

UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS

Facultad de Ingeniería de Sistemas

Programa de Ingeniería de Telecomunicaciones

Diseño de Minutogramas y Automatización del Análisis Topológico para la Planificación de Ventanas de Mantenimiento en Redes DWDM/OTN

*Informe de pasantía presentado como requisito para optar al título de
Ingeniero(a) en ingeniería de telecomunicaciones*

Autor:

Sebastian David Vizcaino Torres

Tutor institucional:

Jesús Augusto Guzmán Lozano — Ingeniero de sistemas

Empresa:

HUAWEI TECHNOLOGIES COLOMBIA S.A.S.

Bogotá D.C., Julio de 2026

PÁGINA DE ACEPTACIÓN

Presidente del jurado	_____
Jurado 1	_____
Jurado 2	_____
Tutor institucional	_____
Director(a) del Programa	_____

Bogotá D.C., ____ de _____ de 20__

DEDICATORIA

A mi familia, por ser el pilar fundamental a lo largo de esta etapa, brindándome su apoyo incondicional y la motivación necesaria para culminar este gran logro profesional. A la Universidad Santo Tomás y a mis profesores, por guiar mi camino académico y sembrar en mí la pasión por la ingeniería y la excelencia.

AGRADECIMIENTOS

Expreso mi más sincero agradecimiento a la empresa Huawei Technologies Colombia S.A.S., especialmente al equipo del área Fixed Broadband (FBB), por abrirme las puertas de su centro de operaciones y permitirme aportar en proyectos críticos de infraestructura. De manera muy especial, agradezco a mi tutor institucional, Jesús Augusto Guzmán Lozano, por su orientación técnica, su paciencia y por compartir su vasta experiencia, la cual fue clave para el éxito de esta pasantía y la consolidación de este trabajo.

RESUMEN

En el marco de la pasantía desarrollada en Huawei Technologies Colombia S.A.S., dentro del departamento de Fixed Broadband (FBB), este trabajo aborda la optimización técnica en la modernización de nodos de transmisión DWDM/OTN. El principal desafío radica en el riesgo de afectación a clientes finales durante las ventanas de mantenimiento, debido a la planificación manual y extensa de rutas de canales ópticos (OCh). Para solucionarlo, se implementó una metodología basada en dos ejes: el diseño de minutogramas estandarizados para controlar rigurosamente la ejecución y las potencias ópticas, y el desarrollo de un código en Python que automatiza el análisis de reportes ASONTRAIL del iMaster NCE-T. Como resultado, se redujo en un 50% el tiempo de generación de topologías de red y mapas de impacto (pasando de 3 días a 1.5 días hábiles), minimizando el riesgo de error humano en las migraciones físicas y lógicas. Cabe destacar que la información de red, puertos y topologías expuesta en este documento ha sido anonimizada para proteger la confidencialidad de la infraestructura del operador. Se concluye que la automatización es un pilar fundamental para garantizar los Acuerdos de Nivel de Servicio (SLA) en redes de alta capacidad.

Palabras clave:

DWDM, OTN, Ventana de Mantenimiento, Minutograma, Python, iMaster NCE-T, ASON.

ABSTRACT

As part of an internship at Huawei Technologies Colombia S.A.S. within the Fixed Broadband (FBB) department, this project addresses the technical optimization of DWDM/OTN transmission node upgrades. The main challenge lies in the risk of disrupting end customers during maintenance windows, due to the manual and time-consuming planning of optical channel (OCh) routes. To address this, a methodology was implemented based on two pillars: the design of standardized minute-by-minute schedules to rigorously control execution and optical power levels, and the development of a Python code that automates the analysis of ASONTRAIL reports from the iMaster NCE-T. As a result, the time required to generate network topologies and impact maps was reduced by 50% (from 3 days to 1.5 business days), minimizing the risk of human error in physical and logical migrations. It should be noted that the network, port, and topology information presented in this document has been anonymized to protect the confidentiality of the operator's infrastructure. It is concluded that automation is a fundamental pillar for ensuring Service Level Agreements (SLAs) in high-capacity networks.

Keywords:

DWDM, OTN, Maintenance Window, Minute Chart, Python, iMaster NCE-T, ASON.

TABLA DE CONTENIDO

AGRADECIMIENTOS	4
RESUMEN	5
ABSTRACT	6
TABLA DE CONTENIDO	7
LISTA DE FIGURAS	9
LISTA DE TABLAS	9
1. INTRODUCCIÓN	11
2. DESCRIPCIÓN DE LA EMPRESA / ORGANIZACIÓN.....	12
2.1 Datos generales	12
2.2 Misión y visión	12
Misión	12
Visión.....	12
2.3 Contexto del Area.....	13
3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA O NECESIDAD IDENTIFICADA	14
3.1 Descripción del problema	14
3.2 Pregunta problema	14
3.3 Justificación.....	14
4. OBJETIVOS.....	15
4.1 Objetivo general	15
4.2 Objetivos específicos.....	15
5. MARCO REFERENCIAL.....	16
5.1 Marco contextual	16
5.2 Marco teórico.....	16
5.3 Marco tecnológico	23
5.4 Marco legal y normativo	25
6. METODOLOGÍA	28
6.1 Tipo y enfoque de la investigación / intervención	28
6.2 Fases del trabajo	29

6.3 Técnicas e instrumentos.....	32
6.4 Cronograma de actividades.....	33
7. DESARROLLO DE ACTIVIDADES Y RESULTADOS	36
7.1 Fase 1 — Análisis del Entorno Operativo y Diagnóstico Técnico.....	37
7.1.1 El problema de la latencia en el análisis manual	37
7.1.2 Evidencias y resultados	38
7.1.3 Problemas encontrados y soluciones	41
7.2 Fase 2 — Diseño Estructural del Minutograma de Mantenimiento.....	43
7.2.1 Puntos de Control Preliminares (Checkpoints) y Backup.....	43
7.2.2 Gestión de Potencia Óptica y Umbrales Críticos	44
7.2.3 Protocolo de Contingencia y el "Punto de No Retorno" (Rollback a las 5:00 AM)	45
7.3 Fase 3 — Arquitectura y Desarrollo del Script de Automatización en Python ...	46
7.3.1 Módulo 1: Ingesta y Cruce de Bases de Datos (Data Merging)	46
7.3.2 Módulo 2: Limpieza y Estructuración Jerárquica.	47
7.3.3 El Proceso de Debugging y Mapeo Físico (Old vs. New Local Fibers).	49
7.3.4 Módulo 3: Renderizado Visual en PowerPoint y Facilidad Operativa.	49
7.4 Caso de Aplicación Real: Modernización Nodos.....	50
7.4.1 Descripción del Escenario de Migración	50
7.4.2 Generación Automatizada del Entregable	51
7.4.3 Ejecución del Minutograma.....	52
7.5 Evaluación de Resultados y Análisis de Impacto Operativo.....	53
7.5.1 Reducción Drástica de los Tiempos de Planeación (SLA Interno).....	53
7.5.2 Impacto en la Cadena de Aprobación y Ejecución con el Cliente	54
7.5.3 Optimización del Despliegue de Ingeniería.....	54
8. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN.....	55
8.1 Interpretación de resultados	55
8.2 Conexión con la formación en ingeniería	56
8.3 Comparación con estándares y referentes.....	56
8.4 Limitaciones del trabajo.....	57
9. CONCLUSIONES	58
10. RECOMENDACIONES	59
10.1 Para la empresa	59
10.2 Para futuros pasantes	60
10.3 Para el programa académico	61

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS..... 62

LISTA DE FIGURAS

Ilustración 1 REPRESENTACIÓN GRAFICA DWDM,
FUENTE: <https://www.qsfptek.com/es/qt-news/overview-of-dwdm-system-of-the-capmus-network.html?srsId=AfmBOoobD8kbrsKgqWeAseucT3CTefPI7KCJoQ46gw9EWRqEEclALKuZ>..... 17

Ilustración 2 Representación gráfica de arquitectura ASON, FUENTE: Huawei technologies..... 19

Ilustración 3 MINUTOGRAMA(Plan de ejecución), FUENTE: Elaboración propia..... 38

Ilustración 4 Fragmento del plan de ejecución del minutograma, FUENTE: Elaboración propia..... 38

Ilustración 5 Fragmento del plan de ejecución del minutograma, FUENTE: Elaboración propia..... 39

Ilustración 6 Fragmento del plan de ejecución del minutograma, FUENTE: Elaboración propia..... 40

Ilustración 7 Topología automatizada con formato condicional de jerarquías, FUENTE: Elaboración propia..... 40

Ilustración 8 Diagrama de flujo de la automatización en Python, FUENTE: Elaboración propia..... 48

Ilustración 9 Fragmento del código de Python, FUENTE: Elaboración propia..... 50

Ilustración 10 Enlaces ópticos, FUENTE: Huawei Technologies 51

LISTA DE TABLAS

Tabla 1 Lista de abreviaturas, FUENTE: Elaboración propia..... 10

Tabla 2 Marco tecnológico, FUENTE: Elaboración propia..... 23

Tabla 3 Marco legal y normativo, FUENTE: Elaboración propia..... 25

Tabla 4 Fases metodológicas de la pasantía, FUENTE: Elaboración propia..... 31

Tabla 5 Cronograma, FUENTE: Elaboración propia..... 35

Tabla 6 Problemas encontrados y soluciones, FUENTE: Elaboración propia..... 41

Tabla 1 Lista de abreviaturas, FUENTE: Elaboración propia

Sigla / Abreviatura	Significado
ITSM	Information Technology Service Management
VBA	Visual Basic for Applications
ASON	Automatically Switched Optical Network (Red Óptica con Conmutación Automática)
BER	Bit Error Rate (Tasa de Errores de Bits)
DWDM	Dense Wavelength Division Multiplexing (Multiplexación por División de Longitud de Onda Densa)
EDFA	Erbium Doped Fiber Amplifier (Amplificador de Fibra Dopada con Erblio)
FBB	Fixed Broadband (Banda Ancha Fija)
FEC	Forward Error Correction (Corrección de Errores Hacia Adelante)
NCE-T	Network Cloud Engine for Transmission (Motor de Nube de Red para Transmisión)
NOC	<u>Network</u> Operations Center (Centro de Operaciones de Red)

1. INTRODUCCIÓN

El sector de las telecomunicaciones experimenta una demanda sin precedentes impulsada por el consumo masivo de datos. Para soportar esta carga, operadores y proveedores de infraestructura, como Huawei Technologies, lideran la modernización de redes de transporte mediante tecnologías DWDM (Dense Wavelength Division Multiplexing) y OTN (Optical Transport Network), incrementando las capacidades a niveles de Terabits por segundo.

Desde la perspectiva de la ingeniería de telecomunicaciones, la actualización de estos nodos físicos es un procedimiento de alta criticidad. Durante las denominadas "ventanas de mantenimiento", los ingenieros deben migrar servicios en vivo, lo que implica desconexiones físicas y lógicas que, de no ser controladas milimétricamente, resultan en interrupciones masivas.

El problema principal abordado en esta monografía es la ineficiencia y el riesgo de error humano derivados del procesamiento manual de datos para dichas migraciones. Históricamente, el levantamiento de topologías y el análisis de impacto (ASONTRAIL) tomaba extensas jornadas de trabajo para cada nodo.

El presente informe detalla la solución implementada durante la pasantía en el área FBB: la estandarización operativa a través de "minutogramas" y la creación de un script de automatización en Python. Se describe cómo esta integración tecnológica transformó un proceso manual riesgoso en un flujo de trabajo ágil, seguro y escalable.

2. DESCRIPCIÓN DE LA EMPRESA / ORGANIZACIÓN

2.1 Datos generales

Razón social	Huawei Technologies Colombia S.A.S. Huawei Technologies Colombia S.A.S.
NIT	830.140.321-0
Sector económico	Tecnología y Telecomunicaciones (ICT)
Ciudad	Bogotá D.C.
Sitio web	www.huawei.com.co
Área de práctica	Fixed Broadband (FBB) – Optical Transmisson

2.2 Misión y visión

Misión

Llevar lo digital a cada persona, hogar y organización para un mundo totalmente conectado e inteligente.

Visión

Construir un ecosistema digital que permita el desarrollo tecnológico sostenible y eficiente para redes de próxima generación.

2.3 Contexto del Area

El departamento de *Fixed Broadband* (FBB) de Huawei Technologies Colombia constituye el núcleo estratégico dedicado al diseño, despliegue, modernización y mantenimiento de las redes de transporte óptico de alta capacidad a nivel nacional. Esta área es la responsable directa de garantizar la evolución y estabilidad de la infraestructura *backbone* (troncal) que soporta el tráfico masivo de datos, voz y video de los principales operadores de telecomunicaciones (ISP) del país.

Para lograrlo, FBB gestiona plataformas físicas y lógicas de última generación, administrando arquitecturas de red basadas en multiplexación por división de longitud de onda densa (DWDM) y redes de transporte óptico (OTN). La operación técnica se fundamenta en la implementación de hardware especializado, como la serie de nodos ópticos multiservicio OptiX OSN 9800, operando bajo la orquestación centralizada de sistemas definidos por software (SDN) como el *iMaster Network Cloud Engine for Transmission* (NCE-T).

Entre las funciones críticas que ejecuta el área destacan la planificación topológica de la red óptica, el enrutamiento dinámico de servicios mediante protocolos ASON, la ejecución de migraciones de infraestructura crítica durante ventanas de mantenimiento nocturnas y la gestión estricta de métricas de desempeño físico (como OSNR y atenuaciones de potencia). De esta manera, el departamento asegura el cumplimiento de los Acuerdos de Nivel de Servicio (SLA) exigidos por los clientes.

3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA O NECESIDAD IDENTIFICADA

3.1 Descripción del problema

En proyectos de modernización de redes de transporte óptico, la migración de lambdas y tarjetas DWDM involucra cientos de conexiones lógicas (canales OCh) y múltiples fibras físicas. Los ingenieros de soporte dedican excesivas horas a la elaboración manual de planes de acción (MOPs) y a dibujar las topologías lógicas de red para cada ventana de mantenimiento.

Este enfoque manual no solo es ineficiente en términos de tiempo-hombre, sino que también introduce un alto riesgo de error humano. Un puerto erróneo en el análisis de impacto o un mal mapeo de las fibras locales (Old Local Fibers vs New Local Fibers) durante la madrugada puede provocar una interrupción de servicio prolongada, penalizaciones por incumplimiento de SLAs y afectación directa al cliente final.

3.2 Pregunta problema

¿De qué manera la implementación de minutogramas estandarizados y el desarrollo de herramientas de automatización en Python optimizan la planificación y ejecución de ventanas de mantenimiento para la modernización de nodos DWDM/OTN?

3.3 Justificación

Resolver esta problemática es vital desde la ingeniería porque garantiza la continuidad del servicio. Para Huawei, un error en la migración de un canal OCh de 100G o 400G se traduce en multas contractuales y degradación de Acuerdos de Nivel

de Servicio (SLA). La automatización libera al ingeniero de tareas repetitivas, permitiéndole enfocarse en el análisis de variables críticas como el OSNR (Optical Signal-to-Noise Ratio) y la gestión de potencia.

4. OBJETIVOS

4.1 Objetivo general

Optimizar la planificación técnica y apoyar la ejecución controlada de ventanas de mantenimiento en redes de transmisión DWDM/OTN mediante el diseño de minutogramas y el desarrollo de herramientas de automatización en Python para el área Fixed Broadband de Huawei.

4.2 Objetivos específicos

1. Diseñar minutogramas de ejecución estructurados que incluyan protocolos de gestión de potencia óptica (Optical Power Management) y planes de Rollback para asegurar la estabilidad durante la madrugada.
2. Desarrollar un código en lenguaje Python capaz de interpretar los reportes ASONTRAIL del NCE-T y generar topologías visuales automatizadas de las rutas de servicio.
3. Evaluar la reducción de tiempos operativos y la mitigación de errores humanos al aplicar la metodología propuesta en casos reales de modernización de la red nacional.

5. MARCO REFERENCIAL

5.1 Marco contextual

El proyecto se enmarca en las operaciones nacionales de infraestructura óptica en Colombia. Huawei provee y mantiene los equipos de la familia OptiX OSN utilizados por los principales operadores del país para sostener el tráfico de banda ancha residencial y corporativa.

5.2 Marco teórico

El desarrollo de la modernización de nodos ópticos y la automatización de procesos de ingeniería requiere de una fundamentación teórica que integre conceptos de óptica física, arquitecturas de redes de telecomunicaciones, parámetros de calidad de señal y ciencias de la computación aplicadas. A continuación, se detallan los conceptos que sustentan este trabajo.

5.2.1 Redes de Multiplexación por División de Longitud de Onda Densa (DWDM)

La tecnología DWDM (Dense Wavelength Division Multiplexing) es el pilar fundamental de las redes modernas de transporte óptico de alta capacidad (Fixed Broadband). Según Agrawal (2021), la multiplexación por división de longitud de onda permite aprovechar el inmenso ancho de banda de la fibra óptica mediante la transmisión simultánea de múltiples señales portadoras (lambdas) a través de un único hilo de fibra, donde cada señal se modula en una frecuencia de luz distinta.

En los sistemas DWDM, el espaciamiento entre canales es sumamente reducido, típicamente de 100 GHz, 50 GHz o menores, lo que permite acomodar hasta 80 o 160

canales en la banda C (1530-1565 nm) y la banda L (1565-1625 nm) del espectro infrarrojo (Keiser, 2010). Para lograr esta transmisión eficiente en nodos core y metropolitanos, como los intervenidos en este proyecto, se requiere hardware especializado, incluyendo transpondedores (para la conversión O-E-O), amplificadores ópticos de fibra dopada con erbio (EDFA) que compensan la atenuación del medio sin necesidad de conversión eléctrica, y multiplexores ópticos reconfigurables de inserción/extracción (ROADM) (Ramaswami, Sivarajan, & Sasaki, 2010). La modernización de plataformas hacia arquitecturas DWDM permite que infraestructuras legadas soporten capacidades de 100G, 200G y 400G por canal de manera transparente.

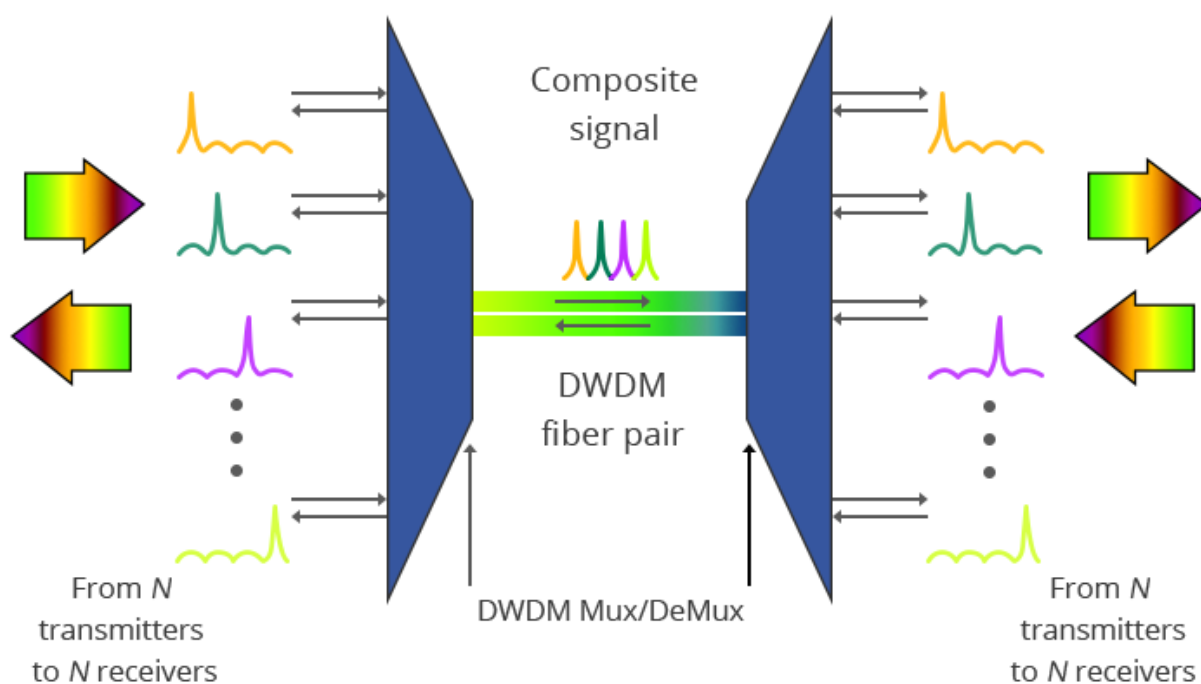


Ilustración 1 REPRESENTACIÓN GRAFICA DWDM,

FUENTE: <https://www.qsfptek.com/es/qt-news/overview-of-dwdm-system-of-the-capmus-network.html?srltid=AfmBOoobD8kbrsKggWeAseucT3CTefPI7KCJoQ46qw9EWRqEEciALKuZ>

5.2.2 Redes de Transporte Óptico (OTN)

Mientras que la capa DWDM proporciona el medio físico y óptico para la transmisión, la Red de Transporte Óptico (OTN, por sus siglas en inglés) proporciona la estructura lógica ("digital wrapper") para encapsular, gestionar y monitorear el tráfico. La Unión Internacional de Telecomunicaciones define la arquitectura OTN bajo la recomendación UIT-T G.709 (UIT-T, 2020), la cual estandariza el transporte de diversas señales cliente (como Ethernet, IP/MPLS, SONET/SDH, y video) sobre longitudes de onda ópticas.

El concepto central de OTN es la creación de contenedores digitales jerárquicos (ODUk y OTUk) que añaden información de sobrecarga (overhead) a la señal cliente. Simmons (2014) señala que esta sobrecarga es indispensable para funciones avanzadas de OAM (Operations, Administration, and Maintenance), permitiendo el monitoreo del desempeño de la señal de extremo a extremo sin interrumpir el tráfico. Además, OTN implementa algoritmos de Corrección de Errores Hacia Adelante (FEC, Forward Error Correction), los cuales añaden bits redundantes a la trama para que el receptor pueda identificar y corregir errores introducidos por el ruido y la dispersión en la fibra, extendiendo dramáticamente las distancias de transmisión antes de requerir regeneración (Alwayn, 2004).

5.2.3 Arquitectura de Red Óptica con Conmutación Automática (ASON)

Las redes tradicionales operaban bajo enrutamientos estáticos configurados manualmente, lo que las hacía vulnerables a cortes físicos de fibra. Para resolver esto, surge la arquitectura ASON (Automatically Switched Optical Network), introducida por el estándar UIT-T G.8080 (UIT-T, 2012). ASON separa los planos de la red en: plano de transporte (el hardware óptico), plano de control (el cerebro lógico de enrutamiento) y plano de gestión (el sistema administrador, como el iMaster NCE-T).

Mukherjee (2006) explica que el plano de control ASON, utilizando protocolos derivados de GMPLS (Generalized Multi-Protocol Label Switching) como OSPF-TE y RSVP-TE, otorga a la red óptica la capacidad de descubrir topologías automáticamente, enrutar servicios basándose en el estado en tiempo real de los enlaces, y ejecutar mecanismos de restauración (Restoration) y protección. En escenarios de mantenimiento o modernización de nodos, ASON es crítico, ya que los canales ópticos (OCh) pueden contar con múltiples rutas de respaldo ("Presets") precalculadas. Entender esta dinámica teórica es lo que permite que el diseño automatizado de topologías diferencie la "Ruta de Trabajo" de la "Ruta Preset", garantizando el tráfico del cliente ante interrupciones.

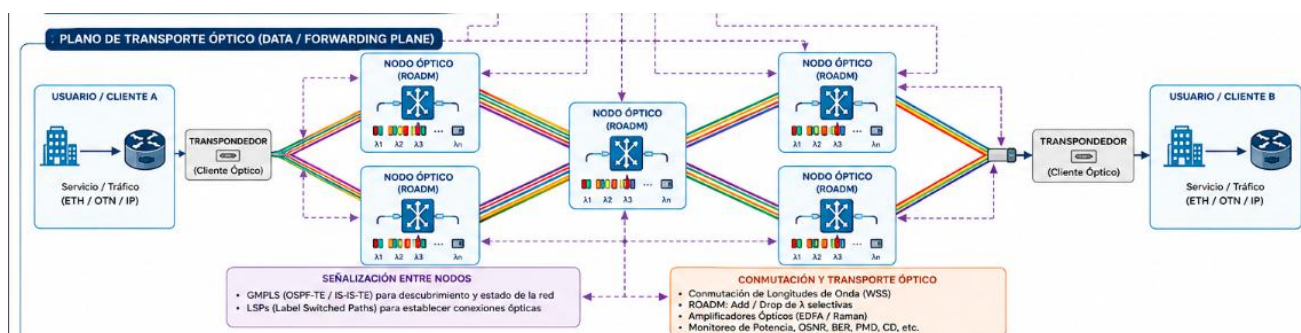


Ilustración 2 Representación gráfica de arquitectura ASON, FUENTE: Huawei technologies

5.2.4 Parámetros Críticos de Calidad Óptica: Potencia y OSNR

Durante cualquier migración en infraestructura DWDM, el aseguramiento del servicio depende de leyes físicas estrictas. Dos de los parámetros fundamentales que un ingeniero debe controlar son la potencia óptica y la Relación Señal-Ruido Óptica (OSNR).

La potencia óptica hace referencia a la intensidad de la señal lumínica transmitida (Tx) y recibida (Rx), medida en decibelios-milivatio (dBm). Según Keiser (2010), un exceso de potencia puede saturar los fotorreceptores o inducir efectos no lineales en la fibra (como mezcla de cuatro ondas o dispersión estimulada), mientras que una potencia muy baja impide la correcta detección de la señal. El "Span Loss" (Pérdida del tramo) es la atenuación calculada entre dos nodos, y la administración de estas atenuaciones (Optical Power Management) se logra ajustando atenuadores ópticos variables (VOA) para mantener la señal en su rango nominal.

Por su parte, el OSNR es la métrica de calidad más determinante en un sistema óptico amplificado. Agrawal (2021) define el OSNR como la relación entre la potencia de la señal útil y la potencia del ruido óptico introducido, principalmente, por la Emisión Espontánea Amplificada (ASE) de los amplificadores EDFA. Si el OSNR decae por debajo de un umbral específico de tolerancia de la tarjeta receptora, los errores de bits se incrementan drásticamente (Pre-FEC BER). El monitoreo de estas métricas en la ventana de mantenimiento asegura que las nuevas tarjetas receptoras sean capaces de demodular los datos exitosamente.

5.2.5 Automatización de Redes y Lenguaje Python

El crecimiento exponencial de las redes de telecomunicaciones ha hecho insostenible la gestión operativa manual, impulsando el paradigma de las Redes Definidas por Software (SDN) y la programabilidad de redes (Network Programmability). Edelman, Lowe, y Oswalt (2018) afirman que la automatización de redes busca reemplazar los procesos manuales propensos a errores con scripts lógicos y flujos de trabajo de software que interactúan con las bases de datos de la red o las API de los controladores.

En este entorno, el lenguaje de programación Python se ha posicionado como el estándar de la industria gracias a su legibilidad, eficiencia y extenso ecosistema de bibliotecas orientadas a datos. Para la extracción y modelado topológico de infraestructuras ópticas, bibliotecas como *Pandas* permiten la manipulación ágil de matrices masivas de datos espaciales y reportes de enrutamiento (como archivos CSV exportados de plataformas de gestión), mientras que bibliotecas como *NetworkX* facilitan el modelado matemático y visual mediante la teoría de grafos, donde los equipos fungen como nodos y las fibras como aristas (Chou, 2017). Esta integración teórica sustenta la capacidad del algoritmo desarrollado en el presente proyecto para reducir horas de diseño gráfico manual a segundos de procesamiento lógico.

5.2.6 Gestión de Servicios de TI y Ventanas de Mantenimiento

Desde una perspectiva organizacional, los cambios técnicos en una red nacional activa deben someterse a marcos de gobierno de TI rigurosos. El marco de trabajo ITIL v4 (Information Technology Infrastructure Library) conceptualiza la "Práctica de Habilidad del Cambio", cuyo propósito es maximizar la cantidad de cambios de TI

exitosos asegurando la evaluación adecuada de los riesgos y la autorización para proceder, minimizando las interrupciones del servicio (Axelos, 2019).

En el ámbito de la ingeniería de telecomunicaciones de transmisión, estos lineamientos se aterrizan en los MOP (Method of Procedure) o "Minutogramas". Un minutograma es un plan de ejecución cronológico, granular e inmodificable, diseñado para regir las acciones durante las "ventanas de mantenimiento" (generalmente de 00:00 a 06:00 horas, donde el tráfico de usuarios es menor). De acuerdo con las mejores prácticas ITSM (Information Technology Service Management), todo minutograma debe incluir análisis exhaustivos de impacto en Acuerdos de Nivel de Servicio (SLA) y planes de reversión (Rollback), fundamentando así la obligación de crear herramientas que garanticen una planeación libre de ambigüedades.

5.3 Marco tecnológico

Tabla 2 Marco tecnológico, FUENTE: Elaboración propia

Herramienta / Tecnología	Descripción y uso en la pasantía	Versión / Estándar
Python (Pandas, NetworkX, python-pptx)	Lenguaje de programación empleado para la extracción de datos de CSV y la realización de topologías visuales.	Fabricante: Python Software Foundation (PSF). Producto / Versión: Entorno de ejecución Python 3.10 (o superior).
iMaster NCE-T	Sistema gestor de Huawei centralizado para control, análisis e inteligencia de redes ópticas de transporte.	Fabricante: Huawei Technologies Co., Ltd. Producto: iMaster Network Cloud Engine for Transmission (NCE-T).

Equipos OptiX OSN 9800:	Hardware de transmisión DWDM de última generación.	Fabricante: Huawei Technologies Co., Ltd. Producto: Nodos multiservicio Serie OptiX OSN 9800 <i>(Modelos específicos intervenidos: Subracks U16, U32 o M24).</i>
---------------------------------------	--	--

5.4 Marco legal y normativo

Tabla 3 Marco legal y normativo, FUENTE: Elaboración propia

Norma / Estándar / Ley	Aplicación al trabajo
UIT-T G.709 / Y.1331	Define las interfaces para la Red de Transporte Óptico (OTN). Aplica directamente al proyecto, ya que rige el encapsulamiento y las tasas de transmisión (Line Rate) de los canales (OCh) que se migran durante las ventanas de mantenimiento en los nodos de Huawei. https://www.itu.int/rec/T-REC-G.709/es
UIT-T G.8080 / Y.1304	Establece la arquitectura para la Red Óptica de Conmutación Automática (ASON). https://www.itu.int/rec/T-REC-G.8080/es
UIT-T G.694.1	Estandariza las grillas de frecuencia para sistemas DWDM. Es indispensable para la parametrización del algoritmo en Python, ya que permite interpretar correctamente el espaciamiento y la frecuencia (ej. 192.800THz) extraída de los reportes del iMaster NCE-T. https://www.itu.int/rec/T-REC-G.694.1/es
ITIL v4 (Information Technology)	Marco de trabajo global para la gestión de servicios de TI. La creación de los "minutogramas" se fundamenta

Infrastructure Library)	en la práctica de <i>Gestión de Cambios</i> de ITIL, asegurando que las migraciones de madrugada cuenten con evaluación de riesgos y planes de Rollback. https://www.axelos.com/certifications/itil-service-management
ISO/IEC 27001	Rige la gestión de la seguridad de la información. Se aplica en el manejo riguroso, confidencialidad y procesamiento seguro de las bases de datos de red exportadas en formato CSV, las cuales contienen topologías críticas a nivel nacional. https://www.iso.org/standard/27001
ISO 9001:2015	Regula los sistemas de gestión de la calidad. Aplica como justificación para el desarrollo del script en Python, el cual busca estandarizar el proceso de creación de reportes topológicos, minimizando el error humano y garantizando la mejora continua del área FBB. https://www.iso.org/standard/62085.html
Ley 1341 de 2009 (Ley TIC)	Marco general del sector TIC en Colombia. El proyecto se alinea con el principio de garantizar la provisión continua y eficiente de redes y servicios de telecomunicaciones, evitando caídas masivas de la infraestructura troncal colombiana.

Resolución CRC 5050 de 2016	https://www.suin-juriscol.gov.co/viewDocument.asp?id=1677054 Emitida por la Comisión de Regulación de Comunicaciones, establece el Régimen de Calidad de los Servicios de Telecomunicaciones. Justifica el análisis estricto de impacto de clientes para evitar compensaciones económicas y fallas en los Acuerdos de Nivel de Servicio (SLA) de los operadores. https://www.crcom.gov.co/es/pagina/regimen-calidad
Ley 1581 de 2012	Ley Estatutaria de Protección de Datos Personales en Colombia. Aplica al manejo ético y reservado de la información de los clientes (operadores y empresas privadas) que transitan por los enlaces OTN analizados en los minutogramas. https://www.suin-juriscol.gov.co/viewDocument.asp?id=1669402
CONPES 3995 de 2020	Política Nacional de Confianza y Seguridad Digital. El aseguramiento de la red de transporte DWDM en Colombia se considera infraestructura crítica cibernética, y las metodologías desarrolladas protegen la disponibilidad de dicha infraestructura. https://www.dnp.gov.co/

**Resolución 0312 de
2019**

Define los estándares mínimos del Sistema de Gestión de Seguridad y Salud en el Trabajo (SG-SST). Aplica a la logística del trabajo operativo, regulando las condiciones de los ingenieros de campo y soporte NOC durante las intervenciones físicas nocturnas y de madrugada.

<https://www.mintrabajo.gov.co/>

6. METODOLOGÍA

6.1 Tipo y enfoque de la investigación / intervención

El presente trabajo de grado se enmarca dentro de una intervención tecnológica de carácter aplicado, con un enfoque mixto (cualitativo y cuantitativo). Se considera una intervención aplicada debido a que no busca únicamente la generación de nuevo conocimiento teórico, sino la resolución de un problema operativo real e inmediato dentro del área Fixed Broadband (FBB) de Huawei Technologies Colombia: la lentitud y el riesgo humano en la planificación de ventanas de mantenimiento de la red DWDM/OTN.

El enfoque cualitativo se evidencia en la estandarización de procesos mediante los Minutogramas, los cuales exigen una descripción analítica del paso a paso (Rollbacks, validaciones C1-C8). El enfoque cuantitativo se aplica en la medición de los tiempos de ejecución del script de Python y la evaluación del cumplimiento de los umbrales físicos de atenuación óptica (-3 dB de margen) y potencia.

6.2 Fases del trabajo

El abordaje del problema se estructuró a través de un diseño metodológico iterativo, dividido en cuatro fases secuenciales. Esta estructuración permitió avanzar desde la comprensión del dolor operativo hasta la validación de la herramienta en un entorno real.

- **Fase 1: Diagnóstico y Análisis Operativo (Levantamiento de Requisitos)** Durante las primeras semanas de la pasantía, el trabajo se centró en la inmersión dentro del ecosistema del área Fixed Broadband (FBB). El objetivo de esta fase fue auditar el proceso manual que ejecutaban los ingenieros para planear una ventana de mantenimiento. Se identificó de primera mano que el rastreo uno a uno de las longitudes de onda (λ) y el mapeo de los servicios cliente a través del iMaster NCE-T generaban un cuello de botella logístico que tomaba hasta tres días hábiles. Al dimensionar este problema, se definieron los requerimientos técnicos para la solución: debía ser una herramienta capaz de cruzar datos de manera autónoma y un documento que estandarizara el paso a paso en las madrugadas.

- **Fase 2: Diseño y Estandarización (Estructuración de Minutogramas)** Una vez comprendido el flujo de información, la segunda fase consistió en diseñar el "Minutograma" de ejecución. No se trató simplemente de armar una tabla de Excel, sino de construir un verdadero protocolo de mitigación de riesgos. Se estructuraron los hitos críticos de la ventana de mantenimiento agrupándolos en Checkpoints (C1 a C8). En esta fase se definió analíticamente qué parámetros físicos debían ser innegociables para el técnico en sitio, como el margen de atenuación de 3 dB y el límite de ejecución del Rollback a las 05:00 a.m. para evitar penalizaciones en el SLA.

- **Fase 3: Desarrollo Lógico e Implementación Computacional**

(Python) Esta fue la fase de mayor rigor ingenieril. Se optó por utilizar el lenguaje Python debido a su eficiencia en el manejo de grandes volúmenes de datos espaciales. El desarrollo se dividió en iteraciones: primero, se programó la ingesta de los reportes CSV exportados del NCE-T utilizando la librería pandas. Posteriormente, se diseñó el algoritmo de *Data Merging* (Left Join) para cruzar los canales físicos con los clientes lógicos. Finalmente, se integró la librería python-pptx para traducir esa matriz de datos en un renderizado visual (PowerPoint), incorporando reglas de formato condicional (colores) para facilitar la lectura bajo estrés en horas de la madrugada.

- **Fase 4: Evaluación y Pruebas en Sitio (Despliegue)** La fase final

consistió en llevar el desarrollo teórico y el código a la producción en vivo. Se seleccionaron nodos de alta criticidad para poner a prueba la solución. Durante esta etapa se cronometró el tiempo total invertido desde la exportación de los datos hasta la generación del entregable, confirmando la reducción operativa a un (1) día y medio (optimización del 50%). Asimismo, se validó empíricamente que la separación visual en el PowerPoint facilitó la identificación visual de las conexiones y redujo la probabilidad de errores operativos al momento de realizar el cruce físico de las fibras locales.

Tabla 4 Fases metodológicas de la pasantía, FUENTE: Elaboración propia

Fase	Nombre	Actividades principales	OE relacionado
1	Diagnóstico y Análisis Operativo	Recolección de reportes de red (Impacto OCh, clientes) y evaluación de los problemas causados por el análisis manual (demoras de hasta 3 días hábiles).	OE1
2	Diseño y Estandarización (Minutogramas)	Creación de la estructura cronológica para el control de la ventana nocturna, definición de puntos de control (C1-C8) y diseño del plan de Rollback a las 05:00 a.m.	OE2
3	Desarrollo Lógico e Implementación (Python)	Programación del algoritmo. Ingesta de archivos CSV con <i>pandas</i> , limpieza de datos, estructuración jerárquica de canales y renderizado en <i>python-pptx</i> .	OE3

4	Evaluación y Pruebas en Sitio	Implementación de las herramientas conjuntas en escenarios reales críticos. Medición de los nuevos tiempos de planeación (SLA interno).	OE3
---	--------------------------------------	---	-----

6.3 Técnicas e instrumentos

Para garantizar la validez, exactitud y reproducibilidad de los resultados obtenidos durante la pasantía, se seleccionaron técnicas de recolección y análisis de información coherentes con el entorno de una red nacional en producción. A continuación, se detallan los instrumentos aplicados:

1. **Observación participante directa en el entorno NOC:** Esta técnica cualitativa fue crucial para el entendimiento del problema. No se trató de una observación pasiva; implicó el acompañamiento activo y la interacción con los ingenieros del *Network Operations Center* (NOC Tx) durante las ventanas de mantenimiento operadas en la franja de 00:00 a 06:00 horas. Este instrumento permitió documentar el comportamiento humano bajo presión, la fatiga visual al leer hojas de cálculo extensas en la madrugada, y el impacto real de alarmas críticas en el gestor (como las caídas de recepción a -60 dBm). Esta vivencia justificó la necesidad de aplicar colores distintivos (rojo/blanco) en los reportes automatizados.

2. **Análisis Documental y Minería de Datos (Data Parsing):** Dado que el insumo principal de la investigación eran los datos lógicos de la red, se utilizó la extracción masiva de información como técnica primaria. El instrumento tecnológico central para esta recolección fue la plataforma de gestión **iMaster NCE-T**. A través de la función de exportación del sistema, se capturaron las matrices brutas (en formato CSV y Excel) referentes al impacto de los canales (OCh Impact) y las rutas de protección de la arquitectura ASONTRAIL (*Original Route* y *Presets*). Esta técnica garantizó que la herramienta de automatización se alimentara de telemetría real y actualizada.

3. **Pruebas de Escritorio, Simulación y Depuración (Debugging):** Durante el desarrollo del código en Python, se empleó una técnica de validación iterativa de software. Como instrumento de control, se construyeron archivos de depuración bautizados como *Debugging Antes* y *Debugging Después*. Estos registros permitieron comparar el estado de interconexión física de las tarjetas en el equipo obsoleto (Old Local Fibers) versus las posiciones calculadas para el equipo modernizado (New Local Fibers). La validación consistió en simular los cruces lógicos generados por el algoritmo antes de inyectarlos en el PowerPoint final, garantizando que el cruce matemático de las tablas no dejara clientes "huérfanos" (datos *NaN*) ni indujera a falsas topologías.

6.4 Cronograma de actividades

- **Semanas 1 a 4: Inmersión, capacitación y diagnóstico base (Fase 1)**

Las primeras semanas se dedicaron a la inducción técnica en las plataformas de

transporte óptico de Huawei (serie OptiX OSN) y al dominio del sistema iMaster NCE-T. Durante este periodo se recopilaban las métricas de rendimiento del equipo técnico, identificando que el análisis manual de impacto de canales (OCh) y enrutamientos lógicos tomaba hasta tres días hábiles. Se extrajeron los primeros reportes brutos en formato CSV para comprender la estructura de las bases de datos de la red nacional.

- **Semanas 5 a 8: Estandarización operativa y diseño del algoritmo**

(Fase 2) En este bloque se diseñó estructuralmente la plantilla del Minutograma FBB, definiendo los puntos de control (Checkpoints C1 a C8) y los umbrales físicos de potencia óptica (como el límite de atenuación de -3 dB). Paralelamente, se inició el modelado lógico del script en Python, estructurando la subrutina de ingesta de datos con la librería pandas y realizando las primeras pruebas de cruce de datos (*Data Merging*) entre la capa física de lambdas y la capa lógica de clientes.

- **Semanas 9 a 12: Programación avanzada, depuración y pruebas de**

escritorio (Fase 3) Durante este intervalo se desarrolló el núcleo de automatización gráfica e integración ofimática. Se programó el script de formato condicional utilizando la librería python-pptx para renderizar automáticamente las topologías lógicas en diapositivas, aplicando la distinción por colores (rojo claro para OCh principales y blanco para clientes). Se ejecutaron pruebas de escritorio cerradas (*debugging*) comparando la consistencia física de los puertos de interconexión (*Old Local Fibers* versus *New Local Fibers*) para asegurar que el algoritmo no generara pérdidas de conectividad lógicas.

- **Semanas 13 a 16: Despliegue en producción, evaluación y cierre académico (Fase 4)** Las semanas finales correspondieron a la puesta en marcha de la solución en ventanas de mantenimiento reales de alta criticidad en la infraestructura troncal, coordinando la migración lógica de elementos de red obsoletos hacia plataformas modernizadas. Se procedió a medir la eficiencia temporal, validando una reducción del 50% en el ciclo total de planeación de ingeniería (comprimiendo el tiempo a 1.5 días hábiles). El proyecto concluyó con la consolidación estadística de los resultados, la normalización de la documentación interna de Huawei y la redacción final del presente informe de pasantía.

Tabla 5 Cronograma, FUENTE: Elaboración propia

ACTIVIDAD	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO
Inducción corporativa y capacitación en iMaster NCE-T	X			
Auditoría del proceso manual y extracción de reportes CSV	X	X		
Análisis de fluctuación de circuitos y fallas históricas en NOC		X		
Diseño estructural del Minutograma y Checkpoints (C1-C8)			X	

Modelado del algoritmo y backend de ingesta en Python			X	
Desarrollo del módulo de jerarquías y capas de enrutamiento ASON			X	
Integración de librería python-pptx y formato condicional óptico			X	X
Despliegue en vivo en ventanas de modernización de nodos				X
Medición de KPIs de tiempo (SLA del 50%) y cierre de informe				X

7. DESARROLLO DE ACTIVIDADES Y RESULTADOS

El presente capítulo constituye el núcleo de la intervención realizada en el área Fixed Broadband (FBB) de Huawei Technologies Colombia. Se detalla el proceso de transición desde un modelo de planeación de red altamente manual y propenso a fallas, hacia un entorno operativo estandarizado mediante minutogramas y automatizado a través del lenguaje de programación Python.

7.1 Fase 1 — Análisis del Entorno Operativo y Diagnóstico Técnico

Para comprender la magnitud de la solución implementada, es imperativo analizar el estado inicial del flujo de trabajo en el departamento de FBB frente a las ventanas de mantenimiento para modernización de nodos DWDM/OTN.

7.1.1 El problema de la latencia en el análisis manual

Anteriormente, la elaboración del análisis de impacto para un nodo de agregación o core tomaba hasta tres (3) días hábiles. El ingeniero a cargo debía ingresar al gestor iMaster NCE-T y realizar un rastreo exhaustivo, canal óptico por canal óptico (OCh), para identificar cuántos y cuáles clientes dependían de cada longitud de onda. Este cruce de información en hojas de cálculo no solo representaba un desgaste humano excesivo, sino que introducía una vulnerabilidad crítica: la **fluctuación de datos**.

Las redes de transporte nacional son entes dinámicos. Durante los tres días que tardaba la elaboración del plan de ejecución, el enrutamiento lógico de los equipos fluctuaba (por ejemplo, debido a cortes de fibra en otras regiones que forzaban el tráfico a conmutar hacia las rutas de protección ASON). En consecuencia, al momento de ejecutar la ventana de mantenimiento en la madrugada, el plan documentado ya se encontraba obsoleto. Esta asincronía entre el reporte estático y la red en vivo generaba cuellos de botella severos, extendiendo los tiempos de inactividad de los servicios (downtime) y multiplicando los problemas operativos al momento de migrar las tarjetas físicas.

Con la implementación de la automatización lógica, este problema de tiempo y latencia fue reducido significativamente, permitiendo generar reportes de topología e impacto precisos y sincronizados en tiempo real pocas horas antes de la ejecución del cambio, garantizando la viabilidad de este.

7.1.2 Evidencias y resultados

MINUTOGRAMA EJECUCION DE ACTIVIDADES							
Fase	Actividad	Control	Inicio	Fin	Descripción	Responsable	Resultado-Encargado
PRUEBAS INICIALES	1		3:00 PM	3:30 PM	EN GESTIÓN: VALIDACIONES INICIALES 1. Verificar alarmas y performance en la red CUSTOMER_NETWORK . 2. Equipos a intervenir: - OLD_NE_NAME (equipo actual) - NEW_NE_NAME (equipo nuevo) 3. Realizar backup de los equipos que se manipulan durante la actividad. 4. Revisar potencias y alarmas de los equipos a manipular dentro de la red. Nota: El equipo nuevo debe estar previamente en gestión, con la función ASON habilitada, NODE ID y OSPF configurados, fibras físicas conectadas y fibras lógicas creadas.	HuaweiNOC Tx Claro	
	2	C1	3:30 PM	11:00 PM	EN GESTIÓN: VALIDACIÓN DE SERVICIOS 1. Verificar operatividad de servicios con el Centro de Operaciones de Red (NOC). 2. Validar en sitio conexiones de fibra interna de equipo nuevo, de acuerdo a la pestaña New Fiber Connections. 3. Validar performance y status de enlaces de la red. 4. Verificar estado de operatividad de trails y servicios del equipo OLD_NE_NAME (ver pestaña OCH Impact y Client Impact). Nota: Al momento de realizar el minutograma, por el equipo OLD_NE_NAME están pasando trails relacionados en las siguientes pestañas: - ASON Report Actual Route - ASON Report Original Route - ASON Report Presets Route - Traditional WDM Trails 4. Verificar desempeño de los enlaces implicados: OLD_NE_NAME @ PEER_SITE [n]	HuaweiNOC Tx Claro	

Ilustración 3 MINUTOGRAMA(Plan de ejecución), FUENTE: Elaboración propia

Plan de ejecución: Constituye la hoja de ruta cronológica y procedimental estandarizada. Este instrumento rige el paso a paso inmodificable de las actividades técnicas durante una ventana de mantenimiento, definiendo los tiempos exactos de intervención, los puntos de control obligatorios (*Checkpoints*) y la asignación de responsabilidades para cada maniobra física y lógica.

<u>OCH Impact</u>	Client Impact	ASON Report Actual Route	ASON Report Original Route	ASON Report Presets Route
-------------------	---------------	--------------------------	----------------------------	---------------------------

Ilustración 4 Fragmento del plan de ejecución del minutograma, FUENTE: Elaboración propia

OCH Impact: En este apartado se encuentran los servicios a migrar en la modernización, también se observa de donde y hacia donde va el servicio, además de sus puertos de línea.

Client Impact: En este apartado se muestran los clientes que pertenecen a cada OCH o servicio, además se observa los puertos tributarios con su origen y destino.

ASON Report actual route: Se refiere al camino físico y lógico exacto por el que está transitando la luz (el tráfico del cliente).

ASON Report Preset route: En la arquitectura de Red Óptica con Conmutación Automática (ASON), este parámetro define las rutas de protección y contingencia precalculadas (típicamente Preset 1 y Preset 2) para un canal óptico.

ASON Report Original route: Hace referencia a la trayectoria principal y óptima asignada a un canal óptico (OCh) durante su aprovisionamiento inicial.

Traditional WDM Trails	New Optical Layer Configuration	Layout Old NE	Layout New NE	Old Debugging
------------------------	---------------------------------	---------------	---------------	---------------

Ilustración 5 Fragmento del plan de ejecución del minutograma, FUENTE: Elaboración propia

Traditional WDM trails: Se refiere a canales ópticos o servicios que han sido configurados de forma manual y estática ("Hardcoded") a lo largo de la red, punto a punto, sin utilizar los beneficios del enrutamiento dinámico o los planos de control automáticos como ASON.

New optical layer configuration: Se refiere a la parametrización y verificación lógica de las tarjetas fotónicas (MUX/DEMUX, Amplificadores, ROADMs) en el nuevo equipo (el nodo modernizado), antes de empezar a pasar el tráfico real de los clientes.

Layout old NE: En este apartado se muestra los cabinets o subracks "viejos" ósea que están antes de la modernización del sitio.

Layout new NE: En este apartado se muestra los cabinets o subracks nuevos, en donde se hará la modernización del sitio.

Old debugging: En este apartado van las graficas donde se muestran las conexiones antiguas con sus respectivos ID's y tarjetas.



Ilustración 6 Fragmento del plan de ejecución del minutograma, FUENTE: Elaboración propia

New Local Fibers: Este apartado documenta el nuevo esquema de interconexión lógica a nivel local. Su propósito es mapear con exactitud los puertos y las rutas de parcheo (*patching*) proyectadas para el equipo de nueva generación tras la intervención.

Optical Power Management: Este apartado registra y controla los umbrales de potencia óptica (niveles de transmisión y recepción medidos en dBm) de las interfaces involucradas. Su función es garantizar que la atenuación tras la migración se mantenga dentro de los márgenes operativos seguros para preservar la calidad de la señal.

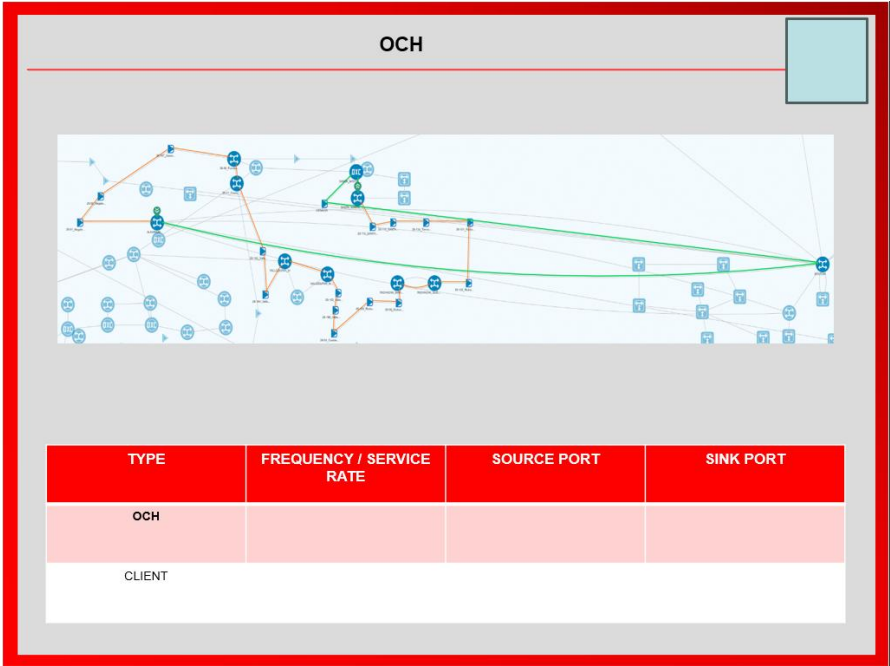


Ilustración 7 Topología automatizada con formato condicional de jerarquías, FUENTE: Elaboración propia

Topologías automatizadas: Constituyen un instrumento de apoyo visual fundamental durante las ventanas de mantenimiento. En estos entregables se grafica el enrutamiento lógico de los servicios impactados, acompañado en su sección inferior por una matriz de datos estructurada. Esta tabla expone de forma jerárquica los canales ópticos (OCh) afectados, precisando su frecuencia de operación y los puertos exactos de interconexión de origen a destino (*Source Port* y *Sink Port*).

7.1.3 Problemas encontrados y soluciones

Tabla 6 Problemas encontrados y soluciones, FUENTE: Elaboración propia

Problema / Obstáculo	Solución implementada
Valores nulos (NaN) y datos huérfanos al cruzar bases de datos: Al realizar el cruce (Left Join) de los reportes masivos extraídos del iMaster NCE-T, algunos canales ópticos (OCh) no tenían clientes asignados (o viceversa). Esto generaba valores tipo <i>Not a Number</i> (NaN) en la estructura de <i>pandas</i> que corrompían y bloqueaban la	Se implementó una subrutina de validación en el script de Python denominada <code>limpiar(valor)</code>. Esta función evalúa iterativamente si la celda es nula mediante <code>pd.isna(valor)</code> y la reemplaza algorítmicamente por un <i>string</i> vacío ("") antes de que la librería <code>python-pptx</code> intente inyectar el dato en la diapositiva, garantizando la estabilidad del software.

generación de las tablas en PowerPoint.

Fatiga visual y riesgo de confusión en la madrugada: En las primeras iteraciones de los entregables generados, el canal físico (λ) y los servicios de cliente (Ethernet/OTN) tenían el mismo formato en las tablas. Esto dificultaba el análisis visual para el ingeniero bajo condiciones de estrés y fatiga a las 03:00 a.m., incrementando el riesgo de desconectar puertos equivocados.

Obsolescencia por fluctuación de enrutamiento ASON: Durante los tres (3) días que tomaba el análisis manual, la red experimentaba cortes o cambios dinámicos (conmutación hacia rutas *Presets*), por lo que al llegar la ventana de mantenimiento

Se añadió lógica de formato condicional al motor de renderizado del código (`if tipo == "OCH" :).` Al detectar la jerarquía principal, el canal OCh se resalta automáticamente con un color de fondo rojo claro (RGB 255, 210, 210) y tipografía en negrita, contrastando con el fondo blanco de los clientes, permitiendo una lectura e identificación de dependencias instantánea en el NOC.

Al reducir el tiempo de procesamiento logístico de horas a minutos mediante la automatización, el equipo NOC Tx pudo exportar la telemetría del iMaster NCE-T y generar el MOP pocas horas antes del inicio de la ventana de mantenimiento. Esto garantizó que el esquema lógico impreso

nocturna, la topología planeada ya no correspondía a la realidad de la red en vivo.

estuviera 100% sincronizado con el estado real de la red troncal.

7.2 Fase 2 — Diseño Estructural del Minutograma de Mantenimiento

Comprendido el diagnóstico de red, la primera fase del proyecto consistió en diseñar una estructura procedimental estricta, denominada "Minutograma" o MOP (*Method of Procedure*). Este documento dejó de ser una simple lista de tareas para convertirse en un instrumento de control de riesgos, definiendo hitos exactos, umbrales de alarma y planes de contingencia físicos y lógicos.

7.2.1 Puntos de Control Preliminares (Checkpoints) y Backup

El minutograma estandarizado exige que la ventana de intervención comience invariablemente con un respaldo lógico del estado de los equipos. Antes de realizar cualquier manipulación en la capa óptica (típicamente programada entre las 00:00 y las 02:00 horas), el ingeniero del NOC Tx debe ejecutar un *Backup* completo de la base de datos de los Network Elements (NE) involucrados. Esta acción es innegociable, dado que, ante un evento de falla catastrófica, este archivo de configuración es la única garantía para restaurar el estado previo de los servicios lógicos de forma inmediata.

7.2.2 Gestión de Potencia Óptica y Umbrales Críticos

Durante el núcleo de la ventana de mantenimiento (02:30 a 04:30 horas), el técnico en sitio procede con el cruce y migración de los hilos de fibra desde las tarjetas del equipo antiguo (*Old Local Fibers*) hacia el equipo modernizado (*New Local Fibers*). En este punto, el minutograma integra las directrices de calibración de potencia (*Optical Power Management*).

La regla de oro establecida en el diseño del minutograma dicta que la atenuación de inserción no debe generar una caída desproporcionada de la señal: específicamente, **la potencia de entrada (Input Power) no debe ser inferior a -3 dB con respecto a la potencia de salida (Output Power) esperada** en las interfaces correspondientes. Si la caída de potencia supera este umbral de atenuación, se considera que existe un problema físico (empalmes defectuosos, curvaturas excesivas en las *patch cords* o suciedad en los conectores ópticos), lo que degradará inmediatamente el OSNR (Optical Signal-to-Noise Ratio).

La visualización de las alarmas en el iMaster NCE-T es el indicador primario de éxito o fracaso. El minutograma instruye al ingeniero de soporte a monitorear los niveles de recepción. Una de las alarmas más críticas y determinantes ocurre cuando el gestor de red reporta un valor de lectura de **-60 dBm**. En la física de transmisión óptica de Huawei, un valor de -60 dBm no representa una señal débil, sino un estado de *Loss of Signal* (LOS) absoluto; es decir, una ausencia total de luz en el receptor. La aparición de este valor obliga a detener la migración e iniciar un protocolo de diagnóstico inmediato (Troubleshooting) de las fibras recién cruzadas.

7.2.3 Protocolo de Contingencia y el "Punto de No Retorno" (Rollback a las 5:00 AM)

El aspecto más crítico detallado en el minutograma es la ejecución del plan de retorno o *Rollback*. Las ventanas de mantenimiento poseen un marco de tiempo rígido para evitar impactar el horario de mayor tráfico de los clientes (Hora Pico diurna). Se definió las 5:00 a.m. como la hora límite (Hard Stop).

Si a las 5:00 a.m. los servicios no han sido restablecidos exitosamente en la nueva infraestructura, el ingeniero tiene la obligación estricta de abortar el cambio y regresar todo al estado original. Sin embargo, el minutograma expone la alta criticidad de esta acción: el Rollback no es simplemente un comando de software. Al haber procedido con la migración, el técnico en sitio ya desconectó físicamente las fibras que transitaban por el equipo viejo.

Por consiguiente, un Rollback de madrugada implica revertir manualmente decenas de conexiones físicas (puerto a puerto) bajo extrema presión de tiempo, seguido de la inyección del *Backup* lógico extraído en las pruebas iniciales. Es precisamente debido a este enorme riesgo operativo que la planificación previa de los OChs a través del script en Python se vuelve obligatoria, ya que elimina la incertidumbre y evita que el equipo llegue a un escenario de Rollback físico por un error de cálculo en las rutas.

7.3 Fase 3 — Arquitectura y Desarrollo del Script de Automatización en Python

La segunda fase de la intervención se centró en erradicar la planeación manual del enrutamiento óptico. Para lograrlo, se diseñó e implementó un script en el lenguaje de programación Python, segmentado en tres módulos lógicos fundamentales: Ingesta y Cruce de Datos, Estructuración Jerárquica y Renderizado Visual.

7.3.1 Módulo 1: Ingesta y Cruce de Bases de Datos (Data Merging)

El primer desafío lógico fue la unificación de la información de red, la cual se encontraba fragmentada en los exportables del iMaster NCE-T. Históricamente, el cruce manual de estos datos generaba asimetrías y errores humanos, dado que la información pertinente a la capa óptica pura (lambdas) y la información de la capa de servicio (clientes) residen en dominios de gestión diferentes.

Para resolver esto, el script utiliza la librería pandas para ingerir un archivo matriz (plantillaA.xlsx). En la subrutina, se identifican dos hojas críticas:

- **Hoja "OChs":** Contiene la parametrización de la capa de transporte óptico. Aquí, los datos más relevantes extraídos por el algoritmo son la **frecuencia de la longitud de onda** (ej. 192.800THz), el *Source Port* (Puerto de Origen) y el *Sink Port* (Puerto de Destino) de los multiplexores y tarjetas de línea (ej. puertos IN/OUT de tarjetas MUX/DEMUX).
- **Hoja "Clientes":** Contiene la parametrización de los servicios que viajan "montados" sobre dicho canal óptico. La relevancia de esta hoja recae en las **velocidades o tasas de servicio** (*Service Rate*, como conexiones OTN

100GE o Ethernet 10G) y sus respectivos puertos terminales cliente (*Source Port* y *Sink Port* a nivel de router o switch).

El código ejecuta una instrucción ***client_df.merge(och_df, on="OCH Name", how="left")***. Esta operación matemática de ***Left Join*** correlaciona algorítmicamente ambas bases de datos utilizando el nombre del canal (OCH Name) como llave primaria, asociando instantáneamente a cada longitud de onda todos los clientes que transporta, en milisegundos.

7.3.2 Módulo 2: Limpieza y Estructuración Jerárquica.

Una vez cruzada la data, el script debe iterar sobre el nuevo conjunto de datos (***resultado.xlsx***) para estructurarlo jerárquicamente antes de graficarlo. Mediante un ciclo ***for och, grupo in df.groupby("OCH Name"):***, el algoritmo aísla cada canal óptico.

En este nivel computacional, el script extrae primero las rutas lógicas de protección de la arquitectura ASON (***Original Route, Preset1 Route, Preset2 Route***). Posteriormente, procede a separar la fila del canal principal asignándole el atributo "TYPE": "OCH", y despliega debajo de ella iterativamente a todos los servicios dependientes asignándoles el atributo "TYPE": "CLIENT". Esta estructuración permite que el sistema sepa exactamente qué jerarquía tiene cada conexión dentro del nodo.

Para ilustrar la lógica computacional del script desarrollado, a continuación se presenta el diagrama de flujo del algoritmo, el cual automatiza desde la ingesta de los reportes del gestor hasta la generación visual de las topologías:

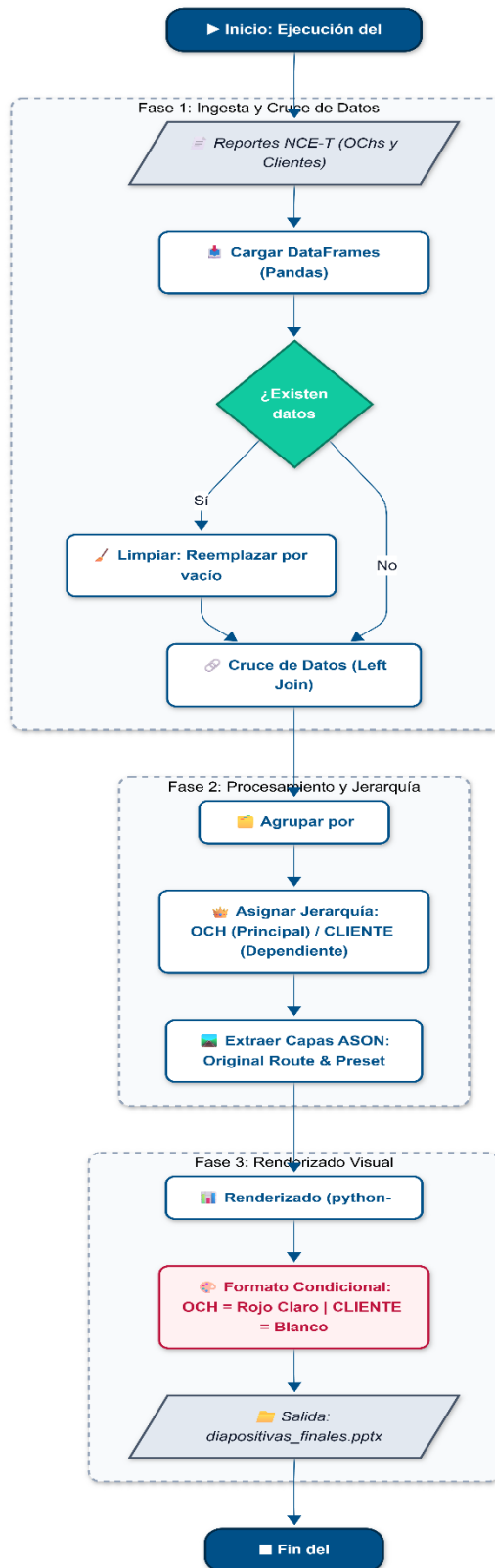


Ilustración 8 Diagrama de flujo de la automatización en Python, FUENTE: Elaboración propia.

7.3.3 El Proceso de Debugging y Mapeo Físico (Old vs. New Local Fibers).

Dentro de la validación del código y de las pruebas de escritorio del proyecto, se utilizaron archivos de *Debugging* (DEBUGGIN ANTES.csv y DEBUGGIN DESPUES.csv). Estos archivos cumplieron un propósito vital en la transición de la capa lógica a la capa física.

- El archivo de *Debugging Antes* mapeaba e indexaba los puertos y las posiciones exactas donde estaban conectadas físicamente las fibras de interconexión en el equipo antiguo.
- El archivo de *Debugging Después* proyectaba la matriz de destino, especificando los puertos exactos a los cuales debían migrarse dichas fibras en el equipo de nueva generación.

Esta validación cruzada garantizó que el algoritmo no solo fuera correcto a nivel lógico en el gestor (NCE-T), sino que los entregables generados reflejaran fielmente el parcheo de fibra (Patching) que el técnico en sitio debía ejecutar físicamente durante la ventana de mantenimiento.

7.3.4 Módulo 3: Renderizado Visual en PowerPoint y Facilidad Operativa.

El objetivo final de la automatización no era generar otro archivo de Excel, sino entregar un mapa de red visual e intuitivo para el comité de cambios y para el ingeniero ejecutor de la madrugada. Utilizando la librería python-pptx, el script convierte la base de datos limpia en diapositivas dinámicas.

El código posiciona automáticamente los elementos y evalúa la jerarquía de los datos inyectados en la tabla generada en la diapositiva. Para optimizar el análisis

cognitivo del ingeniero bajo condiciones de estrés y fatiga (a las 3:00 a.m.), se programó una regla de formato condicional estricta:

```
if tipo == "OCH":  
    fill_color = (255, 210, 210) # Fondo rojo claro  
    bold = True
```

Ilustración 9 Fragmento del código de Python, FUENTE: Elaboración propia

Esta asignación de color rojo claro al canal principal (OCH) contrasta directamente con las filas blancas de los servicios cliente. Visualmente, **esto le facilita al ingeniero saber de forma inmediata a qué cliente exacto pertenece cada OCH**. Si una lambda (resaltada en rojo) presenta problemas para levantar potencia o reporta un OSNR degradado, el ingeniero de Huawei FBB solo necesita mirar las filas adyacentes para identificar qué servicios de 100G o 10G están en riesgo inminente de incumplimiento de SLA, permitiendo una toma de decisiones y priorización de Rollback ultrarrápida.

7.4 Caso de Aplicación Real: Modernización Nodos

Para validar la eficiencia de las metodologías desarrolladas (Minutogramas y Script Python), se aplicaron en un escenario real de máxima criticidad: la modernización del nodo principal de agregación en la costa atlántica colombiana.

7.4.1 Descripción del Escenario de Migración

El proyecto contempló la migración del tráfico de nodos obsoletos hacia el nuevo elemento de red. Este cambio involucró la transferencia de tarjetas ópticas, la

reasignación de canales en multiplexores ROADM y el redireccionamiento de tráfico hacia nodos colindantes.

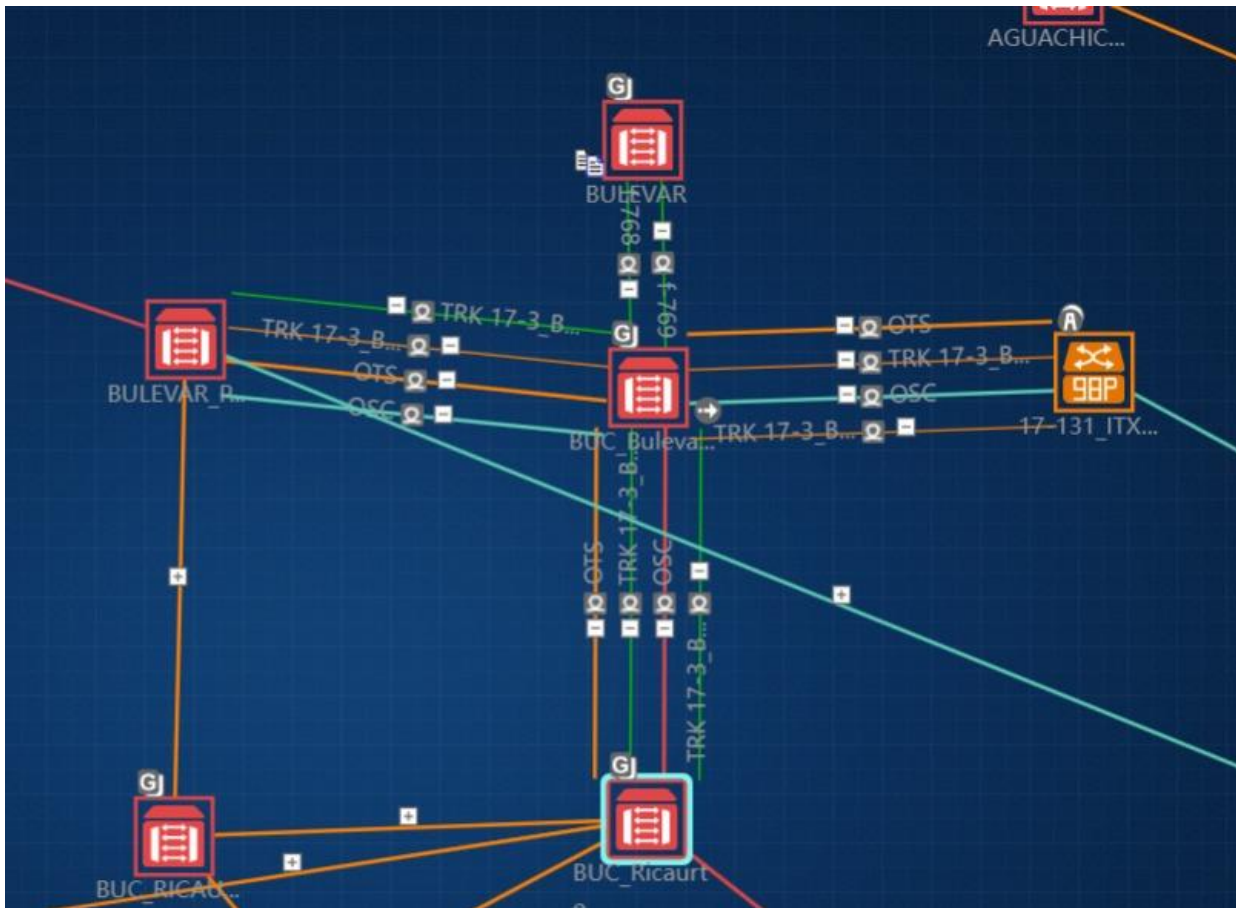


Ilustración 10 Enlaces ópticos, FUENTE: Huawei Technologies

7.4.2 Generación Automatizada del Entregable

Días previos a la ventana, se ejecutó el script de Python. En un lapso inferior a 30 minutos, el algoritmo procesó los archivos de impacto (**ASONTRAIL REPORT ACTUAL, ORIGINAL y PRESETS**) generados por el NCE-T.

El código agrupó de manera exitosa los circuitos afectados. Procesó rutas complejas como la de clientes y el enlaces troncales (Trunk). En las diapositivas generadas de manera autónoma, se graficaron a la perfección las rutas de trabajo

(Work) y las rutas preestablecidas en ASON (Presets), cruzando los puertos de origen y destino sin intervención manual.

7.4.3 Ejecución del Minutograma

Llegada la fecha programada, el equipo NOC Tx y el personal de campo se adhirieron al minutograma diseñado.

1. **Fase de Control (21:00 a 23:00):** Se valida que el *Span Loss* (pérdida del tramo) hacia los nodos colindantes estuvieran dentro de la atenuación objetivo (*Target Attenuation*) de 2.0 dB y se verificaron los niveles de Pre-FEC BER. Se tomaron los backups lógicos.

2. **Corte Físico y Migración (02:30 a 06:00):** Con el esquema en PowerPoint automatizado proyectado en las pantallas del centro de control, el ingeniero de campo procedió a desconectar las *Old Local Fibers* e insertarlas en las *New Local Fibers*. Al contar con la demarcación visual de los clientes por colores, el equipo NOC verificó que todos los servicios de Ethernet y PWE3 recobraran gestión tras levantar los canales OCH correspondientes.

3. **Resultado Operacional:** La ventana finalizó a las 05:30 horas sin necesidad de ejecutar el protocolo de Rollback físico. Los servicios de los grupos de afectación 1 y 3 reportaron disponibilidad total, garantizando la integridad de la red troncal sin penalizaciones por SLA.

7.5 Evaluación de Resultados y Análisis de Impacto Operativo

La culminación de la Fase 1 (Minutogramas) y la Fase 2 (Automatización en Python) requirió una evaluación cuantitativa y cualitativa para determinar el éxito de la pasantía dentro del entorno corporativo de Huawei Technologies Colombia. Los resultados obtenidos demostraron un impacto directo y positivo en la cadena de valor del área Fixed Broadband (FBB), como se muestra en la **sección 7.1.2**, evidencias y resultados.

7.5.1 Reducción Drástica de los Tiempos de Planeación (SLA Interno)

El indicador de rendimiento (KPI) más crítico evaluado durante el proyecto fue el tiempo de respuesta (Lead Time) en la elaboración del análisis de impacto y enrutamiento. Como se expuso en el diagnóstico inicial, la consolidación manual de los reportes ASON, el mapeo de puertos y la tabulación de clientes para un nodo de alta criticidad tomaba hasta tres (3) días hábiles completos para un ingeniero.

Tras la implementación oficial del script de Python y la estandarización del flujo de trabajo, **el tiempo de ejecución de esta tarea se redujo a un (1) día y medio**. Esto representa una optimización y disminución del 50% en el tiempo de planeación técnica previa a la ventana. El código logró comprimir las horas dedicadas a la manipulación de hojas de cálculo, dejando ese día y medio restante netamente para la validación experta de la topología y la calibración de las potencias ópticas en el minutograma.

7.5.2 Impacto en la Cadena de Aprobación y Ejecución con el Cliente

En el sector de las telecomunicaciones, las ventanas de mantenimiento no pueden ejecutarse sin la aprobación previa del cliente final (el operador de red). Esta aprobación requiere la revisión de los MOPs (Method of Procedure) o minutogramas.

Anteriormente, la demora de tres días en la estructuración de la data retrasaba la entrega del documento al cliente, lo que a su vez postergaba la fecha de ejecución de la ventana de mantenimiento, generando represamientos (backlogs) en el cronograma nacional de modernización DWDM. La automatización desarrollada ayudó al equipo técnico a entregar los minutogramas con mayor velocidad y con un formato visual impecable (PowerPoint de topologías). Al recibir la documentación técnica más rápido y sin ambigüedades, el cliente pudo acelerar sus procesos de auditoría y aprobación. En consecuencia, el área FBB de Huawei logró incrementar la tasa de ejecución semanal de ventanas de mantenimiento, acelerando el despliegue de las nuevas tecnologías de red.

7.5.3 Optimización del Despliegue de Ingeniería

Desde una perspectiva cualitativa, la estandarización metodológica elevó el nivel operativo del NOC Tx. Al delegar la tarea repetitiva de cruzar datos a un algoritmo de software, los ingenieros de Huawei FBB mitigaron la fatiga mental y visual. Esto permitió que el equipo concentrara su experticia en funciones de verdadera ingeniería óptica: el análisis de umbrales físicos (OSNR, Pre-FEC BER), la configuración de atenuadores (VOA) y la respuesta ágil ante alarmas críticas (como caídas a -60dBm) durante las madrugadas.

En síntesis, la digitalización y estandarización del proceso cumplieron a cabalidad con la pregunta problema planteada en esta monografía, demostrando que la automatización es el vehículo definitivo para garantizar modernizaciones de red seguras, eficientes y alineadas con los Acuerdos de Nivel de Servicio (SLA) exigidos en infraestructuras críticas.

8. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN

8.1 Interpretación de resultados

El desarrollo de la pasantía en el área Fixed Broadband (FBB) de Huawei Technologies evidenció que el cuello de botella en la modernización de nodos ópticos no reside en la ejecución física del hardware, sino en la deficiente gestión de la información previa. Los resultados obtenidos superaron las expectativas operativas iniciales: la integración de los algoritmos desarrollados en lenguaje Python permitió estructurar y jerarquizar la matriz de datos de los canales OCh y clientes afectados, transformando un proceso empírico y manual de tres (3) días de trabajo en una ejecución algorítmica y estandarizada que toma un (1) día y medio. Desde un análisis crítico, se logró el objetivo principal de optimización, ya que el script no solo aceleró el proceso de *Data Merging*, sino que el renderizado visual de topologías en PowerPoint eliminó los márgenes de error por fatiga humana, garantizando la integridad de los Acuerdos de Nivel de Servicio (SLA) frente a los operadores clientes.

8.2 Conexión con la formación en ingeniería

Este trabajo de intervención tecnológica exigió la articulación directa de múltiples competencias adquiridas en el programa de Ingeniería de Telecomunicaciones. Por un lado, requirió bases sólidas de la línea de propagación y transmisión, aplicando conceptos de multiplexación DWDM, cálculo de balances de enlace (*Span Loss*), interpretación de la Relación Señal-Ruido Óptica (OSNR) y atenuaciones máximas permisibles (-3 dB). Por otro lado, demandó una fuerte conexión con las ciencias de la computación y telemática, aplicando la lógica de programación orientada a objetos (Python), el análisis de estructuras de datos masivos (Pandas) y la concepción de Redes Definidas por Software (SDN). Esto demuestra que el perfil contemporáneo del ingeniero de telecomunicaciones debe ser híbrido, integrando la óptica física con el desarrollo de software.

8.3 Comparación con estándares y referentes

Los resultados y la metodología implementada se alinean estrictamente con las mejores prácticas de la industria de las telecomunicaciones. Desde la perspectiva de gestión de TI, la imposición de los "Minutogramas" para la intervención de madrugada cumple a cabalidad con los lineamientos de la práctica de *Control de Cambios* de ITIL v4, donde se exige que todo cambio en una infraestructura en producción cuente con un análisis de impacto previo y un plan de *Rollback* estructurado. A nivel técnico, el enrutamiento extraído por el script respeta los estándares arquitectónicos de la Recomendación UIT-T G.8080 para redes ASON, asegurando que las topologías

generadas diferencien algorítmicamente las rutas de trabajo (Original) de las rutas de restauración dinámica (Presets).

8.4 Limitaciones del trabajo

Durante el desarrollo del proyecto se identificaron dos limitaciones principales. La primera fue de carácter técnico respecto a los privilegios de red: por políticas de ciberseguridad estrictas de la empresa (ISO 27001), no fue posible conectar el script de Python directamente a la API (*Application Programming Interface*) del gestor iMaster NCE-T. Por consiguiente, la herramienta desarrollada depende de un paso manual intermedio (la exportación local de archivos en formato CSV por parte del ingeniero) para poder ingerir los datos. La segunda limitación fue de carácter temporal, dadas las restricciones horarias inherentes a las ventanas de mantenimiento en telecomunicaciones (00:00 a 06:00 horas), lo que dificultaba extender el tiempo de pruebas en sitio si ocurría alguna degradación de la señal, forzando la ejecución del Rollback a las 05:00 a.m. de manera inmodificable.

9. CONCLUSIONES

1. Se estructuraron e implementaron con éxito minutogramas de ejecución para las ventanas de modernización de la red DWDM/OTN. Estos documentos garantizaron el control estricto de los parámetros ópticos, estableciendo protocolos precisos para la manipulación de las fibras físicas (Old/New Local Fibers) y la validación de umbrales críticos de potencia, mitigando el riesgo de caídas de servicio prolongadas (LOS a -60dBm)

2. Se desarrolló y se uso un algoritmo computacional escrito en lenguaje Python (utilizando las bibliotecas *pandas* y *python-pptx*), el cual demostró la capacidad de ingerir reportes masivos ASONTRAIL, cruzar las dependencias entre los canales ópticos principales (OCh) y los servicios cliente (Ethernet/PWE3), y renderizar de forma automatizada los esquemas topológicos y lógicos en diapositivas preformateadas.

3. Al evaluar el impacto operativo de la herramienta de automatización implementada en escenarios reales se comprobó una reducción del 50% en los tiempos de planificación del área de ingeniería (pasando de 3 días a 1.5 días). Asimismo, se redujo significativamente el riesgo de error humano en la generación de las rutas de respaldo y el análisis de impacto.

4. La experiencia de la pasantía validó que la evolución de las redes de transporte fijo de alta capacidad (Fixed Broadband) exige la digitalización total de los procesos de auditoría y planeación, donde la automatización lógica es el habilitador principal para incrementar la eficiencia del Centro de Operaciones de Red (NOC) y acelerar los despliegues tecnológicos a nivel nacional.

10. RECOMENDACIONES

10.1 Para la empresa

A partir de los resultados obtenidos con la automatización de topologías y la estandarización de los minutogramas en el área Fixed Broadband (FBB), se formulan las siguientes recomendaciones para Huawei Technologies Colombia:

- **Escalabilidad de la herramienta:** Se sugiere que el script desarrollado en Python no se limite a un uso individual, sino que sea empaquetado en una Interfaz Gráfica de Usuario (GUI) o en un archivo ejecutable (.exe). Esto permitirá que cualquier ingeniero del centro de operaciones (NOC), independientemente de sus conocimientos en programación, pueda generar los reportes de impacto en minutos.
- **Integración con API:** A mediano plazo, la organización debería explorar la integración de este desarrollo directamente con la API (Interfaz de Programación de Aplicaciones) del gestor iMaster NCE-T. Esto eliminaría el paso manual de descargar archivos CSV, automatizando el flujo de datos de extremo a extremo.
- **Capacitación interna:** Fomentar sesiones de transferencia de conocimiento donde se capacite a los ingenieros de soporte y de campo en la correcta lectura de los minutogramas codificados por color, maximizando así la agilidad de respuesta ante escenarios de Rollback.

10.2 Para futuros pasantes

Basado en la experiencia vivida en el entorno de operaciones de alta criticidad, se recomienda a los futuros practicantes:

- **Desarrollo de habilidades híbridas:** El mercado actual no solo demanda conocer cómo configurar un equipo de telecomunicaciones; es imperativo dominar herramientas de análisis de datos. Se recomienda estudiar lenguajes de *scripting* como Python (especialmente librerías como Pandas) para destacar aportando soluciones de automatización a tareas repetitivas.
- **Actitud analítica frente a los sistemas:** No limitarse a operar el software a través de su interfaz gráfica. Un ingeniero debe preguntarse cómo se estructuran las bases de datos subyacentes, ya que entender la arquitectura de los datos (como los reportes ASONTRAIL) es la clave para resolver problemas operativos complejos.
- **Gestión del tiempo y resiliencia:** El trabajo en redes troncales implica ejecutar ventanas de mantenimiento en horarios nocturnos o de madrugada (00:00 a 06:00 a.m.). Se aconseja mantener una excelente gestión del descanso físico y mental, además de desarrollar tolerancia a la frustración para tomar decisiones críticas, frías y calculadas cuando se presenten alarmas de caída de servicio.

10.3 Para el programa académico

Con el objetivo de fortalecer el perfil de los futuros egresados de Ingeniería de Telecomunicaciones frente a las demandas reales de la industria tecnológica, se sugiere:

- **Inclusión de Programabilidad de Redes:** Reforzar el currículo con asignaturas o módulos enfocados en *Network Programmability* y *NetDevOps*. Es vital que el estudiante aprenda a gestionar infraestructuras mediante código, integrando conceptos teóricos de redes con programación aplicada a la automatización de procesos.
- **Profundización en Redes de Transporte Modernas:** Se recomienda actualizar los contenidos prácticos relacionados con la capa física y de transporte, haciendo mayor énfasis en arquitecturas DWDM modernas, redes OTN, gestión de potencias ópticas y protocolos de enrutamiento dinámico como ASON, tecnologías que actualmente sostienen el ecosistema troncal del país.
- **Simulación de entornos reales (ITSM):** Integrar metodologías de Gestión de Servicios de TI (como ITIL) en los laboratorios de redes. Exigir a los estudiantes la redacción de MOPs (Method of Procedure) o Minutogramas, para que desarrollen el rigor de planificar planes de contingencia (Rollbacks) antes de ejecutar cualquier cambio en una topología simulada.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Agrawal, G. P. (2021). *Fiber-optic communication systems* (5.^a ed.). John Wiley & Sons.

Alwayn, V. (2004). *Optical network design and implementation*. Cisco Press.

Axelos. (2019). *ITIL Foundation: ITIL 4 Edition*. TSO (The Stationery Office).

Chou, E. (2017). *Mastering Python networking: Your one-stop solution to using Python for network automation, DevOps, and Test-Driven Development*. Packt Publishing Ltd.

Comisión de Regulación de Comunicaciones [CRC]. (2016). *Resolución 5050 de 2016: Por la cual se actualiza el Régimen de Calidad de los Servicios de Telecomunicaciones*.

Congreso de la República de Colombia. (2009, 30 de julio). *Ley 1341 de 2009: Por la cual se definen principios y conceptos sobre la sociedad de la información y la organización de las Tecnologías de la Información y las Comunicaciones (TIC)*. Diario Oficial No. 47.426.

Congreso de la República de Colombia. (2012, 17 de octubre). *Ley 1581 de 2012: Por la cual se dictan disposiciones generales para la protección de datos personales*. Diario Oficial No. 48.587.

Consejo Nacional de Política Económica y Social [CONPES]. (2020). *Documento CONPES 3995: Política Nacional de Confianza y Seguridad Digital*. Departamento Nacional de Planeación.

Edelman, J., Lowe, S. S., & Oswalt, M. (2018). *Network programmability and automation: Skills for the next-generation network engineer*. O'Reilly Media, Inc.

International Organization for Standardization [ISO]. (2015). *Sistemas de gestión de la calidad - Requisitos (ISO 9001:2015)*.

International Organization for Standardization [ISO]. (2022). *Seguridad de la información, ciberseguridad y protección de la privacidad - Sistemas de gestión de la seguridad de la información - Requisitos (ISO/IEC 27001:2022)*.

Keiser, G. (2010). *Optical fiber communications* (4.^a ed.). McGraw-Hill Education.

Ministerio del Trabajo. (2019, 13 de febrero). *Resolución 0312 de 2019: Por la cual se definen los Estándares Mínimos del Sistema de Gestión de Seguridad y Salud en el Trabajo SG-SST*.

Mukherjee, B. (2006). *Optical WDM networks*. Springer Science & Business Media.

Ramaswami, R., Sivarajan, K. N., & Sasaki, G. H. (2010). *Optical networks: A practical perspective* (3.^a ed.). Morgan Kaufmann.

Simmons, J. M. (2014). *Optical network design and planning* (2.^a ed.). Springer.

Unión Internacional de Telecomunicaciones [UIT-T]. (2012). *Recomendación G.8080/Y.1304: Arquitectura de la red óptica con conmutación automática (ASON)*.

Unión Internacional de Telecomunicaciones [UIT-T]. (2020). *Recomendación G.694.1: Grillas espectrales para aplicaciones WDM: Grilla de frecuencias para DWDM*.

Unión Internacional de Telecomunicaciones [UIT-T]. (2020). *Recomendación G.709/Y.1331: Interfaces para la red de transporte óptico*.