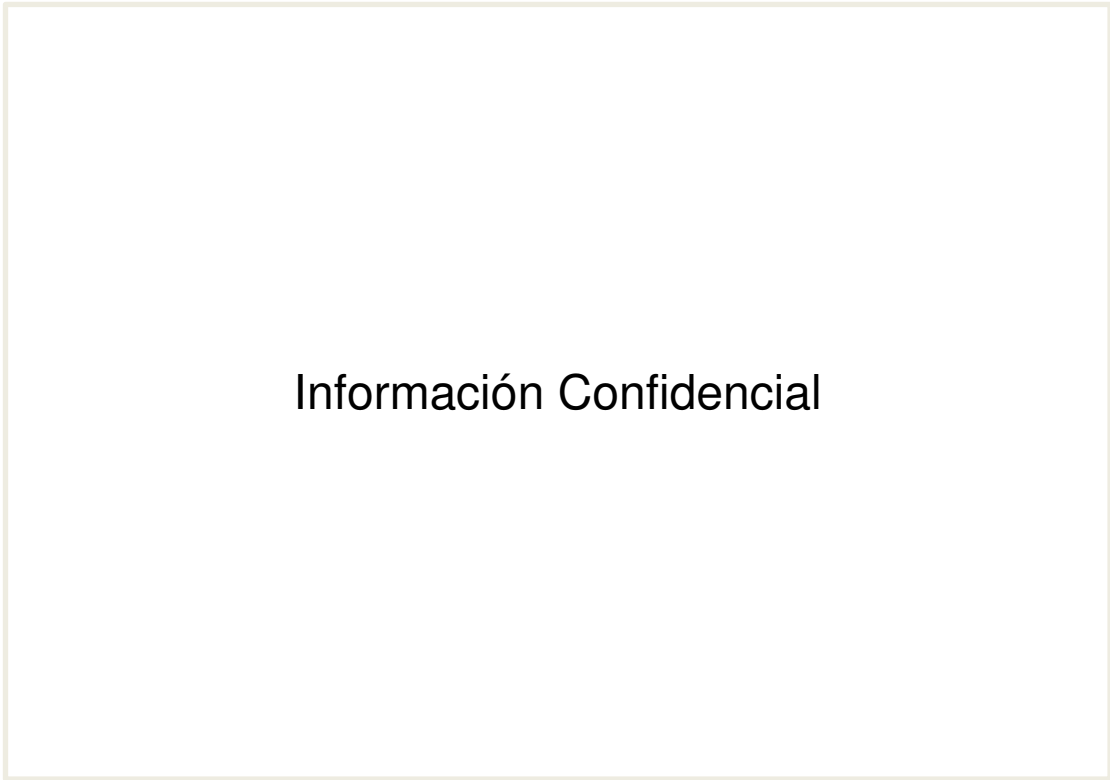
2.6 Correo electrónico del profesional a cargo

Supervisor NOC: omar.saavedra.wx@huawei.com

CAPÍTULO III: DESCRIPCIÓN DE LA ACTIVIDAD

3.1 Organización de la actividad

Antes de mencionar las fases del presente proyecto mencionare como está organizada Huawei del Perú, esto debido a que cada una de las fases de trabajo están enormemente relacionada a determinadas áreas tanto del proveedor (nosotros) como el cliente; de esa manera en la siguiente imagen se muestra la organización interna de Huawei a nivel nacional:



Información Confidencial

Figura 1: Estructura de Huawei del Perú. Fuente: Elaboración Propia

A continuación, se detalla la organización estructural de la Gerencia AMS (área en dónde laboro actualmente) conocida dentro de Huawei como “Peru Assurance & Managed Services Dept.”:

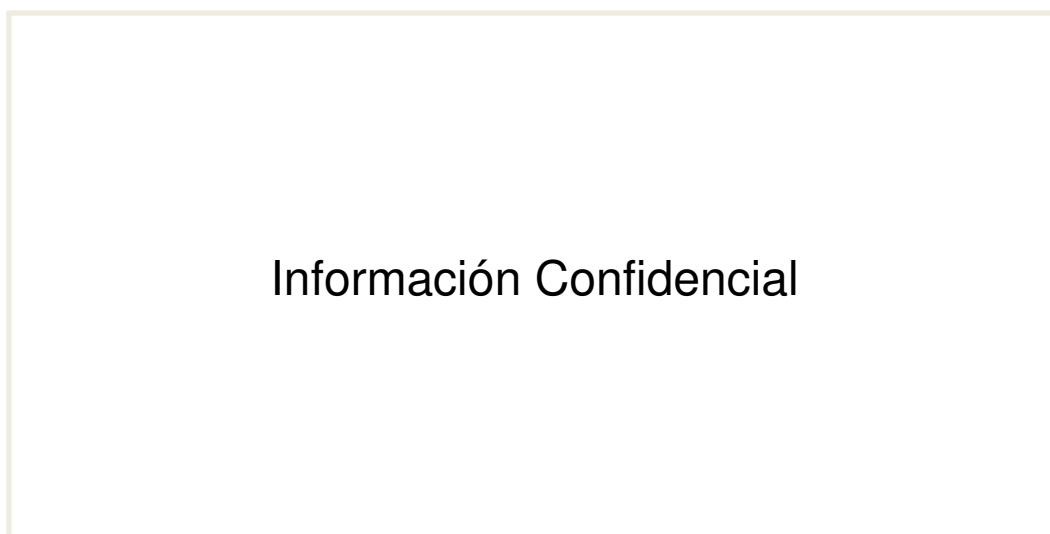


Figura 2: **Estructura Orgánica de la Gerencia AMS.** Fuente: Elaboración Propia

Cabe resaltar que el presente proyecto se organizó a nivel de planeamiento y ejecución entre varias áreas tanto del cliente como del proveedor, en donde como ya se mencionó existe cierto paralelismo entre ambas compañías.

3.2 Finalidad y objetivos de la actividad

3.2.1 Finalidad

Responder de forma óptima a la demanda constante y de crecimiento exponencial que tiene la ciudad capital con respecto a servicios de conectividad en general.

3.2.2 Objetivos

3.2.2.1 Objetivo General. Proponer e implementar el diseño de una red DWDM IP Fotónico ASON para el operador Claro Perú para la optimización de la conectividad (mayor ancho de banda y eficiencia) para la región de Lima Metropolitana y de esa manera poder hacer frente a la demanda de tráfico manteniendo la alta disponibilidad a pesar de la existencia de averías en la red.

3.2.2.2 Objetivos Específicos.

- a) Diseñar la red de transporte usando tecnología DWDM IP Fotónico ASON, proponiendo el hardware y software correspondiente para ello.
- b) Implementar la red de transporte DWDM de forma estratégica en la metrópolis.
- c) Analizar la alta disponibilidad de la red de transporte frente a averías.
- d) Evaluar los parámetros de la calidad del servicio con respecto a la nueva tecnología a aplicar.

3.3 Problemática

En los últimos años se vienen desplegando proyectos regionales, tanto del lado de la inversión privada y como de la estatal, en todo el país para poder brindar un mejor servicio de Internet de Banda Ancha lo cual supone que el core de la red y los Data Centers recibirán mayores niveles de tráfico. Un detalle importantísimo es que los grandes centros de datos están centralizados en la capital por lo que la red de Transporte en la metrópolis debe ser capaz de soportar estos niveles de tráfico y además debe tener alta disponibilidad ante la presencia de averías.

Lo expuesto muestra el caso de Claro Perú que como operador local decide modernizar toda su red de transporte en la ciudad de Lima de manera progresiva instalando de forma estratégica determinados anillos ópticos. En el

proceso de implementación se notaron mejoras, pero la pandemia del COVID-19 aceleró el desarrollo de la red e incluso le exige tener mayor capacidad ya que se tiene el escenario de una alta demanda a nivel de servicios móviles, servicios fijos (Triple Play) e incluso corporativos ya que las empresas mantienen operativas sus data centers. De esta manera surgen necesidades como el teletrabajo, la telemedicina y la teleducación los cuales son servicios de crucial importancia para este proyecto que podría considerarse con enorme impacto social.

Se tiene todo un reto ya que sondeos hechos por entes del gobierno detallan que en Lima solo el 49.8% de la población posee acceso a Internet y solo 43.3% tiene telefonía fija en sus hogares. Estas cifras ubican a Lima en el primer lugar nacional (INEI, 2017) pero en Latinoamérica está muy por debajo de los indicadores promedios.

3.3.1 Problema General.

¿De qué manera el desarrollo de una Red DWDM IP Fotónico ASON influye en la optimización de la conectividad en la región de Lima Metropolitana?

3.3.2 Problemas Específicos.

- ¿Cómo diseñar la red de transporte usando tecnología DWDM IP Fotónico ASON, proponiendo el hardware y software correspondiente para ello?
- ¿Cómo implementar la red de transporte DWDM de forma estratégica en la metrópolis?
- ¿De qué manera se tendrá una alta disponibilidad en la red de transporte frente a averías con esta nueva tecnología?
- ¿Cuáles son los parámetros de la calidad del servicio y como estos indicarían una mejor performance en la red de transporte?

3.3.3 Justificación e importancia de la investigación

En la red metropolitana de Lima se suele usar redes de transporte si bien es cierto es netamente hecho de fibra óptica, este no posee ningún tipo de tecnología a nivel de modulación, lo cual es conocido como fibra oscura y se usa con una gran cantidad de clientes corporativos del operador en mención. Y aunque existen redes DWDM estas tienen un BW limitado a 10Gbps lo cual está quedando muy corto para las demandas actuales.

Cabe resaltar que la característica de flexibilidad y tolerancia a fallas de esta red recae como responsabilidad en los equipos de red a nivel de capa 3 ya que es el router el que realiza la conmutación de puertos cuando observa la caída a nivel físico de un determinado enlace. La arquitectura de la red de transporte propuesta que busca mitigar este inconveniente, la cual se propone en esta investigación, es la de una red DWDM IP Fotónico ASON.

Con el presente proyecto, se busca maximizar la confiabilidad, flexibilidad, visibilidad y escalabilidad de la red regional en mención. Ya que a nivel de capa 1 se muestra un nivel de inteligencia muy elevado. De esta manera el consumo de recursos lógicos y físicos en nuestros equipos de capas superiores sería mucho menor lo que hace viable la implementación con mayor holgura de tecnologías del futuro como SDN, 5G, IoT, Industria 4.0, Big Data, Cloud Computing entre otras.

La importancia de este proyecto consiste en mejorar la flexibilidad y la tolerancia a fallas de la red Metropolitana de Lima empleando las bondades de la red DWDM IP Fotónico ASON.

3.4 Metodología

Para el presente informe con características de propuesta de un diseño de una red DWDM IP Fotónico ASON, se tendrá una metodología con enfoque cuantitativo y descriptiva la cual es basada en las siguientes 3 etapas:

- a) Recopilación de la Información, para poder llevar a cabo la construcción de este informe es necesario contar con la información proveniente del

área en donde se use la tecnología DWDM y el tendido de fibra como parte de la planta externa. Para obtener esta información se usarán 2 grandes fuentes o entidades:

- Áreas de Planificación de la Red de Transporte Nacional DWDM y SDH del operador Claro Perú en donde se laboró y se obtuvo información de la PEXT y necesidades de tráfico de otras áreas hermanas.
 - Huawei del Perú en donde se labora actualmente y se obtiene información detallada del equipamiento usado a nivel hardware y software.
- b) Evaluación y elaboración del diseño final, una vez obtenida toda nuestra repositorio de datos se procede a realizar el diseño de la red usando todos los recursos tanto software como hardware para poder llevarlo a cabo y manera de bitácora de control se almacenan los archivos de diseño, implementación y operación de la red de transporte de manera cronológica. De esta manera se logra unificar la información desde ambos enfoques ingenieriles tanto como de planificación como operación, lo cual al final ayudará en gran manera a la resolución de averías.
- c) Evaluación de los resultados, se procede a evaluar y comparar los resultados de la operatividad de la red de transporte frente a una avería crítica y además se muestran análisis de la rentabilidad del proyecto manera que se observen a largo plazo las ventajas de invertir en el despliegue de esta tecnología compensados con los beneficios de ingresos netos provenientes de servicios móviles, corporativos y fijos.

3.4.1 Bases teóricas.

Actualmente se vive una pandemia de índole mundial como es la del COVID-19, esta coyuntura viabiliza el desarrollo de esta red, lo cual implica acelerar el desarrollo masivo de la conectividad global del país. La ciudad capital necesita de la debida atención en cuanto al despliegue de tecnología que dé mayor desarrollo en diversos ámbitos tales como educación, salud, economía, gobierno electrónico, seguridad ciudadana, entre otros más, en el caso de la presente Trabajo de Suficiencia Profesional se hace uso de los

siguientes trabajos:

- Castilla (2017) En esta tesis se recopila la información necesaria del diseño DWDM a nivel de planificación ya que se implementó en un área amplia perteneciente a España, para ser más precisos se diseñó una red OTN entre las ciudades de Madrid, Barcelona, Valencia y Granada.
- Bonafónt (2018) En esta tesis se recopila la información técnica del hardware y software necesario en el diseño de una red DWDM Inteligente IP Fotónico, en la cual se usa tecnología de vanguardia en la cual se alcanzan enormes velocidades de transmisión. Se recabe información además de los detalles y recomendaciones del uso de amplificadores EDFA y RAMAN los cuales se usó en esta tesis para poder comunicar dos ciudades de Ecuador, para ser más precisos Mar Bravo (Santa Elena) e Isla Santa Cruz (Galápagos).
- Ramirez; Gamarra (2013) En esta tesis se observa el despliegue de una red DWDM, con una tecnología anterior a la propuesta, en la región Puno, pero se recopila la información en cuanto al diseño de Planta Externa es decir al tendido de fibra óptica de forma aérea o subterránea. Además, se parte del diseño de la ubicación estratégica de los nodos de transporte y acceso, así como de los anillos, estos serán modificados y optimizados en la presente Proyecto.
- Palacios (2011) En esta tesis se propone el uso de la tecnología ASON dentro de la red DWDM, haciendo uso de una tecnología anterior a la propuesta, lo inteligente de ello se refiere a la implementación de una capa de control propia del ASON, la cual es capaz de realizar funciones de enrutamiento a nivel óptico. Como propuesta propia de este diseño se añadirá el plus de usar el ASON en la capa eléctrica y óptica propia de los equipos de la red DWDM IP Fotónico, tecnología que no se ha desplegado en la zona aun por parte de inversión pública ni privada.

Además de los trabajos mencionados líneas arriba también se tiene conocimiento de artículos de investigación publicados en el IEEE sobre criterios de diseño que usan esta tecnología de red de transporte DWDM, tales como:

- Wong et al. (2017) presentaron en su artículo “Enhancing the Survivability

and Power Savings of 5G Transport Networks Based on DWDM Rings”, en el cual se exponen los métodos de diseño de anillos DWDM: CA, R-MP y R-MAP para luego hacer énfasis en la disponibilidad de conexión, consumo energético, costo y el factor de impacto de falla como criterios clave al momento de dimensionar la estructura de un anillo DWDM.

- Sarmiento et al. (2017) presentaron en su artículo “Cost-Effective DWDM ROADM Design for Flexible Sustainable Optical Metro–Access Networks” en el cual se presenta los enormes beneficios en optimización espectral, escalabilidad, consumo energético, tiempo de conmutación entre otras de una arquitectura de un nodo óptico DWDM ROADM basado en WSS (wavelength-selective switches) el cual se usa dentro de un proceso iterativo de diseño para redes de Acceso Metropolitano.
- Veselinovic et al. (2017) presentaron en su artículo “Napredne funkcionalnosti nove magistralne OTN/DWDM mreže Telekom Srbija” la cual traducido del bosnio al inglés se lee “Advanced functionalities of the new main OTN/DWDM network of Telekom Srbija”, la cual describe las funcionalidades más avanzadas de un nodo óptico reconfigurable siendo la más compleja la de CDC-G ROADM. A este paradigma se le añade el ASON eléctrico lo cual lo hace altamente tolerante a fallas además cabe resaltar que los autores afirman que si una red implementa el diseño propuesto pues entonces está preparada para implementar una T-SDN.

En el presente trabajo se tienen en cuenta todas las investigaciones ya mencionadas de modo que se buscó usar los conceptos y herramientas necesarias para poder plasmar el diseño propio de la Proyecto, siempre se tuvo en cuenta las sugerencias expuestas por los investigadores ya mencionados líneas arriba.

3.4.2 Marco conceptual.

En la actualidad existen y surgen tecnologías que progresivamente comienzan a demandar un alto consumo de ancho de banda por lo que es de vital que la red de transporte sea capaz de proveer lo demandado. A continuación, se describen el sistema de la red DWDM IP Fotónico ASON y

todos los elementos que la conforman además se expondrán todas las consideraciones técnicas en cada uno de ellos.

3.4.2.1 Demanda de ancho de banda. Vivimos una época difícil por la crisis sanitaria debido a la pandemia provocada por el COVID-19, esta coyuntura provocó una aceleración en cuanto a la demanda de ancho de banda lo que se refleja en la necesidad de mayores recursos en la red de transporte, siendo una necesidad crítica que esta red posea determinadas características de respuesta ante eventos que afecten a la operatividad y eficiencia de la red.

Esto último fue previsto en el diseño de esta red desde un principio y cabe resaltar que el presente proyecto se ideó varios años antes de la pandemia, lo cual nos hace ver lo bien diseñado que está porque es capaz de soportar múltiples upgrades en el BW (ancho de banda) de los canales ópticos sin afectar en lo más mínimo en cuanto a su rendimiento.

Según Cisco (2020), existen 5 tecnologías que están dando forma a una nueva red. Estos grandes avances tecnológicos se hacen muy notorios en particular en: Internet de las cosas, Automatización, Inteligencia Artificial, Cloud Computing, Wireless (5G) y Ciberseguridad.

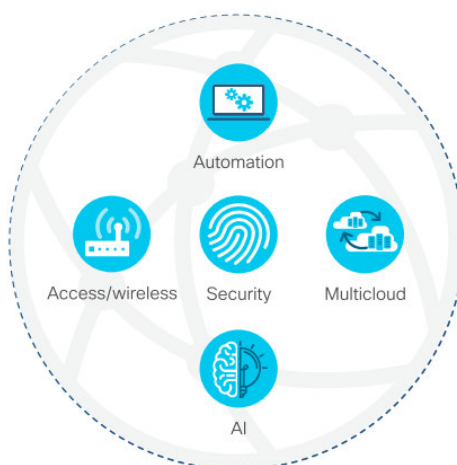


Figura 3: 5 tecnologías que permiten la transformación de la red.
Fuente: Cisco (2020)

Todas estas tecnologías requieren un transporte óptimo y eficiente a nivel de capa 1, la escalabilidad y compatibilidad que posee la red DWDM con equipos de capas superiores del modelo OSI hacen de ella la adecuada para realizar dicha función.

Según Grobe & Eiselt (2014) la vida útil del transporte WDM está entre los 5 a 8 años mientras que para los equipos de capa 2 y 3 es normalmente menor lo que nos da a entender que nuestra red de transporte es capaz de hacer frente a los constantes cambios en lapsos de tiempo corto que presentan los equipos de capas superiores, cambios que son demandados por la tecnologías mencionadas líneas arriba.

De acuerdo a lo mencionado por Huawei (2018a) se tiene que desde la perspectiva de la capacidad de una sola fibra, la red óptica tiene una ley empírica similar a la Ley de Moore. Esta ley dice que la capacidad de los enlaces de fibra se duplica aproximadamente cada 3 años, la imagen línea debajo muestra el aumento progresivo de consumo en Petabytes por año desde el 2013 hasta el 2019. De dicho grafico se comprueba lo veraz que es esta Ley de Moore para las redes ópticas.

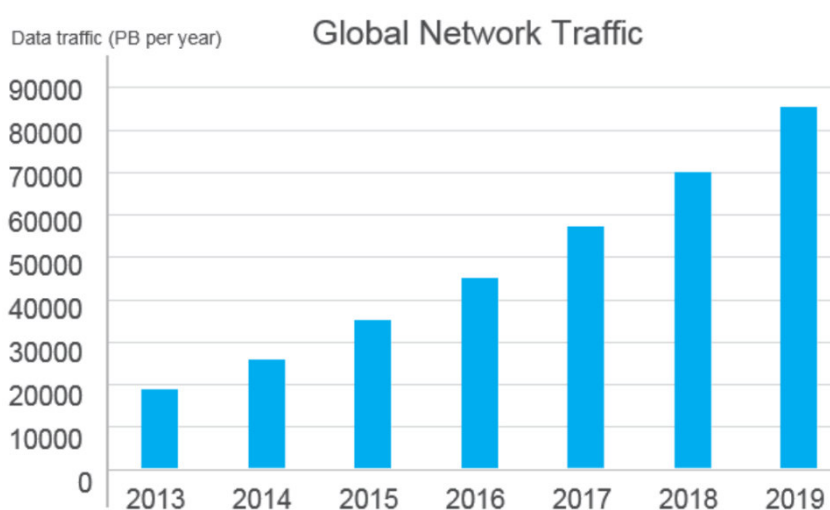


Figura 4: Ley de Moore en las Redes Ópticas. Fuente: Huawei (2018a)

3.4.2.2 Sistemas de transmisión DWDM. Se conoce como DWDM a aquel sistema de transporte que realiza la Multiplexación por División de Longitud de Onda Densa (“Dense Wavelength Division Multiplexing” en inglés) de manera que las señales serán transmitidas en diferentes λ lambdas siendo el espaciado entre las longitudes de onda desde 0.8 nm de esta forma se está permitiendo un mayor número de canales dentro del medio físico.

De acuerdo a la ITU-T (2012), en su recomendación G.694.1 se especifica que los sistemas DWDM deben trabajar en las siguientes bandas de trabajo:

- Banda C “Convencional” en el rango de 1530 – 1565 nm.
- Banda L “Longitud de Onda Larga”, en el rango de 1565 – 1625 nm.

Cabe resaltar que actualmente se pueden conseguir 40, 80 o 160 canales ópticos separados entre ellos 100, 50 o 25GHz respectivamente. Normalmente se trabaja con las frecuencias equivalentes en vez de las longitudes de onda, para nuestro proyecto comprenderemos el rango de 192.10 a 196.00 THz (en la red fotónico el BW de cada λ es 100Gbps).

Según Castilla (2017), una observación importante es que cuando un sistema DWDM se usa en un enlace de largo alcance (miles de km) se añade a las ventanas de trabajo la banda S “Longitud de Onda Corta” la cual usa luz en el rango de 1460 a 1530 nm.

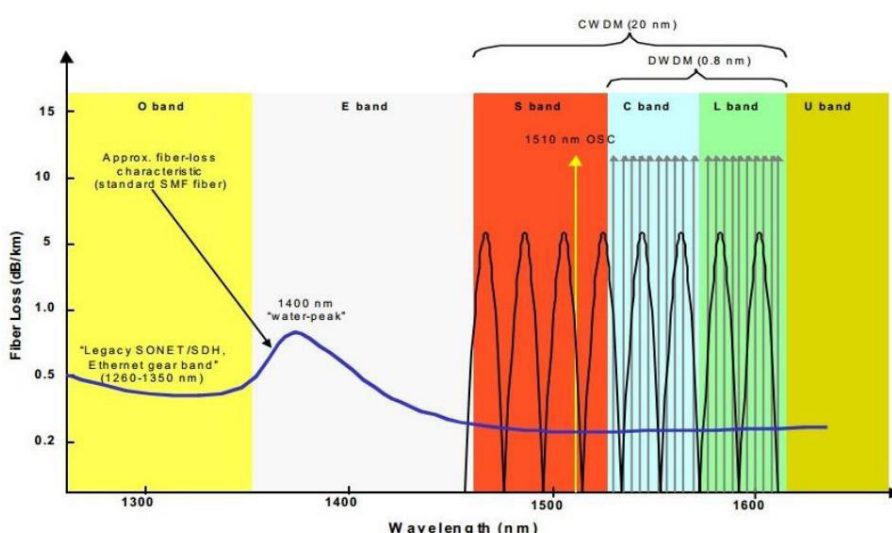


Figura 5: Asignación de bandas para Sistemas DWDM. Fuente: Castilla (2017)

3.5 Procedimiento

Para poder mostrar el progreso paulatino del presente proyecto se procederá a detallar cada fase de su realización en las siguientes secciones.

3.5.1 Diseño de Planta Externa

En primera instancia se analizó el estado del medio de transmisión es decir las redes de fibra óptica en toda la metrópolis de modo que se pueda aprovechar la planta externa existente o en todo caso construirla ya sea de forma aérea o canalizada para que así se pueda tener una estructura anillada de toda la futura red ASON. De esta manera la Sub-Dirección de Construcción e Implementación de Red comienza a consultar todas sus bitácoras de registros en dónde se puede percibir la fibra óptica desplegada en todos los 50 distritos del área metropolitana de Lima (43 en Lima y 7 en el Callao).

Después de varias semanas de meticulosa recopilación de información se logra armar un enorme plano (líneas abajo se puede visualizar), el inconveniente que se tiene es que para poder ser capaces de ensamblar y procesar este plano se requiere de una gran capacidad de cómputo.

En otras palabras, la enorme cantidad de información sobrecargada en el plano y los gráficos 2D altamente densos que el software AutoCAD versión 2018 debe mostrar conllevan necesariamente a tener que usar computadoras de escritorio que tengan como características a nivel hardware: procesadores Intel Core i7 de 8va Generación con 16 GB de memoria RAM repotenciada con una tarjeta de video NVidia GeForce con 4GB de memoria de video dedicada.

Información Confidencial

Figura 6: Plano de la PEXT unificado desde AutoCAD. Fuente: Elaboración Propia

Básicamente a nivel de circuitos de última milla se tiene como paradigma partir como punto inicial de la mufa más cercana al local del cliente, de manera que ese trayecto es diseñado ya sea de forma canalizada o aérea.

Pero en el presente proyecto no vamos a hacer hincapié en ese tipo de circuitos sino más bien en el de una infraestructura anillada para que sea de soporte físico de toda la red DWDM IP Fotónico ASON. Dicha PEXT requiere en una gran mayoría de casos cruzar o surcar zonas complicadas de la metrópolis ya sea por la poca presencia de infraestructura de uso público (postes de LDS o Enel) o por restricciones que la Municipalidades Distritales dictaminan, un claro ejemplo de ello es la prohibición del Municipio Miraflores de tendidos aéreos.

Pero previo a cualquier diseño de PEXT es necesario saber si se puede usar las redes existentes de manera que se reduzca el impacto económico del proyecto, este estudio se realizó a nivel de escritorio con el apoyo de personal OyM Field (personal en campo) ya que ellos conocen los puntos comunes de la PEXT de redes de dos tecnologías distintas o zonas con cero infraestructuras a la cual debemos llegar para poder aumentar la conectividad.

Información Confidencial

Figura 7: Infraestructura PEXT del Back Bone y última Milla. Fuente: Elaboración Propia

De este análisis se dedujo que la red DWDM 10G Metropolitana y la red de Servicios Fijos pueden complementarse de manera muy satisfactoria ya que al usar la existente y construir estratégicamente nueva PEXT se logra obtener una estructura anillada óptima la cual es capaz de brindar la redundancia física y lógica a la enorme cantidad de tráfico proveniente de los distritos de Lima.

Aparte de los planos en AutoCAD como fuente de información también se tienen archivos kmz, que se abren en Google Earth, líneas abajo se puede observar la fibra de la red DWDM 10G Metropolitana como líneas en color celeste (cian) y como sujetadores (coloquialmente conocido como chinchas) amarillos a los nodos. Un detalle importante es que gráficamente se observa como esta fibra se expande por el norte y sur de manera que incluso sale de la ciudad capital y no se queda limitada, esto se debe a que ésta en realidad forma parte de toda la Red Dorsal DWDM Norte y Sur que cubre gran parte del país recogiendo todo el tráfico, es por eso que se aprecia como esta fibra va más allá de los límites distritales de Ancón y Pucusana.

Información Confidencial

Figura 8: PEXT de la red DWDM 10G Metropolitana. Fuente: Elaboración Propia

En la imagen adjunta en la parte inferior a este párrafo se puede apreciar la red de Servicios Fijos, ésta consta en su gran mayoría por planos o anillos que se basan en tecnología HFC, GPON y en algunos casos son fibra oscura (fibra directa sin multiplexación alguna entre dos routers o equipos cliente). Se puede notar el recorrido de la fibra como líneas rojas y los nodos como sujetadores rojos, aquí se recalca que existen un poco más de nodos en comparación con la anterior red porque los servicios que se cursan por esta PEXT están destinados en un notorio porcentaje a los clientes de hogar los cuales de por si son muy numerosos.

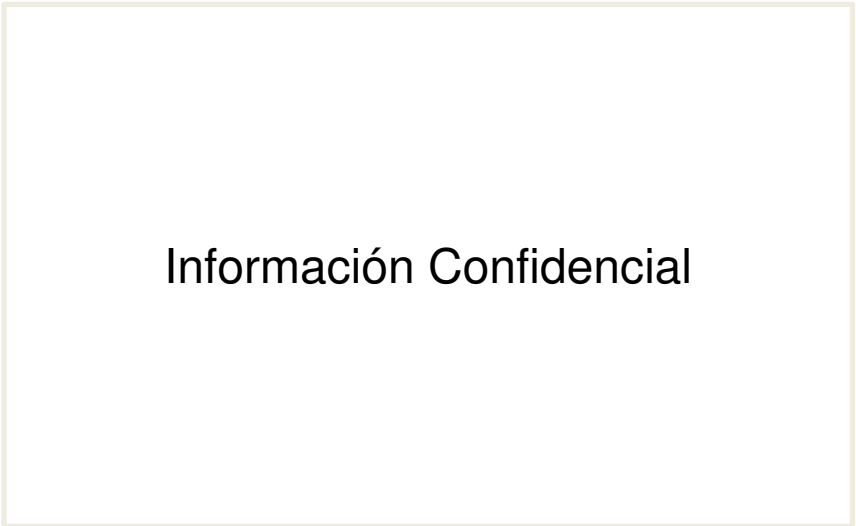
Adicionalmente se puede ver que esta red está confinada solamente a la ciudad de Lima, eso se debe a que la gran mayoría de demanda de estos servicios se origina en las grandes ciudades a nivel nacional por lo que estratégicamente solo se despliega PEXT dentro de límites de dichas metrópolis como es el caso de la capital.



Información Confidencial

*Figura 9: **PEXT de la red de Servicios Fijos (HFC y GPON).*** Fuente: Elaboración Propia

De esta manera en el Google Earth se procedió a realizar un traslape de ambas capas para poder visualizar como estas redes se puede sumar mutuamente y reducir los trabajos de implementación de PEXT; es en este momento del proyecto en dónde se tiene que elegir meticulosamente los nodos que formarán los anillos 100G de la nueva red ASON.



Información Confidencial

*Figura 10: **Traslapado de las redes DWDM 10G y Servicios Fijos.*** Fuente: Elaboración Propia

Finalmente, después de tomar todos los comentarios y las recomendaciones de todas las áreas involucradas se llega al conceso dentro de la dirección de Red que para poder implementar los anillos de la nueva red DWDM IP ASON Fotónico se requiere instalar los nuevos equipos 100G en determinados nodos en donde cada determinado conjunto de ellos forma los Anillos Metropolitanos 100G de Lima, éstos están formados estructuralmente tal y como la siguiente imagen lo muestra:

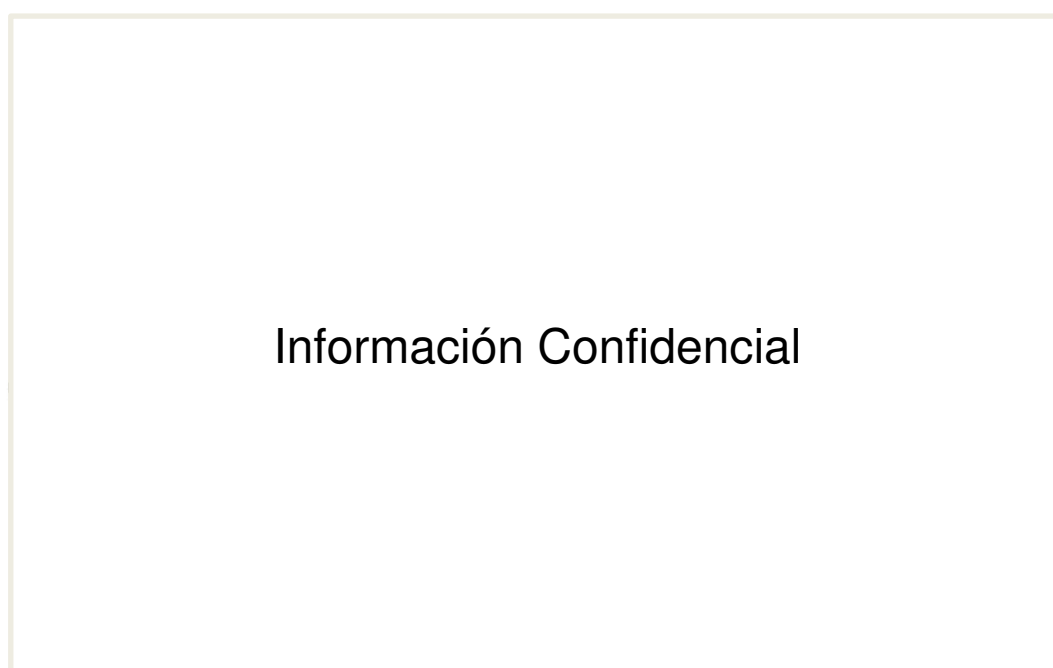


Figura 11: Estructura detallada de los anillos de Lima. Fuente: Elaboración Propia

La distribución de los nodos dentro de los anillos es la siguiente:

- Anillo Central, el cual está formado por Información Confidencial
Información Confidencial
- Anillo Este, el cual está formado por Información Confidencial
Información Confidencial
Información Confidencial
- Anillo Sur, el cual está formado por Información Confidencial
Información Confidencial

- Anillo Oeste, el cual está formado por

Información Confidencial

Información Confidencial
- Anillo Norte, el cual está formado por

Información Confidencial

Información Confidencial

Información Confidencial

De esta manera ya se tienen visualizados los tramos de fibra óptica a implementar para que se tenga toda la redundancia física que usualmente necesita la tecnología ASON para que haga máximo uso de todas funcionalidades, cabe resaltar que Claro adquirió el servicio ASON categoría plata. Un detalle importante que se aprecia en el anterior diagrama es que el nodo POP Lurín es en donde se concentra la salida internacional (hacia Internet) ya que la red de Claro Perú está registrada dentro del NAP Perú, ahí se aprecia una deficiencia en la red ya que un evento de PEXT entre POP Lurín y Nodo Telepuerto comprometería en gran medida los servicios internacionales del operador en mención.

3.5.2 Implementación de Planta Externa

El reto que se presenta en esta etapa del proyecto es la implementación del medio de TX la cual es la fibra óptica ya sea mediante tendidos aéreos o canalizados subterráneos, siendo ésta última es la que toma mayor tiempo en implementar por los permisos que se deben solicitar a las municipalidades distritales o provinciales en el caso se toque una vía que forme parte de las arterias de mayor transitabilidad de la metrópolis ya que si ese es el caso nos puede tomar algo de 3 meses realizar nuestros canalizados.

Los elementos universales que forman parte de la PEXT en cualquier escenario son básicamente el cable de F.O, las reservas de F.O, ODF o GPS (ordenadores de fibra óptica) y las mufas quienes en su interior poseen bandejas en las que se empalman los hilos; las mangas es la otra denominación que se reciben las mufas en la industria de las telecomunicaciones en dónde existen de varios modelos.

Dentro de la PEXT del Claro Perú se encuentran con bastante frecuencia las mufas ZTT y las mangas Domo tipo Bala (las cuales se aprecian líneas

abajo), con la capacidad máxima que soportan dichas mangas es suficiente en lo que respecta a redes dorsales ya que la densidad de hilos no es tan alta porque los servicios se suelen multiplexar en un par de hilos y otro par se usa como backup.

Un caso muy distinto se aprecia en los anillos HFC, GPON o de Fibra Oscura en dónde se suelen colocar mangas Mondragón en dónde pueden ir hasta 12 cables de 96H SM, esto por la alta densidad de clientes que se tiene en los servicios fijos tanto corporativos como de hogar.



Figura 12: Mufa ZTT con capacidad para 4 cables 96H SM. Fuente: Elaboración Propia

Por otro lado, se tienen que las mufas indicadas pueden soportar una cantidad mayor de cables que las que normalmente pueden poseer, pero se recomienda que dichos cables sean de una menor capacidad por ejemplo en una manga ZTT se pueden instalar 6 cables de 48H SM sin incomodidad alguna pero si se le llegase a colocar 6 cables de 96H SM esto hace que dicha manga se vuelva crítica y hace altamente viable la existencia de averías en trabajos de implementación o agrava la avería cuando se quiere instalar un cable adicional como parte de un trabajo correctivo.



Figura 13: Mufas Domo tipo Bala (soporta 6 cables 96H SM). Fuente: Elaboración Propia

El otro tipo de mufa muy usada es el domo tipo bala, la cual se aprecia en las imágenes de líneas arriba, esta manga mayor robustez al trabajar en la intemperie por lo que es muy usual en la red dorsal en general tanto aéreo como canalizado subterráneo.

La capacidad estándar de dicha mufa son 8 cables de 48H SM y tal como se explicó anteriormente se puede superar dicha capacidad, pero se corre el riesgo de volver crítica dicha infraestructura. En las zonas fuera de Lima que son poco habitadas, pero tienen la dorsal cruzándolas, las mufas domo suelen tener solo dos cables (esto porque son zonas con poca demanda) que le dan la continuidad respectiva a la F.O lo que hace que las mufas tengan completa holgura en su función.

Para el caso de la metrópolis es algo distinto porque en Lima se cruzan diferentes tecnologías y proyectos para poder atender la alta demanda, en este escenario hay que ser meticuloso para no superar la capacidad estándar de las mufas ya mencionadas y de esa manera la red tenga una mejor performance.

Después de haberse dimensionado la cantidad y el tipo de mufas a usar en la implementación, se procede a revisar como se realizará el tendido de F.O si será aéreo o subterráneo. Abordaremos el tendido aéreo en primera instancia; como sabemos existen normativas de tendido aéreo tanto por las municipalidades distritales como por las empresas distribuidoras de energía eléctrica que en el caso de la capital serían en su mayoría se usan postes de

alumbrado público de propiedad de Enel o Luz del Sur.

El tendido aéreo de F.O debe cumplir ciertas normas de seguridad y diseño para poder ser aceptado como tal ya que de no ser el caso se procede a multar a la empresa operadora. Entre las normas de tendido aéreo tenemos las siguientes:

- El cable de fibra óptica debe estar 30 cm por debajo de la Línea de Baja Tensión.
- El cable de fibra debe estar 2 m por debajo de la Línea de Media Tensión cabe resaltar que si se tiene un contrato vigente con la concesionaria se puede usar los postes de la LMT siempre y cuando se cumpla con la distancia ya mencionada entre el cable de energía y el de datos.
- No debe haber cable de fibra aérea por debajo de una Línea de Alta Tensión y en caso se necesite tender fibra deberá realizarse forma subterránea. En caso exista un contrato con la empresa distribuidora de energía eléctrica se debe usar un cable de fibra óptica del tipo OPGW para que surque de forma aérea por las torres de la LAT.
- No se puede usar para tendido aéreo postes que se encuentran en la berma central.
- No se puede usar para tendido aéreo los postes que tengan sifón eléctrico.
- No se puede tender fibra óptica en postes con cámaras que pertenecen a los circuitos de video del sistema de videovigilancia de la municipalidad distrital local.
- No se puede tender fibra óptica en postes de LDS o Enel que sean totalmente metálicos.
- Solo se puede tender fibra óptica en postes de Enel o LDS que tenga pastoral (alumbrado público).
- Cada 500 metros de tendido de fibra se recomienda dejar una reserva la cual, si se dejase en un poste de Enel o LDS deberá tener una longitud máxima de 30 metros mientras que, si se deja en un poste de propiedad del propio operador, esta reserva podría tener una longitud máxima de 60 metros.

- Cada 1000 metros de tendido de fibra se recomienda dejar una manga, esto para el escenario de una metrópolis como es el caso de la nueva red ASON ya que en las zonas menos habitadas por donde surca la dorsal se observan que hay mufas cada 2 km aproximadamente.
- Todo tendido de fibra óptica no debe invadir la propiedad privada (surcar el espacio dentro de los muros) si se trata de un tendido complejo se debe usar brazos metálicos para obtener la línea de vista adecuada entre poste y poste para de esa forma evitar invadir el terreno privado.
- Para cambiar de dirección en el tendido de fibra óptica se puede hacer uso del medio tramo siempre y cuando este no exceda la longitud de 20 metros, cabe resaltar que para hacer el cruce de vías de alto tráfico no se debe hacer uso del medio tramo sino tender fibra entre dos postes que se encuentren colineales de forma perpendicular a la vía.
- No se pueden realizar tendidos aéreos de F.O en zonas que son consideradas históricas y de patrimonio cultural ya sea por la UNESCO o el Ministerio de La Cultura, en el caso de la capital se tiene dicha prohibición en los Centros Históricos de los distritos de Cercado de Lima, Rímac, Pueblo Libre y Barranco.
- No se puede realizar tendidos aéreos de F.O en zonas críticas de impacto visual de acuerdo a disposiciones municipales como es el caso de los distritos de Miraflores y San Borja.
- En todo tendido aéreo se toleran como máxima la existencia de 10 cables esto para minimizar el impacto visual y el orden de cableado de F.O en general.
- Todo poste a ser plantado debe colocarse en la medianera o límite entre dos propiedades privadas, siendo solo factible colocar un solo poste en cada medianera; esto se realiza para evitar el sobrepoblamiento de postes.
- No se puede realizar el izamiento de poste alguno en la zona denominada como martillo peatonal, la cual se encuentra en las esquinas de las calles, avenidas, jirones, pasajes y vías en general.

Las normas de diseño mencionadas líneas arriba se hacen cumplir con

rigor en todo proceso de implementación en campo, en el caso específico de realizar tendidos sobre postería de la LMT o torres de LAT (más usual en redes interregionales) se requiere un contrato de por medio con la empresa distribuidora de energía eléctrica. Un detalle importante a considerar es que se sobreentiende que todas las formas de tendidos aéreos restringidos líneas arriba también restringe el plantado de postes.

Además, a nivel de Seguridad Ocupacional se deben usar implementos de seguridad ya que el personal técnico se encontrará en zonas peligrosas de alto voltaje por lo que el aislamiento en la indumentaria es vital tal. En el caso de usar postes de la LMT, en donde se puede usar postes con pastoral simple o doble, se debe mantener la distancia de 2 m entre la F.O y los cableados eléctricos. Siempre debemos recordar como parte de todo diseño de PEXT que cuando se instala una mufa esta siempre se coloca con una reserva que facilite la manipulación de la misma ya que si se implementan nuevos servicios se requerirá bajar la mufa y realizar empalmes entre diferentes bandejas o buffers.



Figura 14: Instalación de F.O en poste de la LMT. Fuente: Elaboración Propia

Para un mejor acondicionamiento mecánico se colocan crucetas metálicas para que ayuden a dar la típica forma circular a las reservas además de darle

mayor robustez y estabilidad a la fibra ante los vientos fuertes los cuales podrían provocar que los hilos se rompan dentro de las mufas.

En el caso del tendido de F.O en postes de alumbrado público como es en el caso de los postes de LDS o Enel para el caso de Lima, se debe tener cuidado de no congestionar dicha infraestructura lo cual propicia la ocurrencia de averías o como suele ocurrir en muchos casos que al estar tan congestionada un poste y no haber marcado o señalizado de forma visual las mufas que forman parte de la red se podría dar el caso que personal PEXT de mantenimiento o implementación manipule una manga que no sea nuestra y así afectar una red externa.

Esto último es grave porque podría acarrear en penalizaciones o quejas ante los organismos de regulación estatales como OSIPTEL, adicionalmente el hecho de marcar las mufas ayudará a esclarecer responsabilidades en caso de hurto de mangas ya que facilita las investigaciones policiales y de esa manera se lograría menguar en cierta magnitud la proliferación de este acto delictivo.



Figura 15: Poste de alumbrado público denso de cables de F.O. Fuente: Elaboración Propia

De otro lado con respecto al tendido subterráneo de F.O se tienen escenarios distintos en los cuales de manera análoga al tendido aéreo se deben seguir una cierta cantidad de normas de diseño y seguridad. A continuación, enunciaremos cada una de ellas:

- La ductería por dónde surca la fibra óptica no puede ser colocada por el medio de las vías asfaltadas de tránsito vehicular ya que dicha posición siempre la tiene las redes troncales de agua y desagüe de SEDAPAL.
- Los canalizados subterráneos no deben interceptar las ducterías de gas de Cálidda ya que plantean un problema importante de deflagración cuando se construye el mismo.
- Es recomendable no construir ductos en las aceras o asfalto circundante a una estación de combustible ya que es altamente probable que se perforen o dañen infraestructura propia del grifo que podrían acarrear grandes incendios, por lo que se recomienda realizar tendidos aéreos en caso se necesite instalar F.O.
- En el caso de cruzar vías de alto tránsito vehicular de forma subterránea se recomienda instalar 2 cámaras de cada lado de la vía y un canalizados con 4 ductos en donde cada ducto tiene 2 pulgadas de diámetro; cabe resaltar que este dimensionamiento siempre se realiza para evitar congestiones futuras.
- Se debe tener mucho cuidado con los cableados eléctricos subterráneos ya que, al momento de hacer uso de maquinaria pesada para la apertura de zanja, se puede hacer contacto con estos cables y de esa manera provocar daños físicos o la muerte al personal en campo.
- Debido a la similitud entre los cables de F.O y los eléctricos se requiere tender los cables en ductos separados y debidamente señalizados para evitar accidentes eléctricos (electrocuciones) durante las futuras manipulaciones que realice personal de campo.
- Los canalizados que se dirijan a un poste de alumbrado público para realizar la interfaz entre el tendido aéreo y subterráneo de la F.O (conocido como sifón) deberán ser solo de 1 ducto de 1 pulgada de

diámetro.

- La ductería que se dirija a un poste de propiedad del operador para realizar el sifón o los ductos presentes entre dos postes deberá tener 2 ductos de 2 pulgadas de diámetro cada uno.
- Todos los giros o cambios de dirección que tenga el canalizado subterráneo deberán ser de 90 grados ya que en dichas esquinas en donde cambia la dirección se suele colocar una cámara a excepto que se trate de tramos muy cortos.
- Se instala una cámara en el canalizado subterráneo cuando ya se han superado los 30m de longitud y en cada cámara deberán instalarse cableado de F.O que va por el borde de dicha infraestructura (desarrollo de cámara) el cual tiene una longitud estándar de 15m. Dicho cableado es para que se puedan realizar con comodidad los diferentes mantenimientos preventivos y correctivos (cambio de la cámara en caso ya esté muy dañada).
- En los tendidos subterráneos de F.O se suelen usar dos tipos de cámara: tipo A y tipo B; el primero se instalan justo afuera de los nodos ya que al ser de mayor volumen permite una mayor capacidad de cableados lo cual es típicos en los densos nodos DWDM. Mientras que las cámaras tipo B son un poco más pequeñas y se usan como pieza de conexión en todos los trayectos canalizados de la red DWDM.



Figura 16: Construcción del canalizado usando maquinaria pesada.
Fuente: Elaboración Propia

Tal y como se puede apreciar en la imagen de arriba, realizar un canalizado subterráneo involucra maquinaria pesada o equipos portátiles especiales para poder intervenir las vías involucradas en el diseño de PEXT, ello requiere de trámites y solicitud de permisos con los municipios distritales o provinciales lo cual afectó notoriamente a los plazos de entrega del proyecto por lo que se tuvo que hacer presente los SLA's (Service Level Agreement) a todas las áreas involucradas.



Figura 17: Instalación de mufa en el interior de una cámara. Fuente: Elaboración Propia

Las mangas que se usan en el tendido subterráneo son las mismas que la del tendido aéreo, tal y como se aprecia en la imagen de líneas arriba se suelen usar las mufas domo tipo bala. Adicionalmente se recalca que en el caso de que una cámara halla que instalar una mufa pues entonces deben instalarse 15m de F.O como desarrollo de cámara y otros 15m para facilitar la manipulación de la manga.

Siempre al realizar los canalizados se debe tener mucho cuidado con los cableados eléctricos subterráneos porque si se tratan de LMT subterránea se debe usar equipamiento de seguridad para evitar cualquier tipo de electrocución. La similitud entre los cables de F.O y los de LMT o LBT (Líneas de Baja Tensión) es bastante notoria por lo que se recomienda tener planos

detallados de las vías a intervenir, en dichos planos deben figurar los canalizados de GAS de Cálida o los cableados eléctricos subterráneos de alguna LMT cercana.



Figura 18: Cables Eléctricos encontrados al construir ducterías. Fuente: Elaboración Propia

Siempre al realizar los canalizados se debe tener mucho cuidado con los cableados eléctricos subterráneos porque si se tratan de LMT subterránea se debe usar equipamiento de seguridad para evitar cualquier tipo de electrocución. La similitud entre los cables de F.O y los de LMT o LBT es bastante notoria por lo que se recomienda tener planos detallados de las vías a intervenir, en dichos planos deben figurar los canalizados de GAS de Cálida o los cableados eléctricos subterráneos de alguna LMT cercana.

Una vez que se logra completar la implementación del izado de postes o la construcción de los ductos, se procede a tender la F.O por dichas infraestructuras de modo que dependiendo del tipo de cable, longitud del mismo y tipo de ruta física se colocarán determinados puntos de empalme o mufas, para poder fusionar los hilos se deben usar máquinas fusionadoras las cuales ya posee internamente un proceso automatizado para hacer el empalme de modo que se tenga la menor atenuación y reflectancia posible.



Figura 19: Empalmadora de F.O de la marca Sumitomo Electric. Fuente: Elaboración Propia

Un detalle importante es que la manipulación de la fibra debe hacerse de la manera más pulcra ya que la F.O es muy susceptible a la presencia de impurezas por lo que los trabajos deben hacerse usando alcohol isopropílico y otros aditamentos como trapitos higiénicos están dentro del kit de limpieza estándar.

Dentro de la calidad de implementación de una mufa se encuentra el orden subyacente de los empalmes realizados en las bandejas internas de la manga ya que si existe un enredo de hilos y empalmes se dificulta notoriamente la subsanación de averías e inclusive la sola manipulación de la mufa para la implementación de nuevos enlaces se complica y se considera a dicha infraestructura como una “manga o mufa crítica” por lo que cualquier maniobra sobre ésta se considera de alto riesgo con respecto a la operatividad de los servicios.



Figura 20: **Bandejas internas de una mufa domo tipo bala.** Fuente: Elaboración Propia

Es relevante que toda la manipulación de la mufa debe realizarse sobre una base sólida y estable de modo que en conjunto con el kit de limpieza se logre realizar las fusiones con la menor atenuación posible haciendo que se refleje con un bajo de margen de diferencia entre los diseños de links badgets de los enlaces de F.O en escritorio con la red desplegada en campo.



Figura 21: **Personal capacitado usando la maquina fusionadora.** Fuente: Elaboración Propia

Una herramienta muy automatizada durante la implementación de la F.O es la maquina fusionadora de hilos, el cual alinea de forma automática los hilos a empalmar con un elevado nivel de precisión de esa manera se reduce al máximo la atenuación.

Lo expuesto se complementó con personal capacitado en el uso correcto de la fusionadora quienes adicionalmente posee formación práctica sobre el estándar de colores para cada buffer de hilos y como cada uno de éstos tiene 12 hilos entonces le corresponde una bandeja interna de la mufa a cada buffer, este proceso puede ser bastante lento si se trata de la instalación de un cable de 96 hilos o en la subsanación de una avería se percibirá lo mismo en cuanto a KPI's como área OyM.

Luego de tener todo el enlace DWDM tendido se procedió a realizar la validación física del medio, ello lo realiza personal de PEXT usando el OTDR el cual es un dispositivo que se encarga básicamente de emitir un haz por la fibra óptica el cual después sensar la ruta regresa a la fuente emisora es decir el equipo.

Posteriormente el dispositivo procesa digitalmente la señal recogida para luego mostrarla visualmente mediante in gráfico logarítmico, de acuerdo al link badget diseñado debería observarse aproximadamente una línea recta de pendiente negativa en donde al final se aprecia ruido lo cual es usual cuando el haz ya cursó toda la ruta. En caso se observen caídas leves o abruptas a una distancia menor que la del implementado se deberá desplazar personal PEXT a dicho punto para los correspondientes correctivos como por ejemplo la revisión con el microscopio de la fibra para detectar impurezas minúsculas que al final pueden provocar un gran impacto en el enlace.

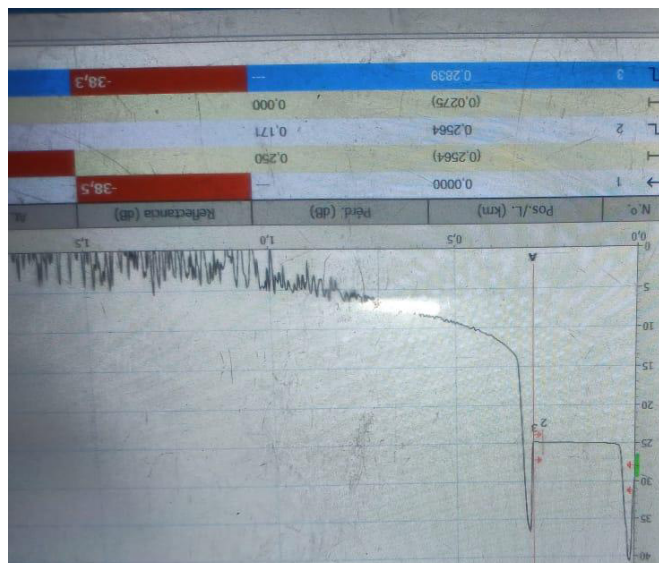


Figura 22: Medición realizada por el OTDR. Fuente: Elaboración Propia

Un detalle que es relevante mencionar es que en los trabajos de implementación de PEXT se suelen incluir labores que se encuentra de los nodos lo cual aparentemente sería trabajos a nivel de PINT, pero dentro de la gran mayoría de proyectos en la industria de las telecomunicaciones se suele incluir como trabajos de PEXT hasta el acondicionamiento final de la F.O dentro de los nodos; esto se hace mención ya que en el presente informe se expone que se consideró de dicha manera.

Son 2 tipos de ordenadores los que se usaron, éstos son: usuales ordenadores de fibra óptica: ODF – Huawei y ODF – GPS2, el primero si se consideró dentro de los trabajos de implementación de PINT lo cual se procederá a detallar en la siguiente sección, mientras que el ODF – GPS2 son los que se implementaron dentro del diseño PEXT.

Continuando con la implementación de esta etapa del proyecto se tiene el escenario en donde toda la F.O que fue tendida en la calle ya está acondicionada por lo que realiza su ingreso a todos los nodos que forman parte de la DWDM ASON IP Fotónico, dicho ingreso se realiza ya sea con un anclaje aéreo en la plataforma superior del nodo o con canalizados hasta la sala de comunicaciones.

Una vez que el cable óptico ha logrado ingresar se procede a separar a conectarlos a los ODF – GPS2's, los cuales tiene la capacidad de soportar

cables de 48 y 96 hilos lo cual implica que contengan 4 y 8 bandejas (con 12 hilos cada una) respectivamente. Ahora debemos recordar que los nodos que forman parte del Anillo Central poseen varios enlaces saliendo de ellos; por ejemplo, en el caso de Polo 1 se tienen 7 direcciones los cuales solo forman parte del presente proyecto, pero en realidad este nodo posee muchas más direcciones o enlaces que usan otras tecnologías.

Esta densidad provoca que se organicen todos los ODF – GPS2 de los enlaces salientes dentro de un mismo gabinete de 40 RU's, de ese modo todos los cables ADSS proveniente del exterior se redirigen a dicho gabinete e internamente los cables desembocan en cada ODF – GPS2 para que posteriormente se tenga un control granular de todos los hilos debidamente rotulados en cada bandeja.

Algunos gabinetes poseen puerta frontal, pero otros no poseen dicha infraestructura; estos gabinetes fueron etiquetados para su fácil ubicación dentro de procesos de implementaciones nuevas o subsanación de averías; además éstas poseen cavidades o estructuras que permiten el despliegue ordenado de los patch cords de F.O, en la imagen de líneas abajo se aprecia que internamente todos los jumpers SM (monomodo) hacen su ingreso a las bandejas por la derecha del gabinete.



Figura 23: Gabinete sin puerta con ODF – GPS2's instalados. Fuente: Elaboración Propia

Otro tipo de gabinete habitual en la red es aquel que es que solo posee el armazón en donde se sostienen los ODF's, estos suelen implementados en aquellos nodos que no poseen muchos enlaces saliendo de él lo cual se observa en los extremos de los anillos de Lima o en el caso de la red a nivel nacional se dan en sitios terminales o en la dorsal en zonas alejadas del país, el beneficio que tiene trae esta infraestructura es que es bastante sencillo de maniobrar y no ocupa mucho espacio en los nodos lo que hace más viable futuras ampliaciones de la red ASON.

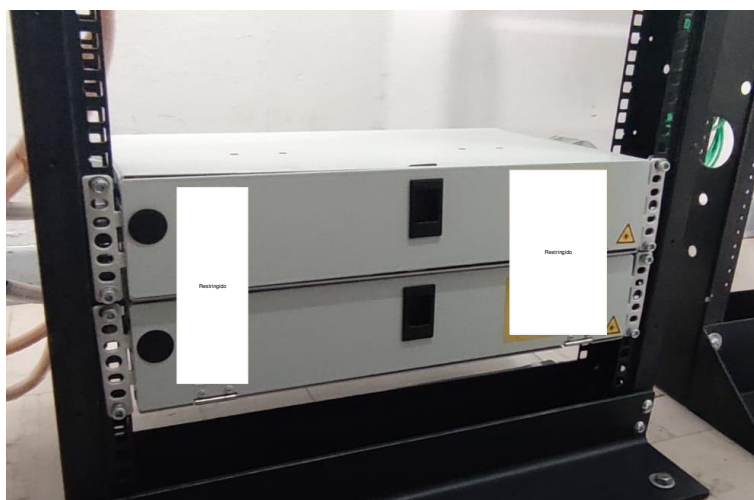


Figura 24: Gabinete de armazón único con ODF – GPS2's instalados.
Fuente: Elaboración Propia

Cada una de estas bandejas posee una etiqueta amarilla en la que se coloca la información respectiva como el nodo destino o en el caso de tratarse de un ODF intersala nos indicará hacia que cuarto de comunicaciones se dirige la F.O.

En el caso de los nodos con muchos ambientes o cuartos de comunicaciones se requiere usar este tipo de ODF dentro de los trabajos de PINT, en estos casos se les suele llamar ODF's intersalas. En la imagen de abajo se aprecia que se tiene un cable de 48H SM desde la sala de transmisiones (en donde se encuentra instalado el equipo DWDM) hacia la sala MSC01 (en donde están ubicados los routers).

Información Confidencial

Figura 25: Etiquetas de los ODF – GPS2's. Fuente: Elaboración Propia

Las bandejas de estos ODF's son sencillos de manipular, como ya se comentó cada bandeja tiene 12 hilos provenientes del cable ADSS y éstos mediante pigtails o puntos de empalme (los cuales se observan justo en medio de cada bandeja) se conectan a los jumpers o patch cords para luego conectarse a los puertos de las tarjetas respectivas propios del diseño de PINT. Y como normativa de calidad de los trabajos de implementación cada uno de los hilos y patch cords son debidamente rotulados para mantener el orden y por ende tener mapeado debidamente la red, es relevante indicar que todos los hilos se etiquetan, aunque no lleven servicios se los rotula porque ello facilita su uso en requerimientos posteriores como ampliaciones de BW o habilitaciones de nuevas lambdas, por ejemplo.



Figura 26: Interior del ODF - GPS2. Fuente: Elaboración Propia

Pero si estas no se etiquetan debidamente y con el transcurrir de los años se han dejan de lado y olvidado estos hilos entonces al querer usarlos se tendrá que realizar trabajos de microcortes en V.M para identificar qué servicio lleva y qué puntos de la red unen estos hilos, de esa manera evitaremos afectar un servicio al intentar implementar uno nuevo.

Finalmente, al culminarse la implementación de todas las rutas físicas de la nueva red de transporte DWDM IP Fotónico ASON se tiene el detalle de la distancia o longitud total del cable de F.O entre algunos nodos, es qui en donde se da el escenario en la que se observan nodos pasantes entre el punto a punto DWDM, tal y como se aprecia en la siguiente tabla:

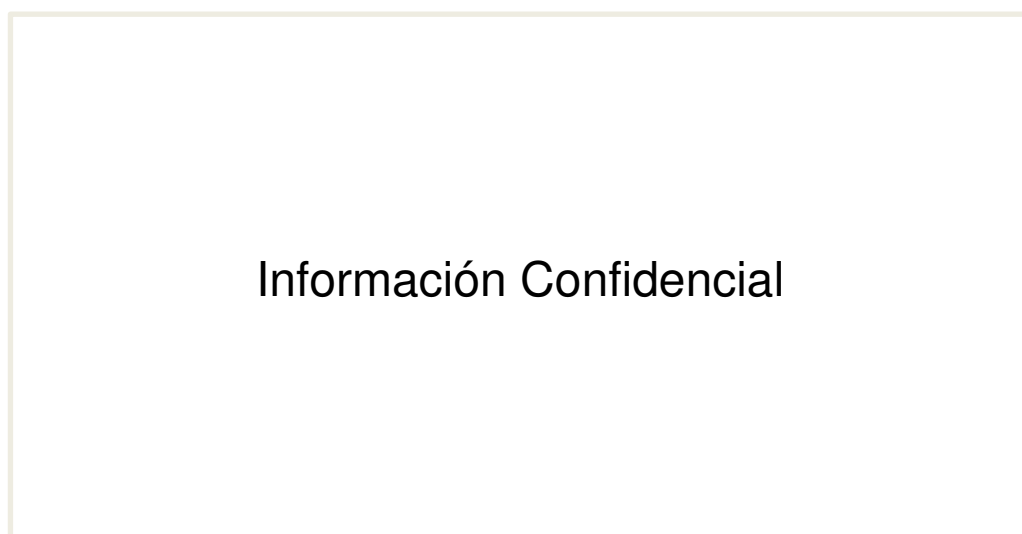


Tabla 1: Distancias implementadas entre algunos nodos. Fuente: Elaboración Propia

La PEXT involucrada es bastante compleja por lo que en la anterior tabla solo se visualiza una parte de todo el listado de las longitudes de los cables de F.O instalados en toda la metrópolis; por otra parte, los puntos pasantes que se observan en la tabla nos indican que en dichos nodos intermedios la ruta física solo se ha instalado los ODF – GPS2's y entre ellos se colocaron los respectivos jumpers de puente como parte del punto a punto DWDM.

Por ejemplo, tomando como referencia el enlace VES – Polo 2 – Polo1, aquí la ruta física entre VES – Polo1 no es independiente al de VES – Polo 2 ya que para poder llegar desde VES a Polo 1 debemos pasar por Polo 2 lo

cual se puede deducir haciendo un match entre la tabla anterior y la Figura 3.38 del diagrama de diseño de la red ASON.

Este detalle de ruta compartida debe tenerse mapeada para el manejo de averías como eventos de PEXT, en la sección de Operación y Mantenimiento del proyecto se analizará una avería de estas características justamente en el tramo mencionado entre Polo 1 y Polo 2.

3.5.3 Diseño de Planta Interna

Frecuentemente se tiene que en paralelo al proceso de diseño e implementación de la PEXT se realiza la etapa que involucra la PINT, el diseño que se requiere aquí está relacionada a las interconexiones físicas entre los elementos pasivos y activos, así como la configuración lógica y física de los equipos de transporte tanto de la capa eléctrica y óptica.

Nuestro diseño partió del hecho que al implementar una red de transporte se debe tener equipos cliente como routers, switches o firewalls que emiten sus servicios por puertos ópticos los cuales deben poseer puertos reflejo en sus respectivos Patch Panels, es hasta este elemento que llega nuestra implementación (detallada en la siguiente sección) quedando bajo responsabilidad del área de Core Datos (equipo responsable de los equipos cliente mencionado líneas arriba) esta conexión final mediante jumpers desde estos patch panels hacia los puertos de los equipos.

Es relevante mencionar que el área de Core Datos también elabora su diseño sobre sus equipos el cual básicamente consta del script de configuración lógica, esto no se abordará en el presente informe.

Los equipos de la red de transporte básicamente tienen dos partes: la capa eléctrica (OSN9800U16 u OSN9800U32) y la capa óptica (OSN9800UPS), en párrafos postreros se expondrá mayor detalle técnico del funcionamiento de cada capa, así como también de las tarjetas involucradas.

Nuestro diseño de transporte puede variar en cuanto al metraje de los jumpers de F.O y los elementos pasivos necesarios a instalar ya que se podría dar los escenarios de tener que diseñar en un nodo con muchos ambientes o con aquellos en los que todo el equipamiento involucrado se encuentra dentro

de una misma sala.

En el caso que se trate de diseñar equipos dentro de una misma sala, como en el caso del nodo VES, en donde todos los elementos se instalarían en la sala Softswitch, se idealiza colocar un ODF Huawei entre el Patch Panel y el equipo DWDM de la capa eléctrica para de esa manera tener un orden en el nodo ya que todo equipo de red tanto como de transporte o del core deben tener un elemento que le brinde conectarse con los demás como interfaz física, de esta manera se evita la manipulación excesiva de los sensibles disparadores ópticos de toda las tarjetas involucradas.

De esta manera para este escenario la secuencia de los equipos a interconectar sería el siguiente: Router >> Patch Panel >> ODF Huawei >> OSN9800U16 >> OSN9800UPS >> ODF GPS2 (PEXT).

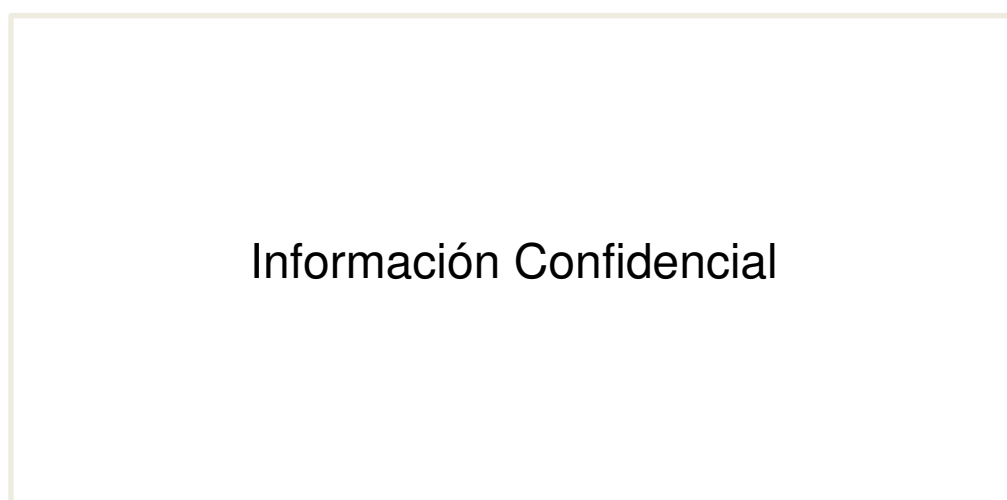


Figura 27: Diseño con los equipos dentro de una misma sala. Fuente: Elaboración Propia

Mientras que en el caso en donde se tiene diferentes ambientes, como ya se mencionó en la sección anterior, se recomienda usar ODF's intersalas (frecuentemente se usan los ODF's – GPS2 para dicha función) los cuales conectan los cuartos de comunicaciones mediante canaletas metálicas, ductería empotrada y pisos falsos. De esta manera la secuencia de equipos sería Patch Panel >> ODFs-GPS2 (intersala) >> ODF Huawei >> OSN9800U16 (también podría ser un OSN9800U32) >> OSN9800UPS >>

ODF-GPS2 (PEXT).

Información Confidencial

Figura 28: Diseño con los equipos dentro de diferentes salas. Fuente: Elaboración Propia

Un detalle importante que se debe recalcar es que el diseño fundamental de una red de transporte DWDM ha ido evolucionando con el devenir de nueva tarjetería (FPGA's) lo que desembocó en una mayor gama de configuraciones para levantar lambdas punto a punto de hasta 400Gbps; en nuestro caso usaremos dos equipos DWDM para cada una de las capas ya detalladas con anterioridad y aunque se puede solo usar la capa óptica para levantar los enlaces, se optó por el diseño de dos capas para de esta manera tener una mayor capacidad de BW y de esa manera poder responder a la demanda proveniente de la capital.

Con respecto al diseño de la capa eléctrica, se tiene que los nodos usarán tarjetas tributarias T230 (30 puertos de 10GE) o T410 (1 puerto de 100GE) para recepcionar la información proveniente de los routers y procesarla a nivel de OPU y ODU, luego éstas se cross-conectarán mediante las tarjetas crossconectoras UXCS a las tarjetas de línea N401 (1 lambda de 100Gbps) o N402 (2 lambdas de 100Gbps), éstas tarjetas se encargan de levantar el nivel OTU de información lo que adicionalmente implica asignar una frecuencia (o longitud de onda) en específico en el rango de 192.1 – 196 THz.

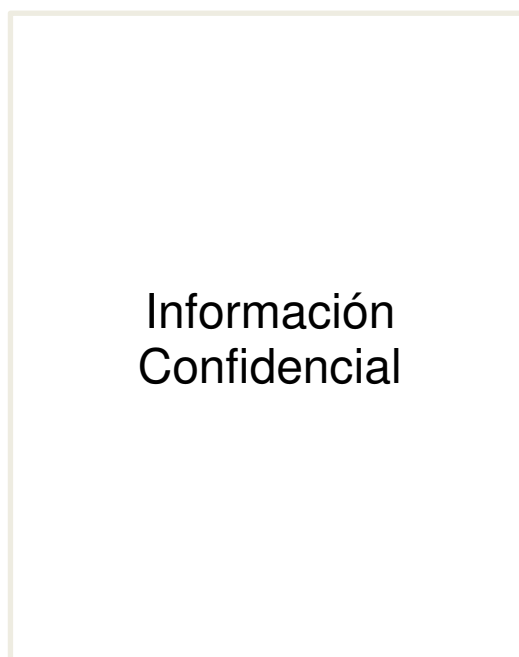


Figura 29: Tarjetas del equipo de la capa eléctrica (OSN9800U16).
Fuente: Elaboración Propia

Adicionalmente, la tarjeta crossconectora es la que se encarga de direccionar cada tarjeta tributaria con su tarjeta de línea respectiva o también se puede decir que envía cada ODU con la tarjeta que empaquetara su OTU correspondiente, es por esta función que se dice que de todas las tarjetas de la capa eléctrica la que realiza un mayor procesamiento y por ende la que tiende a sobrecalentarse más rápido en caso falle el sistema de aire acondicionado es la tarjeta crossconectora en este caso la UXCS. Finalmente, dentro de este subrack también se observan las tarjetas FAN (ventilación mecánica), PIU (alimentación de voltaje DC), CTU (controladora) y EFI (tarjeta de interfaces de alarmas externas y gestión).

Como sabemos la capa eléctrica y la capa óptica deben estar interconectadas mutuamente y esto lo hace mediante la conexión física con jumpers de F.O entre las tarjetas de línea y las tarjetas multiplexora TM20 y demultiplexora TD20, éstas poseen 20 puertos cada una y en cada módulo óptico se puede configurar la frecuencia de forma personalizada, es aquí en donde se levanta el Trail OCh. Posterior a ello el MUX/DEMUX se conecta a un arreglo de tarjetas WSM9/WSD9 (selectoras de longitud de onda) en las cuales básicamente se concentran todas las direcciones y el MUX/DEMUX.

Información Confidencial

Figura 30: 1ra parte de la capa óptica del equipo OSN9800UPS. Fuente: Elaboración Propia

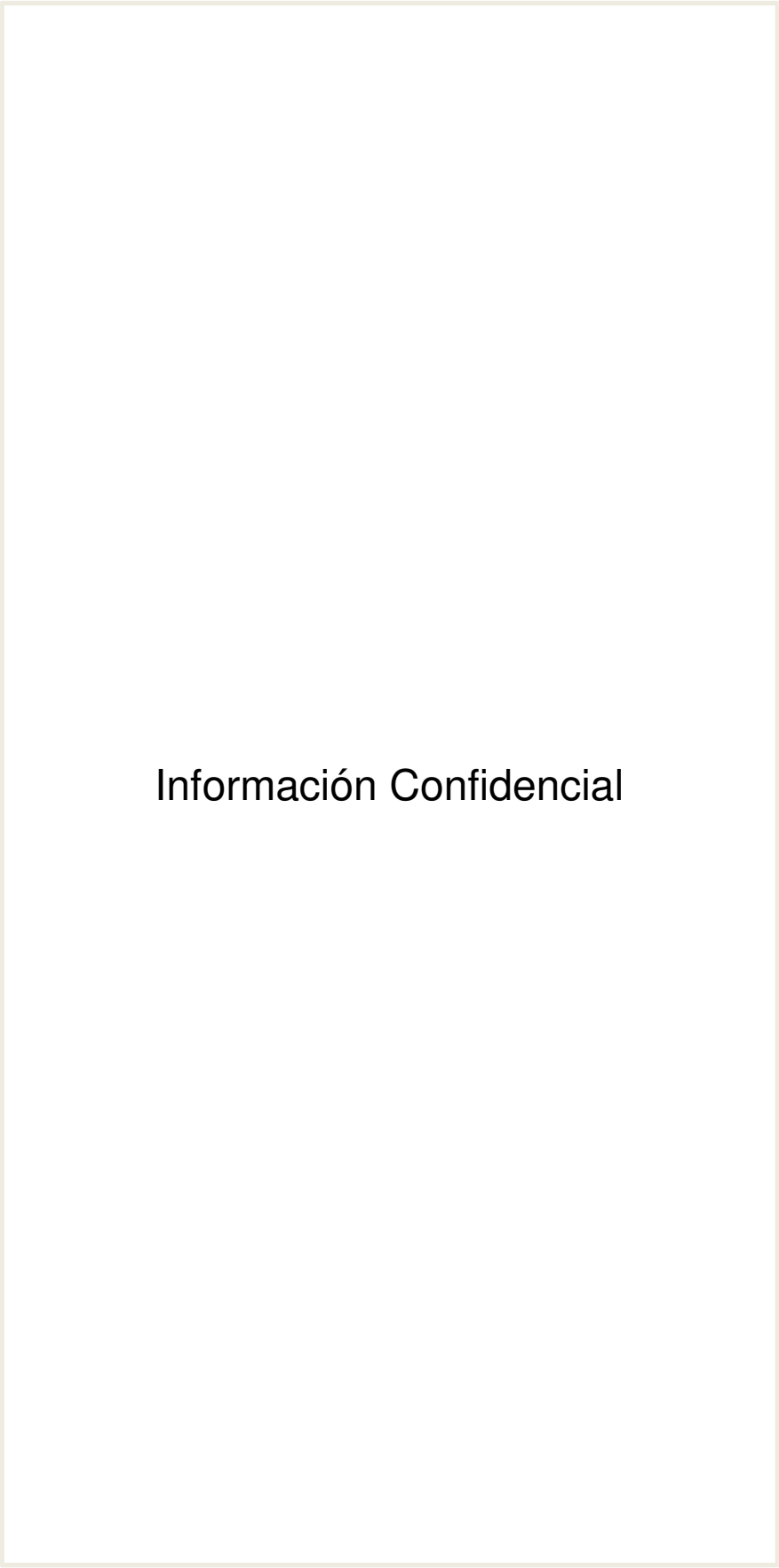
Se recalca que una TM20 se puede conectar a una WSM9 y una TD20 a una WSD9 de forma análoga para mantener el flujo de dirección de las lambdas que llevan los servicios, después se amplifica la señal mediante las tarjetas OBU (amplificadores EDFA) para que se tenga un nivel adecuado de recepción en el otro lado. Ambas señales amplificadas van conectadas a la tarjeta WSMD9, la cual es la que permite configurar un nodo óptico ROADM y en el caso de este proyecto permite la configuración ASON. Hasta esta tarjeta se puede decir que tenemos la primera parte de la capa óptica de nuestro equipo OSN9800UPS.

La segunda parte de la capa óptica puede tener dos escenarios, en el primero de ellos se tiene que es la más habitual en toda la red a nivel nacional del operador Claro Perú y básicamente aquí las tarjetas WSMD9 se conectan con un par de tarjetas amplificadores OAU para finalmente conectarse a la tarjeta FIU (tarjeta que se conecta con el ODF-GPS2 de PEXT) quien cumple la función de multiplexar la señal de supervisión proveniente de la tarjeta AST2 con la señal de servicios proveniente de la amplificadora OAU en este caso.

El otro escenario que se implementó es cuando se conecta la tarjeta WSMD9 a una tarjeta DAS1, ésta tiene la capacidad de poseer en su interior una tarjeta amplificadora y otra de supervisión de forma integrada ya que determinados puertos de la tarjeta DAS1 cumplen con las mismas funciones que dichas tarjetas, para ser más específico el puerto 4 realiza la función de la tarjeta AST2 mientras que el puerto 6 hace la función de la OAU.

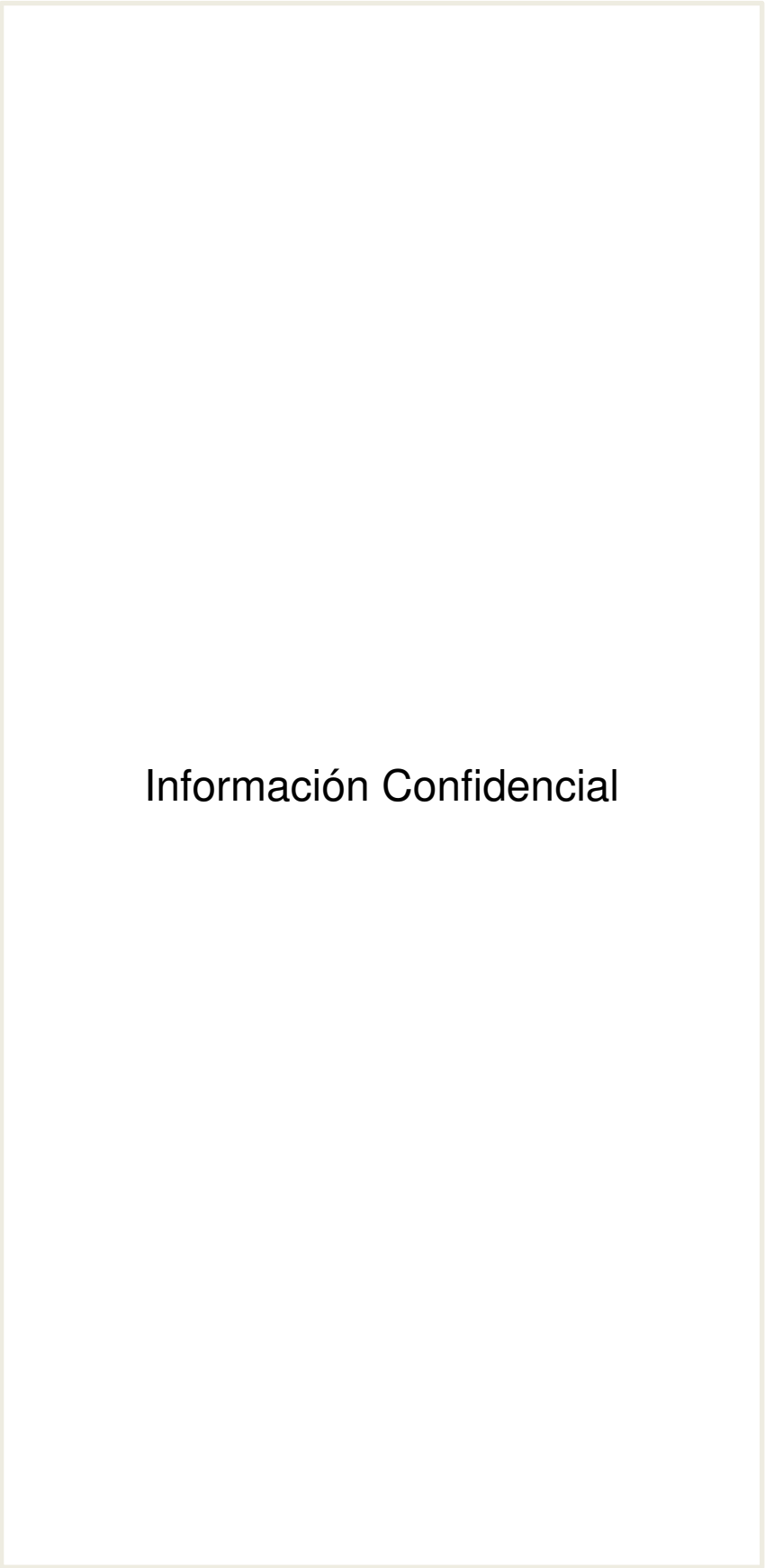
De esta manera que se gana slots libres dentro del subrack que se usarían para la implementación de otros servicios futuros lo que la da a esta red mayor versatilidad y escalabilidad. Finalmente, ésta se conecta a la tarjeta FIU la cual se obvió en el último diagrama de la presente sección.

Como detalles importantes a resaltar sobre esta capa óptica es que se usan también una tarjeta OPM8 como elemento de monitoreo de los lambdas o canales que se configuren y con respecto a la tarjeta AST2 se instaló en su interior una herramienta muy útil para revisar el medio físico de PEXT con respecto a la atención de averías o trabajos preventivos, esta herramienta es el Fiber Doctor que básicamente es un OTDR lógico instalado en el equipo DWDM. Es relevante mencionar que se puede tener dificultades al instalar el Fiber Doctor si no se tiene la versión adecuada de software en la tarjeta AST2.



Información Confidencial

Figura 31: 2da parte de la capa óptica usando tarjeta AST2. Fuente:
Elaboración Propia



Información Confidencial

Figura 32: 2da parte de la capa óptica usando tarjeta DAS1. Fuente:
Elaboración Propia

3.5.4 Implementación de la red de transporte DWDM IP Fotónico ASON

Una vez tenido listo el diseño de escritorio se procedió a implementar con sumo cuidado los enlaces punto a punto de esta nueva red de transporte, en primera instancia se instalan los equipos DWDM para posteriormente darles el “power on” (energizado) y luego se realiza el etiquetado de los subracks y gabinetes implicados; estos trabajos se realizan en las primeras 2 V.M.



Figura 33: Etiquetados en el gabinete de los equipos DWDM. Fuente: Elaboración Propia

Los gabinetes instalados tienen las dimensiones frecuentes y estandarizadas como 40 RU's de altura y en el proceso de instalación de esta infraestructura se hizo uso de todos los protocolos de seguridad como la pulsera antiestática que evita cualquier tipo de daño a las sensibles tarjetas. Los gabinetes instalados cuentan con indicadores LED's en la parte superior que indican el estado general de dicha infraestructura, lo cual ayuda a personal de mantenimiento OyM Field en los trabajos correctivos o preventivos; adicionalmente este gabinete ya tiene integrado PDU's el cual se encarga de concentrar y distribuir las conexiones eléctricas de alimentación de los equipos DWDM.

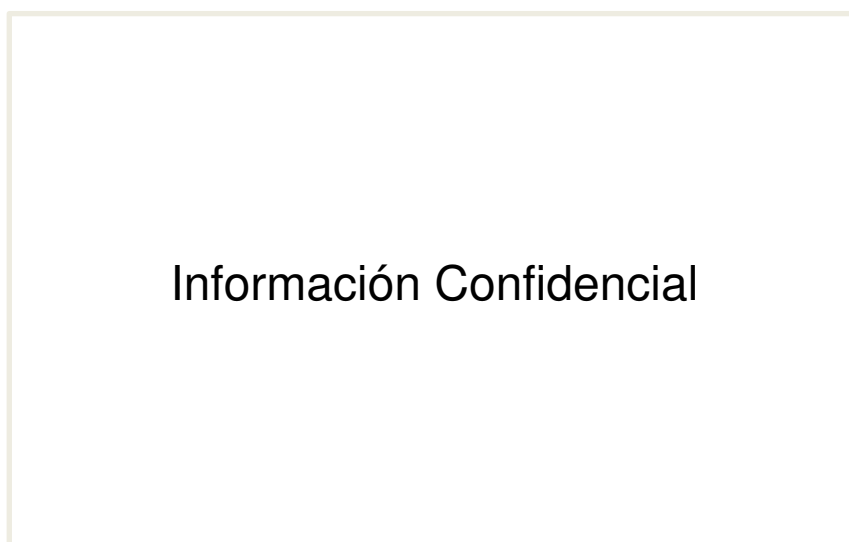


Figura 34: Vista interna del gabinete del OSN9800U32. Fuente: Elaboración Propia

Posteriormente se procedió a colocarse las etiquetas correspondientes a cada puerto óptico del equipo en el cual deben figurar el número de Proyecto y el CID o identificador de servicio, esta información la provee el cliente; un detalle adicional es que tal y como se aprecia en la figura el subrack tiene ordenadores de fibra a los costados.

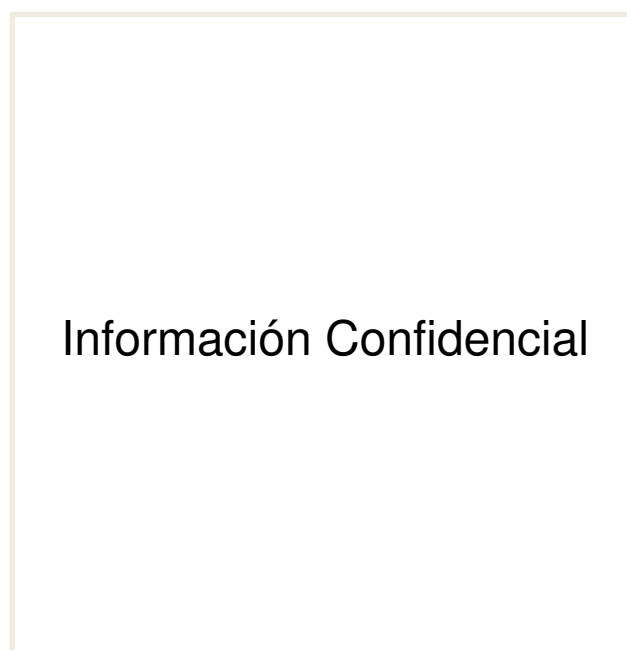


Figura 35: Etiquetados presentes en el equipo OSN9800U32. Fuente: Elaboración Propia

En cuanto a dimensiones se tiene que el OSN9800U16 ocupa poco más de más de la mitad de todo el gabinete mientras que el OSN9800U32 ocupa todas las 40 RU's que posee el gabinete. Por otro lado, la capa óptica es de menor tamaño lo que benefició en la optimización del espacio que ocupa la infraestructura dentro de la sala ya que dentro de un mismo gabinete podríamos implementar hasta 4 diferentes direcciones de enlaces punto a punto DWDM.

Un nodo que posee esta densidad de conexiones punto a punto o direcciones es Polo 1, por ser parte del anillo central, este diseño multidireccional nos llevó a instalar hasta 4 subracks OSN9800UPS dentro de un mismo gabinete ya que las dimensiones de cada subrack de la capa óptica son más pequeñas que la capa eléctrica. Aquí se fue muy cuidadoso con las etiquetas de cada subrack y de los puertos de las tarjetas porque cualquier confusión allí complicaría el procedimiento de troubleshooting ante averías.



Figura 36: **Gabinete con 4 subracks OSN9800UPS.** Fuente: Elaboración Propia

En la fotografía de líneas abajo se puede apreciar el equipo OSN9800UPS (UPS = Universal Platform System) el cual básicamente aglomera las tarjetas que se pueden apreciar en las figuras 3.63, 3.64 y 3.65, dependiendo del diseño preliminar cada subrack posee un determinado arreglo de tarjetas, así como de conexiones físicas entre ellas.

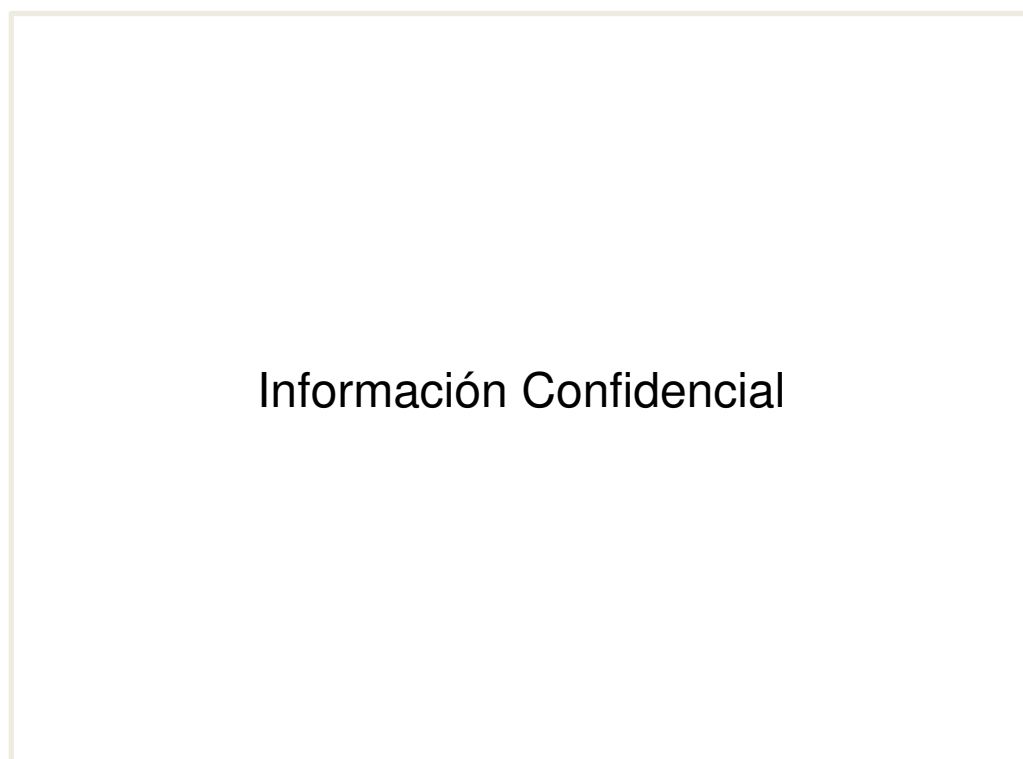


Figura 37: Etiquetados en las bandejas de los ODF – GPS2's. Fuente: Elaboración Propia

Mientras que a nivel de software se realiza la gestión (ambas capas), configuración de alarmas externas, instalación de Fiber Doctor en las tarjetas AST2 o DAS1 (a solicitud del cliente) en los enlaces ágidos de la nueva red de Transporte y la instalación del software ASON sobre las tarjetas WSMD9 (u otra variedad de tarjeta de característica ROADM);

Un elemento importante para un buen manejo de la red es el ODF Huawei, este suele ubicarse entre el OSN9800U16 (u OSN9800U32) y el Patch Panel (reflejo de los puertos del router), este ODF concentra todas las conexiones físicas de los puertos clientes ya sea de una tarjeta tributaria como la T230 o

T401 o de transponders como las tarjetas V2G210 (o LSC directamente en la capa óptica). Cabe resaltar que en esta nueva red de transporte se optó por el masivo uso de tarjetas tributarias y se evita usar transponders como las mencionadas líneas arriba.



Figura 38: Etiquetado del ODF Huawei. Fuente: Elaboración Propia

Como toda infraestructura de telecomunicaciones se le coloca una etiqueta a todo los ODF Huawei y en el caso de que en el nodo se genere una alta densidad de servicios o converjan en dicho punto pues eso se traduce en la existencia de varios tipos de routers cliente.

Éstos pueden ser routers agregadores IP-RAN o de la nube MPLS, switches o firewalls de la zona DMZ; esta variedad de equipos clientes hace viable el uso de 2 o más ODF's lo que conlleva a agruparlos en un solo gabinete, de forma análoga a la capa óptica, para tener un orden en el nodo.

Un detalle importante es que la manipulación de la fibra debe hacerse de la manera más pulcra ya que la F.O es muy susceptible a la presencia de impurezas por lo que los trabajos deben hacerse usando alcohol isopropílico y otros aditamentos como trapitos higiénicos están dentro del kit de limpieza estándar.



Figura 39: ODF's Huawei agrupados en un único gabinete. Fuente: Elaboración Propia

Físicamente el ODF Huawei consta de 96 puertos SC lo cual coincide con la máxima capacidad del cable F.O monomodo implementado; éstos a su vez están ordenados en 6 filas y 16 columnas que van desde la A hasta la H, todos estos puertos poseen el tipo de pulido UPC.

Información Confidencial

Figura 40: Detalle de los puertos SC/UPC del ODF Huawei. Fuente: Elaboración Propia

Cabe resaltar que la parte de la configuración de los equipos para levantar cada uno de los enlaces DWDM se realizó en conjunto con personal en el nodo quienes se conectaron a los equipos usando el software propietario de Huawei NCE WebLCT mientras que en remoto se encuentra el ingeniero implementador quien hace uso de una VPN – SSL para conectarse a la red del cliente (previamente autorizada), y mediante esa conexión se realizó la creación de los enlaces.

Finalmente, después de semanas de intensas coordinaciones y labres se logra visualizar todos los anillos de Lima desde el gestor U2000 – 100G, en la imagen de líneas abajo se observa a grandes rasgos las conexiones entre las capas ópticas de todos los NE's, aquí es relevante mencionar Huawei tiene disponible la configuración ASON tanto dentro de la capa óptica como de la capa eléctrica y en el caso del cliente Claro Perú se brindó la solución sobre la capa óptica (versión plata).



Información Confidencial

Figura 41: Red ASON entregada al cliente Claro Perú. Fuente: Elaboración Propia

3.5.5 Operación y mantenimiento de la nueva red de transporte

Una vez entregada la red de transporte al cliente, ésta debe ahora recibir el tratamiento OyM respectivo de modo que se realicen procesos de troubleshooting sobre ella cuando se susciten averías. Estas averías son visibles gracias a indicadores gráficos que se muestran en el gestor (U2000 100G y NCE), dichos indicadores son conocidos como alarmas y es sobre estas que se inicia la interpretación de lo que está aconteciendo en la red.

Es relevante mencionar que recientemente el cliente Claro Perú adquirió el gestor Network Cloud Engine (NCE) en reemplazo del NMS U2000 100G, este cambio se debe a la tendencia global en las telecomunicaciones de usar como arquitectura de red a la tecnología Cloud Computing, esta tiene la ventaja de ser menos centralizada a diferencia de la arquitectura cliente – servidor que posee el anterior gestor U2000 100G. El cambio de gestor fue gradual por lo que en este documento se observan figuras de secciones de la red provenientes de ambos gestores ya que labore en el proyecto cuando justamente se hacia esta innovación como parte de mejoras en el proceso global OyM de la nueva red de transporte DWDM IP Fotónico ASON.

De esta manera el personal de turno en el NOC Transporte reporta las alarmas al área de Back Office Transporte Nacional a la brevedad posible, ésta última área es la que después de interpretar las alarmas decide hacer uso de herramientas embebidas o procedimientos dentro del gestor para de esa manera solicitar el desplazamiento de personal de campo con los materiales respectivas para poder intervenir la red y subsanar la avería.

En los siguientes párrafos expondremos de forma progresiva las herramientas y procedimientos disponibles que tiene a su entera disposición el personal de turno del área de Back Office, al final se comentara el caso de una avería critica que impacto gravemente a la performance global de la red; de esa manera mostraremos como el uso de la herramienta Fiber Doctor o FD (OTDR embebido) ayuda a agilizar la subsanación de la avería y observaremos en primera fila como el enrutamiento dinámico de la red ASON funciona a toda máquina pero a pesar de ello se encuentra menguada ante la saturación de las rutas.

3.5.5.1 Fiber Doctor. La herramienta FD es básicamente un software que se instala en las tarjetas supervisoras o las tarjetas mixtas de función como las DAS, este programa es un OTDR virtual que funciona dentro del complemento NetStar del servidor NCE. De esa manera al ocurrir un evento de PEXT dentro de la red DWDM ASON podremos detectar el punto exacto de corte, siempre y cuando se ajusten los parámetros adecuados. Con esto se logra optimizar tiempos de atención ya que sin la presencia del FD se tendría que desplazar personal a los nodos para medir con el OTDR de forma local desde los GPS2 con lo cual se dilataría aún más la subsanación de la avería.

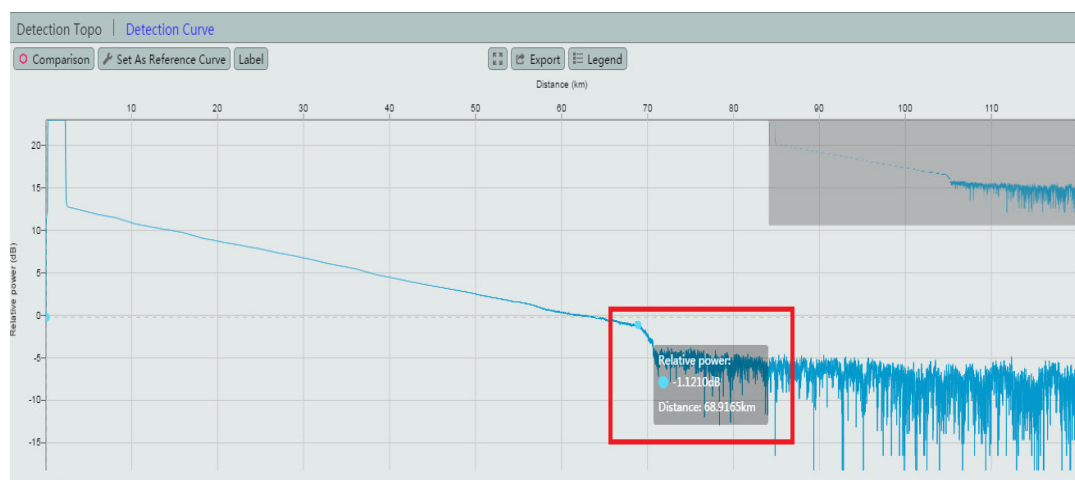


Figura 42: Detalle de la Curva de detección del FD. Fuente: Elaboración Propia

Los parámetros que se mencionan líneas arriba son 3 campos vitales al maniobrar el FD, estos son: “Pulse Width” (ancho de pulso), “Measurement Range” (rango de medición) y “Detection Duration” (duración de la detección). Es importante entender que los tres parámetros se deben fijar dependiendo de la longitud del enlace DWDM ASON porque a medida que crece la extensión de la F.O es necesario también aumentar el ancho del pulso y la duración de la detección para que de esa manera podamos tener visibilidad de puntos de cortes que estén o bien muy cerca o muy lejos de uno de los nodos del enlace punto a punto.

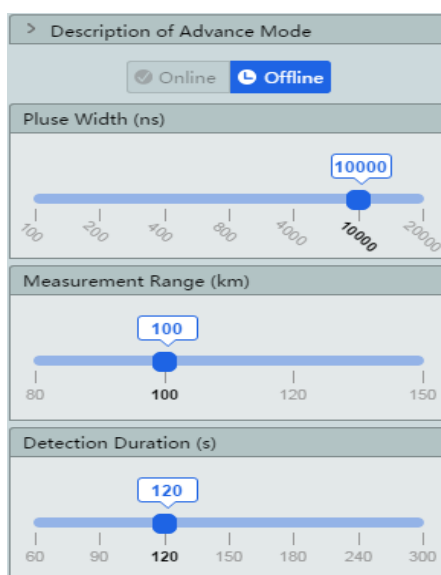


Figura 43: Configuración de los parámetros del FD. Fuente: Elaboración Propia

Es así que si tenemos un enlace pequeño de longitud se sugiere configurar pulsos cortos de 100ns mientras que al tratarse de enlaces de mayor tamaño se le coloca un pulso de mayor duración, éste puede llegar hasta 20000ns, como ya se indicó en el caso de la red ASON se usan pulsos cortos porque se tiene enlaces pequeños. En cuanto al troubleshooting que se tenga sobre eventos de PEXT usando el FD, siempre se recomienda correr la prueba en ambos hilos del enlace ya que podría tratarse de un corte parcial con lo que no sería visible desde una dirección.

Monitoring Mode	Pulse Width (ns)	Default Detection Time (s)	REAL DISTANCE (km)	Set Detection Distance (km)
Manual mode 1	100	120	0 - 30	30
Manual mode 2	200	120	31 - 40	40
Manual mode 3	400	120	41 - 50	50
Manual mode 4	800	120	51 - 60	60
Manual mode 5	4000	120	61 - 80	80
Manual mode 6	10000	240	81 - 100	100
Manual mode 7	20000	240	101 - 150	150

Tabla 2: Parámetros de detección del FD para diferentes distancias. Fuente: Elaboración Propia

Un importante detalle es que el alcance máximo que tiene una medición con el FD está relacionada a la atenuación total que se le configure al enlace por ejemplo a un pulso de 20000ns le corresponde una atenuación total del enlace de 28dB lo cual esta intrínsecamente relacionada al factor de atenuación/km que tenga la F.O desplegada por lo que los 28dB está vinculado a una distancia entre 101 – 150 km tal y como indica la Tabla 4.

3.5.5.2 Optical Doctor. Como se puede notar la herramienta FD básicamente se encarga de escanear el enlace a nivel físico, pero si se desea analizar la performance a nivel espectral se puede hacer uso de la herramienta del Optical Doctor u OD, ésta nos permite analizar de forma granular las averías como las alarmas de baja potencia en determinadas tarjetas.

El OD nos permite revisar el recorrido de forma detallada de una lambda en específico, esto se puede ejecutar siempre y cuando se le indique al OD el Trail a nivel OCh a analizar, cabe resaltar que esta herramienta solo muestra las potencias ópticas en las tarjetas amplificadoras.

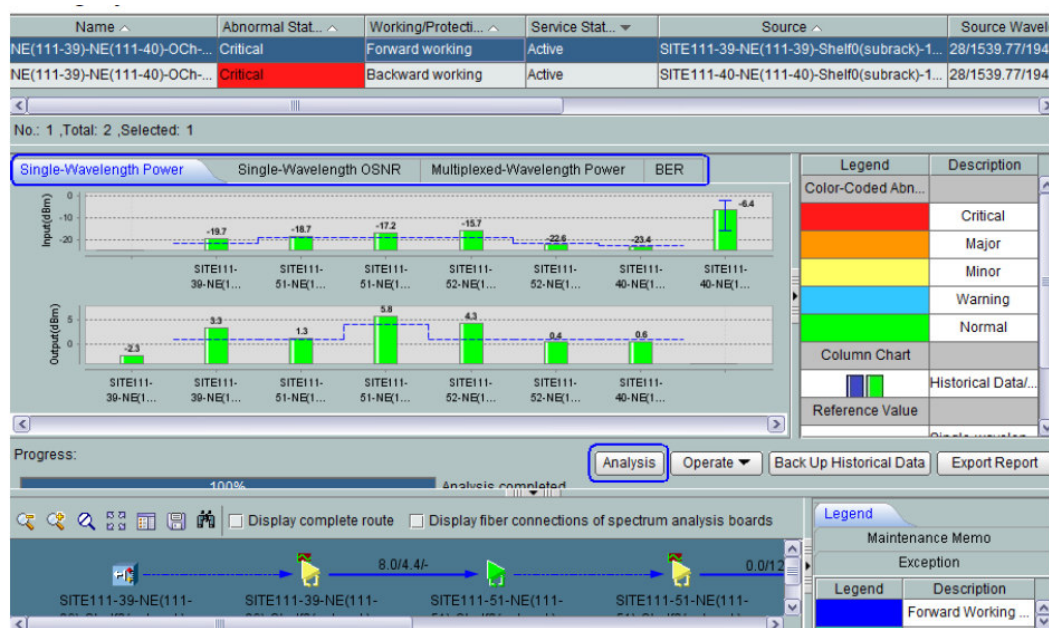


Figura 44: Resultados de la prueba de OD. Fuente: Elaboración Propia

3.5.5.3 Conmutación de trails ASON. Es bastante interesante ver el comportamiento de la red DWDM ASON ante un corte de F.O porque como sabemos esta red protege a los servicios conmutando la ruta lógica a otra, pero esto lo hace evaluando la ruta más optima, dicha ruta elegida es automáticamente calibrada para que se distribuya la potencia óptica siguiendo los valores de diseño que el propio algoritmo de ASON asigna.

El detalle de esta autocalibración es que cuando se repara el evento de PEXT, es decir se han fusionados todos los hilos del cable afectado, el enlace punto a punto sufre variaciones (en muchos casos bastante notorio) con respecto a su valor nominal. Usualmente el valor actual de la potencia tanto de la amplificadora como de la supervisora se perciben bastante menguada con respecto al valor nominal. Para poder subsanar esta alteración en el diseño del enlace DWDM se tiene que ejecutar un proceso para reenrutar o revertir las rutas ópticas (camino que surca cada lambda) que posean los trails ASON que se hayan visto afectados desde el inicio de la avería a su ruta original, cabe resaltar que esta alteración de la ruta producto de la conmutación automática se refleja de manera única mediante las alarmas CPW_OCH_SER_NOTOR, MUT_TLOS entre otras, de esta manera en los siguientes párrafos describiremos el procedimiento de reversión de las lambdas. Lo primero a realizar es identificar los canales afectados a partir de las alarmas que se tengan, dentro de este cúmulo de alertas, la alarma CHAN_LOS es la que nos indica específicamente que canales están tan atenuados que están por debajo del umbral disparando la alarma en mención, a diferencia de la alarma MUT_TLOS la cual muestra toda la señal multiplexada como caída.

Información Confidencial

Figura 45: Alarmas relacionadas a la reversión de lambdas. Fuente: Elaboración Propia

Lo siguiente es abrir la interfaz de administración de los trails ASON, por lo que desde el menú principal debemos darle click en la siguiente secuencia de opciones Configuration > WDM/OTN ASON > ASON Trail Management.

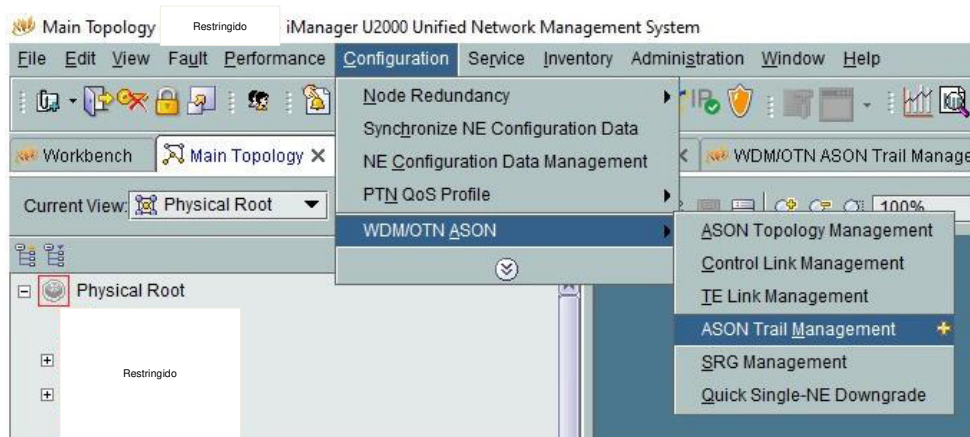


Figura 46: Ítem ASON Trail Management. Fuente: Elaboración Propia

Inmediatamente después nos aparecerá una ventana en donde podemos filtrar los trails ASON que necesitemos analizar, pero mayormente no digitamos nada en los campos de filtrado y le damos click en “Filter All” para que de esa manera nos muestre todos los trails ASON configurados en la red IP Fotónico en general y ubicar con rapidez las lambdas a revertir. Algo importante que se debe recalcar es que la tecnología ASON no es exclusiva de los equipos DWDM 100G, sino que también es posible configurarlo en equipos DWDM 10G e incluso en otras tecnologías como los equipos SDH; en el caso particular de Claro Perú, el cliente decidió comprar el ASON sobre los equipos de la red IP Fotónico Lima (DWDM 100G).

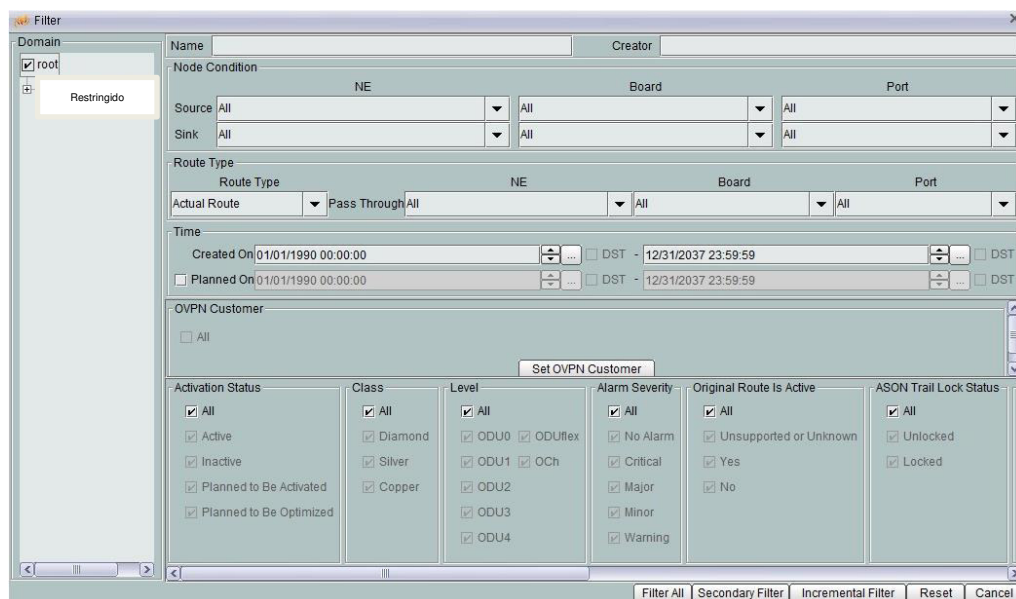


Figura 47: Interfaz de filtrado de trails ASON. Fuente: Elaboración Propia

Lo primero a realizar es identificar los canales afectados a partir de las alarmas que se tengan, dentro de este cúmulo de alertas la alarma CHAN_LOS es la que nos indica específicamente que canales están tan atenuados que están por debajo del umbral disparando la alarma en mención, a diferencia de la alarma MUT_TLOS la cual muestra toda la señal multiplexada como caída es decir es más general porque declara a un cumulo de lambdas como caídas sin indicar cual es el identificador de cada una de ellas.

Continuando con el procedimiento si tenemos el id de cada lambda afectado lo siguiente es ubicar las alarmas de nivel warning, luego debemos seleccionar uno de esos trails OCh y darle click derecho.

En el menú que nos aparezca le damos click en “Revert to Original Route” y posteriormente en “Revert to Wavelength” ya que de esa manera hacemos que la ruta óptica de cada lambda retorne a su ruta original, es importante resaltar que el procedimiento que se está detallando en esta sección debemos repetirlo para cada uno de los trails ASON alarmados.

Información Confidencial

Figura 48: Procedimiento de Reversión de Lambdas. Fuente: Elaboración Propia

Antes de ejecutar la reversión, el gestor nos mostrará un mensaje de alerta en donde debemos validar si deseamos continuar con el proceso de modo que le damos click en “Yes”. Es muy relevante indicar que esta actividad debería realizarse en V.M porque la reversión de lambdas tiene un tiempo máximo de afectación sobre los servicios de 50 mseg el cual es una característica única de las redes ASON servicio plata que justamente el cliente adquirió.

Información Confidencial

Figura 49: Solicitud de confirmación de reversión de lambdas. Fuente: Elaboración Propia

Una vez ejecutado el reenrutamiento nos aparecerá un mensaje indicándonos que fue exitoso dicho procedimiento, de esa manera la alerta o alarma sobre el trail ASON pasa de “Warning Alarm” a “No Alarm”. Como se

indicó líneas arriba debemos repetir los pasos de la reversión para todos los trails ASON de modo que tengamos el panel libre de alarmas.

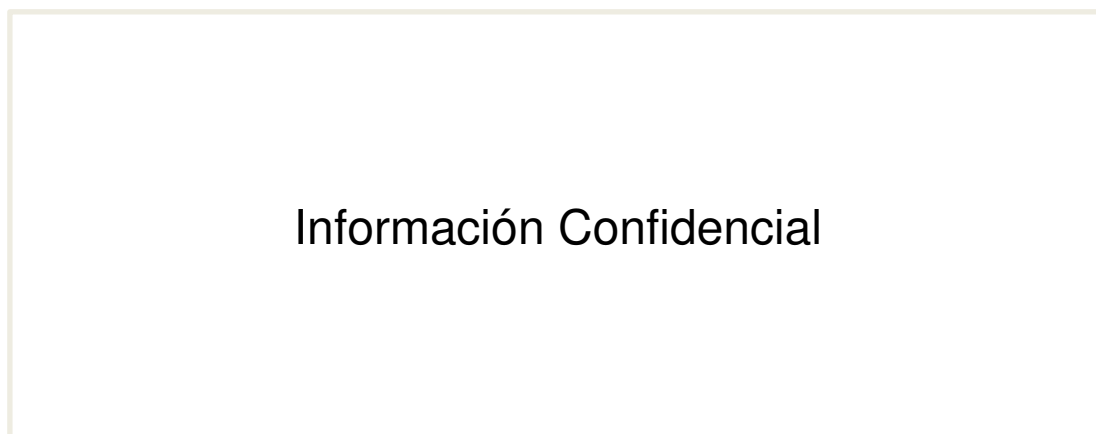


Figura 50: Procedimiento de reversión ejecutado exitosamente. Fuente: Elaboración Propia

Así mismo todas las alarmas que se hallan generado en el panel general de monitoreo de alarmas de toda la red debido a esta avería se irán clareando progresivamente, además las potencias actuales en las tarjetas supervisoras y amplificadoras del punto a punto DWDM ASON retornarán a sus valores nominales.

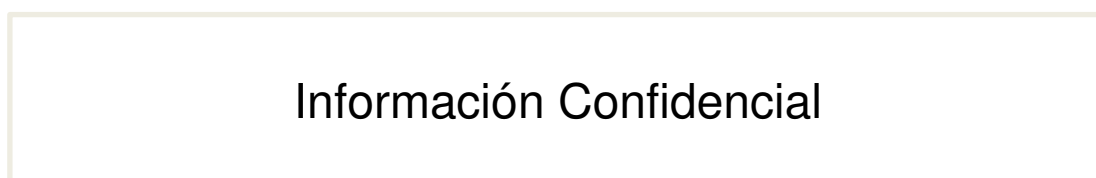


Figura 51: Alarmas clareadas debido a la reversión. Fuente: Elaboración Propia

3.5.5.4 Data Collector (DC). El Data Collector (DC) es una herramienta delicada y segura porque para poder hacer uso de este se necesita loguearse al equipo por lo cual a cada tipo de NE le corresponde un usuario y contraseña en específico. De esa manera se protege la red del cliente ante cualquier

intento de robo de información confidencial como lo es la configuración de los elementos de la red de transporte.

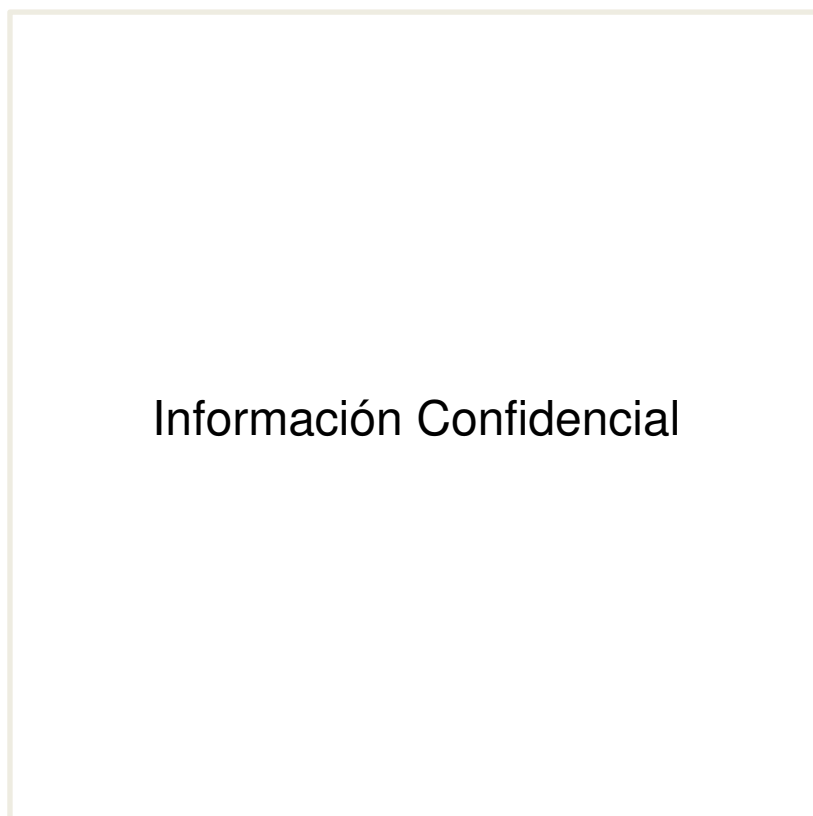
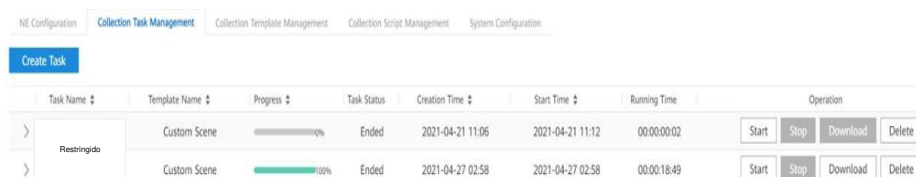


Tabla 3: Lista de usuarios y contraseñas para el uso del DC. Fuente: Elaboración Propia

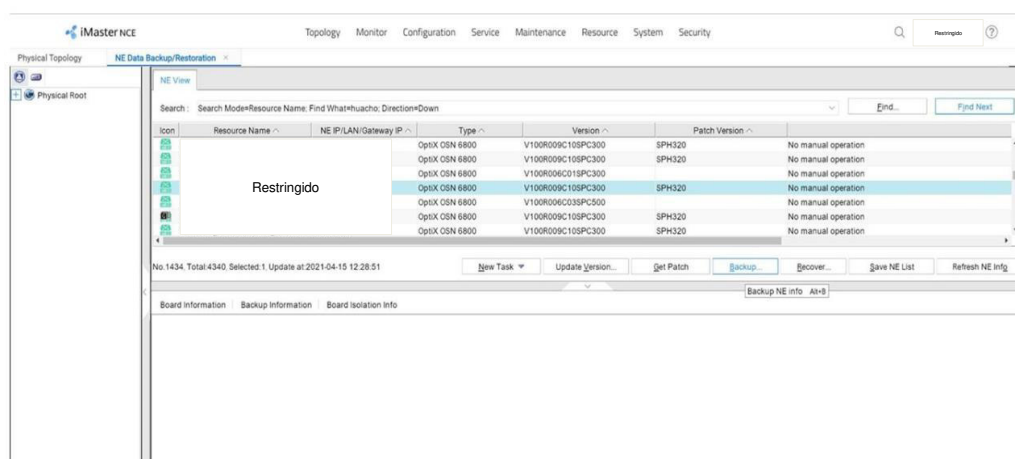
Tal y como se puede observar en la Tabla 3.6 la red de transporte del cliente involucra elementos que usen como medio de transmisión a la F.O o al aire como en el caso de las redes microondas, pero para el presente informe mostraremos un ejemplo del paso a paso de la recolección del DC de un equipo DWDM, a manera de comentario se recalca que los pasos son los mismos para la tecnología MW RTN y en el caso de los equipos SDH y los equipos que se puedan gestionar desde el U2000 100G se extrae el DC usando un programa del mismo nombre en pocas palabras esta herramienta no está embebida en el servidor.



Task Name	Template Name	Progress	Task Status	Creation Time	Start Time	Running Time	Operation
Restringido	Custom Scene	100%	Ended	2021-04-21 11:06	2021-04-21 11:12	00:00:00:02	Start Stop Download Delete
Restringido	Custom Scene	100%	Ended	2021-04-27 02:58	2021-04-27 02:58	00:00:18:49	Start Stop Download Delete

Figura 52: Tarea de extracción del DC Log. Fuente: Elaboración Propia

3.5.5.5 NE Data Backup/Restoration. La extracción del Backup es muy crucial para poder salvaguardar la configuración o información de los NEs que hayan sido afectados ya sea por averías o trabajos programados, en el primer escenario mencionado se usa en el Work Around como parte del Troubleshooting mientras que en el segundo se suele ejecutar en el procedimiento de Rollback.



Icon	Resource Name	NE IP/LAN/Gateway IP	Type	Version	Patch Version	Operation
	Restringido		OptiX OSN 6800	V100R009C10SPC300	SPH320	No manual operation
			OptiX OSN 6800	V100R009C10SPC300	SPH320	No manual operation
			OptiX OSN 6800	V100R009C10SPC300	SPH320	No manual operation
			OptiX OSN 6800	V100R009C10SPC300	SPH320	No manual operation
			OptiX OSN 6800	V100R009C10SPC300	SPH320	No manual operation
			OptiX OSN 6800	V100R009C10SPC300	SPH320	No manual operation

Figura 53: Selección de un NE para la extracción del backup. Fuente: Elaboración Propia

Algo muy relevante y que forma parte del corazón del mecanismo de protección de una red ASON es el hecho que cuando se afecta el medio físico de transmisión inmediatamente entran a operar los diversos protocolos ASON que se describieron brevemente en el marco teórico del presente informe, esta operación de conmutación tiene todo un procedimiento interno es conocido

como “Service Rerouting Process” (Proceso de redireccionamiento del servicio) que se describe visualmente en la siguiente imagen:

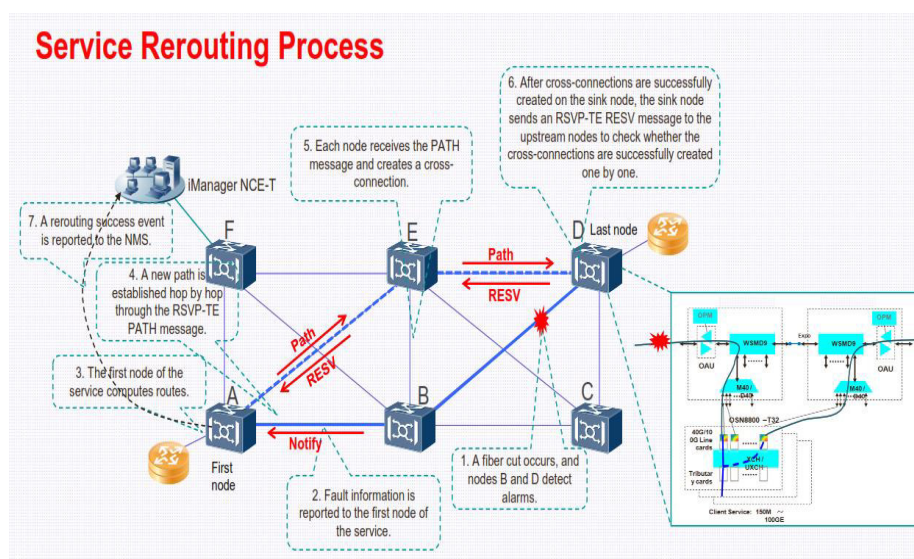


Figura 54: Flujo detallado del Service Rerouting Process. Fuente: Huawei (2020)

3.6 Resultados de la actividad

Como preludeo a esta sección se informa que fue muy evidente la alta necesidad de esta nueva red de transporte ya que ni bien se terminaba de implementar y validar un enlace (sin necesidad de tener el anillo completo) el área cliente de Planificación de Red de Datos procedía a emitir sus diseños (scripts) para migrar los servicios del antiguo Anillo Metropolitano a la red DWDM IP Fotónico ASON.

El impacto que trajo esta nueva red fue bastante notorio en la red IP de acceso (IP-RAN) ya que de manera inmediata y en gran cantidad los puertos ópticos de los equipos clientes como los routers de última milla rCSR (modelo SAR-A en el caso de Nokia y ATN910C en Huawei), los routers agregadores de acceso (AN en el caso de Nokia y ASG en Huawei) y los agregadores de distribución (DN en el caso de Nokia y CSG en Huawei) empezaron a

conectarse a los puertos ópticos de las tarjetas tributarias

El diseño anillado que se contempló incitó a la red IP-RAN a instalar nuevos routers de mayor capacidad de procesamiento en nodos que tenían equipos más pequeños, esto para poder aprovechar al máximo el BW brindado por este nuevo medio de transmisión.

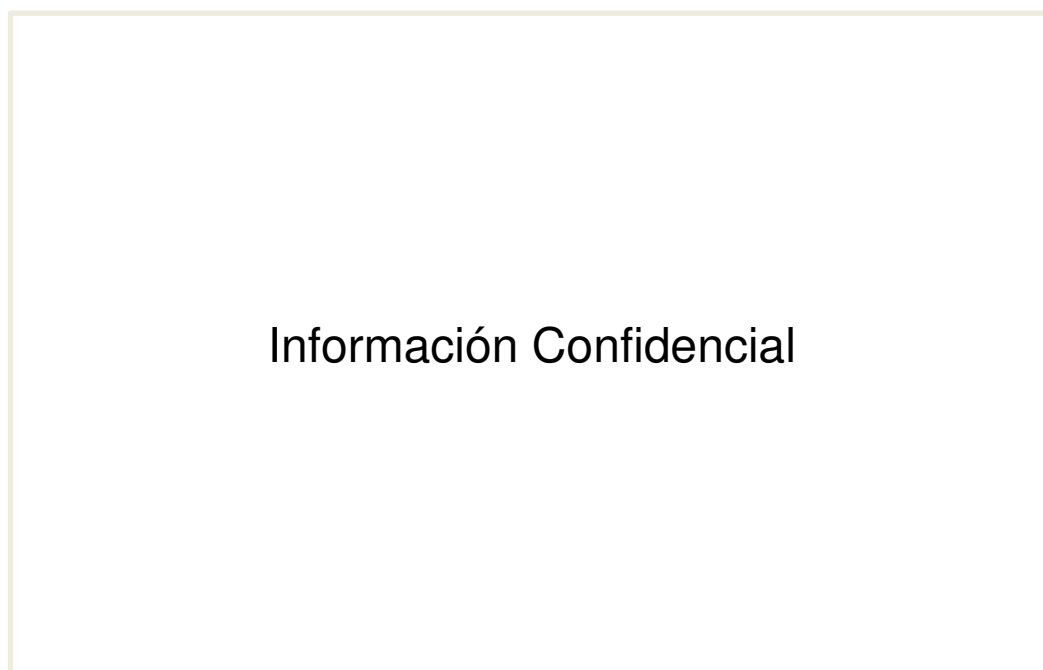


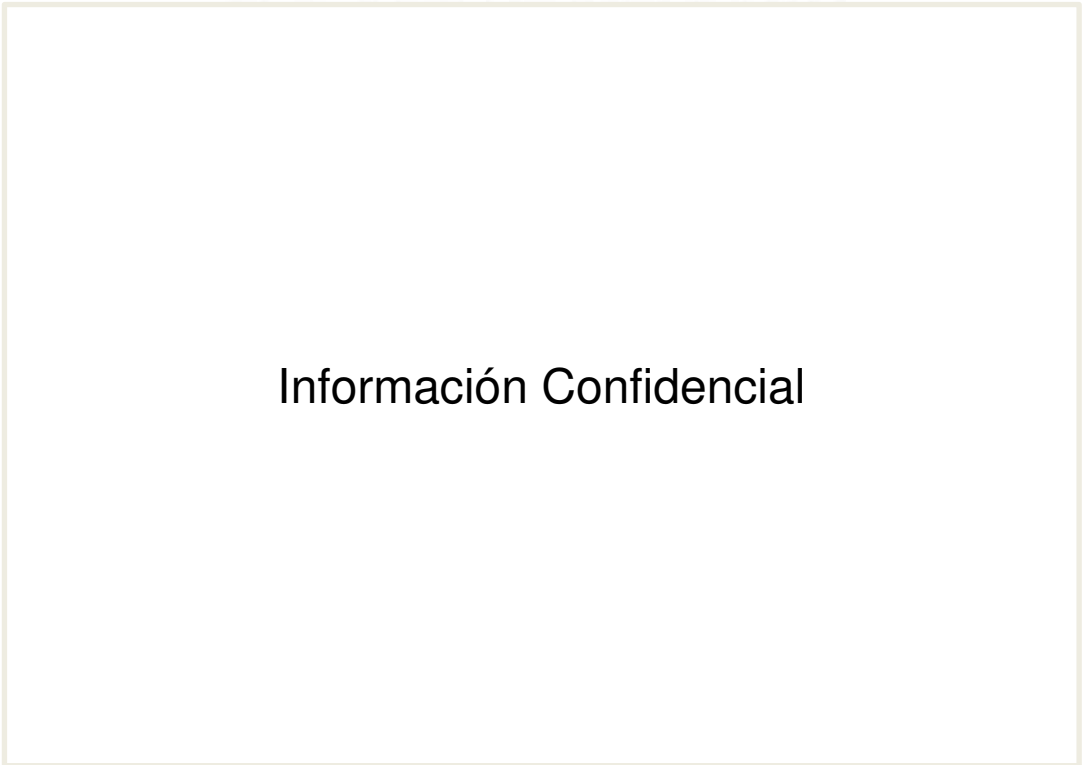
Figura 55: Ampliación de la Red IP-RAN. Fuente: Elaboración Propia

En la figura 55 se puede observar a grandes rasgos como el hecho de tener anillos estratégicos en todo Lima provoca la existencia de anillos IP-RAN físicos y lógicos en las cuales los equipos clientes que la conforman incluso podrían no encontrarse en el mismo nodo sino en uno vecino que no cuenta con equipamiento DWDM pero mediante fibra oscura y protocolos de enrutamiento de capa 3 (modelo OSI) tiene conectividad a un NE ASON, de esta manera la alcanzabilidad de esta nueva red de transporte es aún mayor al de los anillos locales llegando a beneficiar a zonas alejadas de los distintos distritos de Lima.

Algo que debemos recordar es que a nivel lógico la red de la que cuelga la red IP-RAN es la nube Core IP/MPLS, de manera que si esta última no tiene

un medio de transmisión adecuado se formara un cuello de botella por el aumento de tráfico proveniente de la red IP-RAN debido a que allí se cuelga de la nueva red de transporte.

Por ende, el diseño también involucra la red Core IP/MPLS como una red beneficiada lo cual se aprecia de manera casi inmediata porque los equipos cliente en este caso los routers con nomenclatura rMPLS (en el diagrama de líneas abajo también se aprecian switches capa 3) están instalados en los POP's, sitios en donde desde un principio se indicó que se instalarían los equipos DWDM ya que en el diagrama de la Figura 3.38 se ve que todos los puntos de conexión de los anillos son POP's a excepción de Polo 1, Polo 2 y VES que en realidad son puntos de la red con mayor densidad de densidad de servicios por lo que si o si se encuentran equipos rMPLS e incluso equipos de borde en toda la red IP a nivel nacional como los rMPLSCoreBR los cuales usan la red DWDM ASON para cursar tráfico internacional.



Información Confidencial

Figura 56: Ampliación de la Red Core IP/MPLS. Fuente: Elaboración Propia

Lo expuesto anteriormente desemboca en un enorme refuerzo de la redundancia y tolerancia a fallas de la tecnología MPLS y de los protocolos OSPF o BGP (en el caso de los routers BR) que hayan sido cargados en los equipos cliente.

Por último, debemos recordar que las dos redes IP mencionadas en realidad brindan el transporte lógico a los servicios móviles, fijos y corporativos por lo que un crecimiento en la red IP-RAN y Core IP/MPLS provoca inmediatamente el crecimiento de la red móvil 2G/3G/4G/4.5G/5G, HFC y FTTH.

En el caso de la red móvil en la figura de abajo se muestra como la red GPRS (2G) tuvo mejoras y ampliaciones lógicas en los equipos clientes (indirectamente) de la red Core CS PS (core de la red móvil), esta mejora era altamente demandada ya que en la capital aún se tenía deficiencia en el rendimiento y cobertura para una tecnología tan básica como la red 2G, de esta manera la nueva red de transporte le dio la holgura en BW suficiente como para tener el escenario de una buena tasa de crecimiento acompañado de la mano de buenos KPI's de performance.



Información Confidencial

Figura 57: Ampliación de la Red GPRS (servicios móviles 2G). Fuente: Elaboración Propia

Es relevante mencionar el flujo (a nivel de red de transporte IP) que cursan los servicios hasta llegar a su destino para que de esta manera se entienda el escenario global y el papel que cumple la red de transporte DWDM IP Fotónico ASON; en el caso de la red móvil y una parte de los servicios corporativos, el tráfico sigue la siguiente ruta: router rCSR >> router agregador de acceso AN o ASG >> router agregador de distribución DN o CSG >> router agregador rMPLS >> router core rMPLSCore >> router core de borde rMPLSCoreBR (el último salto depende del punto de destino del servicio).

En el caso de los servicios de la red fija, éstos suelen agregarse de los routers agregadores de distribución DN o CSG directamente y luego subir al core. La red de transporte DWDM implementada está presente en cada salto y aunque a nivel de transporte físico pueden usarse otras tecnologías (SDH / MW / F.O Oscura) siempre se trata en la medida de lo posible hacer uso de las lambdas 100G propias de esta red DWDM IP Fotónico ASON.

CAPÍTULO IV: CONCLUSIONES

4.1 Justificación

El presente proyecto brinda la oportunidad a nuestro cliente de estar a la vanguardia con respecto a redes de transporte avanzadas capaces de proteger los servicios reenrutándolos de manera óptima y automática. Esto beneficia a miles e incluso millones de hogares y compañías de la compleja ciudad capital los cuales no ven afectado su conectividad a internet aun en tiempos de pandemia.

4.1.1 Evaluación económica.

Líneas abajo se mostrará un cuadro muy resumido de los montos a nivel de inversión que se tuvo que necesitar para poder implementar cada etapa del presente proyecto, un detalle interesante que se aprecia en la tabla es que los equipos de la red DWDM involucran la mayor cantidad de porcentaje de la inversión total y la infraestructura de PEXT la menor porque como se expuso en este proyecto se reusó gran parte de los circuitos físicos de F.O lo que se tradujo en una menor inversión en CAPEX para dicho ítem.

Ítem de Inversión	Monto (S/)	Porcentaje (%)
Equipos de la red DWDM OSN 9800 UPS, OSN 9800 U16, OSN 9800 U32 y licencias ASON.	172,100,846	89.21
Instalación de equipos de TX	18,442,533	9.56
Infraestructura Tendido de F.O aérea con cable ADSS, empalmes y conectores	2,365,113	1.23
Total	192,908,492	100

Tabla 4: Detalle de la inversión CAPEX en total. Fuente: Elaboración Propia

De esta manera se procede a elaborar el cuadro de flujo de caja desde el 2016 hasta el año pasado 2021, en donde se aprecia el notorio impacto de la pandemia en el año 2020 ya que se tuvo una mayor demanda de los servicios que brinda nuestro cliente lo que derivó en mayores ingresos.

Pero también se tuvo mayores costos de OyM porque se presentaron innumerables enlaces con pérdida de paquetes por problemas de saturación, este escenario conllevó a desplazar personal On-Site que finalmente se traduce en mayores costos.

	2016	2017	2018	2019	2020	2021
Ingresos		291,814,832	270,177,799	230,996,315	346,494,473	301,845,026
Costos		30,397,477	33,516,720	32,476,972	49,706,247	41,594,373
Inversión	192,908,492					
Flujo de Caja	-192,908,492	261,417,355	236,661,079	198,519,343	296,788,226	240,250,653

Tabla 5: Flujo de Caja del proyecto en el periodo señalado. Fuente: Elaboración Propia

Finalmente procederemos a realizar el cálculo del VAN y TIR a partir de los datos mostrados en la sección anterior, es decir teniendo los siguientes datos:

- Inversión Inicial: S/ 192,908,492
- Tasa de descuento: 10.10%

Por lo que al tener esos datos como punto de partida se consiguen los siguientes indicadores:

- VAN: S/ 751,342,372.41
- TIR: 127%

De esa manera podemos deducir lo siguiente de cada uno de los indicadores obtenidos:

- Como el $VAN > 0$ a una tasa de descuento privada de 10.10% entonces el proyecto es rentable.
- A efectos del presente cálculo se tiene que el TIR (127%) es mayor que la tasa de descuento (10.10%) entonces el proyecto es rentable.

4.2 Descripción de la implementación

Como en todo proyecto se han tenido ciertas facilidades y dificultades en determinadas operaciones, en las siguientes secciones se podrán apreciar las ventajas y desventajas que se logran visualizar plenamente después de haber implementado todas las etapas del presente proyecto de modernización.

4.2.1 Ventajas.

Entre las ventajas que pudimos percibir fueron las siguientes:

- El hecho de tener que modernizar una red ya existente nos permitió reusar la PEXT de determinados nodos por ejemplo hay varios nodos de la antigua Red Metropolitana 10G que posee en coexistencia también la red DWDM ASON (100G), el otro escenario que se dio es cuando se reúsa la PEXT de redes SDH, HFC, GPON o fibra oscura en su totalidad para levantar los nuevos punto a punto usando DWDM;

esta reusabilidad se traduce en reducción de inversión en CAPEX.

- Alta escalabilidad de la nueva red ASON permite agregar nuevos enlaces ópticos de 1.25G, 2G, 4G, 10G, 40G o 100G con bastante facilidad, esto se llega a traducir en la capacidad de atender la creciente demanda de la ciudad capital de levantar nuevos enlaces o la necesidad de descongestionar determinadas zonas.
- Alta robustez de la nueva red de transporte ante averías en general, esto se percibe en todo tipo de eventos tanto como cortes de F.O en la PEXT como fallas de tarjeta dentro de la PINT; ello es algo de esperar porque los protocolos ASON permite conmutar los servicios antes cortes de F.O mientras que a nivel de tarjetería siempre se tiene una redundancia 1+1 en las tarjetas que controlan y regulan el funcionamiento de los equipos, esta robustez se traduce en una reducción notoria en los costos de inversión OPEX de la Operación y Mantenimiento de la red.
- Migración del modelo tradicional cliente – servidor al modelo de Cloud Computing, este permite una nueva forma de gestionar la red desde cualquier ordenador con acceso a internet ya que desde aquí se puede levantar una VPN SSL muy segura y así administrar la red con mucha facilidad tal y como se puede percibir con el nuevo gestor NCE.
- Alta capacidad de programabilidad, esto porque la red es capaz de transformarse en una Red de Transporte definida por Software o T-SDN (Transport Software-Defined Networking).

4.2.2 Desventajas.

Entre las desventajas que pudimos percibir fueron las siguientes:

- Alto costo en los equipos DWDM ASON, esto se aprecia cuando se realiza la comparación con otras tecnologías que posee menor alcance y capacidad; adicionalmente el precio se eleva aún más porque los equipos DWDM para usar la funcionalidad ASON necesitan determinadas licencias para poder operar.
- La complejidad de acceso al personal de implementación a ciertos

nodos de la red del cliente es notoria lo cual ralentizo los tiempos de entrega de ciertos enlaces, ello también afecta a la atención de las averías, esta dificultad de acceso se debe a que el cliente no es propietario del inmueble en donde se ubican los equipos por lo que se depende de terceros tales como universidades, complejos habitacionales, edificios, centros comerciales u otras empresas.

4.3 Conclusiones

El proceso de modernización de la red de transporte de nuestro cliente fue adecuadamente implementado mediante soluciones rápidas, prácticas y económicamente más rentables, estas características se logran gracias a la reusabilidad de determinados activos de la red antigua como la PEXT la cual se volvió a usar para levantar muchos enlaces. Solo en cierta cantidad de circuitos físicos se tuvo que tender fibra de forma aérea o subterránea, todo esto se traduce en una inversión CAPEX más rentable para el cliente.

Durante la instalación de los equipos DWDM se tuvo satisfacción de parte del cliente gracias a que se no solo se les dejo instalados los equipos activos, sino que también toda la infraestructura pasiva de modo que se le demostró al cliente que estamos altamente calificados y comprometidos con nuestros proyectos, esto derivó en que se asigne a Huawei como empresa encargada de la atención de las averías con personal On-Site en toda la red DWDM ASON en Lima.

La coordinación entre las áreas del cliente que administran la red de Transporte IP y la red de Transporte DWDM así como las áreas internas de AMS Huawei de “Transmission” y “Datacomm” fue fundamental para que el proyecto se ejecute con holgura y en cumplimiento de los SLAs estipulados, recordemos que una comunicación armoniosa entre estas 4 áreas permite que los servicios de los clientes finales de Claro Perú no se vean afectados en ninguna medida durante la ejecución sino que más bien la calidad del servicio tendió a mejorar gradualmente, esto se apreció en los KPIs en las redes IP-RAN, IP/MPLS y DMZ del cliente.

Finalmente, podemos concluir con satisfacción que el proyecto deja una red que está pensada en las nuevas tecnologías como las redes T-SDN la cual es una extensión de las redes SDN clásicas IP sobre las redes TX (DWDM), esta afinidad es notoria por la gran similitud en sus arquitecturas de 3 planos; esto se complementa de manera increíble con la arquitectura Cloud Computing que posee el gestor NCE.

CAPITULO V: RECOMENDACIONES

Entre las recomendaciones que sugerimos se encuentran estudiar a profundidad la demanda de tráfico en la ciudad capital y plantear planes de adaptación a ella en el caso crezca aún más, puntualmente si se diera escenario se les aconseja ampliar los enlaces de forma estratégica con nuevas lambdas de 200G o 400G y de ahí colgar servicios cliente 10G o 100G, de esta manera se previenen de forma muy anticipada problemas de packet loss (pérdida de paquetes).

Y como recomendación final se le propone al cliente continuar con la modernización de las redes en provincia que posean una estructura anillada, como los anillos de Lima, y no quedarse solamente con los equipos DWDM con la característica CDC-G ROADM, de esta manera se tendrá mayor robustez ante averías simultaneas en varias zonas de todo el país, poseer más redes ASON terminaran desembocando en una mejor calidad del servicio a nivel nacional lo cual se traducirá en un alto nivel de satisfacción por parte de los clientes de Claro Perú, esto involucra también a los clientes internacionales que surcan el país interconectando las sedes del mencionado operador a nivel intercontinental.

CAPITULO VI: BIBLIOGRAFÍA

- Bonafónt, P. (2018). *Sistema de Telecomunicaciones por cable submarino de fibra óptica Mar Bravo (Santa Elena) e Isla Santa Cruz (Galápagos)*. Universidad Católica de Santiago de Guayaquil.
- Castilla, S. (2017). *Planificación y diseño de redes ópticas WDM*. Universidad Politécnica de Madrid.
- Chen, K., Ye, T., He, H., & Guo, Z. (2019). Modular Optical Cross-Connects (OXCs) for Large-Scale Optical Networks. *IEEE Photonics Technology Letters*, 31(10), 763–766. <https://doi.org/10.1109/LPT.2019.2907001>
- Cisco. (2016). *Aspectos prácticos del amplificador de Raman*.
- Cisco. (2020). *Trends in network technology*. <https://cdn1.solutel.com/wp-content/uploads/2020/01/Trends-in-network-technologies.pdf>
- Gómez, G. (2019). *Mejora de la Eficiencia Espectral en redes DWDM a 40Gbps a través de los formatos de Modulación Avanzados DPSK y DQPSK*. Universidad del Cauca.
- Grobe, K., & Eiselt, M. (2014). *Wavelength Division Multiplexing: A Practical Engineering Guide*. <https://doi.org/10.1002/9781118755068.ch06>
- Haridim, M., Ben-Ezra, Y., & Lembrikov, B. I. (2015). Semiconductor Optical Amplifiers. In *Advances in Optical Amplifiers*. <https://doi.org/10.1016/B0-12-369395-0/00662-X>
- Huawei. (2014). *OTN network and frame structure*.
- Huawei. (2018a). *Constructing Intelligent Ultra-High-Speed Optical Networks with Ultimate Performance* (Vol. 01, Issue 01).
- Huawei. (2018b). *Technical White Paper on Transmission Using New Optical Fibers*.
- Huawei. (2020). *ASON Principles*.
- INEI. (2017). *Hogares según cobertura de las tecnologías de información y comunicación*. https://www.inei.gob.pe/media/MenuRecursivo/publicaciones_digitales/Est/Lib1539/cap07.pdf

- ITU-T. (2012). *Spectral grids for WDM applications: DWDM frequency grid*. <http://www.itu.int/rec/T-REC-G.694.1/en%5Cnhttp://www.itu.int/rec/T-REC-G.694.1-201202-I/en>
- ITU-T. (2018). *Amplified multichannel dense wavelength division multiplexing applications with single channel optical interfaces*. <https://www.itu.int/rec/T-REC-G.698.2-201811-I>
- ITU-T. (2020). *Interfaces for the optical transport network*. <https://www.itu.int/rec/T-REC-G.709-202006-I/en>
- Lavallée, B. (2011). *What is Gridless Networking?* - Ciena. https://www.ciena.com/insights/articles/What-is-Gridless-Networking_prx.html
- Li, Y., Li, J., Zong, L., Bose, S. K., & Shen, G. (2020). Upgrading Nodes with Colorless, Directionless, and/or Contentionless ROADMs in an Optical Transport Network. *International Conference on Transparent Optical Networks, 2020-July(c)*, 1–4. <https://doi.org/10.1109/ICTON51198.2020.9203455>
- Littlewood, P., Masoud, F., & Follis, E. (2015). Redes de Transporte Óptico. In *Expert Series*. <http://serviciocliente.ecopetrol.com.co/contenido.aspx?catID=127&conID=36123>
- Moore, F. (2020). *What is a Flex-Grid ROADM?* | Fujitsu Network Communications. <https://thecinict.com/2020/07/08/what-is-a-flexible-grid-roadm/>
- Palacios, A. (2011). *Diseño de una red de transmisión óptica inteligente para el sur del Perú usando tecnología ASON/GMPLS*. Pontificia Universidad Católica del Perú.
- Ramirez, Y., & Gamarra, C. (2013). *Diseño de una red de banda ancha para la región de Puno*. Pontificia Universidad Católica del Peru.
- Rangel, E. (2013). *Diseño de la Red para el Proyecto de Banda Ancha Rural Juliaca - San Gabán* [Pontificia Universidad Católica del Perú]. [http://www2.congreso.gob.pe/sicr/cendocbib/con4_uibd.nsf/6147C973BB8FB8A805257C3700727605/\\$FILE/diseño_red.pdf](http://www2.congreso.gob.pe/sicr/cendocbib/con4_uibd.nsf/6147C973BB8FB8A805257C3700727605/$FILE/diseño_red.pdf)
- Sánchez, D. (2014). *Redes ópticas de transmisión DWDM: Diseño e Implementación*. Universidad Politécnica de Madrid.
- Sarmiento, S., Altabas, J. A., Izquierdo, D., Garces, I., Spadaro, S., & Lazaro, J. A. (2017). Cost-Effective DWDM ROADM Design for Flexible Sustainable Optical Metro–Access Networks. *Journal of Optical Communications and Networking*,

9(12), 1116. <https://doi.org/10.1364/jocn.9.001116>

Sequeira, P. (2017). *Estudio de la interoperabilidad entre distintos equipamientos DWDM*. Instituto Tecnológico de Buenos Aires.

Torres, G. (2015). *ARQUITECTURA DE LAS REDES ÓPTICAS DE CONMUTACIÓN AUTOMÁTICA*. Instituto Politécnico Nacional de México.

Veselinovic, N., Milovanovic, M., Vasiljevic, B., & Denic, S. (2017). Napredne funkcionalnosti nove magistralne OTN/DWDM mreže Telekom Srbija. *24th Telecommunications Forum, TELFOR 2016*. <https://doi.org/10.1109/TELFOR.2016.7818737>

Wong, E., Grigoreva, E., Wosinska, L., & Machuca, C. M. (2017). Enhancing the Survivability and Power Savings of 5G Transport Networks Based on DWDM Rings. *Journal of Optical Communications and Networking*, 9(9), D74–D85. <https://doi.org/10.1364/JOCN.9.000D74>

CAPITULO VII: ANEXOS

Anexo A: Extensión del Marco Teórico

Elementos de una red DWDM. Desde que se hizo mención de la red DWDM se suele dirigirse a ella como un sistema por ende es relevante describir los elementos que la conforman. Se pueden agrupar los elementos en tres grandes grupos: planta externa, capa óptica y capa eléctrica. A continuación, se describen los 6 elementos básicos para hacer viable la transmisión óptica:

a) Fibra Óptica

El medio de transmisión por excelencia para toda red de transporte es la fibra óptica, con el transcurso de los años se han avances en la fabricación de este material. Su bajísima atenuación y resistencia a perturbaciones electromagnéticas son las más resaltantes características que posee, este trabajo de investigación no se hace ajeno a la enorme utilidad de la fibra. Existen dos tipos de fibra muy bien conocidos:

- **Fibra Multimodo**, de acuerdo a Bonafónt (2018) este tipo de fibra es continua siendo ampliamente usado en aplicaciones de cableado en donde se recorre distancia de 300 a 2000 m, dependiendo de la velocidad de transmisión por ejemplo se conoce que soporta sistemas Ethernet de 1Gbit/s y enlaces de longitudes de onda de hasta 850 nm. Un problema serio que presenta esta fibra es la dispersión intermodal, ya que al ingresar la luz en un núcleo en donde el salto de índice de reflexión es escalonado esta provoca el ensanchamiento del pulso óptico del grupo de ondas que se está desplazando perdiéndose notablemente la potencia óptica.

Según Castilla (2017) para poder mejorar el problema de la dispersión intermodal se han creado las fibras ópticas multimodo de índice gradual, de manera que el grupo de ondas viajan en un grupo definido

disminuyendo al máximo las posibles interferencias por refracción. De esta manera el pulso mantiene mayor potencia y no se vuelve más ancho consiguiéndose “acelerar” los modos más lentos y “frenar” los más rápidos.

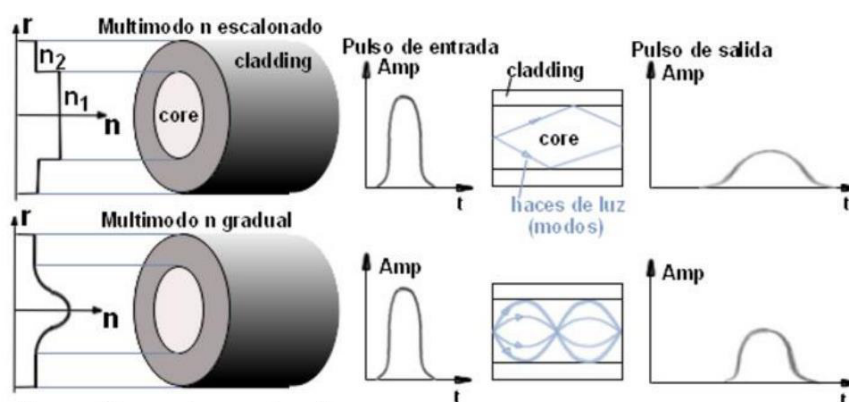


Figura 58: Fibra Óptica Multimodo (índice gradual y escalonado).
Fuente: Castilla (2017)

- **Fibra Monomodo**, para este tipo como su mismo nombre lo menciona solo se tiene un solo modo de propagación por lo que la luz viaja linealmente sin reflexionar con el revestimiento y además por poseer un tamaño del núcleo mucho más estrecho.

Acorde a lo mencionado por Castilla (2017) la condición necesaria y suficiente para poder discriminar si una fibra opera en régimen monomodo o multimodo es que si su “frecuencia normalizada V de corte (V_c)” es menor o igual que 2.405 entonces dicha fibra es monomodo, en caso contrario este exceda el valor indicado líneas arriba entonces la fibra es multimodo. Recordemos que la frecuencia normalizada es un parámetro auxiliar adimensional que relaciona la longitud de onda de operación λ , el radio del núcleo a y la apertura numérica AN , de la siguiente manera:

$$V = \frac{2\pi}{\lambda} \cdot a(AN)$$

Los sistemas WDM usan la fibra monomodo para poder hacer frente al incremento en la capacidad de las transmisiones, esto ha llevado a un constante desarrollo de la misma involucrando constantes avances en la fabricación de las famosas SMFs (por sus siglas en inglés single-mode optical fibers). A continuación, se muestra una imagen sobre la evolución de la SMF:

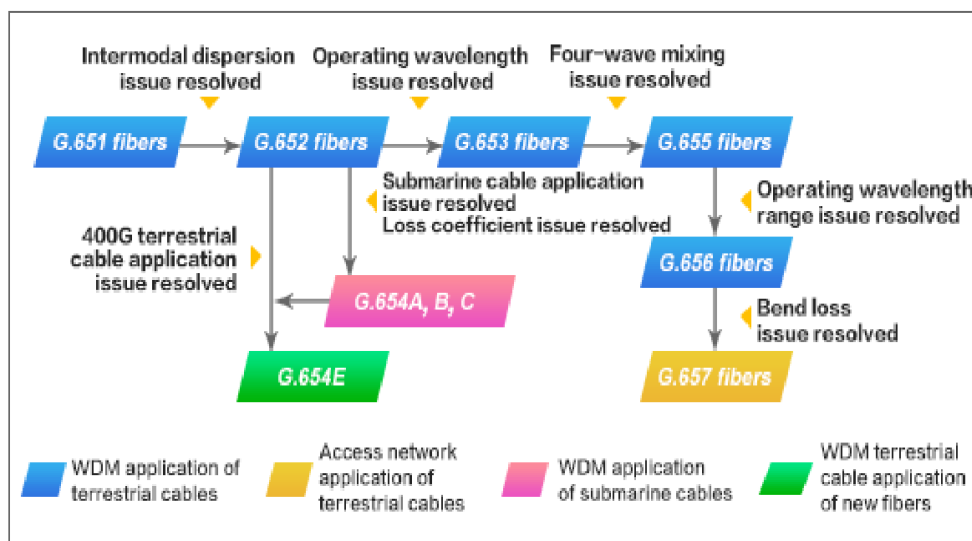


Figura 59: Desarrollo tecnológico de la fibra. Fuente: Huawei (2018b)

De acuerdo a la capacidad de transmisión las versiones de fibra monomodo se pueden ordenar así: G.654 >> G.652 >> G.656 >> G.655 >> G.653. El detalle se aprecia en el siguiente cuadro comparativo:

Fiber Parameter	Unit	G.652	G.653	G.654	G.655	G.656	G.657
Mode field diameter	μm	8.6–9.5	7.8–8.5	9.5–15	8–11	7.0–11.0	8.6–9.5
Typical dispersion coefficient at 1550 nm	ps/nm/km	17	0	20–23	2.8–6.2	3.6–9.28	-
Nonlinear capability	-	★★★★	☆	★★★★★	★★	★★☆	-
Transmission capability (coherent)	-	★★★★	☆	★★★★★	★★	★★☆	-
Application scenario	--	Metro/ Backbone network	Metro/ Backbone network	Backbone network	Metro/ Backbone network	Metro/ Backbone network	Access network

Tabla 6: Comparación de parámetros de eficiencia en la transmisión. Fuente: Huawei (2018b)

b) Amplificadores ópticos

En los sistemas DWDM se despliegan mayormente barriendo grandes longitudes (comúnmente de 80 km) por lo que la luz se atenúa según la distancia que va recorriendo. Como todo diseño de enlace en el “link badget” se dimensiona una mínima potencia óptica de recepción con lo cual es necesaria amplificar la señal óptica de manera estratégica dentro de la estructura del anillo físico.

No debemos pasar por alto que una excesiva potencia óptica de recepción también daña los sensibles puertos de las tarjetas, este hardware se detallará en secciones posteriores.

Según Bonafónt (2018) un amplificador óptico es un láser sin retroalimentación en donde su principal ingrediente es la ganancia óptica generada cuando este es bombeado (óptica o eléctricamente). Esta ganancia depende de la frecuencia, longitud de onda y la intensidad del haz en cualquier punto del amplificador. En la actualidad se diferencian 3 tipos básicos de amplificadores, las cuales son:

- **EDFA**, sus siglas significan “Erbium Doped Fiber Amplifier” lo cual indica que este tipo de amplificador tiene la fibra dopada de erbio. Este elemento químico es excitado por luz en varias frecuencias como: 514, 532, 667, 800, 900 y 1480 nm, luego de esta excitación se produce emisión estimulada en el intervalo de 1530 – 1565 nm la cual pertenece a la banda o ventana de trabajo C.

De acuerdo a Sánchez (2014) los amplificadores EDFA son los más utilizados en las redes de transporte y es habitual que se les conozca como regeneradores, estos pueden ser: 1R en donde solo se amplifica la señal de entrada, 2R aquí luego de amplificar se remodela o reconstruye la señal y 3R en donde se regenera, remodela y sincroniza o recupera el reloj. En este último se cancela los efectos de las no linealidades y dispersión.

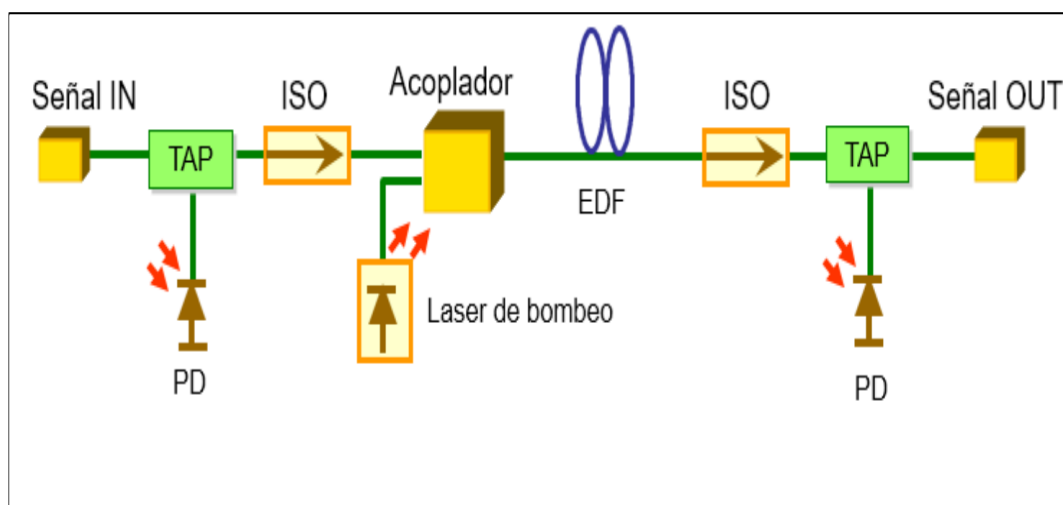


Figura 60: **Estructura interna del EDFA.** Fuente: Bonafónt (2018)

- **SOA**, sus siglas significan “Semiconductor Optical Amplifier” esto da a entender que se trata de un dispositivo de estado sólido y lo es ya que este hecho de InGaAsP. Debido a esto son pequeños y compactos fácilmente integrables con otros componentes.

Acorde a lo mencionado por Bonafónt (2018) el principio físico de su funcionamiento se basa en el láser de estado sólido dicho en otras palabras cuando se aplica una tensión de polarización los iones se excitan, con lo cual se generan pares de electrones y estos a su vez generan luz de una longitud de onda específica. Un requisito fundamental es que la tasa de generación de electrones y la tasa de recombinación deben estar equilibradas para una amplificación sostenida.

Los SOA poseen varias limitaciones tales como alta conversión, baja potencia de salida, distorsiones no lineales y niveles de ruido más alto que el EDFA.

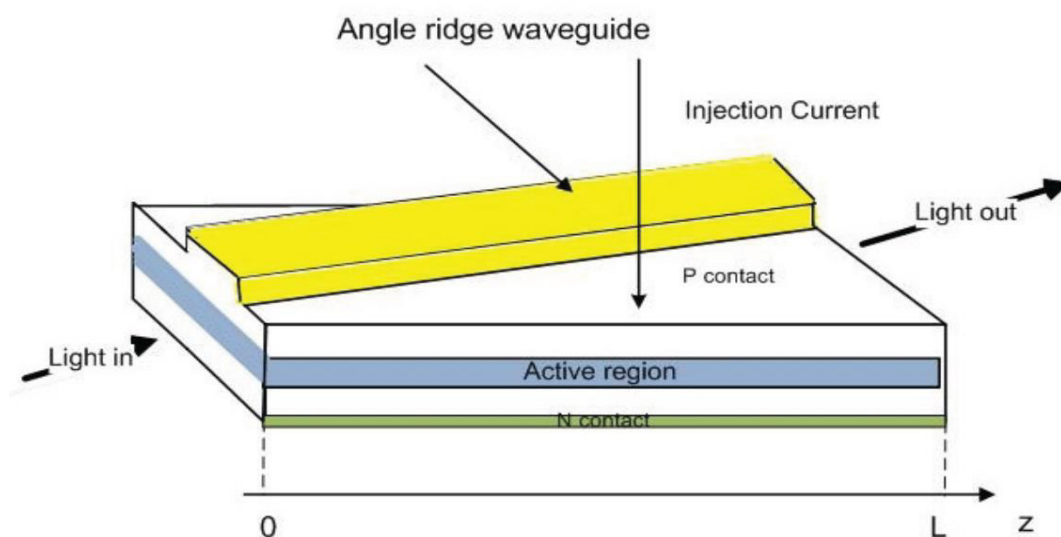


Figura 61: **Estructura interna del SOA.** Fuente: Haridim et al. (2015)

- **RAMAN**, según lo que menciona Cisco (2016) el principio de funcionamiento radica en el hecho que cuando se emiten fotones de un láser de bombeo adicional a la señal transmitida (esta bomba puede estar en el mismo sentido o en contra), estos son absorbidos por las moléculas y átomos de la fibra.

Esto los excita a niveles de energía más altos, dichos niveles no son estables por lo que decaen rápidamente a niveles de energía media. Estos niveles medios liberan la energía como fotones (luz) en cualquier dirección en frecuencias más bajas lo cual. Todo este fenómeno se conoce como SRS (stimulated Raman scattering).

De acuerdo a Bonafónt (2018) estos dispositivos poseen varias configuraciones como: amplificadores Raman con bombeo en el sentido de la señal, con bombeo inverso, con bombeo bidireccional, discretos (incluyendo los que poseen erbio dentro de su estructura), con bombeo en el sentido de la señal compuesto y discretos, y finalmente los de bombeo bidireccional compuestos y discretos.

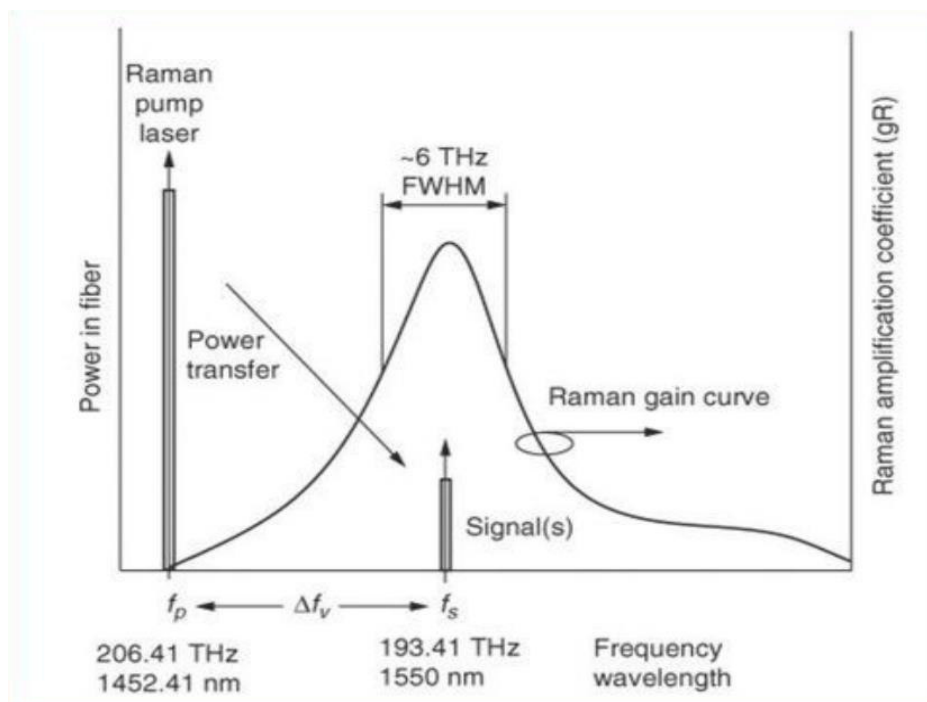


Figura 62: **Teoría del aumento de Raman.** Fuente: Cisco (2016)

Entre las ventajas que posee están: interoperabilidad ya que no solo trabaja en la banda C (como en el caso del EDFA) sino también en las bandas O, E y S, una baja señal de ruido, estructura simple, puede reducirse el efecto no lineal y la ganancia flexible de la longitud de onda. Mientras que como desventajas tiene: alta corriente de bombeo, baja eficiencia y alto costo.

Por último, debemos mencionar que los amplificadores ópticos poseen 3 formas diferenciadas de usarlo:

- **Amplificador de Refuerzo (BA, Booster Amplifier)**, este se utiliza directamente después del transmisor óptico para aumentar su nivel de potencia saliente, típicamente es de alta saturación.
- **Pre-Amplificador**, se utiliza directamente antes del receptor óptico para mejorar su sensibilidad por ende este dispositivo debe ser de muy bajo ruido para no afectar la integridad de la señal.
- **Amplificadores de Línea (LA, Line Amplifier)**, es un dispositivo de bajo ruido que se usa entre secciones de la fibra pasiva para aumentar la potencia ya que la luz mengua según recorra distancias o se ramifique en redes de acceso óptico.

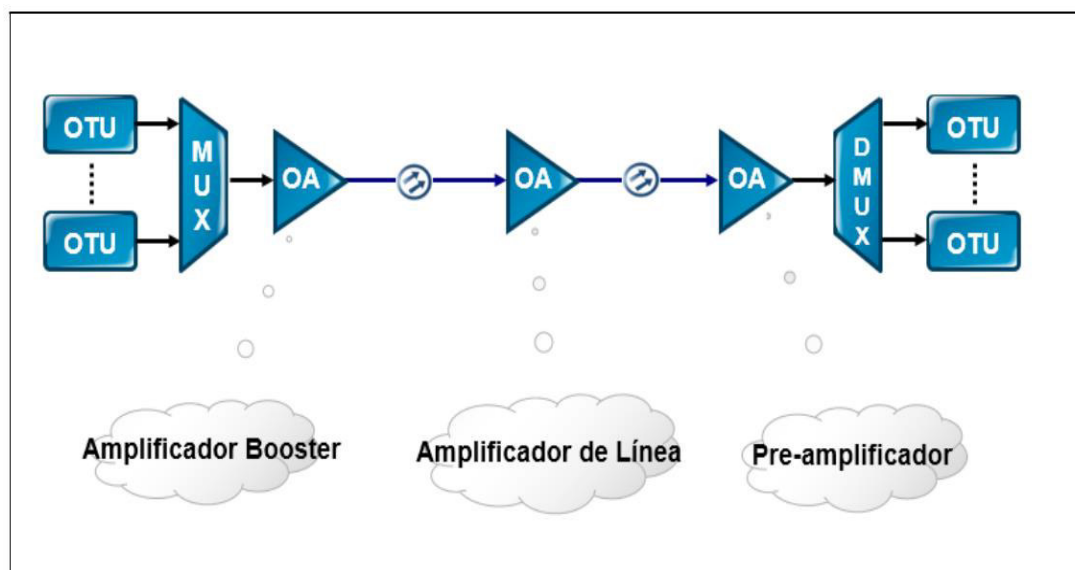


Figura 63: Tipos de uso del amplificador óptico. Fuente: Bonafónt (2018)

c) Transmisores y detectores ópticos

Esta parte de todo sistema DWDM es de vital importancia ya que su objetivo principal es la conversión de la señal eléctrica a señal óptica y viceversa. En el caso de los transmisores, en las redes ópticas se suelen usar los siguientes:

- **LED**, sus siglas significan “Light Emitting Diode” lo cual describe que se trata de un dispositivo semiconductor que emite luz cuando es aplicado un voltaje entre sus dos terminales.

Según Bonafónt (2018) los LED's son útiles para aplicaciones de bajo costo y que requieran transmisión de datos a velocidades de 100 Mbits/seg o a pocos kilómetros. Entre algunas de las características más resaltantes se encuentran: potencia óptica limitada, poseen un amplio ancho espectral, costo relativamente bajo en comparación a su contraparte Láser y su ancho de banda está en el rango de 50 – 140 MHz.

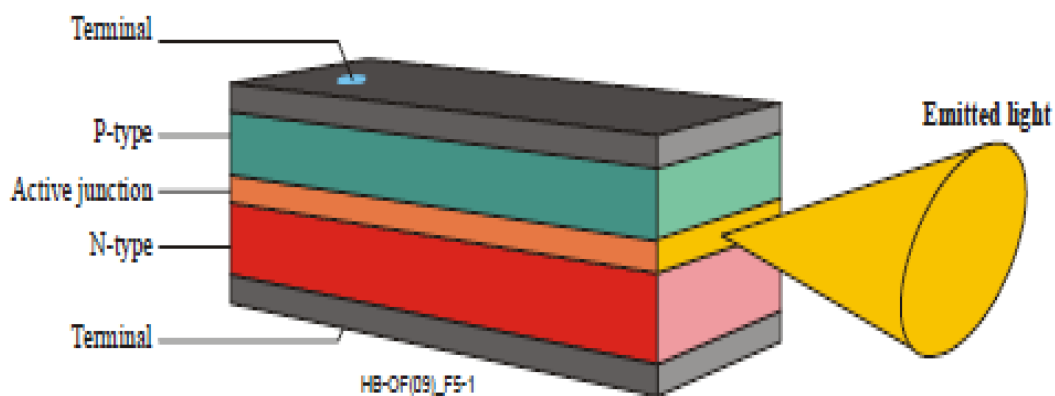


Figura 64: Estructura interna y transmisión cónica del LED. Fuente: Bonafónt (2018)

De acuerdo a Grobe & Eiselt (2014) dentro de las OLT's en la arquitectura de las redes WDM-PON, las cuales son usadas en redes de acceso óptico, se usa una variante de mayor potencia que son conocidos como SLED's, estos son LED's superluminiscentes se usan para poder emitir la señal de luz que quizás llegue a una gran cantidad de beneficiarios en sus respectivas redes LAN's.

- **LÁSER**, sus siglas significan “Light Amplified by Stimulated Emission of Radiation” (Luz amplificada por emisión estimulada de radiación). Esta es aquella fuente de luz dominante en las transmisiones DWDM ya que al tratarse de enlaces de largo alcance (long-haul) se desea que el haz de luz no sufra dispersión modal de ningún tipo.

De acuerdo a Bonafónt (2018) entre los tipos de láseres más comunes tenemos: Fabry Perot, DFB - Distributed Feedback Laser, VCSEL - Vertical Cavity Surface Emitting Laser y Diodos Laser sintonizables. Estos últimos son requeridos en WDM flexible y sirven para optimizar la capacidad de la red junto con los multiplexores Add – Drop reconfigurables y sin dirección también conocidos como ROADM.

d) OADM / ROADM

Los nodos ópticos que forman parte de la red de transporte necesitan tener flexibilidad y reconfigurabilidad, estas características las tiene el famoso ROADM, estas siglas significan “reconfigurable optical Add/Drop multiplexers”.

De acuerdo a lo mencionado por Li et al. (2020) se tienen 4 arquitecturas principalmente las cuales se conforman de características que se van añadiendo progresivamente a cada mejora que se le realice al nodo óptico, a continuación procedo a describir éstas:

- **C ROADM**, también conocida como la arquitectura “colorless” la cual significa que un puerto de la interfaz Add/Drop de un ROADM no es selectivo en cuanto a la longitud de onda y, por lo tanto, se puede agregar o quitar cualquier longitud de onda es importante recordar que dentro del Electromagnetismo el color está asociado a λ .
- **CD ROADM**, en este modelo se le añade la característica “directionless” esta involucra que cada puerto Add/Drop de un ROADM no es selectivo del grado nodal (normalmente asociado a las direcciones de transmisiones dentro del nodo óptico) y, por lo tanto, cualquier canal agregado en un puerto puede dirigirse a cualquier grado nodal y viceversa.
- **CDC ROADM**, aquí se repotencia la versatilidad con la característica “contentionless” esta nos dice que cada puerto Add/Drop del ROADM puede soportar la misma longitud de onda en el mismo módulo Add/Drop sin verse afectada la señal óptica.
- **CDC-G ROADM**, finalmente se adiciona la funcionalidad “gridless” esta característica permite que los canales de transmisión DWDM no tenga fija la grilla por donde fluye (esto a nivel del espectro electromagnético), esta ventaja le permite transmitir diferentes tipos de señales ópticas y reusar las grillas grandes dejadas libres por otras más pequeñas.

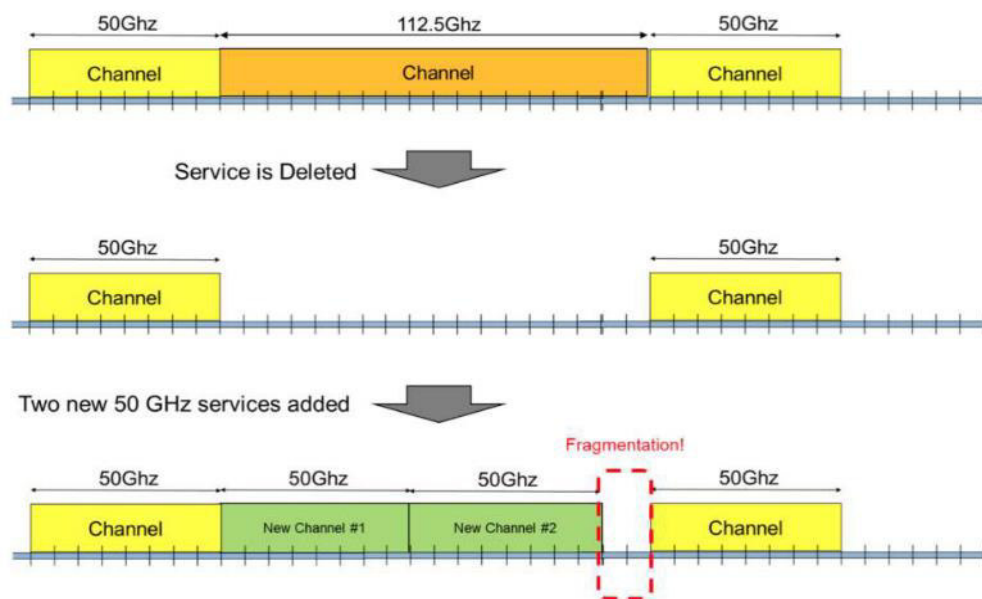


Figura 65: **Reusabilidad de canales en un nodo CDC-G ROADM.** Fuente: Moore (2020)

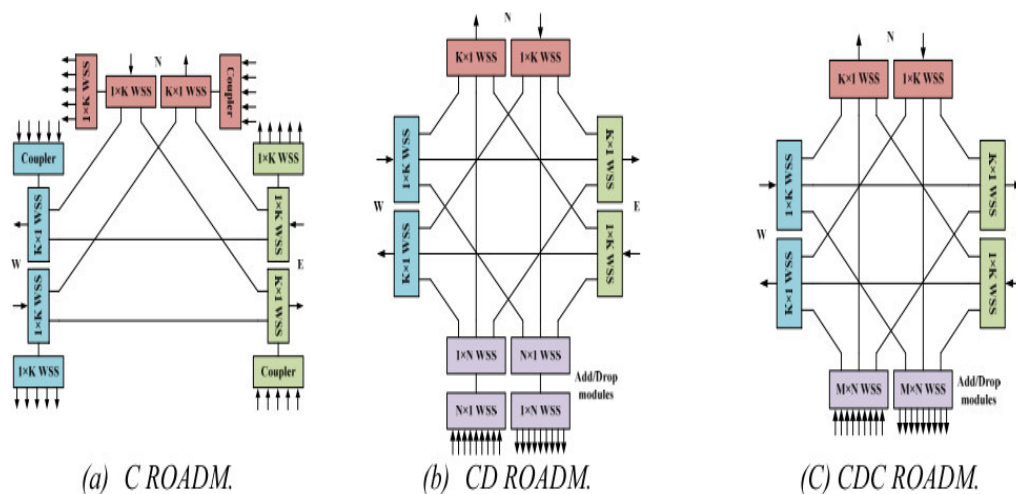


Figura 66: **Comparación entre las 3 primeras arquitecturas ROADM.** Fuente: Li et al. (2020)

Según Lavallée (2011) dentro del diagrama de bloques de todo sistema ROADM es el WSS (Wavelength Selective Switch) la que permite tener las características CDC pero el FSS (Flexible Spectrum Switch) el que le das las cualidades CDC-G.

En otras palabras, el FSS permite que el sistema óptico utilice el ancho de

banda del canal y las tasas de error pre-FEC como criterios de diseño automatizado para seleccionar dinámicamente el mejor espaciado de canales mientras elimina simultáneamente el ancho de banda potencialmente desperdiciado para optimizar la eficiencia espectral.

e) Cross – Conectoras Ópticas

La alta densidad de enlaces que cruzan un sistema DWDM hace necesaria dividir el hardware en tarjetas que solo posean puertos entradas (transponders) y otras que solo contengan los puertos de salida (de línea).

Pero entre estas se colocan tarjetas OXC (Optical cross - connect) para que se comuniquen y de esa manera puedan levantar los respectivos canales ópticos, este escenario se da dentro de la capa eléctrica no obstante las OXC's también se usan en la capa óptica entre el multiplexor y el demultiplexor.

Chen et al. (2019) menciona que, con el crecimiento explosivo de las demandas de tráfico, las cuales detallamos con gráficos en las primeras secciones de este capítulo, el número de enlaces WDM entre dos nodos de conmutación adyacentes se ve obligado a aumentar rápidamente debido a la limitación de la capacidad por enlace. Por lo tanto, las tarjetas OXC de gran escala son altamente requeridas.

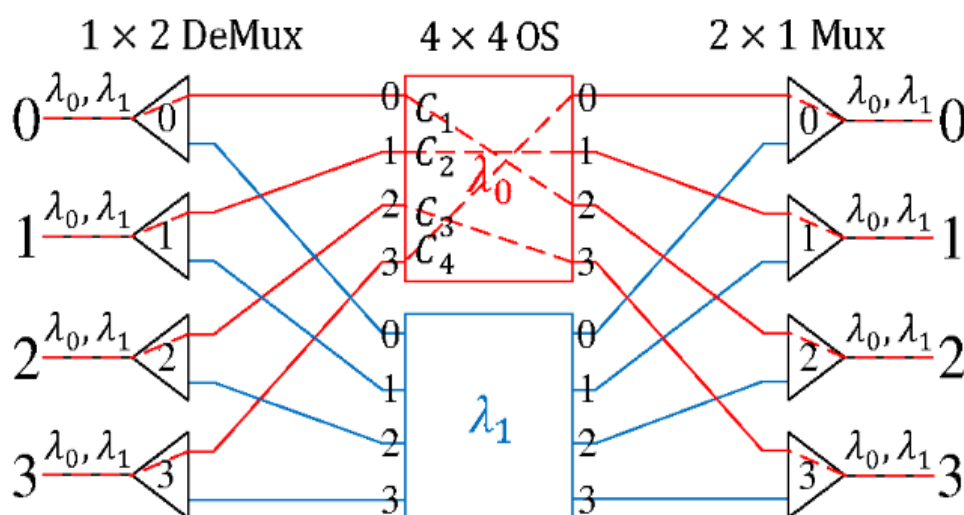


Figura 67: Rol de una 4x4 OXC entre Mux y DeMux. Fuente: Chen et al. (2019)

f) Transponders

Básicamente un transponder convierte la señal óptica del cliente (por ejemplo, la señal de luz proveniente del puerto con transceiver SFP de un router de la nube privada MPLS) de vuelta al dominio eléctrico, la cual es luego usada para manejar el láser emisor; finalmente las longitudes de onda de todos los transponders en el sistema son multiplexadas ópticamente. En el lado de recepción, el proceso inverso toma lugar, manejándose una interfaz estándar para el cliente.

Rangel (2013) menciona que existen diferentes versiones de transponder dependiendo del requerimiento de regeneración de la señal. El más simple es el 2R (reshape and reamplify) en el cual se da una detección y conversión de la señal independientemente del tipo de protocolo usado. Mientras que el más complejo es el 3R (reshape, retime and reamplify), dependiente del protocolo y necesario para señales de alta velocidad.

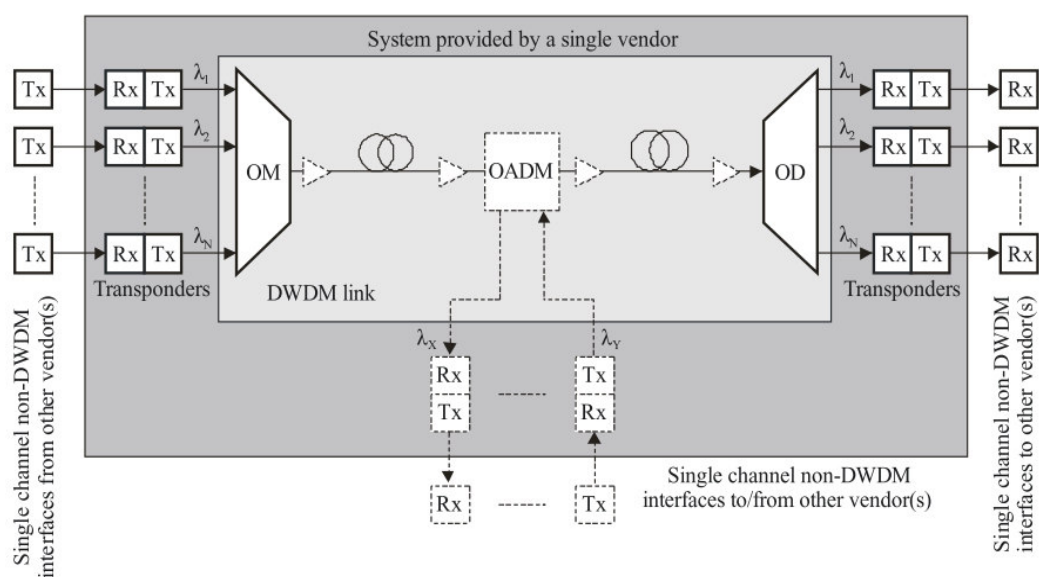


Figura 68: Rol de los transponders dentro del enlace DWDM.

Fuente: ITU-T (2018)

Parámetros de transmisión DWDM. La eficiencia de toda forma de transmisión que sea parte de las telecomunicaciones está en su mayoría estrechamente vinculadas a las características físicas del medio, tipos de codificación y criterios de diseño a nivel del espectro electromagnético. Por ende es de suma importancia hacer ubicuo los parámetros que optimicen nuestro sistema DWDM, Bonafónt (2018) indica que estos son los siguientes:

a) Espaciamiento del canal

Es la mínima frecuencia de separación entre las frecuencias portadoras o centrales de las diferentes señales multiplexadas (o canales ópticos) percibibles dentro del espectro electromagnético. Estas separaciones evitan que haya solapamiento evitando así la interferencia la cual provocaría graves daños en la calidad de la transmisión. Normalmente este espaciamiento es de: 200, 100, 50, 25 o 12,5 GHz las cuales están establecidas como standard en las recomendaciones por la ITU – T.

b) Dirección de la señal

Ésta se refiere si la señal viaja de forma unidireccional o bidireccional en el enlace DWDM. De manera unidireccional se refiere a que las longitudes de onda que viajan en una misma dirección en la trayectoria óptica, por ejemplo, los canales ópticos de salida o de transmisión, vayan por un hilo de fibra único dedicado, mientras que por otro hilo irán las señales que están llegando al nodo (recepción).

En resumen, se necesitarían un par de hilos de fibra óptica para que su transmisión sea en los dos sentidos, mientras que, en las bidireccionales, el canal es subdividido en dos bandas. La limitante en este sistema es la reducción del ancho de banda ya que por la misma fibra óptica viajan ambas señales (Tx y Rx), esto es muy usado por la tecnología GPON.

c) Ancho de banda de la señal

Es aquella cantidad de datos que se pueden transferir entre dos puntos de una red en un tiempo específico. Típicamente en la fibra óptica y más aún en los sistemas DWDM se llegan a velocidades standard como: 1.25, 10, 40, 100, 400, 600 o hasta 1000 Gbps.

d) Potencia óptica de la señal

Es el nivel energético que posee la luz al llegar o salir de un puerto óptico (cuantificada en dB). La potencia de la señal guarda estrecha relación con la

distancia del enlace ya que usualmente esta se degrada a cierta cantidad de decibelios por cada km, la cual en realidad es el resultado de todos los eventos sucedidos a lo largo de la trayectoria óptica, los cuales son: atenuaciones, dispersiones, efectos de linealidad (fibras con distinto núcleo), etc.

Hay que tener en cuenta que la potencia debe tener un valor nominal propia del diseño del enlace DWDM ya que una potencia óptica baja no logrará levantar el canal óptico por no llegar a los umbrales mínimos del link budget y una potencia óptica muy alta podría quemar los muy sensibles puertos de las tarjetas.

e) Codificación

Esta es también conocida como la modulación presente en los transponders. Básicamente se trata del algoritmo que usa para codificar el mensaje en pulsos de luz, los códigos más conocidos en los sistemas de transmisiones ópticos son: NRZ-OOK, RZ-OOK, CRZ, DRZ, CS-RZ, CSRZ-DPSK, PSBT, ODB, DPSK, DCS-RZ y DQPSK.

De entre las mencionadas, una muy usual es la codificación NRZ-OOK (non return to zero on off keying) ya que se manejan en los valores energéticos estándares del 1 y el 0 lo que se traduce en parpadeos de la luz a enormes frecuencias. De acuerdo a Gómez (2019) este tipo de codificación posee la estructura que se observa en la siguiente imagen:

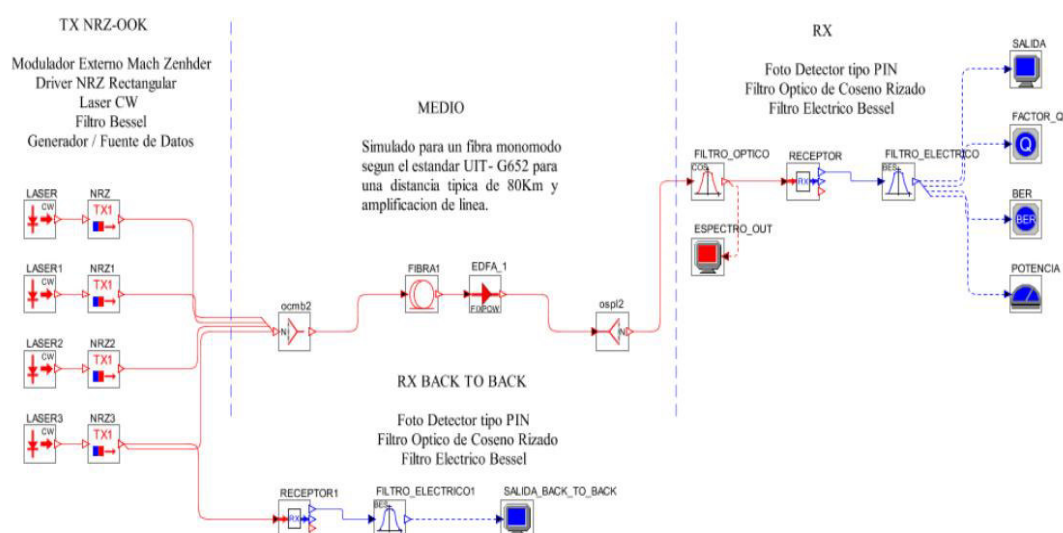


Figura 69: Sistema DWDM para la modulación NRZ-OOK. Fuente: Gómez (2019)

f) Tasa de bits errados

Sus siglas en inglés son BER (bit error rate) es considerado como uno de los parámetros más importantes para cuantificar los impedimentos producidos por la transmisión de una señal interactuando con un medio.

Se determina como el cociente entre la cantidad de bits errados y la cantidad total de bits transmitidos durante un intervalo de tiempo dado. Para redes DWDM, particularmente de larga distancia son de 10^{15} , lo que quiere decir 1 bit errado en 10^{15} bits transmitidos.

Distancia [Km]	Canal [THz]	FORMATO DE MODULACIÓN	BER
140	195.5	NRZ-OOK	1.64e-25

Tabla 7: BER vs Distancia máxima alcanzable para un enlace DWDM.
Fuente: Gómez (2019)

g) Relación señal a ruido óptico

Sus siglas en inglés son OSNR (optical signal noise ratio). Es la medida de la relación de la potencia de la señal contra la potencia de ruido en un canal óptico normalizado en una ventana espectral de 0.1nm. Esta sugiere que tanto es degradada una señal óptica que es transportada dentro de un sistema debido a las múltiples atenuaciones con referencia a distintos parámetros.

Según Gómez (2019) estos son: figura de ruido de los elementos de amplificación y compensación, ruido acumulado por cada trayecto de fibra, ruido introducido por los elementos generadores, emisiones de ruido espontáneamente amplificadas (ASE - Amplified Spontaneous Emission).

En términos matemáticos el OSNR relaciona la potencia de la señal óptica del i -ésimo canal (P_i), el valor promedio de la potencia de ruido acumulada (N_i), el ancho de banda ocupado por el i -ésimo canal (B_m) y el ancho de banda óptico de referencia el cual es típicamente de 0.1nm (B_r) de la siguiente manera:

$$OSNR = 10 \log \frac{P_i}{N_i} + 10 \log \frac{B_m}{B_r}$$

Capas y jerarquía en redes DWDM. Dentro de toda red DWDM existe una organización lógica de la información mediante capas o unidades las cuales se van añadiendo de forma progresiva con sus respectivas cabeceras OH las cuales permiten el nivel de administración o gestión de nuestra sofisticada red de transporte, este encapsulamiento inicia desde que se recibe la trama proveniente del equipo cliente. Esta trama tiene la connotación de poseer servicios dentro de su interior, estos servicios pueden ser de los siguientes tipos:

- SAN (storage area network)
- Ethernet
- SDH/SONET
- Video

De acuerdo a lo mencionado por Castilla (2017), los servicios descritos líneas arriba pueden comprender velocidades desde 100 Mbps hasta 100 Gbps las cuales se montan sobre velocidades de línea óptica de 2.5, 10, 40, 100 y 400 Gbps.

Como se enuncio en las primeras secciones del presente trabajo de investigación existen dos dominios (también llamadas capas) bien diferenciadas: Dominio Eléctrico (o Digital) y Dominio Óptico (o Análoga), estas a su vez se subdividen en unidades que cumplen determinadas funciones dentro de toda red DWDM. Es relevante recalcar que antes de pasar de un dominio a otro dentro de un mismo nodo óptico, se añade el campo FEC al final de la trama, esto para evitar que se propague cualquier forma de error lógico dentro del mensaje.

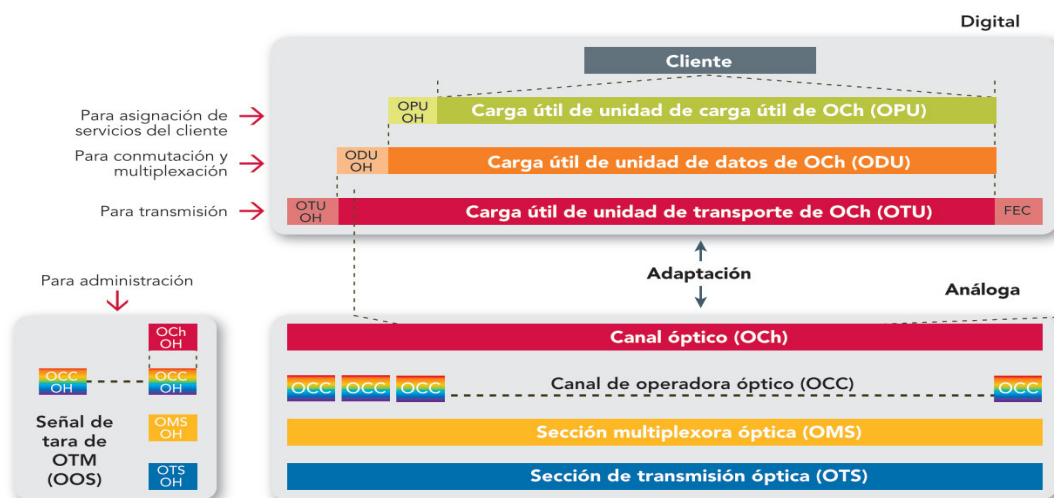


Figura 70: Capas y Jerarquías dentro de una red DWDM. Fuente: Littlewood et al. (2015)

Unidades y secciones OTN. En la imagen de líneas arriba vemos un enfoque global de la estructura lógica de una red DWDM, es vital diferenciar cada una de estas unidades por ende en cada etapa se le agrega el campo OH (overhead) el cual permite el nivel de administración remota o local del flujo de la información dentro del sistema, un detalle interesante es que a cada unidad suele añadirse la letra “k” para denotar que la unidad es flexible ya que $k=1,2,3,4,\dots$ lo que implica que la velocidad varía proporcional al valor de “k”.

Según lo expuesto por Castilla (2017) se procede a detallar las unidades de la capa eléctrica de la siguiente manera:

a) Optical Payload Unit (OPU)

Es aquella trama que proviene directamente del equipo cliente por ende posee la estructura estándar del servicio que transmite. En esta unidad el encabezado OH generado por la unidad OPU_k ocupa 8 bytes en las columnas 15 y 16 de la trama OTU_k, esta contiene diversos campos como por ejemplo datos de sincronización entre los relojes y velocidades entre la señal cliente y la trama OPU_k.

b) Optical Data Unit (ODU)

Es la unidad que se encarga de dar el acoplamiento lógico de la señal OPU de cara al hecho que será inyectado a un sistema óptico. Esta señal ocupa las

columnas 1 a 14 y las filas 2, 3 y 4 de la trama OTU, contiene 6 campos de monitoreo de secciones tándem (TCM), campos para la gestión de sistemas de protección de caminos ópticos y otros esta dedicados a la supervisión de extremo a extremo de caminos en la red OTN.

Dentro de la capa eléctrica, la trama ODU es enviada internamente (mediante un bus de conexiones integradas electrónicamente) desde la tarjeta tributaria hacia la tarjeta cross-conectora y esta a su vez la envía hacia la tarjeta de línea destino la cual procesara la trama para convertirla en la siguiente unidad.

c) Optical Transport Unit (OTU)

Esta unidad es la que finalmente se encapsula toda la información de las unidades anteriores, en otras palabras, a nivel de la capa eléctrica es la última trama. Su magnitud en Gbps determina la velocidad de línea óptica que posee una lambda (λ) en específico.

El encabezado de la trama OTUk ocupa las columnas 8 a 14 de la primera fila de su respectiva trama. Los campos SM (section monitoring) y JC contienen información de monitoreo TCM/PM/SM según el ODU transportado, de identificación del camino óptico y de soporte a funciones de supervisión del transporte de ODU.

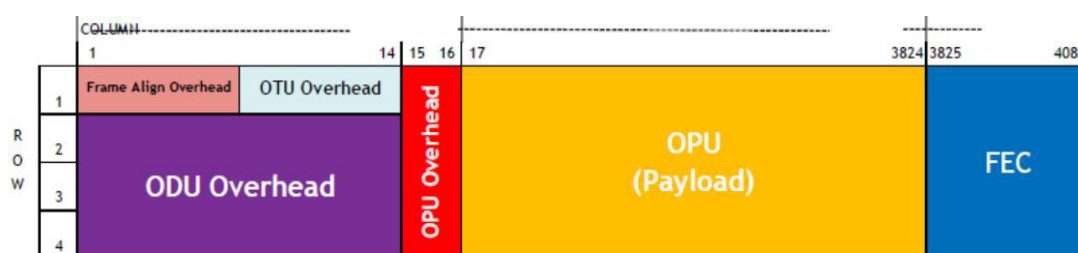


Figura 71: Estructura de la trama a nivel OTU. Fuente: Huawei (2014)

Después de obtenerse la trama final a nivel de la capa eléctrica (proceso supervisado por la tarjeta controladora), esta señal parte a nivel físico de los puertos IN/OUT de la tarjeta de línea y mediante patch cords de fibra se envía o aparecen en los puertos de entrada o salida del Mux/DeMux

respectivamente, en donde se les comenzara progresivamente a añadir las cabeceras OH pertenecientes a las secciones de la capa óptica. Procedemos a describir cada una de ellas:

d) Optical Channel (OCH)

Esta unidad es aquella que relaciona un puerto del multiplexor con su puerto correspondiente en el demultiplexor. El encabezado que se le añade es para diferenciar la λ y el puerto del Mux/DeMux que están siendo usados a este nivel de unidad. Recordemos que dicho puerto no está amarrado a una frecuencia en específico dentro de la tecnología 100G Fotonica sino más bien esta es configurable; finalmente siempre tener en cuenta que un OCh siempre contiene una única OTU.

e) Optical Multiplex Section (OMS)

Esta trama es la que vincula el puerto de salida del Mux con el puerto de entrada del DeMux o viceversa. De modo que es aquí en donde se etiqueta el encabezado con el indicador del tren de pulsos o la señal densa de ondas de luz con todos los servicios que viaja en el espectro de nodo a nodo ya que se ven directamente el puerto de recepción y transmisión de ambas unidades concentradoras.

f) Optical Transport Section (OTS)

Es aquí en donde se hace hincapié en diferenciar el tratamiento físico de la señal ya que esta unidad vincula el puerto de salida/entrada del Mux/DeMux con aquel puerto del equipo con el que físicamente se está conectando dentro del enlace de fibra, por ejemplo, un OLA en medio del camino significaría dividir el enlace DWDM de forma lógica en 2 tramas OTS. Por ende, se dice que toda λ es pasante a un nodo óptico siempre y cuando esta la cruce solo a nivel OTS.

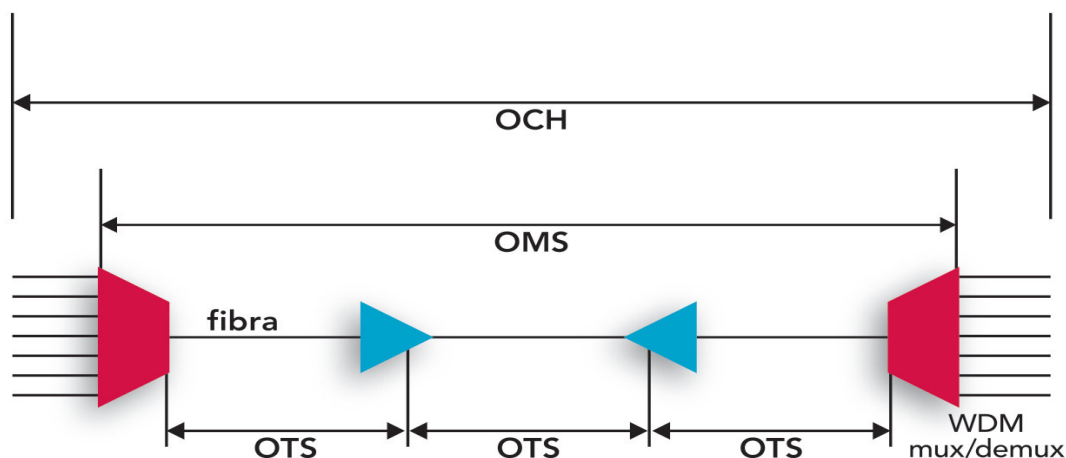


Figura 72: Estructura de las unidades de la Capa Óptica. Fuente: Littlewood et al. (2015)

Estructura de la trama OTN. En secciones anteriores se adjuntó una imagen de la estructura de la trama a nivel OTU, en dicha imagen se pudo diferenciar notoriamente la ubicación del campo FEC y de los encabezados OH de cada unidad ya que el primero va en la parte derecha (última sección) de la trama mientras que el segundo va a la izquierda (primeras instancias). En la presente sección se irán enunciando todos los campos, visibles en sus respectivos encabezados o headers, de cada unidad OTN.

a) Encabezados o headers OTN

De acuerdo a Sequeira (2017), procederemos a exponer sobre la funcionalidad de 3 campos importantes externos al encabezado y después de ello realizaremos el despliegue de información de los encabezados OH de cada unidad, esto de la siguiente manera:

- **FEC (Forward Error Correction)**

Una de las ventajas clave de OTN es el soporte de FEC en la trama OTU, que está estandarizado en el G.975 de la ITU. Este campo ocupa las cuatro filas y las últimas 255 columnas, es decir que tiene un tamaño de 4x255 bytes al final de la trama OTU. Aquí se emplea el código Reed-Solomon (255,239), el cual básicamente indica que, para cada bloque de 255 bytes, hay 16 redundantes y además se necesitan 239 bytes para computar una comprobación de paridad de 16 bytes.

El FEC puede corregir errores en un bloque de hasta 8 bytes de error

y detectar un error en un bloque con 16 bytes de error como máximo. La utilización de FEC es opcional en OTUk con $k = 1, 2, 3$ y obligatoria en OTU4.

Castilla (2017) expone que usar la técnica Reed-Solomon RS (255,239) mejora el BER del canal al corregir errores sin utilizar retransmisiones de forma que se permite alcances mayores distancias sin regeneración o amplificación. Gracias a este método el margen de calidad OSNR se puede aumentar en 6,2dB e inclusive existe la versión para sistemas mejorados e-FEC (Enhanced Forward Error Correction) en donde se llega a mejorar la calidad de la transmisión en hasta 8,4dB.

Finalmente Littlewood et al. (2015) afirma que FEC ha demostrado ser eficiente para corregir una cantidad muy grande de errores en la transmisión producto de interferencias u otros impedimentos presentes en las transmisiones de alta capacidad, esto lo logra gracias a que los bloques se entrelazan entre sí para aumentar la longitud de las ráfagas de error que se pueden corregir. Es así que se les hace viable permitirse a los mismos proveedores de servicios extender la distancia entre repetidores ópticos lo que se traduce en términos administrativos a decir que FEC contribuye a reducir los gastos tanto operativos como de capital, a la vez que simplifica la topografía de la red gracias a la capacidad de saltarse nodos ópticos de amplificación (por ejemplo, un OLA).

- **FAS (Frame Alignment Signal)**

Este campo es generado en la fase de creación de la unidad OTUk. Castilla (2017) indica que una de las funciones que tiene este campo FAS es para el sincronismo de inicio de trama OTU, con seis bytes constantes (0xF6F6F6282828).

- **MFAS (Multiframe Alignment Signal)**

Algunos de los campos del encabezado transportan información que se dispersa en múltiples tramas, denominadas “multitramas”, es con estas multitramas que el campo MFAS trabaja. Según Castilla (2017) este campo es de un byte de tamaño y se utiliza como señal de alineamiento multitrama y básicamente se incrementa cíclicamente con cada trama proporcionando 256 valores que indican el número de la trama dentro

de una multitrama. Adicionalmente es importante recalcar que el byte MFAS se utiliza para sincronizar bytes de multitramas; con todo lo expuesto se dice que este campo sirve para el armado de información de forma óptima (sincronizada y ordenada) transportada en una cantidad fija de tramas OTU.

b) Encabezado OTU

Son las que poseen la información a nivel de canal óptico o lambda; a continuación, procederemos a describir los campos de dicho encabezado:

- **SM (Section Monitoring)**

Este campo es un poco más complejo ya que está formado por 3 bytes y cada byte describe una función en específico, estos son: TTI – Trail Trace Identifier, BIP – Bit Interleaved Parity y un byte el cual es en realidad un conjunto de Señales de Alarma.

El campo TTI tiene una longitud total de 64 bytes que se suman a lo largo de toda una multitrama, de los cuales los primeros 32 bytes llevan las identificaciones de los dos extremos y los restantes 32 bytes son específicos del operador.

Por otro lado, el campo BIP es un byte de paridad que permite el monitoreo del error y finalmente tenemos el byte de señales de alarma dentro del cual se encuentran: BEI (Backward Error Indicator), BIAE (Backward Incoming Alignment Error), BDI (Backward Defect Indication), IAE (Incoming Alignment Error).

Los 4 bits del BEI / BIAE indican el número de errores medidos con el byte BIP-8, o pueden indicar que hay un error de entrada de alineación.

Los 2 bits del campo BDI indica si hay un defecto de señal y los 2 bits de IAE indican al receptor que el emisor ha detectado un error de alineación.

- **GCC0 (General Communication Channel 0)**

En este campo de 2 bytes se proporciona un canal limpio de conexión entre los puntos de terminación OTU o lo que físicamente se percibe a nivel de puertos IN/OUT de las tarjetas de línea que se ven frente a frente dentro del enlace óptico DWDM.

c) Encabezado ODU

Empaqueta la información proveniente del lado cliente del enlace DWDM,

los campos del encabezado ODU son los siguientes:

- **PM (Path Monitoring)**

Está conformada por 3 bytes los cuales son utilizados para supervisar la ruta de extremo a extremo. La estructura que posee es similar al campo de supervisión de sección de 3 bytes (SM) descrito anteriormente para el encabezado OTU, es decir incluye bytes para TTI, BIP-8 y señales de alarma.

Es en el byte de las señales de alarma en donde radica la diferencia entre PM y SM ya que se incluyen un campo de estado de supervisión de enlace (STAT) y un bit que señala el comienzo de una prueba de medición del retraso (DMp – Delay Measurement). Este campo STAT es bastante versátil porque puede usarse para transportar una señal de indicación de alarma (AIS – Alarm Indication Signal) o llevar otras señales, como por ejemplo indicar que el canal óptico está abierto.

- **TCM (Tandem Connection Monitoring)**

En este caso el campo está conformado por seis campos TCM, cada uno de 3 bytes y tienen la misma estructura que el campo PM descrito anteriormente. Una característica interesante de este campo es que un operador de red puede utilizar un campo TCM para supervisar el comportamiento de errores de una señal para diferentes aplicaciones, por ejemplo, supervisar la conexión a través de la red pública.

Debido a que las normas no especifican quién debe utilizar los campos TCM, los operadores de red deben negociar un acuerdo bilateral para estandarizar esto. Cabe aclarar que de acuerdo a ITU-T (2020) los campos TCM ACT y FTFL fueron sacados en la última versión estándar de la trama OTN en general y en sus ubicaciones se colocaron en los bytes de ampliación del campo EXP.

- **GCC1 y GCC2 (General Communications Channel)**

Los presentes campos describen un canal de comunicación de 2 bytes para cada uno similar al campo GCC0 en el encabezado OTU.

- **APS/PCC (Automatic Protection Switching / Protection Communication Channel)**

Este campo está formado por 4 bytes que proporcionan un canal para transportar información de señalización para la conmutación

automática de protección también conocido como APS en sus siglas en inglés. El APS es versátil ya que está soportado en diferentes niveles de monitoreo.

- **EXP (Experimental)**

Básicamente este campo formado por 4 bytes está reservado para propósitos experimentales y pueden ser utilizados por operadores y vendedores en general. Recordemos lo mencionado líneas arriba sobre el cambio del renombramiento de algunos campos TCM como EXP por lo cual se debe resaltar que la imagen que subyace al final de esta sección muestra la estructura de la trama OTN anterior a este último cambio.

- **RES (Reserved)**

Estos bytes están reservados para futuras estandarizaciones que se realicen dentro de toda comunicación óptica del tipo DWDM.

d) Encabezado OPU

Empaqueta la información proveniente del equipo cliente (equipos SDH, routers, switches, firewalls) del enlace DWDM, los campos del encabezado OPU son los siguientes:

- **PSI (Payload Structure Identifier)**

Este byte forma parte de un determinado mensaje multitrama de 256 bytes en total el cual en sumatoria describe la carga útil. El primer byte del mensaje es PT (Payload Type) y lo que hace es identificar el tipo de carga útil que se transporta en el interior de la trama.

- **JC, NJO, PJO Justification**

Estos campos tienen la finalidad de hacer frente a las diferencias en las velocidades de reloj típicas de esta unidad, por ende, la unidad OPU agregará o quitará un byte de datos de la carga útil de la trama OTN.

De esta manera el byte JC (Justification Control) indica si los datos se transportarán por alguno de los siguientes dos bytes: NJO (Negative Justification Opportunity) o por el byte PJO (Positive Justification Opportunity), de modo que con estos 3 bytes se logra controlar de forma granular las diferencias entre los relojes y velocidades de la señal cliente y la trama OPUk.

		Columns																
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
Rows	1	FAS				MFAS		SM			GCC0		RES		JC	RES		
	2	RES	TCM ACT	TCM6			TCM5			TCM4		FTFL		JC	RES			
	3	TCM3		TCM2		TCM1			PM			EXP		JC	RES			
	4	GCC1	GCC2	APS/PCC				RES					PSI	NJ0	PJ0			

Figura 73: **Estructura de los encabezados de una trama OTN.** Fuente: Sequeira (2017)

Modelo DWDM IP Fotónico ASON. Como parte de la propuesta de solución ante los problemas de conectividad en la región Puno se dimensiona usar la arquitectura ASON, la cual posee la versatilidad suficiente para sobreponerse a los embates de los fenómenos climatológicos que constantemente rompen la fibra en la zona. Las siglas en ingles de ASON significa “Automatic Switch Optical Network” que nos da a entender que es aquella red que conmuta el enlace cuando este está dañado por otro operativo, esta conmutación implica reenrutar o reenviar el tráfico.

Según Torres (2015) esta tecnología también suele llamarse G.ASON el cual está regulado de acuerdo a la Recomendación de la ITU-T G.8080 / Y.1304 con lo cual se convierte en una tecnología de referencia mundial, es aquí es en donde se crea una definición plena de la operación de las redes de transporte óptico de conmutación automática, dicha definición se basa en planos funcionales de gestión, control, y datos.



Figura 74: Comunicación entre los planos funcionales. Fuente: Torres (2015)

Características de una red ASON. De acuerdo a Torres (2015) la tecnología ASON tiene diferentes características entre las más resaltantes podemos mencionar:

- Escalabilidad para agregar nuevos servicios ópticos
- Alta capacidad para enrutar dinámicamente
- Estabilidad y escalabilidad en el sistema de gestión
- Restauración eficiente de los servicios

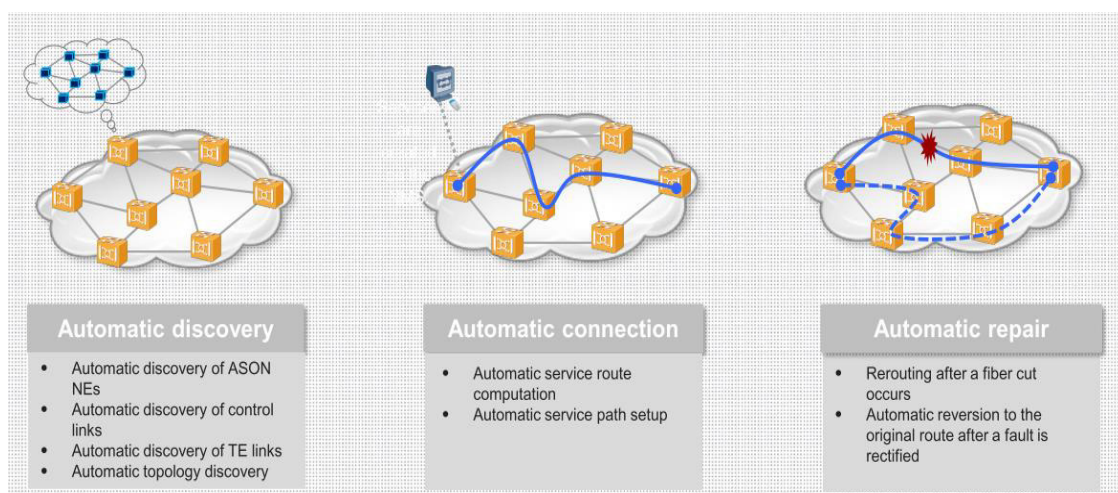


Figura 75: Características de una red ASON. Fuente: Huawei (2020)

Planos funcionales de una red ASON. Según lo que menciona Torres (2015) las redes ASON estas constituidas por 3 grandes planos: transporte (o datos), control y gestión; dentro de cada una de ellas existen estructuras y funciones siempre manteniendo la vital y fuerte relación de simbiosis que permanece entre ellas. En las siguientes líneas se describirán cada uno de estos planos.

a) **Plano de Transporte**

b) **Plano de Control**

c) **Plano de Gestión**

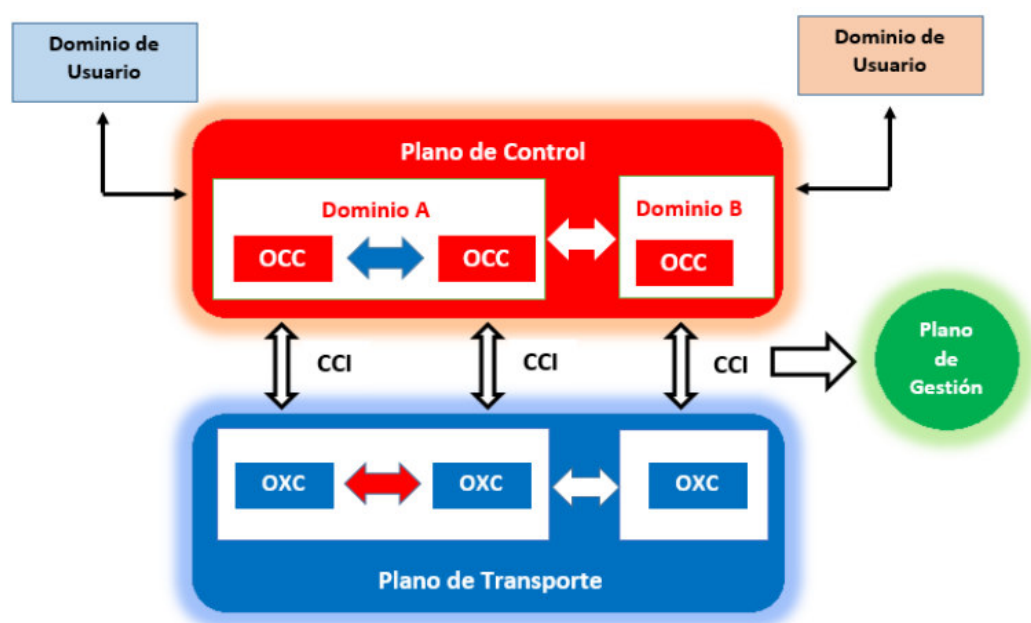


Figura 76: Comunicación entre los planos de Transporte y Control.

Fuente: Torres (2015)

Interfaces del plano de control. De acuerdo a lo que expone Torres (2015) se sabe que en el standard ITU-T G.807/Y.1304 se definen las interfaces lógicas (también conocidos como puntos de referencia) dentro de una red de transporte óptico típica. Es ahí en donde se indica que estos puntos de referencia pueden ser soportados por interfaces múltiples, estos son la UNI, la I-NNI y la E-NNI.

Cabe resaltar que existen múltiples dominios dentro de la ASON y que las

UNI y E-NNI se utilizarán, en particular, para la señalización de control entre dominios, pero existen adicionalmente las interfaces NMI-A y NMI-T.

- Interfaz NMI-A (Network Management Interface for ASON Control Plane).
- Interfaz NMI-T (Network Management Interface for ASON Transport Plane)
- Interfaz UNI (User Network Interface)
- Interfaz I-NNI (Internal Network to Network Interface)
- Interfaz E-NNI (External Network to Network Interface)

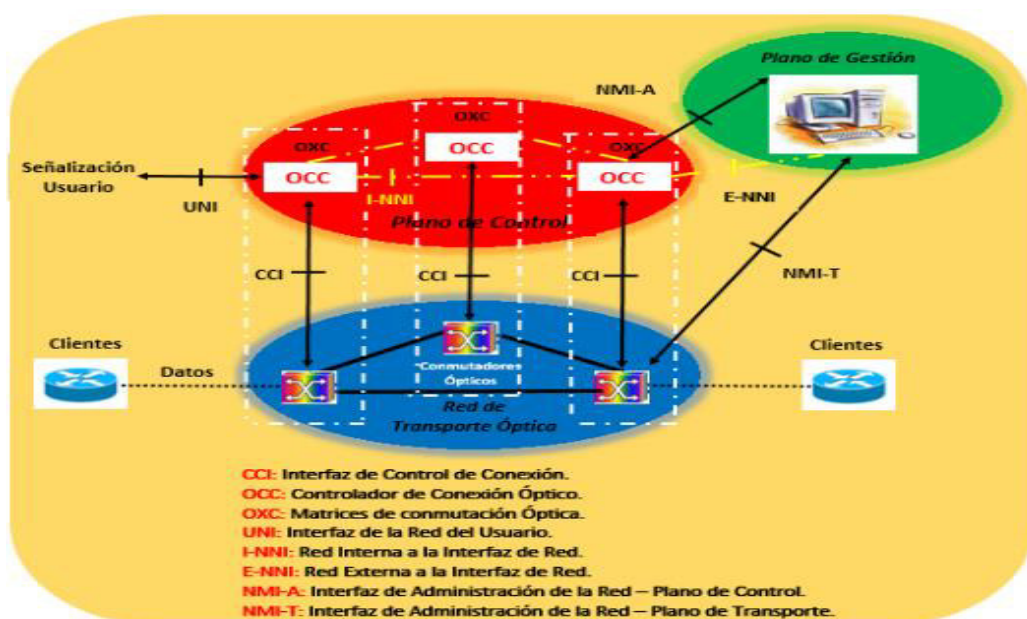


Figura 77: Detalle de las interfaces dentro de la red ASON. Fuente: Torres (2015)

Tipos de enlaces en una red ASON. Como podemos notar una red ASON es bastante delicada y posee determinadas conexiones o enlaces únicos que se encargan de transmitir el algoritmo de esta red inteligente entre todos los planos.

Según Huawei (2020) se tienen los tipos de enlaces:

- Enlace de Control
- Enlace de Datos (Enlace de Miembro)
- Enlace TE

Protocolos en una red ASON. Una red ASON usa de manera análoga a una red IP una determinada cantidad de protocolos para poder elaborar su tabla de rutas ópticas ASON, tanto es la similitud que los nombres de dichos protocolos son muy similares tal y como describiremos en la siguiente sección.

Según Huawei (2020) se tienen los siguientes protocolos:

- LMP
- OSPF-TE
- RSVP-TE
- CSPF

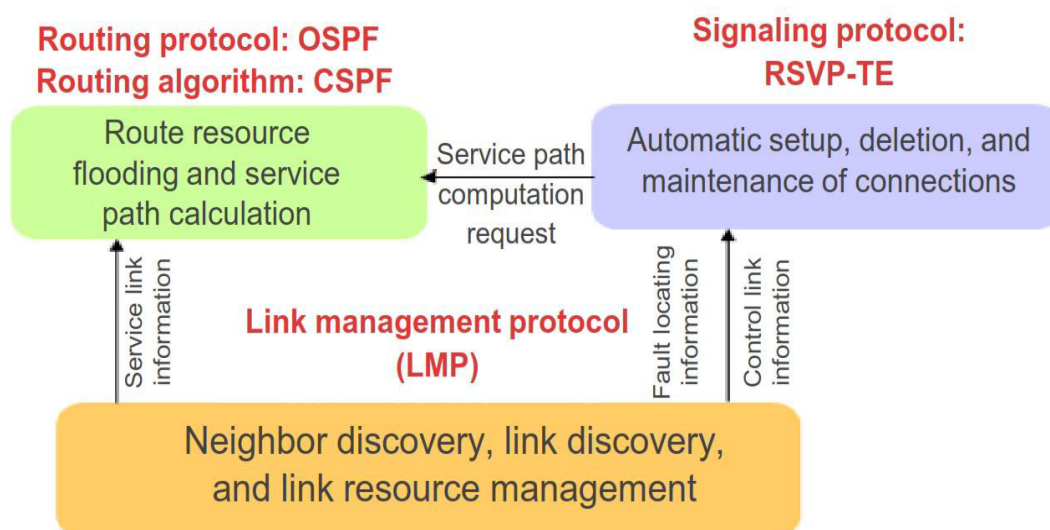


Figura 78: Comunicación entre los protocolos ASON. Fuente: Huawei (2020)

CAPITULO VIII: GLOSARIO

<i>ADSS</i>	: Las siglas significan “All Dielectric Self Supported” y se trata de un tipo de cable de F.O completamente dieléctrico y autosoportado.
<i>Back Bone</i>	: Terminó usual en las telecomunicaciones que hace referencia a la red principal o troncal como lo es una red Dorsal de F.O.
<i>Benchmark</i>	: Indicador de presencia de una determinada compañía en el mercado de operación al que pertenece.
<i>Buffers</i>	: Agrupaciones internas de 12 hilos con revestimiento protector que se encuentran dentro del cable de F.O.
<i>Datacomm</i>	: Línea de producto de Huawei que maneja routers y switches (capa 2 y 3).
<i>DMZ</i>	: Las siglas significan “Demilitarized Zone”, área lógica en donde se suelen instalar los servidores Web, DNS, SMTP, FTP entre otros.
<i>E1</i>	: Unidad básica que es capaz de tratar la tecnología SDH, ésta posee una velocidad de 2 Mbps.
<i>FPGA</i>	: Sus siglas significan “Field Programmable Gate Arrays” y se trata de circuitos integrados reconfigurables compuestos de interconexiones programables que combinan bloques lógicos programables, de memoria embebida y de procesamiento de señales digitales, entre otros.
<i>FTTH</i>	: Sus siglas significan “Fiber to the Home” y se trata de la arquitectura de las redes de acceso en donde se tiende la F.O hasta el hogar en donde se encuentra el equipo final del cliente o CPE.
<i>Google Earth</i>	: Software creado por Google en donde se puede observar la superficie de la Tierra mediante fotografías recientes satelitales con los que se levantan planos en línea en donde se pueden diseñar enlaces de F.O o radioenlaces de M.W.
<i>GPON</i>	: Sus siglas significan “Gigabit-capable Passive Optical Network” y se trata la tecnología base de las redes FTTH, aquí se usa una red óptica netamente pasiva con capacidad de entregar un 1Gbps de velocidad a sus abonados.
<i>Health Check</i>	: Herramienta embebida en el gestor NCE desde la cual se extrae un reporte sobre el rendimiento y estado de todo el hardware y software de un NE de la red.

<i>HFC</i>	: Sus siglas significan “Hybrid Fiber-Coaxial” y se trata de una arquitectura de las redes de acceso en donde se usa la F.O como medio de transmisión para la red anillada o troncal y el cable coaxial para los circuitos físicos de las ultimas millas de los abonados.
<i>IP Fotónico</i>	: Denominación que recibe la red DWDM que es capaz de soportar lambdas de 100Gbps además de por supuesto tener la característica CDC-G ROADM.
<i>IP-RAN</i>	: Red IP que se encarga de la capa de agregación de los servicios que provengan de la red RAN (“Radio Access Network”); de ésta provienen los servicios móviles 2G/3G/4G/4.5G/5G y en algunos escenarios también los servicios corporativos (como es el caso del presente cliente).
<i>ITU-T</i>	: Sus siglas significan “International Telecommunication Union - Telecommunication” y se trata de la comisión que se encarga de elaborar normas o estándares en las telecomunicaciones a nivel mundial.
<i>Ley de Moore</i>	: Ley que indica que el número de transistores por unidad de superficie en circuitos integrado se duplicará cada 2 años.
<i>LPL</i>	: Sus siglas significan “Local Private Line” y se trata básicamente de la conexión privada entres dos equipos de una misma compañía atravesando internet.
<i>Metro Ethernet</i>	: Es una red destinada a suministrar servicios Metro Ethernet, los cuales son servicios de conectividad MAN/WAN de nivel 2 a través de UNIs Ethernet.
<i>MSC01</i>	: Sala de datos del cliente ubicado dentro de Polo 1 en donde se ubican los equipos del core IP/MPLS, IP-RAN, DMZ y una gran variedad de servidores del cliente.
<i>NAP Perú</i>	: Institución privada sin fines de lucro que agrupa a los principales operadores de telecomunicaciones y proveedores de acceso a Internet en el Perú.
<i>NCE WebLCT</i>	: Software propietario de Huawei que se usa básicamente para la conexión local vía conexión con cable ethernet a cualquier equipo SDH, MW o DWDM.
<i>OPGW</i>	: Sus siglas significan “Optical Ground Wire” y se trata de un tipo de cable de F.O usando para levantar enlaces aéreos que necesiten apoyarse sobre postes de Media Tensión o torres de Alta Tensión.
<i>OTDR</i>	: Sus siglas significan “Optical Time Domain Reflectometer” y se trata de un instrumento que se utiliza para localizar pérdidas y roturas, averiguando la distancia a estos fallos o eventos usando una determinada atenuación patrón la cual se setea al configurar del ancho y tiempo de duración del pulso a emitir.
<i>Patch Panels</i>	: Infraestructura pasiva que se coloca muy cerca de los routers o switches para poder tener el reflejo de todos los puertos o interfaces de forma ordenada.

- PDU* : Sus siglas significan “Power Distribution Unit” y se trata de la unidad integrada al gabinete de transmisión que distribuye la energía eléctrica comercial a cada uno de los equipos de transmisión.
- PMO* : Sus siglas significan “Project Management Office” y se trata de un grupo o departamento dentro de la empresa que define y mantiene estándares para la gestión de proyectos en la organización.
- RU* : Sus siglas significan “Rack Unit” y se trata de la unidad básica de medida de la altura de los equipos de telecomunicaciones que se instalen dentro de un gabinete en general.
- Sala Softswitch* : Sala de datos del cliente ubicado dentro del nodo de VES en donde se ubican los equipos del core IP/MPLS, IP-RAN, DMZ y una gran variedad de servidores del cliente.
- VPN SSL* : Sus siglas significan “Virtual Private Network Secure Sockets Layer” y se trata de una conexión privada o túnel de naturaleza cliente – servidor, atravesando internet, que posee un alto nivel de seguridad porque encripta la información con potentes algoritmos para que de esa manera cuando se intercepte la data en algún punto intermedio, ésta no pueda ser leída o descifrada.