

PROPUESTA DE MIGRACIÓN Y OPTIMIZACIÓN DE UNA INFRAESTRUCTURA
DE TRANSMISIÓN HUAWEI MEDIANTE MEJORAS EN LAS CAPAS ÓPTICA Y
ELÉCTRICA PARA UN OPERADOR MAYORISTA DE TELECOMUNICACIONES

VALENTINA RODRIGUEZ HINCAPIE

UNIVERSIDAD SANTO TÓMAS
FACULTAD DE INGENIERÍA
INGENIERÍA DE TELECOMUNICACIONES
BOGOTÁ
2026

PROPUESTA DE MIGRACIÓN Y OPTIMIZACIÓN DE UNA INFRAESTRUCTURA
DE TRANSMISIÓN HUAWEI MEDIANTE MEJORAS EN LAS CAPAS ÓPTICA Y
ELÉCTRICA PARA UN OPERADOR MAYORISTA DE TELECOMUNICACIONES

PRESENTADO POR:
VALENTINA RODRIGUEZ HINCAPIE

TRABAJO OPCIÓN DE GRADO PRÁCTICAS EMPRESARIALES EN LA
EMPRESA HUAWEI.

DIRECTOR:
FERNANDO PRIETO BUSTAMANTE
INGENIERO DE TELECOMUNICACIONES

UNIVERSIDAD SANTO TÓMAS
FACULTAD DE INGENIERÍA
INGENIERÍA DE TELECOMUNICACIONES
BOGOTÁ D.C
2026

Nota de Aceptación

Presidente del Jurado

Jurado

Jurado

Ciudad y Fecha (día, mes, año) (Fecha de entrega)

CONTENIDO

	Pág.
1. MARCO GENERAL	14
1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	14
1.2 JUSTIFICACIÓN	14
1.3 OBJETIVOS	15
1.3.1 OBJETIVO GENERAL	15
1.3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	15
2. MARCO TEÓRICO	16
2.1 BASES TEÓRICAS	16
2.1.1 Redes de transmisión en telecomunicaciones	16
2.1.2 Tecnología DWDM	16
2.1.3 Capa óptica y capa eléctrica.....	17
2.1.4 Redes OTN	17
2.1.5 Eficiencia espectral	18
2.1.6 Migración de nodos de transmisión.....	18
2.1.7 Disponibilidad y redundancia.....	18
2.1.8 Gestión y monitoreo de red.	19
2.1.9 Soluciones Huawei para redes de transmisión.....	19
2.2 ESTADO DEL ARTE	20
2.2.1 Evolución de las redes de transmisión óptica.....	20
2.2.2 Implementación de tecnologías de 100G, 200G y 400G.....	20
2.2.3 Optimización del espectro óptico.....	21
2.2.4 Redes de transmisión escalables y resilientes.....	21
2.2.5 Migración y modernización de nodos de transmisión.....	22
2.2.6 Soluciones Huawei en redes de transmisión óptica.....	22
2.2.7 Tendencias futuras en redes de transporte.....	22
2.3 BASES LEGALES	23
2.3.1 Marco normativo de las telecomunicaciones en Colombia.....	23
2.3.2 Ley 1341 de 2009.....	23
2.3.3 Ministerio TIC.....	23

2.3.4 Comisión de Regulación de Comunicaciones (CRC).....	24
2.3.5 Normativas y estándares internacionales ITU-T.....	24
2.3.6 Regulaciones sobre continuidad y disponibilidad de servicios.....	25
2.3.7 Normativa relacionada con infraestructura y operación de redes.	25
2.3.8 Importancia del marco legal en proyectos de modernización de redes. ...	25
2.4 MATERIALES	26
2.4.1 Infraestructura y equipos de transmisión.	26
2.4.2 Plataformas y herramientas de gestión.	26
2.4.5 Recursos operativos.	27
2.5 METODOLOGÍA	27
3. DESARROLLO DEL PROYECTO	29
3.1 Diagnóstico de la red actual.	29
3.2 Fases de la migración.	31
3.2.1 Fase 1 Integración Nodo C.....	32
3.2.2 Fase 2 Migración y configuración de servicios Nodo B a Nodo C.	37
3.2.3 Fase 3 Eliminación Nodo B.	41
3.3 ANÁLISIS DEL DESARROLLO DEL PROYECTO.....	43
CONCLUSIONES	45
REFERENCIAS	46

LISTA DE ILUSTRACIONES

Pág.

Ilustración 1 Configuración NE actual.	29
Ilustración 2 Topología actual	30
Ilustración 3 Capa óptica Nodo B.....	31
Ilustración 4 Capa óptica Nodo A.....	31
Ilustración 5 Topología con el nodo nuevo.....	33
Ilustración 6 Configuración NE nueva.	33
Ilustración 7 Internal Fiber Nodo B.....	35
Ilustración 8 Internal Fiber Nodo A.....	35
Ilustración 9 Internal Fiber Nodo C.....	36
Ilustración 10 Capa óptica Nodo C.	37
Ilustración 11 Capa eléctrica Nodo B.	38
Ilustración 12 Capa eléctrica Nodo C.....	39
Ilustración 13 Topología final.	42
Ilustración 14 Topología NE final.	42
Ilustración 15 Topología NE final con nodos adyacentes.	43

GLOSARIO

ASON (AUTOMATICALLY SWITCHED OPTICAL NETWORK): Arquitectura de red óptica inteligente que permite el establecimiento automático de rutas, restauración dinámica de servicios y reruteo automático ante fallas dentro de redes de transmisión óptica.

AST2: Tarjeta utilizada en equipos Huawei para funciones relacionadas con supervisión y monitoreo de señales ópticas dentro de la red de transmisión.

CANAL ÓPTICO: Señal de transmisión transportada mediante una longitud de onda específica dentro de una red DWDM.

CAPA ELÉCTRICA: Nivel de la red encargado del procesamiento, multiplexación, conmutación y distribución de servicios antes de su transmisión óptica.

CAPA ÓPTICA: Nivel de la red de transmisión encargado del transporte de señales mediante fibra óptica y longitudes de onda.

CROSS CONNECTION (CXC): Conexión lógica configurada dentro de un equipo de transmisión para interconectar servicios, puertos o señales dentro de la red.

DML (DATA MANAGEMENT LAYER / DISTRIBUTED MANAGEMENT LAYER): Estructura utilizada en la capa eléctrica para la organización, distribución y administración de servicios de transmisión.

DWDM (DENSE WAVELENGTH DIVISION MULTIPLEXING): Tecnología de multiplexación óptica que permite transportar múltiples señales sobre una misma fibra utilizando diferentes longitudes de onda.

EFICIENCIA ESPECTRAL: Capacidad de aprovechar de manera óptima el espectro disponible dentro de la fibra óptica para incrementar capacidad y escalabilidad de la red.

FIBRA ÓPTICA: Medio físico de transmisión que utiliza pulsos de luz para transportar información a altas velocidades y largas distancias.

FIXED GRID: Esquema tradicional de asignación fija de canales ópticos dentro del espectro DWDM.

FLEXIBLE GRID (FLEX-GRID): Tecnología que permite asignar dinámicamente el ancho espectral de los canales ópticos, optimizando el uso del espectro disponible.

HUAWEI NCE (NETWORK CLOUD ENGINE): Plataforma de gestión y administración de redes Huawei utilizada para configuración, monitoreo y supervisión de servicios y equipos de transmisión.

INTERNAL FIBER: Conexiones internas de fibra óptica utilizadas para la interconexión lógica y física entre tarjetas o módulos dentro de un nodo de transmisión.

LAMBDA: Término utilizado para referirse a una longitud de onda óptica empleada para transportar información dentro de una red DWDM.

MAINTENANCE WINDOW (MW): Ventana de mantenimiento programada para realizar actividades técnicas sobre la red minimizando el impacto en los servicios.

MIGRACIÓN DE RED: Proceso de traslado, reorganización o modernización de servicios y equipos dentro de una infraestructura de telecomunicaciones.

MONITOREO DE RED: Proceso de supervisión continua del estado operativo, alarmas y desempeño de los equipos y servicios de telecomunicaciones.

NE (NETWORK ELEMENT): Elemento de red correspondiente a un equipo de transmisión o nodo administrado dentro de una infraestructura de telecomunicaciones.

NMS (NETWORK MANAGEMENT SYSTEM): Sistema utilizado para la administración, supervisión y configuración de redes de telecomunicaciones.

NODO DE TRANSMISIÓN: Punto de la red donde se concentran, procesan y distribuyen servicios de telecomunicaciones.

ODF (OPTICAL DISTRIBUTION FRAME): Panel de distribución óptica utilizado para la organización y conexión de fibras ópticas dentro de una infraestructura de telecomunicaciones.

ODU (OPTICAL DATA UNIT): Estructura de transporte utilizada en redes OTN para encapsular y transportar diferentes tipos de tráfico.

OLP (OPTICAL LINE PROTECTION): Mecanismo de protección óptica utilizado para garantizar continuidad del servicio ante fallas en enlaces de fibra.

OPM8: Tarjeta Huawei utilizada para monitoreo de potencia óptica y supervisión de parámetros ópticos de transmisión.

OSN 9800: Plataforma de transporte óptico Huawei orientada a redes DWDM y OTN de alta capacidad.

OTM (OPTICAL TERMINAL MULTIPLEXER): Equipo utilizado para multiplexar y transportar múltiples señales ópticas dentro de una red DWDM.

OTN (OPTICAL TRANSPORT NETWORK): Tecnología de transporte óptico diseñada para transmitir grandes volúmenes de información con alta eficiencia y confiabilidad.

POTENCIA ÓPTICA: Nivel de intensidad de la señal luminosa transmitida a través de fibra óptica.

PRESET DE RESTAURACIÓN: Configuración predefinida utilizada en redes ASON para establecer rutas de recuperación automática ante fallas.

PROTECCIÓN 1+1: Mecanismo de redundancia donde una señal principal cuenta con una ruta secundaria activa de respaldo.

RFC (REQUEST FOR CHANGE): Solicitud formal utilizada para aprobar y controlar cambios dentro de una infraestructura tecnológica.

ROADM (RECONFIGURABLE OPTICAL ADD-DROP MULTIPLEXER): Dispositivo óptico que permite agregar, extraer y redireccionar longitudes de onda dinámicamente dentro de la red.

SDH (SYNCHRONOUS DIGITAL HIERARCHY): Tecnología de transmisión digital utilizada históricamente en redes de telecomunicaciones para transporte síncrono de información.

SERVICIOS ASON: Servicios ópticos configurados bajo arquitectura ASON con capacidades automáticas de protección y restauración.

SLOTS: Espacios físicos dentro de un chasis de transmisión donde se instalan tarjetas o módulos funcionales.

TE LINK (TRAFFIC ENGINEERING LINK): Enlace lógico utilizado en redes ASON para ingeniería de tráfico y cálculo dinámico de rutas.

TOPOLOGÍA DE RED: Estructura física y lógica que define la interconexión entre nodos y enlaces de telecomunicaciones.

TRAIL: Ruta lógica configurada para el transporte de servicios dentro de una red óptica.

TRANSPONDEDOR: Dispositivo utilizado para convertir señales eléctricas en señales ópticas y viceversa dentro de redes DWDM.

VENTANA DE MANTENIMIENTO: Período programado para realizar cambios o actividades técnicas minimizando afectaciones sobre la red.

100G / 200G: Capacidades de transmisión óptica equivalentes a 100 y 200 gigabits por segundo utilizadas en redes de alta velocidad.

RESUMEN

El presente trabajo desarrolla una propuesta de migración y optimización de una infraestructura de transmisión Huawei para un operador mayorista de telecomunicaciones, enfocada en mejorar la capacidad, disponibilidad y eficiencia espectral de la red. El proyecto surge a partir de la identificación de tres problemáticas principales: la dependencia de infraestructura de terceros para la ubicación de un nodo de transmisión, la saturación de recursos en la capa eléctrica y el uso ineficiente del espectro óptico debido a la implementación de canales de 100G.

La metodología utilizada tuvo un enfoque analítico y aplicado, estructurado en fases de diagnóstico, diseño, migración y validación. Inicialmente, se realizó un análisis de la infraestructura existente mediante herramientas de gestión y documentación técnica, permitiendo identificar limitaciones operativas y necesidades de crecimiento. Posteriormente, se diseñó una estrategia de migración que incluyó la integración de un nuevo nodo propio, la reorganización de servicios en la capa eléctrica y la optimización de la capa óptica mediante la implementación de lambdas de 200G y tecnologías flexible grid.

La propuesta contempla mecanismos de redundancia y restauración automática mediante arquitectura ASON, garantizando continuidad operativa y mayor resiliencia de la red. Como resultado esperado, se proyecta una infraestructura más escalable, eficiente y preparada para soportar futuras demandas de tráfico, optimizando el aprovechamiento de los recursos existentes y fortaleciendo la administración y disponibilidad de los servicios de transmisión.

PALABRAS CLAVE: Redes de transmisión, DWDM, OTN, Huawei, eficiencia espectral, migración de red, ASON, telecomunicaciones.

INTRODUCCIÓN

El sector de las telecomunicaciones ha experimentado un crecimiento sostenido en las últimas décadas, impulsado por la digitalización de servicios, el aumento exponencial del tráfico de datos y la adopción de tecnologías como la computación en la nube, el internet de las cosas y las redes de alta capacidad. En este escenario, los operadores de infraestructura enfrentan el reto de modernizar sus redes de transmisión óptica para garantizar mayor eficiencia, escalabilidad y disponibilidad. La optimización de las capas óptica y eléctrica se convierte así en un factor estratégico para responder a las exigencias actuales y futuras del mercado.

En este contexto, empresas proveedoras de tecnología como **Huawei** desempeñan un papel fundamental en el desarrollo de soluciones de transmisión avanzadas. Fundada en 1987, Huawei es un líder global en infraestructura de tecnologías de la información y las comunicaciones (TIC), con presencia en más de 170 países y regiones. Su portafolio tecnológico ha contribuido significativamente a la evolución de redes de alta capacidad, permitiendo a operadores de telecomunicaciones optimizar el uso de sus recursos y mejorar la prestación de servicios.

La práctica se desarrolló en el departamento de *Colombia Service Partner Enablement*, en el área de transmisión de la unidad de negocio Enterprise Business Group (EBG), donde la red de transporte constituye un componente crítico para la operación del negocio. Desde la perspectiva de la ingeniería, esta experiencia resulta relevante al permitir la aplicación de conocimientos en redes de transporte, tecnologías ópticas y planificación de capacidad, así como la comprensión de problemáticas reales asociadas a la gestión y evolución de infraestructuras de telecomunicaciones. Asimismo, la participación en el análisis y diseño de soluciones técnicas fortalece competencias clave en la toma de decisiones y la optimización de recursos.

Durante el desarrollo de la pasantía, se identificaron tres problemáticas principales en la red de transmisión. En primer lugar, la ubicación de un nodo en infraestructura no propia del cliente, lo que limita el control operativo y la capacidad de expansión. En segundo lugar, la saturación progresiva de la capa eléctrica, dificultando la incorporación de nuevos servicios y reduciendo la flexibilidad de la red. Finalmente, se evidenció una utilización ineficiente del espectro en la capa óptica, debido al uso de longitudes de onda de 100G, lo que restringe la escalabilidad y el aprovechamiento óptimo de los recursos disponibles.

En respuesta a estas necesidades, el presente informe desarrolla una propuesta de migración de la infraestructura de transmisión basada en tecnología Huawei, orientada a optimizar la capacidad, la eficiencia espectral y la disponibilidad de los servicios. La solución planteada contempla el traslado del nodo hacia una infraestructura propia, la reorganización y expansión de la capa eléctrica, y la

implementación de canales ópticos de mayor capacidad (200G), con el fin de mejorar el desempeño global de la red.

El alcance de este informe comprende el análisis del estado actual de la infraestructura, la identificación de sus limitaciones y el diseño de una propuesta técnica de migración en las capas óptica y eléctrica. Asimismo, se presentan los criterios de diseño, los beneficios esperados y las consideraciones necesarias para su implementación, garantizando la continuidad del servicio y la evolución de la red hacia una arquitectura más eficiente, robusta y escalable.

1. MARCO GENERAL

1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Actualmente, la red de transmisión presenta tres problemáticas principales que hacen necesaria una intervención técnica y operativa.

La primera corresponde al cambio de ubicación del nodo actual hacia un nuevo nodo, debido a que la infraestructura donde se encuentra instalado actualmente no es propia del cliente. Esta condición puede generar limitaciones operativas, de control, disponibilidad y proyección a futuro.

La segunda problemática está relacionada con el aumento de capacidad para los servicios en la capa eléctrica. La infraestructura actual se encuentra cercana a su límite de ocupación, lo que dificulta el crecimiento ordenado de nuevos servicios y reduce la flexibilidad para atender futuras demandas del negocio.

La tercera problemática es la necesidad de una optimización del espectro en la capa óptica. En el escenario actual, parte del espectro está siendo utilizado con longitudes de onda de 100G, lo que limita la eficiencia en el aprovechamiento de los recursos disponibles y restringe la escalabilidad de la red.

1.2 JUSTIFICACIÓN

Esta propuesta se desarrolla para una empresa mayorista de soluciones de telecomunicaciones, con el fin de fortalecer su infraestructura de transmisión y responder a necesidades de capacidad, eficiencia y control operativo.

La migración del nodo hacia una ubicación propia del cliente permitirá contar con una infraestructura más alineada con sus objetivos estratégicos, brindando mayor autonomía, mayor control sobre la operación y mejores condiciones para futuras expansiones de la red.

Adicionalmente, se plantea la expansión, organización y redundancia de los servicios en la capa eléctrica, tanto a nivel de tarjetas como a nivel de DML, con el propósito de mejorar la disponibilidad de la red, facilitar su administración y garantizar una arquitectura más robusta y escalable.

Por otra parte, en la capa óptica se propone la implementación de lambdas de 200G, con el objetivo de liberar espectro actualmente ocupado por canales de 100G. Esta optimización permitirá un uso más eficiente de la capacidad disponible, mejorar el aprovechamiento de los recursos de la red y preparar la infraestructura para soportar mayores requerimientos de tráfico en el futuro.

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 OBJETIVO GENERAL

Desarrollar una propuesta de migración de la infraestructura de transmisión Huawei para optimizar capacidad, espectro y disponibilidad de servicios en un operador mayorista de telecomunicaciones.

1.3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Realizar un diagnóstico integral de la infraestructura actual de transmisión Huawei, identificando limitaciones en capacidad, uso de espectro, disponibilidad y escalabilidad, que justifiquen la necesidad de una migración

Definir la metodología y estrategia de migración de la red de transmisión, estableciendo las fases, herramientas y procedimientos necesarios para la transición de servicios en las capas óptica y eléctrica, garantizando la continuidad operativa

Proponer recomendaciones técnicas y estratégicas para la optimización y consolidación de la red de transmisión, orientadas a mejorar la eficiencia del espectro, incrementar la capacidad y asegurar una mayor disponibilidad de los servicios

2. MARCO TEÓRICO

2.1 BASES TEÓRICAS

2.1.1 Redes de transmisión en telecomunicaciones

Las redes de transmisión constituyen la infraestructura encargada de transportar grandes volúmenes de información entre diferentes nodos de una red de telecomunicaciones¹. Estas redes permiten la interconexión de servicios de voz, datos, video y aplicaciones empresariales, garantizando comunicación continua, alta disponibilidad y calidad de servicio¹.

Con el crecimiento del tráfico de datos y la digitalización de servicios, las redes de transmisión han evolucionado hacia arquitecturas de alta capacidad y escalabilidad, soportadas principalmente sobre tecnologías ópticas. En operadores mayoristas y proveedores de infraestructura, la red de transporte representa un componente crítico, ya que de ella depende la continuidad operativa y la capacidad de expansión de los servicios ofrecidos.

Actualmente, las redes de transmisión modernas integran capas ópticas y eléctricas que trabajan de manera conjunta para optimizar el transporte de información, mejorar la eficiencia del espectro y garantizar redundancia y disponibilidad ante fallas.

2.1.2 Tecnología DWDM

La multiplexación por división densa en longitud de onda (DWDM, Dense Wavelength Division Multiplexing) es una tecnología de transmisión óptica que permite transportar múltiples señales a través de una única fibra óptica utilizando diferentes longitudes de onda².

Esta tecnología incrementa considerablemente la capacidad de transmisión de la red sin necesidad de desplegar nuevas fibras, optimizando el uso de la infraestructura existente. Cada lambda puede transportar servicios independientes a velocidades como 10G, 40G, 100G, 200G o superiores.

Entre las principales ventajas de la tecnología DWDM se encuentran el incremento de capacidad sobre una misma fibra, la escalabilidad de la red, el mejor aprovechamiento del espectro óptico, la reducción de costos asociados a expansión de infraestructura y la compatibilidad con arquitecturas de alta disponibilidad.

¹ RAMASWAMI, Rajiv; SIVARAJAN, Kumar y SASAKI, Galen. Optical Networks: A Practical Perspective. 3 ed. San Francisco: Morgan Kaufmann, 2010.

² AGRAWAL, Govind P. Fiber-Optic Communication Systems. 4 ed. New Jersey: John Wiley & Sons, 2012. p. 28.

Las redes DWDM modernas incorporan funcionalidades avanzadas como ROADM, modulación coherente y flex-grid, permitiendo mayor eficiencia espectral y adaptación dinámica de servicios.

2.1.3 Capa óptica y capa eléctrica

Las redes de transmisión se encuentran divididas principalmente en dos niveles funcionales: la capa óptica y la capa eléctrica.

- **Capa óptica:** La capa óptica es la encargada de transportar las señales mediante fibra óptica utilizando diferentes longitudes de onda. Esta capa integra elementos como multiplexores ópticos, amplificadores ópticos, ROADM, OTM, OLP y transpondedores, los cuales permiten garantizar el transporte eficiente de grandes volúmenes de información con bajas pérdidas y alta capacidad. Dentro de esta capa, el espectro óptico constituye un recurso limitado, por lo que su optimización resulta fundamental para incrementar la escalabilidad y capacidad de la red.
- **Capa eléctrica:** La capa eléctrica se encarga del procesamiento, conmutación y distribución de los servicios antes de ser transmitidos ópticamente. En esta capa se realizan procesos de grooming de servicios, cross-connections, multiplexación eléctrica, gestión de tráfico y mecanismos de protección y redundancia. La saturación de recursos en la capa eléctrica puede limitar el crecimiento de la red y dificultar la incorporación de nuevos servicios, haciendo necesaria la expansión de tarjetas y estructuras de distribución como las DML.

2.1.4 Redes OTN

La Red de Transporte Óptico (OTN, Optical Transport Network) es una tecnología diseñada para transportar grandes volúmenes de información de forma eficiente, flexible y confiable sobre redes ópticas.

OTN proporciona capacidades avanzadas de multiplexación, corrección de errores, gestión de servicios, escalabilidad y supervisión de red, permitiendo optimizar el transporte de información y mejorar la administración de tráfico³.

Esta tecnología permite encapsular múltiples tipos de tráfico dentro de estructuras normalizadas denominadas ODU (Optical Data Unit), facilitando la administración y transporte de servicios de diferentes capacidades.

³ INTERNATIONAL TELECOMMUNICATION UNION (ITU-T). Recommendation G.709: Interfaces for Optical Transport Networks (OTN). Ginebra: ITU, 2020.

Las redes OTN son ampliamente utilizadas en entornos de alta demanda debido a su capacidad para soportar servicios de 100G, 200G y superiores.

2.1.5 Eficiencia espectral

La eficiencia espectral corresponde al aprovechamiento óptimo del espectro disponible dentro de la fibra óptica. En redes DWDM, cada canal óptico ocupa una porción específica del espectro, por lo que el incremento en capacidad debe realizarse de manera eficiente para evitar saturación⁴.

Tradicionalmente, muchos servicios han sido implementados mediante lambdas de 100G. Sin embargo, el crecimiento acelerado del tráfico ha impulsado la adopción de tecnologías de 200G y 400G, capaces de transmitir mayor cantidad de información utilizando menos recursos espectrales.

La implementación de lambdas de 200G permite liberar espacio espectral, incrementar la capacidad de transmisión, reducir la cantidad de canales necesarios, mejorar la escalabilidad de la red y optimizar el uso de infraestructura existente.

La eficiencia espectral se ha convertido en un factor estratégico para operadores de telecomunicaciones debido al aumento continuo de la demanda de servicios digitales.

2.1.6 Migración de nodos de transmisión.

La migración de nodos de transmisión consiste en el traslado físico y lógico de servicios, equipos y configuraciones desde una infraestructura existente hacia una nueva ubicación o arquitectura de red⁵.

Este proceso requiere una planeación detallada para minimizar riesgos operativos y garantizar la continuidad de los servicios. Durante una migración deben considerarse aspectos relacionados con disponibilidad de infraestructura, compatibilidad tecnológica, ventanas de mantenimiento, gestión de riesgos, planes de contingencia y validación de servicios.

Cuando un nodo se encuentra ubicado en infraestructura no propia del cliente, pueden presentarse limitaciones de crecimiento, dependencia operativa y restricciones para futuras expansiones, haciendo necesaria su reubicación hacia un entorno con mayor control y autonomía.

2.1.7 Disponibilidad y redundancia.

⁴ INTERNATIONAL TELECOMMUNICATION UNION (ITU-T). Recommendation G.694.1: Spectral grids for WDM applications: DWDM frequency grid. Ginebra: ITU, 2020.

⁵ HUAWEI TECHNOLOGIES CO., LTD. OptiX OSN 9800 Intelligent Optical Transport Platform Technical Guide. Huawei, 2022.

La disponibilidad en redes de transmisión hace referencia a la capacidad de mantener los servicios operativos de forma continua, minimizando interrupciones y afectaciones al usuario final.

Para garantizar alta disponibilidad, las redes modernas implementan mecanismos de redundancia tanto en la capa óptica como en la eléctrica. Entre los principales mecanismos utilizados se encuentran la redundancia de tarjetas, la protección de enlaces, los esquemas de protección 1+1, la diversidad de rutas, el respaldo de energía y la conmutación automática ante fallas⁶.

La redundancia permite que, ante una falla en un componente de la red, los servicios puedan mantenerse operativos mediante rutas o recursos alternos.

En este contexto, la reorganización de servicios y la implementación de redundancia a nivel de tarjetas y DML contribuyen significativamente a mejorar la estabilidad y resiliencia de la infraestructura.

2.1.8 Gestión y monitoreo de red.

La administración de redes de transmisión requiere sistemas de gestión y monitoreo capaces de supervisar el estado operativo de los equipos y servicios en tiempo real. Los sistemas NMS (Network Management System)⁷ permiten supervisar alarmas, monitorear desempeño, gestionar configuraciones, detectar fallas y administrar recursos de red, facilitando la operación y mantenimiento de la infraestructura.

El monitoreo continuo facilita la identificación de degradaciones de servicio, saturación de recursos y problemas de disponibilidad, permitiendo una respuesta rápida ante incidentes y una mejor planificación de capacidad.

Asimismo, la gestión eficiente de la red resulta fundamental durante procesos de migración, optimización y expansión de infraestructura.

2.1.9 Soluciones Huawei para redes de transmisión.

Huawei Technologies desarrolla soluciones de transmisión orientadas a operadores y empresas que requieren redes de alta capacidad, disponibilidad y escalabilidad. Dentro de su portafolio se encuentran plataformas ópticas y de transporte capaces de soportar tecnologías DWDM, OTN y servicios de alta velocidad. Estas soluciones integran funcionalidades avanzadas orientadas a la gestión eficiente del espectro, el transporte de servicios 100G y 200G, la implementación de mecanismos de protección y redundancia, la administración centralizada y la escalabilidad de red.

⁶ INTERNATIONAL TELECOMMUNICATION UNION (ITU-T). Recommendation G.872: Architecture of Optical Transport Networks. Ginebra: ITU, 2020.

⁷ HUAWEI TECHNOLOGIES CO., LTD. OptiXtrans E-Series Product Documentation. Huawei, 2023.

Las soluciones Huawei son ampliamente utilizadas en redes de transporte modernas debido a su capacidad para optimizar recursos y facilitar la evolución tecnológica de las infraestructuras de telecomunicaciones

2.2 ESTADO DEL ARTE

2.2.1 Evolución de las redes de transmisión óptica.

Las redes de transmisión han evolucionado significativamente debido al crecimiento acelerado del tráfico de datos generado por servicios digitales, computación en la nube, video en alta definición, internet de las cosas (IoT) y aplicaciones empresariales. Esta transformación ha impulsado a los operadores de telecomunicaciones a migrar hacia infraestructuras de mayor capacidad, eficiencia y escalabilidad.

Inicialmente, las redes de transporte se basaban en tecnologías como SDH (Synchronous Digital Hierarchy), las cuales ofrecían mecanismos confiables de transmisión y sincronización. Sin embargo, el incremento de demanda y la necesidad de soportar servicios de alta velocidad llevaron a la evolución hacia redes ópticas basadas en DWDM y OTN, capaces de transportar grandes volúmenes de información sobre una misma fibra óptica.

Actualmente, las redes modernas se orientan hacia arquitecturas flexibles y programables, donde la optimización del espectro, la automatización y la escalabilidad son factores fundamentales para garantizar continuidad y crecimiento de los servicios.

2.2.2 Implementación de tecnologías de 100G, 200G y 400G.

En los últimos años, la industria de telecomunicaciones ha incrementado progresivamente las capacidades de transmisión óptica. Las primeras implementaciones masivas de alta capacidad se desarrollaron mediante canales de 100G, los cuales permitieron aumentar significativamente el ancho de banda disponible en redes metropolitanas y backbone.

No obstante, el crecimiento continuo del tráfico ha impulsado la adopción de tecnologías de 200G y 400G, capaces de transmitir mayores volúmenes de información utilizando menor cantidad de recursos espectrales. Estas tecnologías emplean técnicas avanzadas de modulación coherente y procesamiento digital de señales, permitiendo mejorar la eficiencia espectral y extender las distancias de transmisión.

La migración hacia canales de 200G se ha convertido en una estrategia ampliamente utilizada por operadores y proveedores de infraestructura, debido a que permite incrementar capacidad sin ampliar infraestructura física, liberar

espectro óptico, reducir costos operativos, mejorar la escalabilidad y optimizar el uso de lambdas disponibles.

Esta tendencia refleja la necesidad de construir redes más eficientes y preparadas para soportar futuros incrementos de tráfico.

2.2.3 Optimización del espectro óptico.

La optimización del espectro óptico constituye actualmente uno de los principales desafíos en redes de transmisión DWDM. El espectro disponible dentro de la fibra óptica es un recurso limitado, por lo que su utilización eficiente resulta fundamental para garantizar escalabilidad y sostenibilidad de la red.

Las arquitecturas modernas implementan estrategias de eficiencia espectral mediante el uso de canales de mayor capacidad, modulación coherente, tecnologías flex-grid, ROADM dinámicos y asignación flexible de ancho de banda⁸. En redes tradicionales, múltiples servicios eran transportados utilizando lambdas independientes de 100G⁹, generando mayor ocupación espectral. En contraste, las soluciones actuales buscan consolidar tráfico mediante canales de 200G o superiores, permitiendo transportar mayor cantidad de información utilizando menos espacio dentro del espectro óptico.

La optimización espectral también contribuye a retrasar inversiones asociadas al despliegue de nuevas fibras, mejorando el aprovechamiento de la infraestructura existente.

2.2.4 Redes de transmisión escalables y resilientes.

La evolución de las redes de telecomunicaciones ha generado la necesidad de implementar infraestructuras altamente escalables y resilientes, capaces de soportar crecimiento continuo de servicios y mantener disponibilidad operativa ante fallas.

Actualmente, los operadores implementan mecanismos de redundancia y protección tanto en la capa óptica como en la eléctrica, incorporando esquemas de protección 1+1, redundancia de tarjetas, diversidad de rutas, conmutación automática¹⁰, respaldo de enlaces y equipos.

Asimismo, las arquitecturas modernas buscan simplificar la gestión y reorganización de servicios mediante estructuras más flexibles y distribuidas, permitiendo facilitar procesos de expansión y migración de red.

⁸ INTERNATIONAL TELECOMMUNICATION UNION (ITU-T). Recommendation G.694.1: Spectral grids for WDM applications: DWDM frequency grid. Ginebra: ITU, 2020.

⁹ AGRAWAL, Govind P. Op. cit., p. 145.

¹⁰ INTERNATIONAL TELECOMMUNICATION UNION (ITU-T). Recommendation G.872: Architecture of Optical Transport Networks. Ginebra: ITU, 2020.

En este contexto, la reorganización de servicios eléctricos y la incorporación de redundancia a nivel de DML representan estrategias clave para mejorar la disponibilidad y continuidad operativa.

2.2.5 Migración y modernización de nodos de transmisión.

La modernización de nodos de transmisión se ha convertido en una práctica frecuente dentro de operadores de telecomunicaciones, especialmente en escenarios donde la infraestructura existente presenta limitaciones de crecimiento, disponibilidad o control operativo.

Las migraciones de nodos permiten mejorar las condiciones de operación, incrementar capacidad, optimizar la distribución de servicios, implementar nuevas tecnologías y garantizar continuidad del negocio.

Actualmente, las estrategias de migración contemplan procedimientos orientados a minimizar interrupciones de servicio, incluyendo validaciones previas, redundancia temporal, ventanas controladas de mantenimiento y planes de contingencia.

Además, la tendencia actual apunta hacia infraestructuras propias o ambientes con mayor autonomía operativa, permitiendo a los operadores tener mayor control sobre expansión, mantenimiento y evolución tecnológica de la red.

2.2.6 Soluciones Huawei en redes de transmisión óptica.

Huawei Technologies se ha consolidado como uno de los principales proveedores de soluciones de transmisión óptica a nivel mundial¹¹, desarrollando plataformas orientadas a redes DWDM, OTN y transporte de alta capacidad.

Dentro de sus soluciones se destacan tecnologías capaces de soportar redes de 100G, 200G y 400G, gestión inteligente del espectro, redes ROADM, arquitecturas OTN, alta disponibilidad, redundancia y gestión centralizada mediante sistemas NMS.

Las plataformas de transmisión Huawei son ampliamente utilizadas en operadores y empresas debido a su capacidad de integración, escalabilidad y eficiencia en el transporte de servicios críticos.

Asimismo, las soluciones actuales incorporan automatización, inteligencia de red y optimización dinámica de recursos, alineándose con las tendencias globales de evolución hacia redes más flexibles y eficientes.

2.2.7 Tendencias futuras en redes de transporte.

¹¹ HUAWEI TECHNOLOGIES CO., LTD. OptiX OSN 9800 Intelligent Optical Transport Platform Technical Guide. Huawei, 2022.

Las redes de transmisión continúan evolucionando hacia modelos orientados a mayor automatización, capacidad y eficiencia. Entre las principales tendencias tecnológicas se encuentran la implementación de tecnologías de 400G y 800G, las redes ópticas inteligentes, la automatización mediante SDN, la aplicación de inteligencia artificial en gestión de red, el flex-grid dinámico, las redes autónomas y la optimización energética.

Estas tecnologías buscan responder al crecimiento exponencial del tráfico y a las necesidades de conectividad de nueva generación, garantizando redes más adaptables, resilientes y preparadas para futuras demandas del mercado.

2.3 BASES LEGALES

2.3.1 Marco normativo de las telecomunicaciones en Colombia.

El sector de las telecomunicaciones en Colombia se encuentra regulado por un conjunto de leyes, decretos y lineamientos técnicos orientados a garantizar el adecuado funcionamiento de las redes de comunicación, la prestación eficiente de servicios y el desarrollo tecnológico del país.

Dentro de este marco normativo, las redes de transmisión óptica y los sistemas de transporte de telecomunicaciones deben cumplir criterios relacionados con calidad, disponibilidad, interoperabilidad y uso eficiente de los recursos tecnológicos, asegurando la continuidad y confiabilidad de los servicios ofrecidos.

2.3.2 Ley 1341 de 2009.

La principal base normativa del sector TIC en Colombia corresponde a la Ley 1341 de 2009¹², mediante la cual se definen los principios y conceptos sobre la sociedad de la información y la organización de las tecnologías de la información y las comunicaciones.

Esta ley establece lineamientos orientados a promover la inversión en infraestructura, el uso eficiente de recursos tecnológicos, la modernización de redes de telecomunicaciones, la libre competencia, la continuidad y calidad en la prestación de servicios, así como el desarrollo de infraestructura de conectividad.

Asimismo, la ley impulsa la expansión y actualización tecnológica de las redes de transporte, permitiendo la evolución hacia arquitecturas de mayor capacidad, eficiencia y escalabilidad.

2.3.3 Ministerio TIC.

¹² COLOMBIA. MINISTERIO DE TECNOLOGÍAS DE LA INFORMACIÓN Y LAS COMUNICACIONES. Ley 1341 de 2009: Principios y conceptos sobre la sociedad de la información y la organización de las TIC. Bogotá D.C.: MinTIC, 2009.

El Ministerio de Tecnologías de la Información y las Comunicaciones es la entidad encargada de diseñar, adoptar y promover políticas, planes y programas relacionados con el sector TIC en Colombia.

Dentro de sus funciones se encuentran el fortalecimiento de la infraestructura de telecomunicaciones, el impulso de procesos de modernización tecnológica, la definición de lineamientos de conectividad y la promoción de la transformación digital del país.

Las iniciativas desarrolladas por el Ministerio TIC favorecen la implementación de tecnologías de alta capacidad y la optimización de las redes de transmisión utilizadas por operadores y proveedores de servicios, permitiendo mejorar cobertura, disponibilidad y eficiencia operativa.

2.3.4 Comisión de Regulación de Comunicaciones (CRC).

La Comisión de Regulación de Comunicaciones es la entidad encargada de promover la competencia y regular los mercados de redes y servicios de comunicaciones en Colombia¹³.

La CRC establece lineamientos relacionados con calidad y disponibilidad de servicios, interconexión de redes, protección de usuarios, regulación técnica del sector y eficiencia operativa de las infraestructuras de telecomunicaciones.

Estas disposiciones son especialmente relevantes para proyectos de migración y modernización de infraestructura, debido a que las redes de transmisión deben garantizar continuidad y disponibilidad de los servicios durante procesos de expansión, reorganización o actualización tecnológica.

2.3.5 Normativas y estándares internacionales ITU-T.

A nivel internacional, las redes de transmisión óptica se rigen principalmente por las recomendaciones de la International Telecommunication Union, específicamente del sector ITU-T, encargado de la estandarización de telecomunicaciones.

Las recomendaciones ITU-T establecen parámetros técnicos orientados a garantizar interoperabilidad, compatibilidad y correcto funcionamiento de las redes ópticas.

Entre las recomendaciones más relevantes para este proyecto se encuentra la ITU-T G.694, la cual define las características relacionadas con los sistemas DWDM y la distribución de canales ópticos dentro del espectro de transmisión¹⁴, siendo fundamental para la planificación y optimización espectral de redes ópticas.

¹³ COMISIÓN DE REGULACIÓN DE COMUNICACIONES. Regulación del sector de telecomunicaciones en Colombia. Bogotá D.C.: CRC, 2023.

¹⁴ INTERNATIONAL TELECOMMUNICATION UNION (ITU-T). Op. cit.

De igual manera, la recomendación ITU-T G.709 establece la arquitectura y funcionamiento de las redes OTN (Optical Transport Network)¹⁵, incluyendo estructuras de transporte, multiplexación y mecanismos de supervisión.

La recomendación ITU-T G.652 define las características técnicas de las fibras ópticas monomodo utilizadas ampliamente en redes de transmisión¹⁶, mientras que la ITU-T G.872 describe la arquitectura funcional de las redes ópticas de transporte, incluyendo elementos relacionados con multiplexación, gestión y conectividad óptica.

2.3.6 Regulaciones sobre continuidad y disponibilidad de servicios.

Las redes de telecomunicaciones deben garantizar altos niveles de disponibilidad y continuidad operativa, especialmente en infraestructuras críticas de transporte.

Por esta razón, tanto la normativa nacional como los estándares internacionales promueven la implementación de mecanismos relacionados con redundancia, protección de enlaces, gestión de fallas, recuperación ante incidentes y supervisión de red.

Estos lineamientos resultan especialmente relevantes durante procesos de migración de nodos y reorganización de servicios, donde se requiere minimizar el impacto operativo y garantizar estabilidad en la prestación de los servicios de telecomunicaciones.

2.3.7 Normativa relacionada con infraestructura y operación de redes.

La implementación y modernización de redes de transmisión también deben considerar aspectos asociados con seguridad operativa, gestión de infraestructura, compatibilidad electromagnética, organización de cableado y administración de centros de datos y nodos de telecomunicaciones.

En proyectos de migración de nodos, estas consideraciones resultan fundamentales para garantizar condiciones adecuadas de operación, mantenimiento y crecimiento futuro de la infraestructura.

Asimismo, el cumplimiento de estas disposiciones contribuye a mejorar la confiabilidad, disponibilidad y sostenibilidad de la red de transporte.

2.3.8 Importancia del marco legal en proyectos de modernización de redes.

El cumplimiento de las bases legales y normativas permite garantizar que los proyectos de modernización y expansión de redes de transmisión se desarrollen

¹⁵ INTERNATIONAL TELECOMMUNICATION UNION (ITU-T). Op. cit.

¹⁶ INTERNATIONAL TELECOMMUNICATION UNION (ITU-T). Recommendation G.652: Characteristics of a single-mode optical fibre and cable. Ginebra: ITU, 2016.

bajo criterios técnicos estandarizados, asegurando interoperabilidad, confiabilidad y continuidad de los servicios.

Asimismo, la adopción de estándares internacionales y lineamientos regulatorios favorece la implementación de soluciones escalables y sostenibles, alineadas con las necesidades actuales de crecimiento del tráfico y evolución tecnológica del sector de telecomunicaciones.

2.4 MATERIALES

Para el desarrollo de la presente propuesta de migración y optimización de la infraestructura de transmisión Huawei, se utilizaron diferentes recursos tecnológicos, herramientas de gestión, documentación técnica y plataformas de apoyo orientadas al análisis, diseño, configuración y validación de la red.

2.4.1 Infraestructura y equipos de transmisión.

Durante el desarrollo del proyecto se trabajó sobre infraestructura de transmisión Huawei perteneciente a la red del operador, incluyendo equipos OSN 9800 M12 y U32, así como tarjetas ópticas y eléctricas utilizadas para la prestación de servicios de transporte. Adicionalmente, se utilizaron elementos de conectividad óptica como fibra óptica monomodo, ODF (Optical Distribution Frame) y patch cords para la interconexión de los nodos involucrados en la migración.

2.4.2 Plataformas y herramientas de gestión.

Para la administración, supervisión y validación de la red se utilizó la plataforma Huawei NCE (Network Cloud Engine)⁶, mediante la cual se realizaron actividades de monitoreo, validación de alarmas, configuración de servicios, revisión de topologías y administración de elementos de red.

Asimismo, se empleó la plataforma Huawei CPQ (Configure, Price and Quote)⁶ como herramienta de apoyo para la validación y consulta de configuraciones relacionadas con equipos, tarjetas y soluciones de transmisión utilizadas dentro de la propuesta.

2.4.3 Herramientas de diseño y documentación.

Para el desarrollo técnico del proyecto se utilizaron diseños de bajo nivel (Low Level Design - LLD), los cuales permitieron documentar la arquitectura de red, distribución de servicios, conexiones ópticas y estructura de la solución propuesta.

Igualmente, se emplearon hojas de cálculo en Microsoft Excel para la organización y creación de internal fibers, control de servicios, validación de enlaces y administración de información técnica relacionada con la migración.

La elaboración de diagramas, topologías y documentación técnica se realizó mediante herramientas ofimáticas y de diagramación, facilitando la representación gráfica y estructural de la infraestructura de transmisión.

2.4.4 Recursos documentales y normativos.

Como soporte técnico y teórico se utilizaron manuales y documentación oficial Huawei relacionados con plataformas OSN 9800, redes DWDM y OTN. Además, se consultaron recomendaciones internacionales ITU-T asociadas a redes ópticas, eficiencia espectral y arquitecturas de transporte.

También se emplearon registros históricos de la red, configuraciones existentes, reportes de alarmas y archivos de servicios suministrados por el operador para el análisis y validación de la infraestructura actual.

2.4.5 Recursos operativos.

Para la ejecución de las actividades planteadas se consideraron ventanas de mantenimiento (Maintenance Window - MW), procedimientos RFC (Request For Change), validaciones operativas y monitoreo continuo de servicios, garantizando control sobre los cambios realizados y continuidad operativa de la red durante el proceso de migración.

2.5 METODOLOGÍA

Técnicas o parámetros usados en el desarrollo del trabajo. El desarrollo de la presente propuesta se llevó a cabo mediante una metodología de enfoque analítico y aplicado, orientada al diagnóstico, diseño y validación de soluciones para la red de transmisión. Esta metodología se estructuró en varias fases, permitiendo abordar de manera organizada las problemáticas identificadas en las capas óptica y eléctrica.

En una primera fase, se realizó el levantamiento de información de la red actual, incluyendo la recopilación de datos técnicos de los equipos de transmisión Huawei, topología de red, ocupación de tarjetas, uso de espectro óptico y estado de los enlaces. Esta información fue obtenida a partir de herramientas de gestión,

documentación técnica y revisión de configuraciones, lo que permitió construir una visión detallada del estado operativo de la infraestructura.

Posteriormente, se desarrolló una fase de diagnóstico y análisis, en la cual se evaluaron las limitaciones existentes en la red. En esta etapa se identificaron los puntos de saturación en la capa eléctrica, las restricciones asociadas a la ubicación del nodo y las ineficiencias en el uso del espectro óptico. Asimismo, se analizaron las tendencias de crecimiento de tráfico y la demanda de servicios, con el fin de dimensionar adecuadamente la solución propuesta.

En la tercera fase, se llevó a cabo el diseño de la solución de migración, contemplando tanto la capa eléctrica como la capa óptica. Para la capa eléctrica, se definió la reorganización de servicios, la distribución de cargas y la incorporación de nuevos recursos, incluyendo tarjetas y estructuras DML. En la capa óptica, se planteó la migración de canales de 100G a 200G, considerando criterios de eficiencia espectral, compatibilidad tecnológica² y capacidad de los equipos. Adicionalmente, se definió la estrategia para el traslado del nodo hacia una infraestructura propia del cliente, garantizando condiciones adecuadas de operación.

Finalmente, se desarrolló una fase de validación y análisis de impacto, en la cual se evaluaron los beneficios técnicos de la propuesta en términos de capacidad, disponibilidad, eficiencia espectral y escalabilidad. Asimismo, se consideraron aspectos operativos como la continuidad del servicio, la minimización de riesgos durante la migración y la viabilidad de implementación en el entorno real.

Esta metodología permitió estructurar una solución integral, alineada con las necesidades del cliente y con las mejores prácticas de diseño en redes de transmisión, garantizando una propuesta técnica sólida y viable para la evolución de la infraestructura.

3. DESARROLLO DEL PROYECTO

3.1 Diagnóstico de la red actual.

Actualmente, la infraestructura de transmisión del cliente presenta diferentes limitaciones operativas y de capacidad que hacen necesaria una propuesta de migración y modernización de la red.

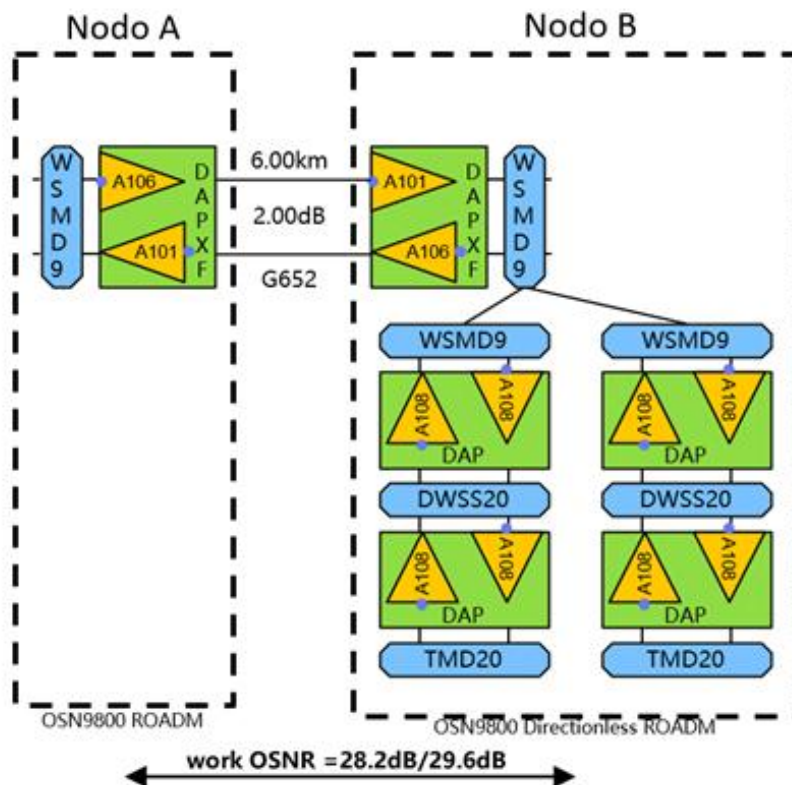


Ilustración 1 Configuración NE actual.

En primer lugar, el Nodo B se encuentra implementado sobre infraestructura que no es propia del cliente, lo que genera dependencia operativa sobre terceros, costos asociados al alquiler del espacio y limitaciones para futuras expansiones o adecuaciones de la infraestructura. Debido a esto, se plantea la migración hacia un nuevo nodo propio, permitiendo mayor autonomía operativa, mejor control de la infraestructura y mejores condiciones de escalabilidad.

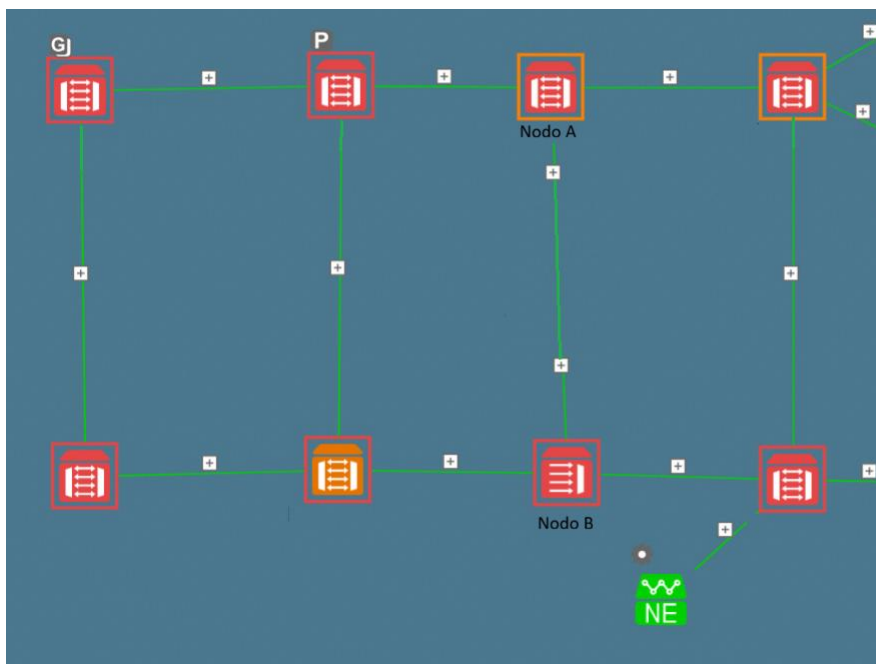


Ilustración 2 Topología actual

Por otra parte, en la capa eléctrica se evidencia una alta ocupación de recursos, especialmente a nivel de slots, tarjetas y estructuras DML, reduciendo la capacidad disponible para la incorporación de nuevos servicios. La infraestructura actual se encuentra cercana a su límite operativo, por lo que se requiere una expansión y reorganización de los servicios existentes, además de la implementación de esquemas de redundancia tanto a nivel de tarjetas como de DML, con el fin de mejorar la disponibilidad, flexibilidad y resiliencia de la red.

Adicionalmente, en la capa óptica se identificó una utilización ineficiente del espectro debido al uso de canales ópticos de 100G para el transporte de servicios de alta capacidad. Como parte de la optimización propuesta, se contempla la implementación de lambdas de 200G, permitiendo liberar espectro óptico actualmente ocupado, incrementar la eficiencia espectral y preparar la infraestructura para futuras necesidades de crecimiento y escalabilidad.

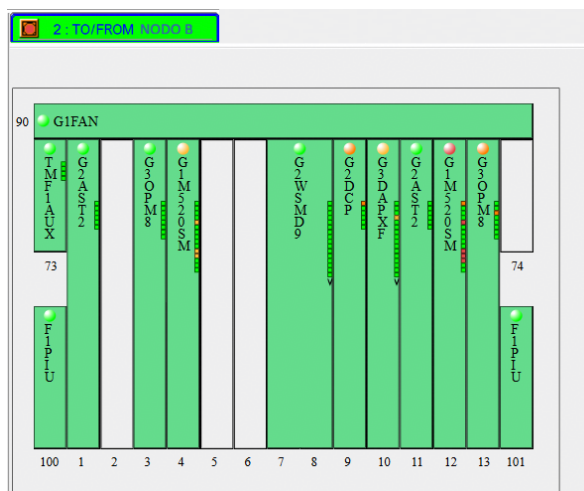


Ilustración 4 Capa óptica Nodo A

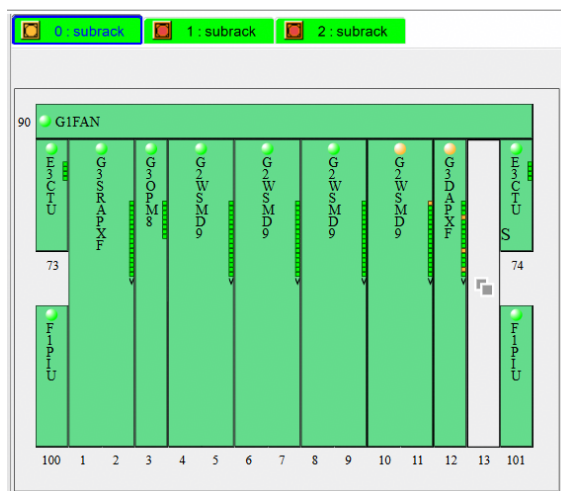


Ilustración 3 Capa óptica Nodo B

A partir de estas condiciones, se plantea una estrategia de migración orientada a optimizar tanto la capa óptica como la capa eléctrica, garantizando continuidad operativa, mayor disponibilidad de recursos y una arquitectura de transmisión más eficiente y escalable.

3.2 Fases de la migración.

La estrategia de migración se estructurará en diferentes fases operativas con el objetivo de garantizar la continuidad de los servicios, minimizar riesgos durante la transición y asegurar la correcta integración de la nueva infraestructura dentro de la red de transmisión.

Cada fase contemplará actividades de planeación, configuración, validación y monitoreo, ejecutadas bajo procedimientos controlados mediante ventanas de mantenimiento (Maintenance Window - MW) y procesos de gestión de cambios aprobados mediante RFC (Request For Change).

Para la ejecución de las actividades se utilizará el sistema de gestión Huawei NCE (Network Cloud Engine), desde donde se realizarán configuraciones, validaciones de servicios, monitoreo de alarmas y administración de la red óptica y eléctrica. Las actividades de migración se ejecutarán en horarios nocturnos de baja demanda de tráfico, entre las 10:00 p.m. y las 6:00 a.m. del siguiente día, con el fin de minimizar posibles afectaciones sobre los servicios del cliente.

3.2.1 Fase 1 Integración Nodo C.

Integrar el nuevo Nodo C dentro de la red de transmisión existente, permitiendo su incorporación operativa entre los nodos Nodo A y Nodo B como preparación para la posterior migración de servicios.

Previamente a la integración del nuevo nodo, se realizará la configuración y comisionamiento anticipado de los equipos de transmisión Huawei OSN 9800 M12 en el sitio Nodo C, con el fin de reducir tiempos operativos durante la ventana de mantenimiento y minimizar riesgos sobre la red en producción.

Dentro de las actividades contempladas para la integración del sitio se encuentran:

- Instalación física del equipo Huawei OSN 9800 M12 en el Nodo C.
- Encendido y validación operativa inicial del equipo.
- Conexión de fibras ópticas desde el ODF hacia las tarjetas ópticas correspondientes.
- Configuración de parámetros básicos del NE (Network Element).
- Creación de CXC (Cross Connections) necesarias para la integración inicial del nodo.

Adicionalmente, se realizará la configuración previa del nodo Nodo C M12, incluyendo:

- Configuración de fibras internas.
- Carga y actualización de la versión de software requerida por el cliente.
- Validación de comunicación y disponibilidad del equipo dentro del sistema de gestión Huawei NCE.

Reconfiguración de la red óptica.

Posteriormente, se realizará la integración del nodo TULCAN_3_M12 entre los nodos TULCAN_1_M12 y TULCAN_2_M12, contemplando la reorganización de fibras, servicios y calibración de lambdas.

Como parte de esta actividad, se ejecutará el apagado controlado de las tarjetas DAPXF involucradas en los enlaces ópticos existentes, con el objetivo de realizar la reconexión física y lógica de la nueva topología óptica.

Después de esto, se procederá con:

- Eliminación de las conexiones lógicas existentes entre TULCAN_1 y TULCAN_2.

- Creación de nuevos enlaces ópticos incorporando el Nodo C dentro de la topología.
- Configuración de fibras ópticas y asociaciones lógicas entre nodos.
- Interconexión física entre sitios mediante fibras provenientes del ODF.

La nueva topología quedará estructurada de la siguiente manera:

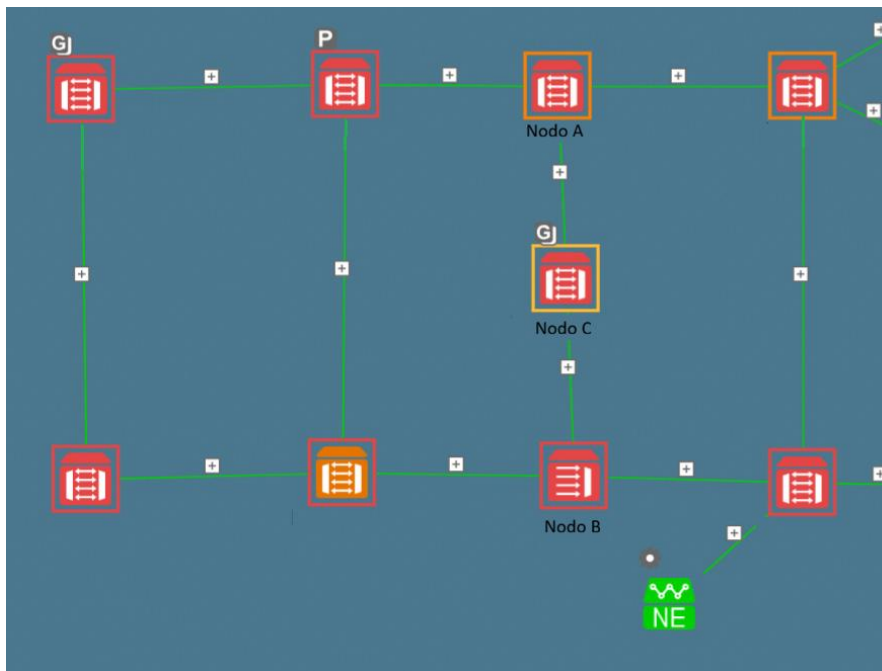


Ilustración 5 Topología con el nodo nuevo.

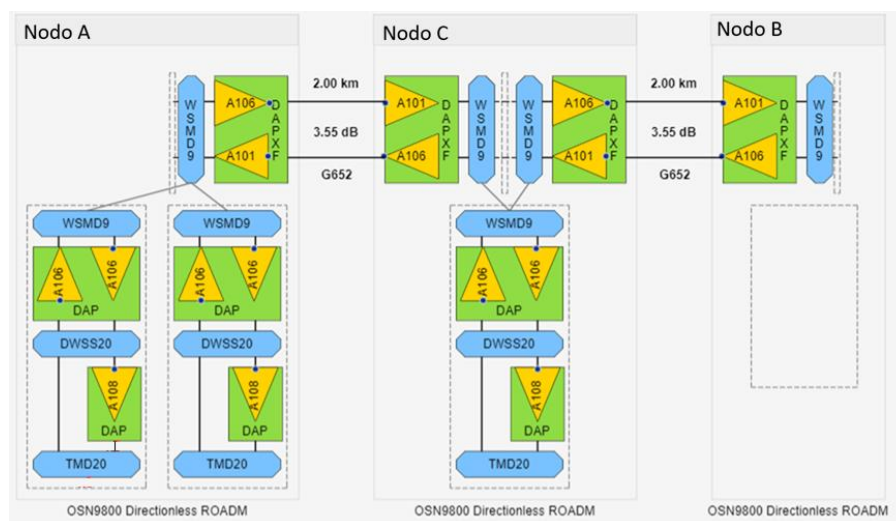


Ilustración 6 Configuración NE nueva.

Durante esta etapa se realizará la validación de trails OSC bidireccionales entre los nodos involucrados, garantizando correcta conectividad óptica y comunicación de supervisión.

Validación óptica y monitoreo

Una vez finalizada la integración física y lógica, se procederá con la validación de potencia óptica sobre las tarjetas AST2 en los nodos TULCAN_1, TULCAN_3 y TULCAN_2, comparando los niveles obtenidos con los valores históricos registrados previamente en la red.

Asimismo, se realizará:

- Monitoreo de alarmas activas.
- Verificación de desempeño de servicios.
- Validación de niveles mediante tarjetas OPM8.
- Confirmación operativa de servicios junto con el cliente.

También se ejecutará la validación física de fibras ópticas, verificando la desconexión de enlaces antiguos y la correcta conexión de las nuevas fibras de acuerdo con el diseño y layout establecido para la migración.

Configuración y sincronización ASON.

Como parte de la integración del nuevo nodo dentro de la arquitectura ASON, se configurará la dirección IP ASON sobre el nodo NodoC_M12 para su incorporación dentro del dominio ASON de la red.

Posteriormente, se realizará la sincronización de:

- Topología ASON.
- Control Links.
- TE Links (Traffic Engineering Links).

Durante este proceso se validará la correcta creación de nuevos links de acuerdo a los siguientes internal fibers.

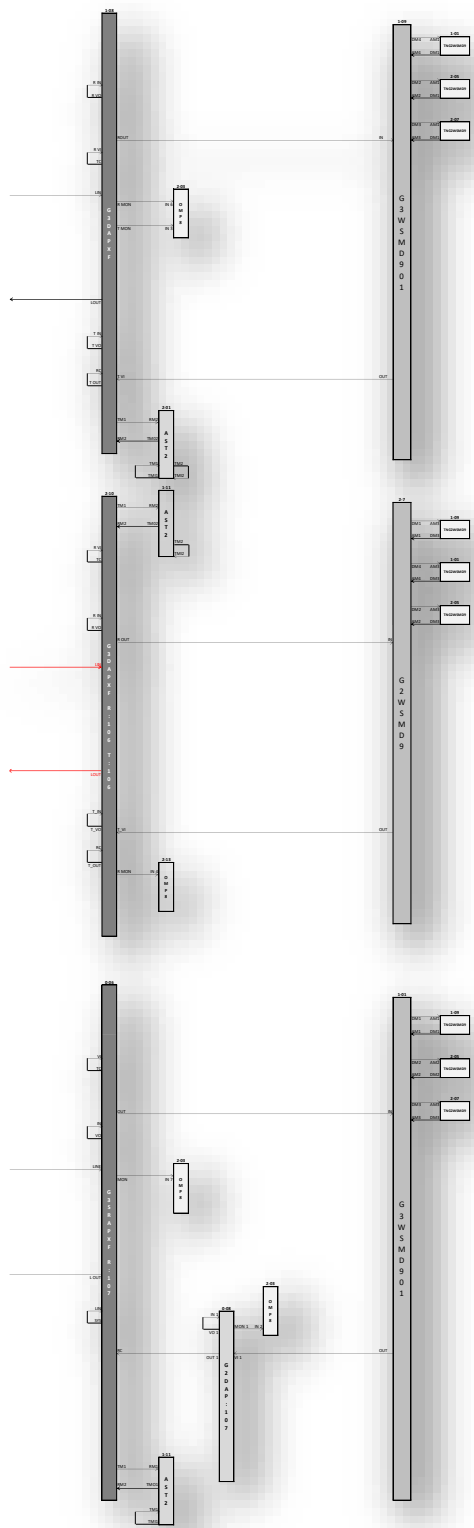


Ilustración 8 Internal Fiber Nodo A

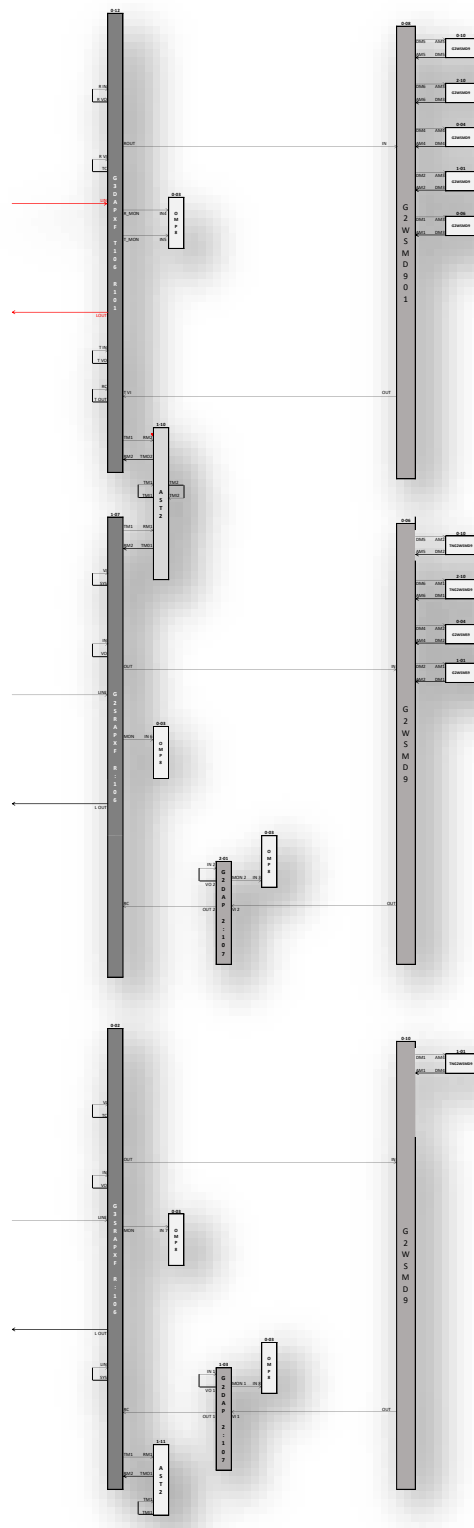


Ilustración 7 Internal Fiber Nodo B.

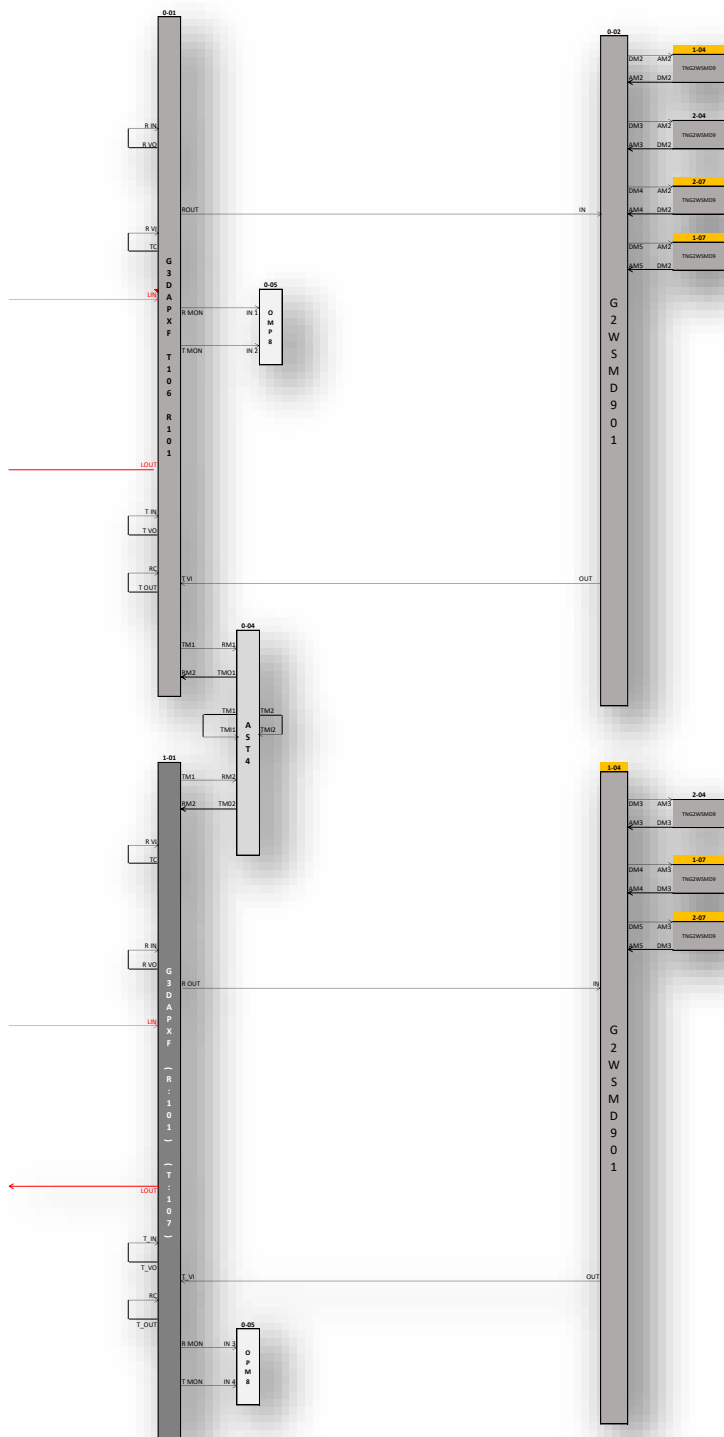


Ilustración 9 Internal Fiber Nodo C.

Adicionalmente, se realizará la reconfiguración del modo de operación de la capa óptica en los nodos involucrados, cambiando el esquema de fixed grid hacia flexible grid¹⁷ desde el menú:

WDM/OTN > ASON Topology Management > NE Optical-Layer Working Mode

Esta configuración permitirá optimizar el uso del espectro óptico y facilitar futuras expansiones de capacidad en la red.

Como consideración operativa, después de cada optimización de servicios ASON, el trail activo deberá configurarse nuevamente como ruta original. Asimismo, en caso de degradación y posterior actualización de servicios ASON, será necesario reconfigurar los presets de restauración correspondientes para garantizar la correcta recuperación automática de los servicios.

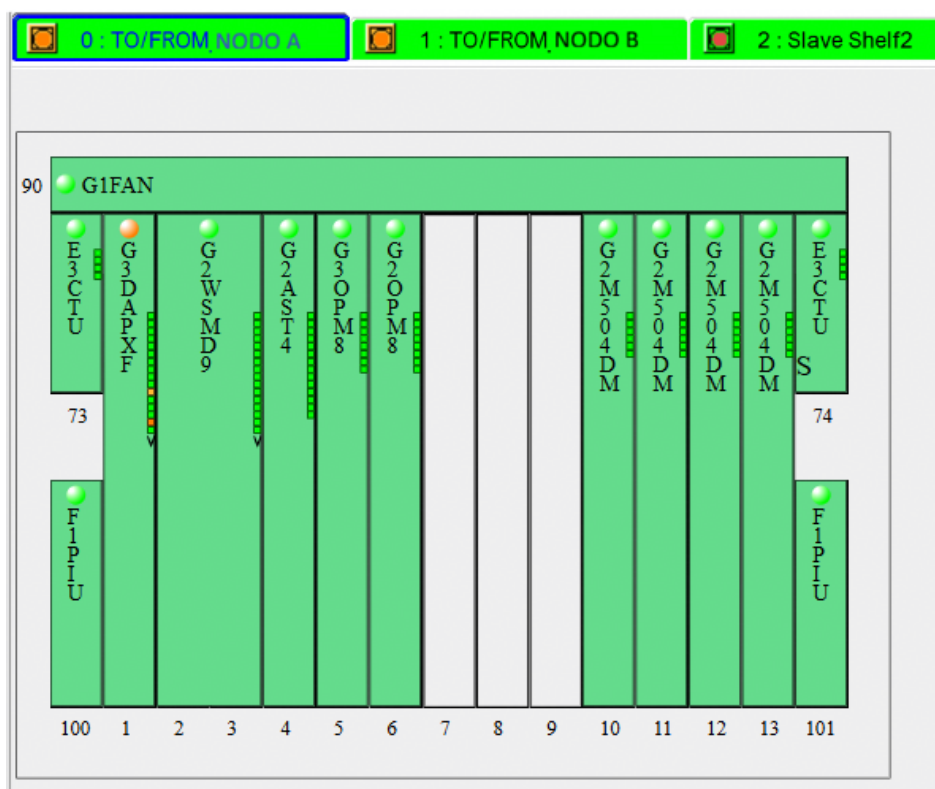


Ilustración 10 Capa óptica Nodo C.

3.2.2 Fase 2 Migración y configuración de servicios Nodo B a Nodo C.

¹⁷ HUAWEI TECHNOLOGIES CO., LTD. WDM/OTN ASON Configuration Guide. Huawei.

Después de la integración del Nodo C se procederá a realizar la migración de servicios en toda la capa eléctrica, con los servicios que el cliente tenga pasando por esta sección.

Nodo A no cuenta con capa eléctrica.

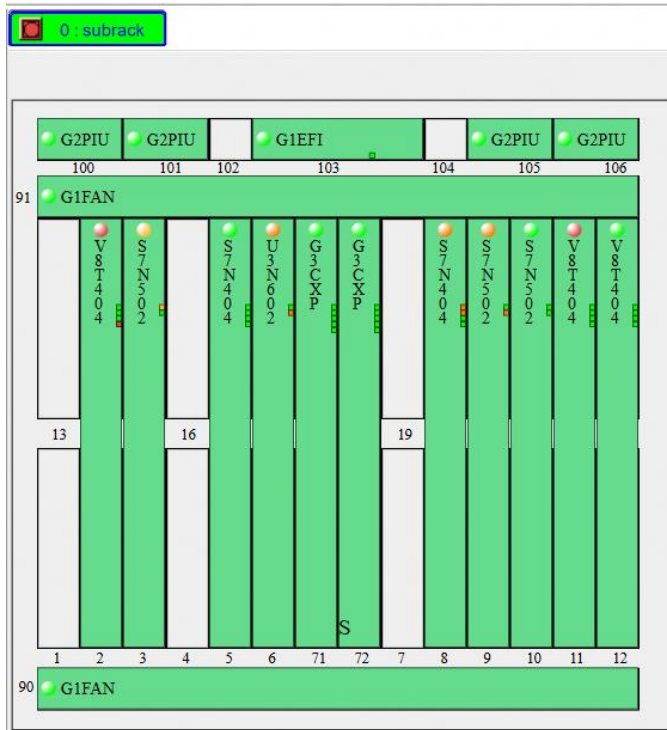


Ilustración 11 Capa eléctrica Nodo B.

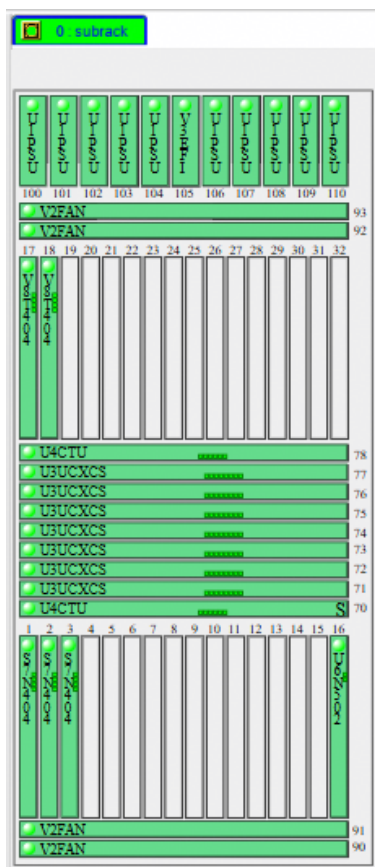


Ilustración 12 Capa eléctrica Nodo C.

En esta fase se realizará la migración, reorganización y optimización de los servicios de transmisión en las capas óptica y eléctrica, garantizando la continuidad operativa de la red durante el proceso de transición hacia la nueva infraestructura.

Inicialmente, se ejecuta la migración de servicios ASON presentes en los nodos Nodo B M12 y Nodo B M24. Como parte del procedimiento previo, fue necesario convertir los servicios configurados bajo arquitectura ASON a servicios tradicionales, realizando la desactivación y eliminación de los trails existentes con el fin de evitar conflictos durante la migración y permitir la posterior creación de nuevas rutas ópticas.

Posteriormente, se realiza la creación de nuevos servicios en los nodos, Nodo C M12 y Nodo C U32, contemplando la configuración de trails tradicionales y su posterior actualización hacia servicios WDM ASON. Este proceso incluyó la creación de presets de restauración y la calibración de servicios ópticos para garantizar estabilidad y disponibilidad de la red.

La actualización de servicios tradicionales hacia ASON se realizará seleccionando el OCh correspondiente dentro del sistema de gestión NMS. Posteriormente, mediante el árbol de funciones de WDM, se ejecutaría la opción “Upgrade to WDM ASON Trail”¹⁸, permitiendo migrar los servicios hacia una arquitectura óptica con capacidades de protección y restauración automática.

Una vez creados los servicios ASON, se realizó la búsqueda y validación de los trails configurados desde la vista WDM Trail del NMS, utilizando filtros por subnet y verificando la correcta creación de las rutas ópticas involucradas en la migración. Posteriormente, se procede al bloqueo de rutas ópticas ASON con el fin de evitar reruteos automáticos durante las actividades de migración. Para ello, desde la topología física y la administración ASON WDM/OTN, se seleccionaron los trails correspondientes y se modificó la propiedad de reroute lockout al estado “Locked”, garantizando estabilidad temporal de las rutas mientras se realizaban los cambios sobre la infraestructura.

Como parte de la configuración de restauración, se implementaron presets ASON para cada servicio migrado. Desde la administración de trails ASON, se seleccionaron las rutas relacionadas y se configuraron trayectorias de restauración de acuerdo con el diseño definido para la solución. Estas configuraciones permitieron establecer rutas alternativas de recuperación ante posibles fallas dentro de la red óptica.

Finalizada la configuración de los servicios ASON, se realizó la migración y creación de servicios de cliente suministrados por el operador. Durante este proceso se verificaron alarmas activas, niveles ópticos y desempeño de las interfaces utilizando tarjetas OPM8¹⁹, confirmando junto con el cliente la correcta operación de los servicios migrados.

Adicionalmente, se realiza la validación de servicios en los nodos NODE_C_U32 y NODE_C_M12, tomando como referencia el archivo de servicios involucrados en la migración, verificando continuidad operativa y correcto establecimiento de conectividad extremo a extremo.

Finalmente, se ejecuta la reconfiguración ASON de los nodos involucrados en la migración, modificando el modo de operación de la capa óptica desde fixed grid

¹⁸ HUAWEI TECHNOLOGIES CO., LTD. WDM/OTN ASON Configuration Guide. Huawei.

¹⁹ HUAWEI TECHNOLOGIES CO., LTD. OptiX OSN 9800 Hardware Description. Huawei.

hacia flexible grid en el Nodo C. Esta configuración se realizó desde el menú WDM/OTN > ASON Topology Management > NE Optical-Layer Working Mode, permitiendo mejorar la eficiencia espectral y facilitar futuras expansiones de capacidad en la red.

Como consideraciones operativas adicionales, se estableció que, después de cada optimización de servicios ASON, el trail activo debía configurarse nuevamente como ruta original. Asimismo, se identificó que, en casos donde un servicio ASON fuera degradado y posteriormente actualizado nuevamente, sería necesario reconfigurar los presets de restauración para garantizar la correcta recuperación automática de los servicios.

3.2.3 Fase 3 Eliminación Nodo B.

Una vez finalizada la migración de servicios hacia el Nodo C y realizadas las validaciones operativas correspondientes, se procederá con la eliminación del Nodo B de la topología de transmisión.

Inicialmente, se realizará la validación final de todos los servicios migrados, verificando continuidad operativa, estabilidad de las rutas ópticas, ausencia de alarmas críticas y correcto funcionamiento de los servicios sobre la nueva infraestructura.

Posteriormente, se ejecutará la desintegración lógica y física del Nodo B dentro de la red, contemplando:

- Eliminación de trails y configuraciones asociadas al nodo,
- Eliminación de fibras lógicas relacionadas con la topología anterior, des asociación de enlaces ópticos, y actualización de la topología dentro del sistema de gestión Huawei NCE.

Adicionalmente, se realizará la desconexión física de fibras y equipos asociados al Nodo B, garantizando que todos los servicios permanezcan operativos sobre el Nodo C y los nodos adyacentes.

Después de la eliminación del nodo, se ejecutarán validaciones finales sobre: Niveles ópticos, alarmas activas, estado de servicios, TE Links, rutas ASON y desempeño general de la red.

Consolidar la migración completa de servicios sobre la nueva infraestructura, eliminando dependencias operativas del Nodo B y garantizando una red más eficiente, escalable y preparada para futuras demandas de capacidad.

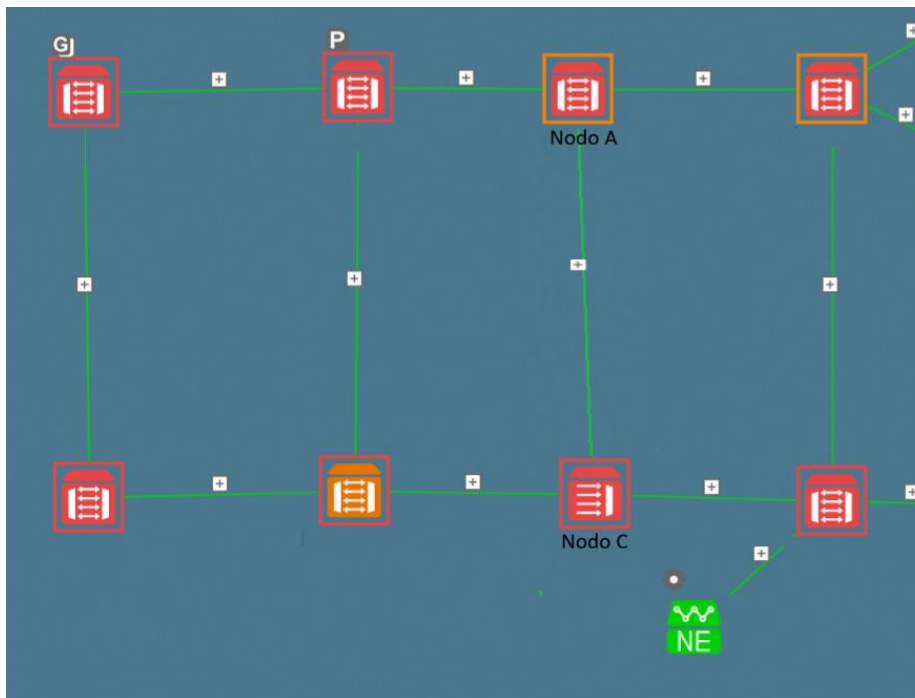


Ilustración 13 Topología final.

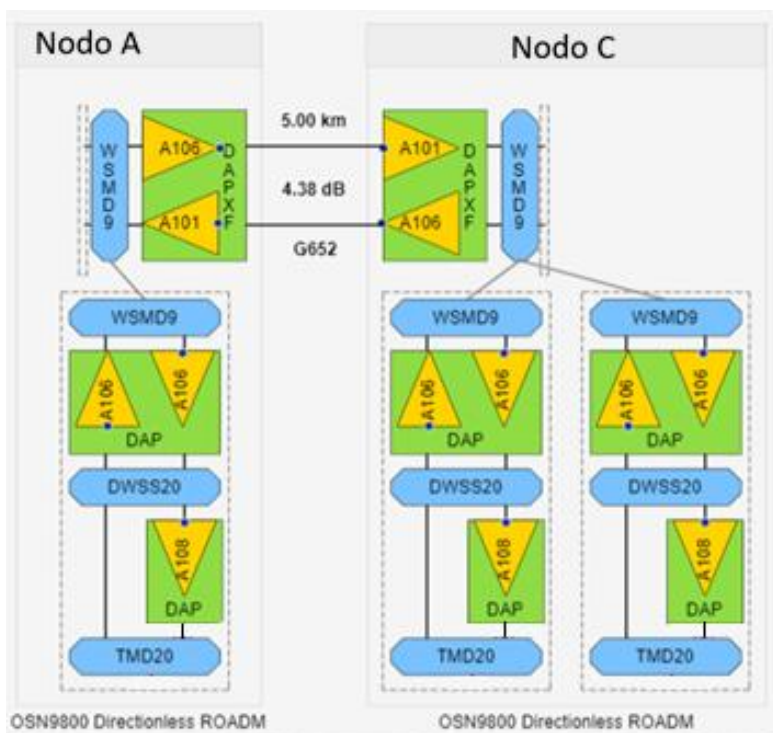


Ilustración 14 Topología NE final.

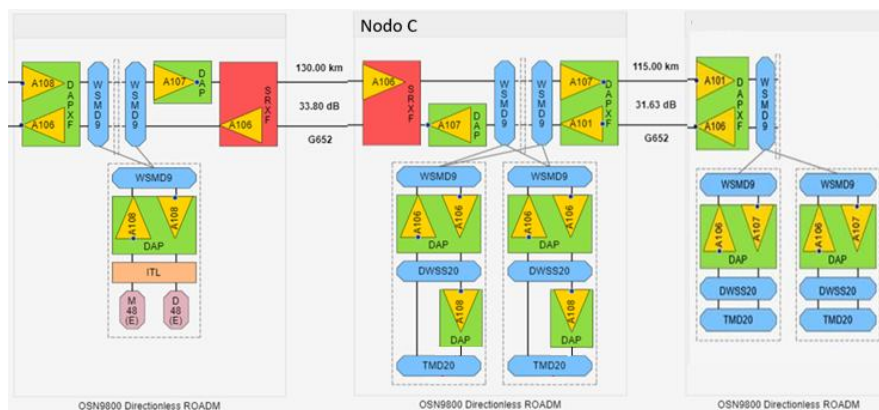


Ilustración 15 Topología NE final con nodos adyacentes.

3.3 ANÁLISIS DEL DESARROLLO DEL PROYECTO.

Entre los principales resultados esperados se encuentran:

- Migración de la infraestructura hacia un nodo propio del cliente, reduciendo la dependencia sobre infraestructura de terceros y mejorando el control operativo de la red.
- Incremento de capacidad en la capa eléctrica mediante la ampliación de slots disponibles, reorganización de servicios y redistribución de recursos a nivel de tarjetas y estructuras DML.
- Implementación de redundancia en servicios y recursos de transmisión, mejorando la disponibilidad y resiliencia de la red ante posibles fallas.
- Optimización del espectro óptico mediante la implementación de lambdas de 200G, permitiendo liberar capacidad espectral actualmente ocupada por canales de 100G.
- Mejor aprovechamiento de la infraestructura óptica existente, reduciendo la necesidad de expansión física de fibra.
- Integración del nuevo nodo dentro de la arquitectura ASON, permitiendo capacidades de restauración y reruteo automático de servicios.
- Implementación del modo flexible grid en la capa óptica, facilitando futuras expansiones y una mayor eficiencia en la administración del espectro.
- Mejora en la gestión y monitoreo de la red mediante validaciones operativas, supervisión de alarmas y administración centralizada desde el sistema Huawei NCE.
- Consolidación de una arquitectura de transmisión más escalable, flexible y preparada para soportar futuros incrementos de tráfico y crecimiento de servicios.

En términos generales, la propuesta permitirá modernizar la infraestructura de transmisión del cliente, garantizando continuidad operativa durante el proceso de migración y mejorando el desempeño global de la red tanto a nivel óptico como eléctrico.

CONCLUSIONES

El diagnóstico realizado sobre la infraestructura actual permitió identificar limitaciones relacionadas con dependencia de infraestructura de terceros, saturación de recursos en la capa eléctrica y uso ineficiente del espectro óptico, evidenciando la necesidad de una estrategia de migración orientada a garantizar el crecimiento y evolución tecnológica de la red.

La propuesta de migración hacia una infraestructura propia permite incrementar el control operativo y reducir restricciones asociadas a la dependencia de terceros, brindando condiciones más favorables para futuras expansiones, mantenimiento y administración de la red.

La reorganización y ampliación de recursos en la capa eléctrica, incluyendo la implementación de redundancia a nivel de tarjetas y DML, contribuye a mejorar la disponibilidad, flexibilidad y resiliencia de la infraestructura, permitiendo atender futuras demandas de servicios de manera más eficiente.

La implementación de lambdas de 200G y la adopción de tecnologías como flexible grid representan una estrategia efectiva para optimizar la eficiencia espectral, permitiendo liberar recursos ópticos, incrementar la capacidad de transmisión y mejorar el aprovechamiento de la infraestructura existente.

La integración de mecanismos de protección y restauración automática mediante arquitectura ASON fortalece la continuidad operativa de los servicios y reduce el impacto generado por posibles fallas dentro de la red de transporte.

La metodología utilizada permitió desarrollar una propuesta estructurada y técnicamente viable, alineada con las necesidades operativas del cliente y con las tendencias actuales en redes ópticas de alta capacidad, proporcionando una solución escalable y preparada para futuros incrementos de tráfico.

REFERENCIAS

1. HUAWEI TECHNOLOGIES CO., LTD. OptiXtrans E-Series Product Documentation. Huawei, 2023.
2. HUAWEI TECHNOLOGIES CO., LTD. OptiX OSN 9800 Intelligent Optical Transport Platform Technical Guide. Huawei, 2022.
3. INTERNATIONAL TELECOMMUNICATION UNION (ITU-T). Recommendation G.694.1: Spectral grids for WDM applications: DWDM frequency grid. Ginebra: ITU, 2020.
4. INTERNATIONAL TELECOMMUNICATION UNION (ITU-T). Recommendation G.709: Interfaces for Optical Transport Networks (OTN). Ginebra: ITU, 2020.
5. INTERNATIONAL TELECOMMUNICATION UNION (ITU-T). Recommendation G.872: Architecture of Optical Transport Networks. Ginebra: ITU, 2020.
6. INTERNATIONAL TELECOMMUNICATION UNION (ITU-T). Recommendation G.652: Characteristics of a single-mode optical fibre and cable. Ginebra: ITU, 2016.
7. COLOMBIA. MINISTERIO DE TECNOLOGÍAS DE LA INFORMACIÓN Y LAS COMUNICACIONES. Ley 1341 de 2009: Principios y conceptos sobre la sociedad de la información y la organización de las TIC. Bogotá D.C.: MinTIC, 2009.
8. COMISIÓN DE REGULACIÓN DE COMUNICACIONES. Regulación del sector de telecomunicaciones en Colombia. Bogotá D.C.: CRC, 2023.
9. AGRAWAL, Govind P. Fiber-Optic Communication Systems. 4 ed. New Jersey: John Wiley & Sons, 2012.
10. RAMASWAMI, Rajiv; SIVARAJAN, Kumar y SASAKI, Galen. Optical Networks: A Practical Perspective. 3 ed. San Francisco: Morgan Kaufmann, 2010.
11. MUKHERJEE, Biswanath. Optical WDM Networks. New York: Springer, 2006.