



Universidad Nacional Mayor de San Marcos
Universidad del Perú. Decana de América
Facultad de Ingeniería Electrónica y Eléctrica
Escuela Profesional de Ingeniería de Telecomunicaciones

**Migración de dos enlaces entre USA y Brasil usando de
manera conjunta tecnología Carrier Ethernet y
DWDM y proveyendo diversidad entre ambos enlaces**

TRABAJO DE SUFICIENCIA PROFESIONAL

Para optar el Título Profesional de Ingeniera de
Telecomunicaciones

AUTOR

Jessica Roxana CHANGANAQUI MEJIA

ASESOR

Mg. Ana Milagros CORONEL CHAMORRO

Lima, Perú

2025



Reconocimiento – No Comercial – Compartir Igual – Sin restricciones adicionales

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

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

Referencia bibliográfica

Changanaqui, J. (2025). *Migración de dos enlaces entre USA y Brasil usando de manera conjunta tecnología Carrier Ethernet y DWDM y proveyendo diversidad entre ambos enlaces*. [Trabajo de suficiencia profesional de pregrado, Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Facultad de Ingeniería Electrónica y Eléctrica, Escuela Profesional de Ingeniería de Telecomunicaciones]. Repositorio institucional Cybertesis UNMSM.

Metadatos complementarios

Datos de autor	
Nombres y apellidos	Jessica Roxana Changanahui Mejía
Tipo de documento de identidad	DNI
Número de documento de identidad	72155473
URL de ORCID	No Aplica
Datos de asesor	
Nombres y apellidos	Ana Milagros Coronel Chamorro
Tipo de documento de identidad	DNI
Número de documento de identidad	09752919
URL de ORCID	https://orcid.org/0000-0003-2165-0742
Datos del jurado	
Presidente del jurado	
Nombres y apellidos	Celso Ysidro Gerónimo Huamán
Tipo de documento	DNI
Número de documento de identidad	09191500
Miembro del jurado 1	
Nombres y apellidos	Williams Fernando Acosta Solorzano
Tipo de documento	DNI
Número de documento de identidad	06434186
Miembro del jurado 2	
Nombres y apellidos	Jorge Elías Moscoso Sánchez
Tipo de documento	DNI
Número de documento de identidad	07206008
Datos de investigación	
Línea de investigación	C.9.29 Redes y servicios de fibra óptica
Grupo de investigación	No Aplica
Agencia de financiamiento	No Aplica

Ubicación geográfica de la investigación	Edificio: Centro Empresarial Leuro País: Perú Departamento: Lima Provincia: Lima Distrito: Miraflores Calle: Av. Paseo de la República 5895 Latitud: -12.125078 Longitud: -77.023533
Año o rango de años en que se realizó la investigación	2023-2024
URL de disciplinas OCDE	Telecomunicaciones https://purl.org/pe-repo/ocde/ford#2.02.05



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



**ACTA DE SUSTENTACIÓN
TRABAJO DE SUFICIENCIA
PROFESIONAL**

ACTA N°41/FIEE-CTGT/2025

Los suscritos Miembros del Jurado, docentes permanentes de las Escuelas Profesionales de la Facultad de Ingeniería Electrónica y Eléctrica, reunidos en la fecha 17 de octubre del 2025, como presidente de Jurado el **DR. CELSO YSIDRO GERÓNIMO HUAMÁN**, integrado por el Miembro de Jurado el **DR. WILLIAMS FERNANDO ACOSTA SOLORZANO**, el Miembro de Jurado **DR. JORGE ELÍAS MOSCOSO SÁNCHEZ** y Miembro Asesor la **MG. ANA MILAGROS CORONEL CHAMORRO**.

Después de escuchar la Sustentación Virtual del Trabajo de Suficiencia Profesional de la Bachiller **JESSICA ROXANA CHANGANAQUI MEJIA** con código 10190271 que para optar el Título Profesional de Ingeniera de Telecomunicaciones sustentó el Trabajo de Suficiencia Profesional titulado **MIGRACIÓN DE DOS ENLACES ENTRE USA Y BRASIL USANDO DE MANERA CONJUNTA TECNOLOGÍA CARRIER ETHERNET Y DWDM Y PROVEYENDO DIVERSIDAD ENTRE AMBOS ENLACES**.

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

Ciudad Universitaria, 17 de octubre del 2025

DR. CELSO YSIDRO GERÓNIMO HUAMÁN
Presidente Jurado

DR. WILLIAMS FERNANDO ACOSTA SOLORZANO
Miembro Jurado

DR. JORGE ELÍAS MOSCOSO SÁNCHEZ
Miembro Jurado

MG. ANA MILAGROS CORONEL CHAMORRO
Miembro Jurado



UNIVERSIDAD NACIONAL MAYOR DE
SAN MARCOS
Universidad del Perú, Decana de América

CERTIFICADO DE SIMILITUD

Yo , **ANA MILAGROS CORONEL CHAMORRO** en mi condición de asesor acreditado con el Dictamen N°16/FIEE-CTGT/2025 del trabajo de suficiencia profesional titulado **MIGRACIÓN DE DOS ENLACES ENTRE USA Y BRASIL USANDO DE MANERA CONJUNTA TECNOLOGÍA CARRIER ETHERNET Y DWDM Y PROVEYENDO DIVERSIDAD ENTRE AMBOS ENLACES.**, presentado por la bachiller JESSICA ROXANA CHANGANAQUI MEJIA, para optar al título profesional de Ingeniera de Telecomunicaciones. CERTIFICO que se ha cumplido con lo establecido en la Directiva de Originalidad y de Similitud de Trabajos Académicos, de Investigación y Producción Intelectual. Según la revisión, análisis y evaluación mediante la plataforma PIDS, el documento evaluado cuenta con el 11% de similitud, nivel PERMITIDO para continuar con los trámites correspondientes y para su publicación en el repositorio institucional.

Se emite el presente certificado en cumplimiento de lo establecido en las normas vigentes, como uno de los requisitos para la obtención del título de Ingeniera de Telecomunicaciones.

Lima, 17 de Octubre del 2025

Firma del Asesor

DNI: 09752919.

Nombres y apellidos del asesor:

ANA MILAGROS CORONEL CHAMORRO

DEDICATORIA

Este trabajo está dedicado a Dios, a mi familia y a todos aquellos cuya presencia y apoyo han sido fundamentales, aunque no sea necesario mencionar sus nombres y apellidos, ya que son plenamente conscientes de la significancia de su contribución a este logro.

AGRADECIMIENTOS

Agradecimiento a Dios por renovar mis fuerzas cada día y a la UNMSM por acompañarme en la etapa universitaria formándome con profesionalismo y responsabilidad.

RESUMEN

El presente Trabajo de Suficiencia Profesional titulado “Migración de dos enlaces entre USA y Brasil usando de manera conjunta tecnología Carrier Ethernet y DWDM y proveyendo diversidad entre ambos enlaces” tiene como objetivo migrar dos enlaces y proveer diversidad entre ambos, haciendo uso de las tecnologías Carrier Ethernet y DWDM, mejorando la disponibilidad de la red del cliente, asegurando redundancia operativa, lo que significa que ante un evento que afecta a un enlace tendrá el otro enlace operativo. Se detallan los conceptos básicos necesarios para la migración de enlaces en sistemas submarinos usando infraestructuras que soportan estas tecnologías. Luego, se describe como realizar el diseño de las nuevas rutas, el proceso de provisión de la migración de los enlaces, finalizando con la validación de la diversidad y mejora de las latencias de los enlaces.

Palabras clave: DWDM, Carrier Ethernet, sistemas submarinos, diversidad, latencia

ABSTRACT

The present report of Professional Sufficiency titled “Migration of two links between USA and Brazil using jointly Carrier Ethernet and DWDM technology and providing diversity between both links” aims to migrate two links and provide diversity between both, making use of Carrier Ethernet and DWDM technologies, improving the customer's network availability, ensuring operational redundancy, meaning that in the event of an issue affecting one link, the other link will remain operational. The basic concepts necessary for the migration of links in submarine systems using infrastructures that support these technologies are detailed. Then, it is described how the design of the new routes is carried out, the process of providing the migration of the links, ending with the validation of the diversity and improvement of the latencies of the links.

Key words: *DWDM, Carrier Ethernet, Submarine Systems, Diversity, Latency*

INDICE GENERAL

RESUMEN	iv
ABSTRACT	v
INDICE GENERAL	vi
LISTA DE FIGURAS	ix
LISTA DE TABLAS	xi
CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO II: INFORMACIÓN DEL LUGAR DONDE SE DESARROLLÓ LA ACTIVIDAD	3
2.1 Institución – Actividad que desarrolla	3
2.2 Periodo de duración de la actividad	3
2.3 Finalidad y objetivos de la entidad	3
2.4 Razón Social	5
2.5 Dirección Postal	5
2.6 Nombre y correo electrónico del profesional a cargo.	5
CAPÍTULO III: DESCRIPCIÓN DE LA ACTIVIDAD	6
3.1 Organización de la actividad	6
3.2 Finalidad y objetivos de la Actividad	9
3.2.1 Finalidad	9
3.2.2 Objetivos	10
3.3 Problemática	10

3.3.1	Problema General	11
3.3.2	Problemas Específicos	11
3.3.3	Justificación e importancia de la investigación	12
3.4	Metodología	13
3.4.1	Bases teóricas	14
3.4.2	Marco conceptual	17
3.5	Procedimiento	35
3.5.1	Etapas 1: Requerimiento de Cliente	36
3.5.2	Etapas 2: Solicitud de factibilidad y de las migraciones de los enlaces.	39
3.5.3	Etapas 3: Provisión del servicio.	45
3.5.4	Etapas 4: Validación	56
3.6	Resultado de la actividad	58
CAPÍTULO IV: DISCUSION DE RESULTADOS		61
4.1	Descripción de la implementación	61
4.2	Evaluación Económica	62
CAPÍTULO V: CONCLUSIONES		67
CAPÍTULO VI: RECOMENDACIONES		69
CAPÍTULO VII: REFERENCIAS		70
Referencias		70
CAPÍTULO VIII: ANEXOS		72
ANEXO 1: Datos del Enlace 1		72
ANEXO 2: Datos del Enlace 2		74
ANEXO 3: Pruebas Bert del segmento submarino Junior para el Enlace 2.		76
ANEXO 4: Pruebas RFC del segmento submarino Junior para el Enlace 2		78
ANEXO 5: Pruebas Y1564 del Enlace 1 antes de migrarse		82

ANEXO 6: Pruebas Y1564 del Enlace 1 antes de migrarse

84

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Organigrama de áreas que brindan el servicio de Capacidad	6
Figura 2: Proceso de entrega de un servicio de Capacidad	8
Figura 3: <i>Demanda global de tráfico de datos</i>	15
Figura 4: Mapa de SAM-1	25
Figura 5: Mapa de BRUSA	26
Figura 6: Mapa de Junior	27
Figura 7: Mapa de Backhaul Brasil entre São Paulo – Santos	27
Figura 8: Extremo de circuito protegido con Hand Off 1+1	29
Figura 9: Extremo de circuito protegido com Hand Off 1+0	29
Figura 10: DWDM	31
Figura 11: Modelo OSI vs Capas Ethernet	32
Figura 12: 5 atributos de Carrier Ethernet	32
Figura 13: Arquitectura propuesta por MEF para una red CE	34
Figura 14: Flujograma de migraciones de servicio	35
Figura 15: Enlace 1	38
Figura 16: Enlace 2	39
Figura 17: Diagrama del funcionamiento de tramas del segmento GCE entre Ohio y Boca Raton	41
Figura 18: Diseño del nuevo Enlace 1	41
Figura 19: Diagrama del funcionamiento de tramas del segmento GCE entre Ohio y Virginia	42
Figura 20: Diseño del nuevo Enlace 2	43
Figura 21: Responsabilidad de extensión de Telxius en Ohio.	46

Figura 22: Responsabilidad de Cross-conexión de Telxius en Sao Paulo SP2	47
Figura 23: Segmento GCE entre Ohio y Boca Ratón	49
Figura 24: Segmento GCE entre Ohio y Virginia	53
Figura 25: Tráfico de entrada y salida del enlace 1	59
Figura 26: Características básicas del enlace 1	59
Figura 27: Tráfico de entrada y salida del Enlace 2	60
Figura 28: Características básicas del enlace 2	60

LISTA DE TABLAS

Tabla 1: Tipos de cable	18
Tabla 2: Segmentos del Sistema Submarino SAM-1	24
Tabla 3: Etapas de migración de los enlaces	36
Tabla 4: Parámetros del servicio de Capacidad de extremo a extremo utilizando GCE, Sistema Submarino SAM-1 y Backhaul SP	43
Tabla 5: Parámetros del servicio de Capacidad de extremo a extremo utilizando GCE, Sistema Submarino SAM-1 y Backhaul SP.	44
Tabla 6: Parámetros del servicio de Capacidad del Enlace 1 de extremo a extremo que se informa a cliente	45
Tabla 7: Parámetros del servicio de Capacidad del Enlace 2 de extremo a extremo que se informa a cliente	47
Tabla 8: Segmento GCE entre Ohio y Boca Ratón	49
Tabla 9: Parámetros del segmento Global Carrier Ethernet entre Ohio y Virginia LS	53
Tabla 10: Etapas de la migración del enlace 1	61
Tabla 11: Etapas de la migración del enlace 2	62
Tabla 12: Detalle de la inversión CAPEX	63
Tabla 13: Detalle del costo de la operación y mantenimiento	65
Tabla 14: Flujo de caja del proyecto	65

CAPÍTULO I:

INTRODUCCIÓN

Actualmente, debido a los avances tecnológicos y a la creciente digitalización de las actividades cotidianas en los ámbitos tecnológico, social y económico, se registra una demanda significativa en el tráfico de datos. Como resultado, los operadores que ofrecen servicios de capacidad continúan expandiendo sus redes submarinas y terrestres a nivel mundial. Esta expansión tiene como objetivo mejorar la calidad del servicio, optimizar la capacidad de las redes y gestionar el tráfico de manera eficiente. Para lograr estas mejoras, los operadores utilizan diversas tecnologías como DWDM montado sobre la infraestructura de sistemas de cable submarino y Carrier Ethernet soportado sobre la capa 2 de DWDM.

Este Trabajo de Suficiencia Profesional (TSP) se inicia en la operación de 2 enlaces de USA a Brasil para un cliente, quien solicita que ambos enlaces sean diversificados y con la mejor latencia. Ante esta solicitud, se definen los objetivos y la problemática, luego se definen los conceptos básicos para entender el funcionamiento de los enlaces que utilizan sistemas submarinos y terrestres, y las tecnologías DWDM y Carrier Ethernet.

Seguidamente, se lleva la teoría a la práctica, describiendo las funciones de las áreas involucradas y los procedimientos necesarios para ejecutar la migración. El proceso inicia con la solicitud de la cliente dirigida al área de

Operaciones, seguida por el diseño de las nuevas rutas. Posteriormente, el área de Provisión coordina con el área de Configuraciones para llevar a cabo la migración de los enlaces. Finalmente, se realiza un monitoreo para verificar el correcto funcionamiento de los enlaces migrados.

Además, se documenta detalladamente toda la información que evidencia que los enlaces están plenamente operativos.

CAPÍTULO II:

INFORMACIÓN DEL LUGAR DONDE SE DESARROLLÓ LA ACTIVIDAD

2.1 Institución – Actividad que desarrolla

Telxius Cable, compañía global de infraestructura de telecomunicaciones, pertenece al grupo Telefónica. Cuenta con ocho cables submarinos de fibra óptica de alta capacidad y última generación con más de 100,000 km de longitud incluyendo backhails terrestres, cerca de 100 puntos de presencia en 17 países, 25 estaciones terrestres y dos centros de comunicaciones.

Telxius Cable Perú S.A.C. inicia sus operaciones en Perú en el año 2016, formando parte del ecosistema global de infraestructura digital de Telxius.

2.2 Periodo de duración de la actividad

Desde junio de 2023 hasta febrero de 2024.

2.3 Finalidad y objetivos de la entidad

La finalidad de la empresa es ofrecer servicios de Capacidad, Colocation, Conectividad directa a través de su red IP (proveedor de internet de nivel 1,

ISP Tier1) y Servicios de Seguridad DDoS Shield (mitigación de ataques en la red antes que alcancen a clientes).

La entidad tiene como objetivo mantenerse líderes en su compromiso con el cliente, cumplimiento, gestión de crisis y continuidad de negocio.

Telxius pretende llegar a ser el operador de referencia global de infraestructuras digitales basadas en cables submarinos. Para ello se tiene planificado seguir expandiendo nuevos cables y transformando las estaciones de amarre, a su vez también seguir desplegando backhauls terrestres.

Telxius gestiona diversas áreas, dentro de las cuales se encuentra el área Service Delivery (Provisión), que se encarga de gestionar la implementación de los nuevos servicios y migraciones solicitadas por clientes o área comercial, coordinando los recursos para poder realizar la entrega de servicios de capacidad, Colocation, IP y Anti-DDoS a sus clientes.

El presente trabajo se enfoca en la sinergia de dos de los servicios de Capacidad:

- Wavelength: cuyo fin es brindar servicios basados en tecnología de Multiplexación por División de Onda (DWDM) facilitando conexiones punto a punto ya sean singulares o en estructuras complejas según las necesidades de sus clientes.
- Global Carrier Ethernet (GCE): servicio Ethernet punto a punto, punto a multipunto que soporta múltiples conexiones Ethernet Virtual Connection (EVC) sobre la misma interfaz, con granularidad de ancho de banda. Basado en tecnología de última generación y con certificación MEF3.0. Permite un acceso abierto y sin restricciones extremo a extremo, con red auto restaurable.

El objetivo de esta sinergia de ambos servicios es ofrecer enlaces de capacidad brindando diversidad, flexibilidad de ancho de banda y expandir la cartera de clientes.

2.4 Razón Social

Telxius Cable Perú S.A.C. (RUC: 20458362077)

2.5 Dirección Postal

Av. Paseo de la República 5895, oficina 903, Miraflores, Lima, Perú.

2.6 Nombre y correo electrónico del profesional a cargo.

Delivery Manager Telxius deliverymanager@telefonica.com

CAPÍTULO III: DESCRIPCIÓN DE LA ACTIVIDAD

3.1 Organización de la actividad

La actividad se desarrolla con la participación y organización de las áreas que se muestran en la siguiente figura 1.

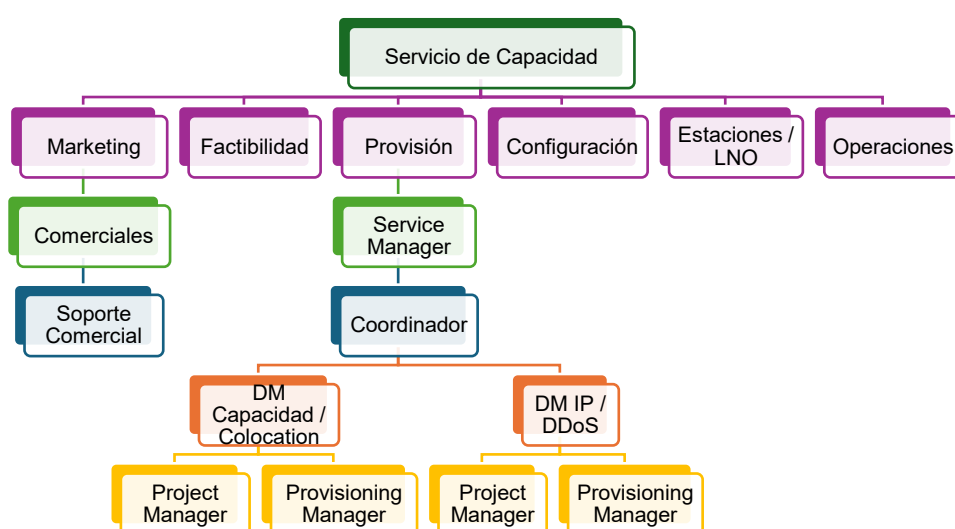


Figura 1: **Organigrama de áreas que brindan el servicio de Capacidad**

Fuente: Elaboración propia.

A continuación, se indican las áreas participantes en el proceso de entrega de los servicios de Capacidad:

- Soporte comercial: Área responsable de la solicitud del nuevo servicio para el cliente.
- Factibilidad: Encargados de revisar la disponibilidad de la capacidad que solicita el área de soporte comercial, brindar el diseño de esta y reservarlo.
- Provisión: Área encargada de realizar las gestiones técnicas para cumplir con el requerimiento del servicio al cliente. Tal como se muestra en el organigrama, esta área está compuesta por:
 - Service Manager: Es el escalado en caso se requiera alguna mejora de los SLA con las áreas que se interactúa.
 - Coordinador: Se encarga de recepcionar las solicitudes y distribuirlas según el tipo de servicio a los siguientes responsables:
 - a) Delivery Manager (DM) de Capacidad y Colocation: Encargado de revisar la solicitud del área de Soporte comercial e identificar el tipo de requerimiento. Si es un requerimiento de servicios de Capacidad especiales (solicitud de clientes VIP o un requerimiento de múltiples enlaces en diferentes sitios) le asigna al Project Manager de Capacidad, y si es un requerimiento de un servicio simple (enlace de punto a punto) o de servicio de Colocation (brindando espacios en las estaciones a un cliente) le asigna a un Provisioning Manager de Capacidad.
 - b) Delivery Manager (DM) de IP/ DDoS Shield: Encargado de revisar la solicitud del área de Soporte comercial e identificar si es un proyecto de servicios IP o DDoS Shield de múltiples servicios de acceso a IP en varios nodos le asigna al Project Manager de IP, o si es un servicio de Acceso IP o DDoS en un nodo le asigna a un Provisioning Manager.
 - c) Project Manager: Compuesto por 1 jefe de proyecto de IP y 1 jefe de Proyecto de Capacidad. Encargados de gestionar los recursos con las áreas responsables a fin de brindar los proyectos a los clientes. Estos proyectos son solicitudes de varios servicios, por ejemplo 10 enlaces de capacidad de diferentes extremos o en los

misimos extremos. Otro ejemplo en IP sería 5 puertos de acceso IP de 100G.

d) Provisioning Manager: Compuesto por 5 provisionadores de IP y 5 provisionadores de Capacidad. Son los encargados de realizar la entrega de los servicios a cliente, coordinando con las áreas responsables.

- Configuración: Área encargada de realizar la configuración del enlace que reserva el área de Factibilidad.
- Estaciones / LNO (Oficina Local de la red): Son los responsables de las estaciones. Dependiendo del sitio de las conexiones tenemos las siguientes funciones del personal:
 - Sitios ON Net: Son las estaciones donde se tiene presencia como propietario y su personal se encarga de realizar las conexiones.
 - Sitios OFF Net: Son sitios donde se arrienda un espacio para tener presencia como cliente/proveedor, el personal de oficina local se encarga de hacer el seguimiento al dueño del sitio para que realice las conexiones.
- Operaciones: Área responsable de atender las incidencias de los servicios de Capacidad.

Para realizar la entrega de enlaces de capacidad diversificados entre USA y Brasil, que es el motivo del presente informe, participan las áreas indicadas en la Figura 1, y el procedimiento que siguen es como se indica en la Figura 2.



Figura 2: Proceso de entrega de un servicio de Capacidad

Fuente: Elaboración propia.

El cliente solicita el servicio con determinadas características. El personal de Soporte Comercial del área de Marketing solicita la migración de los dos enlaces entre USA y Brasil con la finalidad de brindar diversidad entre ambos, ya que es un requerimiento de su cliente.

Esta solicitud es enviada al área de Factibilidad, quienes se encargan de diseñar las rutas, y al área de Provisión o también conocida como Service Delivery, quienes se encargan de gestionar con el área de Configuraciones la migración de los enlaces del cliente.

Luego que el equipo de Service Delivery culmina todas sus tareas y haya validado que los enlaces cumplan con los parámetros solicitados, estos son derivados al equipo de Operaciones para la atención en caso de incidencias.

3.2 Finalidad y objetivos de la Actividad

3.2.1 Finalidad

Teniendo en cuenta la alta demanda de servicios que se solicitan en USA y Brasil, ambos países donde se observa grandes volúmenes de tráfico y diversos clientes, es necesario tener una gestión de rutas que permita garantizar los diversos requerimientos de estos clientes.

En la presente actividad, se tiene en operación dos enlaces de capacidad que unen USA y Brasil a un cliente quien solicita que estos mismos sean diversificados, para que cuando se tenga afectación en una ruta, el otro enlace siga operando en su totalidad.

Por otro lado, es necesario que puedan utilizar de manera conjunta tecnologías DWDM y Global Carrier Ethernet. Y así poder brindar enlaces usando los sistemas backhaul terrestres y sistemas submarinos de la red.

3.2.2 Objetivos

3.2.2.1 Objetivo General

Migrar dos enlaces entre USA y Brasil usando de manera conjunta tecnología Carrier Ethernet y DWDM y proveyendo diversidad entre ambos enlaces.

3.2.2.2 Objetivos Específicos

- Diseñar dos enlaces entre USA y Brasil que usen de manera conjunta tecnología Carrier Ethernet y DWDM y que sean diversificados.
- Reconfigurar dos enlaces entre USA y Brasil que usen de manera conjunta tecnología Carrier Ethernet y DWDM y que sean diversificados.
- Mejorar la latencia de los dos enlaces diversificados entre USA y Brasil.

3.3 Problemática

El tráfico de datos entre USA y Brasil crece exponencialmente, impulsado por la integración de los mercados financieros, la importancia de Brasil en la economía global y las mejoras en la infraestructura digital que facilitan este intercambio, y también el requerimiento del cliente de garantizar la calidad del servicio de los enlaces de capacidad que unen estos dos extremos, dada su criticidad de cursar datos y análisis en tiempo real. Los tipos de servicios de capacidad que ofrece el operador de cable submarino son, por un lado, Wavelength (usando tecnología DWDM) uniendo diversas estaciones

mediante los sistemas submarinos y backhaul terrestres, pero que no permite llegar hasta un cliente que se encuentra al interior de USA, ya que no forma parte de la red que se tiene configurada para los servicios Wavelength. Por otro lado, Global Carrier Ethernet (GCE, usando tecnología Carrier Ethernet), que tiene rutas configurada en USA que llegan al lugar del cliente, pero no tienen salida hasta Brasil.

Para continuar brindando enlaces entre el sitio de cliente en USA y Brasil es necesario usar ambos tipos de servicios de capacidad Wavelength y Global Carrier Ethernet.

Por otro lado, uno de los requerimientos del cliente es que sus dos enlaces estén diversificados y así se garantice que cuando una ruta se vea afectada no se pierda la disponibilidad de ambos enlaces al mismo tiempo. Ya que actualmente, tal como están configuradas las rutas, si ocurre un evento de fallo, se afectan ambos enlaces. Además, otro requerimiento del cliente es que mejore la latencia de sus enlaces con estas migraciones.

3.3.1 Problema General

¿Cómo se migran dos enlaces entre USA y Brasil que usen de manera conjunta tecnología Carrier Ethernet y DWDM y se provea la diversidad de ambos enlaces?

3.3.2 Problemas Específicos

- ¿Cómo se diseñan dos enlaces entre USA y Brasil que usen de manera conjunta tecnología Carrier Ethernet y DWDM y provea diversidad entre ambos enlaces?

- ¿Cómo se reconfiguran dos enlaces entre USA y Brasil que usen de manera conjunta tecnología Carrier Ethernet y DWDM y provea diversidad entre ambos enlaces?
- ¿Se logra mejorar la latencia de los dos enlaces diversificados entre USA y Brasil?

3.3.3 Justificación e importancia de la investigación

3.3.3.1 Justificación práctica

Durante los últimos años, se observa un crecimiento exponencial del volumen del tráfico de red debido a diversos factores como la adopción generalizada de servicios en la nube, la expansión de plataformas de vídeo y redes sociales, las nuevas tecnologías móviles, el despliegue de fibra óptica hasta el hogar (FTTH). Tráfico que requiere de redes ópticas submarinas con mayor capacidad y estabilidad que son brindadas por operadores de cable submarino.

Por otro lado, se tiene empresas de telecomunicaciones, operadores de Datacenter y empresas que requieren cursar volúmenes de datos para diversos servicios, quienes requieren las capacidades de cables submarinos, especialmente entre USA y Brasil.

El diseñar y migrar dos enlaces entre USA y Brasil, usando de manera conjunta tecnología Carrier Ethernet y DWDM y proveyendo diversidad entre ambos enlaces, atiende la necesidad de mayor disponibilidad de los dos enlaces y menor latencia para el cliente.

3.3.3.2 Justificación Social

La migración de este enlace permite que se pueda cursar tráfico con alta disponibilidad del servicio entre USA y Brasil, y así el cliente pueda garantizar la transmisión de sus datos/servicios hacia sus usuarios finales con una mejor calidad de servicio por medio de redes de fibra submarinas y usando ambas tecnologías Carrier Ethernet y DWDM en simultáneo.

3.3.3.3 Justificación Técnica

El presente informe permite describir los procedimientos técnicos que se deben tener en cuenta para asegurar la diversidad de dos enlaces que van de USA a Brasil, usando de manera conjunta tecnología Carrier Ethernet y DWDM.

3.4 Metodología

El presente informe analiza la migración de dos enlaces entre USA y Brasil utilizando de manera conjunta tecnología Carrier Ethernet y DWDM, y proveyendo diversidad de rutas entre ambos. Para ello se considera una metodología con las siguientes etapas:

- **Etapas 1: Requerimiento de cliente.**

El área de Operaciones hace llegar al equipo de Soporte Comercial la solicitud del cliente de tener sus enlaces diversificados y con mejor latencia.

- **Etapa 2: Solicitud de factibilidad y de la migración de los enlaces.**

El área de Soporte Comercial solicita la factibilidad de los enlaces diversificados. En esta etapa, el área de Factibilidad analiza las diferentes rutas que se tienen en los diversos sistemas de cables submarinos para brindar los enlaces al cliente de manera diversificada y con la menor latencia, luego del cual reserva las rutas que cumplan con las condiciones de menor latencia, menores saltos y garantice que no se compartan puertos de una misma tarjeta. Una vez obtenida la respuesta de Factibilidad, Soporte comercial envía las ordenes de migración al área de Provisión, quien analiza y recopila la información del área de Factibilidad con el fin de definir las actividades a ejecutar.

- **Etapa 3: Provisión de las migraciones.**

En esta etapa el área de Provisión se pone en contacto con el cliente para informarle sobre las migraciones de los enlaces requeridos y solicita la reconfiguración de las rutas reservadas por Factibilidad.

- **Etapa 4: Validación.**

En esta etapa se registran los enlaces en la base de datos con sus respectivos documentos que validen la migración y que los enlaces están listos para ser nuevamente gestionados por Operaciones.

3.4.1 Bases teóricas

De acuerdo con lo indicado en el artículo *Optical Fibers for High Fiber Count Submarine Cable Systems* (Yamaguchi, 2023), el tráfico mundial de datos ha crecido entre un 30 % y un 40 % al año, como se muestra en la figura 3. Para satisfacer esta creciente demanda, existe una fuerte necesidad de ampliar la capacidad de transmisión a través de cables submarinos. La capacidad de transmisión por cable submarino ha ido aumentando con el avance de la tecnología de transmisión y la fibra óptica. Antes de la década de 1990, se utilizaba una transmisión de longitud de onda única a través de fibra monomodo estándar (SMF). Posteriormente, se introdujeron las tecnologías de multiplexación por división de longitud de onda (WDM, DWDM) mediante

amplificador de fibra óptica (EDFA) y la dispersión cromática se convirtió en la principal limitación de la capacidad de transmisión, por lo que se adoptaron la fibra con dispersión desplazada (DSF), la fibra con dispersión desplazada distinta de cero (NZDSF) y la fibra con dispersión gestionada (DMF).

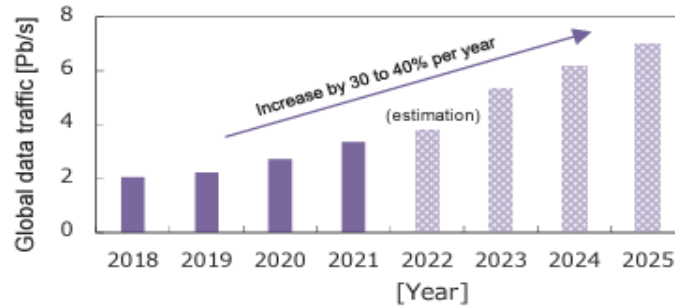


Figura 3: ***Demanda global de tráfico de datos***

Fuente: (Yamaguchi, 2023)

Utilizando el teorema de Shannon, los límites teóricos de la capacidad de comunicación por fibra y cable ópticos, a saber, C_{fiber} y C_{cable} , vienen indicados por las ecuaciones (1) y (2), respectivamente (B: ancho de banda de las señales, N: número de fibras en un cable).

$$C_{fiber} = B * \log_2(1 + OSNR) \dots (1)$$

$$C_{cable} = \frac{N}{2} * C_{fiber} \dots (2)$$

Como se puede observar en las ecuaciones anteriores, para ampliar la capacidad de transmisión de los cables ópticos, es importante:

- Ampliar el ancho de banda (B)
- Aumentar el número de fibras en el cable (C_{fiber}).

En la publicación “La seguridad del ciberespacio se desarrolla también en el fondo de los océanos y mares” (Vargas Flores, 2023) indica que en el Perú, existen 21,89 millones de usuarios de Internet que se comunican con el mundo a través de cuatro cables submarinos (actualmente se cuenta con: SAC o South American Crossing propiedad de Level 3 y Telecom Italia Sparkle, SAM-

1 propiedad de Telxius, Mistral propiedad de América Móvil y Telxius, el cuarto cable submarino era el Panamericano o también conocido como PAN-AM, el cual se encuentra apagado), que tienen puertos de amarre en territorio nacional, lo que representa un reto estratégico debido a la dependencia de la población a este servicio. Sin embargo, dado que los cables se extienden en el mar, su seguridad ha sido olvidada con frecuencia y ha recibido una atención limitada por parte de los responsables, no solo a nivel nacional, sino también mundial. La resiliencia informática de un Estado depende de la diversidad de sus conexiones con el resto del mundo: diversidad de puntos de llegada de cables en su territorio, diversidad de países conectados, diversidad de proveedores y operadores de cables. El Perú solo cuenta con tres troncales de cables submarinos que pueden sufrir daños de origen estructurales, accidentales o ataques internacionales. Por esta razón, se recomienda que el Estado peruano trabaje en sinergia con el sector privado, con la finalidad de impulsar un adecuado intercambio de inteligencia, normas de seguridad, evaluaciones de riesgo, capacidades de supervisión y reparación, así como sus planes de contingencia, y que contemplen un mayor respaldo en el derecho internacional para proteger los cables submarinos que llegan al territorio nacional y garantizar su resistencia.

Desde 2018, los proveedores de contenido han añadido capacidad a un ritmo más rápido que otros usuarios de ancho de banda. Hasta la fecha, Google y Meta, impulsados por sus necesidades de gran ancho de banda para búsquedas, vídeo y redes sociales, han invertido en 26 y 15 sistemas de cable submarino, respectivamente. Los mapas de cables submarinos indican que en la actualidad hay 559 sistemas de cables y 1636 aterrizajes activos o en construcción, esto nos confirma el crecimiento del ancho de banda internacional. (TeleGeography, 2024)

Los efectos de Carrier Ethernet sobre una red de cable submarino son beneficiosos y se fortalecen con el cumplimiento de los atributos ofrecidos, como la alta escalabilidad y granularidad flexible que permiten un uso eficiente de la capacidad de cada enlace. Carrier Ethernet permite ofrecer servicios Ethernet transparentes sobre redes de transporte MAN y WAN, permitiendo

extender incluso internacionalmente una red LAN de cliente, sin exigir cambios en dicha red. (Turpo Chayña, 2021)

3.4.2 Marco conceptual

3.4.2.1 Los sistemas de cables submarinos

Son cables de fibra óptica que conectan países en todo el mundo y van en el fondo de los océanos. Estos cables, en su mayoría de miles de kilómetros de longitud, transmiten grandes cantidades de datos rápidamente de un punto a otro. Los principales componentes de un sistema submarino y terrestre son: fibra óptica, segmento submarino, segmento terrestre, repetidores, amplificadores, unidades de bifurcación (branching unit), equipos de estación terminal (Terminal Station Equipment, TSE) dentro de los cuales se consideran equipos de transmisión, amplificadores ópticos, sistema de monitoreo de línea (Line monitoring system, LMS), sistema de gestión de elementos (Element management system, EMS), sistemas de gestión de red (Network management system, NMS), red de comunicaciones de datos (DCN), sistema de energía y de tierra.

Descripción de los componentes:

- **Fibras Ópticas:** Un filamento relativamente largo y delgado de sustancia transparente, generalmente de vidrio, capaz de transmitir, con muy poca atenuación, ondas de luz. Proporcionan las rutas de transmisión del sistema con cables resistentes (requisito mecánico) y con poca pérdida (requisito óptico).
- **Segmentos submarinos:** encargado de proporcionar una ruta óptica para la transmisión digital submarina, para las señales de supervisión y suministro de energía eléctrica para los amplificadores ópticos. Este tipo

de cable es adecuado para todas las aplicaciones transoceánicas en aguas someras y profundas. Dentro del sistema submarino se utilizan los siguientes tipos de cables, ver tabla 1:

Tabla 1: **Tipos de cable**

Tipo de Cable	Aplicación	Características
Ligero (Lightweight, LW)	Fondo arenoso, sin riesgo. Despliegue a 8000 m.	Cable con núcleo, con un recubrimiento blanco de polietileno de densidad media que mejora la visibilidad cuando está sumergido.
Aplicación especial (Special application, SPA)	Fondo algo rocoso, riesgo de ataque de tiburón. Despliegue a 8000 m.	La cinta metálica y la cubierta exterior negro de polietileno de alta densidad aplicadas sobre el núcleo ofrecen una protección adicional al desgaste y al sulfuro de hidrógeno.
Blindado ligero (Light-wired armored, LWA)	Terreno rocoso; riesgo moderado de daños por pesca de arrastre. Desplegar hasta 2000 m. Normalmente se utiliza para enterrar.	Capa de alambre de armadura ligera aplicada al núcleo del cable.
Blindado simple (Single armored, SA)	Terreno muy rocoso; alto riesgo de daños por pesca de arrastre. Desplegar a 1500 m.	Capa de alambre de armadura pesada aplicada al núcleo del cable. Se utiliza hilo de nylon impregnado de alquitrán para la cubierta exterior del cable blindado.

Doble blindado (Double armored, DA)	Terreno rocoso; alto riesgo de daños por pesca de arrastre; riesgo de rozamiento moderado. Despliegue a 800 m	Dos capas de alambre de armadura aplicadas al núcleo del cable.
Doble blindado alta abrasión (Double armored high abrasion, DA-HA)	Terreno rocoso; alto riesgo de daños y rozaduras por pesca de arrastre. Despliegue a 800 m	Dos capas de alambre de armadura pesada aplicadas al núcleo del cable.

Fuente: Elaboración propia

El cable ligero (LW) es el más básico, los otros tipos de cables se fabrican añadiendo capas de protección, en función de las condiciones ambientales del sistema.

- Segmento terrestre: es la parte del sistema de cable submarino que proporciona conectividad óptica y eléctrica entre la cámara de playa y la estación de cable. Se utilizan los siguientes tipos de cables:
 - Cable protegido Lightguide Express Entry rodent-lightning (LXE-RL), que proporciona conectividad de fibra óptica. Los materiales y la estructura del cable LXE-RL evitan los daños por mordedura de los roedores, rayos e insectos. El diseño del cable permite una fácil instalación en los conductos subterráneos.
 - Cable de alta tensión (HV): proporciona la continuidad del conductor metálico necesario para alimentar los repetidores y amplificadores ópticos submarinos. Se encarga de la transmisión de energía desde el PFE (Power Feed Equipment o Equipo de suministro de energía)

de la estación terminal hasta la cámara de playa, donde se une al conductor eléctrico del cable submarino en la caja de empalme de tres puertos.

- Repetidores: se utilizan en un sistema de cable submarino para la amplificación de la señal óptica. Utilizan la tecnología de amplificación óptica más avanzada para lograr un alto rendimiento y fiabilidad en la transmisión de señales de canales de múltiples longitudes de onda en múltiples pares de fibras. Funcionan con sistemas de soporte de vigilancia y mantenimiento. Proporcionan una vía eléctrica para las señales de electrodos que se utilizan para localizar los cables instalados. Se diseñan en módulos, utilizando un número mínimo de componentes, aumentando la fiabilidad y mejorando el rendimiento. En el sistema de cable submarino cada repetidor aloja cuatro pares de amplificadores. Cada par de amplificadores consta de los componentes necesarios para soportar todos los canales multiplexados por división de longitud de onda en un par de fibras. Cada par de amplificadores contiene dos amplificadores de fibra dopada con erbio (erbium-doped fiber amplifiers, EDFA) que proporcionan amplificación de banda ancha en dos trayectos de transmisión en direcciones opuestas a lo largo del cable.
- Unidades de bifurcación (Branching Units, BUs): están diseñadas para su uso en sistemas con tres o más puntos de salida a tierra. Las señales ópticas se encaminan entre los tres cables que se conectan a la BU. Es un elemento submarino de la red, el cual contiene un arreglo de conexiones que permite bifurcar los hilos de FO. Las operaciones de montaje y reparación de un sistema se realizan normalmente con el sistema sin suministro eléctrico. Adicionalmente, cuando los segmentos de un sistema bifurcado puedan operar sin alimentar otro segmento, las operaciones de la embarcación en las que intervenga el segmento sin suministro de energía eléctrica también podrán realizarse.
- Amplificadores (Gain Equalizer Units, GEUs): Equipo que se inserta en el sistema de cable para atenuar la ganancia en función de la longitud

de onda del trayecto de transmisión proporcionado por el cable y los repetidores, de modo que cada canal de la banda se amplifique sustancialmente en la misma medida. En el sistema de cables submarinos se utilizan dos tipos de amplificadores:

- Filtros atenuadores de ganancia (Gain Flattening Filters, GFFs): usados en cada amplificador de los repetidores. Dispositivo utilizado en un repetidor junto con un EDFA (erbium-doped fiber amplifiers) para hacer que la ganancia neta sea aproximadamente plana frente a la longitud de onda en toda la banda de funcionamiento.
 - Filtros ecualizadores de ganancia (Gain Equalizer Filters, GEF): situados periódicamente a lo largo de la longitud del sistema. Algunos segmentos de los sistemas de cables submarinos utilizan ambos tipos de ecualización y otros segmentos sólo un tipo.
- Equipos de Estación Terminal (Terminal Station Equipment, TSE):
 - Equipos Terminales de Línea (Line Terminating Equipment, LTE): El LTE proporciona la interfaz entre las señales utilizadas por el equipo terrestre y el enlace submarino. Consta de los siguientes componentes, utilizados en cada estación terminal para mantener el rendimiento de la transmisión en cada longitud de onda: equipo óptico de alto rendimiento (high performance optical equipment, HPOE), equipo de terminación de longitud de onda (wavelength termination equipment, WTE), amplificadores de línea terminal (terminal line amplifiers, TLA).
 - Generadores de canal inactivos (Idler channel generators, ICG): Los ICG se utilizan en el sistema de cable submarino para proporcionar tonos inactivos que soporten la carga parcial de los equipos submarinos. Los ICG permiten una mayor flexibilidad en la selección de la longitud de onda y flexibilidad y facilidad en la instalación de actualizaciones. Con los ICG, un sistema puede funcionar con la máxima corriente de línea, lo que facilita las pruebas a plena carga.

- Equipo de carga inicial (Initial loading equipment, ILE): proporciona gestión de canales de potencia para sistemas cargados con menos de la capacidad total de diseño
 - Repetidores terminales: se despliegan para extender el sistema submarino sobre una sección terrestre. Consiste básicamente en dos TLA que amplifican cada dirección de transmisión.
 - Equipos de amplificación óptica: Se utilizan amplificadores de alta potencia para proporcionar amplificación de señal tanto en la dirección de transmisión (amplificador de refuerzo) como en la de recepción.
- Equipo de sincronización del sistema
 - Sistema de monitoreo de línea (Line monitoring system, LMS): comprende todos los equipos submarinos y terminales para la detección, localización y notificación de fallos en el sistema submarino.
 - Sistema de gestión de elementos (Element management system, EMS): proporciona funciones de gestión de elementos de red para el equipo de terminación de línea (Line terminating equipment, LTE), el equipo de supervisión de línea (Line monitoring equipment, LME), el equipo de suministro de electricidad (power feed equipment, PFE) y para los cierres de alarmas discretas a través del dispositivo de conexión discreta.
 - Sistemas de gestión de red (Network management system, NMS): Su objetivo principal es proporcionar una vista de red integrada de los recursos gestionados por EMS en la capa de gestión de red (network management layer, NML). EMS-NMS ofrece a los usuarios una interfaz común a todo el sistema de cable para las rutas submarinas, la gestión de averías (incluido el análisis de la causa raíz) y la gestión del rendimiento, así como acceso directo a la gestión de NE a través de EMS. El NML es responsable de la gestión de la red submarina que abarca los dominios LTE a LTE.

- Sistema de suministro de energía eléctrica: El sistema de cable submarino es alimentado por los equipos de suministro de energía eléctrica (PFE), cuyas fuentes son: la energía comercial y la energía de baterías. Estos proveen energía eléctrica a los repetidores submarinos y al sistema de puesta a tierra en las unidades de bifurcación. La conversión de energía de la batería en corriente continua se consigue mediante el uso de dos convertidores de potencia idénticos y eléctricamente independientes. Si uno de los convertidores se apaga, el segundo ajusta automáticamente su salida para gestionar la carga del sistema de cable submarino.
- Red de comunicaciones de datos (Data Communications Network, DCN): proporcionan comunicaciones de voz y datos entre estaciones terminales. Esto permite al personal de las estaciones realizar actividades de mantenimiento.

3.4.2.2 South America-1 (SAM-1)

Es una red propia de Telxius, que cubre toda América Sur, cierta parte de América Central, y cerrando el anillo en Miami, Florida. Tiene una longitud de 25000 km aproximadamente. Está constituida por 15 estaciones de amarre en 10 países:

- Chile: Arica, Valparaíso
- Colombia: Barranquilla
- Estados Unidos: Boca Ratón
- Brasil: Fortaleza Pop, Rio de Janeiro, Salvador, Santos
- Argentina: Las Toninas
- Perú: Lurín, Máncora
- Guatemala: Puerto Barrios, Puerto San José,
- Ecuador: Salinas

- Puerto Rico: San Juan

Adicionalmente, estos sitios están unidos a parte de los cables submarinos, por dos segmentos terrestres (conectando dos estaciones de amarre):

Segmento terrestre Guatemala: permite la unión de las estaciones Puerto Barrios y Puerto San José. También conocido como el segmento terrestre Transguatemalteco.

Segmento terrestre Argentina – Chile: permite la unión de las estaciones Las Toninas (Argentina) y Valparaíso (Chile). También conocido como el segmento terrestre Transandino, ver tabla 2 y la figura 4.

Para este sistema de cables submarino, hay instaladas cuatro unidades de bifurcación conmutadas por potencia (Power Switched Branching Units, PSBU) más dos de repuesto. Cada uno de los tres puertos de la BU contiene cuatro pares de fibra, con dos pares de fibra que van a cada uno de los otros dos puertos.

Tabla 2: **Segmentos del Sistema Submarino SAM-1**

Segmento	Extremo 1	Extremo 2
A	Las Toninas, Argentina	Santos, Brasil
B	Santos, Brasil	BU-2
C	BU-2	Rio de Janeiro, Brasil
D	BU-2	BU-1
E	BU-1	Salvador, Brasil
F	BU-1	Fortaleza, Brasil
G	Fortaleza, Brasil	San Juan, Puerto Rico
G1	San Juan, Puerto Rico	BU-5
G2	BU-5	Barranquilla, Colombia
G3	BU-5	Stub
H	San Juan, Puerto Rico	Boca Ratón, USA
I	Boca Ratón, USA	BU-4
J	BU-4	Stub

K	BU-4	Puerto Barrios, Guatemala
L	Puerto San José, Guatemala	BU-3
M1	BU-3	BU-3A
M2	BU-3A	Salinas, Ecuador
M3	BU-3A	Máncora, Perú
N	BU-3	Lurín, Perú
O	Lurín, Perú	Arica, Chile
P	Arica, Chile	Valparaíso, Chile

Fuente: Elaborado por Telxius



Figura 4: **Mapa de SAM-1**

Fuente: Presentación de Telxius

3.4.2.3 BRUSA

Es una red propia de Telxius puesta en operación en el 2018, ofrece la conexión más directa de mayor capacidad entre Estados Unidos y Brasil (país de América Latina con mayor cantidad de tráfico de datos), uniendo así las estaciones: Virginia Beach (USA), San Juan (Puerto Rico), Fortaleza (Brasil) y Río de Janeiro (Brasil), ver figura 5. Tiene una longitud de aproximadamente 11000 km de fibra óptica de última generación, ofreciendo latencias más bajas. Tiene una capacidad de 160Tbps, siendo el sistema de cable submarino con mayor capacidad que interconecta el continente americano. Cuenta con un diseño para minimizar riesgos en casos de desastres naturales. (Telxius, Nuestra red: BRUSA, 2024)



Figura 5: **Mapa de BRUSA**

Fuente: *(Telxius, Nuestra red: BRUSA, 2024)*

3.4.2.4 JUNIOR

Es un sistema de cable submarino que pertenece también a la red propia de Telxius, conecta Río de Janeiro y Santos en Brasil. Cuenta con una longitud de 390km, se interconecta con Brusa para ofrecer servicios de banda ancha ultrarrápidas con la menor latencia entre Brasil y USA, ver figura 6. También fue puesto en operación desde el 2018. (Telxius, Nuestra red: Junior, 2024)



Figura 6: **Mapa de Junior**

Fuente: (Telxius, Nuestra red: Junior, 2024)

3.4.2.5 Backhaul Brasil entre Sao Paulo – Santos

Segmento configurado por diversos lambdas, las fibras terrestres son provistas por los operadores locales, uniendo los sitios: Santos LS, Santa Ifigenia POP, Consolacion, Terremark (SP4), Alog 2 SP y Santo André, ver figura 7. (Telxius, Mapa interactivo, s.f.)

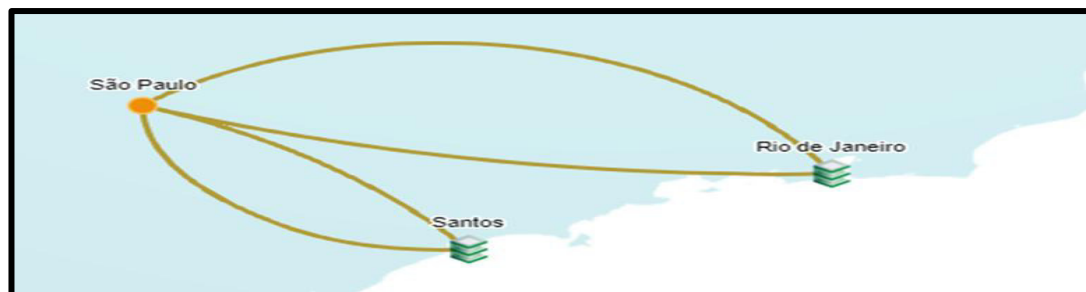


Figura 7: **Mapa de Backhaul Brasil entre São Paulo – Santos**

Fuente: (Telxius, Mapa interactivo, s.f.)

3.4.2.6 Servicios de Capacidad

Son servicios diseñados para brindar conectividad a nivel de capa 1 (físico) y capa 2 (enlace). El ancho de banda asignado a cada enlace es dedicado. Adicionalmente, en función a los requerimientos del servicio, es posible implementar rutas de protección que garanticen la continuidad del servicio en

casos de fallos en la ruta principal. Para el presente informe, según la clasificación por tecnología y mercado, detallaremos a: Wavelength (tecnología DWDM) y Carrier Ethernet.

- Esquemas de protección en ruta:
 - No Protegido (1+0): El circuito tendrá una sola ruta de extremo a extremo. En caso de tener algún corte y/o evento en esta ruta, el cliente tendrá indisponibilidad o afectación total en el servicio.
 - Protegido (1+1): El circuito tendrá dos rutas de extremo a extremo. A la ruta principal se denomina “Working Path” o “Principal” y a la ruta de Backup se denomina “Protection Path” o de “Protección”. En caso de tener algún corte y/o evento en la ruta principal, el cliente seguirá trabajando por la ruta de Backup y viceversa. En este caso, el cliente sólo tendrá indisponibilidad total cuando ambas rutas se vean afectadas al mismo tiempo.
- HAND-OFF:

Es la manera de cómo se entregan las conexiones al cliente en los extremos del circuito. Estas pueden ser de dos tipos:

- No Protegido (1+0): En caso de una conexión de fibra, se entregará al cliente un par de fibras (Tx y Rx).
 - Protegido (1+1): Las conexiones se harán hacia el Equipo u ODF del cliente. Y en caso de una conexión de fibra, se entregará al cliente dos pares de fibras (2 Tx y 2 Rx).
- Escenarios para tener en cuenta:
 - Circuito Protegido con Hand-Off 1+1

El Cliente tendrá gestión de manera independiente de cada ruta (principal y protección). Con lo cual será capaz de verificar los eventos de cada ruta de manera separada (podrá discriminar si la ruta principal o la ruta de protección presenta algún problema), como se muestra en la figura 8.



Figura 8: **Extremo de circuito protegido con Hand Off 1+1**

Fuente: Elaboración propia

- Circuito Protegido con Hand-Off 1+0

El cliente tendrá gestión del enlace, pero no podrá verificar los eventos de cada ruta de manera separada. En caso haya algún evento en la ruta principal, el cliente detectará un micro corte debido a la conmutación del circuito a la ruta de protección. Una vez se solucione el problema de la ruta principal, el cliente volverá a detectar otro micro corte debido a que el servicio retorna a la ruta principal. En caso haya un problema y se afecten ambas rutas, el cliente tendrá indisponibilidad total, como se en la figura 9.

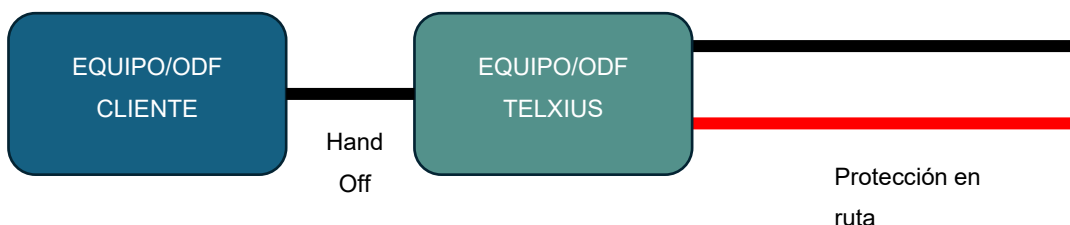


Figura 9: **Extremo de circuito protegido com Hand Off 1+0**

Fuente: Elaboración propia.

3.4.2.7 Tecnología DWDM (Dense Wavelength Division Multiplexing)

En español es Multiplexación por División en Longitud de Onda Densa. Es una técnica de transmisión de señales a través de fibra óptica, la cual se basa en la Multiplexación por división en longitudes de ondas densas o compactas, esto permite acoplar las salidas de diferentes fuentes emisoras de luz, cada una a una longitud de onda diferente, sobre una misma fibra óptica.

Mediante DWDM en cada una de las longitudes de onda se pueden ubicar diferentes tasas de bit de distintas capas superiores, como PDH, SDH, ATM e IP. Se puede ver, por lo tanto, como una tecnología totalmente óptica, independiente de la tasa de bit y protocolo de las capas superiores.

La grilla de frecuencias establecida en la norma ITU-T G.694.1 especifica las longitudes de onda utilizadas en DWDM. Se encuentran en la banda C (1525-1565 nm) y suministra espaciamientos de canales de 50 GHz (0,4 nm), 100 GHz (0,8 nm) o 200 GHz (1,6 nm).

Cada portadora óptica forma un canal óptico que podrá ser tratado independientemente del resto de canales que comparten el medio (fibra óptica) y contener diferentes tipos de tráfico. De esta manera se puede multiplicar el ancho de banda efectivo de la fibra óptica.

- Características
 - Permite transmisiones de larga distancia (utiliza amplificadores)
 - Longitudes de onda compactadas.
 - Se requieren láseres de precisión para mantener los canales dentro del objetivo.
 - Divide el espectro en pequeñas partes.
- Componentes
 - Transponder: Como vemos en la figura 10, recibe la señal de banda ancha del cliente y la adapta a un canal óptico sintonizado de banda estrecha. Desempeña la función 3 R (retemporizar, remodela, y retransmite).
 - Multiplexor / Demux.: Combina/separa las señales de diferente longitud de onda sobre una misma fibra en la que viajan simultáneamente. Cada longitud de onda transporta su propia información y representa un canal.

- Amplificador: Es utilizado cada cierta distancia del enlace, para amplificar la potencia de las señales que se ven afectadas por atenuación del medio.
- Fibra Óptica: Medio utilizado para transportar las señales ópticas.

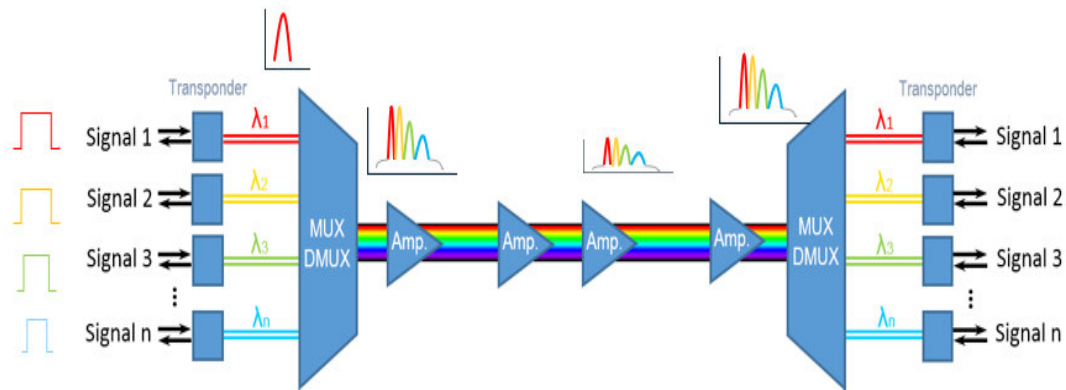


Figura 10: **DWDM**

Fuente: Elaboración propia.

3.4.2.8 Carrier Ethernet

Ethernet es un protocolo de red que facilita el uso de un tipo de medio físico (par trenzado de cobre, coaxial, fibra y espectro inalámbrico) para las comunicaciones de datos. Este protocolo está basado en una serie de estándares publicados por IEEE LAN/Metropolitan Area Network Standards Committee, conocido como IEEE 802. Ethernet definido por IEEE 802.3 divide la capa 2 del modelo OSI en 2 partes, siendo Ethernet un modelo de 3 capas, como se muestra en la figura 11.

- Logical-Link Control (LLC): Mux/Demux de tramas, control de flujo, reconocimiento y recuperación.
- Media Access Control (MAC): Encapsulamiento de datos (construye la trama, detecta errores) y gestión del medio de acceso.
- Physical Media Support (PHY): Interfaz, conectores, velocidad, código de línea.

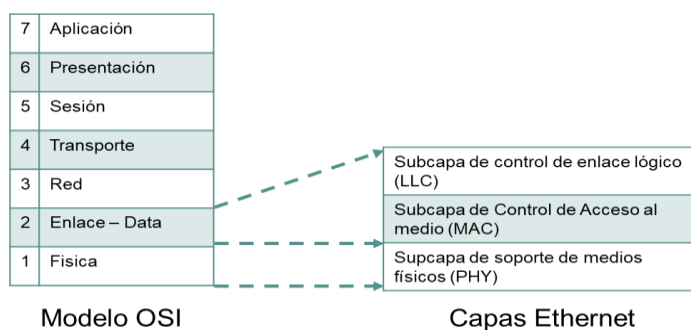


Figura 11: **Modelo OSI vs Capas Ethernet**

Fuente: (Cisco Networking Academy, 2024)

Carrier Ethernet funciona directamente en la capa 2 sobre la red OTN/DWDM. La trama Ethernet que se utiliza es Ethernet tipo II, que consta de la cabecera (dirección de destino (Destination Address, DA), la dirección de origen (Source Address, SA) y el tipo de protocolo), los datos de usuario o carga útil y la secuencia de comprobación de la trama o comprobación de redundancia cíclica (Cyclical Redundancy Check, CRC). Según el estándar 802.3, las tramas Ethernet deben tener una longitud mínima de 64 bytes, por lo que las cargas útiles deben tener una longitud mínima de 46 bytes.

De lo revisado en la publicación de Ciena (Hawkins, 2017), Carrier Ethernet (CE) está basada en la tecnología Ethernet. El comité que desarrolla los estándares de Carrier Ethernet es el Metro Ethernet Fórum (MEF) y define a CE como un servicio y una red ubicuos, estandarizados y de clase portadora definidos por cinco atributos (figura 12).

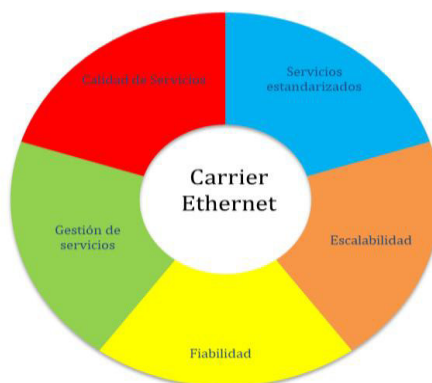


Figura 12: **5 atributos de Carrier Ethernet**

Fuente: (Hawkins, 2017)

- Atributos de Carrier Ethernet
 - Servicios estandarizados: La necesidad de soluciones basadas en estándares que den lugar a un uso predecible y repetible del servicio. Los servicios MEF se basan en normas IEEE, por ejemplo, para definir detalles físicos como la velocidad de línea, la codificación y el tamaño de los paquetes.
 - Escalabilidad: Soporta varios servicios para una gran variedad de usos a través de largas distancias que se extienden más allá de una LAN, a velocidades de datos más rápidas cada vez. Las tecnologías QinQ, PBB, QoS y Ethernet con respecto a la conexión resuelven la mayoría de los desafíos de escalabilidad a nivel de protocolo con enfoques sólidos y con garantía a futuro.
 - Fiabilidad: la red puede detectar y recuperarse de los fallos y cumplir con los requisitos de disponibilidad más exigentes (el tiempo de recuperación de 50 ms es una métrica bien establecida en el sector).
 - Calidad de servicio: permite diversas métricas de rendimiento para cumplir con los acuerdos de nivel de servicio (Service-Level Agreements, SLA) de las aplicaciones como datos, video, voz.
 - Gestión de servicios: ofrece la capacidad de visualizar la infraestructura, implementar servicios, diagnosticar áreas problemáticas y llevar a cabo la administración diaria de una red.

- Arquitectura Carrier Ethernet

En una red Carrier Ethernet, los datos se transportan a través de conexiones virtuales Ethernet (Ethernet Virtual Connections, EVC) punto a punto y multipunto a multipunto según los atributos y definiciones de los servicios E-Line, E-LAN, E-Tree, E-Access y E-transit, siendo estos dos últimos añadidos recientemente para permitir que los proveedores de servicios enlacen servicios de extremo a extremo usando redes de múltiples operadores.

El modelo de servicios de Ethernet define un conjunto de bloques de construcción que se utilizan para ensamblar una variedad de servicios CE, como se observa en la figura 13. (Hubbard, 2020)

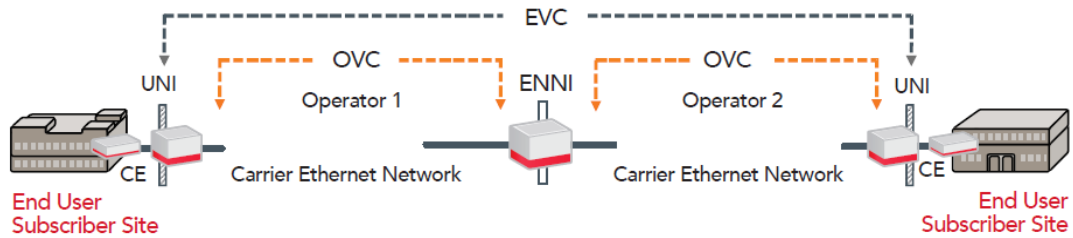


Figura 13: **Arquitectura propuesta por MEF para una red CE**

Fuente: (Hubbard, 2020)

- EVC: Ethernet Virtual Connection. Conexión end to end (UNI a UNI).
 - OVC: Operator Virtual Circuit. Es el tramo del servicio en un operador, delimitado por una UNI y/o NNI.
 - UNI: User Network Interface. Es el punto de demarcación física entre la responsabilidad del Proveedor de Servicios y la responsabilidad del cliente.
 - ENNI: External Network to Network Interface. Es el punto de demarcación física entre la responsabilidad de los dos Proveedores de Servicios
 - CE: Customer Equipment (Equipo de cliente)
- Tipos de Servicio
 - Servicios E-Line: son los servicios punto a punto (UNI-UNI). Ethernet Private Line (EPL) usa UNIs dedicadas y proporciona alto grado de transparencia. Ethernet Virtual Private Line (EVPL) agrupa los servicios sobre una misma UNI, cada servicio se diferencia por el uso de una C-VLAN específica.
 - Servicios E-LAN: son los servicios Ethernet multipunto a multipunto (UNIs-UNIs). Ethernet Private LAN (EP-LAN) y Ethernet Virtual Private LAN(EVP-LAN) comunican una UNI con las demás UNIs conectadas a E-LAN, ayudando a que una UNI nueva pueda integrarse a la red sin tanta complejidad.
 - Servicios E-tree: Son servicios punto a multipunto. Ethernet Private Tree (EP-Tree) y Ethernet Virtual Private Tree(EVP-Tree) son

servicios con 2 tipos UNI: UNI root y UNI leaf, la UNI root se comunica con cualquier UNI leaf, pero la UNI Leaf solo puede comunicar con una UNI root.

- Servicios E-Access: se interconecta una UNI y una ENNI, aquí se utiliza la S-
- VLAN (que se modifica al pasar de una red a otra) y la C-VLAN, en caso se necesite. También se tienen: Access EPL o Access EVPL.
- Servicios E-Transit: Se interconectan dos ENNI, se utilizan para comunicar dos o más redes Ethernet (OVC) que formaran las EVC. Pueden ser: Transit E-Line o Transit E-LAN.

3.5 Procedimiento

Para realizar la migración de los enlaces se coordina con varias áreas las diversas tareas. El área de Provisión lidera la coordinación con estas, según el siguiente flujo en la figura 14:

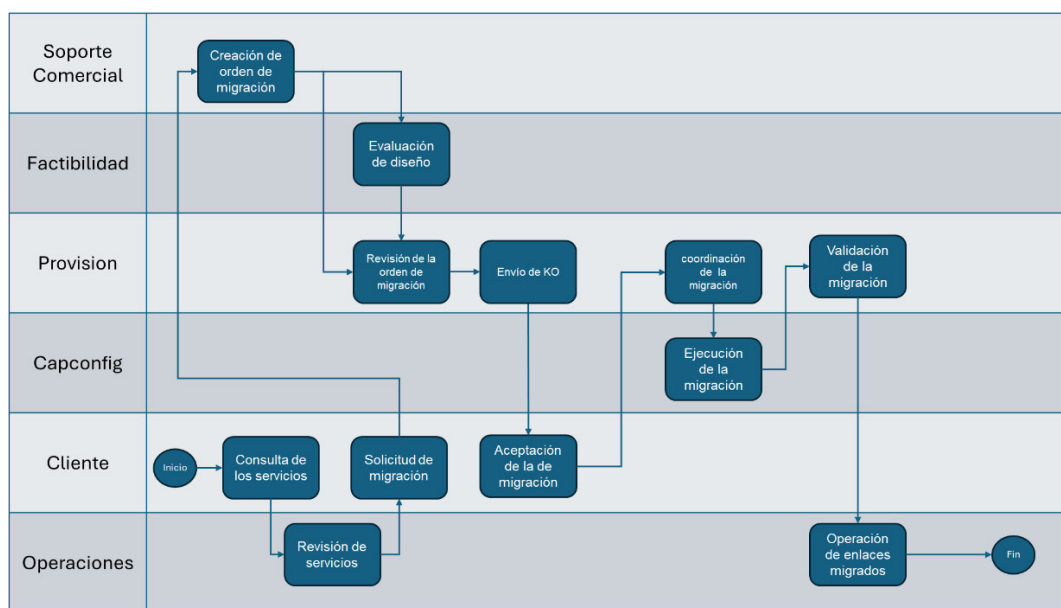


Figura 14: **Flujograma de migraciones de servicio**

Fuente: Elaboración propia

El proyecto consiste en la migración de dos enlaces de un cliente, a través de las etapas siguientes (tabla 3):

- Etapa 1: Requerimiento de Cliente.
- Etapa 2: Solicitud de factibilidad y de la migración de los enlaces.
- Etapa 3: Provisión de las migraciones.
- Etapa 4: Validación.

Tabla 3: Etapas de migración de los enlaces

ETAPAS	Jun.	Jul.	Agt.	Set.	Oct.	Nov.	Dic.	Ene.	Feb.
Etapa 1:	Enlace 1								
Requerimiento de Cliente	Enlace 2								
Etapa 2:	Enlace 1		Enlace 1						
Solicitud de Factibilidad y de la migración de los enlaces	Enlace 2		Enlace 2	Enlace 2	Enlace 2	Enlace 2	Enlace 2	Enlace 2	Enlace 2
Etapa 3:	Enlace 1		Enlace 1						
Provisión de las migraciones								Enlace 2	Enlace 2
Etapa 4:	Enlace 1								
Validación									Enlace 2

Fuente: Elaboración propia

3.5.1 Etapa 1: Requerimiento de Cliente

3.5.1.1 Enlaces en servicio sin diversidad

El área de Operaciones se encarga de asegurar el funcionamiento de los servicios de capacidad. Ante cualquier eventualidad en la red, los clientes les reportan las incidencias.

Para este proyecto, el cliente solicita que se revise la configuración de sus dos enlaces de 10Gb que le unen USA con Brasil, ya que observa varios eventos que le ocasionaban inestabilidades en sus enlaces (flaps), alta latencia en uno

de sus enlaces y en ciertas ocasiones se veían afectados ambos enlaces en simultaneo.

En la configuración de los enlaces se observa que el enlace 1 tiene segmentos del sistema submarino SAM-1 (lado Pacífico) y el enlace 2 configurado en los sistemas submarinos BRUSA y SAM-1 (lado Atlántico), a simple vista ambos diversificados, pero realmente no lo están debido a que el enlace 1 y 2 comparten la misma línea del SAM-1 en Santos.

Enlace 1: Desde Ohio en USA hasta Boca Ratón, está configurado por medio del servicio Global Carrier Ethernet, con el tipo de servicio EPL, lo cual permite que se pueda llevar el enlace por medio del sistema submarino SAM-1 desde Boca Raton, USA hasta Santos, Brasil por lado del Pacífico. Por medio del backhaul de Sao Paulo, se configura el tramo de Santos hasta Sao Paulo SP2 en Brasil. Siendo estos dos últimos tramos soportados por la tecnología DWDM (ver figura 15).

En esta ruta tenemos una latencia alta debido a que es una ruta larga. Al tener más sitios involucrados es una ruta expuesta a diversos eventos en la red ya sean incidencias (imprevistos) o por trabajos programados.

Por otro lado, también se observa que el enlace es protegido en ruta en el segmento de Valparaíso a Barracas. Esto provoca las inestabilidades en sus enlaces (flaps) que observa el cliente, ya que la configuración de la red en este segmento es de 3 rutas: norte, centro y sur, y está definido que al afectarse cualquiera de las rutas los servicios conmuten directamente a cualquiera de las otras dos rutas que se encuentre en operación. Otra observación que se tiene en este segmento es que se presentan muchos trabajos programados, para mejorar degradaciones o subsanar algún problema en este subsegmento de la red.

Contar con la protección en ruta es ideal para ofrecer a los clientes la continuidad de sus servicios, sin embargo, para este cliente los flaps

ocasionados por las conmutaciones le genera insatisfacción en la calidad del servicio.

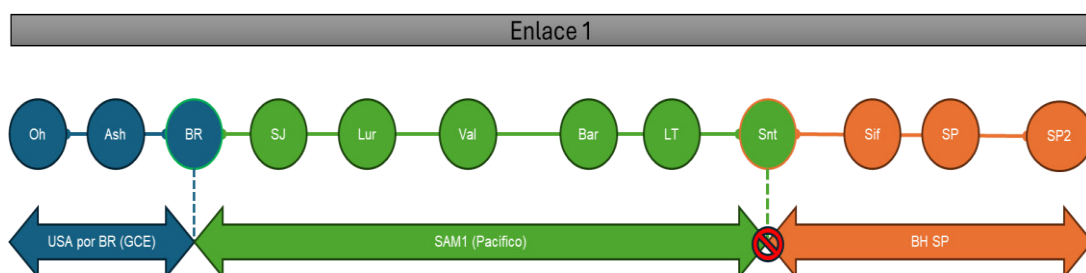


Figura 15: **Enlace 1**

Fuente: Elaboración propia.

Enlace 2: Desde Ohio en USA hasta Virginia está configurado por medio del servicio Global Carrier Ethernet, con el tipo de servicio EPL, luego del punto UNI en Boca Ratón se conecta al sistema submarino Brusa hasta Rio en Brasil. Seguido por el segmento del Rio a Santos por medio del sistema submarino SAM-1. El siguiente segmento hasta Sao Paulo SP2, se configura en una de las rutas del Backhaul terrestre de Sao Paulo. Siendo estos tres últimos segmentos soportados por la tecnología DWDM (ver figura 16).

En esta ruta tenemos una latencia menor debido a que es una ruta más corta, hay menos saltos entre sitios involucrados, y por tanto menor cantidad de incidencias y trabajos programados.

Sin embargo, se observa que el segmento de SAM-1 por más que sea mirando al lado Atlántico, comparte la misma línea que el enlace 1, por lo que, cuando se tienen trabajos programados o incidencias en esta línea, se ven afectados ambos enlaces en simultaneo. Ante ello, el cliente solicita que se evalúe si es factible cambiar de sistema a este enlace en ese segmento.

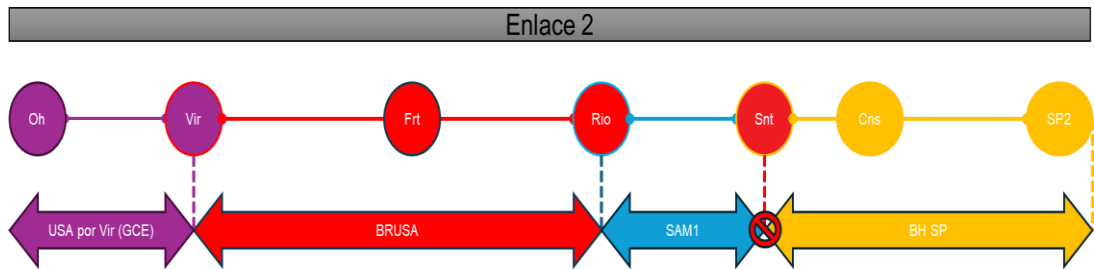


Figura 16: **Enlace 2**
Fuente: Elaboración propia.

3.5.1.2 Requerimiento del cliente

El cliente solicita la diversidad y menor latencia de sus dos enlaces:

Enlace 1: Evaluar si es factible ofrecer una ruta con menos latencia, es decir una ruta más corta, con menos saltos entre estaciones.

Enlace 2: Evaluar si es factible brindar el servicio por otro sistema submarino diverso al enlace 1. Luego que a este último se le haya brindado una ruta con menor latencia.

3.5.2 Etapa 2: Solicitud de factibilidad y de las migraciones de los enlaces.

3.5.2.1 Solicitud de factibilidad

El área de Soporte Comercial, encargado de hacer los acuerdos con el cliente y crear la orden con los requerimientos de los servicios, solicita al área de Factibilidad revisar si es factible atender lo requerido por el cliente para sus

dos enlaces entre Brasil y USA, con capacidades de 10 GbE, usando el servicio Wavelength y Global Carrier Ethernet.

3.5.2.2 Diseño de las nuevas rutas de los enlaces

Para diseñar la migración de los dos enlaces de 10GbE entre los extremos de USA y Brasil, Factibilidad procede a analizar las rutas que ofrece Telxius a través de sus redes submarinas y segmentos terrestres entre ambos puntos. SAM-1, Brusa y Junior son los sistemas submarinos disponibles, sobre los cuales se debe evaluar la migración de estos enlaces. Adicionalmente, para estas migraciones también se utiliza la infraestructura de las redes terrestres como el Backhaul Sao Paulo en Brasil y la red GCE de Telxius en USA.

El análisis de Factibilidad comprende revisar la disponibilidad de puertos, líneas, capacidades y tecnologías que se tienen previamente configurados en la red. Este análisis identifica que se puede diseñar las dos rutas a través de sus sistemas de cable submarino utilizando los servicios Wavelength y Global Carrier Ethernet que ofrece Telxius en su cartera de Capacidad.

Para el Enlace 1, se reutiliza el segmento configurado por Carrier Ethernet entre Ohio y Boca Ratón, con el mismo tipo de servicio EPL uniendo los dos puertos UNI de 10GbE (un extremo de cliente y el otro de Telxius) por medio de los NNI configurados como una lambda lineal en la red, utilizando la capacidad y puertos completos. Este segmento es diseñado como no protegido. En las tramas entrantes por el puerto UNI, que vienen desde el cliente sin VLAN (inner VLAN), cuando ingresa a la red GCE se le agrega un campo adicional de VLAN (outer VLAN), que viene a ser la P-VLAN (VLAN del proveedor) que sirve para administrar el servicio dentro de la red GCE. Y al salir por la UNI del otro extremo se retira esta P-VLAN (ver figura 17).

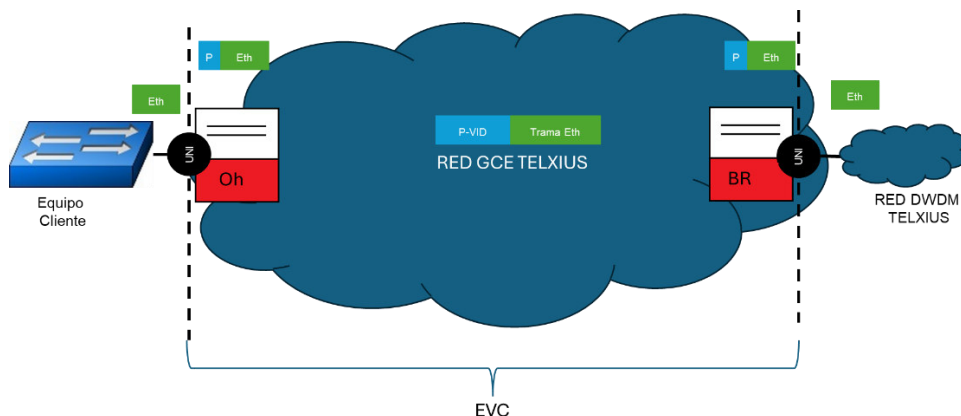


Figura 17: **Diagrama del funcionamiento de tramas del segmento GCE entre Ohio y Boca Raton**

Fuente: Elaboración propia.

Del puerto UNI en Boca Ratón se conecta en esa misma estación a otro puerto en otro equipo que pertenece al sistema submarino SAM-1 (lado Atlántico) por medio de tecnología DWDM, llevando el enlace hasta Santos, donde se conecta al backahul terrestre de Sao Paulo, yendo por una ruta directa hasta Sao Paulo (SP2). El diseño de este segmento es factible de implementar de inmediato, debido a la disponibilidad de equipos, puertos y capacidad (ver figura 18).

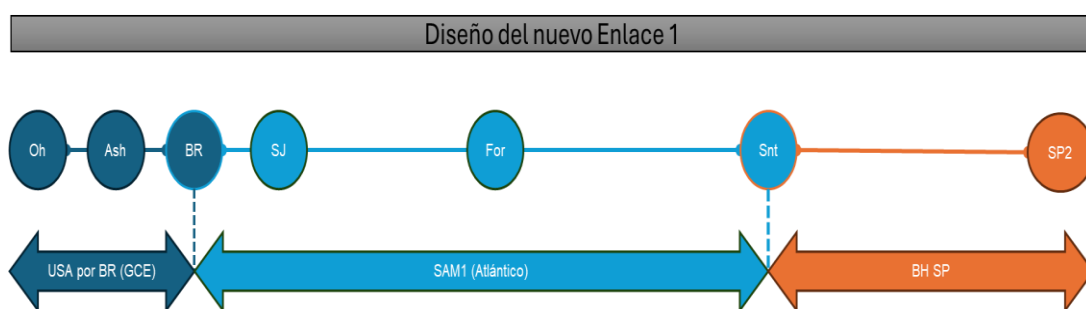


Figura 18: **Diseño del nuevo Enlace 1**

Fuente: Elaboración propia.

Para el Enlace 2, también se reutiliza el segmento configurado por Carrier Ethernet no protegido ente Ohio y Virginia, con capacidad de 10GB. Se conectan dos extremos UNI (User to Network Interface), debido a que es una conexión dentro del mismo dominio, con Ethertype 8100, categorizado con el tipo de servicio EPL (Ethernet Private Line), donde se usa el puerto físico

completo. Cada puerto (en los extremos) es bloqueado, quedando reservado para una única conexión, uniendo así los dos puertos UNI. En las tramas entrantes por el puerto UNI, que vienen desde el cliente sin VLAN (inner VLAN), cuando ingresa a la red GCE, se le agrega un campo adicional de VLAN (outer VLAN), que viene a ser la P-VLAN (VLAN del proveedor) que sirve para administrar el servicio dentro de la red GCE, y al salir por la UNI del otro extremo se retira esta P-VLAN. Para este diseño los puertos UNI se unen a través de un enlace NNI, configurado en el despliegue de la red GCE (ver figura 19).

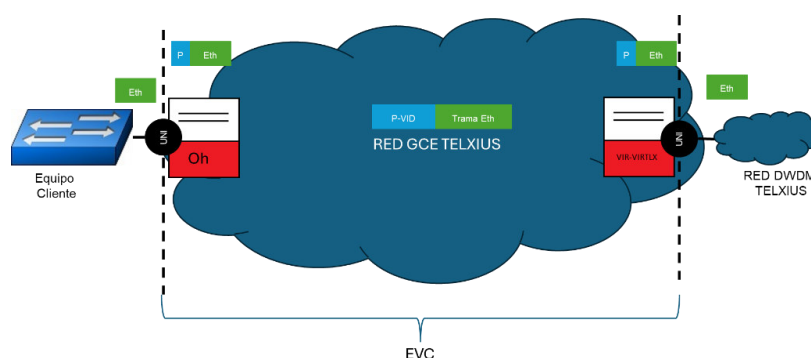


Figura 19: **Diagrama del funcionamiento de tramas del segmento GCE entre Ohio y Virginia**

Fuente: Elaboración propia.

Del puerto UNI en Virginia se conecta en esa misma estación a otro puerto en otro equipo que pertenece al sistema submarino Brusa por medio de la tecnología DWDM, llevando el enlace hasta Rio. Desde Rio se debe realizar el cambio del segmento de SAM-1 al Sistema submarino Junior, y llevar el enlace hasta Santos. Para realizar el diseño de este segmento, es necesario que el equipo de Despliegue de red realice adecuaciones en la red con la finalidad de tener disponibilidad de equipos, puertos y capacidad en el segmento de Rio a Santos por el Junior. Con ello se garantiza la diversidad de los enlaces utilizando los diversos sistemas submarinos que se tienen desplegados.

Desde Santos hasta Sao Paulo SP2, se utiliza una de las rutas del backhaul terrestre de Sao Paulo (ver figura 20).

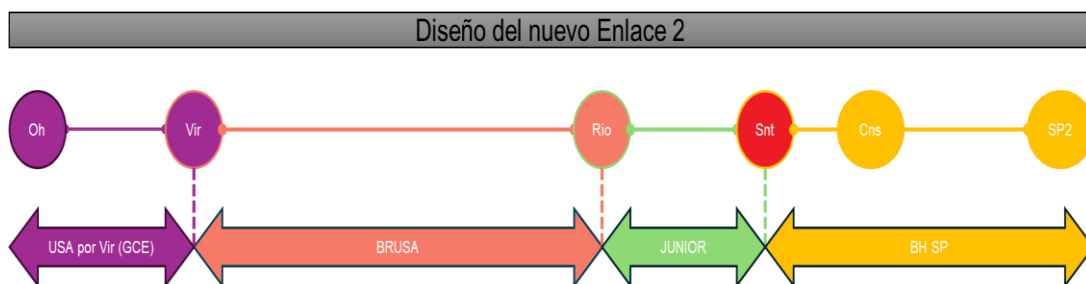


Figura 20: **Diseño del nuevo Enlace 2**

Fuente: Elaboración propia.

3.5.2.3 Solicitud de migración de los enlaces

El área de Soporte Comercial envía por los sistemas la orden de requerimiento del cliente al área de Provisión. En esta orden se especifican los parámetros requeridos en función al tipo de servicio (Wavelength, Carrier Ethernet) que previamente Factibilidad ya ha reservado e indicado que es factible brindar este tipo de circuito al cliente.

El área de Provisión planifica una reunión con el área de Soporte Comercial para revisar los parámetros de los nuevos enlaces a migrar y confirmar los requisitos establecidos en la orden (ver tablas 4 y 5). Una vez validada la orden, se procede con el avance en los sistemas para la creación del ID administrativo del servicio de capacidad.

Tabla 4: **Parámetros del servicio de Capacidad de extremo a extremo utilizando GCE, Sistema Submarino SAM-1 y Backhaul SP**

Enlace 1: Ohio - Boca Raton POP – Santos – Sao Paulo SP2	
ID del servicio	OHI - SP2/CLIENTE 10GB S1
CRT	
Capacidad	10 Gb
Protección	No protegido

EXTREMO A	
POP/LS/ Sitio	Ohio
Interfaz	10 GbE Lan Phy
conector	LC
Responsabilidad XC	Cliente
EXTREMO Z	
POP/LS/ Sitio	Sao Paulo SP2
Interfaz	10 GbE Lan Phy
Conector	LC
Responsabilidad XC	Telxius
Información Adicional	Se utiliza el servicio GCE + SAM-1+ Backhaul SP

Fuente: Elaboración propia

Tabla 5: **Parámetros del servicio de Capacidad de extremo a extremo utilizando GCE, Sistema Submarino SAM-1 y Backhaul SP.**

Enlace 2: Ohio – Virginia LS – Rio LS – Santos LS – Sao Paulo SP2	
ID del servicio	OHI - SP2/CLIENTE 10GB S2
CRT	
Capacidad	10 Gb
Protección	No protegido
EXTREMO A	
POP/LS/ Sitio	Ohio
Interfaz	10 GbE Lan Phy
conector	LC
Responsabilidad XC	Cliente
EXTREMO Z	
POP/LS/ Sitio	Sao Paulo SP2
Interfaz	10 GbE Lan Phy
conector	LC
Responsabilidad XC	Telxius
Información Adicional	GCE + Brusa + Junior + Backhaul SP

Fuente: Elaboración propia

3.5.3 Etapa 3: Provisión del servicio.

3.5.3.1 Kick Off Cliente

Luego de la validación de la solicitud con el área de Soporte comercial, el área de Provisión inicia contacto con cliente para informar los parámetros del enlace a migrar (ver tabla 6). En este proyecto se inicia comunicando la migración del primer enlace, que mejora la latencia y brinda una ruta con menos saltos entre estaciones de la red, resultando en una disminución de las afectaciones del servicio causados por incidencias o trabajos programados en cada estación. Provisión avisa al cliente que la migración debe realizarse en caliente (con los enlaces activos), debido a que hay segmentos que se van a reutilizar.

Tabla 6: **Parámetros del servicio de Capacidad del Enlace 1 de extremo a extremo que se informa a cliente**

Enlace1: Ohio – Boca Raton – Santos – São Paulo SP2	
ID del servicio	OHI - SP2/CLIENTE 10GB S1
CRT	
Capacidad	10 Gb
Protección	No protegido
EXTREMO A	
POP/LS/ Sitio	Ohio
Interfaz	10 GbE Lan Phy
conector	LC
Responsabilidad XC	Cliente
EXTREMO Z	
POP/LS/ Sitio	Sao Paulo SP2
Interfaz	10 GbE Lan Phy
conector	LC

Responsabilidad XC

Telxius

Fuente: Elaboración propia

Provisión explica al cliente que las conexiones en los extremos que ya se están utilizando no se van a cambiar, serán reutilizadas. Estas conexiones en los extremos, desde los puertos tributarios hasta los puertos de cliente, se determina según la responsabilidad que indica el equipo comercial. En este enlace 1 tenemos que en Ohio la responsabilidad de la conexión es del cliente, por lo que Telxius solo es responsable de dejar los enlaces en las extensiones hacia donde se conecta el cliente. Las extensiones no son Cross-conexiones, son cableados que se realiza desde el equipo de transmisión hasta el MMR que se encuentra en una sala compartida con clientes.

El extremo Ohio es un sitio categorizado como off net, ya que no es propiedad de Telxius, sino que es un Datacenter administrado por un proveedor local. En este Datacenter, Telxius tiene sus tarjetas E-motor por donde brinda su servicio GCE. El puerto de esta tarjeta se extiende hasta un MMR ubicado en la misma sala donde co-ubican diferentes clientes / proveedores. Desde esa posición en el MMR el cliente puede conectar su servicio (ver figura 21).

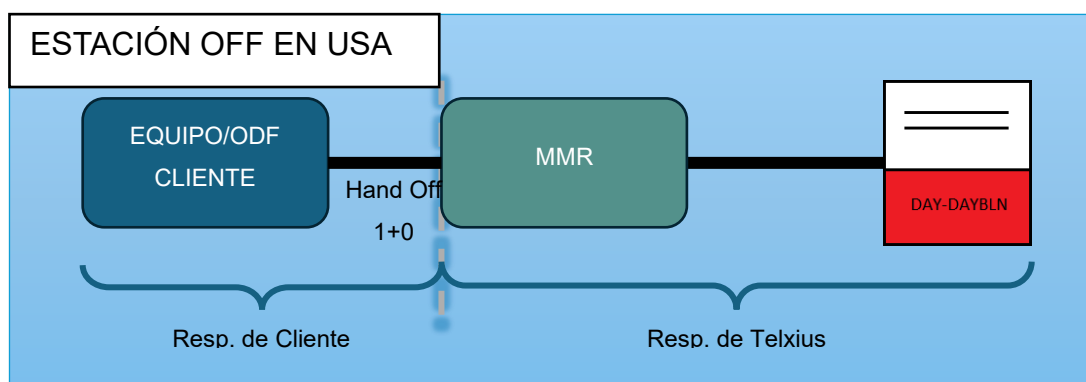


Figura 21: **Responsabilidad de extensión de Telxius en Ohio.**

Fuente: Elaboración propia.

El extremo de Sao Paulo SP2, como muestra la figura 22, también es un sitio off net ya que Telxius no es el dueño del sitio, sino que pertenece a un proveedor del Datacenter, en este extremo Telxius tiene sus equipos de

transmisión y están co-ubicados en una sala donde comparte con otros clientes/ proveedores. También la posición del puerto tributario se extiende hasta un MMR. Sin embargo, como en este extremo Telxius es responsable de la Cross-conexión, el personal de la oficina local de la red en Brasil se encarga de solicitar al Datacenter la conexión desde el MMR hasta la posición que brinda el cliente. El Datacenter tiene un SLA de 15 a 20 días hábiles para poder ejecutar la Cross-conexión.

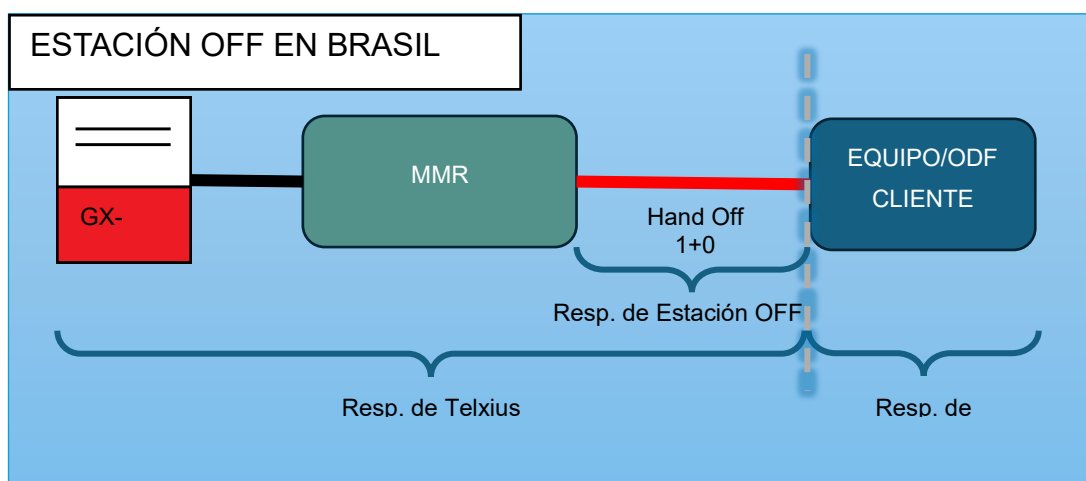


Figura 22: **Responsabilidad de Cross-conexión de Telxius en Sao Paulo SP2**

Fuente: Elaboración propia

Para el enlace 2, luego que Factibilidad confirma la disponibilidad de la nueva ruta a migrar, Provisión comunica al cliente los parámetros y coordina para realizar la migración en caliente debido a que hay reutilización de segmentos compartiendo la tabla 7.

Tabla 7: **Parámetros del servicio de Capacidad del Enlace 2 de extremo a extremo que se informa a cliente**

Enlace 2: Ohio – Virginia – Rio – Santos – Sao Paulo SP2	
ID del servicio	OHI - SP2/CLIENTE 10GB S2
CRT	
Capacidad	10 Gb
Protección	No protegido

EXTREMO A	
POP/LS/ Sitio	Ohio
Interfaz	10 GbE Lan Phy
conector	LC
Responsabilidad XC	Cliente
EXTREMO Z	
POP/LS/ Sitio	Sao Paulo SP2
Interfaz	10 GbE Lan Phy
conector	LC
Responsabilidad XC	Telxius

Fuente: Elaboración propia

Referente a las Cross conexiones en los extremos, estas también se mantienen, ya que la migración solo es en la ruta, y los extremos serán reutilizados.

3.5.3.2 Configuración del servicio

En esta etapa el área de Gestión de Cambio procede con la configuración de los nuevos segmentos del enlace.

Como se ha mencionado, la nueva configuración se realiza en una ventana de trabajo coordinado con el cliente, ya que los cambios se deben realizar en caliente debido a que hay segmentos que se reutilizan.

Para la migración del enlace 1, se revisa el nuevo diseño que entrega el área de Factibilidad. Para ello se tiene que validar la siguiente información:

- Validación de parámetros para cumplir con el requerimiento que el área de Provisión le indica al área de Gestion del Cambio.
- Las estaciones en las que se va a realizar el cambio de las conexiones físicas entre los equipos de la red. Se debe coordinar con el personal

en sitio para realizar los cambios en una ventana programada con el cliente.

- Los equipos en los que se va a hacer cambios de conexiones lógicas. Estos cambios se realizan en el sistema gestión de dichos equipos y en la misma ventana programada con cliente.

- **Revisión de la configuración del segmento GCE entre Ohio y Boca Raton:**

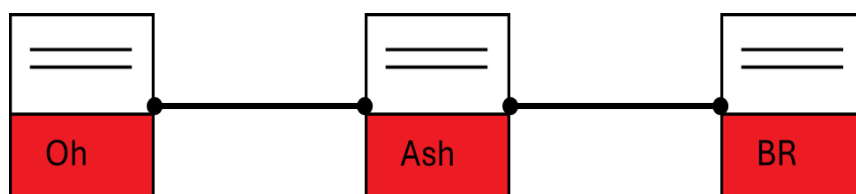


Figura 23: **Segmento GCE entre Ohio y Boca Ratón**

Fuente: Elaboración propia

Dado que este segmento de la figura 23 se reutiliza, solo se revisa que los parámetros configurados estén de acuerdo con los nuevos requerimientos. Para la configuración del segmento Global Carrier Ethernet entre Ohio y Boca Ratón en USA se toman en cuenta los parámetros siguientes de la tabla 8:

Tabla 8: **Segmento GCE entre Ohio y Boca Ratón**

Segmento GCE entre Ohio y Boca Raton						
Tipo de Servicio			EPL			
Core Transport			Linear			
Modelo de Servicio/ tipo VC			EVC			
	Site A			Site B		
	OHI-02			BOC-01		
	Shelf	Slot	Port	Shelf	Slot	Port
			23	4		2
Policing			Basic		Basic	
MTU			9600		9600	

Tipo de puerto	UNI	UNI
Proteccion	No	No
Autonegociación	Disabled	Disabled
EtherType	8100	8100
Provider VID	X	X

Fuente: Elaboración propia.

Descripción de parámetros:

Tipo de servicio: EPL

Se determina la configuración EPL debido a que es un segmento con tráfico punto a punto, transparente, solo soporta un enlace por extremo, se tienen dos puertos extremos por el servicio.

Transporte cabecera: Lineal

Se usa Lineal, debido a la solicitud de que no tiene ruta de protección.

Modelo de Servicio/ tipo VC: EVC (Ethernet Virtual Circuit)

Al ser un servicio EPL, el EVC representa el servicio Carrier Ethernet extremo a extremo, delimitado por los puertos extremos UNIs.

Tipo de puerto: UNI

Es debido a que el puerto extremo de cliente es UNI, configurado como port-based ya que no actúa sobre la CVID (VLAN de cliente).

Velocidad: 10 Gbps

MTU: 9600

Se utiliza el jumbo frame (MTU: 9600), debido a que así está configurada la lambda por la que se transporta el servicio.

Protección: No

Auto negociación: Deshabilitado

Se deshabilita para que el puerto no defina la velocidad ni el modo de transmisión: full dúplex o half dúplex, por defecto se solicita al cliente que también lo tenga deshabilitado.

Control Frame: habilitado

Son las tramas utilizadas para la gestión, monitoreo y control de la red Ethernet, no transportan tráfico de usuario, están destinadas a las tareas de administración y mantenimiento de la red y así garantizar la operación eficiente y confiable de la red.

Policing: habilitado

Debido a que es básico, se escoge este parámetro habilitado ya que se limita el ancho de banda con un CIR único, ya que el puerto es de 10 Gbps

Ether Type: 8100

Se especifica el protocolo que se transporta en la trama Ethernet, el 8100 es el que muestra una trama etiquetada por VLAN

Provider VID: X

Es la VLAN que asigna el área de Provisión

- **Migración de la configuración del segmento Wavelength:**

Para el Enlace 1:

Revisando el nuevo diseño a migrar para el enlace 1, se coordina la migración de las conexiones físicas en Boca Ratón y otra en Santos, debido a que el enlace ya no irá por el sistema submarino SAM-1 lado Pacífico. El nuevo diseño contempla el segmento en tecnología DWDM del sistema submarino SAM-1 lado Atlántico uniendo Boca Raton con Santos. Con respecto a las conexiones en los puntos intermedios como San Juan y Fortaleza son conexiones lógicas, es decir son configuradas desde el sistema de gestión.

Las actividades de la ventana de migración se inician realizando el cambio de conexión física en Boca Raton, uniendo los puertos de la tarjeta E-motor de

Boca Raton, que iba al SAM-1 lado Pacifico, ahora con el puerto tributario de la tarjeta TOM del sistema submarino SAM-1 lado Atlántico.

Seguidamente se realiza la conexión del puerto tributario al puerto de línea, mediante una conexión add-drop, que asocia el lado tributario al lado de línea dentro de un mismo equipo, estableciendo conectividad entre un puerto TOM (que se encuentra dentro de una TAM) a un canal óptico dentro de un módulo de línea (DLM, ADLM, AXLM). Esta conexión add-drop ya está definida en la red desde el despliegue de la red submarina del SAM-1, y lleva al enlace hasta la estación de San Juan directamente hasta su puerto de línea.

Desde San Juan, el puerto de línea se une directamente al puerto de línea de Fortaleza LS por medio de una conexión add-drop.

En Santos LS se conecta el enlace de línea que viene de Fortaleza, mediante by-pass, al sistema de Backhaul terrestre de Sao Paulo, donde se ubica el cliente.

Para el Enlace 2:

Para la migración del enlace 2, se revisa el nuevo diseño que entrega el área de Factibilidad y se coordina la migración en una ventana programada con el cliente. Se debe tener en cuenta revisar la siguiente información:

- Validación de parámetros para cumplir con el requerimiento que el área de Provisión le indica al área de Gestion del Cambio.
- Las estaciones en las que se va a realizar el cambio de las conexiones físicas entre los equipos de la red. Se debe coordinar con el personal en sitio para realizar los cambios en una ventana programada con el cliente.
- Los equipos en los que se va a hacer cambios de conexiones lógicas. Estos cambios se realizan en el sistema gestión de dichos equipos y en la misma ventana programada con cliente.

- **Revisión de la configuración del segmento GCE entre Ohio y Virginia:**

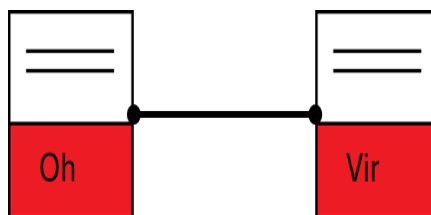


Figura 24: **Segmento GCE entre Ohio y Virginia**

Fuente: Elaboración propia

Para la configuración del segmento Global Carrier Ethernet entre Ohio y Virginia en USA (figura 24) se toman en cuenta los parámetros siguientes de la tabla 9:

Tabla 9: **Parámetros del segmento Global Carrier Ethernet entre Ohio y Virginia LS**

Segmento GCE entre Ohio y Virginia LS						
Tipo de Servicio	EPL					
Core Transport	Linear					
Modelo de Servicio/ tipo VC	EVC					
	Site A			Site B		
	OHI-01			VIR-01		
	Shelf	Slot	Port	Shelf	Slot	Port
	1		23	1		7
Policing	Basic			Basic		
MTU	9596			9596		
Tipo de puerto	UNI			UNI		
Protección	No			No		
Autonegociación	Disabled			Disabled		
EtherType	8100			8100		
Provider VID	Y			Y		

Fuente: Elaboración propia

Descripción de parámetros:

Tipo de servicio: EPL

Se determina la configuración EPL debido a que es un segmento con tráfico punto a punto, transparente, solo soporta un servicio por extremo, se tienen dos puertos extremos por el servicio.

Routing: Explicit

Debido a que ya se tiene definido por donde va a ir la ruta del enlace.

Core Transport: Linear

Se usa Lineal, debido se ofrece como no protegido.

Modelo de Servicio/ tipo VC: EVC (Ethernet Virtual Circuit)

Al ser un servicio EPL, el EVC representa el servicio Carrier Ethernet extremo a extremo, delimitado por los puertos extremos UNIs.

Tipo de puerto: UNI

Es debido a que el puerto extremo de cliente es UNI, configurado como port-based ya que no actúa sobre la CVID (VLAN de cliente).

Velocidad: 10 Gbps

Definido en los requerimientos del área de soporte comercial.

MTU: 9600

Se utiliza el jumbo frame (MTU:9600), debido a que así está configurada la lambda por la que se transporta el servicio.

Protección: No

Esto debido al requerimiento del área comercial, servicio no protegido.

Auto negociación: Disabled

Se deshabilita para que el puerto no defina la velocidad ni el modo de transmisión: full dúplex o half dúplex, por defecto se solicita al cliente que también lo tenga deshabilitado.

Control Frame: habilitado

Son las tramas utilizadas para la gestión, monitoreo y control de la red Ethernet, no transportan tráfico de usuario, están destinadas a las tareas de administración y mantenimiento de la red y así garantizar la operación eficiente y confiable de la red.

Policing: habilitado

Al ser básico, se escoge este parámetro habilitado debido a que se limita el ancho de banda con un CIR único, ya que el puerto es de 10 Gbps

Ether Type: 8100

Se especifica el protocolo que se transporta en la trama Ethernet, el 8100 es el que muestra una trama etiquetada por VLAN

Provider VID: 322

Es la VLAN que asigna el área de Provisión

- **Migración de la configuración del segmento Wavelength:**

Para el nuevo diseño a migrar en el enlace 2, se reutiliza el segmento entre Virginia en USA y Rio en Brasil del sistema submarino Brusa, en donde también se encuentra la conexión física que une la red Carrier Ethernet con la red del sistema submarino Brusa con tecnología DWDM.

En Rio, el enlace llega a un puerto de línea que se une a un puerto tributario por una conexión Add-drop, donde termina el sistema submarino Brusa.

Durante la ventana de migración, en coordinación con el personal de la estación de Rio, se realiza el cambio de conexión física, uniando el puerto

tributario del sistema submarino Brusa con el nuevo puerto tributario del sistema submarino Junior.

Luego de la conexión al puerto tributario del sistema submarino Junior, se conecta por una conexión add-drop a un puerto de línea en el mismo equipo. Este puerto de línea está conectado a otro puerto de línea en Santos.

En Santos, el puerto de línea se conecta con un nuevo puerto tributario por una conexión add-drop donde termina el sistema submarino Junior. Para ello se solicita a la estación de Santos que realice la migración de la conexión física del nuevo puerto tributario de Santos donde finaliza el Junior al puerto tributario del segmento de Backhaul terrestre de Sao Paulo, el cual se está reutilizando.

Luego de la migración física, el puerto tributario del segmento de Backhaul terrestre de Sao Paulo, se conecta al puerto de línea por una conexión add-drop, este puerto de línea se encuentra desplegado por la red del Backhaul de Sao Paulo a la estación de Consolación. Uniéndose por esa línea hasta la estación Equinix SP4 Pop, mediante los puertos también ya desplegados en la red. Siguiendo con la línea de la red ya desplegada del backhaul de Sao Paulo, se llega hasta la estación SP2 por un puerto de línea que se conecta por conexión add-drop al puerto tributario donde se conecta el cliente.

3.5.4 Etapa 4: Validación

En esta etapa se valida que los enlaces estén listos para ser operados por el NOC. Para este proyecto donde se realizan migraciones en caliente, y a solicitud del cliente de no perder la operación de sus enlaces por mucho tiempo, las pruebas Bert, RFC o Y1564 no es posibles ejecutarse, por lo que solo se hace monitoreo de los enlaces luego de la migración.

Adicionalmente, se valida la información que se registra en los sistemas para que el NOC pueda ser capaz de resolver las incidencias de manera más rápida.

Para el enlace 1, debido a la urgencia del cliente de mejorar la latencia, en la ventana programada y luego de la migración del enlace, el cliente valida la operatividad de su enlace cursando tráfico.

De acuerdo con las funciones de cada área, cuando el cliente confirma que está cursando su tráfico real y ve funcionando correctamente su enlace, el área de Provisión registra todos los datos del enlace en la base de datos para que el área de Operaciones pueda atender el servicio en caso de presentarse alguna avería posterior reportada por cliente.

Provisión registra los siguientes datos:

- Parámetros configurados en el enlace 1 migrado
- Diagrama del enlace con sus responsabilidades de conexiones en los extremos.
- Documento de entrega al cliente de la migración del servicio
- Diseño de la ruta completa del servicio.
- Confirmación de cliente.

Para el enlace 2, también se realiza la migración en una ventana programada. Sin embargo, previo a la ventana, el cliente solicita probar el nuevo segmento de Rio a Santos que va por el sistema submarino Junior. Se realiza las pruebas Bert y RFC solo de este segmento para validar la latencia y que no tenga perdida de tramas (indicadas en los anexos 3 y 4), que sirven para la validación RFM, ya que dan sustento a la operatividad del enlace.

Luego de la migración, se simula una caída del enlace 1 en Santos y se valida que el enlace 2 está operando correctamente. El cliente confirma que pasa su tráfico real sin problemas. Por lo que Provision procede a registrar toda la documentación necesaria para que el enlace esté listo a ser gestionado por el NOC en caso de averías futuras.

Provisión registra los siguientes datos:

- Parámetros configurados en el enlace 2 migrado
- Diagrama del enlace con sus responsabilidades de conexiones en los extremos
- Documento de entrega a cliente de la migración del servicio
- Diseño de la ruta completa del servicio.
- Confirmación de cliente
- Documentos de las pruebas Bert y RFC del nuevo segmento

3.6 Resultado de la actividad

Como resultado del trabajo se brinda al cliente dos enlaces utilizando los servicios Global Carrier Ethernet y Wavelength dentro de la red. Ofreciendo así la diversificación entre ambos enlaces, cumpliendo de esta forma el requerimiento del cliente. La diversificación de los enlaces compensa la robustez y estabilidad en la red de cliente tal como se puede apreciar en la figura 25 y la figura 27.

Al diseñar los enlaces se garantiza la diversidad y a su vez se brinda una mejor latencia correspondiente a la distancia entre los extremos que es aceptable para el cliente, como puede verse en los anexos 1 y 2, donde se muestran los datos de la latencia, parámetros y diseño. También se pueden comparar con las anteriores latencias que se registraron en las pruebas Y1564 de las primeras entregas de los enlaces antes de ser migrado, como se puede ver en los anexos 5 y 6, donde se puede ver la latencia cuando se realizó la primera entrega del servicio. Se puede observar que cuando el enlace estaba por la SAM-1 lado Pacífico su latencia era de 153.007 ms., al pasar al sistema submarino SAM-1 lado Atlántico su latencia disminuye a 145.53 ms. Con la migración del enlace 2, también se mejora la latencia, ya que cuando pasaba por SAM-1 su latencia era de 121.46 ms ahora que pasa por Junior su latencia disminuye a 117ms.

En la siguiente figura se muestra el tráfico que tiene el cliente actualmente cursando en sus enlaces. El cliente no usa toda la capacidad de los enlaces permanentemente, sino que hay fechas específicas en las que, si usa toda su capacidad.

Enlace 1: se muestra el tráfico de entrada y salida en la Figura 25 y las características del enlace 1 en la figura 26.



Figura 25: Tráfico de entrada y salida del enlace 1

Fuente: Elaboración propia tomando datos de los Sistemas de Telxius

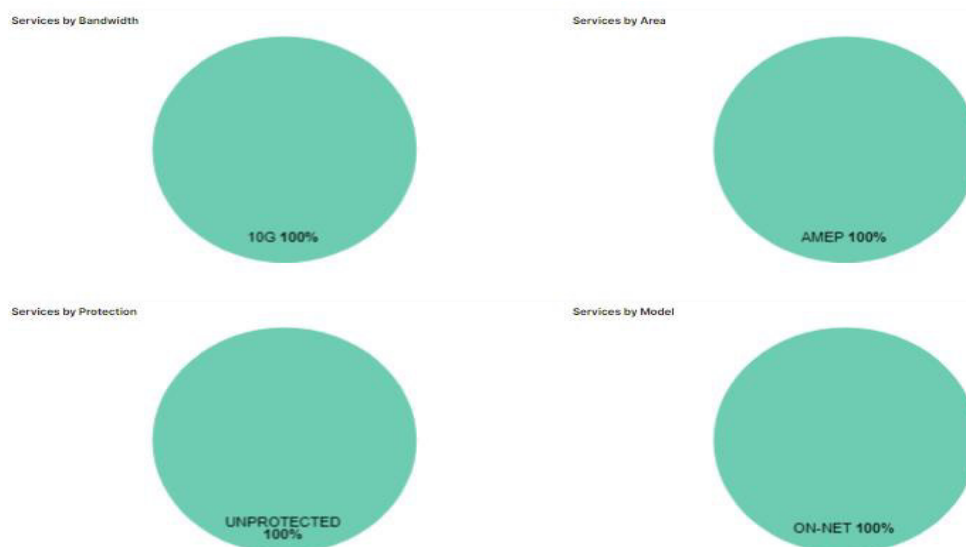


Figura 26: Características básicas del enlace 1

Fuente: Elaboración propia tomando datos de los Sistemas de Telxius

Enlace 2: se muestra el tráfico de entrada y salida en la Figura 27 y las características del enlace 2 en la figura 28.

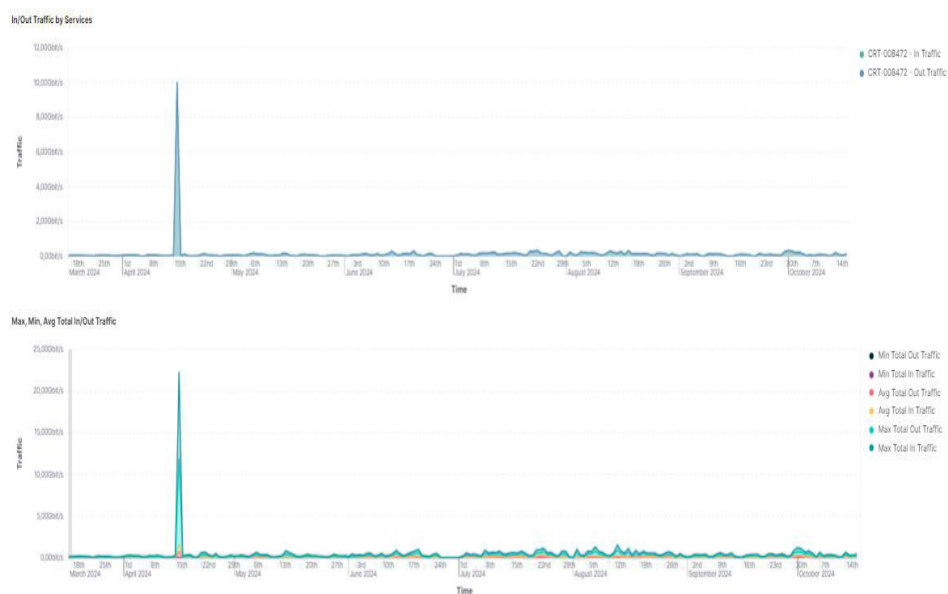


Figura 27: Tráfico de entrada y salida del Enlace 2

Fuente: Elaboración propia tomando datos de los Sistemas de Telxius

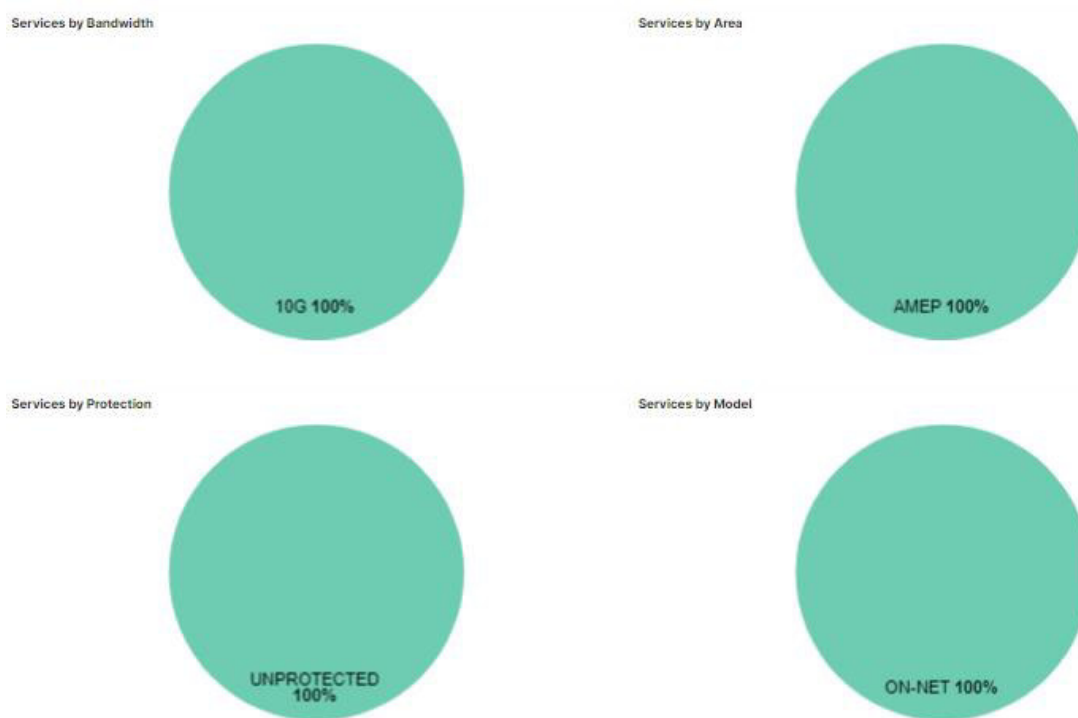


Figura 28: Características básicas del enlace 2

Fuente: Elaboración propia tomando datos de los Sistemas de Telxius

CAPÍTULO IV:

DISCUSION DE RESULTADOS

4.1 Descripción de la implementación

La migración de los enlaces entre Ohio, USA y Sao Paulo, Brasil permite al cliente diversificación de ambos enlaces y mejora de la latencia utilizando los servicios Global Carrier Ethernet y Wavelength. El cliente no siempre utiliza los 10G requeridos, pero necesita tenerlos disponibles para momentos específicos.

La migración de los enlaces se realiza en las 4 etapas siguientes para cada enlace (ver tablas 10 y 11):

Enlace 1: Mejora su latencia al configurarlo en un enlace más directo y pasando por menos estaciones.

Tabla 10: **Etapas de la migración del enlace 1**

Item	Etapas	Inicio	Fin	Duración
1	Análisis de operación de los enlaces a migrar	Jun-23	Jun-23	4 semanas
2	Solicitud del Servicio	Jul-23	Ago-23	7 semanas
3	Provisión del Servicio	Ago-22	Set-23	7 semanas
4	Validación RFM	Set-24	Set-24	1 día

Fuente: Elaboración propia

Enlace 2: Se garantiza la diversidad con el enlace 1 y mejora la latencia con respecto al enlace anteriormente configurado.

Tabla 11: **Etapas de la migración del enlace 2**

Item	Etapas	Inicio	Fin	Duración
1	Análisis de operación de los enlaces a migrar	Jun-23	Jun-23	4 semanas
2	Solicitud del Servicio	Jul-23	Ene-24	23 semanas
3	Provisión del Servicio	Ene-24	Feb-24	4 semanas
4	Validación RFM	Feb-24	Feb-24	1 día

Fuente: Elaboración propia.

4.2 Evaluación Económica

Los enlaces son diseñados sobre una infraestructura existente. Sin embargo, para la migración de estos enlaces se realiza un estimado del CAPEX, que viene a ser el capital invertido. También se realiza un cálculo aproximado del OPEX que representa aquellos gastos para la operación y mantenimiento. Por último, se realiza un cálculo de los ingresos por los dos enlaces.

Por otro lado, se debe tener en cuenta que estos dos enlaces entre USA y Brasil no son los únicos que se le brinda al cliente, sino que también tiene otros enlaces que van hacia otros países de América del Sur, como Chile, Argentina, Perú, Colombia, etc. y en cada país el requerimiento del cliente es tener dos enlaces en paralelo, y que estén configurados como no protegidos en el lado de Telxius, siendo los enlaces que van hacia Brasil los de mayor capacidad. Por ello, es importante cumplir con los requerimientos del cliente para fidelizarlo.

El cálculo del monto por las horas trabajadas de los encargados de cada área que hace posible cumplir con los nuevos requerimientos de cliente, se calcula aproximadamente de la siguiente manera (ver tabla 12):

$$\frac{\text{sueldo mensual} * \text{días para realizar la tarea} * \# \text{ enlaces requeridos}}{\text{días del mes} * \# \text{ total de enlaces hechos al mes}}$$

Tabla 12: **Detalle de la inversión CAPEX**

Agente	Cantidad	Detalles	Costo por tiempo trabajado para los dos enlaces
Diseñador de los enlaces	1	Sueldo: 3300 soles Tiempo del diseño para los 2 enlaces: 7 semanas (1er enlace) y 23 semanas (2do enlace): 30 semanas= 210 días Cantidad de enlaces hechos al mes por diseñador: 8	$\frac{3300 * 210 * 2}{30 * 8}$ = 5,775
Soporte comercial	1	Sueldo: 5000 soles Tiempo del diseño para los 2 enlaces: 240 días Cantidad de enlaces atendidos al mes por el soporte comercial: 30	$\frac{5000 * 240 * 2}{30 * 30}$ = 2,666.66
Provisionador	1	Sueldo: 3300 soles Tiempo del diseño para los 2 enlaces: 79 días	$\frac{3300 * 79 * 2}{30 * 10}$ = 1,738

		- Primer enlace: 7 semanas +1 día	
		- Segundo enlace: 4 semanas + 1 día	
		Cantidad de enlaces atendidos al mes por provisionador: 10	
Configurador	1	Sueldo: 3500 soles	
		Tiempo del diseño para los 2 enlaces: 79 dias	
		- Primer enlace: 7 semanas +1 día	$\frac{3500 * 79 * 2}{30 * 8}$
		- Segundo enlace: 4 semanas + 1 día	= 2,304.16
		Cantidad de enlaces atendidos al mes por configurador: 8	
Personal en sitio (Boca Raton, Rio, Santos)	3	Sueldo: 3300 soles	
		Cantidad de enlaces: 2	$\frac{3300 * 2}{30 * 5} = 44$
		Cantidad de enlaces atendidos al día por persona: 5	
TOTAL CAPEX			12,527.82
Fuente: Elaboración propia			

Los costos para la operación y mantenimiento de los 2 enlaces (ver tabla 13):

Tabla 13: **Detalle del costo de la operación y mantenimiento**

Detalle	cantidad	Sueldo por mes del personal	Monto por tiempo trabajado para los dos enlaces en el año
Operador	1	Sueldo de 1 operador:	
		2000 soles	
		Cantidad de enlaces: 2	$\frac{2000 * 2}{30 * 10} * 30 * 12$
		Cantidad de veces que atiende enlaces en el día:	= 4800
		10	

Fuente: Elaboración propia

Un aproximado del precio de enlaces entre Estados Unidos y Brasil con capacidad de 10Gbps es alrededor de \$ 10,000.00 (36,000.00 soles) por mes y los contratos generalmente son por 2 años mínimo (ver tabla 14).

Tabla 14: **Flujo de caja del proyecto**

	2023	2024
Ingresos	S/. 432,000.00	S/. 432,000.00
Costos	S/. 4800	S/. 4800
Inversión	S/. 12,527.82	0
Flujo de Caja	S/. 414,672.18	S/. 427,200.00

Fuente: Elaboración propia

Nota: al flujo de caja falta descontar el costo mensual de la infraestructura (depreciación, operación y mantenimiento, gastos administrativos, etc.), que son costos que mantiene en reserva la empresa (datos confidenciales).

Como se puede apreciar, la inversión para realizar la migración de estos dos enlaces no implica una pérdida considerable para la empresa, sin embargo,

en caso de no realizar la migración si se corre el riesgo de perder dichos ingresos no solo de estos dos enlaces de Estados Unidos a Brasil, sino que también implica que el cliente no renueve el contrato de los otros enlaces y se vaya a la competencia.

CAPITULO V:

CONCLUSIONES

- Con la infraestructura de sistemas submarinos existentes, de propiedad de la operadora, se puede ofrecer los nuevos diseños de los dos enlaces, cumpliendo la solicitud del cliente de tener rutas diversificadas y que unan los extremos entre Ohio y Sao Paulo. En el enlace 1 se realizó primero el cambio de la ruta del sistema submarino SAM-1 lado Pacífico al SAM-1 lado Atlántico, debido a la disponibilidad de puertos, equipos y capacidad. En el enlace 2, donde se requiere un diseño que no utilice el sistema submarino SAM-1, se toma más tiempo debido a que primero se tiene que realizar movimientos internos de la red para obtener puertos y capacidad disponible en el segmento del sistema submarino Junior, que garantiza diversidad con el enlace 1. Ambos enlaces se configuran con tecnologías Carrier Ethernet y DWDM.
- Se logra migrar los dos enlaces coordinando con el cliente para realizar la reconfiguración de los nuevos segmentos. En ambos enlaces se reutilizan los segmentos que tienen tecnología Global Carrier Ethernet, ya que esta técnica se utiliza para poder llegar a los clientes finales que suelen fragmentar su tráfico en capacidades menores y que no se ubican en las estaciones ON Net de la operadora. Por otro lado, se utiliza la tecnología DWDM para los segmentos de los sistemas submarinos. Para el enlace 1 se reconfigura por la ruta del sistema submarino SAM-1 lado Atlántico y para el enlace 2 se reconfigura utilizando los sistemas submarinos Brusa y Junior. Con ello, se garantiza la diversidad entre ambos enlaces.

- Para el enlace 1 se mejora la latencia al realizar la migración del segmento de SAM-1 por el lado Pacífico al SAM-1 por el lado Atlántico. Cuando el enlace estaba por la SAM-1 lado Pacífico su latencia era de 153.007 ms., al pasar al sistema submarino SAM-1 lado Atlántico su latencia se reduce a 145.53 ms. Con la migración del enlace 2, cambiando el segmento del SAM-1 a Junior, se logra establecer la diversidad de ambos enlaces. Por otro lado, también se mejora la latencia, ya que cuando pasaba por SAM-1 su latencia era de 121.46 ms ahora que pasa por Junior su latencia se reduce a 117ms.

CAPÍTULO VI:

RECOMENDACIONES

- Es recomendable que al momento de realizar el primer contacto con cliente se especifique los parámetros y se confirme con el cliente sus nuevas rutas.
- Durante el proceso de diseño es importante que el equipo comercial detalle los requerimientos de las necesidades del cliente, para cumplir con los parámetros solicitados y gestionar los recursos necesarios a fin de tener factibilidad de equipos, puertos y capacidad.
- En el proceso de Provisión, es recomendable que, al coordinar la ventana de migración en caliente con el cliente, se valide que no se tengan otros trabajos programados que impacten en los enlaces del cliente a trabajar. Ya que, si este horario llegase a cruzarse con otro trabajo programado, se tendrá indisponibilidad de los enlaces y no se podrá garantizar la migración correcta.
- Luego de la migración del servicio, es recomendable validar que los trabajos notificados previo a la ventana de trabajo no vayan a impactar al nuevo servicio migrado. De ser así, es necesario comunicar a Operaciones para que vuelvan a notificar al cliente los trabajos programados y así el cliente esté preparado para dichos eventos y evitar que reclame como avería.

CAPÍTULO VII:

REFERENCIAS

Referencias

- Cisco Networking Academy. (2024). *Capítulo 5: Protocolo Ethernet*. Obtenido de Subcapas LLC y MAC: <https://www.sapalomera.cat/moodlecf/RS/1/course/module5/index.html#5.1.1.1>
- Hawkins, J. (22 de Junio de 2017). *Carrier Ethernet 101: velocidades, estándares y servicios*. Obtenido de Ciena: https://www.ciena.es/insights/articles/Carrier-Ethernet-Speeds-Standards-and-Services_es_LA.html
- Hubbard, S. (Marzo de 2020). *MEF 3.0 CE Services Certification Business Case*. Obtenido de MEF: <https://www.mef.net/wp-content/uploads/2020/03/MEF-WP-summary-MEF-3-0-CE-Certification-Business-Case.pdf>
- MEF. (2011). *Carrier Ethernet Services*. MEF.
- TeleGeography. (2024). *Submarine Cable Map*. Obtenido de TeleGeography: <https://submarine-cable-map-2024.telegeography.com/>
- Telxius. (2024). *Nuestra red: BRUSA*. Obtenido de Telxius: <https://telxius.com/nuestra-red/brusa/>
- Telxius. (2024). *Nuestra red: Junior*. Obtenido de Telxius: <https://telxius.com/nuestra-red/junior/>
- Telxius. (s.f.). *Mapa interactivo*. Obtenido de Telxius: <https://mapainteractivo.telxius.com/>
- Turpo Chayña, M. (2021). *Evaluación de los efectos al implementar Carrier Ethernet sobre tecnologías ópticas de la red SAM-1*. Lima.

Vargas Flores, R. (2023). La seguridad del ciberespacio se desarrolla también en el fondo de los océanos y mares. *Revista de la Marina*.

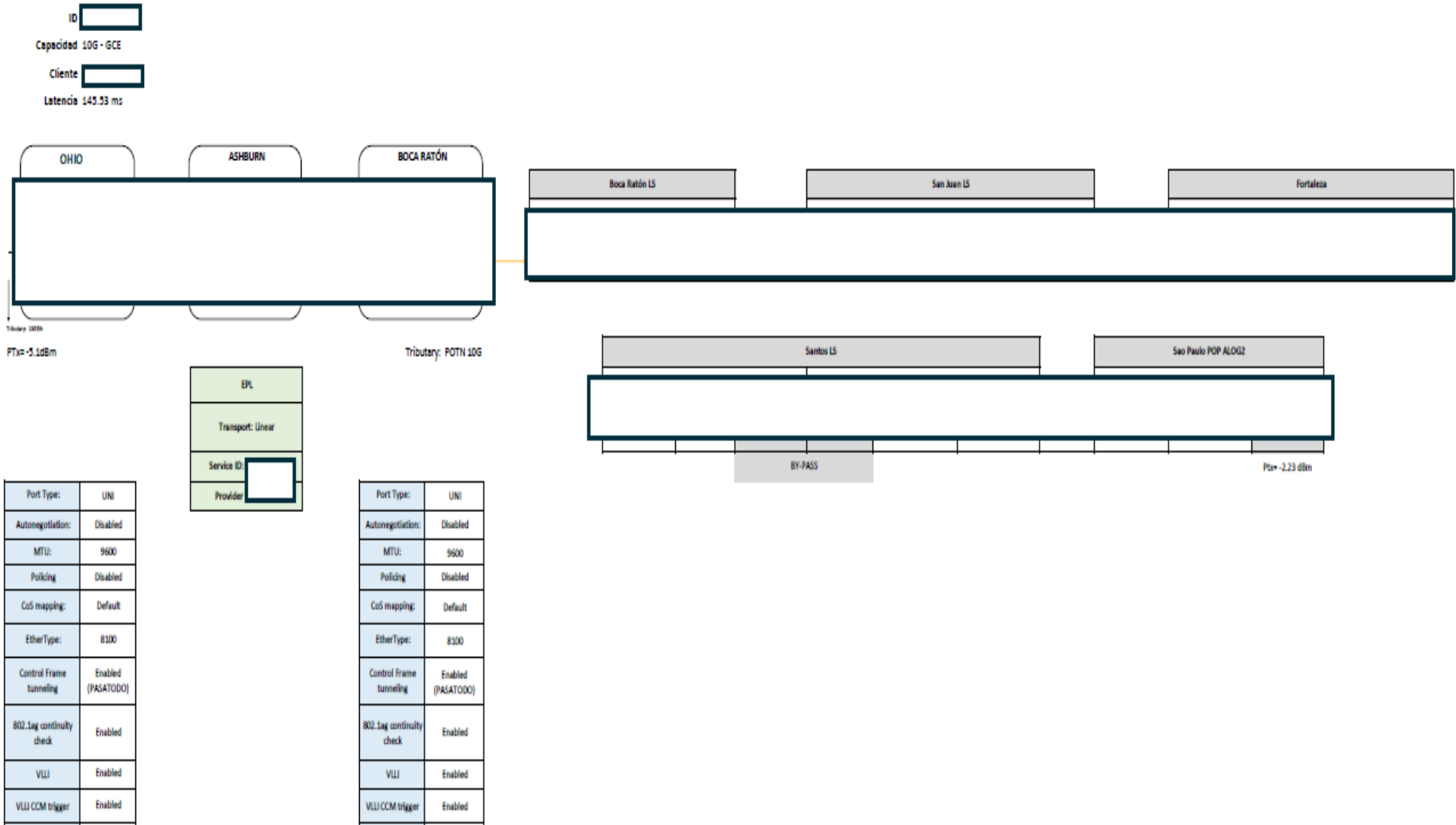
Yamaguchi, K. &. (2023). Optical Fibers for High Fiber Count Submarine Cable Systems. *Sumitomo Electric Technical Review*.

CAPÍTULO VIII:

ANEXOS

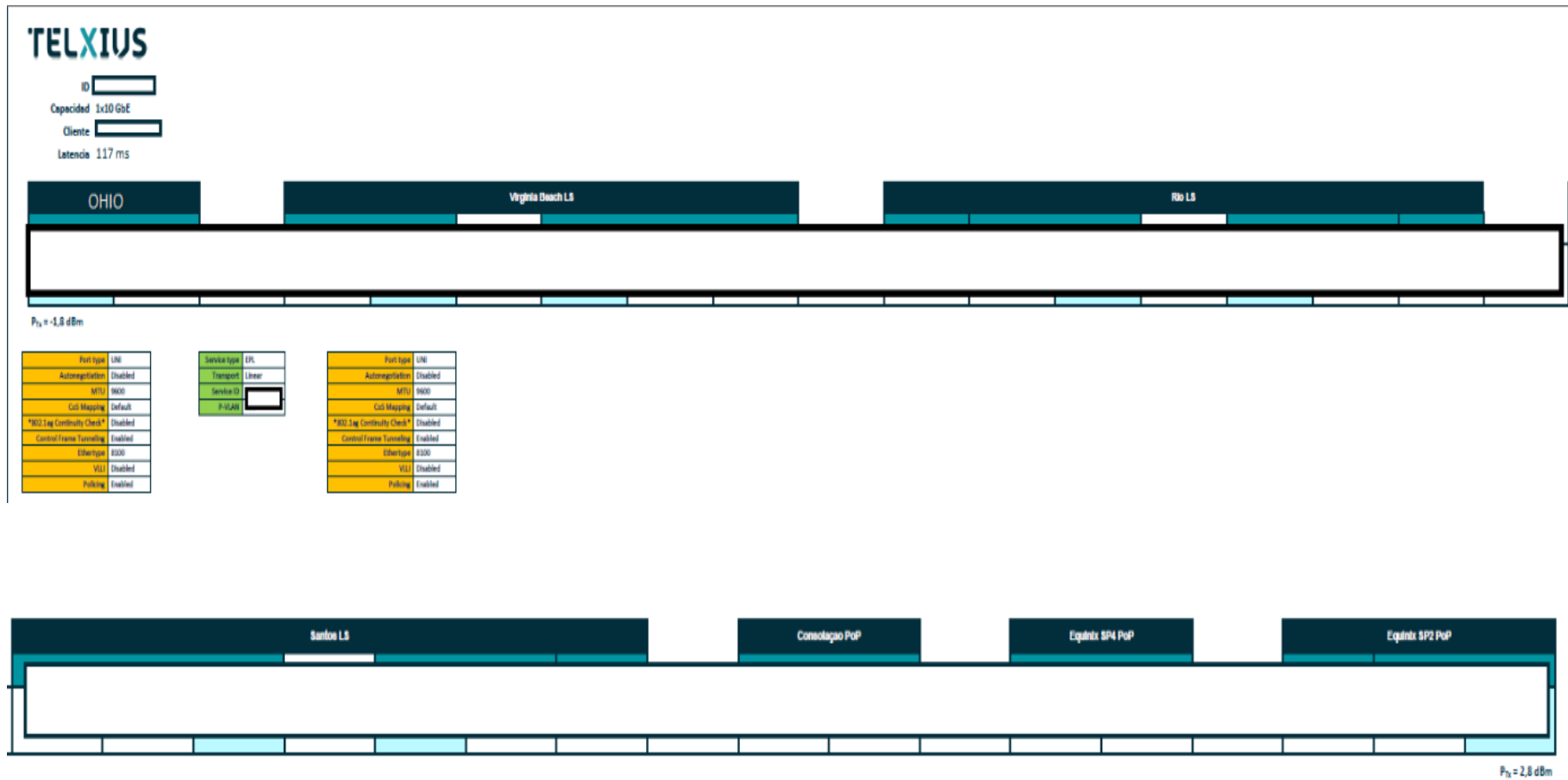
ANEXO 1: Datos del Enlace 1

Latencia aceptable por cliente, potencia de transmisión en los extremos aceptables por cliente, parámetros de configuración del segmento GCE y puntos por donde recorre el enlace 1.



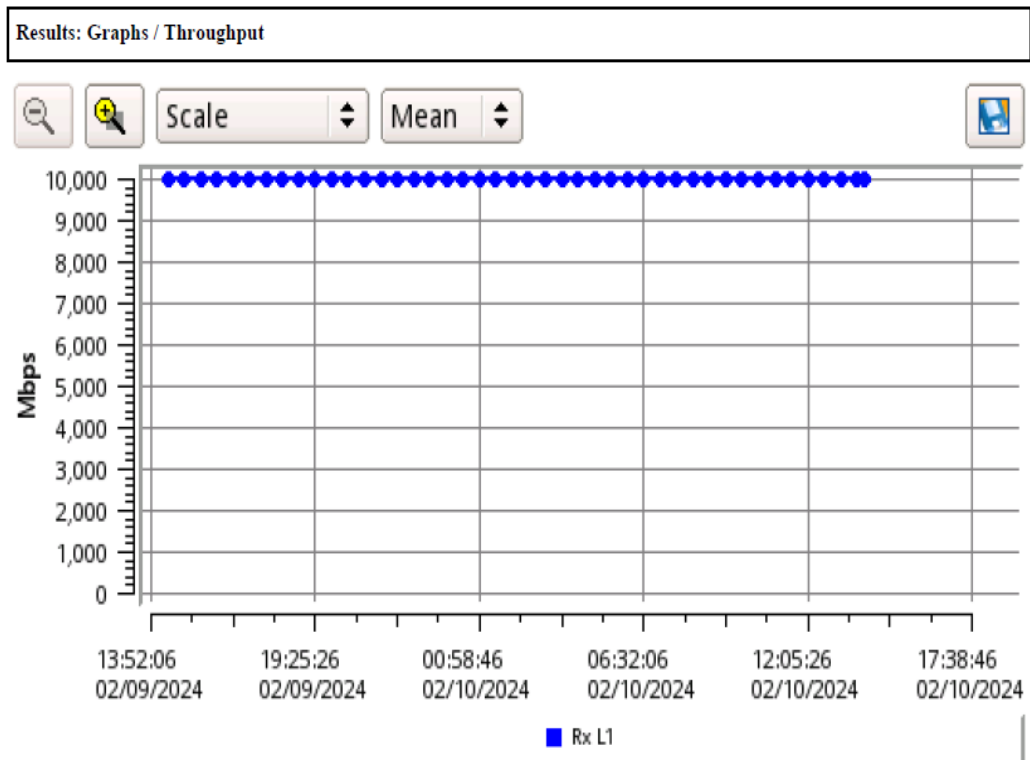
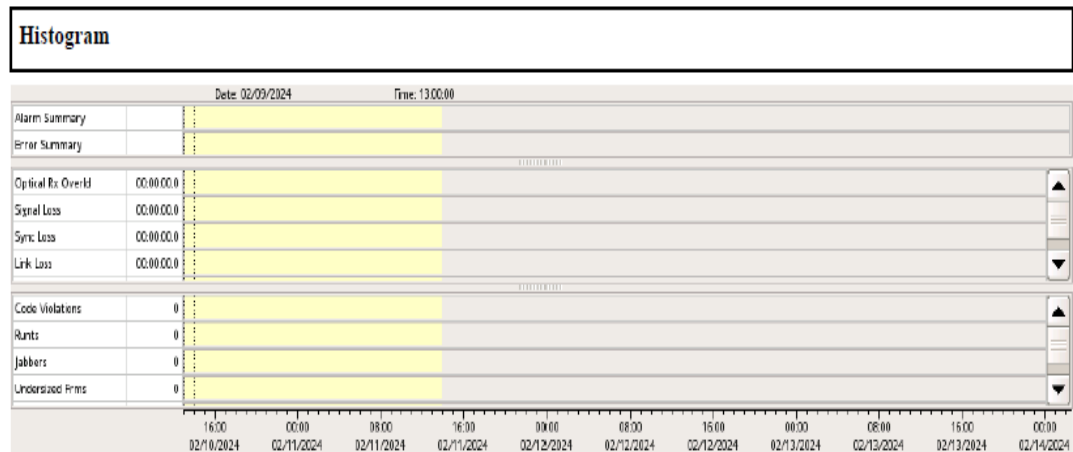
ANEXO 2: Datos del Enlace 2

Latencia aceptable por cliente, potencia de transmisión en los extremos aceptables por cliente, parámetros de configuración del segmento GCE y puntos por donde recorre el enlace 2.

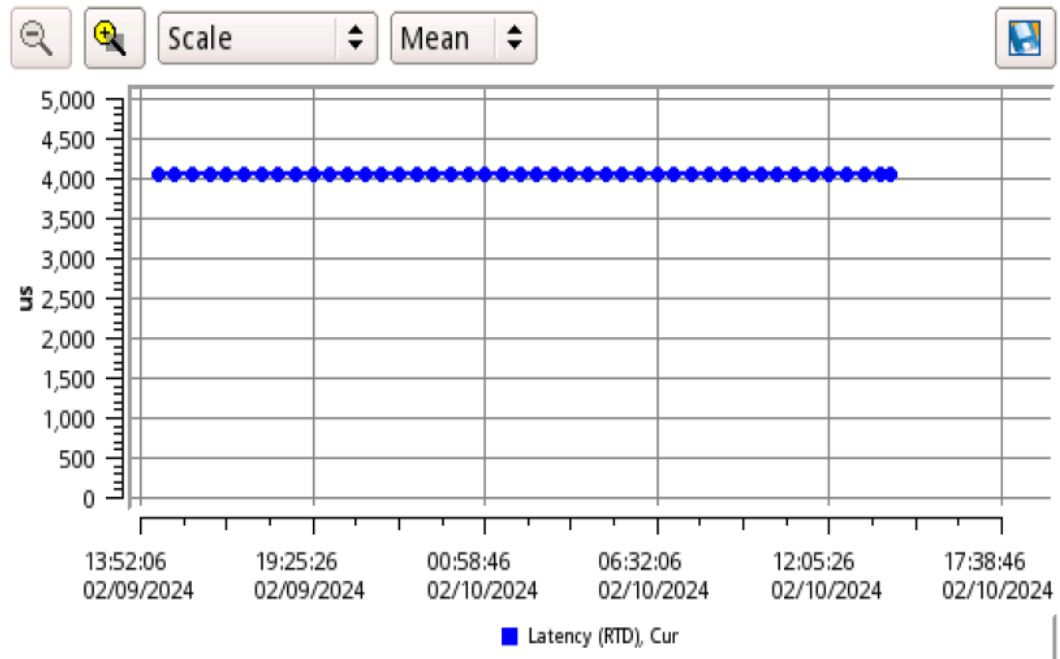


ANEXO 3: Pruebas Bert del segmento submarino Junior para el Enlace 2.

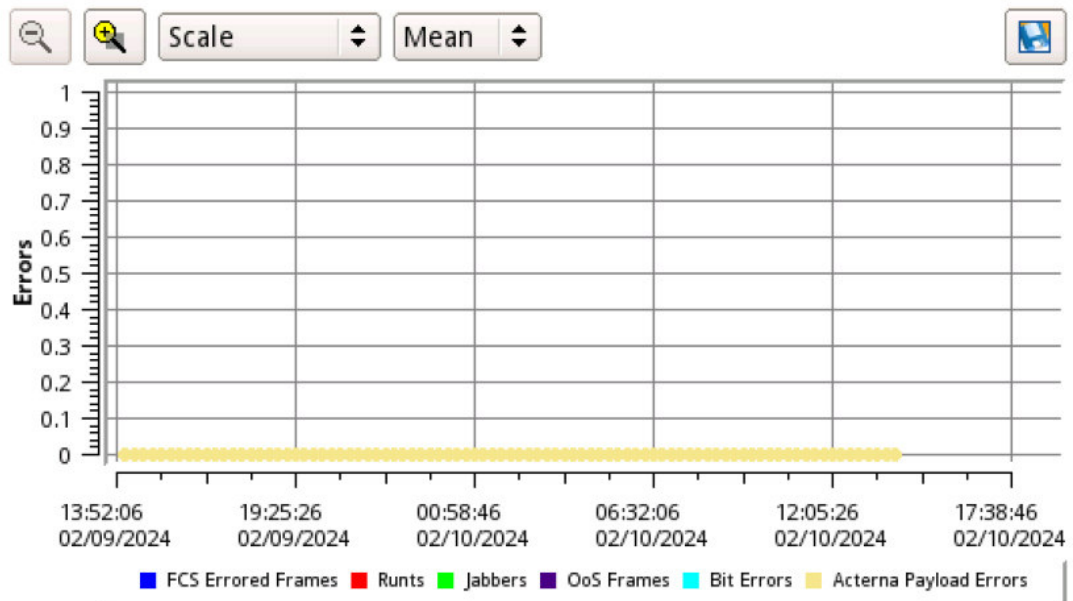
validación que no tiene errores, la latencia del segmento es baja y la prueba es satisfactorio.



Results: Graphs / Latency (RTD), Cur



Results: Graphs / Errors



ANEXO 4: Pruebas RFC del segmento submarino Junior para el Enlace 2

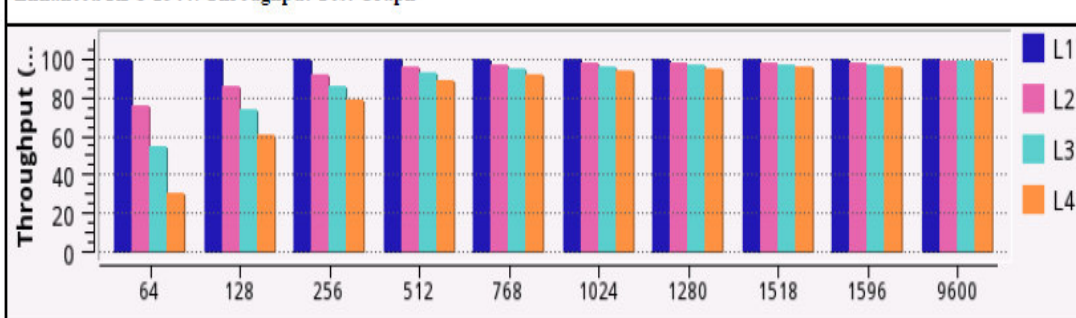
Prueba RFC 2544 fue satisfactorio, sin errores, latencia aceptable y sin perdida de tramas.

Enhanced RFC 2544 Test

Overall Test Result: Pass	
Throughput	
Latency	
Frame Loss	

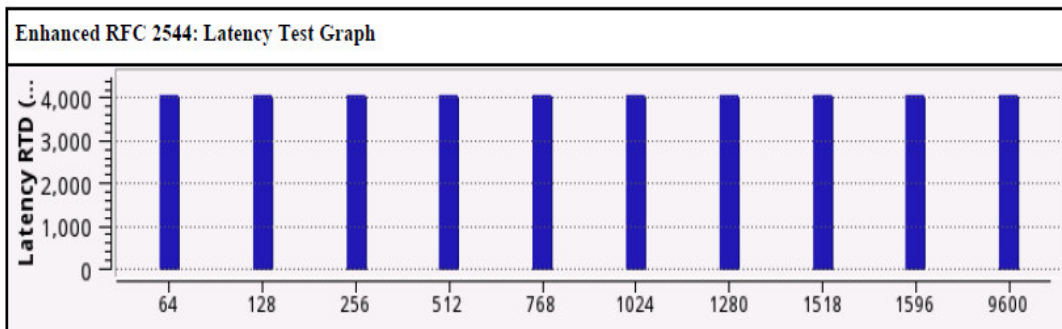
Mode	Symmetric Loopback
Tests to Run	Throughput, Latency, Frame Loss
Customer Name	-
Technician ID	-
Test Location	-
Work Order	-
Comments/Notes	--
Instrument	MTS5800-100G
Serial Number	WMSE0163610040
SW Version	29.2.0
Start Date	02/10/2024
End Date	02/10/2024
Start Time	14:30:59
End Time	14:52:00

Enhanced RFC 2544: Throughput Test Graph



Enhanced RFC 2544: Throughput Test Results

Pass/Fail	Frame Length (Bytes)	Measured L1 (% Line Rate)	Measured L2 (% Line Rate)	Measured L3 (% Line Rate)	Measured L4 (% Line Rate)	Measured Rate (frms/sec)	Pause Detect	Cfg Rate (L1 Mbps)
Pass	64	99.996	76.187	54.760	30.951	14,880,357	No	10000.0
Pass	128	99.996	86.483	74.321	60.808	8,445,608	No	10000.0
Pass	256	99.996	92.750	86.228	78.982	4,528,805	No	10000.0
Pass	512	99.996	96.237	92.853	89.094	2,349,530	No	10000.0
Pass	768	99.996	97.458	95.174	92.636	1,586,231	No	10000.0
Pass	1024	99.996	98.080	96.356	94.441	1,197,271	No	10000.0
Pass	1280	99.996	98.458	97.073	95.535	961,500	No	10000.0
Pass	1518	99.996	98.696	97.525	96.225	812,712	No	10000.0
Pass	1596	99.996	98.758	97.645	96.407	773,484	No	10000.0
Pass	9600	99.996	99.788	99.601	99.393	129,933	No	10000.0



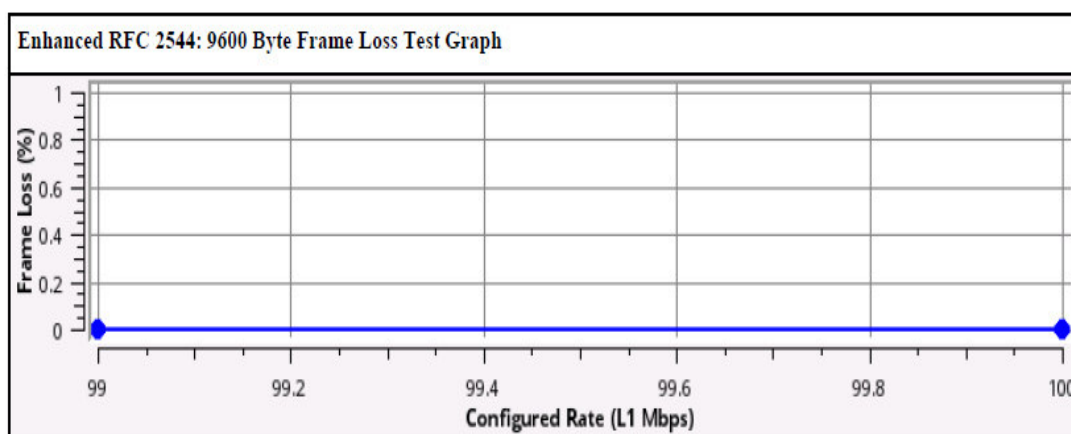
Enhanced RFC 2544: Latency Test Results

<i>Pass/Fail</i>	<i>Frame Length (Bytes)</i>	<i>Latency RTD (us)</i>	<i>Measured L1 Rate (Mbps)</i>	<i>Measured L1 (% Line Rate)</i>	<i>Measured Rate (frms/sec)</i>	<i>Pause Detect</i>
Pass	64	4064.64	9999.600	99.996	14,880,357	No
Pass	128	4064.67	9999.600	99.996	8,445,608	No
Pass	256	4064.68	9999.600	99.996	4,528,805	No
Pass	512	4064.68	9999.600	99.996	2,349,530	No
Pass	768	4064.68	9999.600	99.996	1,586,231	No
Pass	1024	4064.68	9999.600	99.996	1,197,271	No
Pass	1280	4064.68	9999.600	99.996	961,500	No
Pass	1518	4064.68	9999.600	99.996	812,712	No
Pass	1596	4064.67	9999.600	99.996	773,484	No
Pass	9600	4064.68	9999.600	99.996	129,933	No

2

Enhanced RFC 2544 Report - Port 1: 10GigE LAN Layer 2 Traffic Term

Pass	64	4064.64	9999.600	99.996	14,880,357	No
Pass	128	4064.67	9999.600	99.996	8,445,608	No
Pass	256	4064.68	9999.600	99.996	4,528,805	No
Pass	512	4064.68	9999.600	99.996	2,349,530	No
Pass	768	4064.68	9999.600	99.996	1,586,231	No
Pass	1024	4064.68	9999.600	99.996	1,197,271	No
Pass	1280	4064.68	9999.600	99.996	961,500	No
Pass	1518	4064.68	9999.600	99.996	812,712	No
Pass	1596	4064.67	9999.600	99.996	773,484	No
Pass	9600	4064.68	9999.600	99.996	129,933	No



Enhanced RFC 2544: 9600 Byte Frame Loss Test Results				
<i>Throughput Rate (%)</i>	<i>Frame Loss Rate (%)</i>	<i>Frames Lost</i>	<i>Pause Detect</i>	<i>Cfg Rate (%)</i>
99.996	0.00	0	No	100.000
99.001	0.00	0	No	99.000

ANEXO 5: Pruebas Y1564 del Enlace 1 antes de migrarse

Prueba para que el lector valide la latencia antes de ser migrado al nuevo enlace.

SAMComplete Overall Test Result: Pass	
Start Date	11/03/2021
End Date	11/04/2021
Start Time	23:55:13
End Time	00:02:34
 Service Configuration  Service Performance 1 Svc 1   Frame Loss   Delay   Delay Var   Throughput  	

SAMComplete - Ethernet Service Activation Test: Overview Service Performance Results

	Service	IR, Avg. (Throughput L1 Mbps)	Frame Loss Ratio	Delay Avg. (RTD, ms)	Delay Var. Max. (ms)	OoS Count
✓ 1	Svc 1	9999.6	0.000000000	153.007	0.004	0

SAMComplete - Ethernet Service Activation Test: IR Service Performance Results

	Service	IR, Cur. (L1 Mbps)	IR, Max. (L1 Mbps)	IR, Min. (L1 Mbps)	IR, Avg. (Throughput L1 Mbps)	CIR (L1 Mbps)
✓ 1	Svc 1	9999.6	9999.7	9999.6	9999.6	10000.0

ANEXO 6: Pruebas Y1564 del Enlace 1 antes de migrarse

Prueba para que el lector valide la latencia antes de ser migrado al nuevo enlace.

Customer Name	--
Technician ID	--
Test Location	--
Work Order	--
Comments/Notes	--
Instrument	MTS5800V2
Serial Number	WMME0144670345
SW Version	27.1.0

SAMComplete Overall Test Result: Pass	
Start Date	09/01/2021
End Date	09/01/2021
Start Time	20:31:29
End Time	20:38:35
 Service Configuration  Service Performance 1 Svc 1  Frame Loss   Delay   Delay Var   Throughput  	

SAMComplete - Ethernet Service Activation Test: Overview Service Performance Results

	Service	IR, Avg. (Throughput L1 Mbps)	Frame Loss Ratio	Delay Avg. (RTD, ms)	Delay Var. Max. (ms)	OoS Count
✓ 1	Svc 1	9999.6	0.000000000	121.462	0.000	0

SAMComplete - Ethernet Service Activation Test: IR Service Performance Results

	Service	IR, Cur. (L1 Mbps)	IR, Max. (L1 Mbps)	IR, Min. (L1 Mbps)	IR, Avg. (Throughput L1 Mbps)	CIR (L1 Mbps)
✓ 1	Svc 1	9999.6	9999.7	9999.5	9999.6	10000.0